หุ่นยนต์สำรวจ 6 ขา

HEXAPOD ROBOT

ไชยภัทร จันทร์บุ

ณัฏฐชัย ไชยชมภู

ภักดิ์ภูมิ เครือเงิน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

หุ่นยนต์สำรวจ 6 ขา

HEXAPOD ROBOT

ไชยภัทร จันทร์บุ

ณัฏฐชัย ไชยชมภู

ภักดิ์ภูมิ เครือเงิน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEXAPOD ROBOT

CHAIYAPHAT JANBU

NATTACHAI CHAICHOMPHU

PHAKPHUM KUANGOEN

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์สำรวจ 6 ขา

HEXAPOD ROBOT

ผู้จัดทำ นายไชยภัทร จันทร์บุ 58010308

นายณัฏฐชัย ไชยชมภู 58010355

นายภักดิ์ภูมิ เครือเงิน 58010940

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สังวาล บกสุวรรณ)

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์สำรวจ 6 ขา

โดย

นายไชยภัทร จันทร์บุ 58010308

นายณัฏฐชัย ไชยชมภู 58010355

นายภักดิ์ภูมิ เครือเงิน 58010940

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สังวาล บกสุวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการออกแบบและประดิษฐ์หุ่นยนต์ 6 ขา (Hexapod Robot) สั่งการผ่านสัญญาณวิทยุด้วยรีโมท โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับสมการแขนกล และประยุกต์ใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ เดินหน้า เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา การเคลื่อนที่อิสระรอบแกนได้ ซึ่งเคลื่อนที่จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEXAPOD ROBOT

By

Mr. Chaiyaphat Janbu 58010308

Mr. Nattachai Chaichomphu 58010355

Mr. Phakphum Kuangoen 58010940

Advisors

Asst. Prof. Dr. Sungwan Boksuwan

Asst. Prof. Sumit Panaudomsup

Academic Year 2018

ABSTRACT

This project aims to design and build the prototype of six-legged robot (Hexapod Robot) controlled via radio signal from remote control. The purposes are to study about robot arm equation and apply to robotic movements. The movements include forward, backward, turn left, turn right and freely-suspended body to move. The Hexapod Robot can be controlled by equation-based control.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยการให้ความดูแลและให้คำแนะนำของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สังวาล บกสุวรรณ และผู้ช่วยศาสตราจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการจัดทำโครงงานนี้ ที่คอยชี้แนะแนวทางปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ และให้ความกรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่รวมถึงอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์ที่อนุเคราะห์ช่วยเหลือ และขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยอบรม สั่งสอนชี้แนะแนวทางที่ดีแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือและแก้ปัญหาในการทำงาน

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา และครอบครัวญาติพี่น้อง ที่คอยอยู่ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนในหลายๆ อย่าง ทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้จนมาเป็นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้จัดทำ
นายไชยภัทร จันทร์บุ
นายณัฏฐชัย ไชยชมภู
นายภักดิ์ภูมิ เครือเงิน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 วิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หุ่นยนต์	4
2.2 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	5
2.3 กฎของหุ่นยนต์	5
2.4 ข้อต่อ	6
2.5 ตำแหน่งและการกำหนดทิศทางของวัตถุแข็งเกร็ง	7
2.6 การอธิบายตำแหน่ง	7
2.7 การอธิบายการกำหนดทิศทาง	8
2.8 รูปแบบมุมของออยเลอร์	9
2.9 ตัวแปรเดนาวิทและฮาร์เทนเบิร์ก	11
2.10 จลนศาสตร์สำหรับหุ่นยนต์	14
2.10.1 การวิเคราะห์ตำแหน่งแบบผันตรง	15
2.10.2 การวิเคราะห์ตำแหน่งแบบผกผัน	15
2.11 High-Torque MG996R Digital Servo	16
2.12 Arduino	17
2.13 NRF24L01	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.14 Power Supply	18
2.15 Joystick Shield Expansion Board for Arduino	19
บทที่ 3 การออกแบบและแนวคิดการเขียนโปรแกรม	20
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	21
4.1 โครงสร้างหุ่นยนต์	21
4.2 ส่วนประกอบทางไฟฟ้า	21
4.3 สมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	22
4.4 การออกแบบ	24
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ	26
5.1 การดำเนินงานจัดทำปริญญานิพนธ์	26
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขปัญหา	26
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	27
เอกสารอ้างอิง	28
ภาคผนวก	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเคลื่อนที่เชิงเส้น	5
2.2 การเคลื่อนที่เชิงมุม	5
2.3 การประยุกต์ใช้แขนกล	6
2.4 ข้อต่อแบบต่างๆ	6
2.5 เฟรมอ้างอิงคงที่และเฟรมเคลื่อนไหว	7
2.6 การหมุนรอบแกน Z	9
2.7 การหมุนรอบแกน Y บนแกน Y’	9
2.8 การหมุนรอบแกน Z บนแกน Z”	10
2.9 ก้านต่อแบบอนุกรม	12
2.10 การเชื่อมต่อกันของเฟรมเมื่อข้อต่อแต่ละข้อต่อเป็นแบบหมุน	12
2.11 จลนศาสตร์ผันตรงและจลนศาสตร์ผกผัน	14
2.12 High-Torque MG996R Digital Servo	16
2.13 Arduino Uno R3	17
2.14 Arduino MEGA 2560	17
2.15 NRF24L01	18
2.16 Power Supply	18
2.17 Joystick Shield Expansion Board for Arduino	19
4.1 โครงสร้างหุ่นยนต์ 6 ขา	21
4.2 การต่อวงจรทางไฟฟ้า	21
4.3 การเคลื่อนที่ทางโค้ง	22
4.4 ส่วนประกอบของขาหุ่นยนต์แต่ละขา	23
4.5 แบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ 6 ขา ด้านหน้า ด้านบน และทั้งตัว	24
4.6 แบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ 6 ขา	24
4.7 แบบโครงสร้างส่วนขาของหุ่นยนต์ 6 ขา	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แผนการดำเนินงาน 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันถือได้ว่าเป็นสังคมแห่งการพัฒนา และการเรียนรู้แบบเปิด ซึ่งมีหลากหลายภาคแขนงวิชาที่กำลังคิดริเริ่มสร้างสิ่งใหม่ ซึ่งเป็นการรวบรวมองค์ความรู้หลายอย่างเข้าด้วยกันทั้งทางด้านเทคโนโลยี การสื่อสาร การคมนาคม และยังรวมไปถึงเทคโนโลยีหุ่นยนต์ที่กำลังเข้ามามีบทบาทในชีวิตมนุษย์ในด้านต่างๆ เช่น ด้านอุตสาหกรรมการผลิต ด้านการสำรวจ ด้านการแพทย์ และอนาคตหุ่นยนต์จะสามารถทำงานแทนมนุษย์ได้หลากหลายอย่างมากขึ้น เพื่อเพิ่มศักยภาพในแต่ละสายงานทั้งในด้านความรวดเร็ว ความปลอดภัย และการลดภาระค่าใช้จ่ายของภาคอุตสาหกรรม

นอกจากนี้ระบบอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในสถานที่ต่างๆ จะมีเทคโนโลยีที่ได้รับมาจากต่างประเทศมากมาย จึงทำให้อยากริเริ่มที่จะต่อยอดจากองค์ความรู้ที่มีอยู่ให้เกิดศักยภาพเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นของประเทศไทยเอง และสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ให้เกิดประโยชน์ได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาและสร้างสมการการเดินของหุ่นยนต์ 6 ขาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. เพื่อใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม และออกแบบอัลกอริทึมเพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้คล่องตัวมากขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ออกแบบหุ่นยนต์ให้มีน้ำหนักเบาและใช้ Servo Motor ที่มีแรงบิดสูง
2. สามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ รวมถึงการนำสมการไปเขียนโปรแกรมหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ตามสมการได้
3. หุ่นยนต์ที่ออกแบบเป็นขนาดจำลองเพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีดำเนินงาน

1. วางแผนการดำเนินงาน
2. ศึกษาโครงสร้างทางกลของหุ่นยนต์ 6 ขา
3. ออกแบบระบบการทำงานและจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ด้วยโปรแกรม Solidwork
4. สร้างชิ้นส่วนด้วยเครื่องพิมพ์สามมติและประกอบหุ่นยนต์
5. ศึกษาการใช้งาน Arduino สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์
6. ศึกษาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นต้องใช้ในโครงงาน
7. ออกแบบสมการที่ใช้ควบคุมการเดินของหุ่นยนต์
8. ปรับแก้ทั้งส่วนของโปรแกรม และโครงสร้างทางกล (Mechanics) ให้ทำงานควบคู่กันไปได้อย่างเหมาะสม
9. ทดสอบการทำงาน
10. จัดทำสรุปโครงงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ออกแบบตัวหุ่นยนต์6ขาให้มีน้ำหนักเบา
2. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้
3. ออกแบบสมการการเดินของหุ่นยนต์ใหม่ให้สามารถเดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายใต้ขอบเขตของโครงงาน
4. สามารถสร้างหุ่นยนต์ 6 ขาที่มีราคาประหยัดภายใต้งบประมาณและเวลาที่กำหนด

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2561					2562			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาทฤษฎีและหาข้อมูลต่างๆ	←	→							
2. ศึกษาการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์		←	→						
3. ออกแบบตัวหุ่นยนต์และสร้างชิ้นส่วนของหุ่นยนต์ด้วย 3D Printer		←	—	—	→				
4. ปรับแก้ตัวหุ่นยนต์ที่ออกแบบให้มีน้ำหนักลดลง				←	→				
5. ศึกษาการเขียนโปรแกรม สั่งงานอุปกรณ์ต่างๆ รวมไปถึงการคิดสมการในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์				←	—	—	—	—	→
6. ตรวจสอบและปรับแก้การทำงานของหุ่นยนต์									↔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หุ่นยนต์

หุ่นยนต์คือ เครื่องยนต์ชนิดหนึ่งที่มีลักษณะโครงสร้างและรูปร่างแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ หุ่นยนต์ในแต่ละประเภทจะมีหน้าที่การทำงานในด้านต่างๆ ตามการควบคุมโดยตรงของมนุษย์ หรืออาจมีการตั้งค่าให้หุ่นยนต์สามารถตัดสินใจได้เองในระดับใดระดับหนึ่ง การควบคุมระบบต่างๆ ในการสั่งงานระหว่างหุ่นยนต์และมนุษย์สามารถทำได้โดยทางอ้อมและอัตโนมัติ โดยทั่วไปหุ่นยนต์ถูกสร้างขึ้นเพื่อสำหรับงานที่มีความยากลำบากหรืออันตราย เช่น งานสำรวจในพื้นที่บริเวณแคบ งานสำรวจในบริเวณที่เกิดภัยพิบัติ หรืองานสำรวจบนผิวของดวงจันทร์หรือดาวเคราะห์ต่างๆ ปัจจุบันเทคโนโลยีของหุ่นยนต์เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วหุ่นยนต์เริ่มเข้ามามีบทบาทกับชีวิตของมนุษย์ในหลากหลายด้าน เช่น ด้านอุตสาหกรรมการผลิต ด้านการแพทย์ ด้านงานสำรวจทั้งในโลกและงานสำรวจในอวกาศ หรือด้านการบันเทิง เช่น หุ่นยนต์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องเล่นของมนุษย์ ปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้หุ่นยนต์นั้นมีลักษณะที่คล้ายมนุษย์มากขึ้น เพื่อผลทางจิตวิทยาในการอาศัยอยู่ร่วมกันกับมนุษย์ในชีวิตประจำวัน

สำหรับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็นสามส่วนที่สำคัญคือ ส่วนแรกจะเป็นส่วนของหลักการพื้นฐานของหุ่นยนต์ชนิดของหุ่นยนต์ ลำดับขั้นความเป็นอิสระและการบังคับของวัตถุเกร็ง ตลอดจนถึงการคำนวณหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์แขนกลและการหาตำแหน่งของวัตถุและตำแหน่งเป้าหมายในแกนสามมิติโดยใช้จลนศาสตร์ผกผัน ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของ ทฤษฎีการประมวลผลภาพเพื่อนำไปใช้ในการหาตำแหน่งของวัตถุและตำแหน่งของเป้าหมาย และส่วนที่สามจะเป็นส่วนของทฤษฎีการควบคุม โดยวิธีการเรียนรู้แบบทำซ้ำชนิดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

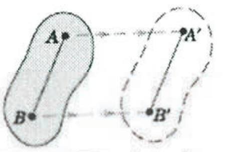
หุ่นยนต์อาจถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการใช้งาน คือ 1. หุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Robot) เป็นหุ่นยนต์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนได้ด้วยตัวเอง มีลักษณะเป็นแขนกลสามารถขยับและเคลื่อนไหวได้เฉพาะแต่ละข้อต่อภายในตัวเองเท่านั้นมักนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานประกอบรถยนต์ 2. หุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Robot) หุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทนี้จะแตกต่างจากหุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่เพราะสามารเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนได้ด้วยตัวเอง โดยการใช้ล้อหรือการใช้ขา

2.2 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

การเคลื่อนที่เชิงเส้น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่เชิงเส้น

การเคลื่อนที่เชิงมุม ดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่เชิงมุม

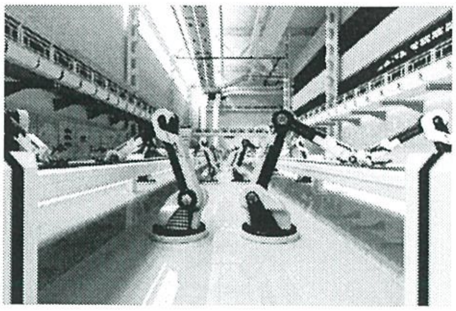
2.3 กฎของหุ่นยนต์

กฎของหุ่นยนต์ตั้งขึ้นโดย ไอแซค อซิมอฟ เพื่อใช้กับหุ่นยนต์ในนิยายวิทยาศาสตร์ของเขา โดยกฎเหล่านี้ไม่ได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับหุ่นยนต์ในชีวิตจริงแต่อย่างใดได้แก่

1. หุ่นยนต์จะต้องไม่ทำร้ายมนุษย์ หรืออยู่นิ่งเฉยปล่อยให้ผู้ที่เป็นมนุษย์ตกอยู่ในอันตรายได้
2. หุ่นยนต์ต้องเชื่อฟังคำสั่งที่ได้รับจากมนุษย์ ยกเว้นคำสั่งที่ขัดแย้งกับกฎข้อแรก
3. หุ่นยนต์จะต้องปกป้องการดำรงคงอยู่ของตัวตนไว้ตราบเท่าที่การปกป้องนั้นมิได้ขัดแย้งต่อกฎข้อแรกและกฎข้อที่สอง

หุ่นยนต์ที่พิจารณาในเรื่องการวางแผนการเคลื่อนที่นั้นถูกจำกัดว่าเป็นวัตถุชิ้นเดียว เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ แต่ในความเป็นจริงโดยทั่วไปหุ่นยนต์ประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนต่างๆ หลายชิ้นที่เคลื่อนที่สัมพันธ์กันนอกเหนือจากหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ ยังมีหุ่นยนต์อีกประเภทที่พบเห็นได้ในโรงงานประกอบชิ้นส่วน นั่นคือแขนกล ปัจจุบันแขนกลได้มีบทบาทข้ามขอบเขตของโรงงานเข้ามาในชีวิตของเราในแง่อื่นๆ เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

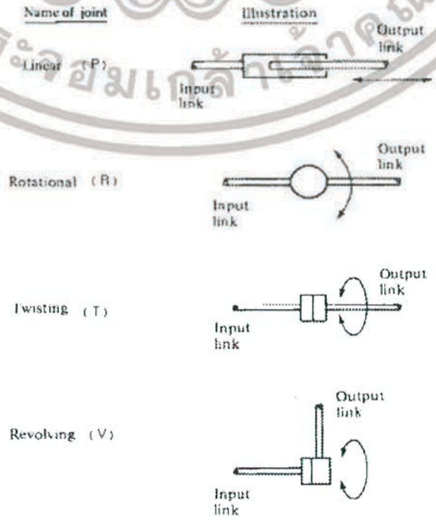


รูปที่ 2.3 การประยุกต์ใช้แขนกล

2.4 ข้อต่อ

แขนกลคือ หุ่นยนต์ที่ประกอบไปด้วยท่อนแขน (Link) ที่นำมาประกอบกันด้วยข้อต่อ (Joint) ข้อต่อมีหลายแบบ แต่ละแบบก็จะอนุญาตให้เกิดการเคลื่อนที่ของท่อนแขนที่แตกต่างกันไป จากรูปที่ 2.4 แสดงข้อต่อแบบต่างๆ ที่นิยมใช้ ลองพิจารณาว่าข้อต่อแต่ละแบบบังคับการเคลื่อนที่ของท่อนแขนสองท่อนที่มาเชื่อมกัน

ในการสร้างแขนกล โดยทั่วไปข้อต่อที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ข้อต่อแบบหมุน (Revolving Joint) และข้อต่อแบบเลื่อน (Linear Joint) สำหรับข้อต่อแบบหมุน ท่อนแขนสองท่อนถูกยึดติดกันที่จุดหมุนซึ่งอยู่บนท่อนแขน โดยแต่ละท่อนสามารถหมุนได้รอบจุดหมุน สามารถบอกตำแหน่งของสองท่อนแขนที่สัมพันธ์กันด้วยมุมที่ท่อนแขนหมุนไป ส่วนข้อต่อแบบเลื่อนนั้น ท่อนแขนสองท่อนติดอยู่ด้วยกันในลักษณะเดียวกันกับเสาอากาศวิทยุรถยนต์ที่ยืดหดได้ โดยท่อนแขนแต่ละท่อนสามารถเลื่อนเข้าออกได้ในหนึ่งทิศทาง สามารถระบุตำแหน่งที่สัมพันธ์กันของสองท่อนแขนได้จากระยะเลื่อนเข้าออกดังกล่าว

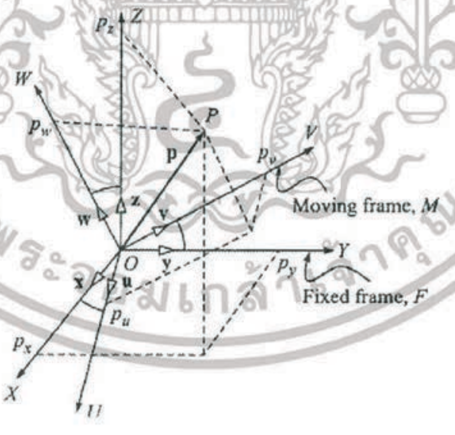


รูปที่ 2.4 ข้อต่อแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ตำแหน่งและการกำหนดทิศทางของวัตถุแข็งเกร็ง

การเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็งในพิกัดแกนคาร์ทีเซียนแบบสามมิติ ประกอบไปด้วยการเคลื่อนที่แบบเลื่อนและแบบหมุน ซึ่งการเคลื่อนที่แบบเลื่อนของวัตถุแข็งเกร็งจะถูกกำหนดโดยการใช้พิกัดคาร์ทีเซียน 3 แกน แต่การเคลื่อนที่แบบหมุนของวัตถุแข็งเกร็งจะถูกกำหนดโดยพิกัดเชิงมุม 3 แกน ดังนั้นกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็งสามารถกำหนดได้โดยใช้พิกัดทั้งหมด 6 แกน สำหรับการศึกษาทางด้านจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นสำคัญคือ ตำแหน่งและการกำหนดทิศทางของชิ้นส่วนต่างๆ โดยที่ชิ้นส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์นี้จะประกอบไปด้วยก้านต่อและชิ้นงานที่ประกอบเป็นโครงสร้างของหุ่นยนต์ โดยการระบุตำแหน่งและกำหนดทิศทางของแต่ละชิ้นส่วนนั้น พิกัดอ้างอิงแบบคงที่หรือที่เรียกว่า เฟรมแบบคงที่จะถูกกำหนด และระบบพิกัดคาร์ทีเซียนจะถูกกำหนดไว้ที่ชิ้นส่วนของหุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหว โดยพิกัดคาร์ทีเซียนนี้จะใช้อธิบายถึงตำแหน่งและทิศทางของชิ้นส่วนนั้นๆ ตำแหน่งและการกำหนดทิศทางของวัตถุแข็งเกร็ง เมื่อเทียบกับระบบพิกัดอ้างอิงสามารถอธิบายโดยใช้พารามิเตอร์ที่เป็นอิสระต่อกันทั้งหมด 6 พารามิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยกำหนดให้ระบบพิกัด X-Y-Z เป็นแกนของเฟรมอ้างอิงคงที่ (Fixed Reference Frame) และระบบพิกัด U-V-W ที่ถูกกำหนดไว้ที่ชิ้นส่วนของหุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหวจะเป็นแกนของเฟรมเคลื่อนไหว (Moving Frame) ดังนั้นสามารถพิจารณาได้ว่าสามารถทราบตำแหน่งของวัตถุแข็งเกร็งได้ถ้าทราบตำแหน่งของเฟรมเคลื่อนไหวเมื่อเทียบกับเฟรมอ้างอิงคงที่



รูปที่ 2.5 เฟรมอ้างอิงคงที่และเฟรมเคลื่อนไหว

2.6 การอธิบายตำแหน่ง

ตำแหน่งของจุด P ใดๆ ที่อยู่บนวัตถุแข็งเกร็งเมื่อพิจารณาเทียบกับเฟรมอ้างอิงคงที่สามารถอธิบายได้ โดยใช้เวกเตอร์คาร์ทีเซียน 3 มิติหรือเวกเตอร์ p ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ถ้าพิกัดของจุด P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือส่วนประกอบของเวกเตอร์ p ในเฟรมคงที่ F คือ p_x, p_y และ p_z สามารถเขียนแสดงแทนจุด P ในลักษณะเวกเตอร์ได้ว่า

$$[p]_F = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix}$$

ตัวอักษร F แสดงถึงเฟรมอ้างอิงเมื่ออ้างถึงเวกเตอร์ p และตัวอักษร x, y, z แสดงถึงตำแหน่งของเวกเตอร์ p ที่ถูกฉายลงบนแกน X แกน Y และแกน Z ของเฟรมอ้างอิงคงที่ตามลำดับ ดังนั้นเวกเตอร์ p สามารถเขียนได้ในอีกรูปแบบหนึ่งว่า $\mathbf{p} = p_x\mathbf{x} + p_y\mathbf{y} + p_z\mathbf{z}$

โดยที่ x, y, z, แทนเวกเตอร์หนึ่งหน่วยบนแนวแกน X แกน Y แกน Z ของเฟรมคงที่ F ตามลำดับ

2.7 การอธิบายการกำหนดทิศทาง

ในการอธิบายถึงการกำหนดทิศทางหรือการหมุนของวัตถุแข็งเกร็งนั้น จะต้องพิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของเฟรมเคลื่อนไหว M เทียบกับเฟรมคงที่ F เมื่อกำหนดให้มีจุดคงที่หนึ่งจุดคือ จุดกำเนิด O ดังแสดงในรูปที่ 2.5 กำหนดให้ u, v และ w คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่ชี้ไปทิศของแกน U แกน V และแกน W ของเฟรมเคลื่อนไหว M ตามลำดับ และเนื่องจากเวกเตอร์หนึ่งหน่วย u, v และ w แสดงตำแหน่งที่ระยะทางหนึ่งหน่วยจากจุดกำเนิดไปตามแกนของเฟรมเคลื่อนไหว M ดังนั้นเมื่อฉายเวกเตอร์หนึ่งหน่วยนี้ลงบนแกน X แกน Y และแกน Z ของเฟรมคงที่ F สามารถเขียนแสดงได้ดังนี้

$$\mathbf{u} = u_x\mathbf{x} + u_y\mathbf{y} + u_z\mathbf{z}$$

$$\mathbf{v} = v_x\mathbf{x} + v_y\mathbf{y} + v_z\mathbf{z}$$

$$\mathbf{w} = w_x\mathbf{x} + w_y\mathbf{y} + w_z\mathbf{z}$$

เมื่อ u_x, u_y และ u_z คือ ส่วนประกอบของเวกเตอร์หนึ่งหน่วย u ตามแนวแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ ซึ่ง v_x, v_y v_z และ w_x, w_y และ w_z สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน เพราะฉะนั้นจุด P ใดบนวัตถุแข็งเกร็ง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 นั้นสามารถแสดงได้ในรูปแบบของเวกเตอร์บนเฟรมเคลื่อนไหว M ได้ดังนี้

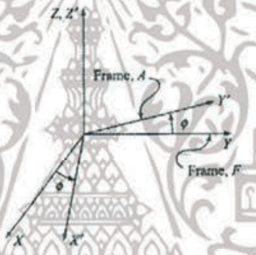
$$\mathbf{p} = p_u\mathbf{u} + p_v\mathbf{v} + p_w\mathbf{w}$$

เมื่อ p_u, p_v และ p_w เป็นส่วนประกอบของเวกเตอร์ $\boldsymbol{p}$ บนแกน U แกน V และแกน W ของเฟรมเคลื่อนไหว M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 รูปแบบมุมของออยเลอร์

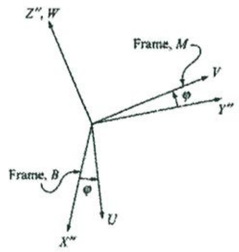
การกำหนดทิศทางโดยใช้รูปแบบมุมออยเลอร์นี้ จะสร้างการกำหนดทิศทางจากการหมุนแกนพื้นฐานทั้งสามแกน เมื่อเทียบกับแกนของเฟรมปัจจุบัน รูปแบบมุมออยเลอร์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด 12 รูปแบบที่แสดงลำดับของการหมุนแกนพื้นฐานทั้งสามแกนคือ XYZ, XZY, XZX, XYX, YXZ, YZX, YXY, YZY, ZXY, ZYZ, ZXZ, และ ZYX และการหมุนแกนแบบลำดับ ZYZ ถูกเลือกมาใช้ในการแสดงรูปแบบมุมออยเลอร์ ซึ่งจะมีลักษณะการหมุนดังนี้คือ เฟรมคงที่ F จะถูกหมุนครั้งที่หนึ่งรอบแกน Z จะได้เฟรมของการหมุนครั้งนี้เป็นเฟรม A จากนั้นจะหมุนอีกเป็นครั้งที่สองรอบแกน Y ซึ่งคือ แกน Y’ ของเฟรม A และจะได้เฟรมของการหมุนครั้งที่สองนี้เป็นเฟรม B และจะหมุนเป็นครั้งที่สามรอบแกน Z ซึ่งคือ แกน Z” ของเฟรม B และจะได้เฟรมของการหมุนครั้งสุดท้ายคือ เฟรม M ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ถึงรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.6 การหมุนรอบแกน Z

รูปที่ 2.7 การหมุนรอบแกน Y บนแกน Y’

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การหมุนรอบแกน Z บนแกน Z”

กำหนดให้ ϕ, θ และ φ เป็นมุมของการหมุนรอบแกน Z แกน Y’ และแกน Z” ตามลำดับ ดังนั้นมุมของการหมุนทั้งหมดสามครั้งสามารถเขียนแสดงได้ดังต่อไปนี้

หมุนครั้งที่ 1 โดยการหมุนเฟรมคงที่ F ไปเป็นมุม ϕ โดยหมุนรอบแกน Z ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และเมทริกซ์การหมุน Q_z ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

$$Q_z = \begin{bmatrix} cos\phi & -sin\phi & 0 \\ sin\phi & cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

หมุนครั้งที่ 2 โดยการหมุนเฟรม A ไปเป็นมุม θ โดยหมุนรอบแกน Y’ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งเมทริกซ์การหมุน $Q_{Y'}$ เขียนได้เป็น

$$Q_{Y'} = \begin{bmatrix} cos\theta & 0 & sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -sin\theta & 0 & cos\theta \end{bmatrix}$$

หมุนครั้งที่ 3 โดยการหมุนเฟรม B ไปเป็นมุม φ รอบแกน Z” ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และเมทริกซ์การหมุน $Q_{Z''}$ สามารถเขียนแสดงได้เป็น

$$Q_{Z''} = \begin{bmatrix} cos\varphi & -sin\varphi & 0 \\ sin\varphi & cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เมทริกซ์การหมุนที่แสดงผลลัพธ์จากการหมุนทั้งหมดจนถึงเฟรม M นั้นเขียนแทนด้วย Q ซึ่งประกอบด้วยเมทริกซ์การหมุนทั้งสามคือ Q_Z, $Q_{Y'}$ และ $Q_{Z''}$ และสามารถคำนวณได้จากการนำเมทริกซ์ทั้งสามมาคูณกันตามลำดับก่อนหลังดังนี้

$$Q = Q_z Q_{Y'} Q_{Z''}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

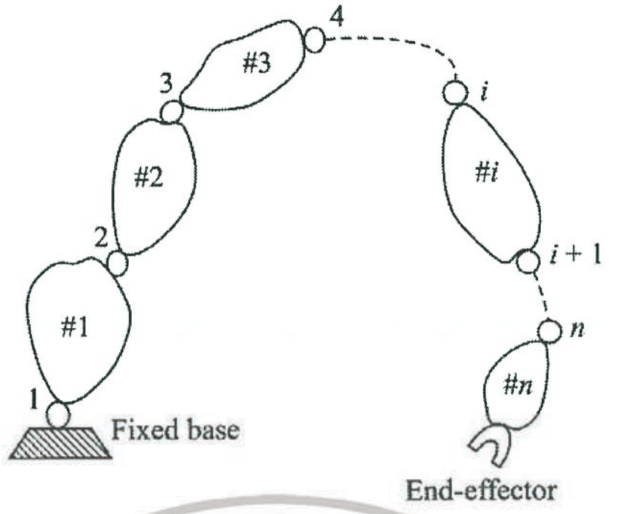
และสมาชิกในเมทริกซ์ Q สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q = \begin{bmatrix} C\phi C\theta C\varphi - S\phi S\varphi & -C\phi C\theta S\varphi - S\phi C\varphi & C\phi S\theta \\ S\phi C\theta C\varphi + C\phi S\varphi & -S\phi C\theta S\varphi + C\phi C\varphi & S\phi S\theta \\ -S\theta C\varphi & S\phi S\theta & C\theta \end{bmatrix}$$

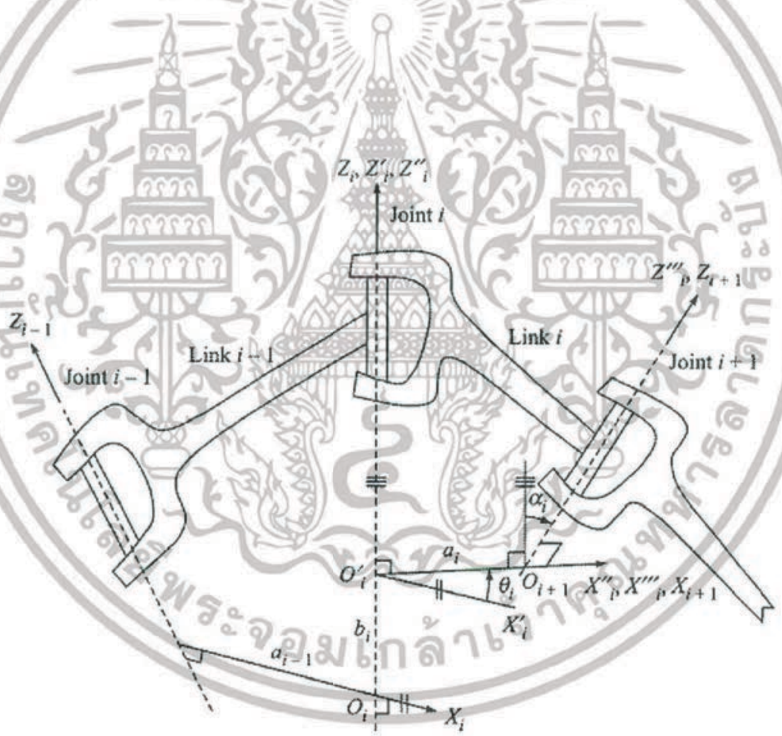
2.9 ตัวแปรเดนาวิทและฮาร์เทนเบิร์ก (Denavit and Hartenberg Parameter)

ตัวกระทำการของหุ่นยนต์นั้นประกอบด้วยก้านต่อหลายๆ ก้านต่อมาเชื่อมเข้าด้วยกัน โดยส่วนมากจะถูกเชื่อมต่อโดยใช้ข้อต่อที่มีลำดับขั้นความเป็นอิสระเท่ากับหนึ่งคือ ข้อต่อแบบหมุนและข้อต่อแบบเลื่อน ในกรณีที่ต้องการควบคุมส่วนปลายสุดของหุ่นยนต์เมื่อเทียบกับส่วนฐานของหุ่นยนต์นั้นจำเป็นที่จะต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดของเฟรมที่ส่วนปลายสุดและพิกัดของเฟรมที่ส่วนฐาน ซึ่งความสัมพันธ์นี้สามารถหาได้จากวิธีการแปลงรูปพิกัดระหว่างพิกัดของเฟรมที่ทุกๆ ก้านต่อของหุ่นยนต์ แล้วนำทั้งหมดมาจัดรูปในลักษณะย้อนกลับ ดังนั้นกระบวนการวิธีที่ได้อธิบายไปในหัวข้อที่ผ่านมาในการหาตำแหน่ง และการกำหนดทิศทางของวัตถุแข็งเกร็ง จึงมีประโยชน์อย่างมากในการหาส่วนประกอบของการแปลงรูปพิกัดระหว่างเฟรมที่อยู่ติดกัน ในขั้นตอนแรก วิธีการโดยทั่วไปจะต้องนิยามความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง และทิศทางของก้านต่อสองก้านต่อที่อยู่ติดกัน ดังนั้นปัญหาคือการหาเฟรมที่ก้านต่อสองก้านต่อที่อยู่ติดกัน และคำนวณการแปลงรูปพิกัดระหว่างเฟรมของก้านต่อทั้งสอง โดยทั่วไปการวางตำแหน่งของเฟรมจะวางที่ตรงไหนก็ได้ที่ก้านต่อที่พิจารณา ดังนั้นจึงมีกฎสำหรับการวางตำแหน่งของเฟรมของก้านต่อ โดยกฎที่ใช้ในที่นี้จะใช้สำหรับหุ่นยนต์แบบห่วงโซ่อนุกรม (Series Chain Robot) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยในรูปจะมีจำนวนก้านต่อทั้งหมด n+1 ก้านต่อ โดยแต่ละก้านต่อมีชื่อ ก้านต่อ #0 ก้านต่อ #1 จนถึงก้านต่อ #n และแต่ละก้านต่อจะถูกเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อซึ่งมีทั้งหมด n ข้อต่อคือ ข้อต่อที่ 1 จนถึงข้อต่อที่ n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ก้านต่อแบบอนุกรม



รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อกันของเฟรมเมื่อข้อต่อแต่ละข้อต่อเป็นแบบหมุน

พิจารณารูปที่ 2.10 กำหนดได้ดังนี้

1. กำหนดให้ i แสดงชื่อของแกนของข้อต่อที่เชื่อมระหว่างก้านต่อ i-1 กับก้านต่อ i

2. ระบบพิกัด X_i, Y_i, Z_i จะกำหนดให้อยู่ที่ส่วนปลายสุดของก้านต่อ i-1 ไม่ใช่ที่ก้านต่อ i สำหรับทุกค่า i ตั้งแต่ 1 จนถึง n+1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กำหนดแกน Z_i ให้อยู่ในแนวเดียวกับแกนของข้อต่อที่ i โดยทิศทางของแกนทางด้านบวกให้กำหนดไปทางเดียวกับทิศทางของแกน

4. กำหนดตำแหน่งของจุดกำเนิด O_i ที่จุดตัดของแกน Z_i กับก้านต่อที่เชื่อมระหว่างแกน Z_{i-1} กับแกน Z_i และกำหนดตำแหน่งของจุดกำเนิด O_i' บนแกน Z_i ที่จุดตัดของของแกน Z_i กับก้านต่อที่เชื่อมระหว่างแกน Z_i กับ Z_{i+1}

5. เลือกแกน X_i ให้อยู่ในแนวเดียวกับก้านต่อที่เชื่อมระหว่างแกน Z_{i-1}กับแกน Z_i โดยให้มีทิศทางจากก้านต่อแรกไปยังก้านต่อถัดไป

6. กำหนดแกน Y_i เพื่อทำให้เฟรมสมบูรณ์

แต่อย่างไรก็ตาม กฎที่กล่าวมานี้ไม่สามารถใช้ได้กับกรณีต่อไปนี้

1. สำหรับเฟรม 1 ที่อยู่ที่ฐานซึ่งคือ ที่ก้านต่อ #0 ให้กำหนดเฉพาะแกน Z1 ส่วนจุด O1 และแกน X1ให้เลือกที่ตำแหน่งใดก็ได้

2. สำหรับเฟรมสุดท้าย n+1 กฎที่กล่าวมาไม่สามารถใช้ได้เนื่องจากไม่มีก้านต่อ #n+1 ดังนั้นเฟรมn+1 จะเลือกที่ใดก็ได้

3. เมื่อมีแกนสองแกนที่ติดกันอยู่ในแนวขนานกัน ก้านต่อระหว่างสองแกนนี้ไม่สามารถกำหนดให้มีเพียงหนึ่งเดียวได้

4. เมื่อแกนสองแกนที่ติดกันอยู่ในลักษณะตัดกัน ทิศทางของแกน X_i จะกำหนดที่ใดก็ได้

5. เมื่อข้อต่อ i เป็นข้อต่อแบบเลื่อน จะพิจารณาเฉพาะทิศทางของแกน Z_i เท่านั้น ส่วนตำแหน่งของจุดกำเนิด O_i จะอยู่ที่ตำแหน่งใดก็ได้

จากกรณีที่กล่าวมาทั้งหมด สามารถทำกระบวนการหาตำแหน่งของเฟรมให้ง่ายขึ้น ยกตัวอย่างเช่น แกนของเฟรม n+1 สามารถกำหนดให้ขนานกับแกนของเฟรม n ได้เพื่อการคำนวณที่สะดวกขึ้น และเมื่อเฟรมของก้านต่อถูกสร้างขึ้นแล้ว ตำแหน่งและทิศทางของเฟรม i เมื่อเทียบกับเฟรม i-1 สามารถพิจารณาได้จาก ค่าพารามิเตอร์ทั้งสี่ค่าที่เรียกว่าค่าพารามิเตอร์ของเดนาวิทและฮาร์เทนเบิร์ก และเฟรมที่ถูกสร้างขึ้นเหล่านี้จะเรียกว่าเฟรม DH โดยที่พารามิเตอร์ DH ทั้ง 4 ค่ามีดังนี้

1. b_i (ค่าชดเชยของข้อต่อ) คือ ระยะห่างระหว่างจุด O_i กับจุด $O_{i'}$ ค่านี้คือ ตำแหน่งที่สัมพันธ์กันระหว่างก้านต่อ i กับก้านต่อ i-1 ซึ่งสามารถวัดได้จากระยะห่างระหว่างแกน X_i กับแกน X_{i+1} ตามแนวแกน Z_i

2. θ_i (มุมของข้อต่อ) คือ มุมระหว่างภาพฉายเชิงตั้งฉากของแกน X_i และแกน X_{i+1} ลงไปบนระนาบปกติของแกนข้อต่อ Z_i โดยมุมการหมุนจะเป็นบวกเมื่อมีการหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา โดยที่มุมที่ว่านี้คือมุมสัมพันธ์ระหว่างก้านต่อ i-1 กับก้านต่อ i ซึ่งวัดค่าได้มุมระหว่างแกน X_i กับแกน X_{i+1} รอบแกน Z_i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. a_i (ความยาวของก้านต่อ) คือ ความยาวระหว่างจุด O_i, กับจุด O_{i+1} ซึ่งค่านี้วัดได้จากระยะห่างระหว่างแกน Z_i กับแกน Z_{i+1} ตามแนวแกน X_{i+1}

4. α_i (มุมบิดเกลียว) คือ มุมระหว่างภาพฉายเชิงตั้งฉากของแกนข้อต่อ Z_i กับ Z_{i+1} ลงบนระนาบปกติของก้านต่อ ซึ่งจะเป็นการวัดมุมระหว่างแกน Z_i กับ Z_{i+1} รอบแกน X_{i+1} โดยที่มุมจะมีค่าเป็นบวกเมื่อมีการหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา

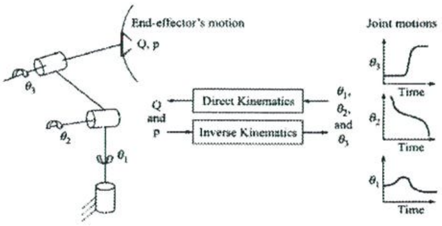
พารามิเตอร์ทั้งสี่ค่าที่กล่าวมานี้ถูกนิยามเป็นลำดับการเคลื่อนที่จากก้านต่อที่ i-1 ไปยังก้านต่อที่ i+1ผ่านทางก้านต่อที่ i โดยที่พารามิเตอร์สองตัวแรกคือ b_i และ θ_i แสดงถึงความสัมพันธ์ของตำแหน่งของก้านต่อ i-1 กับก้านต่อ i ในขณะที่พารามิเตอร์สองตัวหลังคือ a_i และ α_i ใช้อธิบายถึงขนาดและรูปร่างของก้านต่อ i ที่จะเป็นค่าคงที่เสมอ สำหรับพารามิเตอร์ b_i และ θ_i เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับชนิดของข้อต่อที่ใช้คือ

- θ_i จะเป็นตัวแปรถ้าข้อต่อ i เป็นข้อต่อแบบหมุน
- b_i จะเป็นตัวแปรถ้าข้อต่อ i เป็นข้อต่อแบบเลื่อน

สำหรับชนิดของข้อต่อที่พิจารณาไม่ว่าจะเป็นข้อต่อแบบหมุนหรือข้อต่อแบบเลื่อน หนึ่งในสี่ของพารามิเตอร์ DH จะเป็นตัวแปรที่เรียกว่า ตัวแปรข้อต่อ (Joint Variable) ส่วนอีกสามพารามิเตอร์ DH ที่เหลือจะเป็นค่าคงที่ที่เรียกว่า พารามิเตอร์ก้านต่อ (Link Parameters)

2.10 จลนศาสตร์สำหรับหุ่นยนต์

เนื่องจากตำแหน่งและทิศทางของส่วนปลายสุดของหุ่นยนต์ จะถูกพิจารณาจากตัวแปร 6 ตัวในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนที่ถูกควบคุมด้วยการเคลื่อนที่ของข้อต่อของหุ่นยนต์ ในการวิเคราะห์ตำแหน่งของหุ่นยนต์นั้น ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและทิศทางของส่วนปลายสุด ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนกับมุมของข้อต่อในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนจะถูกนำมาพิจารณา โดยจะมีพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ได้สองแบบคือ แบบผันตรงหรือโดยตรงกับแบบผกผันดังแสดงในรูปที่ 2.11 สำหรับจลนศาสตร์แบบผันตรงนั้น จะทราบตำแหน่งของข้อต่อและปัญหาคือ การหาตำแหน่งและทิศทางของส่วนปลายสุดของหุ่นยนต์ แต่สำหรับจลนศาสตร์แบบผกผันจะตรงข้ามกันคือ จะทราบหรือกำหนดตำแหน่งและทิศทางของส่วนปลายสุดของหุ่นยนต์และปัญหาคือ จะต้องหามุมของข้อต่อให้ได้



รูปที่ 2.11 จลนศาสตร์ผันตรงและจลนศาสตร์ผกผัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 การวิเคราะห์ตำแหน่งแบบผันตรง

ในการวิเคราะห์จลนศาสตร์แบบผันตรงสำหรับตำแหน่งนั้น ตำแหน่งของข้อต่อซึ่งก็คือมุมของข้อต่อแบบหมุนหรือระยะทางของข้อต่อแบบเลื่อนจะถูกกำหนดไว้ก่อนแล้ว ปัญหาก็คือการหาตำแหน่งและทิศทางของส่วนปลายสุด ซึ่งวิธีการวิเคราะห์นี้หาได้จากสมการที่จะอธิบายเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตามกฎที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.8 ในเรื่องตัวแปรของเดนาวิทและฮาร์เทนเบิร์กนั้น ให้วางพิกัดของเฟรมไว้ที่ทุกๆ ก้านต่อทั้ง n+1 ก้านต่อของหุ่นยนต์โดยที่เฟรมที่ 1 จะเป็นเฟรมคงที่และเฟรมที่ n+1 จะวางไว้ที่ส่วนปลายสุดหรือชิ้นส่วนที่ n

2. พิจารณาหาค่าตัวแปรของเดนาวิทและฮาร์เทนเบิร์กตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.9

3. เขียนเมทริกซ์การแปลงรูปแบบโฮโมจีเนียส ในรูปของ $T_1, T_2,..., T_n$ เมื่อ T_i สำหรับ i = 1, ..., n คือเมทริกซ์การแปลงรูปของชิ้นส่วนที่ i หรือเฟรมที่ i+1 เมื่อเทียบกับชิ้นส่วนที่ i-1 หรือเฟรมที่ i

4. เมทริกซ์การแปลงรูปแบบโฮโมจีเนียสของเฟรมที่ส่วนปลายสุดของหุ่นยนต์เมื่อเทียบกับเฟรมที่ 1 ซึ่งคือ เมทริกซ์ T สามารถหาได้จากการนำเมทริกซ์การแปลงรูปแบบโฮโมจีเนียสของทุกๆ เฟรมมาคูณกันจะได้ $T = T_1 T_2 T_3 \dots T_n$

2.10.2 การวิเคราะห์ตำแหน่งแบบผกผัน

ปัญหาของจลนศาสตร์แบบผกผันจะประกอบไปด้วยการพิจารณาหาตำแหน่ง หรือตัวแปรของข้อต่อที่สัมพันธ์กับตำแหน่งและทิศทางของส่วนปลายสุดของหุ่นยนต์ที่กำหนดให้มา ผลลัพธ์ของปัญหานี้คือความสำคัญขั้นพื้นฐาน เพื่อที่จะเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนที่กำหนดให้กับส่วนปลายสุดของหุ่นยนต์ในปริภูมิ การทำงานให้อยู่ในปริภูมิของการเคลื่อนที่ของข้อต่อที่สัมพันธ์กันตำแหน่งของส่วนปลายสุดของหุ่นยนต์ และเมทริกซ์การหมุนสามารถคำนวณได้ในรูปแบบที่เฉพาะเจาะจงเท่านั้น เมื่อทราบค่าตัวแปรของข้อต่อ แต่สำหรับปัญหาของจลนศาสตร์แบบผกผันนั้นจะมีความยุ่งยากและซับซ้อนกว่าด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

1. สมการที่จะต้องนำมาแก้ปัญหาจะอยู่ในรูปของสมการไม่เชิงเส้นในรูปของตัวแปรข้อต่อและเป็นไปได้น้อยมากที่จะหาผลลัพธ์ได้ในรูปแบบที่เฉพาะ

2. ผลลัพธ์ที่ได้อาจมีได้หลายผลลัพธ์

3. บางครั้งอาจจะไม่สามารถหาผลลัพธ์ได้เลย

วิธีการหนึ่งที่จะแก้ปัญหาของจลนศาสตร์แบบผกผันคือ การหาผลลัพธ์ในรูปแบบปิดโดยใช้พีชคณิตและเรขาคณิต อีกวิธีการหนึ่งก็คือ การหาผลลัพธ์เชิงตัวเลขโดยวิธีการประมาณ โดยที่วิธีแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กล่าวไปนั้นเป็นวิธีที่โดยทั่วไปเป็นที่ต้องการ เพราะสามารถที่จะประยุกต์ใช้ผลลัพธ์ที่ได้กับการควบคุมหุ่นยนต์ในแบบเวลาจริงได้ แต่วิธีการนี้ก็ไม่สามารถให้ผลลัพธ์ในรูปแบบปิดสำหรับการทำงานของหุ่นยนต์ โดยทั่วไปได้วิธีการทางพีชคณิตสำหรับผลลัพธ์ในรูปแบบปิดคือ การหามุมของข้อต่อโดยผ่านทางการแปลงรูปแบบทางพีชคณิต

2.11 High-Torque MG996R Digital Servo

Servo Motor เป็นมอเตอร์ที่มีหลักการทำงานโดยการส่งสัญญาณพัลส์มีผลต่อการหมุนของ Servo ทิศทางการหมุนขึ้นอยู่กับความกว้างของพัลส์บวก ในส่วนของ Servo จะใช้ Servo High Torque 180 องศา ทั้งหมด 18 ตัว ตามข้อขยับต่างๆ

รูปที่ 2.12 High-Torque MG996R Digital Servo

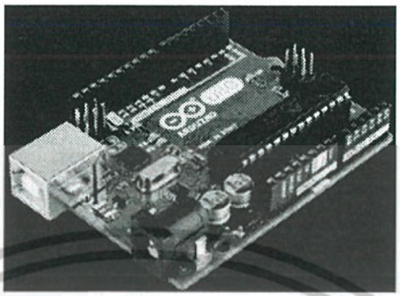
Performance Specifications

- Weight : 55 g
- Dimension : 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall Torque : 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating Speed : 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)
- Operating Voltage : 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA
- Stall Current 2.5 A (6 V)
- Dead Band Width : 5 µs
- Stable and Shock Proof Double Ball Bearing Design
- Temperature Range : 0 °C – 55 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software โดยจะใช้บอร์ด Arduino อยู่ 2 รุ่นคือ Arduino Uno R3 และ Arduino MEGA 2560 ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงานอยู่ในพื้นฐานของ ATMega328P ประกอบด้วย

- **USB Port :** ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
- **Reset Button :** เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
- **I/O Port :** Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง
- **ICSP Port :** Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
- **Power Port :** ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5 V, GND, V_{in}
- **Power Jack :** รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

Arduino MEGA 2560 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงานอยู่ในพื้นฐานของ ATMega2560 มี 54 Digital Input/Output Pins (15 Pin สามารถใช้เป็น PWM Output ได้) และ 16 Analog Inputs ดังรูปที่ 2.14

รูปที่ 2.14 Arduino MEGA 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 NRF24L01

โมดูล NRF24L01 เป็นโมดูลสื่อสารไร้สาย ที่สามารถเขียนโปรแกรมให้เป็นได้ ทั้งตัวรับและตัวส่ง สามารถใช้กับ Arduino ได้หลายๆ ตัวพร้อมกัน มีความเร็ว 2.4G จึงสื่อสารได้รวดเร็วและไม่ต้องการเสาอากาศที่ยาว มีขนาดเล็กสะดวกในการต่อใช้งาน สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง เช่น ใช้เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูลของเซนเซอร์อัตโนมัติสำหรับควบคุม อุณหภูมิ ความชื้น การแจ้งเตือนต่างๆ ควบคุมและติดตามหุ่นยนต์ Robot Control and Monitoring ได้ในระยะ 15-500 เมตร โมดูลนี้ใช้ชิพ nRF24L01+ m ทำงานด้วยความเร็วสูง High-speed SPI Interface ใช้พลังงานต่ำ รองรับการทำงานร่วมกับ Arduino และมีเสาอากาศมาให้ในตัว ดังรูปที่ 2.15

รูปที่ 2.15 NRF24L01

2.14 Power Supply

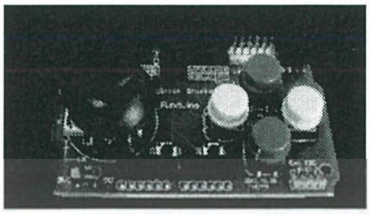
Power Supply คือ แหล่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) สามารถปรับขนาดกระแสและแรงดันได้ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน ดังรูปที่ 2.16

รูปที่ 2.16 Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 Joystick Shield Expansion Board for Arduino

เป็น Shield สำหรับ Arduino เพื่อใช้เป็น Joystick ในการควบคุมการทำงานต่างๆ รองรับการเชื่อมต่อแบบไร้สาย NRF24L01 และจอแสดงผล Nokia 5110 LCD ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 Joystick Shield Expansion Board for Arduino

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและแนวคิดการเขียนโปรแกรม

หลักในการเขียนโปรแกรมการควบคุมหุ่นยนต์มีหลักการทำงานหลักๆ คือ การรับค่าทิศทางการเดินจาก Joystick ผ่านโมดูล NRF24L01 แล้วนำค่ามาคำนวณผ่านสมการ Kinematics แล้วส่งค่ามุมที่ได้ไปที่ Servo แต่ละตัว

การเขียนโปรแกรม

ใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรม โดยหลักการเขียนคือ การเขียนให้ Arduino ทำการรับค่าทิศทางจาก Joystick แล้วเขียนฟังก์ชันแยกการทำงานแต่ละอย่างของหุ่นซึ่งประกอบไปด้วยการเดินหน้าถอยหลัง การเดินเลี้ยวเป็นเส้นโค้ง และการเอียงตัว (การเปลี่ยนแกน X Y Z ของหุ่น) และส่งค่ามุมแต่ละมุมไปยัง Servo แต่ละตัวเพื่อให้หุ่นยนต์ทำงานตามที่สั่งจาก Joystick

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

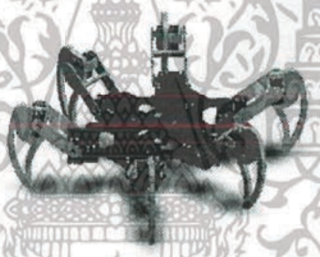
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ในส่วนของการดำเนินโครงงานนี้ จะกล่าวถึงโครงสร้างหุ่นยนต์ ส่วนประกอบทางไฟฟ้าและสมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

4.1 โครงสร้างหุ่นยนต์

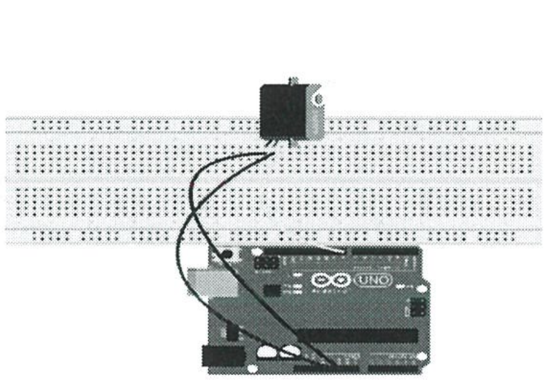
ส่วนประกอบของหุ่นยนต์ 6 ขา ถูกดำเนินการประกอบจนเสร็จสิ้น โดยหุ่นยนต์แบ่งออกเป็นหลายส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นส่วนของขาหุ่นยนต์ทั้ง 6 ขา ซึ่งโครงสร้างในการเคลื่อนที่และในส่วนตัวมาคือ ส่วนของลำตัว และการออกแบบจะใช้โปรแกรม Solidworks ในการออกแบบแล้วนำมาพิมพ์ 3D จนนำมาประกอบและแก้ไขต่อไป ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างหุ่นยนต์ 6 ขา

4.2 ส่วนประกอบทางไฟฟ้า

ส่วนของการแบบทางไฟฟ้า และการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มาต่อวงจรเพื่อนำไปใช้งานได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การต่อวงจรทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

จากรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นที่นำมาคำนวณการเคลื่อนที่ทางคณิตศาสตร์ทางทฤษฎี ซึ่งได้ดังสมการด้านล่าง

สมการแสดงการเคลื่อนที่ทางโค้งของหุ่นยนต์

$$T_{l,old}^{b,old} \times T_{b,old}^{b,new} \times T_{b,new}^{l,new} = T_{l,old}^{l,new}$$

$$\begin{bmatrix} C_\theta & S_\theta & 0 & -x \\ -S_\theta & C_\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & r\phi \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_\theta & -S_\theta & 0 & C_\theta x \\ S_\theta & C_\theta & 0 & S_\theta x \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = T$$

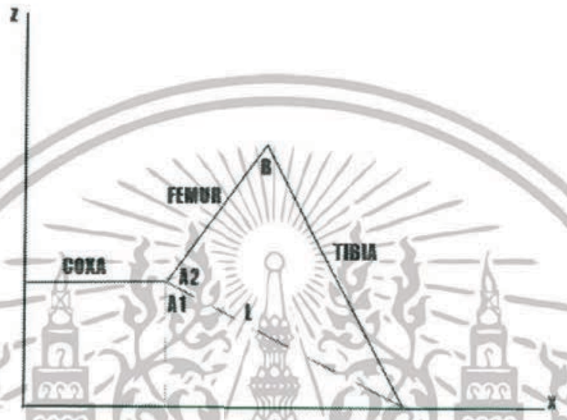
รูปที่ 4.3 การเคลื่อนที่ทางโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการแสดงการเอียงตัวของหุ่นยนต์

$$T_{l,old}^{b,old} \times T_{b,old}^{b,new} \times T_{b,new}^{l,new} = T_{l,old}^{l,new}$$

$$\begin{bmatrix} C_\theta & S_\theta & 0 & -x \\ -S_\theta & C_\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_zC_y & -S_zC_x + C_zS_yS_x & S_zS_x + C_zS_yC_x & 0 \\ S_xC_y & C_zC_x + S_zS_yS_x & -C_zS_x + S_zS_yC_x & 0 \\ -S_y & C_yS_x & C_yC_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_\theta & -S_\theta & 0 & C_\theta x \\ S_\theta & C_\theta & 0 & S_\theta x \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = T_{l,old}^{l,new}$$



รูปที่ 4.4 ส่วนประกอบของขาหุ่นยนต์แต่ละขา

นำค่า x, y และ z ที่ได้จากสมการการเคลื่อนที่ทางโค้งของหุ่นยนต์ และสมการแสดงการเอียงตัวของหุ่นยนต์ และระยะ COXA FEMUR และ TIBIA มาคำนวณเพื่อให้ได้มุมที่เปลี่ยนแปลงไปของ Servo Motor

$$L = \sqrt{x^2 + z^2}$$

$$A1 = \operatorname{acos}\left(\frac{z}{L}\right)$$

$$A2 = \operatorname{acos}\left(\frac{Femur^2 - Tibia^2 + L^2}{2 \times Femur \times L}\right)$$

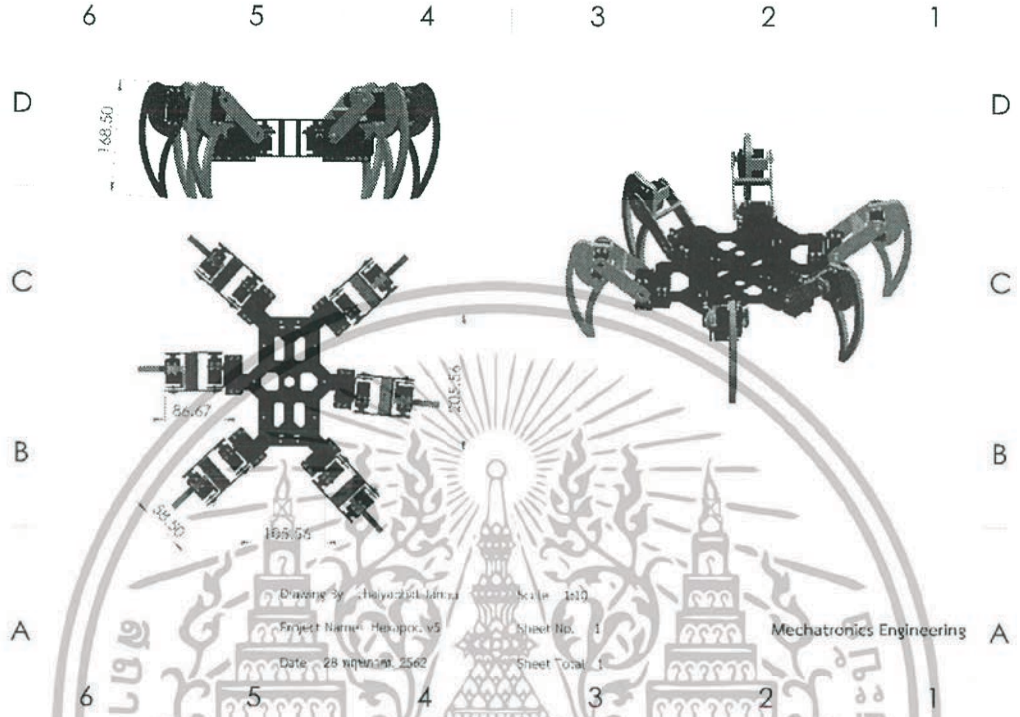
$$B = \operatorname{acos}\left(\frac{Femur^2 + Tibia^2 - L^2}{2 \times Femur \times Tibia}\right)$$

นำค่ามุม A1, A2 และ B ซึ่งคำนวณได้ ใส่ในโปรแกรม

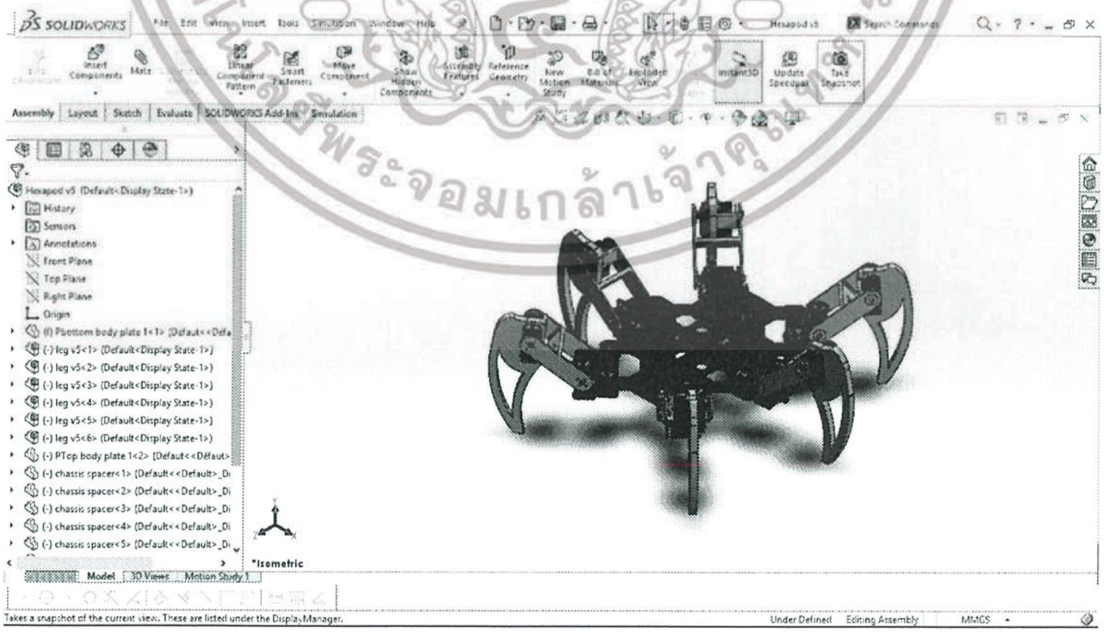
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การออกแบบ

ออกแบบโครงสร้างส่วนต่างๆ ด้วยโปรแกรม Solidworks

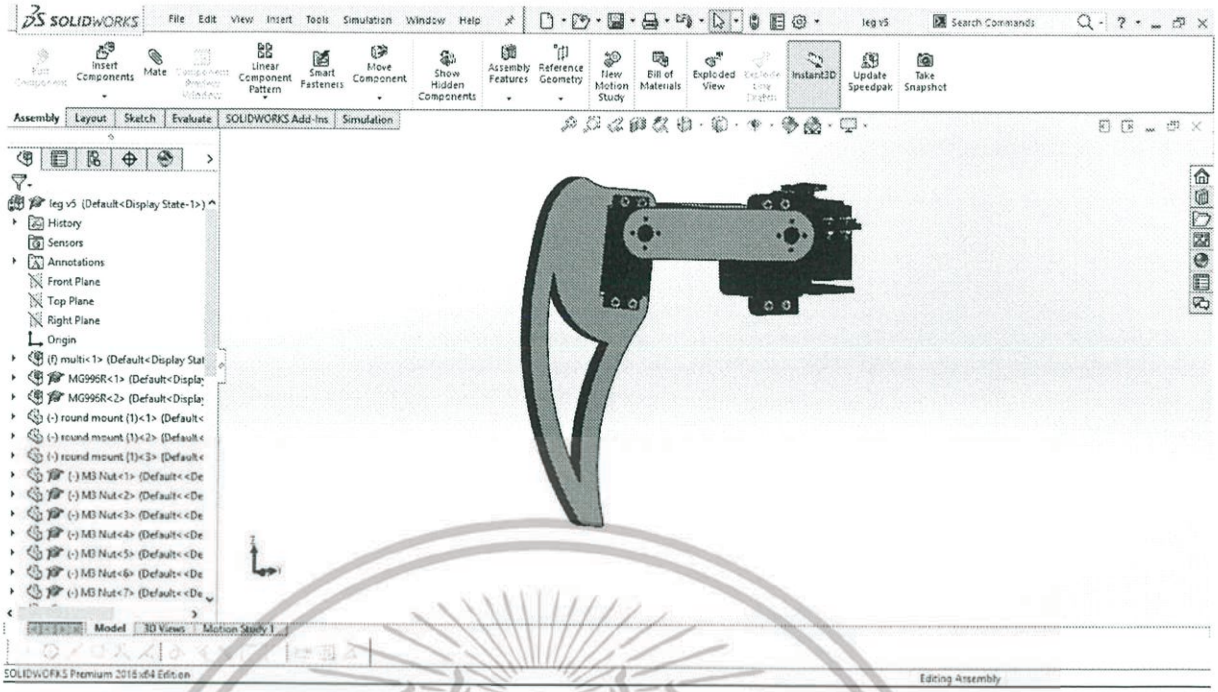


รูปที่ 4.5 แบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ 6 ขา ด้านหน้า ด้านบน และทั้งตัว



รูปที่ 4.6 แบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ 6 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แบบโครงสร้างส่วนขาของหุ่นยนต์ 6 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

จากการทำโครงงานนี้ทำให้ต้องคำนึงถึงขนาดของหุ่นยนต์ในการเดิน การทำงานของมอเตอร์กระแสตรง ที่ใช้ขับเคลื่อนหุ่นยนต์การปรับรูปแบบสมการการเคลื่อนที่เพื่อให้มีความเสถียร การรับส่งค่าไร้สายผ่านรีโมทควบคุม สามารถสรุปผลการดำเนินการได้ดังนี้

5.1 การดำเนินงานจัดทำปริญญานิพนธ์

โครงการนี้เป็นโครงงานที่ทำการออกแบบและพัฒนาสมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 6 ขา ซึ่งการควบคุมหุ่นยนต์ 6 นั้น ทำได้ด้วยการควบคุมผ่านรีโมทควบคุมระยะไกล ในการทำงานนั้นได้ร่วมมือกันทำงาน และศึกษาข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เพื่อทำให้หุ่นยนต์ 6 ขา ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การสร้างหุ่นยนต์ 6 ขา จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจหลากหลายด้าน อาทิ ด้านระบบควบคุม ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้านแมคคานิกส์ ฯลฯ ซึ่งต้องศึกษาอย่างเจาะลึกในด้านนั้นๆ ให้เข้าใจอย่างลึกซึ้งเพื่อให้สามารถทำงานได้ โดยมีข้อสงสัยน้อยที่สุด ความรู้ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นในท้ายที่สุดจะนำมาประกอบกันให้เกิดการทำงานที่มีผลต่อกันเป็นระบบ เมื่อทำแล้วเจอปัญหาจึงมาช่วยกันแก้ให้การทำงานหุ่นยนต์ 6 ขา นั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

1. ปัญหาเนื่องจากขาดอุปกรณ์ในการทำงาน เพราะชิ้นงานจำเป็นต้องอุปกรณ์เฉพาะเพื่อให้ได้คุณภาพชิ้นงานที่ออกมาดี ทำให้งานบางอย่างจำเป็นต้องทำหาวิธีทำชิ้นงานจากแหล่งอื่นๆ

2. ปัญหาเนื่องจากงานชิ้นงานจำเป็นต้องใช้ทักษะที่มีความชำนาญในการทำงาน ทำให้ต้องใช้เวลานานในการสร้างชิ้นงาน

3. ปัญหาเนื่องจากชิ้นงานมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เพราะชิ้นงานต้องทักษะความชำนาญ ทำให้จำเป็นต้องปรับแก้หลายครั้ง เกิดความล่าช้า

4. ปัญหาเนื่องจากอุปกรณ์บางส่วนจำเป็นต้องสั่งซื้อ สั่งทำเป็นพิเศษ และส่วนประกอบของหุ่นยนต์บางชิ้นนั้นเป็นส่วนเฉพาะที่ต้องใช้เวลาในการหา หรือสร้างขึ้นมา ทำให้ต้องใช้เวลาอย่างมากในการศึกษาและหาแหล่งขายอุปกรณ์ชนิดนั้น

5. ปัญหาเนื่องจากความปลอดภัยจากทำงาน เพราะชิ้นงานที่สร้างนั้น มีขั้นตอนในการสร้างที่มีความอันตรายต่อร่างกาย อาทิ การเจาะ การตะไบ การทำงานกับไฟฟ้า เป็นต้น ทำให้จำเป็นต้องเรียนรู้การใช้งานอุปกรณ์ที่ปลอดภัย และต้องหาอุปกรณ์มาป้องกันการเกิดอันตรายจากทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

1. การพัฒนาให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้นานขึ้นจากเดิม เพื่อการทำงานที่ต่อเนื่อง

2. การพัฒนาระบบฉีดน้ำควบคู่ไปกับการทำความสะอาด เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดที่สูงขึ้น

3. การพัฒนาระบบนำทางและการทำงานอัตโนมัติ

4. การทำงานมีความเสี่ยงในด้านความปลอดภัย ต้องมีความระมัดระวังในการทำงาน และควรจัดหาอุปกรณ์ป้องกันที่มีมาตรฐานเพื่อหลีกอันตรายจากทำงาน

5. ในการดำเนินงานต่างๆ อาจเกิดอุปสรรคและปัญหา เมื่อเกิดปัญหาขึ้นจำเป็นต้องวิเคราะห์แยกแยะ และแสวงหาแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อให้การดำเนินงานสำเร็จลุล่วง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] YIP Sit Wun . **Implementation of An Intelligent Hexapod Robot** (CSIS 0801 Final Year Project).

[2] **"Arduino Wireless Communication"** (Online). Available https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-wireless-communication-nrf24l01-tutorial

[3] **"MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo"** (Online). Available https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino Code Programming

```
#include <math.h>
#include <Servo.h>
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01p.h>

nRF24L01p receiver(9,10);//CSN,CE
Servo servo1[7],servo2[7],servo3[7];

Int
a,b,c,d,m,n,o,p,i=1,j=1,k=1,input,yn,yx,xn,xx,High,Low,xs,ys,onestep,rms,rev,tumghan,rr
ev,
phi,Xp,Yp,r,mode,RL,Mode=1,ZHigh;

float
a1[7],a2[7],B[7],C[7],pos1[7],pos2[7],pos3[7],x[7],x1[7],z[7],z1[7],L[7],L1[7],y[7],coxa,femu
r,
tibia,xmax[7],xmin[7],ymax[7],ymin[7],zmax[7],zmin[7],difx[7],dify[7],Xbody,Theta[7],xco
py[7],ycopy[7];

float c1,s1,cx,cy,cz,sx,sy,sz,roll,pitch,yew;

void setup() {

Serial.begin(115200);
SPI.begin();
SPI.setBitOrder(MSBFIRST);
receiver.channel(90);
receiver.RXaddress("ALL");
receiver.init();
  servo1[1].attach(22);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
servo2[1].attach(23);
servo3[1].attach(24);

servo1[2].attach(25);
servo2[2].attach(26);
servo3[2].attach(27);

servo1[3].attach(28);
servo2[3].attach(29);
servo3[3].attach(30);

servo1[4].attach(31);
servo2[4].attach(32);
servo3[4].attach(33);

servo1[5].attach(34);
servo2[5].attach(35);
servo3[5].attach(36);

servo1[6].attach(37);
servo2[6].attach(38);
servo3[6].attach(39);
coxa=0;
femur=8;
tibia=14.4;
Theta[1]=117.18;
Theta[2]=180;
Theta[3]=242.82;
Theta[4]=297.43;
Theta[5]=0;
Theta[6]=62.82;
Xp=10;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Yp=0;
  roll=0;
  pitch=0;
  yew=0;
  ZHigh=16;
}

String message;
void loop() {

if(receiver.available()){
receiver.read(); // สั่งให้เริ่มอ่าน
receiver.rxPL(message); // สั่งให้อ่านเก็บไว้ที่ตัวแปร
if(message=="E"){Up(8); for(i=8;i<=16;i++){Up(i);delay(10);}Mode=1;}
if(message=="F"){Mode=2;delay(1000);}

if(Mode==1){
if(message=="A"){WalkIK(0,0,1);}
if(message=="B"){WalkIK(2,1,1);}
if(message=="C"){WalkIK(0,0,2);}
if(message=="D"){WalkIK(2,2,1);}
if(message=="K"){Setup();}
if(message=="1"){WalkIK(0,0,1);} //เดินหน้า
if(message=="2"){WalkIK(3,1,1);} //เดินข้างขวา
if(message=="3"){WalkIK(0,0,2);} //ถอยหลัง
if(message=="4"){WalkIK(2,2,1);} //เดินข้างซ้าย
if(message=="5"){WalkIK(2,1,1);} //เดินหน้าเลี้ยวขวา
if(message=="6"){WalkIK(3,1,1);} //เดินหน้าเลี้ยวขวา
if(message=="7"){WalkIK(3,1,2);} //ถอยหลังเลี้ยวขวา
if(message=="8"){WalkIK(2,1,2);} //ถอยหลังเลี้ยวขวา
if(message=="9"){WalkIK(3,2,2);} //ถอยหลังเลี้ยวซ้าย
if(message=="m"){WalkIK(2,2,2);} //ถอยหลังเลี้ยวซ้าย
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(message=="n"){WalkIK(3,2,1);} //เดินหน้าเลี้ยวซ้าย
if(message=="o"){WalkIK(2,2,1);} //เดินหน้าเลี้ยวซ้าย
}
if(Mode==2){
  if(message=="Q"){roll=roll-0.8; Rotate();}
  if(message=="R"){pitch=pitch-0.8; Rotate();}
  if(message=="S"){roll=roll+0.8; Rotate(); }
  if(message=="T"){pitch=pitch+0.8; Rotate(); }
  if(message=="U"){yew=yew-0.8; Rotate(); }
  if(message=="V"){yew=yew+0.8; Rotate(); }
  if(message=="K"){yew=0; pitch=0; roll=0; Rotate();}
}
message=" ";
}
}

// ฟังกชันการทำงาน

// คำสั่งเคลื่อน servo
void Move(int Number)
{
  AngleAnalysis(Number);
  WriteServo(Number);
}

// สมการวิเคราะห์ มุมของ servo
void AngleAnalysis(int Number)
{
  L1[Number]=sqrt((x[Number]*x[Number])+(y[Number]*y[Number]));
  L[Number]=sqrt((z[Number]*z[Number])+((L1[Number])*(L1[Number])));
  a1[Number]=acos(z[Number]/L[Number]);
  a2[Number]=acos(((L[Number]*L[Number])-146.25)/(16*L[Number]));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
pos1[Number]=(180-((a1[Number]+a2[Number])*(57.325)));
B[Number]=acos((272.34-(L[Number]*L[Number]))/(230.944));
pos2[Number]=(B[Number]*57.325);
if(y[Number]<0)
{
y[Number]=abs(y[Number]);
pos3[Number]=180-(atan((x[Number])/y[Number])*57.325);
}
else pos3[Number]=(atan((x[Number])/y[Number])*57.325);

// mapping ค่า มุม ของทุกขา pos1 servo2 , pos2 servo1

// ขา 1
if(Number==1){
// servo 1
 if(pos2[Number]>=0&&pos2[Number]<=60){pos2[Number] =
map(pos2[Number],0,60,15,70);}else{
  if(pos2[Number]>=60&&pos2[Number]<=75){pos2[Number] =
map(pos2[Number],60,75,70,82);}else{
    if(pos2[Number]>=75&&pos2[Number]<=90){pos2[Number] =
map(pos2[Number],75,90,82,90);}else{
      if(pos2[Number]>=90&&pos2[Number]<=105){pos2[Number] =
map(pos2[Number],90,105,90,103);}else{
        if(pos2[Number]>=105&&pos2[Number]<=180){pos2[Number] =
map(pos2[Number],105,180,103,176);}}}}}

// servo 2
if(pos1[Number]>=0&&pos1[Number]<=15){pos1[Number] =
map(pos1[Number],0,15,15,25);}else{
   if(pos1[Number]>=15&&pos1[Number]<=30){pos1[Number] =
map(pos1[Number],15,30,25,40);}else{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if(pos1[Number]>=30&&pos1[Number]<=45){pos1[Number] =
map(pos1[Number],30,45,40,50);}else{
          if(pos1[Number]>=45&&pos1[Number]<=60){pos1[Number] =
map(pos1[Number],45,60,50,65);}else{
            if(pos1[Number]>=60&&pos1[Number]<=75){pos1[Number] =
map(pos1[Number],60,75,65,80);}else{
              if(pos1[Number]>=75&&pos1[Number]<=90){pos1[Number] =
map(pos1[Number],75,90,80,95);}else{
                if(pos1[Number]>=90&&pos1[Number]<=105){pos1[Number] =
map(pos1[Number],90,105,95,109);}else{
                  if(pos1[Number]>=105&&pos1[Number]<=120){pos1[Number] =
map(pos1[Number],105,120,109,125);}else{
                    if(pos1[Number]>=120&&pos1[Number]<=135){pos1[Number] =
map(pos1[Number],120,135,125,137);}else{
                     if(pos1[Number]>=135&&pos1[Number]<=150){pos1[Number] =
map(pos1[Number],135,150,137,153);}else{
                       if(pos1[Number]>=150&&pos1[Number]<=165){pos1[Number] =
map(pos1[Number],150,165,153,160);}else{
                         if(pos1[Number]>=165&&pos1[Number]<=180){pos1[Number] =
map(pos1[Number],165,180,160,176);}}}}}}}}}}}

 // servo 3 OK

}

 // ขา 2
if(Number==2){

// servo 1
 if(pos1[Number]>=60&&pos1[Number]<=180){pos1[Number] =
map(pos1[Number],60,180,53,173);}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// servo 2
if(pos1[Number]>=0&&pos1[Number]<=15){pos1[Number] =
map(pos1[Number],0,15,15,25);}else{
    if(pos1[Number]>=15&&pos1[Number]<=30){pos1[Number] =
map(pos1[Number],15,30,25,37);}else{
       if(pos1[Number]>=30&&pos1[Number]<=45){pos1[Number] =
map(pos1[Number],30,45,37,48);}else{
         if(pos1[Number]>=45&&pos1[Number]<=60){pos1[Number] =
map(pos1[Number],45,60,48,60);}else{
           if(pos1[Number]>=60&&pos1[Number]<=75){pos1[Number] =
map(pos1[Number],60,75,60,75);}else{
             if(pos1[Number]>=75&&pos1[Number]<=90){pos1[Number] =
map(pos1[Number],75,90,75,90);}else{
               if(pos1[Number]>=90&&pos1[Number]<=180){pos1[Number] =
map(pos1[Number],90,180,90,172);}}}}}}
    pos1[Number]=pos1[Number]+5;
// servo 3 OK

}

 // ขา 3
if(Number==3){

// servo 1
           if(pos2[Number]>=60&&pos2[Number]<=75){pos2[Number] =
map(pos2[Number],60,75,55,70);}else{
             if(pos2[Number]>=75&&pos2[Number]<=90){pos2[Number] =
map(pos2[Number],75,90,70,83);}else{
                       if(pos2[Number]>=90&&pos2[Number]<=180){pos2[Number] =
map(pos2[Number],90,180,83,173);}}}

// servo 2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(pos1[Number]>=0&&pos1[Number]<=15){pos1[Number] =
map(pos1[Number],0,15,13,25);}else{
    if(pos1[Number]>=15&&pos1[Number]<=30){pos1[Number] =
map(pos1[Number],15,30,25,40);}else{
        if(pos1[Number]>=30&&pos1[Number]<=45){pos1[Number] =
map(pos1[Number],30,45,40,53);}else{
          if(pos1[Number]>=45&&pos1[Number]<=60){pos1[Number] =
map(pos1[Number],45,60,53,63);}else{
            if(pos1[Number]>=60&&pos1[Number]<=75){pos1[Number] =
map(pos1[Number],60,75,63,80);}else{
              if(pos1[Number]>=75&&pos1[Number]<=90){pos1[Number] =
map(pos1[Number],75,90,80,95);}else{
                if(pos1[Number]>=90&&pos1[Number]<=105){pos1[Number] =
map(pos1[Number],90,105,95,110);}else{
                  if(pos1[Number]>=105&&pos1[Number]<=120){pos1[Number] =
map(pos1[Number],105,120,110,120);}else{
                    if(pos1[Number]>=120&&pos1[Number]<=135){pos1[Number] =
map(pos1[Number],120,135,120,135);}else{
                      if(pos1[Number]>=135&&pos1[Number]<=150){pos1[Number] =
map(pos1[Number],135,150,135,150);}else{
                        if(pos1[Number]>=150&&pos1[Number]<=165){pos1[Number] =
map(pos1[Number],150,165,150,160);}else{
                          if(pos1[Number]>=165&&pos1[Number]<=180){pos1[Number] =
map(pos1[Number],165,180,160,176);}}}}}}}}}}}}

// servo 3 OK

}

// ขา 4
if(Number==4){
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// servo 1
        if(pos2[Number]>=60&&pos2[Number]<=75){pos2[Number] =
map(pos2[Number],60,75,65,77);}else{
          if(pos2[Number]>=75&&pos2[Number]<=90){pos2[Number] =
map(pos2[Number],75,90,77,92);}else{
            if(pos2[Number]>=90&&pos2[Number]<=105){pos2[Number] =
map(pos2[Number],90,105,92,105);}else{
              if(pos2[Number]>=105&&pos2[Number]<=120){pos2[Number] =
map(pos2[Number],105,120,105,117);}else{
                if(pos2[Number]>=120&&pos2[Number]<=135){pos2[Number] =
map(pos2[Number],120,135,117,130);}else{
                  if(pos2[Number]>=135&&pos2[Number]<=150){pos2[Number] =
map(pos2[Number],135,150,130,140);}else{
                    if(pos2[Number]>=150&&pos2[Number]<=165){pos2[Number] =
map(pos2[Number],150,165,140,155);}else{
                      if(pos2[Number]>=165&&pos2[Number]<=180){pos2[Number] =
map(pos2[Number],165,180,155,167);}}}}}}}}

// servo 2
if(pos1[Number]>=0&&pos1[Number]<=15){pos1[Number] =
map(pos1[Number],0,15,7,19);}else{
  if(pos1[Number]>=15&&pos1[Number]<=30){pos1[Number] =
map(pos1[Number],15,30,19,31);}else{
    if(pos1[Number]>=30&&pos1[Number]<=45){pos1[Number] =
map(pos1[Number],30,45,31,43);}else{
      if(pos1[Number]>=45&&pos1[Number]<=60){pos1[Number] =
map(pos1[Number],45,60,43,54);}else{
        if(pos1[Number]>=60&&pos1[Number]<=75){pos1[Number] =
map(pos1[Number],60,75,54,67);}else{
          if(pos1[Number]>=75&&pos1[Number]<=90){pos1[Number] =
map(pos1[Number],75,90,67,80);}else{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if(pos1[Number]>=90&&pos1[Number]<=105){pos1[Number] =
map(pos1[Number],90,105,80,93);}else{
             if(pos1[Number]>=105&&pos1[Number]<=120){pos1[Number] =
map(pos1[Number],105,120,93,106);}else{
              if(pos1[Number]>=120&&pos1[Number]<=135){pos1[Number] =
map(pos1[Number],120, 135,106,120);}else{
               if(pos1[Number]>=135&&pos1[Number]<=150){pos1[Number] =
map(pos1[Number],135,150,120,133);}else{
                if(pos1[Number]>=150&&pos1[Number]<=165){pos1[Number] =
map(pos1[Number],150,165,133,146);}else{
                 if(pos1[Number]>=165&&pos1[Number]<=180){pos1[Number] =
map(pos1[Number],165,180,146,160);}}}}}}}}}}}

// servo 3
if(pos3[Number]>=45&&pos3[Number]<=135){pos3[Number] =
map(pos3[Number],45,135,53,135);}
   }
 // ขา 5
if(Number==5){

// servo 1
if(pos2[Number]>=60&&pos2[Number]<=180){pos2[Number] =
map(pos2[Number],60,180,74,180);}

// servo 2
if(pos1[Number]>=0&&pos1[Number]<=15){pos1[Number] =
map(pos1[Number],0,15,13,26);}else{
   if(pos1[Number]>=15&&pos1[Number]<=30){pos1[Number] =
map(pos1[Number],15,30,26,40);}else{
      if(pos1[Number]>=30&&pos1[Number]<=45){pos1[Number] =
map(pos1[Number],30,45,40,53);}else{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(pos1[Number]>=45&&pos1[Number]<=60){pos1[Number] =
map(pos1[Number],45,60,53,66);}else{
    if(pos1[Number]>=60&&pos1[Number]<=75){pos1[Number] =
map(pos1[Number],60,75,66,78);}else{
        if(pos1[Number]>=75&&pos1[Number]<=90){pos1[Number] =
map(pos1[Number],75,90,78,94);}else{
            if(pos1[Number]>=90&&pos1[Number]<=180){pos1[Number] =
map(pos1[Number],90,180,94,180);}}}}}}}

// servo 3
if(pos3[Number]>=45&&pos3[Number]<=90){pos3[Number] =
map(pos3[Number],45,90,45,88);}else{
    if(pos3[Number]>=90&&pos3[Number]<=135){pos3[Number] =
map(pos3[Number],90,135,88,130);}

    }

}

// ขา 6
if(Number==6){

// servo 1
    if(pos2[Number]>=60&&pos2[Number]<=75){pos2[Number] =
map(pos2[Number],60,75,55,70);}else{
        if(pos2[Number]>=75&&pos2[Number]<=90){pos2[Number] =
map(pos2[Number],75,90,70,85);}else{
            if(pos2[Number]>=90&&pos2[Number]<=105){pos2[Number] =
map(pos2[Number],90,105,85,100);}else{
                if(pos2[Number]>=105&&pos2[Number]<=120){pos2[Number] =
map(pos2[Number],105,120,100,115);}else{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                if(pos2[Number]>=120&&pos2[Number]<=135){pos2[Number] =
map(pos2[Number],120,135,115,130);}else{
                 if(pos2[Number]>=135&&pos2[Number]<=150){pos2[Number] =
map(pos2[Number],135,150,130,145);}else{
                  if(pos2[Number]>=150&&pos2[Number]<=165){pos2[Number] =
map(pos2[Number],150,165,145,162);}else{
                   if(pos2[Number]>=165&&pos2[Number]<=180){pos2[Number] =
map(pos2[Number],165,180,162,170);}}}}}}}}


// servo 2
if(pos1[Number]>=0&&pos1[Number]<=15){pos1[Number] =
map(pos1[Number],0,15,4,15);}else{
  if(pos1[Number]>=15&&pos1[Number]<=180){pos1[Number] =
map(pos1[Number],15,180,15,180);}
 }
 pos1[Number]=pos1[Number]+5;



// servo 3
    if(pos3[Number]>=45&&pos3[Number]<=135){pos3[Number] =
map(pos3[Number],45,135,50,140);}
}
}

void WriteServo(int Number)
{
 servo2[Number].write(pos1[Number]);
 servo1[Number].write(pos2[Number]);
 servo3[Number].write(pos3[Number]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

void BodyIK(int Number){
  if(Number==2||Number==5){Xbody=8;}else
if(Number==1||Number==3||Number==4||Number==6){Xbody=11.2;}

xmax[Number]=(cos(phi*(6.28/360))*Xp)+(cos(phi*(6.28/360))*Xbody)+(sin(Theta[Numb
er]*(6.28/360))*r*( phi*(6.28/360) ))-Xbody;

ymax[Number]=(sin(phi*(6.28/360))*(Xp+3))+(sin(phi*(6.28/360))*Xbody)+(cos(Theta[Nu
mber]*(6.28/360))*r*( phi*(6.28/360) ));
  difx[Number]=Xp-xmax[Number];
  dify[Number]=Yp-ymax[Number];
  xmin[Number]=Xp+difx[Number];
  ymin[Number]=Yp+dify[Number];

}

void IKAnalysis(){
  for(int i=1;i<=6;i++){
    BodyIK(i);}
}
void WalkIK(int mode,int RL ,int FB){
  High=15; Low=10; onestep=2; xs=10; ys=0; // High คือ สูงเท่าไหร่ Low คือ ขายก ขึ้นมา
onestep คือ ให้เดินทีละกี่เซ็น xs คือ x ตอนเริ่ม ys คือ y ตอนเริ่ม
n=200;

  if(mode==1){r=60; Xp=10; Yp=0; phi=(2); IKAnalysis();}
  if(mode==2){r=40; Xp=10; Yp=0; phi=(3); IKAnalysis();}
  if(mode==3){r=20; Xp=10; Yp=0; phi=(6); IKAnalysis();}
  if(mode==4){r=15; Xp=10; Yp=0; phi=(9); IKAnalysis();}
  if(mode==0&&RL==0){
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    rms=onestep*(sqrt(2)/2);
    yn=ys-rms; yx=ys+rms;
    xn=xs-rms;  xx=xs+rms;
    xmax[1]=xx; xmax[2]=xs; xmax[3]=xn; xmax[4]=xn; xmax[5]=xs; xmax[6]=xx;
    xmin[1]=xn; xmin[2]=xs; xmin[3]=xx; xmin[4]=xx; xmin[5]=xs; xmin[6]=xn;

    ymax[1]=yx; ymax[2]=onestep; ymax[3]=yx; ymax[4]=yn; ymax[5]=-onestep;
ymax[6]=yn;
    ymin[1]=yn; ymin[2]=-onestep; ymin[3]=yn; ymin[4]=yx; ymin[5]=onestep;
ymin[6]=yx;
    }
  if(RL==1){
    for(int i=1;i<=6;i++){ycopy[i]=-ymax[i];}
    for(int i=1;i<=6;i++){ymax[i]=ycopy[i]; ymin[i]=-(Yp+dify[i]);}
    }
  if(RL==2){for(int i=1;i<=6;i++){xcopy[i]=xmax[i];}
    xmax[6]=xcopy[1]; xmax[5]=xcopy[2]; xmax[4]=xcopy[3]; xmax[3]=xcopy[4];
xmax[2]=xcopy[5]; xmax[1]=xcopy[6];

    for(int i=1;i<=6;i++){ycopy[i]=-ymax[i];}
    ymax[6]=-ycopy[1]; ymax[5]=-ycopy[2]; ymax[4]=-ycopy[3]; ymax[3]=-ycopy[4];
ymax[2]=-ycopy[5]; ymax[1]=-ycopy[6];
    for(int i=1;i<=6;i++){ymin[i]=-ymax[i];}
    }

  if(FB==2){
     for(int i=1;i<=6;i++){xcopy[i]=xmax[i];}
     for(int i=1;i<=6;i++){xmax[i]=xmin[i];}
     for(int i=1;i<=6;i++){xmin[i]=xcopy[i];}

     for(int i=1;i<=6;i++){ycopy[i]=ymax[i];}
     for(int i=1;i<=6;i++){ymax[i]=ymin[i];}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    for(int i=1;i<=6;i++){ymin[i]=ycopy[i];}
   }

  x[1]=xs; y[1]=ys; z[1]=High; Move(1);
  x[2]=xs; y[2]=ys; z[2]=High; Move(2);
  x[3]=xs; y[3]=ys; z[3]=High; Move(3);
  x[4]=xs; y[4]=ys; z[4]=High; Move(4);
  x[5]=xs; y[5]=ys; z[5]=High; Move(5);
  x[6]=xs; y[6]=ys; z[6]=High; Move(6); delay(100);
 rev=1;
for(int a=1;a<=rev;a++){
  if(a==1){
//*****1ยก*******
  x[1]=xs; y[1]=ys; z[1]=Low; Move(1);
  x[3]=xs; y[3]=ys; z[3]=Low; Move(3);
  x[5]=xs; y[5]=ys; z[5]=Low; Move(5); delay(n);
  }else{
  x[1]=xmax[1]; y[1]=ymin[1]; z[1]=Low; Move(1);
  x[3]=xmax[3]; y[3]=ymin[3]; z[3]=Low; Move(3);
  x[5]=xmax[5]; y[5]=ymin[5]; z[5]=Low; Move(5); delay(n);
   }
//******1ก้าว******
  x[1]=xmax[1]; y[1]=ymax[1]; z[1]=Low; Move(1);
  x[3]=xmax[3]; y[3]=ymax[3]; z[3]=Low; Move(3);
  x[5]=xmax[5]; y[5]=ymax[5]; z[5]=Low; Move(5);

 //******2เลื่อน******
  x[2]=xmin[2]; y[2]=ymin[2]; z[2]=High; Move(2);
  x[4]=xmin[4]; y[4]=ymin[4]; z[4]=High; Move(4);
  x[6]=xmin[6]; y[6]=ymin[6]; z[6]=High; Move(6); delay(n);

//******1วาง******
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  x[1]=xmax[1]; y[1]=ymax[1]; z[1]=High; Move(1);
  x[3]=xmax[3]; y[3]=ymax[3]; z[3]=High; Move(3);
  x[5]=xmax[5]; y[5]=ymax[5]; z[5]=High; Move(5); delay(n);
//******2ยก******
  x[2]=xmin[2]; y[2]=ymin[2]; z[2]=Low; Move(2);
  x[4]=xmin[4]; y[4]=ymin[4]; z[4]=Low; Move(4);
  x[6]=xmin[6]; y[6]=ymin[6]; z[6]=Low; Move(6); delay(n);

  if(a==rev){
//******1เลื่อน******
  x[1]=xs; y[1]=ys; z[1]=High; Move(1);
  x[3]=xs; y[3]=ys; z[3]=High; Move(3);
  x[5]=xs; y[5]=ys; z[5]=High; Move(5);
//******2ก้าว******
  x[2]=xs; y[2]=ys; z[2]=Low; Move(2);
  x[4]=xs; y[4]=ys; z[4]=Low; Move(4);
  x[6]=xs; y[6]=ys; z[6]=Low; Move(6); delay(n);
//******2วาง******
  x[2]=xs; y[2]=ys; z[2]=High; Move(2);
  x[4]=xs; y[4]=ys; z[4]=High; Move(4);
  x[6]=xs; y[6]=ys; z[6]=High; Move(6);delay(n);
  }
  else {
//******2ก้าว******
  x[2]=xmax[2]; y[2]=ymax[2]; z[2]=Low; Move(2);
  x[4]=xmax[4]; y[4]=ymax[4]; z[4]=Low; Move(4);
  x[6]=xmax[5]; y[6]=ymax[5]; z[6]=Low; Move(6);
//******1เลื่อน******
  x[1]=xmin[1]; y[1]=ymin[1]; z[1]=High; Move(1);
  x[3]=xmin[3]; y[3]=ymin[3]; z[3]=High; Move(3);
  x[5]=xmin[5]; y[5]=ymin[4]; z[5]=High; Move(5); delay(n/2);
//******2วาง******
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  x[2]=xmax[2]; y[2]=ymax[2]; z[2]=High; Move(2);
  x[4]=xmax[4]; y[4]=ymax[4]; z[4]=High; Move(4);
  x[6]=xmax[5]; y[6]=ymax[5]; z[6]=High; Move(6); delay(n);
}
}
}

void Setup(){
servo1[1].write(90);
servo2[1].write(95);
servo3[1].write(90);
servo1[6].write(85);
servo2[6].write(90);
servo3[6].write(100);
servo1[2].write(83);
servo2[2].write(90);
servo3[2].write(90);
servo1[3].write(83);
servo2[3].write(95);
servo3[3].write(90);
servo1[4].write(92);
servo2[4].write(80);
servo3[4].write(96);
servo1[5].write(100);
servo2[5].write(94);
servo3[5].write(88);
}

void Up(int k){
  x[1]=10; y[1]=0; z[1]=k; Move(1);
  x[2]=10; y[2]=0; z[2]=k; Move(2);
  x[3]=10; y[3]=0; z[3]=k; Move(3);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 x[4]=10; y[4]=0; z[4]=k; Move(4);
 x[5]=10; y[5]=0; z[5]=k; Move(5);
 x[6]=10; y[6]=0; z[6]=k; Move(6);
          }

void RotateIK(int Number){
 if(Number==2||Number==5){Xbody=8;}else
 if(Number==1||Number==3||Number==4||Number==6){Xbody=11.2;}
 c1=cos(Theta[Number]*(6.28/360));
 s1=sin(Theta[Number]*(6.28/360));
 cx=cos(roll*(6.28/360));
 cy=cos(pitch*(6.28/360));
 cz=cos(yew*(6.28/360));
 sx=sin(roll*(6.28/360));
 sy=sin(pitch*(6.28/360));
 sz=sin(yew*(6.28/360));
 xmax[Number]=(( c1)*( (cz*cy*c1*Xbody)+(((-sz*sx)+(cz*sy*sx))*(s1*Xbody))  ))+(s1*(
(sz*cy*c1*Xbody)+(((cz*cx)+(sz*sy*sx))*(s1*Xbody)) ))-Xbody;
 ymax[Number]=((-s1)*( (cz*cy*c1*Xbody)+(((-sz*sx)+(cz*sy*sx))*(s1*Xbody))  ))+(c1*(
(sz*cy*c1*Xbody)+(((cz*cx)+(sz*sy*sx))*(s1*Xbody)) ));
 zmax[Number]=(sy*c1*Xbody)-(cy*sx*s1*Xbody);

}

void Rotate(){
 for(int i=1;i<=6;i++){RotateIK(i);}
 ZHigh=14;
 x[1]=8-xmax[1]; y[1]=0-ymax[1]; z[1]=ZHigh-zmax[1]; Move(1);
 x[2]=8-xmax[2]; y[2]=0-ymax[2]; z[2]=ZHigh-zmax[2]; Move(2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้