

ต้นแบบหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงในอุตสาหกรรม

PROTOTYPE OF INDUSTRIAL DELTA ROBOT



ชาญณรงค์ ชูสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

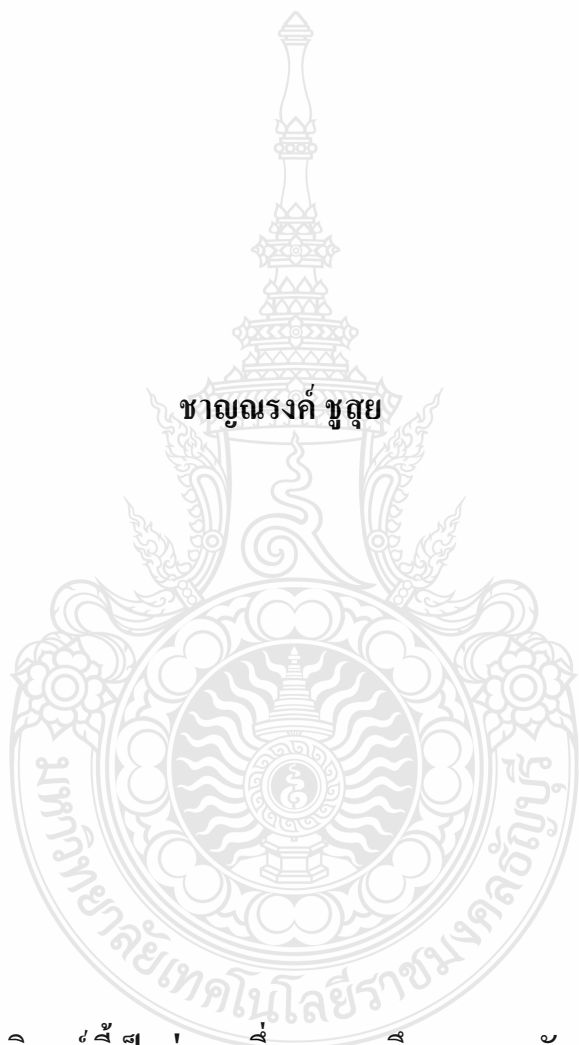
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต้นแบบหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงในอุตสาหกรรม



ชาญณรงค์ ชูสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ต้นแบบหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงในอุตสาหกรรม
PROTOTYPE OF INDUSTRIAL DELTA ROBOT

ชื่อ-นามสกุล นายชาญณรงค์ ชูสุข

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์, Ph.D.

ปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.)

..... กรรมการ

(อาจารย์.....)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนูศักดิ์ जानทอง, Dr.-Ing.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

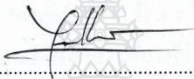
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

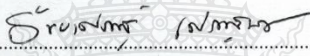
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

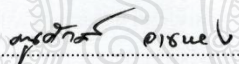
วันที่ ... เดือน พ.ศ. 2559


หัวข้อวิทยานิพนธ์ ต้นแบบหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงในอุตสาหกรรม
Prototype of Industrial Delta Robot
ชื่อ - นามสกุล นายชาญณรงค์ ชูสุข
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์, Ph.D.
ปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.)


..... กรรมการ
(อาจารย์ชั้นยศเรขฐ์ เศรษฐบุตร, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนูศักดิ์ อ่างทอง, Dr.-Ing.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทฉบับนี้


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

วันที่ 22 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ต้นแบบหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงในอุตสาหกรรม
ชื่อ-นามสกุล	นายชาญณรงค์ ชุสุย
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ใน ส่วนแรกจะนำเสนอการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงที่มีโครงสร้างเป็นรูปแบบขนานที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์สามตัว โดยจะใช้หลักการทาง จลนศาสตร์ผกผัน เพื่อช่วยออกแบบและเลือกความยาวของแต่ละก้าน โยง เพื่อให้ได้พื้นที่การทำงาน ทั้งในระนาบแนวนอนที่เหมาะสมในระดับความสูงที่ต้องการและทำการจำลองพื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์ก่อนที่จะดำเนินการสร้างจริง

การออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของปลายมือจับของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงตามจุดและเส้นทางที่กำหนด ซึ่งใช้การคำนวณด้วยจลนศาสตร์ผกผัน โดยโปรแกรมระบบควบคุมได้พัฒนาขึ้นด้วย MATLAB/GUI พร้อมภาพจำลองแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ที่เน้นฟังก์ชัน ให้ควบคุมการเคลื่อนที่ของปลายมือจับของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์แบบดีซีได้ง่ายตามเส้นทางที่กำหนด และเส้นทางเคลื่อนที่นั้นจะ ประมาณค่าอย่างราบเรียบต่อเนื่องจากจุดพิกัดที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน

การทดลองแรกเป็นการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงที่ใช้ดีซีมอเตอร์ตามตำแหน่งที่กำหนดตามแกน x และ y นั้นมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร ส่วนการเคลื่อนที่ตามแกน z จะมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ± 1 มิลลิเมตร ในการเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 100 มิลลิเมตร ในแต่ละแกน การทดลองที่สองเป็นการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงที่ใช้เอซีมอเตอร์ตามเส้นทางที่สร้างขึ้น จากจุดพิกัดที่กำหนดของผู้ใช้งาน โดยเปรียบเทียบคำสั่งของมอเตอร์กับค่าที่วัดได้จากเอน โค้ดเดอร์ของแต่ละก้าน โยง โดยวัดความเร็วเชิงมุมสูงสุดที่หุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงสามารถทำได้เป็น 901 องศา/วินาที ผลการทดลองพบว่าหุ่นยนต์แบบสามก้านสามารถทำงานซ้ำเดิมได้อย่างแม่นยำจากการทดสอบ 3 ครั้ง

คำสำคัญ: หุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง จลนศาสตร์ผกผัน พื้นที่การทำงาน การเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด

Thesis Title	Prototype of Industrial Delta Robot
Name – Surname	Mr. Channarong Choosui
Program	Mechanical Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Pradya Prempraneerach, Ph.D.
Academic Year	2016

ABSTRACT

In the first part of this thesis, a design and construction of a three-parallel-link structure Delta robot driven by three motors is presented. Inverse kinematics is used to design and to select the length of each link in order to obtain a suitable workspace in a horizontal plane and at a desired height. Then the working space of the Delta robot is simulated before constructing a real Delta robot.

Point-wise tracking and trajectory tracking controls of the end-effector of the Delta robot is used the inverse kinematics computation. The simulated movement visualization, developed by MATLAB/GUI, is emphasized on the user-friendly function for trajectory motion control of the end-effector of the Delta robot driven by DC motors. Smooth-and-continuous trajectory is interpolated from a specified position selected by the user.

The first experiment is an evaluation of an accuracy of the point-wise tracking control of the Delta robot using DC motors. The point-wise tracking errors along x and y axes and along z axis are at most ± 2 and ± 1 mm, respectively, for 100-mm motion control in each axis. The second experiment is an evaluation of the motion speed of the Delta robot using AC motors as the user's specified trajectory tracking in by comparing motor commands with measured encoders of each link. A maximum angular speed that the Delta robot can achieve is 901 degrees per second. The experiments found that the Delta robot can work in an accurate manner repeatedly in three experimental runs.

Keywords: Delta robot, inverse kinematics, workspace, trajectory tracking

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาตลอดจน ให้ความช่วยเหลือ แนะนำแนวทางในการทำวิจัย การแก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น รวมถึงการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำวิจัย ทำให้ผู้วิจัยทำงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนุศักดิ์ จานทอง, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์ และ อาจารย์ รัชต์เศรษฐ์ เศรษฐบุตร ผู้ทรงคุณวุฒิจากสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้สละเวลาในการให้คำแนะนำและปรึกษาตลอดจนให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล และบุคลากรทุกท่าน ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย ทำให้ผู้วิจัยทำงานได้สะดวกราบรื่น

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครูอาจารย์ ญาติพี่น้อง และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่คอยสนับสนุนให้กำลังใจ และให้การช่วยเหลือด้วยดีเสมอมาตลอดการศึกษาในครั้งนี้

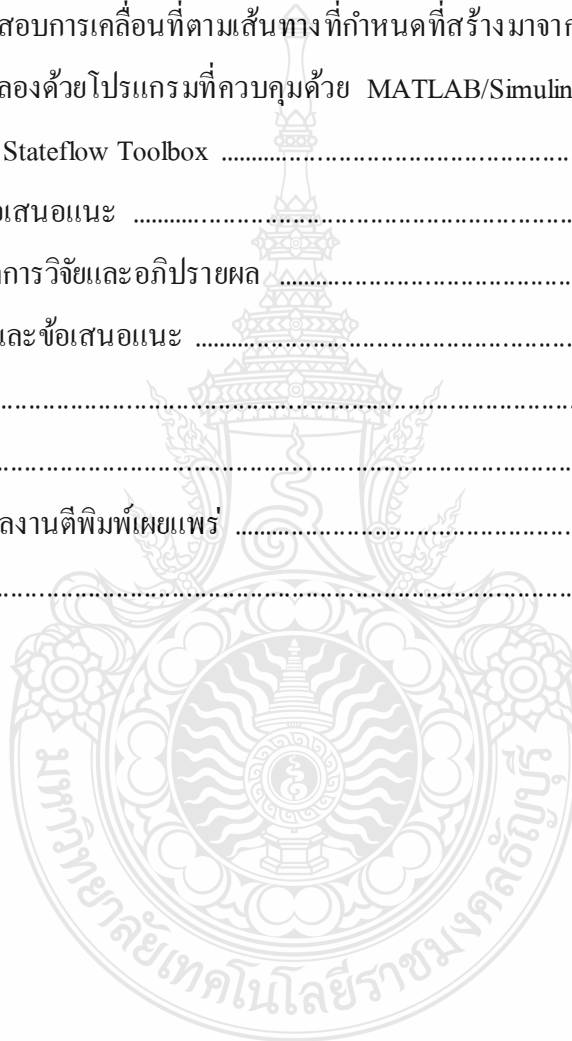
ชาณุณรงค์ ชุสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป	(9)
บทที่ 1 บทนำ	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	14
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	15
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	15
1.4 ขั้นตอนการวิจัย	16
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	16
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	17
2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	17
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	44
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	44
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย	46
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากทางด้านทฤษฎี	51
3.4 ขั้นตอนในการสร้างและขบวนการปฏิบัติงาน	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	61
4.1 การทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ในแกน x, y, z	61
4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดที่สร้างมาจากจุดพิกัด.....	64
4.3 การทดลองด้วยโปรแกรมที่ควบคุมด้วย MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox	69
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	87
5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล	87
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	88
บรรณานุกรม	90
ภาคผนวก	92
ภาคผนวกผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	93
ประวัติผู้เขียน	111



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	แผนการดำเนินงานวิจัย	45
ตารางที่ 3.2	ช่วงของพื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง X_i, Y_i, Z_i เมื่อให้ $L_1 = 200$ mm นั้นคงที่	53
ตารางที่ 3.3	ช่วงของพื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง X_i, Y_i, Z_i เมื่อให้ $L_2 = 500$ mm นั้นคงที่	55
ตารางที่ 4.1	ค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง ในแนวแกน x, y และ z ด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 mm	64
ตารางที่ 4.2	ค่าผลการทดสอบความเร็วในการยกก้าน โยงของแขนกลขึ้นการลง เมื่อใช้ค่าความต่างศักย์ที่แตกต่างกันทั้งหมด 6 ค่า.....	76
ตารางที่ 4.3	ค่าผลการทดสอบความเร็วไปยังตำแหน่งที่กำหนดด้วยเปรียบเทียบมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox	83
ตารางที่ 4.4	ค่าผลการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงในระนาบแนว นอนตามแกน x, y ด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 mm ตามแกน x เมื่อให้ตำแหน่ง ตามแกน y=0 ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox.....	85
ตารางที่ 4.5	ค่าผลการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงในระนาบแนว นอนตามแกน x, y ด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 mm ตามแกน y เมื่อให้ตำแหน่ง ตามแกน x=0 ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox.....	85

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	แขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงที่สร้างและพัฒนาด้วย Raymond clave	15
รูปที่ 2.1	หุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่สร้างขึ้น โดย Mauro Maya และคณะ	18
รูปที่ 2.2	หุ่นยนต์เคลื่อนที่ของ Siam Reprap ที่ใช้เป็นเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	19
รูปที่ 2.3	หุ่นยนต์เคลื่อนที่ของ David Raimundo Rivas-Lalaleo	20
รูปที่ 2.4	แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ของ Dominique Deblasis	21
รูปที่ 2.5	โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรง	22
รูปที่ 2.6	แสดงการกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง โดยใช้รีเลย์	23
รูปที่ 2.7	แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน	23
รูปที่ 2.8	แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรถับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง	24
รูปที่ 2.9	แสดงความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆและค่าความถี่ที่เกิดขึ้นของช่วงพัลส์ที่มีความถี่คงที่	25
รูปที่ 2.10	ระบบการทศรอบครั้งเดียว	26
รูปที่ 2.11	ระบบการทศรอบหลายครั้ง	26
รูปที่ 2.12	แสดงเอ็น โค้ดเดอร์แบบหมุน	27
รูปที่ 2.13	แสดงการสร้างพัลส์ของเอ็น โค้ดเดอร์แบบหมุน	28
รูปที่ 2.14	แสดงพัลส์ (Pulse) ของแผ่นเอ็น โค้ดเดอร์แบบสองเฟส	28
รูปที่ 2.15	ลักษณะพัลส์ (Pulse) ของเอ็น โค้ดเดอร์แบบหมุนทั้งสองเฟส	29
รูปที่ 2.16	แสดงความละเอียดของพัลส์เพื่อหาทิศทางการหมุนของมอเตอร์	29
รูปที่ 2.17	โปรแกรม MATLAB	31
รูปที่ 2.18	แสดงตำแหน่งของจุด p ในรูปของเวกเตอร์	32
รูปที่ 2.19	ตำแหน่งและทิศทางของปลายแขนกล	33
รูปที่ 2.20	โครงสร้างของหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่	34

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.21	กรอบอ้างอิงแบบเฉื่อยของแผ่นฐานของหุ่นยนต์แบบเคลด้าและ มุมของแต่ละ ก้าน โยงคู่ขนานด้านบน เมื่อเป็นมุมมองจากด้านบน	35
รูปที่ 2.22	กรอบอ้างอิงและตัวแปรต่างๆของแต่ละก้าน โยงของหุ่นยนต์แบบเคลด้า เมื่อเป็นมุมมองจากด้านหน้า (รูปซ้าย) และ เป็นมุมมองด้านข้าง (รูปขวา)	35
รูปที่ 2.23	เปรียบเทียบการประมาณค่าในช่วง ด้วยฟังก์ชันพหุนามกับแบบใช้ฟังก์ชันสไปไลน์ (Linear Splines)	38
รูปที่ 2.24	กราฟของการประมาณค่าด้วยคิวบิกสไปไลน์ (Cubic splines) เมื่อเทียบกับฟังก์ชัน $f(x)$ ที่ต้องการ	39
รูปที่ 2.25	กราฟของคิวบิกสไปไลน์ในรูปทั่วไป	39
รูปที่ 2.26	การหมุนรอบแกนหลัก x, y, z ในสามมิติเป็นมุม 45° รอบแกน y ในรูป (b), รอบแกน z ในรูป (c), รอบแกน x ในรูป (d)	41
รูปที่ 2.27	การหมุนแบบองศาองที่รอบแกน $X-Y-Z$	42
รูปที่ 2.28	การหมุนแบบมุมมองเสาออยเลอร์แบบ $Z-Y-X$	43
รูปที่ 2.29	การหมุนแบบมุมมองเสาออยเลอร์แบบ $X-Y-Z$	44
รูปที่ 3.1	มอเตอร์แบบดีซี Minertia (ซ้าย) และ มอเตอร์แบบเอซี Yaskawa (ขวา)	46
รูปที่ 3.2	การ์ดรับ-ส่งข้อมูล (Data acquisition) ของ NI	47
รูปที่ 3.3	ชุดขับมอเตอร์รุ่น Accelus card (ซ้าย) และ Accelnet Pael (ขวา)	48
รูปที่ 3.4	เอนโค้ดเดอร์ (Encoder)	48
รูปที่ 3.5	แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) แบบดีซี 24 V และมีกระแสตรง 10 A	49
รูปที่ 3.6	ลิมิตสวิตช์	49
รูปที่ 3.7	สัญลักษณ์ สวิตช์จำกัดระยะ (Limit switch)	50
รูปที่ 3.8	หุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงติดตั้งระบบต่างๆพร้อมในการทำงานเมื่อ ใช้มอเตอร์แบบ ดีซี (ซ้าย) และมอเตอร์แบบเอซี (ขวา)	50
รูปที่ 3.9	พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง เมื่อ $[L_1, L_2] = [200, 400](\text{mm})$..	52
รูปที่ 3.10	พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง เมื่อ $[L_1, L_2] = [200, 500](\text{mm})$..	52

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.11	พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง เมื่อ $[L_1, L_2] = [250, 400](\text{mm})$..54
รูปที่ 3.12	พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง เมื่อ $[L_1, L_2] = [250, 500](\text{mm})$..54
รูปที่ 3.13	แผ่นฐานยึดมอเตอร์หุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง 55
รูปที่ 3.14	ก้าน โยงด้านบน 56
รูปที่ 3.15	ก้าน โยงด้านล่าง 56
รูปที่ 3.16	ลูกปืนตาเหล็ก (Ball Joint) 57
รูปที่ 3.17	แผ่นฐานล่างที่ใช้ติดตั้งตัวควบคุมแบบใช้ลม 57
รูปที่ 3.18	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ทางไฟฟ้าของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง 58
รูปที่ 3.19	หน้าต่างโปรแกรม MATLAB/GUI ที่ออกแบบขึ้น 59
รูปที่ 3.20	หน้าต่างโปรแกรม MATLAB/Simulink และใช้ Stateflow Toolbox ที่ออกแบบขึ้น 60
รูปที่ 4.1	หน้าต่างโปรแกรม MATLAB/GUI เพื่อใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ แบบเคลด้า 62
รูปที่ 4.2	เมื่อสั่งคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวแกน x ในทิศทางโดยให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10 mm โดยโปรแกรม MATLAB/GUI 62
รูปที่ 4.3	เมื่อสั่งคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวแกน y ในทิศทางโดยให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10 mm โดยโปรแกรม MATLAB/GUI 63
รูปที่ 4.4	เมื่อสั่งคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวแกน z ในทิศทางโดยให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10 mm โดยโปรแกรม MATLAB/GUI 64
รูปที่ 4.5	เส้นทางการเคลื่อนที่ของกึ่งกลางของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ ตามจุดพิกัดที่ กำหนดโดยผู้ใช้งาน (กากบาทสีแดง) และ จุดพิกัดที่เพิ่มเติมระหว่างจุดที่ กำหนด (วงกลมสีน้ำเงิน) 65
รูปที่ 4.6	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามก้าน โยงจริงจากจุดเริ่มต้น (ซ้าย) และเส้นทางการ เคลื่อนที่ของจุด กึ่งกลางของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์สามก้าน โยง (ขวา) 66

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามก้าน โยงจริงเมื่อถึงจุดที่กำหนด (ซ้าย) และเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดกึ่งกลางของแผ่นปลายแขนการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์สามก้าน โยง (ขวา)	66
รูปที่ 4.8 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามก้าน โยงจริงเมื่อถึงจุดที่สุดท้าย (ซ้าย) และเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดกึ่งกลางของแผ่นปลายแขนการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์สามก้าน โยง (ขวา)	67
รูปที่ 4.9 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงตามเส้นทางที่กำหนด โดยพิจารณาค่าเอ็น โค้ดเดอร์ของมอเตอร์ทั้งสามตัวในช่วงหลังจากแตะ ลิ้มิต วิทช์ด้านบนแล้วก้าน โยงด้านบนเคลื่อนที่ลงมาขนานกับระนาบแนวนอน หรือจุดเริ่มต้นตั้งแต่วเวลา 0-2 วินาที และ เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นมายังตำแหน่งแรก ในช่วงเวลา 2-6 วินาที และ เคลื่อนที่จากตำแหน่งแรกไปยังตำแหน่งสอง ในช่วงเวลา 6-14 วินาทีจากการทดสอบสามครั้งและเปรียบเทียบกับคำสั่งจากโปรแกรม MATLAB/GUI	67
รูปที่ 4.10 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงตามเส้นทางที่กำหนดโดยพิจารณาค่าเอ็น โค้ดเดอร์ของมอเตอร์ทั้งสามตัวการเคลื่อนที่จากตำแหน่งสองไปยังตำแหน่งแรก ในช่วงเวลา 0-8.3 วินาที จากการทดสอบสามครั้งและเปรียบเทียบกับคำสั่งจากโปรแกรม MATLAB/GUI	68
รูปที่ 4.11 หน้าต่างโปรแกรม MATLAB /Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox	69
รูปที่ 4.12 ความเร็วในการขึ้นการลงของแขนสามก้าน โยงทั้งสามก้าน โยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 0.5 โวลต์คงที่ให้กับมอเตอร์แบบกระแสสลับทั้งสามตัว	70
รูปที่ 4.13 ความเร็วในการขึ้นการลงของแขนสามก้าน โยงทั้งสามก้าน โยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 1 โวลต์คงที่ให้กับมอเตอร์แบบกระแสสลับทั้งสาม	71
รูปที่ 4.14 ความเร็วในการขึ้นการลงของแขนสามก้าน โยงทั้งสามก้าน โยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 2 โวลต์คงที่ให้กับมอเตอร์แบบกระแสสลับทั้งสาม	72
รูปที่ 4.15 ความเร็วในการขึ้นการลงของแขนสามก้าน โยงทั้งสามก้าน โยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 3 โวลต์คงที่ให้กับมอเตอร์แบบกระแสสลับทั้งสาม	73

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.16	ความเร็วในการขึ้นการลงของแขนสามก้าน โยงทั้งสามก้าน โยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 4 โวลต์คงที่ให้กับมอเตอร์แบบกระแสสลับทั้งสาม	74
รูปที่ 4.17	ความเร็วในการขึ้นการลงของแขนสามก้าน โยงทั้งสามก้าน โยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 5 โวลต์คงที่ให้กับมอเตอร์แบบกระแสสลับทั้งสาม	75
รูปที่ 4.18	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จากลิมิตสวิตช์ด้านบนลงมายังลิมิตสวิตช์ด้านล่างของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงและการประมาณค่าด้วยสมการพหุนามอันดับ 2 และ อันดับ 3 เพื่อประมาณค่าที่เหมาะสม	76
รูปที่ 4.19	ความเร็วในการเคลื่อนที่จากลิมิตสวิตช์ด้านบนลงมายังลิมิตสวิตช์ด้านล่างของแขนสามก้าน โยงทั้งสามก้าน โยง และการประมาณค่าด้วยสมการพหุนามอันดับ 2 และ อันดับ 3 เพื่อประมาณค่าที่เหมาะสม	77
รูปที่ 4.20	ค่าเอ็นโค้ดเดอร์แสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เอชซี ทั้ง 3 ตัว เพื่อควบคุมให้แขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดในการทดสอบครั้งที่ 1	78
รูปที่ 4.21	ค่าเอ็นโค้ดเดอร์การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงทั้งสามตัว ไปยังตำแหน่งที่กำหนดในการทดสอบทดสอบครั้งที่ 1	79
รูปที่ 4.22	ค่าเอ็นโค้ดเดอร์แสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เอชซี ทั้ง 3 ตัว เพื่อควบคุมให้แขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนด ในการทดสอบครั้งที่ 2	80
รูปที่ 4.23	ค่าเอ็นโค้ดเดอร์การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงทั้งสามตัว ไปยังตำแหน่งที่กำหนด ในการทดสอบทดสอบครั้งที่ 2	81
รูปที่ 4.24	ค่าเอ็นโค้ดเดอร์แสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เอชซี ทั้ง 3 ตัว เพื่อควบคุมให้แขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนด ในการทดสอบครั้งที่ 3	82
รูปที่ 4.25	ค่าเอ็นโค้ดเดอร์การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงทั้งสามตัว ไปยังตำแหน่งที่กำหนด ในการทดสอบทดสอบครั้งที่ 3	83
รูปที่ 4.26	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง ในแนวแกน x,y ด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 mm โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox	84

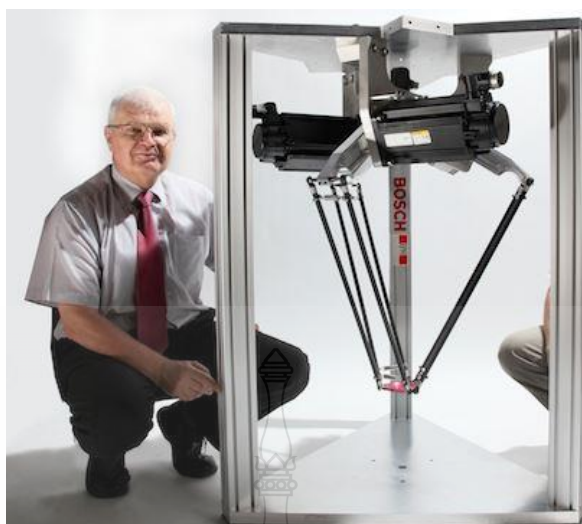
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันหุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทและมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก และได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งด้านอุตสาหกรรม การสำรวจ หรือด้านการแพทย์และอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานเพื่ออำนวยความสะดวกในการขนย้ายสิ่งของวัสดุ หรือแม้กระทั่งใช้ในการปฏิบัติงานแทนมนุษย์ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ออันตรายที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปปฏิบัติงานได้ ซึ่งในหลายประเทศได้มีการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์อย่างต่อเนื่อง โดยแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ หุ่นยนต์เคลื่อนที่ จะสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ โดยข้อดีของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ก็คือสามารถเคลื่อนที่ไปที่ต่างๆ ด้วยการใช้ล้อหรือขาได้ด้วยตัวเองตามที่กำหนดโดยผู้บังคับและหุ่นยนต์ชนิดที่ 2 คือ หุ่นยนต์แบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Robot) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นแขนกลเคลื่อนที่ในภายในพื้นที่การทำงานที่จำกัดเท่านั้น มีข้อจำกัดในเรื่องการทำงานซ้ำๆ เดิมตามที่กำหนดซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้ปัจจุบันยังคงมีการทำวิจัยและศึกษาอยู่เพื่อพัฒนาออกมาในรูปแบบต่างๆ เช่น หุ่นยนต์ 3D printer เป็นต้น โดยปัญหาที่สำคัญสำหรับหุ่นยนต์ที่อยู่กับที่ก็คือการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งต่างๆ และการควบคุมให้เคลื่อนที่ไปจุดต่างๆ แบบอัตโนมัติ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปปฏิบัติงานยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการได้

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการวิจัยในด้านนี้ โดยจะนำเสนอการออกแบบและสร้างแขนหุ่นยนต์แบบเดลต้า เพื่อให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ตำแหน่งต่างๆ แบบอัตโนมัติ แขนหุ่นยนต์แบบเดลต้า (Delta robot) ได้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดยเรมอด คลาเวล (Raymond clavel) ได้ศึกษาและสร้างต้นแบบออกมาในปี 1980 เป็นหุ่นยนต์แบบขนาน โดยแขนกลของเรมอด คลาเวล ได้พัฒนาคือหุ่นยนต์ที่มีองศาอิสระ (Degree of freedoms) โดยมีสามองศาในแนวเลื่อน (Translation) และ หนึ่งองศาอิสระในการหมุน (Rotation) แขนหุ่นยนต์ที่ได้พัฒนานี้ทำให้ เรมอด คลาเวล ได้รับรางวัล Golden Robot ในปี 1990 ต่อจากนั้นหุ่นยนต์ได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุกล่องเป็นครั้งแรก เนื่องจากคุณสมบัติของแขนกลแบบขนาน ที่มีความแม่นยำและสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูง นอกจากนี้บวกกับความที่เดลต้าเป็นหุ่นยนต์ที่มีความสมมาตรระหว่างแขนทั้งสามจึงส่งผลให้หุ่นยนต์มีความสะดวกที่จะใช้งาน [1]



รูปที่ 1.1 แขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงที่สร้างและพัฒนาด้วย Raymond clavel

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการคำนวณหาพื้นที่ในการใช้งานของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงด้วยสมการจลศาสตร์

1.2.2 เพื่อศึกษาการออกแบบแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS และการสร้างแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงจริง

1.2.3 เพื่อศึกษาและออกแบบโปรแกรมการควบคุมแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงด้วยโปรแกรม MATLAB/GUI และ MATLAB/Simulink และใช้ Stateflow Toolbox เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของปลายแขนของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงในทิศทางแกน X แกน Y และแกน Z

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 กำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยสมการจลศาสตร์ของแขนหุ่นยนต์แบบเคลต้าเพื่อใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ด้วยโปรแกรม MATLAB

1.3.2 ใช้เซอร์โวมอเตอร์ของเอชียaskawa 100 วัตต์ จำนวน 3 ตัว เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนทั้งสามของแขนหุ่นยนต์

1.3.3 สามารถวัดองศาการหมุนของก้าน โยงด้านบนด้วยเอ็นโค้ดเดอร์ 36000 พัลส์และป้อนกลับตำแหน่งที่กำหนดไปยัง การ์ดรับ-ส่งข้อมูล ที่ใช้เป็นตัวควบคุมกลางที่เชื่อมต่อกับ

คอมพิวเตอร์สามารถสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลตามจุดพิกัดที่กำหนดได้ในโปรแกรม MATLAB

1.3.4 สามารถควบคุมตำแหน่งปลายแขนกลได้โดยมีความแม่นยำไม่เกิน ± 20 mm

1.3.5 การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบเคลด้าอยู่ภายในพื้นที่ในแนวระนาบที่มีจำกัดเท่ากับ 300 x 300 mm

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 วิเคราะห์โมเดลทางคณิตศาสตร์ของแขนหุ่นยนต์แบบเคลด้าและออกแบบตัวควบคุมโดยใช้สมการจลนศาสตร์

1.4.3 ทดสอบการจำลองการทำงานของแขนหุ่นยนต์ด้วยโปรแกรม MATLAB

1.4.4 ประกอบชิ้นส่วนของแขนหุ่นยนต์แบบเคลด้าและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆเข้ากับแขนหุ่นยนต์

1.4.5 ประดิษฐ์โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์จริง

1.4.6 ทดสอบการทำงานการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดของแขนหุ่นยนต์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ผ่านคอมพิวเตอร์

1.4.7 วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองจริงและเก็บผลการทดลอง

1.4.8 สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการทำงานของ ดีซีมอเตอร์ เอซีมอเตอร์บอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

1.5.2 ได้ทราบถึงวิธีการหลักการควบคุมและการแก้ปัญหาในระบบอัตโนมัติของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง

1.5.3 ได้พัฒนาทักษะในการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สำหรับควบคุมแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงไปตามจุดที่กำหนดต่างๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

หุ่นยนต์ (Robotics or Robot) เป็นประดิษฐ์กรรมอัจฉริยะทางวิทยาศาสตร์ เป็นนวัตกรรมที่เกิดขึ้นโดยฝีมือมนุษย์ หุ่นยนต์มีตั้งแต่รูปแบบที่สร้างขึ้นมาให้ทำงานง่าย ๆ ไปจนถึงรูปแบบที่ทำงานได้ซับซ้อน ในปัจจุบันหุ่นยนต์ได้เข้ามามีส่วนร่วมในชีวิตประจำวันของมนุษย์ไม่ว่าทางตรงหรือทางอ้อมเป็นอย่างมาก

ส่วนประกอบของหุ่นยนต์ที่สำคัญ มีอยู่ 5 ส่วนได้แก่

2.1.1 โครงสร้างของหุ่นยนต์

2.1.2 ระบบกลไกการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์

2.1.3 ระบบเซนเซอร์ใช้รับข้อมูลและส่งไปให้สมองกลที่ทำการประมวลผลเพื่อที่จะสั่งการให้หุ่นยนต์ทำงานต่อไป

2.1.4 แหล่งจ่ายพลังงานให้ระบบทั้งระบบกลไกการเคลื่อนไหวระบบเซนเซอร์และระบบสมองกล

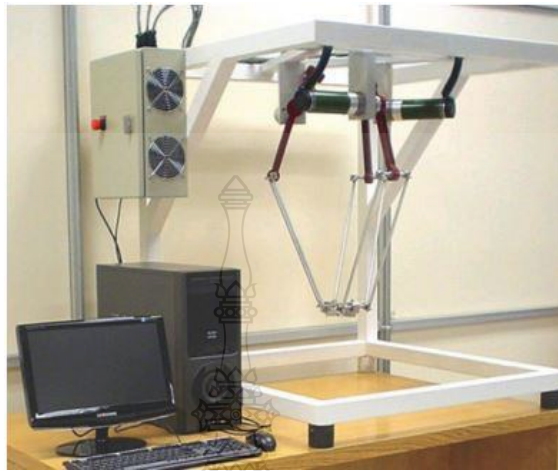
2.1.5 ระบบสมองกลหรือหน่วยประมวลผลกลางทำหน้าที่วิเคราะห์และประมวลผลที่ถูกส่งมาจากตัวเซนเซอร์ตามจุดต่าง ๆ เพื่อให้หุ่นยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ที่กล่าวมาเป็นองค์ประกอบขั้นพื้นฐาน ที่สำคัญที่หุ่นยนต์ทุกตัวต้องมียังมีนอกเหนือจากที่กล่าวมาอีกมากเพื่อนำไปใช้ในงานต่าง ๆ ตามแต่ละลักษณะของงานหุ่นยนต์ในอนาคตอาจจะไปถึงมีความฉลาดและการมีความคิดเป็นของมันเอง

การสร้างหุ่นยนต์เป็นการสร้างตามลักษณะที่ต้องการใช้งานหุ่นยนต์แต่ละแบบอาจจะมี ความแตกต่างกันหุ่นยนต์แต่ละชนิดจะเคลื่อนที่ไปตามโครงสร้างที่เป็นไปตามกฎของฟิสิกส์คือมีการเคลื่อนไหวตามโครงสร้างที่ออกแบบโดยตัวขับให้หุ่นยนต์ได้เคลื่อนไหว เช่นมอเตอร์ มีระบบเซนเซอร์ตรวจจับการทำงาน และมีสมองกลคอยควบคุมการทำงานของชิ้นส่วนทั้งหมด จุดประสงค์หลักในการสร้างหุ่นยนต์ขึ้นมานั้นต้องการให้หุ่นยนต์มีการทำงานแทนมนุษย์

Mauro Maya และคณะ [2] ได้ทำการออกแบบตัวแขนหุ่นยนต์เดลต้า (Delta Robot) เพื่อทำการศึกษาการทำงานและการประยุกต์ใช้งานในการบรรจุผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโดยใช้มอเตอร์ DC Motor และใช้โปรแกรม MATLAB ในการควบคุม ข้อดีของหุ่นยนต์เดลต้าของ Maya

คือมีพื้นที่การทำงานกว้าง เพราะได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่การทำงานไว้ก่อนแล้ว แต่ข้อเสียของหุ่นยนต์เดลต้าแบบนี้คือมีความแข็งแรงต่ำเพราะมีลักษณะเป็นโครงสร้างยื่นยาวออกไปจากฐาน



รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์เดลต้าที่สร้างขึ้น โดย Mauro Maya และคณะ [2]

ทางบริษัท สยามเรปเรป จำกัด [3] ได้ทำการออกแบบ Delta Robot เพื่อประยุกต์ใช้งานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer) เป็นเครื่องเอาไว้สำหรับขึ้นรูปโมเดลจากโปรแกรม 3 มิติ ซึ่งใช้การฉีดพลาสติกเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน 3 มิติ เครื่องพิมพ์ 3 มิติของทางสยาม-เรปเรป เป็นแขนหุ่นยนต์แบบเดลต้าที่มีการเคลื่อนที่ของก้าน โยงด้านบนเป็นแบบเลื่อนในแนวตั้ง ทำให้สามารถพิมพ์งานที่มีขนาดสูงได้ ซึ่งประยุกต์ใช้กับเครื่องพิมพ์ 3 มิติโดยทั่วไป [13] ตัวเครื่องพิมพ์ถูกผลิตและออกแบบโดยคนไทย ชิ้นส่วนตัวเครื่องถูกผลิตขึ้นจากอลูมิเนียมอัลลอย ซึ่งมีน้ำหนักเบาแต่แข็งแรงทำให้เวลาพิมพ์งานเครื่องไม่สั่นไหวฉีดทำจากอลูมิเนียมสแตนเลสและทองเหลืองทำให้ควบคุมอุณหภูมิได้คงที่และแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถทำความร้อนได้อย่างรวดเร็ว

คุณสมบัติเครื่องพิมพ์รุ่น BASIC

- เป็นเครื่องสำหรับผู้ที่ต้องการเริ่มต้นใช้งานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพราะสามารถพิมพ์พลาสติกได้ประเภทเดียวคือ PLA
- พื้นที่การพิมพ์งานอยู่ภายในเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลม 16 เซนติเมตร สูง 24 เซนติเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีด 0.5 มิลลิเมตร หัวฉีดสามารถเปลี่ยนขนาดและถอดออกมาทำความสะอาดได้

- ความละเอียดสูงสุดที่พิมพ์งานต่อชั้น 0.1 มิลลิเมตร
- ความละเอียดในการเคลื่อนที่ในแนวแกน X Y และ Z อยู่ที่ 10 ไมครอน
- ความเร็วเฉลี่ยในการพิมพ์งาน 70 มิลลิเมตร/วินาที



รูปที่ 2.2 หุ่นยนต์เคลตต้าของ Siam Reprap ที่ใช้เป็นเครื่องพิมพ์ 3 มิติ [3]

David Raimundo Rivas-Lalaleo และคณะ [4] ได้ทำการออกแบบตัวหุ่นยนต์เคลตต้าเป็นหุ่นยนต์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบขนาน โดยมีโครงสร้างข้อต่อจากต้นกำลังแต่ละตัวไปยังปลายแขนเป็นโครงสร้างแบบปิดเป็นวงรอบข้อดีของแขนหุ่นยนต์เคลตต้ามีความเร็วในการทำงานสูงเมื่อเปรียบเทียบกับแขนหุ่นยนต์แบบอื่นๆที่มีและมีประสิทธิภาพในการทำงานและการเคลื่อนไหวย่างอิสระได้ดีกว่าเพราะเป็นโครงสร้างแบบปิดมีความเที่ยงตรง (precision) สูง ข้อเสียของแขนหุ่นยนต์แบบเคลตต้าคือปลายแขนโดยทั่วไปออกแบบให้มีมวลน้อยและชิ้นงานที่ใช้แขนหุ่นยนต์แบบเคลตต้าก็ต้องมีมวลที่น้อยด้วยเพื่อป้องกันการสั่น เมื่อต้องการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและโดยทั่วไปจะมีพื้นที่การทำงานแคบอีกทั้งยังมีความซับซ้อนในการคำนวณการควบคุม



รูปที่ 2.3 หุ่นยนต์เดลต้าของ David Raimundo Rivas-Lalaleo [4]

Olsson, A. [14] ได้อธิบายถึงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์แบบเดลต้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์และไครฟ์ซึ่งพัฒนาโดย ELAU GmbH โดยในแบบจำลองของหุ่นยนต์ Delta-3 นั้นประกอบด้วย การคำนวณจลนศาสตร์ที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามแขนและการเคลื่อนที่ของแผ่นปลายแขนที่สอดคล้องกัน และการศึกษาด้านพลวัตของหุ่นยนต์ที่มีอันตรกิริยากันเมื่อมีการเคลื่อนที่ของสามแขน ที่ได้สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และนำผลของการจำลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ได้จากหุ่นยนต์ Delta-3 ที่ขับเคลื่อนด้วยอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ของ ELAU GmbH

Park, S.B. et al. [15] ได้นำเสนอการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์อย่างง่ายของแขนกลแบบขนานสามก้านโยง ที่คำนวณโดยใช้สมการลากรางจ์เพื่อหาสมการพลวัตแบบผกผันที่จะนำมาใช้สร้างระบบควบคุมแรงบิดของแขนกลที่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง—พร้อมการคำนวณจลนศาสตร์แบบผกผันที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า 0.04 ms และที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับแขนกลแบบขนานทางเชิงพาณิชย์ที่มีความเร็วสูงได้ แต่ทว่าแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงมีความสมมาตรระหว่างแขนทั้งสาม จึงส่งผลให้มีพื้นที่การทำงานที่จำกัด

Dominique Deblaise [16] ได้ทำการออกแบบตัวหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง เพื่อทำการศึกษางานและการประยุกต์ใช้งานในการบรรจุผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยใช้มอเตอร์แบบดีซีเป็นต้นกำลังและใช้โปรแกรม MATLAB ในการควบคุมการทำงาน ข้อดีของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง มีพื้นที่การทำงานกว้าง เพราะข้อต่อๆกันออกไปเรื่อยๆ และข้อเสียของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงความแข็งแรงต่ำ เพราะมีลักษณะเป็นโครงสร้างยื่นยาวออกไปจากฐาน



รูปที่ 2.4 แขนหุ่นยนต์เคลด้าของ Dominique Deblasis [16]

Liu, N. and Wu, J. [17] ได้ออกแบบและสร้างแขนกลแบบไฮบริดที่ผสมระหว่างแขนกลแบบเคลด้าที่มี 3 องศาอิสระ และข้อมือแบบอนุกรมที่มีอีก 3 องศาอิสระ ที่เรียกว่า Delta-RST ซึ่งจะช่วยให้ผสมผสานมีข้อดีของแขนกลทั้งสองแบบเข้าด้วยกัน คือ สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วพร้อมทั้งสามารถเข้าถึงพื้นที่การใช้งานในองศาต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง สำหรับหุ่นยนต์แบบเคลด้าการวิเคราะห์เมทริกซ์จาโคเบียนแบบผกผันและแบบตรงจะช่วยบ่งชี้รูปแบบการเกิดค่าเอกพจน์ในการเคลื่อนที่ในบางรูปแบบ

Lopez, M. et al. [18] ได้ใช้การวิเคราะห์ทางจลนศาสตร์ด้วยการหาค่าดีเทอร์มิแนนต์ของจาโคเบียนของหุ่นยนต์แบบเคลด้าเท่ากับศูนย์ จะได้รูปแบบท่าทางที่ไม่พึงประสงค์เมื่อเมทริกซ์จาโคเบียนนั้นเป็นเอกพจน์ นอกจากนั้นได้เสนอการวิเคราะห์ด้วยเมทริกซ์จาโคเบียนแบบชั้นกลาง ที่มีความซับซ้อนในการคำนวณที่น้อยลง แต่ยังสามารถช่วยบ่งบอกถึงการเกิดรูปแบบเอกพจน์ได้ด้วย

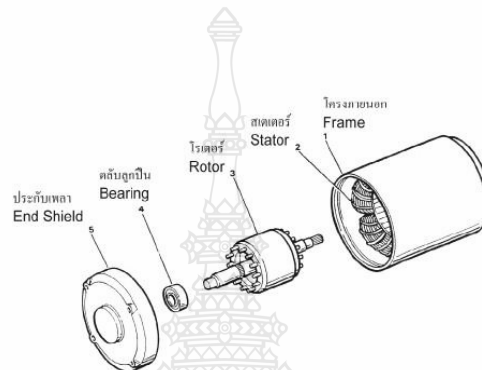
โปรแกรม Graphic User Interface (GUI) สำหรับควบคุมแขนกลแบบขนาน หรือแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงที่มีฟังก์ชันการใช้งานที่สามารถเรียนรู้ได้ง่าย เพื่อใช้ในการควบคุมและกำหนดตำแหน่งต่างๆ ที่ต้องการให้ปลายแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางเป้าหมายแบบอัตโนมัติ เนื่องจากคุณสมบัติของแขนกลแบบขนาน ที่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงและในขณะเดียวกันก็มีความแม่นยำมากด้วย [19]

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้จะต้องพิจารณาความรู้และทฤษฎีในเรื่องต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1 มอเตอร์กระแสตรง (DC motor) [5]

มอเตอร์กระแสตรงจะมีหลักการทำงานโดยวิธีการผ่านกระแสให้กับขดลวดในสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็ก โดยส่วนของแรงนี้จะขึ้นอยู่กับกระแสและกำลังของสนามแม่เหล็ก



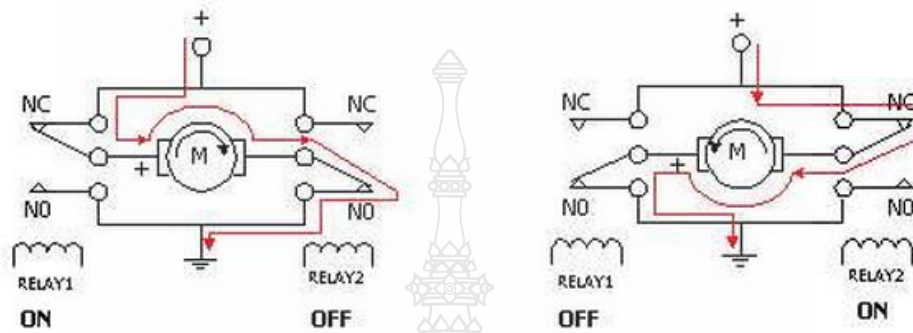
รูปที่ 2.5 โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรง [5]

จากในรูปที่ 2.5 ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กจะเกิดจากแท่งแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ 2 ชิ้นที่ขึ้นรูปเป็นแบบโค้งยึดติดกับตัวถัง ได้พอดีเพื่อที่จะให้เส้นแรงแม่เหล็กวิ่งเข้าสู่ใจกลางของมอเตอร์ได้ ดังนั้นความเข้มของแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับขนาดความหนาของแม่เหล็กด้วยซึ่งส่งผลให้ฟลักซ์แม่เหล็กวิ่งไปบนตัวถังโลหะกระแสไฟฟ้าในขดลวดที่พันกับขั้วโรเตอร์ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และต้านกับสนามแม่เหล็กถาวร จึงเกิดเป็นแรงบิดเพื่อที่จะหมุนขั้วโรเตอร์ ให้ไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่มีแรงมากกว่า กระแสก็จะไหลผ่านไปยังขั้วโรเตอร์ โดยผ่านแปรงถ่าน ซึ่งจะสัมผัสกับแหวนตัวนำในขั้วโรเตอร์ และแหวนคอมมิวเตเตอร์ ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 3 เซกเมนต์เพื่อที่จะทำหน้าที่นำกระแสเข้าขดลวดนั่นเอง

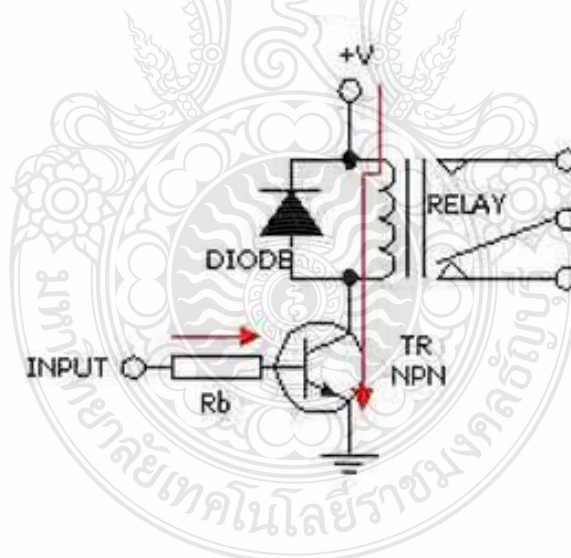
2.2.1.1 การขับและกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง

ในการใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวควบคุมการหมุนและทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงนั้นเราจะต้องมีส่วนของวงจรที่เรียกว่าวงจรขับมอเตอร์ (Driver) ในส่วนของวงจรกลับทิศทางของมอเตอร์นั้น สามารถที่จะใช้รีเลย์ต่อวงจร สวิตช์เพื่อกลับทิศทางของขั้วไฟกระแสตรง หรืออาจใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เป็นวงจรขับกำลังเช่น ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต แล้วแต่วิธีที่เราจะเลือกใช้งาน จากรูปเป็นการใช้รีเลย์ควบคุมการเปลี่ยนทิศทางของการหมุนของมอเตอร์ โดยการควบคุม

การปิด - เปิดที่รีเลย์ 2 ตัว ซึ่งจะทำหน้าที่กลับทิศทางของขั้วไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ โดยการสลับการทำงานของรีเลย์ เช่น ให้รีเลย์ตัวที่ 1 ทำงาน (On) และรีเลย์ตัวที่ 2 หยุดทำงาน (Off) จะทำให้มอเตอร์หมุนไปทางซ้าย และในทำนองเดียวกันถ้าหากรีเลย์ตัวที่ 1 หยุดทำงาน (Off) และรีเลย์ตัวที่ 2 ทำงาน (On) ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา



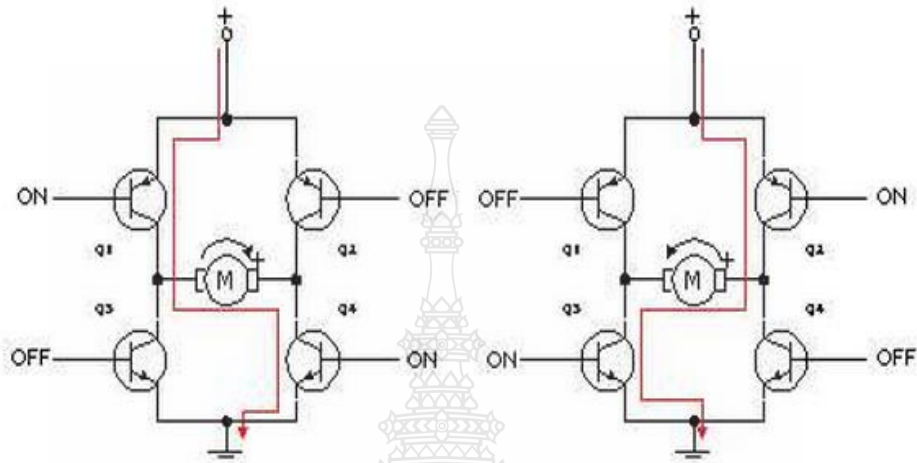
รูปที่ 2.6 แสดงการกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์ [5]



รูปที่ 2.7 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน [5]

จากรูปที่ 2.7 เป็นวงจรขับรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายกระแส ด้วยเหตุผลเพราะไม่สามารถจะใช้ขาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ป้อนกระแสไฟที่ขดลวดของรีเลย์โดยตรงได้ เนื่องจากว่ากระแสที่จ่ายออกมาจากขาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าน้อยเกินไป

ดังนั้นเราจึงต้องมีส่วนของวงจรถานซิสเตอร์เพื่อที่จะทำการขยายกระแสให้เพียงพอในการป้อนให้กับขดลวดของรีเลย์ ส่วนไดโอดนำมาต่อไว้สำหรับป้องกันแรงดันย้อนกลับที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในขณะที่เกิดการขยับตัว ซึ่งอาจจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้



รูปที่ 2.8 แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรถับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง [5]

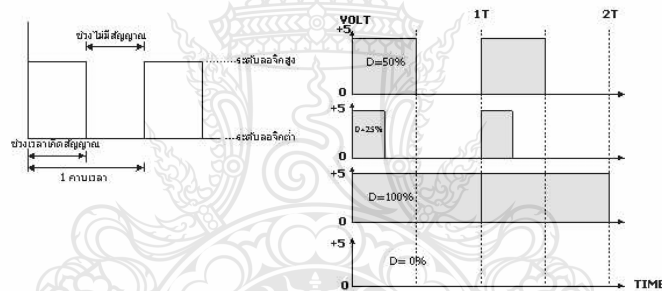
จากรูปที่ 2.8 เป็นวงจรถับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์กำลัง 4 ตัวที่ทำหน้าที่ขับ และควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ถ้าหากกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 อยู่ในสภาวะการทำงาน (Active) กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์จากซ้ายไปขวา โดยผ่านมอเตอร์กระแสตรงทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา ในทำนองเดียวกันถ้าหากเราทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 อยู่ในสภาวะการทำงาน (Active) กระแสไฟฟ้าก็จะไหลจากทางขวาไปทางซ้ายซึ่งจะส่งผลให้มอเตอร์กลับทิศทางหมุนจากทางขวาไปทางซ้าย

2.2.1.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจจะใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐานทั่วไปเช่นการควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าโดยต่ออนุกรมกับมอเตอร์ หรือใช้วิธีการการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าวถึงแม้ว่าจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ แต่ที่ความเร็วต่ำจะส่งผลให้แรงบิดต่ำไปด้วย ดังนั้นเราจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วงๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง ซึ่งเราเรียกว่าวิธีการของการมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ (PWM หรือ Pulse Width Modulation)

2.2.1.3 การมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ (PWM)

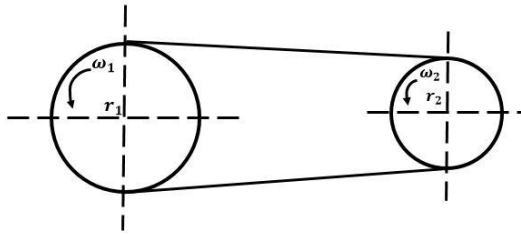
การมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ (PWM หรือ Pulse Width Modulation) จะเป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วน และความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของดีวตี้ไซเคิล (Duty cycle) นั้นเอง ซึ่งค่าของดีวตี้ไซเคิลคือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากค่าดีวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 50% ก็หมายถึงใน 1 วัฏจักรสัญญาณพัลส์จะมีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่ง ดังรูปที่ 2.8 และในทำนองเดียวกันถ้าหากค่าดีวตี้ไซเคิลมีค่ามาก หมายความว่าความกว้างของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าดีวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 100% ก็หมายความว่า จะไม่มีสถานะลอจิกต่ำเลย ซึ่งค่าดีวตี้ไซเคิลสามารถ จะหาได้จากค่าความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ค่าดีวตี้ไซเคิล} = (\text{ช่วงของสัญญาณพัลส์} / \text{คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ}) \times 100\%$$


รูปที่ 2.9 แสดงความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆ และค่าดีวตี้ไซเคิล ของช่วงพัลส์ที่มีความถี่คงที่ [5]

2.2.1.4 การคำนวณระบบการทรอปเกียร์ [6]

ในการหาอัตราทดความเร็วเชิงมุมของเกียร์หรือลอคสำหรับระบบทรอปคร้งเดียว นั้นหาได้โดยสมมติให้ทางเพลาชับหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω_1 รอบต่อวินาที เพลตามหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω_2 รอบต่อวินาที ขนาดรัศมีของเกียร์หรือลอคสำหรับเพลามีความเร็รรอบ ω_1 และ ω_2 คือ r_1 และ r_2 โดยให้ v คือความเร็วเชิงเส้นของสายพานหรือโซ่ ดังในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ระบบการทอรอบครั้งเดียว [6]

จากรูป 2.10

$$v = \omega \times r$$

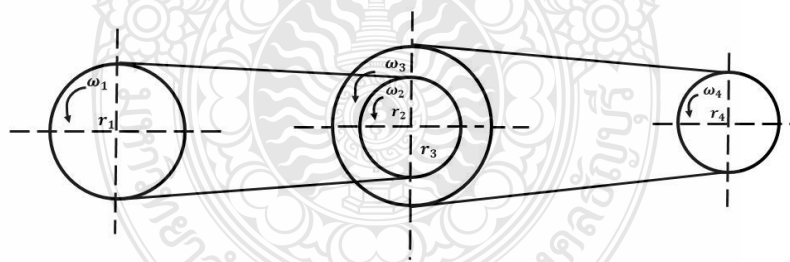
$$v_1 = v_2$$

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$$

ดังนั้นอัตราการทอรอบแบบครั้งเดียวจะมีอัตราส่วนความเร็วเชิงมุม $(I_1) = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}$

ระบบทอรอบหลายครั้ง

ในการหาอัตราการทอรอบก็ทำนองเดียวกับระบบทอรอบครั้งเดียว ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11 ระบบการทอรอบหลายครั้ง [6]

จากรูปที่ 2.11

$$v = \omega \times r$$

$$v_1 = v_2$$

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$$

แต่

$$\omega_2 = \omega_3$$

เพราะฉะนั้น

$$\omega_4 = \omega_3 r_3 / r_4 = \omega_2 \omega_3 r_3 / r_4 = \omega_1 r_1 r_3 / (r_2 r_4)$$

อัตราทดรอบแบบหลายครั้งจะมีอัตราส่วนความเร็วเชิงมุม (I) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$I_1 = \omega_1 / \omega_2$$

$$I_2 = \omega_3 / \omega_4$$

$$I = I_1 \times I_2 = (\omega_1 / \omega_2) \times (\omega_3 / \omega_4)$$

เมื่อ $\omega_1 = \omega_2$

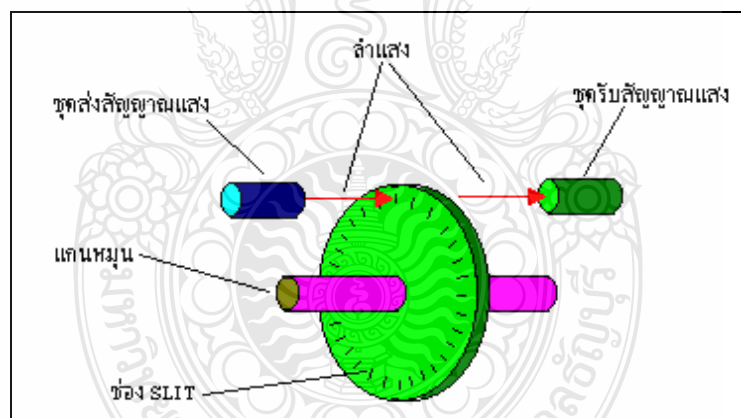
$$I = \omega_1 / \omega_4$$

$$I = (\omega_2 r_2 / r_1) / (\omega_3 r_3 / r_4)$$

$$I = r_2 r_4 / r_1 r_3$$

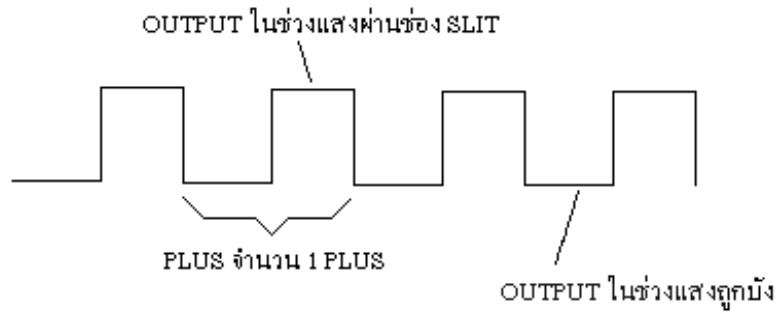
2.2.2 เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) [7]

เอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุน (Rotary encoder) มีลักษณะเป็นแผ่นกลมมีแกนอยู่ตรงกลางและที่แผ่นกลมจะมีช่องเล็กที่แสงสามารถส่องผ่านได้เป็นจำนวนมากเราเรียกช่องนี้ว่า ช่องโปร่งแสง (Slit) ซึ่งที่ด้านหนึ่งของแผ่นกลมนี้จะมีตัวส่งแสงอินฟราเรดไปยังตัวรับสัญญาณแสงอินฟราเรด ซึ่งจะอยู่ในด้านตรงกันข้าม ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุน [7]

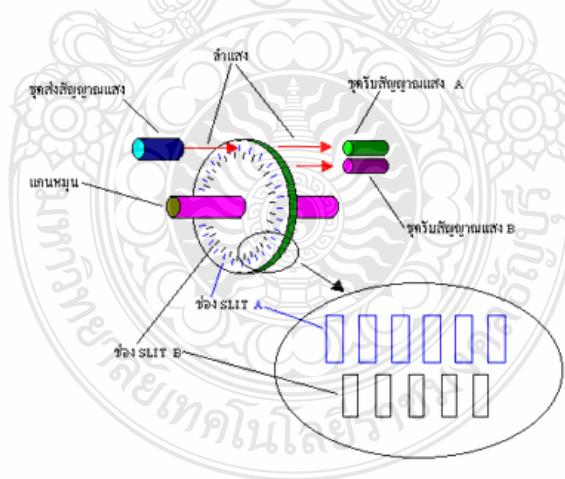
เมื่อหมุนแกนหมุนทำให้แผ่นกลมหมุนไปตัดลำแสงอินฟราเรด ดังนั้นชุดรับแสงอินฟราเรดจึงมีแสงมากระทบเป็นช่วงๆ (เป็นพัลส์) ตามจังหวะที่แสงผ่านช่องว่างจึงทำให้สัญญาณส่งออกของชุดรับแสงอินฟราเรดมีลักษณะเป็นพัลส์ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงการสร้างพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุน [7]

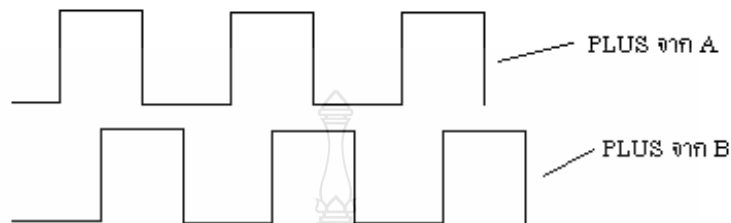
จำนวนพัลส์ที่ได้ออกมา นี้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามอเตอร์หมุนไปกี่องศา หรือกี่รอบ ซึ่งเราสามารถคำนวณได้จากสูตร จำนวนรอบที่มอเตอร์หมุนไปเท่ากับจำนวนพัลส์ ค่าความละเอียดของเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุน (Rotary encoder) นั้นนิยมใช้หน่วยเป็น pulse / round หรือ ppr เช่น 1000 ppr ก็หมายถึงว่าเมื่อมอเตอร์หมุนไป 1 รอบจะมีพัลส์ออกมา 1000 พัลส์ เป็นต้น

ส่วนในเรื่องที่ว่าเราจะทราบได้อย่างไรว่ามอเตอร์หมุนไปทิศทางใดนั้น ส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีสร้างช่องโปร่งแสงเป็น 2 ชุดเหลื่อมกัน 90 องศา ดังรูปที่ 2.14



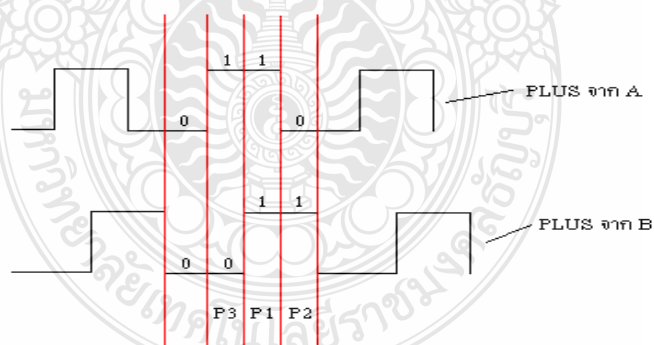
รูปที่ 2.14 แสดงพัลส์ (Pulse) ของแผ่นเอ็นโค้ดเดอร์แบบสองเฟส [7]

ดังนั้นสัญญาณส่งออกจากมอเตอร์จึงมี 2 ชุด คือ A และ B โดยที่สัญญาณพัลส์จาก A และ B ก็จะเหลื่อมกัน 90 องศา ด้วยอาจกล่าวได้ว่าสัญญาณส่งออกจากมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 2 บิต คือหนึ่งบิต มาจาก A และอีกหนึ่งบิต มาจาก B ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะพัลส์ (Pulse) ของเอ็น โค้ดเดอร์แบบหมุนทั้งสองเฟส [7]

ถ้าเราให้พัลส์ในช่วง High มีค่าเป็น 1 และ พัลส์ในช่วง Low มีค่าเป็น 0 เราสามารถใช้ค่าดังกล่าวมาคำนวณหาทิศทางที่มอเตอร์หมุนได้โดยใช้วิธีการทางดิจิทัลคือการนำค่าที่อ่านได้มาทำการ exclusive OR (XOR) กัน โดยการนำบิตทางขวาของค่าเก่ามา (XOR) กับบิตทางซ้ายของค่าใหม่ที่อ่านได้ในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.16 แสดงความละเอียดของพัลส์เพื่อหาทิศทางการหมุนของมอเตอร์ [7]

พัลส์ที่ได้จากเอ็น โค้ดเดอร์แบบหมุนจะถูกนำไปเชื่อมต่อเข้ากับวงจรนับพัลส์หรือวงจรคำนวณเพื่อที่จะตรวจสอบว่ามอเตอร์หมุนไปทิศทางใดและอยู่ที่ตำแหน่งใด ตามวิธีที่ได้กล่าวไว้

ข้างต้นโดยส่วนมากแล้วมอเตอร์ที่ใช้เอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนนี้จะมีจำนวนรอบของการหมุนที่ไม่จำกัดโดยจะหมุนไปกี่รอบก็ได้ขึ้นอยู่กับความสามารถของวงจรรีบพัลส์และวงจรรำนวน ดังนั้นเราอาจจะกล่าวได้ว่าเอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้งานอยู่โดยทั่วไปนั้นมีอยู่ 2 แบบใหญ่ๆ ก็เป็นเอ็นโค้ดเดอร์แบบที่มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Incremental encoder) และเอ็นโค้ดเดอร์แบบที่มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างสมบูรณ์ (Absolute encoder) แบบที่มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องจะเป็นเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุน ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่าขนาดของค่าส่งออกของเอ็นโค้ดเดอร์แบบนี้ขึ้นอยู่กับกรอบการออกแบบวงจรรีบพัลส์และวงจรรำนวน เอ็นโค้ดเดอร์ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างสมบูรณ์ (Absolute encoder) ที่พบเห็นส่วนใหญ่จะเป็นแบบ (Potentiometer) แต่ในบางครั้งก็อาจเป็นแบบหมุน (Rotary encoder) ก็ได้แต่จะมีการออกแบบลักษณะของช่องว่างที่ต่างไปจากเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนที่ได้ไว้ในตอนต้นโดยอาจจะมีการส่งออก ตั้งแต่ 4 บิต ถึง 16 บิตในแง่ของการใช้งานแล้วมอเตอร์ที่มีเอ็นโค้ดเดอร์แบบที่มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Incremental encoder) นั้นจะใช้งานยุ่งยากกว่ามอเตอร์ที่มีเอ็นโค้ดเดอร์แบบที่มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างสมบูรณ์ (Absolute encoder) เพราะค่าส่งออกของเอ็นโค้ดเดอร์แบบที่มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Incremental encoder) นั้นไม่สามารถเชื่อมต่อกับชุดควบคุมมอเตอร์คอลโทรลเลอร์ได้ทันทีโดยต้องต่อผ่านวงจรรีบพัลส์และวงจรรำนวนที่ยุ่งยากซับซ้อนก่อน จึงจะต่อเข้ากับไมโครคอลโทรลเลอร์ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเรามีไมโครโปรเซสเซอร์ เช่น ไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล PIC และ AVR เป็นต้น ดังนั้นเราจึงสามารถนำมาใช้แทนวงจรรีบพัลส์และวงจรรำนวนได้จึงทำให้การใช้งานมีความง่ายขึ้น

2.2.3 ชุดขับมอเตอร์ (Motor & Drive) [8]

เซอร์โวมอเตอร์ และไดร์ฟ (Servo Motor & Drive) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่ง ความเร็ว ทอร์ก ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการควบคุมระยะการเคลื่อนที่ ความเร็ว หรือ ความเร่ง ที่มีความแม่นยำสูง ซึ่ง อินดักชั่นมอเตอร์ปกติไม่สามารถทำได้ ทำให้เราสามารถนำเซอร์โวมอเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นที่ทราบกันดีว่าการควบคุมความเร็วของมอเตอร์สามารถทำได้โดยการควบคุมระดับแรงดันตกคร่อมตัวมอเตอร์ และ วิธีการที่นิยมใช้จะมีสองวิธีดังนี้

2.2.3.1 การปรับระดับแรงดัน โดยใช้หลักการเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจร ซึ่งทำให้แรงดันตกคร่อมเปลี่ยนไปด้วย แต่จะเห็นว่าวิธีนี้เป็นการสร้างความสูญเสียเนื่องจากกำลังไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้าน (พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน)

2.2.3.2 การปรับระดับแรงดันโดยการเปิดปิดแหล่งจ่ายไฟ โดยระดับแรงดันเฉลี่ยที่ได้จะขึ้นกับช่วงเปิดและช่วงปิดเราเรียกวิธีการนี้ว่า Pulse width modulation และเรียกอัตราส่วนของ

ช่วงเปิดและช่วงปิดว่า Duty cycle วิธีการนี้มีข้อเสียคือหากเราเลือกความถี่ของพัลส์ไม่เหมาะสม อาจจะทำให้มอเตอร์สั่นได้

2.2.4 โปรแกรมที่ใช้ประมวลผล (MATLAB + DAQ toolbox) [10]



รูปที่ 2.17 โปรแกรม MATLAB [10]

MATLAB เป็น ภาษาคอมพิวเตอร์ในการคำนวณระดับสูงที่มาพร้อมด้วยสภาพแวดล้อมในการทำงานเชิงโต้ตอบ ซึ่งสามารถคำนวณคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วมากกว่าภาษาคอมพิวเตอร์สมัยก่อน เช่น ภาษา C, C++, Fortran และ MATLAB ยังเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ใช้สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Computing) แสดงผลกราฟฟิก และเขียนแอปพลิเคชัน ทำให้เราสามารถคำนวณผลลัพธ์ พัฒนาอัลกอริทึม สร้างแบบจำลอง และแอปพลิเคชันได้ง่ายและรวดเร็วมาก ภายในโปรแกรม MATLAB ประกอบด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ ทูลบ็อกซ์ (Toolbox: กลุ่มฟังก์ชันสำเร็จรูปในแต่ละสาขาวิชา) และฟังก์ชันพื้นฐานจำนวนมาก ทำให้การวิเคราะห์ทำได้หลากหลายวิธี (มากกว่าภาษาคอมพิวเตอร์สมัยก่อน เช่น C, C++, Fortran, Java และอื่นๆ เป็นต้น) พร้อมกับคำตอบที่รวดเร็วกว่าโปรแกรมตารางคำนวณ (Spreadsheet) MATLAB สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายสาขามากทั้งการประมวลผลสัญญาณ การสื่อสารการประมวลผลภาพและวิดีโอ ระบบควบคุม การวัดและควบคุม การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การ

คำนวณทางชีววิทยา และอื่นๆ มีนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรหลายล้านคนทั้งในแวดวงการศึกษาและอุตสาหกรรมที่ใช้ MATLAB ในการคำนวณเชิงตัวเลข

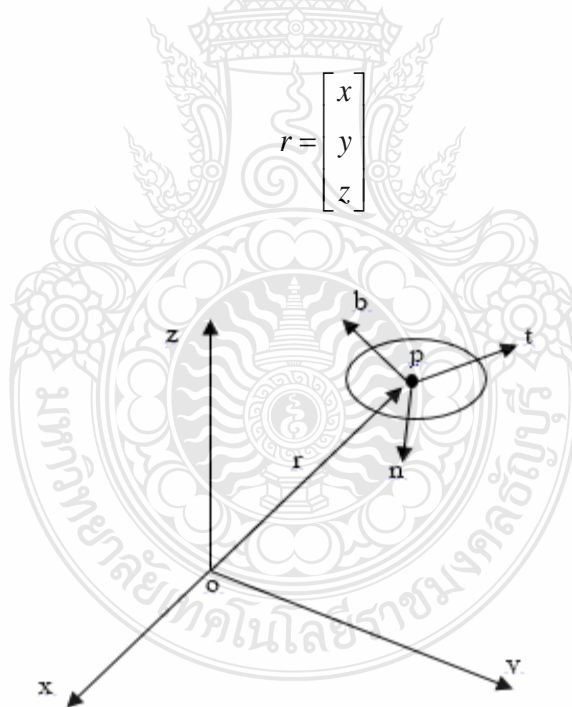
2.2.5 การบอกตำแหน่งด้วยเวกเตอร์และพิกัดการหมุน

การบอกตำแหน่งโดยทั่วไปมักจะบอกโดยอ้างอิงกับสิ่งอื่น การสั่งงานของหุ่นยนต์หรือแขนกลให้เคลื่อนที่ไปตำแหน่งที่ต้องการเป็นการยาก เพราะหุ่นยนต์ไม่สามารถรับรู้สภาพแวดล้อมได้ดีเท่ามนุษย์ ในหุ่นยนต์หรือแขนกลจะต้องมีการกำหนดจุดพิกัด (Coordinates) หรือที่แขนกลนั้นจะรู้ถึงตำแหน่งของวัตถุนั้น โดยต้องมีการกำหนดแกนอ้างอิงขึ้นด้วย ในที่นี้จะใช้การบอกพิกัดแบบคาที่เขียน หรือแกน x, y, z โดยทิศทางของแกน z มีนิยามมาจากกฎมือขวา

เมื่อกำหนดจุดให้จุด p เป็นจุดอ้างอิง สามารถแสดงพิกัดของจุด p ได้ว่า

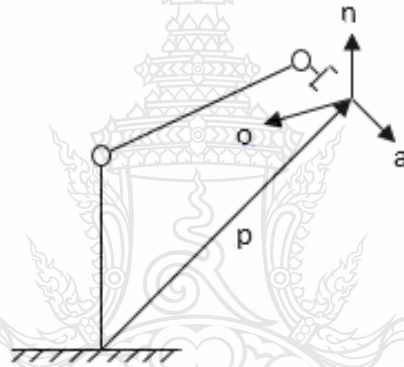
$p = x, y, z$ หรือเขียนเป็นคอลัมน์เวกเตอร์ (Column vector) มีขนาด 3×1 ได้ดังสมการที่ (2.1) โดยจุด p แสดงถึงจุดบนวัตถุ (Body-fixed point) ดังรูปที่ 2.18 และ r คือเวกเตอร์ตำแหน่งจากจุด o ถึงจุด p

$$r = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.18 แสดงตำแหน่งของจุด p ในรูปของเวกเตอร์ [2]

เป็นการศึกษาตำแหน่ง (Position) ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ของ จุดๆใดจุดหนึ่งรวมถึงความเร็วเชิงมุม (Angular velocity) และความเร่งเชิงมุม (Angular acceleration) ของวัตถุ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จำเป็นที่จะอธิบายถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) ตำแหน่งของวัตถุสามารถบอกได้จากตำแหน่งของจุดที่อยู่บนวัตถุ ประกอบกับตำแหน่งเชิงมุม (Angular position) ของวัตถุ นั่น หุ่นยนต์หรือแขนกลในทางจลศาสตร์นั้น ประกอบขึ้นมาจากการ ประกอบหรือการต่อกันเองของก้าน โยงซึ่งประมาณว่าก้าน โยงนั้นมีหลายวิธี ซึ่งในการนำมาต่อกันนั้น เรียกว่าเป็นจลศาสตร์ลูกโซ่ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ก้านโยงและข้อต่อ การบอก ตำแหน่งและการหมุนของปลายแขนกล (End effector) สามารถแสดงอยู่ในตำแหน่งด้วยเวกเตอร์ p และการหมุนด้วยพิกัด (n, o, a) ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ตำแหน่งและทิศทางของปลายแขนกล [2]

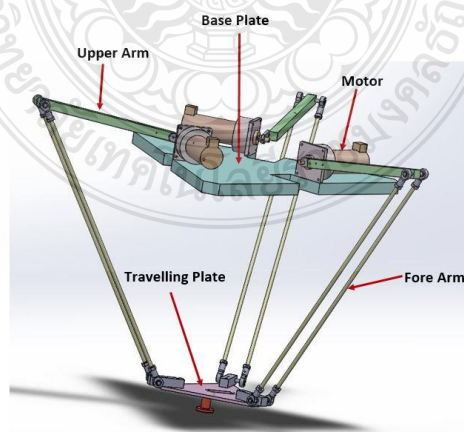
ส่วนประกอบทั้งสามกำหนดขึ้นในระบบพิกัดตามแกนคาทิเซียน ที่ยึดติดอยู่กับฐานที่อยู่กับ ที่ (Fixed cartesian frame at the base) ของหุ่นยนต์ โดยที่เวกเตอร์ a คือเวกเตอร์ขนาดหนึ่งหน่วยมี ทิศทางที่พุ่งเข้าไปหาวัตถุ ส่วนเวกเตอร์ o มีทิศทางตามนิ้วจับชิ้นงานสองนิ้ว ในที่นี้ คือมีทิศทางตาม จุดปลายทั้งสองของนิ้วสองนิ้ว และเวกเตอร์ที่ตั้งฉาก โดยเวกเตอร์ทั้งหมดเป็นไปตามกฎมือขวาคือ

$$n = o \times a \quad (2.2)$$

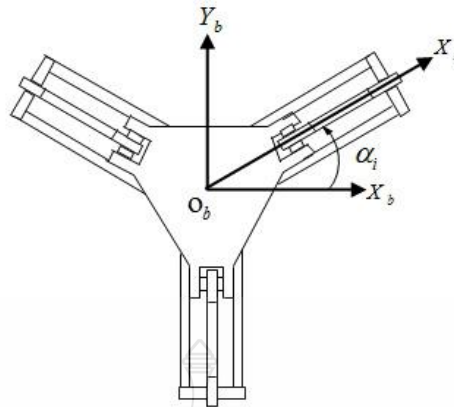
2.2.6 โครงสร้างของหุ่นยนต์แบบเคลด้า

เมื่อก้าวถึงโครงสร้างแบบลูปิดของหุ่นยนต์แบบเคลด้าจะมีชิ้นส่วนสามก้าน โยงด้านบน (Upper arm) และชิ้นส่วนสามก้าน โยงส่วนล่าง (Fore arm) จะมีความสมมาตร และ มีความเหมือน

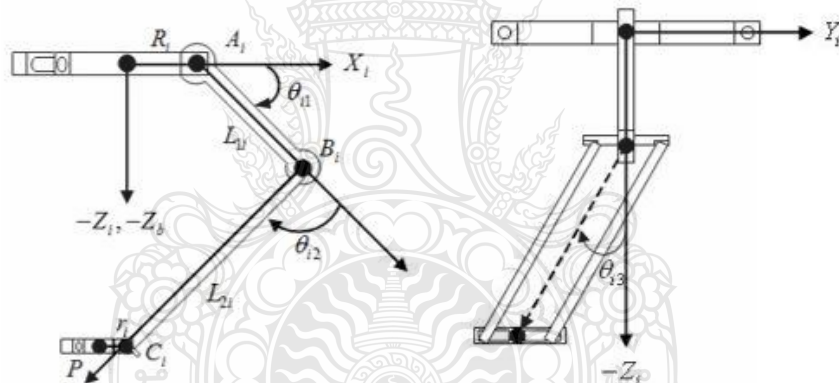
ของแต่ละด้านที่เท่ากัน ซึ่งปลายด้านบนของสามก้าน โยงด้านบนจะถูกเชื่อมต่อกับแผ่นฐาน (Base plate) ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะเชื่อมต่อกับปลายด้านบนของก้านโยงส่วนล่างด้วยลูกปืนตาเหล็ก (Ball joint) ส่วนสามก้าน โยงข้อต่อที่ปลายด้านล่างนั้นเชื่อมต่อกับแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ (Travelling plate) ด้วยลูกปืนตาเหล็กดังแสดงในรูป 2.20 มอเตอร์สามตัวสำหรับสามก้านโยงจะถูกติดตั้งไว้กับแผ่นฐาน เพื่อใช้ยกก้านโยงด้านบนให้เอียงทำมุม θ_{i1} โดยกำหนดให้ทิศการหมุนตามเข็มนาฬิกาเป็นบวก แผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ที่ถูกกำหนดให้รักษาระนาบให้ขนานกับแผ่นฐาน ดังนั้นการเคลื่อนที่ไปพร้อมกันของสามก้าน โยงคู่ขนานจะสร้างการเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้นของแผ่น ปลายแขนที่เคลื่อนที่ ซึ่งจะสามารถติดตั้งตัวคูดด้วยลมไว้ได้ด้วยโครงสร้างและแกนของหุ่นยนต์แบบเดลต้าที่แสดงดังรูปที่ 2.20 แกนและกรอบอ้างอิงแบบเฉื่อยที่อยู่ตรงกลางของแผ่นฐาน ด้านล่างเรียกว่า (o_b, x_b, y_b, z_b) และแกนและพิกัดอ้างอิงแบบเฉื่อยที่อยู่ตรงกลางของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ (o_r, x_r, y_r, z_r) มุม α_i ที่เกี่ยวข้องกับแต่ละ ก้าน โยงคู่ขนานที่ i จะมีค่าเป็น $\pi/6, 5\pi/6$ และ $3\pi/2$ สำหรับ $i = 1, 2, 3$ เมื่อวัดเทียบกับกรอบอ้างอิงแบบเฉื่อยที่จุด O_b โดยที่แต่ละก้าน โยงด้านบนจะมีความยาว $L_{i1} = 23.7$ cm จะถูกติดตั้งกับแผ่นฐานด้านบนที่มีรัศมีเป็น $R_i = R = 11.8$ cm จากจุดตรงกลาง O_b โดยใช้ข้อต่อแบบหมุน (Revolute joint) เช่นเดียวกันแต่ละก้าน โยงส่วนล่างจะมีความยาว $L_{i2} = L_2 = 50$ cm ที่ถูกติดกับแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ที่มีรัศมีเป็น $r_i = r = 11.2$ cm วัดจากจุดตรงกลาง o_r โดยใช้ลูกปืนตาเหล็ก ทั้งมุม θ_{i2} และ θ_{i3} ของก้าน โยงส่วนด้านล่างจะเกิดจากข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของกลไกที่ขนานแบบเดลต้าโดยใช้ลูกปืนตาเหล็ก เพื่อให้สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของสามก้าน โยงด้านบนไปพร้อมกัน ตัวแปรทั้งหมดที่ถูกกำหนดในหัวข้อนี้จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณในหัวข้อถัดๆ ไปเกี่ยวกับการกำหนดจลศาสตร์และพลศาสตร์ของหุ่นยนต์แบบเดลต้า



รูปที่ 2.20 โครงสร้างของหุ่นยนต์แบบเดลต้า



รูปที่ 2.21 กรอบอ้างอิงแบบเฉื่อยของแผ่นฐานของหุ่นยนต์แบบเคลด้าและมุมของแต่ละก้าน โยง
คู่ขนานด้านบน เมื่อเป็นมุมมองจากด้านบน



รูปที่ 2.22 กรอบอ้างอิงและตัวแปรต่างๆของแต่ละก้าน โยงของหุ่นยนต์แบบเคลด้า เมื่อเป็นมุมมอง
จากด้านหน้า (รูปซ้าย) และ เป็นมุมมองด้านข้าง (รูปขวา)

2.2.7 จลนศาสตร์การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบเคลด้า

เพื่อที่จะแปลงสลับไปมาระหว่างองศาการหมุนของมอเตอร์ทั้งสามตัว θ_{i1} ที่จะใช้ขับเคลื่อน
สามก้านโยงด้านบน และ ตำแหน่งของจุดกึ่งกลางของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ (Travelling plate) จะ
ถูกนำมาใช้และอธิบายทั้งจลนศาสตร์ไปข้างหน้า (Forward kinematic) และ จลนศาสตร์แบบผกผัน
(Inverse kinematic) ในหัวข้อด้านล่างนี้ สำหรับ จลนศาสตร์ไปข้างหน้า (Forward kinematic) จะ

สามารถคำนวณหาจุดศูนย์กลางของปลายแขนที่เคลื่อนที่ เมื่อรู้ค่ามุมของก้านโยงด้านบนทั้งสามด้าน θ_{i1} สำหรับ $i = 1, 2, 3$ สูตรการคำนวณหาจุดศูนย์กลางของปลายแขนที่เคลื่อนที่ในรูปแบบปิด จะถูกกำหนดในชุดของสมการพีชคณิตกำลังสองที่เชื่อมสามสมการ ที่จะต้องใช้แก้สมการไปด้วยกัน พร้อมๆกัน ในทางกลับกันจลนศาสตร์แบบผกผัน (Inverse kinematic) จะคำนวณหามุมของมอเตอร์ทั้งสาม θ_{i1} จากตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของปลายแขนที่เคลื่อนที่ที่ต้องการ ซึ่งสูตรการคำนวณในรูปแบบปิดของ θ_{i1} จะถูกคำนวณได้จากสามสมการกำลังสองที่เป็นอิสระแก่กัน ดังนั้นในการแก้สมการก็จะสามารถแก้แต่ละสมการแยกจากกันได้ นอกจากนั้นแล้วความเร็วและความเร่งของแต่ละข้อต่อ จะสามารถหาได้จากสมการทางจลนศาสตร์ ในรูปแบบของเมทริกซ์จาโคเบียน (Jacobian) มากไปกว่านั้น สมการทางจลนศาสตร์สามารถนำมาใช้ร่วมกับสมการพลศาสตร์ของหุ่นยนต์เพื่อใช้ในการการติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ได้อีกด้วย

2.2.7.1 จลนศาสตร์ไปข้างหน้า (Forward kinematics)

ในการใช้สมการจลนศาสตร์ไปข้างหน้า (Forward kinematic) ตำแหน่งของจุดกึ่งกลาง O_i ของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่สามารถจะถูกคำนวณ โดยใช้มุมของสามก้านโยงด้านบนที่จะเป็นไปตามข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของ โครงสร้างแบบลูกปิดของหุ่นยนต์แบบเดลด้า ดังที่ได้กล่าวไว้ใน [2] ตำแหน่งของจุดกึ่งกลางของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ (x_i, y_i, z_i) ถูกกำหนดให้อยู่ที่จุดตัดของสามทรงกลมที่มีรัศมี L_2 ซึ่งแต่ละทรงกลมมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ปลายก้านโยงด้านบน หรือ จุดพิงัด B_i จุดศูนย์กลางของทรงกลมของสามก้านโยงคู่ขนานจะสามารถเขียนอธิบายได้ดังสมการที่ (2.3)

$$\begin{aligned}x_i &= (R + L_1 \cos \theta_{i1} - r) \cos \alpha_i \\y_i &= (R + L_1 \cos \theta_{i1} - r) \sin \alpha_i \\z_i &= -L_1 \sin \theta_{i1} \quad \text{สำหรับ } i = 1, 2, 3\end{aligned}\tag{2.3}$$

ดังนั้น สมการของสามทรงกลมที่เชื่อมโยงซึ่งเป็นสมการกำลังสอง นั้นจะต้องถูกแก้สมการไปพร้อมๆกันสำหรับหาค่าตำแหน่งของจุดกึ่งกลางของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ (x_i, y_i, z_i) ดังในสมการที่ (2.4) จากการแก้สมการดังกล่าวจะมีอยู่ด้วยกัน สองคำตอบที่เป็นไปได้สำหรับแต่ละองศา θ_{i1} ซึ่งจะสอดคล้องกับสองท่าทางที่เป็นไปได้ของหุ่นยนต์แบบเดลด้า สำหรับจุดศูนย์กลาง O_i ที่ได้กำหนดให้

$$(x_t - x_i)^2 + (y_t - y_i)^2 + (z_t - z_i)^2 = L_2^2 \quad (2.4)$$

2.2.7.2 จลศาสตร์แบบผกผัน (Inverse kinematics)

สำหรับการกำหนดตำแหน่งของจุดกึ่งกลาง $O_t : P = [x_t, y_t, z_t]$ แต่ละมุม θ_{ii} ที่ไม่ทราบของก้าน โยงด้านบนจะถูกคำนวณอย่างเป็นตามสูตรที่ไม่เป็นแบบเชิงเส้นในสมการที่ (2.5)

$$\tan\left(\frac{\theta_{ii}}{2}\right) = \frac{-2z_{pi} \pm \sqrt{4z_{pi}^2 + 4R_1^2 - S_i^2 + Q_i^2 \left(1 - \frac{R_1^2}{L_1^2}\right) - Q_i \left(4R_1 + \frac{2R_1 S_i}{L_1}\right)}}{-2R_1 - Q_i \left(\frac{R_1}{L_1} - 1\right) - S_i} \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$R_1 = R - r$$

$$Q_i = 2X_{ti} \cos \alpha_i + 2Y_{ti} \sin \alpha_i$$

$$S_i = \frac{(-X_{ii}^2 - Y_{ii}^2 - Z_{ii}^2 + L_2^2 - L_1^2 - R_1^2)}{L_1}$$

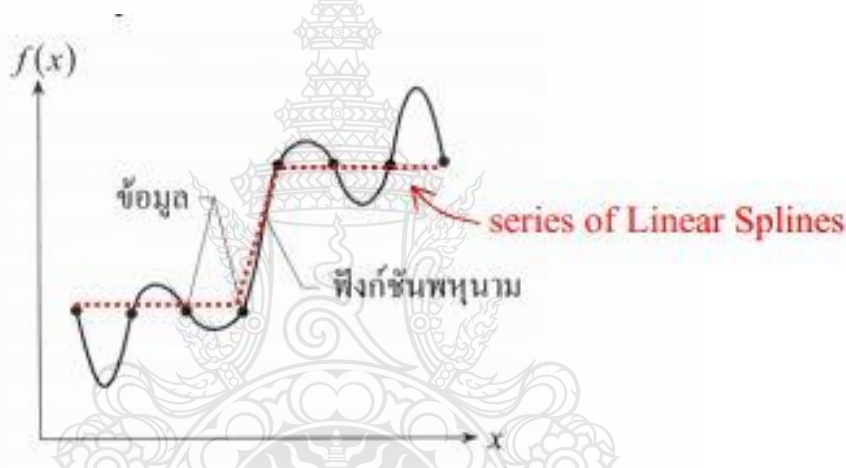
สำหรับ $i = 1, 2, 3$ จะมี 2 ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้สำหรับมุม θ_{ii} ที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ขึ้นหรือการเคลื่อนที่ลงของแต่ละก้าน โยงด้านบน โดยที่คำตอบของสมการจลศาสตร์แบบผกผัน ในสมการที่ (2.5) จะหาได้ก็ต่อเมื่อเงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริง

$$4z_{pi}^2 + 4R_1^2 - S_i^2 + Q_i^2 \left(1 - \frac{R_1^2}{L_1^2}\right) - Q_i \left(4R_1 + \frac{2R_1 S_i}{L_1}\right) \geq 0 \quad (2.6)$$

จำนวนครั้งของการประมวลผลในการคำนวณหาผลลัพธ์ทั้งสามค่าของ θ_{ii} เมื่อกำหนดตำแหน่ง O_t ที่ต้องการจากสมการจลศาสตร์แบบผกผัน (Inverse kinematics) นั้นจะน้อยกว่าจำนวนครั้งของการประมวลผลในการคำนวณหาตำแหน่ง O_t จากสมการจลศาสตร์แบบไปข้างหน้า (Forward kinematics) ดังนั้นพื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบเดลด้า จะสามารถคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้สมการจลศาสตร์แบบผกผัน (Inverse kinematics)

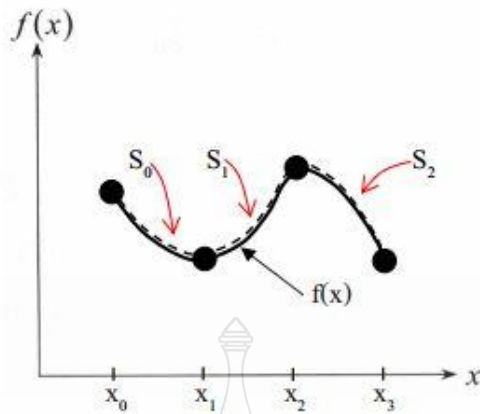
2.2.8 การประมาณค่าในช่วงโดยใช้เทคนิคสไปลน์อันดับสาม (Cubic Spline Interpolation)

การประมาณค่าในช่วงแต่ละช่วงด้วยเส้นโค้งประเภทสไปลน์นั้น มีหลักการแตกต่างกัน โดยสิ้นเชิง เมื่อเปรียบเทียบกับ การประมาณค่าในช่วงด้วยฟังก์ชันโพลีโนเมียลทั้งแบบนิวตันและแบบลากรานจ์จะได้ฟังก์ชันต่อเนื่องที่พยายามลากผ่านทุกๆจุดของข้อมูลให้ได้มากที่สุด ก็จะต้องใช้ฟังก์ชันพหุนามลำดับที่สูงขึ้น ซึ่งทำให้ได้รูปกราฟที่เป็นเส้นโค้งกลับไปกลับมา โดยมีข้อสังเกตว่า จำนวนจุดวกกลับ = $n-1$ (เท่ากับจำนวนอันดับลบหนึ่งเช่น $n=2$, กราฟเป็นรูปพาราโบลาที่มีจุดวกกลับ = $2-1$ เท่ากับ 1 จุด ซึ่งวิธีการเช่นนี้จะก่อให้เกิดปัญหาข้อมูลบางกรณีของฟังก์ชันรูปขั้นบันไดดังรูปที่ 2.23 ซึ่งในกรณีเช่นนี้ หลักการประมาณค่าในช่วงด้วยสไปลน์ จะได้ผลดี



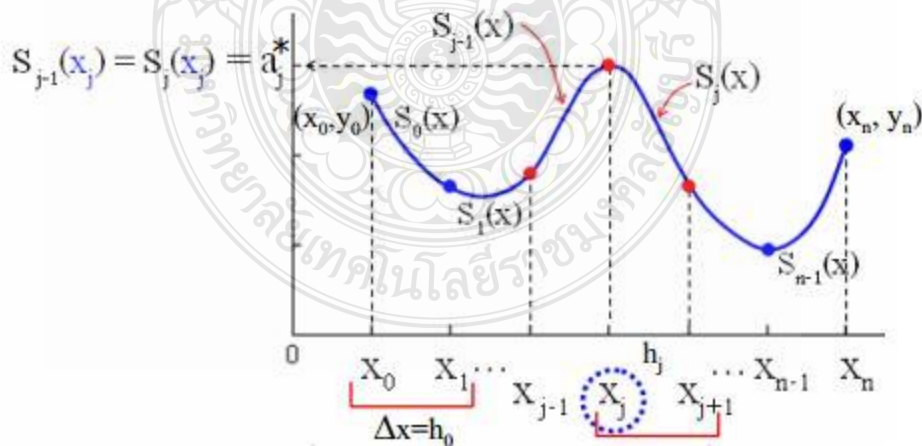
รูปที่ 2.23 เปรียบเทียบการประมาณค่าในช่วง ด้วยฟังก์ชันพหุนามกับแบบใช้ฟังก์ชันสไปลน์ (Linear Splines)

หลักการของการประมาณค่าในช่วงด้วยสไปลน์ ก็คือ การจะแทนจุดข้อมูล $n+1$ ด้วยฟังก์ชันสไปลน์จำนวน n เส้น ซึ่งจะเริ่มจากง่ายที่สุดคือ กรณีฟังก์ชันสไปลน์เป็นเส้นตรง อันดับต่อมา ก็คือ ฟังก์ชันสไปลน์ที่เป็นเส้นโค้งอันดับสองหรือพาราโบลา และสุดท้ายเป็นเส้นโค้งที่ใช้กันมากที่สุดคือ ฟังก์ชันสไปลน์ที่เป็นเส้นโค้งอันดับสามที่เรียกว่าคิวบิกสไปลน์ (Cubic splines) ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 กราฟของการประมาณค่าด้วยคิวบิกสไปลน์ (Cubic splines) เมื่อเทียบกับฟังก์ชัน $f(x)$ ที่ต้องการ

รูปที่ 2.24 แสดงการปรับเส้นโค้งผ่านจุดทั้ง 4 จุดด้วยเส้นโค้งแบบคิวบิกสไปลน์จะพบว่ามีความใกล้เคียงกับฟังก์ชัน $f(x)$ จริงมากที่สุดและเส้นโค้ง s_j ที่ลากต่อกันมีความเที่ยงตรงไม่มีสะดุดเหมือนเป็นเส้นเดียวกันที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะคิวบิกสไปลน์มีความต่อเนื่องและจะเห็นได้ว่าปลายเส้นทับกันและมีความชันที่จุดปลายเท่ากันอีกแล้ว อัตราการเปลี่ยนแปลงของความชันของแต่ละเส้นทางที่วิ่งเข้าหาจุดยังเท่ากันอีกจึงกล่าวได้ว่าเป็นความต่อเนื่องที่ราบเรียบมากๆ



รูปที่ 2.25 กราฟของคิวบิกสไปลน์ในรูปทั่วไป [21]

หลักการของฟังก์ชันสไปไลน์ (Splines) คือเมื่อมีจุดข้อมูลต่อเนื่อง $n+1$ จุด เราจะสามารถประมาณค่าฟังก์ชันเส้นโค้งย่อยจำนวน n เส้นกับจุดข้อมูลเหล่านั้น จะเขียนกราฟอธิบายฟังก์ชันแบบคิวบิกสไปไลน์ (Cubic splines) ในรูปทั่วไปได้ดังกราฟรูปที่ 2.25 โดยฟังก์ชันแบบคิวบิกสไปไลน์ (Cubic splines) จะมีสมการเป็น

$$s_j(x) = a_j + b_j(x - x_j) + c_j(x - x_j)^2 + d_j(x - x_j)^3 \quad (2.7)$$

โดยที่ $0 \leq j \leq n-1$ และ $s_j(x)$ เป็นฟังก์ชันสไปไลน์ของช่วง (x_j, x_{j+1})

2.2.9 เมทริกซ์การหมุน (Rotation Matrix) [20]

เมทริกซ์การหมุนจะมีขนาดสามคูณสาม การสร้างเมทริกซ์การหมุนรอบแกนใดๆ การพิจารณาเมทริกซ์สำหรับหมุนรอบแกนหลัก x, y, z ดังต่อไปนี้

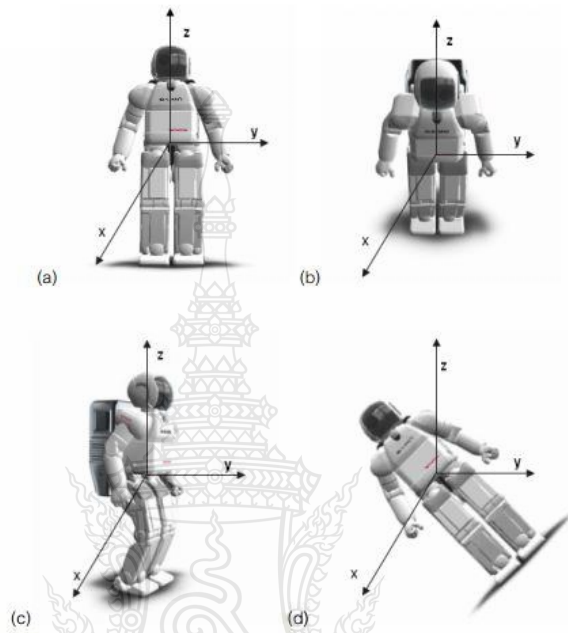
- เมทริกซ์การหมุนรอบแกน z ด้วยมุม θ คือ $R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$

ผลของการหมุนไม่ทำให้พิคัดในแนวแกน z เปลี่ยน โดยทิศทางการหมุนเป็นไปตามกฎมือขวา

- เมทริกซ์การหมุนรอบแกน y ด้วยมุม θ คือ $R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (2.9)$

- เมทริกซ์การหมุนรอบแกน x ด้วยมุม θ คือ $R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (2.10)$

ดูตัวอย่างการหมุนในรูปที่ 2.26 ของหุ่นยนต์โดยเริ่มต้นหุ่นยนต์อยู่ในสภาพตามรูปที่ 2.26 (a) ในรูปที่ 2.26 (b), (c), (d) แสดงผลของการหมุนจากสภาพการเริ่มต้นไปเป็นมุม 45 องศา รอบแกน y, z และ x



รูปที่ 2.26 การหมุนรอบแกนหลัก x, y, z ในสามมิติเป็นมุม 45° รอบแกน y ในรูป (b), รอบแกน z ในรูป (c), รอบแกน x ในรูป (d)

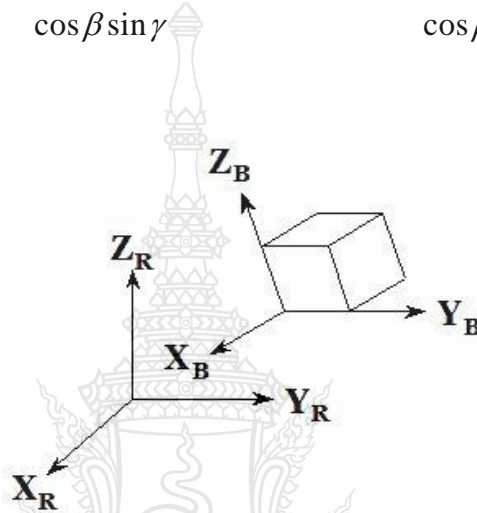
การหมุนรอบแกนหลักนี้สามารถนำมาเขียนเรียงต่อกันให้เป็นการหมุนที่มีองศาเสรีครบทั้งในสามมิติวิธีการเขียนมีสองแบบคือ

2.2.9.1 การหมุนเฟรมวัตถุเทียบกับเฟรมหลักที่อยู่นิ่ง (เหมือน pre-multiplication) เขียนจากขวาไปซ้าย โดยจะหมุนรอบแกน X ก่อนแล้วหมุนรอบแกน Y จากนั้นหมุนรอบแกน Z การหมุนแบบนี้ถูกเรียกว่า $X-Y-Z$ ด้วยมุม roll (γ), pitch (β), yaw (α) เมทริกซ์การหมุนที่ได้จะเขียนได้ดังนี้

$$R_{xyz}(\lambda, \beta, \alpha) = R_z(\alpha)R_y(\beta)R_x(\gamma) =$$

$$\begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\lambda & -\sin\lambda \\ 0 & \sin\lambda & \cos\lambda \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \cos\alpha \cos\beta & \cos\alpha \sin\beta \sin\gamma - \sin\alpha \cos\gamma & \cos\alpha \sin\beta \cos\gamma + \sin\alpha \sin\gamma \\ \sin\alpha \cos\beta & \sin\alpha \sin\beta \sin\gamma + \cos\alpha \cos\gamma & \sin\alpha \sin\beta \cos\gamma - \cos\alpha \sin\gamma \\ -\sin\beta & \cos\beta \sin\gamma & \cos\beta \cos\gamma \end{bmatrix} \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.27 การหมุนแบบของสามแกนที่รอบแกน X-Y-Z

สมการ 2.11 สำหรับการหมุนที่ทำเป็นลำดับแบบคงที่รอบแกนของเฟรมหลักคือรอบแกน x เป็นมุม γ รอบแกน y เป็นมุม β และรอบแกน z เป็นมุม α นอกจากการเปลี่ยนจากมุมหมุนไปเป็นเมทริกซ์การหมุน การแก้ปัญหาที่กลับกันคือหาค่ามุมหมุนรอบแกนต่างๆ จากเมทริกซ์การหมุนที่กำหนดให้ก็เป็นประโยชน์เช่นกัน ถ้าพิจารณาเมทริกซ์การหมุนดังนี้

$$R_{xyz}(\gamma, \beta, \alpha) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

พิจารณาจากสูตรที่ผ่านมา จะได้ว่าถ้าถอดรากที่สองของ $r_{11}^2 + r_{21}^2$ เราจะได้ $\cos\beta$ จากนั้นใช้ $-r_{31}$ หรือ $\sin\beta$ ประกอบสำหรับหาค่า β โดยใช้ฟังก์ชัน $\arctan2$ (หาค่ามุม β จากสองพารามิเตอร์คือ $\sin\beta$ และ $\cos\beta$) จากนั้นถ้า $\cos\beta$ ไม่เท่ากับศูนย์เราสามารถที่จะหา α ด้วยการ ใช้ $\arctan2$ ของ

$r_{21}/\cos\beta$ และ $r_{11}/\cos\beta$ ส่วนการหาค่า γ ทำได้โดยใช้ $\arctan 2$ บน $r_{32}/\cos\beta$ และ $r_{33}/\cos\beta$ หรือเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

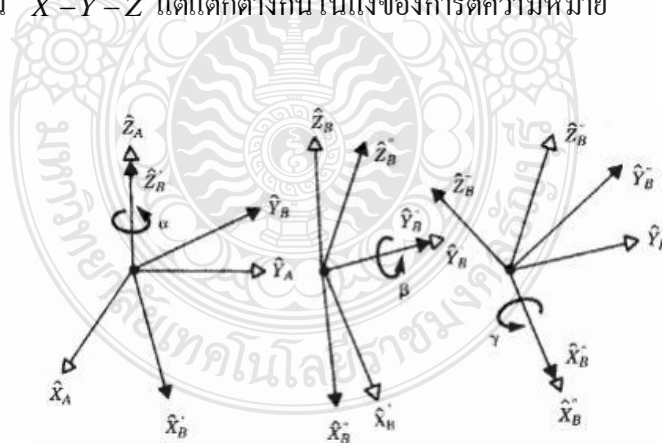
$$\beta = \arctan 2(-r_{31}, \sqrt{r_{11}^2 + r_{21}^2}) \quad (2.13)$$

$$\alpha = \arctan 2(r_{21}/\cos\beta, r_{11}/\cos\beta) \quad (2.14)$$

$$\gamma = \arctan 2(r_{32}/\cos\beta, r_{33}/\cos\beta) \quad (2.15)$$

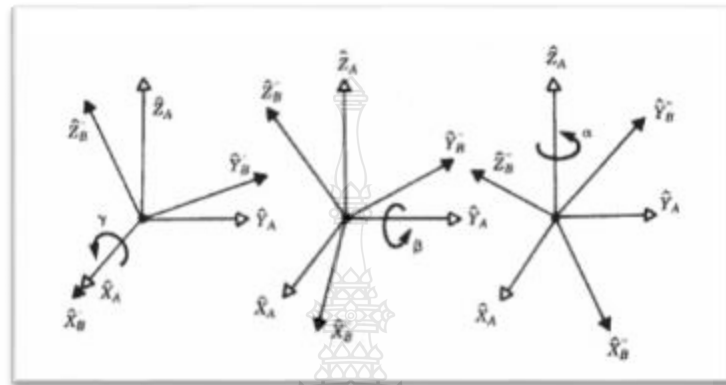
2.2.9.2 การหมุนที่เทียบเท่ากับเฟรมของวัตถุเมื่อเขียนจากซ้ายไปขวาเรียกวิธีนี้ว่า มุมองศาออยเลอร์ (Euler angles) ที่นิยมใช้มีสองแบบหลักคือ มุมองศาออยเลอร์แบบ $Z-Y-X$ และ มุมองศาออยเลอร์แบบ $X-Y-Z$

มุมองศาออยเลอร์แบบ $Z-Y-X$ เริ่มด้วยการหมุนเฟรมวัตถุรอบแกน z เป็นมุม α จากนั้น หมุนรอบแกน y ของเฟรมวัตถุในขณะนั้นเป็นมุม β ตามด้วยการหมุนรอบแกน x ของเฟรมวัตถุเป็นมุม γ ด้วยหลักการเขียนการเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา เราสามารถเขียนเมทริกซ์การหมุนแบบมุมองศาออยเลอร์แบบ $Z-Y-X$ ได้คือ $R_z(\alpha)R_y(\beta)R_x(\gamma)$ จะเห็นว่าเมทริกซ์ที่ได้ก็เหมือนกับการหมุนแบบองศาออยเลอร์แบบ $X-Y-Z$ แต่แตกต่างกันในแง่ของการตีความหมาย



รูปที่ 2.28 การหมุนแบบมุมองศาออยเลอร์แบบ $Z-Y-X$

มุมมองเสาออยเลอร์แบบ $X-Y-Z$ เริ่มด้วยการหมุนเฟรมวัตถุรอบแกน x เป็นมุม γ จากนั้นหมุนรอบแกน y ของเฟรมวัตถุในขณะนั้นเป็นมุม β ตามด้วยการหมุนรอบแกน z ของเฟรมวัตถุอีกครั้งเป็นมุม α จะสามารถเขียนเมทริกซ์การหมุนแบบมุมมองเสาออยเลอร์ $X-Y-Z$ ได้คือ $R_x(\gamma)R_y(\beta)R_z(\alpha)$



รูปที่ 2.29 การหมุนแบบมุมมองเสาออยเลอร์แบบ $X-Y-Z$



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาและหาข้อมูลการทำงานของดีซีมอเตอร์ เอซีมอเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ศึกษาด้านจลน์ศาสตร์วิศวกรรมและการออกแบบด้านกลศาสตร์ของแขนหุ่นยนต์ ออกแบบและคำนวณหาขนาดมอเตอร์และขนาดของแขนต่างๆเพื่อกำหนดข้อจำกัดต่างๆ ของอุปกรณ์เพื่อความเหมาะสมในการสร้างหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง

3.1.1 ขั้นตอนในการทำวิจัย

การทำวิจัยออกแบบแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรม MATLAB เริ่มจากการค้นคว้าข้อมูล งานที่ได้ปฏิบัติต่างๆ แสดงในตาราง 3.1 ของแผนดำเนินงานของโครงการเป็นการทำงานตามขั้นตอนที่วางไว้

3.1.1.1 ศึกษาหาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการสร้างแขนหุ่นยนต์สามก้าน โยง

3.1.1.2 รวบรวมข้อมูลที่ใช้งาน

3.1.1.3 ออกแบบชิ้นส่วนหลักของแขนหุ่นยนต์

3.1.1.4 ออกแบบระบบควบคุม

3.1.1.5 จัดหาวัสดุอุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบ

3.1.1.6 สร้างชิ้นส่วนต่างๆและประกอบ

3.1.1.7 เขียน โปรแกรมในการควบคุมหุ่นยนต์สามก้าน โยงควบคุมการเคลื่อนที่ตามจุด

พิกัด

3.1.1.8 ทดสอบการทำงานและเก็บข้อมูล

3.1.1.9 ปรับปรุงและแก้ไขส่วนที่บกพร่อง

3.1.1.10 จัดทำปฏิญานินพนธ์เป็นรูปเล่มสมบูรณ์

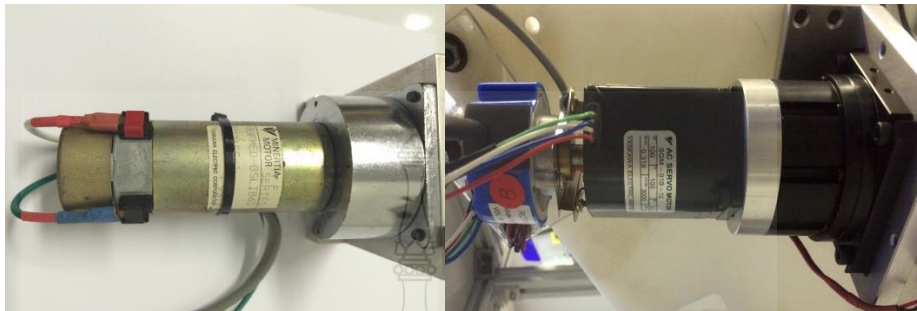
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน-ปี								
	ก.ย.-ต.ค. 2557	พ.ย.-ธ.ค. 2557	ม.ค.-ก.พ. 2558	มี.ค.-เม.ย. 2558	พ.ค.-มิ.ย. 2558	ก.ค.-ส.ค. 2558	ก.ย.-ต.ค. 2558	พ.ย.-ธ.ค. 2558	ม.ค.-มิ.ย. 2559
ศึกษาและค้นหาข้อมูล									
วิเคราะห์ศาสตร์ ของแขนงหุ่นยนต์									
ออกแบบแขน หุ่นยนต์									
ทดสอบจำลองการ ทำงานของหุ่นยนต์สาม ก้าน โดยด้วยโปรแกรม MATLAB									
ประดิษฐ์โปรแกรม (MATLAB) เพื่อใช้ ควบคุมการทำงานจริง									
ทดสอบการทำงานจริง									
วิเคราะห์และแก้ไข ปัญหา									
สรุปผลและจัดพิมพ์เล่ม รายงาน									

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้สร้างแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง

3.2.1 เซอร์โวมอเตอร์ Minertia แบบคิซี และ Yaskawa แบบเอซี



รูปที่ 3.1 มอเตอร์แบบคิซี Minertia (ซ้าย) และ มอเตอร์แบบเอซี Yaskawa (ขวา)

มอเตอร์ไฟฟ้า (electric motor) [7] เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล การทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ในการใช้งานตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมการขนส่งใช้มอเตอร์ขนาดเล็ก เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้ายังสามารถทำงานได้ถึงสองแบบ ได้แก่ การสร้างพลังงานกล และการผลิตพลังงานไฟฟ้า(ในขณะเบรก)มอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำไปใช้งานที่หลากหลายเช่น พัฒลมอุตสาหกรรม เครื่องเป่า บี้ม เครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน และดิสก์ไดรฟ์ มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนโดยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) เช่น จากแบตเตอรี่ ยานยนต์หรือวงจรเรียงกระแส หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC) เช่น จากไฟบ้าน อินเวอร์เตอร์ หรือ เครื่องปั่นไฟ มอเตอร์ขนาดเล็กอาจจะพบในนาฬิกาไฟฟ้า มอเตอร์ทั่วไปที่มีขนาดและคุณลักษณะมาตรฐานสูงจะให้พลังงานกลที่สะดวกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม

3.2.2 การ์ดรับ-ส่งข้อมูล (Data acquisition Card) ของ National Instrument (NI)

ระบบการ์ดรับ-ส่งข้อมูล หรือ DAQ (Data acquisition) [9] เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจริงจากงานวิจัยทดลองทางวิทยาศาสตร์และทดสอบงานทางด้านวิศวกรรมเชิงคุณภาพและประสิทธิภาพผ่านคอมพิวเตอร์ โดยมีความแตกต่างจากงานระบบคอมพิวเตอร์ทั่วไปตรงที่มี Hardware พิเศษเพื่อตรวจจับสัญญาณทางกายภาพทางวิทยาศาสตร์ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความดันอากาศ ก๊าซ อัตราการไหล เป็นต้น แปลงเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์เป็นรูปแบบในลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้า เข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ผ่าน Software ที่พัฒนาตามคุณลักษณะของงานวิจัยทดลองนั้นๆในลักษณะเวลาจริง (Real Time) ซึ่งในอดีต

มักใช้เป็นระบบเฉพาะเจาะจงลงไปตามประเภทงาน ไม่สามารถใช้งานร่วมกับงานวิจัยอื่นได้ ทั้งยังมีราคาที่สูงมาก ทว่าด้วยความสามารถของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในปัจจุบัน ประกอบกับการใช้งานที่ง่ายขึ้นของโปรแกรม ระบบปฏิบัติการในลักษณะที่เป็นวินโดวส์หรือกราฟฟิก ทำให้การประยุกต์เพื่อนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานด้านการรับ-ส่งข้อมูล (Data Acquisition) นี้มีความเป็นไปได้โดยไม่ยุ่งยาก และให้ความคล่องตัวกับนักวิทยาศาสตร์ นักวิจัยทดลองและวิศวกร เพื่อพัฒนาระบบเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Hardware) และโปรแกรม (Software) งานด้านการรับ-ส่งข้อมูล (Data Acquisition) ที่มีให้เลือกมากมายจากหลายผู้ผลิต และสามารถใช้งานร่วมกันได้โดยส่วนใหญ่ทำให้ราคากระบวนโดยรวมมีราคาไม่สูง และให้ประสิทธิผลในการพัฒนาประเทศเชิงเทคโนโลยีได้ดีกว่า



รูปที่ 3.2 การ์ดรับ-ส่งข้อมูล (Data acquisition) ของ NI

3.2.3 บอร์ดขับมอเตอร์ (Motor drive) [11]

ชุดขยายสัญญาณเพื่อขับมอเตอร์ที่นำมาใช้เป็นของบริษัท Copley controls รุ่น Accelus card โมเดล ASC-090-09 และรุ่น Accelnet โมเดล ADP-055-18 เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณเพื่อควบคุมมอเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณเอาต์พุตจากการ์ดรับ-ส่งข้อมูลเข้าสู่วงจรเพื่อขยายแรงดันและกระแสเพื่อไปขับมอเตอร์ให้หมุนไปในทิศทางและองศาที่ต้องการ



รูปที่ 3.3 ชุดขับมอเตอร์รุ่น Accelus card (ซ้าย) และ Accelnet Pael (ขวา)

3.2.4 เอนโค้ดเดอร์ (Encoder) [7]

เอนโค้ดเดอร์จะทำหน้าที่ตรวจวัดความเร็วทิศทางการหมุนของมอเตอร์ และตำแหน่งเพลลาของโรเตอร์แล้วรายงานผลกลับไปยังคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ในวงจรของชุดขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์เกิดการตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าให้สัมพันธ์กับตำแหน่งของโรเตอร์ โดยเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้มีความละเอียด 256 พัลส์



รูปที่ 3.4 เอนโค้ดเดอร์ (Encoder) [7]

3.2.5 แหล่งจ่ายไฟ

ทำหน้าที่แปลงความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 โวลต์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบดีซี 24 โวลต์ 10 แอมป์



รูปที่ 3.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) แบบดีซี 24 V และมีกระแสตรง 10 A

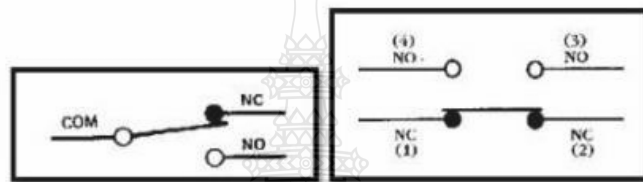
3.2.6 สวิตช์จำกัดระยะหรือลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) [12]

ลิมิตสวิตช์ โดยปกติแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ ปกติเปิด (NO) และปกติปิด (NC) จากโครงสร้างภายในตำแหน่งปกติเปิดหน้าสัมผัสจะไม่ต่อถึงกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้ เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ ทำให้สภาวะการทำงานเปลี่ยนจากปกติเปิด (NO) เป็นปกติปิด (NC) มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้และเมื่อเคลื่อนที่กลับจะทำให้ลิมิตสวิตช์กลับสู่สภาพเดิมจากปกติปิด (NC) เป็นปกติเปิด (NO) ทำให้ตัดวงจรการทำงาน



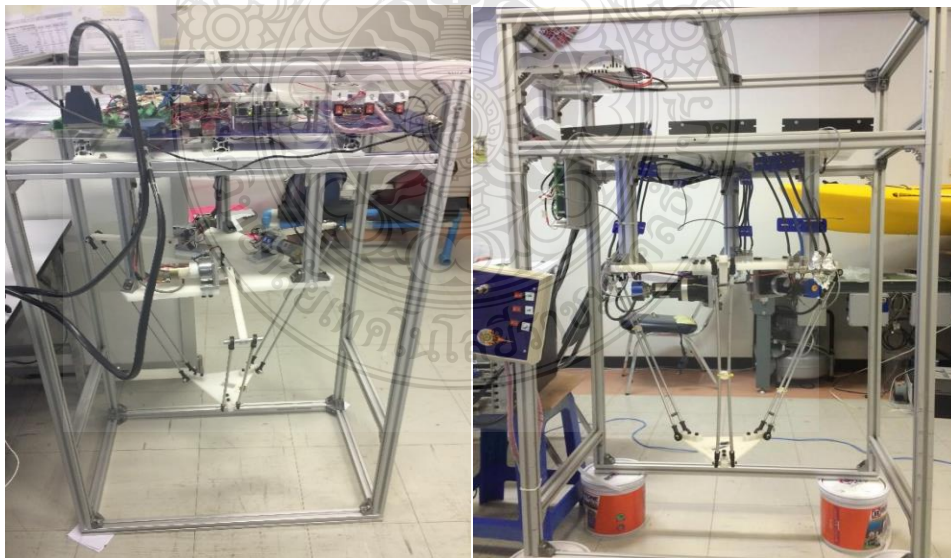
รูปที่ 3.6 ลิมิตสวิตช์ [12]

สวิตช์จำกัดระยะเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากชนิดหนึ่งที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมในระบบการควบคุม แบบ อัตโนมัติ ลิมิตสวิตช์เป็นสวิตช์ที่จำกัดระยะทาง การทำงานอาศัยแรงกดภายนอกมากระทำ เช่น วางของทับที่ปุ่มกดหรือลูกเบี้ยวมาชนที่ปุ่มกด และเป็นผลทำให้หน้าสัมผัสที่ต่ออยู่กับก้านชน เปิด-ปิด ตาม จังหวะของการชนและหากไม่มีการชนเกิดขึ้นลิมิตสวิตช์ก็จะไม่ทำงานระบบหรือวงจรที่ต่อกับลิมิตสวิตช์ก็จะทำงาน ต่อไปอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ในกรณีที่ชนสิ่งของบางอย่าง และถ้ามีการชนก้านลิมิตสวิตช์ขึ้นก็จะทำให้ ก้านของลิ้นในลิมิตสวิตช์เปลี่ยนจากปกติปิด (Normally Closed) เป็นปกติเปิด (Normally Open) หรือสลับกันอยู่กับการต่อ ว่าต่อแบบ NC หรือ NO ในการหยุดการทำงาน ของวงจร



รูปที่ 3.7 สัญลักษณ์ สวิตช์จำกัดระยะ (Limit switch) [12]

เมื่อนำอุปกรณ์ทั้งหมดมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน จะได้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนตัวที่มีรูปทรงแบบดังในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 หุ่นยนต์แบบสามก้านโยกติดตั้งระบบต่างๆพร้อมในการทำงานเมื่อใช้มอเตอร์แบบ ดิซี (ซ้าย) และมอเตอร์แบบเอซี (ขวา)

ข้อดีและข้อเสียระหว่างมอเตอร์กระแสตรง (DC MOTOR) และมอเตอร์กระแสสลับ (AC MOTOR)

ข้อดีของมอเตอร์กระแสตรง (DC MOTOR) คือ

- การควบคุมแรงบิดหรือความเร็วทำได้ง่ายและดีมาก
- มีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว
- การปรับความเร็วสามารถทำได้ในช่วงกว้าง

ข้อเสียของมอเตอร์กระแสตรง (DC MOTOR) คือ

- การบำรุงรักษาสูงมากเนื่องจากมีส่วนสึกหรอของแปรงถ่าน
- ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับ AC MOTOR ที่มีขนาดกำลังแรงม้าเท่ากัน
- มีขนาดใหญ่กว่า AC MOTOR ที่มีขนาดแรงม้าเท่ากัน
- หาแหล่งจ่ายที่เป็นไฟกระแสตรงได้ยาก
- ไม่สามารถนำไปใช้ในที่มีสารไวไฟได้

ข้อดีของมอเตอร์กระแสสลับ (AC MOTOR)

- ราคาถูกกว่า DC MOTOR ที่มีขนาดพิกัดกำลังเท่ากัน
- มีลักษณะ โครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน และเล็กกว่า DC MOTOR ที่พิกัดกำลังเท่ากัน
- การบำรุงรักษาน้อยมาก แข็งแรงทนทาน
- ใช้ในสถานที่ที่มีสารไวไฟ หรือสารเคมีได้
- มีประสิทธิภาพสูงกว่า DC MOTOR
- หาซื้อได้ง่าย เป็นที่นิยม

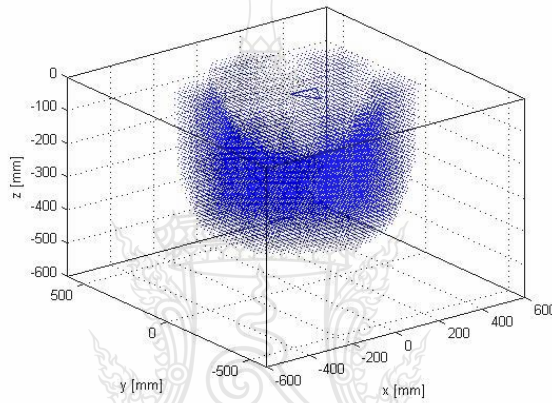
ข้อเสียของมอเตอร์กระแสสลับ (AC MOTOR)

- การควบคุมความเร็วทำได้ยากมาก

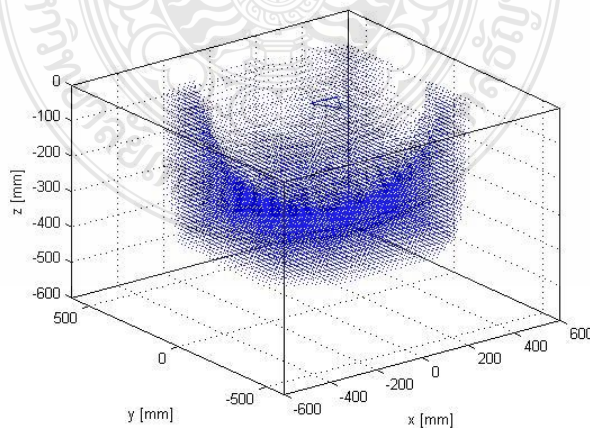
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากทางด้านทฤษฎี

เพื่อที่จะให้ได้พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง (Delta Robot) ให้มากที่สุด จึงได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่การทำงานของโครงสร้างแบบรูปบิดในขั้นการออกแบบ เพื่อที่จะได้เลือกขนาดของแต่ละก้านโยงได้อย่างเหมาะสมที่สุด โดยจะประยุกต์ใช้การแก้สมการจลนศาสตร์แบบผกผัน (inverse kinematics) ซึ่งจะใช้การประมวลผลที่น้อยกว่าการแก้สมการจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า (forward kinematics) โดยในขั้นแรกได้เลือกพารามิเตอร์ความยาวของแต่ละก้านโยง ดังนี้ $R = 118 \text{ mm}$, $r = 112$, และ $L_1 = 200 \text{ mm}$ เมื่อปรับความยาว L_2 ให้เพิ่มขึ้นจาก 400 ถึง 500 mm โดยเปลี่ยนแปลงทีละ 100 mm

รูปที่ 3.9 และ รูปที่ 3.10 แสดงขอบเขตพื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง (Delta Robot) ที่สามารถเข้าถึงได้สำหรับความยาว L_2 เมื่อเท่ากับ 400 และ 500 mm ตามลำดับ ยิ่งความยาว L_2 ของก้าน โยงส่วนล่างมีค่าเพิ่มมากขึ้น ปริมาตรของพื้นที่ทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง (Delta Robot) ที่สามารถเข้าถึงได้ที่เป็นรูปทรงพาราโบลอยด์ (paraboloid) ของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง (Delta Robot) ก็จะมีขนาดใหญ่ตามไป โดยมีข้อสังเกตว่าเมื่อพิจารณาพื้นที่การทำงานจากทางด้านบนจะเห็นพื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงแบบหกเหลี่ยม นอกจากนั้นแล้ว เมื่อความยาว L_2 มีค่าเพิ่มขึ้นพื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง (Delta Robot) ที่เข้าถึงไม่ได้ที่มีรูปทรงถ้วยใกล้กับแผ่นฐานจะมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย



รูปที่ 3.9 พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง เมื่อ $[L_1, L_2] = [200, 400](\text{mm})$ [2]

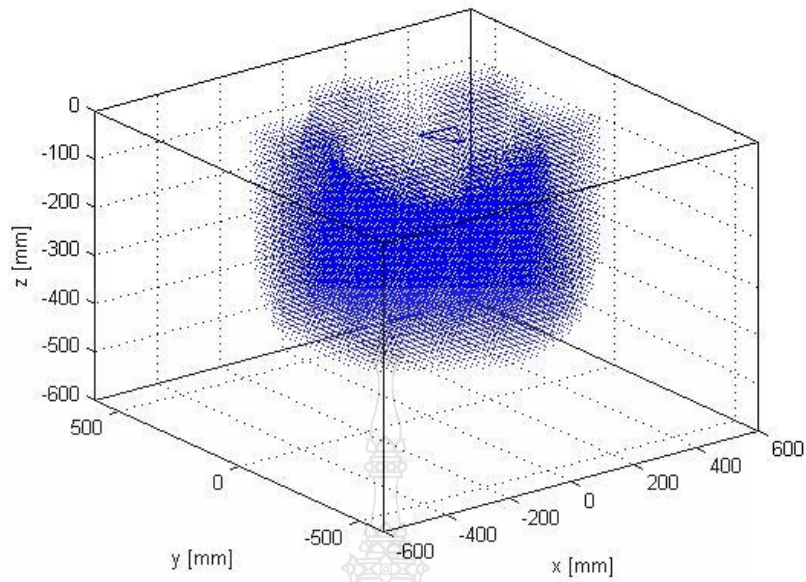


รูปที่ 3.10 พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเมื่อ $[L_1, L_2] = [200, 500](\text{mm})$ [2]

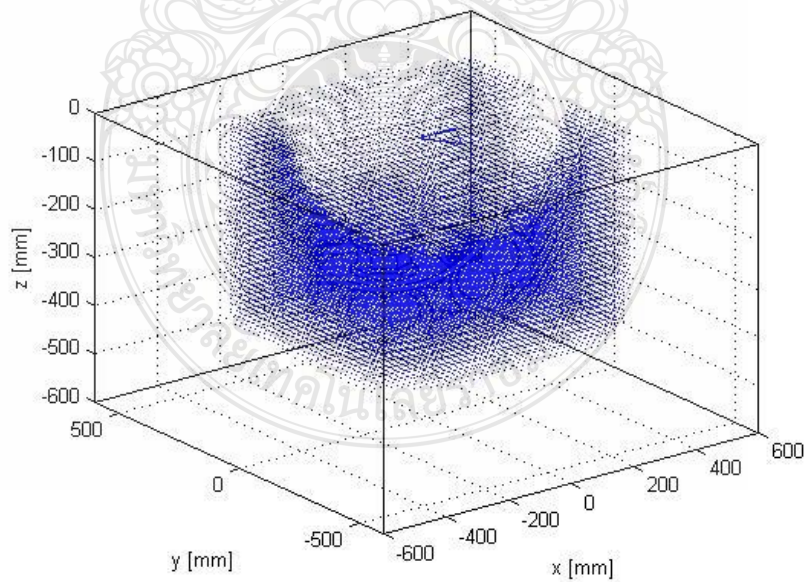
ตารางที่ 3.2 ช่วงของพื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง X_i, Y_i, Z_i เมื่อให้ $L_1 = 200$ mm นั้นคงที่

L_2 (mm)	ช่วงในแกน $X_i - Y_i$ (mm)	ช่วงในแกน Z_i (mm)
300	± 300	400
400	± 400	500
500	± 500	600

เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความยาวก้าน โยง L_1 เมื่อกำหนดให้ก้าน โยงด้านล่าง L_2 มีความยาวคงที่เท่ากับ 500 mm ซึ่งได้มาจากกรณีในพื้นที่การทำงานที่ใหญ่ที่สุดจากหัวข้อก่อนหน้านี้ และ เมื่อให้ $R = 118$ mm, $r = 112$ mm. เมื่อความยาวก้าน โยง L_1 เพิ่มขึ้น พื้นที่รูปทรงแบบพาราโบลอยด์ (paraboloid) ที่สามารถเข้าถึงได้จะยืดออกไปในทางแกน z เท่านั้นและพื้นที่การทำงานจะหดลงในบริเวณเข้าใกล้แผ่นฐาน มากไปกว่านั้นพื้นที่การทำงานที่เข้าถึงไม่ได้ที่เป็นรูปถ้วยจะหดตัวลงจนเป็นจุดๆเดียว เมื่อความยาวของก้าน โยง L_1 ขยายออกไปเกินกว่า 250 mm ซึ่งจะส่งผลให้พื้นที่การทำงานที่เข้าถึงได้กลายเป็นรูปทรงกลมที่มีจีบ แทนที่จะเป็นรูปทรงแบบพาราโบลอยด์ (paraboloid) ดังนั้นช่วงของพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงได้ในแกน x และ y จะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของความยาวก้าน โยงด้านล่าง (L_2) มากกว่า จากผลวิเคราะห์ในขณะที่การเพิ่มรัศมีของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ นั้นจะทำให้พื้นที่การทำงานบิดเบี้ยวไป แต่ช่วงการทำงานในแกน x, y และ z จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 3.11 พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเมื่อ $[L_1, L_2] = [250, 400](\text{mm})$ [2]



รูปที่ 3.12 พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเมื่อ $[L_1, L_2] = [250, 500](\text{mm})$ [2]

ตารางที่ 3.3 ช่วงของพื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง X_i, Y_i, Z_i เมื่อให้

$$L_2 = 500 \text{ mm} \text{ นั้นคงที่}$$

L_2 (mm)	ช่วงในแกน $X_i - Y_i$ (mm)	ช่วงในแกน Z_i (mm)
150	± 150	400
200	± 200	550
250	± 250	350

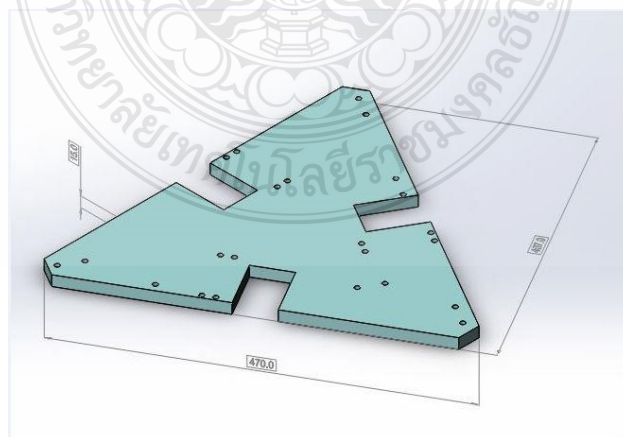
3.4 ขั้นตอนในการสร้างและขบวนการปฏิบัติงาน

ขั้นตอนในการสร้างแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงจะแบ่งออกเป็นสามส่วนได้แก่ 1) การออกแบบแขนหุ่นยนต์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS 2) การเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง 3) การออกแบบโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง

3.4.1 การออกแบบแขนหุ่นยนต์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

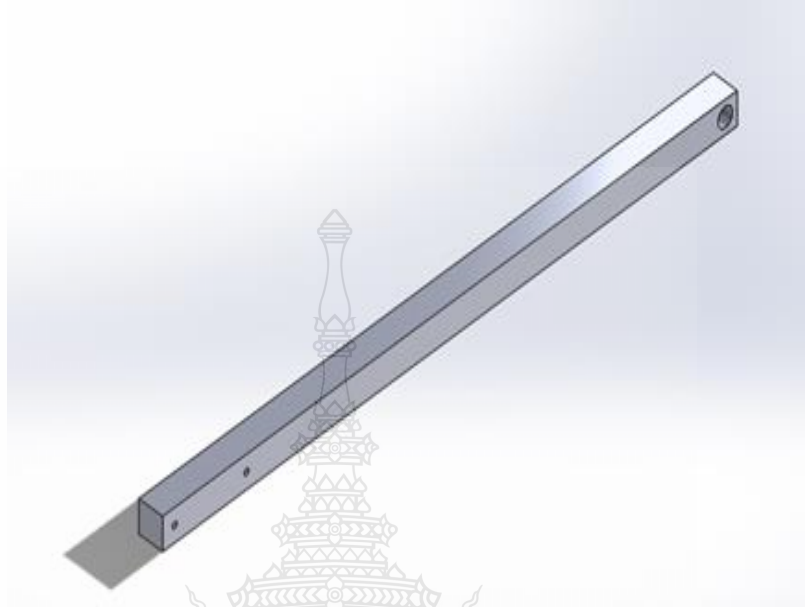
ขั้นตอนก่อนที่จะสร้างแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงนั้นต้องออกแบบชิ้นส่วนต่างๆของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านเข้าด้วยกันเพื่อที่จะให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามที่กำหนด โดยการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆดังนี้

3.4.1.1 ฐานยึดมอเตอร์ทำหน้าที่ยึดมอเตอร์เซอร์โวทั้งสามตัวที่จะใช้ยกก้าน โยง ทั้งสาม ทำจากปอม (Polyacetel หรือ POM) กว้าง 470 mm x 407 mm x 15 mm



รูปที่ 3.13 แผ่นฐานยึดมอเตอร์หุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง

3.4.1.2 ก้านโยงด้านบนที่ทำจากแท่งปอม (Polyacetel) ต้นทรงสี่เหลี่ยมทำหน้าที่ยึดติดกับเพลลาของเซอร์โวมอเตอร์และข้อต่อยาว 250 มิลลิเมตร โดยแทนด้วยตัวแปร L_1



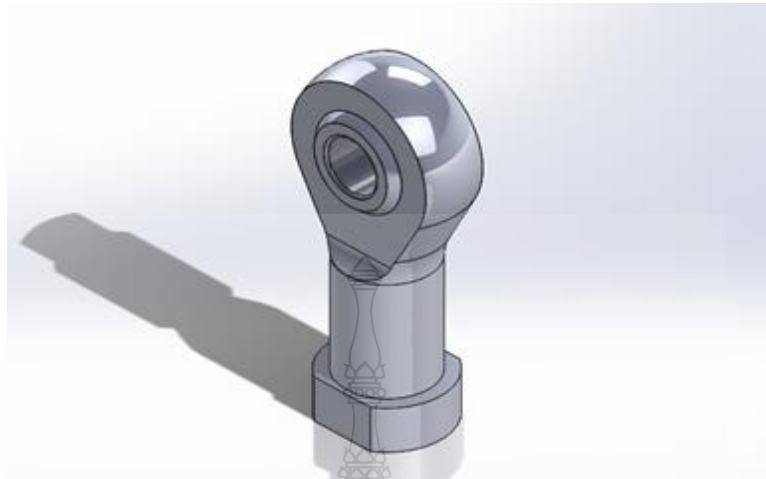
รูปที่ 3.14 ก้านโยงด้านบน

3.4.1.3 ก้านโยงด้านล่างจากท่ออลูมิเนียมกลมตัน กิ่งเกลียว M6 ทั้งหัวและท้าย มีความยาว 500 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ต่อกับแท่งอลูมิเนียมต้นทรงสี่เหลี่ยมเพื่อรับแรงจากแท่งอลูมิเนียมต้นทรงสี่เหลี่ยมโดยแทนด้วยตัวแปร L_2



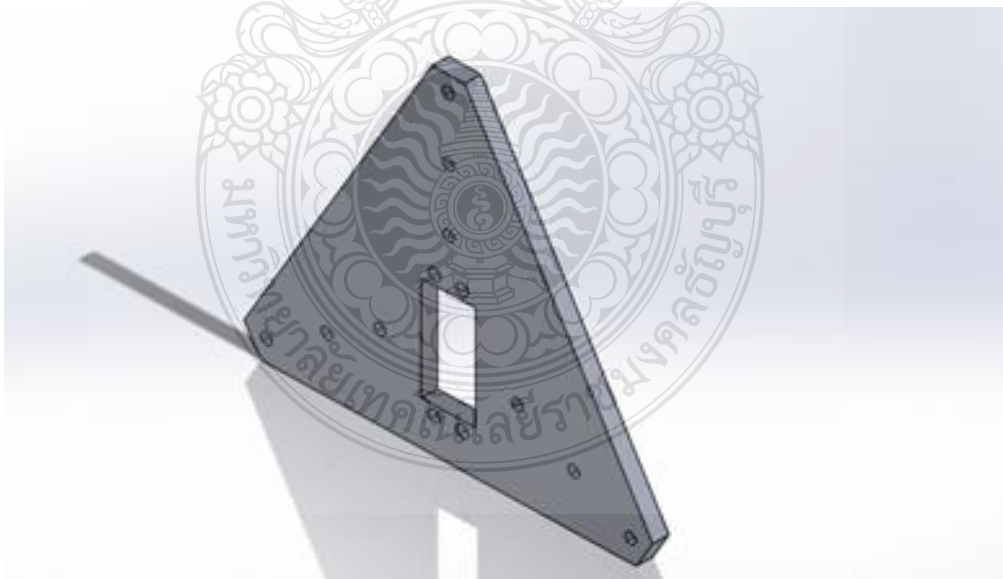
รูปที่ 3.15 ก้านโยงด้านล่าง

3.4.1.4 ลูกปืนตาเหล็กหน้าที่เป็นข้อต่อของท่อนอลูมิเนียมที่มีเกลียวขนาด M6



รูปที่ 3.16 ลูกปืนตาเหล็ก (Ball Joint)

3.4.1.5 แผ่นปลายแขนรูปสามเหลี่ยมทำจากปอม (Polyacetel) มีความหนา 5 มิลลิเมตร ทำหน้าที่เชื่อมก้านโยงด้านล่างทั้งสามขาเข้าด้วยกันมีความยาว 160 มิลลิเมตร ในแต่ละด้าน



รูปที่ 3.17 แผ่นฐานล่างที่ใช้ติดตั้งตัวคูดแบบไข่ม

3.4.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง

ขั้นตอนก่อนที่จะออกแบบระบบควบคุมนั้นก็ต้องมีการติดตั้งและประกอบอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกันเพื่อที่จะให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่สามารถทำงานได้ตามที่กำหนด โดยมีการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

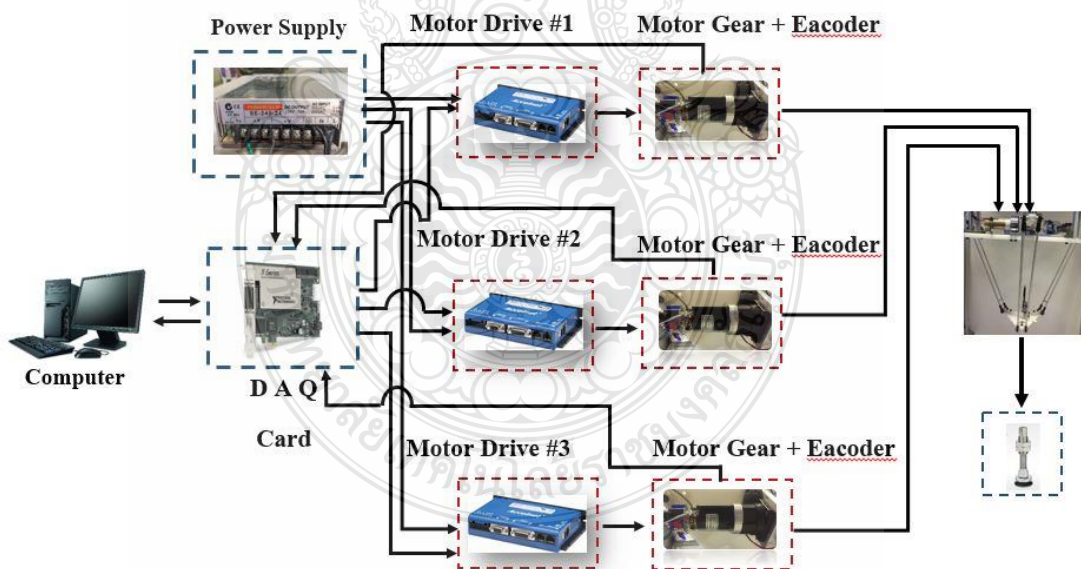
3.4.2.1 ติดตั้งมอเตอร์กระแสตรง 24 VDC หรือมอเตอร์กระแสสลับ 120 VAC จำนวน 3 ตัวเพื่อใช้ในการบังคับการเคลื่อนที่ขึ้นลงของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง

3.4.2.2 ติดตั้งไคร้ขับมอเตอร์ของทั้ง 3 ตัวรวมทั้งลิมิตสวิทช์ทั้งด้านบนและด้านล่างสำหรับมอเตอร์แต่ละตัวรวมทั้งระบบแหล่งจ่ายไฟ 24 VDC เพื่อใช้เป็นอินพุตให้กับไคร้มอเตอร์และมอเตอร์

3.4.2.3 ติดตั้งหน่วยประมวลผลกลางหรือคอมพิวเตอร์

3.4.2.4 ติดตั้งระบบคอนโทรลเลอร์เข้ากับคอมพิวเตอร์ โดยใช้การ์ดรับ-ส่ง ข้อมูล (Data Acquisition หรือ DAQ) ของ National Instruments (NI)

3.4.2.5 ติดตั้งหัวดูดแบบใช้ลมเข้ากับแผ่นปลายแขนรูปสามเหลี่ยมของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง



รูปที่ 3.18 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ทางไฟฟ้าของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง

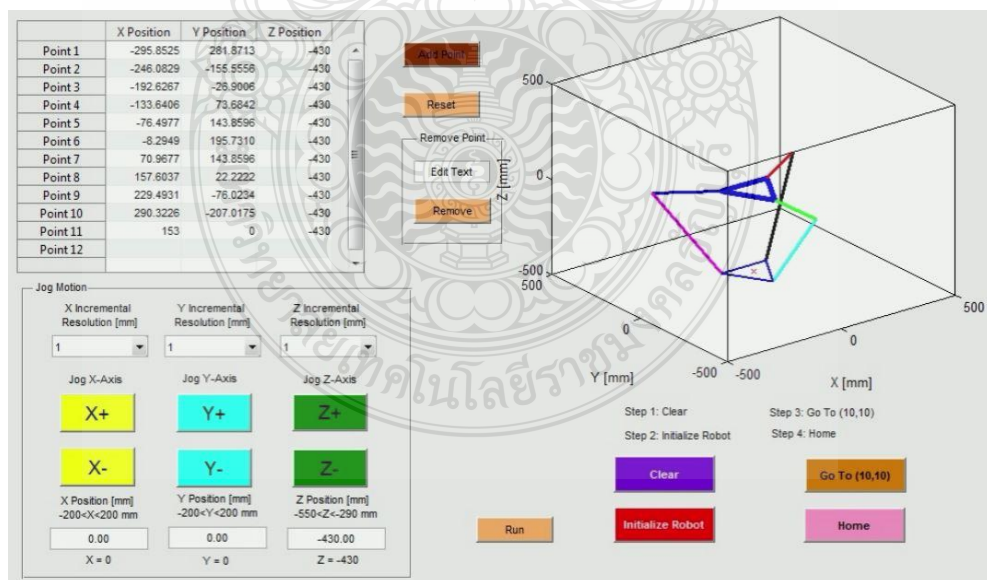
โครงสร้างหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง ฐานยึดมอเตอร์รูปสามเหลี่ยมส่วนบนและฐานรูปสามเหลี่ยมยึดก้าน โยงส่วนล่างจะมีความสมมาตรคล้ายกันและก้านโยงแต่ละด้านที่เท่ากัน ซึ่งปลายแขนด้านบนจะถูกยึดกับเพลามอเตอร์โดยที่มอเตอร์ประกอบด้วยแผ่นฐานยึดมอเตอร์รูปสามเหลี่ยมและอีกด้านของปลายแขนจะถูกยึดกับแขนด้านล่างซึ่งสามารถให้ตัวได้ด้วยลูกปืนตาเหล็ก ส่วนปลายแขนด้านล่างอีกด้านหนึ่งจะยึดกับฐานรูปสามเหลี่ยมด้านล่างด้วยลูกปืนตาเหล็กเหมือนกันซึ่งสามารถให้ตัวได้ ดังนั้นการเคลื่อนที่ไปพร้อมกันของสามก้าน โยง ด้านบนหุ่นยนต์จะสามารถสร้างการเคลื่อนที่ตามจุดหรือตำแหน่งที่กำหนดโดยจะทดสอบให้เป็นการเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้นของแผ่นปลายแขนรูปสามเหลี่ยมที่เคลื่อนที่ ซึ่งจะสามารถถอดสิ่งของได้ซึ่งได้ติดตั้งหัวคูดแบบใช้ลมไว้

4.3.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง

ในขั้นตอนสุดท้ายที่จะต้องออกแบบระบบควบคุมเข้าด้วยกันเพื่อที่จะให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่และสามารถทำงานได้ตามที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้ใช้โปรแกรม MATLAB/GUI และ MATLAB/Simulink และใช้ Stateflow Toolbox

4.3.3.1 โปรแกรม MATLAB/GUI

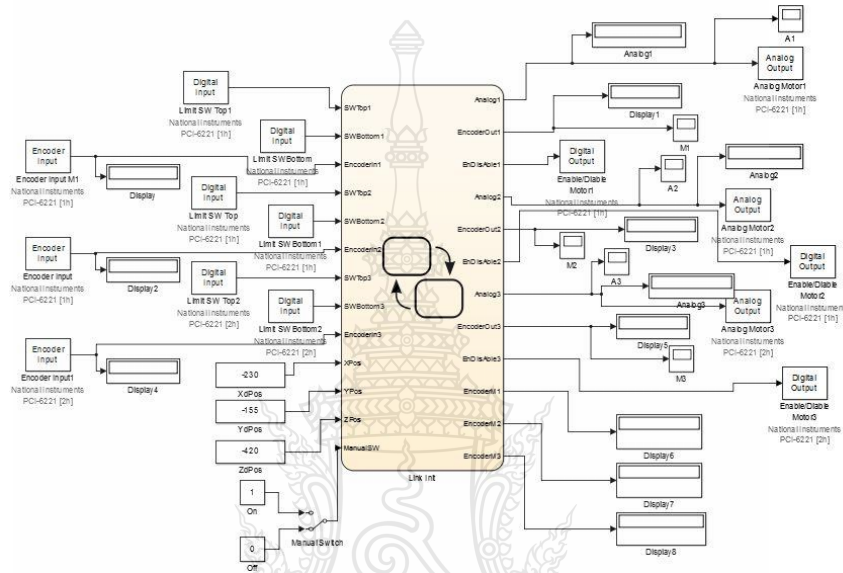
จากที่ได้ทำการออกแบบโปรแกรม MATLAB/GUI สามารถทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับระบบควบคุมเชิงเส้น ได้ทำให้ผู้ใช้งาน ไม่ต้องใช้เวลามากในการศึกษาโปรแกรมและ ยังสะดวกสำหรับการวิเคราะห์ทางระบบควบคุมเชิงเส้น



รูปที่ 3.19 หน้าต่างโปรแกรม MATLAB/GUI ที่ออกแบบขึ้น

4.3.3.2 โปรแกรม MATLAB/Simulink และใช้ Stateflow Toolbox

จากที่ได้ทำการออกแบบโปรแกรม MATLAB/Simulink และใช้ Stateflow Toolbox สามารถทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับระบบควบคุมเชิงเส้นได้ทำให้ผู้ใช้งานไม่ต้องใช้เวลามากในการศึกษาโปรแกรมและ ยังสะดวกสำหรับการวิเคราะห์ทางระบบควบคุมเชิงเส้นเหมือนกับโปรแกรม MATLAB/GUI แต่มีข้อดีกว่าคือมีความเร็วในการส่งสัญญาณในการควบคุมอย่างรวดเร็วมากกว่า



รูปที่ 3.20 หน้าต่างโปรแกรม MATLAB/Simulink และใช้ Stateflow Toolbox ที่ออกแบบขึ้น

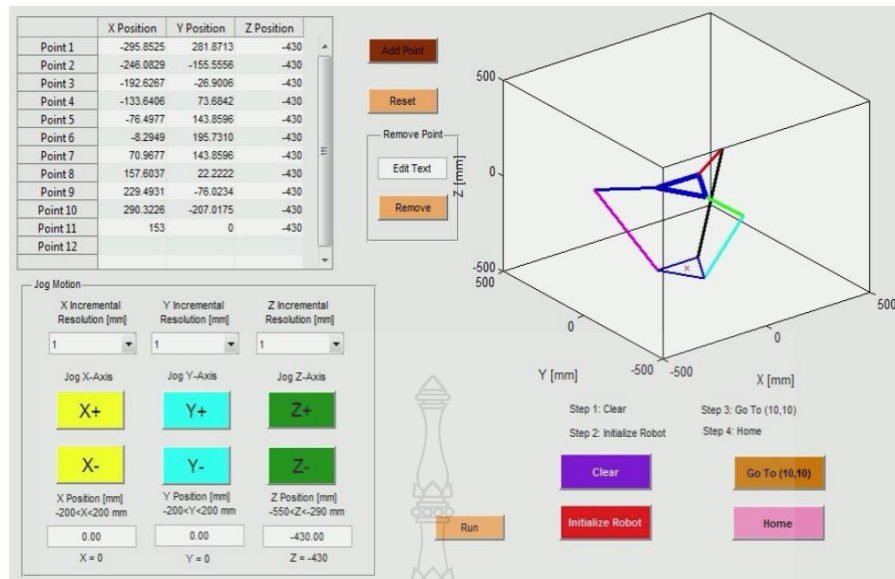
บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากที่ได้ทดลองการทำงานของหุ่นยนต์สามก้าน โยงและตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการทดสอบในสถานะต่างๆดังต่อไปนี้ 1) การทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ในแกน x, y, z 2) การทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดที่สร้างมาจากจุดพิกัดเมื่อใช้โปรแกรม MATLAB/GUI และ 3) การทดลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox ที่ควบคุมแขนหุ่นยนต์แบบเคลด้า

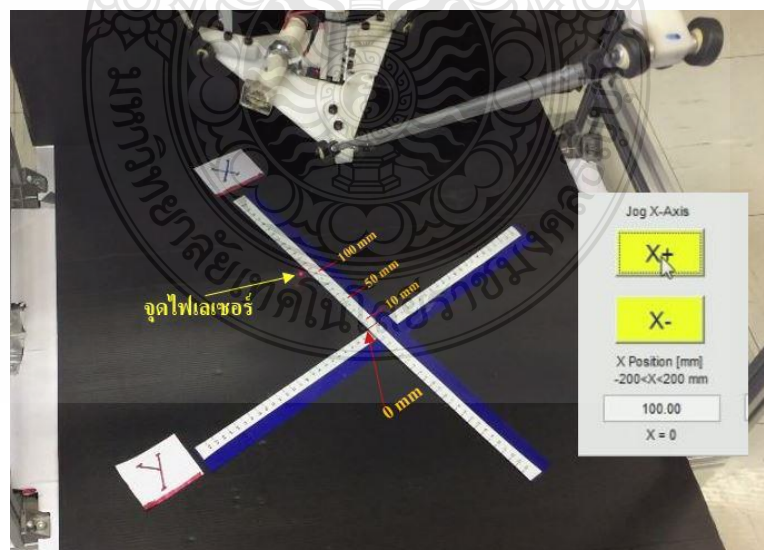
4.1 การทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ในแกน x, y, z

การทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งที่กำหนด โดยตำแหน่งที่กำหนดนั้นเป็นจุดกึ่งกลางของแผ่น ปลายแขนที่เคลื่อนที่ด้านล่างหรือปลายแขนของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง (Delta Robot) เพื่อจะได้เห็นการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ตามจุดพิกัดที่กำหนดได้อย่างชัดเจนมากขึ้น จึงได้ติดตั้งเลเซอร์ไว้ที่กึ่งกลางของแผ่นฐานและทำการทดสอบการเคลื่อนที่ในทิศทางทั้งสามแกนคือ x, y และ z โดยการทดลองการควบคุมการเคลื่อนที่จะสั่งคำสั่งด้วยโปรแกรม MATLAB/GUI ที่ได้พัฒนาขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.1 ผ่านทางหน้าต่างคอมพิวเตอร์ไปยังแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงในการทดสอบนี้ทำการสั่งคำสั่งการเคลื่อนที่เป็นระยะ 10 mm ในแต่ละครั้งเป็นจำนวน 10 ครั้ง ทั้งการเคลื่อนที่ด้านบวกและด้านลบตามแกน x, y และ z ดังแสดงในรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ แล้วทำการวัดระยะทางของตำแหน่งของจุดเลเซอร์ที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับปลายแขนหุ่นยนต์หรือจุดกึ่งกลางของแผ่น ปลายแขนที่เคลื่อนที่แล้วจึงสรุปค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ตามคำสั่งที่กำหนดของแต่ละแกน ไว้ในตารางที่ 4.1



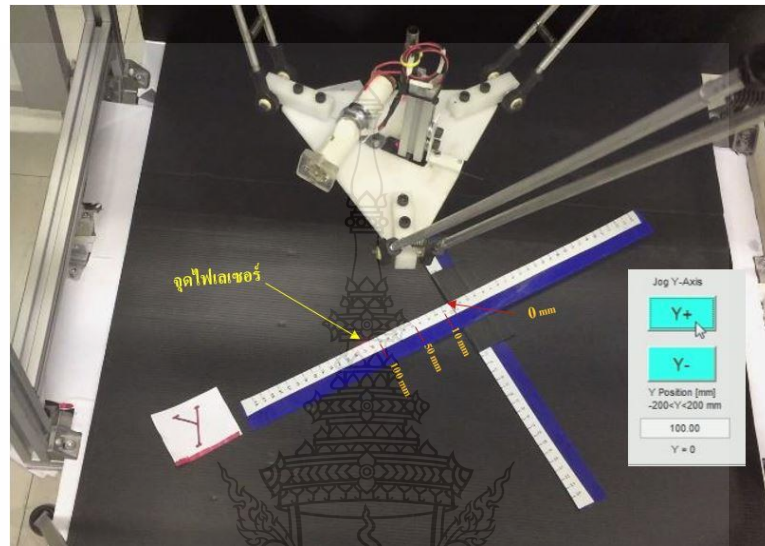
รูปที่ 4.1 หน้าต่าง โปรแกรม MATLAB/GUI เพื่อใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบเคลด้า

การทดสอบการเคลื่อนที่ตามคำสั่งที่กำหนดของปลายแขนหุ่นยนต์แบบเคลด้าตามแนวแกน x ทั้งในทิศบวกและในทิศลบ ในการทดสอบนี้ได้ส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวแกน x ให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10 mm เป็นจำนวน 10 ครั้งในทิศบวกและเป็นจำนวนอีก 10 ครั้งในทิศลบ รูปที่ 4.2 แสดงการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์ในทิศบวกตามแนวแกน x



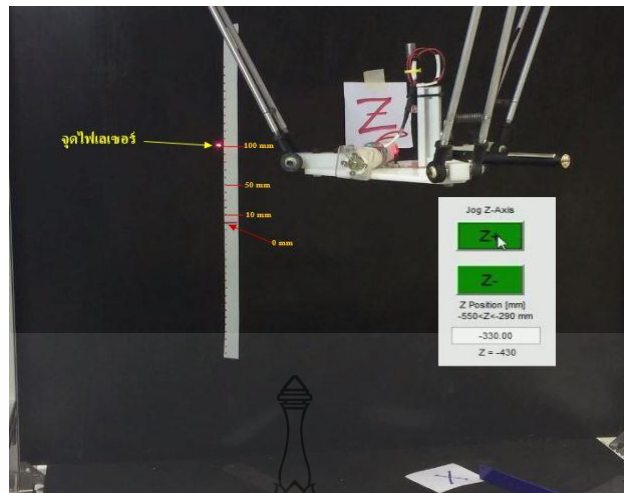
รูปที่ 4.2 เมื่อส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวแกน x ในทิศบวกโดยให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10 mm โดยโปรแกรม MATLAB/GUI

การทดสอบการเคลื่อนที่ตามคำสั่งที่กำหนดของปลายแขนหุ่นยนต์แบบเดลต้าตามแนวแกน y ทั้งในทิสววกและในทิสลบ ในการทดสอบนี้ได้ส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวแกน y ให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10 mm เป็นจำนวน 10 ครั้งในทิสววกและเป็นจำนวนอีก 10 ครั้งในทิสลบ รูปที่ 4.3 แสดงการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์ในทิสววกตามแนวแกน y



รูปที่ 4.3 เมื่อส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวแกน y ในทิสววกโดยให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10 mm โดยโปรแกรม MATLAB/GUI

การทดสอบการเคลื่อนที่ตามคำสั่งที่กำหนดของปลายแขนหุ่นยนต์แบบเดลต้าตามแนวแกน z ทั้งในทิสววกและในทิสลบ ในการทดสอบนี้ได้ส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวแกน z ให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10 mm เป็นจำนวน 10 ครั้งในทิสววกและเป็นจำนวนอีก 10 ครั้งในทิสลบ รูปที่ 4.4 แสดงการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์ในทิสววกตามแนวแกน z



รูปที่ 4.4 เมื่อสั่งคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวแกน z ในทศบวกโดยให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10 mm โดยโปรแกรม MATLAB/GUI

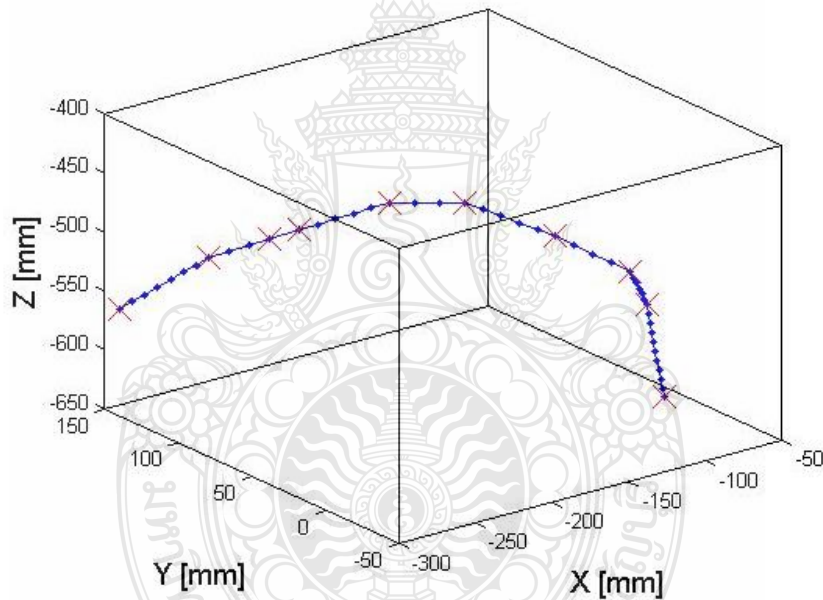
ตารางที่ 4.1 ค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามแกน โยง ในแนวแกน x, y และ z ด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 mm

แนวแกน	ค่าความผิดพลาดการเคลื่อนที่ ในทศบวก (mm) จากการทดสอบ			ค่าความผิดพลาดการเคลื่อนที่ ในทศลบ (mm) จากการทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	x	-2	0	-2	+1	0
y	+2	+2	0	-2	-2	+2
z	+1	+1	+2	0	0	-1

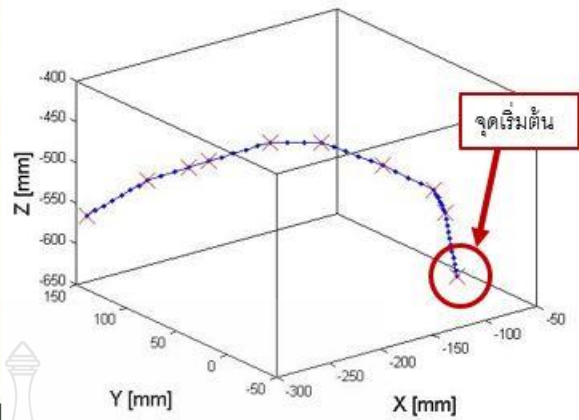
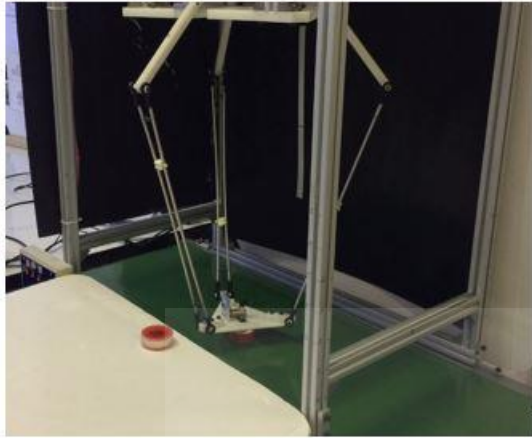
4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดที่สร้างมาจากจุดพิกัด

ในการทดลองส่วนที่สองนั้น จะทำการทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดจากจุดพิกัดที่ผู้ใช้งานเลือกและบันทึกข้อมูลไว้ในตาราง โดยจุดที่ผู้ใช้งานเลือกตำแหน่งพิกัดมาทั้งหมดจำนวนสิบจุดที่แสดงด้วยกากบาทสีแดง โดยโปรแกรม MATLAB/GUI จะทำการคำนวณและเพิ่มจำนวนจุดตามระยะห่างระหว่างสองจุดเป็นระยะทุกๆ 1 cm ดังแสดงด้วยวงกลมสีน้ำเงินในรูปที่ 4.5 เพื่อให้ได้เส้นทางเคลื่อนที่ของจุดกึ่งกลางของแผ่น ปลายแขนที่เคลื่อนที่สำหรับแขนหุ่นยนต์แบบเดลด้าที่ใช้ดีซีมอเตอร์

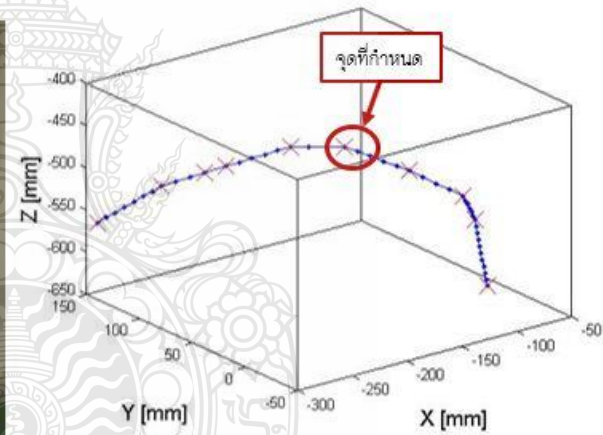
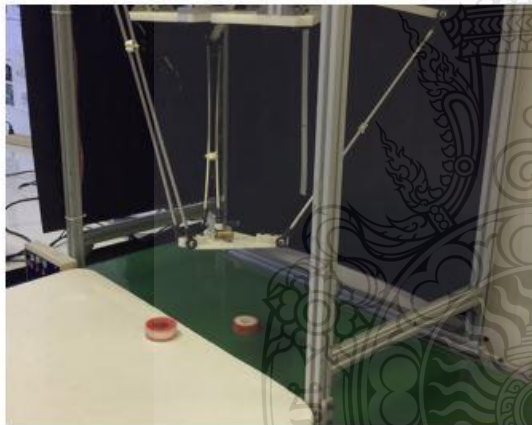
ให้สามารถเคลื่อนที่ไปได้อย่างราบเรียบและต่อเนื่อง รูปที่ 4.6 ถึง 4.8 แสดงการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบเคลต้าจากจุดเริ่มต้น ไปยังจุดสุดท้ายที่กำหนดโดยผู้ใช้งานพร้อมแสดงลักษณะของก้านโยงที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบคำสั่งเส้นทางการเคลื่อนที่ของมอเตอร์แต่ละตัวที่คำนวณได้จากจลศาสตร์ของแขนหุ่นยนต์กับเส้นทางการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์ที่วัดได้จากเอ็นโค้ดเดอร์สำหรับแต่ละก้านโยง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 แสดงค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์ทั้งสามตัวการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้น หรือตำแหน่งที่ก้านโยงด้านบนขนานกับระนาบแนวนอน หลังจากแตะลิimitswitch ด้านบน ในช่วงเวลา 0-2 วินาที และ เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นมายังตำแหน่งแรก ในช่วงเวลา 2-6 วินาที และ เคลื่อนที่จากตำแหน่งแรกไปยังตำแหน่งสอง ในช่วงเวลา 6-14 วินาที และ ในรูปที่ 4.10 แสดงค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์ทั้งสามตัวการเคลื่อนที่จากตำแหน่งสองกลับไปยังตำแหน่งแรกในช่วงเวลา 0-8.3 วินาที



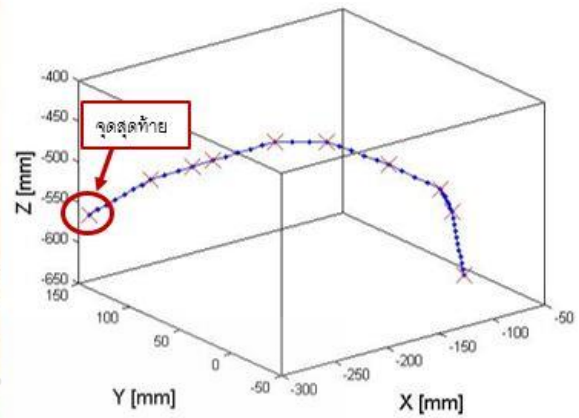
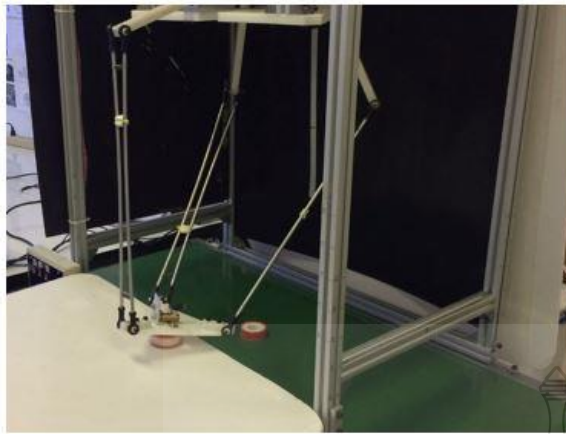
รูปที่ 4.5 เส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดกึ่งกลางของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ ตามจุดพิกัดที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน (กากบาทสีแดง) และ จุดพิกัดที่เพิ่มเติมระหว่างจุดที่กำหนด (วงกลมสีน้ำเงิน)



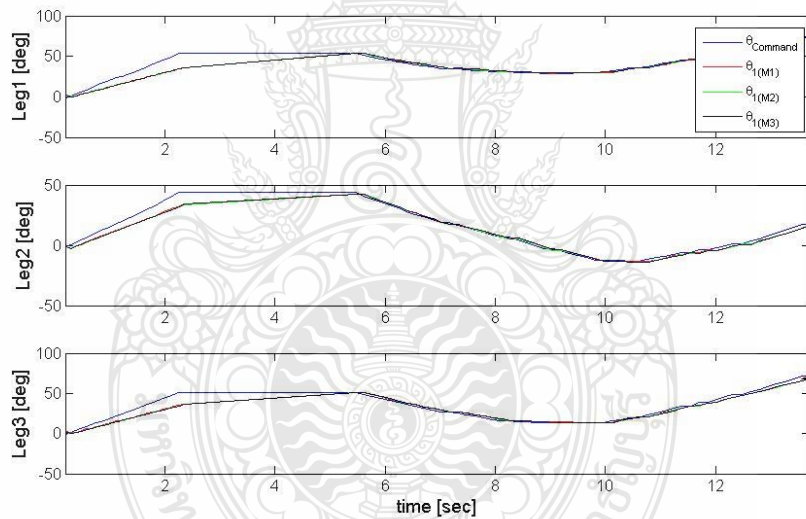
รูปที่ 4.6 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามก้าน โยงจริงจากจุดเริ่มต้น (ซ้าย) และเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดกึ่งกลางของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์สามก้าน โยง (ขวา)



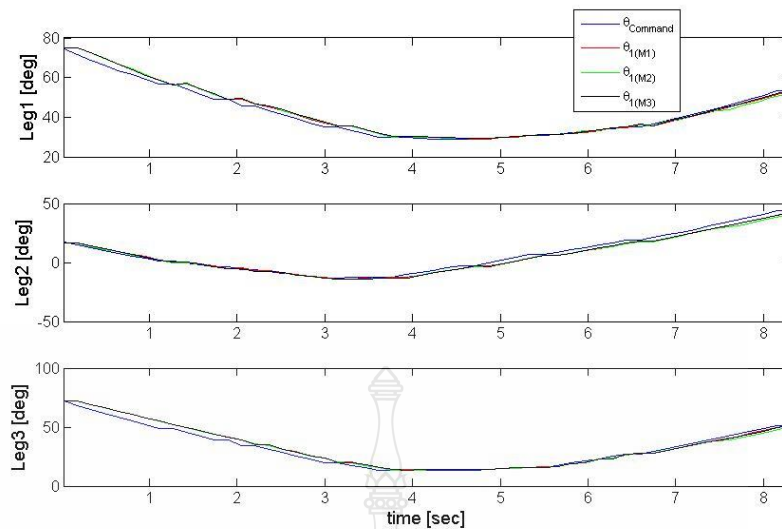
รูปที่ 4.7 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามก้าน โยงจริงเมื่อถึงจุดที่กำหนด (ซ้าย) และเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดกึ่งกลางของแผ่นปลายแขน การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์สามก้าน โยง (ขวา)



รูปที่ 4.8 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามก้าน โยงจริงเมื่อถึงจุดที่สุดท้าย (ซ้าย) และเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดกึ่งกลางของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์สามก้าน โยง (ขวา)



รูปที่ 4.9 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงตามเส้นทางที่กำหนด โดยพิจารณา ค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์ทั้งสามตัวในช่วงหลังจากแต่ละลิมิตสวิตช์ด้านบนแล้วก้านโยงด้านบนเคลื่อนที่ลงมาขนานกับระนาบแนวนอนหรือจุดเริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 0-2 วินาที และเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นมายังตำแหน่งแรก ในช่วงเวลา 2-6 วินาที และเคลื่อนที่จากตำแหน่งแรกไปยังตำแหน่งสอง ในช่วงเวลา 6-14 วินาที จากการทดสอบสามครั้งและเปรียบเทียบกับคำสั่งจากโปรแกรม MATLAB/GUI

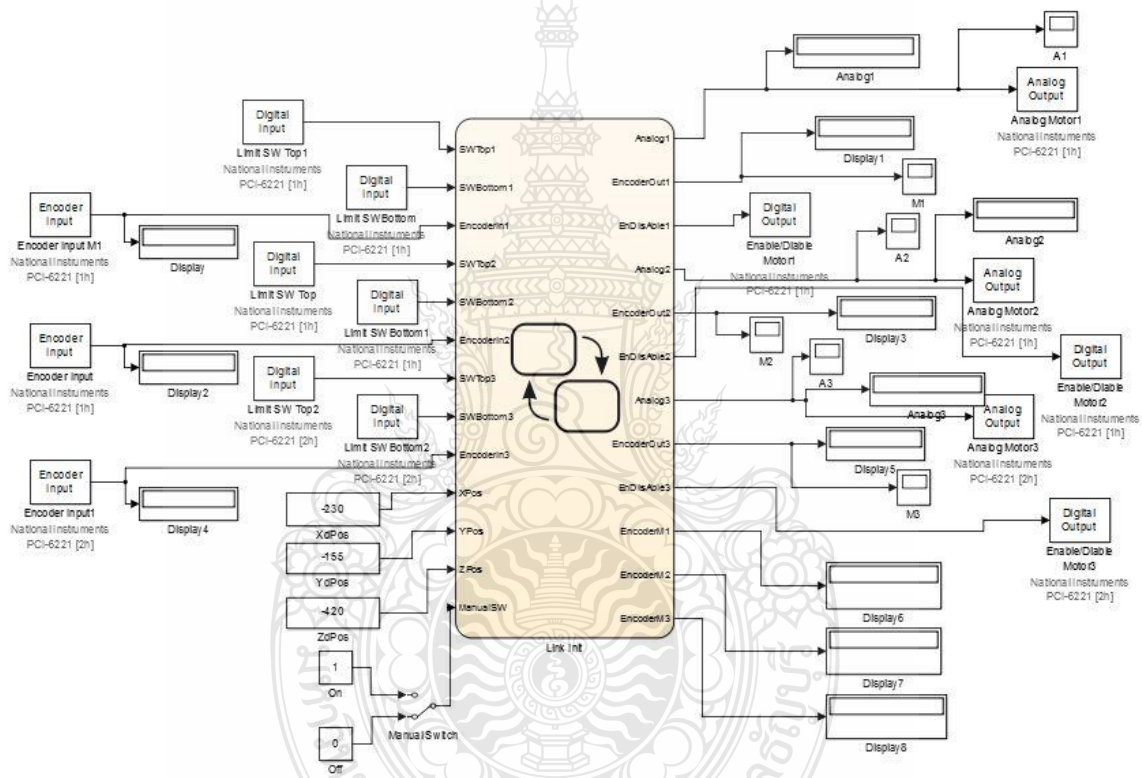


รูปที่ 4.10 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงตามเส้นทางที่กำหนด โดยพิจารณาค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์ทั้งสามตัวการเคลื่อนที่จากตำแหน่งสองไปยังตำแหน่งแรก ในช่วงเวลา 0-8.3 วินาที จากการทดสอบสามครั้งและเปรียบเทียบกับคำสั่งจากโปรแกรม MATLAB/GUI

จากผลการทดสอบทั้งสามครั้งจะเห็นได้ว่าองศาการหมุนของมอเตอร์ที่วัดได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ที่เชื่อมต่อกับก้านโยงด้านบนนั้นสามารถเคลื่อนที่ตามคำสั่งของมอเตอร์ของแต่ละก้านโยงที่คำนวณได้จากจลศาสตร์แบบผกผันได้อย่างแม่นยำทั้งขาไปและขากลับจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้าย และผลการทดสอบทั้งสามครั้งได้ค่าองศาการหมุนของมอเตอร์ที่เท่ากันทั้งสามครั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทำงานซ้ำเดิมของแขนกลแบบสามก้าน โยงนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีและสามารถเคลื่อนที่ตามคำสั่งที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์ที่คำนวณได้จากสมการจลศาสตร์แบบผกผัน

4.3 การทดลองด้วยโปรแกรมที่ควบคุมด้วย MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox

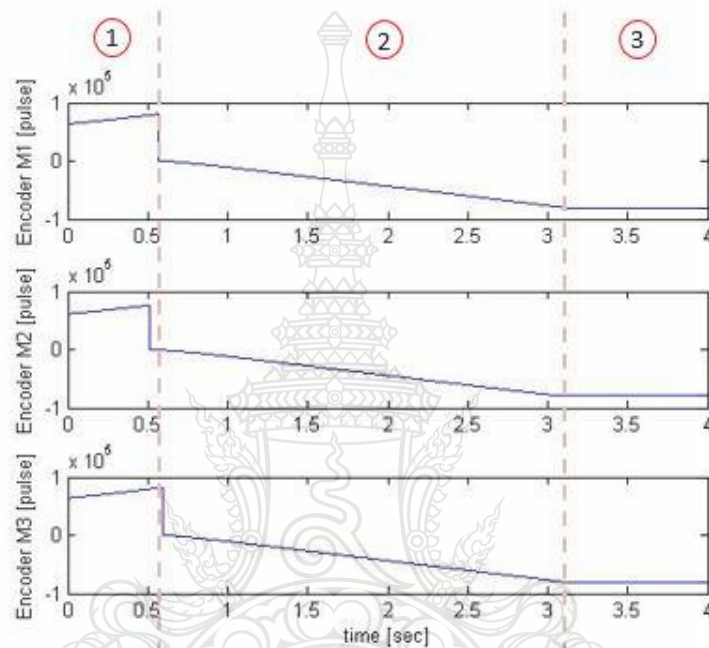
การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงตามเส้นทางที่กำหนดแบบต่างๆ 1) การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเมื่อป้อนค่าความต่างศักย์ที่ต่งที่ที่แตกต่างกันและ 2) ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงไปยังตำแหน่งที่กำหนดที่ควบคุมด้วยโปรแกรม MATLAB /Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox 3) การทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงในแนวแกน x, y ด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 mm โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox



รูปที่ 4.11 หน้าต่างโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox

4.3.1 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเมื่อป้อนค่าความต่างศักย์ที่คงที่ที่แตกต่างกัน

4.3.1.1 การทดสอบครั้งที่ 1 เมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ให้มอเตอร์กระแสสลับเป็นค่าคงที่เท่ากับ 0.5 โวลต์



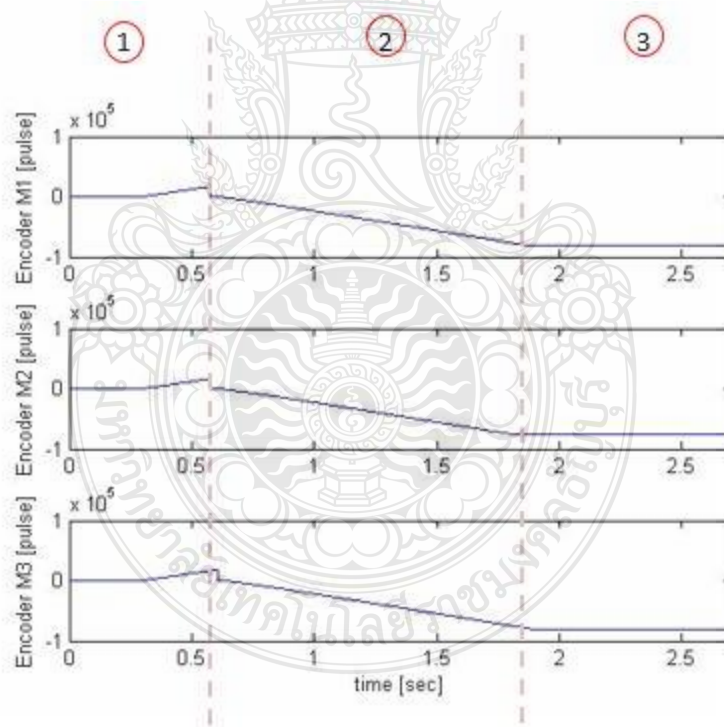
รูปที่ 4.12 ความเร็วในการขึ้นการลงของแขนสามก้าน โยงทั้งสามก้าน โยง เมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 0.5 โวลต์คงที่ให้กับมอเตอร์แบบกระแสสลับทั้งสามตัว

จากรูปที่ 4.12 เป็นกราฟแสดงการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 0.5 โวลต์คงที่ ในการรีเซ็ตแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงโดยกระทำการยกแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงทั้งสามแขนขึ้นเพื่อแตะลิมิตสวิตช์ด้านบนแล้วจึงมีการตั้งค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์เอซีทั้งสามตัวให้มีค่าเป็น 0 แล้วจึงจะมีการสั่งให้แขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงทำการเคลื่อนที่จากลิมิตสวิตช์ด้านบนหมุนลงมาแตะลิมิตสวิตช์ด้านล่าง ซึ่งมีองศาการหมุนเป็นมุม 145 องศา แล้วจะสามารถคำนวณหาความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

$$\omega_i = \frac{145^\circ}{t} \left(\frac{\text{องศา}}{\text{วินาที}} \right) \quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, 3 \quad (4.1)$$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟการเคลื่อนที่ที่วัดได้จากค่าเอ็นโค้ดเดอร์นั้น จะประกอบด้วยสามช่วงในการทำงาน โดยสามารถอธิบายแต่ละช่วงได้ดังนี้ คือ ช่วงที่ 1 เมื่อเริ่มการทำงานก้านโยงทั้งสามจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนและเมื่อก้านโยงแต่ละก้านแตะลิมิตสวิตช์ตัวด้านบนค่าเอ็นโค้ดเดอร์จะถูกตั้งค่าเป็น 0 หรือเรียกว่าการรีเซ็ต ช่วงที่ 2 ก้านโยงทั้งสามของแขนหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่จากลิมิตสวิตช์ตัวด้านบนลงมาจนแตะลิมิตสวิตช์ตัวด้านล่าง เมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 0.5 โวลต์คงที่ให้กับทั้งสามมอเตอร์ แล้วจึงวัดเวลา t เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์เอชซีแต่ละตัว คือ มอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในช่วงที่ 2 เป็น 2.59, 2.56, 2.57 วินาที ตามลำดับ แล้วคำนวณความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 ได้เป็น 55.98, 56.64, 56.42 องศา/วินาที ตามลำดับ ช่วงที่ 3 เมื่อก้านโยงทั้งสามก้านโยงแตะลิมิตสวิตช์ด้านล่าง มอเตอร์จึงหยุดทำงาน ดังนั้นค่าเอ็นโค้ดเดอร์จะเป็นค่าคงที่

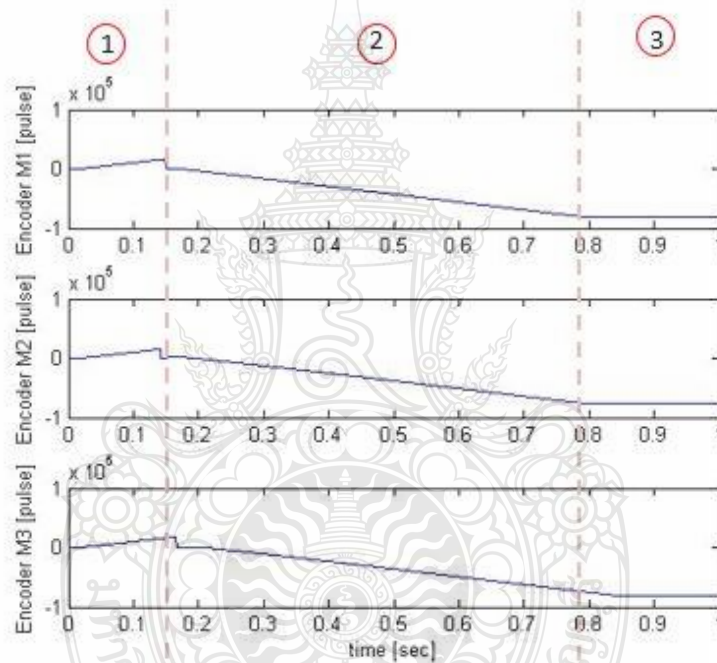
4.3.1.2 การทดสอบครั้งที่ 2 เมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ให้มอเตอร์กระแสสลับเป็นค่าคงที่เท่ากับ 1 โวลต์



รูปที่ 4.13 ความเร็วในการขึ้นการลงของแขนสามก้านโยงทั้งสามก้านโยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 1 โวลต์ คงที่ให้กับมอเตอร์แบบกระแสสลับทั้งสาม

จากรูปที่ 4.13 เป็นกราฟแสดงการเคลื่อนที่ที่วัดได้จากค่าเอ็นโค้ดเดอร์นั้นของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 1 โวลต์คงที่ โดยการเคลื่อนที่จะแบ่งเป็นสามช่วงเหมือนในหัวข้อที่ 4.3.1.1 และจะสามารถคำนวณความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เอซีแต่ละตัวคือมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในช่วงที่ 2 เป็น 1.25, 1.26, 1.25 วินาที ตามลำดับ แล้วคำนวณความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 ได้เป็น 116, 115.07, 116 องศา/วินาที ตามลำดับ

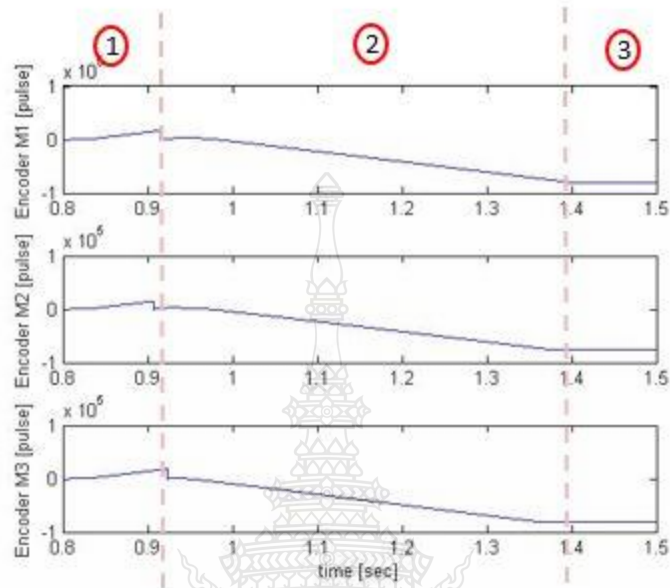
4.3.1.3 การทดสอบครั้งที่ 3 เมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ให้มอเตอร์กระแสสลับเป็นค่าคงที่เท่ากับ 2 โวลต์



รูปที่ 4.14 ความเร็วในการขึ้นการลงของแขนสามก้านโยงทั้งสามก้านโยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 2 โวลต์คงที่ให้กับมอเตอร์แบบกระแสสลับทั้งสาม

จากรูปที่ 4.14 เป็นกราฟแสดงการเคลื่อนที่ที่วัดได้จากค่าเอ็นโค้ดเดอร์นั้นของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 2 โวลต์คงที่ โดยการเคลื่อนที่จะแบ่งเป็นสามช่วงเหมือนในหัวข้อที่ 4.3.1.1 และจะสามารถคำนวณความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เอซีแต่ละตัวคือมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในช่วงที่ 2 เป็น 0.70, 0.72, 0.71 วินาที ตามลำดับ แล้วคำนวณความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 ได้เป็น 207.14, 201.38, 204.22 องศา/วินาที ตามลำดับ

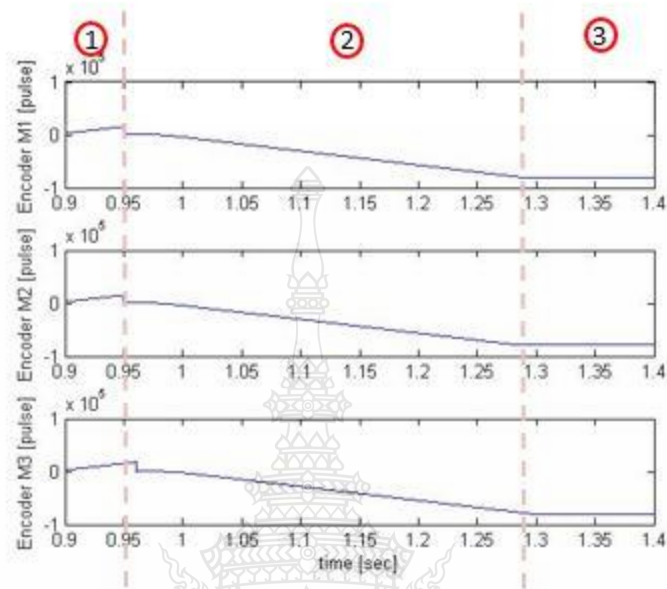
4.3.1.4 การทดสอบครั้งที่ 4 เมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ให้มอเตอร์กระแสสลับเป็นค่าคงที่ เท่ากับ 3 โวลต์



รูปที่ 4.15 ความเร็วในการขึ้นการลงของแขนสามก้าน โยงทั้งสามก้าน โยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 3 โวลต์คงที่ให้กับมอเตอร์แบบกระแสสลับทั้งสาม

จากรูปที่ 4.15 เป็นกราฟแสดงการเคลื่อนที่ที่วัดได้จากค่าเอ็นโค้ดเดอร์นั้นของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 3 โวลต์คงที่ โดยการเคลื่อนที่จะแบ่งเป็นสามช่วงเหมือนในหัวข้อที่ 4.3.1.1 และจะสามารถคำนวณความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ เอชแต่ละตัว คือ มอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในช่วงที่ 2 เป็น 0.45, 0.44, 0.47 วินาที ตามลำดับ แล้วคำนวณความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 ได้เป็น 322.22, 329.54, 308.51 องศา/วินาที ตามลำดับ

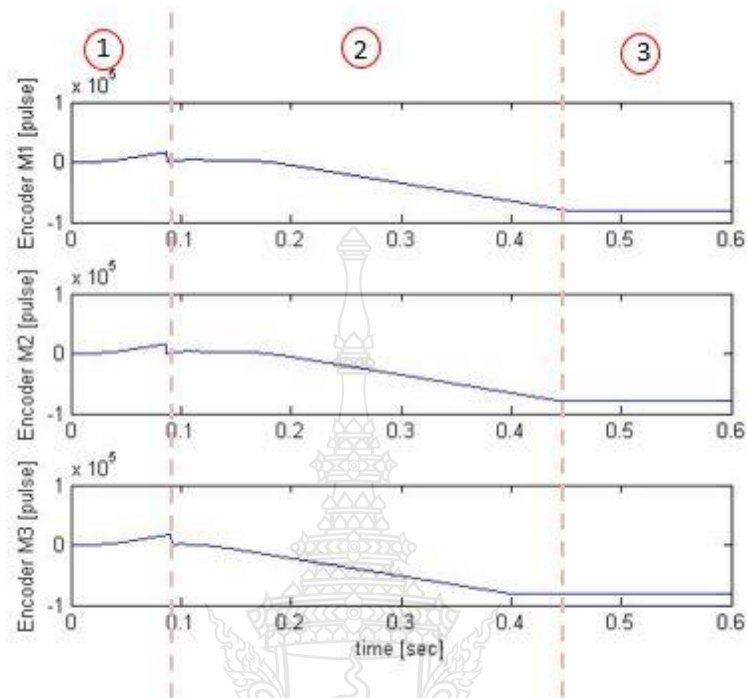
4.3.1.5 การทดสอบครั้งที่ 5 เมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ให้มอเตอร์กระแสสลับเป็นค่าคงที่ เท่ากับ 4 โวลต์



รูปที่ 4.16 ความเร็วในการขึ้นการลงของแขนสามก้าน โย่งทั้งสามก้าน โย่งเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 4 โวลต์คงที่ให้กับมอเตอร์แบบกระแสสลับทั้งสาม

จากรูปที่ 4.16 เป็นกราฟแสดงการเคลื่อนที่ที่วัดได้จากค่าเอ็นโค้ดเดอร์นั้นของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโย่งเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 4 โวลต์คงที่ โดยการเคลื่อนที่จะแบ่งเป็นสามช่วงเหมือนในหัวข้อที่ 4.3.1.1 และจะสามารถคำนวณความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เอชี่แต่ละตัวคือมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในช่วงที่ 2 เป็น 0.35, 0.34, 0.35 วินาที ตามลำดับ แล้วคำนวณความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 ได้เป็น 414.28, 426.47, 414.28 องศา/วินาที ตามลำดับ

4.3.1.6 การทดสอบครั้งที่ 6 เมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ให้มอเตอร์กระแสสลับเป็นค่าคงที่เท่ากับ 5 โวลต์

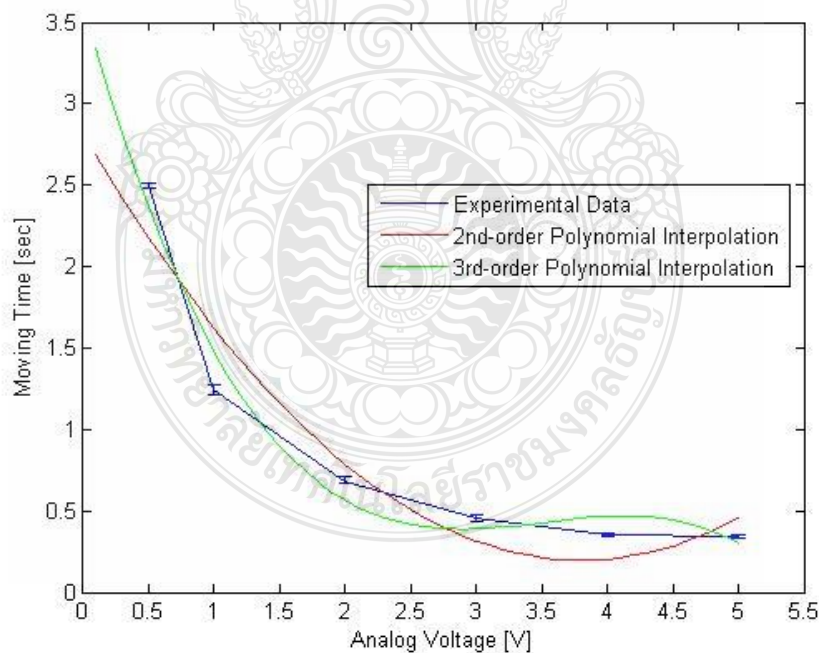


รูปที่ 4.17 ความเร็วในการขึ้นการลงของแขนสามก้านโยงทั้งสามก้านโยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 5 โวลต์คงที่ให้กับมอเตอร์แบบกระแสสลับทั้งสาม

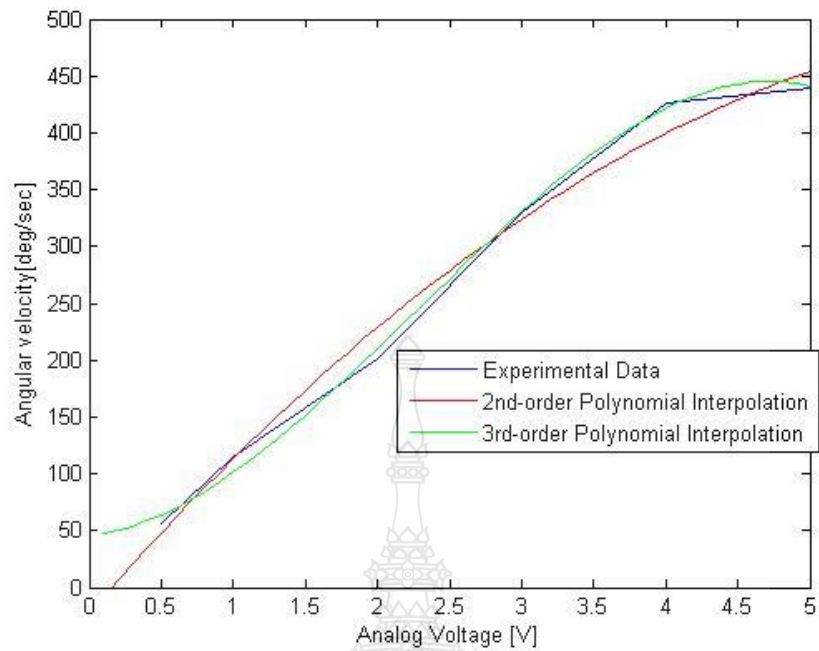
จากรูปที่ 4.17 เป็นกราฟแสดงการเคลื่อนที่ที่วัดได้จากค่าเอ็นโค้ดเดอร์นั้นของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ 5 โวลต์คงที่ โดยการเคลื่อนที่จะแบ่งเป็นสามช่วงเหมือนในหัวข้อที่ 4.3.1.1 และจะสามารถคำนวณความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เอชซีแต่ละตัวคือมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในช่วงที่ 2 เป็น 0.33, 0.33, 0.32 วินาที ตามลำดับ แล้วคำนวณความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 ได้เป็น 439.39, 439.39, 453.12 องศา/วินาที ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่าผลการทดสอบความเร็วในการยกกัน โยงของแขนกลขึ้น การลงเมื่อใช้ค่าความต่างศักย์ที่แตกต่างกันทั้งหมด 6 ค่า

คำสั่ง	มอเตอร์ตัวที่ 1		มอเตอร์ตัวที่ 2		มอเตอร์ตัวที่ 3	
	เวลา (วินาที)	ความเร็วเชิงมุม (องศา/วินาที)	เวลา (วินาที)	ความเร็วเชิงมุม (องศา/วินาที)	เวลา (วินาที)	ความเร็วเชิงมุม (องศา/วินาที)
0.5 V	2.59	55.98	2.56	56.64	2.57	56.42
1 V	1.25	116	1.26	115.07	1.25	116
2 V	0.70	207.14	0.72	201.38	0.71	204.22
3 V	0.45	322.22	0.44	329.54	0.47	308.51
4 V	0.350	414.28	0.34	426.47	0.35	414.28
5 V	0.33	439.39	0.33	439.39	0.32	453.12



รูปที่ 4.18 เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จากลิมิตสวิตช์ด้านบนลงมายังลิมิตสวิตช์ด้านล่างของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงและการประมาณค่าด้วยสมการพหุนามอันดับ 2 และ อันดับ 3 เพื่อประมาณค่าที่เหมาะสม



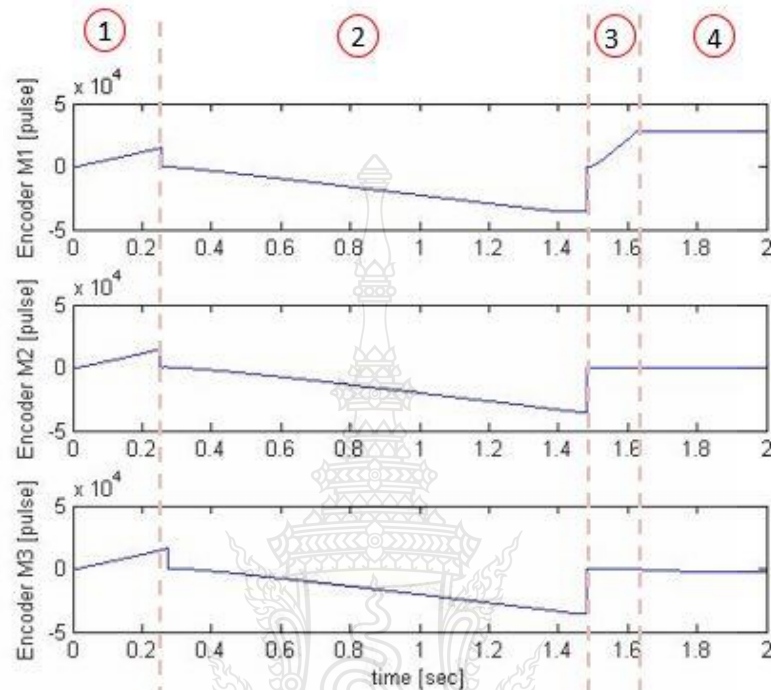
รูปที่ 4.19 ความเร็วในการเคลื่อนที่จากลิมิตสวิตช์ด้านบนลงมายังลิมิตสวิตช์ด้านล่างของแขนสามก้าน โยงทั้งสามก้าน โยง และการประมาณค่าด้วยสมการพหุนามอันดับ 2 และ อันดับ 3 เพื่อประมาณค่าที่เหมาะสม

4.3.2 ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง ไปยังตำแหน่งที่กำหนดที่ควบคุมด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox

ในการทดลองนี้จะ ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เอซีทั้ง 3 ให้เคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งที่กำหนดไว้ในเวลาที่เท่ากัน โดยจะต้องคำนวณหาความต่างศักย์ที่เหมาะสมที่จะส่งไปยังแต่ละ มอเตอร์ของแขนหุ่นยนต์สามก้าน โยงได้อย่างมีประสิทธิภาพในการทำงานอย่างดีที่สุด โดยกำหนดค่าพิกัดตำแหน่งให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็น $X = -230$ mm, $Y = -155$ mm, และ $Z = -420$ mm ในพื้นที่ทำงาน โดยการควบคุมการเคลื่อนที่จะใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox ในการตั้งงาน

4.3.2.1 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนด ในการทดสอบ

ครั้งที่ 1

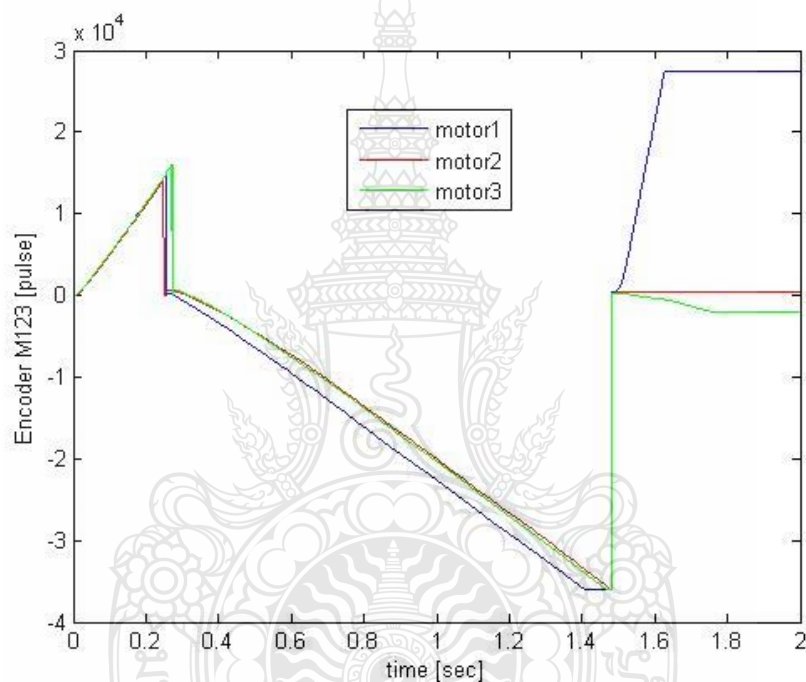


รูปที่ 4.20 ค่าเอ็นโค้ดเดอร์แสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เอซี ทั้ง 3 ตัว เพื่อควบคุมให้แขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนด ในการทดสอบครั้งที่ 1

จากรูปที่ 4.20 เป็นกราฟแสดงค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว เมื่อแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดเมื่อได้กำหนดค่าพิกัดตำแหน่งที่ต้องการ คือ $X = -230 \text{ mm}$ $Y = -155 \text{ mm}$ $Z = -420 \text{ mm}$ และควบคุมการเคลื่อนที่ด้วย โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox ในการทำงาน ในกราฟผลการทดสอบจะ กำหนดให้มอเตอร์แต่ละตัวทำงานต่างกันเพื่อให้จุดกึ่งกลางปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง ไปยังตำแหน่งที่กำหนดจากการคำนวณด้วยสมการจลศาสตร์ใน สมการที่ 2.5 เพื่อหาค่าความต่างศักย์ที่เหมาะสมของมอเตอร์แต่ละตัวในการเคลื่อนที่

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟการเคลื่อนที่ที่ประกอบด้วยกันสี่ช่วงในการทำงาน อธิบายแต่ละช่วงได้ดังนี้ คือ ช่วงที่ 1 เมื่อเริ่มการทำงานก้าน โยงทั้งสามจะเคลื่อนที่ขึ้นและลิมิตสวิทช์ด้านบนและเมื่อก้าน โยงแต่ละลิมิตสวิทช์ตัวด้านบนค่าเอ็นโค้ดเดอร์จะถูกตั้งค่าเป็น 0 หรือเรียกว่าการรีเซ็ต ช่วงที่ 2 ก้าน โยงทั้งสามของแขนหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่จากลิมิตสวิทช์ตัวด้านบนลงมาจน แขนหุ่นยนต์สามก้าน โยงอยู่ใน

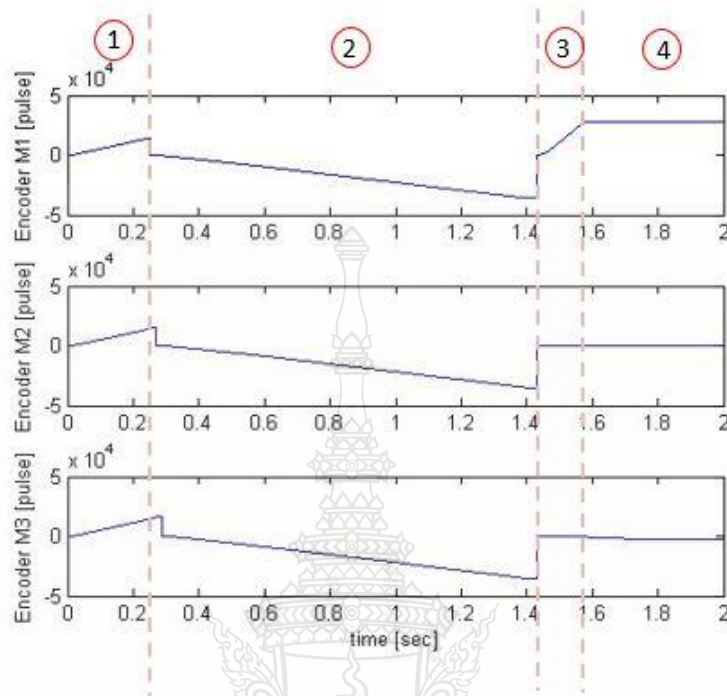
ระนาบแนวนอน ส่วนช่วงที่ 3 ก้าน โยงทั้งสามของแขนหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่จากระนาบแนวนอนไปยังตำแหน่งที่กำหนด ซึ่งจะวัดเวลา t เพื่อคำนวณหาความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์แต่ละตัว คือ มอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 จะใช้เวลาในช่วงที่ 3 เป็น 0.16, 0, 0.29 วินาที ตามลำดับ แล้วคำนวณความเร็วของมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 ได้เป็น 906.25, 0, 500 องศา/วินาที ตามลำดับ ช่วงที่ 4 เมื่อแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่งที่กำหนด มอเตอร์จึงหยุดทำงาน ดังนั้นค่าเอ็นโค้ดเดอร์จะมีค่าคงที่ เพื่อให้การเปรียบเทียบในระยะเวลาเดียวกันของมอเตอร์ทั้งสามตัวจึงได้นำรูปที่ 2.20 มาวาดใหม่ในแกนเวลาเดียวกันในรูปที่ 2.21 จะเห็นการทำงานของมอเตอร์เอซึ่ทั้งสามที่พร้อมกันได้อย่างชัดเจนขึ้น



รูปที่ 4.21 ค่าเอ็นโค้ดเดอร์การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงทั้งสามตัวไปยังตำแหน่งที่กำหนด ในการทดสอบครั้งที่ 1

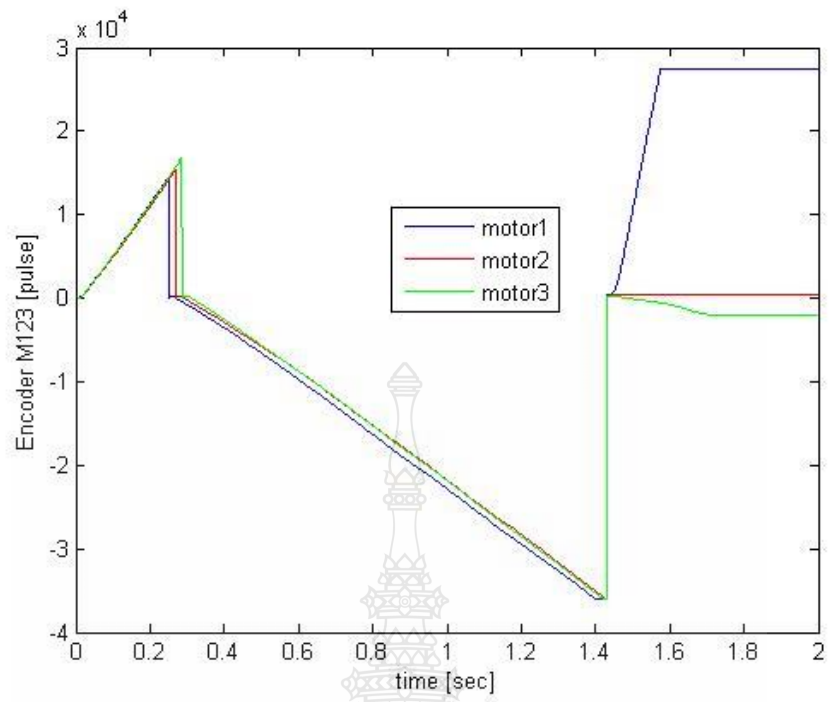
4.3.2.2 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนด ในการทดสอบ

ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.22 ค่าเอ็นโค้ดเดอร์แสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เอซี ทั้ง 3 ตัว เพื่อควบคุมให้แขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนด ในการทดสอบครั้งที่ 2

จากรูปที่ 4.22 เป็นกราฟแสดงค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว เมื่อแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดเมื่อได้กำหนดค่าพิกัดตำแหน่งที่ต้องการ คือ $X = -230$ mm $Y = -155$ mm $Z = -420$ mm และควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox ในการทำงาน ในการทดสอบครั้งที่ 2 โดยการเคลื่อนที่จะแบ่งเป็นสี่ช่วงเหมือนในหัวข้อที่ 4.3.2.1 และจะสามารถคำนวณความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เอซีแต่ละตัว คือ มอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในช่วงที่ 3 เป็น 0.17, 0, 0.27 วินาที ตามลำดับ แล้วคำนวณความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 ได้เป็น 852.94, 0, 537.03 องศา/วินาที ตามลำดับเพื่อให้การเปรียบเทียบในช่วงเวลาเดียวกันของมอเตอร์ทั้งสามตัวจึงได้นำรูปที่ 4.22 มาวาดใหม่ในแกนเวลาเดียวกันในรูปที่ 4.23 จะเห็นการทำงานของมอเตอร์เอซีทั้งสามที่พร้อมกันได้อย่างชัดเจนขึ้น

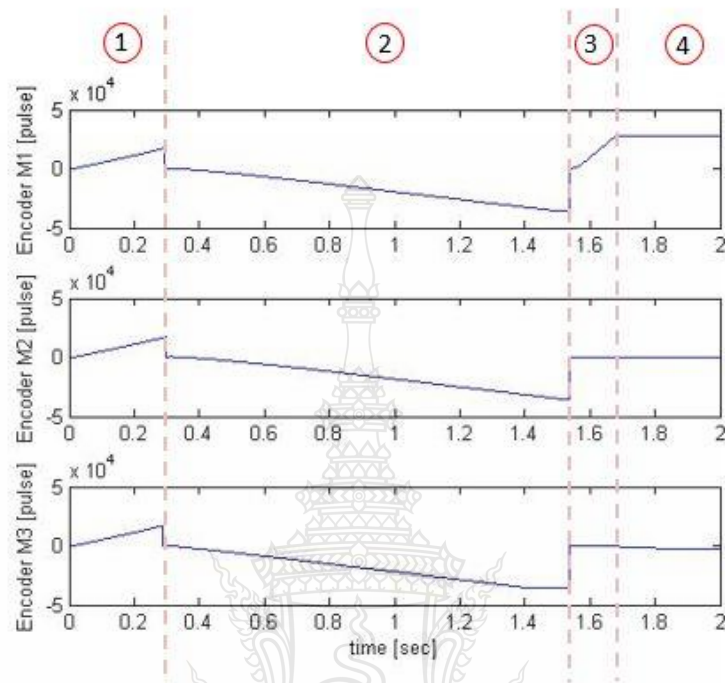


รูปที่ 4.23 ค่าเอ็นโค้ดเดอร์การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงทั้งสามตัวไปยังตำแหน่งที่กำหนด ในการทดสอบครั้งที่ 2



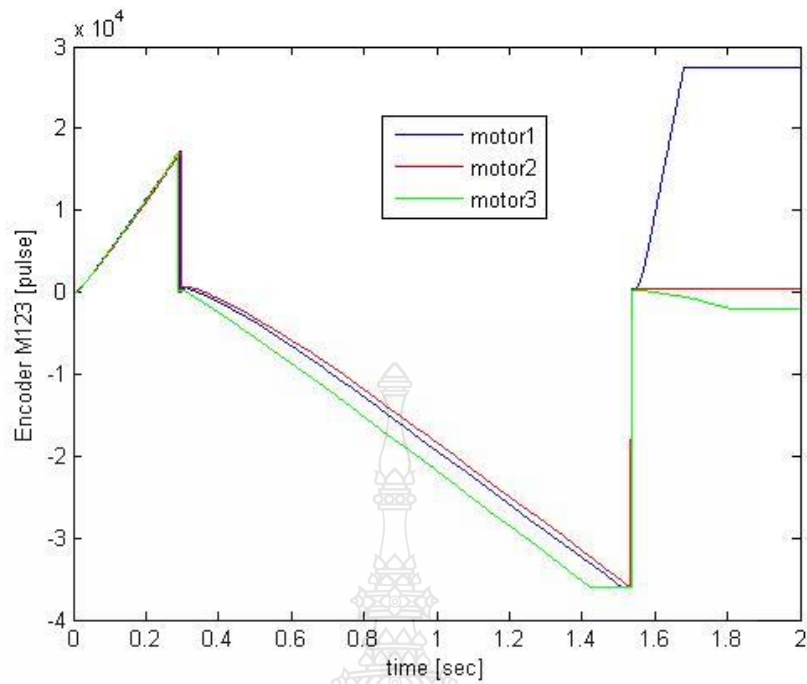
4.3.2.3 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดในการทดสอบครั้งที่ 3

ที่ 3



รูปที่ 4.24 ค่าเอ็นโค้ดเดอร์แสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เอซี ทั้ง 3 ตัว เพื่อควบคุมให้แขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงเคลื่อนที่ไปยังตัวตำแหน่งที่กำหนด ในการทดสอบครั้งที่ 3

จากรูปที่ 4.24 เป็นกราฟแสดงค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว เมื่อแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดเมื่อได้กำหนดค่าพิกัดตำแหน่งที่ต้องการ คือ $X = -230 \text{ mm}$ $Y = -155 \text{ mm}$ $Z = -420 \text{ mm}$ และควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox ในการทำงาน ในการทดสอบครั้งที่ 3 โดยการเคลื่อนที่จะแบ่งเป็นสี่ช่วงเหมือนในหัวข้อที่ 4.3.2.1 และจะสามารถคำนวณความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เอซีแต่ละตัว คือ มอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในช่วงที่ 3 เป็น 0.17, 0, 0.28 วินาที ตามลำดับ แล้วคำนวณความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 ได้เป็น 852.94, 0, 517.85 องศา/วินาที ตามลำดับเพื่อให้การเปรียบเทียบในช่วงเวลาเดียวกันของมอเตอร์ทั้งสามตัวจึงได้นำรูปที่ 4.24 มาวาดใหม่ในแกนเวลาเดียวกันในรูปที่ 4.25 จะเห็นการทำงานของมอเตอร์เอซีทั้งสามที่พร้อมกันได้อย่างชัดเจนขึ้น



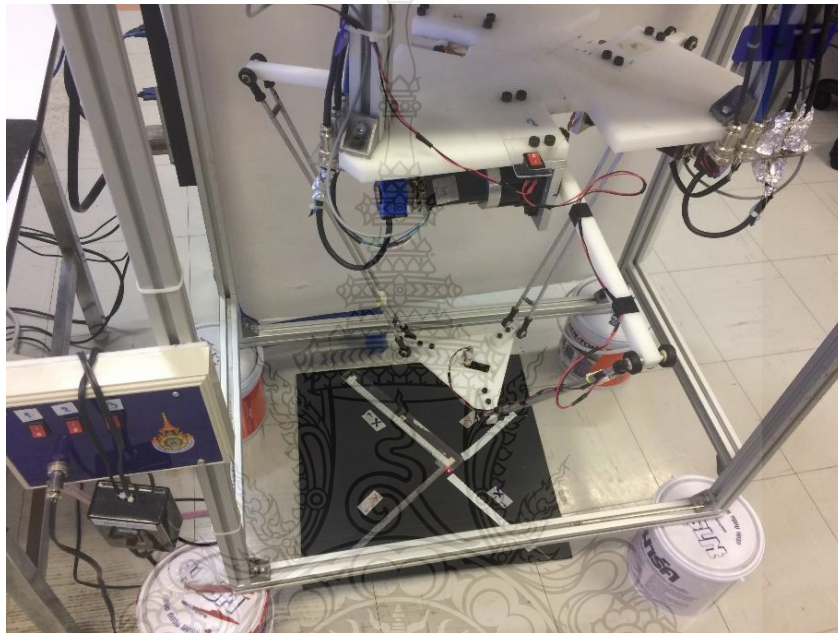
รูปที่ 4.25 ค่าเอ็นโค้ดเดอร์การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงทั้งสามตัวไปยังตำแหน่งที่กำหนด ในการทดสอบครั้งที่ 3

ตารางที่ 4.3 ค่าผลการทดสอบความเร็วไปยังตำแหน่งที่กำหนดด้วยเปรียบเทียบมอเตอร์ทั้ง 3 ตัวโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox

การทดสอบครั้งที่	มอเตอร์ตัวที่ 1		มอเตอร์ตัวที่ 2		มอเตอร์ตัวที่ 3	
	เวลา (วินาที)	ความเร็วเชิงมุม (องศา/วินาที)	เวลา (วินาที)	ความเร็วเชิงมุม (องศา/วินาที)	เวลา (วินาที)	ความเร็วเชิงมุม (องศา/วินาที)
1	0.16	906.25	0	0	0.29	500
2	0.17	852.94	0	0	0.27	537.03
3	0.17	852.94	0	0	0.28	517.85

4.3.3 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ในแนวแกน x,y ด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 mm โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox

การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ในแนวแกน x, y ทั้งในทิศทางบวกและในทิศทางลบ ในการทดสอบนี้ได้ส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ในแนวแกน x ให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10, -10, 20, -20, 30, -30 mm เป็นจำนวน 3 ครั้งและกำหนด z เป็นค่าคงที่ -450 mm



รูปที่ 4.26 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ในแนวแกน x,y ด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 mm โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox

ตารางที่ 4.4 ค่าผลการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงในระนาบแนว

นอนตามแกน x, y ด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 mm ตามแกน x เมื่อให้ตำแหน่งตามแกน $y = 0$ ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox

การเคลื่อนที่ตามแกน +x เป็นระยะ	ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่วัดได้ใน ทศบวก (mm) จากการทดสอบ			การเคลื่อนที่ตามแกน -x เป็นระยะ	ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่วัดได้ใน ทศลบ (mm) จากการทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
+10	10	15	11	-10	-10	-11	-10
+20	20	22	23	-20	-23	-21	-18
+30	32	32	28	-30	-31	-31	-32
+40	44	41	42	-40	-45	-44	-37

ตารางที่ 4.5 ค่าผลการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงในระนาบแนว

นอนตามแกน x, y ด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 mm ตามแกน y เมื่อให้ตำแหน่งตามแกน $x = 0$ ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox

การเคลื่อนที่ตามแกน +y เป็นระยะ	ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่วัดได้ใน ทศบวก (mm) จากการทดสอบ			การเคลื่อนที่ตามแกน -y เป็นระยะ	ตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่วัดได้ใน ทศลบ (mm) จากการทดสอบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
+10	9	10	8	-10	-11	-10	-11
+20	22	20	23	-20	-23	-18	-22
+30	30	32	32	-30	-32	-33	-32
+40	41	40	42	-40	-43	-44	-45

จากตาราง 4.4 และ 4.5 เป็นค่าผลการทดสอบความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ในแนวแกน x, y ด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 mm ในแต่ละแกนด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox แสดงค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในทศบวกและทศลบจากการทดสอบของหุ่นยนต์สามก้านโยงได้กำหนดค่าพิกัดตำแหน่งที่ต้องการให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10, -10, 20, -20, 30, -30 mm เป็นจำนวน 3 ครั้งและ โดยกำหนดให้ตำแหน่งตามแกน z เป็นค่าคงที่ = -450 mm จะเห็นว่ายังมีความผิดพลาดในการเคลื่อนที่อยู่ในแนวแกน x จะมีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งประมาณ

2 mm ถึง 5 mm และในแนวแกน y จะมีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งประมาณ 2 mm ถึง 5 mm ซึ่งยังมีค่าความผิดพลาดอยู่ช่วงขอบเขตงานวิจัยที่รับได้และมีค่าความแม่นยำดีกว่าแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงที่ใช้คีมอเตอร์ในหัวข้อที่ 4.1 และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้นำเสนอแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงซึ่งหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง ได้เริ่มมีบทบาททางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่มากขึ้น โดยเฉพาะในงานที่ต้องการความเร็วและแม่นยำสูงซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการผลิตหรือบรรจุผลิตภัณฑ์ ในขณะที่งานด้านอุตสาหกรรมทางด้านอาหารและชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีความต้องการแรงงานในตลาดเป็นจำนวนมากขึ้นด้วย แต่เนื่องจากค่าจ้างแรงงานที่สูงในปัจจุบันทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มตามไปด้วย นอกจากนี้แล้วงานอุตสาหกรรมบางงานไม่สามารถที่จะใช้แรงงานมนุษย์เข้าไปทำได้ เช่น ในผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการผลิตในห้องสะอาด หรือ เป็นงานที่มีความเสี่ยงต่อมนุษย์ที่ต้องทำงานซ้ำเดิมต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ ทำให้หุ่นยนต์กลายเป็นทางออกของงานด้านอุตสาหกรรม ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงในหลายๆด้าน ซึ่งจะจำแนกได้หลักดังหัวข้อต่างๆ ดังนี้

5.1.1 การวิเคราะห์พื้นที่การทำงานของโครงสร้างแบบรูปปิคนั้นขึ้นการออกแบบ เพื่อที่จะได้เลือกขนาดของแต่ละก้าน โยงได้อย่างเหมาะสมที่สุดและได้ใช้ทฤษฎีจลศาสตร์แบบผกผันเพื่อช่วยออกแบบให้ได้พื้นที่การทำงานของปลายแขนกลแบบสามก้าน โยง ที่มีพื้นที่กว้าง โดยในระนาบ x และ y สามารถเข้าถึงพื้นที่ในระยะ ± 50 cm และในแกนตั้งหรือ z สามารถเข้าถึงพื้นที่ได้ในระยะ ± 60 cm

5.1.2 ทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ตามคำสั่งที่กำหนดของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงที่ใช้มอเตอร์แบบคิซี ด้วยโปรแกรม MATLAB/GUI ให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10mm เป็นจำนวน 10 ครั้งในทิศบวกและเป็นจำนวนอีก 10 ครั้งในทิศลบ ซึ่งความแม่นยำของการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงมีค่าความผิดพลาดในระนาบ x, y อยู่ในช่วง ± 2 mm ส่วนค่าความผิดพลาดในแกนตั้งหรือแกน z อยู่ในช่วง 0 ถึง 2 mm ซึ่งยังมีความคลาดเคลื่อนที่มากอยู่

5.1.3 การทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดจะเห็นได้ว่าองศาการหมุนของมอเตอร์ที่วัดได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ที่เชื่อมต่อกับก้าน โยงด้านบนนั้นสามารถเคลื่อนที่ตามคำสั่งของมอเตอร์แบบคิซีของแต่ละก้าน โยงที่คำนวณได้จากจลศาสตร์แบบผกผันได้อย่างแม่นยำทั้งขาไปและขากลับจากจุดเริ่มต้น ไปยังจุดสุดท้าย และผลการทดสอบทั้งสามครั้งได้ค่าองศาการหมุนของมอเตอร์ที่เท่ากันทั้งสามครั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทำงานซ้ำเดิมของแขนกลแบบสามก้าน โยง นั้น มี

ประสิทธิภาพที่ดีและสามารถเคลื่อนที่ตามคำสั่งที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์ที่คำนวณได้จากสมการ จลศาสตร์แบบพิกัดจุดพิกัดแต่แกนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงนั้นยังมีความเร็วที่ต่ำอยู่

5.1.4 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงที่ใช้มอเตอร์แบบเอซี เมื่อป้อนค่าความต่างศักย์ที่คงที่ที่แตกต่างกัน ด้วยโปรแกรม MATLAB /Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox โดยการให้แกนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงแต่ละลิมิตสวิตช์ด้านบนเป็นการเริ่มต้นของการทำงานและเมื่อแกนหุ่นยนต์แต่ละลิมิตสวิตช์ด้านล่างจะเป็นการสิ้นสุดในการทำงาน ค่าความต่างศักย์ที่คงที่ จะมีด้วยกัน 6 ค่าความต่างศักย์ด้วยกัน จากการทดสอบจะเห็นว่าค่าความต่างศักย์ที่มากขึ้นจะทำให้ความเร็วของแกน ก้าน โยงมีความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เร็วด้วย โดยมีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 439.39 องศา/วินาที ที่ค่าความต่างศักย์ 5 โวลต์

5.1.5 ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงไปยังตำแหน่งที่กำหนดที่ควบคุมด้วยโปรแกรม MATLAB /Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox ด้วยการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เอซีทั้ง 3 ตัว ให้เคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งที่กำหนดไว้ในเวลาที่เท่ากัน โดยจะต้องคำนวณหาค่าความต่างศักย์ที่เหมาะสมที่จะส่งไปยังแต่ละมอเตอร์ของแกนหุ่นยนต์สามก้าน โยงได้อย่างมีประสิทธิภาพในการทำงานอย่างดีที่สุด โดยกำหนดค่าพิกัดตำแหน่งให้แกนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็น $X = -230 \text{ mm}$, $Y = -155 \text{ mm}$, และ $Z = -420 \text{ mm}$ จะคำนวณความเร็วในช่วงที่ 3 ก้าน โยงทั้งสามของแกนหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่จากระนาบแนวนอน ไปยังตำแหน่งที่กำหนด ซึ่งจะวัดเวลา t เพื่อคำนวณหาความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์แต่ละตัวผลการทดสอบทั้งสามครั้งจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาเดียวกัน และสามารถทำความเร็วสูงสุดได้เท่ากับ 906.25 องศา/วินาที

5.1.6 ในการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของแกนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงที่ใช้มอเตอร์เอซีไปตามตำแหน่งที่กำหนดในทีละแกน ตามแนวแกน x และแกน y โดยเพิ่มระยะทางการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 mm ซึ่งมีความแม่นยำของการเคลื่อนที่ของปลายแกนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง มีค่าความผิดพลาดในแกน x อยู่ในช่วง 2 mm ถึง 5 mm ส่วนค่าความผิดพลาดในแกน y อยู่ในช่วง 2 mm ถึง 5 mm เช่นเดียวกัน ซึ่งยังมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วงขอบเขตงาน วิจัยและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงได้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการวิเคราะห์พื้นที่การทำงานของโครงสร้างแบบรูปบิจะต้องกำหนดขนาดในการคำนวณด้วยกันถึง 4 ขนาด ได้แก่ ฐานบน ฐานล่าง ก้านโยงด้านบน ก้านโยงด้านล่าง ซึ่งจะต้อง

เลือกขนาดที่ต้องการแล้วนำขนาดแต่ชิ้นมาทำการคำนวณใน โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณจะคำนวณอย่างละเอียดจึงใช้เวลานานในการคำนวณเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการสร้างแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง

5.2.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ตามคำสั่งที่กำหนดของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ด้วยโปรแกรม MATLAB/GUI ให้เคลื่อนที่ไปที่ละ 10 mm เป็นจำนวน 10 ครั้งในทิศบวกและเป็นจำนวนอีก 10 ครั้งในทิศลบ ในการวัดค่าจะใช้แสงเลเซอร์ในการทดสอบครั้งละ 10 mm จะมีแสงสะท้อนในการมองเห็นเนื่องจากพื้นที่ที่วัดการเคลื่อนที่มีสีขาวจึงทำให้มองเห็นได้ไม่ชัดจึงเปลี่ยนพื้นที่ที่วัดมาเป็นสีดำเมื่อทำการเปลี่ยนจะมองเห็นพื้นที่ในการวัดการเคลื่อนที่ได้ชัดเจนมากขึ้นและมองเห็นค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของ X, Y อยู่ในช่วง ± 2 mm ค่าความผิดพลาดในแกน z อยู่ในช่วง 0 ถึง 2 mm ซึ่งยังมีความคลาดเคลื่อนที่มากอยู่ จึงเปลี่ยน

5.2.3 การทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดเคลื่อนที่ตามคำสั่งทั้งเคลื่อนที่ไปและเคลื่อนที่กลับแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงเมื่อใช้มอเตอร์แบบดิซี ยังมีการสั่นและเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดซ้ำ

5.2.4 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงเมื่อใช้มอเตอร์แบบเอซี เมื่อป้อนค่าความต่างศักย์ที่คงที่ที่แตกต่างกัน ด้วยโปรแกรม MATLAB /Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox โดยการให้แขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงแต่ละลิวิตซ์ด้านบนเป็นการเริ่มต้นของการทำงานและเมื่อแขนหุ่นยนต์แต่ละลิวิตซ์ด้านล่าง การทดสอบในช่วงแรกยังไม่เสถียรทำให้แขนหุ่นยนต์ไม่หยุดตรงจุดลิวิตซ์จึงทำให้ลิวิตซ์เสียหาย

5.2.5 ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงเมื่อใช้มอเตอร์แบบเอซี ไปยังตำแหน่งที่กำหนดที่ควบคุมด้วยโปรแกรม MATLAB /Simulink โดยใช้ Stateflow Toolbox โดยกำหนดค่าพิกัดตำแหน่งให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็น $X = -230$ mm, $Y = -155$ mm, และ $Z = -420$ mm ในการกำหนดค่า X, Y และ Z จะยังไม่ถูกต้องในการทดสอบในช่วงแรกทำให้แขนหุ่นยนต์สามก้านโยงทำให้เคลื่อนที่ไม่มีทิศทาง

5.1.6 ในการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงที่ใช้มอเตอร์เอซีไปตามตำแหน่งที่กำหนดในทีละแกนตามแกน x และแกน y โดยการทดสอบนั้นจะมีข้อผิดพลาดในการเขียน โปรแกรมการควบคุมซึ่งใน โปรแกรม MATLAB เมื่อมีหน่วยอะไรๆจะคำนวณผิดพลาดจึงได้แก้ไขปัญหาโดยการตัดหน่วยในการคำนวณให้สั้นลงจึงสามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้

บรรณานุกรม

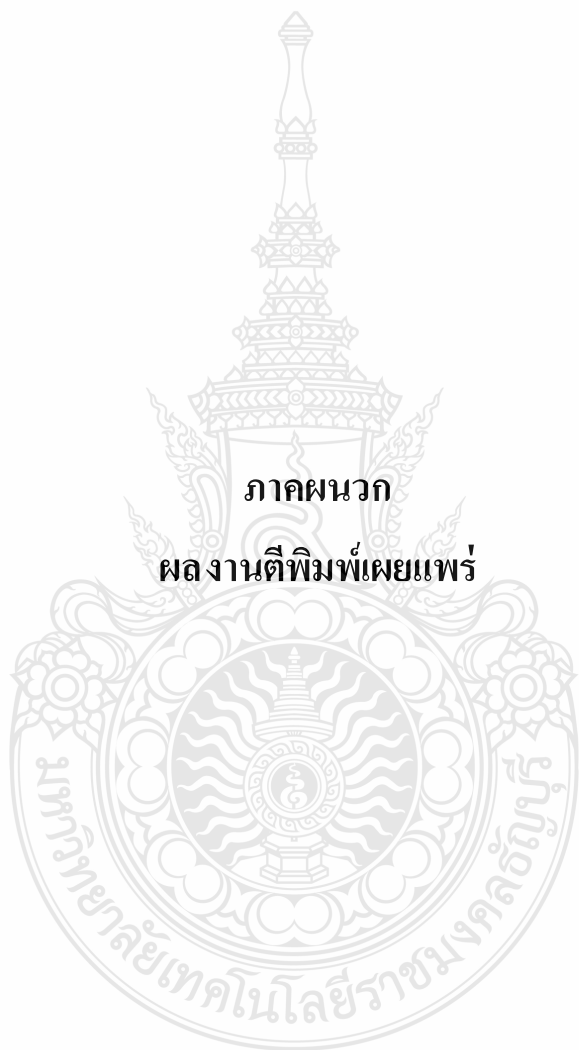
- [1] Reymond Clave (Online), Available: <http://documents.tips/documents/-80-reymond-clavel.html>, (22 June 2014).
- [2] Maya, M., Castillo, E., Lomeli, A., Gonzalez-Galvan, E., and Cardenas, A. (2013), Workspace and Payload-Capacity of a New Reconfigurable Delta Parallel Robot, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 10, No. 56, 1-11.
- [3] Siam Reprap, Delta Robot 3D printer (Online), Available: <http://www.siamreprap.com/videos>, (01 October 2014).
- [4] Raimundo, D., Eddie, R., L., Zambrano, E., “Delta robot controlled by robotic operating system Robot delta controlado con sistema operativo robótico (R.O.S.)” International Journal, Vol,12.1-6, Junio 2015
- [5] Adisak chinawong (Online), มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) Available: <http://www.adisak51.com/page21.html>, (7 February 2014).
- [6] Encoder (Online), Available: https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload, (01 October 2014).
- [7] DC Motor position control using microcontroller (Online), Available: fivedots.coe.psu.ac.th/Software.coe/240-380/PDF/report.doc, (6 February 2014).
- [8] ประทวน กั้นภัย, (2014) “Rc servo ความรู้พื้นฐานในการใช้งานเซอร์โว”, (Online), Available: www.tdhobby.com/index.php?option=rc-servo, (10 December 2014).
- [9] NI PCI– 6602 National Instruments, (Online), Available: www.ni.com/pdf/manuals/372141b.pdf, (7 August 2013).
- [10] Program Matlab, (Online), Available: http://www.mathworks.com/index.html?s_tid=gn_logo, (10 February 2014).
- [11] การ์ดขับมอเตอร์ Copley Accelus และ Accelnet (Online), Available: www.copleycontrols.com/motion/pdf/Accelus_Card.pdf, (7 July 2013).
- [12] Limit Switch (Online), Available: <http://fonengineering.com/our-products/19-limit-switch.html>, (7 September 2014).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [13] Building and 3D Printing Parts Rostock Style, ตีพิมพ์เมื่อ 15 มกราคม 2559, ตีพิมพ์จาก:
<http://3dprintingindustry.com/2013/03/18/rostock/>
- [14] Olsson, A. (2009) Modeling and control of a Delta-3 robot. Master Thesis, Department of Automatic Control, Lund University, Sweden
- [15] Park, S.B., Kim, H.S., Song, C. and Kim, K., (2013). Dynamics Modeling of Delta-type Parallel Robot, 44th International Symposium on Robotics (ICR), pp.1-5.
- [16] Deblaise, D. and Maurine, P. (2005), Effective Geometrical Calibration of a Delta Parallel Robot Used In Neurosurgery, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2005 (IROS 2005), 1313-1381.
- [17] Liu, N., Wu, J., (2014, April). Kinematics and Application of a Hybrid Industrial Robot – Delta-RST, Sensors & Transducers, Vol. 169, Issue 4, pp. 186-192
- [18] Lopez, M., Castillo, E., Garcia, G., Bashir, A., (2006) ,Delta robot inverse, direct, and intermediate Jacobians, Proc. IMechE Vol. 220, pp.103–109
- [19] Lin, H.H., Wen, C.C., Lin, S.W., Tai, Y.H. and etc. (2012, August). Robust Control for a Delta Robot. Proceedings of SICE Annual Conference (SICE), 880-885
- [20] อรรถวิทย์ สุดแสง, (2004) “เมทริกซ์การหมุน”, (Online),
Available: <http://www.cp.eng.chula.ac.th/~attawith/class/rotate.pdf>, (15 December 2014).
- [21] มหาวิทยาลัยบูรพา, (2011) “การประมาณค่าในช่วง (Interpolation)”, (Online),
Available: pirun.ku.ac.th/~fengslj/02212471/doc54a/chap05_rev2.pdf, (12 December 2015).

ภาคผนวก





ภาคผนวก

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



RSU

Proceedings of RSU National Research Conference 2016

ISBN 978-616-7687-92-6

เอกสารประกอบ
การประชุมวิชาการระดับชาติ
มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2559

29 เมษายน 2559

สำนักพิมพ์
แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์กายภาพ และวิทยาศาสตร์สุขภาพ
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ
มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
วิจัยพัฒนาการเรียนการสอน
วิจัยสถาบัน



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาพนันระดับ

1. อาจารย์ พิเศษ วีรังกบุตร	Raffles International College
2. พันตำรวจโท ดร. พงษ์ธร ธัญญศิริ	กระทรวงยุติธรรม
3. ศาสตราจารย์ กิตติคุณ ดร. สุเทพ เชาวลิขิต	ข้าราชการบำนาญ
4. รองศาสตราจารย์ ดร. จุฬาเทียนไทย	ข้าราชการบำนาญ
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณพล จันทร์หอม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. นาย กรณ์ท์ ภู่งาม	ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย
7. รองศาสตราจารย์ ดร. สาโรจน์ ศิริสัมพันธ์กุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนาวัฒน์ สิริวัฒน์ธนกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมุข กระจุกสุขสถิตย์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะ กิตติภาดากุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนิสร์ ปทุมานนท์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐกร สงคราม	มหาวิทยาลัยเจ้าคุณลาดกระบัง
13. ดร. ปณณู ไชยรัตนานนท์	มหาวิทยาลัยเจ้าคุณลาดกระบัง
14. ดร. จิระศักดิ์ สารรัตน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
15. ดร. สุธี วังเคือย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
16. ดร. อรุณ คุณเขต	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชลธิศา สุขเกษม	มหาวิทยาลัยทักษิณ
18. รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะบุตร วามิขพงษ์พันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
19. ดร. วิชพร เทียบจตุรัส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
20. รองศาสตราจารย์ ภาวดี สมภักดิ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
21. รองศาสตราจารย์ สมชาติ แมตตุลาการ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
22. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาดา พรสกุลวานิช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
23. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูตินัน บุญภาพ คอมมมอน	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
24. ดร. กรรภิรมย์ โภณลาธุณ	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
25. รองศาสตราจารย์ ดร. นิรัช สุดสังข์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
26. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิญญา วงศ์พิริยโยธา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
27. ศาสตราจารย์ รังสรรค์ ตั้งตรงจิตร	มหาวิทยาลัยมหิดล
28. รองศาสตราจารย์ ทนตณพทย์ ดร. ชลธชา ห้านิรัติกัย	มหาวิทยาลัยมหิดล
29. รองศาสตราจารย์ ดร. นพวรรณ ภู่มาลา มอราเลส	มหาวิทยาลัยมหิดล
30. รองศาสตราจารย์ ดร. สุณีย์ กัลยะจิตร	มหาวิทยาลัยมหิดล

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาพนันฉบับ (ต่อ)

31. รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง นาฎยา วงษ์ปาน	มหาวิทยาลัยมหิดล
32. รองศาสตราจารย์ เมธวณิชกุล ผลรัตน์	มหาวิทยาลัยมหิดล
33. รองศาสตราจารย์ ปราณี ภิญโญชีพ	มหาวิทยาลัยมหิดล
34. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญยศ ปลื้มปิติวิริยะเวช	มหาวิทยาลัยมหิดล
35. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงษ์ เลิศสิทธิชัย	มหาวิทยาลัยมหิดล
36. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อริศรา เต็กสรรเสริญ	มหาวิทยาลัยมหิดล
37. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทร สรรพามิษ	มหาวิทยาลัยมหิดล
38. อาจารย์ ทันตแพทย์หญิง ชูติระวีร์ จิระบุญญาณี	มหาวิทยาลัยมหิดล
39. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบูรณ์ สารสิทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
40. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รวิเทพ นุสิทธิ์ปาน	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
41. ดร. อรอุมา เจริญสุข	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
42. ดร. อธิพัทธ์ สุวทันพรกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
43. รองศาสตราจารย์ ดร. สกนธ์ ภู่งามดี	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
44. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สืบพงศ์ เผ่าไทย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
45. รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยสิทธิ์ คำภีร์ดิกุล	มหาวิทยาลัยศิลปากร
46. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. น้ำฝน ไส้ศิริกุล	มหาวิทยาลัยศิลปากร
47. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกนถุน บางท่าไม้	มหาวิทยาลัยศิลปากร
48. อาจารย์ สืบสกุล ศรีณพฤษ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
49. ดร. อาภาศิริ สุวรรณานนท์	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
50. รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีศักดิ์ จินดาบุรุษย์	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
51. รองศาสตราจารย์ ดร. ถัดดา วัฒนสาริกกุล	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
52. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ ไรจน์พล	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
53. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิลา เข้มขັນฉิลาว	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
54. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันตำรวจโท ดร. กลุณพงษ์ บุตรระกูล	โรงเรียนนายร้อยตำรวจ
55. นาง สุวลักษณ์ อมะวัลย์	ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง
56. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปริญญา สงวนศักดิ์	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
57. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ ลีอนาม	สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
58. ศาสตราจารย์ เกษกรหญิง ดร. เพ็ญศรี ทองนพเนื้อ	มหาวิทยาลัยรังสิต
59. ศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ละอองทอง วัชรากัย	มหาวิทยาลัยรังสิต
60. รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา จันทร์ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยรังสิต

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาพนันฉบับ (ต่อ)

61. รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา สุริยะพรหม	มหาวิทยาลัยรังสิต
62. รองศาสตราจารย์ ดร. ชาดิชชา ตรีภูมรังสิ	มหาวิทยาลัยรังสิต
63. รองศาสตราจารย์ ดร. ดวงพร สุวรรณกุล	มหาวิทยาลัยรังสิต
64. รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์จันทร์ อยู่แพทย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
65. รองศาสตราจารย์ ดร. พิณิจ งามสม	มหาวิทยาลัยรังสิต
66. รองศาสตราจารย์ ดร. ไพฑูริย์ กวินดิศว์วัฒนา	มหาวิทยาลัยรังสิต
67. รองศาสตราจารย์ ดร. วลัยพร นันทสุภาวัฒน์	มหาวิทยาลัยรังสิต
68. รองศาสตราจารย์ ดร. วิมล ขอบชื่นชม	มหาวิทยาลัยรังสิต
69. รองศาสตราจารย์ ดร. โอภาส จุฑาทพ	มหาวิทยาลัยรังสิต
70. รองศาสตราจารย์ ยุทธนิษฐ์ พ่วงวีระกุล	มหาวิทยาลัยรังสิต
71. รองศาสตราจารย์ วิทยากร เขียวกุล	มหาวิทยาลัยรังสิต
72. รองศาสตราจารย์ สมาน เสนงาม	มหาวิทยาลัยรังสิต
73. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ อุคมนตรีโรจน์	มหาวิทยาลัยรังสิต
74. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธำรงค์ศักดิ์ เพชรเลิศอนันต์	มหาวิทยาลัยรังสิต
75. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉลองรัฐ เหมอมาลัยชกมวรด	มหาวิทยาลัยรังสิต
76. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญชัย จิตรเหล่าอาพร	มหาวิทยาลัยรังสิต
77. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จูดี วิทยสรณะ	มหาวิทยาลัยรังสิต
78. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนวรรณ อิศวไพฑูริย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
79. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นฤพนธ์ ไชยศ	มหาวิทยาลัยรังสิต
80. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญรัตน์ สุขเขียว	มหาวิทยาลัยรังสิต
81. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปตมาพร สุขปลั่ง	มหาวิทยาลัยรังสิต
82. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พนิดา สามพรานไพฑูริย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
83. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มงคล เทียนประทีปทองชัย	มหาวิทยาลัยรังสิต
84. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชชัย แสงอุดม	มหาวิทยาลัยรังสิต
85. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัตพงษ์ สอนสุภาพ	มหาวิทยาลัยรังสิต
86. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุฑาภา แพ่งเกษร	มหาวิทยาลัยรังสิต
87. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราพร ลักษณ์นมา	มหาวิทยาลัยรังสิต
88. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วลัยภรณ์ นาคพันธ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
89. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วุฒิพงษ์ ชินศรี	มหาวิทยาลัยรังสิต
90. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย เล็กเจริญ	มหาวิทยาลัยรังสิต

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่พิจารณานิพนธ์ค้นคว้า (ต่อ)

91. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริพร สุภราทิตย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
92. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อวิรุทธ์ เจริญทรัพย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
93. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบล สรรพชัยพงษ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
94. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กนกพร อนันต์ชื่นสุข	มหาวิทยาลัยรังสิต
95. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทิศิสา วาณิชยานนท์	มหาวิทยาลัยรังสิต
96. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธรรมศักดิ์ เอื้อรักสกุล	มหาวิทยาลัยรังสิต
97. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยพร พานิชรุทดิวงศ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
98. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประไพศรี ธรรมวิริยะวงศ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
99. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มานะ เงินศรีสุข	มหาวิทยาลัยรังสิต
100. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มุกดา ไคว่กุล	มหาวิทยาลัยรังสิต
101. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริวรรณ วาสุกรี	มหาวิทยาลัยรังสิต
102. ดร. กฤษณีกร เจริญกุล	มหาวิทยาลัยรังสิต
103. ดร. กำจร แซ่เจียง	มหาวิทยาลัยรังสิต
104. ดร. จิรัชมา วิเชียรปัญญา	มหาวิทยาลัยรังสิต
105. ดร. เฉลิมพร เย็นเอือก	มหาวิทยาลัยรังสิต
106. ดร. ธนาวรรณ อัคราพันธ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
107. ดร. นริศรา ภาควิธิ	มหาวิทยาลัยรังสิต
108. ดร. นิภาพร เฉลิมนิรันดร์	มหาวิทยาลัยรังสิต
109. ดร. พรรณรัตน์ วรรณสวัสดิ์กุล เกติช	มหาวิทยาลัยรังสิต
110. ดร. พัชรีย์ จารุทวีผลนกุล	มหาวิทยาลัยรังสิต
111. ดร. พันธุ์ศักดิ์ ไทยสิทธิ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
112. ดร. พิพัฒน์พงษ์ วัฒนวันยู	มหาวิทยาลัยรังสิต
113. ดร. พิษณุ มนต์ปิติ	มหาวิทยาลัยรังสิต
114. ดร. ไพศาล งามจรรยาภรณ์	มหาวิทยาลัยรังสิต
115. ดร. วลัยภา เฉลิมวงษา	มหาวิทยาลัยรังสิต
116. ดร. ศรีสมร พุ่มสะอาด	มหาวิทยาลัยรังสิต
117. ดร. ศิริพร ศรีพิบูลย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
118. ดร. สมบูรณ์ อนนฤกษ์มงคล	มหาวิทยาลัยรังสิต
119. ดร. สุธารทิพย์ เรื่องประภาวุฒิ	มหาวิทยาลัยรังสิต
120. ดร. สุรพล ศรีวิทยา	มหาวิทยาลัยรังสิต

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่พิจารณานิพนธ์คั่นฉบับ (ต่อ)

- | | |
|--|-------------------|
| 121. ทันตแพทย์หญิง ดร. สุปราณี เบ็ญจสุพัฒน์นันท์ | มหาวิทยาลัยรังสิต |
| 122. อาจารย์ จีรพร รักษาพล | มหาวิทยาลัยรังสิต |
| 123. อาจารย์ รพีพิมล ไชยเสนาะ | มหาวิทยาลัยรังสิต |
| 124. อาจารย์ วาจวิมล เดชเกตุ | มหาวิทยาลัยรังสิต |
| 125. อาจารย์ สุเมธ ผ่องพรรณแห | มหาวิทยาลัยรังสิต |



สารบัญบทความ (ต่อ)

กลุ่ม 2	กลุ่มวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี	หน้า
G2-01	การพัฒนาระบบวิเคราะห์เว็บไซต์เพื่อคาดคะเนแนวโน้มผู้เข้าชม โดยวิธีการเปรียบเทียบ เอกซ์โพเนนเชียลซ้ำสองครั้ง Development of the Web Analytics System for Forecasting the Trend of Unique Visitors : อธิวัฒน์ สิริพัฒน์โสภณ* และ ดวงอาทิตย์ ศรีมูล	187
G2-02	บริการข้อความสั้นอัจฉริยะ สำหรับ ระบบเครือข่ายจำหน่ายกระแสไฟฟ้า Intelligent Short Message System (iSMS) for Electricity Distribution Network System : นกมล รัตนวราหะ* และ สานนท์ ติมมณี	198
G2-03	อิทธิพลตัวของแปรการผลัดที่ส่งผลต่อสมบัติการใช้งานปุ่มกด Effect of Manufacturing Factors on Working Properties of Silicone Keypads : ภัทลัญญา ประดา	208
G2-04	การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานสำหรับแม่พิมพ์ตัดเจาะเหล็กซิลิกอน The Study of Variable that Can Affect the Quality of Mold Parts for Cutting Silicon Steel : เตลิวัดย์ มั่นระวีง* และ ศิริชัย ต่อสกุล	218
G2-05	ผลกระทบของขนาดพื้นที่จัดเก็บและกฎการจ่ายงานในสายการผลิตแบบตาม งานสโตคาสติกพลวัต ด้วยเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้าโดยวิธีการ จำลองสถานการณ์ The Impact of the Buffer Size Areas and Dispatching Rules in a Stochastic Dynamic Job Shop with Sequence Dependent Setup Time Using Simulation Approach : จาดูวันต์ แซ่มสู่น* และ รณชัย ศิริเวชญานุกูล	228
G2-06	ต้นแบบแขนหุ่นแบบสามก้านโยงเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม Prototype of Delta Robot for Industrial Application : จาญจรงค์ ชูสุข* และ ปรีชญา เปรมปราณีรัชต์	237
G2-07	การประเมินค่าอายุการใช้งานของสายพานลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ในกระบวนการทำความสะอาด ชิ้นงานกล่องบรรจุสารคัดสีกภายใต้ภาวะที่มักกระทำแบบวัฏจักรทางความร้อน การสั่นสะเทือน และคลื่นอัลตราโซนิคส์ Fatigue Life Estimation of Stainless Steel Wire Conveyor on Cleaning Process of Hard Disk Case under Cyclic Load of Heat and Vibration and Ultrasonic Wave : ณรงค์ศักดิ์ เกษรัตนาสวัสดิ์* และ พีระพงษ์ ดริยเจริญ	247

ต้นแบบแขนหุ่นแบบสามก้านโยงเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

Prototype of Delta Robot for Industrial Application

ชาญณรงค์ ชูสุย* และ ปรีชญา เปรมปราณีรัชต์

Channarong Choosui* and Pradya Prempraneerach

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

¹Graduate student in Master of Engineering (Mechanical Engineering), Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Rangsit-Nakhonnayok Rd, Klong6, Thanyaburi, Pathumthani, Thailand 12110

²Department of Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Rangsit-Nakhonnayok Rd, Klong6, Thanyaburi, Pathumthani, Thailand 12110

*Corresponding author, E-mail: Chan_mie@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงที่โครงสร้างเป็นรูปแบบขนานที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์สี่ซีเซอร์โรตารี่ โดยจะใช้หลักการทางจลนศาสตร์ผกผันเพื่อช่วยออกแบบและเลือกความยาวของแต่ละก้านโยง เพื่อให้ได้พื้นที่การทำงานในระนาบแนวนอนที่เหมาะสมตามระดับความสูงที่ต้องการและทำการจำลองพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์ก่อนที่จะดำเนินการสร้างจริง นอกจากนี้ได้พัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์ตามจุดพิกัดและเส้นทางที่กำหนด ซึ่งใช้การคำนวณด้วยจลนศาสตร์ผกผัน โดยระบบควบคุมของแขนหุ่นยนต์ได้พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB/GUI โดยเน้นให้มีฟังก์ชันที่ใช้งานควบคุมการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์ได้ง่ายตามเส้นทางที่กำหนดไว้ที่มีการประมาณค่าเส้นทางเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องจากจุดพิกัดที่กำหนด โดยผู้ใช้งานส่วนผลการทดสอบของแขนหุ่นยนต์ ในการทดสอบแรกเป็นการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งจุดพิกัดที่กำหนดในแต่ละแกน โดยการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในทิศทางแกน x แกน y นั้นจะมีค่าความผิดพลาดในระนาบแนวนอนไม่เกิน 2 % แต่การเคลื่อนที่ตามทิศทางแกน z จะมีค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ไม่เกิน 1 % และในการทดสอบที่สองเป็นการทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่สร้างขึ้นจากจุดพิกัดที่กำหนด โดยผู้ใช้งาน ซึ่งจะเปรียบเทียบค่าสั่งเส้นทางเคลื่อนที่มอเตอร์ทั้ง 3 ตัว กับค่าองศาที่วัดได้จากเอนโคเดอร์ของมอเตอร์ในแต่ละก้านโยง โดยมีค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่า 1 องศา และสามารถทำงานซ้ำเดิมได้อย่างแม่นยำจากการทดสอบ 3 ครั้ง

คำสำคัญ: แขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง จลนศาสตร์ผกผัน พื้นที่การทำงาน การเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด

Abstract

In this article, design and construction of the delta robot, which has three-parallel-link structure driven by three DC servo motors, is presented. Using inverse kinematics, length of each link could be selected such that desired delta-robot workspace in horizontal plane at a specified height can be achieved and simulated before constructing an actual delta robot. Moreover, we developed point-wise tracking and trajectory tracking controls, using inverse kinematics for an end-effector of delta robot. MATLAB/GUI is used for developing the robot control software, that is emphasized on user-friendly function and smooth-and-continuous trajectory tracking. For experimental results, the first test is to evaluate an accuracy of the point-wise tracking control in each axis of delta robot. The point-wise tracking of delta robot along x- and y-axes produce tracking error in horizontal plane of less than 2 % , but the tracking error along z-axis is less than 1 % . In the second test, three motor commands are compared against measured encoder angle of each motor/link to determine an accuracy of trajectory tracking control. From three experimental runs, delta robot establishes a good repeatability with tracking error less than 1 degree.

Keywords: Delta Robot, Inverse Kinematics, Workspace, Trajectory Tracking

1. บทนำ

ในปัจจุบันหุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทและมีความสำคัญ อีกทั้งยังมีการนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งด้านอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานเพื่ออำนวยความสะดวกในการขนย้ายสิ่งของวัสดุ หรือใช้ในการปฏิบัติงานแทนมนุษย์ในอุตสาหกรรมที่มีความเสี่ยงต่ออันตรายของมนุษย์ซึ่งในหลายประเทศได้มีการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์แบบติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบใหม่กันอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นแขนกลแบบอนุกรมหรือแบบขนาน ที่เคลื่อนไหวภายในพื้นที่การทำงานที่จำกัด ซึ่งจะถูกโปรแกรมไว้ให้มีการทำงานซ้ำๆ เดิมๆ ตามที่กำหนด ซึ่งหุ่นยนต์อุตสาหกรรมก็ยังคงมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยจะเน้นการเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานได้หลายรูปแบบ มีพื้นที่การทำงานกว้าง สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและ มีความแม่นยำในการทำงาน โดยเฉพาะการปฏิบัติงานในสภาพแวดล้อมที่มีมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้องเช่น แขนกลแบบขนาน (Parallel Robot Arm) ในกระบวนการ

ผลิตภัณฑอาหาร FlexPicker ของบริษัท ABB และหุ่นยนต์แบบขนานสำหรับ 3D printer ซึ่งนิยมใช้การขับเคลื่อนของก้าน โยงค้ำบนแบบเชิงเส้นในแนวตั้ง จึงทำให้สามารถพิมพ์งานที่มีขนาดสูงได้ (Building 3D Printing, 2013 และ Siam Reprap, 2557) เป็นต้น

Olsson, A. (Olsson, 2009) ได้อธิบายถึงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์แบบเดลต้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์และโครที่ซึ่งพัฒนาโดย ELAU GmbH โดยในแบบจำลองของหุ่นยนต์ Delta-3 นั้นประกอบด้วย การคำนวณจลนศาสตร์ที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามแขนและการเคลื่อนที่ของแผ่นปลายแขนที่สอดคล้องกัน และการศึกษาต้นพลวัตของหุ่นยนต์ที่มีอันตรกิริยากันเมื่อมีการเคลื่อนที่ของสามแขน ที่ได้สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และนำผลที่เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากหุ่นยนต์ Delta-3 ที่ขับเคลื่อนด้วยอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ของ ELAU GmbH ส่วน Park, S.B. et al. (Park, 2013) ได้นำเสนอการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์อย่างง่ายของแขน

กลแบบขนานสามก้าน โยง ที่คำนวณโดยใช้สมการลากรองจ์เพื่อหาสมการพลวัตแบบผกผันที่จะนำมาใช้สร้างระบบควบคุมแรงบิดของแขนกลที่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง-พร้อมการคำนวณจลศาสตร์แบบผกผันที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า 0.04 ms และที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับแขนกลแบบขนานทางเชิงพาณิชย์ที่มีความเร็วสูงได้ แต่ทว่าแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงมีความสมมาตรระหว่างแขนทั้งสาม จึงส่งผลให้มีพื้นที่การทำงานที่จำกัด Mauro Maya (Maya, 2013)

Dominique Deblaisie (Deblaisie, 2012) ได้ทำการออกแบบตัวหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง เพื่อทำการศึกษารองรับและการประยุกต์ใช้งานในการบรรจุกิจกรรมอุตสาหกรรม โดยใช้มอเตอร์แบบดีซีเป็นต้นกำลังและใช้โปรแกรม MATLAB ในการควบคุมการทำงาน ข้อดีของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง มีพื้นที่การทำงานกว้าง เพราะข้อต่อๆกันออกไปเรื่อยๆ และข้อเสียของหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงความแข็งแรงต่ำ เพราะมีลักษณะเป็นโครงสร้างยื่นยาวออกไปจากฐาน และ Liu, N. and Wu, J. (Liu, 2014) ได้ออกแบบและสร้างแขนกลแบบไฮบริดที่ผสมระหว่างแขนกลแบบเดคต้าที่มี 3 องศาอิสระ และข้อมือแบบอนุกรมที่มีอีก 3 องศาอิสระ ที่เรียกว่า Delta-RST ซึ่งจะช่วยให้ผสมผสานข้อดีของแขนกลทั้งสองแบบเข้าด้วยกันคือ สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วพร้อมทั้งสามารถเข้าถึงพื้นที่การใช้งานในองศาต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง สำหรับหุ่นยนต์แบบเดลตาวิเคราะห์เมทริกซ์จาโคเบียนแบบผกผันและแบบตรงจะช่วยบ่งชี้รูปแบบการเกิดค่าเอกพจน์ในบางรูปแบบ ซึ่ง Lopez, M. *et al.* (Lopez, 2006) ได้ใช้การวิเคราะห์ทางจลศาสตร์ด้วยการเซตค่าเทอร์มินันต์ของจาโคเบียนของหุ่นยนต์แบบเดคต้าเท่ากับศูนย์ จะได้รูปแบบท่าทางที่ไม่พึงประสงค์ที่เป็นเอกพจน์ นอกจากนั้นได้เสนอการ

วิเคราะห์ด้วยเมทริกซ์จาโคเบียนแบบชั้นกลาง ที่มีความซับซ้อนในการคำนวณที่น้อยลง แต่ยังสามารถช่วยบ่งบอกถึงการเกิดรูปแบบเอกพจน์ได้ด้วย

ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จะเน้นการวิเคราะห์และสร้างแขนหุ่นยนต์แบบขนานพร้อมพัฒนาโปรแกรม Graphic User Interface (GUI) สำหรับควบคุมแขนกลแบบขนาน ที่มีฟังก์ชันการใช้งานที่สามารถเรียนรู้ได้ง่าย เพื่อใช้ในการควบคุมและกำหนดตำแหน่งต่างๆ ที่ต้องการให้ปลายแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางเป้าหมายแบบอัตโนมัติ ซึ่งแขนหุ่นยนต์แบบขนานที่นักวิจัยสนใจคือแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง(Delta robot) เนื่องจากคุณสมบัติของแขนกลแบบขนาน ที่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงและในขณะเดียวกันก็มีความแม่นยำมากด้วย (Lin, 2012)

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและออกแบบพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง ด้วยจลศาสตร์แบบผกผัน พร้อมทั้งสร้างหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยงที่มีโครงสร้างที่เบาและขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์แบบดีซีเซอร์โวสามตัว และพัฒนาระบบควบคุมที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ตามจุดพักหรือเส้นทางเคลื่อนที่ที่กำหนดด้วยโปรแกรม MATLAB/GUI ที่มีฟังก์ชันที่ใช้งานได้ง่าย

3. อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการพัฒนาและสร้างแขนหุ่นยนต์แบบสามก้าน โยง ดังที่ได้ออกแบบไว้ในรูปที่ 1 นั้นจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักๆ 7 ส่วนดังต่อไปนี้

3.1 มอเตอร์ดีซี YASKAWA รุ่น UGMED B5LTB62 ขนาด 43 วัตต์ 24 โวลต์ 1.6 แอมป์ ที่ให้แรงบิดได้

0.038 นิ้วคืบ-เมตร ที่มีเกียร์ทด 1:31 ซึ่งใช้เป็นคัมกำลังขับเคลื่อนกันโยงทั้งสาม

3.2 เอนโคเดอร์แบบหมุน (Rotary Encoder) ที่ใช้วัดองศาการหมุน ที่มีความละเอียด 200 pulse/รอบ เพื่อใช้วัดตำแหน่งและทิศทางการหมุนของแต่ละกันโยง

3.3 บอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ของ Copley Motion Control รุ่น Accelus card ASC-090-09 ขับมอเตอร์ที่มีค่าความต่างศักย์ได้สูงสุดถึง 90 VDC และจ่ายกระแสไฟสูงสุดไม่เกิน 9 แอมป์ โดยตั้งค่าให้ปฏิบัติงานในโหมดควบคุมตำแหน่งหรือองศาการหมุนของมอเตอร์ด้วยคาร์บอนสตัปองศาการหมุนของมอเตอร์ด้วยเอนโคเดอร์ และรับสัญญาณแอนะล็อก (analog) เพื่อเป็นคำสั่งควบคุมตำแหน่งองศาการหมุนของแต่ละมอเตอร์

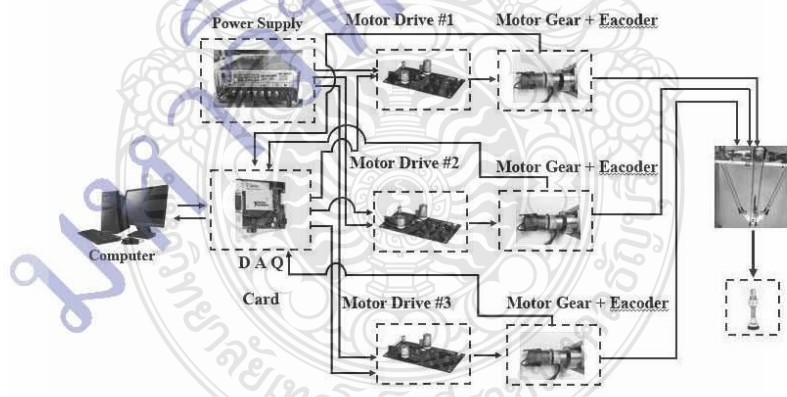
3.4 การ์ดรับ-ส่งข้อมูล Data acquisition ของ (National Instruments) รุ่น pci-6323 ที่มี 32 สัญญาณแบบอนาล็อก มีความละเอียด 16 บิต และ 48 ช่องสัญญาณแบบดิจิทัล I/O และมีช่องนับสัญญาณพัลส์จำนวน 4 ช่อง

3.5 ลิมิทสวิตช์ (Limit Switch) เป็นสวิตช์ที่จำกัดองศาการหมุนของมอเตอร์แต่ละกันโยง โดยจะใช้ลิมิทสวิตช์ ช่วยในการตั้งค่าองศาเริ่มต้นของแขนหุ่นยนต์อีกด้วย

3.6 แหล่งจ่ายไฟแบบ ดีซี (DC Switching Power supply) ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 VAC ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 VDC เพื่อจ่ายกระแสไฟให้กับบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์และมอเตอร์ที่สามารถจ่ายกระแสได้ไม่เกิน 10 A

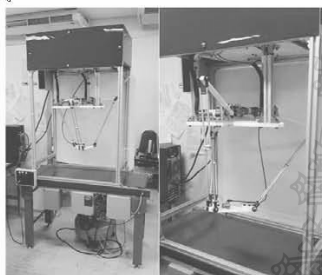
3.7 หัวจุดลมของ PLSIO ที่ใช้ป้อนลมทำหน้าที่ในการดูดชิ้นงานต่างๆที่ต้องการ

เมื่อนำอุปกรณ์ทั้งหมดมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อเป็นแขนหุ่นยนต์แบบสามกันโยงจะได้ดังรูปที่ 2 เนื่องจากกันโยงส่วนล่างของแขนหุ่นยนต์แบบสามกันโยงนั้นเชื่อมต่อกับกันโยงด้านบนและแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ด้วยลูกปืนคานเหล็ก (Ball joint) เมื่อเริ่มหรือหยุดการเคลื่อนที่อย่างกะทันหันจะทำให้เกิดการบิดตัว หรือ การสั่น ของ กันโยง ส่วน ล่าง ในแนว



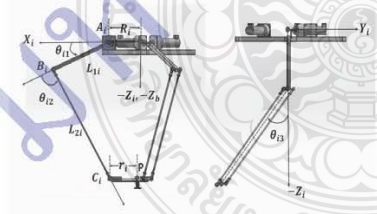
รูปที่ 1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของแขนหุ่นยนต์แบบสามกันโยง

ระนาบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สปริงช่วยเพิ่มค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างเพื่อช่วยลดการสั่นสะเทือนและเพิ่มความแม่นยำให้แก่ตำแหน่งของหัวดูดลม



รูปที่ 2 แขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง เมื่ออยู่ในตำแหน่งปกติ (ซ้าย) และ เมื่อมีการเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายของสายพาน (ขวา)

โดยขั้นตอนในการทำงานจะต้องมีการตั้งค่าเริ่มต้นทำงานหรือค่าองศาที่เป็นศูนย์ด้วยการสั่งงานให้ก้านโยงด้านบนเคลื่อนที่ขึ้นจนกระทั่ง สัมผัสกับลิวิตสวิทช์ด้านบน แล้วจึงสั่งค่าอนโค็ดเตอร์ของทั้งสามมอเตอร์ให้เป็นศูนย์และเริ่มการทำงานของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง โดยก้านโยงด้านบนจะถูกจำกัดให้สามารถหมุนอยู่ได้ภายในช่วงระหว่างลิวิตสวิทช์ด้านบนและด้านล่าง ซึ่งเป็นมุมไม่เกิน 180 องศา 3.8 การจำลองพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงด้วยโปรแกรม MATLAB

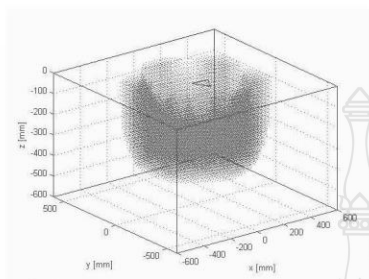


รูปที่ 3 ตัวแปรต่างๆของแต่ละก้านโยง เมื่อมองจากด้านบน (ซ้าย) และเมื่อมองจากด้านข้าง (ขวา)

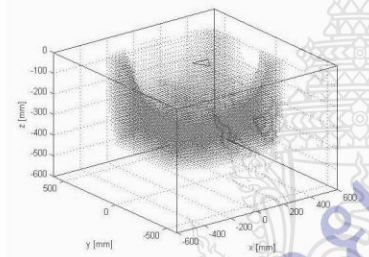
เพื่อให้ได้พื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงให้ที่มากที่สุดและเหมาะสมกับระบบอัตโนมัติที่จะใช้งานด้วย จึงได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่การทำงานของโครงสร้างแบบขนานที่เป็นรูปปิด ในขั้นตอนการออกแบบ เพื่อที่จะได้เลือกขนาดของแต่ละก้านโยงให้ได้อย่างเหมาะสมที่สุด โดยจะประยุกต์ใช้การแก้สมการจลนศาสตร์แบบผกผัน (inverse kinematics) (Stan 2011) ซึ่งจะใช้การประมวลผลที่น้อยกว่าการแก้สมการจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า (forward kinematics) โดยในขั้นแรกได้เลือกพารามิเตอร์ความยาวของแต่ละก้านโยง ดังนี้ $R = 11.8$ cm, $r = 11.2$ cm, และ $\square_1 = 20$ cm เมื่อปรับความยาว \square_2 ให้เพิ่มขึ้นจาก 40 ถึง 50 cm ซึ่งได้แสดงขอบเขตพื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ที่สามารถเข้าถึงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ยิ่งความยาว \square_2 ของก้านโยงด้านล่างมีค่าเพิ่มมากขึ้น ปริมาตรของพื้นที่ทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ที่สามารถเข้าถึงได้ก็เป็นรูปทรงแบบ paraboloid ก็จะมีขนาดใหญ่มากขึ้น โดยมีข้อสังเกตว่าเมื่อพิจารณาพื้นที่การทำงานจากทางด้านบนจะเห็นพื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงแบบทอเคลียม นอกจากนั้นแล้ว เมื่อความยาว \square_2 มีค่าเพิ่มขึ้น พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ที่เข้าถึงไม่ได้ก็มีรูปทรงด้วยใกล้กับแผ่นฐานด้านบนจะมีขนาดใหญ่อีกด้วย

ตารางที่ 1 ช่วงของพื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง $\square_1, \square_2, \square_3$ เมื่อให้ $\square_1 = 20$ cm เป็นค่าคงที่ แล้วปรับเปลี่ยนความยาวของก้านโยงด้านล่าง (\square_2)

\square_2 (cm)	ช่วงในแนวน	ช่วงในแนบ
30	$\square_1 - \square_2$ (cm)	\square_2 (cm)
40	± 30	40
40	± 40	50
50	± 50	60



รูปที่ 4 พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามแกน โยง เมื่อ $[\Gamma_1, \Gamma_2] = [20, 40]$ cm



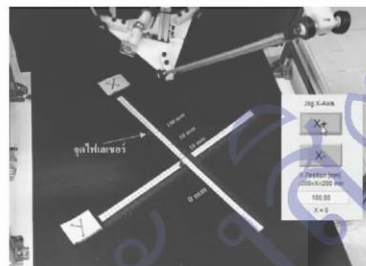
รูปที่ 5 พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามแกน โยง เมื่อ $[\Gamma_1, \Gamma_2] = [20, 50]$ cm

4. ผลการวิจัย

4.1 การทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามแกน โยง

เพื่อทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ตามจุดพิกัดที่กำหนด ได้ทำการทดลองการควบคุมการเคลื่อนที่ในทิศทางตามแกน x, y และ z ซึ่งสั่งด้วยโปรแกรม MATLAB/GUI และ วัดตำแหน่งการทำงานด้วยแสงเลเซอร์ที่มีการกระจายของแสงไม่เกิน 0.5 mm ในระยะความสูงที่ไม่เกิน 50cm ที่ติดตั้งอยู่ที่กึ่งกลางของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ โดยคอนเริ่มค้นแผ่นปลายแขนอยู่ที่จุดกึ่งกลางของแผ่นฐาน และ เริ่มทำการทดสอบตัวหุ่นยนต์ โดยสั่งให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางตามแกน x, y และ z ในด้านบวก และ ในด้านลบ ด้วย

คำสั่งเพิ่ม ชั้น ครั้งละ 10 cm ในแต่ละแกน



รูปที่ 6 การทดสอบความแม่นยำในทิศทางแกน x, y, z ± 10 cm เมื่อบังคับสั่งด้วยโปรแกรม MATLAB/GUI

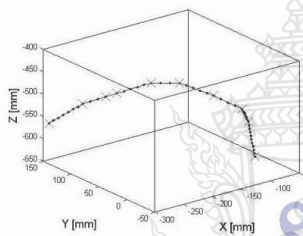
ตารางที่ 2 ค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามแกน โยงในทิศทาง x, y และ z เมื่อสั่งให้เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นทีละครั้งละ 10 cm

ทิศทาง	ค่าความผิดพลาดด้านบวก (mm)			ค่าความผิดพลาดด้านลบ (mm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
X	-2	0	-2	+1	0	+2
Y	+2	+2	0	-2	-2	+2
Z	+1	+1	+2	0	0	-1

4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามแกน โยงตามเส้นทางที่สร้างจากจุดพิกัดที่กำหนด

ในการทดลองสองส่วนที่สองนั้น จะทำการทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดจากจุดพิกัดที่ผู้ใช้งานเลือกและบันทึกข้อมูลไว้ในตารางและไฟล์ excel โดยจุดที่ผู้ใช้งานเลือกมาจำนวนสิบจุด ที่แสดงด้วยกากบาทในรูปที่ 7 และ โปรแกรม MATLAB จะทำการคำนวณและเพิ่มจำนวนจุดตามระยะห่างระหว่างสองจุดพิกัดที่กำหนดในระยะทุกๆ 1 cm เพื่อให้ได้เส้นทางเคลื่อนที่ของจุดกึ่งกลางของแผ่นปลายแขนอย่างต่อเนื่องและราบเรียบดังแสดงด้วยจุดที่บดบังในรูปที่ 7 แล้วจะทำการเปรียบเทียบคำสั่งองศาการหมุนของ

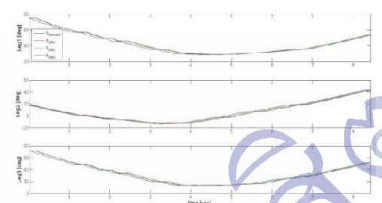
มอเตอร์แต่ละตัวกับองศาการหมุนของมอเตอร์ที่วัดได้จากเอนโคเดอร์สำหรับแต่ละก้านโยง ดังแสดงในรูปที่ 8 สำหรับการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นหลังจากเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิม ในช่วงเวลา 0-2 วินาที และเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นมายังตำแหน่งกึ่งกลาง ในช่วงเวลา 2-6 วินาที และเคลื่อนที่จากตำแหน่งกึ่งกลางไปยังตำแหน่งแรกที่ยับชิ้นงานในช่วงเวลา 6-14 วินาที และในรูปที่ 9 แสดงการเคลื่อนที่จากตำแหน่งแรกที่ยับชิ้นงานยังตำแหน่งสองที่ยับชิ้นงานในช่วงเวลา 0-8.3 วินาที



รูปที่ 7 เส้นทางเคลื่อนที่ของกึ่งกลางของแผ่นโลหะที่เคลื่อนที่ตามจุดที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน (ก้านโยง) และจุดที่เพิ่มระยะห่างจุดสองที่กั้นที่กำหนด (จุดหนีบ)



รูปที่ 8 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงตามเส้นทางที่กำหนด โดยพิจารณาในช่วงหลังจากและลิฟต์สวิทช์ด้านบนมายังตำแหน่งกึ่งกลาง และเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งแรกที่ยับชิ้นงาน



รูปที่ 9 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงตามเส้นทางที่กำหนด โดยพิจารณาการเคลื่อนที่จากตำแหน่งแรกที่ยับชิ้นงานกลับไปยังตำแหน่งสองที่ยับชิ้นงาน จากผลการทดสอบทั้งสามครั้งจะเห็นได้ว่าเส้นทางเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่เชื่อมต่อกับก้านโยงด้านบนนั้นสามารถเคลื่อนที่ตามคำสั่งของมอเตอร์สำหรับแต่ละก้านโยงที่คำนวณได้จากศาสตร์แบบฟัคชั่นได้อย่างแม่นยำทั้งขาไปและขากลับ และจากผลการทดสอบทั้งสามครั้งได้ค่าองศาการหมุนของมอเตอร์ที่เท่ากันทั้งสามครั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแขนกลแบบสามก้านโยงสามารถทำงานซ้ำเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. การอภิปรายผล

หุ่นยนต์แบบสามก้านโยงได้เริ่มมีบทบาททางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่มากขึ้น โดยเฉพาะในงานที่ต้องการความเร็วและแม่นยำสูงซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการผลิตหรือบรรจุกิจกรรมต่างๆ ในขณะที่งานด้านอุตสาหกรรมทางด้านอาหารและชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นั้นมีความต้องการแรงงานในตลาดเป็นจำนวนมากขึ้นด้วย แต่เนื่องจากค่าจ้างแรงงานที่สูงในปัจจุบันทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มตามไปด้วย (โรงเรียนปิยะกิติยวิทยาสังฆมิต, 2557) นอกจากนี้แล้วงานอุตสาหกรรมบางงานไม่สามารถที่จะใช้แรงงานมนุษย์เข้าไปทำได้ เช่น ในผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการผลิตในหึ่งสะอาด หรือเป็นงานที่มีความเสี่ยงต่อมนุษย์ที่ต้องทำงานซ้ำเดิมต่อเนื่องเป็น

เวลานานๆ จึงทำให้หุ่นยนต์นั้นจำเป็นงานด้านอุตสาหกรรม ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาหุ่นยนต์แบบสามแกนโยงในหลายๆด้าน ซึ่งจำแนกได้ดังหัวข้อต่างๆ

5.1 การออกแบบหุ่นยนต์แบบสามแกน โยงให้มีมวลน้อยโดยใช้โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา จึงทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว

5.2 ได้ใช้สมการจลศาสตร์แบบผลกันมาช่วยออกแบบ และใช้เลือกความยาวของแกนโยงเพื่อให้ได้พื้นที่การทำงานของปลายแขนกลแบบสามแกนโยงที่มีพื้นที่ๆเข้าถึงได้ในระนาบ x และ y เป็นระยะ ± 50 cm และในแกนตั้งหรือ z ได้ในระนาบ ± 60 cm สมการจลศาสตร์แบบผลกันในสมการที่ (1) ใช้คำนวณหาพื้นที่การทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3

$$\tan\left(\frac{\theta_2}{2}\right) = \frac{-2x_p + \sqrt{4x_p^2 + 4r_1^2 - r_2^2 + Q^2\left(1 - \frac{r_2^2}{L_1^2}\right) - Q\left(4r_1 + \frac{2r_2 r_1}{L_1}\right)}}{-2r_1 - Q\left(\frac{r_2}{L_1} - 1\right) - r_2} \quad (1)$$

เมื่อ $R_1 = R - r$

$$Q_1 = 2X_p \cos \alpha_1 + 2Y_p \sin \alpha_1$$

$$S_1 = \frac{(-X_p^2 - Y_p^2 - Z_p^2 + L_1^2 - L_2^2 - R_1^2)}{L_1}$$

5.3 การเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามแกนโยงนั้นมีความแม่นยำที่น้อย โดยมีค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ในระนาบ x, y อยู่ในช่วง ± 2 cm ส่วนค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ในแกนตั้งหรือแกน z อยู่ในช่วง 0 ถึง 2 cm ซึ่งเป็นค่าที่มากอยู่นั้นจึงควรมีการปรับเปลี่ยนจากเกียร์ทดแบบเฟืองฟันตรงในมอเตอร์ซีซีเซอร์ไว้ ให้เป็นเกียร์ทดแบบสาร์โมนิคซึ่งจะทำให้สามารถลดระยะคลอน (หรือ backlash) เมื่อมีการเคลื่อนที่ซึ่งส่งผลให้เกิดค่าความผิดพลาดที่น้อยลงได้

5.4 การเคลื่อนที่ตามเส้นทางหรือจุดพิกัดที่กำหนดของหุ่นยนต์แบบสามแกน โยงนั้นยังมีความเร็วที่ต่ำ เนื่องจากต้องการให้มีความละเอียดในการเคลื่อนที่ตาม

เส้นทางที่กำหนดจึงควรที่จะพัฒนาให้เป็นการควบคุมความเร็วสำหรับมอเตอร์ที่จะสามารถทำความเร็วได้มากขึ้นด้วย

6. บทสรุป

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างแขนหุ่นยนต์แบบสามแกนโยง พร้อมทั้งการพัฒนาโปรแกรม MATLAB GUI เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามแกนที่ผู้ใช้งานเรียนรู้ได้ง่าย โดยที่ผู้ใช้งานสามารถระบุจุดพิกัดที่ต้องการแล้วทำการบันทึกค่าจุดพิกัดเหล่านั้นไว้แล้วจึงสั่งให้กึ่งกลางของแผ่นปลายแขนเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่เชื่อมต่อกจุดที่กำหนดได้อย่างอัตโนมัติ โดยก่อนที่จะทำการสร้างแขนหุ่นยนต์ขึ้นนั้น ได้ทำการทดสอบการจำลองพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์แบบสามแกนโยงด้วยสมการจลศาสตร์แบบผลกัน เพื่อทำการเลือกค่าความยาวของแกนโยงด้านบนและด้านโยงด้านล่างให้ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแก่การใช้งาน จากผลวิเคราะห์หาพื้นที่การทำงานจะเห็นได้ว่าเมื่อความยาวแกนโยง Γ_1 นั้นมีค่าคงที่ และ ความยาวแกนโยง Γ_2 เพิ่มขึ้นพื้นที่รูปทรงแบบ paraboloid ที่สามารถเข้าถึงได้จะขยายตัวออกไปในทางแกน x, y, z เป็นระยะที่เท่ากัน และพื้นที่การทำงานจะเพิ่มขึ้นในบริเวณเข้าใกล้เส้นฐานอีกด้วยสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของแขนหุ่นยนต์ในขั้นแรกได้ทำการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งที่กำหนดในแต่ละแกน โดยผลการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามแกนโยงในทิศทางแกน x แกน y นั้นจะมีค่าความผิดพลาดในระนาบแนวนอนไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ แต่การเคลื่อนที่ตามทิศทางแกน z จะมีค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ในการทดสอบขั้นที่สอง

เป็นการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่สร้างขึ้นจากจุดพิกัดที่กำหนด โดยผู้ใช้งาน จะเห็นได้ว่าคำสั่งเส้นทางเคลื่อนที่ของมอเตอร์แต่ละตัวกับเส้นทางเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์ที่วัดได้จากเอนโคเดอร์สำหรับแต่ละแกน โยงนั้นมีความผิดพลาดที่น้อยกว่า 1 องศา และสามารถทำงานซ้ำเดิม ได้อย่างแม่นยำจากการทดสอบ

7. ทิศักกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และบุคคลกรทุกท่าน ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการท่ววิจัย ทำให้ผู้วิจัยทำงานได้สะดวกราบรื่น

8. เอกสารอ้างอิง

โรงเรียนปึกธงชัยประชาภิรมิต จ.นครราชสีมา. สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม 2557. สืบค้นจาก <https://sites.google.com/site/robotprogramin/home/cud-prasngkh-kar-reim-ru>

Building and 3D Printing Parts Rostock Style, สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2559. สืบค้นจาก : <http://3dprintingindustry.com/2013/03/18/rostock/>

Deblaisie, D. and Maurine, P. (2005) , Effective Geometrical Calibration of a Delta Parallel Robot Used In Neurosurgery, IEEE/ RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2005 (IROS 2005) , 1313-1381.

Lin, H.H., Wen, C.C., Lin, S.W., Tai, Y.H. and etc. (2012). Robust Control for a Delta Robot. Proceedings of SICE Annual Conference (SICE), 880-885, Aug. 2012.

Liu , N., Wu, J., (2014). Kinematics and Application of a Hybrid Industrial Robot – Delta-RST, Sensors & Transducers, Vol. 169, Issue 4, April 2014, pp. 186-192

Lopez, M., Castillo, E., Garcia, G., Bashir, A., (2006) .Delta robot inverse, direct, and intermediate Jacobians, Proc. IMechE Vol. 220, pp.103–109

Maya, M., Castillo, E., Lomeli, A., Gonzalez-Galvan, E., and Cardenas, A. (2013), Workspace and Payload-Capacity of a New Reconfigurable Delta Parallel Robot, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 10, No. 56, 1-11.

Pan Feng, W., Li Min, Z., Xue Man, Z., (2012) Dynamic Modeling, Simulation and Experiment of the Delta Robot, Y. Zhang (Ed.): Future Communication, Computing, Control and Management, LNEE 141, pp. 149–156.

Park, S.B., Kim, H.S., Song, C. and Kim, K., 2013. “ Dynamics Modeling of Delta-type Parallel Robot, Robotics (ICR) ,” 2013 44th International Symposium on, pp.1-5.

Olsson, A. (2009) Modeling and control of a Delta-3 robot. Master Thesis, Lund University, Department of Automatic Control, Sweden

Stan, S., Manic, M., Szep, C., Balan, R. (2011) . Performance analysis of 3 DOF Delta parallel robot, 4th International Conference on Human System Interactions (HSI) Yokohama, 215-220.

Siam Reprap, Delta Robot 3D printer, ฝึกอบรมเมื่อ 11
มกราคม 2559, [บริษัท Siam Reprap]. สืบค้น
จาก <http://www.siamreprap.com>



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นายชาญณรงค์ ชุสุข
วัน เดือน ปีเกิด 07 มิถุนายน 2531
ที่อยู่ 6/29 หมู่ 2 ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
การศึกษา สำเร็จการศึกษา ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ)
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประวัติการทำงาน ตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ.2557 – ปัจจุบัน
เบอร์โทร 086-514-7925
อีเมล chan_mte@hotmail.com

