การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สองขาและการสังเคราะห์โปรแกรมการเดิน

นายปรีดา เลิศพงศ์วิภูษณะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4873-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A BIPED WALKER AND SYNTHESIS OF WALKING PROGRAMS

Mr. Preeda Lertpongwipusana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Computer Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2003

ISBN 974-17-4873-6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สองขาและการสังเคราะห์โปรแกรมการเดิน
โดย	นายปรีดา เลิศพงศ์วิภูษณะ
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชิต เหล่าวัฒนา)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สาธิต วงศ์ประทีป)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชทิน จันทร์เจริญ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปรีดา เลิศพงศ์วิภูษณะ: การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สองขาและการสังเคราะห์โปรแกรมการเดิน (DESIGN AND CONSTRUCTION OF A BIPED WALKER AND SYNTHESIS OF WALKING PROGRAMS) อาจารย์ที่ปรึกษา: รศ.ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา; 50 หน้า. ISBN 974-17-4873-6

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สองขา งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการสังเคราะห์โปรแกรมควบคุมการเดินหุ่นยนต์สองขา ที่มีจุดหมุนจำนวน 10 จุดหมุน หุ่นยนต์สองขาที่สร้างขึ้นทำจากอลูมิเนียมน้ำหนักเบา และแข็งแรงเพียงพอที่รองรับน้ำหนักโครงสร้างของตัวเองได้ ขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์ ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ผ่านทางสายอนุกรม ใช้แหล่งพลังงานจากภายนอกเพื่อให้หุ่นยนต์มีน้ำหนักเบาและมีพลังงานเพียงพอ เครื่องคอมพิวเตอร์ส่งโปรแกรมที่สังเคราะห์ขึ้นแล้วผ่านสายอนุกรมไปยังตัวหุ่นยนต์ จำกัดขอบเขตของการเดินอยู่ที่การเดินไปข้างหน้าบนพื้นผิวที่ราบและเรียบด้วยสมดุลสถิต ให้สามารถเดินตรงเพียงอย่างเดียวไม่มีการเดินเลี้ยว การสังเคราะห์โปรแกรมการเดินใช้แบบแผนการเดินที่มีจำนวน 17 ขั้นตอนย่อย จากชุดตัวเลขที่กำหนดให้จำนวน 62 ไบต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา	2546	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4370384921 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEY WORD: PROGRAMMING / ROBOTIC / CONSTRUCTION / SYNTHESIS / BIPED WALKER

PREEDA LERTPONGWIPUSANA: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A BIPED WALKER AND SYNTHESIS OF WALKING PROGRAM. THESIS ADVISOR: PRABHAS CHONGSTITVATANA. 50 pp. ISBN 974-17-4873-6

This thesis presents the design and construction of a biped robot. The main focus of the research is on the synthesis of walking programs of a biped robot that has 10 degrees of freedom. The biped robot is constructed from light weight aluminum which is strong enough to support the robot's structure. The robot is powered by servo motors which are controlled through a serial port of a personal computer. The power supply is situated externally to reduce the robot's weight. The computer sends the synthesized program through a serial port to the robot. The robot is constraint to move straight, forward on a flat surface, with static balance. The synthesis of walking programs use employs a walking pattern which has 17 steps. It consists of 62 bytes.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department	Computer Engineering	Student's signature ……...
Field of study	Computer Engineering	Advisor's signature ……..
Academic year	2003	Co-advisor's signature …….

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดีนั้น ผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือมากที่สุดที่ผู้วิจัยต้องขอบพระคุณเป็นบุคคลแรกคือรองศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา ซึ่งคอยดูแลให้คำชี้แนะหาทางแก้ไขปัญหาต่างๆ ทั้งปัญหาเชิงเทคนิค ปัญหาเชิงแนวคิด คอยให้คำปรึกษาเรื่องชีวิตการเรียน อีกทั้งยังให้โอกาสแก่ผู้วิจัยได้แก้ไขและปรับปรุงตัวเองเสมอมาแม้ว่าผู้วิจัยรู้สึกสับสน ท้อแท้ และเหน็ดเหนื่อย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล, รองศาสตราจารย์ ดร. ชิต เหล่าวัฒนา, รองศาสตราจารย์ ดร. สาธิต วงศ์ประทีป และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชทิน จันทร์เจริญ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ให้กับผู้วิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณนายวิสิษฐ์ พฤกษพนาสรรค์, นายรพีพันธุ พฤกษพนาสรรค์ และนายเกรียงไกร พฤกษพนาสรรค์ ที่ให้การสนับสนุนในการสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบตามที่ผู้วิจัยทำการออกแบบทั้งสามตัว ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ที่ห้องแล็บทุกคนที่ให้คำแนะนำทั้งในรายละเอียดเล็กๆน้อยๆ ในการทำงานและข้อคิดต่าง ๆ ขอขอบคุณบุคคลทุกๆท่านที่ยังไม่ได้กล่าวถึง ซึ่งล้วนมีส่วนช่วยให้ผู้วิจัยสามารถบรรลุงานวิจัยชิ้นนี้ได้

ท้ายที่สุด ขอขอบคุณรำพึง เลิศพงศ์วิภูษณะที่คอยเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา ตั้งแต่ช่วงแรก ๆ ของงานวิจัยที่ผู้วิจัยรู้สึกสับสน ท้อแท้ และเหน็ดเหนื่อย จนกระทั่งในงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ขอขอบคุณที่อยู่ข้าง ๆ ผู้วิจัยตลอดมาและตลอดไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
บทที่ 1 1
บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 2
1.6 ผลงานตีพิมพ์จากการวิจัย 3
บทที่ 2 4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 Servo Motor 4
2.2 แผงวงจรควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ 5
2.3 หุ่นยนต์สองขา 7
2.4 สมดุลของการเดินของหุ่นยนต์สองขา 8
2.5 จุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์ 8
2.6 บริเวณรองรับน้ำหนักของหุ่นยนต์ (Supporting Area) 9
2.7 การก้าวเท้าของหุ่นยนต์ 10
2.8 การเดินของหุ่นยนต์ 13
2.9 การถ่ายน้ำหนักของหุ่นยนต์ 15
บทที่ 3 17
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17
บทที่ 4 19
การออกแบบและสร้างหุ่นสองขาขนาดเล็ก 19
4.1 ความต้องการ 19
4.2 หุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่หนึ่ง 20
4.3 หุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สอง 23
4.4 หุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สาม 25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 สรุป 27
บทที่ 5 28
โปรแกรมการเดินหุ่นสองขา 28
5.1 เงื่อนไขการควบคุมหุ่นยนต์ 28
5.2 โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แบบอนุกรมและขนาน 28
5.3 จุดหมุนของหุ่นยนต์ 29
5.4 โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ 30
5.5 การลดขนาดและรูปแบบของโปรแกรมการเดิน 32
5.6 แบบแผนการเดินของหุ่นยนต์ 32
บทที่ 6 40
การทดลองและผลการทดลอง 40
6.1 จุดมุ่งหมายการทดลอง 40
6.2 การออกแบบการทดลอง 40
6.3 วิธีการทดลอง 40
6.4 ผลการทดลองที่ได้ 41
6.5 โปรแกรมการเดินแบบที่ 1 41
6.6 โปรแกรมการเดินที่ 2 43
6.7 โปรแกรมการเดินที่ 3 44
บทที่ 7 47
บทสรุปและข้อเสนอแนะ 47
7.1 สรุปงานวิจัย 47
7.2 ข้อเสนอแนะ 48
รายการอ้างอิง 49
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 5.1 แสดงโครงสร้างคำสั่งสำหรับแผงวงจรควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ Mini SSC II.....6
ตารางที่ 5.2 แสดงโครงสร้างคำสั่งสำหรับแผงวงจรควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ Pololu 7
ตารางที่ 5.3 มอเตอร์ที่ทำงานในแต่ละขั้นตอน 36
ตารางที่ 5.4 แบบแผนการเดินของหุ่นยนต์สองขา 37
ตารางที่ 5.5 แสดงโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ที่ต้องการ..... 39
ตารางที่ 6.1 โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์สองขา แบบที่ 1..... 42
ตารางที่ 6.2 โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์สองขา แบบที่ 2..... 43
ตารางที่ 6.3 โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์สองขา แบบที่ 3..... 44
ตารางที่ 6.4 แสดงระยะเคลื่อนเท้าของโปรแกรมควบคุมการเดิน 46

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 คลื่นสัญญาณควบคุมการทำงานของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์.....5
รูปที่ 2.2 แผงวงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ Mini SSC II.....5
รูปที่ 2.3 แผงวงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ของ Pololu 6
รูปที่ 2.4 แสดงหุ่นยนต์สองขาของบริษัท Fujitsu รุ่น HOAP-1 7
รูปที่ 2.5 แสดงบริเวณรับน้ำหนักอยู่ที่ฝ่าเท้าขวา 9
รูปที่ 2.6 แสดงบริเวณรับน้ำหนักอยู่ที่ฝ่าเท้าซ้าย 9
รูปที่ 2.7 แสดงบริเวณรับน้ำหนักอยู่บริเวณฝ่าเท้าขวาจนถึงฝ่าเท้าซ้าย 9
รูปที่ 2.8 แสดงตำแหน่งการวางเท้าเมื่อก้าวขาเปิดจังหวะ 10
รูปที่ 2.9 แสดงท่าทางของขาเมื่อก้าวขาเปิดจังหวะ 10
รูปที่ 2.10 แสดงตำแหน่งการวางเท้าเมื่อก้าวขาปิดจังหวะ..... 11
รูปที่ 2.11 แสดงท่าทางของขาเมื่อก้าวขาปิดจังหวะ 11
รูปที่ 2.12 แสดงตำแหน่งการวางเท้าเมื่อก้าวเดิน..... 12
รูปที่ 2.13 แสดงท่าทางของขาเมื่อก้าวเดิน 12
รูปที่ 2.14 แสดงตำแหน่งการวางฝ่าเท้าทั้งสองข้างการจังหวะการก้าวขาเดินของหุ่นยนต์สองขา 13
รูปที่ 2.15 แสดงตำแหน่งการวางฝ่าเท้าของขาทั้งสองข้างเมื่อมีระยะการก้าวเท้าที่แตกต่างกัน..... 14
รูปที่ 2.16 แสดงการเคลื่อนที่และตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล 15
รูปที่ 2.17 แสดงท่าทางและตำแหน่งของเท้าเมื่อถ่ายน้ำหนักมองจากด้านหลังของหุ่นยนต์ 16
รูปที่ 3.1 หุ่นยนต์ของคุณชาญชัย ชัยสุขโกศลที่สร้างด้วยไม้ 17
รูปที่ 4.1 หุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่หนึ่ง..... 20
รูปที่ 4.2 โครงสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่หนึ่ง มุมมองด้านหน้า และด้านข้าง..... 21
รูปที่ 4.3 ขนาดและองศาการหมุนของหุ่นยนต์ต้นแบบที่หนึ่ง 22
รูปที่ 4.4 โครงสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สอง มุมมองด้านหน้า และด้านข้าง 23
รูปที่ 4.5 ขนาดและองศาการหมุนของหุ่นยนต์ต้นแบบที่สอง..... 24
รูปที่ 4.6 หุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สาม 25
รูปที่ 4.7 โครงสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สาม มุมมองด้านหน้า และด้านข้าง 25
รูปที่ 4.8 ขนาดและองศาการหมุนของหุ่นยนต์ต้นแบบที่สาม..... 26
รูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งและชื่อของจุดหมุนหรือมอเตอร์แต่ละตัว 29
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาขวา 30
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาซ้าย 31
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ถ่ายน้ำหนัก..... 31
รูปที่ 5.5 แสดงท่าทางและตำแหน่งการวางเท้าเมื่อมองจากด้านข้าง 33
รูปที่ 5.6 แสดงตำแหน่งการวางเท้าของเท้าทั้งสองข้าง..... 34

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.7 แสดงตำแหน่งการวางเท้าของเท้าทั้งสองข้าง 34
รูปที่ 5.8 แสดงสัญลักษณ์ของท่าทางการวางเท้าในตำแหน่งต่างๆ 35
รูปที่ 5.9 แสดงสัญลักษณ์ของท่าทางการถ่ายน้ำหนักในตำแหน่งต่างๆ 36
รูปที่ 5.10 แสดงแผนการเดินของหุ่นยนต์ทั้ง 17 ขั้นตอน 38
รูปที่ 6.1 แสดงหุ่นยนต์กำลังก้าวเดินตามแผนการเดิน 41
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาซ้าย 42
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาขวา 42
รูปที่ 6.4 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ถ่ายน้ำหนัก 43
รูปที่ 6.5 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาซ้าย 43
รูปที่ 6.6 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาขวา 44
รูปที่ 6.7 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ถ่ายน้ำหนัก 44
รูปที่ 6.8 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาซ้าย 45
รูปที่ 6.9 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาขวา 45
รูปที่ 6.10 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ถ่ายน้ำหนัก 45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การโปรแกรมโดยอัตโนมัติเพื่อควบคุมหุ่นยนต์ เป็นเป้าหมายใหญ่ของงานวิจัยทางด้านหุ่นยนต์มานานแล้ว ปัจจุบันการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์โดยมนุษย์ เป็นเรื่องที่ทำได้ยากมาก เนื่องจากกลไกการทำงานของหุ่นยนต์ได้ถูกพัฒนาให้มีความซับซ้อนสูงขึ้น หุ่นยนต์บางชนิดถูกพัฒนาให้มีความสามารถในการทำงานพื้นฐานใกล้เคียงมนุษย์มาก เช่น หุ่นยนต์ P3 ซึ่งเป็นหุ่นยนต์มนุษย์ (humanoid robot) ของบริษัทฮอนด้า (Honda) (Hirai, 1998) เป็นต้น สามารถกล่าวได้ว่า ในปัจจุบันข้อจำกัดในการควบคุมหุ่นยนต์เหล่านี้ให้ทำงานตามที่ต้องการจึงอยู่ที่การโปรแกรมเพื่อควบคุมหุ่นยนต์

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สองขา และการสังเคราะห์โปรแกรมเดินของหุ่นยนต์สองขาแบบสมดุลสถิต หุ่นยนต์สองขาเป็นหุ่นยนต์ที่มีจำนวนข้อต่อมาก ซึ่งการควบคุมหุ่นยนต์ให้ทำงานตามที่ต้องการเป็นไปได้ยาก อีกทั้งหุ่นยนต์สองขาเป็นหุ่นยนต์ชนิดเคลื่อนที่ด้วยการเดิน (walking robot) และมีความสามารถมากกว่าหุ่นยนต์ชนิดมีล้อ (wheel-robot) เนื่องจากหุ่นยนต์ชนิดเคลื่อนที่ด้วยการเดินสามารถเคลื่อนที่ได้ในพื้นที่ต่าง ๆ โดยไม่จำกัดชนิดของพื้นผิว กล่าวคือ สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งในพื้นผิวเรียบ ขุรขระ หรือแม้แต่พื้นผิวที่ไม่ต่อเนื่องได้ นอกจากนี้ ถ้าเปรียบเทียบการทำงานของหุ่นยนต์สองขากับหุ่นยนต์แบบหลายขา (multilegged robot) ในพื้นที่ต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นมาเพื่อมนุษย์ เช่น บนทางเท้าที่มีผู้คนขวักไขว่ ในอุโมงค์ ในรถยนต์ หรือในลิฟต์ เป็นต้น ในสถานที่ดังกล่าวนี้ หุ่นยนต์สองขายังคงมีความเหมาะสมในการทำงานมากกว่าหุ่นยนต์แบบหลายขา การเดินของหุ่นยนต์สองขาจัดได้ว่าควบคุมได้ยากกว่าการเดินของหุ่นยนต์แบบหลายขา เนื่องจากในระหว่างการเคลื่อนที่ หุ่นยนต์ต้องมีการรักษาสมดุล แต่หุ่นยนต์สองขารักษาสมดุลโดยใช้จำนวนข้อต่อน้อยกว่า ด้วยเหตุผลด้วยกล่าวข้างต้น จึงทำให้งานวิจัยนี้สนใจในการแก้ปัญหาการเดินของหุ่นยนต์สองขามากกว่าหุ่นยนต์ชนิดอื่น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการแนวทางการสร้างหุ่นยนต์สองขาชนิด 10 จุดหมุนที่สามารถทำงานได้ และหาวิธีการสร้างโปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์สองให้สามารถเดินได้หลายลักษณะท่าทางที่แตกต่างกัน โดยโปรแกรมที่ต้องการต้องเป็นโปรแกรมที่มีขนาดเล็กประกอบด้วยชุดตัวเลขจำนวนไม่มาก และสามารถสังเคราะห์โปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ 2 ขาที่มีจำนวนจุดหมุนพร้อมกันไม่น้อยกว่า 10 จุดหมุนได้โดยอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

วิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์คือการคำนวณเชิงวิวัฒน์และโปรแกรมที่สังเคราะห์ขึ้นจะควบคุมให้หุ่นยนต์สามารถเดินหน้าได้เท่านั้น ไม่ถอยหลัง ไม่เดินเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวา หุ่นยนต์จะเดินได้เฉพาะบนพื้นผิวราบ เรียบและแข็งเท่านั้น ไม่มุ่งเน้นให้หุ่นยนต์เดินขึ้นลงบันไดหรือวิ่งได้ สมดุลของการเดินของหุ่นยนต์เป็นแบบสมดุลสถิต

1) สังเคราะห์โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ 2 ขาที่มีจำนวน 10 จุดหมุน (Degree of Freedom) ให้สามารถเดินได้ครบ 1 กระบวนการเดิน โดยทำการทดลองกับหุ่นยนต์จริง
2) โปรแกรมที่สร้างขึ้น เป็นกระบวนการเดินเพียง 1 กระบวนการเท่านั้น ควบคุมให้หุ่นยนต์สามารถเดินหน้าได้ ไม่สามารถถอยหลัง หรือเดินเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวาได้
3) หุ่นยนต์จะต้องเดินบนพื้นเรียบและแข็งเท่านั้น โดยพื้นผิวจะต้องมีแรงเสียดทานที่เพียงพอต่อการทรงตัวของหุ่นยนต์
4) หุ่นยนต์ที่ทำการสร้างและทดลองจะมีเพียงส่วนเอวจนถึงเท้า
5) การเดินของหุ่นยนต์เป็นแบบสมดุลสถิต

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานโดยสังเขปได้ดังนี้

1) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2) ศึกษาและออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์สองขาแบบ 5 จุดหมุนต่อขา
3) สร้างหุ่นยนต์สองขาแบบ 5 จุดหมุนต่อขา
4) ศึกษาและออกแบบโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์
5) สร้างโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์
6) ทำการทดลองและเก็บผลการทดลอง
7) สรุปผลการทดลอง และทำรายงานวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1) ได้โครงสร้างหุ่นยนต์สองขา ที่สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหุ่นยนต์ต่อไปในอนาคต เพื่อให้หุ่นยนต์ที่สร้างใหม่มีความสามารถมากขึ้นและมีโครงสร้างใกล้เคียงกับโครงสร้างมนุษย์
2) ได้แนวทางในการสร้างโปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์สองขา ที่มีขนาดเล็ก ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์ตัวอื่น ๆ ได้
3) เนื่องจากในส่วนการทดลองและประเมินผลโปรแกรมการเดินหุ่นยนต์ของงานวิจัยนี้ได้กระทำภายใต้สภาพแวดล้อมกับหุ่นยนต์จริง ทำให้ได้คำตอบที่สามารถนำไปใช้จริงได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 ผลงานตีพิมพ์จากการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตีพิมพ์ในหัวข้อเรื่อง “Construction and programming of a 10 degree of freedoms biped walker” โดย Preeda Lertpongwipusana และ Prabhas Chongstitvatana ในงานประชุมวิชาการ “TRS Conference on Robotics and Industrial Technology 2004 (CRIT)” ณ นครปฐม ประเทศไทย ในวันที่ 26-27 มีนาคม พ.ศ. 2547

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

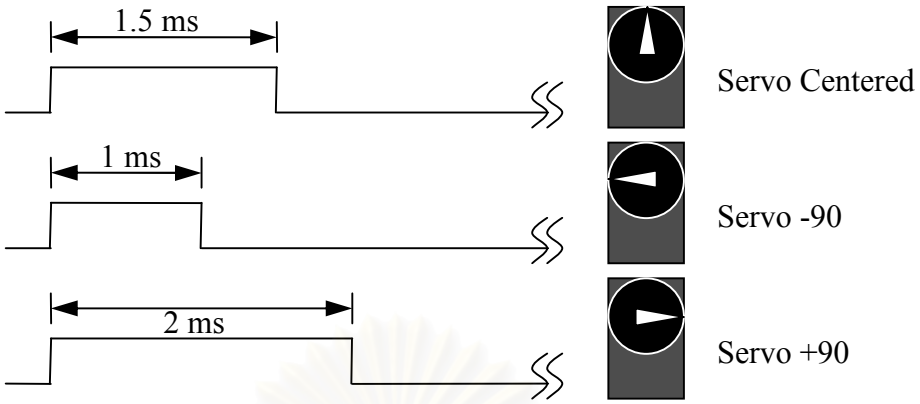
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 Servo Motor

เซอร์โวมอเตอร์คือมอเตอร์ที่มีระบบเฟืองทดรอบอยู่ภายใน เพื่อให้มีแรงบิดที่สูงขึ้น และเป็นมอเตอร์ที่มีการจำกัดองศาการหมุน ไม่สามารถหมุนครบรอบเหมือนมอเตอร์ประเภทอื่นๆได้ เซอร์โวมอเตอร์จะจำกัดการหมุนไว้ที่ 90 องศา หรือ 180 องศาขึ้นกับเซอร์โวมอเตอร์แต่ละรุ่น เซอร์โวมอเตอร์ยังมีลักษณะเด่นอีกอย่างที่แตกต่างจากมอเตอร์ทั่วไปคือจะพยายามรักษาตำแหน่งองศาของมุมที่กำหนดไว้ เซอร์โวมอเตอร์มีด้วยกันหลายประเภทแต่สามารถแบ่งตามลักษณะการควบคุมได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ด้วยกัน คือ

1) ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ เป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมอัตโนมัติที่ต้องการความแม่นยำสูง มีความทนทาน มีแรงบิดให้เลือกหลายขนาด มีขนาดให้เลือกใช้งานตามความต้องการ แต่มีน้ำหนักมาก ใช้กระแสไฟฟ้ามากในการทำงาน ราคาแพง อุปกรณ์ควบคุมมีราคาสูง
2) อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ เป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในของเล่นบังคับด้วยคลื่นวิทยุ เช่นเครื่องบิน เรือ รถวิทยุบังคับ เป็นต้น มีความแม่นยำต่ำ มีแรงบิดน้อย มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา เพราะต้องติดตั้งบนของเล่น และยังใช้กระแสไฟฟ้าไม่มากในการทำงาน ราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับดีซีเซอร์โวมอเตอร์

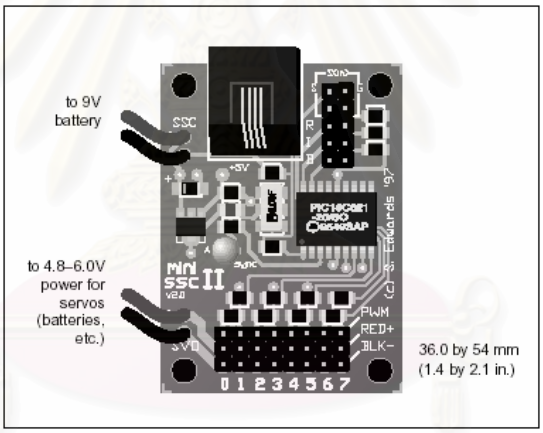
ในการทำวิจัยนี้จะเลือกใช้อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ เนื่องจากมีราคาถูก ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา เพราะต้องการให้หุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นมีน้ำหนักโดยรวมไม่เกิน 3 กิโลกรัม และอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ยังสามารถควบคุมการหมุนและตำแหน่งได้โดยง่าย อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์จะมีสายเชื่อมต่อด้วยกันสามเส้นโดยเส้นที่ 1 เป็นสายขั้วลบ เส้นที่ 2 เป็นสายขั้วบวก เส้นที่ 3 เป็นสายสัญญาณควบคุม วิธีการควบคุมจะใช้วิธีการส่งสัญญาณพัลส (pulse) ที่มีจำนวน 60 ลูกคลื่นในหนึ่งวินาที (Hz) ตลอดการทำงานเพื่อเป็นคำสั่งให้อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ปฏิบัติตาม สามารถกำหนดตำแหน่งการหมุนของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ได้จากพัลสที่ส่งออกไปมีความกว้างอยู่ระหว่าง 1 มิลลิวินาทีจนถึง 2 มิลลิวินาที ถ้าอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นแบบหมุนได้ 90 องศา ตำแหน่งความกว้างพัลสที่ 1 มิลลิวินาทีจะเป็นมุม -45 องศา ตำแหน่งความกว้างพัลสที่ 1.5 มิลลิวินาทีจะเป็นมุม 0 องศา และตำแหน่งความกว้างพัลสที่ 2 มิลลิวินาทีจะเป็นมุม +45 องศา และอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์แบบหมุนได้ 180 องศา ตำแหน่งความกว้างพัลสที่ 1 มิลลิวินาทีจะเป็นมุม -90 องศา ตำแหน่งความกว้างพัลสที่ 1.5 มิลลิวินาทีจะเป็นมุม 0 องศา และตำแหน่งความกว้างพัลสที่ 2 มิลลิวินาทีจะเป็นมุม +90 องศา



รูปที่ 2.1 คลื่นสัญญาณควบคุมการทำงานของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์

2.2 แผงวงจรควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์

1) Mini Serial Servo Controller II



รูปที่ 2.2 แผงวงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ Mini SSC II

แผงวงจรควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ใช้ของบริษัท Scott Edwards Electronics, Inc. รุ่น Mini Serial Servo Controller II ที่จะเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายอนุกรมที่มีอัตราการส่งข้อมูลได้ 9600 บิตต่อวินาที และสามารถควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ได้ 8 ตัวพร้อมกันต่อ 1 แผงวงจร และสามารถควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ได้ 16 ตัวพร้อมกันต่อ 1 สายอนุกรมโดยการนำแผงวงจรสองแผงมาต่ออนุกรมกัน

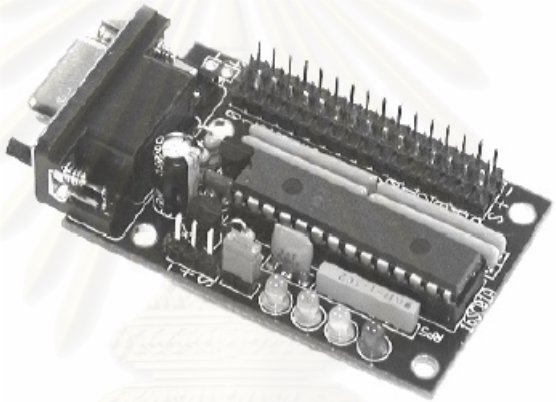
คำสั่งที่ใช้ในการควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัว จะเป็นคำสั่งที่มีความยาว 3 ไบต์ โดยไบต์ที่ 1 มีค่าเป็น 255 เพื่อกำหนดจุดเริ่มต้นของคำสั่ง ไบต์ที่ 2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 254 เพื่อกำหนดหมายเลขของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ที่ต้องการควบคุม และไบต์ที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 254 เช่นกัน เพื่อกำหนดตำแหน่งองศาการหมุนของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ แผงวงจรควบคุมกำหนดการหมุนของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวเลขตำแหน่งทำให้

ตัวเลขแต่ละตัวไปสัมพันธ์กับมุมการหมุนของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ ถ้าอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ที่ต้องการควบคุมสามารถหมุนได้ 180 องศานั้นหมายความว่าตัวเลขแต่ละตัวที่กำหนดลงไปจะสามารถควบคุมการหมุนได้ละเอียดสูงสุดไม่เกิน 0.72 องศา ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 5 หมุนไปองศาที่ +90 จะต้องส่งข้อมูลดังต่อไปนี้ 255,5,254 แต่อย่างไรก็ตามอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวจะมีองศาในการหมุนไม่ตรงกันถึงแม้ว่าจะส่งตัวเลขเดียวกันก็ตาม ซึ่งต้องปรับชดเชยในการควบคุม

Byte 1	Byte 2	Byte 3
Sync marker	Servo Number	Position
255	0 - 254	0 - 254

ตารางที่ 5.1 แสดงโครงสร้างคำสั่งสำหรับแผงวงจรควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ Mini SSC II

2) Pololu Serial Servo Controller



รูปที่ 2.3 แผงวงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ของ Pololu

แผงวงจรควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ใช้ของบริษัทPololu, Inc. รุ่น Pololu Serial 16-Servo Controller ที่จะเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายอนุกรมที่มีอัตราการส่งข้อมูลได้ 38,400 บิตต่อวินาที และสามารถควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ได้ 16 ตัวพร้อมกันต่อ 1 แผงวงจร และสามารถควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ได้ 32 ตัวพร้อมกันต่อ 1 สายอนุกรม โดยการนำแผงวงจรมาต่ออนุกรมกัน มีความละเอียดในการควบคุมตำแหน่งของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ถึง 0.1 องศา

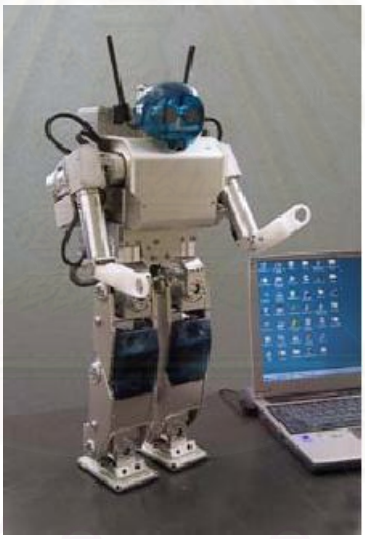
คำสั่งที่ใช้ในการควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัว จะเป็นคำสั่งที่มีความยาว 6 ไบต์ โดยไบต์ที่ 1 จะต้องมีค่าเป็น 128 เพื่อกำหนดจุดเริ่มต้นของคำสั่ง ไบต์ที่ 2 มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 เพื่อกำหนดหมายเลขของแผงวงจรควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ที่ต้องการควบคุม ไบต์ที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5 เพื่อสั่งคำสั่งที่ต้องการ ไบต์ที่ 4 มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 32 คือหมายเลขของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ที่ต้องการควบคุม ไบต์ที่ 5 และ 6 มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 127 คือข้อมูลที่ต้องการส่งให้อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัว ตำแหน่งองศาการหมุนของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ แผงวงจรควบคุมกำหนดการหมุนของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวเลขตำแหน่งทำให้ตัวเลขแต่ละตัวไป

สัมพันธ์กับมุมการหมุนของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ ถ้าอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ที่ต้องการควบคุมสามารถหมุนได้ 180 องศานั้นหมายความว่าตัวเลขแต่ละตัวที่กำหนดลงไปจะสามารถควบคุมการหมุนได้ละเอียดสูงสุดไม่เกิน 0.1 องศา ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 5 หมุนไปองศาที่ +90 จะต้องส่งข้อมูลดังต่อไปนี้ 128,1,4,5,11,184 แต่อย่างไรก็ตามอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวจะมีองศาในการหมุนไม่ตรงกันถึงแม้ว่าจะส่งตัวเลขเดียวกันก็ตาม ซึ่งต้องปรับการควบคุมโดยการทดลองให้มอเตอร์แต่ละตัวทำงานเพื่อค้นหาตำแหน่ง 0 องศาของมอเตอร์แต่ละตัว

Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6
Sync	Board	Command	Servo Num	Data1	Data2
128	1 - 2	1 - 5	1 - 32	0 - 127	0 - 127

ตารางที่ 5.2 แสดงโครงสร้างคำสั่งสำหรับแผงวงจรควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ Pololu

2.3 หุ่นยนต์สองขา



รูปที่ 2.4 แสดงหุ่นยนต์สองขาของบริษัท Fujitsu รุ่น HOAP-1

หุ่นยนต์สองขาคือหุ่นยนต์ที่มีลักษณะใกล้เคียงมนุษย์มากที่สุด โดยหุ่นยนต์จะถูกสร้างให้ส่วนขามีการทำงานใกล้เคียงกับมนุษย์ คือมีจุดหมุนที่บริเวณข้อต่อต่างๆของขาเพื่อให้สามารถทำท่าทางของขาเลียนแบบขามนุษย์ได้มากที่สุด โดยยังไม่สนใจจุดหมุนต่างๆของฝ่าเท้าเนื่องจากมีความซับซ้อนสูง หุ่นยนต์สองขาที่มนุษย์สร้างขึ้นมีด้วยกันหลายแบบขึ้นอยู่กับจำนวนจุดหมุนที่สร้างไว้ในขาแต่ละข้าง ถ้าจุดหมุนมีจำนวนระหว่าง 2 ถึง 5 ต่อข้างจะเน้นการทำงานในลักษณะเดินตรงเพราะฝ่าเท้าไม่สามารถบิดทำมุมกับร่างกายได้ ในปัจจุบันหุ่นยนต์ที่มีจำนวนจุดหมุนมากที่สุดคือ 6 จุดหมุนต่อข้าง ทำให้สามารถเดินตรง และเลี้ยวซ้ายขวาได้ เช่น HONDA ASIMO, Fujitsu HOAP-1

2.4 สมดุลของการเดินของหุ่นยนต์สองขา

ในการเดินแบบสองขานี้ ต้องมีการถ่ายน้ำหนักไปมาระหว่างเท้าซ้ายเท้าขวา มีบางช่วงที่น้ำหนักต้องตกลงบนเท้าข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างพร้อมกัน การเดินได้โดยไม่ล้ม ต้องรักษาสมดุลของการเดินให้ได้ตลอดช่วงเวลาของการเดิน ซึ่งสมดุลของการเดินแบบสองขาสามารถแบ่งตามลักษณะการเดินและการถ่ายน้ำหนักได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

1) การเดินแบบสมดุลสถิต (static balance walking)

การเดินแบบนี้น้ำหนักตัวจะไม่มีการเคลื่อนไหวออกนอกบริเวณฐานรับน้ำหนัก (Supporting Area) ตลอดช่วงเวลาการเดิน ไม่ว่าจะเป็นช่วงเวลาที่รับน้ำหนักด้วยเท้าข้างเดียวหรือทั้งสองข้างก็ตาม ในขณะที่การควบคุมเพื่อการเดินแบบสมดุลสถิตนี้จะทำได้ง่ายกว่า หุ่นยนต์จะใช้เวลาในการก้าวเดินมากและใช้พลังงานในการเดินมากการเดินแบบสมดุลพลวัต สามารถสั่งให้หุ่นหยุดค้างในท่าทางใดๆก็ได้ตลอดช่วงการเดินโดยหุ่นยนต์ไม่ล้ม หุ่นยนต์ที่มีฝ่าเท้าใหญ่จะทำให้ง่ายต่อการก้าวเดินมากขึ้น

2) การเดินแบบสมดุลพลวัต (dynamic balance walking)

คือการเดินที่น้ำหนักตัวสามารถเคลื่อนออกนอกฐานรับน้ำหนักได้ กล่าวในเชิงปฏิบัติการจะทำให้หุ่นยนต์เดินได้แบบสมดุลพลวัตนี้ยากกว่าการเดินแบบสมดุลย์สถิต แต่เป็นการเดินแบบเดียวกับการเดินของมนุษย์ การเดินจะราบรื่นกว่า และเดินได้เร็วกว่าแบบแรก พลังงานที่ใช้ในการเดินก็ใช้น้อยกว่าแบบแรกเนื่องจากมีการใช้ประโยชน์จากแรงโน้มถ่วงของโลกช่วยในการเดิน ไม่สามารถสั่งให้หุ่นหยุดค้างในท่าทางใดๆได้ตลอดช่วงการเดินโดยหุ่นยนต์ไม่ล้ม หุ่นยนต์มีฝ่าเท้าขนาดเล็ก

2.5 จุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์

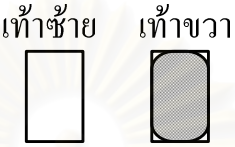
เนื่องจากต้องการให้หุ่นยนต์สามารถทรงตัวได้ทำให้ต้องทราบตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์ตลอดเวลา และต้องให้จุดศูนย์กลางมวลตกในบริเวณรองรับน้ำหนักของหุ่นยนต์โดยหาจากพื้นที่ที่ขาสัมผัสพื้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 บริเวณรองรับน้ำหนักของหุ่นยนต์ (Supporting Area)

ในการก้าวขาเดินของหุ่นยนต์ต้องมีบริเวณที่รองรับจุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์อยู่ได้ โดยไม่ทำให้หุ่นยนต์ล้มหรือเสียการทรงตัว จากลักษณะการเดินของหุ่นยนต์พบว่าบริเวณรองรับน้ำหนักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาที่หุ่นยนต์ก้าวเดินไป สามารถจัดแบ่งบริเวณรองรับน้ำหนักที่เกิดได้ เป็นบริเวณ 3 บริเวณด้วยกัน คือ

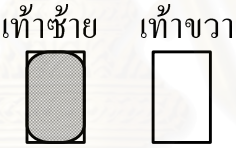
1) บริเวณรับน้ำหนักอยู่ที่ฝ่าเท้าขวา



รูปที่ 2.5 แสดงบริเวณรับน้ำหนักอยู่ที่ฝ่าเท้าขวา

บริเวณรับน้ำหนักอยู่ที่ฝ่าเท้าขวา เกิดเมื่อฝ่าเท้าขวาสัมผัสพื้นเพียงเท้าเดียว หรือจังหวะที่ฝ่าเท้าซ้ายกำลังจะลอยจากพื้น

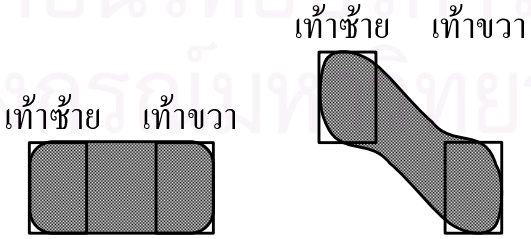
2) บริเวณรับน้ำหนักอยู่ที่ฝ่าเท้าซ้าย



รูปที่ 2.6 แสดงบริเวณรับน้ำหนักอยู่ที่ฝ่าเท้าซ้าย

บริเวณรับน้ำหนักอยู่ที่ฝ่าเท้าซ้าย เกิดเมื่อฝ่าเท้าซ้ายสัมผัสพื้นเพียงเท้าเดียว หรือจังหวะที่ฝ่าเท้าซ้ายกำลังจะลอยจากพื้น

3) บริเวณรับน้ำหนักอยู่บริเวณฝ่าเท้าขวาจนถึงฝ่าเท้าซ้าย



รูปที่ 2.7 แสดงบริเวณรับน้ำหนักอยู่บริเวณฝ่าเท้าขวาจนถึงฝ่าเท้าซ้าย

บริเวณรับน้ำหนักอยู่ที่ฝ่าเท้าขวาจนถึงฝ่าเท้าซ้ายเมื่อฝ่าเท้าทั้งสองสัมผัสพื้นพร้อมกัน

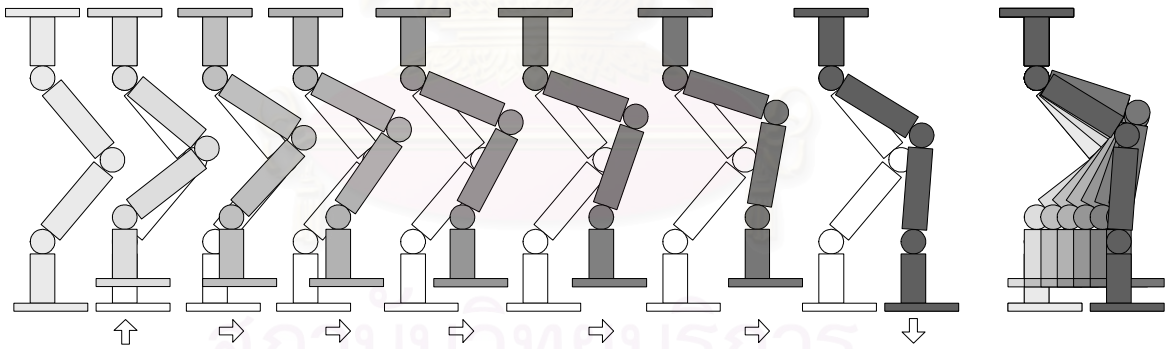
2.7 การก้าวเท้าของหุ่นยนต์

การก้าวเท้าของหุ่นยนต์สามารถแยกพิจารณาการเดินจากการยืนในท่าปลายเท้าเสมอกัน แล้วเริ่มเดินออกไปจนกระทั่งจบที่ท่ายืนปลายเท้าเสมอกันเหมือนท่าเริ่มต้นอีกครั้ง พบว่ามีรูปแบบการก้าวเท้าด้วยกัน 3 รูปแบบ ดังนี้

1) จังหวะการก้าวขาเปิด

เมื่อเริ่มต้นเดินจากท่ายืนปลายเท้าเสมอกัน ต้องมีการก้าวขาครึ่งก้าวก่อนที่จะเข้าสู่จังหวะการเดินปกติ โดยการยกเท้าซ้ายหรือเท้าขวาก้าวไปข้างหน้าครึ่งก้าว

รูปที่ 2.8 แสดงตำแหน่งการวางเท้าเมื่อก้าวขาเปิดจังหวะ



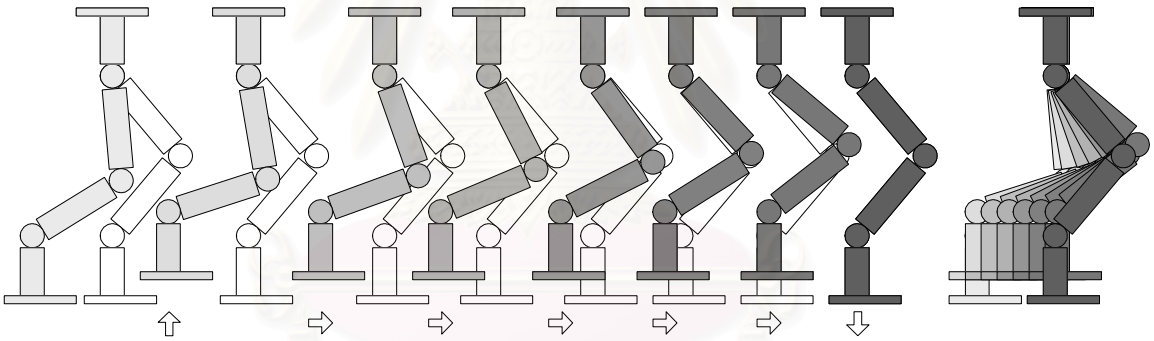
รูปที่ 2.9 แสดงท่าทางของขาเมื่อก้าวขาเปิดจังหวะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) จังหวะการก้าวขาปิด

เมื่อต้องการหยุดการเดินและกลับสู่ท่ายืนปลายเท้าเสมอกัน ต้องมีการก้าวขาครึ่งก้าวก่อนที่จะเข้าสู่ท่ายืนปลายเท้าเสมอกัน

รูปที่ 2.10 แสดงตำแหน่งการวางเท้าเมื่อก้าวขาปิดจังหวะ

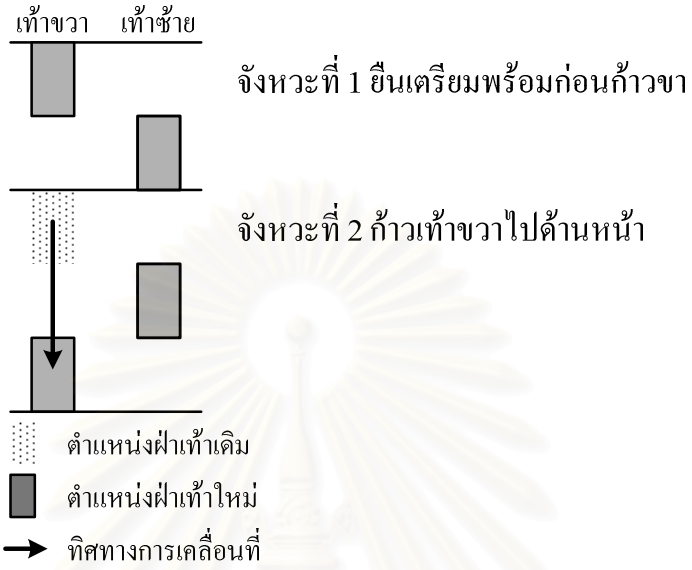


รูปที่ 2.11 แสดงท่าทางของขาเมื่อก้าวขาปิดจังหวะ

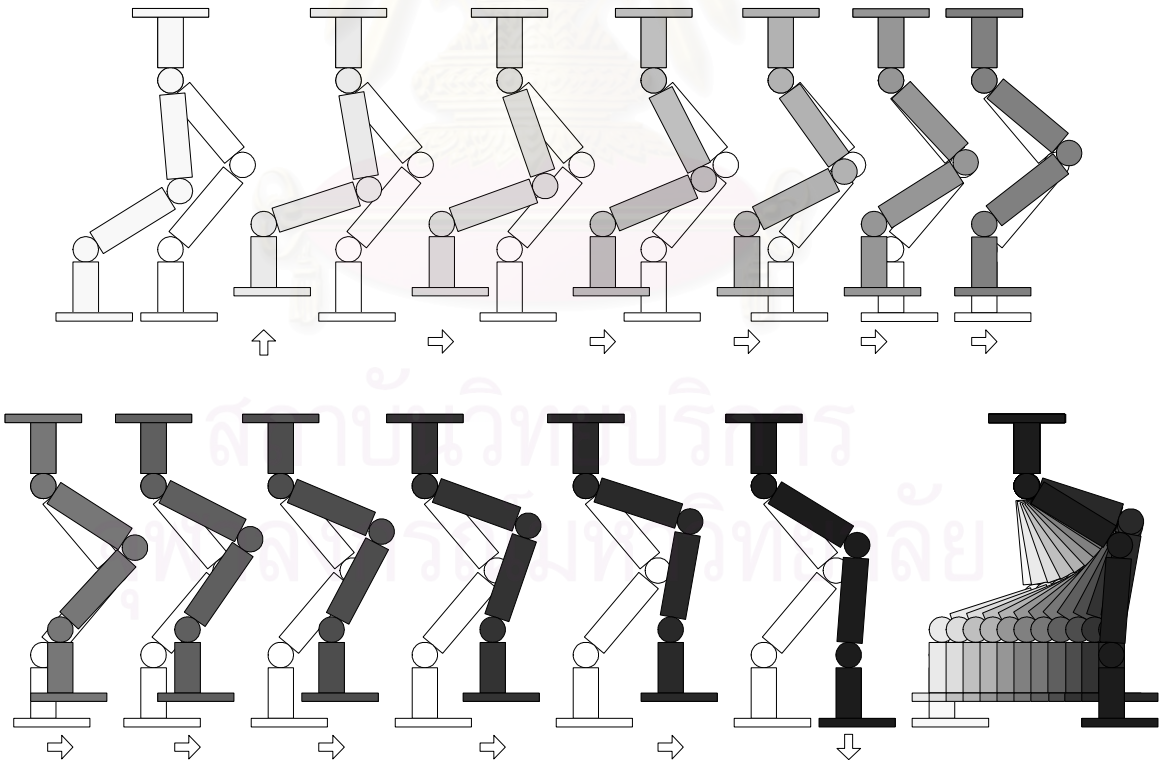
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) จังหวะการก้าวเดิน

เมื่อต้องการเดิน การก้าวเท้าของทั้งสองขาจะเป็นการก้าวเท้าทีละหนึ่งก้าว โดยดึงเท้าจากด้านหลังไปวางไว้ด้านหน้า



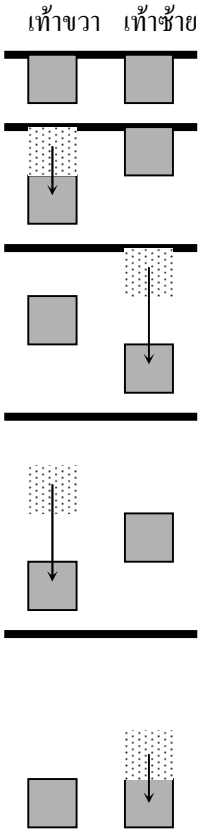
รูปที่ 2.12 แสดงตำแหน่งการวางเท้าเมื่อก้าวเดิน



รูปที่ 2.13 แสดงท่าทางของขาเมื่อก้าวเดิน

2.8 การเดินของหุ่นยนต์

การก้าวเดินของหุ่นยนต์ใช้รูปแบบการก้าวเท้าแบบต่างๆ มาจัดเรียงกันเป็นลำดับ เพื่อให้เกิดการเดินที่สมบูรณ์ โดยจะเริ่มจากท่ายืนปลายเท้าเสมอกันในจังหวะที่ 1 หลังจากนั้นในจังหวะที่ 2 จะเริ่มก้าวขาเปิดจังหวะโดยใช้เท้าซ้ายหรือเท้าขวาก่อนก็ได้ แต่ทำให้จังหวะถัดไปขาที่ก้าวจะต้องตรงกันข้ามกันเสมอ หลังจากนั้นจะเริ่มทำการก้าวขาเดินซ้ายขวาสลับกันในจังหวะที่ 3 และ 4 ปิดท้ายด้วยการก้าวขาปิดจังหวะเพื่อกลับสู่ท่าเริ่มต้นในจังหวะที่ 5 จะพบว่าในจังหวะที่ 2 ซึ่งเป็นท่าเริ่มต้นของจังหวะที่ 3 และท่าจบของจังหวะที่ 4 จะเป็นท่าเดียวกัน ทำให้สามารถที่จะใช้จังหวะที่ 3 และจังหวะที่ 4 มาทำซ้ำอีกเพื่อให้เกิดการเดินอย่างต่อเนื่องได้



จังหวะที่ 1 ท่ายืนเตรียมพร้อมปลายเท้าเสมอกัน

จังหวะที่ 2 ก้าวเท้าขวาไปด้านหน้าโดยใช้การก้าวเท้าเปิดจังหวะครึ่งก้าว

จังหวะที่ 3 ก้าวเท้าซ้ายไปด้านหน้าโดยใช้การก้าวเดินหนึ่งก้าว

จังหวะที่ 4 ก้าวเท้าขวาไปด้านหน้าโดยใช้การก้าวเดินหนึ่งก้าว

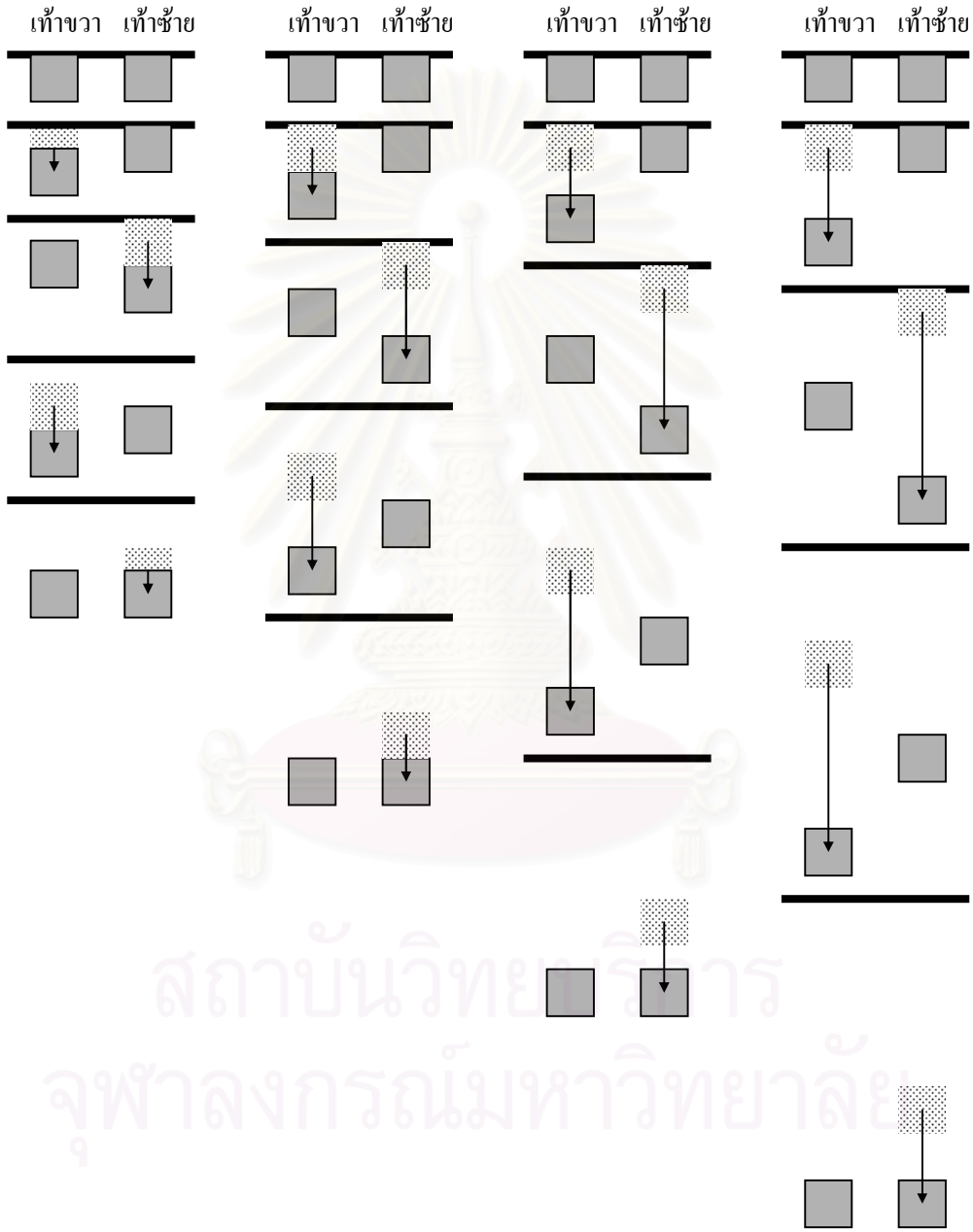
จังหวะที่ 5 ก้าวเท้าซ้ายไปด้านหน้าโดยใช้การก้าวเท้าปิดจังหวะครึ่งก้าว

รูปที่ 2.14 แสดงตำแหน่งการวางฝ่าเท้าทั้งสองข้างการจังหวะการก้าวขาเดินของหุ่นยนต์สองขา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระยะการก้าวเท้า

การยกฝ่าเท้าในลักษณะต่างๆแล้วยังมีการกำหนดระยะการก้าวเท้าของหุ่นยนต์ที่แตกต่างกัน ระยะการก้าวเท้าที่น้อยทำให้โอกาสที่หุ่นยนต์ล้มเกิดขึ้นน้อย ระยะการก้าวเท้าของหุ่นยนต์ทำให้จุดศูนย์กลางมวลเลื่อนออกนอกพื้นที่รองรับ หรือใกล้ขอบเขตพื้นที่รองรับทำให้การทรงตัวของหุ่นยนต์เข้าใกล้จุดวิกฤตที่จะทำให้หุ่นยนต์ล้มได้ แต่ระยะการก้าวเท้าจะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้

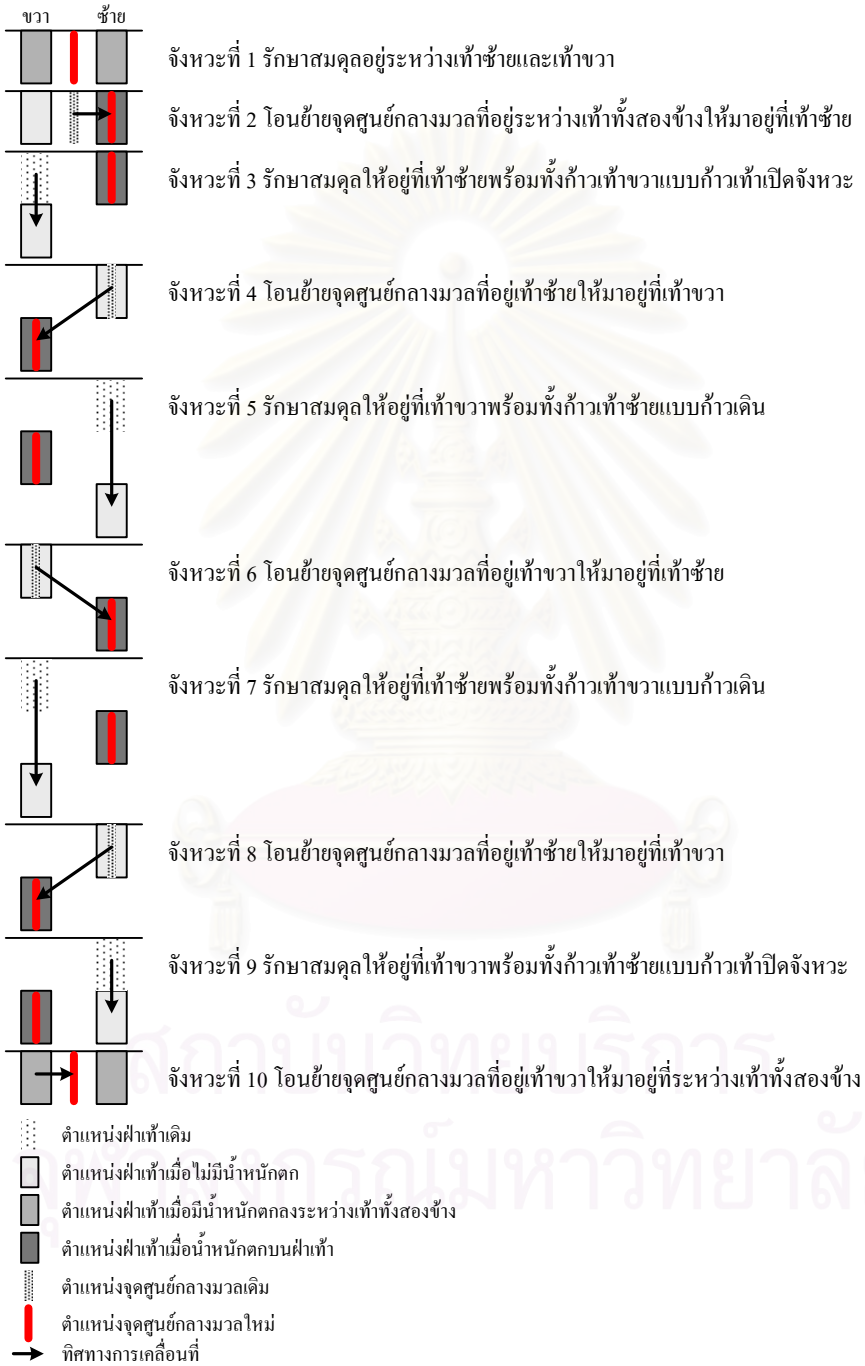


รูปที่ 2.15 แสดงตำแหน่งการวางฝ่าเท้าของขาทั้งสองข้างเมื่อมีระยะการก้าวเท้าที่แตกต่างกัน

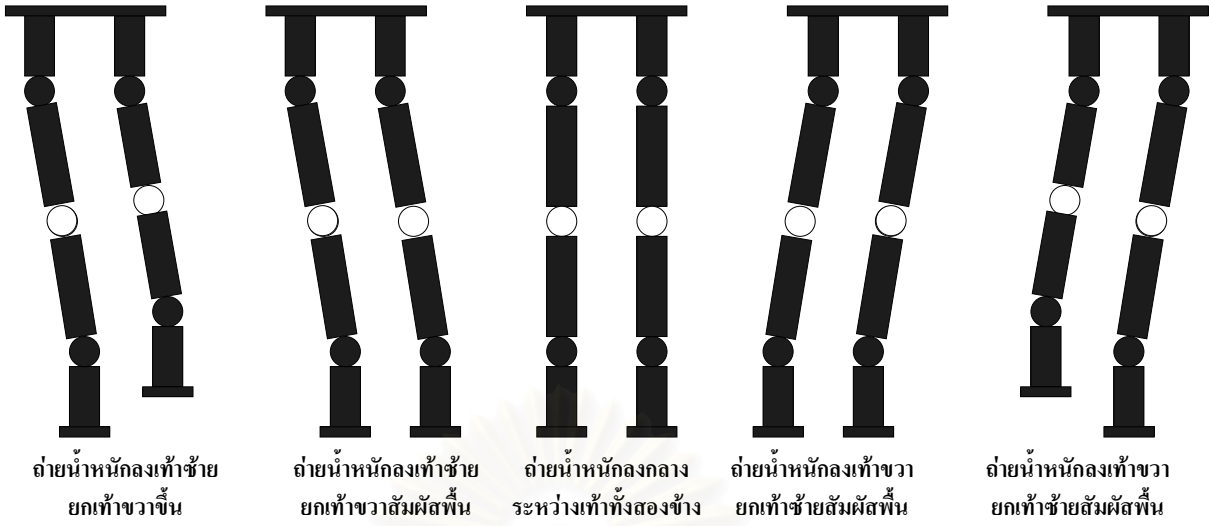
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.9 การถ่ายน้ำหนักของหุ่นยนต์

จากหัวข้อก่อนหน้านี้กล่าวถึงการก้าวเท้า และการเดิน โดยไม่มีการถ่ายน้ำหนักหรือรักษาสมดุลของหุ่นยนต์ การขยับของหุ่นยนต์จะส่งผลให้หุ่นยนต์เสียสมดุลและล้มได้ ดังนั้นต้องมีขั้นตอนของการรักษาสมดุลเข้าไปในขั้นตอนการเดินทุกๆขั้นตอน



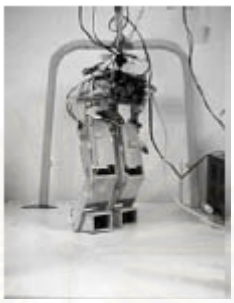
รูปที่ 2.16 แสดงการเคลื่อนที่และตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล



รูปที่ 2.17 แสดงท่าทางและตำแหน่งของเท้าเมื่อถ่ายน้ำหนักมองจากด้านหลังของหุ่นยนต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 3.1 หุ่นยนต์ของคุณชาญชัย ชัยสุขโกศลที่สร้างด้วยไม้

งานวิจัยของ ชาญชัย ชัยสุขโกศล [4] จะทำการวิจัยโดยการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการสังเคราะห์โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ โดยหุ่นยนต์ที่เลือกใช้จะเป็นหุ่นยนต์ที่สร้างจากไม้ทำให้มีน้ำหนักเบาและมีจำนวนของจุดหมุนทั้งหมด 7 จุด เป็นส่วนหาง 1 จุดใช้เพื่อการถ่ายน้ำหนัก จากจำนวนจุดหมุนที่เลือกใช้ 3 จุดต่อขาหนึ่งข้างทำให้การเคลื่อนที่ของขาเป็นการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าหรือหลังเท่านั้น และได้แบ่งส่วนของโปรแกรมออกเป็นขั้นตอนย่อยๆจำนวน 6 ขั้นตอนเพื่อที่จะใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการหาโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แต่ละส่วน ในแต่ละส่วนของโปรแกรมจะใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการสังเคราะห์โปรแกรมจนกระทั่งได้โปรแกรมที่มีคุณภาพโดยการวัดผลจากโปรแกรมหุ่นยนต์จำลองจึงนำไปทดลองกับหุ่นยนต์จริงเพื่อคัดเลือกโปรแกรมที่สามารถทำงานได้นำไปใช้ในการหาโปรแกรมส่วนต่อไป

งานวิจัยของ Sias, F.R. [11] จะกล่าวถึงจำนวนของจุดหมุนที่ขาของหุ่นยนต์ต้องใช้เพื่อช่วยในการทรงตัว จะพบมีหุ่นยนต์สองขาที่มีจำนวนจุดหมุนเพียง 2 จุดหมุนต่อขา ทรงตัวโดยมีตุ่มน้ำหนักเลื่อนไปมาระหว่างซ้ายและขวา ทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถลดความยาวของขาได้ ดังนั้นเมื่อต้องการก้าวขาจะใช้วิธีการถ่ายน้ำหนักเพื่อให้ขาข้างที่ต้องการก้าวลอยจากพื้น หุ่นยนต์สองขาที่มีจำนวนจุดหมุน 3 จุดหมุนต่อขา ทรงตัวโดยมีตุ่มน้ำหนักเลื่อนไปมาระหว่างซ้ายและขวาเช่นเดียวกัน ทำให้หุ่นยนต์สามารถลดความยาวของขาได้เมื่อต้องการก้าวขา แต่เมื่อหุ่นยนต์ทำการถ่ายน้ำหนักจะทำให้ฝ่าเท้าข้างที่รับน้ำหนักสัมผัสพื้นได้ไม่เต็มฝ่าเท้า หุ่นยนต์สองขาที่มีจำนวนจุดหมุน 4 จุดหมุนต่อขา จุดหมุนที่ 4 จะอยู่ที่ข้อเท้า ทรงตัวโดยมีตุ่มน้ำหนักเลื่อนไปมาระหว่างซ้ายและขวาเช่นเดียวกันเนื่องจากไม่สามารถใช้น้ำหนักของร่างกายในการถ่ายน้ำหนักแทนได้ หุ่นยนต์สองขาที่มีจำนวนจุดหมุน 5 จุดหมุนต่อขา จุดหมุนที่ 5 จะอยู่ที่ข้อสะโพก ทรงตัวโดยการเลื่อนน้ำหนักของร่างกายไปมาระหว่างซ้ายและขวาโดยใช้จุดหมุนที่สะโพกและข้อเท้า หุ่นยนต์สามารถที่จะขยับไปทางซ้ายหรือขวาก็ได้ แต่ไม่สามารถเดินเลี้ยวซ้ายหรือขวาได้ หุ่นยนต์สองขาที่มีจำนวนจุดหมุน 6 จุดหมุนต่อขา จุดหมุนที่ 6 จะอยู่ที่ข้อสะโพก ทรงตัวโดยการเลื่อนน้ำหนักของ

ร่างกายไปมาระหว่างซ้ายและขวา สามารถเดินเลี้ยวซ้ายหรือขวาได้ ถือว่าเป็นขาหุ่นยนต์ที่มีลักษณะใกล้เคียงมนุษย์มากที่สุด จากทั้งหมดหุ่นยนต์จะมีระยะก้าวเท้าที่สั้นทำให้ต้องมีการเพิ่มระยะการก้าวโดยการเพิ่มจุดหมุนที่ฝ่าเท้า

งานวิจัยของ Konno, A. [7] จะกล่าวถึงการออกแบบหุ่นยนต์สองขาที่มีจำนวนจุดหมุน 6 จุดหมุนต่อข้าง ให้มีน้ำหนักเบา หุ่นยนต์ที่ถูกสร้างขึ้นมีน้ำหนัก 46.9 กิโลกรัม ควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลใช้หน่วยประมวลผลกลางของ Intel Pentium MMX 233 MHz ติดตั้งอยู่บนตัวหุ่นยนต์พร้อมแบตเตอร์รี่น้ำหนัก 12 กิโลกรัม ที่ฝ่าเท้าติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับแรงกด (Force Sensing Resistor) 12 ตัวทั้งสองข้าง เพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งที่มีค่าโมเมนต์เป็นศูนย์ (Zero Moment Point, ZMP) การออกแบบหุ่นยนต์เริ่มจากทำการทดลองในแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์เพื่อหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของ ZMP และแรงบิดในข้อต่อต่างๆ เมื่อได้คำตอบจึงนำข้อมูลมาใช้ในการสร้างหุ่นยนต์ โดยหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นจะต้องสามารถลุกขึ้นยืนสองเท้าเสมอกันได้จากท่านั่งคุกเข่า

งานวิจัยของ Sorao, K. [12] จะกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่มีค่าโมเมนต์เป็นศูนย์ (Zero Moment Point, ZMP) และจุดศูนย์กลางมวล (Center of Gravity, COG)

งานวิจัยของ Arakawa, T. [1] จะกล่าวถึงการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการทำให้หุ่นยนต์สองขาเคลื่อนที่ได้อย่างเป็นธรรมชาติ และใช้พลังงานน้อยที่สุด การเรียนรู้จะเกิดในแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ก่อน เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้วจึงนำไปทดสอบกับหุ่นยนต์จริงเพื่อยืนยันผลการทดลอง นอกจากนี้ยังกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมหุ่นยนต์ดังนี้ ฝ่าเท้าทั้งสองข้างจะต้องขนานกับพื้นตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้ฝ่าเท้าทั้งสองข้างมาชนกัน เอวจะต้องขนานกับพื้นตลอดเวลาเช่นเดียวกัน

งานวิจัยของ Qiang, Huang. [9] จะกล่าวถึงการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของฝ่าเท้า และเอว การเปิดส้นเท้าเมื่อเริ่มต้นการก้าวขา และเมื่อจบการก้าวขาเพื่อเพิ่มความเร็วในการเดิน การวางแผนการเดินจะเริ่มจากการกำหนดความเร็วของการเดินและระยะช่วงการก้าวขา หลังจากนั้นกำหนดเงื่อนไขให้กับฝ่าเท้าและคำนวณเส้นทางการเคลื่อนที่ของฝ่าเท้า จากนั้นกำหนดเงื่อนไขให้กับสะโพกและคำนวณเส้นทางการเคลื่อนที่ของสะโพก จากนั้นคำนวณหาตำแหน่งที่มีค่าโมเมนต์เป็นศูนย์ (ZMP) และระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่มีค่าโมเมนต์เป็นศูนย์กับขอบบริเวณรองรับของฝ่าเท้า (Stability margin) นำผลที่ได้ไปคำนวณหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของสะโพกใหม่เพื่อที่จะเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ของสะโพกที่ทำให้หุ่นยนต์มีการทรงตัวมากที่สุด การทดลองจะทำการทดลองในแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ก่อน เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้วจึงนำไปทดสอบกับหุ่นยนต์จริงเพื่อยืนยันผลการทดลอง

งานวิจัยของ Sang-Ho, Choi. [10] จะกล่าวถึงวิธีการที่จะลดการกระตุกหรือสะบัดของหุ่นยนต์เมื่อมีการเดิน โดยการควบคุมความเร็วและความเร่งของจุดหมุนทุกจุดเพื่อให้เส้นทางการเคลื่อนที่ตำแหน่งที่มีค่าโมเมนต์เป็นศูนย์ (ZMP) อยู่ในเส้นทางที่กำหนดไว้ โดยได้กำหนดท่าทางการเดินไว้ 3 รูปแบบคือ เมื่อเริ่มต้นเดิน กำลังเดิน และสิ้นสุดการเดิน นอกจากนี้ยังแบ่งท่าทางการเดินออกเป็น 2 ลักษณะคือ เท้าซ้าย และเท้าขวา โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบ

บทที่ 4

การออกแบบและสร้างหุ่นสองขาขนาดเล็ก

4.1 ความต้องการ

หุ่นยนต์สองขาที่ต้องการสร้าง เป็นหุ่นยนต์สองขาที่มีเฉพาะส่วนเอวจนถึงเท้า มีจำนวนจุดหมุน 5 จุดหมุนต่อขา มีน้ำหนักไม่มากกว่า 3 กิโลกรัม ใช้พลังงานจากภายนอก สามารถควบคุมโดยตรงจากเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายอนุกรม การควบคุมเป็นแบบระบบเปิด ไม่มีการติด Sensor ใดๆบนตัวหุ่น หุ่นยนต์ต้องสามารถยืนตรงบนเท้าทั้งสองข้างได้โดยไม่ล้ม สามารถยกขาข้างใดข้างหนึ่งให้ลอยจากพื้นไม่น้อยกว่า 1-2 เซนติเมตร และยืนได้ด้วยเพียงขาข้างเดียวได้โดยไม่ล้ม หุ่นยนต์ที่ต้องการต้องสามารถรักษาตำแหน่งของจุดหมุนต่างๆได้ตามที่สั่ง โดยไม่มีการบิดเบี้ยวหรือทรุดตัวของโครงสร้างทำให้มีท่าทางที่ผิดไปจากที่กำหนด

1) วัสดุที่เลือกใช้สำหรับโครงสร้าง

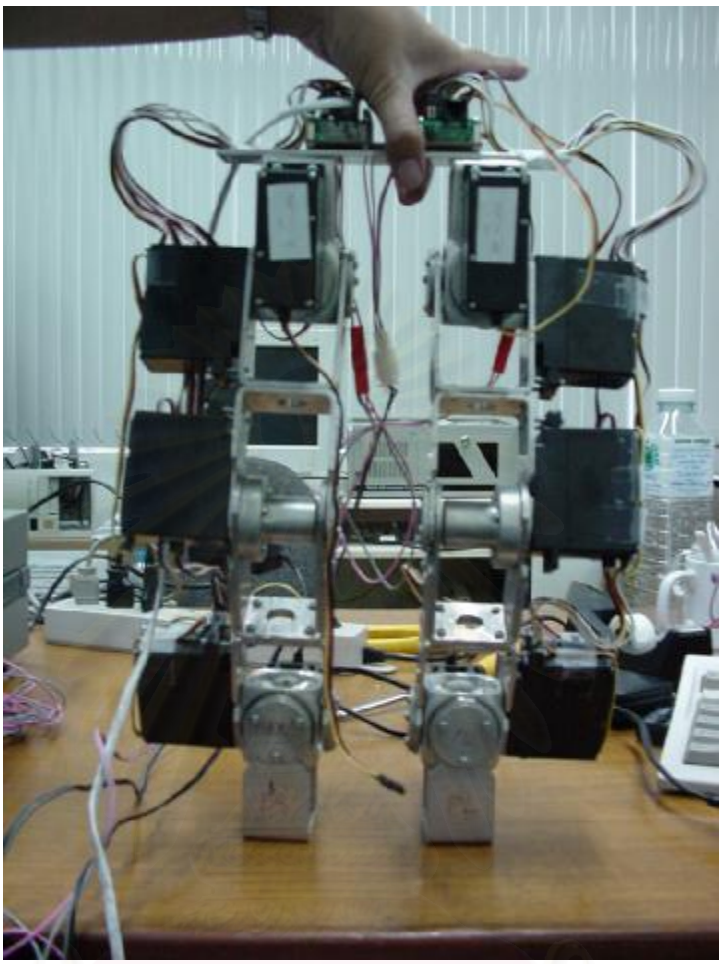
ได้ทำการหาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์ขนาดเล็กจากที่ต่างๆ พบว่ามีการเลือกใช้วัสดุในการสร้างโครงสร้างหุ่นยนต์ที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นอลูมิเนียม ไม้ และพลาสติก แต่พบว่ามีการใช้อลูมิเนียมเป็นจำนวนมาก เนื่องจากอลูมิเนียมมีความแข็งแรงและยืดหยุนน้อย เมื่อหุ่นยนต์ทำท่าทางในลักษณะต่างๆจะสามารถคงอยู่ในท่าที่ต้องการได้ แต่อลูมิเนียมมีความแข็งมากต้องใช้เครื่องจักรพิเศษในการขึ้นรูป

2) มอเตอร์ส่วนขับเคลื่อน

ได้ทำการหาข้อมูลเกี่ยวกับมอเตอร์ที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์ขนาดเล็ก พบว่ามีการใช้มอเตอร์ที่แตกต่างกันดังนี้ ดีซีมอเตอร์, ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ และอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ พบว่ากลุ่มที่เลือกใช้อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์มีจำนวนมากที่สุดเพราะมีราคาถูก หาซื้อง่าย ขนาดเล็ก น้ำหนักน้อย และมีเฟืองทดในตัว สามารถควบคุมได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือ ไม่สามารถเลือกแรงบิดของมอเตอร์ที่แรงบิดสูงตามที่ต้องการได้ ในการสร้างหุ่นยนต์ได้ทำการเลือกใช้มอเตอร์แบบอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

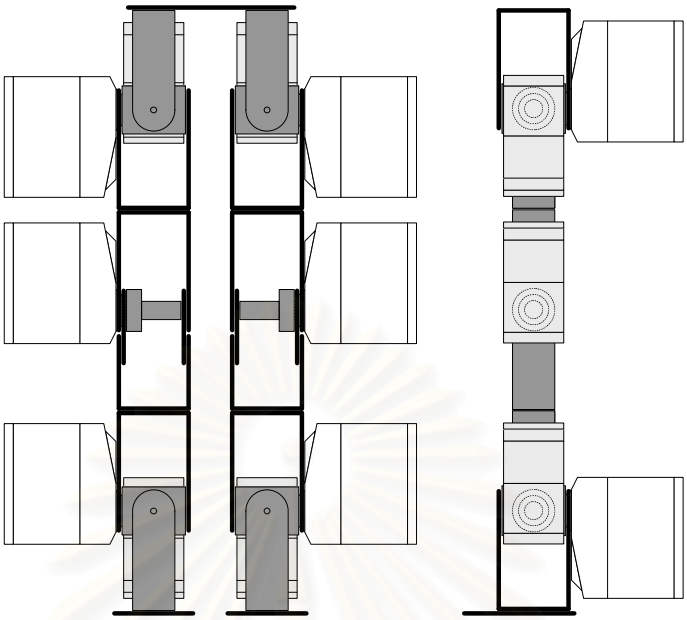
4.2 หุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่หนึ่ง



รูปที่ 4.1 หุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่หนึ่ง

แนวความคิดในการออกแบบหุ่นยนต์สองขาตัวแรกคำนึงถึงการขึ้นรูปโครงสร้างที่ทำจากอลูมิเนียม เนื่องจากอลูมิเนียมมีหลายลักษณะให้เลือกใช้งาน เช่น ใช้อลูมิเนียมก้อนมาทำการกัดไสให้ได้รูปทรงตามที่ต้องการ หรือใช้อลูมิเนียมแผ่นมาทำการพับให้ได้รูปทรงตามที่ต้องการ ได้ทำการออกแบบทั้งสองรูปแบบพร้อมกันโดยด้านหนึ่งติดต่อไปที่ ศูนย์ CNC แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เพื่อทำการเขียนแบบ 3 มิติตามที่ผู้วิจัยออกแบบไว้ หลังจากที่ได้ทำการเขียนแบบแล้วเสร็จ ทางเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์แจ้งว่าไม่สามารถสร้างต้นแบบให้ได้เนื่องจากชิ้นงานมีขนาดเล็กและบางเกินกว่าที่จะใช้เครื่องจักรกัดให้ได้ทำให้ต้องยกเลิกแนวความคิดนี้ แนวทางที่สองเลือกใช้อลูมิเนียมแผ่นมาทำการพับขึ้นรูปแทนในส่วนโครงสร้าง ส่วนข้อต่อต่างๆใช้วิธีการกลึงขึ้นรูปจากอลูมิเนียมก้อน โดยแนวทางนี้ได้ว่าจ้างโรงกลึงโลหะที่รับจ้างขึ้นรูปโลหะให้กับโรงงานอุตสาหกรรมแทน

1) โครงสร้างและองค์ประกอบ



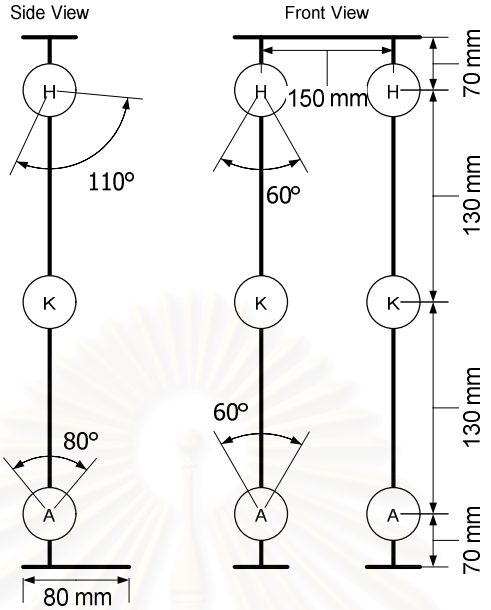
รูปที่ 4.2 โครงสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่หนึ่ง มุมมองด้านหน้า และด้านข้าง

หุ่นยนต์ต้นแบบตัวแรกที่สร้างเสร็จสมบูรณ์ โครงสร้างหลักทำจากอลูมิเนียมเส้นหนา 4 มิลิเมตร ขึ้นรูปเป็นตัวยูด้วยเครื่องพับไฮโดรลิค ส่วนจุดหมุนหรือข้อต่อต่างๆสร้างจากอลูมิเนียมก้อน มาทำการขึ้นรูปด้วยการกลึงไส โครงสร้างทั้งหมดสร้างจากอลูมิเนียมสามารถประกอบเป็นหุ่นยนต์ได้โดยไม่ต้องทำการติดตั้งมอเตอร์ การติดตั้งมอเตอร์สามารถติดตั้งภายหลัง และสามารถเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ได้ในกรณีที่มอเตอร์เกิดปัญหาขึ้น มอเตอร์ทุกตัวจะถูกติดตั้งไว้ภายนอกโครงสร้างหุ่นยนต์ เพื่อให้สามารถถอดออกได้ง่าย การขับเคลื่อนจะเป็นการขับเคลื่อนโดยตรงจากมอเตอร์โดยไม่มีการติดตั้งเฟืองทดเพิ่มเติมจากมอเตอร์มาตรฐาน เนื่องจากต้องการตำแหน่งที่ถูกต้องจากมอเตอร์โดยตรง หุ่นยนต์ที่ได้จะมีน้ำหนักรวมมอเตอร์ 3.5 กิโลกรัม ส่วนสูง 40 เซนติเมตร โครงสร้างมีความกว้าง 19 เซนติเมตร ความกว้างรวมมอเตอร์ 30 เซนติเมตร

2) ระบบขับเคลื่อน

เลือกใช้มอเตอร์แบบอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์รุ่น Hitec HS-805BB มีคุณสมบัติดังนี้ มีแรงบิด 24.7 kg.cm มีความเร็ว 428.5 องศา/วินาที ที่ 6 โวต์ ขับเคลื่อนโดยตรงโดยไม่การดัดแปลงมอเตอร์

3) ขนาดและมิติของหุ่นยนต์



รูปที่ 4.3 ขนาดและองศาการหมุนของหุ่นยนต์ต้นแบบที่หนึ่ง

หุ่นยนต์ที่ใช้มีขนาดโดยประมาณ กว้าง 30 เซนติเมตร หนา 16 เซนติเมตร ขณะยืนยืดขาสุดมีความสูง 40 เซนติเมตร และมีน้ำหนัก 3,500 กรัม ขาท่อนบนและท่อนล่างยาว 13 เซนติเมตร ฝ่าเท้ามีขนาด 5 x 7 ตารางเซนติเมตร แผงวงจรควบคุมขนาดเล็กถูกติดตั้งไว้บริเวณเอวของหุ่นยนต์ และสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม ในแต่ละข้อต่อจะมีขอบเขตการหมุนที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.3

4) ระบบควบคุม

เลือกใช้แผงวงจรควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ของบริษัท Scott Edwards Electronics, Inc. รุ่น Mini Serial Servo Controller II ต่ออนุกรมกันจำนวน 2 แผง โดยแยกกันควบคุมขาแต่ละข้าง

5) ผลการทำงาน

- หุ่นยนต์ไม่สามารถเดินได้เนื่องจากไม่สามารถยกขาข้างใดข้างหนึ่งให้ลอยจากพื้นได้ แต่สามารถยืนบนเท้าทั้งสองข้างแล้วโยกตัวเพื่อถ่ายน้ำหนัก ย่อเข่าแล้วยืดขาตรงได้

6) ปัญหาที่พบ

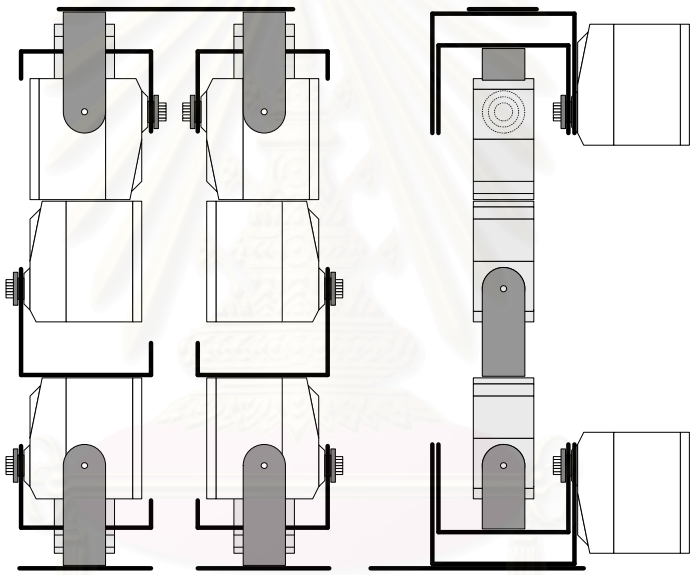
- หุ่นยนต์ไม่สามารถยกขาให้ลอยจากพื้นได้เนื่องจากโครงสร้างอลูมิเนียมมีน้ำหนักมาก การติดตั้งมอเตอร์ทำการติดตั้งไว้ภายนอกโครงสร้างทำให้ต้องใช้แรงบิดสูงเพื่อที่จะยกขาขึ้น
- อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์แบบอะนาล็อกไม่สามารถสร้างแรงบิดได้มากในการสั่งให้หมุนในช่วงแคบๆ อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์แบบอะนาล็อกจะสามารถสร้างแรงบิดสูงสุดได้เมื่อสั่งให้หมุนในช่วงกว้าง

มากกว่า 2-3 องศา ถ้าสั่งให้มอเตอร์หมุนในช่วงสั้นๆแต่ต่อเนื่องกันตามลักษณะการเดินของหุ่นยนต์จะไม่มีแรงยกขาขึ้น

- อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์แบบอะนาล็อกไม่สามารถค้างในตำแหน่งที่กำหนดได้เมื่อมีภาระสูงมากๆ เนื่องจากมอเตอร์ทำงานเมื่อตรวจจับได้ว่าอยู่นอกตำแหน่งที่กำหนด และเมื่อมอเตอร์หมุนมาถึงจุดที่กำหนดมอเตอร์หยุดทำงานทันที่ทำให้ ไม่มีการรักษาแรงบิดในตำแหน่งที่กำหนด เมื่อไม่มีแรงบิดเพียงพอทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถคงลักษณะท่าทางตามที่กำหนดได้
- มอเตอร์มีอัตราส่วนระหว่างแรงบิดที่ทำได้ต่อน้ำหนักมอเตอร์น้อย ทำให้แรงบิดที่มีอยู่ถูกใช้ในการยกมอเตอร์ไม่ใช้โครงสร้างของหุ่นยนต์ มอเตอร์ทั้งหมดมีน้ำหนักรวมทั้งหมด 1,520 กรัม

4.3 หุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สอง

1) โครงสร้างและองค์ประกอบ



รูปที่ 4.4 โครงสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สอง มุมมองด้านหน้า และด้านข้าง

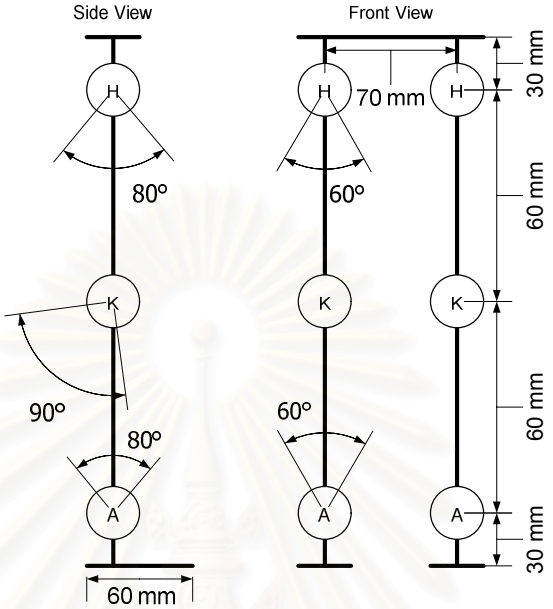
โครงสร้างใช้อลูมิเนียมเส้นขนาด 2 มิลิเมตรตัดและพับขึ้นรูปเฉพาะส่วนที่เป็นข้อต่อ ในส่วนอื่นๆใช้มอเตอร์เป็นโครงสร้างของขาหุ่นยนต์ไปในตัวเนื่องจากหุ่นยนต์ต้นแบบตัวแรกมีน้ำหนักมากเกินไป และน้ำหนักของมอเตอร์ที่เพิ่มขึ้นส่วนนอกของโครงสร้างทำให้ต้องใช้มอเตอร์ที่มีแรงบิดสูงเพื่อที่จะทำให้หุ่นยนต์สามารถยืนได้ด้วยขาเพียงข้างเดียว

2) ระบบขับเคลื่อน

หุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สองได้ทำการเปลี่ยนมอเตอร์จาก Hitec HS-815BB ที่มีอัตราส่วนแรงบิดต่อน้ำหนัก 162.5 g.cm/g ไปเป็น Hitec HS-5945 MG ที่มีอัตราส่วนแรงบิดต่อน้ำหนัก 232.1 g.cm/g ที่ 6 โวต์ และมี Holding Torque 45 kg.cm อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์รุ่น Hitec HS-

5945MG มีคุณสมบัติดังนี้ มีแรงบิด 13 kg.cm มีความเร็ว 461.5 องศา/วินาที ที่ 6 โวต์ ขับเคลื่อนโดยตรงโดยไม่มีการดัดแปลงมอเตอร์

3) ขนาดและมิติของหุ่นยนต์



รูปที่ 4.5 ขนาดและองศาการหมุนของหุ่นยนต์ต้นแบบที่สอง

หุ่นยนต์ที่ใช้มีขนาดโดยประมาณ กว้าง 12 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร ขณะยืนยืดขาสุดมีความสูง 21 เซนติเมตร และมีน้ำหนัก 800 กรัม ขาท่อนบนและท่อนล่างยาว 6 เซนติเมตร ฝ่าเท้ามีขนาด 5 x 7 ตารางเซนติเมตร แผงวงจรควบคุมขนาดเล็กถูกติดตั้งไว้บริเวณเอวของหุ่นยนต์ และสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม ในแต่ละข้อต่อจะมีขอบเขตการหมุนที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.5

4) ระบบควบคุม

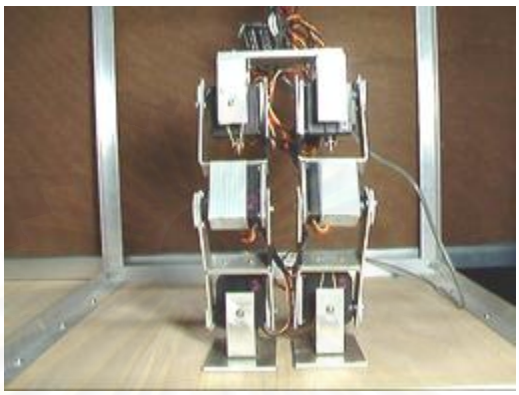
เลือกใช้แผงวงจรควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ของบริษัท Scott Edwards Electronics, Inc. รุ่น Mini Serial Servo Controller II ต่ออนุกรมกันจำนวน 2 แผง โดยแยกกันควบคุมขาแต่ละข้าง

5) ปัญหาที่พบ

- มีการทรุดตัวของโครงสร้างทำให้ท่าทางของหุ่นยนต์ที่ต้องการไม่ตรงกับท่าทางของหุ่นยนต์ตัวจริง เนื่องจากจุดเชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างของหุ่นยนต์กับมอเตอร์ใช้พลาสติกในการเชื่อมต่อ และจุดยึดระหว่างโครงสร้างของหุ่นยนต์กับมอเตอร์มีเพียงจุดเดียว ทำให้เกิดการทรุดตัวมากขึ้นเมื่อหุ่นยนต์ยืนด้วยเท้าเพียงข้างเดียว

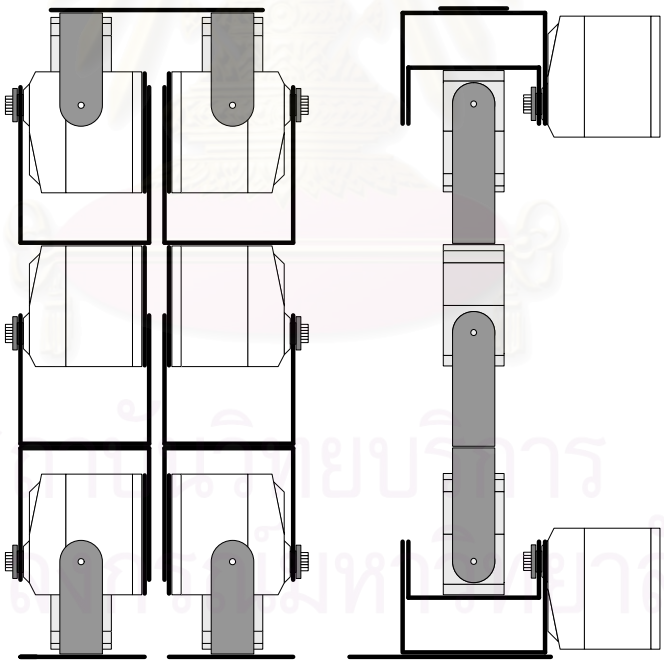
- ระบบควบคุมหุ่นยนต์มีความละเอียดไม่เพียงพอ การหมุนจุดหมุนแต่ละครั้งจะหมุนที่ 0.7 องศาทำให้หุ่นยนต์ไม่มีเสถียรภาพ มีอาการสั่นหรือแกว่งทุกครั้งเมื่อมอเตอร์มีการเคลื่อนไหว ไม่สามารถสั่งให้ฝ่าเท้าอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการได้บางตำแหน่งเนื่ององศาการหมุนของจุดหมุน

4.4 หุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สาม



รูปที่ 4.6 หุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สาม

1) โครงสร้างและองค์ประกอบ



รูปที่ 4.7 โครงสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สาม มุมมองด้านหน้า และด้านข้าง

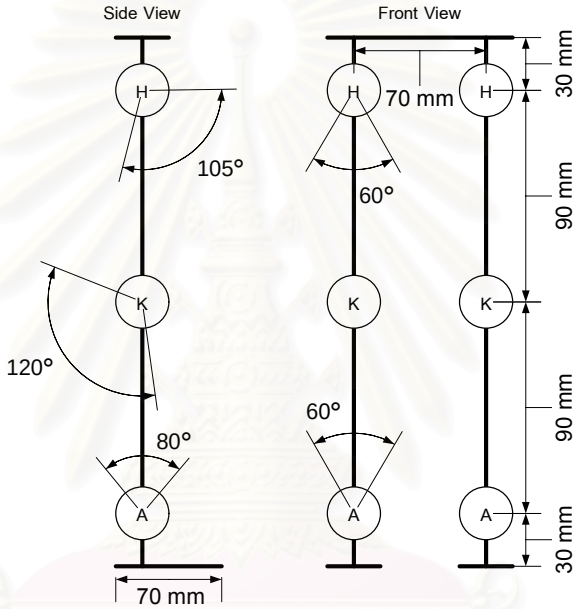
โครงสร้างใช้อลูมิเนียมแผ่นขนาด 2 มิลิเมตรตัดเป็นเส้นกว้าง 20 มิลิเมตร ตัดและพับขึ้นรูปเฉพาะส่วนที่เป็นข้อต่อ ในส่วนอื่นๆใช้มอเตอร์เป็นโครงสร้างของขาหุ่นยนต์ โดยมีการเสริมจุดยึดใน

ด้านตรงข้ามกับจุดหมุนของมอเตอร์เพื่อให้หุ่นยนต์ไม่เกิดการทรุดตัวเมื่อต้องทรงตัวด้วยขาเพียงข้างเดียวเหมือนหุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สอง ทำให้หุ่นยนต์สามารถยืนได้ด้วยขาเพียงข้างเดียวได้

2) ระบบขับเคลื่อน

หุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สามเลือกใช้มอเตอร์แบบเดียวกับหุ่นยนต์ต้นแบบตัวที่สองคือ Hitec HS-5945 MG ที่มีอัตราส่วนแรงบิดต่อน้ำหนัก 232.1 g.cm/g ที่ 6 โวต์ และมี Holding Torque 45 kg.cm อาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ตัวนี้มีคุณสมบัติดังนี้ มีแรงบิด 13 kg.cm มีความเร็ว 461.5 องศา/วินาที ที่ 6 โวต์ ขับเคลื่อนโดยตรงโดยไม่มีการดัดแปลงมอเตอร์

3) ขนาดและมิติของหุ่นยนต์



รูปที่ 4.8 ขนาดและองศาการหมุนของหุ่นยนต์ต้นแบบที่สาม

หุ่นยนต์ที่ใช้มีขนาดโดยประมาณ กว้าง 12 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร ขณะยืนยืดขาสุดมีความสูง 22 เซนติเมตร และมีน้ำหนัก 1,000 กรัม ขาท่อนบนและท่อนล่างยาว 9 เซนติเมตร ฝ่าเท้ามีขนาด 5 x 7 ตารางเซนติเมตร แผงวงจรควบคุมขนาดเล็กถูกติดตั้งไว้บริเวณเอวของหุ่นยนต์ และสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม ในแต่ละข้อต่อจะมีขอบเขตการหมุนที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.8

4) ระบบควบคุม

เลือกใช้แผงวงจรควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ของบริษัท Pololu Corporation รุ่น Pololu 16-Serial Servo Controller จำนวน 1 แผง ควบคุมขาทั้งสองข้าง

5) คำสั่งที่ใช้ในการควบคุม

รูปแบบการเดินของหุ่นยนต์เป็นการหมุนมอเตอร์ทุกๆตัวให้มอเตอร์ทุกตัวทำงานพร้อมกันหมุนไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ในช่วงเวลาที่เท่ากัน มอเตอร์ทุกๆตัว 10 ตัวทำงานพร้อมๆกัน ทำให้ต้องส่งตำแหน่งควบคุมมอเตอร์ทุกๆตัวตลอดเวลา จึงได้กำหนดให้การส่งคำสั่งถูกส่งเป็นชุด ชุดละ 10 ตำแหน่งสำหรับมอเตอร์ทั้ง 10 ตัว เนื่องจากแผงวงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์มีอัตราการรับค่าตำแหน่งของมอเตอร์ได้ 640 ตำแหน่งต่อวินาที ทำให้สามารถส่งค่าตำแหน่งของมอเตอร์ทั้ง 10 ตัวในอัตรา 64 ชุดคำสั่งต่อวินาที ดังนั้นโปรแกรมความยาว 17 วินาทีของหุ่นยนต์จะมีตำแหน่งที่ต้องกำหนดให้มอเตอร์ทั้งหมด 10,880 ตำแหน่ง

6) ปัญหาที่พบ

- การทรุดตัวของโครงสร้างยังคงมีอยู่ แต่ลดน้อยลงกว่าในหุ่นยนต์ตัวที่สอง
- การควบคุมให้หุ่นยนต์เดินเป็นระยะทางมากกว่า 25 เซนติเมตรไม่ได้เนื่องจากติดภาระจากสายควบคุมต่างๆทำให้หุ่นยนต์มีภาระไม่คงที่

4.5 สรุป

การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สองขาที่มีจำนวนจุดหมุนมากกว่า 10 จุดหมุนขนาดเล็ก ปัญหาแรกที่พบคือวัสดุที่เลือกใช้ในการสร้าง เนื่องจากต้องการหุ่นยนต์ที่มีขนาดเล็ก เบา แต่มีความแข็งแรงทำให้ เมื่อเลือกวัสดุที่มีความแข็งแรงมากส่งผลให้หุ่นยนต์มีน้ำหนักมาก ปัญหาที่สองคือโครงสร้างเมื่อสร้างหุ่นยนต์โดยจำกัดโครงสร้างเพื่อให้หุ่นยนต์มีน้ำหนักเบา หุ่นยนต์สามารถทำงานได้แต่มีปัญหาจากการทรุดตัวของโครงสร้างทำให้หุ่นยนต์ควบคุมได้ยาก ต้องมีการเสริมโครงสร้างให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ปัญหาที่สามคือมอเตอร์เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์เพื่อการติดตั้งภายในเรือหรือเครื่องบินจำลองไม่ได้ถูกออกแบบให้ติดตั้งเป็นข้อต่อต่างๆทำให้ข้อต่อของหุ่นยนต์มีความแข็งแรงไม่เพียงต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างหุ่นยนต์ ต้องมีการติดตั้งโครงสร้างเสริม ไม่มีมอเตอร์ที่มีแรงบิดตามที่ต้องการขายทำให้ต้องเปลี่ยนโครงสร้างหุ่นยนต์ใหม่ทั้งหมดแทนที่จะเปลี่ยนมอเตอร์ ปัญหาสุดท้ายคือวงจรควบคุม วงจรควบคุมมีความละเอียดไม่เพียงพอทำให้การควบคุมแต่ละครั้งทำให้โครงสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วทำให้หุ่นยนต์เสียการทรงตัวได้ง่าย หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงโครงสร้างและสร้างหุ่นยนต์ตัวที่สามแล้วพบว่ามีความสามารถในการใช้งานดีขึ้นสามารถควบคุมการทำงานได้ดีขึ้น หุ่นยนต์มีเสถียรภาพสูงขึ้น แต่การทดลองที่ต้องการให้หุ่นยนต์เดินจำนวนก้าวมากๆไม่สามารถทำการทดลองได้เนื่องจากหุ่นยนต์ต้องใช้พลังงานจากภายนอกและการควบคุมจากภายนอก ทำให้สายเชื่อมต่อต่างๆเป็นภาระให้หุ่นยนต์ ในการปรับปรุงหุ่นยนต์ครั้งถัดไปควรติดตั้งระบบต่างๆไว้บนหุ่นยนต์ทั้งหมด ซึ่งจะส่งผลให้หุ่นยนต์มีอิสระในการเคลื่อนที่มากขึ้น แต่ต้องจัดการแหล่งพลังงานให้หุ่นยนต์ที่ดีเนื่องจากหุ่นยนต์มีการใช้พลังงานจำนวนมากในการควบคุมมอเตอร์ทุกตัว และการลดลงของพลังงานเมื่อมีการทดลองเป็นระยะเวลานานทำให้แหล่งพลังงานไม่คงที่ในการทำการทดลองแต่ละครั้งทำให้การประเมินคุณภาพของโปรแกรมได้ไม่แน่นอน

บทที่ 5

โปรแกรมการเดินหุ่นสองขา

5.1 เงื่อนไขการควบคุมหุ่นยนต์

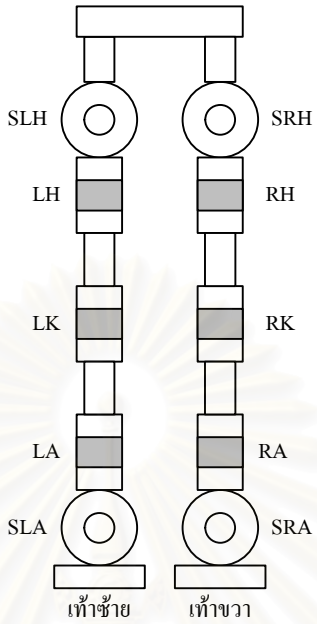
การเดินของหุ่นยนต์สองขาเป็นการเดินแบบสมดุลสถิต การควบคุมหุ่นยนต์เป็นแบบระบบเปิดไม่มีการติดตั้งตัวตรวจจับ หุ่นยนต์เดินบนพื้นระนาบที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และกำหนดให้เอวและฝ่าเท้าต้องขนานกับพื้นเสมอ กำหนดให้ระดับความสูงของเอวซ้ายและขวาต้องสูงเท่ากัน เพื่อให้เอวขนานกับพื้นตลอดเวลา และฝ่าเท้าทั้งสองข้างต้องขนานกับพื้นตลอดเวลา

5.2 โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แบบอนุกรมและขนาน

งานวิจัยของชาญชัย เสนอการสังเคราะห์โปรแกรมด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม พบว่าโปรแกรมที่ทำการสังเคราะห์เป็นโปรแกรมแบบอนุกรม เป็นคำสั่งที่สั่งให้มอเตอร์แต่ละตัวหมุนโดยสั่งทีละหนึ่งตัว ทำให้ลักษณะการเคลื่อนส่วนต่างๆของหุ่นยนต์จะทำการขยับทีละข้อต่อทำให้หุ่นยนต์อาจไม่มีเสถียรภาพในการเดิน เนื่องจากการขยับของข้อต่อทีละจุดจะส่งผลให้จุดศูนย์กลางน้ำหนักเคลื่อนออกนอกพื้นที่รองรับได้ถ้าไม่มีการขยับข้อต่ออื่นๆ ชดเชยให้ หุ่นยนต์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวน 10 จุดหมุนที่ต้องมีการขยับพร้อมกันทำให้ โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ต้องควบคุมมอเตอร์ทั้ง 10 ตัวพร้อมกันในช่วงเวลาเดียวกันเป็นการควบคุมแบบขนาน เพื่อให้ลักษณะการเคลื่อนส่วนต่างๆของหุ่นยนต์เป็นไปอย่างนุ่มนวล สอดคล้องกัน และมีเสถียรภาพ โปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์สองขาคือข้อมูลตำแหน่งของจุดหมุนทั้ง 10 จุดหมุนตลอดช่วงเวลาที่ถูกควบคุม และเวลาที่ต้องหมุนไปยังตำแหน่งที่กำหนดภายในช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อให้ตำแหน่งสัมพันธ์กับเวลาตลอดการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์สองขา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 จุดหมุนของหุ่นยนต์



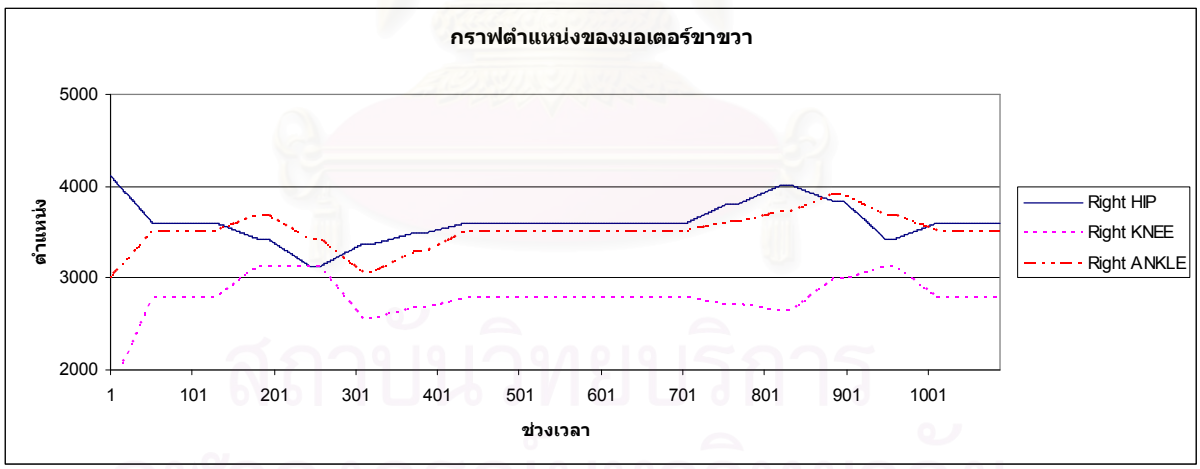
รูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งและชื่อของจุดหมุนหรือมอเตอร์แต่ละตัว

เนื่องจากมีจำนวนจุดหมุนอยู่จำนวนมาก จึงต้องกำหนดชื่อและรหัสในการเรียกจุดหมุน หรือมอเตอร์แต่ละตัว เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างโปรแกรมการเดิน ดังรายการต่อไปนี้

- Side Left Hip (SLH) มอเตอร์ข้างที่สะโพกซ้าย
- Left Hip (LH) มอเตอร์ที่สะโพกซ้าย
- Left Knee (LK) มอเตอร์ที่เข่าซ้าย
- Left Ankle (LA) มอเตอร์ที่ข้อเท้าซ้าย
- Side Left Ankle (SLA) มอเตอร์ข้างที่ข้อเท้าซ้าย
- Side Right Hip (SRH) มอเตอร์ข้างที่สะโพกขวา
- Right Hip (RH) มอเตอร์ที่สะโพกขวา
- Right Knee (RK) มอเตอร์ที่เข่าขวา
- Right Ankle (RA) มอเตอร์ที่ข้อเท้าขวา
- Side Right Ankle (SRA) มอเตอร์ข้างที่ข้อเท้าขวา

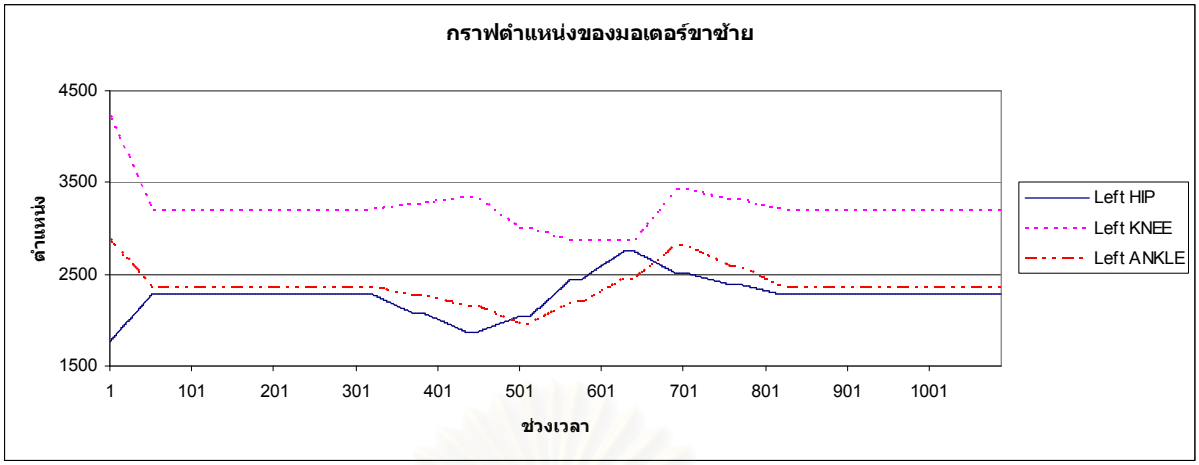
5.4 โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์

การควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถเดินได้คือการกำหนดตำแหน่งของมอเตอร์แต่ละตัวในแต่ละเวลาเพื่อให้มีการหมุนที่สัมพันธ์กันเพื่อเคลื่อนส่วนต่างๆของขาไปในทิศทางและตำแหน่งที่ต้องการ เนื่องจากการเดินแบบสมดุลสถิตจะเป็นการเดินโดยจุดศูนย์กลางน้ำหนักไม่มีการเคลื่อนออกจากฝ่าเท้าทำให้หุ่นยนต์ไม่ล้ม ดังนั้นถ้ามองตำแหน่งของมอเตอร์แต่ละตัว ณ.เวลาใดเวลาหนึ่งตำแหน่งของมอเตอร์เหล่านั้นต้องทำให้หุ่นยนต์ยืนอยู่ได้โดยไม่ล้ม รูปแบบการเดินของหุ่นยนต์เป็นการหมุนมอเตอร์ทุกๆตัวในช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อให้มอเตอร์ทุกตัวทำงานสัมพันธ์กันจึงกำหนดให้มอเตอร์แต่ละตัวมีอัตราการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งอยู่ที่ 64 ตำแหน่งต่อ 1 วินาที ถ้าต้องการสร้างโปรแกรมการเดินความยาว 60 วินาที มีมอเตอร์ที่ต้องควบคุม 10 ตัว ในแต่ละวินาทีต้องส่งคำสั่งควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ 640 ตำแหน่ง ดังนั้นถ้าหนึ่งกระบวนการเดินของหุ่นยนต์สองขาใช้เวลา 60 วินาที ต้องมีตำแหน่งต่างๆของมอเตอร์ทั้ง 10 ตัวรวมกันทั้งหมด 38,400 ตำแหน่ง หรือ 3,840 ตำแหน่งสำหรับมอเตอร์แต่ละตัว การค้นหาตำแหน่งทั้งหมดนี้ เป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก ส่วนต่อไปนี้แสดงค่าตำแหน่งมอเตอร์ต่างๆของโปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์หนึ่งกระบวนการเดิน ที่เริ่มจากท่ายืนปลายเท้าเสมอกัน แล้วก้าวเท้าขวา ตามด้วยการก้าวเท้าซ้าย และเท้าขวาอีกครั้ง จบลงด้วยท่าเริ่มต้น ที่มีความยาว 17 วินาที ต้องการค่าตำแหน่งของมอเตอร์ทั้งหมด 10,880 ตำแหน่ง โดยแสดงเป็นกราฟเพื่อให้เห็นถึงตำแหน่งของมอเตอร์แต่ละตัวในแต่ละเวลา และมีการแบ่งส่วนในการแสดงคือ ตำแหน่งมอเตอร์ของขาขวา ตำแหน่งมอเตอร์ของขาซ้าย และตำแหน่งมอเตอร์ของการถ่ายน้ำหนัก



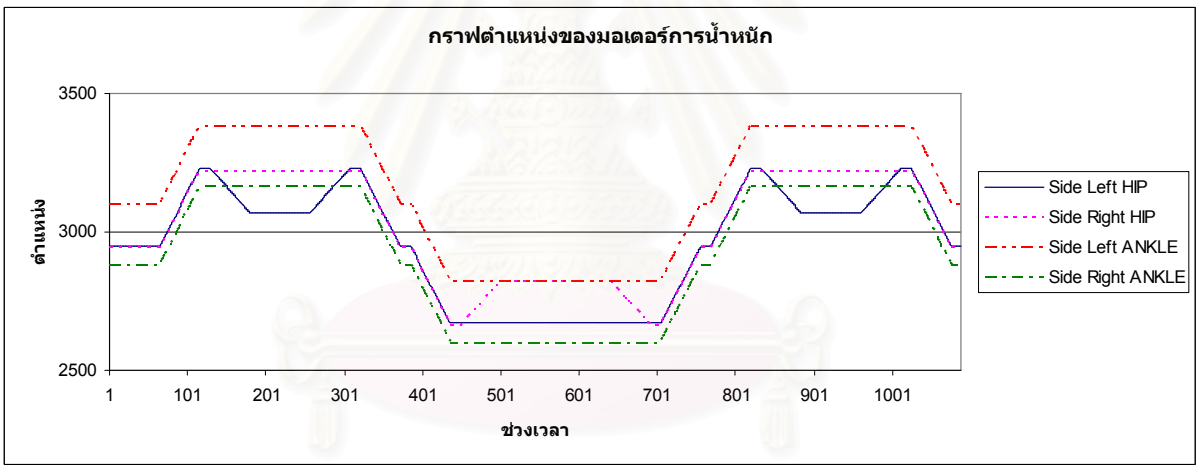
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาขวา

รูปที่ 5.2 แสดงตำแหน่งมอเตอร์ที่อยู่ภายในขาขวา ที่ประกอบด้วยมอเตอร์ 3 ตัว คือ มอเตอร์ที่สะโพกขวา (Right Hip, RH) มอเตอร์ที่เข่าขวา (Right Knee, RK) และมอเตอร์ที่ข้อเท้าขวา (Right Ankle, RA) จากกราฟมีการเปลี่ยนแปลงอยู่สองช่วงที่แสดงการยกเท้าก้าวขาขวาแบบเปิดจังหวะ และยกเท้าก้าวขาขวาแบบปิดจังหวะ



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาซ้าย

รูปที่ 5.3 แสดงตำแหน่งมอเตอร์ที่อยู่ภายในขาซ้าย ที่ประกอบด้วยมอเตอร์ 3 ตัวเช่นกัน คือ มอเตอร์ที่สะโพกซ้าย (Left Hip, LH) มอเตอร์ที่เข่าซ้าย (Left Knee, LK) และมอเตอร์ที่ข้อเท้าซ้าย (Left Ankle, LA) จากกราฟมีการเปลี่ยนแปลงอยู่หนึ่งช่วงที่แสดงการยกเท้าก้าวขาซ้ายแบบก้าวเดิน



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ถ่ายน้ำหนัก

รูปที่ 5.4 แสดงตำแหน่งมอเตอร์การถ่ายน้ำหนักประกอบด้วยมอเตอร์จำนวน 4 ตัว ที่ติดตั้งอยู่ที่สะโพกทั้งสองข้าง และข้อเท้าทั้งสองข้าง คือ มอเตอร์ที่สะโพกซ้าย (Side Left Hip, SLH) มอเตอร์ที่สะโพกขวา (Side Right Hip, SRH) มอเตอร์ที่ข้อเท้าซ้าย (Side Left Ankle, SLA) และมอเตอร์ที่ข้อเท้าขวา (Side Right Ankle, SRA) จากกราฟมีการเปลี่ยนแปลงอยู่สามช่วงที่แสดงการถ่ายน้ำหนักของหุ่นยนต์ โดยเริ่มต้นจากท่าเตรียมพร้อมถ่ายน้ำหนักไว้ที่จุดกึ่งกลางระหว่างเท้าทั้งสองข้าง จากนั้นถ่ายน้ำหนักไปไว้ที่เท้าซ้าย แล้วถ่ายน้ำหนักไปไว้ที่เท้าขวา แล้วถ่ายน้ำหนักไปไว้ที่เท้าซ้าย และจบลงด้วยการถ่ายน้ำหนักไว้ที่จุดกึ่งกลางระหว่างเท้าทั้งสองข้างในท่าเตรียมพร้อม

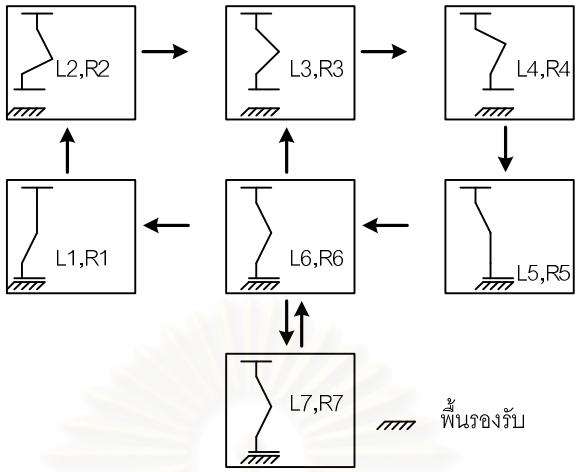
5.5 การลดขนาดและรูปแบบของโปรแกรมการเดิน

พบว่าโปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์มีความซับซ้อนมากต้องการชุดตัวเลขจำนวนมากถึง 38,400 ตัวเลข การสร้างโปรแกรมการเดินแต่ละโปรแกรมต้องใช้เวลามาก ทำให้ต้องการโปรแกรมควบคุมการเดินแบบใหม่ที่เป็นเพียงชุดตัวเลขจำนวนไม่มาก เพื่อให้ผู้สร้างโปรแกรมสามารถสร้างโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์โดยใช้เวลาในการปรับแต่งชุดตัวเลขน้อยที่สุด เพื่อค้นหาโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ที่สามารถเดินได้โดยไม่ล้ม และสามารถปรับเปลี่ยนลักษณะท่าทางการเดินของหุ่นยนต์ได้จาก ระยะการก้าวขา ระยะการยกเท้า ความเร็วในการเดินได้ เป็นต้น โปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์สองขาแบบใหม่คือโปรแกรมควบคุมการเดินแบบสมบูรณ์ที่ลดขนาดโดยเก็บข้อมูลเฉพาะจุดสำคัญเท่านั้น โปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์แบบใหม่นี้อาศัยแบบแผนการเดิน (Pattern Walking) เข้ามาช่วยในการสังเคราะห์โปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ที่สมบูรณ์

5.6 แบบแผนการเดินของหุ่นยนต์

แบบแผนการเดินคือแนวความคิดใหม่ในการสร้างโปรแกรมแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์สองขา จากเดิมการสร้างโปรแกรมควมคุมการเดินของหุ่นยนต์จะสนในการควบคุมมอเตอร์แต่ละตัว โดยหมุนมอเตอร์แต่ละตัวของหุ่นยนต์ให้ได้ลักษณะท่าทางตามที่ต้องการทำให้หุ่นยนต์สามารถทำลักษณะท่าทางต่างๆ ได้มากมายตามความสามารถของโครงสร้างของหุ่นยนต์สองขา แต่ลักษณะท่าทางที่เกิดขึ้นเหล่านั้นอาจไม่ใช้ลักษณะท่าทางการเดินที่ต้องการ ทำให้การค้นหาโปรแกรมการเดินเป็นไปได้ยาก แต่แบบแผนการเดินจะเริ่มต้นโดยจะศึกษาลักษณะท่าทางการเดินของหุ่นยนต์สองขาที่ต้องการก่อน ซึ่งแบบแผนการเดินจะมีด้วยกันหลายรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกันกับมนุษย์ที่มีลักษณะการเดินที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นการเดินตรง เดินเลี้ยซ้าย เดินเลี้ยวขวา เดินขึ้นทางลาด เป็นต้น เนื่องจากโปรแกรมควบคุมการเดินหุ่นยนต์สองขาที่ต้องการเป็นการเดินแบบสมดุลสถิต เดินตรงบนพื้นราบ ได้กำหนดแบบแผนการเดินตามลักษณะท่าทางการเดินของหุ่นยนต์ตามที่ต้องการ แต่แบบแผนการเดินที่สร้างขึ้นจะมีลักษณะการเดินที่แตกต่างจากการเดินของมนุษย์ปกติ แต่มนุษย์สามารถเดินด้วยลักษณะท่าทางตามแบบแผนการเดินที่กำหนดขึ้นได้ เมื่อสร้างแบบแผนการเดินได้แล้วก็จะทำการค้นหาตำแหน่งมอเตอร์ต่างๆที่สามารถทำให้เกินลักษณะท่าทางตามแบบแผนการเดิน ทำให้สามารถสร้างโปรแกรมควบคุมการเดินได้ง่ายขึ้น หลังจากนั้นได้ทำการศึกษาลักษณะท่าทางการเดินของมนุษย์เพื่อสร้างแบบแผนการเดินให้หุ่นยนต์ และแบ่งความสนใจในการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์เป็นส่วนๆ เช่น การเคลื่อนไหวของขาแต่ละข้างเมื่อมีการก้าวขา การเคลื่อนไหวของเอวเมื่อมีการทรงตัวไม่ให้ล้ม เป็นต้น ทำให้แบ่งลักษณะท่าทางการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ออกเป็น 2 ส่วนหลัก ด้วยกันคือ

ส่วนที่ 1 ลักษณะท่าทางและตำแหน่งการวางเท้าเมื่อมีการเคลื่อนไหวขา



รูปที่ 5.5 แสดงท่าทางและตำแหน่งการวางเท้าเมื่อมองจากด้านข้าง

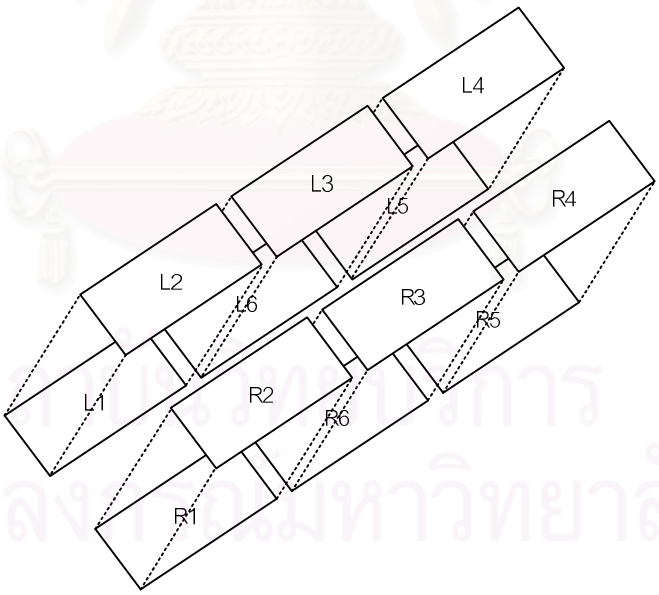
เมื่อมีการเคลื่อนไหวขาแต่ละขาเพื่อการก้าวเดินตรงไปด้านหน้า จะพบว่ามีตำแหน่งการวางเท้าด้วยกัน 3 ตำแหน่งคือเท้าอยู่ด้านหน้าของร่างกาย เท้าอยู่เสมอร่างกาย เท้าอยู่ด้านหลังของร่างกาย และในแต่ละตำแหน่งของเท้าจะมีตำแหน่งที่เท้าสัมผัสพื้น และตำแหน่งที่เท้าไม่สัมผัสพื้น ทำให้มีตำแหน่งการวางเท้าที่แตกต่างกัน 6 ตำแหน่งตลอดการก้าวเดินของหุ่นยนต์สองขา แต่ในการเคลื่อนไหลของขาเมื่อมีการเดินของหุ่นยนต์ พบว่าในตำแหน่งเท้าอยู่เสมอร่างกายและเท้าสัมผัสพื้นจะมีด้วยกันสองจังหวะคือ จังหวะที่เท้าอีกข้างสัมผัสพื้น และจังหวะที่เท้าอีกข้างไม่สัมผัสพื้น ด้วยจังหวะที่เท้าอีกข้างลอยจากพื้นทำให้น้ำหนักของหุ่นยนต์ทั้งหมดตกลงเท้าที่ยืนอยู่เพียงข้างเดียว ทำให้ต้องมีการชดเชยในกรณีที่หุ่นยนต์มีการทรุดตัวในส่วนของโครงสร้าง โดยมีท่าทางเพิ่มเติมเมื่อหุ่นยนต์ต้องยืนด้วยเท้าเพียงข้างเดียว ทำให้การเคลื่อนไหวขาแต่ละข้างเมื่อมีการก้าวเดินมีตำแหน่งการวางเท้า 6 ตำแหน่งและมีท่าทางการวางเท้าด้วยกัน 7 ท่าทาง

กำหนดลักษณะท่าทางของขาและตำแหน่งของเท้าซ้ายและเท้าขวา โดยได้กำหนดให้มีไว้ 7 ท่าทาง 6 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่ L6,R6 และ L7,R7 จะมีการวางเท้าในตำแหน่งเดียวกัน แต่มีลักษณะท่าทางของขาที่แตกต่างกัน โดยตำแหน่งที่ L6,R6 เป็นตำแหน่งที่เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้น แต่ในตำแหน่งที่ L7,R7 เป็นตำแหน่งที่ขาที่อยู่ในตำแหน่งที่ L7,R7 สัมผัสพื้นเพียงข้างเดียว โดยการเคลื่อนไหลของขาซ้ายหรือขาขวาคือการกำหนดตำแหน่งมอเตอร์ 3 ตัวที่อยู่ในขาแต่ละข้าง สำหรับขาซ้ายคือ Left Hip (LH), Left Knee (LK) และ Left Ankle (LA) สำหรับขาขวาคือ Right Hip (RH), Right Knee (RK) และ Right Ankle (RA) ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมขาแต่ละข้าง โดยตำแหน่งท่าทางต่างๆมีรายละเอียดดังนี้

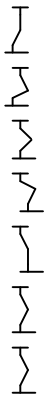
1) L1, R1 เมื่อเท้าซ้ายหรือเท้าขวาอยู่ในตำแหน่งด้านหลังของร่างกายในท่ายืนปกติ ฝ่าเท้าสัมผัสพื้น
2) L2, R2 เมื่อเท้าซ้ายหรือเท้าขวาอยู่ในตำแหน่งด้านหลังของร่างกายในท่ายืนปกติ ฝ่าเท้าไม่สัมผัสพื้น
3) L3, R3 เมื่อเท้าซ้ายหรือเท้าขวาอยู่ในตำแหน่งเสมอร่างกายในท่ายืนปกติ ฝ่าเท้าไม่สัมผัสพื้น
4) L4, R4 เมื่อเท้าซ้ายหรือเท้าขวาอยู่ในตำแหน่งด้านหน้าของร่างกายในท่ายืนปกติ ฝ่าเท้าไม่สัมผัสพื้น

5) L5, R5 เมื่อเท้าซ้ายหรือเท้าขวาอยู่ในตำแหน่งด้านหน้าของร่างกายในท่ายืนปกติ ฝ่าเท้าสัมผัสพื้น
6) L6, R6 เมื่อเท้าซ้ายหรือเท้าขวาอยู่ในตำแหน่งเสมอร่างกายในท่ายืนปกติ ฝ่าเท้าสัมผัสพื้น ฝ่าเท้าอีกด้านสัมผัสพื้น
7) L7, R7 เมื่อเท้าซ้ายหรือเท้าขวาอยู่ในตำแหน่งเสมอร่างกายในท่ายืนปกติ ฝ่าเท้าสัมผัสพื้น ฝ่าเท้าอีกด้านไม่สัมผัสพื้น

รูปที่ 5.6 แสดงตำแหน่งการวางเท้าของเท้าทั้งสองข้าง



รูปที่ 5.7 แสดงตำแหน่งการวางเท้าของเท้าทั้งสองข้าง



ท่าทางการวางเท้าในตำแหน่งที่ 1 ของขาซ้าย L1 และขาขวา R1

ท่าทางการวางเท้าในตำแหน่งที่ 2 ของขาซ้าย L2 และขาขวา R2

ท่าทางการวางเท้าในตำแหน่งที่ 3 ของขาซ้าย L3 และขาขวา R3

ท่าทางการวางเท้าในตำแหน่งที่ 4 ของขาซ้าย L4 และขาขวา R4

ท่าทางการวางเท้าในตำแหน่งที่ 5 ของขาซ้าย L5 และขาขวา R5

ท่าทางการวางเท้าในตำแหน่งที่ 6 ของขาซ้าย L6 และขาขวา R6

ท่าทางการวางเท้าในตำแหน่งที่ 7 ของขาซ้าย L7 และขาขวา R7

รูปที่ 5.8 แสดงสัญลักษณ์ของท่าทางการวางเท้าในตำแหน่งต่างๆ

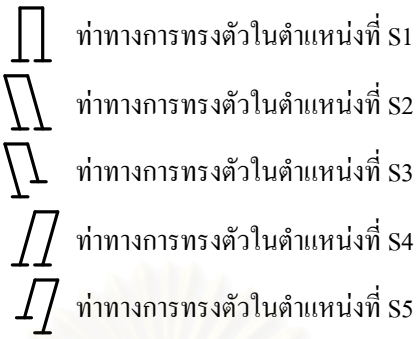
ส่วนที่ 2 การถ่ายน้ำหนักของหุ่นยนต์

เมื่อมีการเคลื่อนไหวจุดศูนย์กลางของเอวเพื่อการก้าวเดินตรงไปด้านหน้า จะพบว่ามีตำแหน่งจุดศูนย์กลางของเอวด้วยกัน 3 ตำแหน่งคือจุดศูนย์กลางเอวอยู่เหนือเท้าซ้าย จุดศูนย์กลางเอวอยู่เหนือระหว่างเท้าทั้งสองข้าง และจุดศูนย์กลางเอวอยู่เหนือเท้าขวา ทำให้มีตำแหน่งจุดศูนย์กลางเอวที่แตกต่างกัน 3 ตำแหน่งตลอดการก้าวเดินของหุ่นยนต์สองขา แต่ในการเคลื่อนไหลของร่างกายเมื่อมีการเดินของหุ่นยนต์ พบว่าในตำแหน่งจุดศูนย์กลางเอวอยู่เหนือเท้าซ้าย หรือจุดศูนย์กลางเอวอยู่เหนือเท้าขวา จะมีด้วยกันสองจังหวะคือ จังหวะที่เท้าอีกข้างสัมผัสพื้น และจังหวะที่เท้าอีกข้างไม่สัมผัสพื้น ด้วยจังหวะที่เท้าอีกข้างลอยจากพื้นทำให้น้ำหนักของหุ่นยนต์ทั้งหมดตกลงเท้าที่ยืนอยู่เพียงข้างเดียว ทำให้ต้องมีการชดเชยในกรณีที่หุ่นยนต์มีการทรุดตัวในส่วนของโครงสร้างโดยมีท่าทางเพิ่มเติมเมื่อหุ่นยนต์ต้องยืนด้วยเท้าเพียงข้างเดียว ทำให้การเคลื่อนไหวของจุดศูนย์กลางเอวเมื่อมีการก้าวเดินมีตำแหน่งจุดศูนย์กลางเอว 3 ตำแหน่งและมีท่าทางด้วยกัน 5 ท่าทาง

กำหนดลักษณะท่าทางของขาและตำแหน่งของจุดศูนย์กลางเอว โดยได้กำหนดให้มีไว้ 5 ท่าทาง 3 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่ S1, S2 และ S4 จะมีการวางเท้าทั้งสองข้างในตำแหน่งเดียวกัน เท้าทั้งสองข้างจะต้องสัมผัสพื้น แต่มีลักษณะท่าทางที่แตกต่างกัน โดยตำแหน่งที่ S1 เป็นตำแหน่งที่น้ำหนักถ่ายลงระหว่างเท้าทั้งสองข้าง ตำแหน่งที่ S2 เป็นตำแหน่งที่น้ำหนักถ่ายลงเท้าซ้าย ตำแหน่งที่ S4 เป็นตำแหน่งที่น้ำหนักถ่ายลงเท้าขวา ในตำแหน่งที่ S2 และ S3 หรือ ตำแหน่งที่ S4 และ S5 จะมีท่าทางที่ใกล้เคียงกันแต่ในตำแหน่งที่ S2, S4 เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้น แต่ในตำแหน่งที่ S3, S5 เป็นตำแหน่งที่มีเท้าสัมผัสพื้นเพียงเท้าเดียว โดยการเคลื่อนไหวของร่างกายเพื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการถ่ายน้ำหนักคือการกำหนดตำแหน่งมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวที่อยู่ในขาทั้งสองข้าง สำหรับขาซ้ายคือ Side Left Hip (SLH) และ Side Left Ankle (SLA) สำหรับขาขวาคือ Side Right Hip (SRH) และ Side Right Ankle (SRA) ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการถ่ายน้ำหนักของขาทั้งสองข้าง โดยตำแหน่งต่างๆมีรายละเอียดดังนี้

- S1 เมื่อยืนตัวตรงในสภาวะพร้อมเดินเท้าทั้งสองสัมผัสพื้น
- S2 เมื่อยืนถ่ายน้ำหนักไปไว้ที่เท้าซ้าย เท้าทั้งสองสัมผัสพื้น
- S3 เมื่อยืนถ่ายน้ำหนักไปไว้ที่เท้าซ้าย เท้าซ้ายสัมผัสพื้น เท้าขวาลอยจากพื้น

- S4 เมื่อยืนถ่ายน้ำหนักไปไว้ที่เท้าขวา เท้าทั้งสองสัมผัสพื้น
- S5 เมื่อยืนถ่ายน้ำหนักไปไว้ที่เท้าขวา เท้าขวาสัมผัสพื้น เท้าซ้ายลอยจากพื้น



รูปที่ 5.9 แสดงสัญลักษณ์ของท่าทางการถ่ายน้ำหนักในตำแหน่งต่างๆ

เมื่อทำการพิจารณาการเดินของหุ่นยนต์แล้ว สามารถแบ่งแต่ละส่วนออกเป็นขั้นตอนย่อยๆตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานของขาซ้ายและขาขวาได้อย่างละ 7 ขั้นตอน และแบ่งขั้นตอนการทำงานของการถ่ายน้ำหนักได้อีก 5 ขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนมีผลต่อมอเตอร์ควบคุมที่แตกต่างกัน แสดงรายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ขั้นตอน		มอเตอร์ที่ถูกควบคุม									
		LH	LK	LA	RH	RK	RA	SLH	SLA	SRH	SRA
ขาซ้าย	L1	✓	✓	✓							
	L2	✓	✓	✓							
	L3	✓	✓	✓							
	L4	✓	✓	✓							
	L5	✓	✓	✓							
	L6	✓	✓	✓							
	L7	✓	✓	✓							
ขาขวา	R1				✓	✓	✓				
	R2				✓	✓	✓				
	R3				✓	✓	✓				
	R4				✓	✓	✓				
	R5				✓	✓	✓				
	R6				✓	✓	✓				
	R7				✓	✓	✓				
การถ่ายน้ำหนัก	S1							✓	✓	✓	✓
	S2							✓	✓	✓	✓
	S3							✓	✓	✓	✓
	S4							✓	✓	✓	✓
	S5							✓	✓	✓	✓

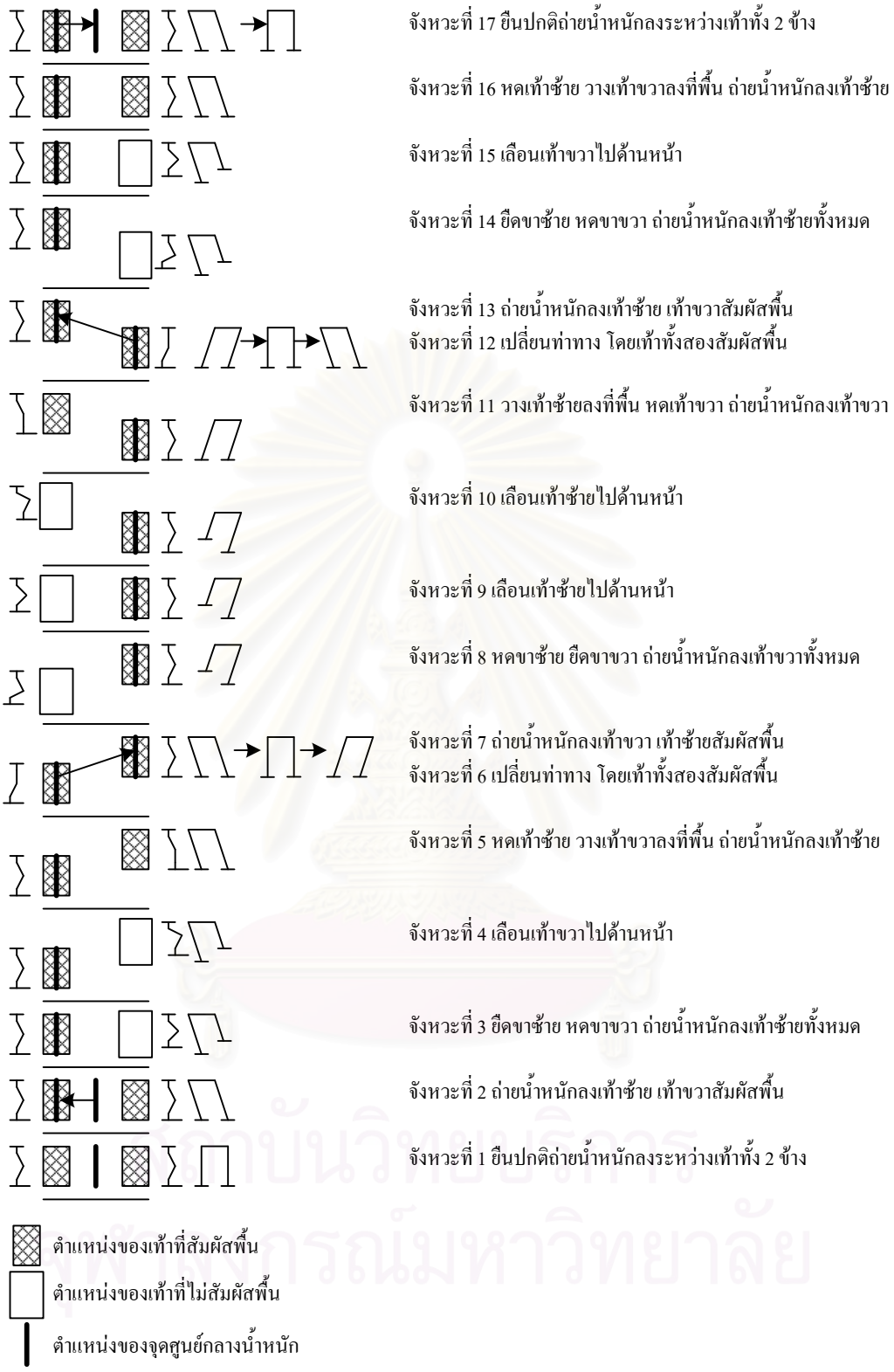
ตารางที่ 5.3 มอเตอร์ที่ทำงานในแต่ละขั้นตอน

เมื่อนำลักษณะการเคลื่อนไหวของขาซ้าย ขาขวา และจุดศูนย์กลางเอว (การถ่ายน้ำหนัก) มาทำการสร้างแบบแผนการเดินของหุ่นยนต์สองขา ที่มีการเดินเป็นการเดินแบบสมดุลสถิต เดินตรงบนพื้นราบ ให้เดินครบหนึ่งกระบวนการเดิน โดยเริ่มต้นจากท่ายืนปลายเท้าเสมอกัน และจบด้วยท่ายืนปลายเท้าเสมอกันเหมือนท่าเริ่มต้น จะได้แบบแผนการเดินดังตารางที่ 5.4

ลำดับ	ขาซ้าย	ขาขวา	ทรงตัว	ขั้นตอนการเดินของหุ่นยนต์
17	L6	R6	S1	ยืนปกติถ่ายน้ำหนักลงระหว่างเท้าทั้ง 2 ข้าง
16	L6	R6	S2	หดเท้าซ้าย วางเท้าขวาลงที่พื้น ถ่ายน้ำหนักลงเท้าซ้าย
15	L7	R3	S3	เลื่อนเท้าขวาไปด้านหน้า
14	L7	R2	S3	ยืดขาซ้าย หดขาขวา ถ่ายน้ำหนักลงเท้าซ้ายทั้งหมด
13	L6	R1	S2	ถ่ายน้ำหนักลงเท้าซ้าย เท้าขวาสัมผัสพื้น
12			S1	เปลี่ยนท่าทาง โดยเท้าทั้งสองสัมผัสพื้น
11	L5	R6	S4	วางเท้าซ้ายลงที่พื้น หดเท้าขวา ถ่ายน้ำหนักลงเท้าขวา
10	L4	R7	S5	เลื่อนเท้าซ้ายไปด้านหน้า
9	L3	R7	S5	เลื่อนเท้าซ้ายไปด้านหน้า
8	L2	R7	S5	หดขาซ้าย ยืดขาขวา ถ่ายน้ำหนักลงเท้าขวาทั้งหมด
7	L1	R6	S4	ถ่ายน้ำหนักลงเท้าขวา เท้าซ้ายสัมผัสพื้น
6			S1	เปลี่ยนท่าทาง โดยเท้าทั้งสองสัมผัสพื้น
5	L6	R5	S2	หดเท้าซ้าย วางเท้าขวาลงที่พื้น ถ่ายน้ำหนักลงเท้าซ้าย
4	L7	R4	S3	เลื่อนเท้าขวาไปด้านหน้า
3	L7	R3	S3	ยืดขาซ้าย หดขาขวา ถ่ายน้ำหนักลงเท้าซ้ายทั้งหมด
2	L6	R6	S2	ถ่ายน้ำหนักลงเท้าซ้าย เท้าขวาสัมผัสพื้น
1	L6	R6	S1	ยืนปกติถ่ายน้ำหนักลงระหว่างเท้าทั้ง 2 ข้าง

ตารางที่ 5.4 แบบแผนการเดินของหุ่นยนต์สองขา

เมื่อนำแบบแผนการเดินจากตารางที่ 5.4 มาแทนด้วยสัญลักษณ์ เพื่อแสดงลักษณะท่าทางของขา ตำแหน่งการวางเท้า และตำแหน่งถ่ายน้ำหนัก เพื่อให้เห็นกระบวนการเดินตั้งแต่ต้นจนจบ จะได้ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แสดงแผนการเดินของหุ่นยนต์ทั้ง 17 ขั้นตอน

แบบแผนการเดินที่สร้างขึ้น ทำให้สามารถสังเคราะห์โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ตามต้องการได้โดยหาตำแหน่งของมอเตอร์ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ พบว่าในขั้นตอนบางขั้นตอนมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของมอเตอร์

พร้อมกันทั้ง 10 ตัว แต่การแยกกันวิเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนทำให้สามารถหาตำแหน่งของมอเตอร์ที่ต้องการได้ง่าย แบบแผนการเดินของหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นจะประกอบด้วยตัวเลขตำแหน่งมอเตอร์ต่างๆจำนวน 170 ตัวเลข ที่มีขนาดเล็กกว่าโปรแกรมจริงที่ต้องการถึง 10,880 ตัวเลขมาก ดังนั้นเมื่อต้องการนำแบบแผนการเดินไปสร้างเป็นโปรแกรมการเดิน เริ่มต้นด้วยการกำหนดช่วงเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอนเพื่อกำหนดความเร็วในการเคลื่อนไหวในแต่ละขั้นตอน เช่นใช้เวลา 1 วินาทีดังนั้นโปรแกรมที่ได้จะมีความยาว 17 วินาที ค่าตำแหน่งของมอเตอร์ในระหว่างการเปลี่ยนขั้นตอนแต่ละขั้นตอนที่เวลา 1 วินาที ใช้วิธีการ Linear Interpolation เพื่อให้ได้ค่าตำแหน่งของมอเตอร์ที่ละเอียดมากขึ้น ก็จะได้ตำแหน่งของมอเตอร์ที่ต้องการทั้งหมด แบบแผนการเดินประกอบขึ้นจากขั้นตอน ต่างๆที่ได้ทำการแบ่งไว้แล้ว ดังนั้นเราสามารถเปลี่ยนแบบแผนการเดินได้โดยนำขั้นตอนที่มีอยู่มาทำการจัดเรียงใหม่ตามที่ต้องการได้ นอกจากนี้แบบแผนการเดินที่ประกอบด้วยตัวเลขทั้งหมด 170 ตัวเลขสามารถสร้างได้จาก ตำแหน่งของมอเตอร์ในขั้นตอนต่างๆ ค่าตำแหน่งมอเตอร์ของขั้นตอน L1 ถึง L7 ต้องการ 21 ไบต์ ขั้นตอน R1 ถึง R7 ต้องการอีก 21 ไบต์ ขั้นตอน S1 ถึง S5 ต้องการ 20 ไบต์ รวมทั้งหมดต้องการเพียง 62 ไบต์เท่านั้น

L1			L2			L3			L4			L5			L6			L7		
LH	LK	LA	LH	LK	LA	LH	LK	LA	LH	LK	LA	LH	LK	LA	LH	LK	LA	LH	LK	LA

R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
LH	LK	LA	LH	LK	LA	LH	LK	LA	LH	LK	LA	LH	LK	LA	LH	LK	LA	LH	LK	LA

S1				S2				S3				S4				S5			
SLH	SLA	SRH	SRA	SLH	SLA	SRH	SRA	SLH	SLA	SRH	SRA	SLH	SLA	SRH	SRA	SLH	SLA	SRH	SRA

ตารางที่ 5.5 แสดงโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ที่ต้องการ

เมื่อได้โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์สองขาที่ประกอบด้วยตัวเลขจำนวน 62 ไบต์แล้ว ระบบทำการสังเคราะห์โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ใหม่ตามแบบแผนการเดิน 17 ขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ ทำให้ได้โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ใหม่ที่ประกอบด้วยตัวเลขจำนวน 170 ไบต์ที่แสดงถึงตำแหน่งมอเตอร์ในข้อต่อต่างๆตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นก็จะนำโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ใหม่ที่ได้ไปทำการสังเคราะห์โปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์สมบูรณ์อีกครั้ง ทำให้ได้โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์สมบูรณ์ที่ประกอบด้วยตัวเลขจำนวน 10,880 ตัวเลขเพื่อส่งไปแผงวงจรควบคุมมอเตอร์ของหุ่นยนต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

6.1 จุดมุ่งหมายการทดลอง

ต้องการทดลองว่าแบบแผนการเดินสามารถสร้างโปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์สองขาได้หรือไม่ และสามารถสร้างโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์สองขาที่มีลักษณะการเดินที่แตกต่างกันได้หรือไม่ โดยทำการปรับเปลี่ยนระยะการก้าวขา ระยะการยกเท้า ความเร็วในการก้าวเดิน และลักษณะการก้าวเดิน

6.2 การออกแบบการทดลอง

การทดลองทำโดยการสร้างโปรแกรมการเดินหุ่นยนต์สองขาด้วยแบบแผนการเดินที่สร้างขึ้นจำนวน 30 โปรแกรมหลังจากนั้นทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นและประเมินผลการเดินว่าสามารถเดินได้หรือไม่ คัดเลือกเฉพาะโปรแกรมการเดินที่ทำให้หุ่นยนต์มีท่าทางการเดินที่ดี ไม่มีลักษณะที่ผิดปกติ แล้วมาทำการปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้มีลักษณะการเดินที่มีคุณภาพสูงขึ้น

6.3 วิธีการทดลอง

เนื่องจากตัวเลขทั้ง 62 ไบต์มีการแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้ 3 กลุ่มที่มีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน คือ

- ท่าทางการวางของเท้าซ้าย
- ท่าทางการวางของเท้าขวา
- ท่าทางของการถ่ายน้ำหนัก

ทำการค้นหา L1 ถึง L7 ที่มีตำแหน่งของมอเตอร์ที่ทำให้ขาซ้าย วางเท้าในลักษณะต่างๆ จำนวน 35 ตำแหน่ง โดยแบ่งเป็น 5 ตำแหน่งที่อยู่เสมอกับร่างกาย มี 15 ตำแหน่งที่อยู่ด้านหน้าของร่างกาย และ มี 15 ตำแหน่งที่อยู่ด้านหลังของร่างกาย กับหุ่นยนต์จริงด้วยการสั่งมอเตอร์ LH, LK และ LA หลังจากนั้นให้ ทำการค้นหา R1 ถึง R7 ที่มีตำแหน่งของมอเตอร์ที่ทำให้ขาขวา วางเท้าในลักษณะต่างๆเช่นเดียวกัน จำนวน 35 ตำแหน่ง โดยแบ่งเป็น 5 ตำแหน่งที่อยู่เสมอกับร่างกาย มี 15 ตำแหน่งที่อยู่ด้านหน้าของร่างกาย และ มี 15 ตำแหน่งที่อยู่ด้านหลังของร่างกาย กับหุ่นยนต์จริงด้วยการสั่งมอเตอร์ RH, RK และ RA บันทึกตำแหน่งของเท้าว่าเลื่อนห่างจากร่ายกายเท่าไร และยกเท้าสูงจากพื้นเท่าไร เมื่อขาอีกด้านอยู่ในท่ายืนขาตรงสัมผัสพื้น

ทำการค้าหา S1, S2, S4 ที่มีตำแหน่งของมอเตอร์ที่ทำให้เกิดการถ่ายน้ำหนักในลักษณะต่างๆ เมื่อเท้าทั้งสองสัมผัสพื้น จำนวน 11 ตำแหน่ง โดยแบ่งเป็น 1 ตำแหน่งที่ร่างกายตั้งฉากกับพื้น มี 5 ตำแหน่งที่อยู่ด้านซ้ายของ

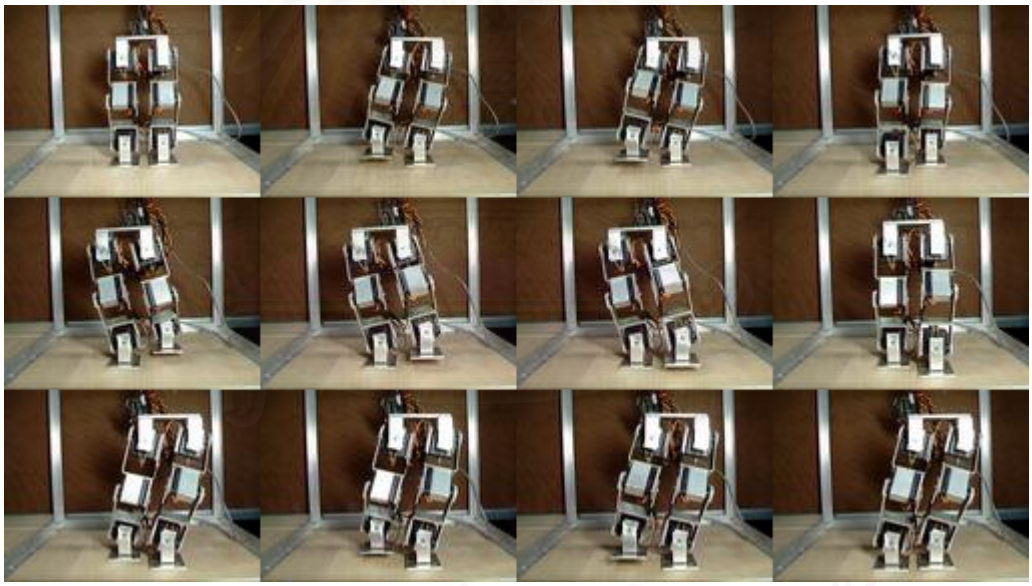
ร่างกาย และ มี 5 ตำแหน่งที่อยู่ด้านขวาของร่างกาย กับหุ่นยนต์จริงด้วยการสั่งมอเตอร์ SLH, SLA, SRH และ SRA

ทำการค้าหา S3 และ S5 ที่มีตำแหน่งของมอเตอร์ที่ทำให้เกิดการถ่ายน้ำหนักในลักษณะต่างๆ เมื่อเท้าสัมผัสพื้นเพียงเท้าเดียว จำนวน 4 ตำแหน่ง โดยแบ่งเป็น 2 ตำแหน่งที่อยู่ด้านซ้ายของร่างกาย และ มี 2 ตำแหน่งที่อยู่ด้านขวาของร่างกาย กับหุ่นยนต์จริงด้วยการสั่งมอเตอร์ SLH, SLA, SRH และ SRA

นำค่าของ L1 ถึง L7, R1 ถึง R7 และ S1 ถึง S5 มาทำการผสมรวมกันเพื่อให้ได้โปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ จำนวน 30 โปรแกรมแล้วทำการทดสอบผลการทำงานของแต่ละโปรแกรม และประเมินผล

6.4 ผลการทดลองที่ได้

สามารถโปรแกรมให้หุ่นยนต์สองขาเดินได้ด้วยการกำหนดชุดตัวเลขทั้งหมด 62 ไบต์ โดยใช้เวลาไม่มากในการที่จะค้นหาตำแหน่งของแต่ละขั้นตอน ตามที่ได้กำหนดเงื่อนไขไว้ ทำให้สามารถทดลองโปรแกรมการเดินหุ่นยนต์ได้อย่างรวดเร็ว และสามารถปรับแต่งโปรแกรมที่ทำการทดลองได้ทันที รูปต่อไปนี้แสดงผลลัพท์ที่ได้จากโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ที่สร้างจากแบบแผนการเดินของหุ่นยนต์ ที่มีลักษณะที่แตกต่างกันในระยะการก้าว ระยะการยกเท้า



รูปที่ 6.1 แสดงหุ่นยนต์กำลังก้าวเดินตามแผนการเดิน

6.5 โปรแกรมการเดินแบบที่ 1

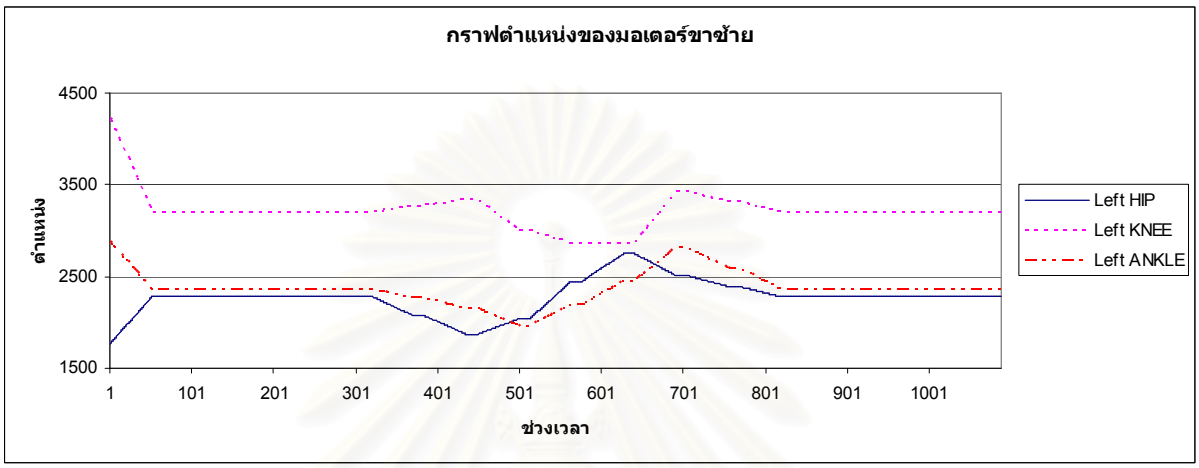
โปรแกรมการเดินแบบที่ 1 มีระยะการก้าวเท้าเปิดจังหวะที่ 47 mm มีระยะการก้าวเท้าปิดจังหวะที่ 47 mm มีระยะการก้าวเท้าเดินที่ 91 mm มีระยะความสูงของการยกเท้าที่ 20 mm ความเร็วในการก้าวเดิน 11.4 mm/s

L1			L2			L3			L4			L5			L6			L7		
40	132	152	57	98	171	98	84	148	128	84	122	104	140	86	81	118	131	81	118	131

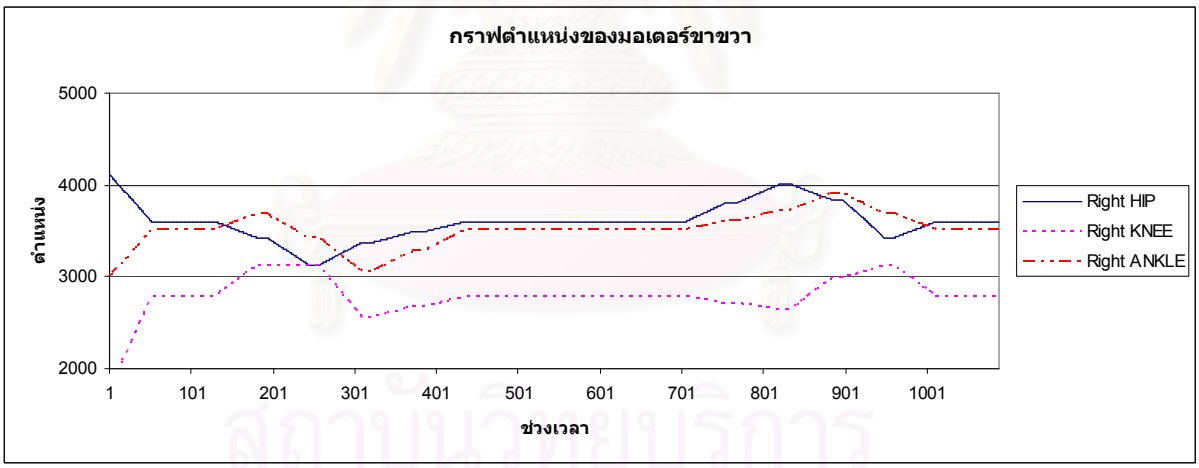
R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
40	132	152	57	98	171	98	84	148	128	84	122	104	140	86	81	118	131	81	118	131

S1				S2				S3				S4				S5			
60	60	60	60	32	88	32	88	48	88	32	88	88	32	88	32	88	32	72	32

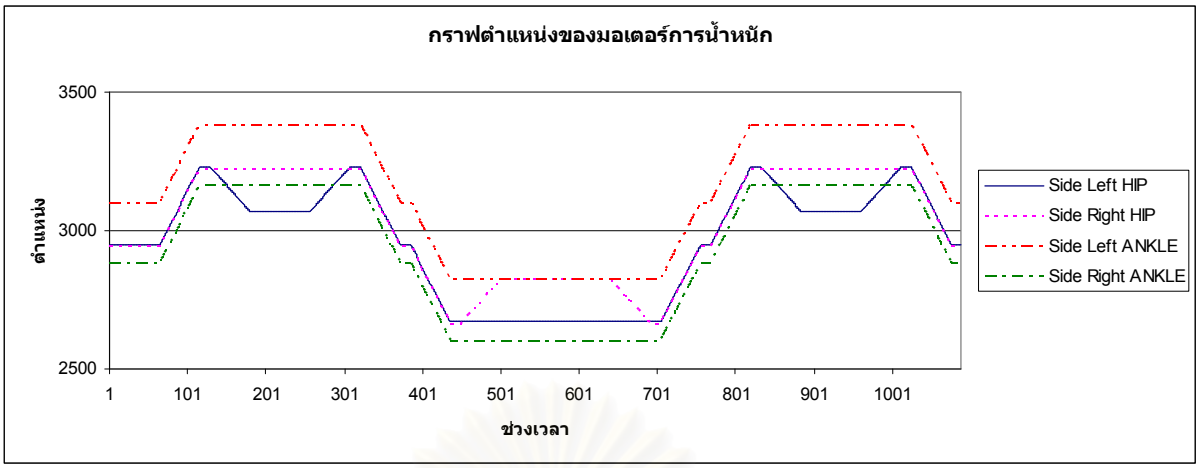
ตารางที่ 6.1 โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์สองขา แบบที่ 1



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาซ้าย



รูปที่ 6.3 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาขวา



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ถ่ายน้ำหนัก

6.6 โปรแกรมการเดินที่ 2

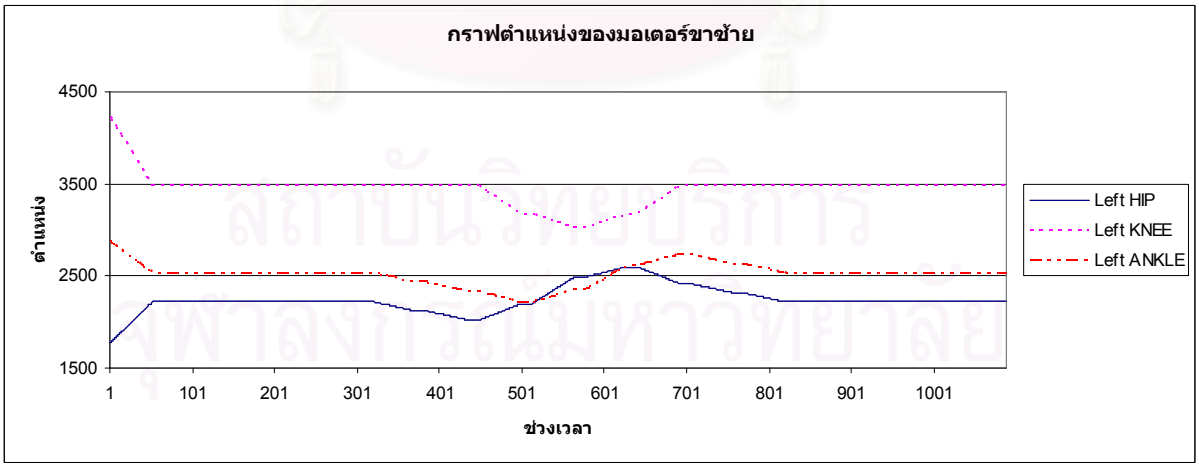
โปรแกรมการเดินแบบที่ 2 มีระยะการก้าวเท้าเปิดจังหวะที่ 31 mm มีระยะการก้าวเท้าปิดจังหวะที่ 32 mm มีระยะการก้าวเท้าเดินที่ 57 mm มีระยะความสูงของการยกเท้าที่ 15 mm ความเร็วในการก้าวเดิน 7 mm/s

L1			L2			L3			L4			L5			L6			L7		
55	145	134	73	115	146	102	100	132	113	115	106	95	145	94	75	145	114	75	145	114

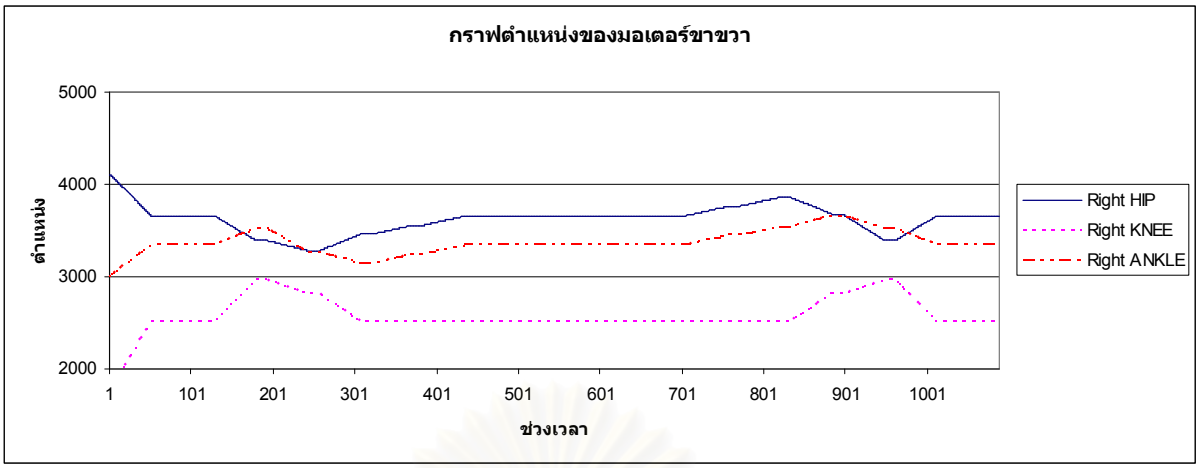
R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
55	145	134	73	115	146	102	100	132	113	115	106	95	145	94	75	145	114	75	145	114

S1				S2				S3				S4				S5			
60	60	60	60	32	88	32	88	48	88	32	88	88	32	88	32	88	32	72	32

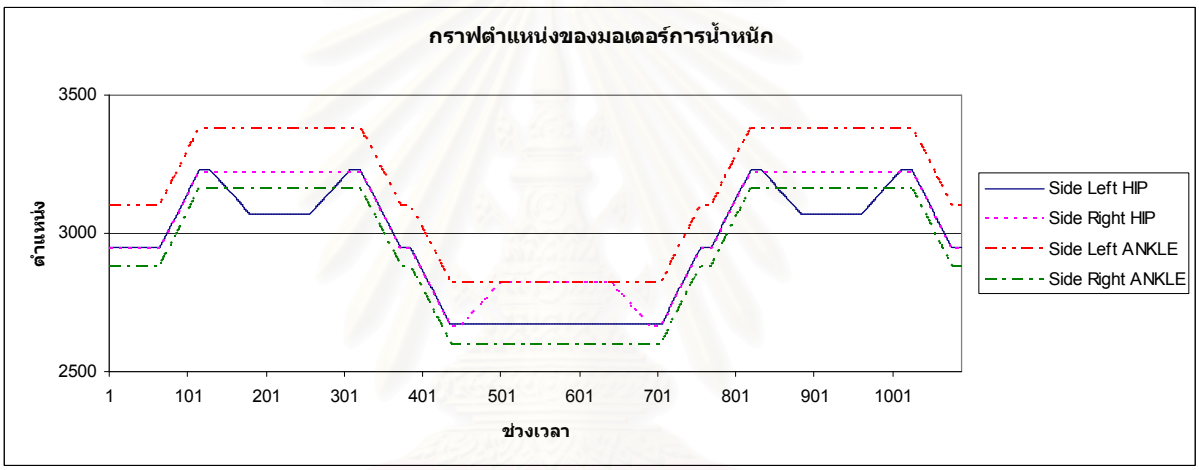
ตารางที่ 6.2 โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์สองขา แบบที่ 2



รูปที่ 6.5 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาซ้าย



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาขวา



รูปที่ 6.7 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ถ่ายน้ำหนัก

6.7 โปรแกรมการเดินที่ 3

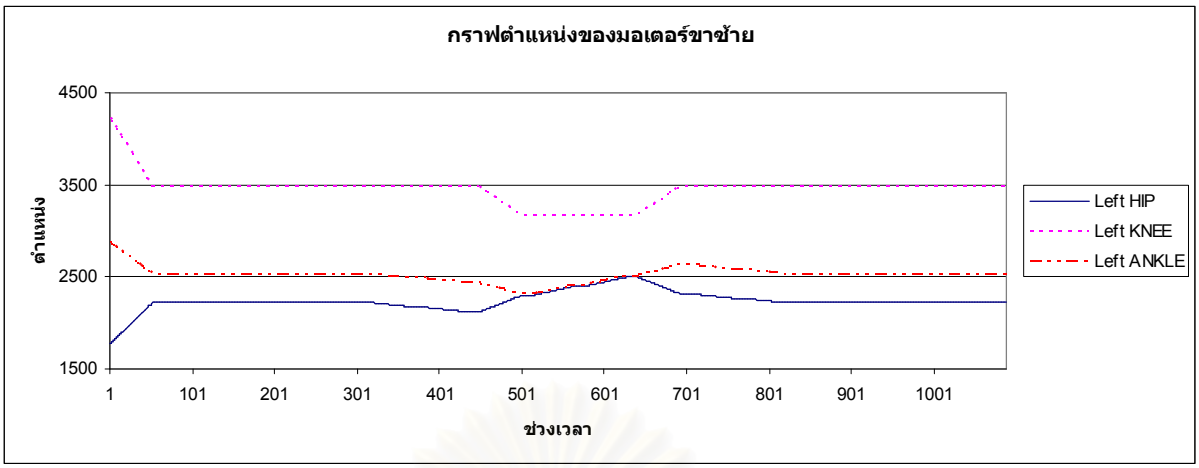
โปรแกรมการเดินแบบที่ 3 มีระยะการก้าวเท้าเปิดจังหวะที่ 19 mm มีระยะการก้าวเท้าปิดจังหวะที่ 19.5 mm มีระยะการก้าวเท้าเดินที่ 32 mm มีระยะความสูงของการยกเท้าที่ 12 mm ความเร็วในการก้าวเดิน 4 mm/s

L1			L2			L3			L4			L5			L6			L7		
65	145	124	83	115	136	93	115	126	103	115	116	85	145	104	75	145	114	75	145	114

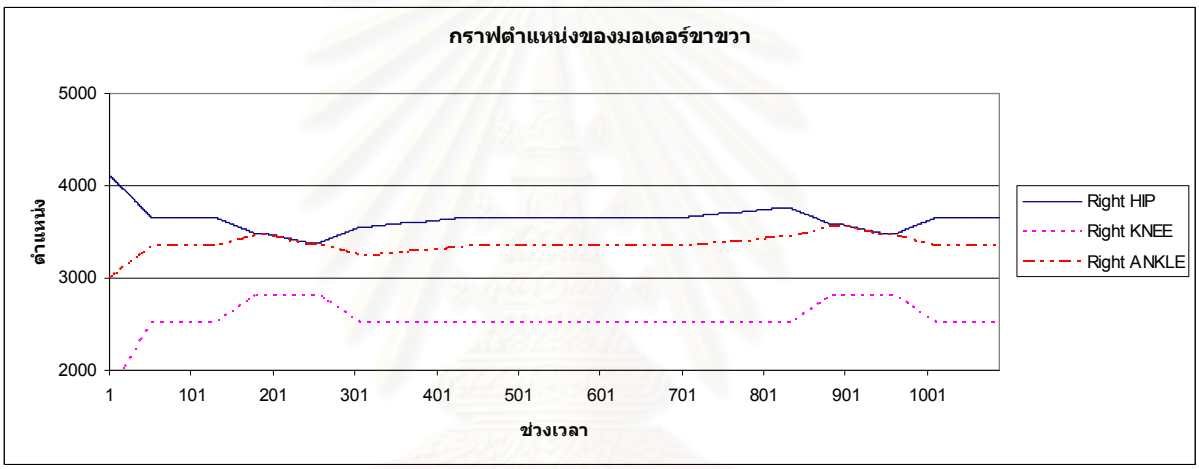
R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
65	145	124	83	115	136	93	115	126	103	115	116	85	145	104	75	145	114	75	145	114

S1				S2				S3				S4				S5			
60	60	60	60	32	88	32	88	48	88	32	88	88	32	88	32	88	32	72	32

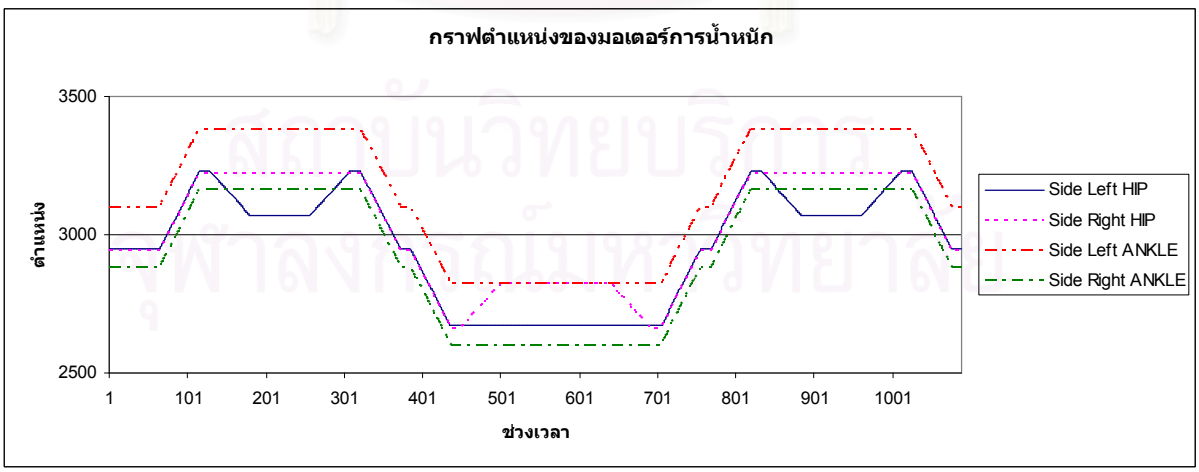
ตารางที่ 6.3 โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์สองขา แบบที่ 3



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาซ้าย



รูปที่ 6.9 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาขวา



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ถ่ายน้ำหนัก

หุ่นยนต์สามารถเดินได้ตามแบบแผนการเดินที่กำหนดไว้ โดยมีระยะการก้าวเท้า และการยกเท้าที่แตกต่างๆ เมื่อทำการปรับความเร็วในการสั่งคำสั่งมากขึ้น หุ่นยนต์สามารถทรงตัวอยู่ได้โดยไม่ล้มแต่หุ่นยนต์จะมีการเสียทิศทางไปเนื่องจากการเคลื่อนที่ของขาอย่างรวดเร็ว

ขั้นตอน	ความยาวของระยะก้าวเท้า (mm)			ความสูงของระยะยกเท้า (mm)		
	Program 1	Program 2	Program 3	Program 1	Program 2	Program 3
ก้าวขาเปิดจังหวะ	47	31	19	20	17	12
ก้าวขาปิดจังหวะ	47	32	19			
ก้าวขาเดิน	91	57	32			

ตารางที่ 6.4 แสดงระยะเคลื่อนเท้าของโปรแกรมควบคุมการเดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีสร้างและสังเคราะห์โปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์แบบเดินสองขา ซึ่งเน้นให้โปรแกรมควบคุมการเดินเป็นเพียงชุดตัวเลขจำนวนไม่มากที่ถูกนำไปสังเคราะห์โปรแกรมควบคุมการเดินหุ่นยนต์ที่สมบูรณ์ขึ้น เป็นโปรแกรมที่สามารถปรับเปลี่ยนท่าทางการเดินของหุ่นยนต์ได้ตามต้องการ เช่นระยะยกเท้า ระยะก้าวเท้า ความเร็วในการก้าวเดิน และระยะการทรงตัว การสังเคราะห์โปรแกรมจะเป็นแบบอัตโนมัติขึ้นกับแบบแผนการเดินที่ต้องการ โปรแกรมควบคุมการเดินที่ได้เกิดจากการประเมินผลการเดินด้วยการเดินหนึ่งกระบวนการเดิน แต่โปรแกรมที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถควบคุมให้หุ่นยนต์เดินได้หลายก้าวขึ้นกับแบบแผนการเดินที่กำหนดให้ทำการสังเคราะห์ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเดินได้อย่างต่อเนื่อง

โปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ที่ได้จะทำตามแบบแผนการเดินที่ได้กำหนดไว้ ถ้าต้องการการเดินในรูปแบบอื่นๆต้องทำการกำหนดแบบแผนขึ้นใหม่ ซึ่งอาจทำให้ขั้นตอนต่างๆที่ได้กำหนดไว้ไม่เหมาะสมกับแบบแผนที่ต้องการสร้างใหม่ได้ขั้นตอนต่างๆที่ได้ทำการแบ่งไว้จะเพียงพอต่อการใช้งานในปัจจุบันแต่ถ้าต้องการให้การก้าวเดินดูสวยงามมากขึ้นต้องทำการเพิ่มขั้นตอนในแต่ละกลุ่ม นอกจากนี้เรายังสามารถลดขั้นตอนลงได้ในกรณีที่หุ่นยนต์ที่ทำการสร้างขึ้นมีความสมดุลซ้ายขวาเท่ากันทำให้ค่าของขั้นตอนซ้าย และค่าของขั้นตอนขวามีค่าเท่ากันสามารถลดจำนวนตัวเลขที่ต้องการใช้งานลงได้ถึง 21 ไบต์ การออกแบบโปรแกรมการเดินหุ่นยนต์ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อต้องการที่นำระบบไปเชื่อมต่อกับระบบสังเคราะห์โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เนื่องจากโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์สองขาที่มีจำนวน 10 จุดหมุนโปรแกรมที่ต้องการค้นหาจะมีความซับซ้อนสูงมาก ทำให้โอกาสที่จะพบโปรแกรมที่ต้องการมีน้อยมาก จึงต้องทำการลดขนาดของการค้นโดยการออกแบบโปรแกรมการเดินใหม่ให้โปรแกรมเป็นเพียงชุดตัวเลขจำนวนไม่มากแต่มีประสิทธิภาพสูง

ท่าทางการเดินทั้งหมดจะถูกแบ่งเป็น 17 ขั้นตอนย่อยเพื่อให้ง่ายต่อการการสังเคราะห์โปรแกรมความคุมการเดินที่สมบูรณ์ ในแต่ละขั้นตอนจะประกอบด้วยขั้นตอนย่อยๆเพื่อนำมาประกอบกันเป็นคำตอบรวม ซึ่งข้อดีของการแบ่งการเดินเป็นขั้นตอนย่อย ๆ คือสามารถกำหนดเกณฑ์การค้นหาความเหมาะสมเฉพาะในแต่ละขั้นให้แตกต่างกันไปให้เหมาะสมกับเป้าหมายย่อยของแต่ละขั้นตอนได้ ทำให้ได้คำตอบใหญ่ง่ายขึ้น จากผลการทดลองที่ได้ แสดงให้เห็นว่าสามารถสร้างโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ที่มีคุณภาพของการเดินเมื่อพิจารณาจากการรักษาสมดุลตลอดช่วงการเดิน สามารถกล่าวได้ว่าหุ่นยนต์สามารถรักษาสมดุลของการเดินได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงของการเดิน

กล่าวโดยสรุป ประเด็นของงานวิจัยนี้อยู่ที่ความต้องการในการสร้างหุ่นยนต์สองขาแบบ 10 จุดหมุนที่สามารถทำงานได้จริง เพื่อใช้เป็นหุ่นยนต์ต้นแบบในการสร้างและประเมินผลโปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์

เนื่องจากการทดสอบโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์สองขาโดยทั่วไปจะทดสอบในสภาวะแวดล้อมจำลองเพื่อประหยัดเวลาและป้องกันความเสียหายของหุ่นยนต์ เมื่อนำโปรแกรมที่ได้มาใช้กับหุ่นยนต์จริง มักไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากความแตกต่างหลายประการของสภาพแวดล้อมจำลองกับสภาพแวดล้อมจริง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการทำการทดลองในสภาวะแวดล้อมจริงกับหุ่นยนต์จริง การสร้างหุ่นยนต์สองขาโดยทั่วไปเป็นหุ่นยนต์สองขาขนาดใหญ่ที่ต้องใช้เงินลงทุนสูงในการทำการสร้าง เมื่อทำการทดลองจริงกับหุ่นยนต์เกิดความเสียหายได้ง่าย ไม่สามารถสร้างหุ่นยนต์ให้มีปริมาณเพียงพอต่อจำนวนนักวิจัยได้ การใช้หุ่นยนต์สองขาขนาดเล็กทำให้สามารถสร้างหุ่นยนต์ให้นักวิจัยได้ทำการทดสอบแนวความคิดต่างๆของตนเองได้โดยใช้งบประมาณไม่สูง สามารถทดลองได้มากเท่าที่ต้องการโดยใช้งบประมาณที่ต่ำกว่าการใช้หุ่นยนต์สองขาขนาดใหญ่ และเพื่อทดสอบหุ่นยนต์ที่ทำการสร้างขึ้นและเป็นแนวทางในการวิจัยต่อในอนาคต ได้เสนอแนวทางการสร้างโปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์สองขาที่มีระบบสังเคราะห์โปรแกรมสมบูรณ์อัตโนมัติเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเดินในลักษณะต่างๆที่แตกต่างๆกันได้ สรุปได้ว่าด้วยระบบของการทดลองตามแบบของงานวิจัยนี้ สามารถสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบ และสร้างโปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์สองขาที่มีระบบสังเคราะห์โปรแกรมสมบูรณ์อัตโนมัติ ช่วยให้การหาโปรแกรมที่ทำให้หุ่นยนต์สองขาเดินได้ในสภาพแวดล้อมจริงอย่างต่อเนื่องได้

7.2 ข้อเสนอแนะ

กล่าวในแง่ของการพัฒนาหุ่นยนต์สองขา งานวิจัยนี้เป็นเพียงงานในช่วงเริ่มต้นของการวิจัยและพัฒนาหุ่นยนต์สองขา จะพบว่าหุ่นยนต์ที่สร้างจะมีเพียง 10 จุดหมุน เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเดินได้หลายทิศทางการสร้างหุ่นยนต์ต่อไปควรมีจุดหมุนไม่น้อยกว่า 12 จุดหมุน และการควบคุมหรือการจ่ายพลังงานควรอยู่บนตัวหุ่นยนต์เพื่อให้หุ่นยนต์มีอิสระในการเคลื่อนที่ การประเมินผลโปรแกรมการดินที่ได้เป็นการประเมินโดยมนุษย์ถ้าต้องการให้หุ่นยนต์สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยอัตโนมัติหรือประเมินคุณภาพการเดินอัตโนมัติหุ่นยนต์ควรมีหน่วยรับรู้ชนิดต่างๆติดตั้งไว้บนตัวหุ่นยนต์ และอยู่ในระบบการสังเคราะห์โปรแกรมด้วย ยิ่งหุ่นยนต์มีหน่วยรับรู้หรือระบบรับรู้มาก หุ่นยนต์ก็จะมีความสามารถในการปรับตัวได้มากด้วย อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ตัวหุ่นยนต์จริงไม่มีหน่วยรับรู้ใด ๆ ติดตั้งอยู่เลย การประเมินค่าความเหมาะสมต่างๆของงานวิจัยนี้กระทำโดยใช้มนุษย์เป็นผู้ตัดสินให้ทั้งสิ้น ซึ่งจุดเหล่านี้เป็นจุดที่ทำให้กล่าวได้ว่าหุ่นยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถปรับตัวเองได้โดยอัตโนมัติหรือโดยไม่มีมนุษย์เข้าไปข้องเกี่ยว ดังนั้น การติดตั้งระบบรับรู้ต่างๆให้หุ่นยนต์สามารถรับรู้ถึงโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์เอง และรับรู้ถึงสภาวะแวดล้อมต่างๆได้มากขึ้น เป็นเงื่อนไขหนึ่งที่ทำให้การพัฒนาหุ่นยนต์ให้สามารถปรับตัวเองได้โดยอัตโนมัติมีความเป็นไปได้มากขึ้น นอกจากนี้เมื่อมีการติดตั้งระบบรับรู้ต่างๆเพิ่มเติมแล้ว การสังเคราะห์โปรแกรมการเดินอัตโนมัติด้วยแบบแผนการเดินที่กำหนดไว้ล่วงหน้าเพียงชุดเดียวสามารถกำหนดแบบแผนการเดินหลายๆชุดที่แตกต่างกันตามสภาวะแวดล้อมที่ตรวจจับได้เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเลือกแบบแผนการเดินที่เหมาะสมได้โดยอัตโนมัติ เช่น แบบแผนการเดินตรง แบบแผนการเดินเลี้ยวซ้าย แบบแผนการเดินเลี้ยวขวา แบบแผนการเดินเลี้ยวขวา เป็นต้น

รายการอ้างอิง

[1] Arakawa, T. ; and Fukuda, T. (1996). Natural motion trajectory generation of biped locomotion robot using genetic algorithm through energy optimization. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2: 1495 - 1500.

[2] Arakawa, T. ; Fukuda, T. (1997). Natural motion generation of biped locomotion robot using hierarchical trajectory generation method consisting of GA, EP layers. IEEE International Conference on Robotics and Automation 1: 211 - 216.

[3] Cabodevila, G. ; and Abba, G. (1997). Quasi optimal gait for a biped robot using genetic algorithm. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 4: 3960 - 3965.

[4] Chanchai, Chaisukkosol. ; and Prabhas, Chongstitvatana. (2001). Automatic Synthesis of Robot Programs for a Biped Static Walker by Evolutionary Computation. Asian Symposium on Industrial Automation and Robotics

[5] Goldberg, D.E. (1989). Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison Wesley.

[6] Hirai, K. ; Hirose, M. ; Haikawa, Y. ; and Takenaka, T. (1998). The development of Honda humanoid robot. IEEE International Conference on Robotics and Automation 2: 1321 - 1326.

[7] Konno, A. ; Kato, N. ; Shirata, S. ; Furuta, T. ; and Uchiyama, M. (2000). Development of a light-weight biped humanoid robot. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 3: 1565 - 1570.

[8] Kuroki, Y. (2001). A small biped entertainment robot. International Symposium on Micromechatronics and Human Science 1: 3 - 4.

[9] Qiang, Huang. ; Yokoi, K. ; Kajita, S. ; Kaneko, K. ; Arai, H. ; Koyachi, N. ; and Tanie, K. (2001). Planning walking patterns for a biped robot. IEEE Transactions on Robotics and Automation 3: 280 - 289.

[10] Sang-Ho, Choi. ; Young-Ha, Choi. ; and Jin-Geol, Kim. (1999). Optimal walking trajectory generation for a biped robot using genetic algorithm. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 3: 1456 - 1461.

[11] Sias, F.R., Jr. ; and Zheng, Y.F. (1990). How many degrees-of-freedom does a biped need? IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems 1: 297 - 302.

[12] Sorao, K. ; Murakami, T. ; and Ohnishi, K. (1997). A unified approach to ZMP and gravity center control in biped dynamic stable walking. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics 1: 112.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปรีดา เลิศพงศ์วิภูษณะ เกิดวันที่ 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2510 ที่อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2535 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2543 ปัจจุบันรับราชการที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพ ฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย