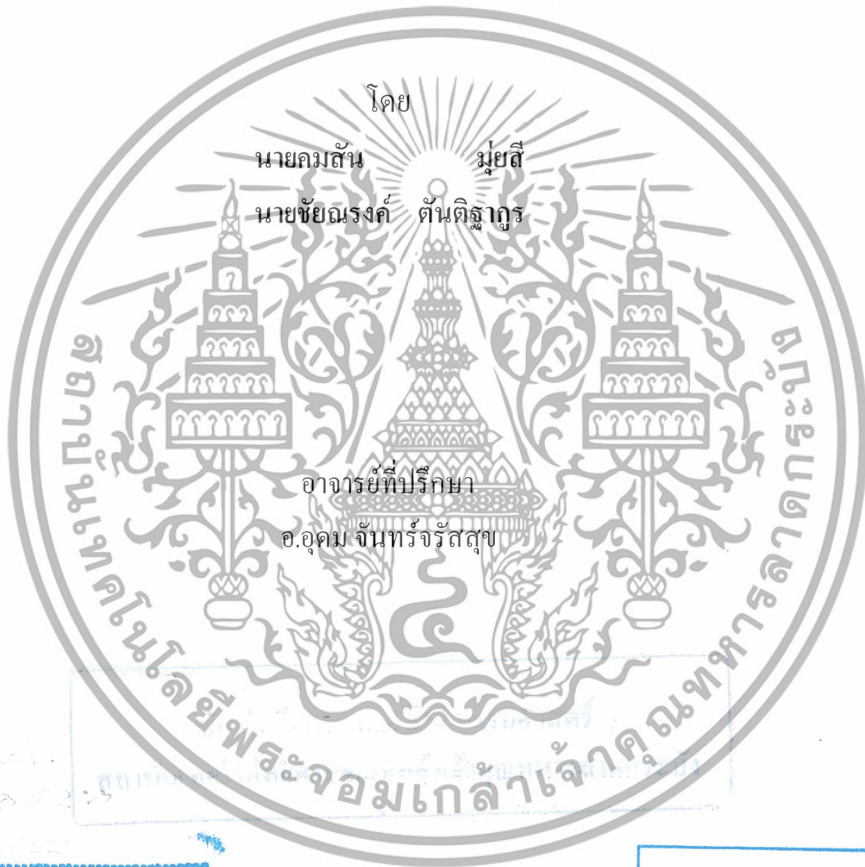


หุ่นยนต์เดิน

WALKING ROBOT



เลขหม.....
เลขทะเบียน 46017
จัน, เดือน, ปี 27 ก.พ. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

014 2546 6 31

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์เดิน

WALKING ROBOT

ผู้จัดทำ

1. นาย คมสัน มุ่ยสี รหัสประจำตัว 41013496

2. นาย ชัยณรงค์ ตันติธำกูร รหัสประจำตัว 41013497



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.อุดม จันทร์จรัสสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์เดิน

นายคมสัน มุ่ยสี 41013496
 นายชัยณรงค์ ตันติฐากร 41013497
 อ.อุดม จันทร์จรัสสุข อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและออกแบบรวมทั้งการสร้างหุ่นยนต์ที่ใช้ขาเดิน (Walking Robot) และระบบควบคุมการทำงาน ทั้งนี้เนื่องจากในสถานที่บางแห่ง อาจเกิดการรั่วไหลของสารพิษ หรือบริเวณที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ทำให้ไม่สามารถเข้าไปปฏิบัติงานได้ จึงได้มีการใช้หุ่นยนต์เข้าไปทำงานแทน ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาออกแบบ และสร้างหุ่นยนต์ที่ใช้ขาเดิน เพื่อที่จะเป็นต้นแบบสำหรับพัฒนาหุ่นยนต์ ที่ใช้ในการสำรวจที่สามารถควบคุมได้จากระบบทางไกล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WALKING ROBOT

Komsan Muysee

Chainarong Tantithagura

Assist. Mr. Udom Janjarassuk

Advisor

ABSTRACT

This project is a study and design of making a Walking Robot and its control system. Which can be used in toxic and dangerous areas.

This robot is the first step in design and development in remote controlled system.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากอาจารย์อุดม จันทร์จรตสุข ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำ และให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ แก่ผู้จัดทำเป็นอย่างดีตลอดมา ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ทุกคนที่ช่วยให้คำแนะนำ ที่ดีตลอดมา

ขอขอบคุณ วิศวกรของบริษัทลาริเสรีที่ช่วยให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาในด้านระบบควบคุม

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบพระคุณ บิดา มารดา ที่เคารพภักย์ ที่ได้สนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำมาตลอด จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี



คมสัน มุขีลี
ชาญรงค์ ตันติฐาการ

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	1
ขอบเขตโครงการ	1
ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับหุ่นยนต์เดิน	3
2.1 ทฤษฎีการเดิน	3
2.1.1 การเดินแบบสลัดขา	3
2.1.2 การเดินแบบขูดขา	4
2.2 ความสัมพันธ์ของจำนวนขา กับเสถียรภาพของการเดิน	4
2.3 ระบบกลไกการเคลื่อนที่	6
2.3.1 กลไกเชิงขับข้อ	6
2.3.2 กลไกแบบข้อต่อเดี่ยว	6
2.4 ระบบต้นกำลัง	7
2.4.1 ดีซีมอเตอร์	7
2.4.2 สเต็ปเปอร์มอเตอร์	9
2.5 อุปกรณ์ตรวจจับรู้	11
2.6 ระบบควบคุม	12
2.7 การเลือกวัสดุ	13
บทที่ 3 การออกแบบกลไกการเดิน	15
3.1 การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า	16
3.2 การเคลื่อนที่ถอยหลัง	16
3.3 การเลี้ยวซ้าย	17
3.4 การเลี้ยวขวา	18
บทที่ 4 การออกแบบโครงสร้าง	19
4.1 การคำนวณแรง	19

4.1.1	การคำนวณแรงในสภาวะหยุดนิ่ง	19
4.1.2	การคำนวณแรงในสภาวะหยุดนิ่ง	21
4.2	การคำนวณทางกลศาสตร์วัสดุ	22
4.2.1	การออกแบบโครงสร้าง	22
4.2.2	การคำนวณทางกลศาสตร์	23
บทที่ 5	การออกแบบระบบต้นกำลัง	27
5.1	การออกแบบกลไกการขับ	27
5.2	การเลือกขนาดดีซีมอเตอร์	30
5.2.1	การหาคำสั่งที่ใช้ขับ	31
5.2.2	การออกแบบชุดเฟือง	32
บทที่ 6	ระบบควบคุมซอฟต์แวร์	36
6.1	สมมติฐานที่ใช้ในการเลือกระบบควบคุม	36
6.2	การออกแบบระบบควบคุม	36
6.2.1	ส่วนประกอบของระบบควบคุม	37
6.2.2	การออกแบบแผนผังควบคุม	43
6.3	การเลือกใช้ซอฟต์แวร์ควบคุมและการเขียนโปรแกรมควบคุม	46
6.3.1	การเลือกใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	46
6.3.2	การเขียนโปรแกรมควบคุม	47
บทที่ 7	สรุปผลการดำเนินโครงการ	49
	ผลการดำเนินโครงการ	49
	ปัญหาที่พบขณะดำเนินงาน	49
	รายละเอียดของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบ	49
	แนวทางการปรับปรุงและพัฒนา	50
	สรุปผลการดำเนินโครงการ	50
ภาคผนวก ก	รายละเอียดอุปกรณ์	51
ภาคผนวก ข	Source Code Program C for MCS 51	53

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตาราง2-1 แสดงถึงการเปรียบเทียบความยากง่ายในการออกแบบ	5
ตาราง2-2 แสดงถึงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของกลไกทั้งสองแบบ	7
ตาราง2-3 แสดงถึงข้อดีข้อเสียของดีซีมอเตอร์สำหรับงานที่มีความแม่นยำสูง	10
ตาราง2-4 แสดงถึงข้อดีข้อเสียของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	11
ตาราง2-5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของท่อลูมิเนียมและท่อPVC	13
ตาราง6-1 แสดงถึงรหัสควบคุมที่ใช้ในโหมด0	41
ตาราง6-2 แสดงถึง ADDRESS ของ USER PORT ต่างๆ	41
ตาราง6-3 แสดงถึงสภาวะการทำงานของดีซีมอเตอร์ที่ถูกขับด้วยอุปกรณ์ขยายแรงเคลื่อนไฟฟ้าคู่	42
ตาราง6-4 แสดงถึงสัญลักษณ์ของคู่อุปกรณ์ตรวจจู้ที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของดีซีมอเตอร์	46



สารบัญรูป

หน้าที่

รูปที่ 2-1	แสดงถึงการเดินแบบสลับขา	3
รูปที่ 2-2	แสดงถึงการเดินแบบซुคขา	4
รูปที่ 2-3	แสดงถึงกลไกการเคลื่อนที่แบบกลไกเชิงขับข้อ	6
รูปที่ 2-4	แสดงตัวอย่างของหุ่นยนต์เดินที่มีกลไกแบบข้อต่อ	7
รูปที่ 2-5	หน้าตัดขวางของดีซีมอเตอร์ชนิด ไอออน-คอร์ที่เอ็ม	8
รูปที่ 2-6	หน้าตัดขวางของดีซีมอเตอร์ชนิด ซัลเฟส-เวอน พีเอ็ม	9
รูปที่ 2-7	สเต็ปเปอร์มอเตอร์	9
รูปที่ 2-8	การทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	10
รูปที่ 2-9	โปเทนชันมิเตอร์ แบบวัดระยะทางในแนวเส้นตรง	11
รูปที่ 2-10	โปเทนชันมิเตอร์แบบวัดมุม	12
รูปที่ 2-11	แสดงถึงแผนผังของการควบคุมเชิงตำแหน่ง	13
รูปที่ 3-1	ตำแหน่งการวางขาและอุปกรณ์ตรวจรับ	15
รูปที่ 3-2	แสดงถึงการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของหุ่น	17
รูปที่ 3-3	แสดงถึงการเลี้ยวซ้ายของหุ่น	18
รูปที่ 3-4	แสดงถึงการเลี้ยวขวาของหุ่น	18
รูปที่ 4-1	การวางตำแหน่งขาของหุ่นยนต์	19
รูปที่ 4-2	FBD ของขา	20
รูปที่ 4-3	FBD ของขาในมุมต่างๆ	20
รูปที่ 4-4	FBD ขณะเคลื่อนของขา A และขา D	21
รูปที่ 4-5	FBD ของขา B, C, E และ F	22
รูปที่ 4-6	ลักษณะของขาที่ได้กระทำการออกแบบไว้	23
รูปที่ 4-7	FBD ของขาในสภาวะรับแรงหยุดนิ่งที่มองอยู่ในรูปของคาน	23
รูปที่ 4-8	FBD ของขาในสภาวะหยุดนิ่งที่แรง F กระทำพิจารณาอยู่ในรูปของเสา	24
รูปที่ 4-9	FBD ของขา A และ D โดยรับแรง F	25
รูปที่ 4-10	FBD ของขา B, C, E, F ที่รับแรง F_N โดยพิจารณาการโค้งตัวของท่อ	26
รูปที่ 5-1	การเคลื่อนของขา	27
รูปที่ 5-2	แสดงการยกของขา	28
รูปที่ 5-3	กลไกของชุดขับเคลื่อน A และ D	28
รูปที่ 5-4	กลไกการขับขา B, F และ C, E	29
รูปที่ 5-5	กลไกการส่งกำลังที่ใช้ขับขา B, F และ C, E	29
รูปที่ 5-6	การวาง มอเตอร์	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-7	FBD ของขาขณะยก	31
รูปที่ 5-8	FBD ของชุดข้อขา A และ D	31
รูปที่ 5-9	FBD ของชุดขา B,F และ C,E	32
รูปที่ 5-10	ชุดทดเฟือง	33
รูปที่ 5-11	ชุดทดเฟืองสำหรับข้อขา A และ D	34
รูปที่ 5-12	ชุดเฟืองมอเตอร์ ตัวที่ 9	34
รูปที่ 6-1	แสดงถึงระบบควบคุมของหุ่นยนต์ที่ออกแบบ	36
รูปที่ 6-2	แสดงถึงการจัดวางหน่วยความจำของ 89C51RD2	37
รูปที่ 6-3	แสดงการเชื่อมต่อชิพถอดรหัส 74LS138	39
รูปที่ 6-4	โครงสร้างชิพ B2C55	39
รูปที่ 6-5	แสดงการทำงานแบบโหมดอินพุต	40
รูปที่ 6-6	แสดงการทำงานแบบโหมดเอาพุต	40
รูปที่ 6-7	แสดงการทำงานของอุปกรณ์ขยายแรงเคลื่อนไฟฟ้าคู่	42
รูปที่ 6-8	คอนแทกเซ็นเซอร์ แบบกดดับปล่อยติด	43
รูปที่ 6-9	การต่ออุปกรณ์ตรวจจับแบบ Pull up Activelow	43
รูปที่ 6-10	แสดงถึงแผนผังเอาพุต พอร์ต	44
รูปที่ 6-11	แสดงถึงแผนผังอินพุต พอร์ต	45
รูปที่ 6-12	แสดงถึงตัวอย่างของโปรแกรม Keil 8051 compiler	47
รูปที่ 6-13	แสดงถึงแผนผังหลักการทำงานของหุ่นยนต์	48

บทที่ 1

บทนำ

ทรัพยากรมนุษย์ถือว่าเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญมากที่สุด โดยเฉพาะในปัจจุบันซึ่งได้นำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาทำงานแทนมนุษย์ เช่น ในการจัดเก็บหรือเคลื่อนย้ายสารกัมมันตภาพรังสีและสารเคมี การกู้และทำลายวัตถุระเบิด โดยเฉพาะในต่างประเทศนั้น ได้มีการพัฒนาหุ่นยนต์ดินแบบต่าง ๆ มาใช้ในงานเหล่านี้ เพื่อลดความสูญเสีย แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์ยังคงเป็นเทคโนโลยีใหม่ และจำเป็นต้องมีการพัฒนาอีกมาก

คณะผู้ทดลองได้เล็งเห็นคุณประโยชน์ของหุ่นยนต์ดิน ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ขึ้นเพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับศึกษา และสร้างหุ่นยนต์ที่สามารถใช้งานได้จริงต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและออกแบบหุ่นยนต์ดินที่ใช้เป็นต้นแบบในการสร้างหุ่นยนต์ที่สามารถปฏิบัติงานแทนมนุษย์ได้
2. เพื่อศึกษาถึงกลไกการเดินและระบบการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตและนำมาประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์
3. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบถึงระบบควบคุมแบบต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้กับหุ่นยนต์
4. วิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการออกแบบและการสร้างหุ่นยนต์ เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ต่อไป

ขอบเขตของโครงการ

1. สามารถนำทฤษฎีของหุ่นยนต์ และลักษณะการเดินแบบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์ดินได้
2. สามารถทำการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ดินต้นแบบขึ้นมาได้

ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

1. ศึกษาถึงทฤษฎีของหุ่นยนต์ การออกแบบด้าน Mechanic และการออกแบบระบบควบคุม
2. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลจากหุ่นยนต์ดินแบบต่าง ๆ ที่ถูกสร้างขึ้นมาแล้ว เพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพปัญหา คุณลักษณะของหุ่นยนต์ดินดังกล่าว
3. ศึกษาถึงกลไกการเดินของสิ่งมีชีวิตแบบต่าง ๆ
4. หาข้อมูลทางอุปกรณ์ที่ใช้ในตลาด โดยดูถึงประสิทธิภาพและราคา
5. ทำการออกแบบและสร้างขา และลำตัวหุ่นยนต์
6. ทำการศึกษาและออกแบบรวมถึงการสร้างระบบกลไกการขับเคลื่อน
7. ออกแบบและสร้างระบบควบคุมรวมถึงการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำการทดลองการเดิน
9. สรุปผลและทำการเขียนรายงานการจัดทำโครงการ พร้อมทั้งนำเสนอผลงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับหุ่นยนต์เดิน

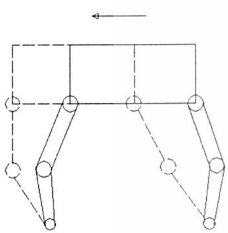
ในปัจจุบันนี้ ทฤษฎีด้านหุ่นยนต์เดินค่อนข้างหาข้อมูลได้ยาก เพราะยังไม่มีหนังสือหุ่นยนต์เดินที่ตีพิมพ์ออกมาโดยเฉพาะ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วผู้จัดทำได้ทำการค้นคว้าหาข้อมูลจากสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ที่ทำโครงการด้านนี้และบริษัทเอกชนในต่างประเทศรวมทั้งนำข้อมูลจากหนังสือด้านหุ่นยนต์นำมาประยุกต์ใช้กับโครงการนี้ และในบทนี้ ได้กล่าวถึงทฤษฎีทั่วไป ที่นำมาประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์เดิน เพื่อเป็นการทำความเข้าใจก่อนจะศึกษาในบทต่อไป

2.1 ทฤษฎีการเดิน (Theory of walking)

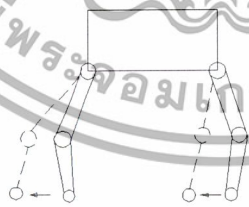
เป็นทฤษฎีที่ศึกษาการเดินของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ โดยศึกษากลไกการเดินและลักษณะท่วงท่าการเดิน เพื่อนำมาประยุกต์ในหุ่นยนต์ จากการศึกษาแบ่งได้ 2 ลักษณะ

2.1.1 การเดินแบบสลับขา (Walking alternate of legs)

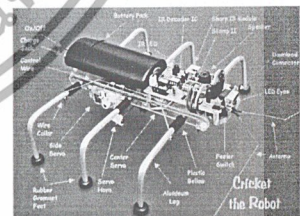
ซึ่งเป็นลักษณะการเดินของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่นมนุษย์ แมลง และสัตว์ต่าง ๆ ลักษณะการเดินแบบนี้มีความต่อเนื่องในการเดิน และมีความเร็วสูง และมีความยืดหยุ่นต่อพื้นที่การเดินดี และในปัจจุบันมีหุ่นยนต์บางส่วนใช้ลักษณะการเดินแบบนี้ ส่วนมากจะเป็นหุ่นยนต์ขนาดเล็ก เพราะถ้าเป็นขนาดใหญ่จะเกิดปัญหากับระบบกลไกการเดิน (Mechanism of walk) ซึ่งเกิดกับความสามารถของระบบต้นกำลัง และระบบควบคุม ถ้ามองปัญหานี้อย่างง่ายว่าเป็นสัตว์สี่เท้าขนาดใหญ่ เช่น ม้า การเคลื่อนที่ จะเคลื่อนที่สลับกันของขาซ้ายหรือขวาแทนที่กัน โดยขาหลังแทนที่ขาหน้า และขาหน้าเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2-1



ก



ข



ค

- ก. การเคลื่อนตัว
ข. การเคลื่อนขา
ค. ตัวอย่างหุ่นยนต์

รูปที่ 2-1 แสดงถึงการเดินแบบสลับขา

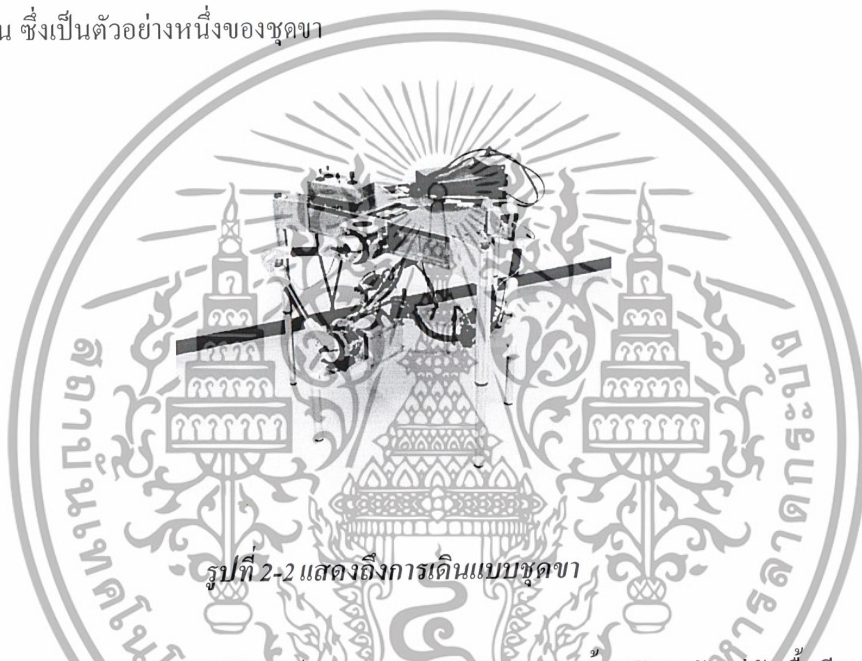
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับหุ่นยนต์ที่มีขนาดใหญ่ ทั้งแบบ 4 ขา หรือ 6 ขาก็ตาม การเคลื่อนที่ลักษณะนี้ จำเป็นต้องใช้ความเร็ว และระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงมาก จึงจะสามารถทำได้ มันจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้หุ่นยนต์ขนาดใหญ่มีข้อจำกัดกับการเคลื่อนที่ลักษณะนี้

แต่อย่างไรก็ตามในอนาคตคาดว่า การเคลื่อนที่แบบนี้เป็นลักษณะที่เหมาะสมกับหุ่นยนต์ เพราะมันมีความเร็วสูงและมีความยืดหยุ่นดี ในต่างประเทศจึงพยายามปรับปรุงระบบควบคุมและระบบต้นกำลังที่ใช้ขับเคลื่อน เพื่อใช้ขับเคลื่อนหุ่นยนต์ ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

2.1.2. การเดินแบบซุดขา (Walking group of legs)

ถ้ามองลักษณะการเดินแบบนี้ ไม่ปรากฏขึ้นในสิ่งมีชีวิตใด แต่จะพบได้บางครั้งในมนุษย์ เช่นในกรณีมนุษย์ใช้ไม้เท้าค้ำยัน ซึ่งเป็นตัวอย่างหนึ่งของซุดขา



รูปที่ 2-2 แสดงถึงการเดินแบบซุดขา

จากรูปที่ 2-2 เราจะสามารถแบ่งซุดขาเป็น 2 ซุด ซุดแรกจะวางรับน้ำหนักตัวอยู่กับพื้นอีกซุดหนึ่งอยู่ในลักษณะยก ส่วนการเคลื่อนที่เกิดจากซุดเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแล้ววางลง ซุดที่วาง จะถูกยกขึ้นแทน การทำงานจะสลับกันไปแบบนี้ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ การเคลื่อนที่ลักษณะนี้เป็นการเคลื่อนที่ ที่ผู้ออกแบบหุ่นยนต์ขนาดใหญ่ที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับแบบแรกจึงได้คิดลักษณะแบบนี้ขึ้นมา มันสามารถทำงานได้ดี แม้หุ่นยนต์จะมีขนาดใหญ่หรือน้ำหนักมาก และการออกแบบระบบควบคุมที่ง่ายกว่า แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นกับแบบนี้ คือความเร็วในการเคลื่อนที่ค่อนข้างต่ำ แต่ถ้าได้ออกแบบระบบควบคุม และกลไกที่เหมาะสมก็จะลดปัญหาตรงนี้ได้บ้าง

2.2 ความสัมพันธ์ของจำนวนขากับเสถียรภาพของการเดิน (Relation number of legs and walking stable)

ในปัจจุบันนี้หุ่นยนต์เดินได้ถูกสร้างมาตั้งแต่ 1 ขา , 2 ขา , 4 ขา , 6 ขา และ 8 ขา ทำให้เกิดคำถามต่อไปว่า ถ้าเราทำการสร้างหุ่นยนต์เดินตัวหนึ่ง หุ่นยนต์เดินตัวนั้นจะมีขาจำนวนทั้งหมดกี่ขา

ปัจจัยในการเลือกจำนวนขาของหุ่นยนต์ (Factor choose number of legs for walking robot)

โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกจำนวนขาของหุ่นยนต์นั้น ประกอบไปด้วย ต้นทุน และเสถียรภาพของการเดิน อาจจะกล่าวได้ว่าถ้ามีจำนวนขาที่น้อยแล้ว จำนวนวัตถุก็จะลดลงจึงมีผลให้ต้นทุนต่ำลง แต่จะมีผลกระทบต่ออีกส่วนหนึ่งเป็นอีกส่วนที่ส่งผลกระทบต่อราคางานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูตให้หาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสถียรภาพการเดินของหุ่นยนต์ได้ ดังนั้นเสถียรภาพการเดินและจำนวนขา จึงเป็นความสัมพันธ์ที่ต้องวิเคราะห์อย่างละเอียดถี่ถ้วน ถ้ามองในแง่สัตว์วิทยา “ไม่มีสัตว์ตัวไหนที่ขนาดใหญ่กว่าแมงมุม มีขาเกิน 4 ขา “ คำกล่าวนี้ทำให้พิจารณาได้ว่าสัตว์ที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก จำนวนขาไม่จำเป็นต้องมีมากตาม เช่น สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดใหญ่ซึ่งมีเพียง 4 ขา และมนุษย์มีเพียง 2 ขา กับมีเสถียรภาพในการเดินที่ดีมาก ถ้ากลับมามองปัญหาของสัตว์วิทยา จะมีเกณฑ์ความเหมาะสมของจำนวนขาตั้งนี้คือ ขนาดและน้ำหนักตัว และพลังงานที่ใช้ในการเดิน

อาจจะมองได้ว่าถ้าสัตว์มีขนาดใหญ่ ต้องมีขามากขึ้นเพื่อทำให้มีเสถียรภาพในการเดิน แต่จำนวนขาที่เพิ่มขึ้น จำเป็นต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในการก้าวเดิน ซึ่งหมายถึงอาหารที่ต้องหาเพิ่มขึ้น โดยพัฒนาการของสัตว์นั้น ปัญหาด้านพลังงานเป็นปัญหาหลักของมัน สัตว์จึงมีวิวัฒนาการเพื่อให้ขามีจำนวนน้อยที่สุด โดยคุณลักษณะการเดินที่มีเสถียรภาพไว้ได้ ถ้ากลับมามองถึงหุ่นยนต์โดยนำวิธีประยุกต์จากสัตว์วิทยามาใช้ การออกแบบหุ่นยนต์ควรมี 4 ขา หรือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยมีพิจารณาถึงเสถียรภาพของการเดิน ตารางที่ 2.1

จำนวนขา	เสถียรภาพการเดิน	ต้นทุน	รายละเอียด
1	ต่ำ	สูง	1. ความเร็วในการเดินสูง 2. เดินโดยความเฉื่อย 3. ยังอยู่ในขั้นทดลอง
2	ต่ำ	สูง	1. บางพื้นที่อาจเดินได้ลำบาก 2. คุณลักษณะการเดินยังห่างไกลจากมนุษย์
4	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
6	สูง	ต่ำ	1. โดยส่วนมากเป็นหุ่นยนต์ขนาดเล็ก 2. ความเร็วขึ้นอยู่กับทฤษฎีการเดิน
8	สูง	ต่ำ	1. มักเป็นหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

ตารางที่ 2-1 แสดงถึงการเปรียบเทียบความยากง่ายในการออกแบบ และเสถียรภาพในการเดินโดยการทำการวิเคราะห์หุ่นยนต์ที่มีการสร้างในต่างประเทศ

- หมายเหตุ 1. ข้อมูลจากการทำแบบสอบถามตาม เว็บไซต์ (Web side) ต่างๆ ที่ผลิตหุ่นยนต์
2. ข้อมูลในที่นี้เป็นข้อมูลตัวแทนของหุ่นยนต์ที่สนใจ หุ่นยนต์บางชนิดอาจมีคุณลักษณะ ที่แตกต่างกัน
3. ข้อมูลจาก Mit.edu.com

Dr.sc.techn.ullraeh Schmucker

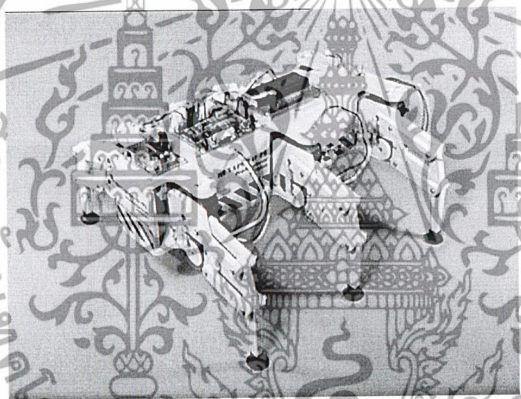
Mail: Schmucker@iff.thg.dl

2.3 ระบบกลไกการเคลื่อนที่ (Move mechanistic system)

กลไกการเคลื่อนที่นี้เป็นกลไกที่หุ่นยนต์เดิน ขับขานเพื่อใช้สำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี ด้วยกันดังต่อไปนี้

2.3.1 กลไกเชิงซับซ้อน (Complex mechanism)

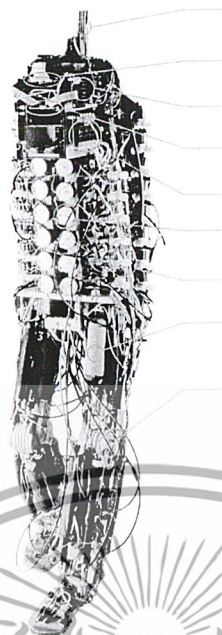
จะสามารถพบเห็นได้ในหุ่นยนต์เดินยุคเก่า หรือเรียกอีกอย่างว่า กลไกข้อต่อ (Linkage system) ซึ่งคือการใช้ระบบต้นกำลัง เช่น ใช้ ดีซี มอเตอร์ (DC motor) ไปขับชุดกลไกข้อต่อ เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ตามลักษณะต่างๆ กัน โดยชุดกลไกข้อต่อนี้ จะถูกใช้ในการรับภาระ (Load) แทนมอเตอร์ และส่งผ่านกำลังที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2-3 โดยมีข้อดี คือสามารถออกแบบการเคลื่อนที่เชิงตำแหน่งได้ง่าย และลดภาระของมอเตอร์ แต่ในปัจจุบันหุ่นยนต์ที่ใช้ระบบนี้จะพบเห็นได้น้อยลง เพราะมีปัญหาเกี่ยวกับระบบควบคุมเชิงตำแหน่งอย่างละเอียด หรือระบบตอบสนองอย่างฉับพลัน และมอเตอร์ไฟฟ้ายังมีคุณภาพดีขึ้น แต่ยังไม่พบเห็นหุ่นยนต์ประเภทนี้ได้อยู่ในชุดประกอบสำเร็จรูป (Kit robot) ที่มีขายทั่วไป ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 แสดงถึงกลไกการเคลื่อนที่แบบ กลไกเชิงซับซ้อน

2.3.2 กลไกแบบข้อต่อเดี่ยว (Single joint mechanism)

เป็นการจำลองลักษณะทางกายภาพของสิ่งมีชีวิตมา โดยใช้มอเตอร์ 1 ตัวในการควบคุม 1 ข้อต่อ โดยใช้ชุดทดเข้าช่วย ลักษณะคล้ายกับแขนกล มีแนวโน้มว่ากลไกแบบนี้จะมีการใช้เพิ่มขึ้นในอนาคตระบบนี้ผู้ออกแบบสามารถควบคุมเชิงตำแหน่ง และควบคุมการเคลื่อนที่อย่างฉับพลันได้ดี แต่อาจจะยากขึ้นกับระบบที่มีหลายข้อต่อ ซึ่งจะสามารถแสดงในตัวอย่างดังรูปที่ 2-4 และตารางที่ 2-2 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบถึงระบบของกลไก ทั้ง 2 แบบ



รูปที่ 2-4 แสดงตัวอย่างของหุ่นยนต์เดินที่มีกลไกแบบข้อต่อ

กลไกเชิงขับเคลื่อน	กลไกแบบข้อต่อเดี่ยว
<ol style="list-style-type: none"> 1. ระบบควบคุมกระทำได้ง่าย เพราะมีจุดที่ต้องควบคุมน้อย 2. อัตราความเร็วของการเคลื่อนที่แน่นอน 3. การป้อนกลับเชิงตำแหน่งกระทำได้ง่าย 4. ราคาถูกและง่ายต่อการผลิต 5. เหมาะสมกับหุ่นยนต์ขนาดเล็ก 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ความยากง่ายของระบบควบคุมขึ้นอยู่กับจำนวนข้อต่อ โดยปรกติจะมีหลายข้อต่อ 2. การเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับระบบต้นกำลังและการออกแบบระบบควบคุม 3. มีการป้อนกลับเชิงตำแหน่งที่ละเอียด 4. ราคาสูงและยากต่อการผลิต 5. เหมาะสมกับหุ่นยนต์ขนาดกลางและใหญ่ (ถึงจะเหมาะแก่การลงทุน)

ตารางที่ 2-2 แสดงถึงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของกลไกทั้ง 2 แบบ

2.4 ระบบต้นกำลัง (Power source system)

หมายถึงระบบขับเคลื่อนที่ใช้ขับเคลื่อนให้ขาค่อยเคลื่อนที่ ซึ่งในที่นี้ได้ทำการศึกษาถึงต้นกำลังทั้ง สองชนิดนี้มีราคาถูกและคุณภาพดี คือ ดีซี มอเตอร์ และ สเต็ปเปอร์ มอเตอร์ (Stepper Motor) เพราะว่ามีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย

2.4.1. มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)

เป็นมอเตอร์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงขับเคลื่อน โดย ดีซี มอเตอร์ สามารถหมุนทั้งทิศทางเดียวและสองทิศทาง และมีระบบการหมุนที่ค่อนข้างราบเรียบ โดยในการออกแบบระบบควบคุมดีซี มอเตอร์ นั้น จะใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมแบบปิด (Close loop servo) ชนิดการป้อนกลับเชิงตำแหน่งและเชิงความเร็ว เพราะการควบคุมแบบนี้จะทำให้มอเตอร์มี แรงบิด(Torque) สูง และเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว เพราะการควบคุมแบบนี้ จะถูกควบคุมจากอุปกรณ์ควบคุม(Controller unit) ผ่านทาง รีเลย์ สวิตซ์ซึ่ง (relay switching)

ชนิดของดีซี มอเตอร์

ดีซี มอเตอร์ จะทำการส่งผ่านแรงบิด โดยจากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล แรงบิดจะถูกผลิตขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าแม่เหล็กใน สเตเตอร์ ฟیل (Stator field) และกระแสจาก ขดลวดที่แกนมอเตอร์ (Motor Armature) โดยมีมอเตอร์จะแบ่งตามชนิดของ PM (Permanence Magnet)

1. ไอออน-คอร์ พีเอ็ม ดีซี มอเตอร์ (Iron-core-PM DC Motor)

จะใช้เหล็กแผ่นบางทำเป็นแกน โดยแบ่งช่องมากมายดังรูปที่ 2-5 โดยปกติ อะมาเซอร์ คอนดักเตอร์ (Armature Conductor, ขดลวดทองแดงที่หุ้มฉนวน ซึ่งพันอยู่ตามช่อง) หรือ ขดลวด(Windings) จะสอดอยู่ในสลีตนี้ โดย PM จะถูกผลิตจากโคโอะนิโซ (Alnico)หรือ เฟอร์ไรท์ (Ferrite) โดยมีมอเตอร์ชนิดนี้จะมีกระแสเหนี่ยวนำและความหน่วง (Inertia) สูง แต่ราคาถูก



รูปที่ 2-5 หน้าตัดขวางของดีซี มอเตอร์ชนิด ไอออน-คอร์ พีเอ็ม

2. ซัลเฟส- เวอนด พีเอ็ม ดีซี มอเตอร์ (Surface-Wound PM DC Motor)

เป็นการปรับปรุงคุณภาพของ ดีซี มอเตอร์ โดยนำ อะมาเซอร์ คอนดักเตอร์ ไปอยู่ที่ผิวแทน แทนที่จะอยู่ในช่อง ดีซี มอเตอร์ชนิดนี้ให้กระแสเหนี่ยวนำสูง แต่ราคาสูงและยังมีขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 2-6

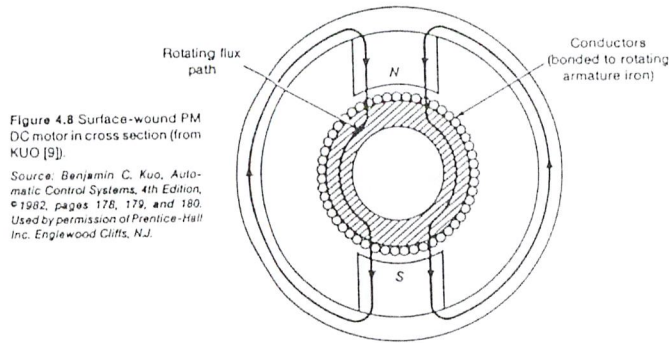


Figure 4.8 Surface-wound PM DC motor in cross section (from KUO [9]).

Source: Benjamin C. Kuo, Automatic Control Systems, 4th Edition, ©1982, pages 178, 179, and 180. Used by permission of Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, NJ.

รูปที่ 2-6 หน้าตัวขวาง ของดีซี มอเตอร์ชนิด ซัลเฟส-เวอนด พีเอ็ม

2.4.2. สเต็ปเปอร์ มอเตอร์ (Stepper Motor)

ส่วนมากจะใช้กับหุ่นยนต์ที่ใช้ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop control) และจำเป็นที่ต้องใช้ แรงบิด ไม่มากนัก โดยมอเตอร์จะเคลื่อนที่เป็นสเต็ป (หมุนด้วยมุมคงที่น้อย) โดยผ่านการควบคุมจากกระแสพัลส์ (electrical pulse) ที่ต่อมาจากพอร์ทพรีนเตอร์ของคอมพิวเตอร์และดิจิทัลไคร์ฟ หรืออุปกรณ์ควบคุมอื่นๆ สเต็ปเปอร์ มอเตอร์ มีลักษณะคล้าย ดีซี มอเตอร์ ดังรูปที่ 2-7 และจะอธิบายการทำงานดังรูปที่ 2-8

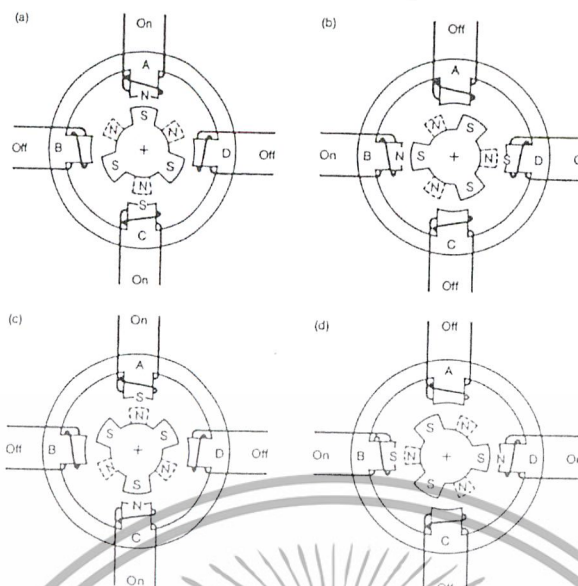
- เมื่อเทียบต่อ ดีซี มอเตอร์ ที่มีขนาดเท่ากัน

Figure 4.15 Stepper motor structure. Courtesy of Sigma Instruments, Inc. Used by permission.



รูปที่ 2-7 สเต็ปเปอร์ มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-8 การทำงานของ สเต็ปเปอร์ มอเตอร์

โดย สเต็ปเปอร์ มอเตอร์ จะหมุน โดยการเปลี่ยนแปลงของทิศทางกระแสแม่เหล็กที่ตัวสเตเตอร์ วินดิง (Stator windings) โดยมีการทำงานทั้งแบบ 2.3 หรือ 4 เฟส โดยสามารถหมุนเป็นสเต็ป (step) ละ 1.8° ถึง 30°

ข้อดี	ข้อเสีย
<ol style="list-style-type: none"> 1. สัตส่วนของ แรงบิดต่อ กำลังคงที่ 2. สัตส่วนของ แรงบิด ต่อขนาดคิลว่า สเต็ปเปอร์ มอเตอร์ 3. ความแม่นยำเชิงตำแหน่งสูง 4. มีการตอบสนองต่อการควบคุมสูง 	<ol style="list-style-type: none"> 1. โดยส่วนมากต้องใช้การควบคุมแบบปิด (Close loop control) สำหรับระบบที่ต้องการความแม่นยำ 2. โดยทั่วไปดีซี มอเตอร์จะมีราคาสูงกว่า สเต็ปเปอร์ มอเตอร์ 3. การกลับทิศทางการหมุน ต้องใช้สวิตซ์ซิ่ง (Switching)

ตารางที่ 2-3 แสดงถึงข้อดีข้อเสียของ ดีซี มอเตอร์และ สเต็ปเปอร์ มอเตอร์ดีซี มอเตอร์ สำหรับงานที่มีความแม่นยำสูง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีความเร็วคงที่และสามารถควบคุมเชิงตำแหน่งจากสแต็ปการหมุนได้	1. มีขนาดใหญ่ ถ้าต้องการให้รับภาระเท่ากับ ดีซีมอเตอร์
2. ใช้ควบคุมแบบเปิด ก็สามารถควบคุมอย่างละเอียดได้	2. ต้องใช้วงจรพิเศษสำหรับงานที่ต้องการประสิทธิภาพสูง
3. ดีมากสำหรับการรับภาระต่ำ และยังมีความแม่นยำในระบบแบบเปิด	3. ไม่เหมาะสมสำหรับงานหนักถ้าต้องการให้รับภาระสูง ซึ่งจะเกิดสัญญาณรบกวนสูงเช่นกัน
4. ง่ายต่อการออกแบบระบบควบคุม	4. การเคลื่อนที่เป็นสแต็ปทำให้ไม่มีความราบเรียบเท่าที่ควร

ตารางที่ 2-4 แสดงถึงข้อดีข้อเสียของ สแต็ปเปอร์ มอเตอร์ ดีซี มอเตอร์ สำหรับงานที่มีความแม่นยำสูง

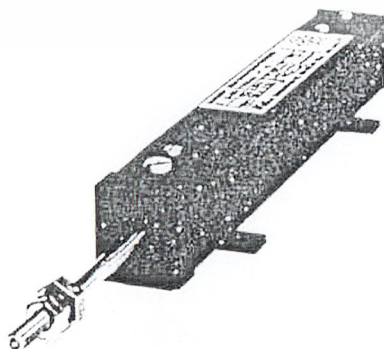
2.3 อุปกรณ์ตรวจจับรู้ (Sensor)

เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบการทำงานของหุ่นยนต์ขณะเคลื่อนที่ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลง อุปกรณ์ตรวจจับรู้จะส่งสัญญาณไปที่ระบบประมวลผลเพื่อหุ่นยนต์จะได้ตรวจสอบต่อไป

ชนิดของ อุปกรณ์ตรวจจับรู้

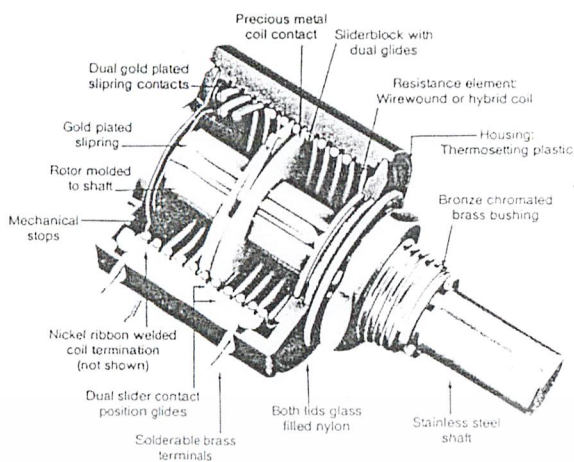
1. อุปกรณ์ตรวจจับรู้แบบหน้าสัมผัส (Contact Sensing) จะเป็นลักษณะของ อุปกรณ์ตรวจจับรู้ ง่ายโดยอาศัยการแตะกันของตัวต้านทานสองตัว เพื่อให้อยู่ในสภาพปิดหรือเปิดเพื่อส่ง สัญญาณที่อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าไปที่ระบบควบคุม เช่น สวิตช์ (Switches), ไพโซอิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์ (Piezoelectric transducer)

2. อุปกรณ์ตรวจจับรู้แบบวัดตำแหน่งและระยะทาง (Position and displacement Sensing) เป็น อุปกรณ์ตรวจจับรู้ ที่คอยตรวจการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและระยะทาง เช่น โปเทนชันมิเตอร์ (Potentiometer) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับรู้ ที่มีกลไกติดกับตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งไปความต้านทานจะเปลี่ยนแปลง และความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นตัวบอกการเปลี่ยน ไปให้ระบบควบคุมทราบในรูปแบบของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและจะพบเห็น โปเทนชันมิเตอร์ ทั่วไปอยู่ 2 ลักษณะ ดังรูปที่ 2-9 และ 2-10



รูปที่ 2-9 โปเทนชันมิเตอร์ แบบวัดระยะทางในแนวเส้นตรง (Linear potentiometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเชิง ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็น แบบประกอบชิ้นส่วนการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-10 โปเทนชันมิเตอร์ แบบวัดมุม (Turn rotary potentiometer)

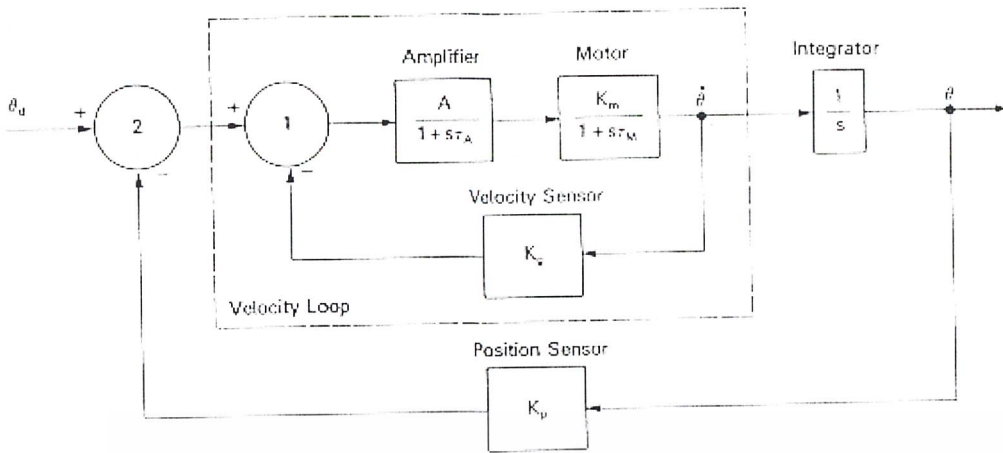
3. อุปกรณ์ตรวจจับรู้แบบใช้วัดแรง (Force sensing) เป็น อุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้วัดแรงที่มากระทำ โดยใช้กับหุ่นยนต์บางชนิดที่จำเป็นต้องรู้ภาระในการทำงาน ซึ่งก็มีหลายชนิด ดังตัวอย่าง

อีลาสติก อีลิเมนต์ (Elastic elements) เป็น อุปกรณ์ตรวจจับรู้แบบที่มีการเปลี่ยนรูปร่างในภาวะ 1 มิติซึ่งอยู่ในช่วงภาวะยืดหยุ่น แรงที่มากระทำจะถูกวัดได้โดยค่าความเครียด ด้วยเกณฑ์วัดความเครียด (strain gages) โดยถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน เกณฑ์วัดความเครียดจะแปรเปลี่ยนเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์เพื่อส่งให้กับระบบควบคุมทราบ

2.6 ระบบควบคุม (Control system)

ระบบควบคุมเปรียบเสมือนสมองมนุษย์ ที่สั่งการให้ขาและแขนเคลื่อนไปยังที่ต่างๆ แต่สำหรับหุ่นยนต์แล้ว ระบบควบคุมเป็นอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์หลายๆ ตัวมาทำงานร่วมกัน โดยเป็นตัวกลาง (ประมวลผล) ระหว่างซอฟต์แวร์ (โปรแกรมที่เขียนเพื่อควบคุม) กับอุปกรณ์ต้นกำลังและอุปกรณ์ตรวจจับรู้ ให้ทำงานตามที่เราต้องการ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงระบบควบคุมโดยทั่วไป ส่วนการออกแบบระบบควบคุมที่ใช้ในโครงการจะกล่าวถึงในเชิงรายละเอียดในบทที่ 6

ระบบควบคุมแบบปิดในระบบ เซอร์โวเชิงตำแหน่ง (Closed-loop control in the position servo) ระบบควบคุมแบบนี้เป็นการควบคุมเชิงตำแหน่งที่นิยมใช้ในงานหุ่นยนต์ โดยมีการส่งสัญญาณกลับเชิงตำแหน่งและเชิงความเร็วเพื่อปรับค่าสัญญาณเข้า (Input signal) ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 แสดงถึงแผนผังของการควบคุมเชิงตำแหน่งซึ่งประกอบไปด้วย ลูปเชิงความเร็วและลูปเชิงตำแหน่ง

ลักษณะการควบคุมแบบนี้เป็นแบบข้อต่อเดี่ยว (Single joint) โดย k_p เป็น เกนเชิงตำแหน่ง (Position gains) k_v เป็นเกนเชิงความเร็ว (velocity gains) A เป็นตัวขยาย (amplifier) และ k_m เป็นมอเตอร์เกน (Motor gains) โดยรับสัญญาณอินพุต (Input signal) เพื่อนำมาผ่านตัวขยายและไปขับมอเตอร์ โดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจจับรูปแบบตรวจจับความเร็ว เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วรอบของมอเตอร์ และอุปกรณ์นี้จะส่งสัญญาณป้อนกลับไปที่อุปกรณ์ควบคุมโดยอุปกรณ์ควบคุม จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ถูกส่งป้อนกลับนี้กับสัญญาณอินพุต หรือสัญญาณอ้างอิง พร้อมทั้งปรับสัญญาณป้อนกลับให้มีค่าเข้าใกล้สัญญาณอ้างอิงมากที่สุด ส่วนลูปเชิงตำแหน่งนั้นจะมีการทำงานในลักษณะเดียวกันกับลูปเชิงความเร็วโดยเปลี่ยนจากอุปกรณ์ตรวจจับรูปแบบตรวจจับความเร็วเป็นอุปกรณ์ตรวจจับเชิงตำแหน่งปกติในข้อต่อเดี่ยวนั้นอาจมีทั้งสองส่วนการทำงานอยู่ในข้อต่อเลยหรือมีแค่ลูปเชิงตำแหน่งอย่างเดียวเท่านั้น ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ใช้ควบคุมเป็นหลัก

2.7 การเลือกวัสดุ

โดยหัวข้อนี้จะกล่าวถึง วัสดุที่นำมาเป็นโครงสร้างและส่วนประกอบหลัก ๆ ของหุ่นยนต์ โดยเลือกจากสาเหตุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. สามารถหาได้ง่ายและราคาถูก
2. มีความแข็งแรงสูงและน้ำหนักเบา
3. กรรมวิธีในการติดตั้งและการผลิตสะดวก

วัสดุ	กว้าง (in)	หนา (in)	น้ำหนัก (kg)	การยืดสูงสุด (in)
Aluminum	1.25	0.25	1.6289	0.0459
PVC	1.25	0.25	1.1825	1.325

ตารางที่ 2-5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของท่ออลูมิเนียมและ PVC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของท่ออลูมิเนียมและ PVC (Polyvinyl Chloride) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีขนาดเบาและหาได้ง่ายในท้องตลาด ซึ่งพอจะทราบถึงความแตกต่างเพื่อที่จะสามารถเลือกใช้วัสดุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การออกแบบกลไกการเดิน

เป็นการกล่าวถึงว่าควรทำอย่างไร ให้หุ่นยนต์สามารถเดินได้ โดยจากบทที่แล้วได้ทำการศึกษาถึงทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับหุ่นยนต์เดิน และในบทนี้จะเป็นการออกแบบกลไกการเดินพร้อมทั้งเลือกจำนวนขาของหุ่นยนต์

ปัจจัยที่ผู้ดำเนินโครงการได้ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ที่มีขา

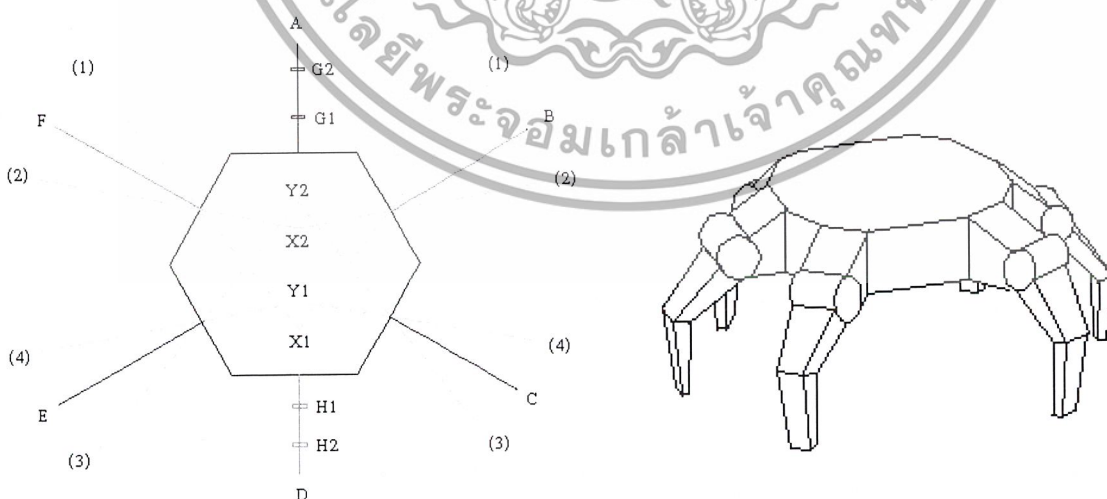
1. เป็นจำนวนขาที่น้อยที่สุดและมีเสถียรภาพในการเดินดีที่สุดตามตารางที่ 2.1
2. เหมาะสมกับหุ่นยนต์ขนาดใหญ่
3. สามารถเลือกรูปแบบการเดินได้ง่าย

ปัจจัยในการเลือกรูปแบบการเดินโดยผู้ดำเนินโครงการได้เลือกรูปแบบ แบบชูดขา

1. สามารถออกแบบระบบควบคุมได้ง่าย
2. ลดข้อผิดพลาดในจังหวะในการก้าวเดินเพราะใช้การแทนที่ของชูดขา ทำให้ล้มได้ยาก
3. เป็นรูปแบบการเดินที่ง่ายต่อการออกแบบและสร้าง
4. เป็นรูปแบบที่ใช้งบประมาณในการสร้างต่ำเพราะไม่จำเป็นต้องใช้ ระบบต้นกำเนิด วัสดุ และระบบควบคุมที่คุณภาพสูงนัก

จากทั้งสองปัจจัยที่กล่าวมาทำให้ได้ภาพร่างของหุ่น แบบชูดขา ซึ่งมีลักษณะดัง

ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3-1 ตำแหน่งการวางขาและ อุปกรณ์ตรวจจับรู้

จากรูปที่ 3-1 ตัวอักษร A,B,C,D,E,F แทนชื่อเรียกของแต่ละ (1),(2),(3),(4)เป็นตำแหน่งการบิดของขา $G_1, G_2, H_1, H_2, X_1, X_2, Y_1, Y_2$ เป็นอุปกรณ์ตรวจจับรู้ โดยวางตามตำแหน่ง และสามารถอธิบายถึงกลไกการเคลื่อนที่แบบต่างๆดังนี้

3.1 การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า จะแบ่งเป็น 6 ขั้นตอนการทำงานดังนี้

3.1.1 สภาวะเริ่มต้นโดย ขา B และขา F วางที่ ตำแหน่ง(1) ขา C และขา E ยกที่ตำแหน่ง (3) ขา D วางที่ ตำแหน่ง H_1 ขา A ยกที่ ตำแหน่ง G_1

3.1.2 ขา B และขา F บิดไปที่ ตำแหน่ง (2) ขา D เคลื่อนที่ไปที่ ตำแหน่ง H_2 ขา C และขา E บิดไปที่ ตำแหน่ง (4) ขา A เคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่ง G_2

3.1.3 ขา C และขา E วางที่ตำแหน่ง (4) ขา A วางที่ ตำแหน่ง G_2 ขา B และขา F ยกที่ ตำแหน่ง (2) ขา D ยกที่ ตำแหน่ง H_2

3.1.4 ขา C และขา E วางที่ตำแหน่ง (3) ขา A เคลื่อนที่ไปที่ ตำแหน่ง G_2 ขา B และขา F บิดไปตำแหน่งที่ (1) ขา D เคลื่อนที่ไปตำแหน่ง H_1

3.1.5 ขา B และขา F วางที่ ตำแหน่ง (1) ขา D วางที่ ตำแหน่ง H_1 ขา C และขา E ยกที่ตำแหน่ง (3) ขา A ยกที่ตำแหน่ง G_1

3.1.6 ทำข้อ 3.1.2 ถึง 3.1.6 ซ้ำ

3.2 การเคลื่อนที่ถอยหลัง โดยอธิบายจากรูปที่ 3-1 ได้ดังนี้

3.2.1 ขา A ยกที่ตำแหน่ง G_1 ขา C และขา E ยกที่ตำแหน่ง (3)

3.2.2 ขา D วางที่ตำแหน่ง H_1 ขา B และขา F วางที่ตำแหน่ง (1)

3.2.3 ขา B และขา F ยกที่ตำแหน่ง (1) ขา D ยกที่ตำแหน่ง H_1

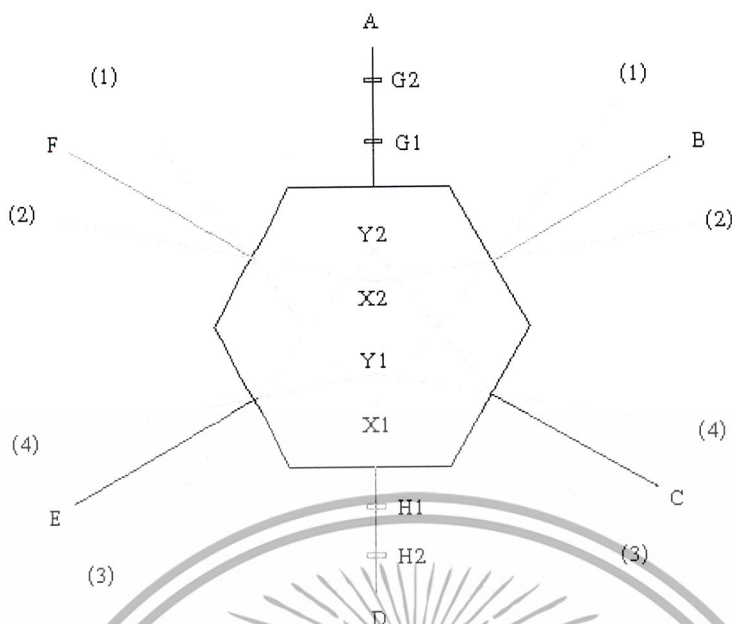
3.2.4 ขา A วางที่ตำแหน่ง G_1 ขา C และขา E วางที่ตำแหน่ง (3)

3.2.5 ขา B และขา F บิดไปที่ตำแหน่ง (2) ขา D เคลื่อนที่ไป ตำแหน่ง H_2 ขา A เคลื่อนที่ไป G_2 ขา C และขา E บิดไปที่ตำแหน่ง (4)

3.2.6 ขา B และขา F วางที่ตำแหน่ง (2) ขา D วางที่ตำแหน่ง H_2 ขา A ยกที่ ตำแหน่ง G_2 ขา C และขา E ยกที่ตำแหน่ง (4)

3.2.7 ขา B และขา F บิดไปที่ตำแหน่ง (1) ขา D เคลื่อนที่ไปตำแหน่ง H_1 ขา A เคลื่อนที่ไปที่ ตำแหน่ง G_1 ขา C และขา E บิดไปที่ตำแหน่ง (3)

3.2.8 ทำเหมือนข้อ 3.2.3 ถึง ข้อ 3.2.8 ซ้ำ

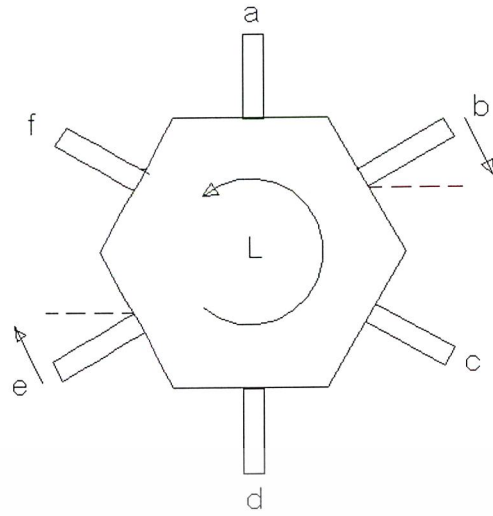


รูปที่ 3-2 แสดงถึงการเคลื่อนที่ไปยังข้างหน้าของหุ่น

3.3 การเดินย้าย โดยอธิบายจากรูปที่ 3-1

- 3.3.1 วางขา A และขา E
- 3.3.2 ยกขา F
- 3.3.3 เคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่ง (2) และ (4)
- 3.3.4 วางขา C
- 3.3.5 ยกขา B
- 3.3.6 เคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่ง (1)
- 3.3.7 วางขา B และขา F
- 3.3.8 ยกขา A ขา C และขา E
- 3.3.9 เคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่ง (3)

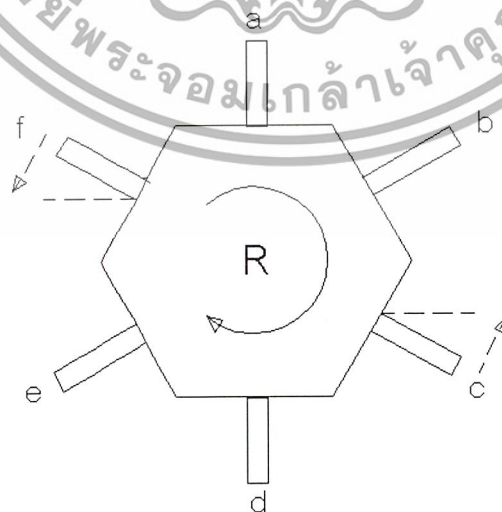
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-3 แสดงถึงการเลียวย้ายของหุ่นยนต์

3.4 การเลียยวขวา โดยพิจารณาจากรูปที่ 3-1

- 3.4.1 วางขา A และขา C
- 3.4.2 ยกขา B
- 3.4.3 เคลื่อนไปที่ตำแหน่ง (2) และเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่ง (4)
- 3.4.4 วางขา E
- 3.4.5 วางขา F
- 3.4.6 เคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่ง (1)
- 3.4.7 วางขา B และขา F
- 3.4.8 ยกขา A ขา C และขา E
- 3.4.9 เคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่ง (3)



รูปที่ 3-4 แสดงถึงการเลียยวขวาของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบโครงสร้าง

เป็นการกล่าวถึงกรรมวิธีการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ ซึ่งประกอบไปด้วยขาและลำตัว ซึ่งจากบทที่แล้วได้กล่าวถึงการเลือกวัสดุ ในที่นี้เราได้ใช้อลูมิเนียมเป็นวัสดุหลัก และบทนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก

1. การคำนวณแรงที่เกิดจากโครงสร้างหุ่นในส่วนต่าง ๆ โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือการคำนวณแรงในสภาวะหยุดนิ่งและในสภาวะเคลื่อนที่
2. การคำนวณในทางกลศาสตร์วัสดุเป็นการคำนวณหาขนาดโครงสร้างของหุ่น

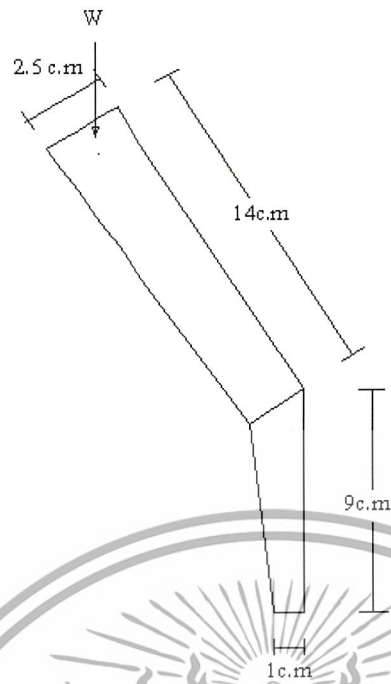
4.1 การคำนวณแรง

4.1.1 การคำนวณแรงในสภาวะหยุดนิ่ง



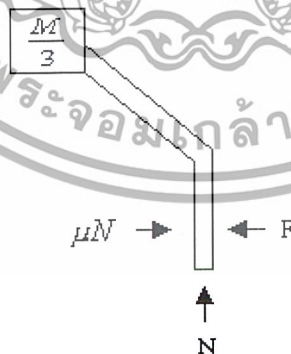
รูปที่ 4-1 การวางตำแหน่งขาของหุ่นยนต์

จากรูปที่ 4-1 เป็นการวางตำแหน่งของขาและชื่อเรียกของขา ส่วนรูปที่ 4.2 เป็นการแสดงถึง FBD (Free body diagram) ของขาในสภาวะรับแรงขณะหยุดนิ่ง ในลักษณะ 3 ขายกและ 3 ขารับน้ำหนัก



รูปที่ 4-2 FBD ของขา

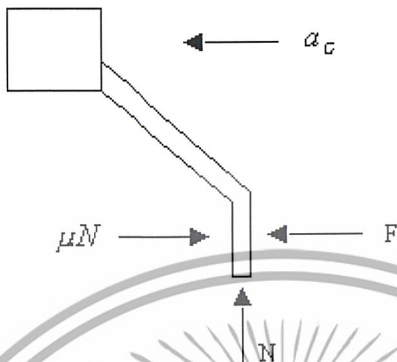
W คือ load ที่เกิดขึ้นกับขาซึ่งประกอบไปด้วยน้ำหนักโครงสร้างลำตัวและขา 6 ขา + ลำตัว + อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ + มอเตอร์ + อื่น ๆ มีค่าประมาณ 150 นิวตัน (Newton)
 N คือ แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับขา
 μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน โดยกำหนด $\mu=0.95$



รูปที่ 4-3 FBD ของขาในมุมมองต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การคำนวณแรงในสถานะเคลื่อนที่ เป็นการหาขนาดแรงในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในลักษณะต่าง ๆ กัน ถ้าพิจารณาทั้งกลไกการเดิน (บทที่3) เมื่อเกิดการเดินเกิดขึ้น ขาต่าง ๆ จะรับแรงอยู่ 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 เป็นการหาแรงที่กระทำกับขา A และ D



รูปที่ 4-4 Free Body ขณะเคลื่อนที่ของขา A (และขา D)

$$\sum F_x = Ma_G \quad | \quad F_3 - \mu N = (Ma_G)/3 \tag{Eq(4.1)}$$

$$\sum F_y = Ma_G \quad | \quad N - Mg/3 = 0 \tag{Eq(4.2)}$$

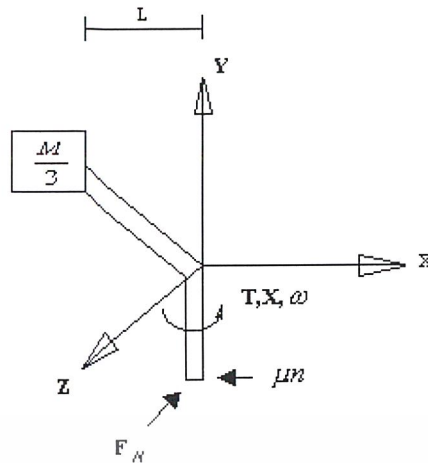
F คือ แรงที่กระทำในแนวแกน x

a_G คือความเร่งของลำตัวที่เคลื่อนที่ในแนวแกน กำหนด $a_G = 0.0469 \text{ m/s}^2$

N = 5.0 นิวตัน

ได้ $F_3 = F = 47.735$ นิวตัน

กรณีที่ 2 การคำนวณหาแรงที่กระทำ กับขา B, C, E, F ในสถานะการบิด ดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-5 แสดง Free body ของขา B,C,E และ F

- กำหนดน้ำหนักของขาที่มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับลำตัว

$$\sum M_y = I_y \alpha_y - (I_z - I_x) \omega_z \omega_x \quad \text{Eq(4.3)}$$

$$F_N L - \mu N L = I_y \alpha_y \quad \text{Eq(4.4)}$$

กำหนด μ คือความเสียดทานของขาอยู่กับพื้น $= 0.95$

L คือความยาวขาตามรูปที่ 4.5 $L = 0.082$ m.

I_{yy} คือโมเมนต์ความเฉื่อย (Mass moment of inertia) ของลำตัวที่หมุนรอบแกน y , $I_{yy} = 1.568$ kg.m² (ได้มาจากการคำนวณ)

α_y คือความเร่งเชิงมุมที่เกิดจากบิดของขา รอบแกน y โดยกำหนด $\alpha_y = 0.297$ rad/s²

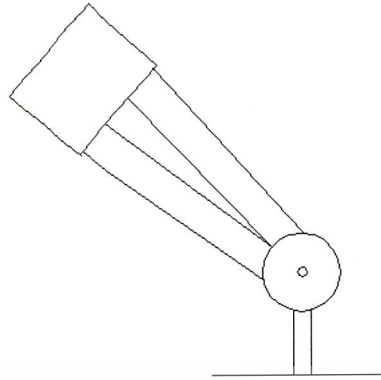
N คือแรงปฏิกิริยาที่ขากระทำกับพื้น (กำหนดให้ขาจับภาระเพียง 2 ขา เท่านั้น) $N = 100$ นิวตัน

ได้ $F_N = 100.6792$ นิวตัน

4.2 การคำนวณทางกลศาสตร์วิสตดู

มี 2 ขั้นตอน คือ การออกแบบโครงสร้างขา และคำนวณทางกลศาสตร์เพื่อหาขนาดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของขา

4.2.1 การออกแบบโครงสร้าง ได้ทำการออกแบบไว้ในรูป 4-6



รูปที่ 4-6 ลักษณะของขาที่ได้กระทำการออกแบบไว้

4.2.2 การคำนวณทางกลศาสตร์

จากรูปที่ 4.3 จะเห็น FBD ของขาที่มีแรง F กระทำ ถ้าพิจารณาแรง F นั้นจะกระทำกับขาโดยแบ่งเป็นสองกรณี คือแรง F ที่ทำให้ขาเกิดการคดและแรง F ที่คดขา พิจารณาดังนี้

- 1 แรงทำให้ขาเกิดการคด ในสภาวะการคด โดยมีข้อสมมติฐานดังนี้
 - ข้อ 1 ท่อทั้งสองรับแรง F เท่ากัน
 - ข้อ 2 ท่อทั้งสองเกิดการคดมีลักษณะใกล้เคียงกัน
 - ข้อ 3 พิจารณาเฉพาะท่อทั้ง 2 อันเท่านั้น
 - ข้อ 4 โครงสร้างลำตัวเป็น โครงสร้างเกร็งไม่เกิดการคด จึงพิจารณาเป็น Load จุดเดียวดังรูปที่ 4-7



รูปที่ 4-7 FBD ของขา ในสภาวะรับแรงหยุดนิ่ง ที่มองอยู่ในรูปของถานที่มีจุดยึด 2 จุด และมี Load ตรงกลาง

จาก
$$\delta = (PL^3)/(48EI) \tag{Eq(4.5)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

δ คือระยะโก่งสูงสุด (m) โดยกำหนดให้ $\delta=0.002$ m

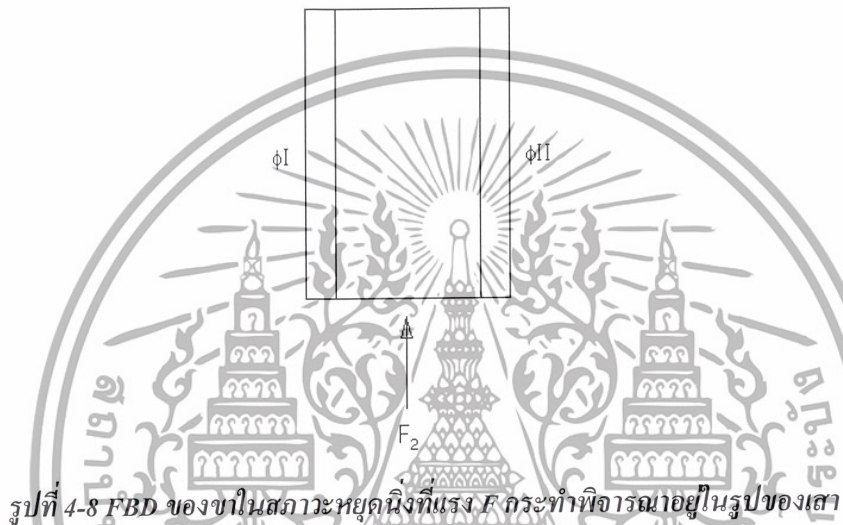
$P = F=Mg/3$ คำนวณด้วยค่าความปลอดภัย($N_c=3$), $P=150$ นิวตัน

L คือ ความยาวของขารวม 2 ขา = 0.48 m

E คือ โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของอลูมิเนียม = 70 Gpa

ได้ I_0 คือ Moment of initial รวม ของท่อ 1 และท่อ 2 (m^4), $I_0=2.46857*10^{-9}$ m⁴

2. แรง F_2 ที่กดขา



รูปที่ 4-8 FBD ของขาในสภาวะหยุดนิ่งที่แรง F กระทำพิจารณาอยู่ในรูปของเสา

สมมติฐาน

ข้อ 1 ก่อทั้ง 2 รับแรงเท่ากัน

ข้อ 2 จากรูปที่ 4.7 ท่อ โกร่งรอบแกน x-x จะเป็นแบบ fixed – fixed

ข้อ 3 จากรูปที่ 4.7 ท่อ โกร่งรอบแกน y-y จะเป็นแบบ fixed – pinned

ข้อ 4 ท่อทั้งสองเป็นเสาสูง

- พิจารณาการ โกร่งรอบแกน x-x

L =ความยาวของขา=0.24 m

$$F_c = F_2 N_c = (4\pi^2 E I_0) / L^2 \quad \text{Eq(4.6)}$$

ได้ $I_0 = 3.126 * 10^{-12} \text{ m}^4$

-พิจารณาการโก่งรอบแกน y-y

$$F_c = F N_c = (0.246\pi^2 E I_0) / L^2 \tag{Eq(4.7)}$$

ได้ $I_0 = 5.084 \times 10^{-11} \text{ m}^4$

หมายเหตุ 1. ค่าความปลอดภัย (N_c) อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ

2. ถ้าคำนวณทั้ง 2 กรณี เสร็จแล้ว ควรเช็คอัตราส่วนความเพียว $\left(\frac{L_c}{K}\right)$ ว่าเป็นเสาสั้น หรือ เสายาว เหมือนสมมติฐานหรือไม่ ถ้าไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงการคำนวณ

3. พิจารณา F ที่กระทำกับขาแล้วเกิดการโก่ง



รูปที่ 4-9 FBD ของขา A และ D โดยรับแรง F พิจารณาเป็นการโก่งตัวของคานและการโก่งตัวของเสา

- พิจารณาแรง F กระทำกับขาทำให้เกิดการโก่งตัวของคาน

จาก $\delta = (PL^3) / (3EI_0) \tag{Eq(4.8)}$

$P = F_3 = 47.735 \text{ นิวตัน}$

$L = 0.24 \text{ m}$

$E = 70 \text{ Gpa}$

ได้ $I_0 = 1.64061257 \times 10^{-9} \text{ m}^4$

- พิจารณาแรง F กระทำกับขาทำให้เกิดการโก่งตัวของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติฐาน

เกิดการโก่งตัวรอบแกน y-y และเป็นแบบ fixed-free โดยพิจารณาจากรูป 4.7

จาก $F_c = F_{N_c} = (\pi^2 E I_o) / (4L^2)$ Eq(4.9)

ได้ $I_o = 5.000 * 10^{-11} \text{ m}^4$

4. พิจารณา F_N ที่กระทำกับขา



รูปที่ 4-10 FBD ของขา B, C, E, F ที่รับแรง F_N ตามรูปที่ 4.6 โดยพิจารณาการโก่งตัวของท่อ

สมมติฐาน ท่อทั้ง 2 เกิดการโก่งใกล้เคียงกันเมื่อรับแรงเท่ากัน

$$P = F_N N_c$$

$$L = 240 \text{ mm}$$

จาก $\delta = (PL^3) / (3EI_o)$ Eq(4.10)

ได้ $I_o = 9.94135 * 10^{-9} \text{ m}^4$

หมายเหตุ 1. ในการหาขนาดนั้น ได้จาก Moment of Inial (I_o) ที่มีค่ามากที่สุด เพื่อนำไปหาขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ

บทที่ 5

การออกแบบระบบต้นกำลัง

จากบทที่ 2 ได้กล่าวถึงระบบต้นกำลัง ชนิดต่าง ๆ และข้อดีข้อเสีย เพื่อที่จะนำค่ากำหนดในการเลือกใช้ ชนิดของต้นกำลัง ในบทนี้แบ่งเพื่อหาเป็น 2 ส่วน

1. การออกแบบกลไกการขับ
2. การเลือกขนาดของ ดีซี มอเตอร์

5.1.การออกแบบกลไกการขับ

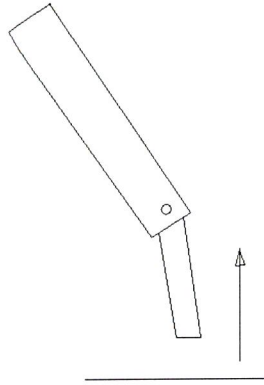
เป็น กลไกที่ใช้ส่งกำลังไปขับขาให้เคลื่อนที่ตามที่ต้องการ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

1. พยายามใช้จำนวน ดีซี มอเตอร์ ให้น้อยที่สุดเพื่อที่จะลดปัญหาของระบบควบคุม
2. กลไกต้องมีขนาดเหมาะสมและน้ำหนักน้อย
3. กลไกต้องไม่ลดประสิทธิภาพของการควบคุมการเดินหุ่นยนต์

5.1.1 การออกแบบการเคลื่อนที่ของแต่ละขา จากรูปที่ 5-1 แสดงถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของขาทั้งหมด โดยออกแบบให้การเคลื่อนที่แต่ละขาเป็นแบบ 1 DOF (Degree of freedom) เพื่อสะดวกกับการควบคุม



รูปที่ 5-1 การเคลื่อนที่ของขา



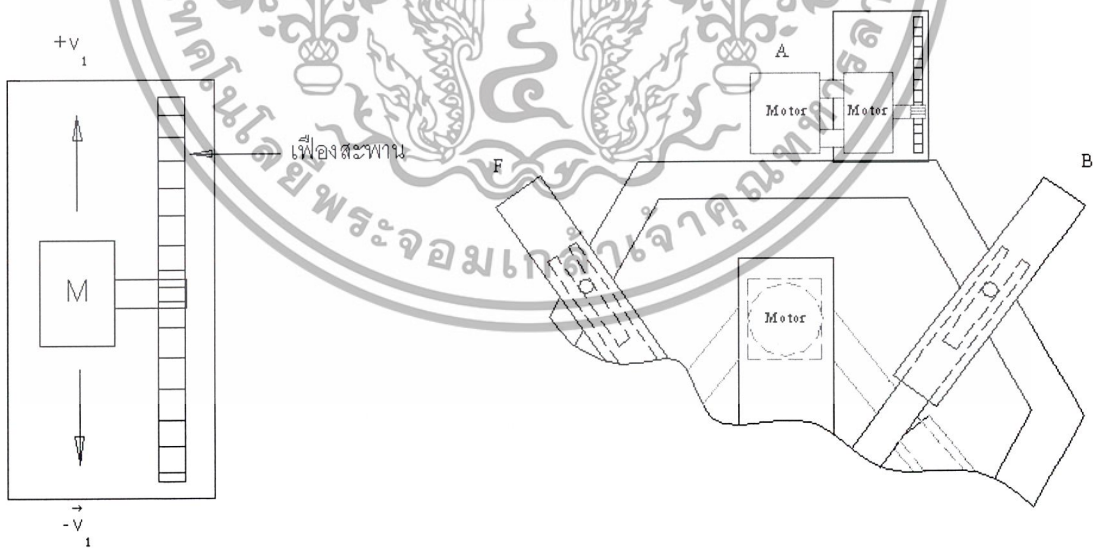
รูปที่ 5-2 แสดงการยกของขา

อธิบายการทำงาน

- ขา A และขา D จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและหลัง ซึ่งเคลื่อนที่ได้อิสระต่อกัน
- ขา B, C, E และ F จะบิดได้ไปตามรูปที่ 5.1
- ขาทั้งหมดสามารถยกขึ้น-ลง ได้ดังรูปที่ 5.2

5.1.2 การออกแบบกลไก เป็นการออกแบบกลไกเพื่อใช้ขยับขาให้เกิดการเคลื่อนที่

1 กลไกของขา A และ D



รูปที่ 5-3 กลไกของชุดขับเคลื่อนขา A และ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

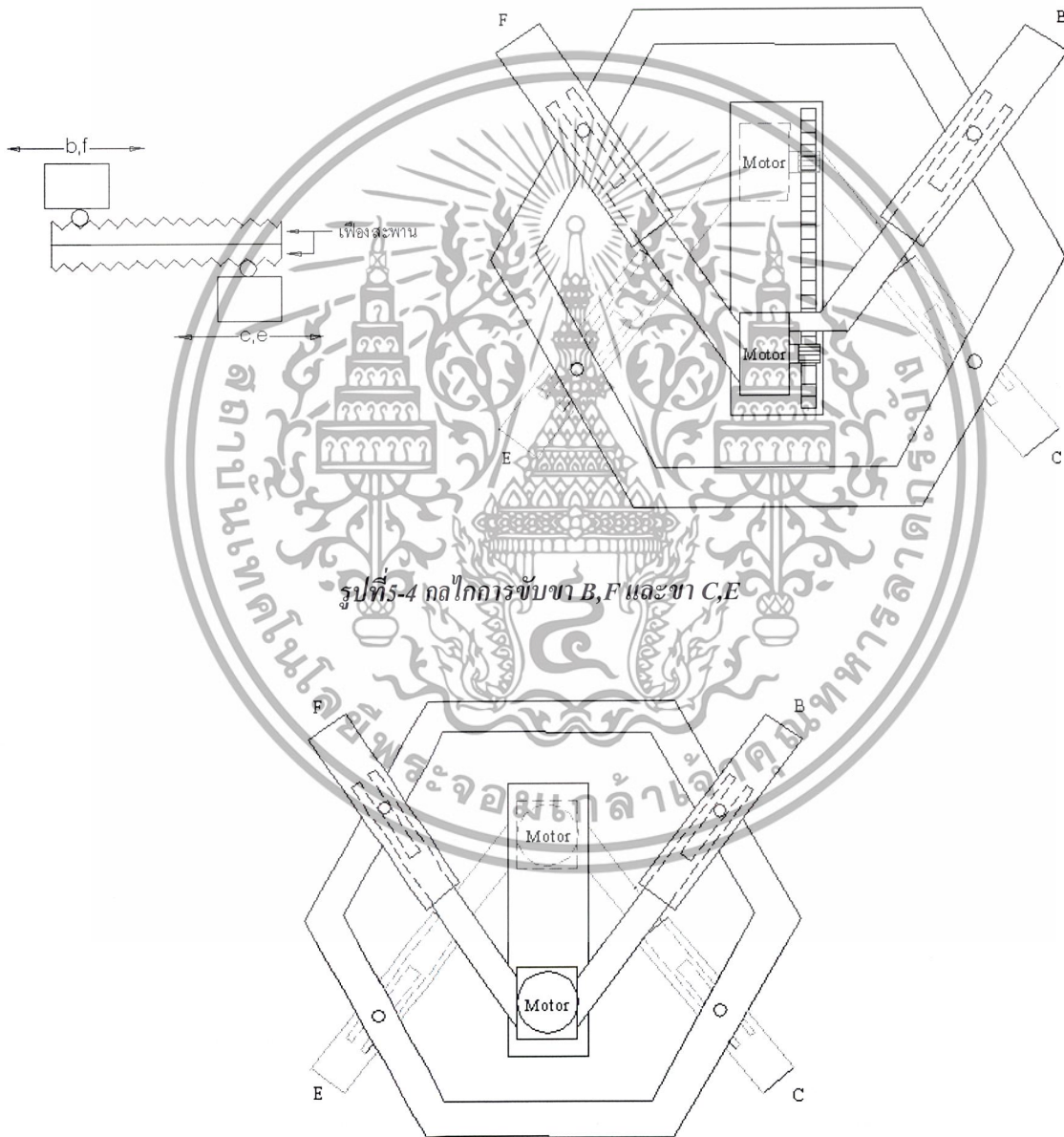
$$\overline{V} = \omega_1 r \quad \text{Eq(5.1)}$$

\overline{V}_1 คือความเร็วของขา a และ d (กำหนด $V_1 = 0.151 \text{ m/s}$)

ω_1 คือความเร็วเชิงมุมของชุดขับ (rad/ min)

r_1 คือรัศมีของเฟืองชุดขับ (m)

2. กลไกของขา B-F และขา C-E



รูปที่ 4 กลไกการขับเคลื่อนขา B, F และขา C, E

รูปที่ 5 กลไกการส่งกำลังที่ใช้ขา B-F และ C-E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\bar{V}_2}{\Delta r_2} = \omega_2 = \omega_3 \quad \text{Eq(5.2)}$$

$$\bar{V}_2 = \omega_3 \Delta r_2 \quad \text{Eq(5.3)}$$

\bar{V}_2 คือ ความเร็วของชุดขับ

Δr_2 คือ ระยะทางของแกนขับ (เฉลี่ย)

ω_2 คือ ความเร็วเชิงมุมของขา (กำหนด = 1.5822 rad/s)



#1 - #6 เป็นมอเตอร์ที่ใช้ยกขาขึ้น – ลง ดังรูปที่ 5-2

#7 - #8 เป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนขา A และ D

#9.1, #9.2 ใช้มอเตอร์ 2 ตัว ตัวแรกใช้ขับเคลื่อนขา B-F ตัวที่ 2 ใช้ขับเคลื่อนขา C-E ดังรูปที่ 5-4

5.2 การเลือกขนาด ดีซี มอเตอร์

แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ

5.2.1 การหาค่ากำลังที่ใช้ขับ

5.2.2 การออกแบบชุดเฟือง

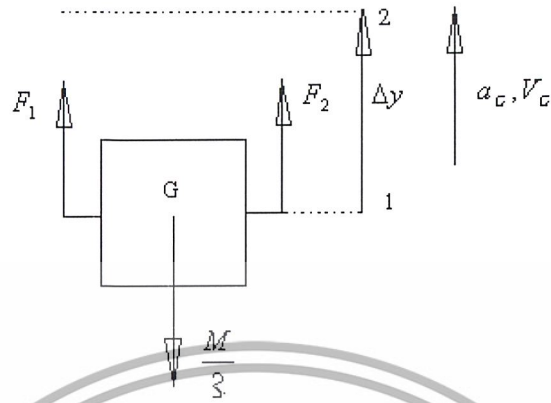
5.2.3 การเลือกขนาด ดีซี มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 การหาค่ากำลังที่ใช้ขับเคลื่อนแบ่งตามกรณีดังนี้

1. การคำนวณหาค่ากำลัง ดีซี มอเตอร์ ตัวที่ 1-6



รูปที่ 5-7 FBD ของขาคณะยก

$$F = F_1 + F_2$$

Eq(5.4)

$$T_1 + \sum U_{1-2} = T_2 : (0.5mV_{G1} + ymg)/y = F$$

Eq(5.5)

$$\sum F_y = \sum ma_G : F - mg = ma_G$$

Eq(5.6)

กำหนดให้แรงเสียดทานระหว่างเพื่อยมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงยก(F)

F คือแรงที่ใช้ยกลำตัวขึ้น(นิวตัน) ได้ $F = 55.012 \text{ N}$

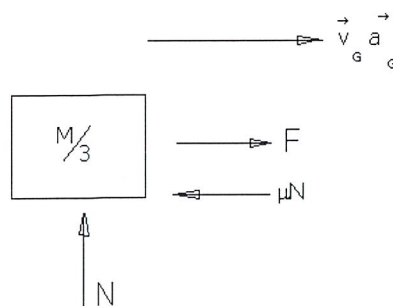
V_G คือความเร็วในการยก กำหนดให้ $V_{G1} = 0.30885 \text{ m/s}$

a_G คือความเร่งในการยก (m/s^2) ได้ $a_G = 1.1923 \text{ m/s}^2$

Δy คือระยะยก(m) กำหนด ให้ $\Delta y = 0.04 \text{ m}$

$m = M/3 = 5 \text{ Kg}$

2. การคำนวณหาค่ากำลังของ ดีซี มอเตอร์ ตัวที่ 7 และ 8



รูปที่ 5-8 FBD ของชุดขับเคลื่อน A และ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Sigma F_x = Ma_{G_x} : F - \mu N = (Ma_G)/3 \quad \text{Eq(5.7)}$$

$$\Sigma F_y = Ma_{G_y} : N - (Mg)/3 = 0 \quad \text{Eq(5.8)}$$

F คือแรงที่จับให้ลำตัวเคลื่อนที่ (นิวตัน) ได้ $F = 25.2345$ Newton

a_G คือความเร่งของลำตัว (กำหนด = 0.0469 m/s^2)

μ คือสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานรวม (เฟือง + รางเลื่อน) $\mu = 0.5$

N คือแรงปฏิกิริยา (นิวตัน) ได้ $N = 50$ Newton

3. การคำนวณหาค่าตั้ง ดิซี มอเตอร์ ตัวที่ 9



รูปที่ 5-9 FBD ของชุดขับขา B, F และ C, E

$$\Sigma M_y = I_y \alpha_y - (I_z - I_x) \omega_z \omega_x \quad \text{Eq(5.9)}$$

$$T = \Sigma M_y = I_y \alpha_y \quad \text{Eq(5.10)}$$

T คือแรงบิดที่ใช้บิดให้ลำตัวเคลื่อนที่ ได้ $T = 0.210 \text{ N-m}$

I_y คือ โมเมนต์ความเฉื่อย (Mass moment of inertia) ได้ $I_y = 1.568 \text{ kg.m}^2$ (จากหน้า 122)

α_y คือ ความเร่งเชิงมุมของการบิดรอบแกน y กำหนด ให้ $\alpha_y = 0.134 \text{ rad/s}^2$

5.2.2 การออกแบบชุดเฟือง

เป็นการออกแบบชุดเฟืองทดที่ใช้ขับขา เพื่อให้ได้ความเร็วและแรงที่เหมาะสม

1. การออกแบบชุดเฟืองทดสำหรับการยกขา

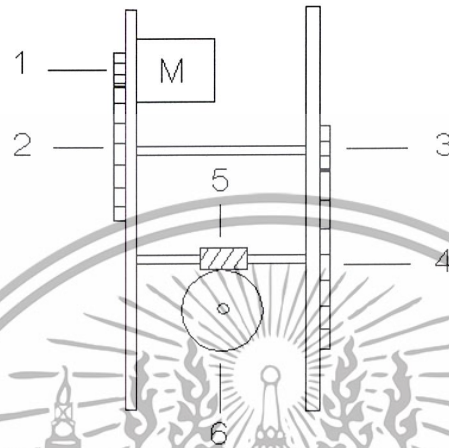
ข้อกำหนด

1. ความเร็วของขาขณะยกควรมีค่า = 0.3 m/s หรือใกล้เคียง

2. แรงที่ใช้ยก ต้องมากกว่า 55.012 N รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขณะวางขาหนีง จะต้องไม่เกิดการเคลื่อนที่ ดังนั้นชุดเฟืองต้องมีคุณสมบัติ หยุดการเคลื่อนที่ด้วยตัวเอง (Self lock)
4. N หมายถึงจำนวนฟันเฟือง
5. d หมายถึงเส้นผ่าศูนย์กลางพิตซ์

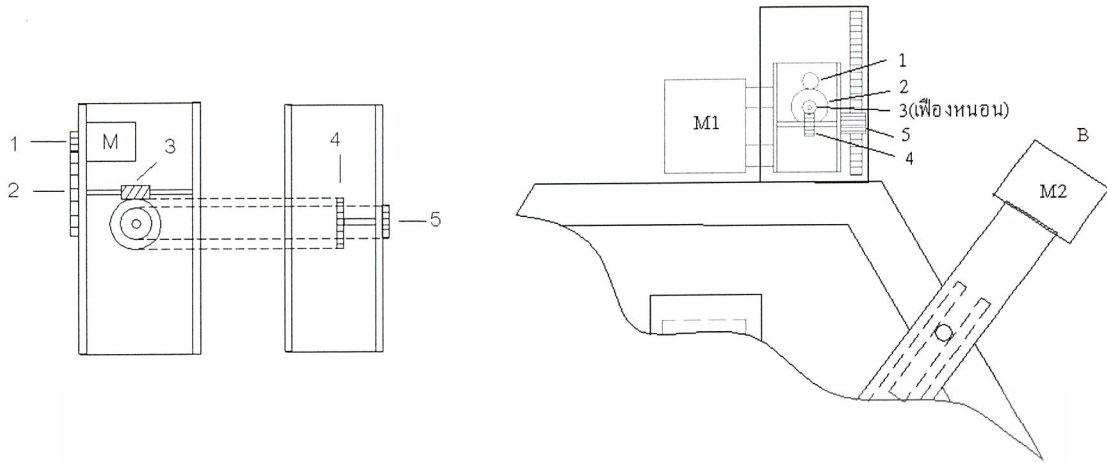


รูปที่ 5-10 ชุดทดเฟือง

1. เฟืองตรง $N_1 = 13$, $d_1 = 7$ mm.
 2. เฟืองตรง $N_2 = 40$, $d_2 = 22.22$ mm.
 3. เฟืองตรง $N_3 = 16$, $d_3 = 9$ mm.
 4. เฟืองตรง $N_4 = 40$, $d_4 = 22.22$ mm.
 5. เกียร์หวนอน $N_5 = 1$, $d_5 = 6$ mm.
 6. เฟืองหวนอน $N_6 = 40$, $d_L = 22.22$ mm.
- N_n = จำนวนฟัน d_n = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของเฟือง

2. การออกแบบชุดเฟืองทดที่ใช้กับ มอเตอร์ ตัวที่ 7 และ 8 เพื่อใช้ขับขา A และ D
ข้อกำหนด

1. ความเร็วของเฟืองสะพาน (ความเร็ว / ปฏิกริยา) ≥ 0.151 m/s
2. แรงที่กระทำกับเฟืองสะพาน (แรงขับเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่) ≥ 26 Newton



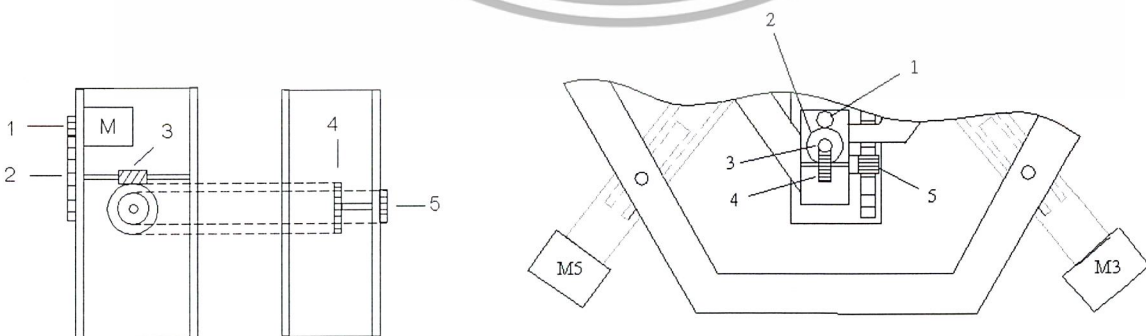
รูปที่ 5-11 ชุดทดเฟืองสำหรับขับขา A และ D

1. เฟืองตรง $N_1 = 13$, $d_1 = 7$ mm.
2. เฟืองตรง $N_2 = 16$, $d_2 = 9$ mm.
3. เกลียวหนอน $N_3 = 1$, $d_3 = 6$ mm.
4. เฟืองหนอน $N_4 = 40$, $d_4 = 22.22$ mm.
5. เฟืองตรง (อยู่บนเพลาดียวกับเฟืองตัวที่ 4)
6. เฟืองสะพาน โมดูล = 0.5 mm.

3. การออกแบบชุดเฟืองที่ใช้กับ มอเตอร์ ตัวที่ 9.1,9.2 เพื่อใช้ขับขา B-F และ C-E ตามลำดับ
ข้อกำหนด

ความเร็วของเฟืองสะพาน (ความเร็วปฏิกริยา ≥ 0.151 m/s)

แรงที่กระทำกับเฟืองสะพาน (แรงขับเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ ≥ 2.63 N)



รูปที่ 5-12 ชุดเฟืองมอเตอร์ตัวที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เฟืองตรง $d_1 = 7 \text{ mm.}, N_1 = 13$
2. เฟือง $d_2 = 18.89 \text{ mm.}, N_2 = 34$
3. เกลี่ยวนอน $d_3 = 6 \text{ mm.}, N_3 = 1$
4. เฟืองนอน $d_4 = 22.20 \text{ mm.}, N_4 = 40$
5. เฟืองตรง $d_5 = 10 \text{ mm.}, N_5 = 20$
6. เฟืองสะพาน โมดูล = 0.5 mm.



บทที่ 6

ระบบควบคุมและซอฟต์แวร์

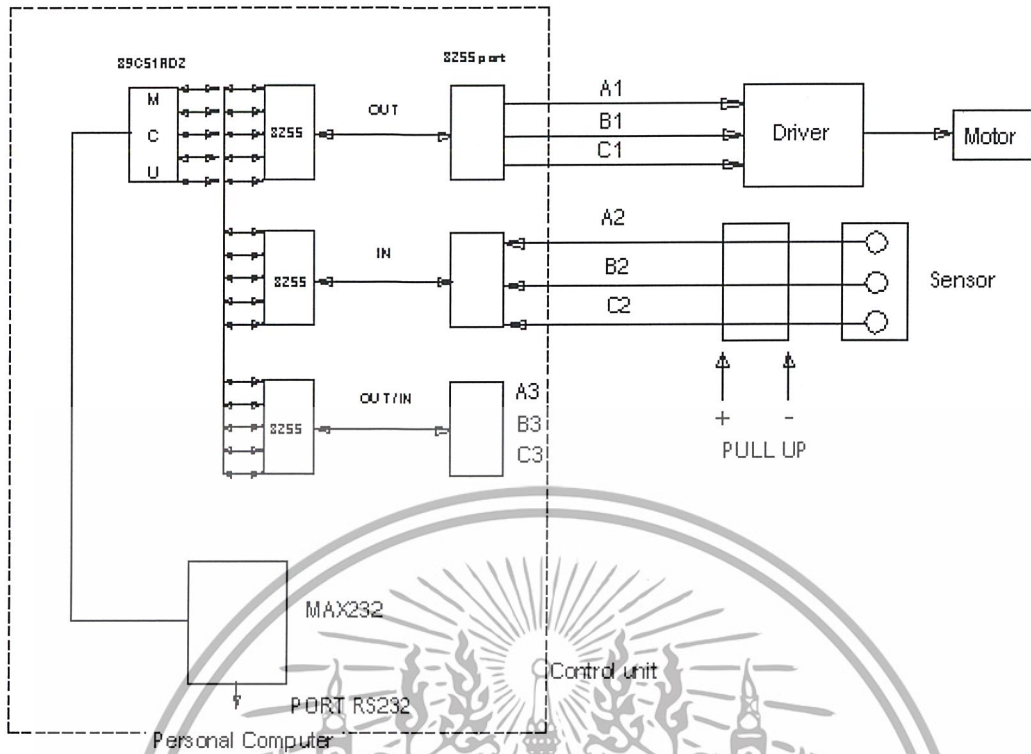
ถ้าเปรียบเทียบการทำงานของร่างกายมนุษย์ จะประกอบด้วยส่วนหลัก 2 ส่วน คือ อวัยวะต่าง ๆ ที่ประกอบรวมกันเป็นร่างกายและสมองที่ใช้ควบคุม จากบทที่ผ่านมาจะเป็นการอธิบายส่วนร่างกาย คือ ตัวหุ่นยนต์นั่นเอง ในบทนี้เราจะกล่าวถึงส่วนของสมองหุ่นยนต์ที่ใช้ในการควบคุม ในบทที่ 2 เราได้บอกถึงทฤษฎีการควบคุมขั้นพื้นฐาน ต่อไปนี้ จะเป็นการศึกษาและออกแบบการควบคุมที่ใช้ในโครงการนี้

6.1 สมมติฐานที่ใช้ในการเลือกระบบควบคุม

1. ระบบควบคุมต้องมีน้ำหนักเบาและราคาไม่สูง
2. ใช้ในการควบคุมเชิงตำแหน่งเป็นหลัก
3. ใช้อุปกรณ์ตรวจจับรู้อย่างง่ายที่มีจำหน่ายทั่วไป
4. สามารถออกแบบและเขียนโปรแกรมได้ง่าย
5. มีความคงทนต่อสัญญาณรบกวนจาก ดีซี มอเตอร์ หรือ สามารถเขียนโปรแกรมป้องกันการล้าของระบบได้
6. ใช้ในการควบคุม อินพุต และ เอาพุต เชิงขนานเป็นหลัก (input/output parallel port)

6.2 การออกแบบระบบควบคุม

จากหัวข้อ 6.1 เราได้แนวทางที่ใช้ในการออกแบบและควบคุม โดยในการควบคุมหุ่นยนต์นั้นจะมี ส่วนประกอบดังนี้

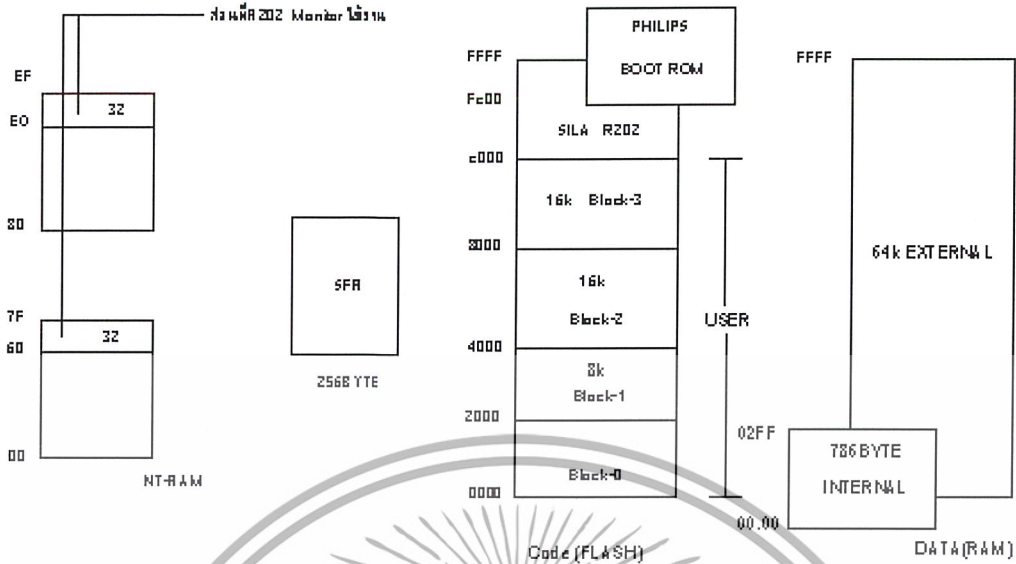


รูปที่ 6-1 แสดงถึงระบบควบคุมของหุ่นยนต์ที่ออกแบบ

6.2.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุม

1. Control Unit หรือส่วนควบคุมจากรูปที่ 6-1 ส่วนควบคุมประกอบไปด้วย ส่วนประมวลผล (Micro controller unit, MCU) และส่วน อินพุตและเอาพุตชิพ (I/O chip) คือ 82C55 และ MAX232

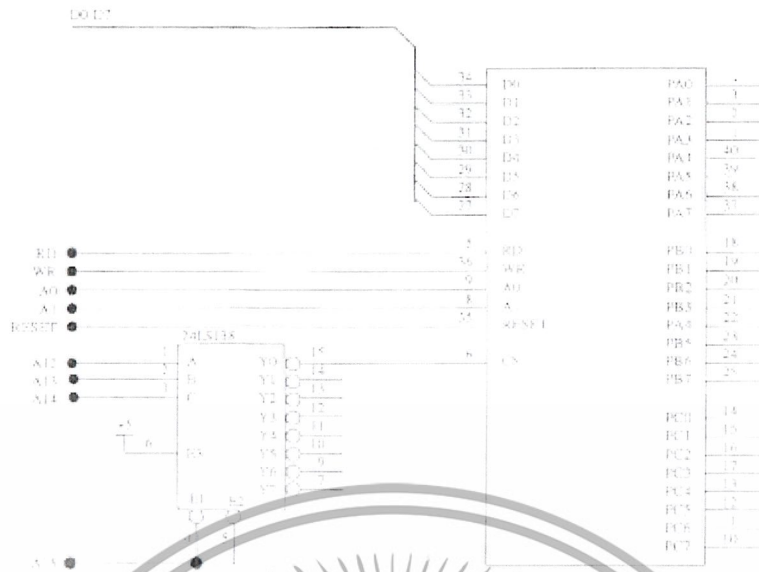
1.1 ส่วนประมวลผล (Micro controller unit) หรือ ชิพประมวลผลที่มีส่วนความจำภายในตัว เป็นส่วนที่ผู้ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมเก็บไว้ในตัวชิพ และเมื่อเกิดการทำงานของโปรแกรม ตัว MCU จะทำการประมวลผลโปรแกรมตามที่เขียนไว้ เพื่อควบคุมอุปกรณ์ ผ่านทาง อินพุตและเอาพุตชิพ โดยในโครงการนี้ได้ใช้ชิพ ของ Philips ตระกูล MCS-51 เบอร์ 89C51 RD2 ซึ่งมีหน่วยความจำทั้งหมด 65535 Byte หรือ 48 Kbytes สำหรับใช้งาน และมีความเร็ว 22.22 MHz ซึ่งได้แสดงแผนผังหน่วยความจำดังรูปที่ 6-2



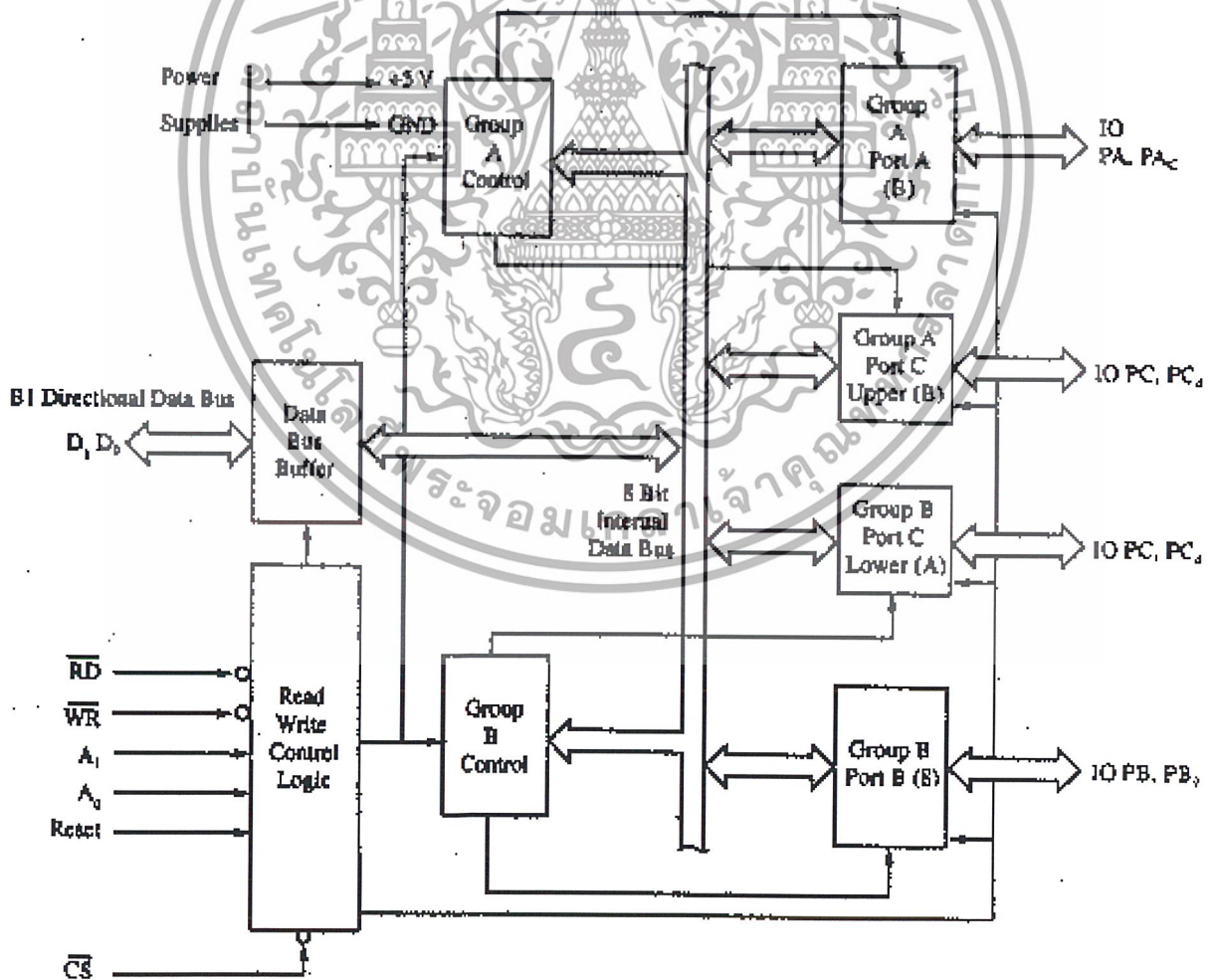
รูปที่ 6-2 แสดงถึงการจัดวางหน่วยความจำของ 89C51 RD2

และโดยการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้ผ่านทาง พอร์ต RS232 (RS232 port) (MAX 232) นั้นได้ใช้โปรแกรมปฏิบัติการของ PHILIPS ที่ใช้โดยทั่วไป คือ PHILIPS Boot POM ผ่านทางโปรแกรม WIN ISP แต่ในโครงการนี้ได้ใช้โปรแกรมปฏิบัติการที่พัฒนาโดยคนไทย คือ SILA MONITOR พัฒนาโดยบริษัท สิลาร์เสิร์ช จำกัด ผ่าน ไฮเปอร์ เทอมีเนอ์ (Hyper terminal) ของ วินโดว์ (Window) ซึ่งใช้งานได้ง่ายกว่า ส่วน โปรแกรมที่ใช้ในงานควบคุมหุ่นยนต์นั้นจะอยู่ในรูปเฮกซ์ไฟล์ (hex File) ที่ MCU รู้จักได้เท่านั้น จึงสามารถปฏิบัติการได้ และส่วนของโปรแกรมแปลงเป็นเฮกซ์ไฟล์ นั้นจะกล่าวอีกครั้งในส่วนต่อไป

1.2 ชิพอินพุต/เอาพุต 8255 หรือ 82C55A CMOS PROGRAMMABLE PERIPHERAL INTERFACE เป็น ชิพ ที่ใช้ทำพอร์ทขนาน (Parallel port) ที่สามารถโปรแกรมให้เป็น อินพุต หรือ เอาพุตได้ ซึ่งเป็น ไอซี 40 ขา ที่ได้รับการออกแบบมา ให้มีสัญญาณเชื่อมโยงกับ MCU เบอร์ 8080 แต่ก็เหมาะที่ใช้กับ MCS51 ตามปกติแล้ว MCU จะมี อินพุต และเอาพุตพอร์ท(I/O port) ในตัว ซึ่งสามารถใช้งานได้เลย แต่สำหรับงานที่จำเป็นต้องควบคุมอุปกรณ์ที่มีจำนวนมาก I/O ใน MCU จะไม่เพียงพอจึงได้มีการนำ ชิพ 82C55A ซึ่งมี อินพุต และเอาพุตพอร์ท ขนาด 3 byte หรือ 24 bit ในการเชื่อมต่อกับ MCU นั้น ชิพ 82C55A จะถูกมองเหมือนเป็นหน่วยความจำภายนอก ขนาด 4 byte (รวมส่วนของ พอร์ทควบคุม) โดยผ่าน ชิพ ถอดรหัสเบอร์ 74LS138 ซึ่งจะมีสัญญาณถอดรหัส 8 เส้น โดยแต่ละเส้นสามารถอ้างหน่วยความจำได้ 8 Kbytes ดังนั้นจึงเพิ่ม 8255 ได้หลายตัวสำหรับงานที่จำเป็นต้องใช้ควบคุมอุปกรณ์จำนวนมาก ๆ ดังรูปที่ 6.3 เป็นการแสดงถึงการเชื่อมต่อ ชิพ ถอดรหัส 74LS138



รูปที่ 6-3 แสดงการเชื่อมต่อชิพถอดรหัส 74LS138



รูปที่ 6-4 โครงสร้างชิพ 82C55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6-4 82C55 จะมีส่วนประกอบด้วยกัน 4 ส่วน ส่วนละ 1 byte (8 bit) คือ พอร์ต A, B, C และซึ่งแต่ละพอร์ตสามารถกำหนดการทำงาน ได้อย่างอิสระ

การทำงานของชิพเบอร์ 82C55 แบ่งการทำงานออกเป็น 3 โหมด

โหมด 1: Strobed I/O จะประกอบด้วย พอร์ตขนาด 8 bit 2 พอร์ต คือ พอร์ต A และ B ซึ่งสามารถโปรแกรมเป็น I/O ได้ ส่วนพอร์ต 4 บิตอีก 2 พอร์ต (C-upper และ C-lower) จะใช้ทำ Handshaking ของพอร์ต A และ B



รูปที่ 6-5 แสดงการทำงานแบบโหมด 1 อินพุต



รูปที่ 6-6 แสดงการทำงานแบบโหมด 1 เอาพุต

2. โหมด 2 : Bi-directional Bus การทำงานในโหมดนี้จะใช้พอร์ต 8 บิตของพอร์ต A เป็นแบบ 2 ทิศทาง คือ อินพุต และ เอาพุต โดยมีพอร์ต C เป็นสัญญาณบอก สถานะ และ ควบคุม กับ พอร์ต A โดยการทำให้ Handshaking ในโหมด 1

3. โหมด 0 : Basic I/O จะเป็นการทำงานแบบ อินพุต/เอาพุตพื้นฐานซึ่งประกอบด้วย พอร์ต 8 บิต 2 พอร์ต คือ พอร์ต A และ พอร์ต C และ พอร์ต ขนาด 4 bit อีก 2 พอร์ต คือ upper-C และ lower-C และทุก ๆ พอร์ตสามารถ โปรแกรมเป็นอินพุต และเอาพุตได้ซึ่งมีทั้งหมด 16 รูปแบบ รหัสควบคุมใน โหมด นี้แสดงในตาราง 6-1

Port A	Port B	Port C0-C3	Port C4-C7	CODE (HEX)
O	O	O	O	80
O	O	O	I	88
O	O	I	O	81
O	O	I	I	89
O	I	O	O	82
O	I	O	I	8A
O	I	I	O	83
O	I	I	I	8B
I	O	O	O	90
I	O	O	I	98
I	O	I	O	91
I	O	I	I	99
I	I	O	O	92
I	I	O	I	9A
I	I	I	O	93
I	I	I	I	9B

ตาราง 6-1 แสดงถึง รหัสควบคุมที่ใช้ในโหมด 0

O = OUTPUT

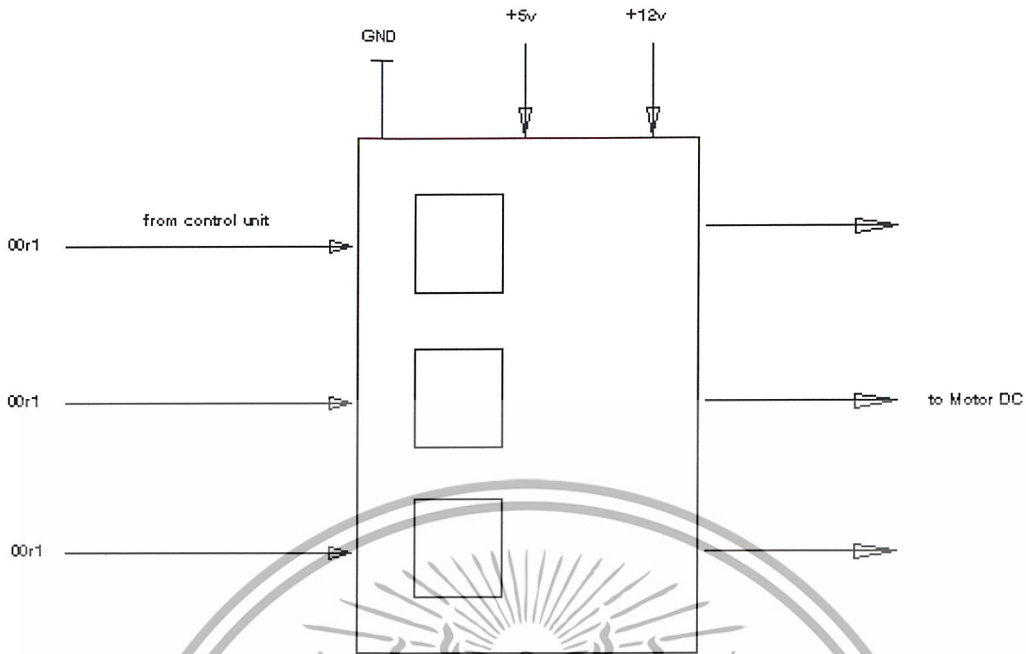
I = INPUT

USER PORT 1		USER PORT 2		USER PORT 3	
PORT	ADDRESS	PORT	ADDRESS	PORT	ADDRESS
PORTA	F800H	PORTA	FC00H	PORTA	FE00H
PORTB	F801H	PORTB	FC01H	PORTB	FE01H
PORTC	F802H	PORTC	FC02H	PORTC	FE02H
CONTROPORT	F803H	CONTROPORT	FC03H	CONTROPORT	FE03H

ตารางที่ 6-2 แสดงถึง ADDRESS ของ USER PORT ต่าง ๆ

2. อุปกรณ์ขยายแรงเคลื่อนไฟฟ้าคู่ (Dual bridge driver) ซึ่งใช้เป็นตัวขับหรือขยายสัญญาณลอจิกแบบคู่ (Logic) จากพอร์ทเอาพุต ของชุดควบคุม และนำไปขับ ดีซี มอเตอร์ โดยใช้กระแสจากแหล่งจ่ายไฟภายนอก การทำงานของอุปกรณ์ขยายแรงเคลื่อนไฟฟ้าคู่นี้คล้ายกับ รีเลย์ (Relay) แต่แทนที่จะใช้ระบบทางกลเป็น สวิตช์ (Switch) คอยปิดเปิด โดยอุปกรณ์ขยายแรงเคลื่อนไฟฟ้าคู่นี้ใช้ ไอซี เป็นตัวควบคุม แทนสวิตช์ จึงทำให้มีน้ำหนักเบา กว่า รีเลย์มากและมีเสถียรภาพที่ดีกว่าดังรูปที่ 6-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-7 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ขยายแรงเคลื่อนไฟฟ้าคู่

สถานะของสล็อต	ทิศทางการหมุนของดีซี มอเตอร์
0 1	หมุนตามเข็มนาฬิกา
1 0	หมุนทวนเข็มนาฬิกา
0 0	หยุด
1 1	หยุดชั่วคราว

ตารางที่ 6-3 แสดงถึงสภาวะการทำงานของดีซี มอเตอร์ที่ถูกขับด้วยอุปกรณ์ขยายแรงเคลื่อนไฟฟ้าคู่

3. อุปกรณ์ตรวจจับรู้ ในโครงการนี้ใช้คอนแทค เซ็นเซอร์แบบกดดับปล่อยติด ดังรูปที่ 6.8 และต่อวงจรแบบ พูลอัพ แอคทีฟ โลว์ (Pull up Active low) ดังแสดงในรูปที่ 6.8

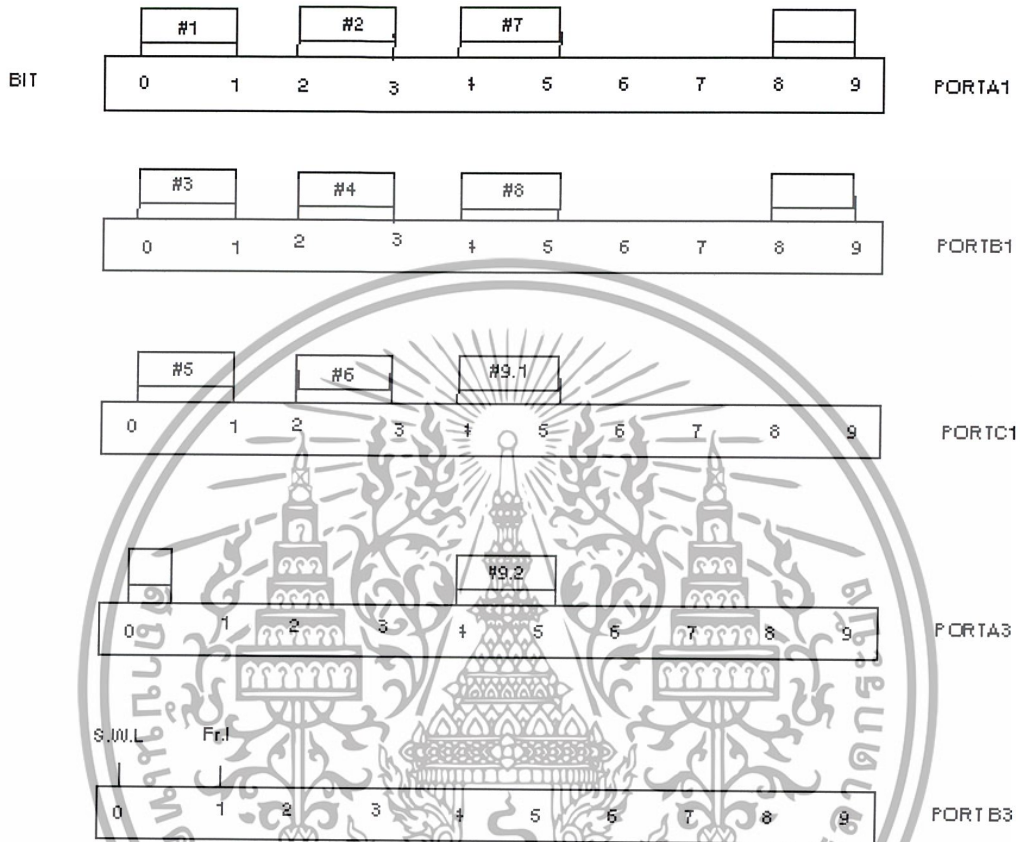


รูปที่ 6-9 การต่ออุปกรณ์ตรวจรู้แบบ Pull up Active low

6.2.2 การออกแบบแผนผังควบคุม

เป็นการออกแบบและวางแผงผังของพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต ให้มีความเหมาะสมต่อการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ โดยเลือกการทำงานของ ชิพ 82C55 ให้เป็นโหมด 0 ซึ่งเป็นแบบพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตพื้นฐาน โดยมีความต้องการจำนวนเอาต์พุตเท่ากับ 20 บิต (bit) ซึ่งใช้สำหรับ ดิซี มอเตอร์จำนวน 10 ตัว และจำนวนอินพุตเท่ากับ 24 บิต ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

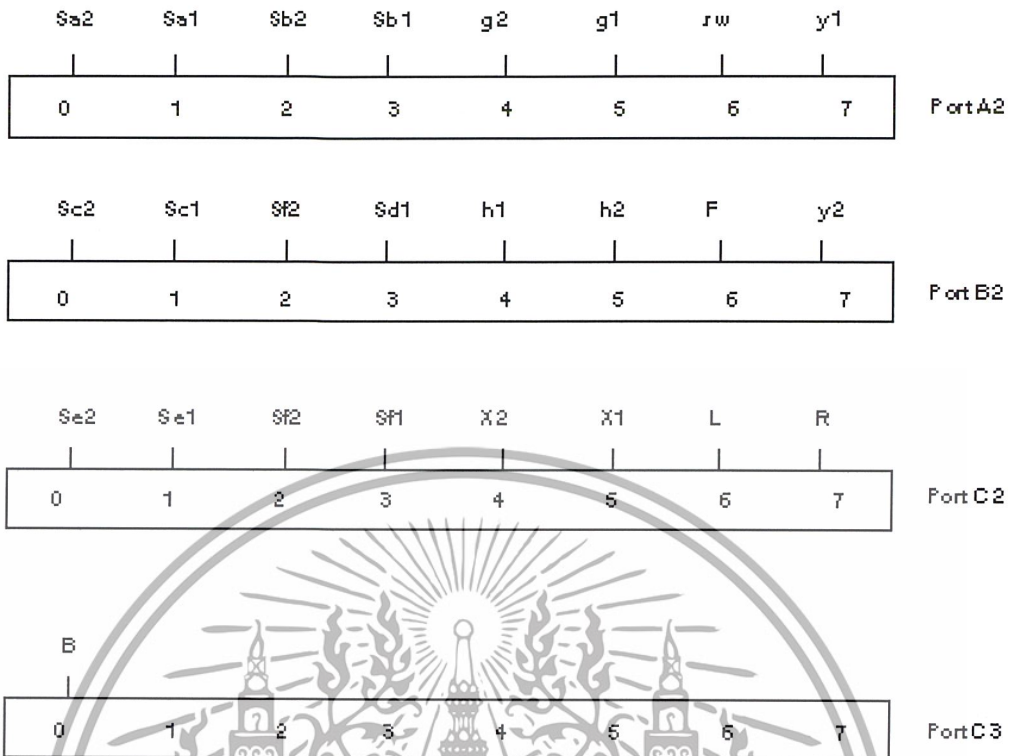
ใช้สำหรับอุปกรณ์ตรวจสอบรู้ โดยแผงผังที่แสดงในรูปที่ 6.10 และ 6.11 นั้น ออกแบบให้พอร์ต A1,B1,C1,A3 และ B3 เป็นพอร์ตเอาพุต ส่วนพอร์ต A2,B2,C2 และC3 เป็นพอร์ตอินพุต ซึ่งทำให้มีจำนวนอินพุต/เอาพุตได้ตามที่ต้องการ



รูปที่6-10 แสดงถึงแผงผัง Output port

กำหนด

1. #n หมายถึง เลขที่ของ ดิจี มอเตอร์.
2. ทิศทางการหมุนของ ดิจีมอเตอร์ดูได้จากตารางที่ 6.3



รูปที่ 6-11 แสดงถึงตำแหน่ง Input port

กำหนด

1. Sa1, Sa2, Sb1, Sb2, Sc1, Sc2, Sd1, Sd2, Se1, Se2, Sf1, Sf2, G1, G2, H1, H2, X1, X2, Y1 และ Y2 เป็นชื่อเรียกของอุปกรณ์ตรวจจับรู้ที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของ ดีซี มอเตอร์ ดูรายละเอียดได้จากตารางที่ 6.4
2. อุปกรณ์ตรวจจับรู้ G1, G2, X1, X2, Y1, Y2 สามารถดูตำแหน่งได้จากรูปที่ 3.1 จากบทที่ 3
3. Sa1, Sb1, Sc1, Sd1, Se1, และ Sf1 เป็นอุปกรณ์ตรวจจับรู้ที่ใช้ควบคุมการหยุดของ ดีซี มอเตอร์ ในขณะวางขา
4. Sa2, Sb2, Sc2, Sd2, Se2, และ Sf2 เป็นอุปกรณ์ตรวจจับรู้ที่ใช้ควบคุมการหยุดของ ดีซี มอเตอร์ ในขณะยกขา
5. SW หมายถึง สวิตช์ ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์
6. F หมายถึง สวิตช์ ให้หุ่นยนต์เดินหน้า
7. L หมายถึง สวิตช์ ให้หุ่นยนต์เลี้ยวซ้าย
8. R หมายถึง สวิตช์ ให้หุ่นยนต์เลี้ยวขวา

เลขที่ของดีซี มอเตอร์	ดีซี มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา	ดีซี มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา
#1	Sa ₁	Sa ₂
#2	Sb ₁	Sb ₂
#3	Sc ₁	Sc ₂
#4	Sd ₁	Sd ₂
#5	Se ₁	Se ₂
#6	Sf ₁	Sf ₂
#7	G ₁	G ₂
#8	H ₂	H ₁
#9	X ₁	X ₂
#10	Y ₁	Y ₂

ตารางที่ 6-4 แสดงถึงสัญลักษณ์ของ คู่อุปกรณ์ตรวจจับสนิทที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของดีซี มอเตอร์

6.3 การเลือกใช้ซอฟต์แวร์ควบคุมและการเขียนโปรแกรมควบคุม

6.3.1 การเลือกใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม

จากหัวข้อที่ผ่านมาเราได้ทำการเลือกระบบควบคุม และทำการออกแบบระบบควบคุมมาแล้ว และในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการเลือกซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ ในปัจจุบันมี ซอฟต์แวร์ ที่ใช้พัฒนาและควบคุมจำนวนมาก แต่สำหรับ ซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับ MCU นั้น มีไม่มากนัก ซึ่งในอดีตนั้นผู้พัฒนา มักใช้ภาษาแอสเซมบลีในการเขียนโปรแกรมเป็นหลัก แต่ด้วยข้อจำกัดหลายอย่างของแอสเซมบลี ซึ่งยากต่อการเขียนเพื่อควบคุมอุปกรณ์ที่มีจำนวนมาก และมีการทำงานซับซ้อน และในปัจจุบันนี้ภาษาที่ใช้สำหรับพัฒนาหุ่นยนต์และใช้กับอุปกรณ์ควบคุม นั้นนิยมใช้ภาษาซีมากขึ้นและคาดว่าเป็นภาษาหลักในการพัฒนาหุ่นยนต์ในอนาคต

สมมุติฐานที่ใช้ในการเลือก โปรแกรมเพื่อพัฒนาหุ่นยนต์(ภาษาซี)

1. โปรแกรมต้องหาซื้อได้ง่ายและราคาถูก
2. โปรแกรมควรมีตัวแปลงเป็น เฮคไซไฟล
3. โปรแกรมควรเป็น รูปแบบเต็มเพื่อทำงานได้ทุก คำสั่ง
4. โปรแกรมควรถูกพัฒนาเพื่อใช้กับ MCU ตระกูล MCS-51 โดยเฉพาะ

จากสมมุติฐานที่กำหนดไว้จึงทำให้ได้โปรแกรม Keil 8051 C.complier v5.50 (DLL 1.32a,Full version) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในโครงการนี้ ซึ่งโปรแกรมนี้นพัฒนามาเพื่อใช้กับตระกูล MCS51 และยังเป็น รูปแบบเต็ม (full version)ซึ่งไม่ถูกจำกัดด้านหน่วยความจำใช้งาน (Memory user)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

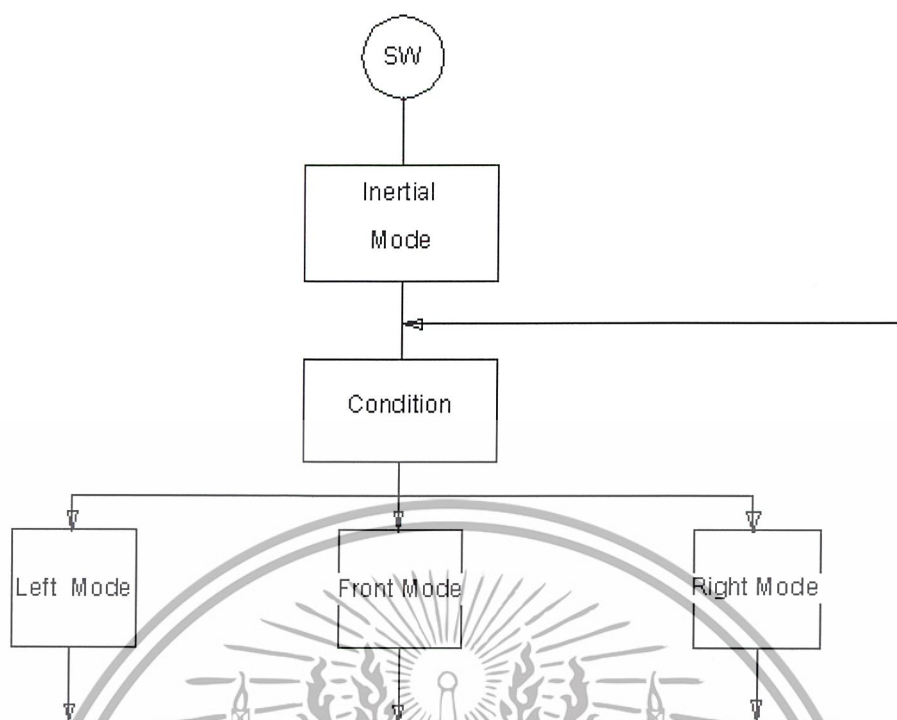
KeilVision/51 - BOT3.PRJ - [BOT3.C]
File Edit Project Run Options Tools Window Help
#include<reg51.h>
#include<stdio.h>
#include<absacc.h>
#define portA1 XBYTE[0xF800]
#define portB1 XBYTE[0xF801]
#define portC1 XBYTE[0xF802]
#define portA2 XBYTE[0xFC00]
#define portB2 XBYTE[0xFC01]
#define portC2 XBYTE[0xFC02]
#define portA3 XBYTE[0xFE00]
#define portB3 XBYTE[0xFE01]
#define portC3 XBYTE[0xFE02]
#define portcon1 XBYTE[0xF803]
#define portcon2 XBYTE[0xFC03]
#define portcon3 XBYTE[0xFE03]
void delay(int count);
void main (void)
{
  portcon1=0x80;
  portcon2=0x9B;
  portcon3=0x89;
  portB3=0x01; /*S01*/
  while(1){ if(0x40==(portA2&0x40)){ /*S0*/
    portB3=0x00;}
    if(portB3==0x00){
      goto s0; } }
  /****** Initial*****
s0: portA1=0x08; /* I-4, I-5, I-6 */
  portB1=0x08;
  portC1=0x08;
  while(1){ if(0x08==(portA2&0x08)) /*Sb1*/
    delay(6);
    if(0x08==(portA2&0x08))
      portA1=0x00;
    if(0x08==(portB2&0x08)) /*Sd1*/
      delay(4);
    if(0x08==(portB2&0x08))
      portB1=0x00;
    if(0x08==(portC2&0x08)) /*Sf1*/
      portC1=0x00;
    delay(20);
    if(0x08==(portC2&0x08))

```

รูปที่ 6-12 แสดงถึงตัวอย่างของโปรแกรม Keil 8051 C.complier

6.3.2 การเขียนโปรแกรมควบคุม

จากแผนผังควบคุมที่ได้มานั้น ทำให้ทราบว่าควรเขียนโปรแกรมอย่างไรให้เหมาะสมกับจำนวนพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต ซึ่งได้เขียนโปรแกรมตามแผนผังควบคุมโดยทำการแบ่งกลุ่มของโปรแกรมเป็นกลุ่มย่อยๆตามลักษณะของกลไกการเดินตามที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 ซึ่งได้แสดงในรูปที่ 6.13



รูปที่ 6.13 แสดงถึงแผนผังหลักการทำงานของหุ่นยนต์

อธิบาย

1. สวิตช์(SW) เป็นอุปกรณ์ เปิด-ปิด การทำงานของหุ่นยนต์
2. โหมดปรับกลไก (Inertial Mode) คือกลุ่มโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อปรับกลไกต่างๆของหุ่นยนต์ ให้อยู่ในสถานะที่พร้อมกับการทำงานต่อไป ถ้าดูจากรูปที่ 3.1 ในบทที่ 3 สถานะนี้คือ ขา A, ขาC และขาE ถูกยกขึ้น ขา B,ขา D และขาF ถูกวางลง อุปกรณ์ตรวจจับรู้ GI ,HI, XI และ Y2 อยู่ในสถานะถูกกด
3. สถานะรอรับเงื่อนไข (Conditional) หมายถึง สถานะรอรับเงื่อนไขที่หุ่นยนต์รอรับให้ผู้ควบคุมสั่งการ โดยมีอยู่ 3รูปแบบด้วยกัน คือ เดินหน้า เลี้ยวซ้ายและ เลี้ยวขวา
4. โหมดเลี้ยวซ้าย (Left Mode) คือกลุ่มโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อให้หุ่นยนต์หมุนตัวไปทางซ้าย
5. โหมดเลี้ยวขวา (Right mode) คือกลุ่มโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อให้หุ่นยนต์หมุนไปทางขวา
6. โหมดเดินหน้า (Front mode) คือกลุ่มโปรแกรมที่เขียนขึ้น เพื่อนให้หุ่นยนต์เดิน ไปข้างหน้า

บทที่ 7

สรุปผลการดำเนินโครงการ

ผลการดำเนินโครงการ

การดำเนินโครงการสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้คือ

1. สามารถทำหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบตามร่องแบบไว้ได้
2. หุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบสามารถเดินหน้าและเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวาได้โดยควบคุมผ่านทางรีโมท คอนโทรล(Remote control) แบบมีสาย
3. หุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบถูกควบคุมโดยระบบควบคุมกึ่งอัตโนมัติที่ผู้ควบคุมสามารถกำหนดการเคลื่อนที่ได้เองจากรีโมทคอนโทรลแบบมีสาย
4. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบมีความเร็วใกล้เคียงกับที่ผู้ดำเนินโครงการได้ทำการออกแบบไว้คือ ความเร็วที่ออกแบบ 0.125 m/s
ความเร็วจริงที่วัดได้ 0.12 m/s

ปัญหาที่พบในขณะดำเนินงาน

1. มอเตอร์ดีซี ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยส่วนมากมักจะไม่มีรายละเอียดของมอเตอร์ครบตามที่ต้องการ
2. เพื่อขนาดเล็กที่ผู้ดำเนินโครงการต้องการมีราคาสูงมาก จึงจำเป็นต้องใช้เฟืองที่มีคุณภาพต่ำแทน
3. วัสดุที่ใช้ในการทำโครงหุ่นยนต์ที่มีจำหน่ายโดยทั่วไป มักไม่มีรายละเอียดคุณสมบัติของวัสดุทำให้ผู้ดำเนินโครงการต้องเลือกวัสดุไม่ตรงตามที่ออกแบบไว้ จึงมีผลต่อน้ำหนักและความแข็งแรงของหุ่นยนต์
4. ผู้ดำเนินโครงการขาดความรู้และความเชี่ยวชาญทางด้านอิเล็กทรอนิกส์
5. รายละเอียดและข้อมูลของหุ่นยนต์เคลื่อนที่รวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ควบคุม ยังไม่ค่อยมีการเผยแพร่ออกมา ทำให้ผู้ดำเนินโครงการหาข้อมูลได้ยาก
6. กลไกการขับเคลื่อนเกิดการสะดุดหรือติดขัดได้ เพราะผิวของอะลูมิเนียมมีความเสียดทานสูง และน้ำมันหล่อลื่นมีคุณภาพไม่ดีพอ
7. ความแตกต่างของความเสียดทานของแต่ละพื้นผิวที่เดิน จะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับหุ่นยนต์ในการเดิน ถ้าพื้นผิวมีเสียดทานน้อยกว่าค่าที่ออกแบบไว้

รายละเอียดของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบ

ลักษณะ	หุ่นยนต์เดิน 6 ขา
ลักษณะการเดิน	แบบซุกขาแทนที่
มิติ	0.3*0.45*0.5 (สูง*กว้าง*ยาว.ม.)
โครงสร้าง	อะลูมิเนียม
ต้นกำลัง	มอเตอร์ดีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุม	ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 8 บิต
ลักษณะการควบคุม	รีโมทคอนโทรลแบบมีสาย
รายละเอียดการเดิน	สามารถเดินหน้า และเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวาได้
ความเร็วในการเดิน	0.12 m/s

แนวทางการปรับปรุงและพัฒนา

1. การเปลี่ยนเฟือง คือ การเปลี่ยนมาใช้เฟืองที่มีคุณภาพ เช่นเฟืองจาก KYOUIKU GEAR MFG,CO.,LTD. ซึ่งเป็นบริษัทชั้นนำในการผลิตเฟืองคุณภาพสูงและยังสามารถหาซื้อได้ในประเทศ โดยมีรายละเอียดตรงตามที่ออกแบบไว้ เพื่อเพิ่มความเสถียรในการเดินของหุ่นยนต์ และลดการสึกหรอของกลไก
2. เพิ่มพาวเวอร์ซัพพลายเป็นขนาด 2 A 12 VDC จำนวน 2 ตัว เพื่อแยกขั้วมอเตอร์ จะทำให้หุ่นยนต์สามารถเดินได้เร็วขึ้น
3. เปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้างใหม่ โดยใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรงเท่าเดิม เพื่อเป็นการลดน้ำหนักโดยรวมของหุ่นยนต์ เช่น อลูมิเนียมผสมคุณภาพสูง
4. เปลี่ยนมาใช้รีโมทคอนโทรลแบบไร้สายเพื่อเพิ่มความสะดวกในการควบคุม
5. เปลี่ยนมาใช้คอนแทคเซ็นเซอร์ที่มีคุณภาพดีกว่าเดิม เพราะคอนแทคเซ็นเซอร์ที่ใช้ในนั้นเกิดสัญญาณรบกวน (Bounce) ได้ง่าย
6. ปรับปรุงระบบการหล่อลื่นเพื่อช่วยลดแรงเสียดทานในระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์

สรุปผลการดำเนินงาน

เทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์เดินยังเป็น เทคโนโลยีที่ยังคงจำกัดอยู่ในวงแคบ ซึ่งมักพบการพัฒนาในเฉพาะต่างประเทศเท่านั้น โดยเฉพาะในประเทศไทย ยังคงไม่มีการพัฒนาอย่างจริงจัง แต่อาจจะพบได้บ้าง ประเภทหุ่นยนต์เดินประกอบสำเร็จรูปขนาดเล็ก (Kit robot) ซึ่งมีการจัดการแข่งขันตามสถาบันต่างๆ

ในการทำโครงการนี้ ผู้จัดทำได้เริ่มจาก การหาข้อมูล ของหุ่นยนต์เดินแบบต่างๆที่มี และศึกษาพฤติกรรมกรรการเดินของสัตว์ เพื่อที่จะนำมาสร้างหุ่นยนต์เดินต้นแบบโดยใช้ความรู้ ด้านวิศวกรรมเครื่องกล สร้างโครงสร้าง และระบบกลไกที่ใช้ขับเคลื่อนทั้งได้นำอุปกรณ์ควบคุมมาควบคุมกลไกต่างๆให้เคลื่อนที่ตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับรู้คอยตรวจสอบการเคลื่อนที่ของกลไก ทำให้หุ่นยนต์เดิน สามารถเดินได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยบังคับการเดินผ่านทาง รีโมท คอนโทรลแบบมีสาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC Motor

ผู้ผลิต	American Electronic international Co.,Ltd.
ชื่อรุ่น	PK3
แรงดันไฟ	12 volt
ความเร็วรอบสูงสุด	9000 rpm
ทอร์กสูงสุด	1.5 oz-inch

Control Board

ผู้ผลิต	บริษัท คีลารีเสิร์ช จำกัด
ชื่อรุ่น	Ant-3172
รุ่นชิพ	89C51RD2 ความถี่ 22.22 MHz.
รายละเอียด	0/32 Socket สำหรับ EPROM(Program) และสำหรับ Ram Data4 Bit 60 Bit Input/Output Port (8255x2, PORT1, INTO, INT1, TO,T1) RS232 ใช้ชิพเบอร์ MAX232 LCD Port สำหรับต่อเข้า LCD Module มี RTC เบอร์ DS1302 ไฟเลี้ยง 5 DVC และมีขั้ว+ และ- สำหรับปากลิบ POWER LED และ Reset Switch ขนาดบอร์ด 4 * 5.5 นิ้ว

Dual bridge driver

ผู้ผลิต	TOSHIBA
รุ่นชิพ	TA7279P
รายละเอียด	$V_{cc} = 8-16V$ $V_s = 0-16V$ กระแสออกสูงสุด 1.0A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include<reg51.h>
#include<stdio.h>
#include<absacc.h>
#define portA1 XBYTE[0xF800]
#define portB1 XBYTE[0xF801]
#define portC1 XBYTE[0xF802]
#define portA2 XBYTE[0xFC00]
#define portB2 XBYTE[0xFC01]
#define portC2 XBYTE[0xFC02]
#define portA3 XBYTE[0xFE00]
#define portB3 XBYTE[0xFE01]
#define portC3 XBYTE[0xFE02]
#define portcon1 XBYTE[0xF803]
#define portcon2 XBYTE[0xFC03]
#define portcon3 XBYTE[0xFE03]
void delay(int count);
void main (void)
{
    portcon1=0x80;
    portcon2=0x9B;
    portcon3=0x89;
    portB3=0x01; /*Sw1*/
    while(1){ if(0x40==(portA2&0x40)){ /*Sw*/
        portB3=0x00;}
        if(portB3==0x00){
            goto s0; } }
    /***** Initial*****/
s0: portA1=0x08;          /* I-4, I-5, I-6 */
    portB1=0x08;
    portC1=0x08;
    while(1){ if(0x08==(portA2&0x08)) /*Sb1*/
        delay(6);
        if(0x08==(portA2&0x08))
            portA1=0x00;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(0x08==(portB2&0x08)) /*Sd1*/
    delay(4);
if(0x08==(portB2&0x08))
    portB1=0x00;
if(0x08==(portC2&0x08)) /*Sf1*/
    portC1=0x00;
    delay(20);
if(0x08==(portC2&0x08))
    delay(10);
if(0x08==(portC2&0x08))
    portC1=0x00;
if(portA1==0x00)
if(portB1==0x00)
if(portC1==0x00)
    goto s1; }
s1: portA1=0x01; /*I-1,I-2,I-3*/
portB1=0x01;
portC1=0x01;
while(1){ if(0x01==(portA2&0x01)) /*Sa2*/
    delay(0);
if(0x01==(portA2&0x01))
    portA1=0x00;
if(0x01==(portB2&0x01)) /*Sc2*/
    delay(5);
if(0x01==(portB2&0x01))
    portB1=0x00;
if(0x01==(portC2&0x01)) /*Se2*/
    delay(20);
if(0x01==(portC2&0x01))
    portC1=0x00;
    delay(10);
if(0x01==(portC2&0x01))
    delay(10);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(0x01==(portC2&0x01))
    delay(0);
if(0x01==(portC2&0x01))
    portC1=0x00;
if(portA1==0x00)
    if(portB1==0x00)
        if(portC1==0x00)
            goto s20; }
s20: portB1=0x10; /*I-8*/
portC1=0x20; /*I-9.1*/
while(1){ if(0x10==(portB2&0x10)) /*h1*/
    delay(2);
if(0x10==(portB2&0x10))
    portB1=0x00;
    delay(1);
if(0x10==(portB2&0x10))
    delay(0);
if(0x10==(portB2&0x10))
    delay(1);
if(0x10==(portB2&0x10))
    portB1=0x00;
if(0x20==(portC2&0x20)) /*x1*/
    delay(40);
if(0x20==(portC2&0x20))
    portC1=0x00;
    delay(40);
if(0x20==(portC2&0x20))
    delay(20);
if(0x20==(portC2&0x20))
    delay(5);
if(0x20==(portC2&0x20))
    portC1=0x00;
if(portB1==0x00)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if(portC1==0x00)
            goto s2;}
s2: portA1=0x20;          /* I-7, I-9.2 */
portA3=0x10;
while(1){ if(0x20==(portA2&0x20)) /*g1*/
            delay(0);
        if(0x20==(portA2&0x20))
            portA1=0x00;
        if(0x80==(portB2&0x80)) /*y2*/
            delay(5);
        if(0x80==(portB2&0x80))
            portA3=0x00;
            delay(5);
        if(0x80==(portB2&0x80))
            delay(5);
        if(0x80==(portB2&0x80))
            delay(0);
        if(0x80==(portB2&0x80))
            portA3=0x00;
        if(portA1==0x00)
            if(portA3==0x00)
                goto s3; }

        /*****|-R*****/
s03: portB3=0x02; /*F-I*/
portA1=0x80; /*R-I*/
portB1=0x80; /*L-I*/
while(1){ if(0x40==(portB2&0x40)) /**Front **/
            portB3=0x00;
        if(0x80==(portC2&0x80)) /*Right*/
            portA1=0x00;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(0x40==(portC2&0x40)) /*Left*/
    portB1=0x00;
if(portB3==0x00)
    goto s3;
if(portA1==0x00)
    goto s5;
if(portB1==0x00)
    goto s4; }

```

```

/*****FRONT Program*****/

```

```

s3: portC1=0x10; /*F-B.1.2,2*/

```

```

portB1=0x20;

```

```

while(1){ if(0x10==(portC2&0x10)) /*x2*/

```

```

    delay(60);

```

```

if(0x10==(portC2&0x10))

```

```

    portC1=0x00;

```

```

    delay(60);

```

```

if(0x10==(portC2&0x10)) ?

```

```

    delay(10);

```

```

if(0x10==(portC2&0x10))

```

```

    delay(10);

```

```

if(0x10==(portC2&0x10))

```

```

    portC1=0x00;

```

```

if(0x20==(portB2&0x20)) /*h2*/

```

```

    portB1=0x00;

```

```

    if(portC1==0x00)

```

```

        if(portB1==0x00)

```

```

            goto s30;
}

```

```

s30: portA3=0x20; /*F-B.1.1.,3*/

```

```

portA1=0x10;

```

```

while(1){ if(0x80==(portA2&0x80)) /*y1*/

```

```

    delay(30);

```

```

if(0x80==(portA2&0x80))

```

```

    portA3=0x00;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay(20);
if(0x80==(portA2&0x80))
    delay(10);
if(0x80==(portA2&0x80))
    delay(5);
if(0x80==(portA2&0x80))
    portA3=0x00;
if(0x10==(portA2&0x10)) /*g2*/
    portA1=0x00;
if(portA3==0x00)
    if(portA1==0x00)
        goto s31;}
s31: portA1=0x02; /*F-B.4*/
portB1=0x02;
portC1=0x02;
while(1){ if(0x02==(portA2&0x02)) /*Sa1*/
    portA1=0x00;
    delay(10);
    if(0x02==(portA2&0x02))
        delay(10);
    if(0x02==(portA2&0x02))
        portA1=0x00;
    if(0x02==(portB2&0x02)) /*Sc1*/
        delay(20);
    if(0x02==(portB2&0x02))
        portB1=0x00;
    if(0x02==(portC2&0x02)) /*Se1*/
        delay(40);
    if(0x02==(portC2&0x02))
        portC1=0x00;
        delay(40);
    if(0x02==(portC2&0x02))
        delay(20);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(0x02==(portC2&0x02))
    delay(8);
if(0x02==(portC2&0x02))
    portC1=0x00;
if(portA1==0x00)
    if(portB1==0x00)
        if(portC1==0x00)
            goto s32; }

```

```

s32: portA1=0x04; /*F-B.5*/
portB1=0x04;
portC1=0x04;
while(1){ if(0x04==(portA2&0x04)) /*Sb2*/
    delay(50);
if(0x04==(portA2&0x04))
    portA1=0x00;
    delay(30);
if(0x04==(portA2&0x04))
    delay(20);
if(0x04==(portA2&0x04))
    delay(10);
if(0x04==(portA2&0x04))
    portA1=0x00;
if(0x04==(portB2&0x04)) /*Sd2*/
    delay(0);
if(0x04==(portB2&0x04))
    portB1=0x00;
if(0x04==(portC2&0x04)) /*Sf2*/
    delay(10);
if(0x04==(portC2&0x04))
    portC1=0x00;
if(portA1==0x00)
    if(portB1==0x00)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if(portC1==0x00)
            goto s33; }
s33: portA3=0x10; /*F-B.6.2,7*/
portA1=0x20;
while(1){ if(0x80==(portB2&0x80)) /*y2*/
    delay(20);
    if(0x80==(portB2&0x80))
        portA3=0x00;
        delay(40);
    if(0x80==(portB2&0x80))
        delay(10);
    if(0x80==(portB2&0x80))
        delay(3);
    if(0x80==(portB2&0x80))
        portA3=0x00;
    if(0x20==(portA2&0x20)) /*g1*/
        delay(0);
    if(0x20==(portA2&0x20))
        portA1=0x00;
        if(portA3==0x00)
            if(portA1==0x00)
                goto s05; }
s05: portC1=0x20; /*6.1,8*/
portB1=0x10;
while(1){ if(0x20==(portC2&0x20)) /*x1*/
    delay(50);
    if(0x20==(portC2&0x20))
        portC1=0x00;
        delay(50);
    if(0x20==(portC2&0x20))
        delay(30);
    if(0x20==(portC2&0x20))
        delay(10);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(0x20==(portC2&0x20))
    portC1=0x00;
if(0x10==(portB2&0x10)) /*h1*/
    delay(2);
if(0x10==(portB2&0x10))
    portB1=0x00;
    delay(1);
if(0x10==(portB2&0x10))
    delay(0);
if(0x10==(portB2&0x10))
    delay(1);
if(0x10==(portB2&0x10))
    portB1=0x00;
if(portC1==0x00)
    if(portB1==0x00)
        goto s34;}
s34: portA1=0x08; /*F-B.9*/
    portB1=0x08;
    portC1=0x08;
    while(1){ if(0x08==(portA2&0x08)) /*Sb1*/
        delay(6);
if(0x08==(portA2&0x08))
    portA1=0x00;
if(0x08==(portB2&0x08)) /*Sd1*/
    delay(4);
if(0x08==(portB2&0x08))
    portB1=0x00;
if(0x08==(portC2&0x08)) /*Sf1*/
    portC1=0x00;
    delay(20);
if(0x08==(portC2&0x08))
    delay(10);
if(0x08==(portC2&0x08))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

portC1=0x00;
if(portA1==0x00)
    if(portB1==0x00)
        if(portC1==0x00)
            goto s35; }
s35: portA1=0x01; /*F-B.10*/
portB1=0x01;
portC1=0x01;
while(1){ if(0x01==(portA2&0x01)) /*Sa2*/
    delay(0);
if(0x01==(portA2&0x01))
    portA1=0x00;
if(0x01==(portB2&0x01)) /*Sc2*/
    delay(15);
if(0x01==(portB2&0x01))
    portB1=0x00;
if(0x01==(portC2&0x01)) /*Se2*/
    delay(40);
if(0x01==(portC2&0x01))
    portC1=0x00;
    delay(40);
if(0x01==(portC2&0x01))
    delay(20);
if(0x01==(portC2&0x01))
    delay(8);
if(0x01==(portC2&0x01))
    portC1=0x00;
if(portA1==0x00)
    if(portB1==0x00)
        if(portC1==0x00)
            goto s03; }
/*****RIGHT PROGRAM*****/
s4: portA1=0x02; /*T-R.1.1*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

portB1=0x02; /*T-R.1.2*/
while(1){ if(0x02==(portA2&0x02)) /*Sa1*/
    portA1=0x00;
    delay(10);
if(0x02==(portA2&0x02))
    delay(10);
if(0x02==(portA2&0x02))
    portA1=0x00;
if(0x02==(portB2&0x02)) /*Sc1*/
    delay(20);
if(0x02==(portB2&0x02))
    portB1=0x00;
if(portA1==0x00)
if(portB1==0x00)
    goto s41; }
s41: portA1=0x04; /*T-R.2*/
while(1){ if(0x04==(portA2&0x04)) /*Sb2*/
    delay(50);
if(0x04==(portA2&0x04))
    portA1=0x00;
    delay(30);
if(0x04==(portA2&0x04))
    delay(20);
if(0x04==(portA2&0x04))
    delay(10);
if(0x04==(portA2&0x04))
    portA1=0x00;
if(portA1==0x00)
    goto s42; }
s42: portC1=0x10; /*T-R.3.1*/
portA3=0x20; /*T-R.3.2*/
while(1){ if(0x10==(portC2&0x10)) /*x2*/
    delay(60);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(0x10==(portC2&0x10))
    portC1=0x00;
    delay(60);
if(0x10==(portC2&0x10))
    delay(10);
if(0x10==(portC2&0x10))
    delay(10);
if(0x10==(portC2&0x10))
    portC1=0x00;
if(0x80==(portA2&0x80)) /*y1*/
    delay(0);
if(0x80==(portA2&0x80))
    portA3=0x00;
    delay(0);
if(0x80==(portA2&0x80))
    delay(0);
if(0x80==(portA2&0x80))
    portA3=0x00;
    delay(0);
if(0x80==(portA2&0x80))
    delay(0);
if(0x80==(portA2&0x80))
    delay(0);
if(0x80==(portA2&0x80))
    portA3=0x00;
if(portC1==0x00)
    if(portA3==0x00)
        goto s43;}
s43: portC1=0x02; /*T-R.4*/
    while(1){ if(0x02==(portC2&0x02)) /*Se1*/
        delay(40);
        if(0x02==(portC2&0x02))
            portC1=0x00;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    delay(40);

    if(0x02==(portC2&0x02))
        delay(20);

    if(0x02==(portC2&0x02))
        delay(8);

    if(0x02==(portC2&0x02))
        portC1=0x00;

    if(portC1==0x00)
        goto s44;}

s44: portC1=0x04; /*T-R.5*/
    while(1){ if(0x04==(portC2&0x04)) /*Sf2*/
        delay(50);

        if(0x04==(portC2&0x04))
            portC1=0x00;

        delay(60);

        if(0x04==(portC2&0x04))
            delay(50);

        if(0x04==(portC2&0x04))
            portC1=0x00;

        delay(60);

        if(0x04==(portC2&0x04))
            delay(40);

        if(0x04==(portC2&0x04))
            portC1=0x00;

        if(portC1==0x00)
            goto s45;}

s45: portC1=0x20; /*T-R.6*/
    while(1){ if(0x20==(portC2&0x20)) /*x1*/
        delay(50);

        if(0x20==(portC2&0x20))
            portC1=0x00;

        delay(50);

        if(0x20==(portC2&0x20))

```

```

    delay(30);
    if(0x20==(portC2&0x20))
        delay(10);
    if(0x20==(portC2&0x20))
        portC1=0x00;
    if(portC1==0x00)
        goto s46;}
s46: portA1=0x08; /*T-R.7.1*/
    portC1=0x08; /*T-R.7.2*/
    while(1){ if(0x08==(portA2&0x08)) /*Sb1*/
        delay(6);
        if(0x08==(portA2&0x08))
            portA1=0x00;
        if(0x08==(portC2&0x08)) /*Sf1*/
            portC1=0x00;
            delay(20);
            if(0x08==(portC2&0x08))
                delay(10);
            if(0x08==(portC2&0x08))
                portC1=0x00;
            if(portA1==0x00)
                if(portC1==0x00)
                    goto s47;}
s47: portA1=0x01; /*T-R.8.1*/
    portB1=0x01; /*T-R.8.2*/
    portC1=0x01; /*T-R.8.3*/
    while(1){ if(0x01==(portA2&0x01)) /*Sa2*/
        portA1=0x00;
        if(0x01==(portB2&0x01)) /*Sc2*/
            delay(15);
            if(0x01==(portB2&0x01))
                portB1=0x00;
            if(0x01==(portC2&0x01)) /*Se2*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    delay(40);
if(0x01==(portC2&0x01))
    portC1=0x00;
    delay(40);
if(0x01==(portC2&0x01))
    delay(20);
if(0x01==(portC2&0x01))
    delay(8);
if(0x01==(portC2&0x01))
    portC1=0x00;
if(portA1==0x00)
    if(portB1==0x00)
        if(portC1==0x00)
            goto s48;}
s48: portA3=0x10; /*T-R.9*/
    while(1){ if(0x80==(portB2&0x80)) /*y2*/
        delay(50);
        if(0x80==(portB2&0x80))
            portA3=0x00;
            delay(50);
            if(0x80==(portB2&0x80))
                delay(50);
            if(0x80==(portB2&0x80))
                portA3=0x00;
            if(portA3==0x00)
                goto s03;}
/*****LEFT PROGRAM*****/
s5: portA1=0x02; /*T-L.1.1*/
    portC1=0x02; /*T-L.1.2*/
    while(1){ if(0x02==(portA2&0x02)) /*Sa1*/
        portA1=0x00;
        delay(10);
        if(0x02==(portA2&0x02))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    delay(10);
if(0x02==(portA2&0x02))
    portA1=0x00;
if(0x02==(portC2&0x02)) /*Se1*/
    delay(40);
if(0x02==(portC2&0x02))
    portC1=0x00;
    delay(40);
if(0x02==(portC2&0x02))
    delay(20);
if(0x02==(portC2&0x02))
    delay(8);
if(0x02==(portC2&0x02))
    portC1=0x00;
if(portA1==0x00)
    if(portC1==0x00)
        goto s51;}
s51: portC1=0x04; /*T-L.2*/
while(1){ if(0x04==(portC2&0x04)) /*Sf2*/
    portC1=0x00;
    delay(20);
if(0x04==(portC2&0x04))
    delay(10);
if(0x04==(portC2&0x04))
    portC1=0x00;
    delay(20);
if(0x04==(portC2&0x04))
    delay(10);
if(0x04==(portC2&0x04))
    portC1=0x00;
    delay(20);
if(0x04==(portC2&0x04))
    portC1=0x00;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    delay(20);
    if(0x04==(portC2&0x04))
        delay(10);
    if(0x04==(portC2&0x04))
        portC1=0x00;
    if(portC1==0x00)
        goto s52;}
s52: portC1=0x10; /*T-L.3.1*/
    portA3=0x20; /*T-L.3.2*/
    while(1){ if(0x10==(portC2&0x10)) /*x2*/
        delay(60);
        if(0x10==(portC2&0x10))
            portC1=0x00;
            delay(60);
        if(0x10==(portC2&0x10))
            delay(10);
        if(0x10==(portC2&0x10))
            delay(10);
        if(0x10==(portC2&0x10))
            portC1=0x00;
        if(0x80==(portA2&0x80)) /*y1*/
            delay(0);
        if(0x80==(portA2&0x80))
            portA3=0x00;
            delay(5);
        if(0x80==(portA2&0x80))
            delay(5);
        if(0x80==(portA2&0x80))
            delay(5);
        if(0x80==(portA2&0x80))
            portA3=0x00;
        if(portC1==0x00)
            if(portA3==0x00)

```

```

        goto s53;}
s53: portB1=0x02; /*T-L.4*/
    while(1){ if(0x02==(portB2&0x02)) /*Sc1*/
        delay(50);
        if(0x02==(portB2&0x02))
            portB1=0x00;
            delay(50);
            if(0x02==(portB2&0x02))
                delay(20);
                if(0x02==(portB2&0x02))
                    portB1=0x00;
                    if(portB1==0x00)
                        goto s54;}
s54: portA1=0x04; /*T-L.5*/
    while(1){ if(0x04==(portA2&0x04)) /*Sb2*/
        delay(50);
        if(0x04==(portA2&0x04))
            portA1=0x00;
            delay(30);
            if(0x04==(portA2&0x04))
                delay(20);
                if(0x04==(portA2&0x04))
                    delay(10);
                    if(0x04==(portA2&0x04))
                        portA1=0x00;
                        if(portA1==0x00)
                            goto s55;}
s55: portC1=0x20; /*T-L.6*/
    while(1){ if(0x20==(portC2&0x20)) /*x1*/
        delay(50);
        if(0x20==(portC2&0x20))
            portC1=0x00;
            delay(50);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(0x20==(portC2&0x20))
    delay(30);
if(0x20==(portC2&0x20))
    delay(10);
if(0x20==(portC2&0x20))
    portC1=0x00;
if(portC1==0x00)
    goto s56;

```

```
s56: portA1=0x08; /*T-L.7.1*/
```

```
portC1=0x08; /*T-L.7.2*/
```

```
while(1){ if(0x08==(portA2&0x08)) /*Sb1*/
```

```
    delay(6);
```

```
if(0x08==(portA2&0x08))
```

```
    portA1=0x00;
```

```
if(0x08==(portC2&0x08)) /*Sf1*/
```

```
    portC1=0x00;
```

```
    delay(20);
```

```
if(0x08==(portC2&0x08))
```

```
    delay(10);
```

```
if(0x08==(portC2&0x08))
```

```
    portC1=0x00;
```

```
if(portA1==0x00)
```

```
    if(portC1==0x00)
```

```
        goto s57;}
```

```
s57: portA1=0x01; /*T-L.8.1*/
```

```
portB1=0x01; /*T-L.8.2*/
```

```
portC1=0x01; /*T-L.8.3*/
```

```
while(1){ if(0x01==(portA2&0x01)) /*Sa2*/
```

```
    portA1=0x00;
```

```
if(0x01==(portB2&0x01)) /*Sc2*/
```

```
    delay(15);
```

```
if(0x01==(portB2&0x01))
```

```
    portB1=0x00;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(0x01==(portC&0x01)) /*Se2*/
    delay(40);
if(0x01==(portC&0x01))
    portC1=0x00;
    delay(40);
if(0x01==(portC&0x01))
    delay(20);
if(0x01==(portC&0x01))
    delay(8);
if(0x01==(portC&0x01))
    portC1=0x00;
if(portA1==0x00)
    if(portB1==0x00)
        if(portC1==0x00)
            goto s58;}
s58: portA3=0x10; /*T-L.9*/
while(1){ if(0x80==(portB2&0x80)) /*y2*/
    delay(5);
if(0x80==(portB2&0x80))
    portA3=0x00;
    delay(5);
if(0x80==(portB2&0x80))
    delay(5);
if(0x80==(portB2&0x80))
    delay(0);
if(0x80==(portB2&0x80))
    portA3=0x00;
if(portA3==0x00)
    goto s03;}
}

```

```
void delay(int count)
```

```
{ int i,j;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for(i=0;i<count;i++)  
for(j=0;j<500;j++)  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Jack T. Kimbrell, Kinematics Analysis and Synthesis, McGraw-Hill Inc.
- [2] Katsuhiko Ogata, Modern Control Engineering, Second edition, Prentice-Hall International, Inc., 1990.
- [3] KG Stock Gear, Kyouiku gear Mfg. Co., Ltd. 1998.
- [4] R.C. Hibbeler, Engineering Mechanics Dynamics, Eight edition, Prentice-Hall Inc., 1974
- [5] Thomas W. Schultz, C and the 8051 Hardware, Modular Programming, and Multitasking, Prentice-Hall International, Inc., 1998.
- [6] อ.กิตติ ตีระเศรษฐ์, พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2539
- [7] รองศาสตราจารย์มนตรี พิรุณเกษม, กลศาสตร์ของวัสดุ, บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด, พ.ศ.2539
- [8] เบญจพร ศักดิ์ศิริ, ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++, แมคกรอ-ฮิลเนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์, อิงค์, พ.ศ.2540
- [9] ศ.ดร.วริทธิ์ อิงภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1, ซีเอ็ดยูเคชั่น, พ.ศ.2541
- [10] ดร.วริทธิ์ อิงภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2, ซีเอ็ดยูเคชั่น, พ.ศ.2541
- [11] วรพล ตีลาเกียรติสกุล, C51LAB, ศิลาเรีเสิร์ช จำกัด
- [12] วิบูลย์ แสงวีระ พันธุ์ศิริ, การควบคุมระบบพลศาสตร์, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ.2538
- [13] สมชัย นรเศรษฐ์ โสภณ, กลศาสตร์เครื่องจักรกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ.2533
- [14] ร.ศ.บรรเลง ศรีนิล, ตารางงานโลหะ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, พ.ศ.2524