

การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ภาคสนามโดยใช้กลไก ROCKER-BOGIE



นายภูริพันธุ์ สุวรรณฤกษ์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

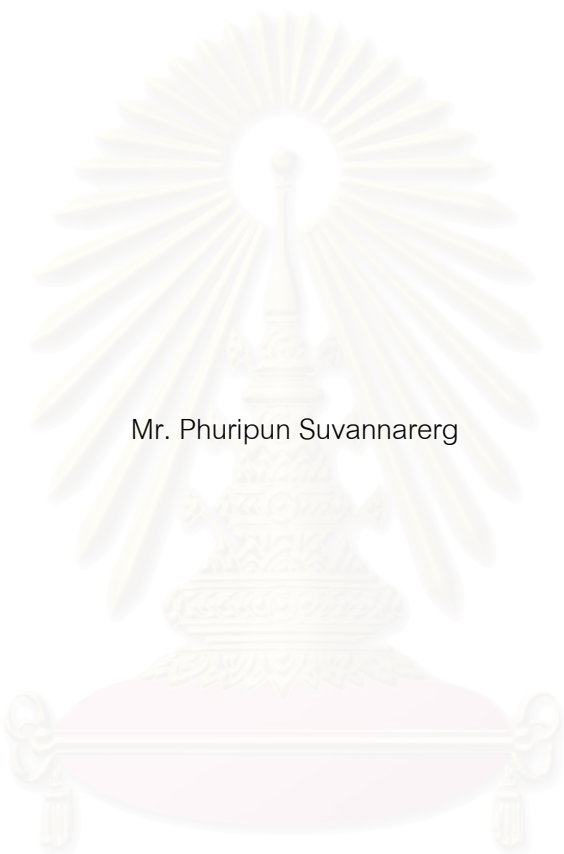
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6470-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A FIELD MOBILE ROBOT
USING THE ROCKER-BOGIE MECHANISM



Mr. Phuripun Suvannarerg

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6470-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ภาคสนามโดยใช้กลไก ROCKER-BOGIE
โดย นายภูริพันธุ์ สุวรรณฤกษ์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ดี มลิตา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชทิน จันทร์เจริญ)

ภูริพันธุ์ สุวรรณฤกษ์ : การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ภาคสนามโดยใช้กลไก ROCKER-BOGIE.
(DESIGN AND DEVELOPMENT OF A FIELD MOBILE ROBOT USING THE ROCKER-
BOGIE MECHANISM)

อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, 74 หน้า. ISBN 974-17-6470-7.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยล้อ และใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ใช้ระบบช่วงล่างนี้ ล้อทุกล้อของตัวหุ่นยนต์จะสัมผัสกับพื้นผิวที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตลอดเวลา จึงทำให้การกระจายน้ำหนักของหุ่นยนต์ลงบนล้อต่างๆสม่ำเสมอ ส่งผลให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการยึดเกาะปีนป่ายข้ามสิ่งกีดขวางต่างๆ ได้ดีกว่าการเคลื่อนที่ที่ใช้ล้อขับเคลื่อนแบบปกติแต่เพียงอย่างเดียว

การทดสอบหุ่นยนต์ประกอบด้วยการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไปบนพื้นผิวลักษณะต่างๆ และการทดสอบวัดความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไปในทิศทางต่างๆ บนพื้นผิวเรียบจากการทดสอบพบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ดีทั้งบนพื้นผิวขรุขระ และอ่อนนุ่ม การทดสอบความผิดพลาดสูงสุดในการเคลื่อนที่ขึ้นเนิน ถอยหลังมีค่าไม่เกิน 6 มิลลิเมตร ภายในระยะทางการเคลื่อนที่ 2.5 เมตร มีค่าผิดพลาดสูงสุดในการเลี้ยวไม่เกิน 6 มิลลิเมตร ที่รัศมีความโค้ง 1.5 เมตรและ 2 เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2547.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4470460021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: ALL TERRAIN MOBILE ROBOT / ROCKER-BOGIE MECHANISM

PHURIPUN SUVANNARERG : DESIGN AND DEVELOPMENT OF A FIELD MOBILE ROBOT USING THE ROCKER-BOGIE MECHANISM.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VIBOON SANGVERAPHUNSIRI, Ph.D., 74 pp.
ISBN 974-17-6470-7.

This thesis describes the design, development and testing of a Rocker-Bogie six-wheel robot. This mobile robot is a six wheel drive with the mechanism, Rocker-Bogie, for maintaining full time ground contact. During the flat plane motion, the weight of a robot distributes equally to all wheels to maximize climbing performance especially when the obstacles size larger than the radius of wheel.

The mobility of robot is to shown the ability of motion on various surface types such as rocky rough surface, grass soft surface and concrete surface. For accuracy test, the test consists of measurement of motion error in different direction. The maximum error of forward and backward moving along 2.5 meter straight line less than 6 millimeters, and the maximum error of turning in 1.5 meters and 2 meters turning radius are less than 6 millimeters.



Department.....Mechanical Engineering.....Student's signature.....

Field of study.....Mechanical Engineering.....Advisor's signature.....

Academic year.....2004.....Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ.ดร.วิบูลย์
แสงวิระพันธ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้คอยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่มี
ประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งคอยสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย
มาด้วยดีตลอด จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ ขอขอบคุณ
บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยและขอบคุณ เพื่อนๆ รุ่นพี่ และ รุ่นน้อง นิสิตปริญญาโท
และปริญญาเอก ที่ได้ให้ข้อคิดเห็น และกำลังใจในการทำวิจัยตลอดมา

ท้ายสุด สิ่งสำคัญที่สุดและจะขาดไม่ได้ คือการให้กำลังใจจาก บิดา มารดา คุณชาย และ
พี่สาว ผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บุคคลในครอบครัวทุกท่าน ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนใน
ทุกด้าน เพื่อให้การวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.6 ลำดับขั้นตอนในการวิจัย.....	2
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 รูปแบบโดยทั่วไปของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ได้.....	3
2.2 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของการเคลื่อนที่แต่ละรูปแบบ.....	6
2.3 ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie.....	8
2.4 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับหุ่นยนต์ที่ใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie.....	10
2.4.1 หุ่นยนต์ Fido.....	10
2.4.2 หุ่นยนต์ Lonotech8.....	10
3. การออกแบบ.....	12
3.1 การออกแบบกลไกการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์.....	12
3.2 เลือกอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์.....	17
3.2.1 อุปกรณ์ขับเคลื่อน.....	17
3.2.2 ระบบส่งผ่านกำลัง.....	18
3.2.3 อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor).....	20
3.2.4 วัสดุที่ใช้ในโครงสร้างหุ่นยนต์.....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์.....	23
3.3.1 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design/CAD).....	23
3.3.2 คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing/CAM).....	24
3.3.3 คอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรม (Computer Aided Engineering/CAE).....	26
3.4 ลักษณะ และ โครงสร้างของหุ่นยนต์.....	26
3.5 รูปแบบตัวควบคุม และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุม.....	28
3.5.1 รูปแบบการควบคุมของหุ่นยนต์ภาคสนาม.....	29
3.5.2 ตัวประมวลผล.....	30
3.5.3 วงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์.....	31
3.5.4 วงจรจับมอเตอร์.....	32
3.5.5 อุปกรณ์สื่อสารแบบเครือข่ายไร้สาย.....	32
3.6 แหล่งจ่ายพลังงานของหุ่นยนต์ภาคสนาม.....	33
4. สมการการเคลื่อนที่ (Equation of motion).....	35
4.1 สมการการเคลื่อนที่ที่เดินหน้า และถอยหลังของหุ่นยนต์.....	36
4.2 สมการการเคลื่อนที่ที่เกี่ยวไค้งของหุ่นยนต์.....	37
4.3 สมการการเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเองของหุ่นยนต์.....	41
5. การควบคุม.....	44
5.1 การสร้างเส้นทางลักษณะการเคลื่อนที่.....	44
5.1.1 ลักษณะการเคลื่อนที่เชิงมุมแบบสี่เหลี่ยมคางหมู.....	44
5.1.2 ลักษณะการเคลื่อนที่โดยกำหนดความเร็ว.....	45
5.2 ตัวควบคุม.....	46
5.3 โปรแกรมควบคุม.....	49
6. การทดสอบหุ่นยนต์ภาคสนาม.....	50
6.1 ทดสอบการเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรค.....	50
6.2 ทดสอบความผิดพลาดในการเคลื่อนที่.....	55
6.2.1 ทดสอบเคลื่อนที่เดินหน้า.....	56
6.2.2 ทดสอบเคลื่อนที่ถอยหลัง.....	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.3 ทดสอบเคลื่อนที่เกี่ยวโยง.....	59
6.3 สรุปผลการทดลอง.....	64
7. บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	66
7.1 บทสรุป.....	66
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	66
7.2.1 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับลักษณะ และ โครงสร้างของหุ่นยนต์.....	66
7.2.2 การปรับปรุงความถูกต้องในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์.....	67
7.2.3 การเพิ่มขีดความสามารถในการนำหุ่นยนต์ไปใช้งาน.....	67
รายการอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก	
อุปกรณ์ของหุ่นยนต์ภาคสนาม.....	70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	74

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบต่างๆ.....	7
2.2 ลักษณะจำเพาะเชิงกลโดยทั่วไปของหุ่นยนต์ Fido.....	10
2.3 ลักษณะจำเพาะเชิงกลโดยทั่วไปของหุ่นยนต์ Lonotech8.....	11
3.1 คุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ.....	23
3.2 ลักษณะจำเพาะเชิงกลของหุ่นยนต์สำรวจภาคสนาม.....	26



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 หุ่นยนต์ Lemur, การเคลื่อนที่เลียนแบบแมลง.....	3
2.2 หุ่นยนต์ S5, การเคลื่อนที่เลียนแบบงู.....	3
2.3 หุ่นยนต์ K1, การเคลื่อนที่โดยอาศัยล้อและสายพาน.....	4
2.4 หุ่นยนต์ Lonotech4, การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อ Omni-directional.....	4
2.5 หุ่นยนต์ ATRV2, การเคลื่อนที่โดยอาศัยล้อ.....	5
2.6 หุ่นยนต์ Shrimp.....	5
2.7 หุ่นยนต์ Fido, การเคลื่อนที่โดยใช้ระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie.....	6
2.8 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ใช้ช่วงล่าง Rocker-Bogie บนพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ.....	8
2.9 โครงสร้างของระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie.....	9
2.10 หุ่นยนต์ Fido.....	10
2.11 หุ่นยนต์ Lonotech8.....	11
2.12 การเคลื่อนที่ไปด้านข้างของหุ่นยนต์.....	11
3.1 ทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์.....	12
3.2 ตำแหน่งของจุดหมุนที่ต้องติดตั้งมอเตอร์.....	13
3.3 ลักษณะการเคลื่อนที่เกี่ยวโยงของหุ่นยนต์.....	13
3.4 ลักษณะการเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเอง.....	14
3.5 การวิเคราะห์และจำลองการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม Visual Nastran 4D.....	14
3.6 ตำแหน่งจุดหมุนและระยะต่างๆ ของหุ่นยนต์.....	15
3.7 การกระจายน้ำหนักส่วนลำตัวของหุ่นยนต์.....	15
3.8 หุ่นยนต์ต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น.....	16
3.9 หุ่นยนต์ต้นแบบเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรคที่ลักษณะเป็นขั้น และทางลาดชัน.....	17
3.10 รายละเอียดของ Harmonic Drives.....	18
3.11 การทำงานของชุดเฟืองฮาร์มอนิก.....	19
3.12 รูปแบบโดยทั่วไปของชุดเฟืองแพลนเน็ตทอรี.....	20
3.13 สัญญาณของเอ็นโคเดอร์ประเภทต่างๆ.....	22
3.14 หุ่นยนต์ภาคสนามที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม CATIA.....	24
3.15 ลักษณะขั้นตอนการสร้างชิ้นงาน โดยใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย.....	25
3.16 เส้นทางการเดินของหัวกัศที่สร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม CATIA.....	25
3.17 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้โปรแกรม CATIA.....	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.18 ขนาดและลักษณะ โครงสร้างของหุ่นยนต์สำรวจ.....	27
3.19 หุ่นยนต์สำรวจภาคสนามที่สร้างเสร็จ.....	27
3.20 วงวนการควบคุมหุ่นยนต์.....	28
3.21 ลักษณะรูปแบบของการควบคุมหุ่นยนต์สำรวจภาคสนาม.....	29
3.22 รูปแบบการควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลบนตัวหุ่นยนต์.....	30
3.23 ลักษณะรูปแบบการควบคุมของการ์ด ACS Tech80 5950B.....	31
3.24 การสื่อสารผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย.....	32
3.25 แหล่งจ่ายพลังงานของหุ่นยนต์.....	33
4.1 การกำหนดตัวแปรที่ใช้คำนวณสมการการเคลื่อนที่.....	35
4.2 การเคลื่อนที่ที่เดินทางและถอยหลังของหุ่นยนต์.....	36
4.3 การเคลื่อนที่เลี้ยวโค้งของหุ่นยนต์.....	37
4.4 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของล้อแต่ละล้อในการเลี้ยว.....	39
4.5 การเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเอง.....	41
5.1 ลักษณะการเคลื่อนที่เชิงมุมแบบสี่เหลี่ยมคางหมู.....	44
5.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็ว.....	45
5.3 การควบคุมแบบป้อนกลับ.....	46
5.4 เส้นทางการเคลื่อนที่ในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง.....	47
5.5 การควบคุมแบบป้อนกลับที่รับคำสั่งตำแหน่งและความเร็ว.....	48
5.6 แผนผังการไหลแสดงการทำงานของโปรแกรม.....	49
6.1 หุ่นยนต์ภาคสนามที่ใช้ในการทดสอบ.....	50
6.2 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวขรุขระ.....	51
6.3 หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนพื้นสนามหญ้า.....	52
6.4 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในตัวอาคาร.....	53
6.5 การเคลื่อนที่ขึ้นบนทางลาดชัน.....	54
6.6 ข้ามสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นขั้น.....	54
6.7 อุปกรณ์วัดตำแหน่ง Fastrak.....	55
6.8 ทดสอบเคลื่อนที่ที่เดินทาง.....	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
6.9 การเบี่ยงเบนในการเคลื่อนที่เดินทางที่ความเร็วต่างๆ.....	57
6.10 ทดสอบเคลื่อนที่ถอยหลัง.....	58
6.11 การเบี่ยงเบนในการเคลื่อนที่ถอยหลังที่ความเร็วต่างๆ.....	58
6.12 แนวการเคลื่อนที่เดินทางและถอยหลังของหุ่นยนต์.....	59
6.13 ทดสอบเคลื่อนที่เลี้ยวโค้ง.....	59
6.14 ตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยว รัศมีความโค้ง 150 cm ความเร็ว 5 cm/s.....	60
6.15 ความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เลี้ยว รัศมีความโค้ง 150 cm ความเร็ว 5 cm/s.....	60
6.16 ตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยว รัศมีความโค้ง 150 cm ความเร็ว 10 cm/s.....	61
6.17 ความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เลี้ยว รัศมีความโค้ง 150 cm ความเร็ว 10 cm/s.....	61
6.18 ตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยว รัศมีความโค้ง 200 cm ความเร็ว 5 cm/s.....	62
6.19 ความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เลี้ยว รัศมีความโค้ง 200 cm ความเร็ว 5 cm/s.....	62
6.20 ตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยว รัศมีความโค้ง 200 cm ความเร็ว 10 cm/s.....	63
6.21 ความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เลี้ยว รัศมีความโค้ง 200 cm ความเร็ว 10 cm/s.....	63
6.22 แบนคเลขที่เกิดขึ้นใน โครงสร้างส่วนบังคับเลี้ยว.....	64
6.23 ลักษณะการส่งผ่านกำลัง โครงสร้างบังคับเลี้ยว.....	65
ก.1 เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง Electro-Craft E543.....	70
ก.2 เฟืองแพลนเน็ตทอรี Neugart PLE 60.....	70
ก.3 เฟืองแพลนเน็ตทอรีชนิดเปลี่ยนทิศทางแกนหมุน Neugart WPLE 60.....	71
ก.4 คอมพิวเตอร์บอร์ด SBC-658.....	71
ก.5 การ์ดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ACS Tech 80 5950B.....	72
ก.6 ชุดขยายกระแส Copley 4122P.....	72
ก.7 Wireless Access Point WAP-4000.....	73
ก.8 Wireless Lan Adapter WL-8310.....	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสำรวจตรวจสอบพื้นที่ในบางบริเวณ ที่มีความอันตราย หรือความเล็งสูงนั้น อาจไม่สามารถใช้มนุษย์เข้าไปทำการสำรวจได้ จึงต้องทำการส่งเครื่องมือ อุปกรณ์ หรือหุ่นยนต์ เข้าไปทำหน้าที่แทน โดยอาศัยมนุษย์สั่งการควบคุมหุ่นยนต์อยู่ในระยะไกล อันจะช่วยลดอันตรายและอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้น ซึ่งหุ่นยนต์นั้นต้องมีความสามารถในการเคลื่อนที่ผ่านไปในสภาพพื้นผิวลักษณะต่างๆ จึงต้องทำการออกแบบระบบขับเคลื่อน และระบบช่วงล่างของหุ่นยนต์สำรวจ ให้มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่การใช้งาน

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงขอเสนอ การออกแบบ และสร้างหุ่นยนต์ภาคสนามโดยใช้ช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie ซึ่งสามารถนำหุ่นยนต์ไปใช้งานในการสำรวจตามสภาพพื้นที่ต่างๆ ได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษา ทำการออกแบบ และสร้างหุ่นยนต์สำรวจ ที่ใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

หุ่นยนต์ที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้น สามารถทำการเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรค สิ่งกีดขวาง ในรูปแบบต่างๆ โดยผู้บังคับหุ่นยนต์สามารถควบคุมหุ่นยนต์จากระยะไกล

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) หุ่นยนต์สำรวจสามารถใช้ทำการสำรวจพื้นที่ต่างๆ ได้จริง และเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรค สิ่งกีดขวางได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) สามารถทำการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆเพิ่มเติมลงไป เพื่อพัฒนาหุ่นยนต์สำรวจให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- 3) ผู้วิจัยในอนาคต สามารถใช้หุ่นยนต์นี้เป็นฐานในการพัฒนาระบบควบคุมขั้นสูงต่อไป

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการทำงานเริ่มจากการศึกษาผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในตำรา และวารสารต่างๆ เพื่อหาข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบ และวิธีการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ออกแบบลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์ สร้างแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์หารูปแบบที่เหมาะสม จากนั้นจึงสร้างโมเดล (Model) ขึ้นมาทำการทดสอบ แล้วจึงทำการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์จริงขึ้นมา เพื่อทำการทดลองและแก้ไขปรับปรุงต่อไป

1.6 ลำดับขั้นตอนในการวิจัย

- 1) ศึกษาผลการวิจัยที่ผ่านมา เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบ และควบคุมหุ่นยนต์
- 2) ออกแบบลักษณะ โครงสร้างของหุ่นยนต์ตำแหน่งของจุดหมุน ข้อต่อ และล้อ
- 3) สร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้
- 4) สร้างหุ่น โมเดลอย่างง่ายขึ้นมาทำการทดสอบ
- 5) ทำการออกแบบ สร้าง เลือกว่าวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในตัวหุ่นยนต์ภาคสนาม
- 6) ทดสอบและแก้ไข

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบโดยทั่วไปของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ได้

ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้นมีด้วยกันหลายรูปแบบอาจจะเป็นการเคลื่อนที่ด้วยการเคลื่อนที่โดยอาศัยล้อและสายพาน และการเคลื่อนที่โดยใช้ล้อในลักษณะต่างๆ ซึ่งการเคลื่อนที่แต่ละแบบนี้ก็จะมีลักษณะข้อได้เปรียบและเสียเปรียบแตกต่างกันไป



รูปที่ 2.1 [1] หุ่นยนต์Lemur, การเคลื่อนที่เลียนแบบแมลง

หุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนไหวด้วยการเลียนแบบท่าทางของแมลงดังรูปที่ 2.1 เป็นลักษณะหนึ่งของการเคลื่อนที่โดยใช้ขา การเคลื่อนที่ในรูปแบบนี้ มีลักษณะพิเศษคือ สามารถเลือกตำแหน่งการวางเท้าของขาหุ่นยนต์ แต่ละขาได้ จึงทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวที่มีสภาพขรุขระไม่สม่ำเสมอได้ดี แต่การเคลื่อนที่รูปแบบนี้มีข้อเสียเนื่องจาก ระบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ประกอบด้วยขาทั้งสิ้น 6 ขา โดยในแต่ละขาหุ่นยนต์ของ 4 ขาหลังจะประกอบด้วย 3 องศาอิสระ และในส่วนของ 2 ขาหน้าแต่ละขาจะประกอบด้วย 4 องศาอิสระ จะเห็นว่าหุ่นยนต์มีจำนวนองศาอิสระมาก ซึ่งจำเป็นต้องใช้ตัวขับเคลื่อน ในที่นี้คือมอเตอร์ เป็นจำนวนมากตามไปด้วย



รูปที่ 2.2 [1] หุ่นยนต์ S5, การเคลื่อนที่เลียนแบบงู

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่เลียนแบบท่าทางการเคลื่อนที่ของงู ดังรูปที่ 2.2 หุ่นยนต์นั้นจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในบริเวณที่แคบ ซอกต่างๆ และยังสามารถเคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวอ่อนนุ่มได้ เนื่องจาก มีการกระจายน้ำหนักของหุ่นยนต์ ลงบนส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์อย่างสม่ำเสมอ แต่จากการที่ต้องใช้อุปกรณ์เครื่องมือมาก และยังต้องเก็บไว้ภายในส่วนลำตัวของหุ่นยนต์ ทำให้โครงสร้างของหุ่นยนต์ประเภทนี้ค่อนข้างซับซ้อน



รูปที่ 2.3 [1] หุ่นยนต์ K1, การเคลื่อนที่โดยอาศัยล้อและสายพาน

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้ล้อ และสายพานดังรูปที่ 2.3 ล้อทุกล้อในแต่ละชุดสายพาน นั้น จะหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมที่เท่ากัน การเคลื่อนที่ในรูปแบบนี้จะทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่เป็น โคลน หรือทรายได้ดี เนื่องจากหุ่นยนต์มีพื้นที่สัมผัสกับพื้นมาก ทำให้แรงดันที่กระทำต่อพื้นต่ำ แต่ในการเคลื่อนที่นั้นจะเกิดการสูญเสียพลังงานมากจากการลื่นไถลของหุ่นยนต์ขณะทำการเลี้ยว



รูปที่ 2.4 หุ่นยนต์ Lonotech 4, การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อ Omni-directional

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้ล้อแบบ Omni-directional ดังรูปที่ 2.4 สามารถเคลื่อนที่ทั้งในแนวหน้า-หลัง แนวด้านข้างและหมุนรอบตัวเอง หรือการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการรวมกันของการเคลื่อนที่ทั้งสามแบบได้อย่างอิสระ จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ที่ลักษณะนี้มีความคล่องตัวมาก แต่การเคลื่อนที่โดยใช้รูปแบบนี้สามารถเคลื่อนที่ได้เฉพาะพื้นที่มีลักษณะราบเรียบเท่านั้น ไม่สามารถวิ่งไต่บนพื้นผิวขรุขระ



รูปที่ 2.5 [1] หุ่นยนต์ ATRV2, การเคลื่อนที่โดยอาศัยล้อ

เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ล้อในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อจะเป็นรูปแบบที่ไม่สลับซับซ้อน ได้รับความนิยมนมาก และสามารถสร้างขึ้นได้ง่าย แต่การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อไม่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ขรุขระ และระบบขับเคลื่อนที่ใช้ล้อนั้น ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่มีขนาดใหญ่กว่ารัศมีของล้อ จึงได้มีการพัฒนารูปแบบลักษณะกลไก เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ให้สามารถปีนป่าย อุปสรรค สิ่งกีดขวางได้ดียิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.6 หุ่นยนต์ Shrimp เป็นลักษณะหนึ่งที่นอกจากจะใช้ล้อในการเคลื่อนที่แต่เพียงอย่างเดียวแล้ว ยังทำการเพิ่มเติมลักษณะกลไกเข้าไป ซึ่งทำให้หุ่นยนต์นั้นสามารถเคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวขรุขระ และปีนป่ายข้ามสิ่งกีดขวางต่างๆได้เป็นอย่างดี แต่ความคล่องตัวในการเคลื่อนที่เดี่ยวโค้งหรือ หมุนรอบตัวเองของหุ่นยนต์ จะทำได้ไม่ดีนัก



รูปที่ 2.6 [2] หุ่นยนต์ Shrimp

การใช้ระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เป็นลักษณะการเพิ่มเติมกลไกเข้าไปนอกเหนือจากการใช้ล้อขับเคลื่อนแต่เพียงอย่างเดียวในอีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ข้ามอุปสรรคที่มีขนาดมากกว่ารัศมีของล้อ และยังมีความคล่องตัวสูงในการเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ และการหมุนรอบตัวเอง



รูปที่ 2.7 [3] หุ่นยนต์ Fido, การเคลื่อนที่โดยใช้ระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie

2.2 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของการเคลื่อนที่แต่ละรูปแบบ

จากการศึกษาการเคลื่อนที่รูปแบบต่างๆของหุ่นยนต์ในขั้นต้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่า การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในแต่ละรูปแบบมีข้อได้เปรียบ เสียเปรียบแตกต่างกัน จึงเห็นได้ว่าการที่จะทำการออกแบบ และสร้างหุ่นยนต์ออกมาสักตัวหนึ่ง ต้องพิจารณาถึงลักษณะการนำไปใช้งานของหุ่นยนต์ตัวนั้นๆ เพื่อที่จะได้ทำการออกแบบหุ่นยนต์ ให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบต่างๆ

ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	ความสามารถในการเคลื่อนที่บนพื้นผิวขรุขระ	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	ความสลับซับซ้อนในการออกแบบ	ความยากในการสร้างชิ้นงาน
การเคลื่อนที่โดยใช้ขา	สูง	ต่ำ	สูง	สูง
การเคลื่อนที่เลียนแบบงู	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	สูง
การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อและสายพาน	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง	สูง
การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อ Omni-Directional	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง
การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อ	ต่ำ	สูง	ต่ำ	ต่ำ
การเคลื่อนที่โดยใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie	สูง	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง

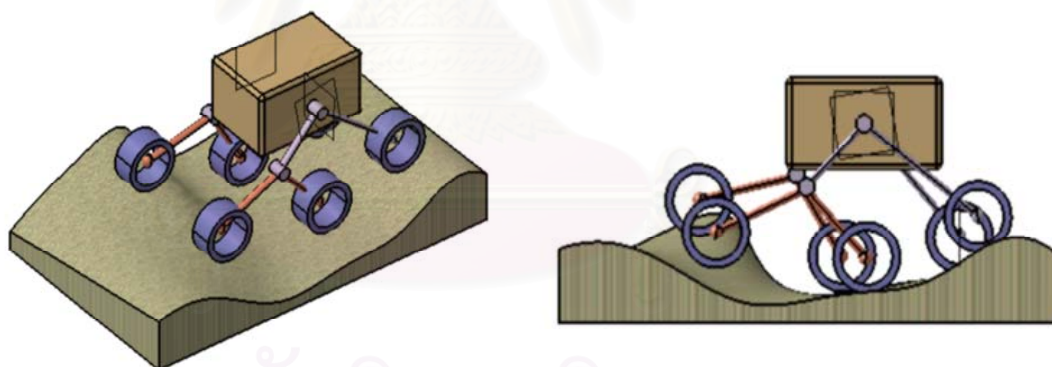
คุณสมบัติของหุ่นยนต์สำรวจที่ต้องการนั้นต้องมีความสามารถเคลื่อนที่ไปบนสภาพพื้นผิวต่างๆ ได้ดี และมีความสามารถปีนป่ายข้ามอุปสรรคต่างๆ ได้ในระดับหนึ่ง โดยอาจจะไม่ต้องใช้ความเร็วที่สูงมากนัก เนื่องจากการสำรวจบางครั้งอาจต้องเข้าไปภายในตัวอาคาร หรือในบริเวณที่พื้นผิวมีความไม่สม่ำเสมอ และหุ่นยนต์สำรวจนั้นจะต้องสามารถบรรทุกอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ อาทิ เช่น กล้อง อุปกรณ์ตรวจวัดความร้อน หรือแรงสั่นสะเทือนต่างๆ ได้

ซึ่งเมื่อพิจารณาคูสมบัติของหุ่นยนต์สำรวจที่ต้องการ โดยเทียบกับตารางที่ 2.1 พบว่าแม้การเคลื่อนที่ด้วยขาจะมีความสามารถเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวขรุขระได้ดี แต่ความสลับซับซ้อนในการออกแบบและความยากในการผลิตชิ้นงานค่อนข้างจะสูง อีกทั้งการใช้ล้อและสายพานแม้ว่าความสลับซับซ้อนในการออกแบบจะไม่สูงมากนัก แต่การผลิตชิ้นส่วนของหุ่นยนต์ค่อนข้างที่จะทำได้ยาก โดยเฉพาะส่วนที่เป็นสายพาน เมื่อพิจารณาจากตารางเปรียบเทียบขั้นต้นแล้วจึงพบว่า การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie มีความเหมาะสมมากที่สุด เพราะมีความสามารถในการเคลื่อนที่บนพื้นผิวขรุขระได้ดี ความสลับซับซ้อนของการออกแบบและการสร้างขึ้นมาไม่ยากมากนัก ถึงแม้กลไกนี้จะเหมาะกับการวิ่งที่ความเร็วต่ำก็มีโซ่ปัญหา เนื่องจากในการสำรวจนั้นหุ่นยนต์ไม่จำเป็นต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูง

ดังนั้นในหุ่นยนต์สำรวจภาคสนาม ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นนี้ จึงเลือกที่จะใช้ ลักษณะกลไกช่วงล่างเป็นแบบ Rocker-Bogie

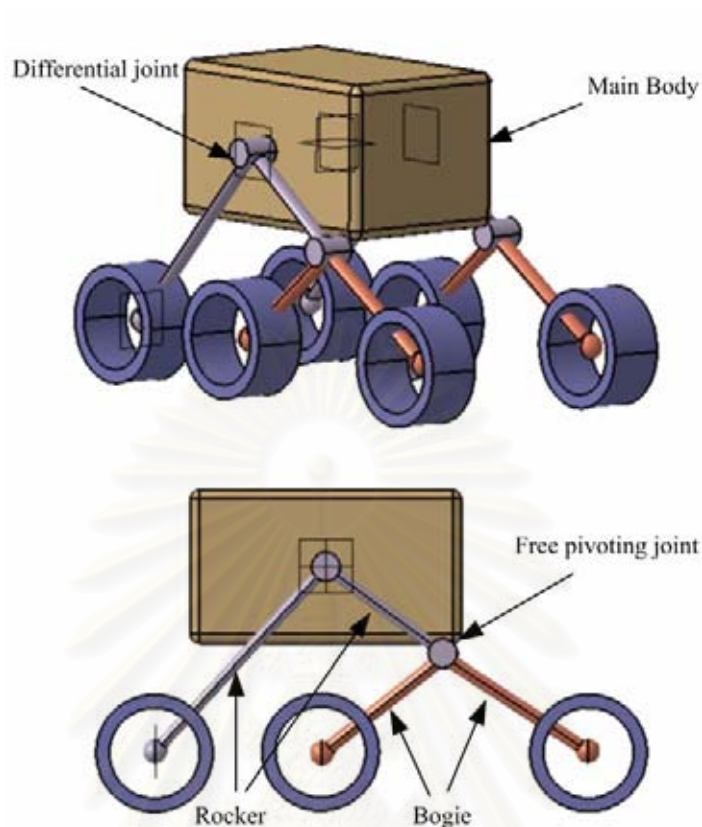
2.3 ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie นั้นล้อทุกล้อของตัวหุ่นยนต์จะสัมผัสกับพื้นผิวที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตลอดเวลา จึงทำให้การกระจายน้ำหนักของหุ่นยนต์ลงบนล้อต่างๆสม่ำเสมอ ทำให้แรงดันของล้อหุ่นยนต์ที่กดลงบนพื้นของล้อแต่ละล้อไม่สูงมากนัก ส่งผลให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการยึดเกาะ ปีนป่าย ข้ามสิ่งกีดขวางต่างๆ ได้ดีขึ้นกว่าการเคลื่อนที่โดยใช้ล้อขับเคลื่อนแบบปกติแต่เพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยระบบช่วงล่างลักษณะนี้ ถูกออกแบบมาให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ เนื่องจากระบบช่วงล่างลักษณะนี้ไม่มีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คอยหน่วง ดูดซับแรงสั่นสะเทือนและแรงกระแทกจากพื้น ซึ่งถ้าขณะหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง แล้วเกิดการตกหลุมก็จะทำให้เกิดแรงกระแทกรุนแรงที่อาจเป็นอันตรายต่อตัวหุ่นยนต์ได้



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ใช้ช่วงล่าง Rocker-Bogie บนพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ

ลักษณะโครงสร้างของระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie [3] นั้นจะขับเคลื่อนโดยใช้ล้อเป็นจำนวนทั้งหมด 6 ล้อด้วยกัน โดยที่ล้อแต่ละล้อนั้นจะทำการขับเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน และล้อทั้งหมดจะทำการยึดติดเข้ากับส่วนตัวโครงรถ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โครงรถนั้นจะประกอบไปด้วย โครงสร้างหลักใหญ่ 2 ส่วนด้วยกันคือส่วนที่เรียกว่า Rocker และอีกส่วนที่เรียกว่า Bogie



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie

โครงสร้างในส่วนที่เรียกว่า Rocker ในแต่ละข้างของหุ่นยนต์ จะเป็นเสมือนกระดิ่งที่ต่อเชื่อมเข้ากับลำตัวหุ่นยนต์ ปลายข้างหนึ่งของ Rocker จะเชื่อมต่อเข้ากับล้อหลัง ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งนั้นจะทำการยึดติดกับโครงสร้างส่วน Bogie ในลักษณะของแกนหมุน (Free pivoting joint) โดยที่ปลายทั้งสองข้างของส่วน Bogie นั้นจะทำการยึดติดล้อเข้าไปทั้งสองด้าน ส่วนการต่อแขน Rocker ทั้งสองเข้ากับลำตัวนั้น จะเชื่อมต่อในลักษณะของ Differential joint ซึ่งการเชื่อมต่อในลักษณะนี้จะทำให้มุมของลำตัวหุ่นยนต์ (Pitch angle) เป็นค่าเฉลี่ยของมุมลำตัวหุ่นยนต์ของแขน Rocker ทั้งสอง

2.4 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับหุ่นยนต์ที่ใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie

2.4.1 หุ่นยนต์ Fido

หุ่นยนต์ Fido ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เป็นหุ่นยนต์สำรวจต้นแบบ ที่ทำการสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการสำรวจดาวเคราะห์ต่างๆ ออกแบบพัฒนา และสร้างขึ้นโดยสถาบันที่มีชื่อว่า JPL (Jet Propulsion Laboratory) ลักษณะของหุ่นยนต์ Fido นั้นเป็นหุ่นยนต์ขับเคลื่อนหกล้ออิสระ ใช้ระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้ในการหมุนขับเคลื่อนแต่ละล้อนั้นมีแรงบิด 35 นิวตันเมตร ลักษณะโดยลักษณะจำเพาะเชิงกลของหุ่นยนต์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2



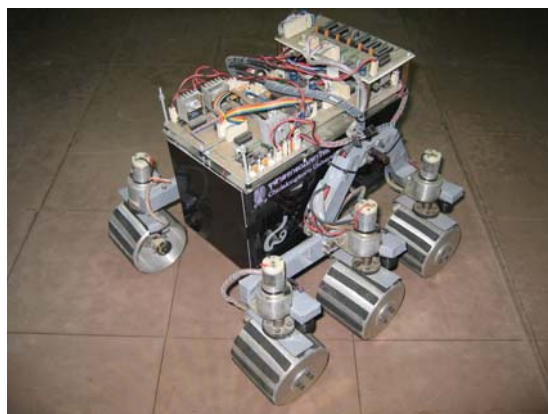
รูปที่ 2.10 [3] หุ่นยนต์ Fido

ตารางที่ 2.2 [3] ลักษณะจำเพาะเชิงกล โดยทั่วไปของหุ่นยนต์ Fido

ขนาดของหุ่นยนต์ (มิลลิเมตร)	1100 × 970 × 530
เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ (มิลลิเมตร)	200
มวลรวมของหุ่นยนต์ (กิโลกรัม)	61.8
กำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ (วัตต์)	100
ความเร็วสูงสุด (มิลลิเมตรต่อวินาที)	90

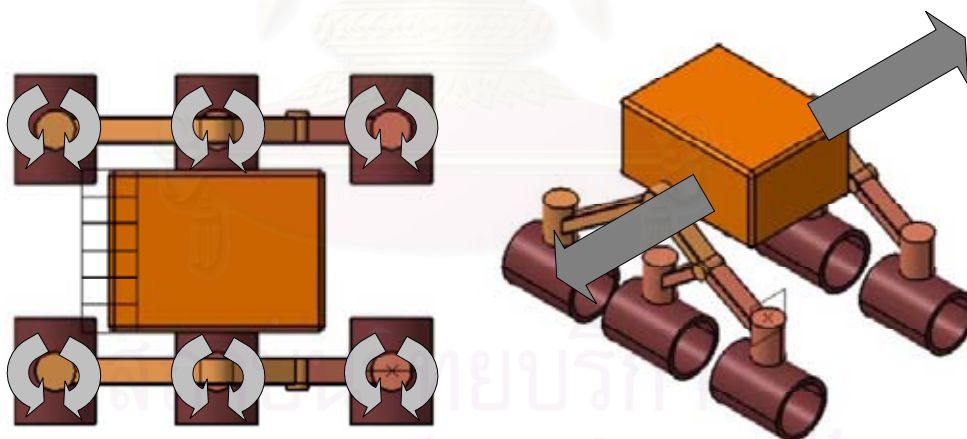
2.4.2 หุ่นยนต์ Lonotech 8

หุ่นยนต์ Lonotech 8 ดังแสดงในรูปที่ 2.11 เป็นหุ่นยนต์ต้นแบบที่ใช้ระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie ออกแบบ และสร้างขึ้น โดย ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม และหุ่นยนต์ อุตสาหกรรม ภาควิชาเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.11 หุ่นยนต์ Lonotech 8

หุ่นยนต์ Lonotech 8 นี้สามารถขับเคลื่อนได้อิสระหกล้อ และใช้ระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie เช่นเดียวกับหุ่นยนต์ Fido แต่ต่างกันที่ระบบการบังคับเลี้ยว นั่น แกนหมุนบังคับเลี้ยวของล้อทั้งหกล้อของหุ่นยนต์ Lonotech 8 นั้นสามารถทำการบังคับหมุนได้ทุกล้อ ดังนั้นจึงสามารถทำการเคลื่อนที่ไปด้านข้างได้โดยทิศทางของส่วนลำตัวนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งลักษณะจำเพาะเชิงกลของหุ่นยนต์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.12 การเคลื่อนที่ไปด้านข้างของหุ่นยนต์

ตารางที่ 2.3 ลักษณะจำเพาะเชิงกลโดยทั่วไปของหุ่นยนต์ Lonotech8

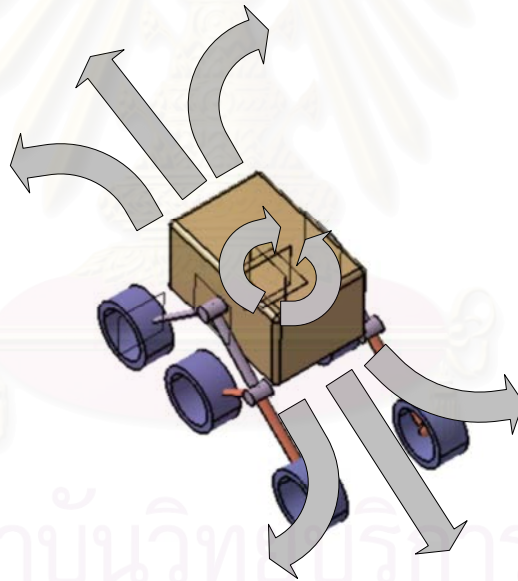
ขนาดของหุ่นยนต์ (มิลลิเมตร)	350 × 310 × 285
เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ (มิลลิเมตร)	80
มวลรวมของหุ่นยนต์ (กิโลกรัม)	7.5

บทที่ 3

การออกแบบ

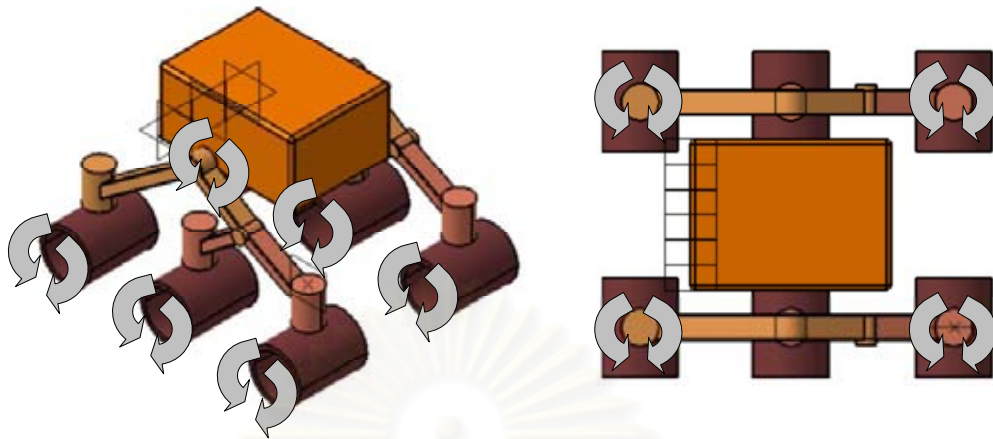
3.1 การออกแบบกลไกการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ในการออกแบบ เริ่มแรกนั้นต้องพิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ว่าจะให้ หุ่นยนต์สามารถควบคุมเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดๆ ได้บ้าง ซึ่งในกรณีของหุ่นยนต์สำรวจ จำเป็นต้องมีความคล่องตัว เนื่องจากการสำรวจบางครั้งอาจต้องเข้าไปในที่แคบ การที่จะให้หุ่นเคลื่อนที่เลี้ยวโค้ง อาจจะมีพื้นที่ไม่เพียงพอ ดังนั้นการออกแบบจึงกำหนดให้หุ่นสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้ายเลี้ยวขวาขณะเดินหน้า เลี้ยวซ้ายเลี้ยวขวาขณะถอยหลัง รวมทั้งต้องสามารถทำการเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเองได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.1



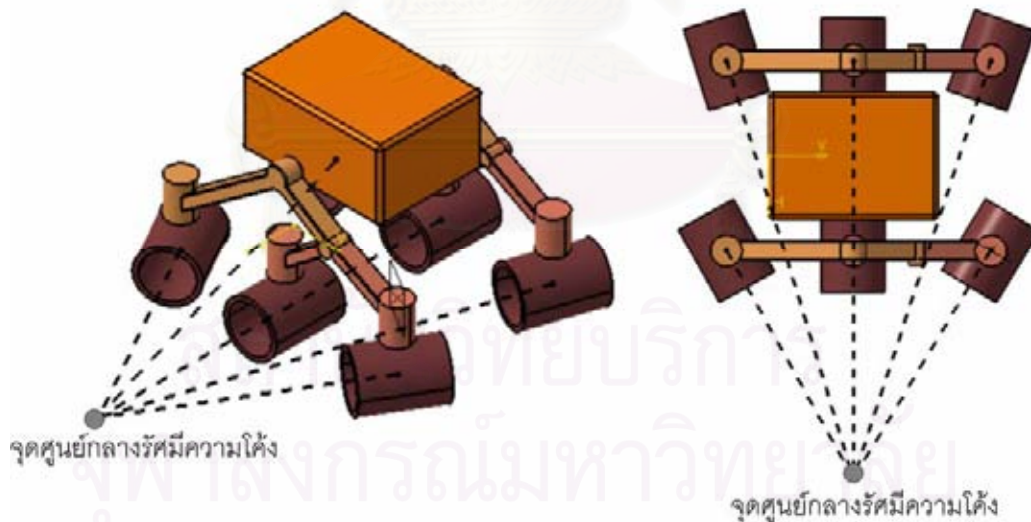
รูปที่ 3.1 ทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

เมื่อทำการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นที่สามารถเคลื่อนที่ไปในลักษณะใดได้บ้างแล้ว จึงทำการออกแบบลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์อย่างคร่าวๆ ว่าควรจะมีลักษณะอย่างไร ตำแหน่งจุดหมุน แกนหมุนควรจะวางไว้ที่ตำแหน่งใดบ้าง จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ขับ (Actuator) เช่น มอเตอร์เป็นจำนวนเท่าใด เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ตามที่กำหนดขึ้น ดังรูปที่ 3.2 หุ่นยนต์ที่ใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie นั้นล้อทั้งหกล้อ จะทำการเคลื่อนที่โดยอิสระต่อกัน ล้อแต่ละล้อจึงต้องใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนแยกจากกัน ดังนั้นในการหมุนขับเคลื่อนล้อของหุ่นยนต์จำเป็นต้องใช้



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของจุดหมุนที่ต้องติดตั้งมอเตอร์

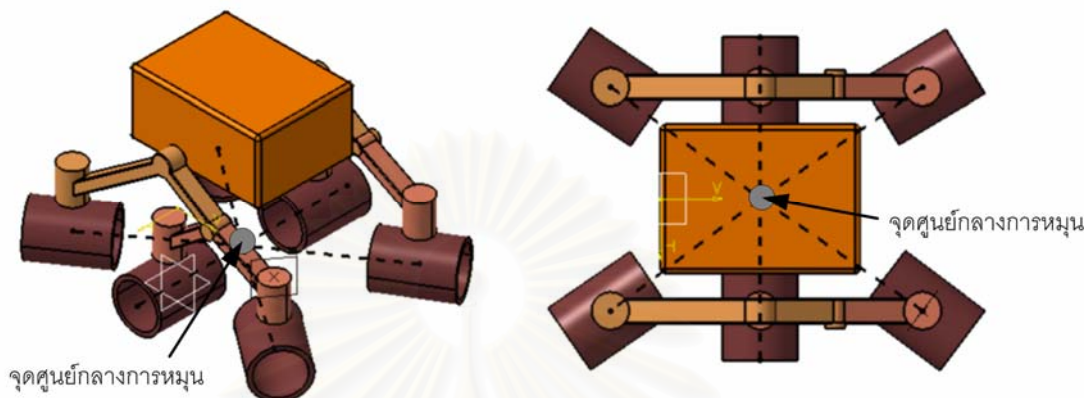
มอเตอร์จำนวน 6 ตัวด้วยกัน ส่วนกรณีการเคลื่อนที่เดี่ยวโค้ง หรือหมุนรอบตัวเองนั้น จำเป็นต้องทำการบังคับหมุนล้อที่มุมทั้งสี่ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยการเคลื่อนที่เดี่ยวโค้งของหุ่นยนต์นั้น แกนบังคับเดี่ยวของล้อที่มุมทั้งสี่ จะทำการหมุนให้แนวแกนของล้อทุกล้อไปตัดกันที่จุดศูนย์กลางของรัศมีความโค้งที่หุ่นทำการเดี่ยว เพื่อให้เกิดการลื่นไถลของล้อน้อยที่สุดดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะการเคลื่อนที่เดี่ยวโค้งของหุ่นยนต์

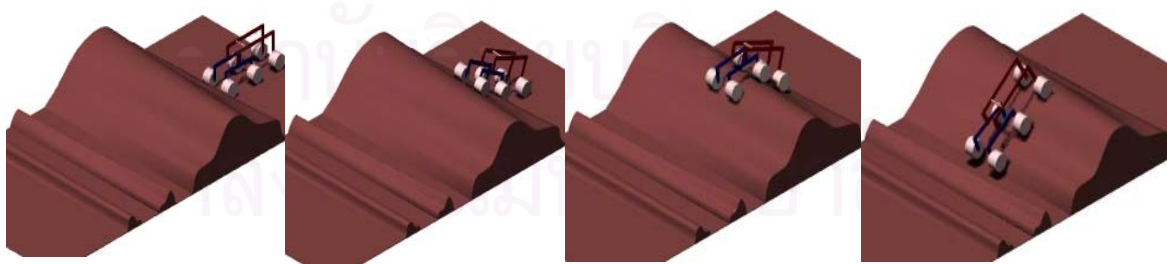
ส่วนการเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเอง แกนบังคับเดี่ยวของล้อที่มุมทั้งสี่ จะทำการหมุนให้แนวแกนของล้อที่มุมทั้งสี่นั้น ไปตัดกัน ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างล้อกลางทั้งสองข้างดังรูปที่ 3.4 จึงจำเป็นต้องใช้มอเตอร์อีกจำนวน 4 ตัว ด้วยกันเพื่อทำหน้าที่บังคับเดี่ยวหุ่นยนต์ให้สามารถทำการเดี่ยวโค้ง และหมุนรอบตัวเองได้

ดังนั้นในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำรวจที่ได้ทำการออกแบบจะต้องใช้อุปกรณ์ขับเคลื่อนที่นี้ใช้เป็นมอเตอร์จำนวนทั้งสิ้น 10 ตัวด้วยกันเพื่อใช้ในการหมุนขับเคลื่อนล้อ 6 ตัวและทำการขับเคลื่อนบังคับทิศทางมุมเลี้ยวอีก 4 ตัว



รูปที่ 3.4 ลักษณะการเคลื่อนที่ที่หมุนรอบตัวเอง

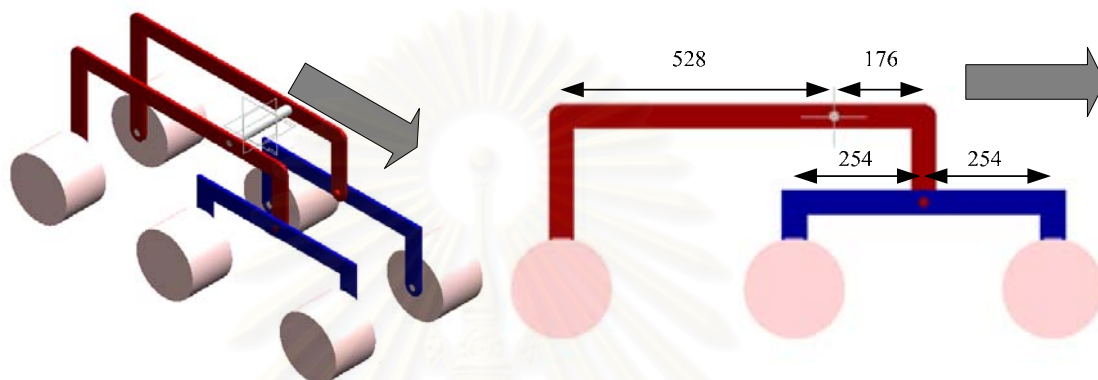
หลังจากที่ได้ทำการออกแบบลักษณะระบบกลไก ว่าจะต้องมีลักษณะข้อต่อ จุดหมุนอะไรบ้างแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทำการกำหนดจุดหมุน ข้อต่อ ระยะห่างระหว่างล้อต่างๆ ว่าจะวางไว้ที่ตำแหน่งไหน และมีค่าเท่าไร เพื่อที่จะทำให้หุ่นยนต์นั้นมีความสามารถในการเคลื่อนที่ไปในลักษณะพื้นผิวต่างๆ ได้ดีและเหมาะสมที่สุด โดยในการออกแบบในขั้นตอนนี้ได้มีการนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะ โครงสร้าง และจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ว่าจุดหมุนและข้อต่อต่างๆจะอยู่ที่ตำแหน่งใดบ้างในที่นี้ได้ใช้โปรแกรม Visual Nastran 4D นำมาช่วยทำการวิเคราะห์ และจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การวิเคราะห์และจำลองการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม Visual Nastran 4D

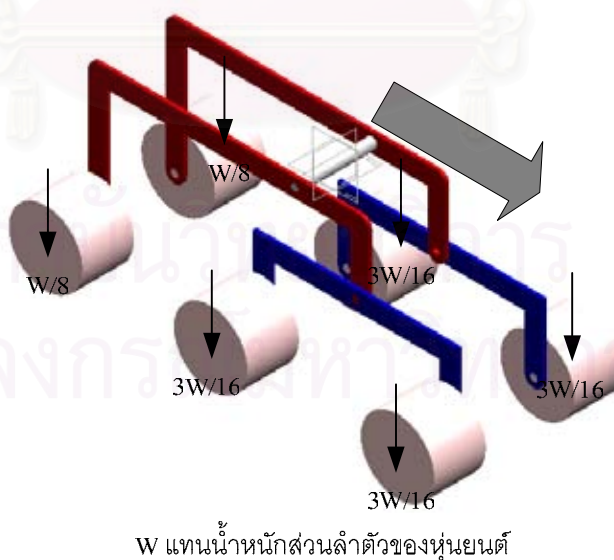
ในการทดลองจะทำการจำลองสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นขั้น (step) เพื่อให้แบบจำลองของหุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่ข้ามผ่านไป ซึ่งจะทำการกำหนด ปรับเปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างจุดหมุนและล้อต่างๆ ของหุ่นยนต์ แล้วจำลองการเคลื่อนที่ในโปรแกรม จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่า

ระยะห่างต่างๆแล้วจำลองการเคลื่อนที่ดูนั้น พบว่าแบบจำลองที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรคได้ดีนั้น น้ำหนักของหุ่นยนต์ควรกระจายลงบนล้อทั้งหมดอย่างสม่ำเสมอขณะที่หุ่นยนต์อยู่บนพื้นเรียบ และถึงแม้ว่าความสามารถในการเคลื่อนที่ข้ามอุปสรรคของหุ่นยนต์จะมากขึ้น เมื่อน้ำหนักที่กระทำที่ล้อหน้ามีค่าน้อยลง แต่ถ้าน้ำหนักที่กระทำที่ล้อหน้ามีค่าน้อยจนเกินไปอาจทำให้เกิดการยกลอยของล้อหน้าขึ้นได้ในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผิวขรุขระ



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งจุดหมุนและระยะต่างๆ ของหุ่นยนต์

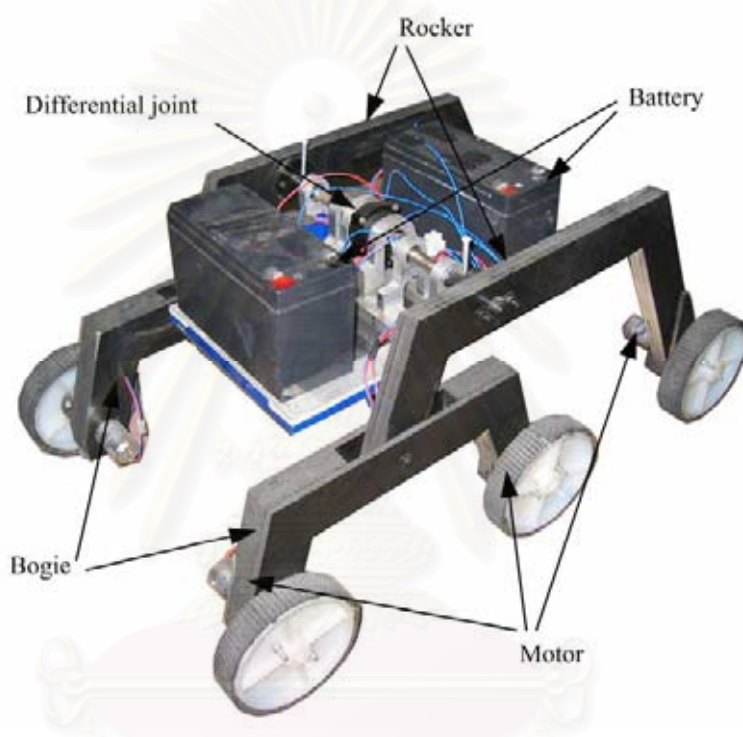
จากการอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบตำแหน่งจุดหมุน และระยะห่างระหว่าง ล้อต่างๆ ได้ตำแหน่งของจุดหมุน และระยะต่างๆของหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



W แทนน้ำหนักส่วนลำตัวของหุ่นยนต์

รูปที่ 3.7 การกระจายน้ำหนักส่วนลำตัวของหุ่นยนต์

จากลักษณะระยะห่างระหว่างจุดหมุน และระยะห่างระหว่างล้อต่าง ๆ นั้น ทำให้การกระจายน้ำหนักตัวของส่วนลำตัวหุ่นยนต์นั้น กระจายไปที่ตำแหน่งของล้อหน้า และล้อกลางล้อละ 3/16 ของน้ำหนักส่วนลำตัวหุ่น ส่วนที่ล้อหลังมีน้ำหนักตัวกระทำล้อละ 1/8 ของน้ำหนักส่วนลำตัวหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าการกระจายน้ำหนักของส่วนลำตัวหุ่นยนต์ลงบนล้อแต่ละล้อนั้นค่อนข้างที่จะสม่ำเสมอ ไม่มีล้อใดรับน้ำหนักส่วนลำตัวหุ่นยนต์มากกว่า ล้ออื่นมากนัก ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะ และข้ามสิ่งกีดขวางต่างๆทำได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.8 หุ่นยนต์ต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น

เนื่องจากการที่จะสร้างหุ่นยนต์ขึ้นมานั้นต้องใช้เงินทุนวิจัย และระยะเวลา ค่อนข้างมาก ดังนั้นเมื่อได้แบบลักษณะทางกลมาแล้ว ขั้นตอนต่อไป ก่อนที่จะทำการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์จริงขึ้นมา จะต้องมีการสร้างโมเดล (Model) ที่สามารถสร้างขึ้นมาได้ง่าย และใช้เวลาไม่มากนัก เพื่อทำการทดสอบแบบลักษณะทางกลที่ได้ออกแบบมา ว่ามีความสามารถในการเคลื่อนที่ และสามารถข้ามสิ่งกีดขวางต่างๆได้จริง จึงได้ทำการสร้างโมเดลที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.8

โมเดลที่สร้างออกมานั้น ได้ลดย่อขนาดทางกลให้มีขนาดเป็นครึ่งหนึ่ง ของขนาดที่ได้ทำการออกแบบไว้ โครงสร้างของหุ่นยนต์สร้างขึ้นมาจากไม้อัด ดังนั้นจึงมีน้ำหนักที่เบา และโครงสร้างส่วน Rocker ทั้งสองข้างของหุ่นยนต์ เชื่อมต่อกันผ่านลำตัวหุ่นด้วย Differential joint โดยหุ่นยนต์ต้นแบบนี้สร้างขึ้นมาให้สามารถเดินหน้าและถอยหลังได้เท่านั้น ใช้มอเตอร์กระแสตรง

ชนิดที่มีแรงถ่านจำนวน 6 ตัวด้วยกัน ซึ่งมอเตอร์แต่ละตัวจะทำการต่อเชื่อมเข้าโดยตรงกับล้อแต่ละล้อ ในการขับเคลื่อนมอเตอร์นั้น ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ และในการควบคุมของหุ่นยนต์ต้นแบบนั้นไม่ได้ใช้ระบบควบคุมที่สลับซับซ้อนแต่อย่างใด เพียงใช้แต่สวิทช์เปิดปิดเท่านั้น

เมื่อได้ทำการทดลองนำโมเดล ไปวิ่งข้ามสิ่งกีดขวางต่าง ๆ นั้น พบว่าหุ่นยนต์สามารถข้ามสิ่งกีดขวางต่างๆ ได้ดี โดยสามารถข้ามอุปสรรคที่มีลักษณะเป็นขั้น (step) ที่มีขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อได้ และยังสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงทางลาดชันที่มีมุมเอียง 35 องศาได้อีกด้วย ดังรูปที่ 3.9 สาเหตุหนึ่งที่ทำให้หุ่นยนต์ต้นแบบเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรคได้ดีคือ มีอัตราส่วนของกำลังขับเคลื่อน เมื่อเทียบกับน้ำหนักของหุ่นยนต์ ที่ค่อนข้างสูงนั่นเอง



รูปที่ 3.9 หุ่นยนต์ต้นแบบเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรคที่มีลักษณะเป็นขั้น และทางลาดชัน

3.2 เลือกอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์

3.2.1 อุปกรณ์ขับเคลื่อน

อุปกรณ์ขับเคลื่อนโดยทั่วไปได้แก่เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ซึ่งสามารถควบคุมตำแหน่งและความเร็วได้อย่างมีประสิทธิภาพ เซอร์โวมอเตอร์สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการทำงานได้เป็น DC Servo Motor และ DC Brushless Servo Motor ซึ่งมอเตอร์ประเภทหลังนี้มีข้อได้เปรียบกว่า DC Servo Motor คือ มีอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักดีกว่า แต่ก็มีข้อเสียคือ ทั้งตัวมอเตอร์และวงจรขับมีราคาแพงกว่ามาก เนื่องจากมีการแปลงกระแสไฟที่จะส่งให้มอเตอร์เป็นรูปคลื่น 3 เฟส เรียงลำดับกันอย่างถูกต้อง ทำให้วงจรขับมีความซับซ้อน

เนื่องจากหุ่นยนต์สำรวจ ไม่ต้องการกำลังขับ และความเร็วที่สูงมากนัก และเมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆเห็นได้ว่า DC Servo Motor มีความสามารถเพียงพอในการใช้งาน และราคาของมอเตอร์รวมทั้งวงจรขับ มีราคาไม่สูงเกินไป จึงเลือกใช้ DC Servo Motor

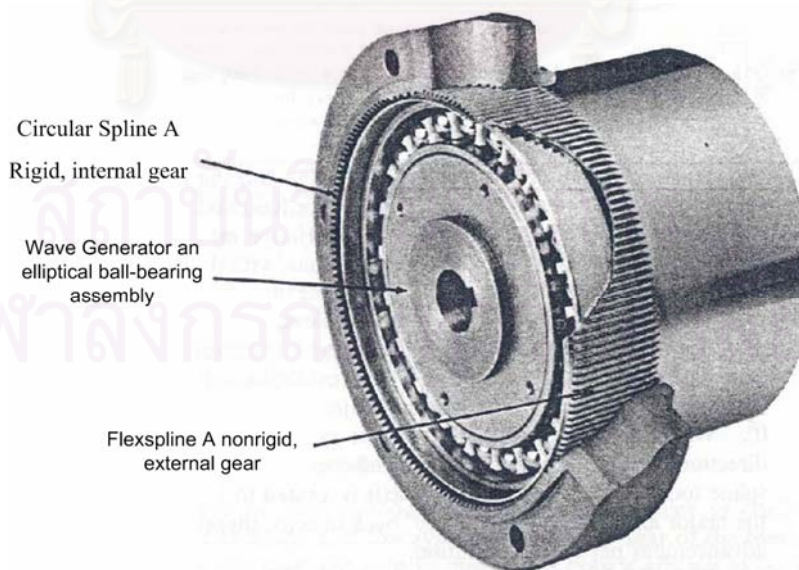
3.2.2 ระบบส่งผ่านกำลัง

ระบบส่งผ่านกำลังในที่นี้จะพิจารณาเพียงแค่ การส่งผ่านกำลังแบบการเปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotary-to-Rotary Conversion) อันได้แก่ เพียงแบบแพลเนตเทอรี (Planetary Gear) และเพียงแบบฮาร์โมนิก (Harmonic Drives)

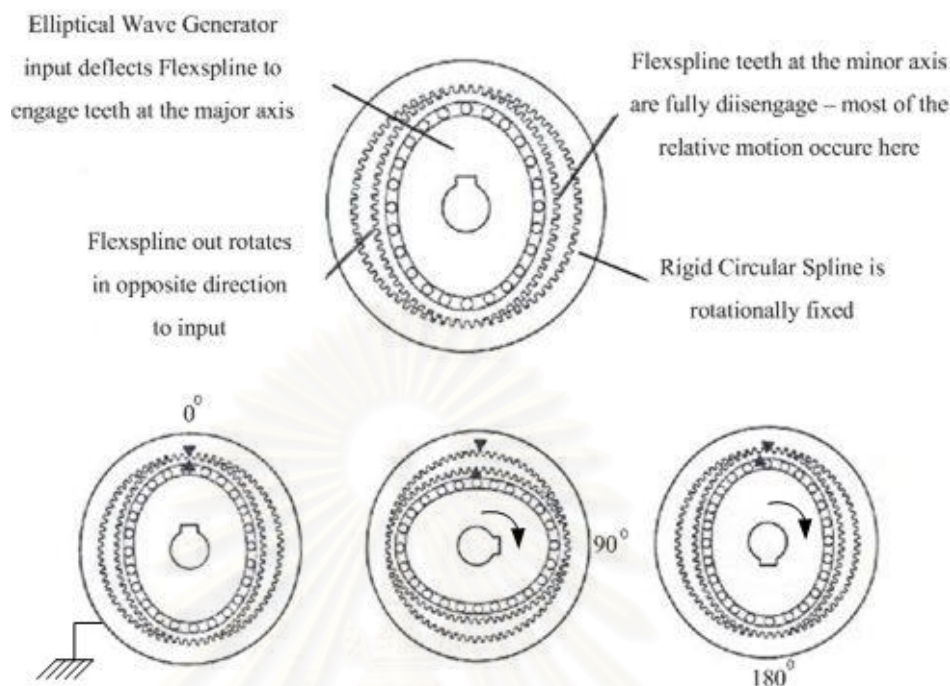
- ชุดเฟืองแบบฮาร์โมนิก (Harmonic Drives)

ชุดเฟืองแบบฮาร์โมนิกนี้มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนด้วยกันดังรูปที่ 3.10 โดยที่แต่ละส่วนทำหน้าที่ และมีลักษณะดังนี้

1. Circular Spline เป็นวงแหวนแข็งที่มีฟันเฟืองอยู่ด้านใน สามารถยึดอยู่กับที่หรือหมุนได้
2. Wave Generator ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นวงรีแข็งและบอลเบริง (Ball bearing) โดยที่วงรีแข็งสามารถต่อกับเพลาขับของอุปกรณ์ขับ (มอเตอร์)
3. Flex Spline เป็นส่วนประกอบที่สามารถยืดหยุ่นได้ โดยมีฟันเฟืองอยู่ด้านนอก จำนวนฟันเฟืองของ Flex Spline จะน้อยกว่าจำนวนฟันเฟืองของ Circular Spline และสามารถยึดอยู่กับที่หรือหมุนได้



รูปที่ 3.10 รายละเอียดของ Harmonic Drives



รูปที่ 3.11 การทำงานของชุดเฟืองฮาร์มอนิก

จากรูปที่ 3.11 กำหนดให้จำนวนฟันเฟืองของ Flex Spline น้อยกว่าจำนวนฟันเฟืองของ Circular Spline อยู่ 2 ฟันแล้ว พิจารณาหาอัตราทดของเฟืองแบบฮาร์มอนิก เนื่องจากฟันเฟืองของ Flex Spline และ Circular Spline ขบกันอยู่ตลอดเวลา ทำให้ขณะที่ Wave Generator หมุนไปหนึ่งรอบจะทำให้ Flex Spline หมุนไปสองฟันเฟืองเมื่อเทียบกับ Circular Spline ที่ถูกยึดอยู่กับที่ ดังนั้นจากหลักการที่พิจารณาข้างต้น สามารถหาอัตราทดของเฟืองฮาร์มอนิกได้ดังนี้

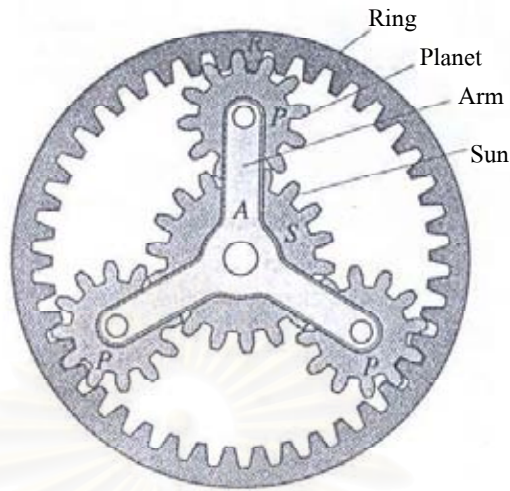
$$\text{อัตราทดของชุดเฟืองฮาร์มอนิก} = \frac{N_1}{N_1 - N_2}$$

N_1 จำนวนฟันเฟืองของ Circular Spline

N_2 จำนวนฟันเฟืองของ Flex Spline

- ชุดเฟืองแพลเนตเทอรี (Planetary Gear)

จากรูปที่ 3.12 นั้น ชุดเฟืองใช้ Planet gear สามตัว และเฟืองทั้งสามนี้ ถูกเชื่อมต่อให้หมุนรอบตัวเองเข้ากับเพลลาของส่วนแขน (arm) ส่วน Ring gear นั้นทำการยึดติดให้อยู่กับที่ โดยในการทำงานนั้น Sun gear จะเป็นตัวขับเคลื่อน โดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน ซึ่งส่งผลให้ Planet gear หมุนรอบตัวเองและโคจรรอบ Sun gear ทำให้แขนเคลื่อนที่ที่หมุนรอบตัวเอง อยู่ในแนวแกนหมุนแกนเดียวกับ Ring gear



รูปที่ 3.12 รูปแบบโดยทั่วไปของชุดเฟืองแพลนเนตเทอรี

สามารถหาอัตราทดของชุดเฟืองแบบแพลนเนตเทอรีได้ดังนี้

$$\text{อัตราทดของชุดเฟืองแพลนเนตเทอรี} = \frac{N_1}{N_2} + 1$$

N_1 จำนวนฟันเฟืองของ Ring gear
 N_2 จำนวนฟันเฟืองของ Sun gear

เมื่อเปรียบเทียบชุดเฟืองแพลนเนตเทอรี กับชุดเฟืองแบบอื่นๆที่มีอัตราทดเท่ากัน พบว่าชุดเฟืองแพลนเนตเทอรีมีขนาดเล็กกว่า และสามารถส่งผ่านกำลังได้มากกว่า อีกทั้ง หุ่นยนต์นั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ และใช้แรงบิดมาก เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถข้ามสิ่งกีดขวางได้ดี และขนาดของชุดเฟืองที่ใช้ นั้น ควรมีขนาดเล็ก ดังนั้น จึงเลือกใช้ชุดเฟืองแบบแพลนเนตเทอรี อีกทั้งราคายังถูกกว่าชุดเฟืองแบบฮาร์โมนิกมากด้วย

3.2.3 อุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensor)

ในการควบคุมหุ่นยนต์ต้องทราบสถานะต่างๆของหุ่นยนต์ ได้แก่ ระยะเวลาเคลื่อนที่ของข้อต่อ มุมในการหมุนของโครงสร้างต่างๆ รวมทั้งความเร็วในการหมุนของล้อแต่ละล้อ

เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจรู้ต่างๆต้องสื่อสารกับตัวควบคุม ซึ่งตัวควบคุมนี้ทำงานแบบดิจิทัล แต่อุปกรณ์ตรวจรู้โดยทั่วไปมักมีสัญญาณแบบแอนาล็อก ซึ่งต้องใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิทัล แต่อุปกรณ์ประเภทตัวเข้ารหัส (เอ็นโคเดอร์, Encoder) มีสัญญาณส่งออกเป็นแบบดิจิทัลใช้วัดการเคลื่อนที่ ทั้งการเลื่อนตำแหน่งและการหมุน แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

Tachometer, Incremental encoder และ Absolute encoder ซึ่งอุปกรณ์แต่ละประเภทมีลักษณะการทำงานและสัญญาณดังนี้

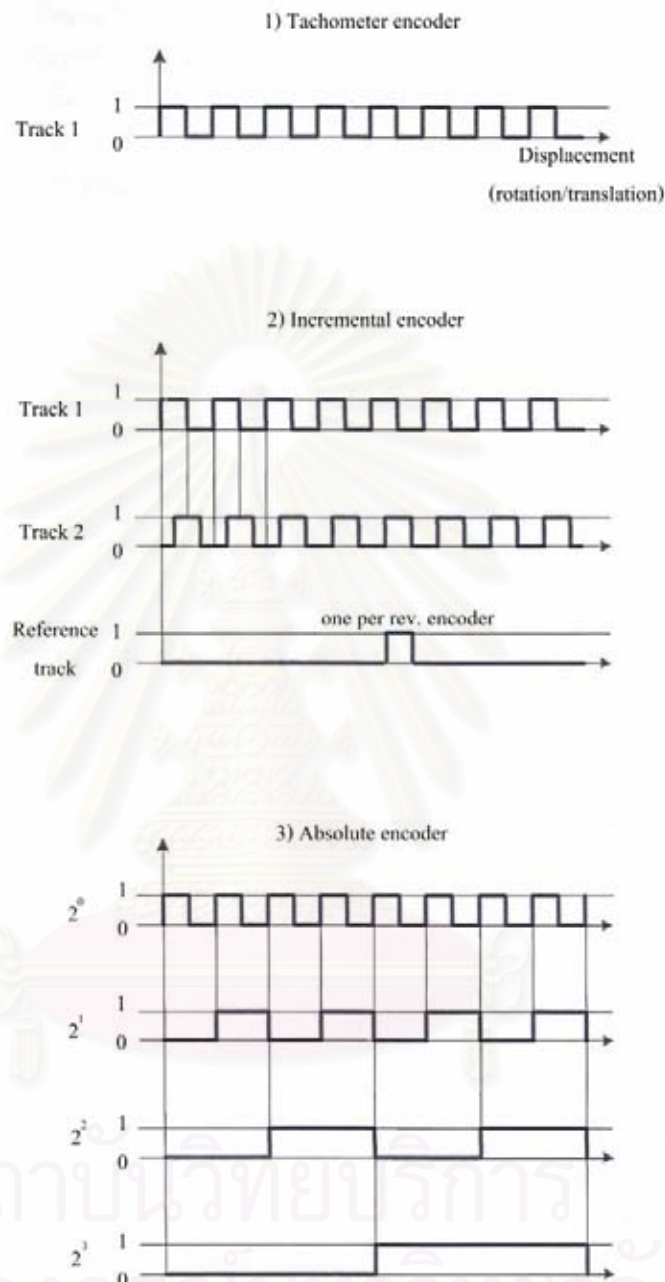
1. Tachometer encoder มีรูปแบบสัญญาณเป็นคลื่นรูปเหลี่ยมที่เกิดขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีการเคลื่อนตำแหน่ง ในกรณีที่การเคลื่อนตำแหน่งมีทิศทางเดียว การวัดตำแหน่งกระทำได้โดยการนับจำนวนคลื่นเพื่อหาระยะทางเทียบกับตำแหน่งที่เริ่มต้นนับ เห็นได้ว่า หากมีการเคลื่อนตำแหน่งไปในทิศทางตรงข้ามซึ่งจะได้สัญญาณแบบเดียวกัน จะทำให้วัดตำแหน่งผิดพลาด ดังนั้น Tachometer encoder จึงเหมาะสำหรับการวัดความเร็วหรือการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียว

2. Incremental encoder สามารถวัดการเคลื่อนที่ได้ทั้งสองทิศทาง โดยใช้สัญญาณสองช่องที่มีส่วนซ้อนเหลื่อมกัน $\frac{1}{4}$ รอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ข้อดีของ Incremental encoder คือสามารถหมุนได้หลายรอบเท่าที่ต้องการ แต่มีข้อเสียคือ หากมีสัญญาณรบกวนที่ทำให้การนับผิดพลาด ความผิดพลาดนั้นจะคงอยู่ต่อไปถึงแม้สัญญาณรบกวนจะหายไป และหากตัวแปรที่เก็บข้อมูลตำแหน่งไว้ถูกทำลาย จะไม่สามารถวัดตำแหน่งที่ถูกต้องกลับมาได้ เนื่องจากการวัดตำแหน่งเป็นการนับค่าสะสมเทียบกับจุดเริ่มต้นเช่นเดียวกับ Tachometer encoder

3. Absolute encoder ประกอบด้วยช่องสัญญาณหลายช่อง ส่งข้อมูลออกมาแบบขนาน ในลักษณะเลขฐานสอง (Binary) ซึ่งแสดงตำแหน่งที่แท้จริง หากตัวแปรตำแหน่งสูญหายเนื่องจากอุบัติเหตุ เช่น ไฟฟ้าดับ เราสามารถอ่านค่าตำแหน่งที่ถูกต้องกลับมาได้ทันทีเมื่อระบบทำงานได้ปกติ ข้อเสียคือหากเคลื่อนที่ในระยะทางไกล ช่องสัญญาณจำเป็นต้องมีเป็นจำนวนมาก และโดยทั่วไป Absolute encoder จะมีราคาสูงกว่า Incremental encoder มาก

เมื่อทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์ต่างๆ เห็นได้ว่า Incremental encoder มีความเหมาะสมในการวัดตำแหน่ง เพราะสามารถหมุนได้ไม่จำกัดจำนวนรอบ วัดได้ทั้งสองทิศทาง และมีราคาไม่แพง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.13 สัญญาณของเอ็นโคเดอร์ประเภทต่างๆ

3.2.4 วัสดุที่ใช้ในโครงสร้างหุ่นยนต์

องค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของหุ่นยนต์คือ ส่วน โครงสร้าง ซึ่งนำหนักส่วนใหญ่ของหุ่นยนต์นั้น มาจากส่วนโครงสร้างนั่นเอง ดังนั้นการเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ในการสร้างโครงสร้างจึงมีความสำคัญ เมื่อพิจารณาวัสดุทั่วไปที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้แก่ โลหะ พลาสติก และ ไม้ ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบวัสดุชนิดต่างๆดังนี้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ

วัสดุ	ความแข็งแรงต่อน้ำหนัก	ความสามารถตัดกลึง	ความทนทาน
เหล็ก	ปานกลาง	ปานกลาง	ดี
อลูมิเนียม	ดี	ดี	ดี
พลาสติก	ดี	ดี	ปานกลาง
ไม้	ดี	ดี	ต่ำ

การเลือกวัสดุที่นำมาสร้างหุ่นยนต์นั้น ต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนัก ความสามารถในการตัดกลึง และความทนทาน โดยทั่วไปนั้น โครงสร้างของหุ่นยนต์ควรมีน้ำหนักเบา เป็นผลให้อุปกรณ์ขับเคลื่อนและแหล่งพลังงานมีขนาดเล็กลงด้วย เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 3.1 พบว่า อลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ดังนั้น โครงสร้างส่วนใหญ่ของหุ่นยนต์จึงเลือกใช้อลูมิเนียม มีเพียงโครงสร้างบางส่วนที่ต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษที่เลือกใช้เหล็ก

3.3 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์

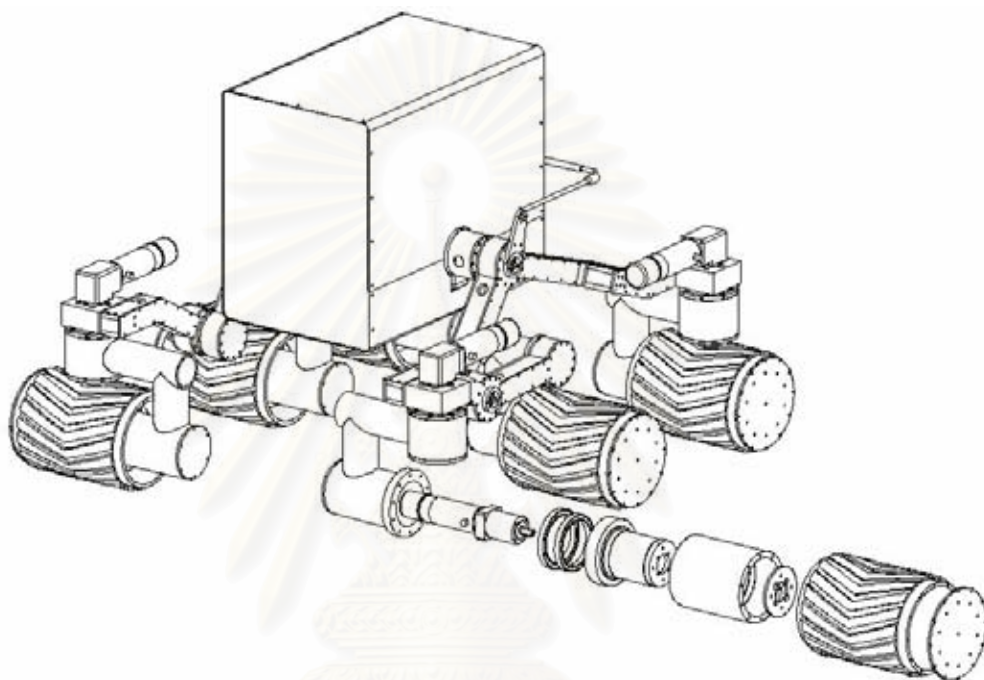
หลังจากได้ทำการทดลองสร้างโมเดลของหุ่นยนต์ขึ้นมาทำการทดสอบ และทำการเลือกเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง วัสดุอุปกรณ์ชนิดต่างๆที่เลือกใช้แล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ การทำการออกแบบอย่างละเอียด ซึ่งในการออกแบบนั้น สิ่งที่ต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่สำคัญนั้นคือ ต้นทุน และ เวลา ที่ใช้ในกระบวนการออกแบบและผลิต

ในส่วนของต้นทุนนั้นต้องคำนึงถึงว่าจะออกแบบอย่างไรให้มีต้นทุนต่ำสุด นั่นก็คือ ให้มีการย้อนกลับมาทำการแก้ไขส่วนที่ผิดพลาด บกพร่องน้อยที่สุด ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องไปถึงระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ทั้งหมด ให้น้อยลงตามไปด้วย ดังนั้นในการออกแบบจึงได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบ โดยสามารถแบ่งลักษณะการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการออกแบบและผลิตได้ดังนี้

3.3.1 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design / CAD)

การใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบนั้น ทำให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบลักษณะชิ้นส่วน โครงสร้างต่างๆได้สะดวกและง่ายขึ้น สามารถทำการตรวจสอบชิ้นงานที่ได้ทำการออกแบบมา ว่าเมื่อนำชิ้นส่วนต่างๆที่ออกแบบนั้นมาประกอบกัน จะมีการสวมแล้วชนกัน ขัดกันหรือไม่ ทั้งการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์นั้นสามารถทำให้กระบวนการผลิต และวิเคราะห์เป็นไป

ได้โดยง่าย เนื่องจากเราสามารถส่งไฟล์ชิ้นงานที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว ไปยังโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ ลักษณะโครงสร้างความแข็งแรงของชิ้นงานว่าชิ้นงานที่ออกแบบสามารถทนต่อแรงกระทำนั้นได้หรือไม่ หรือแม้กระทั่งส่งไฟล์ชิ้นงาน ไปยัง โปรแกรมที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อสร้างและกำหนดทิศทางเดินของหัวกัด เพื่อสร้างชิ้นงานขึ้นมา



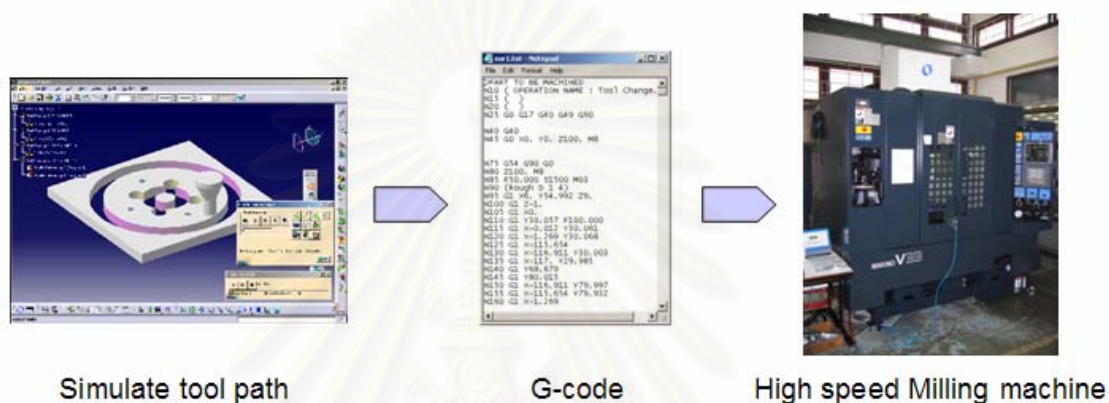
รูปที่ 3.14 หุ่นยนต์ภาคสนามที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม CATIA

ในการออกแบบหุ่นยนต์ภาคสนามนี้ได้ใช้โปรแกรม CATIA ซึ่งเป็นโปรแกรมออกแบบสามมิติ เข้ามาช่วยในการออกแบบ โดยจากแบบชิ้นส่วนสามมิติที่ได้ทำการออกแบบแล้วนั้น เราสามารถเขียนให้เป็นแบบสองมิติ เพื่อส่งแบบไปยังผู้ผลิตได้โดยง่าย อีกทั้งในการประกอบชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเข้าด้วยกันนั้น โปรแกรมยังสามารถตรวจหาจุดที่มีการชนกัน สวมแล้วไม่พอดีได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการสะดวกต่อผู้ออกแบบ

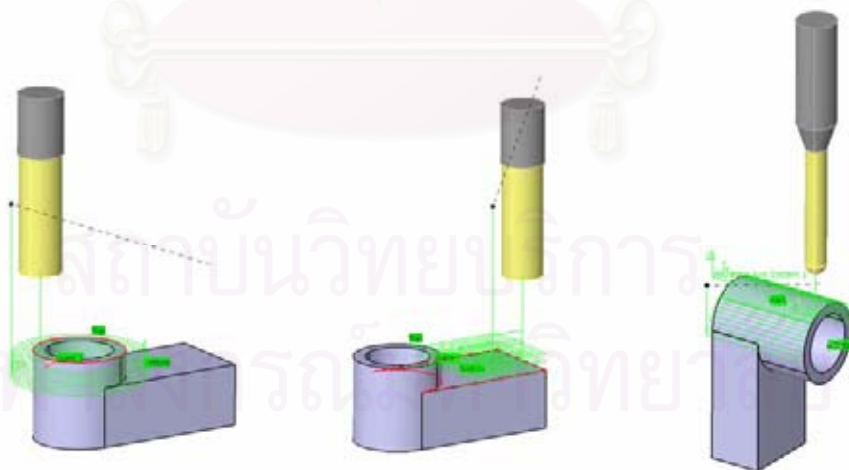
3.3.2 คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing / CAM)

ในส่วนของขั้นตอนกระบวนการผลิตในปัจจุบันนั้น ได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนร่วมหลายลักษณะด้วยกัน ดังเช่น การนำคอมพิวเตอร์มาทำการคำนวณกำหนดเส้นทางการวิ่งของหัวกัด (Generate Tool Path) หรือนำคอมพิวเตอร์มาช่วยทำการกำหนดตารางเวลา ขั้นตอนวิธีการผลิตต่างๆ เป็นการทำให้กระบวนการผลิตนั้นมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

สำหรับการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ภาคสนามนั้น ได้มีการใช้โปรแกรม CATIA ซึ่งมี ส่วนของกระบวนการผลิตมาช่วย โดยหลังจากที่ได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆเสร็จ ได้ใช้ โปรแกรมทำการเลือกกระบวนการขั้นตอนการผลิต และให้โปรแกรมสร้างไฟล์ทิศทาง การเดินของ หัวกัด เพื่อส่งต่อไปสร้างชิ้นงานจริงยังเครื่องจักร CNC (Computer numerical control) ต่อไป ดัง แสดงในรูปที่ 3.15 และ รูปที่ 3.16



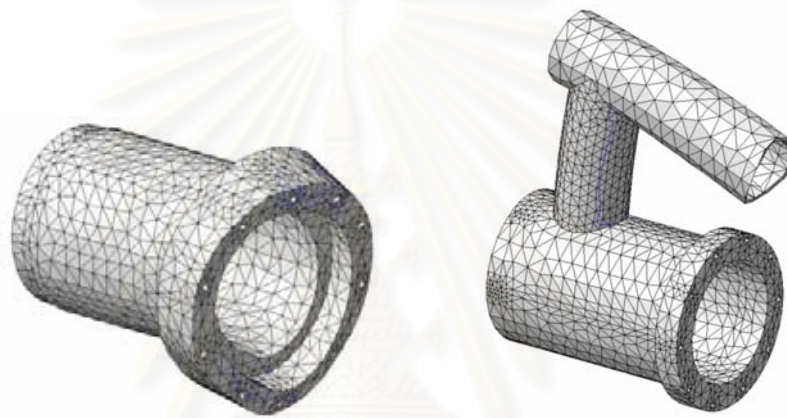
รูปที่ 3.15 ลักษณะขั้นตอนการสร้างชิ้นงานโดยใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย



รูปที่ 3.16 เส้นทางเดินของหัวกัดที่สร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม CATIA

3.3.3 คอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรม (Computer Aided Engineering / CAE)

การออกแบบคำนวณทางวิศวกรรมของหุ่นยนต์ภาคสนามนั้น ได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบด้วยกันหลายส่วน ไม่ว่าจะเป็นการใช้โปรแกรม Visual Nastran 4D มาช่วยจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ดังได้เคยกล่าวถึงมาแล้ว นอกจากนั้นยังได้ใช้โปรแกรม CATIA มาช่วยวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ว่าชิ้นงานจะสามารถรับแรงกระทำจริงได้หรือไม่ ตำแหน่งไหนของชิ้นงานเกิดความเค้น (Stress) สูงที่สุด และชิ้นงานจะเกิดการแอ่นตัว บิดตัวเป็นระยะเท่าไร รูปที่ 3.17 เป็นตัวอย่างการใช้โปรแกรม CATIA วิเคราะห์ความแข็งแรง และลักษณะการแอ่นตัวของชิ้นงานที่ได้ทำการออกแบบ



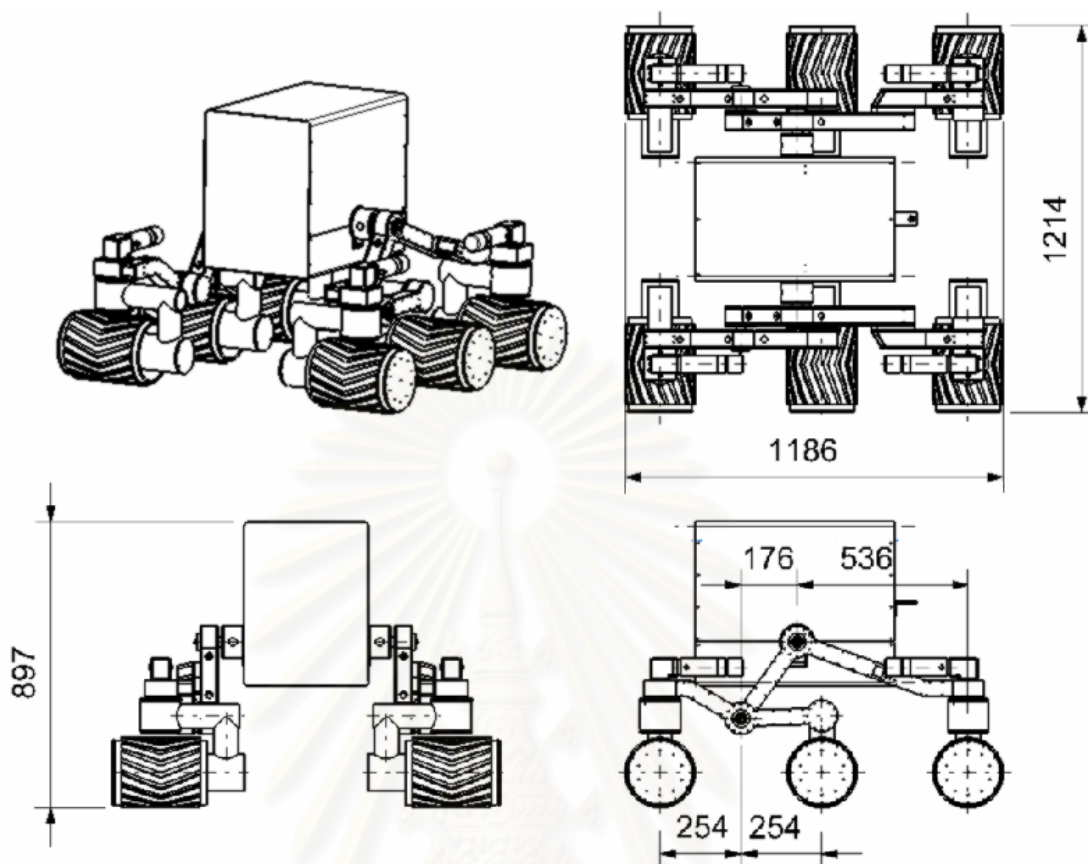
รูปที่ 3.17 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้โปรแกรม CATIA

3.4 ลักษณะ และโครงสร้างของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์สำรวจภาคสนามที่ทำการออกแบบนั้น ใช้ระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie โดยขับเคลื่อนอิสระ 6 ล้อ โดยหุ่นยนต์ภาคสนามใช้มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อน 10 ตัว โดยใช้ขับเคลื่อน 6 ตัว และควบคุมมุมบังคับเลี้ยวที่มุมทั้ง 4 ของหุ่นยนต์อีก 4 ตัว หุ่นยนต์ที่ออกแบบมีลักษณะจำเพาะเชิงกลดังแสดงในตารางที่ 3.2 และมีรูปร่างลักษณะโครงสร้างโดยรวมดังแสดงในรูปที่ 3.18

ตารางที่ 3.2 ลักษณะจำเพาะเชิงกลของหุ่นยนต์สำรวจภาคสนาม

ขนาดของหุ่นยนต์ (มิลลิเมตร)	1214 × 1178 × 897
เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ (มิลลิเมตร)	220
น้ำหนักรวมของหุ่น (กิโลกรัม)	140
ความเร็วสูงสุดของหุ่นยนต์ (มิลลิเมตร/วินาที)	200



รูปที่ 3.18 ขนาดและลักษณะ โครงสร้างของหุ่นยนต์สำรวจ

เมื่อทำการสร้างหุ่นยนต์สำรวจเสร็จแล้ว หุ่นยนต์ที่ได้มีลักษณะรูปร่างหน้าตาดังรูปที่ 3.19

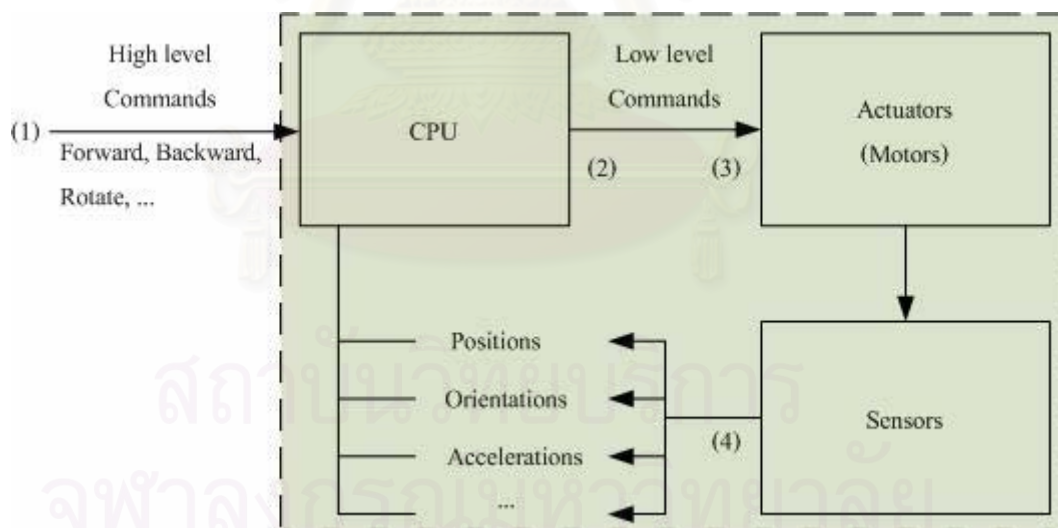


รูปที่ 3.19 หุ่นยนต์สำรวจภาคสนามที่สร้างเสร็จ

3.5 รูปแบบตัวควบคุม และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุม

ส่วนประกอบสำคัญส่วนหนึ่งของหุ่นยนต์ คือ ส่วนควบคุมและประมวลผล ซึ่งประกอบด้วย ตัวประมวลผล เช่น คอมพิวเตอร์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MicroController) ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจรู้ และประมวลผลในระดับล่าง เช่น แผงวงจรควบคุมมอเตอร์ และรับสัญญาณการทำงานจากสวิทช์ เป็นต้น

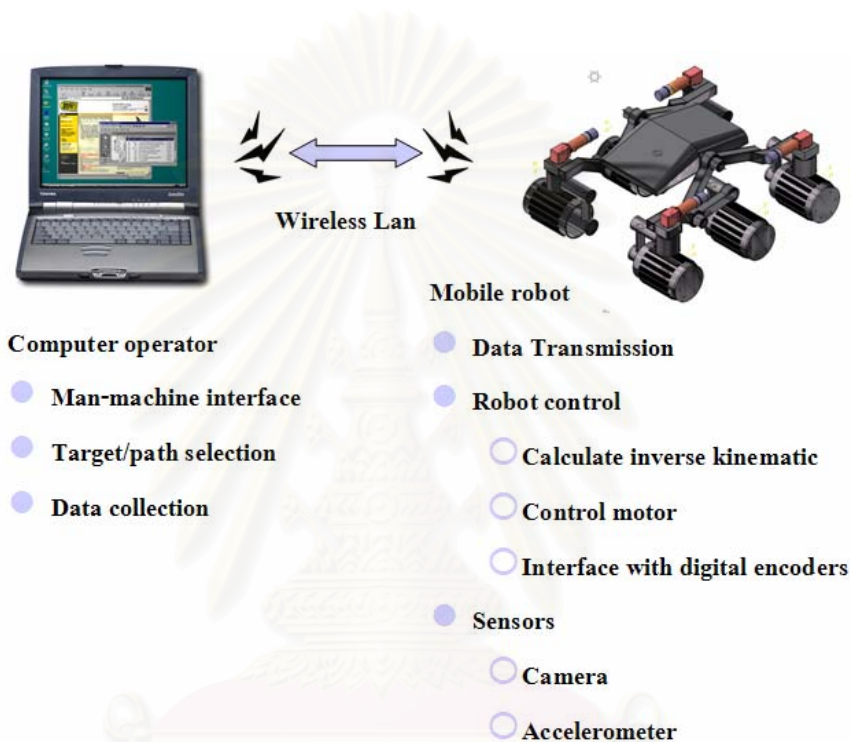
หลักการควบคุมหุ่นยนต์โดยทั่วไปคือ การคำนวณค่าที่จะส่งไปควบคุมอุปกรณ์ขับเคลื่อนตามคำสั่งระดับสูง เช่น คำสั่งเคลื่อนตำแหน่งของหุ่นยนต์ว่าจะให้หุ่นยนต์เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวโค้ง หรือหมุนรอบตัวเอง โดยอาศัยข้อมูลที่ป้อนกลับเข้ามาอันได้แก่ มุมที่หมุนไปของล้อและข้อต่อต่างๆ แล้วทำซ้ำไปเรื่อยๆ เรียกว่า วงวนการควบคุม (Control loop) การคำนวณดังกล่าวต้องใช้รูปแบบการประมวลผลที่ซับซ้อน เห็นได้ว่า หากหุ่นยนต์มีความสามารถสูงขึ้น มีอุปกรณ์ตรวจรู้มากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์วัดความเร็ว และมุมเอียง ของหุ่นยนต์ การประมวลผลย่อมใช้เวลามากขึ้น วงวนการควบคุมแสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 วงวนการควบคุมหุ่นยนต์

3.5.1 รูปแบบการควบคุมของหุ่นยนต์ภาคสนาม

ในกรณีของหุ่นยนต์สำรวจภาคสนามนั้น การทำงานของหุ่นยนต์นั้นบางกรณีหุ่นยนต์ต้องเข้าไปทำงานในที่อันตราย หรือมีความเสี่ยงสูง ไม่สามารถให้มนุษย์เข้าไปทำงานได้ ดังนั้นในการออกแบบระบบควบคุมนั้น ต้องออกแบบให้ผู้ควบคุมหุ่นยนต์ สามารถบังคับหุ่นยนต์จากระยะไกลได้ และการควบคุมบังคับจากระยะไกลนั้น ควรเลือกใช้วิธีสื่อสารแบบไร้สาย



รูปที่ 3.21 ลักษณะรูปแบบของการควบคุมหุ่นยนต์สำรวจภาคสนาม

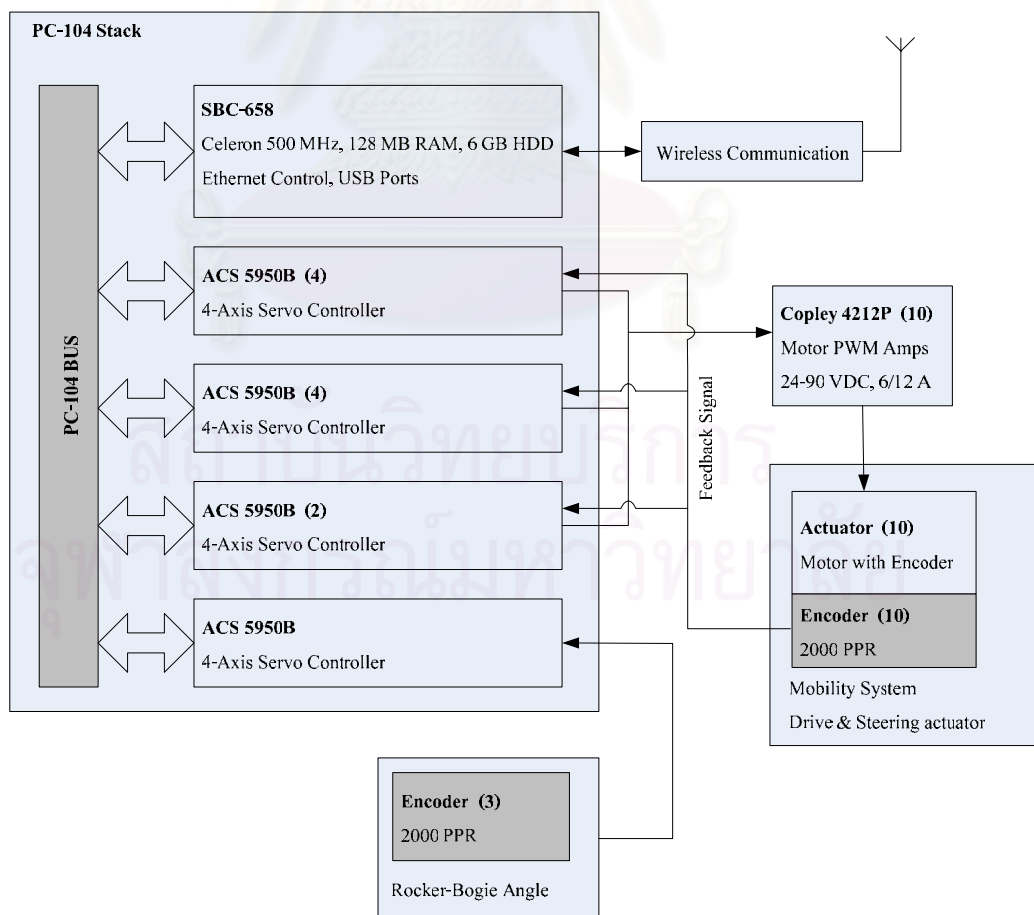
ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำรวจนั้น จะใช้คอมพิวเตอร์สองชุดด้วยกัน โดยผู้ควบคุมหุ่นยนต์ จะใช้คอมพิวเตอร์ชุดแรกที่ตั้งอยู่กับที่ ทำหน้าที่บังคับควบคุมหุ่นยนต์ ว่าจะให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศทางใด และคอยเก็บข้อมูลต่างๆที่หุ่นยนต์สำรวจส่งกลับมา และบนตัวของหุ่นยนต์เองได้ติดตั้งคอมพิวเตอร์อีกชุดหนึ่ง เพื่อทำหน้าที่ รับข้อมูลการเคลื่อนที่จากผู้ควบคุมแล้วคำนวณค่าเพื่อส่งเข้าไปขับเคลื่อนมอเตอร์แต่ละตัว อีกทั้งยังส่งข้อมูลตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กลับไปให้ผู้ควบคุม โดยคอมพิวเตอร์ทั้งสองชุดนี้จะทำการสื่อสารกัน ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless lan)

3.5.2 ตัวประมวลผล

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น การประมวลผลที่เร็วต้องใช้ตัวประมวลผลที่มีความสามารถสูง ตัวประมวลผลต่างๆที่มีอยู่โดยทั่วไป ได้แก่ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer, PC) ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ Single board computer

คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มีขนาดใหญ่ มีความเร็วในการประมวลผลที่สูงและมีราคาแพง ในขณะที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับการออกแบบให้ทำงานได้ด้วยตัวเอง และไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ต่อพ่วง (Peripheral) ต่างๆ มีหน่วยความจำขนาดเล็ก และมีราคาถูกกว่า

แต่เมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆแล้ว ถึงแม้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีความเหมาะสมกับการพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ มากกว่าคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล แต่ในแง่การพัฒนาโปรแกรม การพัฒนาบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มีความสะดวกกว่าสามารถสร้างโปรแกรมเพื่อเพิ่มความสามารถ ความฉลาดของหุ่นยนต์ได้ง่ายกว่า อีกทั้งในปัจจุบัน คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมีขนาดเล็กลงมาก อีกทั้งในท้องตลาดยังสามารถจัดหาการ์ดควบคุมสำเร็จรูปแบบต่างๆ ได้เป็นจำนวนมาก และราคาไม่สูงมากนัก

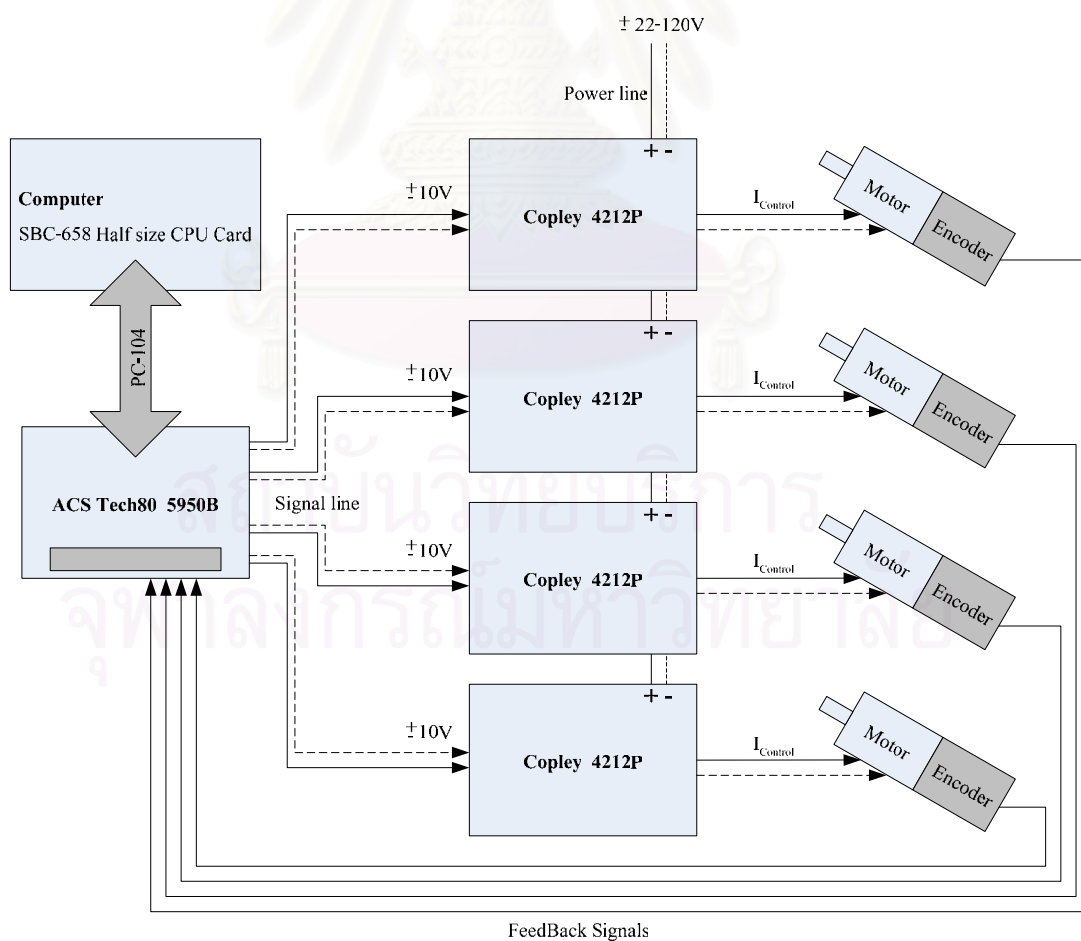


รูปที่ 3.22 รูปแบบการควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลบนตัวหุ่นยนต์

ดังรูปที่ 3.22 ระบบควบคุมบนตัวหุ่นยนต์นั้นเลือกใช้เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (SBC-658 Half Size Intel FC-370 Pentium III CPU Card) โดยการติดตั้งนี้จะทำการเชื่อมต่อกับการ์ด หรือ อุปกรณ์ควบคุมอื่นๆ ผ่าน PC-104 Connector และการ์ดตัวนี้ยังมี Ethernet Connector ใช้สำหรับเชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายอีกด้วย

3.5.3 วงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์นั้น ได้ใช้การ์ดสำเร็จรูป ACS Tech80 5950B ซึ่งการ์ดนี้สามารถทำการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ได้หลายรูปแบบด้วยกัน ในแต่ละการ์ดนั้นสามารถควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ได้ 4 ตัวด้วยกัน ซึ่งในการควบคุมหุ่นยนต์ภาคสนามนี้ใช้รูปแบบการควบคุมแบบควบคุมความเร็ว (Velocity Contouring) เพื่อควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุนของล้อทั้ง 6 และใช้รูปแบบการควบคุมตำแหน่ง (Trapezoidal point-to-point Profile) ในการควบคุมมุมบังคับเลี้ยวที่มุมทั้ง 4 ของตัวหุ่นยนต์ โดยการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวนั้น ต้องอาศัยสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) จากเอนโคเดอร์ (Encoder) ที่ติดอยู่ที่ท้ายเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ลักษณะรูปแบบการควบคุมของการ์ด ACS Tech80 5950B

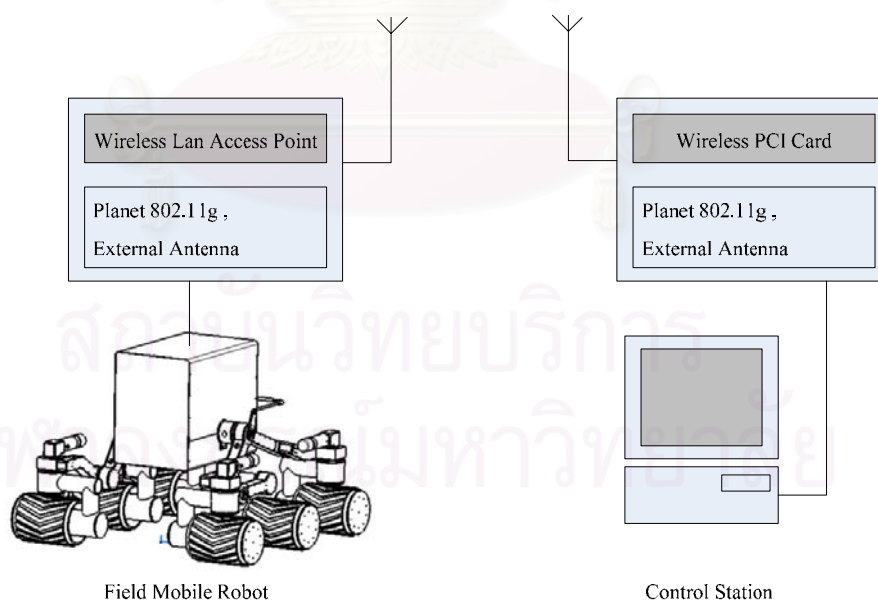
นอกจากนี้การ์ด ACS Tech80 5950B ยังสามารถใช้เป็นวงจรมอบสัญญาณจากเอนโคเดอร์ เพียงอย่างเดียวได้ โดยในที่นี้ได้ใช้การ์ดนี้เป็นวงจรมอบสัญญาณเอนโคเดอร์ เพื่อทำการหาค่ามุมที่เคลื่อนที่เปลี่ยนไประหว่างโครงสร้าง Rocker-Bogie และส่วนลำตัวหุ่นด้วย

3.5.4 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

โดยในส่วนของวงจรมอเตอร์นั้น ในที่นี้ได้ใช้ DC Brush Servo Amplifier รุ่น 4212P จาก Copley Controls Corporation ซึ่งจะรับสัญญาณเข้าเป็นแบบแอนะล็อก (Analog signal $\pm 10V$) โดยสามารถทำการจ่ายกระแสให้กับเซอร์โวมอเตอร์ติดต่อกันได้ 6 แอมแปร์ และจ่ายกระแสสูงสุด 12 แอมป์ ที่แรงดัน 22-120 โวลต์

3.5.5 อุปกรณ์สื่อสารแบบเครือข่ายไร้สาย

สำหรับการเชื่อมต่อสื่อสารแบบเครือข่ายไร้สายระหว่างตัวหุ่นยนต์ภาคสนามและผู้ควบคุม นั้นได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่อพ่วง บนคอมพิวเตอร์ที่ตัวหุ่นยนต์ภาคสนาม และบนคอมพิวเตอร์ที่ผู้ควบคุม โดยทำการเลือกใช้ Planet 802.11g Wireless Lan Access Point และ Planet 802.11g Wireless PCI Card ดังรูปที่ 3.24



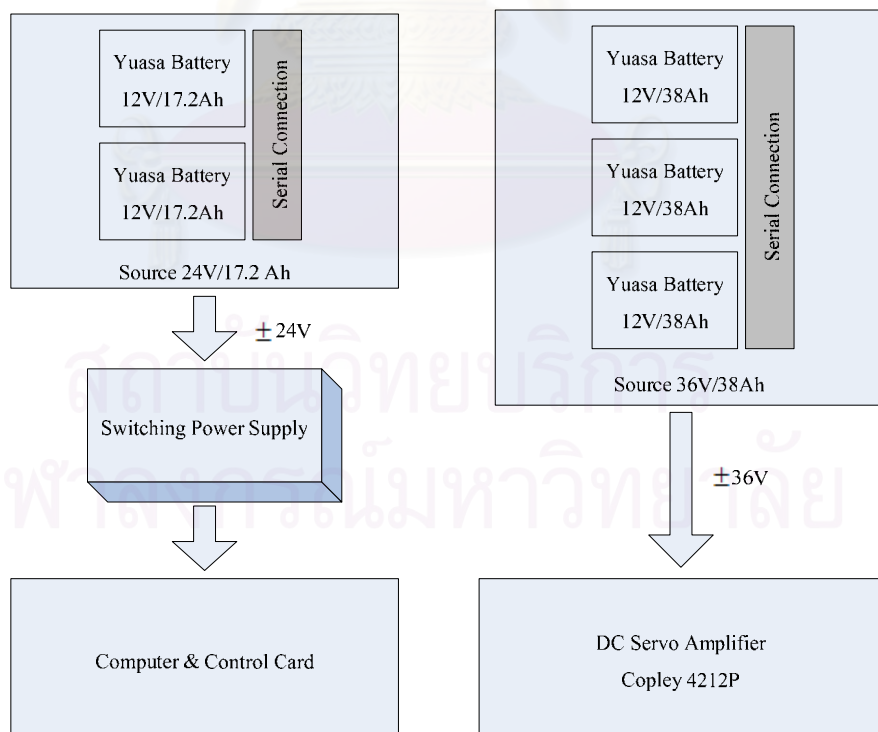
รูปที่ 3.24 การสื่อสารผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย

สำหรับการเชื่อมต่อโดยใช้อุปกรณ์ไร้สายดังกล่าวนี้ สามารถทำการส่งสัญญาณสื่อสารระหว่างตัวหุ่นยนต์กับผู้ควบคุมได้ในระยะทางประมาณ 100 เมตรในบริเวณที่โล่ง และระยะทางประมาณ 30 เมตรในตัวอาคาร และเรายังสามารถเพิ่มขยายระยะทางในการรับส่งสัญญาณได้อีก โดยทำการเพิ่มความเข้มของสัญญาณ โดยติดอุปกรณ์เสริมเช่น บูสเตอร์ (Booster)

3.6 แหล่งจ่ายพลังงานของหุ่นยนต์ภาคสนาม

เมื่อทำการพิจารณาอุปกรณ์ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ทำให้ทราบความต้องการพลังงานของอุปกรณ์ชนิดต่างๆดังนี้

- คอมพิวเตอร์ประมวลผล และการ์ดต่อเชื่อมบนตัวหุ่นยนต์ ต้องการไฟกระแสตรงแรงดัน 24 โวลต์ เพื่อเข้าห้มือแปลงแรงดันไฟฟ้าแบบสวิตซิ่ง แล้วส่งจ่ายต่อสู่คอมพิวเตอร์
- วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ Copley 4212P ต้องการไฟกระแสตรงแรงดัน 36 โวลต์ เพื่อจ่ายเข้าสู่วงจรถับมอเตอร์ โดยตรง



รูปที่ 3.25 แหล่งจ่ายพลังงานของหุ่นยนต์

จากความต้องการพลังงานของอุปกรณ์ชิ้นต้นนั้น หุ่นยนต์จึงต้องมีแหล่งจ่ายพลังงาน 2 ชุด แยกจากกันเพื่อเป็นการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้น โดยแหล่งจ่ายพลังงานชุดแรกนั้น ทำการใส่แบตเตอรี่ Yuasa Rechargeable Sealed Lead-Acid 12 โวลต์ 17.2 แอมป์ชั่วโมง ต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้แรงดัน 24 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าแบบสวิตชิง และแหล่งจ่ายพลังงานอีกชุดนั้นใส่แบตเตอรี่ Yuasa Rechargeable Sealed Lead-Acid 12 โวลต์ 38 แอมป์ชั่วโมง ต่ออนุกรมเพื่อให้ได้แรงดัน 36 โวลต์ จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์โดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 3.25



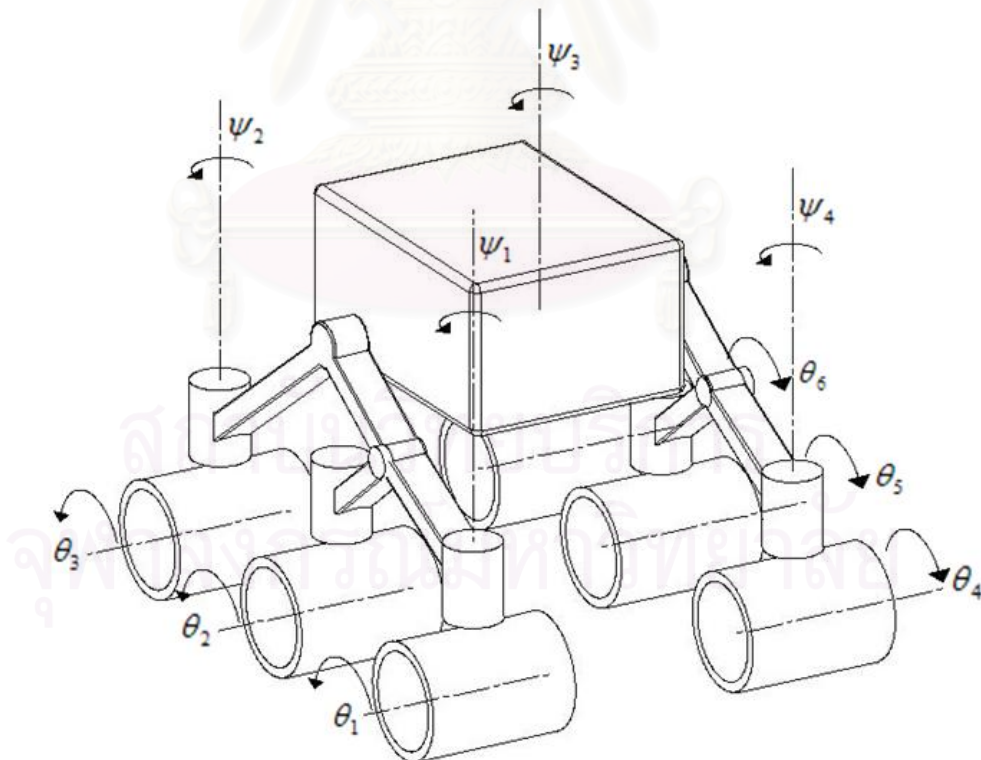
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

สมการการเคลื่อนที่ (Equation of motion)

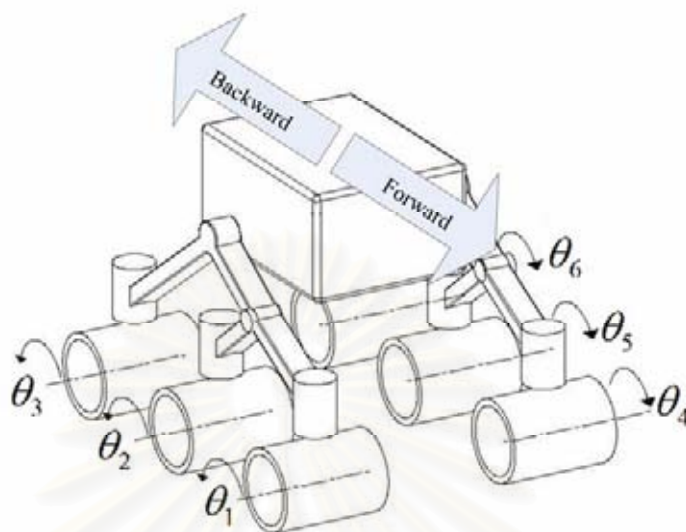
การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้น ต้องทราบสมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ เพื่อที่จะสามารถควบคุมหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งในการหาสมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ภาคสนามที่ได้ออกแบบนั้น จะขอพิจารณาเพียงการเคลื่อนที่บนระนาบเท่านั้น เนื่องมาจากการหาสมการการเคลื่อนที่บนสามมิติจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ตรวจรู้ เช่น อุปกรณ์วัดความเอียง (Inclinometer) อุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer) ติดตั้งบนตัวหุ่นยนต์เพิ่มเติมลงไป

ในที่นี่การพิจารณาสมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ภาคสนามจะพิจารณาการเคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลัง การเลี้ยวโค้ง และการหมุนรอบตัวเองของหุ่นยนต์ โดยทำการกำหนดรูปแบบตำแหน่งของตัวแปรที่จุดหมุนต่างๆ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การกำหนดตัวแปรที่ใช้คำนวณสมการการเคลื่อนที่

4.1 สมการการเคลื่อนที่เดินหน้า และถอยหลังของหุ่นยนต์



รูปที่ 4.2 การเคลื่อนที่เดินหน้าและถอยหลังของหุ่นยนต์

จากลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์สำรวจ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ 22 เซนติเมตร และทำการกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็ว x เซนติเมตรต่อวินาที สามารถทำการหาความเร็วเชิงมุมของล้อได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วเชิงมุม} \quad \omega &= \frac{v}{r} && (\text{rad/sec}) \\ \omega &= \frac{180v}{\pi r} && (\text{deg/sec}) \end{aligned}$$

และเมื่อพิจารณาทิศทางการหมุนของล้อแต่ละล้อจากรูปที่ 4.2 สามารถหาความเร็วเชิงมุมของล้อแต่ละล้อได้ดังนี้

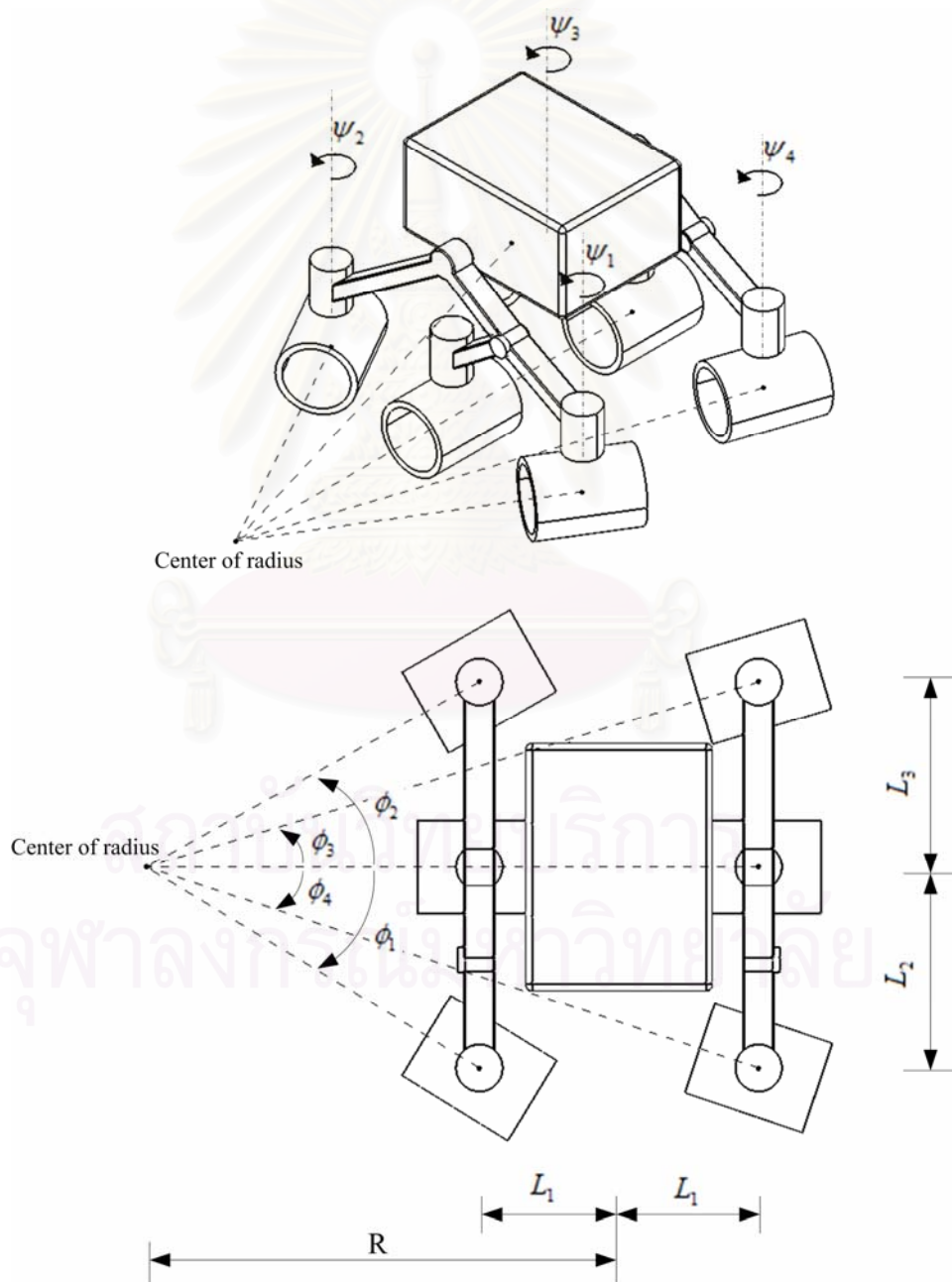
$$\dot{\theta}_1 = \dot{\theta}_2 = \dot{\theta}_3 = -\frac{180x}{11\pi}, \quad \dot{\theta}_4 = \dot{\theta}_5 = \dot{\theta}_6 = \frac{180x}{11\pi} \quad (\text{deg/sec})$$

และเช่นเดียวกันเมื่อกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหลังด้วยความเร็ว x เซนติเมตรต่อวินาที สามารถหาความเร็วเชิงมุมของล้อแต่ละล้อได้ดังนี้

$$\dot{\theta}_1 = \dot{\theta}_2 = \dot{\theta}_3 = \frac{180x}{11\pi}, \quad \dot{\theta}_4 = \dot{\theta}_5 = \dot{\theta}_6 = -\frac{180x}{11\pi} \quad (\text{deg/sec})$$

4.2 สมการการเคลื่อนที่เลี้ยวโค้งของหุ่นยนต์

การเคลื่อนที่เลี้ยวโค้งของหุ่นยนต์นั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงมุมบังคับเลี้ยวและความเร็วเชิงมุมของล้อแต่ละล้อ เพื่อให้การเคลื่อนที่นั้นเกิดการลื่นไถลน้อยที่สุด ทำให้ความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ลดน้อยลง ดังรูปที่ 4.3 มอเตอร์ชุดขับเคลื่อนบังคับเลี้ยว ที่ล้อมุมทั้งสิ้นของหุ่นยนต์จะทำการหมุนบังคับเลี้ยวให้แกนของล้อทั้งหกของหุ่นยนต์ ไปตัดกันที่จุดเดียวกัน ซึ่งจุดนั้นเป็นจุดศูนย์กลางของความโค้งของการเคลื่อนที่



รูปที่ 4.3 การเคลื่อนที่เลี้ยวโค้งของหุ่นยนต์

สามารถหาค่ามุมต่างๆ ได้ดังนี้

$$\phi_1 = \arctan\left(\frac{L_2}{R - L_1}\right)$$

$$\phi_2 = \arctan\left(\frac{L_3}{R - L_1}\right)$$

$$\phi_3 = \arctan\left(\frac{L_3}{R + L_1}\right)$$

$$\phi_4 = \arctan\left(\frac{L_2}{R + L_1}\right)$$

ดังนั้นจากรูปที่ 4.3 หุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยวโค้งไปทางขวาโดย มีรัศมีการเลี้ยวโค้ง R เซนติเมตร มุมบังคับเลี้ยวของล้อที่มุมทั้งสี่มีค่าดังนี้

$$\psi_1 = -\arctan\left(\frac{L_2}{R - L_1}\right)$$

$$\psi_2 = \arctan\left(\frac{L_3}{R - L_1}\right)$$

$$\psi_3 = \arctan\left(\frac{L_3}{R + L_1}\right)$$

$$\psi_4 = -\arctan\left(\frac{L_2}{R + L_1}\right)$$

ในกรณีที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยวโค้งไปทางซ้าย สามารถหามุมบังคับเลี้ยวของล้อที่มุมทั้งสี่มีค่าดังนี้

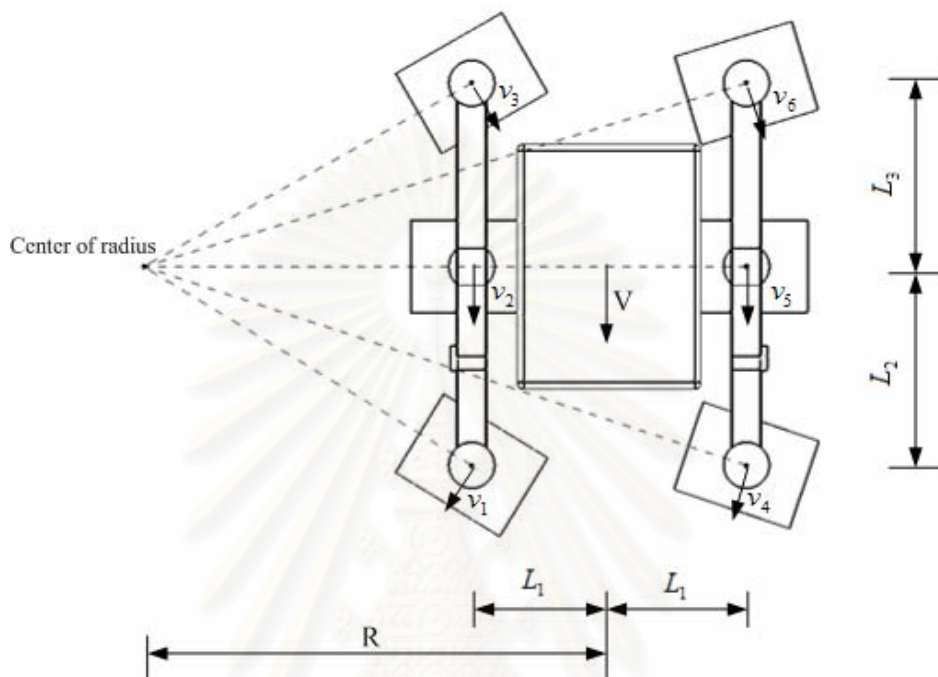
$$\psi_1 = \arctan\left(\frac{L_2}{R + L_1}\right)$$

$$\psi_2 = -\arctan\left(\frac{L_3}{R + L_1}\right)$$

$$\psi_3 = -\arctan\left(\frac{L_3}{R - L_1}\right)$$

$$\psi_4 = \arctan\left(\frac{L_2}{R - L_1}\right)$$

และในขณะที่หุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่เลี้ยวอยู่นั้น ความเร็วเชิงมุมของล้อที่หมุนอยู่แต่ละล้อนั้น จะหมุนที่ความเร็วต่าง ๆ กัน เพื่อให้หุ่นยนต์เกิดการลื่นไถลน้อยที่สุด



รูปที่ 4.4 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของล้อแต่ละล้อในการเลี้ยว

จากรูปที่ 4.4 หุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยวโค้งไปทางขวา โดยหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V เซนติเมตร ต่อวินาที สามารถทำการหาค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของล้อแต่ละล้อได้ดังนี้

ความเร็วเชิงมุม $\omega = \frac{180v}{\pi r}$ (deg/sec)

ความเร็วเชิงมุมของหุ่นยนต์รอบจุดศูนย์กลางความโค้ง

$$\omega = \frac{180V}{\pi R} \quad (\text{deg/sec})$$

เนื่องจากล้อทุกล้อถูกยึดอยู่บน โครงสร้างเดียวกัน ดังนั้นความเร็วเชิงมุมรอบจุดศูนย์กลางความโค้ง หนึ่งๆย่อมมีค่าเท่ากัน

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{180v_1}{\pi\sqrt{(R-L_1)^2 + L_2^2}} \Rightarrow v_1 = \frac{10V}{R}\sqrt{(R-L_1)^2 + L_2^2} \quad (\text{mm/sec}) \\ \omega &= \frac{180v_2}{\pi(R-L_1)} \Rightarrow v_2 = \frac{10V}{R}(R-L_1) \quad (\text{mm/sec}) \\ \omega &= \frac{180v_3}{\pi\sqrt{(R-L_1)^2 + L_3^2}} \Rightarrow v_3 = \frac{10V}{R}\sqrt{(R-L_1)^2 + L_3^2} \quad (\text{mm/sec}) \\ \omega &= \frac{180v_4}{\pi\sqrt{(R+L_1)^2 + L_2^2}} \Rightarrow v_4 = \frac{10V}{R}\sqrt{(R+L_1)^2 + L_2^2} \quad (\text{mm/sec}) \\ \omega &= \frac{180v_5}{\pi(R+L_1)} \Rightarrow v_5 = \frac{10V}{R}(R+L_1) \quad (\text{mm/sec}) \\ \omega &= \frac{180v_6}{\pi\sqrt{(R+L_1)^2 + L_3^2}} \Rightarrow v_6 = \frac{10V}{R}\sqrt{(R+L_1)^2 + L_3^2} \quad (\text{mm/sec}) \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาทิศทางการหมุนของล้อหุ่นยนต์จากรูปที่ 4.1 และเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อหุ่นยนต์มีขนาด 22 เซนติเมตร สามารถหาความเร็วเชิงมุมของการหมุนล้อแต่ละล้อในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยวไปทางขวาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_1 &= -\frac{v_1}{R_{wheel}} \Rightarrow \dot{\theta}_1 = -\frac{180V}{11\pi R}\sqrt{(R-L_1)^2 + L_2^2} \quad (\text{deg/sec}) \\ \dot{\theta}_2 &= -\frac{v_2}{R_{wheel}} \Rightarrow \dot{\theta}_2 = -\frac{180V}{11\pi R}(R-L_1) \quad (\text{deg/sec}) \\ \dot{\theta}_3 &= -\frac{v_3}{R_{wheel}} \Rightarrow \dot{\theta}_3 = -\frac{180V}{11\pi R}\sqrt{(R-L_1)^2 + L_3^2} \quad (\text{deg/sec}) \\ \dot{\theta}_4 &= \frac{v_4}{R_{wheel}} \Rightarrow \dot{\theta}_4 = \frac{180V}{11\pi R}\sqrt{(R+L_1)^2 + L_2^2} \quad (\text{deg/sec}) \\ \dot{\theta}_5 &= \frac{v_5}{R_{wheel}} \Rightarrow \dot{\theta}_5 = \frac{180V}{11\pi R}(R+L_1) \quad (\text{deg/sec}) \\ \dot{\theta}_6 &= \frac{v_6}{R_{wheel}} \Rightarrow \dot{\theta}_6 = \frac{180V}{11\pi R}\sqrt{(R+L_1)^2 + L_3^2} \quad (\text{deg/sec}) \end{aligned}$$

โดยที่ V มีเครื่องหมาย บวก เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยวโค้งไปข้างหน้า
ลบ เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยวโค้งไปข้างหลัง

ในทางกลับกัน สามารถหาความเร็วเชิงมุมของการหมุนล้อแต่ละล้อในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยวไปทางซ้ายได้ดังนี้

$$\dot{\theta}_1 = -\frac{v_1}{R_{wheel}} \quad \Rightarrow \quad \dot{\theta}_1 = -\frac{180V}{11\pi R} \sqrt{(R + L_1^2) + L_2^2} \quad (\text{deg/sec})$$

$$\dot{\theta}_2 = -\frac{v_2}{R_{wheel}} \quad \Rightarrow \quad \dot{\theta}_2 = -\frac{180V}{11\pi R} (R + L_1) \quad (\text{deg/sec})$$

$$\dot{\theta}_3 = -\frac{v_3}{R_{wheel}} \quad \Rightarrow \quad \dot{\theta}_3 = -\frac{180V}{11\pi R} \sqrt{(R + L_1^2) + L_3^2} \quad (\text{deg/sec})$$

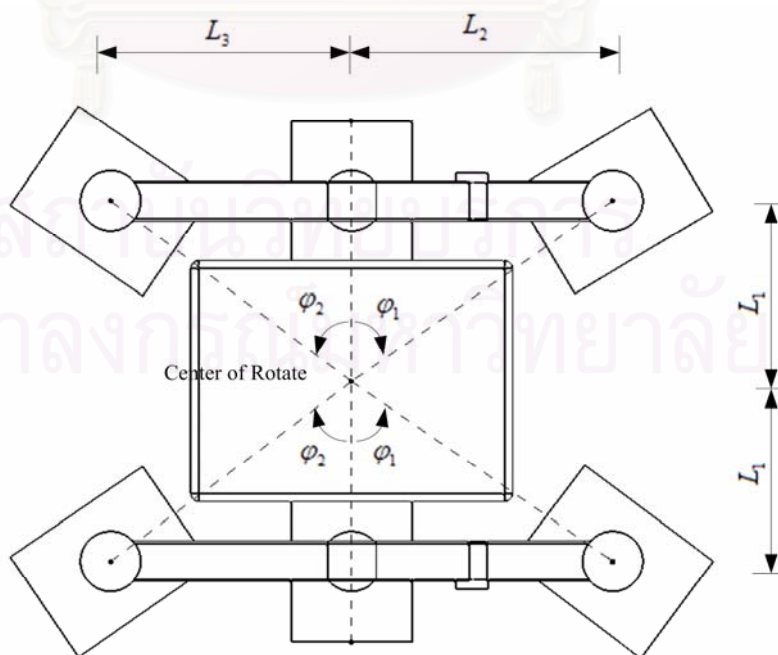
$$\dot{\theta}_4 = \frac{v_4}{R_{wheel}} \quad \Rightarrow \quad \dot{\theta}_4 = \frac{180V}{11\pi R} \sqrt{(R - L_1^2) + L_2^2} \quad (\text{deg/sec})$$

$$\dot{\theta}_5 = \frac{v_5}{R_{wheel}} \quad \Rightarrow \quad \dot{\theta}_5 = \frac{180V}{11\pi R} (R - L_1) \quad (\text{deg/sec})$$

$$\dot{\theta}_6 = \frac{v_6}{R_{wheel}} \quad \Rightarrow \quad \dot{\theta}_6 = \frac{180V}{11\pi R} \sqrt{(R - L_1^2) + L_3^2} \quad (\text{deg/sec})$$

โดยที่ V มีเครื่องหมาย บวก เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยวโค้งไปข้างหน้า
ลบ เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยวโค้งไปข้างหลัง

4.3 สมการการเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเองของหุ่นยนต์



รูปที่ 4.5 การเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเอง

การเคลื่อนที่ที่หมุนรอบตัวเองของหุ่นยนต์นั้น แนวแกนของล้อทั้งหกล้อ จะต้องตัดกันที่จุดเดียวกัน ซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างล้อกลางของทั้งสองข้าง เพื่อให้การเคลื่อนที่ของหุ่นมีการลื่นไถลเกิดขึ้นน้อยที่สุด จากรูปที่ 4.5 สามารถหาค่ามุมต่างๆ ได้ดังนี้

$$\varphi_1 = a \tan\left(\frac{L_2}{L_1}\right)$$

$$\varphi_2 = a \tan\left(\frac{L_3}{L_1}\right)$$

เมื่อพิจารณาถึงทิศทางของการหมุน สามารถหาค่ามุมบังคับเลี้ยวของล้อที่มุมทั้งสี่ได้ดังนี้

$$\psi_1 = a \tan\left(\frac{L_2}{L_1}\right)$$

$$\psi_2 = -a \tan\left(\frac{L_3}{L_1}\right)$$

$$\psi_3 = -a \tan\left(\frac{L_2}{L_1}\right)$$

$$\psi_4 = a \tan\left(\frac{L_3}{L_1}\right)$$

ในขณะที่หุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่ที่หมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วเชิงมุม ω (rad/sec) ล้อแต่ละล้อนั้นจะหมุนรอบตัวเองที่ความเร็วเชิงมุมแตกต่างกัน สามารถหาความเร็วเชิงมุมการหมุนของล้อได้ด้วยลักษณะวิธีที่ได้กล่าวไว้ใน การเคลื่อนที่แบบเลี้ยวโค้ง โดยมีค่าดังนี้

$$\dot{\theta}_1 = \frac{v_1}{R_{wheel}} \Rightarrow \dot{\theta}_1 = \frac{180\omega\sqrt{L_1^2 + L_2^2}}{11\pi} \quad (\text{deg/sec})$$

$$\dot{\theta}_2 = \frac{v_2}{R_{wheel}} \Rightarrow \dot{\theta}_2 = \frac{180\omega L_1}{11\pi} \quad (\text{deg/sec})$$

$$\dot{\theta}_3 = \frac{v_3}{R_{wheel}} \Rightarrow \dot{\theta}_3 = \frac{180\omega\sqrt{L_1^2 + L_3^2}}{11\pi} \quad (\text{deg/sec})$$

$$\dot{\theta}_4 = \frac{v_4}{R_{wheel}} \Rightarrow \dot{\theta}_4 = \frac{180\omega\sqrt{L_1^2 + L_2^2}}{11\pi} \quad (\text{deg/sec})$$

$$\dot{\theta}_5 = \frac{v_5}{R_{wheel}} \quad \Rightarrow \quad \dot{\theta}_5 = \frac{180\omega L_1}{11\pi} \quad (\text{deg/sec})$$

$$\dot{\theta}_6 = \frac{v_6}{R_{wheel}} \quad \Rightarrow \quad \dot{\theta}_6 = \frac{180\omega\sqrt{L_1^2 + L_3^2}}{11\pi} \quad (\text{deg/sec})$$

โดยที่ ω มีเครื่องหมาย +/- เมื่อหุ่นยนต์หมุนรอบตัวเองไปทางขวาและซ้ายตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การควบคุม

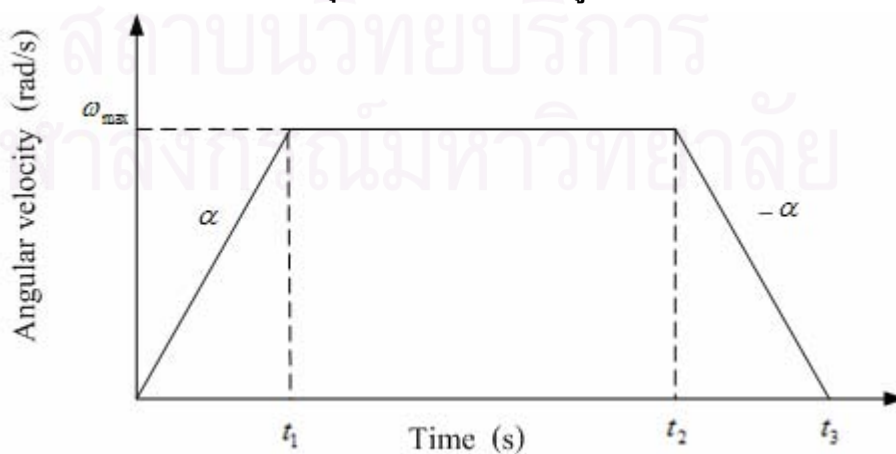
ในบทนี้จะทำการกล่าวถึงการควบคุมระดับบน คือการวิเคราะห์และสร้างลักษณะการเคลื่อนที่ของข้อต่อ และล้อต่างๆ (Trajectory Profile Generation) และระดับล่างการควบคุมล้อ และข้อต่อให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ด้วยความเร็วที่กำหนด ซึ่งจะแบ่งกล่าวถึงเป็นสามส่วน ใหญ่ๆคือ

1. การสร้างเส้นทางลักษณะการเคลื่อนที่
2. ตัวควบคุม
3. การเขียนโปรแกรมควบคุม

5.1 การสร้างเส้นทางลักษณะการเคลื่อนที่

การสร้างลักษณะเส้นทางเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ภาคสนาม มีด้วยกันสองลักษณะ แบบแรกเป็นลักษณะการเคลื่อนที่เชิงมุมแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal) ที่ใช้สร้างลักษณะการหมุนให้กับแกนบังคับเลี้ยวที่มุมทั้งสิ้นของหุ่นยนต์ ส่วนแบบที่สองเป็นการกำหนดความเร็ว (Velocity contouring) ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของล้อทั้งหมด

5.1.1 ลักษณะการเคลื่อนที่เชิงมุมแบบสี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ 5.1 [5] ลักษณะการเคลื่อนที่เชิงมุมแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

จากรูปที่ 5.1 กำหนดให้ความเร็วเชิงมุมสูงสุดในการเคลื่อนที่มีค่าเป็น ω_{\max} เรเดียน/วินาที ความเร่งมีค่าเป็น α เรเดียน/วินาที² และความหน่วงมีค่าเป็น $-\alpha$ เมตร/วินาที² ดังนั้นเราสามารถหาความสัมพันธ์ของมุมที่หมุนไปที่เวลาต่างๆ ได้ดังนี้

ช่วงระยะเวลาที่ $t = 0$ ถึง $t = t_1$

$$\theta(t) = \frac{1}{2}\alpha t^2 \quad (\text{rad})$$

ช่วงระยะเวลาที่ $t = t_1$ ถึง $t = t_2$

$$\theta(t) = \frac{1}{2}\alpha t_1^2 + \omega_{\max}(t - t_1) \quad (\text{rad})$$

ช่วงระยะเวลาที่ $t = t_2$ ถึง $t = t_3$

$$\theta(t) = \frac{1}{2}\alpha t_1^2 + \omega_{\max}(t - t_1) + \frac{1}{2}(t - t_2)(2\omega_{\max} - \alpha(t - t_2)) \quad (\text{rad})$$

ในกรณีที่กำหนดให้เคลื่อนที่หมุนไป x เรเดียน สามารถหาค่าช่วงเวลาต่างๆ ได้ดังนี้

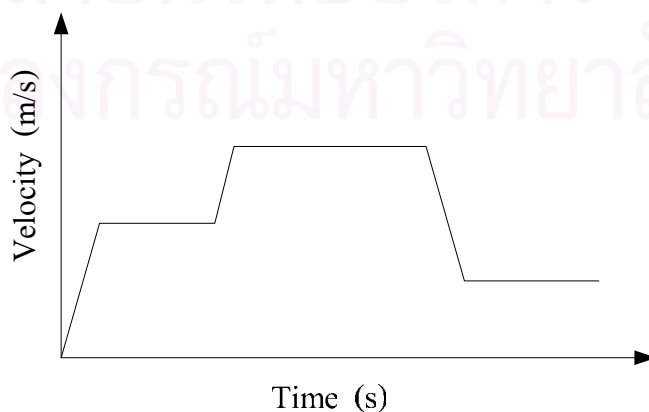
$$t_1 = \frac{\omega_{\max}}{\alpha} \quad (\text{sec})$$

$$t_2 = \frac{x}{\omega_{\max}} \quad (\text{sec})$$

$$t_3 = \frac{x}{\omega_{\max}} + \frac{\omega_{\max}}{\alpha} \quad (\text{sec})$$

5.1.2 ลักษณะการเคลื่อนที่โดยกำหนดความเร็ว

ในการเคลื่อนที่ของล้อทั้งหกกล้อนั้น ไม่จำเป็นต้องทำการกำหนดให้ล้อแต่ละกล้อนั้นหมุนไปเป็นระยะเท่าไร แต่สิ่งที่จำเป็นคือการกำหนดความเร็วให้กับล้อแต่ละล้อว่าขณะนั้นควรมีความเร็วเป็นเท่าไร ดังนั้นลักษณะของการเคลื่อนที่ของล้อทั้งหกจึงเป็นดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 [5] ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

5.2 ตัวควบคุม

ตัวควบคุมที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) [6] โดยอาจเป็นได้ทั้งการควบคุมตำแหน่ง หรือความเร็ว

ข้อดีของการควบคุมแบบพีไอดี คือ สามารถสร้างได้ง่าย และไม่จำเป็นต้องต้องทราบลักษณะทางพลศาสตร์ (Dynamics) ของระบบที่ถูกต้องมากนัก ข้อเสียของการควบคุมแบบพีไอดีคือการไม่ทราบพลศาสตร์ของระบบที่ถูกต้อง ทำให้การควบคุมไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร แต่งานวิจัยด้านการคำนวณหาแบบจำลองพลศาสตร์ ของหุ่นยนต์ให้ถูกต้องนั้นมีความซับซ้อน และในงานด้านหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ไม่ต้องการการตอบสนองที่รวดเร็วมากนัก ดังนั้นตัวควบคุมแบบพีไอดีจึงเหมาะสมกับงานวิจัยนี้

ลักษณะตัวควบคุมแบบพีไอดีเป็นดังนี้

$$D(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right]$$

หรือ

$$D(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s$$

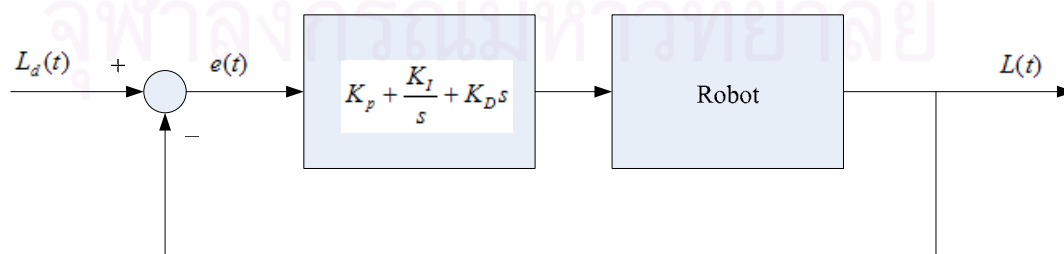
เมื่อ

K_p = อัตราขยายเชิงสัดส่วน หรือ Proportional Gain

T_I = Integral time หรือ Reset time

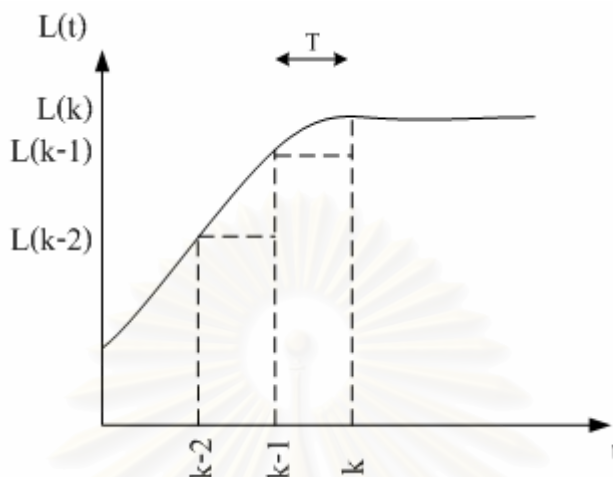
T_D = ช่วงเวลาอนุพันธ์ หรือ Derivative time

รูปแบบการควบคุมแบบป้อนกลับของระบบเป็นดังนี้



รูปที่ 5.3 การควบคุมแบบป้อนกลับ

เห็นได้ว่า $e(t)$ เป็นสัญญาณผิดพลาดมีค่าเป็น $L_d(t) - L(t)$ โดยที่ $L_d(t)$ เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ ที่ทำการหามาได้จากหัวข้อข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 5.4 เส้นทางการเคลื่อนที่ในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง

จากรูปที่ 5.4 เนื่องจากการควบคุมระบบจริงๆ นั้นมีลักษณะไม่ต่อเนื่อง (Discrete) ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงระบบควบคุมจากที่มีลักษณะต่อเนื่อง ให้เป็นลักษณะไม่ต่อเนื่องดังนี้

การควบคุมแบบสัดส่วน

การควบคุมเชิงสัดส่วนแบบไม่ต่อเนื่องมีลักษณะเดียวกับแบบต่อเนื่อง (Continuous)

$$\text{Continuous} \quad D(s) = K_p \Rightarrow u(t) = K_p e(t)$$

$$\text{Discrete} \quad u(k) = K_p e(k)$$

การควบคุมแบบอนุพันธ์

สามารถทำการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งได้จาก

$$\text{Continuous} \quad D(s) = K_D s \Rightarrow u(t) = K_D \dot{e}(t)$$

$$\text{Discrete} \quad u(k) = K_D \frac{e(k) - e(k-1)}{T}$$

$$\Rightarrow u(k) = K_D \frac{(L_d(k) - L(k)) - (L_d(k-1) - L(k-1))}{T}$$

$$u(k) = K_D \frac{(L_d(k) - L_d(k-1)) - (L(k) - L(k-1))}{T}$$

$$u(k) = K_D (\dot{L}_d(k) - \dot{L}(k))$$

การควบคุมแบบอินทิกรัล

การแปลงระบบควบคุมแบบอินทิกรัลทำได้โดยการหาผลรวมค่าผิดพลาดก่อนหน้าทั้งหมด

$$\text{Continuous} \quad D(s) = \frac{K_I}{s} \quad \Rightarrow \quad u(t) = K \int_{t_0}^t e(t) dt$$

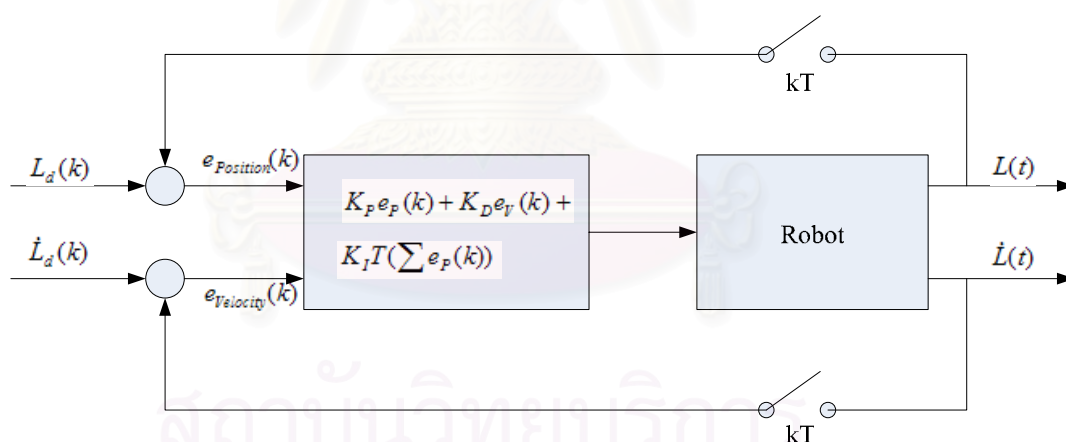
$$\text{Discrete} \quad u(k) = K_I T (e(k) + e(k-1) + e(k-2) + \dots + e(1) + e(0))$$

การควบคุมแบบพีไอดี

นำสัญญาณควบคุมทั้งสามแบบมารวมกันจะได้ตัวสัญญาณควบคุมแบบพีไอดี ดังนี้

$$u(k) = K_P e(k) + K_D (\dot{L}_d(k) - \dot{L}(k)) + K_I T \left(\sum_{i=0}^k e(k) \right)$$

ดังนั้นสามารถเขียนระบบควบคุมในรูปแบบใหม่ได้คือ



รูปที่ 5.5 การควบคุมแบบป้อนกลับที่รับคำสั่งตำแหน่งและความเร็ว

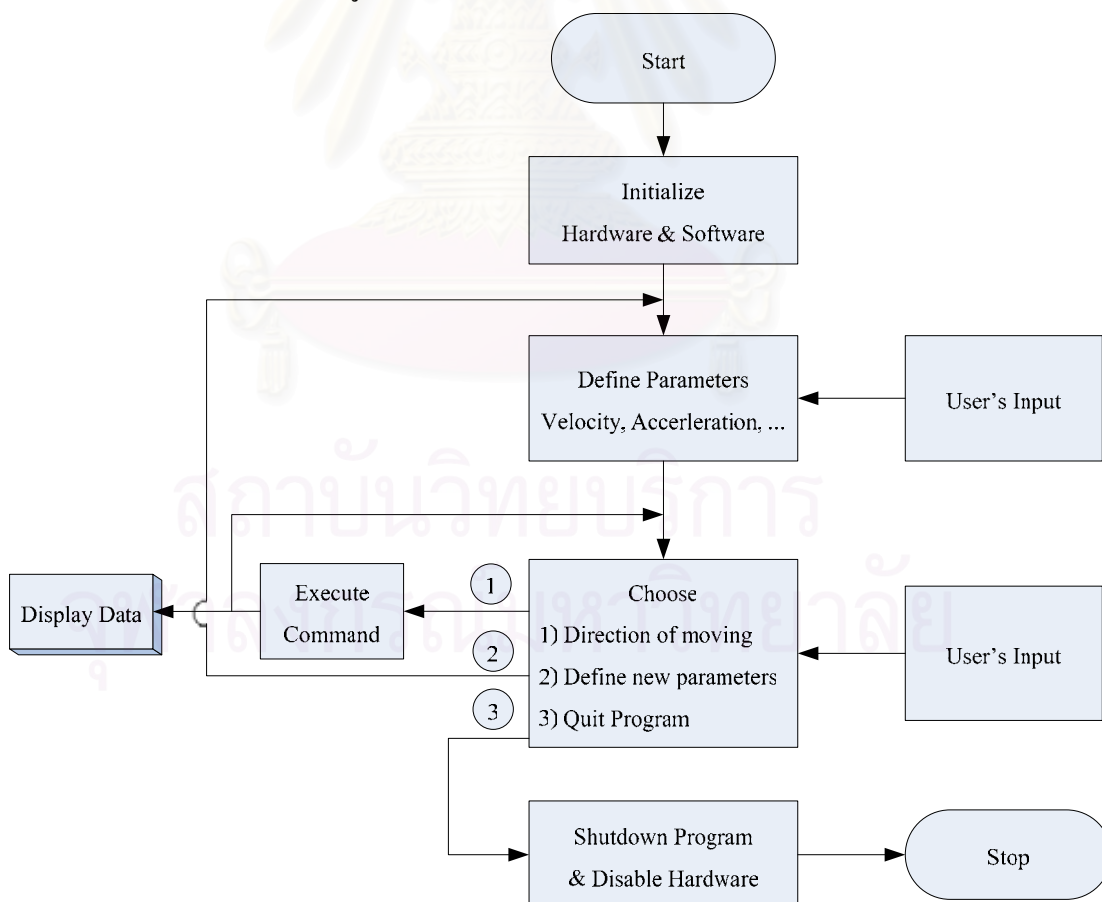
การหาค่าเกณฑ์ที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์นั้น ใช้วิธีหาจากการทดลองโดยพิจารณาผลตอบสนองของการหมุนล้อ และแกนบังคับเลี้ยวต่างๆ โดยค่าเกณฑ์ใช้มีค่าดังนี้คือ

$$K_p = 80, K_i = 60, K_d = 90$$

5.3 โปรแกรมควบคุม

การเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์นั้นมีส่วนประกอบหลักโดยทั่วไปได้แก่ ส่วนกำหนดค่าเริ่มต้น ส่วนวงวนการทำงานหลัก ซึ่งประกอบด้วยการรับข้อมูลจากผู้ใช้ การอ่านข้อมูลจากหุ่นยนต์เพื่อควบคุม การแสดงผล และส่วนสุดท้ายคือส่วนปิดการทำงานของโปรแกรม

เมื่อโปรแกรมเริ่มต้นการทำงาน จะทำการถามผู้ควบคุมและกำหนดค่าต่างๆที่จำเป็นในการคำนวณ เช่น ความเร็ว และ ความเร่งในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ จากนั้นจะทำการเข้าสู่วงวนการทำงานหลัก ซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้ เช่น คำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศทางไหน ลักษณะใด เพื่อประมวลผลแล้วส่งสัญญาณควบคุมไปยังวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ หรือสั่งให้โปรแกรมกลับไปทำการเปลี่ยนค่าความเร็วและความเร่งต่างๆใหม่ ซึ่งจะทำงานวนไปตลอดจนกระทั่งได้รับคำสั่งให้หยุดการทำงาน เมื่อได้รับคำสั่งให้หยุดการทำงาน โปรแกรมจะเข้าสู่ส่วนปิดการทำงาน ซึ่งจะคืนหน่วยความจำและส่งสัญญาณควบคุมให้หยุดการเคลื่อนที่ของแกนหมุนบังคับแล้ว และถ้อยต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.6 แผนผังการไหลแสดงการทำงานของ โปรแกรม

บทที่ 6

การทดสอบหุ่นยนต์ภาคสนาม

การทดสอบหุ่นยนต์ภาคสนามที่ทำการสร้างขึ้นมานั้น เป็นการทดสอบโดยเบื้องต้นเท่านั้น ซึ่งแบ่งการทดสอบเป็นสองส่วนด้วยกัน ในส่วนแรกนั้น จะให้หุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรคสิ่งกีดขวางในรูปแบบต่างๆ ซึ่งในที่นี้จะให้หุ่นยนต์ทำการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระ พื้นผิวสนามหญ้า และบนพื้นผิวเรียบทั่วไป โดยบังคับหุ่นยนต์จากระยะไกล ส่วนที่สอง เป็นการวัดความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์



รูปที่ 6.1 หุ่นยนต์ภาคสนามที่ใช้ในการทดสอบ

6.1 ทดสอบการเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรค

การทดสอบการเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง อุปสรรคต่างๆนั้น ได้ทำการทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระเช่น บริเวณเนินดิน เนินหินต่างๆ พื้นผิวพื้นสนามหญ้า และพื้นผิวเรียบทั่วไปเช่น พื้นถนนคอนกรีต พื้นผิวภายในอาคาร เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำการทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ขึ้นบนทางลาดชัน

ในการทดสอบการเคลื่อนที่ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวขรุขระ ดังแสดงในรูปที่ 6.2 นั้นพบว่าหุ่นยนต์สามารถปีนป่ายเคลื่อนที่ผ่านเนินดิน และเนินหินได้โดยง่าย เนื่องจากการใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie นั้น ล้อทุกล้อจะสัมผัสกับพื้นผิวตลอดเวลา ทำให้การกระจายน้ำหนัก

ของหุ่นยนต์ไปยังล้อแต่ละล้อมีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะและการปีนป่ายก้อนหินสูง สามารถเคลื่อนที่ผ่านเนินดินและเนินหินไปได้ แต่การใช้ระบบช่วงล่างลักษณะนี้ไม่สามารถใช้ความเร็วสูง เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ดูดซับแรง ดังนั้นจึงกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 6.2 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวขรุขระ

ส่วนในการทดสอบการเคลื่อนที่บนพื้นสนามหญ้า และการเคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวถนนคอนกรีตนั้น สามารถทำการทดสอบให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ ด้วยความเร็วสูงกว่าการเคลื่อนที่บนพื้นผิวขรุขระ โดยหุ่นยนต์สามารถวิ่งที่ความเร็วปกติ 10 เซนติเมตรต่อวินาที และทำความเร็วสูงสุดได้ถึง 20 เซนติเมตรต่อวินาที โดยหลังจากทำการทดสอบวิ่งบนพื้นสนามหญ้านั้นพบว่า ไม่ปรากฏร่องรอยของล้อหุ่นยนต์บนพื้นสนามหญ้า เนื่องจากแรงดันที่ล้อกระทำกับพื้นนั้นค่อนข้างน้อย



รูปที่ 6.3 หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนพื้นสนามหญ้า



รูปที่ 6.4 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในตัวอาคาร

ภายในตัวอาคาร โดยปกติทั่วไปนั้น จะมีสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆวางอยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆ และทางเดินทั่วไปนั้นจะมีพื้นที่ความกว้างไม่มากนัก ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในตัวอาคาร แต่เนื่องจากหุ่นยนต์ภาคสนามที่ได้ทำการออกแบบนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้หลายลักษณะ ดังเช่น การหมุนรอบตัวเอง และการเลี้ยวโค้งไปข้างหน้าและข้างหลังที่รัศมีความโค้งต่างๆ ดังนั้นจึงส่งผลให้หุ่นยนต์ภาคสนามที่ทำการสร้างขึ้นมานั้นมีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ค่อนข้างสูง สามารถเคลื่อนที่ได้ดีในพื้นที่อันจำกัด ไม่จำเป็นต้องอาศัยพื้นที่จำนวนมากในการเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทาง



รูปที่ 6.5 การเคลื่อนที่ขึ้นบนทางลาดชัน

สำหรับการทดสอบการเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชันนั้น พบว่าหุ่นยนต์ภาคสนามสามารถเคลื่อนที่ขึ้นและลง บนทางลาดชันที่มีความลาดเอียง 30 องศา ดังแสดงในรูปที่ 6.5



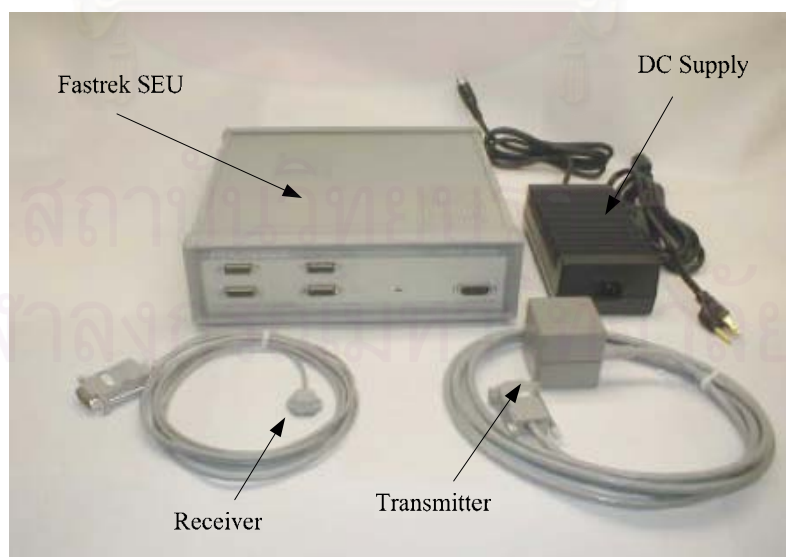
รูปที่ 6.6 ข้ามสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นขั้น

ลักษณะการเคลื่อนที่โดยใช้ล้อของหุ่นยนต์ และยานพาหนะต่างๆโดยทั่วไปนั้น เมื่อเจอสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นขั้น (step) มักจะไม่สามารถข้ามผ่านไปได้ แต่หุ่นยนต์ภาคสนามที่ได้ทำการออกแบบนั้นใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie ซึ่งระบบช่วงล่างนี้ขับเคลื่อนโดยใช้ล้อ 6 ล้อและล้อทุกล้อนั้นจะขับเคลื่อนโดยอิสระ มีตัวขับเคลื่อนซึ่งในที่นี้คือ มอเตอร์ แยกอิสระจากกัน อีกทั้งการใช้ระบบช่วงล่างแบบนี้ทำให้มีการกระจายน้ำหนักตัวของหุ่นยนต์อย่างสม่ำเสมอไปที่ล้อแต่ละล้อ จึงส่งผลให้หุ่นยนต์มีแรงขับเคลื่อนเพียงพอที่จะข้ามสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นขั้นได้

จากรูปที่ 6.6 นั้นเป็นการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ข้ามท่อนไม้ซึ่งมีลักษณะเป็นขั้น โดยขนาดความสูงของสิ่งกีดขวางนั้นมีขนาดประมาณ 9 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับรัศมีล้อหุ่นยนต์ และความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ค่อนข้างต่ำคือใช้ความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาที เพื่อป้องกันการตกกระแทกของล้อ ในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ลงจากสิ่งกีดขวาง

6.2 ทดสอบความผิดพลาดในการเคลื่อนที่

สำหรับการทดสอบความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้น จะเป็นการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไปในลักษณะทิศทางหลายรูปแบบ ดังเช่นการเคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลัง การเลี้ยวที่รัศมีความโค้งต่างๆ แล้วทำการพิจารณาตำแหน่งที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปจริงเทียบกับตำแหน่งที่หุ่นยนต์ควรจะเคลื่อนที่ไปเพื่อดูความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ ที่เกิดขึ้น

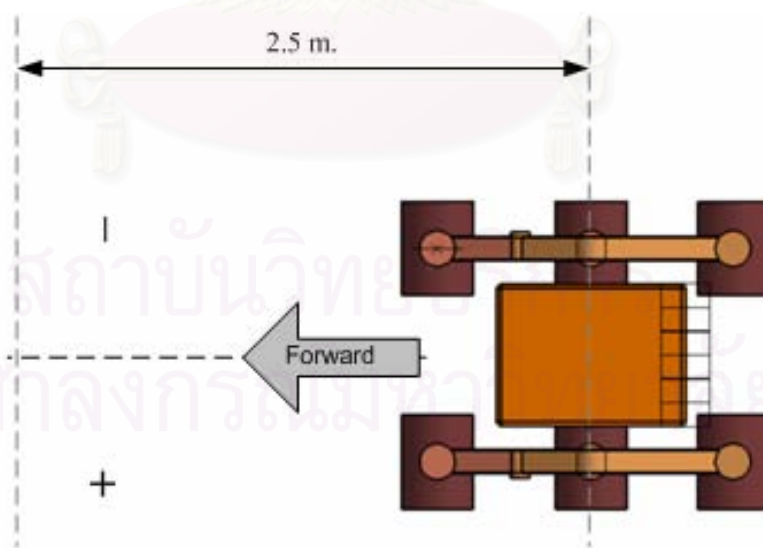


รูปที่ 6.7 อุปกรณ์วัดตำแหน่ง Fastrak

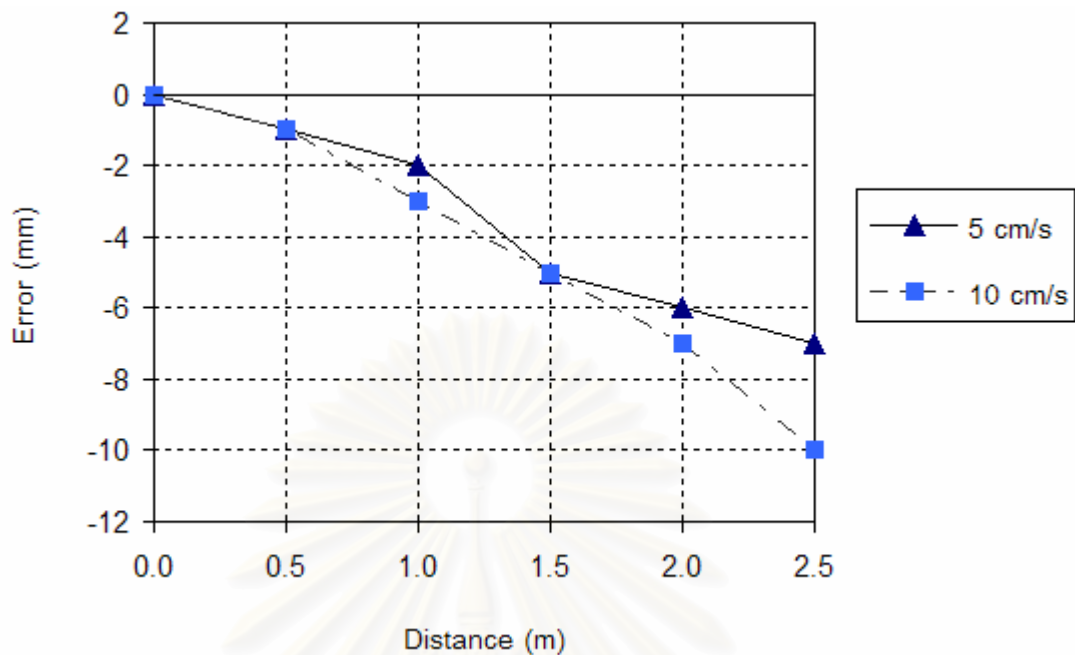
ในการพิจารณาดำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่ไปนั้น ได้อาศัยอุปกรณ์ FASTRAK จาก POLHEMUS ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดตำแหน่งในสามมิติซึ่งอาศัยหลักการของสนามแม่เหล็กสามารถบอกได้ทั้งตำแหน่ง (ระยะทางแกน X, แกน Y และแกน Z) และมุมเอียง (มุม Roll, มุม Pitch และ มุม Yaw) โดยตำแหน่งและมุมที่วัดได้นั้น เป็นตำแหน่งและมุมเปรียบเทียบ ระหว่างตัวรับ (Receiver) และตัวส่งสัญญาณ (Transmitter) ดังแสดงในรูปที่ 6.7 ซึ่งในที่นี้เรานำอุปกรณ์ชนิดนี้มาทำการวัดแต่เพียงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่พิจารณาถึงมุมการเคลื่อนที่ที่เบี่ยงเบนไปของหุ่นยนต์ โดยในการทดลองพิจารณาให้หุ่นยนต์มีลักษณะเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ซึ่งส่งผลให้ไม่ว่าจะทำการติดตั้งอุปกรณ์วัด ณ ตำแหน่งใดของลำตัวหุ่นยนต์ ก็จะส่งผลให้ได้ผลเดียวกัน

6.2.1 ทดสอบเคลื่อนที่เดินหน้า

การทดสอบเคลื่อนที่ที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินไปข้างหน้า จะให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าเป็นระยะทาง 2.5 เมตร แล้วพิจารณาดำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในทุกกระยะ 50 เซนติเมตร โดยถ้าหุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปในทิศทางซ้ายของการเคลื่อนที่ ให้ค่าเบี่ยงเบนนั้นมีค่าเป็นบวก และถ้าเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปทางขวามือของการเคลื่อนที่ ให้ค่าเบี่ยงเบนนั้นมีค่าเป็นลบ และในการเคลื่อนที่แต่ละรอบนั้นจะใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 ทดสอบเคลื่อนที่เดินหน้า

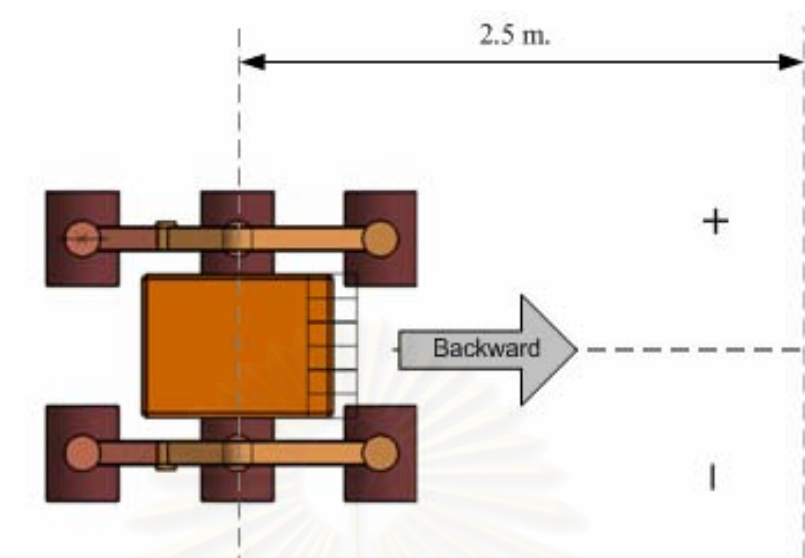


รูปที่ 6.9 กราฟแสดงการเบี่ยงเบนในการเคลื่อนที่เดินทางที่ความเร็วต่างๆ

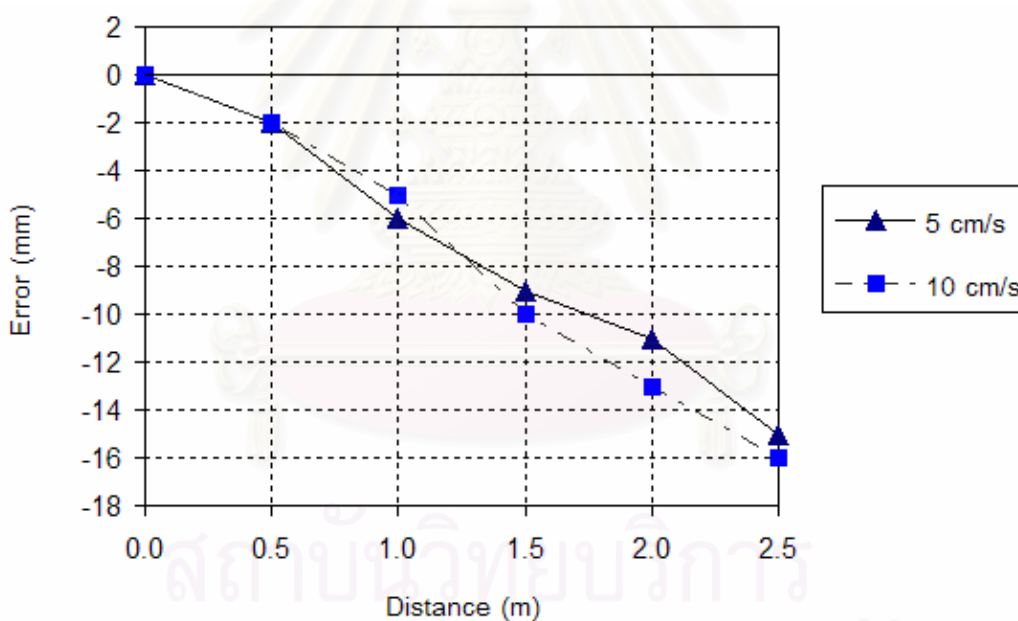
จากผลการทดลองการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของหุ่นยนต์ดังรูปที่ 6.9 นั้นพบว่า ระยะเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่นั้นจะมีค่าติดลบมากขึ้นเมื่อระยะทางการเคลื่อนที่ของหุ่นมากขึ้น กล่าวคือลักษณะการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของหุ่นยนต์นั้น จะเคลื่อนที่เอียงไปทิศทางขวามือของการเคลื่อนที่ และเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สูงขึ้น ค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สูงขึ้นตามไปด้วย

6.2.2 ทดสอบเคลื่อนที่ถอยหลัง

ในการทดสอบการเคลื่อนที่ถอยหลัง จะทำการทดสอบลักษณะเดียวกับการเคลื่อนที่เดินทางกล่าวคือ จะให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหลังเป็นระยะทาง 2.5 เมตร แล้วพิจารณาดำเนินการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในทุกๆระยะ 50 เซนติเมตร โดยถ้าหุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปในทิศทางซ้ายของการเคลื่อนที่ ให้ค่าเบี่ยงเบนนั้นมีค่าเป็นบวก และถ้าเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปทางขวามือของการเคลื่อนที่ ให้ค่าเบี่ยงเบนนั้นมีค่าเป็นลบ และในการเคลื่อนที่แต่ละรอบนั้นจะใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.10



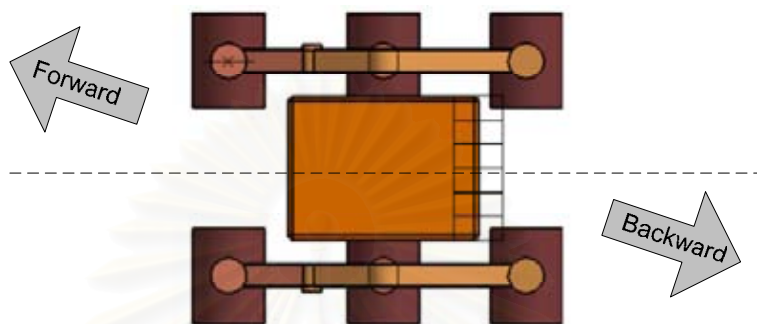
รูปที่ 6.10 ทดสอบเคลื่อนที่ถอยหลัง



รูปที่ 6.11 กราฟแสดงการเบี่ยงเบนในการเคลื่อนที่ถอยหลังที่ความเร็วต่างๆ

ผลการทดลองการเคลื่อนที่ถอยหลังของหุ่นยนต์ดังแสดงในรูปที่ 6.11 นั้นพบว่า ระยะเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่นั้นจะมีค่าติดลบมากขึ้นเมื่อระยะทางการเคลื่อนที่ของหุ่นมากขึ้น กล่าวคือลักษณะการเคลื่อนที่ถอยหลังของหุ่นยนต์นั้น จะเคลื่อนที่เอียงไปทิศทางขวามือของการเคลื่อนที่ หรือทางซ้ายมือของตัวหุ่นยนต์ และเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สูงขึ้น ค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สูงขึ้นตามไปด้วย

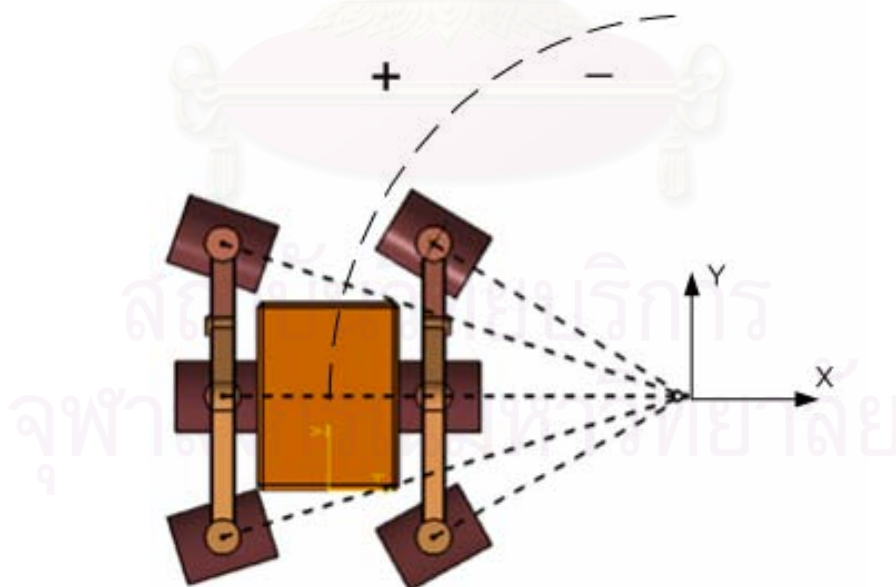
ซึ่งความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ถอยหลังนี้ สอดคล้องกับความผิดพลาดในการเคลื่อนที่
 เดินหน้าของหุ่นยนต์ คือมีลักษณะการเคลื่อนที่ที่อยู่ในแนวเอียงเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.12 และมี
 ค่าผิดพลาดในการเคลื่อนที่มากขึ้น เมื่อความเร็วมากขึ้นลักษณะเดียวกันด้วย



รูปที่ 6.12 แนวการเคลื่อนที่ที่เดินหน้าและถอยหลังของหุ่นยนต์

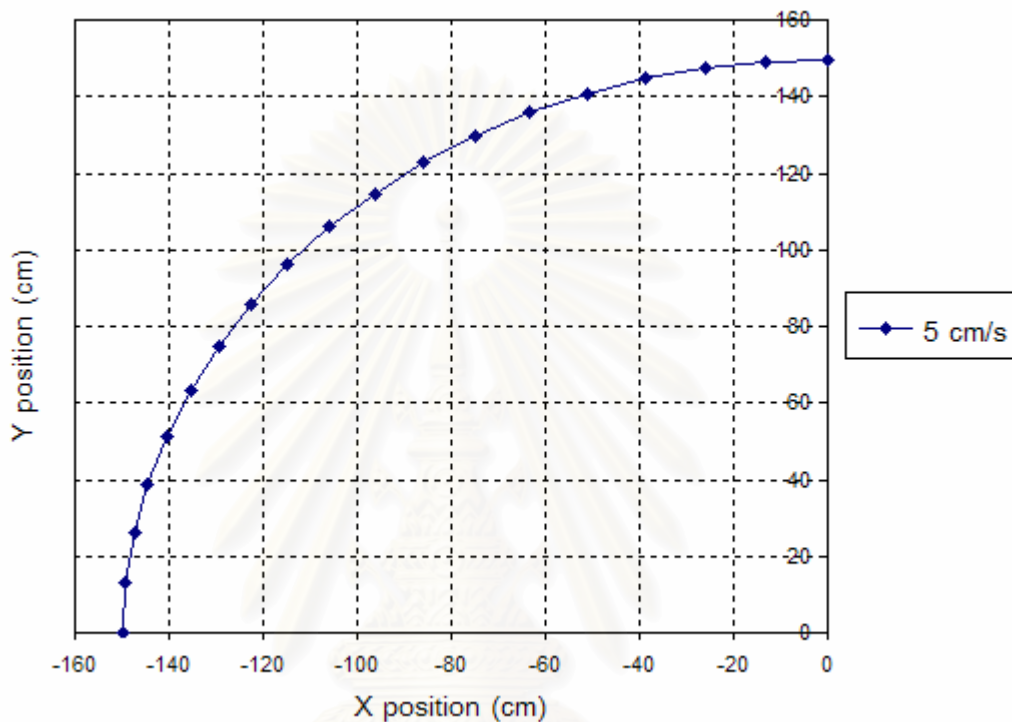
6.2.3 ทดสอบเคลื่อนที่เลี้ยวโค้ง

ในส่วนของการทดสอบการเคลื่อนที่เลี้ยวโค้งนั้น จะให้หุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่เลี้ยวโค้ง
 ด้วยรัศมีความโค้งต่าง ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ทำการวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริงที่
 เคลื่อนที่ไปเทียบกับ เส้นทางที่หุ่นยนต์ควรที่จะเคลื่อนที่ แล้วพิจารณาความผิดพลาดในการเคลื่อนที่

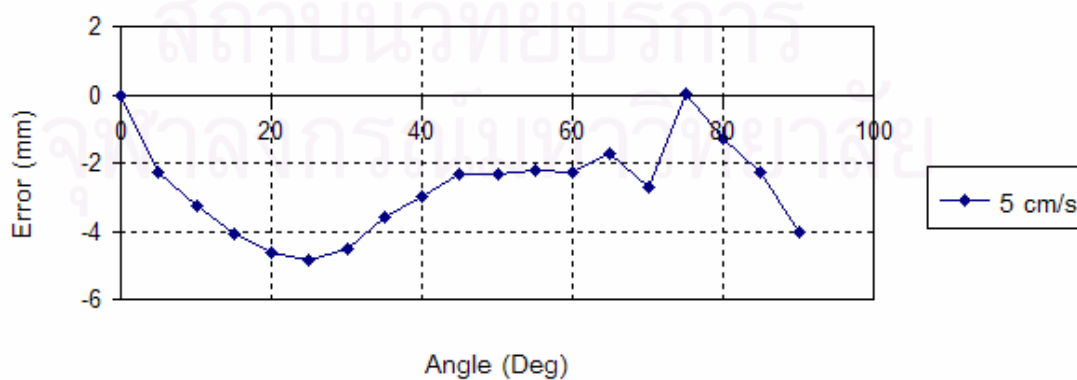


รูปที่ 6.13 ทดสอบเคลื่อนที่เลี้ยวโค้ง

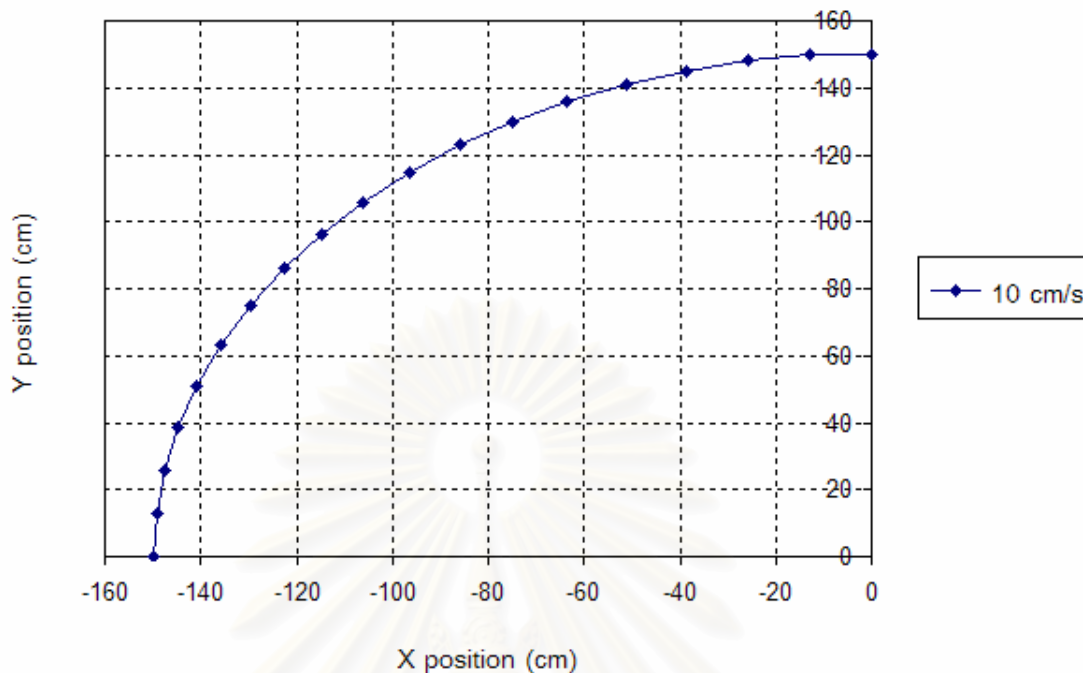
โดยถ้าหุ่นยนต์เคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปทางซ้ายมือของการเคลื่อนที่ ให้ค่าความผิดพลาดมีค่าเป็นบวก และถ้าหุ่นยนต์เคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปทางขวามือของการเคลื่อนที่นั้น ให้ค่าความผิดพลาดมีค่าเป็นลบ ดังแสดงในรูปที่ 6.13



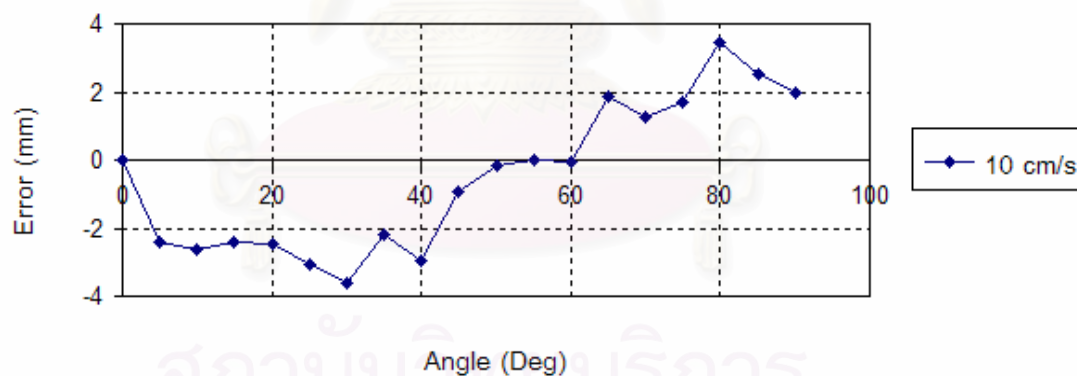
รูปที่ 6.14 กราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เดียว รัศมีความโค้ง 150 cm ความเร็ว 5 cm/s



รูปที่ 6.15 กราฟแสดงความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เดียว รัศมีความโค้ง 150 cm ความเร็ว 5 cm/s

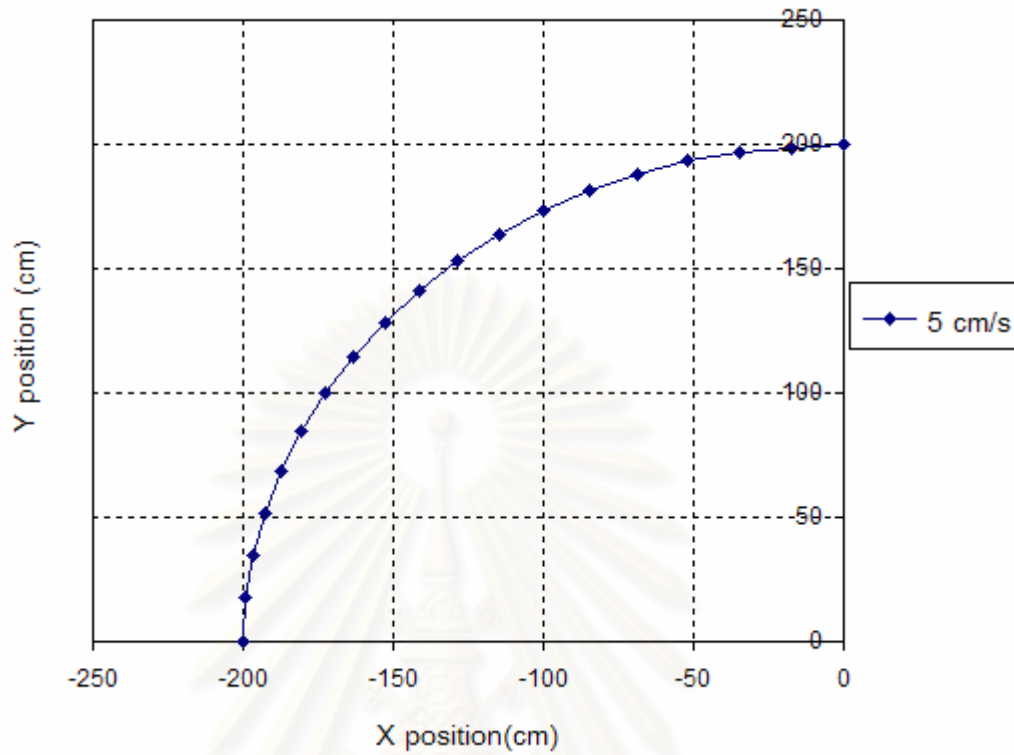


รูปที่ 6.16 กราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เดี่ยว รัศมีความโค้ง 150 cm ความเร็ว 10 cm/s

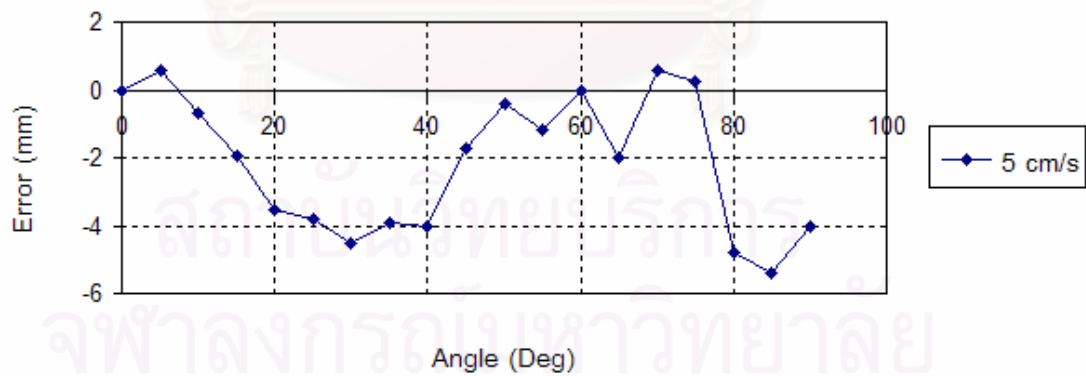


รูปที่ 6.17 กราฟแสดงความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เดี่ยว รัศมีความโค้ง 150 cm ความเร็ว 10 cm/s

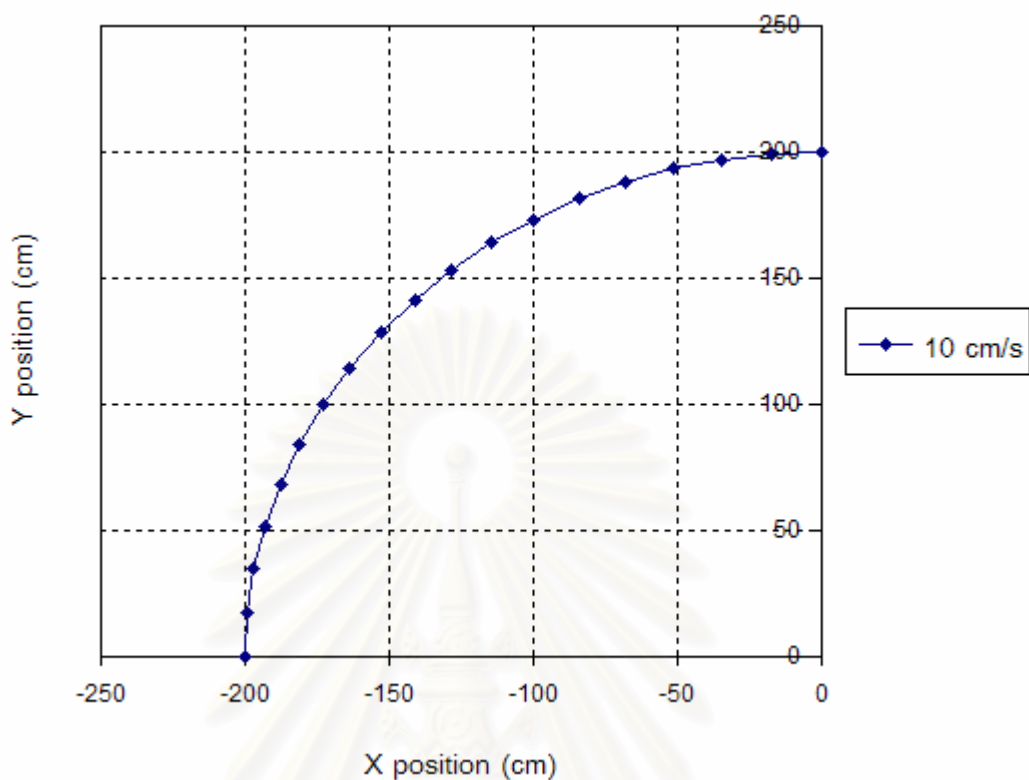
จากรูปที่ 6.15 เป็นรูปแสดงความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เดี่ยวโค้ง ที่รัศมีความโค้ง 150 เซนติเมตร ที่ความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาที โดยจะพบว่าค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่นั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน 4 มิลลิเมตร และค่าความผิดพลาดในทุกตำแหน่งที่วัดนั้นจะมีค่าเป็นลบ ส่วนในรูปที่ 6.17 เป็นรูปแสดงความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เดี่ยวที่ความเร็ว 10 เซนติเมตรต่อวินาที ค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่สูงสุดมีค่าไม่เกิน 5 มิลลิเมตร โดยค่าความผิดพลาดในช่วงเริ่มเคลื่อนที่มีค่าเป็นลบ และในช่วงท้ายของการเคลื่อนที่มีค่าเป็นบวก



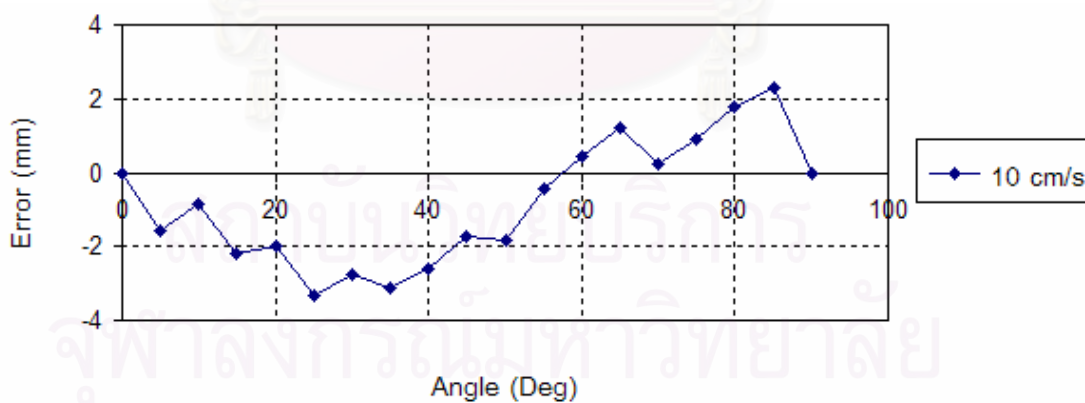
รูปที่ 6.18 กราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เดี่ยว รัศมีความโค้ง 200 cm ความเร็ว 5 cm/s



รูปที่ 6.19 กราฟแสดงความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เดี่ยว รัศมีความโค้ง 200 cm ความเร็ว 5 cm/s



รูปที่ 6.20 กราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยว รัศมีความโค้ง 200 cm ความเร็ว 10 cm/s



รูปที่ 6.21 กราฟแสดงความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เลี้ยว รัศมีความโค้ง 200 cm ความเร็ว 10 cm/s

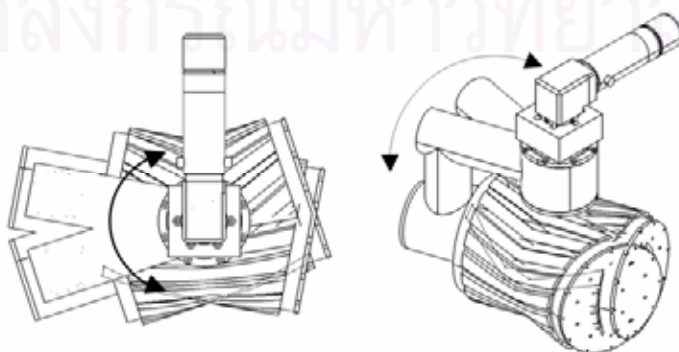
จากรูปที่ 6.19 เป็นรูปแสดงความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เลี้ยวโค้ง ที่รัศมีความโค้ง 200 เซนติเมตร ที่ความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาที โดยจะพบว่าค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่นั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน 6 มิลลิเมตร ส่วนในรูปที่ 6.17 เป็นรูปแสดงความผิดพลาดในการเลี้ยวที่ความเร็ว

10 เซนติเมตรต่อวินาที ค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่นั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เลี้ยวโค้งที่รัศมีความโค้ง 150 เซนติเมตร กล่าวคือ ค่าความผิดพลาดสูงสุดมีค่าไม่เกิน 4 มิลลิเมตร โดยค่าความผิดพลาดในช่วงเริ่มเคลื่อนที่มีค่าเป็นลบ และในช่วงท้ายของการเคลื่อนที่มีค่าเป็นบวก

6.3 สรุปผลการทดลอง

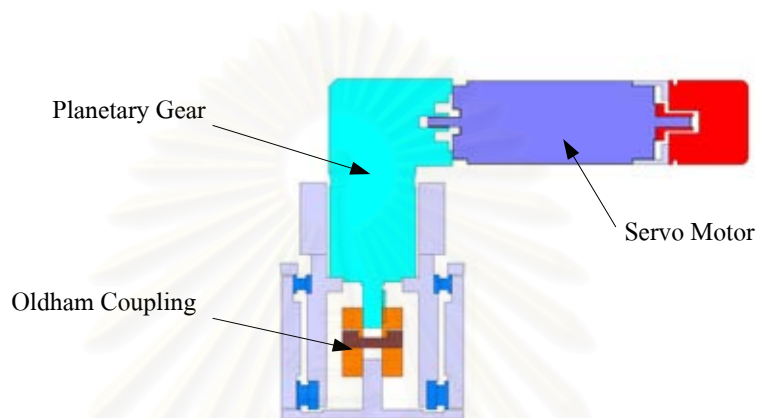
จากการทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง และพื้นผิวชนิดต่างๆ นั้นพบว่าหุ่นยนต์ภาคสนาม สามารถเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรค สิ่งกีดขวางต่างๆ ได้ด้วยดี โดยหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับรัศมีของล้อ และสามารถเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวขรุขระ เช่น กองดินกองหิน ได้อย่างดี เนื่องจากหุ่นยนต์ภาคสนามที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมา นั้น ใช้ระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie ดังนั้นล้อทุกล้อของหุ่นยนต์จึงสัมผัสกับพื้นผิวที่เคลื่อนที่ไปตลอดเวลา ส่งผลให้น้ำหนักของหุ่นยนต์มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ความสามารถในการปีนป่ายของหุ่นยนต์สูงขึ้นตามไปด้วย แต่การใช้ระบบช่วงล่างชนิดนี้หุ่นยนต์จะไม่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงมากนัก เนื่องจากระบบช่วงล่างชนิดนี้ไม่มีตัวดูดซับแรงกระแทก ดังนั้นถ้าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วและตกหลุมอาจได้รับความเสียหายได้ และการเคลื่อนที่ภายในตัวอาคารของหุ่นยนต์ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ได้อย่างคล่องตัว เนื่องจากหุ่นยนต์มีความสามารถเคลื่อนที่ได้หลายรูปแบบ ทั้งเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และหมุนรอบตัวเอง

สำหรับการทดลองวัดตำแหน่งความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้น การเคลื่อนที่เดินหน้าและถอยหลังของหุ่นยนต์ จะมีลักษณะการเบี่ยงเบนที่สอดคล้องกัน คือหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปทางขวามือของตัวหุ่น และสำหรับในการเคลื่อนที่เลี้ยวโค้ง ที่รัศมีความโค้งและความเร็วต่างๆ กันนั้น ค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่มากที่สุดจะมีค่าไม่เกิน 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 6.22 แบบคแลชที่เกิดขึ้นในโครงสร้างส่วนบังคับเลี้ยว

ซึ่งเมื่อพิจารณาความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้น พบว่ามีมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน ดังเช่น เกิดการลื่นไถลของล้อหุ่นยนต์ในขณะที่ทำการเคลื่อนที่ ความผิดพลาดในโครงสร้างของหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้น ยกตัวอย่างเช่น เกิดแบคแลช (Backlash) ขึ้นในส่วน โครงสร้างส่วนบังคับเลี้ยวทำให้มุมบังคับเลี้ยวเกิดการแกว่งตัวได้ เนื่องจาก การใช้เฟืองแบบแพลนเนตทอรี และการส่งผ่านกำลังโดยใช้คัปปลิงแบบโอลด์แฮม (Oldham Coupling) ดังแสดงในรูปที่ 6.23



รูปที่ 6.23 ลักษณะการส่งผ่านกำลัง โครงสร้างบังคับเลี้ยว

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 บทสรุป

จากการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ภาคสนามโดยใช้กลไก Rocker-Bogie นั้นในส่วนของขั้นตอนการออกแบบได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบ สร้าง และการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (CAD/CAM/CAE) เพื่อช่วยลดต้นทุนอันได้แก่ เงินทุน และเวลา ให้น้อยลง อีกทั้งจากการทดสอบ พบว่าหุ่นยนต์ที่ทำการสร้างขึ้นมีความสามารถในการเคลื่อนที่ปีนป่ายอุปสรรคข้ามสิ่งกีดขวางต่างๆได้ดี เนื่องมาจากลักษณะกลไกนี้ล้อทั้ง 6 ล้อ จะทำการสัมผัสพื้นตลอดเวลาทำให้มีการกระจายน้ำหนักตัวของหุ่นยนต์ไปยังล้อแต่ละล้ออย่างสม่ำเสมอ แต่ความสามารถในการปีนป่ายข้ามสิ่งกีดขวางนั้น ก็ยังต่ำกว่าตัวโมเดลที่ได้ทำการสร้างขึ้น อีกทั้งยังไม่มี การติดตั้งอุปกรณ์หรือ ตัวตรวจวัดพิเศษต่างๆเช่น กล้อง หรือ อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน จึงทำให้ความสามารถในการนำหุ่นยนต์ภาคสนามนี้ไปใช้งานจริงยังทำได้ไม่ดัดนัก

7.2 ข้อเสนอแนะ

จากบทสรุปข้างต้น จึงจะกล่าวถึงข้อเสนอแนะตามปัญหาต่างๆที่เกิดโดยแบ่งเป็นหัวข้อหลักๆดังนี้คือ ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับ โครงสร้างและลักษณะของหุ่นยนต์ภาคสนาม การปรับปรุง ความถูกต้องในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และ การเพิ่มขีดความสามารถในการนำหุ่นยนต์ไปใช้งานจริง

7.2.1 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับลักษณะ และโครงสร้างของหุ่นยนต์

เมื่อได้ทำการทดสอบให้หุ่นยนต์ภาคสนามเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นขั้นนั้น พบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่มีขนาดสูงประมาณรัศมีของล้อ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับหุ่นยนต์ต้นแบบที่ได้ทำการสร้างไว้ สามารถข้ามสิ่งกีดขวางที่มีขนาดมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ ได้นั้น พบว่าสาเหตุหลักส่วนหนึ่งเนื่องมาจาก หุ่นยนต์ที่ทำการสร้างขึ้นมีอัตราส่วนอง น้ำหนักตัวหุ่นยนต์ ต่อกำลังในการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ ค่อนข้างที่จะมาก เมื่อเทียบกับหุ่นยนต์ต้นแบบ ส่งผลให้ความสามารถในการปีนป่ายของหุ่นยนต์จึงลดน้อยลงตามไปด้วย ดังนั้นหุ่นยนต์

ที่สร้างขึ้นควรมีการลดน้ำหนักลง เช่น การเจาะรูลดน้ำหนักบริเวณ โครงสร้างต่างๆของตัวหุ่นยนต์ หรือทำการเลือกวัสดุที่มีน้ำหนักเบากว่ามาใช้แทน

ส่วนการที่เกิดแบคแลชขึ้นในส่วนบังคับเลี้ยว อันมีสาเหตุหลักมาจากการเลือกใช้เฟือง แบบแพลเน็ตเทอรี และ คัปปลิงชนิดโอลด์แฮมมันั้น วิธีการปรับปรุงที่น่าจะเป็นไปได้ง่ายที่สุดคือ การเลือกใช้คัปปลิงชนิดที่ไม่มีแบคแลช (Non-Backlash Coupling) และทำการเปลี่ยนชนิดของ เฟืองมาใช้เป็นเฟืองแบบฮาร์โมนิก แต่การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ใช้ต้นทุน ที่สูงกว่า แบบเดิมที่เลือกใช้ไว้ค่อนข้างมาก

7.2.2 การปรับปรุงความถูกต้องในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

โดยปกติทั่วไปแล้วนั้น การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อนั้น ย่อมจะเกิดการลื่นไถลของล้อ กับพื้นผิว ที่ทำการเคลื่อนที่ไป ดังนั้นในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ต้องการความถูกต้องและ แม่นยำ จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์จากภายนอกหุ่นยนต์เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวอ้างอิงตำแหน่งของ หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่อยู่จริง เทียบกับตำแหน่งอ้างอิงที่อยู่กับที่ ทำให้ผู้ควบคุมได้ทราบว่าตำแหน่งของ หุ่นยนต์จริงๆนั้นอยู่ที่ตำแหน่งใด

อีกทั้งอุปกรณ์ตัวป้อนสัญญาณกลับที่ใช้ในหุ่นยนต์ภาคสนามนี้ มีแต่เพียงเอนโคเดอร์ เท่านั้น ซึ่งในตัวหุ่นยนต์ควรมีอุปกรณ์ที่ใช้วัดลักษณะมุมเอียงต่างๆของหุ่นยนต์ในขณะที่ เคลื่อนที่ เช่น IMU (Initial Measurement Unit) หรือ อุปกรณ์วัดมุมเอียง (Inclinometer) เพื่อทำให้ขีด ความสามารถในการควบคุมหุ่นยนต์สูงขึ้น สามารถเคลื่อนที่ปีนป่ายบนพื้นผิวต่างๆได้ดียิ่งขึ้น

7.2.3 การเพิ่มขีดความสามารถในการนำหุ่นยนต์ไปใช้งาน

เนื่องจากการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ภาคสนามขึ้นมา ณ ขณะนี้ เป็นเพียงการสร้างและ ออกแบบเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถบรรทุกสัมภาระและอุปกรณ์ เคลื่อนที่ไปในสภาพพื้นผิวต่างๆได้ โดยทำการควบคุมจากระยะไกล ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงจึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ เพิ่มเติมลงไป อาทิเช่น การติดกล้อง เพื่อให้ผู้ควบคุมสามารถเห็นสภาพแวดล้อมโดยรอบหุ่นยนต์ หรืออาจทำการติดตั้งแขนหุ่นยนต์ เพื่อใช้ทำการหยิบจับสิ่งของต่างๆ หรือติดตั้งอุปกรณ์ประเภท อินฟราเรด หรือ โซนาร์ เพื่อทำให้หุ่นยนต์สามารถทราบตำแหน่ง และหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้

รายการอ้างอิง

- [1] Shigeo Hirose, Naritoshi Ootsukasa, Takaya Shirasu, Hiroyuki Kuwahara, Kan Yoneda. Fundamental Considerations for the Design of a Planetary Rover. Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2 (1995): 1939-1944.
- [2] Shrimp high mobility rover Website, <http://dmtwww.epfl.ch/isr/asl/systems/shrimp.html>
- [3] Paolo Fiorini. Ground Mobility Systems for Planetary Exploration. Proc. Of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. 1 (2000): 908-913.
- [4] Yasutaka Fuke, Dimitrios Apostolopoulos, Eric Rollins, Jack Silberman, and William Whittaker. A Prototype Locomotion Concept for a Lunar Robotic Explorer. Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2 (1995): 382-387.
- [5] Craig J. J. Introduction to Robotics Mechanics and Control. Second Edition. USA: Addison-Wesley Publishing, 1989
- [6] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ. การควบคุมระบบพลศาสตร์ (Control of Dynamics Systems). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์ของหุ่นยนต์ภาคสนาม

หุ่นยนต์ภาคสนามประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังต่อไปนี้

1) มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง (DC Servo Motor)

หุ่นยนต์ภาคสนามใช้มอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง 10 ตัวด้วยกัน เพื่อทำการขับเคลื่อนล้อ และควบคุมมุมบังคับเลี้ยว โดยทำการเลือกใช้มอเตอร์ของ Electro-Craft รุ่น E543 พร้อมเอนโคเดอร์ที่มีความละเอียด 2000 พัลส์ต่อรอบ



รูปที่ ก.1 เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง Electro-Craft E543

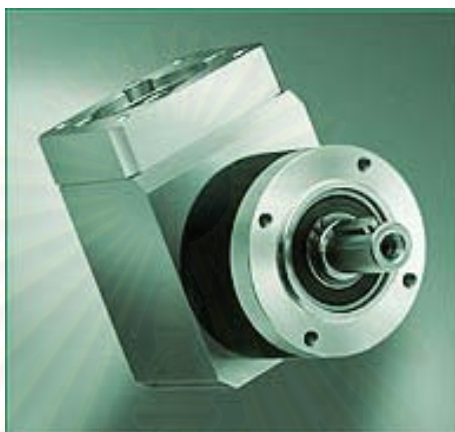
2) เฟืองทดแบบแพลเนตเทอรี (Planetary Gear)

สำหรับการส่งผ่านกำลังขับเคลื่อนไปจากเซอร์โวมอเตอร์ไปยังล้อแต่ละล้อนั้น ทำการเลือกใช้เฟืองแบบแพลเนตเทอรีของ Neugart รุ่น PLE 60 เป็นจำนวน 6 ตัว โดยเฟืองนี้มีอัตราทด 1:100 และให้แรงบิดต่อเนื่องได้ 44 นิวตันเมตร



รูปที่ ก.2 เฟืองแพลเนตเทอรี Neugart PLE 60

3) เฟืองทดแบบแพลเนตเทอร์รี่ ชนิดเปลี่ยนทิศทางแกนหมุน (Planetary gear Right Angle)
 ในส่วนของการส่งผ่านกำลังขับเคลื่อนไปควบคุมมุมบังคับเลี้ยวทั้งสิ้นนั้น เพื่อเป็นการประหยัดพื้นที่
 ในการติดตั้ง จึงทำการเลือกใช้เฟืองทดแบบแพลเนตเทอร์รี่ ชนิดเปลี่ยนทิศทางแกนหมุนของ
 Neugart รุ่น WPLE 60 ซึ่งมีอัตราทด 1:160 และให้แรงบิดต่อเนื่องได้ 44 นิวตันเมตร



รูปที่ ก.3 เฟืองแพลเนตเทอร์รี่ชนิดเปลี่ยนทิศทางแกนหมุน Neugart WPLE 60

4) คอมพิวเตอร์บอร์ดขนาดเล็ก (Half-size CPU Card)

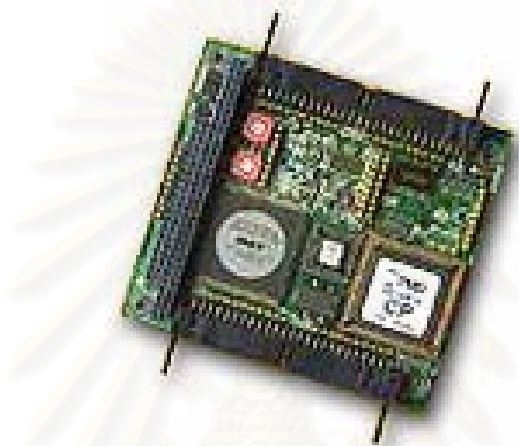
คอมพิวเตอร์ที่วางไว้บนตัวหุ่นยนต์ภาคสนามจำเป็นต้องมีขนาดเล็ก และสามารถเชื่อมต่อกับ
 อุปกรณ์ควบคุมต่างๆได้ง่าย ในที่นี้เลือกใช้คอมพิวเตอร์บอร์ด SBC-658 ซึ่งบอร์ดคอมพิวเตอร์นี้
 สามารถใช้งานร่วมกับตัวประมวลผล Intel Pentium III และในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมอื่น
 นั้นสามารถเชื่อมผ่าน PC/104 bus



รูปที่ ก.4 คอมพิวเตอร์บอร์ด SBC-658

5) การ์ดควบคุมการเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์ (PC/104 Servo Controllers)

การ์ดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ของ ACS Tech 80 รุ่น 5950B นั้นในแต่ละการ์ดสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์ได้ 4 ตัว หรือก็คือในแต่ละการ์ดสามารถรับสัญญาณจากเอนโคเดอร์ได้ 4 ตัว และให้สัญญาณอนาล็อก (Analog signal) ออกมาได้ 4 ช่องสัญญาณ ดังนั้นจึงใช้การ์ดนี้เป็นจำนวนทั้งสิ้น 4 การ์ดเพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 10 ตัว และรับสัญญาณจากเอนโคเดอร์ที่ทำการอ่านค่ามุมในโครงสร้าง Rocker-Bogie อีก 3 ตัวด้วยกัน



รูปที่ ก.5 การ์ดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ACS Tech 80 5950B

6) ชุดขยายกระแสขับมอเตอร์กระแสตรง (DC Servo Motor Drive Amplifier)

ชุดขยายกระแสเพื่อใช้ขับมอเตอร์ทั้ง 10 ตัวนั้นเป็นของ Copley Controls Corp. รุ่น 4122P โดยสามารถจ่ายกระแสต่อเนื่องได้ 10 แอมแปร์



รูปที่ ก.6 ชุดขยายกระแส Copley 4122P

7) อุปกรณ์การเชื่อมต่อสื่อสารไร้สาย (Wireless Lan)

ในการเชื่อมต่อสื่อสารไร้สายระหว่างตัวหุ่นยนต์ภาคสนามและผู้ควบคุม นั้นจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อแบบไร้สายติดตั้งทั้งบนตัวหุ่นยนต์และตำแหน่งคอมพิวเตอร์ของผู้ควบคุม โดยอุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งบนตัวหุ่นยนต์นั้นเลือกใช้ของ Planet รุ่น WAP-4000 และการ์ดเชื่อมต่อที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ของผู้ควบคุมนั้นเลือกใช้ของ Planet รุ่น WL-8310



รูปที่ ก.7 Wireless Access Point WAP-4000



รูปที่ ก.8 Wireless Lan Adapter WL-8310

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภูริพันธุ์ สุวรรณฤกษ์ เกิดเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2523 เป็นชาวกรุงเทพมหานคร เข้าศึกษาชั้นประถมศึกษา ที่โรงเรียนธรรมภิรักษ์ เมื่อสำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่หก ได้ทำการสอบเข้าศึกษาต่อชั้นมัธยมศึกษา ที่โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และได้สำเร็จปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขา วิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย