การพัฒนาหุ่นยนต์เดลต้าแบบสามองศาอิสระ

นายนภสร โกวรรธนะกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

DEVELOPMENT OF A THREE DEGREES OF FREEDOM DELTA ROBOT

Mr. Nopasorn Kowathanakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาหุ่นยนต์เดลต้าแบบสามองศาอิสระ
โดย	นายนภสร โกวรรธนะกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.รัชทิน จันทร์เจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.รัชทิน จันทร์เจริญ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทยา วัณณสุโภประสิทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.กฤษณันท์ มะลิทอง)

นภสร โกวรรธนะกุล : การพัฒนาหุ่นยนต์เดลต้าแบบสามองศาอิสระ. (DEVELOPMENT OF A THREE DEGREES OF FREEDOM DELTA ROBOT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.รัชทิน จันทร์เจริญ, 65 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและพัฒนาหุ่นยนต์โครงสร้างขนานแบบเดลต้า ที่มีองศาอิสระ เท่ากับ 3 แบบเลื่อนที่ เพื่อนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัยทางด้านวิทยาการหุ่นยนต์ ที่สามารถทำงานร่วมกับมนุษย์และโครงสร้างระบบควบคุมแบบเปิด โดยหุ่นยนต์ต้องการที่ว่างในการติดตั้งขนาด 650x650x800 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และมีปริมาตรในการทำงานขนาด 300x350x375 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ใช้มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรทั้งหมด 3 ตัว ขนาดกำลังขับตัวละ 6 วัตต์ และวัดตำแหน่งผ่านตัววัดระยะที่มีความละเอียด 2500 พลัลส์ต่อรอบ ส่งผลให้หุ่นยนต์มีความแม่นยำสูงสุด 0.5 มิลลิเมตร ความแม่นตรงสูงสุด 8.1 มิลลิเมตร และความละเอียดสูงสุด 0.04 มิลลิเมตร ระบบควบคุมและอุปกรณ์ขยายกำลัง สามารถทำงานที่ความเร็วสูงสุดได้ถึง 10 กิโลเฮิร์ต หุ่นยนต์ได้ทดสอบทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบไปด้วย เครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือ เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานเบื้องต้นของหุ่นยนต์ และกล้องดิจิตอล เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์วัดตำแหน่งของวัตถุในพิกัดทำงาน ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำหุ่นยนต์ไปทดสอบการทำงานเพื่อควบคุมให้ปลายแขนอยู่เหนือตำแหน่งเป้าหมายที่มีรูปร่าง สี และขนาดที่กำหนด โดยบังคับหุ่นยนต์ผ่านทางเครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือ ผลการทดสอบ พบว่า หุ่นยนต์สามารถทำงานตามที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

#5570250921 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS : PARALLEL MECHANISM / DELTA ROBOT / 3 DOF

NOPASORN KOWATHANAKUL : DEVELOPMENT OF A THREE DEGREES OF FREEDOM DELTA ROBOT. ADVISOR : ASSOC. PROF. RATCHATIN CHANCHAREON, Ph.D., 65 pp.

The purpose of thesis is to study and develop a parallel delta robot with three pure translation degrees of freedom. The robot is designed to be a research robot that works with human and controlled by open architecture controller. The Robot requires installation space 65x65x80 cm^3 while its workspace is 30x35x37.5 cm^3. This robot is driven by three 6 W permanent magnet DC motor, which their power consumption is quite low, and sensed its end point position by three 2500 ppr incremental encoders. The resulting accuracy, repeatability and resolution are 8.1, 0.5 and 0.04 mm. respectively. The servoing rate of the controller and amplifier is up to 10 kHz. Furthermore, the robot has been tested with various equipments including manual pulse generator and digital camera. In the thesis, the robot has demonstrated that it can control position of its end effector to be on the targets that are defined by shape, size and color.

Department : Mechanical Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Mechanical Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2013

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.รัชทิน จันทร์เจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งคอยให้กำลังใจและผลักดันผู้วิจัย ตลอดจนให้แนะนำ คำปรึกษา และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยตลอดมา จึงทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กราบขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัย

กราบขอบพระคุณมารดา และครอบครัวที่คอยให้กำลังใจสนับสนุนและให้คำปรึกษาแก่ผู้วิจัยเสมอมา จึงทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 3

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 3

1.3.1 โครงสร้างทางกล 3

1.3.2 ระบบอิเล็คทรอนิคส์ที่เกี่ยวข้อง และระบบควบคุมเบื้องต้น 3

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 4

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินการวิจัย 4

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 หุ่นยนต์โครงสร้างอนุกรม 6

2.2 หุ่นยนต์โครงสร้างแบบขนาน 8

2.3 หุ่นยนต์เดลต้า 12

บทที่ 3 การออกแบบหุ่นยนต์แบบเดลต้า 16

3.1 คุณสมบัติที่ต้องการ 16

3.1.1 ความแม่นตรงสูง 16

3.1.2 ความแม่นยำสูง 17

3.1.3 ความละเอียดสูง 17

หน้า

3.1.4 ความแข็งตึงสูง 18
3.1.5 ความเฉื่อยต่ำ 19
3.1.6 ง่ายต่อการซ่อมบำรุงและการประกอบ 19
3.1.7 ต้นทุนการจัดสร้างและการใช้พลังงานต่ำ 19
3.2 ต้นแบบหุ่นยนต์เดลต้า 19
3.2.1 โครงสร้างทางกล 20
3.2.2 ระบบขับเคลื่อน 21
3.2.3 ระบบวัดตำแหน่ง 21
3.2.4 ระบบอิเล็คทรอนิคส์และระบบจ่ายพลังงาน 22
3.2.5 ระบบควบคุม 24
3.3 รายละเอียดการจัดสร้าง 25
3.3.1 การเลือกวัสดุชิ้นส่วนและกระบวนการผลิต 25
3.3.2 ชิ้นส่วนจริง และงานประกอบ 25
บทที่ 4 กลศาสตร์ของหุ่นยนต์เดลต้า 27
4.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องและแกนอ้างอิง 27
4.2 จลศาสตร์ไปข้างหน้า 29
4.3 จลศาสตร์ผกผัน 30
4.4 ข้อมูลของแขนหุ่นยนต์ 31
4.5 ปริมาตรการทำงาน 32
บทที่ 5 ส่วนการควบคุม 34
5.1 ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 34
5.1.1 ข้อกำหนดของการควบคุม 34
5.1.2 แผนผังการควมคุมแบบพีไอดี 35
5.2 ตำแหน่งตั้งต้นและการตั้งศูนย์ของหุ่นยนต์ 38

หน้า

5.3 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ 38
5.3.1 จอแสดงผลคอมพิวเตอร์ประมวลผลเวลาจริง 39
5.3.2 จอแสดงภาพตามเวลาจริง 39
บทที่ 6 การทดสอบการทำงาน และสมรรถนะของหุ่นยนต์ 41
6.1 การทดสอบความแม่นตรงและความแม่นยำ 41
6.2 ผลการทดสอบความแม่นตรงและแม่นยำ 42
6.3 การทดสอบความละเอียด 45
6.4 ผลการทดสอบความละเอียด 46
6.5 การทดสอบการเคลื่อนที่ 48
6.6 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ 48
6.7 การทดสอบกับการใช้งานจริง 49
6.8 ผลการทดสอบการใช้งานจริง 50
6.9 สรุปผลการทดสอบ 51
บทที่ 7 สรุปวิทยานิพนธ์ 52
7.1 ผลสรุปวิทยานิพนธ์ 52
7.2 ปัญหาและข้อแนะนำ 54
7.3 แนวทางงานวิจัยในอนาคต 54
รายการอ้างอิง 56
ภาคผนวก 59
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 65

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการและระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย..... 4
ตารางที่ 2.1 ตารางค่าความแม่นยำกับค่าภาระต่อน้ำหนักของหุ่นยนต์สกาล่า 7
ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบระหว่างแขนกลแบบอนุกรมกับขนาน 8
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจำเพาะของแขนหุ่นยนต์ 31
ตารางที่ 6.1 ตำแหน่งทั้งหมดที่ใช้ทดสอบความแม่นตรงและความแม่นยำ 42
ตารางที่ 6.2 ความคลาดเคลื่อนในการทดสอบความแม่นตรงและความแม่นยำของแต่ละครั้ง ... 43
ตารางที่ 6.3 ความคลาดเคลื่อนในการทดสอบความละเอียดของแต่ละครั้ง..... 46
ตารางที่ ก.1 ข้อมูลจำเพาะของตัววัดระยะ..... 61
ตารางที่ ก.2 ข้อมูลจำเพาะของตัวขับมอเตอร์..... 61
ตารางที่ ก.3 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องมือวัดตำแหน่งสามมิติ..... 63

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์สกาล่า 6
รูปที่ 2.2 ต้นแบบแขนกลแบบขนานของกัฟ 9
รูปที่ 2.3 โต๊ะจำลองหลากหลาย 9
รูปที่ 2.4 แท่นของสจ๊วต 10
รูปที่ 2.5 แบบจำลองแขนกลของแคปเป้ิล 10
รูปที่ 2.6 แบบจำลองแขนกลของโปแลนด์ 11
รูปที่ 2.7 หุ่นยนต์โครงสร้างขนานที่องศาอิสระเท่ากับ 3 11
รูปที่ 2.8 หุ่นยนต์โครงสร้างขนานที่องศาอิสระมากกว่า 3 12
รูปที่ 2.9 หุ่นยนต์เดลต้า 13
รูปที่ 2.10 หุ่นยนต์เดลต้าที่มีในอุตสาหกรรม 14
รูปที่ 2.11 หุ่นยนต์เดลต้าที่มีในวงการศึกษา 15
รูปที่ 3.1 โครงสร้างทางกลของหุ่นยนต์เดลต้า 20
รูปที่ 3.2 ระบบขับเคลื่อน 21
รูปที่ 3.3 ระบบวัดตำแหน่ง 22
รูปที่ 3.4 แผนผังระบบอิเล็คทรอนิคส์ของหุ่นยนต์เดลต้า 23
รูปที่ 3.5 แผนผังระบบควบคุมของหุ่นยนต์เดลต้า 24
รูปที่ 3.6 ชิ้นส่วนที่ผ่านการตัดด้วยเลเซอร์ 25
รูปที่ 3.7 หุ่นยนต์เดลต้าทั้งระบบ 26
รูปที่ 4.1 หุ่นยนต์เดลต้าพร้อมตัวแปรที่ต้องการแก้สมการ 27
รูปที่ 4.2 ตัวแปรต่างๆบนแขนหุ่นยนต์เดลต้า 28
รูปที่ 4.3 การหมุนแกนของหุ่นยนต์เดลต้า 28
รูปที่ 4.4 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางทรงกลม 29
รูปที่ 4.5 การหาจุดปลายแขนจากจุดตัดทรงกลมทั้งสาม 30

หน้า

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ในการหาจลศาสตร์ผกผัน 31
รูปที่ 4.7 ปริมาตรการทำงานของหุ่นยนต์ 32
รูปที่ 5.1 แผนผังการควบคุมแบบพีไอดี 36
รูปที่ 5.2 ตำแหน่งสวิตซ์ตั้งศูนย์ 38
รูปที่ 5.3 จอแสดงผลคอมพิวเตอร์ประมวลผลเวลาจริง 39
รูปที่ 5.4 ภาพถ่ายจากกล้องดิจิตอล 40
รูปที่ 6.1 ตำแหน่งผลการทดสอบความแม่นตรงและแม่นยำ 44
รูปที่ 6.2 ตำแหน่งการทดสอบความความละเอียดบนปริมาตรการทำงาน 45
รูปที่ 6.3 ตำแหน่งเริ่มต้น ตำแหน่งเป้าหมาย และการวัดความคลาดเคลื่อน 47
รูปที่ 6.4 เปรียบเทียบวงกลมจริง กับวงกลมอ้างอิง 48
รูปที่ 6.5 ตำแหน่งการทดสอบการใช้งานจริง 49
รูปที่ 6.6 ผลจากการใช้งานจริง 50
รูปที่ ก.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 60
รูปที่ ก.2 ตัววัดระยะ 60
รูปที่ ก.3 ตัวขับมอเตอร์ 61
รูปที่ ก.4 การ์ดรับค่าตัววัดระยะ 62
รูปที่ ก.5 เครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือ 62
รูปที่ ก.6 เครื่องมือวัดตำแหน่งสามมิติ 64
รูปที่ ก.7 กล้องดิจิตอล 64

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

จากความความต้องการที่ของมนุษย์ ที่ต้องการจะทำงานได้สะดวกสบายมากยิ่งขึ้น ทำงานได้หนักมากขึ้น หรือแม้กระทั่งทำงานที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ ทำให้มนุษย์ได้คิดค้นสิ่งที่เรียกว่า หุ่นยนต์ ขึ้นมา เพื่อที่ตอบสนองความต้องการเหล่านั้น โดยเริ่มจาก หุ่นยนต์จะถูกออกแบบโดยเลียนแบบจากอวัยวะของมนุษย์เอง ฉะนั้นหุ่นยนต์ในยุคแรกจะมีลักษณะคล้ายกับแขนของมนุษย์ ซึ่งถูกสร้างมาเพื่อใช้ในการยก หรือย้ายสิ่งของแทนมนุษย์ในงานที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ส่วนใหญ่ของหุ่นยนต์ในยุคแรก ได้แก่ ภาระที่สามารถยกได้ ปริมาตรในการทำงาน และความแม่นยำ โดยหุ่นยนต์ยุคแรกจะมีชื่อเรียกว่า หุ่นยนต์โครงสร้างอนุกรม หุ่นยนต์อนุกรม คือหุ่นยนต์ที่การต่อแขนกลต่อกันไปเรื่อยๆ ในลักษณะอนุกรมกัน ซึ่งมีข้อดีหลายประการ เช่น มีปริมาตรในการทำงานที่กว้าง โครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนมาก ซึ่งทำให้จัดสร้างและควบคุมได้ง่าย เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม หุ่นยนต์โครงสร้างแบบอนุกรมนั้น ก็ยังมีข้อจำกัดเช่นกัน เช่น หุ่นยนต์นั้นมีน้ำหนักมาก ทำให้ทำงานได้ช้า และด้วยน้ำหนักที่มาก ส่งผลให้หุ่นยนต์ ต้องใช้พลังงานมาก หรือใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่ในการทำงาน และนอกจากนี้ ด้วยโครงสร้างแบบอนุกรม ทำให้ข้อเสียต่างๆ เช่น ค่าความผิดพลาดเล็กน้อยของแต่ละข้อต่อนั้นจะสะสม และแสดงผลออกมาเป็นค่าความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่ปลายแขน ทำให้หุ่นยนต์โครงสร้างอนุกรมมีความแม่นยำลดลง หากจำนวนข้อต่อและแขนของหุ่นยนต์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งยิ่งเวลาผ่านไปความต้องการของมนุษย์ต่อหุ่นยนต์มีแต่เพิ่มมากขึ้น เพราะฉะนั้นหุ่นยนต์ที่สามารถทำงานได้แม่นยำ และมีประสิทธิภาพ จึงเป็นต้องการมากขึ้นเรื่อยๆ ประกอบกับหุ่นยนต์โครงสร้างอนุกรมไม่สามารถตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นได้ จึงทำให้มีหุ่นยนต์โครงสร้างแบบใหม่ ได้รับความสนใจขึ้นมา ชื่อว่า หุ่นยนต์โครงสร้างขนาน

หุ่นยนต์โครงสร้างขนานเป็นหุ่นยนต์ที่มีการต่อแขนกลในลักษณะขนาน นั้นคือ แขนกลทั้งหมดจะมีจุดเริ่มต้น จุดเดียวกัน และต่อยาวกันไปในลักษณะขนาน จนมีปลายแขนเดียวกัน ด้วยลักษณะการต่อแบบนี้ จะได้ให้ได้ข้อดี คือ ภาระทั้งหมด จะสามารถเฉลี่ยลงที่แขนกลทั้งหมด

ซึ่งแตกต่างจากแบบอนุกรม ที่ภาระทั้งหมดจะตกอยู่ที่แขนกลที่อยู่ใกล้กับฐานมากที่สุด ด้วยเหตุนี้ ทำให้หุ่นยนต์โครงสร้างขนาน มีน้ำหนัก และมีความเฉื่อยที่ลดลง ทำให้หุ่นยนต์มีความเร็วและความเร่งในการทำงานที่เพิ่มขึ้น และเพราะภาระของน้ำหนักทั้งหมดสามารถกระจายเฉลี่ยลงแขนกลทั้งหมด จึงทำให้หุ่นยนต์โครงสร้างแบบขนานสามารถรับภาระต่อน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์เอง ได้มากกว่าหุ่นยนต์โครงสร้างอนุกรม นอกจากนี้ ด้วยการทำงานลักษณะขนาน ไม่เพียงแค่ภาระน้ำหนักที่จะกระจายไปสู่แขนกลทั้งหมด แต่ยังรวมถึงค่าความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยของแต่แขนกลจะไม่สะสมจนเกิดเป็นความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ ซึ่งหุ่นยนต์โครงสร้างขนานนี้ มีหลากหลายชนิดและรูปแบบ โดยทุกแบบและชนิด จะถูกออกแบบเพื่อทำงานที่แตกต่างกันไป ซึ่งในบรรดาหุ่นยนต์โครงสร้างขนานทั้งหมด หุ่นยนต์เดลต้า นับเป็นหนึ่งในหุ่นยนต์ที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก

หุ่นยนต์เดลต้าเป็นหุ่นยนต์โครงสร้างขนาน โดยภายนอกหุ่นยนต์เดลต้านั้นดูมีความเรียบง่าย โดยหุ่นยนต์ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นฐานของหุ่นยนต์ และส่วนปลายแขนที่ใช้ทำหน้าที่ตามที่ได้รับมอบหมาย และระหว่างฐานกับปลายแขนจะถูกเชื่อมต่อด้วยชุดแขนกลทั้งหมดสามชุด ดังนั้นโครงสร้างทั้งหมด จะประกอบไปด้วยแขนทั้งหมด 11 แขน ข้อต่อทรงกลมทั้งหมด 12 ข้อต่อ และข้อต่อหมุนทั้ง 3 โดยทั้งหมดนี้จะถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว หุ่นยนต์เดลต้ามีอันดับความอิสระเท่ากับสาม ซึ่งจะตรงกับจำนวนของชุดแขนกล ลักษณะของชุดแขนกลของหุ่นยนต์เดลต้านั้น จะต่อกันในลักษณะสมมาตร นั้นคือ แขนกลแต่ละชุดจะทำมุม 120 องศาต่อกัน โดยมีส่วนปลายทั้งสองด้าน เชื่อมติดกับส่วนฐานกับส่วนปลายแขนเดียวกัน ซึ่งบางครั้ง โครงสร้างรูปแบบนี้ สามารถเรียกได้ ว่า หุ่นยนต์โครงสร้างปิด และด้วยเหตุนี้ ทำให้หุ่นยนต์เดลต้ามีความยากและซับซ้อนหลายประการ เช่น เมื่อขยับแขนข้างหนึ่ง จะส่งผลกระทบไปยังแขนที่เหลืออีกสองแขน ทำให้การขยับหุ่นยนต์ครั้งหนึ่งจำเป็นต้องจ่ายพลังงานไปยังมอเตอร์ทุกตัว หรือควบคุมมอเตอร์ทุกตัว

นอกจากนี้ เนื่องด้วยการทำงานที่ขนานกัน หรือการทำงานที่ไม่สามารถแยกแขนกลแต่ละชุดออกจากกันได้นี้ ทำให้การควบคุมหุ่นยนต์เดลต้า ต้องใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนมากกว่าหุ่นยนต์โครงสร้างอนุกรม เข้ามาใช้ในการควบคุม ทำให้ในการแก้สมการของหุ่นยนต์

เดลต้านั้น จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเสมอ ซึ่ง ในปัจจุบัน หุ่นยนต์เดลต้าได้รับความนิยม และถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม เพื่อใช้จับวางสิ่งของ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะเลือกหุ่นยนต์เดลต้าที่มีความซับซ้อน แต่มีความเร็วและความแม่นยำในการทำงานสูง ซึ่งใช้ในเป็นอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม การจับและวางสิ่งของ มาพัฒนาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือพื้นฐานในห้องปฏิบัติการวิจัย

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

ออกแบบ จัดสร้าง และควบคุมหุ่นยนต์โครงสร้างแบบขนานเดลต้า แบบสามองศาอิสระที่สามารถควบคุมตำแหน่งได้ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือพื้นฐานในห้องปฏิบัติการวิจัย

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ออกแบบ จัดสร้าง และควบคุมหุ่นยนต์โครงสร้างแบบขนานเดลต้าทีมีรายละเอียดดังนี้

1.3.1 โครงสร้างทางกล

1) องศาอิสระเท่ากับ 3 แบบเลื่อนที่
2) ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์แบบเซอร์โว พร้อมติดตั้งชุดวัดตำแหน่ง
3) มีปริมาตรการทำงานเบื้องต้น กว้างxยาวxสูง ไม่น้อยกว่า 20x20x20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ
4) สามารถควบคุมตำแหน่งพิกัด ได้แม่นยำดีกว่า 0.5 มิลลิเมตร

1.3.2 ระบบอิเล็คทรอนิคส์ที่เกี่ยวข้อง และระบบควบคุมเบื้องต้น

1) สามารถขับมอเตอร์แบบกระแสตรงได้พร้อมกันทั้งสามแกน และรองรับสัญญาณสั่งกระแสแบบอนาล็อก ด้วยความเร็วสูงกว่า 1 กิโลเฮิร์ซ
2) สามารถประมวลผลสัญญาณจากอุปกรณ์วัดตำแหน่ง
3) อุปกรณ์ประมวลผลสามารถประมวลผลทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์ ได้ไม่ต่ำกว่า 1 กิโลเฮิร์ซ
4) สามารถควบคุมตำแหน่งของหุ่นยนต์แบบจุดต่อจุดได้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

หุ่นยนต์โครงสร้างแบบขนานเดลต้า เพื่อที่จะใช้เป็นเครื่องมือพื้นฐานสำหรับต่อยอดความรู้ หรือใช้เป็นหุ่นยนต์ต้นแบบในห้องปฏิบัติการวิจัย

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนการและระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัย	เดือน				
	07-09/12	10-12/12	01-03/13	04-06/13	07-09/13
ศึกษาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง					
ออกแบบและจัดสร้างหุ่นยนต์					
ออกแบบและจัดสร้างส่วนอิเล็คทรอนิคส์					
ออกแบบและจัดสร้างสนามทดสอบหุ่นยนต์					
ทดสอบและบันทึกผลการทดลอง					
สรุปผลและจัดทำวิทยานิพนธ์					

ขั้นตอนในการทำงานจะมีทั้งหมดดังนี้

1) ขั้นตอนในการดำเนินงานจะดังนี้
2) ศึกษาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3) ออกแบบและจัดสร้างหุ่นยนต์
4) ออกแบบและจัดสร้างส่วนอิเล็คทรอนิคส์
5) ออกแบบและจัดสร้างสนามทดสอบหุ่นยนต์

6) ทดสอบและบันทึกผลการทดลอง

7) สรุปผลและจัดทำบทความเพื่อตีพิมพ์

และด้วยระยะเวลาในการดำเนินการทั้งสิ้น 15 เดือน วิทยานิพนธ์นี้จะแผนการดำเนินงานและระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1.1

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทบทวนงานเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นขั้นตอนแรกในการดำเนินการวิจัย เพื่อที่จะทำให้เข้าใจถึงที่มา และความสำคัญของปัญหาในเบื้องต้น พร้อมสามารถที่จะหาแนวทางในการแก้ปัญหา หรือได้แนวความคิดในการแก้ปัญหา จากการทบทวนงานวิจัยเหล่านั้น ซึ่งจะมีหัวข้อและรายละเอียดดังนี้

2.1 หุ่นยนต์โครงสร้างอนุกรม

ในประวัติศาสตร์ของหุ่นยนต์นั้น เริ่มต้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 โดยในสมัยก่อน หุ่นยนต์ได้รับการออกแบบอย่างง่ายๆ เพื่อที่ทำงานช่วยเหลือหรือทำงานแทนมนุษย์ ในงานที่อันตราย หรืองานที่มนุษย์ทำไม่ได้ โดยพื้นฐานแล้ว หุ่นยนต์เป็นมีลักษณะเป็นแขนต่อเข้ากับข้อต่อต่างๆ โดยเรียงต่อกันเป็นลักษณะอนุกรม โดยเชื่อมต่อระหว่างส่วนฐานที่จะอยู่นิ่งเข้ากับส่วนขับเคลื่อนที่จะเคลื่อนไปในที่ต่างๆ ในปริมาตรการทำงาน โดยลักษณะการทำงานแบบนี้ จะเรียกกว่า หุ่นยนต์โครงสร้างแบบอนุกรม หุ่นยนต์ประเภทนี้ ได้รับความนิมในวงการอุตสาหกรรมมาตลอดในช่วงหลายปีที่ผ่านมา และหุ่นยนต์ จะนิยมใช้ แขนกลที่มีองศาอิสระเป็น 4 ที่มีชื่อเรียกว่า สกาล่า

รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์สกาล่า [1]

ด้วยความที่แขนกลอนุกรมนั้น ถูกออกแบบจากมาลักษณะของแขนของมนุษย์ จึงส่งผลให้แขนกลลักษณะนี้ มีความซับซ้อนค่อนข้างน้อย อีกทั้งยังทำให้มีปริมาตรในการทำงานที่กว้าง แต่ในทางกลับกัน ยิ่งพื้นในการทำงานมากเท่าไร หุ่นยนต์ยิ่งต้องมีประสิทธิภาพในการแบกรับภาระได้มากขึ้นเท่านั้น ทำให้หุ่นยนต์ชนิดนี้ ยิ่งมักมีขนาดที่ใหญ่ และด้วยขนาดที่ใหญ่ขึ้น ยังส่งผลให้ราคาของหุ่นยนต์นั้นเพิ่มสูงขึ้นไปอีกด้วย นอกจากนี้ ด้วยโครงสร้างแบบอนุกรม ทำให้ภาระที่เกิดขึ้นนั้น เป็นภาระชนิดสะสม ส่งผลให้มอเตอร์ที่ต้นทางต้องรับภาระทั้งหมดของหุ่นยนต์ และด้วยขนาดที่ใหญ่ ก็ทำให้ความเฉื่อยของหุ่นยนต์ชนิดนี้มีค่อนข้างมาก และด้วยเหตุทั้งหมด ทำให้หุ่นยนต์ชนิดนี้มีความเร็วและความเร่งค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 2.1 ตารางค่าความแม่นยำกับค่าภาระต่อน้ำหนักของหุ่นยนต์สกาล่า [2]

Robot	d.o.f.	mass	load	Repeatability	$\frac{\text{load}}{\text{mass}}$
Adept I800	4	34	5.5	± 0.02	0.1617
Adept 1XL	4	265	12	± 0.025	0.0452
Adept 3XL	4	266	25	± 0.038	0.0939
Epson E2C251	4	14	3	± 0.01	0.21442
Epson E2S45x	4	20	5	± 0.015	0.25
Epson E2H853	4	37	2	± 0.025	0.054
Seiko EC250	4	14	3	± 0.01	0.21438
Seiko EH850	4	43	10	± 0.025	0.2325
Toshiba SR-504HSP	4	38	2	± 0.02	0.0526

จากที่ได้ศึกษางานวิจัยของเมอเร็ทเกี่ยวกับหุ่นยนต์โครงสร้างขนาน ดังที่จะเห็นตารางที่ 2.1 พบว่า ภาระที่ยกได้ของหุ่นยนต์เมื่อเทียบกับน้ำหนักของหุ่นยนต์แล้ว ค่อนข้างต่ำ นอกจากภาระที่สะสมเนื่องจากโครงสร้างแบบอนุกรมแล้ว ยังพบว่าในหุ่นยนต์โครงสร้างอนุกรม ยังเกิดค่าคลาดเคลื่อนสะสมด้วย นั้นหมายความว่า ความคลาดเคลื่อนที่ปลายแขนจะสามารถสะสม ทำให้สุดท้ายค่าที่ได้นั้นคาดเคลื่อนไปจากค่าที่ต้องการมาก ทำให้หุ่นยนต์ชนิดนี้มีค่าความแม่นย้ำค่อนข้างต่ำ แต่ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา พบว่า หากมีการเปลี่ยนโครงสร้างของหุ่นยนต์ โดยการ

เชื่อมต่อแขนจากฐานไปสู่ปลายแขน มากกว่า 1 ชุด จะทำให้ได้หุ่นยนต์โครสร้างใหม่ ที่เรียกว่า หุ่นยนต์กลแบบขนาน ซึ่งมีความแตกต่างและข้อดีข้อเสียหลายประการ

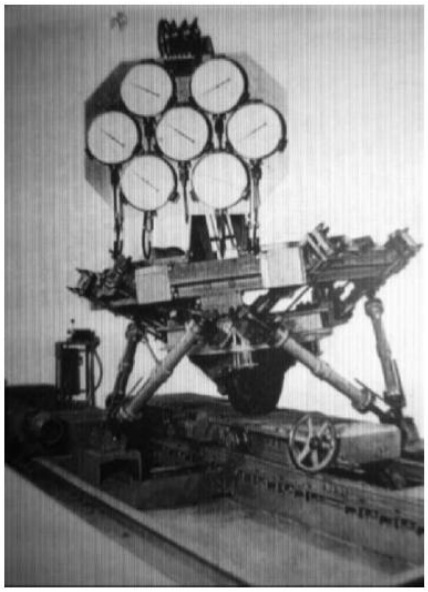
2.2 หุ่นยนต์โครงสร้างแบบขนาน

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบระหว่างแขนกลแบบอนุกรมกับขนาน [3]

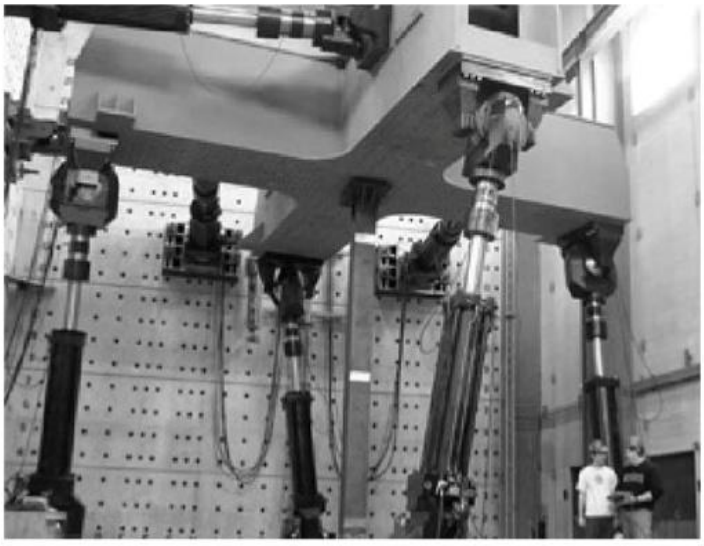
Features	*Serial Manipulator*	*Parallel Manipulator*
Workspace	Large	Small
Stiffness	Low	High
Singularity Problems	Some	Abundant
Payload	Low	High
Inertial	Large	Small
Structure	Simple	Complex
Accuracy	Error Accumulated	Error Average Out
Speed	Lower	Higher
Acceleration	Lower	Higher
Forward Kinematics	Easy	Difficult
Inverse Kinematics	Difficult	Usually Easy
Dynamics	Complicated	Very Complicated
Control	Simpler	Complicated
Design Complexity	Low	High
Cost	Higher	Lower

จากงานวิจัยหุ่นยนต์โครงสร้างขนานของคีน ดังตารางที่ 2.2 พบว่า หุ่นยนต์ชนิดนี้ โครงสร้างหลักยังคงมีความคล้ายคลึงกับหุ่นยนต์โครงสร้างแบบอนุกรม นั้นก็คือ จะมีส่วนที่เป็นฐานซึ่งจะอยู่นิ่ง และจะมีส่วนที่ทำงานที่จะวิ่งไปตามปริมาตรการทำงาน แต่ความแตกต่าง คือ ลักษณะการเรียงต่อของแขนกลกับข้อต่อจะเปลี่ยนไปจากการเรียงต่อแบบอนุกรมเป็นการเรียงต่อแบบขนาน ในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของหุ่นยนต์นั้น ก็ได้ส่งผลต่อการทำงานของหุ่นยนต์หลายประการ เช่น หุ่นยนต์โครงสร้างแบบอนุกรมนั้น มีปริมาตรในการทำงานที่มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องแขนกลนั้นเรียงต่อกันออกไปแบบอนุกรม แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการเรียงต่ออนุกรม ทำให้พบว่า แขนที่ติดกับส่วนของฐานจะต้องแบกรับภาระของน้ำหนักของแขนปลาย ซึ่งต่างกับโครงสร้างแบบขนานที่ จะกระจายภาระของน้ำหนักทั้งหมด ไปที่ทุกแขน ส่งผลให้หุ่นยนต์แบบอนุกรม มักจะมีขนาดและน้ำหนักที่ใหญ่กว่า โครงสร้างแบบขนาน และด้วยเหตุผลเดียวกัน ทำให้ขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ขับหุ่นยนต์แบบอนุกรม ต้องมีขนาดใหญ่กว่าเพื่อที่จะได้รองรับน้ำหนักของ

หุ่นยนต์แบบอนุกรมที่มากกว่าได้ นอกจากนี้ ด้วยความที่น้ำหนักของแขนมีมากกว่า ส่งผลให้ความเฉื่อยของหุ่นยนต์โครางสร้างขนานมีมีน้อยกว่า และทำให้หุ่นยนต์ชนิดนี้ มีความความเร็ว ความเร่งและความแม่นยำในการเคลื่อนที่มากกว่าหุ่นยนต์โครงสร้างอนุกรม เป็นต้น ในปี ค.ศ. 1947 หุ่นยนต์โครงสร้างแบบขนาน ได้ถูกเสนอขึ้นครั้งแรก โดย กัฟ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นฐานหกเหลี่ยม และเชื่อมต่อกับฐาน โดยข้อต่อลูกบอลกับเบ้า ดังรูปที่ 2.2

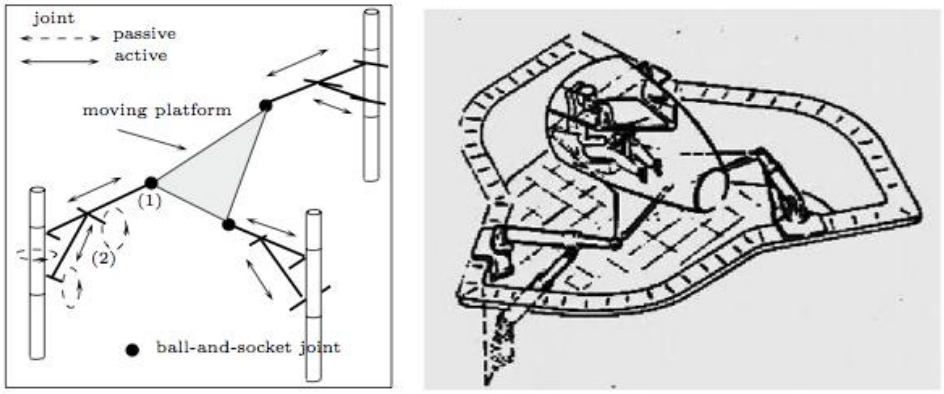


รูปที่ 2.2 ต้นแบบแขนกลแบบขนานของกัฟ [2]

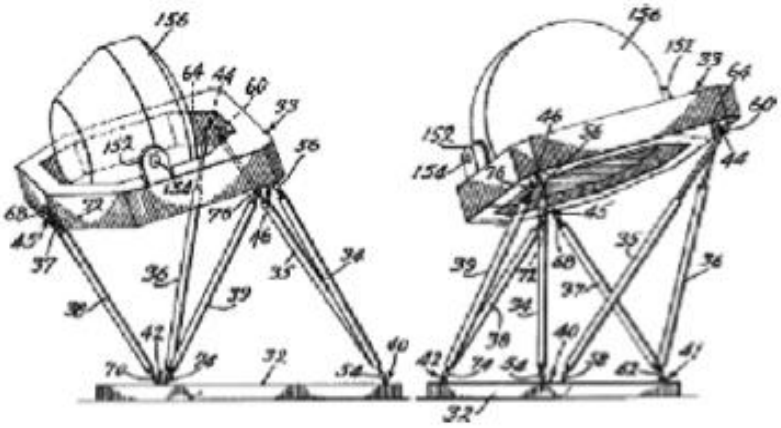


รูปที่ 2.3 โต๊ะจำลองหลากหลาย [2]

จากนั้นก็มีโครงสร้างแบบขนาน ที่ออกแบบมาเพื่องานจำลอง ที่มีชื่อเรียก ว่า โต๊ะจำลอง หลายหลาย ต่อจากนั้นก็ได้มีการพัฒนาขึ้น จนในปี ค.ศ. 1965 สจ๊วตได้เสนอตัวจำลองที่ใช้ลักษณะของแขนกลแบบขนาน ที่มีชื่อเรียกว่า แท่นของสจ๊วต [4] ดังในรูปที่ 2.4

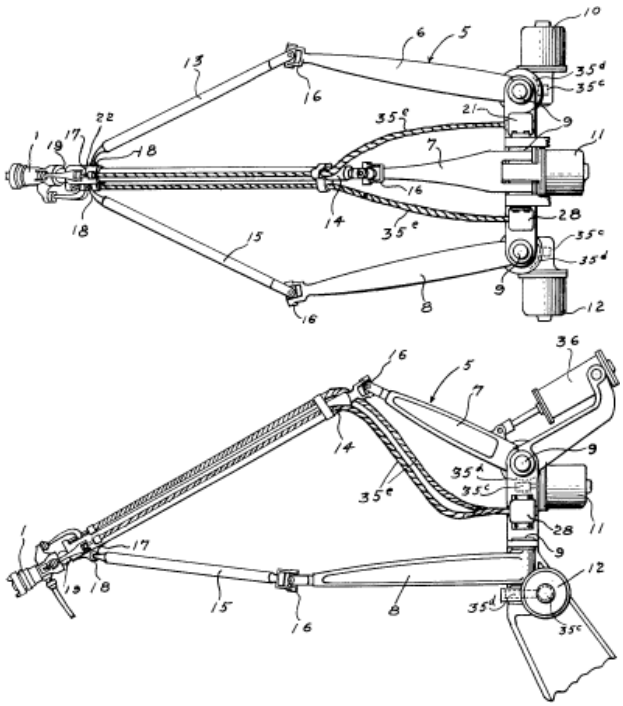


รูปที่ 2.4 แท่นของสจ๊วต [2]



รูปที่ 2.5 แบบจำลองแขนกลของแคปเปิ้ล [2]

ต่อจากนั้น ความสนใจในโครงสร้างของหุ่นยนต์โครงสร้างขนานนั้น เพิ่มขึ้นเรื่อย และก็มีวิศวกรอีกหลายคนที่สนใจและเสนอแบบหุ่นยนต์แบบต่างๆ เช่น เคล้าส์ แคปเปิ้ล ซึ่งในช่วงยุคแรกของแขนกลแบบขนาน แขนกลมักถูกนำไปใช้ในรูปแบบของระบบจำลองต่างๆ จนและวิลเลี่ยม โปแลนด์ ที่นำแขนกลของแคปเปิ้ลไปปรับปรุง ให้เป็นที่ใช้ในงานพ่นสีอัตโนมัติ ซึ่งภายหลังได้รับสิทธิบัตร ในวันที่ 29 ตุลาคม ค.ศ. 1934



รูปที่ 2.6 แบบจำลองแขนกลของโปแลนด์ [5]

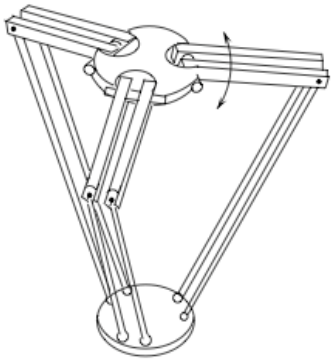
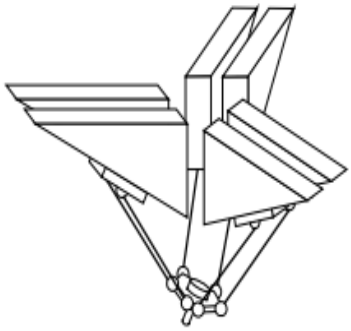
a) หุ่นยนต์ออโทไกด์ [10]

b) หุ่นยนต์ไตรเซป [11]

c) หุ่นยนต์คาปาแมน [12]

รูปที่ 2.7 หุ่นยนต์โครงสร้างขนานที่องศาอิสระเท่ากับ 3

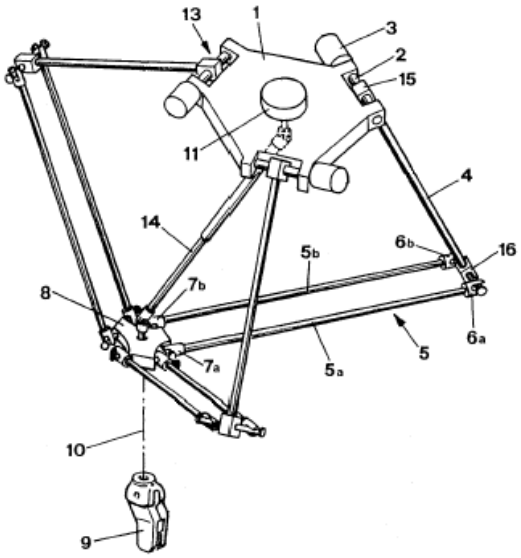
ยิ่งเวลาผ่านไป แนวโน้มที่จะนำมาใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำมากขึ้น และรวดเร็วขึ้น ส่งผลให้แขนกลแบบขนานได้รับการพัฒนามากยิ่งขึ้น ทำให้เกิดหุ่นยนต์แบบต่างๆมากมายพัฒนาตามออกมาเรื่อยๆ เช่น หุ่นยนต์ออโทไกด์ [6] ที่ถูกเสนอ โดยเวนเกอร์ หุ่นยนต์ไตรเซป [7] โดย นอร์แมน หุ่นยนต์คาปาแมน และหุ่นยนต์เดลต้า ซึ่งเสนอโดย โดย เรม่อน คราเวล โดยหุ่นยนต์ทั้งหมด ล้วนมีองศาอิสระเท่ากับ 3 นอกจากนี้ ยังมีหุ่นยนต์ที่มีองศาอิสระมากกว่า 3 อีก เช่น กลไกการจำลองการบิน ที่ถูกเสนอโดย โคเอเวอแมนส์ ซึ่งมีองศาอิสระเท่ากับ 4 หรือหุ่นยนต์เฮกซะ [8] ที่เสนอโดย ปิแอรอท และหุ่นยนต์เฮกซะ สไลด์ [9] ซึ่งทั้งสองชนิดมีองศาอิสระเท่ากับ 6

	
a) หุ่นยนต์เฮกซะ [8]	b) หุ่นยนต์เฮกซะ สไลด์ [9]

รูปที่ 2.8 หุ่นยนต์โครงสร้างขนานที่องศาอิสระมากกว่า 3

2.3 หุ่นยนต์เดลต้า

หุ่นยนต์เดลต้าเป็นหนึ่งในหุ่นยนต์โครงสร้างแบบขนาน โดยถูกคิดค้นครั้งแรก โดย ศาสตราจารย์เรย์ม่อน เครเวล หุ่นยนต์เดลต้าจะประกอบไปด้วยมีส่วนที่อยู่กับที่ เรียกว่า ฐาน และอีกส่วนที่วิ่งและทำงานบนปริมาตรการทำงาน ที่เรียกว่า ปลายแขน และระหว่างส่วนฐานกับปลายแขน จะเชื่อมต่อชุดแขนกลทั้ง 3 ชุด ส่งผลให้หุ่นยนต์เดลต้านี้ มีองศาอิสระเท่ากับ 3 และเป็นลักษณะการเลื่อนเท่านั้น โดยชุดแขนกลจะประกอบไปด้วยแขนบน ที่ยึดติดกับฐานและส่วนที่แขนล่าง ที่ติดกับส่วนปลายแขน ดังนั้นหุ่นยนต์เดลต้านี้จะประกอบไปด้วยแขนทั้งหมด 11 แขน ข้อต่อทรงกลมทั้งหมด 12 ข้อต่อ และข้อต่อหมุนทั้ง 3 โดยทั้งหมดนี้จะถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว โดยติดตั้งอยู่ระหว่างส่วนฐานกับชุดแขนกล



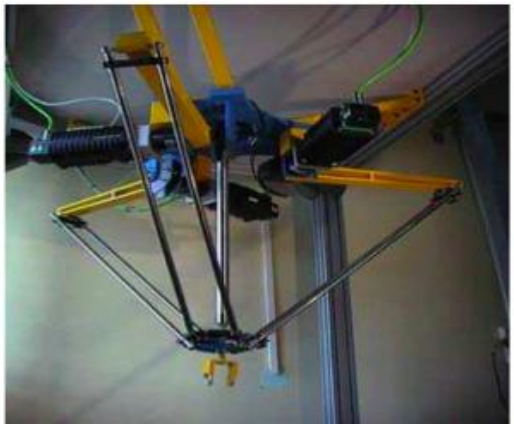
รูปที่ 2.9 หุ่นยนต์เดลต้า [13]

หุ่นยนต์ชนิดนี้ ได้ถูกนำไปใช้ครั้งแรกในวงการอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการบรรจุสิ่งของ เนื่องจากคุณสมบัติของแขนกลแบบขนานที่มีความแม่นยำ และความเร็วที่สูง นอกจากนี้ บวกกับความเดลต้าเป็นที่หุ่นที่มีความสมมาตรระหว่างแขนทั้งสาม จึงส่งผลให้หุ่นยนต์มีความสะดวกที่จะใช้งาน เริ่มแรกในปี ค.ศ. 1987 บริษัท ดีมอแร็ก ได้ซื้อสิทธิบัตรของหุ่นยนต์เดลต้า และนำหุ่นไปใช้ในลักษณะของการหยิบจับสิ่งของแล้ว วางลงตามตำแหน่งที่ต้องการ หรือที่เรียกว่า จับ-วาง

ต่อจากนั้น ได้มีการขยายตลาดไปยังวงการผ่าตัด โดยนำเดลต้าไปใช้ในการถือกล้องที่สำหรับการผ่าตัด จากนั้นหุ่นยนต์เดลต้าก็มีการพัฒนาเรื่อยมาจากหลากหลายบริษัท เช่น กลุ่มมิครอน เทคโนโลยี กลุ่มคายูส แอนด์ เมาเซอร์ บริษัทฮิตาชิ เซกิ และบริษัทเอบีบี โดยส่วนใหญ่เดลต้าจะถูกนำไปใช้ในการบรรจุสินค้าลงบรรจุภัณฑ์ เช่น สินค้าประเภทอาหาร ยา และอิเล็กทรอนิคส์ จนปัจจุบันมีบริษัทหลากหลายบริษัทที่ผลิตหุ่นยนต์ที่มีโครงสร้างแบบขนานชนิดนี้ออกมาจำหน่อยเพิ่มขึ้นอีก เช่น บริษัทฟานัค บริษัทบ๊อช บริษัทอไซริล บริษัทอแดปท์ และบริษัทฟอร์ซ ไดแมนชั่น เป็นต้น นอกจากวงการอุตสาหกรรมแล้ว หุ่นยนต์เดลต้าก็ยังเป็นที่นิยมในหมู่วงการการศึกษา และมีผลงานวิจัยและพัฒนาต่างๆ เช่น หุ่นยนต์โรโบเดลต้า ที่ออกแบบมาเพื่อตีเทนนิส [14] และหุ่นยนต์เดลต้าของจุฬา [15] เป็นต้น

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>a) หุ่นยนต์เดลต้าของบริษัท ดีมอแร็ก [16]</td><td>b) หุ่นยนต์เดลต้าของฮิตาชิ เซกิ [16]</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>c) หุ่นยนต์เดลต้าของเอบีบี [17]</td><td>d) หุ่นยนต์เดลต้าของฟานัค [18]</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>e) หุ่นยนต์เดลต้าของบ๊อช [19]</td><td>f) หุ่นยนต์เดลต้าของอไซริล [20]</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>g) หุ่นยนต์เดลต้าอแดปท์ [21]</td><td>h) หุ่นยนต์เดลต้าของฟอร์ซ ไดแมนชั่น [22]</td></tr>
</table>

รูปที่ 2.10 หุ่นยนต์เดลต้าที่มีในอุตสาหกรรม

	
a) หุ่นยนต์โรโบเทนนิส [14]	b) หุ่นยนต์เดลต้าจุฬา [15]

รูปที่ 2.11 หุ่นยนต์เดลต้าที่มีในวงการศึกษา

บทที่ 3
การออกแบบหุ่นยนต์แบบเดลต้า

หลังจากได้ทำการทบทวนบทวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ ขั้นตอนการออกแบบและจัดสร้างหุ่นยนต์ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงตั้งแต่คุณสมบัติที่ต้องการ การออกแบบส่วนต่างๆของหุ่นยนต์เดลต้า ได้แก่ ส่วนทางกล ระบบการเคลื่อนที่ ระบบวัดตำแหน่ง ส่วนอิเล็คทรอนิคส์ และส่วนควบคุม รวมไปถึงชิ้นส่วนของจริงหลังการออกแบบ โดยจะมีรายละเอียดดังนี้

3.1 คุณสมบัติที่ต้องการ

ในการออกแบบหุ่นยนต์ สิ่งที่จำเป็นอย่างหนึ่งคือ การกำหนดคุณสมบัติต่างๆที่ต้องการไว้เพื่อที่จะใช้เป็นเกณฑ์ขั้นพื้นฐานในการเลือกรูปแบบของหุ่นยนต์ ชิ้นส่วนประกอบ และรวมไปถึงวัสดุของที่จะทำมาใช้เป็นส่วนต่างๆของหุ่นยนต์ โดยวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดไว้ดังนี้

- ความแม่นตรงสูง
- ความแม่นยำสูง
- ความละเอียดสูง
- ความแข็งตึงสูง
- ความเฉื่อยต่ำ
- ง่ายต่อการซ่อมบำรุงและการประกอบ
- ต้นทุนการจัดสร้างและการใช้พลังงานต่ำ

ซึ่งรายละเอียดของคุณสมบัติต่างๆ จะถูกอธิบายไว้ดังนี้

3.1.1 ความแม่นตรงสูง

ความแม่นตรงของหุ่นยนต์ คือค่าที่จะบ่งบอกว่า หุ่นยนต์สามารถที่จะเคลื่อนที่ไปยังจุดเป้าหมายได้ถูกต้อง และเที่ยงตรงเพียงใด เพราะฉะนั้นการวัดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น เมื่อสั่งให้หุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นกับค่า

ความแม่นตรง ส่วนมากเกิดจากค่าตัวเลขต่างๆที่นำไปใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งถ้าหากค่าที่ใส่เข้าไปใน และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความใกล้เคียงกับค่าความจริง ก็จะยิ่งทำให้หุ่นยนต์มีความแม่นตรงที่สูง ซึ่งกระบวนการสอบเทียบ จึงเป็นหนึ่งในวิธีที่ทำให้ค่าตัวแปร และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าใกล้กับระบบจริงมากที่สุด

แต่อย่างไรก็ตาม แม้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ยังไม่ได้รวมไปถึงการสอบเทียบหุ่นยนต์ แต่ในการออกแบบก็ยังคงคำนึงส่วนนี้อยู่ เพราะฉะนั้นในการออกแบบและการจัดสร้างนั้น จะพยายามลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ให้มากที่สุด

3.1.2 ความแม่นยำสูง

สำหรับค่าความแม่นยำ คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถในการทำซ้ำของหุ่นยนต์ เพราะฉะนั้นในการวัดค่านั้น สามารถทำได้โดยการให้หุ่นยนต์ทำงานซ้ำๆ เช่น การสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ ไปกลับ ระหว่างสองจุด ซ้ำๆ เพื่อวัดหาค่าการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อน ความแม่นยำนั้น จะขึ้นอยู่กับระบบควบคุม และความไม่แน่นอนทางกล เช่น ความหลวมของเฟืองทด ความหลวมตามข้อต่อ หรือชิ้นส่วนต่างๆ แรงเสียดทาน เป็นต้น

เพราะฉะนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ จึงมีความจำเป็นต้องลดความไม่แน่นอนทางกลต่างๆ และออกแบบระบบควบคุมให้ดีที่สุด เพื่อให้ได้ค่าความแม่นยำตามที่ระบุไว้ในขอบเขตของวิทยานิพนธ์นี้

3.1.3 ความละเอียดสูง

ความละเอียดเป็นอีกหนึ่งในค่าที่มีความสำคัญสำหรับหุ่นยนต์ เพราะหากหุ่นยนต์มีความละเอียด นั้นบ่งบอกถึงหุ่นยนต์มีขอบเขตการทำงานที่สูง โดยค่าความละเอียดนี้ สามารถวัดได้จากระยะน้อยที่สุด ที่หุ่นยนต์สามารถจะขยับได้ เพื่อให้เข้าใกล้จุดเป้าหมายได้มากยิ่งขึ้น โดยค่านี้จะมีผลโดยตรงมาจากส่วนสำคัญสองส่วน คือ โครงสร้างทางกล และตัวรับรู้ ซึ่งเนื่องการในการควบคุมหุ่นยนต์ส่วนใหญ่จะเป็นการควบคุมผ่านมอเตอร์ ซึ่งเป็นการเคลื่อนในเชิงมุม เพราะฉะนั้นรูปดังต่อไปนี้ จะแสดงให้เห็นถึงผลของโครงสร้างทางกลที่มีต่อค่าความละเอียด

ถ้ากำหนดให้ L คือ ความยาวของแขนหุ่น $\Delta\theta$ คือ องศาที่คลาดเคลื่อน ΔS คือ ระยะที่คลาดเคลื่อน และ ppr คือจำนวนพลัลส์ต่อรอบ ก็จะสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\Delta S = L(\Delta\theta) = L\left(\frac{2\pi}{ppr}\right) \tag{3.1}$$

จากสมการที่ (3.1) ถ้าหากตัวรับรู้ มีค่าที่คงที่ พบว่าแขนกลหุ่นยนต์นั้น จะมีค่าองศาความคลานเคลื่อนค่าหนึ่ง หากยิ่งหุ่นยนต์มีแขนที่ยาว จะมีค่าคลาดเคลื่อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งส่งผลโดยตรงทำให้ความละเอียดของหุ่นยนต์มีค่าลดลง

เพราะฉะนั้นในการออกแบบครั้งนี้ เพื่อให้หุ่นยนต์มีค่าความละเอียดที่มากที่สุด การออกแบบจึงจำเป็นต้องลดความยาวของแขนหุ่นยนต์ให้มากที่สุด เท่าที่เป็นไปได้ และเลือกอุปกรณ์ที่เป็นตัวรับรู้ที่มีความละเอียดมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

3.1.4 ความแข็งตึงสูง

ค่าความแข็ง คือ ค่าที่บ่งบอกถึงระดับความยากง่าย ในการเปลี่ยนรูปของแขนหุ่น เพราะฉะนั้นค่าความแข็งตึงนั้น จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนของหุ่นยนต์ที่เกิดจากการเปลี่ยนรูป และรักษาความแม่นยำของหุ่นยนต์ไว้ ซึ่งค่าความแข็งตึงนั้น มาจากคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างหุ่นยนต์ รวมไปถึงขนาดและความคลาดเคลื่อนของชิ้นส่วนและการประกอบ และนอกจากนี้ โครงสร้างของหุ่นยนต์ก็ยังเป็นปัจจัยนึงที่เพิ่มความแข็งตึงให้กับหุ่นยนต์ด้วย ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{1}{k_{series}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \ldots + \frac{1}{k_i} \tag{3.2}$$

$$k_{parallel} = k_1 + k_2 + \ldots + k_i \tag{3.3}$$

โดย ถ้า k คือ ค่าความแข็งตึงของชิ้นส่วนต่างๆ เพราะฉะนั้น จากสมการที่ (3.2) และ (3.3) จะพบว่า หากหุ่นยนต์ต่อเป็นโครงสร้างขนาน จะทำให้ค่าความแข็งตึงรวมมีค่าที่เพิ่มขึ้น

3.1.5 ความเฉื่อยต่ำ

ค่าความเฉื่อยนับเป็นหนึ่งในค่าที่นำไปสู่ความยุ่งยากในการออกแบบระบบควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบที่ต้องการความเร็ว และความเร่งในการเคลื่อนที่ ซึ่งสิ่งที่ส่งผลต่อความเฉื่อยนั้น ได้แก่ น้ำหนัก รูปทรง และลักษณะการยึดจับของชิ้นส่วนต่างๆ ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ จึงมุ่งเน้นที่จะลดน้ำหนักของแขนกล และลดผลกระทบจากความเฉื่อยต่อระบบให้มากที่สุด

3.1.6 ง่ายต่อการซ่อมบำรุงและการประกอบ

จากวัตถุประสงค์ของหุ่นยนต์ที่ต้องการที่จะใช้หุ่นยนต์เพื่อเป็นต้นแบบ และเครื่องมือพื้นฐานในห้องปฏิบัติการวิจัย ดังนั้นความง่ายต่อการซ่อมบำรุงและการประกอบจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ เพื่อที่ให้ใช้อื่นสามารถที่จะใช้งาน ซ่อมบำรุง หรือปรับแต่งได้ง่าย แม้จะไม่มีผู้สร้างค่อยให้ความช่วยเหลือ และแนะนำ ซึ่งในการออกแบบหุ่นยนต์นี้ จะเน้นการออกแบบไปที่การใช้วัสดุ และอุปกรณ์ที่สามารถซื้อ หรือจัดหาได้ทั่วไปตามท้องตลาด พร้อมทั้งออกแบบให้หุ่นยนต์มีการประกอบที่ง่าย และไม่ซับซ้อน

3.1.7 ต้นทุนการจัดสร้างและการใช้พลังงานต่ำ

ในปัจจุบัน หุ่นยนต์ส่วนใหญ่ต้องใช้ต้นทุนในการสร้างที่สูง ซึ่งในบางครั้งพบว่าผู้สร้างได้ใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่แพงเกินความจำเป็น อีกทั้งหากเลือกอุปกรณ์ที่เกินความจำเป็น อาจจะส่งผลให้อุปกรณ์ใช้พลังงานสูงเกินความจำเป็น ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การเลือกวัสดุ และอุปกรณ์ให้เหมาะสม และได้ความสามารถสูงสุดจากโครงแบบของหุ่นยนต์

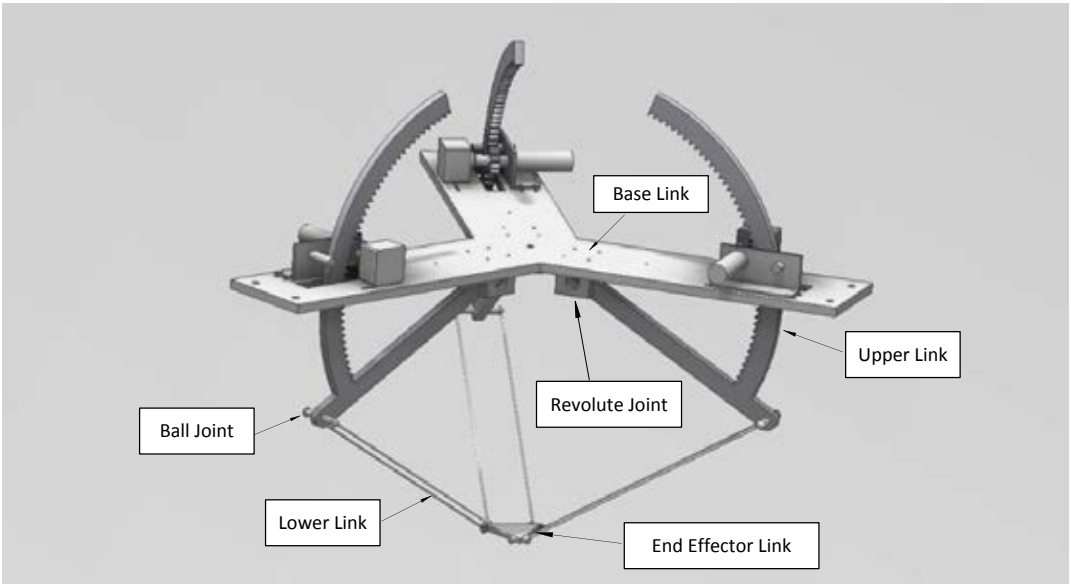
3.2 ต้นแบบหุ่นยนต์เดลต้า

ในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อให้ได้หุ่นยนต์มีความสามารถตามคุณสมบัติที่ต้องการ หุ่นยนต์เดลต้าจึงมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างทางกลของหุ่นยนต์ ซึ่งจะส่งผลต่อทั้งระบบขับเคลื่อน และระบบวัดตำแหน่ง ส่วนของระบบอิเล็คทรอนิคส์ และระบบควบคุมมีความจำเป็น

เช่นกัน ที่จะต้องได้รับการออกแบบ ดังนั้นรายละเอียดโครงสร้างทางกลของหุ่นยนต์ รวมถึงระบบทั้งหมดของหุ่นยนต์จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 โครงสร้างทางกล

จากที่ได้กล่าวไปข้างต้น หุ่นยนต์เดลต้านี้จะต้องมีความเฉื่อยที่ต่ำ ซึ่งโครงสร้างทางกลนั้นส่งผลโดยตรงต่อความเฉื่อยของระบบ เพราะฉะนั้น ในการออกแบบครั้งนี้ จึงมีการย้ายตำแหน่งการวางมอเตอร์ และเปลี่ยนลักษณะของแขนบนใหม่ ดังรูปที่ 3.1

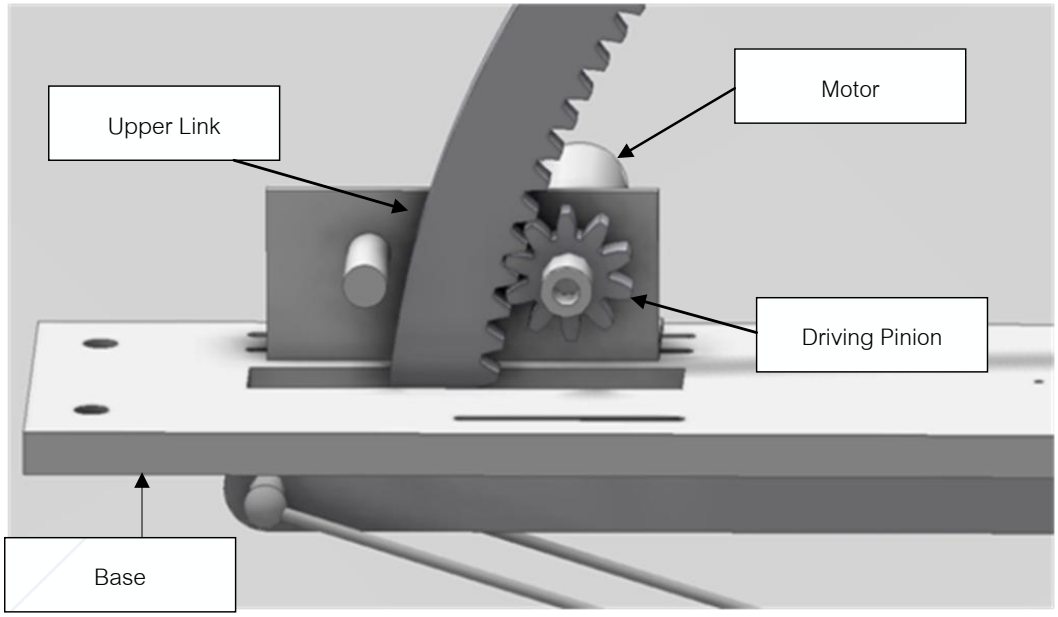


รูปที่ 3.1 โครงสร้างทางกลของหุ่นยนต์เดลต้า

ในการเปลี่ยนการรูปทรงนี้ นอกจากความเฉื่อยของระบบที่เพิ่มขึ้นแล้ว ยังพบว่าแรงโมเมนต์ของแขนบนมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงที่มอเตอร์ต้องใช้ในการขับหุ่นยนต์มีค่าลดลง ดังนั้นทำให้มอเตอร์ของหุ่นยนต์ จึงสามารถใช้ขนาดที่เล็กลงได้ แต่อย่างไรก็ตามในการเปลี่ยนแปลงครั้งนี้ ไม่ได้ส่งผลให้โครงสร้างของหุ่นยนต์เปลี่ยน เพราะฉะนั้นหุ่นยนต์จะยังคงประกอบไปด้วยมอเตอร์สามตัว ส่วนแขนจะมีทั้งหมดสี่ชนิด คือ ฐาน แขนบน แขนล่าง และปลายแขน ส่วนข้อต่อจะมีทั้งหมดสองชนิด คือ ข้อต่อแบบหมุน และข้อต่อทรงกลม ดังนั้นในหุ่นยนต์ตัวนี้จะประกอบไปด้วยแขนทั้งหมด 11 แขน ข้อต่อทรงกลม 12 ข้อ และข้อต่อแบบหมุน 3 ข้อ เช่นเดิม

3.2.2 ระบบขับเคลื่อน

เนื่องจากหุ่นยนต์เดลต้าจะเป็นหุ่นยนต์ที่มีความสมมาตร ดังนั้น จึงทำให้ระบบขับเคลื่อนทั้งสามชุดนั้น จำเป็นตอนมีความเหมือนกันทั้งสามชุด ส่วนการออกแบบนั้นต้องการให้หุ่นยนต์มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด ดังนั้นทำให้วิทยานิพนธ์นี้ เลือกใช้มอเตอร์ที่มีขนาดเล็ก โดยมอเตอร์ที่เลือกใช้คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบแม่เหล็กถาวร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ต้องการแรงดันไฟ 12 โวลต์ และให้กำลัง 6 วัตต์ โดยลักษณะของระบบขับเคลื่อนจะเป็นดังรูปที่ 3.2

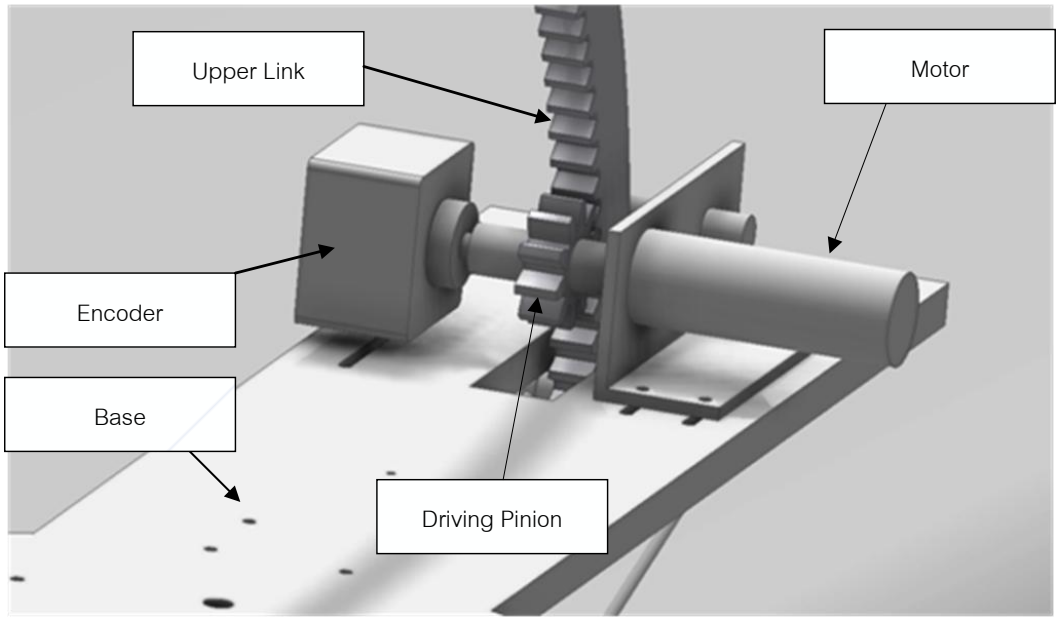


รูปที่ 3.2 ระบบขับเคลื่อน

3.2.3 ระบบวัดตำแหน่ง

เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ค่าความแม่นยำได้ตามที่ต้องการ ระบบวัดตำแหน่งนับเป็นปัจจัยหลัก และสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อค่าความแม่นยำ ฉะนั้นในการเลือกระบบวัดตำแหน่งจึงเป็นอย่างยิ่งที่จะเลือกให้ระบบมีความสามารถเพียงพอสำหรับความแม่นยำตามที่ต้องการ หรือ 0.5 มิลลิเมตรเป็นอย่างน้อย ในวิทยานิพนธ์นี้ จึงเลือกใช้ใช้ตัววัดระยะที่มีความละเอียด 2500 พลัลส์ต่อรอบ ซึ่งจากการคำนวณ พบว่าความละเอียดของตัววัดตำแหน่งนี้ เพียงพอต่อการวัดความแม่นยำที่ 0.5 มิลลิเมตร ซึ่ง

การติดตั้งที่วัดได้มีความแม่นยำมากที่สุด ส่วนตำแหน่งของการติดตั้งของตัววัดตำแหน่งนั้น จะเลือกติดตั้งโดยใช้แกนเพลาร่วมกับมอเตอร์ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งในการยึดจับตัววัดระยะนั้นก็มีความสำคัญ และส่งผลต่อความแม่นยำเช่นกัน ฉะนั้นการยึดจับจึงจะยึดไม่ให้ตัววัดระยะมีการหมุนตามในแนวแกนเพลา แต่จะสามารถยอมให้ตัววัดระยะสามารถขยับได้ในแนวอื่นได้ระดับหนึ่ง เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากความไม่พอดีของการต่อแกนเพลาของมอเตอร์ ตัววัดระยะ หรือแกนเพลา

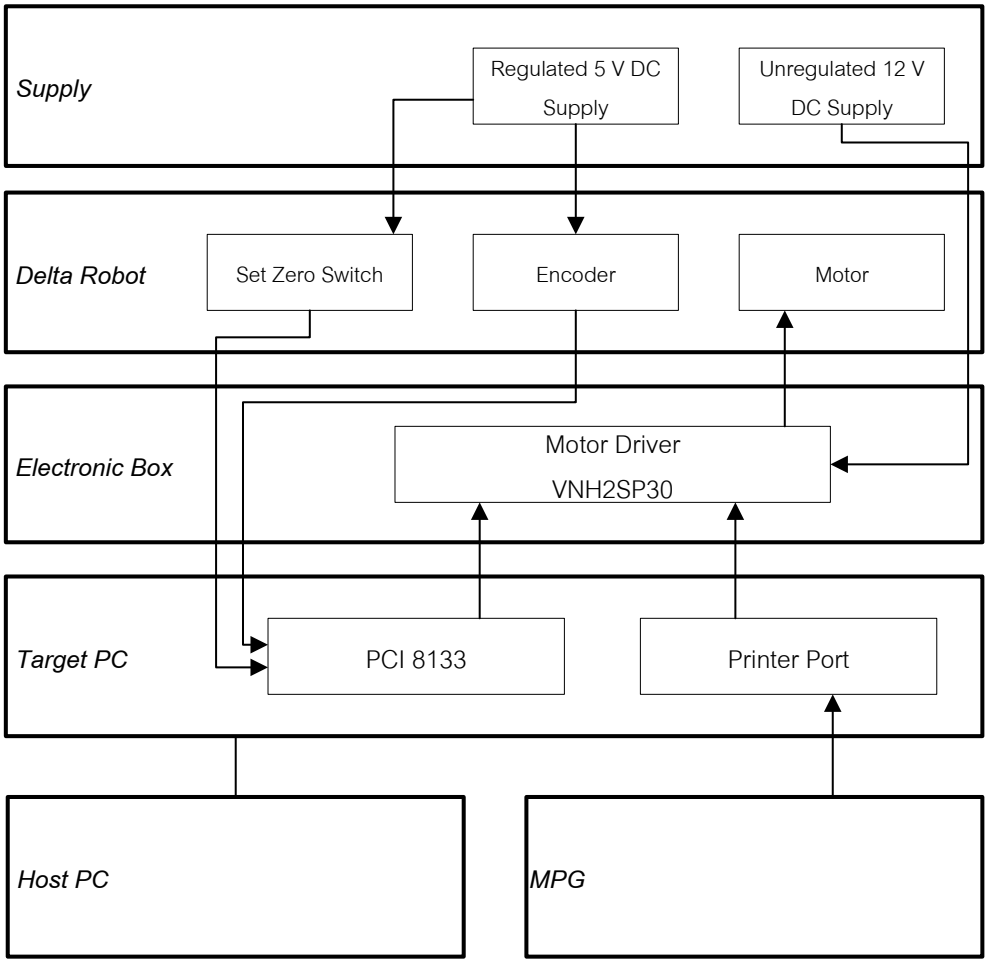


รูปที่ 3.3 ระบบวัดตำแหน่ง

3.2.4 ระบบอิเล็คทรอนิคส์และระบบจ่ายพลังงาน

ในส่วนของระบบอิเล็คทรอนิคส์จะมีเป้าหมายหลักคือ การออกแบบให้ระบบไฟฟ้าและอิเล็คทรอนิคส์ของหุ่นยนต์มีความเล็ก กะทัดรัดมากที่สุด เพราะฉะนั้นหุ่นยนต์ตัวนี้ จึงมีการใช้ช่องทางที่มีอยู่ให้คุ้มค่ามากที่สุด โดยหุ่นยนต์จะใช้ช่องทางทั้งหมด 2 ทาง คือ หนึ่งทาง PCI-8133 ซึ่งจะถูกใช้เป็นช่องทางในการรับสัญญาณตำแหน่งของตัววัดระยะ และจะใช้ในการควบคุมความกว้างของสัญญาณลูกคลื่น ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วการหมุนของมอเตอร์ ส่วนอีกช่องทาง คือ ช่องทางเครื่องพิมพ์ ซึ่งช่องทางนี้จะถูกนำมาใช้ในการรับสัญญาณตำแหน่งจากเครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือ และใช้ใน

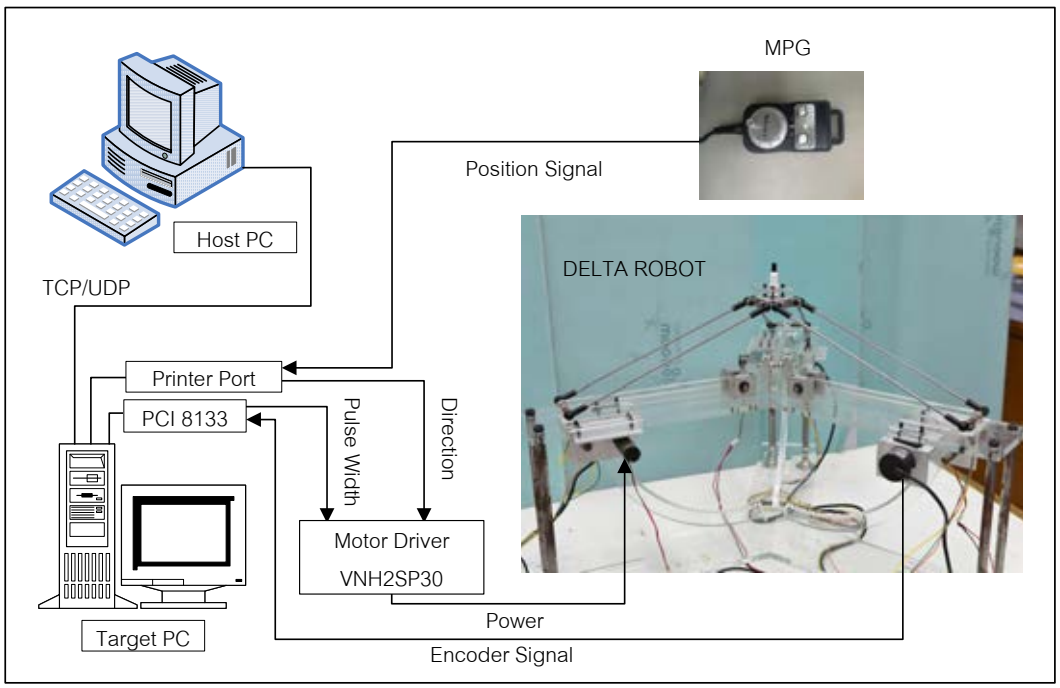
การส่งสัญญาณควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ นอกจากนี้ในระบบการจ่ายไฟในหุ่นยนต์ตัวนี้ ระบบจะถูกออกให้แยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนกำลังกับส่วนอิเล็คทรอนิคส์ เนื่องจากทั้งสองส่วนต้องการกำลังไฟที่ต่าง อีกทั้งเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากส่วนกำลัง ที่จะกระทบต่อสัญญาณจากตัววัดระยะ ดังนั้นในการออกแบบจึงทำให้ต้องสองส่วนนี้จะแยกออกจากกันโดยสิ้นเชิง โดยให้ส่วนกำลังจะรับไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 12 โวลต์ แบบไม่ควบคุม และส่วนอิเล็คทรอนิคส์จะรับไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 5 โวลต์ แบบควบคุม ซึ่งอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ต่างๆ จะถูกรวมไว้ที่เดียวในกล่องอิเล็คทรอนิคส์ เพื่อให้หุ่นยนต์มีความกะทัดรัด และง่ายต่อการเคลื่อนย้าย รวมถึงป้องกันผิดพลาดจากการต่อสายไฟใหม่อีกด้วย ซึ่งระบบอิเล็คทรอนิคส์ และระบบจ่ายไฟ จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนผังระบบอิเล็คทรอนิคส์ของหุ่นยนต์เดลต้า

3.2.5 ระบบควบคุม

สำหรับในหุ่นยนต์เดลต้านี้ ระบบควบคุมจะต้องสามารถที่จะทำงานรองรับความถี่ได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลเฮิร์ต ซึ่งปัจจัยหลักของความเร็วของระบบควบคุม จะมาจากสองส่วน คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ และส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งจากปัจจุบัน เนื่องด้วยเทคโนโลยี ที่ก้าวไปไกลมาก ทำให้พบว่า เครื่องคอมพิวเตอร์นั้น สามารถที่จะประมวลผลสัญญาณได้ที่ความถี่เกิน 1 กิโลเฮิร์ต ดังนั้นการเลือกส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์จึงเป็นส่วนสำคัญที่จะต้องออกแบบ หรือเลือกใช้อุปกรณ์ที่สามารถรองรับการทำงานได้ที่ความถี่มากกว่า 1 กิโลเฮิร์ต ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ จะเลือกใช้ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ VNH2SP30 ซึ่งจะรับสัญญาณสั่งการจากคอมพิวเตอร์ เป็นสัญญาณพลัสวิดท์ และรองรับการทำงานที่ความถี่สูงสุด 20 กิโลเฮิร์ต ซึ่งยิ่งระบบมีความเร็วในการควบคุมมาก หุ่นยนต์จะสามารถตอบสนองได้ไวมากขึ้น ทำให้ความรู้ตอบสนองต่อผู้ใช้ดีขึ้น และไวขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นหุ่นยนต์เดลต้าตัวนี้ จึงถูกออกแบบให้ทำงานได้ที่ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ต ซึ่งแผนผังการทำงานและรับส่งสัญญาณต่างๆจะเป็นไปตามรูปที่ 3.5

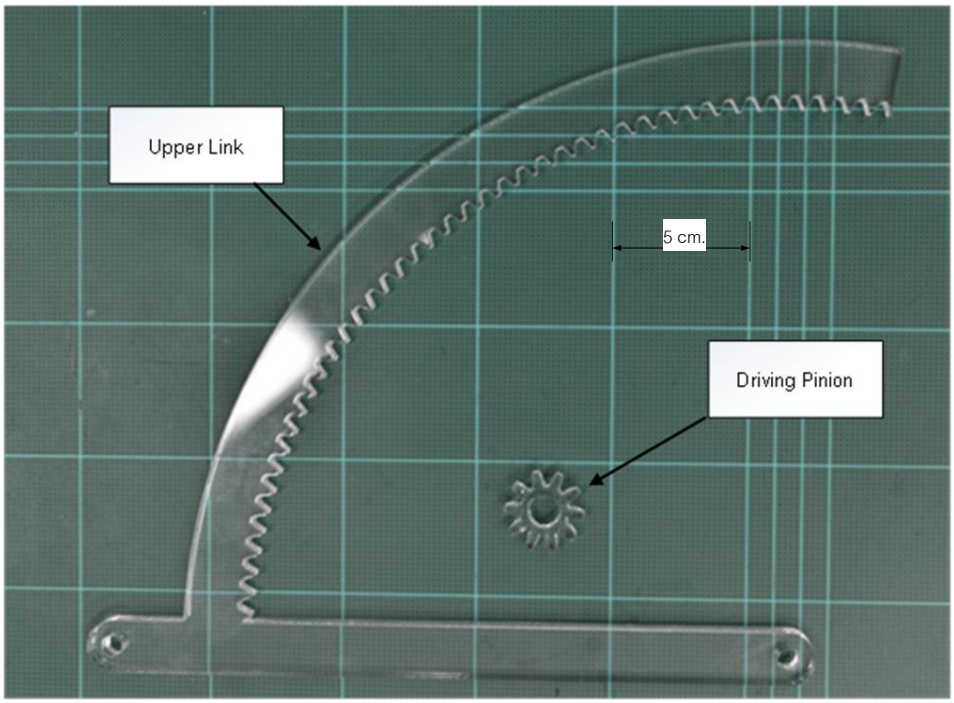


รูปที่ 3.5 แผนผังระบบควบคุมของหุ่นยนต์เดลต้า

3.3 รายละเอียดการจัดสร้าง

3.3.1 การเลือกวัสดุชิ้นส่วนและกระบวนการผลิต

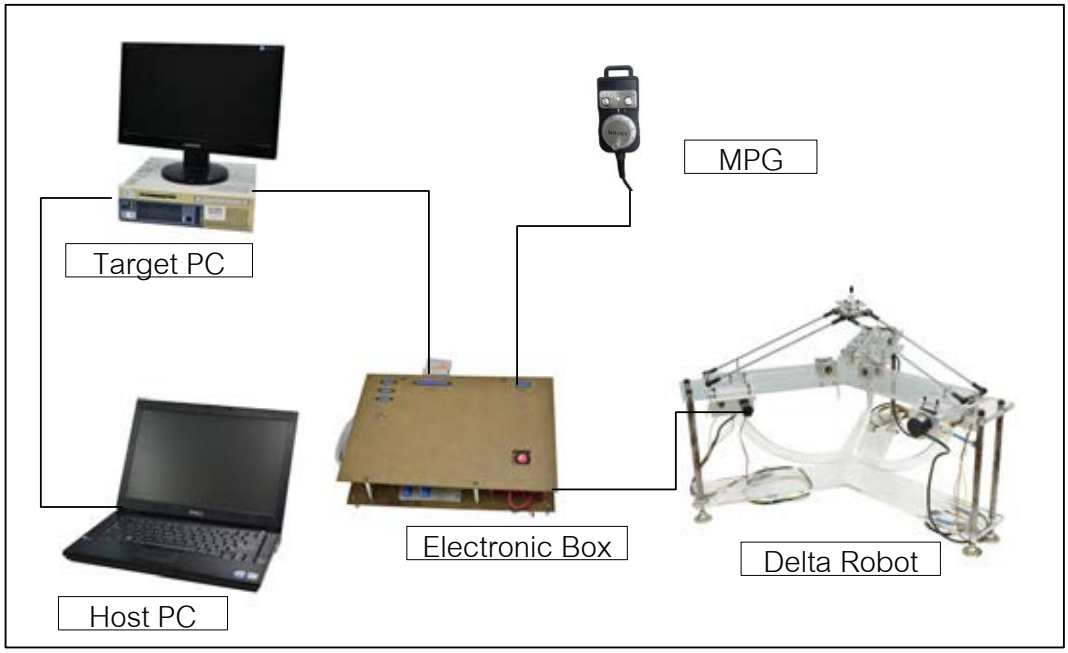
ในการเลือกวัสดุและกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนต่างๆ จะสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนสำคัญ คือ ชิ้นส่วนที่ทั่วไป ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านี้ จะเป็นชิ้นส่วนที่ไม่ต้องการความแม่นยำเป็นพิเศษ ไม่ได้มีโครงสร้างและลักษณะพิเศษ เป็นชิ้นส่วนที่สามารถหาได้ทั่วไปตามท้องตลาด หรือเป็นชิ้นส่วนมาตราฐาน ชิ้นส่วนเหล่านี้ ได้แก่ ส่วนแขนล่าง ลูกปืน สกรูต่างๆ หรือแม้กระทั่งข้อต่อต่างๆ เป็นต้น ส่วนชิ้นส่วนอีกแบบคือ ชิ้นส่วนที่ต้องการความแม่นยำเป็นพิเศษ หรือชิ้นที่มีโครงสร้างพิเศษ ไม่สามารถหาได้ตามท้องตลาด ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านี้ จะเป็นชิ้นส่วนที่ทำมาจากอะคริลิคใส โดยผ่านกระบวนการตัดด้วยเลเซอร์ โดยชิ้นส่วนเหล่านี้ ได้แก่ ส่วนฐาน แขนบน และเฟืองขับ โดยชิ้นส่วนเหล่านี้จะเป็นดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ชิ้นส่วนที่ผ่านการตัดด้วยเลเซอร์

3.3.2 ชิ้นส่วนจริง และงานประกอบ

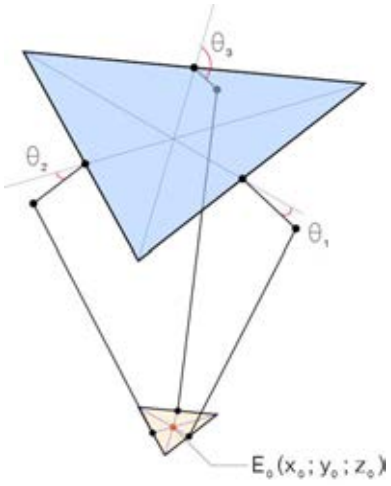
หลังจากที่ออกแบบ และจัดสร้างชิ้นส่วนทั้งหมดจนครบ เมื่อประกอบหุ่นยนต์แล้วจะพบว่าหุ่นยนต์เดลต้าที่ออกแบบไว้จะมีความกะทัดรัด ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 หุ่นยนต์เดลต้าทั้งระบบ

บทที่ 4
กลศาสตร์ของหุ่นยนต์เดลต้า

ในการควบคุมการเคลื่อนที่ปลายแขนของหุ่นยนต์ จำเป็นต้องอาศัยความของกลศาสตร์ของหุ่นยนต์ ซึ่งจะเป็นความรู้ที่เกี่ยวกับสมการทางคณิตศาสตร์ เนื่องด้วยหุ่นยนต์เดลต้ามีกลศาสตร์ที่ซับซ้อน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายคนพยายามเสนอวิธีต่างๆ [23, 24, 25, 26, 27] ในวิทยานิพันธ์นี้ จะนำเอาวิธีการหาจากหลักเรขาคณิตของหุ่นยนต์ ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมและใช้ควบคุมหุ่นยนต์ได้ดี มาใช้ในการแก้ไขหาค่ามุมของแขนบนของหุ่น กับตำแหน่งปลายแขน ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะสามารถแก้ได้จาก จลศาสตร์ไปข้างหน้า และจลศาสตร์ผกผัน ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทนี้ และนอกจากนั้นในบทนี้ ยังจะกล่าวถึงข้อมูลของแขนกลหุ่นยนต์ และปริมาตรการทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งรายละเอียดจะถูกอธิบายไว้ ดังนี้

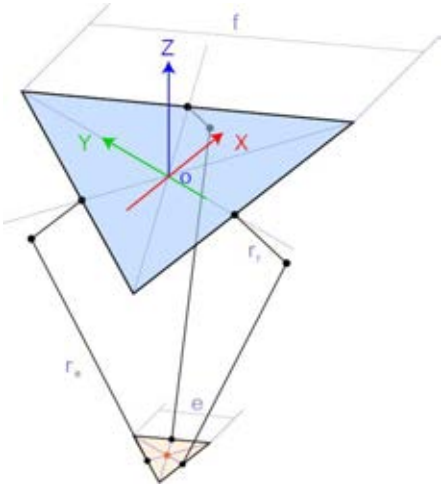


รูปที่ 4.1 หุ่นยนต์เดลต้าพร้อมตัวแปรที่ต้องการแก้สมการ

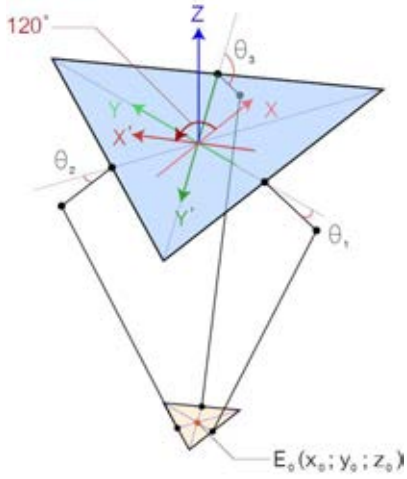
4.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องและแกนอ้างอิง

ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ การกำหนดเป็นสิ่งสำคัญที่ควรจะเริ่มทำเป็นสิ่งแรก โดยจากรูปที่ 4.1 จะได้ว่า มุมระหว่างแขนบนกับฐานเป็น θ และให้มีตำแหน่งที่จุดปลายเป็น $E_o(x_0, y_0, z_0)$ และจากนั้นกำหนดแกนอ้างอิงที่จุดกึ่งกลางของส่วนฐาน ณ จุด O โดยกำหนดให้แกน z ชี้ขึ้น และ ให้แกน y ชี้ตั้งฉากกับมอเตอร์ตัวที่หนึ่ง นอกจากนี้กำหนดให้ตัวแปรของระยะและข้อต่อต่างๆ โดยให้ด้านของสามเหลี่ยมที่ลากผ่านกลางเพลาของมอเตอร์ คือ f และใน

ทำนองเดียวกันกับที่ปลายแขน กำหนดให้เป็น e จากนั้นกำหนดให้ความยาวของแขนบน และแขนล่าง เป็น r_f และ r_e ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตัวแปรต่างๆบนแขนหุ่นยนต์เดลต้า



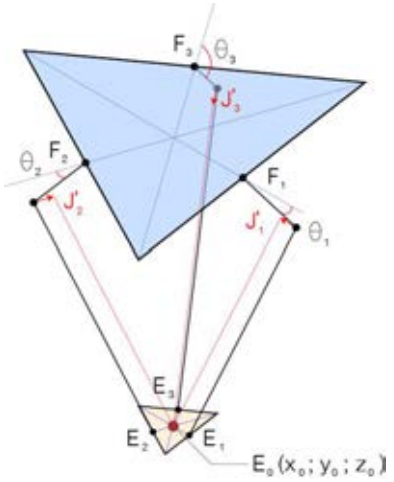
รูปที่ 4.3 การหมุนแกนของหุ่นยนต์เดลต้า

เนื่องด้วยแขนทั้งสามของหุ่นยนต์เดลต้ามีความสมมาตรซึ่งกันและกัน จึงสามารถที่แยกคิดขาแต่ละข้างแยกกันได้อิสระจากกัน และสามารถแกนทั้งสามมาแปลงให้เป็นแกนเดียวกัน โดยอาศัยหลักการของเมทริกซ์การหมุน โดยถ้ากำหนดให้ i เป็นหมายเลขของขา เพราะฉะนั้น i จึงเท่ากับ 1, 2 และ 3 และถ้ากำหนดให้มุมระหว่างแขนแต่ละข้างเป็น α_i ดังนั้น จะได้ว่า α_1 เท่ากับ

0 องศา α_2 เท่ากับ 120 องศา และ α_3 เท่ากับ 240 องศา ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3 และสามารถเขียนเมทริกซ์การหมุน ได้ดังสมการที่ (4.1)

$$R_i = \begin{bmatrix} \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i & 0 \\ \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{4.1}$$

4.2 จลศาสตร์ไปข้างหน้า

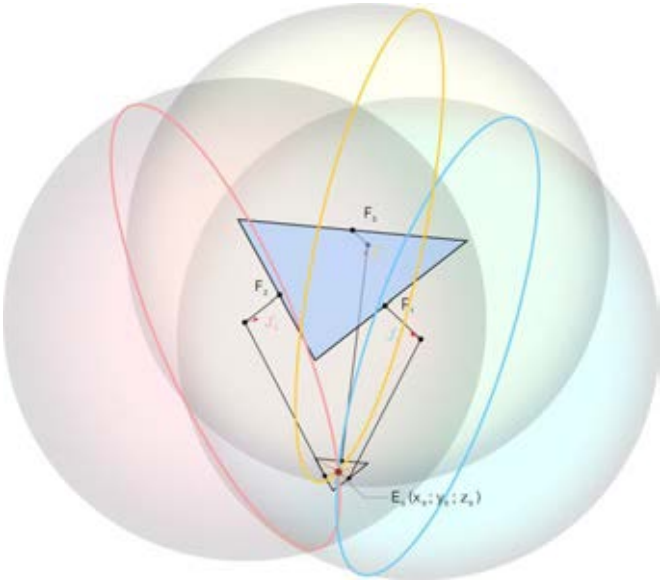


รูปที่ 4.4 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางทรงกลม

สำหรับหุ่นยนต์เดลต้านี้ สมการจลศาสตร์ไปข้างหน้านี้ จะมีเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่จะทำการคำนวณจากค่าองศาที่แขนบน ให้กลายเป็นตำแหน่งของปลายแขน โดยการคำนวณนี้มาจากการทับซ้อนกันของทรงกลมสามวง ซึ่งหากพิจารณาจากรูปทรงของหุ่นยนต์ จะได้ว่า หากให้จุดศูนย์กลางของทรงกลมต่างๆ อยู่ที่จุด J จะได้ว่า รัศมีของทรงกลมแต่ละอันจะเป็นความยาวของแขนล่าง จากนั้นให้ทำการเลื่อนจุดศูนย์กลางจาก J มาเป็น J' ดังรูปที่ 4.4

ซึ่งจุด J' สามารถหาได้จากการสร้างเวกเตอร์ที่ลากจากจุดศูนย์กลางฐานไปจนถึงแกนกลางของมอเตอร์ เวกเตอร์จากจุดศูนย์กลางปลายแขนถึงจุดกึ่งกลางด้านของปลาย และเวกเตอร์จากจุดกึ่งกลางมอเตอร์ไปถึงข้อต่อระหว่างแขนบนกับแขนล่าง ซึ่งเมื่อทราบค่าพิกัดของจุด J' จากเวกเตอร์ทั้งสามแล้ว ก็สามารถนำค่าทั้งหมดลงมาแทนลงในสมการทรงกลม

$(x-x_{J'})^2+(y-y_{J'})^2+(z-z_{J'})^2=r_e^2$ โดยจากจุดตัดของทรงกลมทั้งสาม ก็คือ ค่าตำแหน่งของจุดปลายแขน ดังรูปที่ 4.5



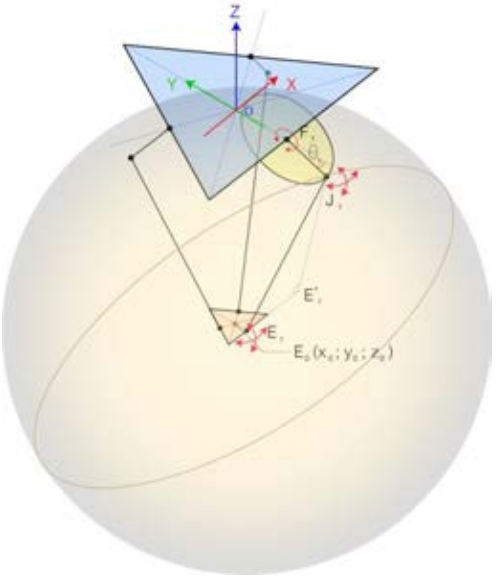
รูปที่ 4.5 การหาจุดปลายแขนจากจุดตัดทรงกลมทั้งสาม

4.3 จลศาสตร์ผกผัน

ในทางกลับกันการทำงานของสมการจลศาสตร์ผกผันจะตรงกันข้ามกับสมการจลศาสตร์ไปข้างหน้า โดยสมการจลศาสตร์ผกผันจะมีหน้าที่แปลงค่าตำแหน่งของปลายแขนให้หลายเป็นองศาของแขนบน ซึ่งส่วนการคำนวณนี้ จะเป็นส่วนที่สำคัญที่จะใช้นำคือ เมื่อหุ่นยนต์ได้รับคำสั่งหรือพิกัดของจุดเป้าหมายแล้ว จะนำไปแปลงด้วยจลศาสตร์ผกผัน แล้วคืนค่ากลับมาเป็นองศาของแขนกลหุ่นยนต์ เพื่อที่จะใช้นำไปสั่งการหุ่นยนต์ต่อไป

ในทำนองเดียวกันกับการหาจลศาสตร์ไปข้างหน้าจากจุดปลายที่ได้ ให้ทำการเลื่อนจุดปลายไปอยู่ที่ด้านของปลายแขน โดยเรียกจุดใหม่นี้ ว่า E' และจากจุดใหม่นี้ จะทำให้สามารถสร้างทรงกลมรอบจุดนี้ ที่มีรัศมีเท่ากับความยาวของแขนล่าง และในทำนองเดียวกัน หากสร้างวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางเป็นจุดที่ผ่านของแกนเพลาของมอเตอร์บนส่วนฐาน และมีรัศมีเท่ากับความยาวของแขนบน ก็จะพบว่า วงกลมและทรงกลมจะตัดกันที่จุดข้อต่อระหว่างแขนบนกับแขน

ล่าง และด้วยความสัมพันธ์ จึงทำให้หากนำมาเขียนเป็นสมการ ก็จะสามารถแก้หาค่าองศาของแขนบนกับฐานได้ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ในการหาจลศาสตร์ผกผัน

4.4 ข้อมูลของแขนหุ่นยนต์

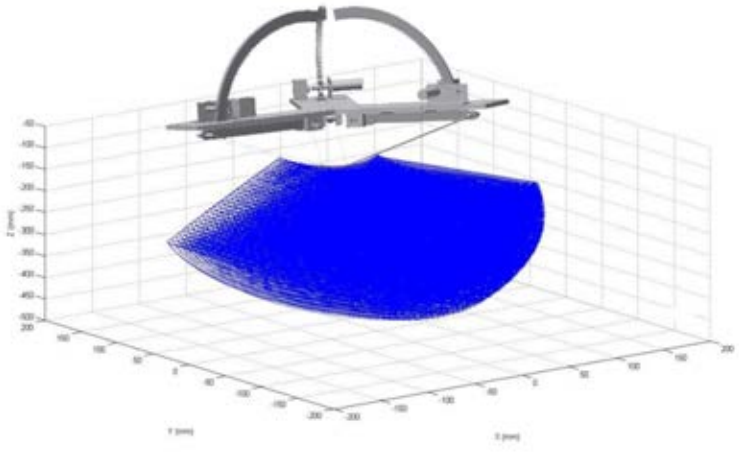
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจำเพาะของแขนหุ่นยนต์

Link	Weight (g)	Length (mm)
Base	N/A	198.34
Upper	120	250
Lower	30	300
End Effector	40	75

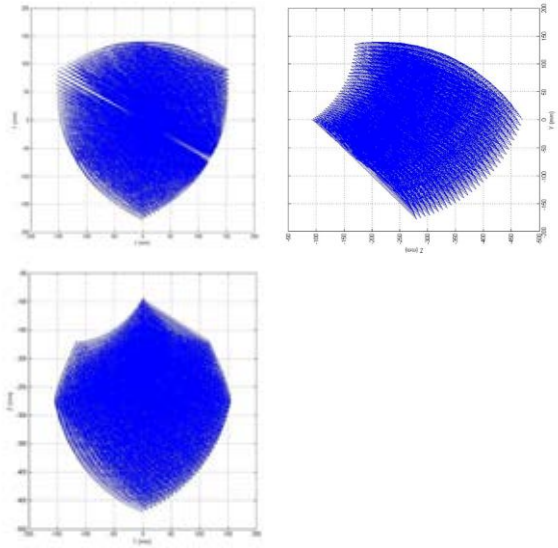
จากที่กล่าวไว้ในส่วนโครงสร้างทางกล หุ่นยนต์จะประกอบไปด้วยแขนทั้งหมด 4 ชนิด นั้นคือ ฐาน แขนบน แขนล่าง และปลายแขน ซึ่งในส่วนนี้จะเน้นไปที่เรื่องความยาวและน้ำหนัก ซึ่งทั้งสองเป็นค่าที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ ในส่วนความยาวสำหรับส่วนฐานกับปลายแขนจะวัดจากความยาวของด้าน และในเรื่องของน้ำหนัก เนื่องจากส่วนฐานเป็นส่วนที่อยู่กับที่จึงทำให้น้ำหนักของส่วนฐาน ไม่มีผลต่อหุ่นยนต์ในแง่ของประสิทธิภาพ จึงทำให้ละทิ้งในน้ำหนักของ

ส่วนฐานไป ดังนั้นค่าความยาวและน้ำหนักของแขนหุ่นยนต์ทั้งหมดจะถูกแสดงในตารางที่ 4.1 เพราะฉะนั้น จากค่าต่างๆของหุ่นยนต์ ทำให้หุ่นยนต์ต้องการที่ว่างในการติดตั้งทั้งหมดขนาด 650x650x800 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

4.5 ปริมาตรการทำงาน



a) ปริมาตรการทำงานภาพรวม



b) ปริมาตรการทำงานภาพย่อย

รูปที่ 4.7 ปริมาตรการทำงานของหุ่นยนต์

หลังจากที่ทราบจลศาสตร์ผกผัน และข้อมูลของแขนหุ่นยนต์แล้ว ทำให้สามารถที่จะคำนวณขนาดปริมาตรการทำงานของหุ่นยนต์ได้ โดยผ่านโปรแกรม และจากการคำนวณ จะได้ว่าหุ่นยนต์ไม่ได้ผ่านจุดเอกฐาน ส่วนระดับความสูงของปริมาตรการทำงาน จะถูกจำกัดด้วยฐานของตัวหุ่นยนต์เอง เนื่องด้วยแขนกลของหุ่นยนต์ที่ออกแบบไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่ผ่านฐานของหุ่นยนต์ไปได้ เพราะฉะนั้นลักษณะของปริมาตรการทำงานของหุ่นยนต์จะเป็นดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจากรูปนั้น จะสรุปได้ว่า ขนาดปริมาตรการทำงานของหุ่นยนต์จะอยู่ภายในกรอบทรงลูกบาศก์ขนาด 300x350x375 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

บทที่ 5
ส่วนการควบคุม

หลังจากผ่านการออกแบบไม่ว่าจะทั้งทางกล และทางอิเล็คทรอนิคส์ สิ่งสำคัญต่อไปที่จำเป็นต้องออกแบบคือ การควบคุมหุ่นยนต์ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นในการออกแบบระบบควบคุม จึงต้องเริ่มจากข้อกำหนดพื้นฐาน จากนั้นจึงนำไปสู่การเลือกระบบที่ใช้ควบคุม และรวมไปถึงการแสดงผลต่างๆของระบบควบคุม ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดจะถูกกล่าวไว้ในต่อไปนี้

5.1 ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

5.1.1 ข้อกำหนดของการควบคุม

ในการควบคุมหุ่นยนต์ เราจะทำการปรับแต่งให้สามารถบังคับหุ่นยนต์ ตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- หุ่นยนต์มีความแม่นยำของตำแหน่ง
- หุ่นยนต์เคลื่อนได้ราบเรียบ ไม่สั่นไหว
- หุ่นยนต์มีความเสถียรภาพในการเคลื่อนที่
- หุ่นยนต์ไม่มีโอเวอร์ชูต

5.1.1.1 ความแม่นยำของตำแหน่ง

ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ หรือจะมอบหมายให้หุ่นยนต์ทำงานชิ้นหนึ่ง หุ่นยนต์มีความจำเป็นอย่างมากที่จะสามารถทำงานที่ได้รัมอบหมายให้มีความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งในถูกต้องนี้จะต้องแม่นยำ ทั้งในขณะที่เคลื่อนที่ หรือในขณะที่หยุดนิ่ง ซึ่งความผิดพลาดของหุ่นยนต์อาจจะมาจากได้หลายสาเหตุ เช่น แรงภายนอก แรงเสียดทาน แรงโน้มถ่วง ฯลฯ ทั้งนี้ค่าความผิดพลาดเหล่านี้สามารถปรับแก้ได้ระดับจากปรับแต่งระบบควบคุม ได้แก่ ส่วนควบคุมอินทิกรัล

5.1.1.2 การเคลื่อนที่แบบราบเรียบ ไม่สั่นไหว

ในการทำงานของหุ่นยนต์ ที่ปลายแขนอาจจะใช้ติดตั้งอุปกรณ์บางอย่าง เพื่อใช้ในการทำงานบางอย่าง ฉะนั้น ในการการทำงาน หุ่นยนต์จึงมีความต้องการเคลื่อนที่ราบเรียบ ไม่สั่นไหว เพื่อที่จะทำให้ปฏิบัติงานได้อย่างราบเรียบ ซึ่งสามารถปรับแต่งได้ จากการส่วนควบคุม เพื่อช่วยให้ระบบมีการเคลื่อนที่ที่ราบเรียบได้

5.1.1.3 ความเสถียรภาพ

โดยปกติแล้ว การที่หุ่นยนต์มีความผิดปกติและเคลื่อนไหวไปนอกเหนือการควบคุม โดยความผิดปกตินี้ สามารถที่จะสร้างความเสียหาย ได้ทั้งส่วนตัวของหุ่นยนต์เอง และความเสียหายต่อสิ่งรอบข้างได้ เพราะฉะนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายเหล่านี้ หุ่นยนต์มีความจำเป็นที่จะต้องมีความเสถียรภาพ

5.1.1.4 ไม่มีโอเวอร์ชูต

หุ่นยนต์ทุกตัวจะมีข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ คือการที่หุ่นยนต์ทำงานเกินเป้าหมายที่ต้องการ หรือโอเวอร์ชูตนั้น อาจจะส่งผลให้เกิดความเสียต่อระบบได้ เพราะฉะนั้น ในการปรับตั้งระบบควบคุมหุ่นยนต์ จึงมีความเป็นที่จะปรับตั้งให้หุ่นยนต์มีค่าโอเวอร์ชูตให้น้อยที่สุด

5.1.2 แผนผังการควมคุมแบบพีไอดี

ระบบการควมคุมพีไอดีเป็นหนึ่งในระบบการควมคุมพื้นฐานระบบหนึ่ง โดยแม้ว่าระบบนี้ จะเป็นระบบพื้นฐาน แต่ในวงการอุตสาหกรรม หรือหุ่นยนต์ที่มีความซับซ้อน พบว่าระบบนี้ยังถูกนำไปใช้ในการควบคุม และยังสามารถที่จะใช้ในการควบคุมได้อย่างดีและมีประสิทธิภาพ โดยเริ่มต้นจากแบบจำลองทางพลศาสตร์ เนื่องจากหุ่นยนต์ตัวนี้ ใช้ตัวขับเคลื่อนหลักเป็นมอเตอร์ จึงสามารถสรุปจากรูปทั่วของแบบจำลองทางพลศาสตร์ได้ดังนี้

$$\tau = D(q)\ddot{q} + h(q,\dot{q}) + c(q) + F_v\dot{q} + F_s\,\mathrm{sgn}(\dot{q}) \qquad (5.1)$$

โดย τ คือ แรงบิดหรือแรง (นิวตันเมตร)

$D(q)$ คือ พจน์ของความเฉื่อย

$h(q,\dot{q})$ คือ พจน์ของแรงหนีศูนย์กลางและแรงคอริออลิส

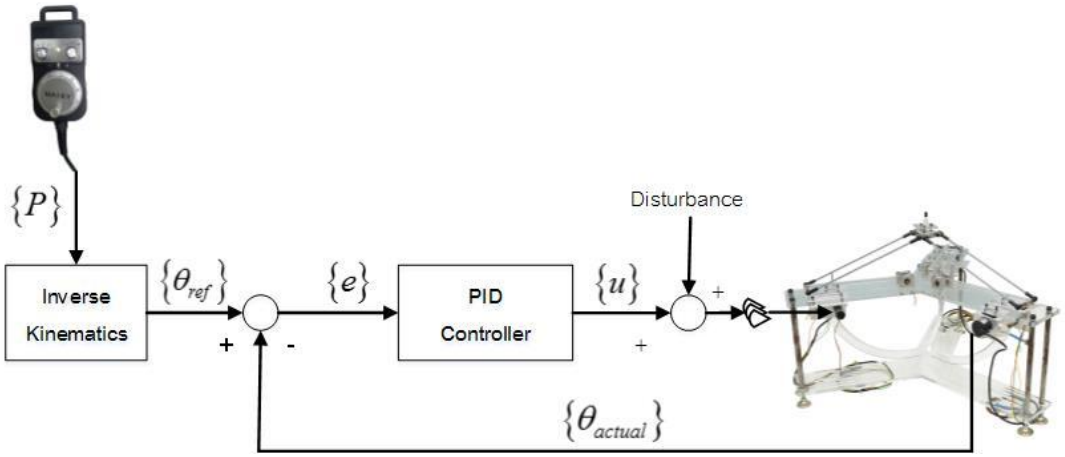
$c(q)$ คือ พจน์ของแรงโน้มถ่วง

$f(\dot{q})$ คือ พจน์ของแรงเสียดทาน

F_v คือ สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานจากความหนืด

F_s คือ สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานสถิต

q คือ สัญญาณจริง



รูปที่ 5.1 แผนผังการควบคุมแบบพีไอดี

จากสมการที่ 5.1 ในแบบจำลองนั้นมีพจน์ของความไม่เชิงเส้นต่างๆ เช่น แรงเสียดทาน ความเฉื่อย แรงโน้มถ่วง แรงหนีศูนย์กลาง และแรงคอริออลิส เป็นต้น ซึ่งความไม่เชิงเส้นเหล่านี้สามารถที่จะลด หรือจำกัดผลกระทบได้ โดยการออกแบบและจัดสร้างทางกล และสามารถที่จะลดได้อีกด้วยการใช้ระบบควบคุมแบบชดเชยไปข้างหน้า ในหุ่นยนต์ตัวนี้ จะแยกระบบควบคุมแยกแต่ละแกนออกจากกัน โดยควบคุมโดย

คอมพิวเตอร์ ส่วนโปรแกรมควบคุมจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง โดยมีอัตราการชักตัวอย่าง 1 กิโลเฮิร์ต ซึ่งเป็นความเร็วที่เพียงพอที่จะทำให้ระบบมีความเสถียร

จากรูปที่ 5.1 เป็นแผนการควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งสามารถที่จะใช้ได้ในระบบต่อเนื่องและระบบไม่ต่อเนื่อง โดย P คือ ตำแหน่งที่สั่งมาจากเครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือ θ_{ref} และ θ_{actual} คือ ตำแหน่งขององศาที่ต้องการ กับองศาจริง เพราะฉะนั้น e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเปรียบเทียบค่าองศาจริงกับองศาที่ต้องการ และ u คือ แรงดันไฟฟ้าที่จะคำนวณจากค่าความคลาดเคลื่อน แล้วส่งไปยังตัวขยายสัญญาณ เพื่อใช้ขับมอเตอร์ต่อไป ส่วนสิ่งรบกวนอาจจะมาได้จากหลายแหล่ง เช่น แรงเสียดทาน แรงโน้มถ่วง แรงภายนอกอื่นๆ หรือแม้กระทั่งสัญญาณรบกวน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ในระบบการควบคุมแบบพีไอดี ส่วนของอินทิกรัลนั้น จะช่วยจำกัดให้ผลของสิ่งรบกวนเหล่านี้ให้น้อยลง โดยจากแผนภูมินี้จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

ระบบเวลาต่อเนื่อง $$u(s)=\left(K_P+\frac{K_I}{s}+K_D s\right)e(s) \qquad (5.2)$$

ระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง $$u(k)=u_P(k)+u_I(k)+u_D(k) \qquad (5.3)$$

ตัวควบคุมแบบสัดส่วน $$u_P(k)=K_P e(k) \qquad (5.4)$$

ตัวควบคุมอินทิกรัล $$u_I(k)=u(k-1)+K_I T e(k) \qquad (5.5)$$

ตัวควบคุมอนุพันธ์ $$u_D(k)=\frac{K_D}{T}\left[e(k)-e(k-1)\right] \qquad (5.6)$$

โดย u คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่คำนวณแล้ว

e คือ ค่าความเคลื่อน หรือก็ คือ $e(k)=q_{ref}(k)-q(k-1)$

K_P คือ อัตราขยายของระบบควบคุมแบบสัดส่วน

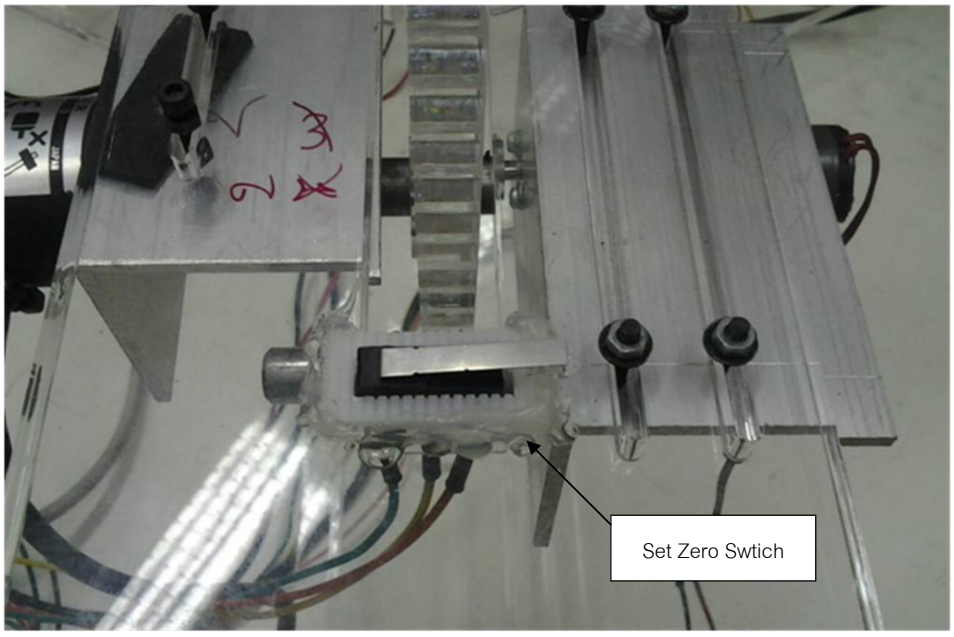
K_I คือ อัตราขยายของระบบควบคุมแบบอินทิกรัล

K_D คือ อัตราขยายของระบบควบคุมแบบอนุพันธ์

T คือ เวลาการชักตัวอย่าง (วินาที)

5.2 ตำแหน่งตั้งต้นและการตั้งศูนย์ของหุ่นยนต์

ในการทำงานแต่ละครั้งของหุ่นยนต์ จำเป็นต้องมีการหาตำแหน่งตั้งต้นและการตั้งศูนย์ของหุ่นยนต์ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำได้งานอย่างถูกต้อง และแม่นยำเท่าเดิมทุกครั้ง โดยในหุ่นยนต์เดลต้าตัวนี้ จะอาศัยสวิตซ์เข้ามาใช้ในการตั้งค่าศูนย์ โดยหลักการ คือ หุ่นยนต์จะถูกติดตั้งสวิตซ์ไว้ที่ตำแหน่งแขนหุ่นยนต์ทำมุมเท่ากับศูนย์ ดังรูปที่ 5.2 ดังนั้น เมื่อหุ่นยนต์เริ่มทำ หุ่นยนต์จะทำการขยับไปยังตำแหน่งศูนย์ เพื่อให้หุ่นยนต์ทราบถึงตำแหน่งศูนย์ และสามารถทำงานได้มีค่าความแม่นยำที่เท่าหรือใกล้เคียงกันทุกครั้งการทำงาน



รูปที่ 5.2 ตำแหน่งสวิตซ์ตั้งศูนย์

5.3 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้

ในส่วนต่อประสานระหว่างหุ่นยนต์ กับผู้ใช้ จะแบ่งได้เป็นสองส่วนหลักๆ คือ หน้าจอแสดงผลของคอมพิวเตอร์เป้าหมาย และหน้าจอแสดงภาพถ่ายจากกล้องถ่ายรูป

5.3.1 จอแสดงผลคอมพิวเตอร์ประมวลผลเวลาจริง

ในการควบคุมหุ่นยนต์ ผู้ใช้สามารถที่จะทราบสถานะต่างๆของหุ่นยนต์ ผ่านทางหน้าจอผลคอมพิวเตอร์เป้าหมาย ดังรูปที่ 5.3 ซึ่งข้อมูลต่างๆที่เห็นในหน้าจอ จะเป็นประโยชน์ในการใช้ควบคุมหุ่นยนต์

1) ค่าองศาของแขนบน
2) ค่าตำแหน่งปลายแขน
3) ค่าจากตัววัดระยะ

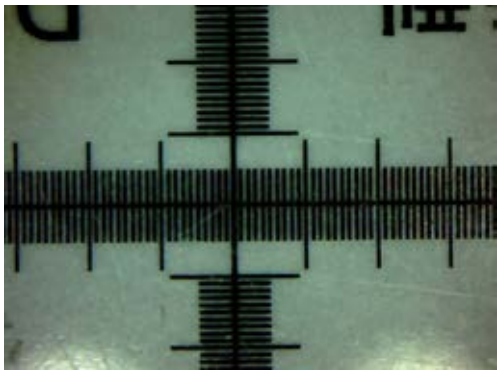
แต่อย่างไรก็ตามหน้าจอดังกล่าว สามารถที่จะปรับเปลี่ยน ได้ตามที่ต้องการ โดยเข้าไปทำการแก้ไขโปรแกรม

รูปที่ 5.3 จอแสดงผลคอมพิวเตอร์ประมวลผลเวลาจริง

5.3.2 จอแสดงภาพตามเวลาจริง

จอแสดงผลนี้เป็นจอที่ใช้แสดงภาพจากกล้อง โดยกล้องที่ใช้ทดสอบติดตั้งลงไปไว้ 2 ตัว คือ กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล และกล้องเวปแคม ซึ่งกล้องทั้งสองนี้จะถูกนำไปใช้ในการทดสอบหุ่นยนต์ในบทถัดไป

a) ภาพถ่ายจากกล้องเวปแคม



b) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล

รูปที่ 5.4 ภาพถ่ายจากกล้องดิจิตอล

บทที่ 6
การทดสอบการทำงาน และสมรรถนะของหุ่นยนต์

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบและจัดสร้างหุ่นยนต์แล้ว ขั้นตอนต่อไป คือขั้นตอนของการทดสอบหุ่นยนต์ โดยการทดสอบหุ่นยนต์ จะประกอบไปด้วยการทดสอบหลายส่วน ได้แก่ การทดสอบความแม่นตรง ความแม่นยำ ความละเอียด การเคลื่อนที่ และการนำไปใช้งานจริง ซึ่งในการทดสอบนี้จะอาศัยเครื่องมือ หรืออุปกรณ์อื่นๆ เข้าช่วย เพื่อใช้ในการออกคำสั่งและบังคับหุ่นยนต์ โดยรายละเอียดและผลการทดสอบต่างๆจะเป็นดังต่อไปนี้

6.1 การทดสอบความแม่นตรงและความแม่นยำ

จากที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ว่าหุ่นยนต์นี้ต้องการความแม่นยำและความแม่นตรง ฉะนั้นในในการทดสอบนี้ จะทำการออกคำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในปริมาตรการทำงานซ้ำไปซ้ำมา และหลายจุดในปริมาตรการทำงาน ซึ่งในการทดสอบนี้ จะเน้นไปที่การวัดความแม่นตรงและความแม่นยำของหุ่นยนต์ โดยการวัดความแม่นยำนั้น จะวัดจากค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานจากข้อมูลค่าความเคลื่อน และการวัดความแม่นตรง จะวัดจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตำแหน่งที่สั่ง และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$D_{error} = \sqrt{(X_a - X_r)^2 + (Y_a - Y_r)^2 + (Z_a - Z_r)^2}$$

โดย D_{error} คือค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

(X_a, Y_a, Z_a) คือ ค่าตำแหน่งจริง ในพิกัดคาร์ทีเซียน

(X_r, Y_r, Z_r) คือ ค่าตำแหน่งเป้าหมาย ในพิกัดคาร์ทีเซียน

ในการทดสอบนี้ จะอาศัยเครื่องมือวัดตำแหน่งในสามมิติ ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถวัดตำแหน่งต่างได้ในสามมิติ โดยอาศัยหลักการของการส่งสัญญาณวิทยุจากตัวส่ง แล้วแปลงสัญญาณจากตัวรับแล้วคำนวณออกมาได้เป็นตำแหน่งของตัวรับ เทียบกับตัวส่ง ด้วยเหตุนี้ หากนำตัวรับไปติดตั้งที่ปลายแขนของหุ่นยนต์ ก็จะสามารถเก็บค่าตำแหน่ง (x, y, z) ในพิกัดคาร์ทีเซียน โดยเทียบกับตำแหน่งของตัวจ่ายสัญญาณ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณ ได้กลายเป็นค่าพิกัดได้

ตามเวลาจริงได้ โดยในการทดสอบนี้จะเก็บค่าเฉพาะช่วงที่เป็นสถานะคงตัวซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ระบบควบคุมได้ทำงานเรียบร้อยแล้ว โดยการทดสอบจะมีรายละเอียดขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1) เริ่มต้นที่จุดตั้งต้น
2) รับค่าพิกัดของเป้าหมาย
3) คำนวนค่าองศาของแขนกลที่ต้องการด้วยจลศาสตร์ผกผัน
4) ขยับไปกลับระหว่างจุดเริ่มต้นกับเป้าหมายทั้งหมด 10 ครั้ง
5) เก็บค่าต่างๆระหว่างการทดสอบ โดยเครื่องวัดตำแหน่งในสามมิติ
6) เคลื่อนที่กลับมายังจุดตั้งต้น
7) คำนวนพิกัดจุดปลายที่เก็บได้ให้อยู่ในรูปของสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับจุดเริ่มต้น
8) เปรียบเทียบค่าทั้งหมดที่ได้กับค่าที่สั่งเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน
9) ทำขั้นตอนต่างๆซ้ำ กับเป้าหมายอื่นๆ ตามตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตำแหน่งทั้งหมดที่ใช้ทดสอบความแม่นตรงและความแม่นยำ

Position No.	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
0 (Start)	0	0	-175
1	0	0	-300
2	-30	0	-180
3	0	50	-200
4	30	-40	-200
5	-50	20	-250
6	50	50	-250

6.2 ผลการทดสอบความแม่นตรงและแม่นยำ

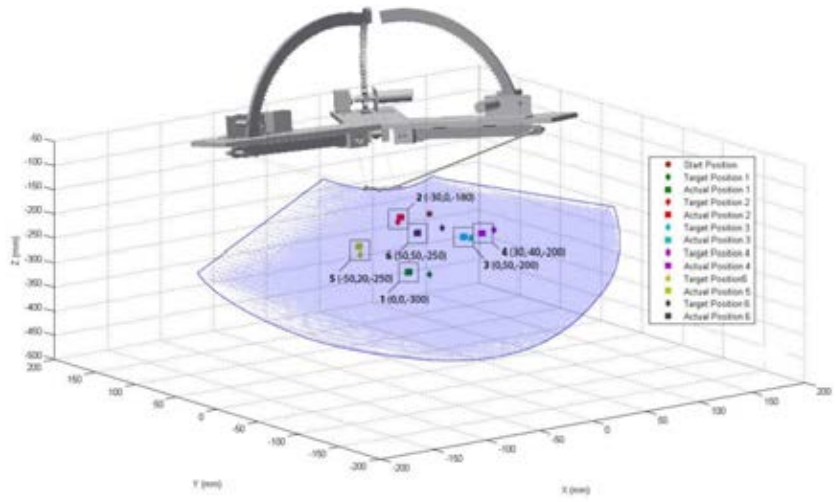
ในการทดสอบความแม่นตรงและการแม่นยำนี้ รูปที่ 6.1 จะแสดงตำแหน่งอ้างอิง และตำแหน่งจริงของจุดทดสอบในปริมาตรการทำงาน รวมทั้งรูปที่แสดงการกระจายตัวของตำแหน่งของแต่ละจุดทดสอบด้วย และในตารางที่ 6.2 จะแสดงถึงผลการทดสอบที่ได้ โดยผลความเคลื่อน

สูงสุด จะพบว่าเป็น 30.8 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งที่ 6 และตำแหน่งที่ 2 คือ จุดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 8.1 มิลลิเมตร เช่นกันในส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน จะพบว่าค่าสูงสุดจะอยู่ตำแหน่งที่ 6 คือ 0.5 มิลลิเมตร และค่าน้อยสุดอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3 คือ 0.2 มิลลิเมตร และจากหลักทางสถิติ จะได้ว่า หุ่นยนต์จะมีโอกาส 68.2% ที่ความแม่นยำจะไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร

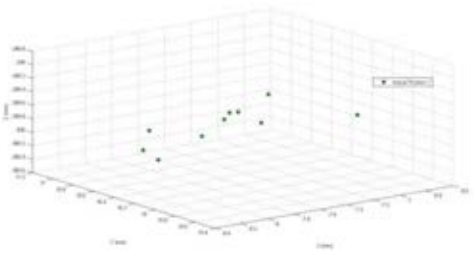
นอกจากนี้ หากพิจารณารูปต่างๆ โดยเปรียบพิกัดต่างๆ กับปริมาตรการทำงาน จะพบว่าหุ่นยนต์จะมีความคลาดเคลื่อนและค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น ถ้าหากหุ่นยนต์เริ่มเคลื่อนไปยังบริเวณขอบของปริมาตรการทำงาน โดยจะสรุปได้จากตำแหน่งที่ 6 เป็นตำแหน่งที่พบว่ามีความแม่นยำและความแม่นตรงน้อยที่สุด จะอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางของปริมาตรการทำงานมากกว่า เมื่อเทียบกับตำแหน่งที่ 2 และ 3 มีความแม่นตรง และความแม่นยำมากที่สุด

ตารางที่ 6.2 ความคลาดเคลื่อนในการทดสอบความแม่นตรงและความแม่นยำของแต่ละครั้ง

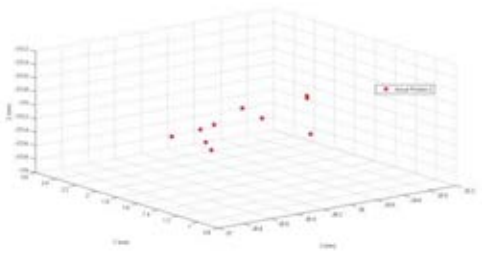
Test No.	Distance Error (mm)					
	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4	Position 5	Position 6
1	18.1	7.7	9.4	10.9	18.7	30.2
2	18.0	8.0	9.2	11.0	18.4	30.1
3	17.6	7.7	8.7	11.3	18.4	30.2
4	17.0	8.5	9.4	11.5	17.3	30.9
5	17.7	8.1	9.3	11.0	17.9	31.3
6	18.0	7.8	9.3	11.5	18.1	31.2
7	18.4	8.5	9.3	12.0	18.3	31.0
8	17.9	8.2	9.5	11.7	18.3	31.4
9	18.0	7.9	9.1	11.7	18.3	31.0
10	18.4	8.0	9.2	10.8	18.0	30.4
Average	17.9	8.1	9.2	11.3	18.2	30.8
SD	0.4	0.3	0.2	0.4	0.4	0.5



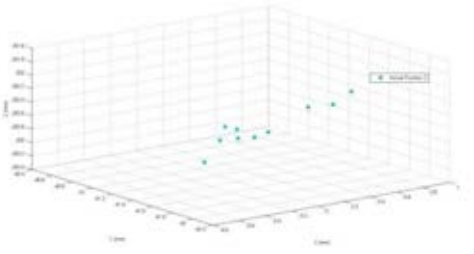
a) ผลการทดสอบความแม่นตรงและแม่นยำภาพรวม



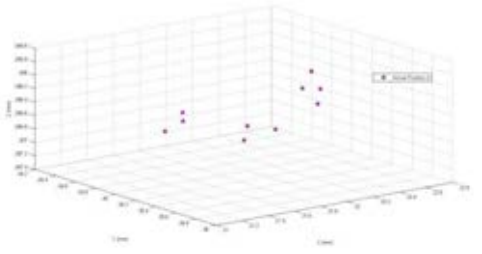
b) ผลการทดสอบจุดที่ 1



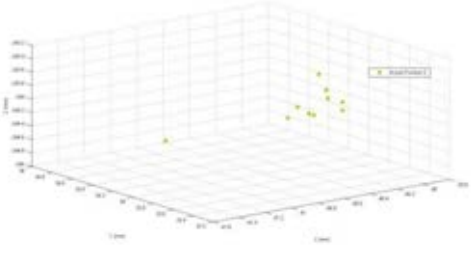
c) ผลการทดสอบจุดที่ 2



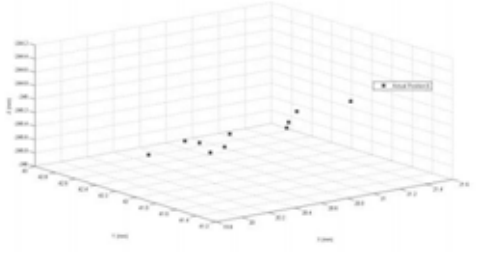
d) ผลการทดสอบจุดที่ 3



e) ผลการทดสอบจุดที่ 4



f) ผลการทดสอบจุดที่ 5



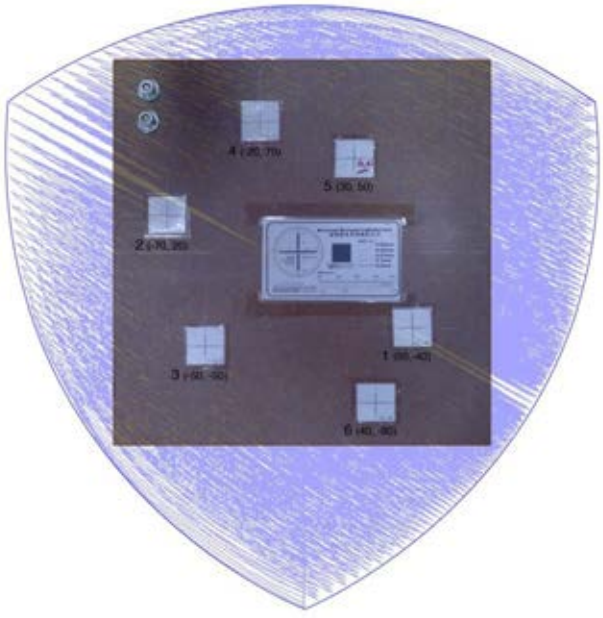
g) ผลการทดสอบจุดที่ 6

รูปที่ 6.1 ตำแหน่งผลการทดสอบความแม่นตรงและแม่นยำ

6.3 การทดสอบความละเอียด

นอกจากความแม่นตรงและความแม่นยำของหุ่นยนต์แล้ว ยังพบว่า ความละเอียดในการทำงานของหุ่นยนต์นั้น ยังมีความสำคัญมากต่อหุ่นยนต์ โดยความละเอียดจะวัดได้ จากความละเอียดต่ำที่หุ่นยนต์สามารถขับได้ โดยจะมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1) เริ่มต้นที่จุดตั้งต้นตรงกลาง
2) บันทึกรูปจุดตั้งต้นพร้อมทั้งทำสัญลักษณ์
3) เลื่อนปลายแขนหุ่นยนต์ไปยังจุดเป้าหมาย ให้ใกล้กับตำแหน่งเดิมที่จุดตั้งต้นให้มากที่สุด
4) บันทึกรูปจุดเป้าหมายที่ตำแหน่งเดียวกับจุดตั้งต้น
5) นำรูปทั้งสองไปคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน
6) ทำซ้ำบนจุดอื่นๆบนปริมาตรการทำงาน ดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ตำแหน่งการทดสอบความความละเอียดบนปริมาตรการทำงาน

เนื่องจากในการทดสอบความละเอียดนี้ เป็นการทดสอบที่มีความละเอียด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องมีที่มีความละเอียด เพื่อที่จะให้ได้ผลที่ความละเอียดเพียงพอ ฉะนั้นใน

การทดสอบนี้จะนำเอาเครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือ เข้ามาใช้ในการออกคำสั่งให้หุ่นยนต์ ซึ่งเครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือนี้ สามารถที่จะเลือกความละเอียดได้ว่า การหมุนหนึ่งครั้งจะให้หุ่นยนต์ขยับไปละเอียดเท่าใด ส่วนภาพถ่ายของตำแหน่งการทดสอบ จะเลือกใช้กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล เพื่อที่จะทำให้สามารถบันทึกผลที่มีความละเอียดเพียงพอ

6.4 ผลการทดสอบความละเอียด

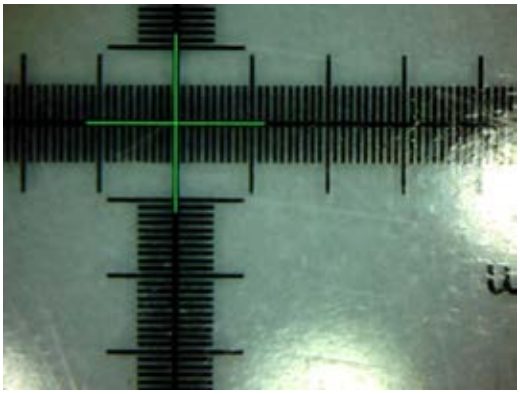
จากที่ได้กล่าวไว้ในขั้นตอนการทดสอบ ในการทดสอบ ผู้ควบคุมจะทำการขยับปลายแขนหุ่นยนต์ จากจุดเริ่มต้นเข้าหาจุดที่กำหนดไว้ในปริมาตรการทำงานให้ได้มีความใกล้เคียงมากที่สุด โดยก่อนขยับจะทำการถ่ายภาพ พร้อมทั้งทำสัญลักษณ์จุดเริ่มต้นไว้ จากนั้นหลังเคลื่อนที่ไปยังจุดเป้าหมายได้มากที่สุดแล้ว จึงทำการถ่ายภาพและทำสัญลักษณ์จุดปลายอีกครั้ง จากนั้นจึงนำรูปทั้งหมดมาทำการวัดความคลาดเคลื่อน ดังรูปที่ 6.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.3 ความคลาดเคลื่อนในการทดสอบความละเอียดของแต่ละครั้ง

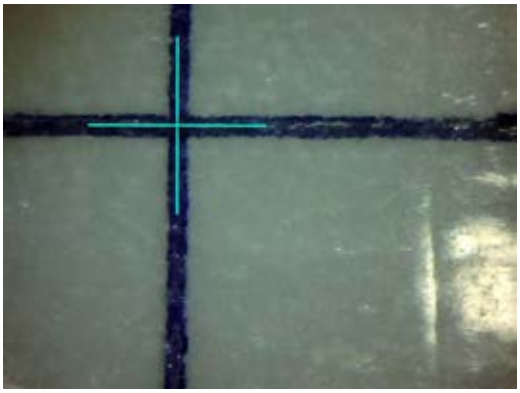
Point (x, y)	Error (mm)
1 (60,-40)	0.07
2 (-70, 20)	0.05
3 (-50, -50)	0.05
4 (-20, 70)	0.04
5 (30, 50)	0.04
6 (40, -80)	0.04
Average	0.05

จากที่ได้ทำการทดสอบตามจุดต่างๆ ดังรูปที่ 6.2 จะได้ผลที่จุดต่างๆ ดังที่แสดงในตารางที่ 6.3 ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ พบว่า ทุกจุดในการทดลอง สามารถที่จะปรับให้เข้าใกล้จุดเป้าหมายที่ต้องการได้ดี โดยมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.07 มิลลิเมตร ต่ำสุด 0.04 มิลลิเมตร โดยเฉลี่ยแล้วจะมีค่าประมาณ 0.05 มิลลิเมตร โดยในการทดสอบนี้ ยังพบว่า ความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่ อาจจะเกิดจากการประมาณของผู้ใช้เป็นส่วนใหญ่ เพราะการมองเห็นว่า จุดนั้นซ้อนกันแล้วหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ใช้เป็นหลัก ดังนั้นจะพบว่าได้ว่า ในการทดสอบของจุด

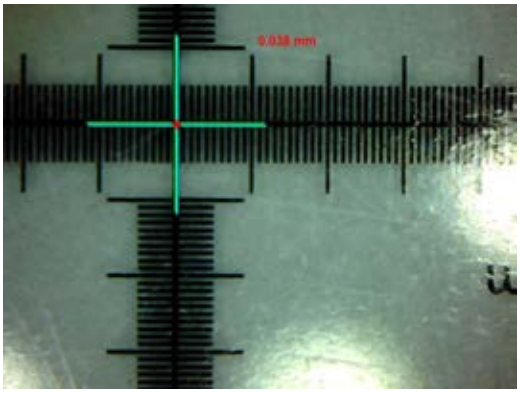
แรกๆ จึงมีความคลาดเคลื่อนมากกว่า ซึ่งของจุดหลังๆ จะพบว่ามีความคลาดเคลื่อนที่ลดลง เพื่อจากผู้ใช้มีความคุ้นเคยกับการปรับตำแหน่งของหุ่นยนต์มากขึ้น



a) ตำแหน่งจุดเริ่มต้น



b) ตำแหน่งจุดเป้าหมาย



c) การวัดความคลาดเคลื่อน

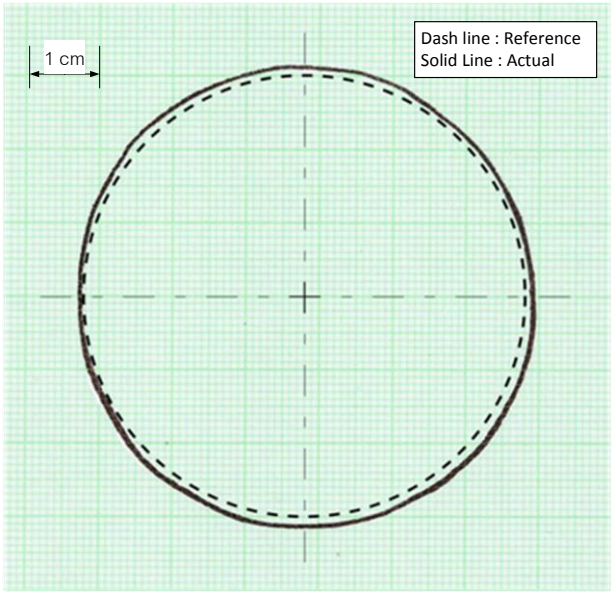
รูปที่ 6.3 ตำแหน่งเริ่มต้น ตำแหน่งเป้าหมาย และการวัดความคลาดเคลื่อน

6.5 การทดสอบการเคลื่อนที่

หลังจากที่ได้ทดสอบประสิทธิภาพต่างๆของหุ่นยนต์แล้ว ขั้นตอนต่อไป จึงเป็นขั้นตอนการทดสอบหุ่นยนต์ โดยให้ทำงานบางอย่าง ซึ่งในการทดสอบที่ง่ายที่สุดคือ การทดสอบให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่รูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง แล้วนำปากกาไปติดเข้าที่ปลายแขน เพื่อใช้บันทึกผลการทดสอบ โดยจะมีขั้นตอนทั้งหมดดังนี้

1) นำปากกาติดที่ปลายแขนหุ่นยนต์
2) ขยับปลายปากกาหุ่นยนต์ให้เข้าใกล้กระดาษกราฟ
3) ป้อนคำสั่งให้ปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นวงกลม
4) ขยับปลายปากกาเข้าใกล้กระดาษกราฟจนกระทั่งแตะกระดาษ
5) ปล่อยให้หุ่นยนต์เขียนรูปตามที่ป้อน 20 รอบ
6) นำผลการทดสอบไปเปรียบเทียบกับค่าป้อน

6.6 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่



รูปที่ 6.4 เปรียบเทียบวงกลมจริง กับวงกลมอ้างอิง

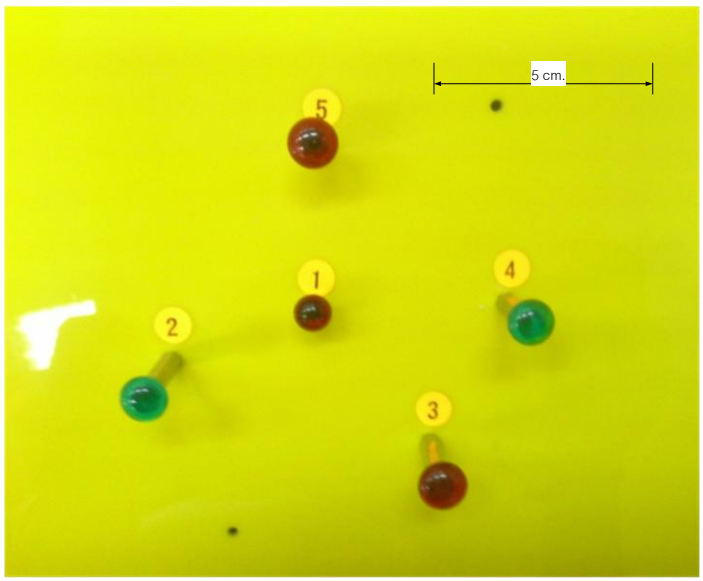
ในการทดสอบนี้ ได้นำเอารูปวงกลมเข้ามาใช้ในการทดสอบ โดยจะสั่งให้หุ่นยนต์ เคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 3 เซนติเมตร และจากนั้นปล่อยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ซ้ำเดิม ทั้งหมด 20 รอบ จนเห็น

ผลการเขียนของปากกาที่ปลายแขนบนกระดาษกราฟขนาดช่องละ 1 เซนติเมตร ได้เป็นผลดังรูปที่ 6.4

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า หุ่นยนต์นั้น มีค่าความแม่นยำที่สูง เพราะจะเห็นได้ว่า เส้นที่หุ่นยนต์ทำการลากไปนั้น จะเป็นจะทับเส้นเดิมไปเรื่อยๆ ทั้ง 20 รอบ แต่ในทางกลับกัน ยังพบว่าค่าความแม่นตรงนั้นยังมีความคลานเคลื่อนอยู่พอสมควร

6.7 การทดสอบกับการใช้งานจริง

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบหุ่นยนต์ ในด้านของความแม่นตรง แม่นยำ และความละเอียดแล้ว ในส่วนนี้ จะเป็นการทดสอบหุ่นยนต์กับการใช้งานจริง โดยในการใช้งานจริง จะเป็นการจำลองสนามการทำงานขึ้นมา ในสนามการทดสอบนี้ประกอบด้วยหมุดสีทั้งหมดสองสี คือ สีแดงและเขียว โดยหมุดแต่ละอันจะมีระยะและความสูงที่แตกต่างกัน ฉะนั้นในการทดสอบจะให้ผู้ใช้งานเลื่อนกล้องไปยังจุดสีแดงและเขียวสลับกันไปตามลำดับ โดยแต่ละจุดผู้ใช้งานจะต้องขยับหรือเลื่อนปลายแขนหุ่นยนต์ จนกว่าความชัดและขนาดเป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน เงื่อนไขในโปรแกรม ระบบถึงจะยอมให้ผู้ใช้งาน เลื่อนไปยังจุดต่อไปได้ ฉะนั้นขั้นตอนการทดสอบการใช้งานจริง จึงสามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 6.5 ตำแหน่งการทดสอบการใช้งานจริง

1) เลื่อนปลายแขนหุ่นยนต์ด้วยเครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือ ไปยังจุดตั้งต้น
2) ปรับระยะจนได้ จุดอยู่ตรงกลางและขนาดที่เหมาะสม
3) กล้องจะทำการจับภาพ ทันทีขนาดและสีตรงตามที่โปรแกรมระบุ
4) เลื่อนไปยังจุดต่อไป
5) ทำซ้ำไปจนครบทั้งห้าจุด ดังรูปที่ 6.5
6) นำภาพที่ถ่ายได้มาดูความถูกต้อง

6.8 ผลการทดสอบการใช้งานจริง

<table>
<tr><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">a) Start (Point 1)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>b) Point 2</td><td>c) Point 3</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>d) Point 4</td><td>e) Point 5</td></tr>
</table>

รูปที่ 6.6 ผลจากการใช้งานจริง

หลังจากการทดสอบ ผู้ใช้งานนั้นสามารถที่จะเคลื่อนปลายแขนของหุ่นยนต์ไปยังจุดต่างๆ ได้ตามที่ต้องการ โดยรูปถ่ายนั้น ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 6.6 จากรูปถ่าย จะเห็นว่า ภาพที่ถ่ายได้นั้น จะมีความชัดเจนที่จัดอยู่ในระดับดี พร้อมทั้งขนาดของจุดทั้งห้าจุดนั้น ยังมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องและตรงกับขนาดที่ กำหนดไว้ในเงื่อนไขของการเปลี่ยนจุดแต่ละจุดในโปรแกรม แต่

เนื่องจากในการทดสอบนี้ ได้ทำการทดสอบกับเครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือ จึงอาจจะทำให้เวลาการเลื่อนเข้าหาจุดแต่ละจุดค่อนข้างนาน เพราะเครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้ทีละแกน ซึ่งในอนาคต หากมีการนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องมือชนิดอื่น จะสามารถทำให้หุ่นยนต์สามารถทำได้รวดเร็วขึ้น

6.9 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบทั้งหมด พบว่าหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพที่น่าพอใจ โดยหุ่นยนต์มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 30.8 มิลลิเมตร และน้อยที่สุด 8.1 มิลลิเมตร ซึ่งค่าความแม่นตรงนั้นสามารถพัฒนาและปรับปรุงได้ นอกจากนี้จากผลการทดสอบ พบว่า หากหุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่ไปยังบริเวณขอบของปริมาตรการทำงาน ค่าความคลาดเคลื่อนที่จะเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการสังเกตพบว่า ข้อจำกัดของข้อต่อทรงกลมจำเริ่มมีผลค้านการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำให้ผลที่ได้จึงเริ่มมีความแม่นตรงลดน้อยลงไปเรื่อยๆ ซึ่งหากมีการเปลี่ยนตัวข้อต่อทรงกลม ก็จะทำให้ความแม่นยำของหุ่นยนต์นั้นมีความใกล้เคียงกันตลอดเกือบทั้งปริมาตรการทำงาน

แต่อย่างไรก็ตาม ในด้านความแม่นยำ หุ่นยนต์สามารถทำงานให้ภายใต้ขอบเขตของงานวิจัย นั้นก็คือ 0.5 มิลลิเมตร นอกจากนี้จากการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ยิ่งสนับสนุนถึงความแม่นยำในการทำงานของหุ่นยนต์ได้เป็นอย่างดี โดยจะเห็นว่า บนกระดาษกราฟขนาดช่องละ 1 เซนติเมตรนั้น หุ่นยนต์สามารถเขียนเส้นวงกลมได้ทับเส้นเดิมจนแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

นอกจากนี้ ในส่วนของการทดสอบความละเอียด ยิ่งแสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์เดลต้าตัวนี้ ยังสามารถที่เพิ่มความแม่นตรงได้มากยิ่งขึ้น หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ช่วยเหลือเพิ่มเติม เพราะเนื่องจากการทดสอบความละเอียด แสดงให้เห็นว่า หุ่นยนต์นั้นสามารถที่จะขยับเข้าหาเป้าหมายได้อย่างน้อยที่สุด 0.07 มิลลิเมตร

สุดท้ายในการทดสอบการใช้งานจริง ยังแสดงให้เห็นว่า หุ่นยนต์เดลต้าสามารถนำไปใช้ต่อยอด เพื่อใช้ในการทดสอบอื่นๆได้อีก ดังเช่นที่ทำการทดสอบไป

บทที่ 7
สรุปวิทยานิพนธ์

7.1 ผลสรุปวิทยานิพนธ์

จากวัตถุประสงค์ของหุ่นยนต์ ที่ออกแบบและจัดสร้างหุ่นยนต์เดลต้า ซึ่งมีค่าองศาอิสระเท่ากับ 3 เนื่องจากหุ่นยนต์เดลต้าเป็นหุ่นยนต์โครงสร้างขนาน จึงทำให้หุ่นยนต์มีจุดเด่นต่างๆของหุ่นยนต์โครงสร้างขนาน ซึ่งจุดเด่นของหุ่นยนต์โครงสร้างขนาน ได้แก่ ความเร็วและความเร่งสูง ความแม่นยำสูง เป็นต้น ซึ่งด้วยคุณสมบัติต่างๆเหล่านี้ ทำให้หุ่นยนต์เดลต้า เป็นหุ่นยนต์ที่น่าสนใจที่จะมาใช้เป็นหุ่นยนต์ต้นแบบในห้องปฏิบัติการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเริ่มจากการศึกษาประวัติความเป็นมาของหุ่นยนต์ทั้งหมด ตั้งแต่หุ่นยนต์โครงสร้างอนุกรม จนกระทั่งหุ่นยนต์โครงสร้างขนาน จากนั้นจึงเริ่มศึกษาข้อมูลของหุ่นยนต์เดลต้า โดยในการศึกษานั้น จะมีทั้งการศึกษาทั้งรูปร่าง ลักษณะ และรวมไปถึงคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์ด้วย จากนั้น จึงเริ่มนำแบบของหุ่นยนต์ดังเดิม มาออกแบบและปรับปรุงใหม่ เช่น มีการเปลี่ยนวัสดุของส่วนประกอบต่างๆ โดยเน้นให้มีน้ำหนักเบา ราคาถูก และหาได้ง่ายตามท้องตลอดมากยิ่ง นอกจากนี้ ยังมีการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ใหม่ ให้ต่างไปจากของดั้งเดิม โดยเปลี่ยนลักษณะของแขนบนที่เดิม จะเป็นแค่แขนหุ่นยนต์ธรรมดา ให้เป็นเฟืองในลักษณะของเฟือง เพื่อทำให้สามารถลดขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นให้มีขนาดที่เล็กลงได้ โดนหุ่นยนต์จะประกอบไปด้วยแขนทั้งหมด 11 แขน ข้อต่อทรงกลม 12 ข้อ และข้อต่อแบบหมุน 3 ข้อ ใช้มอเตอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ซึ่งต้องการแรงดันไฟ 12 โวลต์ และให้กำลัง 6 วัตต์ทั้งหมด 3 ตัว ใช้ตัววัดระยะที่มีความละเอียด 2500 พลัลส์ต่อรอบ ซึ่งผลของการออกแบบทำให้หุ่นยนต์นั้นต้องการที่ว่างในการติดตั้งขนาด 650x650x800 ลูกบาศก์มิลลิเมตร มีน้ำหนักรวม (ไม่รวมฐาน) 660 กรัม และมีปริมาตรการทำงาน 300x350x375 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และนอกจากนี้ หุ่นยนต์ยังถูกออกแบบให้สามารถที่จะติดเครื่องเพื่อใช้ในการทำงาน หรือใช้ในการวัดผลอื่นได้อีก ดังที่จะเห็นได้จากผลการทดสอบต่างๆ

นอกจากการออกแบบทางกลแล้ว ในหุ่นยนต์ตัวนี้ ยังมีการออกแบบทางอิเล็คทรอนิคส์ โดยในการออกแบบยังคงเน้น เรื่องราคา และใช้ของที่สามารถหาได้จากท้องตลาด เนื่องจากวัตถุประสงค์ของหุ่นยนต์ คือ เป็นหุ่นยนต์ต้นแบบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ เพราะฉะนั้น ราคา และความยากง่ายในการซ่อมบำรุงหุ่นยนต์ จึงเป็นสิ่งที่สำคัญ สำหรับหุ่นยนต์ที่จะใช้ในห้องปฏิบัติ ดังนั้น ในหุ่นยนต์ตัวนี้จะพยายามใช้พอร์ทต่างๆ อย่างคุ้มค่าที่สุด เพื่อลดการใช้อุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ให้มากที่สุด นอกจากนี้ ในการทดสอบหุ่นยนต์ครั้งนี้ ยังพบว่าหุ่นยนต์มีความสามารถที่จะรองรับการทำงานได้ที่ 10 กิโลเฮิร์ต

ผลการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปผลได้ว่า หุ่นยนต์เดลต้าตัวนี้ มีประสิทธิภาพที่อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ โดยหุ่นยนต์มีความแม่นตรงน้อยที่สุด คือ 30.8 มิลลิเมตร และดีที่สุดที่ 8.1 มิลลิเมตร และจากการทดสอบการเคลื่อนที่และการทดสอบความแม่นยำ สามารถพิสูจน์ให้เห็นว่า หุ่นยนต์มีค่าความแม่นยำที่ดี นั้นคือ ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร และยังมีความละเอียดเฉลี่ย 0.05 มิลลิเมตร นอกจากนี้ หลังจากที่นำหุ่นยนต์ไปทดสอบกับการใช้งานอย่าง ทำให้เห็นว่าหุ่นยนต์มีความสามารถที่จะนำไปใช้ต่อยอดในการปฏิบัติงานอื่นๆได้อีก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับ หุ่นยนต์ที่จะนำไปใช้ในห้องปฏิบัติต่อไป

สุดท้าย จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้มา ทำให้สามารถสรุป ได้ว่าหุ่นยนต์เดลต้านั้น มีปริมาตรการทำงานขนาดเล็ก มีความแข็งตึงสูง มีความเฉื่อยต่ำ และมีโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งสามารถเห็นได้จากจำนวนแขนและข้อต่อ ที่มากกว่าหุ่นยนโครงสร้างอื่น ในกรณีที่มีองศาอิสระที่เท่ากัน และด้วยเหตุที่หุ่นยนเดลต้า เป็นหุ่นยนต์โครงสร้างขนาน ซึ่งเป็นโครงสร้างปิด จึงทำให้การงานจัดสร้าง การประกอบนั้น ต้องอาศัยความละเอียดในการทำเป็นอย่างยิ่ง เพราะหากยิ่งมีความผิดพลาดเกิดขึ้นยิ่งส่งผลต่อความแม่นตรง ความแม่นยำ และความละเอียดของหุ่นยนต์โดยตรง หรือถ้าหากความผิดพลาดมีปริมาณมาก ก็อาจจะส่งผลให้หุ่นยนต์เดลต้าไม่สามารถขยับหรือทำงานได้ แต่ถ้าหากมีการผลิตและงานประกอบที่ดี ก็จะทำให้พบว่า หุ่นยนต์เดลต้านี้ มีความแม่นตรง แม่นยำ และความละเอียดที่สูง ส่วนเรื่องความซับซ้อนทางกลศาสตร์ของหุ่นยนต์เดลต้านั้น ในวิทยานิพนธ์นี้พบว่าไม่เป็นปัญหา เนื่องจากความสามารถในการคำนวณของเครื่องคอมพิวเตอร์ในปัญหา มีประสิทธิภาพสูงมาก จึงทำให้ปัญหา หรือความซับซ้อนในส่วนนี้ลดลงไปอย่างมาก อย่างไรก็ตาม

หากต้องการที่จะเพิ่มเติมระบบชดเชยต่างๆให้หุ่นยนต์เดลต้า จะพบว่า การควบคุมนั้น จะทำได้ยากและซับซ้อน เพราะเนื่องจากการที่เป็นโครงสร้างขนาน จึงทำให้แขนต่างๆมีการเชื่อมถึงกับและส่งผลต่อปลายแขนทั้งหมด จึงทำให้พบว่า มีแรงกระทำต่างๆหลายแรงกระทบต่อปลายแขน และสุดท้ายจากการจัดสร้างหุ่นยนต์เดลต้าตัวนี้ จึงทำให้สรุปได้ว่า หุ่นยนต์เดลต้านั้น เป็นหุ่นยนต์ที่มีราคา และต้นทุนในการจัดสร้างต่ำ

7.2 ปัญหาและข้อแนะนำ

ในหุ่นยนต์ตัวนี้ ยังพบว่า ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในการทำงาน ซึ่งได้แสดงไว้แล้วในผลการทดสอบ แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการทดสอบความละเอียด ทำให้พบว่า แม่นยำของหุ่นยนต์สามารถเพิ่มขึ้นได้ หากมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์ช่วยเหลือเข้าไป

นอกจากนี้ จากที่ได้ทำการทดสอบหุ่นยนต์ ยังพบว่า หุ่นยนต์โครงสร้างขนาน แม้จะได้ประโยชน์จากข้อดีต่างๆ จากโครงสร้างขนาน แต่ ด้วยตัวโครงสร้างขนานยังมีข้อด้อยในการควบคุมได้เช่นกันคือ เนื่องโครงสร้างเป็นโครงสร้างปิด ที่เชื่อมถึงกันหมด ดังนั้นถ้ามีการออกแบบที่ไม่ดี หรือคุณภาพการผลิตที่ไม่ดี จะส่งกระทบโดยตรง ชุดขาของหุ่นยนต์แต่ละชุด เกิดการดึงรั้งหรือขัดการเคลื่อนที่กัน ซึ่งผลของปัญหานี้ อาจจะส่งผลให้มอเตอร์ต้องรับภาระในการทำงานมากขึ้น หรือแม้กระทั่งอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายกับหุ่นยนต์เองได้เช่นกัน

ด้วยเหตุที่หุ่นยนต์เป็นโครงสร้างขนาน จึงส่งผลโดยตรงกับการออกแบบระบบชดเชยแรงต่างๆ ทำให้หากต้องการเพิ่มระบบเหล่านี้เข้าไป จะทำให้การควบคุมหุ่นยนต์ ให้มีความเสถียรนั้นมีความยากและซับซ้อนเป็นอย่างมาก

7.3 แนวทางงานวิจัยในอนาคต

จากวัตถุประสงค์ของการออกแบบหุ่นยนต์เดลต้านี้ คือ เพื่อนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการวิจัย ดังนั้น แนวทางในการวิจัยในอนาคต การนำหุ่นยนต์ไปทำงาน หรือทดสอบร่วมกับงานวิจัยอื่น หรือใช้เป็นหุ่นยนต์ต้นแบบของหุ่นยนต์โครงสร้างขนาน เพื่อที่หากมีผู้ที่สนใจจะนำไปพัฒนาต่อให้

สามารถที่จะมีหุ่นยนต์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีมากยิ่งขึ้น เช่น งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกับมนุษย์ เป็นต้น

รายการอ้างอิง

[1] EPSON Robots. Epson G6 SCARA Robots [Online]. Available from : http://robots.epson.com/product-detail/3 [2012, February 15]

[2] Merlet, J.P. Parallel Robot, Springer. Netherlands, 2006.

[3] Kuen, Y. Geometry, Dynamics and Control of Parallel Manipulators. Hong Kong, 2002.

[4] Dasgupta, B. and Mruthyunjava, T.S. The Stewart platform manipulator: a review, Mechanism and Machine Theory, Vol. 35, January 2000, pp. 15-40.

[5] Bonev, L. The True Origins of Parallel Robots [Online]. 2003. Available from : http://www.parallemic.org/Reviews/Review007.html [2012, February 8]

[6] Pashkevich, A., Chablat, D., and Wenger, P. Kinematics and workspace analysis of a three-axis parallel manipulator: the Orthoglide, Robotica, Vol. 24, January 2006, pp. 39-49.

[7] Siciliano, B. The Tricept robot: Inverse kinematics, manipulability analysis, and closed-loop direct kinematics algorithm, Robotica, Vol. 17, July 1999, pp. 437-445.

[8] Pierrot, F., Uchiyama, M., Unno, K. HEXA: a High Speed Parallel Robot, 1993 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Video Proceedings, Atlanta, Georgia, USA.

[9] Rao, A.B.K. Workspace and dexterity analyses of hexaslide machine tools, Robotics and Automation 2003 Proceedings, Vol. 3, September 2003, pp. 4104-4109.

[10] Chablat, D. Othogilde Robot [Online]. Available from : http://www.irccyn.ec-nantes.fr/~chablat/ [2012, February 15]

[11] PKM TRICEPT S.L. Tricept Robot [Online]. Available from : http://www.pkmtricept.com/productos/index.php?id=en&Nproduct=1240238268 [2012, February 15]

[12] LARM - Laboratorio di Robotica e Meccatronica. CaPaMan Robot [Online]. 2004. Available from : http://webuser.unicas.it/weblarm/prototypescapaman2.htm [2012, February 15]

[13] Olsson, A. Modeling and Control of a Delta-3 robot. Lund University, Sweden, 2009.

[14] Silva, L.A., Sebastian, J.M., Saltaren, R., Aracil, R., Sanpedro. RoboTenis: optimal design of a parallel robot with high performance, Intelligent Robots and Systems 2005, August 2005, pp. 2134 – 2139.

[15] Kowathanakul, N., Kananai, J., and Chancharoen, R. Design and Control of a Chula Parallel Delta Robot, The Proceeding of the 2012 TRS Conference on Robotics and Industrial Technology, November 2012, Bangkok, Thailand

[16] Bonev, L. Delta Parallel Robot — the Story of Success [Online]. 2001. Available from : http://www.parallemic.org/Reviews/Review002.html [2012, February 8]

[17] ABB. ABB Delta Robot [Online]. Available from : http://www.abb.com/ [2012, February 15]

[18] FANUC. FANUC Delta Robot [Online]. Available from : http://www.fanucrobotics.com/ [2012, February 15]

[19] Robert Bosch. Bosch Delta Robot [Online]. Available from : http://www.boschpackaging.com/ [2012, February 15]

[20] Asyril. Asyril Delta Robot [Online]. Available from : http://www.asyril.ch/ [2012, February 15]

[21] Adept Technology, Inc. Adept Delta Robot [Online]. Available from : http://www.adept.com/ [2012, February 15]

[22] Force Dimension. Force Dimension Delta Robot [Online]. Available from : http://www.forcedimension.com/ [2012, February 15]

[23] Laribi, M.A., Romdhane, L., and Zeghloul, S. Analysis and dimensional synthesis of the DELTA robot for a prescribed workspace, Mechanism and Machine Theory, Vol. 42, July 2007, pp. 859–870.

[24] Zsombor-Murray, P.J. Descriptive Geometric Kinematic Analysis of Clavel's "Delta" Robot, Centre of Intelligent Machines, McGill University, Canada, 2004.

[25] Lopez, M., Castillo, E., Garcıa, G., and Bashir, A. Delta robot: inverse, direct, and intermediate Jacobians, Proceedings of the IMECHE Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 220, January 2006, pp. 103-109.

[26] Miller, K. Experimental verification of modeling of DELTA robot dynamics by direct application of Hamilton's principle, Robotics and Automation Proceedings, Vol. 1, May 1995, pp. 532 – 537.

[27] Staicu, St. Dynamic analysis of Clavel's Delta parallel robot, Robotics and Automation Proceedings, Vol. 3, September 2003, pp. 4116- 4121.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ที่ใช้

ก.1 มอเตอร์

ในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้เป็นมอเตอร์ของแม็กซ่อน ดังรูปที่ ก.1 โดยมอเตอร์รุ่นนี้ ต้องการไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ และสามารถให้กำลัง 6 วัตต์

รูปที่ ก.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ก.2 ตัววัดระยะ

ในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้ตัววัดระยะยี่ห้อโคโย (Koyo) รุ่น TRD-SH2500 ดังรูปที่ ก.2 และข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ ก.1

รูปที่ ก.2 ตัววัดระยะ

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลจำเพาะของตัววัดระยะ

Source voltage	Output	Output type	Pulse/revolution
4.75 to 5.25 VDC	2 phase with home position in forward operation	Line driver output	2500

ก.3 ตัวขับมอเตอร์

เนื่องจากในการควบคุมมอเตอร์ผ่านระบบพลัสวิด เพราะฉะนั้นส่วนที่ใช้ขับมอเตอร์จึงจำเป็นต้องเป็นส่วนที่รองรับการสั่งงานชนิดนี้ โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้ชิป VNH2SP30 ซึ่งมีหน้าตาดังรูปที่ ก.3 และข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ ก.2

รูปที่ ก.3 ตัวขับมอเตอร์

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลจำเพาะของตัวขับมอเตอร์

$R_{DS(on)}$	I_{out}	V_{ccmax}	Max PWM
19 mΩ	30 A	41 V	20 kHz

ก.4 การ์ดรับค่าตัววัดระยะ

ในวิทยานิพนธ์ จะใช้ การ์ด PCI-8133 มาใช้ในการรับค่าของตัววัดระยะ โดยการ์ดจะมีลักษณะดังรูป ก.4 โดยการ์ดใบนี้สามารถที่จะรับสัญญาณจากตัววัดระยะได้ทั้งสามชุด นอกจากนี้

ในการ์ดใบนี้สามารถที่จะควบคุมความกว้างสัญญาณลูกคลื่นได้อีกสามช่อง และยังมีช่องเสริมสำหรับรับส่งสัญญาณอนาล็อกอีกด้วย

รูปที่ ก.4 การ์ดรับค่าตัวรัดระยะ

ก.5 เครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือ

รูปที่ ก.5 เครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือ

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเครื่องสร้างสัญญาณลูกคลื่นด้วยมือเข้ามาใช้ในการขยับหุ่นยนต์ทั้งในการทดสอบเบื้องต้น การทดสอบความละเอียด หรือแม้กระทั่งในการทดสอบการใช้งานจริง

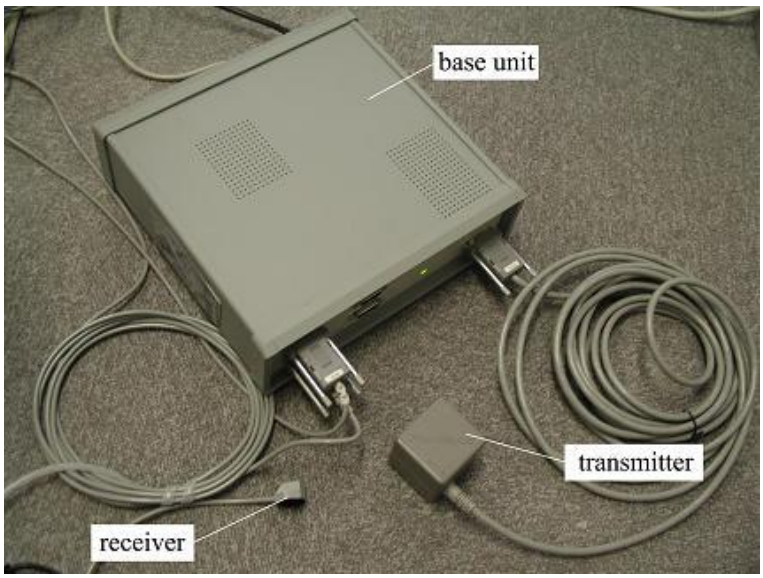
เนื่องจากเครื่องกำเนิดเป็นเครื่องมือที่สามารถที่จะระบุให้เครื่องได้ทีละแกน และสามารถที่จะปรับความละเอียดของการเคลื่อนที่ได้ จึงทำให้เครื่องมือนี้ เหมาะในการนำมาใช้งานทดสอบดังกล่าว โดยหน้าตาของเครื่องมือที่ใช้จะเป็นดังรูปที่ ก.5

ก.6 เครื่องวัดตำแหน่งสามมิติ

เครื่องมือที่ใช้วัดตำแหน่งในพิกัดสามมิติจะประกอบไปด้วยสามส่วนหลักคือ ส่วนประมวลผล ตัวส่งสัญญาณ และตัวรับสัญญาณ โดยอาศัยหลักการทำงานของคลื่นวิทยุ ที่จะส่งออกจากตัวส่งสัญญาณ จากนั้นเมื่อตัวรับสัญญาณสามารถรับสัญญาณได้ ก็จะส่งข้อมูลไปยังส่วนประมวลผล จากนั้นจึงสามารถคำนวณค่าตำแหน่งของตัวรับได้ โดยเทียบจากพิกัดจากตัวส่งสัญญาณ เครื่องมือวัดตำแหน่งสามมิติที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้ของบริษัทโพลฮีมัส ซึ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ ก.6 และข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องมือวัดตำแหน่งสามมิติ

Degrees-of-Freedom	6DOF
Number of Sensors	1-4
Update Rate	120 Hz (divided by number of sensors)
Static Accuracy Position	0.5 mm (RMS)
Static Accuracy Orientation	0.15° (RMS)
Latency	4ms
Resolution Position at 30 cm range	Resolution Position per inch of source and sensor separation
Resolution Orientation	0.025°
Range from Standard TX2 Source	Up to 5 feet or 1.52 meters
Extended Range Source	Up to 15 feet or 4.6 meters
Interface	RS-232 or USB (both included)
Host OS compatibility	GUI/SDK XP/Vista/Win7 (32-bit and 64-bit) Linux: Open-source application available



รูปที่ ก.6 เครื่องมือวัดตำแหน่งสามมิติ

ก.7 กล้องถ่ายภาพ

ในการทดสอบของวิทยานิพนธ์นี้ ได้มีการนำกล้องถ่ายรูปเข้าใช้เพื่อใช้ในการเก็บผล โดยกล้องที่ใช้ทั้งหมดจะมีสองชนิด คือ กล้องเวปแคมกับกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล โดยกล้องทั้งสองจะมีหน้าตาดังรูปที่ ก.7

a) กล้องแวปแคม	b) กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล

รูปที่ ก.7 กล้องดิจิตอล

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนภสร โกวรรธนะกุล เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2531 จังหวัดกรุงเทพมหานคร เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2548 และสำเร็จการศึกษาและได้รับพระราชทานปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลในปีการศึกษา 2552 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2555 โดยมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ ดังต่อไปนี้

N. Kowathanakul, J. Kananai, and R. Chancharoen. “Control of a Telemanipulator using Freehand and Force/Visual Feedback”, The Proceeding of the 3rd TSME International Conference on Mechanical Engineering, October 2012, Chiang Rai, Thailand

N. Kowathanakul, J. Kananai, and R. Chancharoen. “Design and Control of a Chula Parallel Delta Robot”, The Proceeding of the 2012 TRS Conference on Robotics and Industrial Technology, November 2012, Bangkok, Thailand

N. Kowathanakul, P. Suphama, and R. Chancharoen. “Performance of a millimeter manipulation on a telepresence Delta”, The Proceeding of the 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering, October 2013, Pattaya, Thailand