



การสร้างรูปแบบการเดินส่วนขาของหุ่นยนต์คล้ายมนุษย์โดยเลียนแบบจากภาพ
ท่าทางของมนุษย์

**The Generation of Walking Pattern for a Humanoid Robot legs from Human
Walking Pattern**

ยศวิทย์ แก้วมณี

Yossawee Keaomane

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การสร้างรูปแบบการเดินส่วนขาของหุ่นยนต์คล้ายมนุษย์โดยเลียนแบบ
จากภาพท่าทางของมนุษย์

ผู้เขียน นายยศวิทย์ แก้วมณี

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเนศ เคารพพงศ์)

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์บุญญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนะเดชะ)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนะเดชะ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเนศ เคารพพงศ์)

.....
(ดร.สมชัย หลิมศิริโรรัตน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จำนงไทย)

.....กรรมการ
(ดร.สมชัย หลิมศิริโรรัตน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การสร้างรูปแบบการเดินส่วนขาของหุ่นยนต์คล้ายมนุษย์โดยเลียนแบบจากภาพท่าทางของมนุษย์
ผู้เขียน	นายศวิชัย แก้วมณี
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับการศึกษาและสร้างรูปแบบการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขาโดยการเลียนแบบท่าทางการเดินของมนุษย์ วิธีการวิจัยเริ่มจากการถ่ายวิดีโอการเดินของคน ซึ่งได้ติดจุดสังเกตที่ตำแหน่ง ข้อเท้า หัวเข่า และสะโพก แล้วหารูปแบบการเดินของคนโดยคำนวณหาลำดับการเปลี่ยนแปลงของมุมที่ข้อต่อ แล้วนำลำดับการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อจากการเดินของคนมาทำการปรับให้มีความเหมาะสมกับหุ่นยนต์ โดยพิจารณาเงื่อนไขสองประการคือ อัตราส่วนของความยาวช่วงขาและตำแหน่งข้อต่อที่แตกต่างกันของคนกับหุ่นยนต์ และควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลของโครงสร้างให้อยู่ในพื้นที่ฐาน แล้วจึงสร้างรูปแบบการเดินที่จะใช้ควบคุมท่าทางการเดินของหุ่นยนต์ จากนั้นนำชุดข้อมูลที่ได้ไปทดสอบกับแบบจำลองการเดินเพื่อตรวจสอบท่าทางการเดินและตำแหน่งของจุดรวมมวล ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทดสอบรูปแบบการเดินกับหุ่นยนต์จริง

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการถ่ายวิดีโอการเดินของคนซึ่งเริ่มต้นเดินโดยการก้าวเท้าขวาก่อนจำนวน 4 ก้าว ทั้งหมด 7 ตัวอย่าง ความถี่โดยเฉลี่ยในการถ่ายวิดีโอท่าทางการเดินอยู่ที่ 9.738 เฟรมต่อวินาที จากนั้นคำนวณหารูปแบบการเดินของคนและนำค่ามุมที่ข้อต่อมาปรับค่ามุมตามเงื่อนไขสองประการข้างต้น แล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการประมาณค่าเชิงเส้นให้ได้ข้อมูลจากการเดินที่มีความละเอียดทุกๆ 10 มิลลิวินาที จากนั้นสร้างรูปแบบการเดินที่จะใช้ควบคุมหุ่นยนต์โดยทำการสุ่มค่าข้อมูลที่ทำประมาค่าเชิงเส้นแล้วด้วยความถี่ 4 เฮิร์ต รูปแบบการเดินที่ได้นี้จะนำไปทดสอบจำลองการเดินด้วยซอฟต์แวร์ ThreeDimSim เพื่อตรวจสอบท่าทางการเดินและตำแหน่งของจุดรวมมวลของท่าทางการเดินที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งจากการทดสอบจำลองการเดิน ลำดับท่าทางการเดินที่ได้มีความคล้ายคลึงกับท่าทางการเดินของคนและสามารถควบคุมตำแหน่งจุดรวมมวลของโครงสร้างให้อยู่ในพื้นที่ฐาน(ฝ่าเท้าที่สัมผัสพื้น)ได้ จากนั้นนำรูปแบบการเดินที่ได้ไปทดสอบกับหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นซึ่งมีจุดหมุนจำนวน 5 จุดหมุนต่อขาหนึ่งข้าง ได้แก่ ข้อเท้า 2 จุดหมุน หัวเข่า 1 จุดหมุน สะโพก 2 จุดหมุน โดยไม่ได้ติดตั้งตัวตรวจวัดใดๆเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบข้อมูลจากการเดิน หุ่นยนต์สามารถเดินได้ตามลำดับท่าทางการเดินที่สร้างขึ้นโดยมีลำดับท่าทางการเดินคล้ายคลึงกับท่าทางการเดินของคน

คำสำคัญ: การเดิน, หุ่นยนต์เดินสองขา

Thesis Title	The Generation of Walking Pattern for a Humanoid Robot legs from Human Walking Pattern
Author	Mr.Yossawee Keaomanee
Major Program	Computer Engineering
Academic Year	2008

Abstract

This thesis present about studying and generation walking pattern of humanoid robot by copied from human walking pattern. The procedure works to begin from capture human walk pattern which observed at three positions of the important joints including of ankle, knee and hip, of both left and right legs, after we get human walking pattern, after we get human walking pattern , we transform this pattern to suitability for robot. We considered 2 important condition is difference of structure ratio and CM(Center of Mass)position. After that, we generate pattern to control humanoid robot and test this pattern by simulation software. And last step we test walking pattern with real robot.

In experiment ,we capture walking pattern from human (7 sample).Walking step start with right leg in 4 step. Average framerate is 9.738 frame per second and find walking pattern by calculate sequence of angle change. After we get walking pattern from human, we transform this pattern to robot pattern with 2 condition above. After that we used linear interpolation method for increase circumspect of pattern every 10 millisecond and resampling this pattern by frequency is 4 Hz . We used simulate this pattern by ThreeDimSim software for check walking posture and position of CM. Result from experiment, humanoid walking posture look like human posture and can control CM position in support foot. In last step, we test this pattern with humanoid robot (5 DOF/leg: ankle 2 DOF, knee 1 DOF, hip 2 DOF) and don't setting other sensor on humanoid robot. Result of experiment , humanoid robot can walk and posture of walking look like human

Key word : walking pattern, Humanoid

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเนศ เคารพพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และให้ความรู้ในด้านต่างๆ รวมถึงการให้การสนับสนุนในเรื่องอุปกรณ์ในการทำวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนะเดชะ และ ดร.สมชัย หลิมศิริรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และให้ความรู้ในด้านต่างๆ รวมถึงการให้การสนับสนุนในเรื่องอุปกรณ์ในการทำวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ต่อการวิจัยตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จ่านงไทย ที่กรุณาให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ต่อการวิจัยตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้มอบทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโทสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

และสุดท้ายนี้ ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ส่งเสริมให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนในเรื่องต่างๆ จนกระทั่งข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษา

ยศวิทย์ แก้วมณี

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(9)
รายการภาพประกอบ.....	(10)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ.....	(13)
คำอธิบายตัวแปร.....	(14)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 การตรวจเอกสาร.....	1
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.7 ทรัพยากรที่ใช้ในงานวิจัย.....	5
1.8 ภาพรวมของงานวิจัย.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	7
2.1 การประมวลผลภาพ.....	7
2.2 มาตรฐานของสี.....	7
2.2.1 ระบบสีแบบ RGB.....	8
2.2.2 ระบบสีแบบ HSV.....	8
2.3 กระบวนการทางด้านการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์.....	9
2.3.1 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิทัล.....	9
2.3.2 เทคนิคการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing Technique).....	12
2.3.3 เทคนิคการแบ่งแยกข้อมูลภาพ (Image Segmentation Technique).....	13
2.3.4 การแปลความหมายและจำแนกประเภทข้อมูล (Data Interpretation & Classification).....	14
2.4 การเดินของคน.....	14
2.4.1 ตัวตรวจวัดสำหรับการเดินของคน.....	15
2.5 การควบคุมการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขา.....	15

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5.1 การสร้างและควบคุมการเดินแบบสถิติ.....	16
2.5.2 การสร้างและควบคุมการเดินแบบพลวัตี	16
บทที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย.....	19
3.1 ภาพรวมของการวิจัย	19
3.2 การถ่ายภาพท่าทางการเดินของคน.....	20
3.2.1 การติดตั้งกล้องเว็บแคมเพื่อถ่ายภาพการเดินของคน.....	20
3.2.2 แล็บสีหรือตัวสะท้อนแสงสำหรับใช้เป็นจุดอ้างอิง.....	21
3.2.3 โปรแกรมสำหรับประมวลผล.....	24
3.3 การหารูปแบบการเดินของคนจากภาพถ่าย	24
3.3.1 การหาจุดศูนย์กลางของจุดสังเกต	24
3.3.2 การคำนวณหามุมที่ข้อมต่อ	26
3.4 การปรับค่ามุมจากการเดินของคนเพื่อใช้สร้างท่าทางการเดินของหุ่นยนต์.....	27
3.4.1 ข้อแตกต่างระหว่างโครงสร้างของคนกับโครงสร้างของหุ่นยนต์.....	27
3.4.2 ขั้นตอนการปรับมุมจากการเดินของคนให้เหมาะสมกับโครงสร้างของหุ่นยนต์.....	28
3.4.3 การปรับค่ามุมเพื่อรักษาจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐาน.....	35
3.4.4 การพิจารณาทอร์กที่ข้อมต่อ	40
3.5 การสร้างชุดข้อมูลสำหรับควบคุมหุ่นยนต์.....	43
3.5.1 การประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้น	44
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	45
4.1 การถ่ายภาพท่าทางการเดินและคำนวณหามุมที่ข้อมต่อ	45
4.1.1 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อมต่อจากการเดินของคน	48
4.2 การปรับค่ามุม ให้เหมาะสมกับโครงสร้าง	49
4.2.1 ตัวอย่างโครงสร้างทางกายภาพของคนที่ใช้เป็นต้นแบบ	49
4.2.2 โครงสร้างทางกายภาพของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง	49
4.2.3 การปรับมุมที่ข้อมต่อจุดต่างๆ.....	51
4.3 การปรับมุมเพื่อควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวล ให้อยู่ในพื้นที่ฐาน	55
4.4 การสร้างชุดข้อมูลสำหรับควบคุมหุ่นยนต์.....	56
4.5 การทดสอบการเดินกับหุ่นยนต์.....	59

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5.1 สเปกของมอเตอร์ที่ใช้.....	59
4.5.2 การจำลองท่าทางการเดินที่สร้างขึ้น.....	60
4.6 ตัวอย่างผลการทดสอบการเดินของหุ่นยนต์.....	61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	70
5.1 บทสรุป	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก ก งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	76
ภาคผนวก ข ข้อมูลการเดินของกลุ่มตัวอย่าง	77
ประวัติผู้เขียน	90
การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน	91

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
ตาราง 3-1 เปรียบเทียบการหมุนของข้อต่อแต่ละจุดของคนละหุ่นยนต์	30
ตาราง 4-1 ระยะห่างของกล้องแต่ละตัวกับส่วนขาของคน	46
ตาราง 4-2 ภาพแสดงตัวอย่างการเดินจำนวน 4 ก้าว โดยเริ่มต้นด้วยการก้าวเท้าขวา.....	47
ตาราง 4-3 ขนาดของโครงสร้างคนที่เป็นตัวอย่าง	49
ตาราง 4-4 ความยาวของโครงสร้างหุ่นยนต์	50
ตาราง 4-5 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการทำการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้น	57
ตาราง 4-6 ข้อมูลทางเทคนิคของ เซอร์โวมอเตอร์ AX-12.....	60
ตาราง 4-7 ลำดับข้อมูลที่นำมาสร้างเป็นชุดท่าทางในการควบคุมหุ่นยนต์	62
ตาราง 5-1 รายละเอียดทางโครงสร้างและน้ำหนักของตัวอย่างทดลอง	70
ตาราง 5-2 รายละเอียดข้อมูลเกี่ยวกับการเดิน	71

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพประกอบ 1-1	ภาพเปรียบเทียบระหว่างท่าทางของคนและหุ่นยนต์ Taiji.....2
ภาพประกอบ 1-2	กล้องเว็บแคม Logitech Quickcam pro4000.....6
ภาพประกอบ 1-3	ขั้นตอนโดยรวมของงานวิจัย.....6
ภาพประกอบ 2-1	ระบบสีแบบ RGB8
ภาพประกอบ 2-2	ระบบสี HSV9
ภาพประกอบ 2-3	ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิทัล.....10
ภาพประกอบ 2-4	รอบการเดินของหุ่นยนต์.....15
ภาพประกอบ 2-5	การควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐาน.....16
ภาพประกอบ 2-6	แรงปฏิกิริยาจากการเดินแบบพลวัต.....18
ภาพประกอบ 3-1	ขั้นตอนการทำงานโดยรวม.....19
ภาพประกอบ 3-2	การใช้กล้องจับการเคลื่อนไหวของส่วนต่างๆบนใบหน้า.....20
ภาพประกอบ 3-3	การใช้กล้องจับการเคลื่อนไหวของแขน.....21
ภาพประกอบ 3-4	ตำแหน่งในการวางกล้องเพื่อถ่ายภาพการเดินของคน.....21
ภาพประกอบ 3-5	แถบสีหรือตัวสะท้อนแสงสำหรับใช้เป็นจุดอ้างอิง.....22
ภาพประกอบ 3-6	จุดสังเกตที่ใช้ในการทดลอง.....22
ภาพประกอบ 3-7	ตำแหน่งในการวางจุดอ้างอิงเพื่อใช้ติดตามการเคลื่อนไหว.....23
ภาพประกอบ 3-8	ตัวอย่างการติดตามจุดสังเกตบนข้อต่อส่วนล่างของร่างกาย.....23
ภาพประกอบ 3-9	ตัวอย่างผลลัพธ์การประมวลผลของโปรแกรม.....24
ภาพประกอบ 3-10	ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของจุดสังเกต.....25
ภาพประกอบ 3-11	มุมที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรงสองเส้น.....26
ภาพประกอบ 3-12	ขั้นตอนการปรับค่ามุมจากการเดินของคน.....28
ภาพประกอบ 3-13	แกนพิกัดสมมุติ เพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่ง.....29
ภาพประกอบ 3-14	อัตราส่วนของขาช่วงบนและช่วงล่างของคนกับหุ่นยนต์ (ด้านข้าง).....31
ภาพประกอบ 3-15	ภาพประกอบสมการ (3-5) และสมการ (3-6).....32
ภาพประกอบ 3-16	ภาพประกอบสมการ (3-4) และ (3-5).....33
ภาพประกอบ 3-17	ภาพประกอบสมการ (3-11).....34
ภาพประกอบ 3-18	การปรับมุมเพื่อควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวล.....35

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพประกอบ 3-19 พื้นฐานของโครงสร้าง	36
ภาพประกอบ 3-20 ตำแหน่งของจุดรวมมวลที่มีโอกาสอยู่นอกพื้นฐาน	37
ภาพประกอบ 3-21 ตำแหน่งของจุดรวมมวลอยู่นอกพื้นฐานในทิศทาง แกน +z	37
ภาพประกอบ 3-22 ตำแหน่งของจุดรวมมวลอยู่นอกพื้นฐานในทิศทาง แกน +x	38
ภาพประกอบ 3-23 ตำแหน่งของจุดรวมมวลอยู่นอกพื้นฐานในทิศทาง แกน -x	38
ภาพประกอบ 3-24 ตำแหน่งของจุดรวมมวลอยู่นอกพื้นฐานในทิศทาง แกน -z	39
ภาพประกอบ 3-25 ขั้นตอนการปรับค่ามุมเพื่อรักษาตำแหน่งของจุดรวมมวล	40
ภาพประกอบ 3-26 การคำนวณทอร์กรอบแกน Z ที่ข้อเท้า	42
ภาพประกอบ 4-1 ขั้นตอนในการสอบ	45
ภาพประกอบ 4-2 ภาพวาดคำของขาขวาของคน	46
ภาพประกอบ 4-3 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อของคน	48
ภาพประกอบ 4-4 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อขาขวาของคน	49
ภาพประกอบ 4-5 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อขาซ้ายของคน	49
ภาพประกอบ 4-6 โครงสร้างของหุ่นยนต์	50
ภาพประกอบ 4-7 ตำแหน่งของจุดหมุนของช่วงขาของคน	51
ภาพประกอบ 4-8 ภาพประกอบสมการ (3-11)	52
ภาพประกอบ 4-9 กราฟเปรียบเทียบมุมที่ข้อเท้าขาก่อนและหลังการปรับค่ามุม	53
ภาพประกอบ 4-10 กราฟเปรียบเทียบมุมที่ข้อเท้าซ้ายก่อนและหลังการปรับค่ามุม	53
ภาพประกอบ 4-11 กราฟเปรียบเทียบมุมที่สะโพกขาก่อนและหลังการปรับค่ามุม	54
ภาพประกอบ 4-12 กราฟเปรียบเทียบมุมที่สะโพกซ้ายก่อนและหลังการปรับค่ามุม	54
ภาพประกอบ 4-13 กราฟเปรียบเทียบมุมที่หมุนรอบแกน z ที่สะโพกและข้อเท้า	54
ภาพประกอบ 4-14 ตัวอย่างลักษณะตำแหน่งของจุดรวมมวลที่อยู่นอกพื้นฐาน	55
ภาพประกอบ 4-15 เปรียบเทียบตำแหน่งของจุดรวมมวลบนแกน x	56
ภาพประกอบ 4-16 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวา	57
ภาพประกอบ 4-17 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวาเมื่อทำการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้นด้วยคาบเวลา 500 ms	58

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพประกอบ 4-18 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวาเมื่อทำการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้นด้วยคาบเวลา 200 ms.....	58
ภาพประกอบ 4-19 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวาเมื่อทำการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้นด้วยคาบเวลา 100 ms.....	58
ภาพประกอบ 4-20 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวาเมื่อทำการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้นด้วยคาบเวลา 50 ms.....	59
ภาพประกอบ 4-21 เซอร์ไวโมเตอร์ AX-12	59
ภาพประกอบ 4-22 ลักษณะการส่งข้อมูลของเซอร์ไวโมเตอร์ AX-12	60
ภาพประกอบ 4-23 หน้าต่างโปรแกรม ThreeDimSim	61
ภาพประกอบ 4-24 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวาของทั้ง 7 ตัวอย่าง.....	68
ภาพประกอบ 4-25 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าซ้ายของทั้ง 7 ตัวอย่าง	68
ภาพประกอบ 4-26 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมุมที่สะโพกขวาของทั้ง 7 ตัวอย่าง.....	68
ภาพประกอบ 4-27 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมุมที่สะโพกซ้ายของทั้ง 7 ตัวอย่าง.....	69

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

VGA	Video Graphic Array
RGB	Red Green Blue
HSV	Hue Saturation Value
HLS	Hue Lightness Saturation
CRT	Cathode Ray Tube
CIE	Commission International l 'Eclairage
NTSC	National Television System Committee
ROI	Region of Interest
DOF	Degree Of Freedom
ZMP	Zero Moment Point
CM	Center of Mass

คำอธิบายตัวแปร

θ_H	มุมที่เกิดจากการเดินของคน
θ_R	มุมที่ปรับค่าแล้วสำหรับใช้กับหุ่นยนต์
$CM_{-z_{frame_x}}$	ตำแหน่งของจุดรวมมวลบนแกน z เมื่อพิจารณาจาก เฟรมที่ x เป็นต้นไป
$CM_{-x_{frame_x}}$	ตำแหน่งของจุดรวมมวลบนแกน x เมื่อพิจารณาจาก เฟรมที่ x เป็นต้นไป
m_i	มวลของชิ้นส่วนที่ i
z_{li}	ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของชิ้นส่วนที่ i เทียบกับเฟรมที่ x
$Torque_{-x_x}$	ทอร์ครอบแกน x ของเฟรมที่ x
$Torque_{-z_x}$	ทอร์ครอบแกน z ของเฟรมที่ x

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันเทคโนโลยีเกี่ยวกับหุ่นยนต์ได้รับการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว หุ่นยนต์เสมือนมนุษย์ (Humanoid) เป็นหุ่นยนต์ที่ได้รับการพัฒนาประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง ทำให้ในปัจจุบันหุ่นยนต์ประเภทนี้มีความสามารถหลากหลายมากขึ้น เช่นสามารถเดินหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวางหรือการประมวลผลภาพ สามารถรู้จำและแยกแยะเสียงของมนุษย์ได้และสามารถแสดงท่าทางต่างๆได้หลายรูปแบบ

การพัฒนาการเดินของหุ่นยนต์เสมือนมนุษย์ เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากในการพัฒนาประสิทธิภาพของหุ่นยนต์เสมือนมนุษย์ ในปัจจุบันมีวิธีการพัฒนาการเดินของหุ่นยนต์เสมือนมนุษย์ในหลายๆรูปแบบ เช่น การใช้สมการโคเนมาติกส์ (Kinematics Equation) ในการคำนวณหามุมของข้อต่อและสร้างท่าทางของหุ่นยนต์ หรือใช้การคำนวณการเดินแบบพลวัต (dynamic) ร่วมกับการใช้เซนเซอร์ประเภทต่างๆ เช่น เซนเซอร์วัดแรง เซนเซอร์วัดทอร์ก เซนเซอร์วัดมุม เป็นต้น เพื่อสร้างท่าทางการเคลื่อนไหวและนำไปควบคุมหุ่นยนต์

งานวิจัยนี้ ศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับการสร้างท่าทางการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขาโดยใช้วิธีการเลียนแบบท่าทางการเดินของคนโดยการรับภาพท่าทางการเดินและนำข้อมูลการเดินของคนมาปรับให้มีความเหมาะสมกับหุ่นยนต์ และนำไปสร้างเป็นท่าทางการเดินที่จะใช้ควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ ซึ่งจะช่วยให้การสร้างการเดินของหุ่นยนต์สะดวกยิ่งขึ้น

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 Trajectory Planning for 7-link Biped Robot[1]

ปัญหาสำคัญของการควบคุมการเดินของหุ่นยนต์แบบเดินสองขาคือ ความไม่เป็นเชิงเส้นทางไดนามิกส์ ปัจจัยแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อค่าทอร์กและท่าทาง เป็นหนึ่งในปัญหาหลักที่มีความสำคัญมาก ในการกำหนดและสร้างท่าทางการเดิน

บทความนี้แนะนำเสนอเกี่ยวกับ การเดินของหุ่นยนต์เดินสองขาแบบ 7 ลิงค์ ซึ่งเดินบนพื้นเรียบ โดยที่ท่าทางการเดินที่สมบูรณ์ ประกอบด้วยสองส่วน คือ การยืนด้วยขาข้างเดียว (Single Support Phase) และการยืนด้วยขาสองข้าง (Double Support Phase) ซึ่งแนวทางการเคลื่อนที่ของข้อต่อจุดต่างๆ (Joint Trajectory) จะสร้างจากพื้นฐานของสมการและข้อบังคับทางโครงสร้างต่างๆ ซึ่งเป็น

สมการโคเนมาติกส์ต่างๆ เช่น ความยาวช่วงก้าว ความเร็วในการเดิน ความสูงในการยกขา เป็นต้น ในส่วนที่สอง นำเสนอเกี่ยวกับสมการทางคณิตศาสตร์ร่วมกับการวิเคราะห์การเดินของหุ่นยนต์เดินสองขา ในส่วนที่สามนำเสนอเกี่ยวกับระเบียบวิธีที่ใช้ในการพิจารณาแนวการเคลื่อนที่

งานวิจัยนี้นำเสนอระเบียบวิธีในการวางแผนควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เดินสองขา แบบ 7 ชิ้นส่วน (7-Link) โดยที่ท่าทางการเดินที่สมบูรณ์ประกอบด้วยขาข้างเดียว และการยืนด้วยขาสองข้าง ซึ่งแนวการเคลื่อนที่ของข้อต่อต่างๆจะถูกสร้างและกำหนดขึ้นบนพื้นฐานของสมการข้อบังคับต่างๆซึ่งเป็นสมการโคเนมาติกส์ เช่น ความยาวช่วงก้าว ความสูงในการยกขา และคาบ (Period) ในการเดิน รวมถึงเงื่อนไขของพื้นที่รองรับ (Support Phase) ซึ่งสามารถช่วยรักษาเสถียรภาพของหุ่นยนต์เดินสองขาได้ในช่วงความเร็วการเดินที่กว้าง

งานวิจัยนี้สามารถหาค่าในการกำหนดเงื่อนไขเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขาแบบ 7 ชิ้นส่วน อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ ไม่รับรองเกี่ยวกับ สมดุลทางพลวัต (Dynamic Stability) เพราะในงานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาในส่วนของตำแหน่งของจุดที่ให้โมเมนต์เป็นศูนย์หรือจุด ZMP (Zero Moment Point) ซึ่งการเพิ่มการคำนวณ ZMP จะช่วยให้สมดุลของหุ่นยนต์ดีขึ้น

1.2.2 Humanoid Kinematics Mapping and Similarity Evaluation Base on Human

Motion Capture[2]

บทความนี้แนะนำเกี่ยวกับการทำ Kinematics Mapping และการหาค่าความเหมือนของหุ่นยนต์เดินสองขาที่มีพื้นฐานจากการจับท่าทางของคน ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ สรุปได้ดังนี้

- 1 ฟังก์ชันความเหมือนระหว่างหุ่นยนต์เดินสองขา กับคนที่เป็นต้นแบบนั้น ข้อจำกัดทางจลศาสตร์จะถูกกำหนดโดยเงื่อนไขของการสัมผัสพื้น และการได้มาซึ่งขั้นตอนวิธีในการกำหนดท่าทาง และความเหมือนในระดับที่ต้องการของท่าทางของหุ่นยนต์เดินสองขาจะขึ้นอยู่กับข้อจำกัดทางจลศาสตร์
- 2 ผลลัพธ์ของระเบียบวิธีแสดงคังภาพหุ่นยนต์ “Taiji” ซึ่งเป็นหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพประกอบ 1-1 ภาพเปรียบเทียบระหว่างท่าทางของคนและหุ่นยนต์ Taiji

1.2.3 การศึกษาการควบคุม ZMP สำหรับหุ่นยนต์เดิน 2 ขาด้วยระบบควบคุมฟuzzyที่ใช้

ฟังก์ชัน Sine[3]

บทความนี้แนะนำเสนอถึงการศึกษาการควบคุมตำแหน่ง ZMP (Zero Moment Point) ของหุ่นยนต์เดิน 2 ขาโดยอาศัยการควบคุมการเคลื่อนไหวของส่วนลำตัวซึ่งแยกอิสระจากการควบคุมส่วนขา เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเดินได้อย่างมีเสถียรภาพบนพื้นเรียบและในบทความนี้ได้แนะนำเสนอระบบควบคุมแบบฟuzzyที่มีฟังก์ชันสมาชิกเป็นแบบฟังก์ชัน Sin ซึ่งเป็นรูปแบบของฟังก์ชันสมาชิกที่ยังไม่เคยมีการนำมาใช้ในระบบควบคุมมาก่อน โดยมีการทดลองเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบ P และแบบ PD ที่ใช้กันทั่วไป

บทความฉบับนี้ได้แนะนำเสนอถึงการคุมจุด ZMP ของหุ่นยนต์เดิน 2 ขาโดยการควบคุมการเคลื่อนไหวส่วนลำตัวของหุ่นยนต์ด้วยระบบควบคุม 3 แบบคือระบบควบคุมแบบ P, แบบ PD และแบบ ฟuzzyที่มีฟังก์ชันสมาชิกเป็นแบบฟังก์ชัน Sine ซึ่งจากการทดลองพบว่าระบบควบคุมทั้ง 3 แบบสามารถควบคุมให้จุด ZMP เป็นไปตามคำสั่งได้ดีในระดับหนึ่งและสามารถทำให้หุ่นยนต์สามารถเดินได้อย่างมีเสถียรภาพ โดยที่ระบบควบคุมแบบ PD นั้นทำให้การเคลื่อนที่ของส่วนลำตัวใช้พลังงานต่ำที่สุด ส่วนระบบควบคุมแบบฟuzzyนั้นใช้พลังงานมากกว่าระบบควบคุมแบบ PD แต่น้อยกว่าแบบ P โดยที่ระบบควบคุมแบบฟuzzyใช้สัญญาณขาเข้าเป็นค่าผิดพลาดของมุมของลำตัวเพียงอย่างเดียวในขณะที่ระบบควบคุมแบบ PD ต้องใช้ข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนที่ของลำตัวด้วย

1.2.4 Trajectory Planning for a leg swing during human walking [4]

บทความฉบับนี้ได้แนะนำเสนอการคำนวณ แนวการเคลื่อนที่ (Trajectory) ที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดโดยใช้ขาหุ่นอย่างง่ายที่มีข้อต่อสองตำแหน่งคือหัวเข่าและสะโพก และใช้ข้อมูลการแกว่งขาของคนมาเป็นข้อมูลพื้นฐานเนื่องจากท่าทางที่ดีที่สุดคือท่าทางที่เหมือนกับของคน ปัญหาในการคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน คือต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อและกระดูกเพื่อหาข้อแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ใช้ในการทดลองกับแนวการเคลื่อนที่ที่ดีที่สุด

1.2.5 A Comparison Study of Static and Dynamic Walking Model of A Biped Robot [5]

ท่าทางการเดินที่ดีจะช่วยให้หุ่นยนต์เดินได้มีเสถียรภาพ ระเบียบวิธีแรก คือ การเดินแบบเสถียรภาพสถิต (Static Stability) ซึ่งจะพิจารณาและให้ความสำคัญกับการควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวล (CM: Center of Mass) เป็นหลัก ระเบียบวิธีที่สองคือการเดินแบบพลวัตซึ่งจะใช้การพิจารณาตำแหน่งของจุดที่ให้โมเมนต์ เป็นศูนย์ (ZMP) โดยใช้การจำลองการเดินเพื่อหารูปแบบการเดินที่ดีที่สุดของระเบียบวิธี ทั้งสองแบบ

ในการวิเคราะห์ระบบ การให้ความสำคัญของตัวแปรจะเป็นส่วนที่มีความสำคัญและเป็นตัวกำหนดปัจจัยและความสัมพันธ์หลายประการ ซึ่งการให้ความสำคัญกับตัวแปรแต่ละตัวที่แตกต่างกันจะให้ผลลัพธ์ในการคำนวณที่แตกต่างกันเช่นกัน ถ้าให้ความสำคัญกับตัวแปรใดมากเป็นพิเศษ ผลลัพธ์ของความสัมพันธ์จะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงตามตัวแปรนั้นๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าให้ความสำคัญกับการเปลี่ยนแปลงของมุมเป็นปัจจัยหลัก การเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อเพียงเล็กน้อยจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงท่าทางของหุ่นยนต์ได้มาก แต่ขณะเดียวกันก็สามารถทำให้หุ่นยนต์อยู่ในสถานะไม่เสถียรได้ง่ายเช่นกัน ดังนั้นในการพิจารณาจึงควรให้ความสำคัญกับตัวแปรให้มีความเหมาะสม งานวิจัยนี้ใช้หุ่นยนต์ที่มี 6-DOF มาสร้างรูปแบบการเดินในระนาบแกน x (ทิศทางด้านหน้าของหุ่นยนต์) เพียงแกนเดียวโดยที่ไม่ได้ให้ความสำคัญกับจลนศาสตร์ที่เกิดขึ้นในแนวแกน y (แนวดิ่ง) มากนัก

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้มอเตอร์ 2 ตัวที่ข้อต่อเพื่อรักษาสมดุลในแนวแกน y อย่างไรก็ตาม เนื่องจากต้องการความเร็วในการเดินสูงสุด เงื่อนไขบางประการที่ไม่ได้ใช้ในการควบคุม เช่นการสั่นสะเทือนของพื้นและมอเตอร์ก็มีผลทำให้หุ่นยนต์ล้มได้ ดังนั้นในการพัฒนาให้ดีขึ้นในอนาคต ควรใช้การคำนวณจุดรวมมวล และจุดที่ทำให้โมเมนต์เป็นศูนย์ ซึ่งเป็นจลนศาสตร์ที่เกิดขึ้นในแนวแกน y มาพิจารณาร่วมด้วย

1.2.6 VIDEO BASED HUMAN MOTION CAPTURE[6]

บทความฉบับนี้ได้นำเสนอเทคนิคใหม่ในการจับภาพท่าทางด้วยกล้องวิดีโอ ซึ่งจะใช้การจับภาพคนที่ข้อต่อจุดต่างๆ แล้วสร้างเป็นการเคลื่อนไหวในสามมิติ ซึ่ง จะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ มาสร้างเป็นภาพสามมิติ สิ่งเดียวที่ผู้ใช้งานต้องทำคือ กำหนดตำแหน่งของจุดข้อต่อแต่ละจุด ขั้นตอนหลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำงานในส่วนที่เหลือ นอกจากนั้น สามารถใช้ได้กับข้อมูลจากวิดีโอได้หลายประเภท ซึ่งโมเดลที่ได้ สามารถนำไปใช้งานหลายประเภท เช่น สร้างภาพเคลื่อนไหวของมนุษย์

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อหาหลักขณะท่าทางการเดินของมนุษย์โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ
2. เพื่อสร้างรูปแบบการเดินสำหรับควบคุมการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขาโดยการเลียนแบบจากท่าทางการเดินของคน
3. เพื่อทดสอบรูปแบบการเดินของหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นโดยการใช้แบบจำลองการเดิน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. จับภาพท่าทางการเดินของคนเพื่อหารูปแบบการเดิน โดยใช้กล้องในการจับภาพจากหลายๆ ทิศทาง
2. ปรับและแก้ไขมุมที่ข้อมต่อจากการเดินของคนที่ได้ให้เหมาะสมกับหุ่นยนต์และสามารถใช้กับหุ่นยนต์ได้
3. ทดสอบผลการเดินของท่าทางที่สร้างขึ้น โดยการใช้การจำลองการเดินของหุ่นยนต์

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบโดยทั่วไปของการควบคุมการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขา การเดินของคนและบทความที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับการประมวลผลภาพขั้นต้น, การตรวจจับและหาตำแหน่งวัตถุ
3. ออกแบบและสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการจับท่าทางการเดินของคน
4. เก็บข้อมูลการเดินของคน
5. ออกแบบวิธีการปรับแต่งข้อมูลการเดินของคน ให้เหมาะสมกับหุ่นยนต์
6. ทดสอบการเดินของหุ่นยนต์ด้วยข้อมูลที่ได้รับการปรับแต่งให้เหมาะสมแล้ว
7. ปรับปรุงแล้วหาค่าความผิดพลาดของอัลกอริทึมที่ใช้
8. รวบรวมผลการทดสอบ สรุปผล และ จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รูปแบบท่าทางการเดินของมนุษย์ในลักษณะของมุมของจุดหมุนจุดต่างๆ
2. สามารถทดสอบการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขาโดยใช้แบบจำลองการเดินของหุ่นยนต์ได้
3. สร้างแนวทางให้กับผู้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขาโดยใช้การประมวลผลภาพ

1.7 ทรัพยากรที่ใช้ในงานวิจัย

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) ที่ใช้ในการทำงานวิจัยนี้เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลกลาง Intel Pentium 4 ความถี่สัญญาณนาฬิกา 2.8 GHz และหน่วยความจำ RAM ขนาด 1 GB
2. โปรแกรม Microsoft Visual C++ 6.0 และคลังโปรแกรม OpenCV สำหรับใช้ในการออกแบบโปรแกรมในการทดสอบ

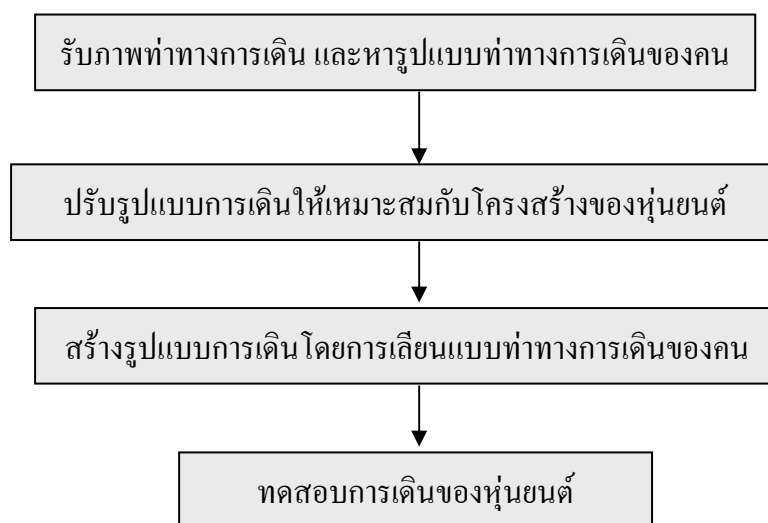
3. กล้องเว็บแคม Logitech Quickcam Pro4000 ความละเอียด 320*240 พิกเซล จำนวน 3 ตัว



ภาพประกอบ 1-2 กล้องเว็บแคม Logitech Quickcam pro4000

1.8 ภาพรวมของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ รับภาพท่าทางการเดินของคนที่ติดจุดสังเกตไว้บริเวณข้อต่อที่สนใจจาก 3 ทิศทาง คือด้านซ้าย ด้านขวาและด้านหน้า จากนั้นคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของมุมที่ข้อต่อจุดต่างๆ ที่สนใจซึ่งตำแหน่งข้อต่อที่สนใจได้แก่ ข้อเท้า หัวเข่า และสะโพก แล้วนำข้อมูลมุมที่ข้อต่อแต่ละจุดมาปรับให้เหมาะสมกับโครงสร้างของหุ่นยนต์ที่มีอัตราส่วนความยาวของช่วงขาและตำแหน่งของข้อต่อแตกต่างกันกับโครงสร้างของคน และปรับตำแหน่งของจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฝ่าเท้า จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำไปสร้างเป็นท่าทางการเดินของหุ่นยนต์ และนำไปทดสอบกับหุ่นยนต์จริง กระบวนการโดยรวมแสดงได้ดังภาพประกอบ 1-2



ภาพประกอบ 1-3 ขั้นตอน โดยรวมของงานวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพเป็นการนำภาพเข้าสู่การแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัลเป็นตัวเลขที่สามารถนำข้อมูลนี้ผ่านกระบวนการต่างๆ ด้วยเทคนิควิธีการประมวลผลภาพ ซึ่งมีเครื่องคอมพิวเตอร์ดำเนินการประมวลผลและตัดสินใจ การวิเคราะห์ข้อมูลภาพที่นำเข้ามาานั้น จะอาศัยหลักวิธีการอธิบายหรือจดจำข้อมูลภาพ ซึ่งข้อมูลรับเข้าของระบบจะเป็นข้อมูลภาพดิจิทัลที่ได้จากอุปกรณ์นำเข้าสัญญาณภาพดิจิทัลต่างๆ เช่น กล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องวิดีโอ กล้องเว็บแคม เป็นต้น และข้อมูลผลลัพธ์แสดงด้วยเครื่องหมายที่ใช้แทนข้อมูลภาพดิจิทัล ในการวิเคราะห์ภาพด้วยวิธีการประมวลผลภาพจะเลียนแบบหลักการมองเห็นของมนุษย์ นั่นคือกระบวนการทางด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision)

2.2 มาตรฐานของสี

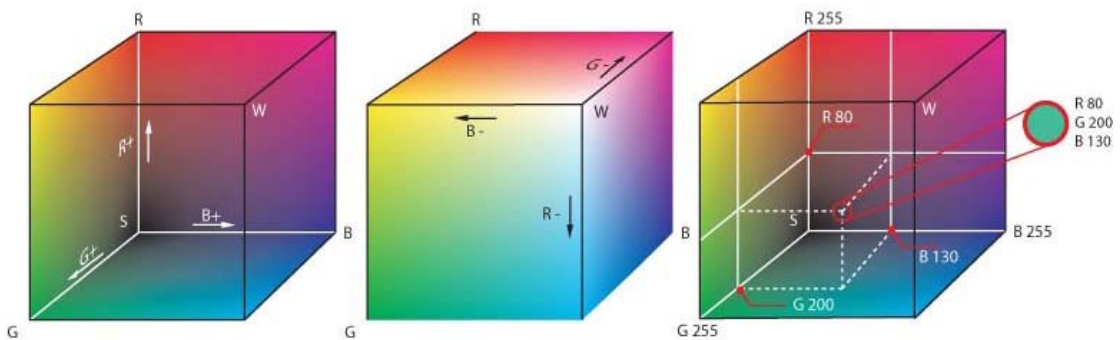
มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในพิภด 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในระนาบซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่น ในระบบ RGB (Red – Green – Blue) จะมีแกนสีคือ แกนสีแดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) ในระบบ HLS (Hue – Lightness - Saturation) จะมีแกนเป็น ค่าเฉดสี (Hue) ความสว่าง (Lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (Saturation) ระบบสีที่นิยมใช้กันได้แก่ ระบบ RGB, HSV (Hue- Saturation- Value) และ HLS ในงานวิจัยนี้จะกล่าวเพียงมาตรฐานสีที่ใช้ในงานวิจัยเท่านั้น สำหรับมาตรฐานสีอื่นๆ สามารถศึกษาได้จากตำราที่เกี่ยวกับกระบวนการประมวลผลภาพหรือสีทางฟิสิกส์

2.2.1 ระบบสีแบบ RGB

เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง เขียวและน้ำเงิน โดยมีการรวมกันแบบบวก (Additive Primaries Color) [7] ซึ่งโดยปกติจะนำไปใช้ในจอภาพแบบ CRT (Cathode Ray Tube) ในการใช้งานระบบสี RGB ดังภาพประกอบ 2-1 ยังมีการสร้างมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไปที่นิยมใช้งานได้แก่ RGB_{CIE} และ RGB_{NTSC}

ระบบสีแบบ RGB ของ CIE เป็นระบบสีที่พัฒนาขึ้นโดย CIE (Commission International 1 'Eclairage) ซึ่งอ้างอิงสีด้วยสีแดงที่ 700 nm สีเขียวเท่ากับ 546.1 nm และสีน้ำเงิน 435.8 nm

ระบบสีแบบ RGB ของ NTSC เป็นระบบสีที่พัฒนาโดย NTSC (National Television System Committee) เพื่อใช้สำหรับการแสดงภาพของจอภาพแบบ CRT เป็นมาตรฐานสำหรับผู้ผลิตแบบ CRT ให้มีลักษณะเดียวกัน



ภาพประกอบ 2-1 ระบบสีแบบ RGB

2.2.2 ระบบสีแบบ HSV

เป็นการพิจารณาสีโดยใช้ ค่าเฉดสี ความบริสุทธิ์ของสี และค่าความสว่าง (Value) ซึ่ง ค่าเฉดสี คือ ค่าสีของสีหลัก (แดง เขียวและน้ำเงิน) ในทางปฏิบัติจะอยู่ระหว่าง 0 และ 255 ซึ่งถ้าค่าเฉดสี มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดง และเมื่อ ค่าเฉดสี มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึง 256 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง ซึ่งสามารถแทนให้อยู่ในรูปขององศาได้ ดังนี้คือ สีแดงเท่ากับ 0 องศา สีเขียวเท่ากับ 120 องศา สีน้ำเงินเท่ากับ 240 องศา ดังภาพประกอบ 2-2

ค่าเฉดสี ความบริสุทธิ์ของสี และ ค่าความสว่าง สามารถคำนวณได้จากระบบสี RGB ได้ ดังนี้

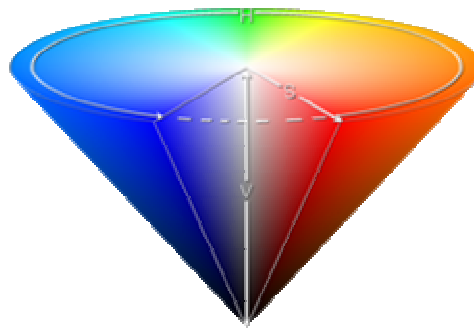
$$V = \max(R, G, B) \quad (2-1)$$

$$S = \begin{cases} \frac{(V - \min(R, G, B)) * 255}{V}, & \text{if } \dots V \neq 0 \\ 0, & \dots \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-2)$$

$$H = \begin{cases} \frac{(G - B) * 60}{S}, & \text{if } \dots\dots V = R \\ 180 + \frac{(B - R) * 60}{S}, & \text{if } \dots\dots V = G \\ 240 + \frac{(R - G) * 60}{S}, & \text{if } \dots\dots V = B \end{cases} \quad (2-3)$$

if $H < 0$..then.. $H = H + 360$

โดยที่ H คือ ค่าเฉดสี
S คือ ค่าความบริสุทธิ์ของสี
V คือ ค่าความสว่าง



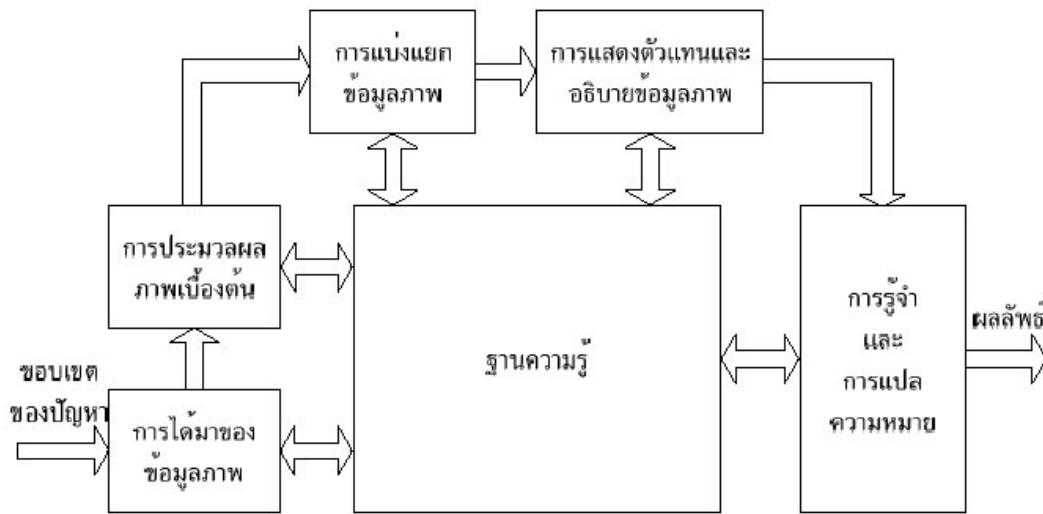
ภาพประกอบ 2-2 ระบบสี HSV

2.3 กระบวนการทางด้านการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์

การประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์หรือที่นิยมเรียกกันว่า การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) เป็นกระบวนการที่มีเทคนิควิธีการในการประมวลผลข้อมูลตัวเลขของภาพที่มีหลากหลายวิธี ซึ่งสามารถเลือกไปประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสมกับข้อมูลภาพที่นำเข้ามาประมวลผล โดยปกติแล้วข้อมูลภาพจะมีลักษณะเด่นทางด้านรูปร่าง พื้นผิว สี สัน และโครงสร้างต่างๆ ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุและสภาพแวดล้อมโดยรอบของวัตถุ

2.3.1 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นหลักการทำงานร่วมกันของฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และหลักทฤษฎีการประมวลผลภาพ โดยมีการทำงานตามขั้นตอนอย่างเหมาะสมและเป็นไปตามเทคนิคทางด้านการประมวลผลภาพ ดังภาพประกอบ 2-3



ภาพประกอบ 2-3 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิทัล [8]

2.3.1.1 การได้มาของข้อมูลภาพ (Image Acquisition)

เป็นการนำข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ โดยอาศัยตัวรับรู้สัญญาณภาพและสามารถแปลงให้เป็นสัญญาณระบบดิจิทัลด้วยตัวรับรู้ เช่น กล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องวิดีโอ กล้องเว็บแคม เครื่องสแกน หรืออุปกรณ์รับรู้สัญญาณภาพอื่นๆ ที่เหมาะสมกับระบบงานแต่ละระบบ แต่อย่างไรก็ตามรูปแบบของข้อมูลจะถูกจัดเก็บให้อยู่ในลักษณะของภาพ 2 มิติ ที่มีความสว่างของแสงหรือความคมชัดแตกต่างกันของแต่ละจุดภาพในตำแหน่งต่างๆ

2.3.1.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing)

เป็นเทคนิควิธีการของการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพดิจิทัลที่ได้จากขั้นตอนการนำเข้าภาพ เพื่อให้ข้อมูลภาพมีความถูกต้องสมบูรณ์ตามความเป็นจริงก่อนนำไปประมวลผล โดยปกติแล้วการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพดิจิทัลมีหลากหลายเทคนิค เช่น การปรับความคมชัด, การปรับความสว่าง, การกำจัดสัญญาณรบกวน, การหมุนและการกรองช่วงความถี่ของภาพ เป็นต้น

2.3.1.3 การแบ่งแยกข้อมูลภาพ (Image Segmentation)

เป็นวิธีการที่จะทำให้สามารถแบ่งแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ หรือวัตถุ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการออกจากพื้นหลัง โดยทั่วไปผลลัพธ์ของการแบ่งแยกข้อมูลภาพจะได้เป็นข้อมูลดิบของจุดภาพที่ประกอบด้วยขอบภาพของแต่ละบริเวณหรือจุดภาพภายในบริเวณนั้น ในแต่

ละกรณีจะต้องทำการแปลงข้อมูลให้มีรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลที่บังคับไว้ จะทำให้การตัดสินใจข้อมูลมีการแสดงตัวแทนของขอบภาพหรือบริเวณนั้นๆ อย่างสมบูรณ์

2.3.1.4 การแสดงตัวแทนและอธิบายข้อมูล (Representation and Description)

สำหรับการแสดงภาพหลังจากการแบ่งแยกข้อมูลภาพแล้ว เพื่อให้เห็นถึงลักษณะเด่นและอธิบายข้อมูลภาพของบริเวณต่างๆ ของภาพนำเข้า การเลือกตัวแทนสำหรับแสดงข้อมูลเป็นส่วนเดียวของการแก้ปัญหาสำหรับการแปลงข้อมูลเป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ต่อไป วิธีการที่จะอธิบายลักษณะเด่นของข้อมูลที่สนใจถือเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งเรียกว่า การเลือกลักษณะเด่น (Feature Extraction) ผลลัพธ์ที่ได้จากการแยกลักษณะเด่นหรือความแตกต่างของข้อมูลที่สนใจออกจากข้อมูลอื่นๆ ก็คือ กลุ่มของวัตถุ (Class of Object) ที่ต้องการนั่นเอง

2.3.1.5 การรู้จำและการแปลความหมาย (Recognition and Interpretation)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประมวลผลภาพดิจิทัลหลังจากขั้นตอนการแสดงตัวแทนและอธิบายข้อมูล ก็คือ การรู้จำภาพ (Image Recognition) ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของการรู้จำแบบรูป (Pattern Recognition) โดยการรู้จำภาพจะต้องรู้จำแบบรูปของแต่ละภาพเป้าหมายเพื่อให้คำตอบว่าแบบรูปของภาพนำเข้ามีความคล้ายกับแบบรูปของภาพอ้างอิงภาพใดมากที่สุด และการแปลความหมายนำไปสู่การกำหนดความหมายของชุดข้อมูลรู้จำวัตถุ การได้มาของแบบรูปอ้างอิงนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น แบบรูปอ้างอิงอาจอยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะต้องมีวิธีเฉพาะในการเปรียบเทียบ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำได้จากขั้นตอนการฝึกฝน (Training Phase) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะต้องมีตัวอย่างภาพที่มีลักษณะเดียวกันหลายๆภาพ จากนั้นจะทำการคำนวณหาค่าลักษณะเด่นของแต่ละภาพ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ แบบรูปของภาพเหล่านั้นนั่นเอง แบบจำลองของภาพในแต่ละกลุ่มสามารถคำนวณได้จากค่าสถิติต่างๆ ของแบบรูปของภาพในกลุ่มเดียวกัน บางครั้งอาจจะอยู่ในรูปของฐานความรู้ (Knowledge Base) จำนวนมากจนมีกลุ่มข้อมูลที่เก็บไว้เป็นฐานความรู้ในรูปแบบของฐานข้อมูลความรู้ (Knowledge Database)

2.3.2 เทคนิคการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing Technique)

ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นเป็นการปรับปรุงภาพให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปสู่กระบวนการประมวลผลภาพต่อไป เทคนิควิธีการประมวลผลภาพที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้มีหลายเทคนิคด้วยกัน

2.3.2.1 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา (Gray-Scale Image Transform)

เป็นการแปลงค่าข้อมูลภาพสีให้แสดงถึงค่าความสว่างของภาพเพียงอย่างเดียว โดยปราศจากค่าข้อมูลของสีภาพ โดยทั่วไปภาพระดับสีเทาจะประกอบด้วยค่าความสว่างที่แตกต่างกัน 256 ระดับ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 นั่นคือได้ระดับความสว่างจากมืดไปจนขาว และความสัมพันธ์การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา ดังสมการที่ (2-4)

$$Gray(x, y) = 0.299R(x, y) + 0.587G(x, y) + 0.114B(x, y) \quad (2-4)$$

โดยที่ $Gray(x, y)$ คือ ค่าระดับสีเทาที่ได้จากการคำนวณของจุดภาพของสี $RGB(x, y)$
 $R(x, y)$ คือ ค่าสีแดงในภาพระบบสี RGB
 $G(x, y)$ คือ ค่าสีเขียวในภาพระบบสี RGB
 $B(x, y)$ คือ ค่าสีน้ำเงินในภาพระบบสี RGB
 x, y คือ ตำแหน่งของจุดภาพ

2.3.2.2 ตัวกรองทำให้เรียบ (Smoothing Filters)

เป็นตัวกรองที่ใช้สำหรับลดภาพที่มีพื้นผิวขรุขระให้มีความเรียบขึ้นและลดสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดเล็กๆ ข้อมูลภาพที่ผ่านตัวกรองจะมีลักษณะมัวไม่ชัด โดยในงานวิจัยนี้ใช้การกรองด้วยเกาส์เซียน (Gaussian Filtering) [9] เป็นตัวกรองทำให้เรียบ

การกรองด้วยเกาส์เซียน เป็นการกรองที่กระทำกับข้อมูลภาพขนาด 2 มิติ เพื่อการกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่สูงและภาพผลลัพธ์จะมีลักษณะมัวไม่ชัดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดหน้าต่าง (Kernel) ที่นำมากระทำกับภาพนำเข้าไปในลักษณะการคอนโวลูชัน (Convolution) เช่น ขนาดหน้าต่าง 3x3, 5x5, 7x7 และ 9x9 เป็นต้น กระบวนการกรองข้อมูลด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการฟังก์ชันเกาส์เซียนค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นศูนย์ (Zero-Mean Gaussian Function) ดังสมการที่ (2-5)

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2-5)$$

โดยที่ $g(x, y)$ คือ ภาพผลลัพธ์ของการกรองด้วยเกาส์เซียน
 σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือช่วงกว้างของเกาส์เซียน

คุณสมบัติการกรองทำให้เรียบด้วยเกาส์เขียนเป็นการกรองความถี่ต่ำที่มีประสิทธิภาพทั้งในด้านเชิงพื้นที่ ขอบเขตความถี่ และการกรองที่มีความสมมาตรแบบหมุนหรือทุกทิศทางจะเหมือนกันจะไม่ทำการตรวจจับขอบด้านใดด้านหนึ่งมากเป็นพิเศษ

2.3.3 เทคนิคการแบ่งแยกข้อมูลภาพ (Image Segmentation Technique)

เป็นขั้นตอนการแบ่งแยกข้อมูลภาพตามขั้นตอนการประมวลผลภาพ เป้าหมายของการทำการแบ่งแยกข้อมูลภาพ คือ การรวมกลุ่มจุดภาพที่มีลักษณะเด่นที่คล้ายกันเข้าอยู่ด้วยกันจากจุดอ้างอิง เพื่อตอบสนองความต้องการที่จะตรวจหาวัตถุที่สนใจ บางครั้งจุดภาพมีความแตกต่างกันน้อยมากอาจมีความยากต่อการจำแนกวัตถุให้ถูกต้องได้ ดังนั้นจึงต้องมาพิจารณาเลือกหาวิธีการหรือขั้นตอนวิธีการสำหรับการแบ่งแยกข้อมูลภาพให้เหมาะสมตามความต้องการ โดยสามารถแบ่งเป็น 3 หลักการ ดังนี้

2.3.3.1 Region Oriented Image Segmentation

เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยดูจากตำแหน่งของจุดภาพและความเหมือนกันของคุณสมบัติของจุดภาพภายในพื้นที่ โดยถ้าจุดภาพที่อยู่ติดกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันจะถูกจัดให้เข้ากลุ่มเดียวกัน ข้อดีของการทำเช่นนี้คือจะได้พื้นที่ต่อเนื่องกัน Region Oriented Image Segmentation แบ่งเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ Region Growing และ Region Splitting and Merging โดยวิธีแรกเป็นการนำจุดภาพที่อยู่ติดกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันเพื่อมารวบรวมเป็นพื้นที่เดียวกัน โดยใช้การขยายตัวของพื้นที่ ส่วนวิธีที่ 2 เป็นการแบ่งภาพออกเป็นพื้นที่ย่อย โดยใช้พื้นที่ย่อยแต่ละพื้นที่ที่มีความเข้มแสงเดียวกัน จากนั้นจึงทำการรวมพื้นที่ย่อยที่มีความเข้มแสงเหมือนกันเข้าด้วยกันเป็นพื้นที่ใหญ่

2.3.3.2 Pixel Oriented Image Segmentation

เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยพิจารณาจากความเหมือนกันของคุณสมบัติของจุดภาพภายในพื้นที่เพียงอย่างเดียว คือ สี, ความเข้มแสง, ค่าทางสถิติของจุดภาพ เช่น สีเหมือนกัน จะถูกจัดให้อยู่ภายในกลุ่มเดียวกันผลลัพธ์จะเป็นพื้นที่ งานวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดภาพรวมถึงค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ซึ่งมีหลักการที่อาศัยค่าทางสถิติของจุดภาพสังเกตจากค่าฮิสโทแกรม (Histogram) ของจุดภาพทั้งหมดของภาพ แล้วเลือกค่าที่เหมาะสมเป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ในการพิจารณาความเหมือนกันของคุณสมบัติของจุดภาพ

2.3.3.3 Edge Oriented Image Segmentation

เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพ โดยอาศัยความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) ของคุณสมบัติของจุดภาพบริเวณรอยต่อระหว่างวัตถุกับฉากหลัง วิธีการนี้มุ่งที่ขอบของวัตถุเป็นหลัก ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้จะอยู่ในรูปเส้นขอบเขตระหว่างพื้นที่ต่างๆ เพื่อช่วยอธิบายถึงรูปร่าง ลักษณะ ขนาด และอื่นๆของภาพ การตรวจหาขอบภาพมีหลายเทคนิควิธีด้วยกัน เช่น เทคนิคของโซเบล-ลาปลาเซียน (Sobel-Laplacian) เทคนิควิธีของเคนนี่ (Canny Edge Detection) เป็นต้น

2.3.4 การแปลความหมายและจำแนกประเภทข้อมูล (Data Interpretation & Classification)

การแปลความหมายเป็นกรรมวิธีการตีความหมายข้อมูลภาพที่ได้จากการแบ่งแยกข้อมูลภาพมาแล้ว เพื่อนำลักษณะเด่นของภาพในส่วนที่ต้องการและสามารถทำให้เลือกวิธีการจำแนกข้อมูลภาพอย่างเหมาะสมกับข้อมูลภาพได้

2.3.4.1 เทคนิคหาอัตราส่วนของจุดภาพ (Pixel Ratio Technique)

ถือว่าเป็นวิธีพื้นฐานที่ง่ายในการจำแนกข้อมูลภาพโดยอาศัยวิธีการนับจุดภาพในแต่ละพื้นที่แล้วทำการคำนวณหาอัตราส่วนของจุดภาพพื้นที่ที่สนใจ (ROI: Region of Interest) ต่อจุดภาพของพื้นที่ทั้งหมด นำค่าอัตราส่วนที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การจำแนกที่กำหนดสามารถเขียนในรูปคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (2-6)

$$r_{ROI} = \frac{P_{ROI}}{P_N} \times 100 \quad (2-6)$$

โดยที่ r_{ROI} คือ อัตราส่วนของจุดภาพที่สนใจ

P_{ROI} คือ จำนวนจุดภาพที่สนใจ

P_N คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมด

2.4 การเดินของคน

โดยทั่วไปการเดินของมนุษย์จะพยายามรักษาสภาวะท่าทางการเคลื่อนไหวให้อยู่ใน ภาวะสมดุล โดยการออกแรงกับส่วนใดส่วนหนึ่งหรือหลายส่วนของฝ่าเท้า เพื่อถ่ายเทน้ำหนักให้สามารถทรงตัวอยู่ได้ทั้งในขณะที่เดินหรือยืนอยู่กับที่ หากมนุษย์พิจารณาแล้วว่าการกระทำของแรงไม่เพียงพอที่จะต่อต้านการล้ม จะเปลี่ยนตำแหน่งของจุดรวมมวลโดยการปรับเปลี่ยนท่าทางหรือปรับพื้นที่ฐาน โดยการก้าวเท้าออกไปยังตำแหน่งใหม่ พฤติกรรมลักษณะนี้ของมนุษย์เป็นไปเพื่อรักษา

ความมั่นคงของสภาวะท่าทางให้อยู่ในภาวะสมดุลนั่นเอง ซึ่งจะเป็นการทำงานร่วมกันของตัวตรวจวัด (Sensor) หลายๆตัวในร่างกาย

2.4.1 ตัวตรวจวัดสำหรับการเดินของคน [10]

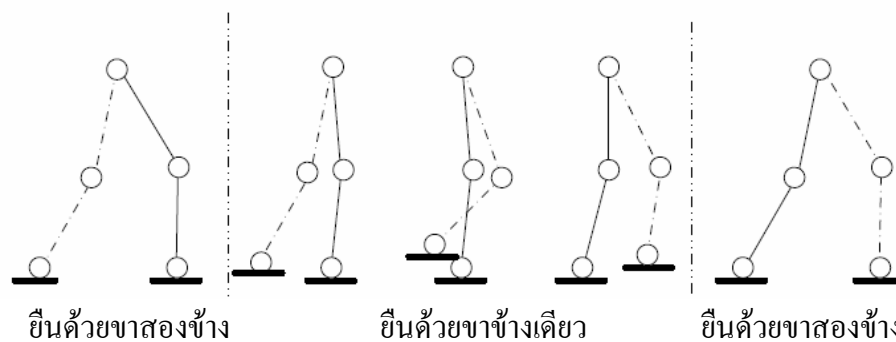
มนุษย์ใช้หลักการสัมผัสจากความรู้สึกที่อยู่ 3 แบบในการรักษาสมดุล คือ

1. ความรู้สึกของความเร็วเชิงเส้นในการเดินถูกวัดโดยระดับน้ำในหู
2. ความรู้สึกของความเร็วเชิงมุมขณะก้าวเดินถูกวัดโดยช่องครึ่งวงกลมของหูในส่วน Semicircular canals
3. ความรู้สึกที่เกิดขึ้นจากกล้ามเนื้อและผิวหนัง ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งตำแหน่งและความเร็วของข้อต่อรวมถึงแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถรู้สึกได้จากฝ่าเท้าและการสัมผัสของผิวหนัง

2.5 การควบคุมการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขา

การเดินของหุ่นยนต์ ประกอบไปด้วยสองเฟส คือการยืนด้วยขาข้างเดียว และการยืนด้วยขาสองข้าง[3], [4]

1. การยืนด้วยขาข้างเดียว เป็นช่วงที่มีขาใดขาหนึ่งยกลอยจากพื้น โดยที่ไม่มีส่วนใดๆของขานั้นติดกับพื้นเลย เฟสนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการแกว่งเท้าจากข้างหลังมาข้างหน้า
2. การยืนด้วยขาสองข้าง เป็นช่วงที่เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้น ตั้งแต่ขณะที่ปลายเท้าหลุดจากพื้น จนถึงในการวางเท้าที่ก้าวไปข้างหน้าขณะที่ส้นเท้าเริ่มแตะพื้น

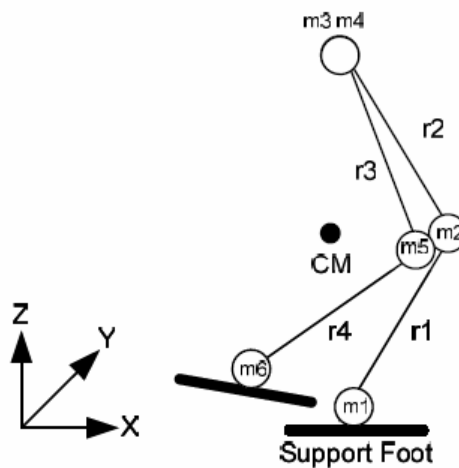


ภาพประกอบ 2-4 รอบการเดินของหุ่นยนต์[10]

การสร้างและการควบคุมการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขา สามารถแบ่งได้เป็นสองรูปแบบหลัก คือ การสร้างและควบคุมการเดินแบบสถิตย์ (Static) และพลวัต (Dynamic)

2.5.1 การสร้างและควบคุมการเดินแบบสถิติ[10]

การเดินของหุ่นยนต์ในลักษณะนี้ ทำทางการเดินและการเคลื่อนไหวจะถูกกำหนดโดย กำหนดให้โครงสร้างของหุ่นยนต์อยู่ในภาวะเสถียรตลอดเวลา คือที่เวลาใดๆก็ตามโครงสร้างของ หุ่นยนต์จะ ไม่มีการล้มเกิดขึ้น เนื่องจากการสร้างรูปแบบการเดินด้วยวิธีนี้จะควบคุมให้ตำแหน่ง ของจุดรวมมวล อยู่ในพื้นี่ฐานของโครงสร้างตลอดเวลา



ภาพประกอบ 2-5 การควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐาน

ข้อดีของการสร้างและควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ด้วยวิธีนี้คือ สามารถสร้างรูปแบบการเดินได้โดยที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก นอกจากการควบคุมการก้าวขาแล้วอาจเพิ่มการควบคุม ส่วนลำตัวเพิ่มเติม เพื่อเป็นการเพิ่มเสถียรภาพในการเดินและการถ่ายเทน้ำหนัก โดยที่อาจจะมีการเพิ่มเซนเซอร์วัดแรงที่ฝ่าเท้าเพื่อตรวจสอบการกระจายแรงกดที่ฝ่าเท้า เพื่อตรวจสอบว่าตำแหน่งของจุดรวมน้ำหนักอยู่ในพื้นที่ฝ่าเท้าหรือไม่ หรือเพื่อตรวจสอบเสถียรภาพของการเดินเพื่อแก้ไข ทำทางการเดินไม่ให้เกิดการล้ม ในการเดินด้วยวิธีนี้หุ่นยนต์จะไม่เกิดการล้มเนื่องจากการ ควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลให้อยู่ในส่วนฐานของโครงสร้างตลอดเวลา แต่ควบคุมการเดิน ด้วยวิธีนี้มีข้อเสียคือทำทางที่ได้จะมีความแตกต่างจากทำทางเดินของมนุษย์

2.5.2 การสร้างและควบคุมการเดินแบบพลวัต [10][11]

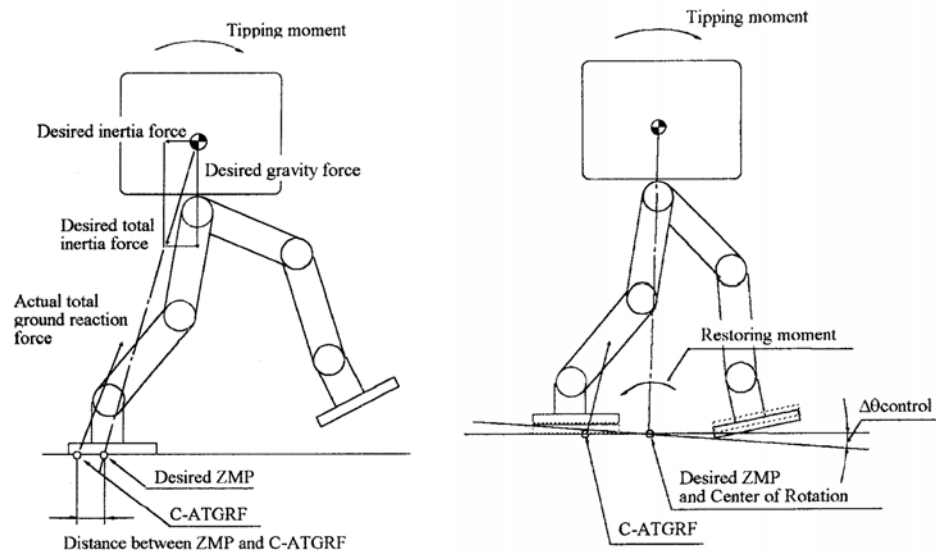
การสร้างรูปแบบการเดินและควบคุมการเดินในลักษณะนี้ทำทางการเดินจะคล้ายกับการเดินมนุษย์มากกว่าแบบสถิติ เนื่องจากมีหลักการในการสร้างทำทางที่เหมือนกับการเดินของ

มนุษย์ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้คือ เอียงตัวให้ล้มไปในทิศทางที่ต้องการเดิน เมื่อเริ่มเกิดการล้มขึ้นจะเปลี่ยนตำแหน่งการวางเท้าไปยังตำแหน่งใหม่ เพื่อปรับให้โครงสร้างเข้าสู่ภาวะสมดุลอีกครั้ง

โดยธรรมชาติแล้วมนุษย์มีการถ่ายโอนน้ำหนักในขณะที่เคลื่อนที่หรือยืนอยู่กับที่เพื่อรักษาสมดุลของท่าทางนั้นไว้ แต่หากการถ่ายโอนน้ำหนักนั้นเกิดภาวะไม่สมดุล ร่างกายจะปรับสภาพโดยการเคลื่อนตำแหน่งของเท้าซึ่งเป็นพื้นที่ฐานออกจากเดิมไปยังตำแหน่งใหม่ เพื่อรักษาสมดุลไว้ หลักการดังกล่าวนี้ถูกนำมาใช้กับการควบคุมการเดินของหุ่นยนต์เช่นเดียวกัน ในขณะที่หุ่นยนต์กำลังเคลื่อนไหว ผลจากแรงเฉื่อยของการเคลื่อนที่และผลจากแรงดึงดูดของโลกมีผลต่อการเพิ่มและลดความเร่งในการเดินของหุ่นยนต์ แรงเหล่านี้เรียกว่าแรงเฉื่อยรวมของการเคลื่อนที่ และเมื่อเท้าหุ่นยนต์สัมผัสกับพื้นจะได้รับผลกระทบของแรงนี้ เรียกว่า แรงปฏิกิริยาจากพื้น

การตัดกันระหว่างแรงปฏิกิริยาจากพื้นและแนวแรงเฉื่อยรวม ตำแหน่งดังกล่าวมีโมเมนต์เท่ากับศูนย์ เรียกจุดตัดนี้ว่าจุดโมเมนต์ศูนย์ และจุดที่แรงปฏิกิริยาลงสู่พื้นเรียกว่า จุดปฏิกิริยาที่พื้น พื้นฐาน ท่าทางการเดินของหุ่นยนต์จะถูกกำหนดและถูกส่งให้กับชุดควบคุมข้อต่อจุดต่างๆของหุ่นยนต์โดยให้สอดคล้องกับแรงเฉื่อยรวมที่เกิดขึ้นจากการคำนวณ เรียกว่าแรงเฉื่อยรวมเป้าหมาย และ จุดโมเมนต์ศูนย์ที่ได้จากการคำนวณเรียกว่าจุดโมเมนต์ศูนย์เป้าหมาย เมื่อหุ่นยนต์เกิดสมดุลในขณะที่ทำการเดินได้อย่างสมบูรณ์ แนวแกนของแรงเฉื่อยรวมเป้าหมายและแรงปฏิกิริยาที่พื้นจะเป็นตำแหน่งเดียวกัน แต่ในขณะที่หุ่นยนต์เดินผ่านพื้นผิวที่ไม่เรียบตำแหน่งสองตำแหน่งดังกล่าวจะไม่ซ้อนทับกันทำให้หุ่นยนต์เกิดการล้มได้ แรงที่ทำให้เกิดการล้มนี้เกิดจากความเหลื่อมล้ำระหว่างจุดโมเมนต์ศูนย์เป้าหมายกับแรงปฏิกิริยาที่พื้น ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ความไม่สมดุลเกิดขึ้น และเมื่อหุ่นยนต์เสียสมดุลระบบที่จะสามารถป้องกันการล้มและทำให้หุ่นยนต์เดินต่อไปได้อย่างต่อเนื่องคือ ระบบควบคุมแรงปฏิกิริยา ระบบควบคุมจุดโมเมนต์ศูนย์ และระบบควบคุมการวางเท้า

ภายใต้สภาวะที่มีความแตกต่างระหว่างแนวแรงของผลลัพธ์ของการกระทำ ที่เกิดจากแรงตอบสนองจากพื้นกับจุดของการกระทำจากแรงเฉื่อยทั้งหมดของเป้าหมาย ซึ่งนำไปสู่การกำเนิดแรงคู่ควบที่กระทำบนหุ่นยนต์ เกิดการทำให้หุ่นยนต์เอียงซึ่งเรียกว่า “โมเมนต์ของแรงการล้ม” ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญเกี่ยวกับการควบคุมการเดินที่มั่นคง



ภาพประกอบ 2-6 แรงปฏิกิริยาจากการเดินแบบพลวัต [11]

อย่างไรก็ตาม การสร้างท่าทางการเดินในลักษณะนี้ต้องใช้สมการในการคำนวณที่ซับซ้อนมาก เนื่องจากต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลายส่วนเช่น น้ำหนักของโครงสร้างในแต่ละส่วน ทอร์กที่จุดหมุนจุดต่างๆ และโมเมนต์โดยรวมของระบบ นอกจากนี้ยังต้องใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ต่างๆ เช่น เซนเซอร์วัดแรง เซนเซอร์วัดมุม เซนเซอร์วัดทอร์ก ไจโรสโคป [12] ติดตั้งตามจุดต่างๆของโครงสร้างเพื่อวัดค่าต่างๆ ก่อนที่จะทำการคำนวณตำแหน่งและสร้างท่าทางอย่างไรก็ตาม ท่าทางการเดินที่ได้จากการคำนวณและควบคุมด้วยวิธีนี้ จะมีความคล้ายคลึงกับท่าทางการเดินของมนุษย์มากกว่า

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานและเทคนิควิธีการประมวลผลภาพและพื้นฐานการเดินของคนและหุ่นยนต์เดินสองขา โดยมุ่งเน้นไปที่การอธิบายทฤษฎีที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณภาพดิจิทัลในส่วนการประมวลผลภาพเบื้องต้นด้วยหลักการตัวกรองประเภทต่างๆ การแบ่งแยกข้อมูลภาพ การแปลความหมายและการจำแนกข้อมูลภาพ นอกจากนั้นได้กล่าวถึงเทคนิคขั้นต่อนอื่นๆที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ นั่นคือ การเดินของคน และการควบคุมการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขา โดยทั่วไป

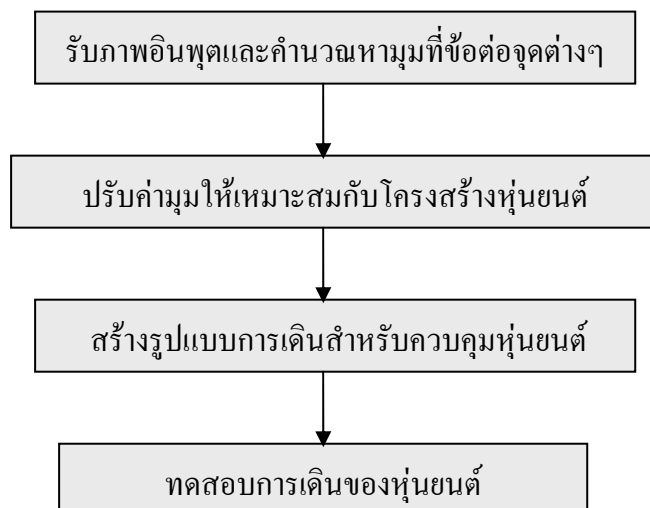
บทที่ 3

ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาการสร้างท่าทางการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขา โดยใช้วิธีการเลียนแบบท่าทางการเดินของมนุษย์ กระบวนการทำงานเริ่มจากการใช้กล้องเว็บแคมจำนวน 3 ตัวถ่ายภาพการเดินของคนจากสามทิศทาง คือ ด้านหน้า ด้านซ้าย และด้านขวา จากนั้นทำการคำนวณหามุมที่ข้อต่อจุดต่างๆ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างรูปแบบการเดินของหุ่นยนต์ ข้อมูลท่าทางการเดินที่ได้จากการเดินของคนจะถูกลำนำมาปรับแต่งให้เหมาะสมกับโครงสร้างของหุ่นยนต์ และสร้างเป็นรูปแบบการเดินที่จะใช้ควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ต่อไป

3.1 ภาพรวมของการวิจัย

กระบวนการทำงานของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือถ่ายภาพท่าทางการเดิน และคำนวณหามุมที่ข้อต่อจุดต่างๆ จากนั้นปรับรูปแบบการเดินให้เหมาะสมกับโครงสร้างของหุ่นยนต์ เพื่อสร้างเป็นรูปแบบการเดินสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำรูปแบบการเดินที่สร้างขึ้นไปทำการทดสอบการเดินกับหุ่นยนต์ กระบวนการทั้งหมดของงานวิจัยนี้แสดงดังภาพประกอบที่ 3-1



ภาพประกอบ 3-1 ขั้นตอนการวิจัยโดยรวม

3.2 การถ่ายภาพท่าทางการเดินของคน

สำหรับการถ่ายภาพท่าทางการเคลื่อนไหวของคนโดยการใช้การประมวลผลภาพ มีองค์ประกอบหลักๆในการทำงานสามส่วน คือ

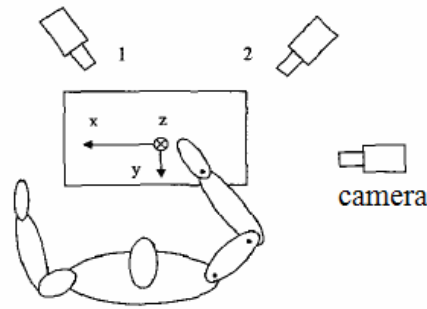
1. กล้องวิดีโอหรือกล้องเว็บแคมสำหรับรับภาพการเดินของคน
2. จุดสังเกต (Marker) สำหรับใช้เป็นจุดอ้างอิงที่ตำแหน่งข้อต่อของคน
3. โปรแกรมสำหรับประมวลผล

3.2.1 การติดตั้งกล้องเว็บแคมเพื่อถ่ายภาพการเดินของคน

ขั้นตอนแรกในการถ่ายภาพท่าทางการเดินของคนคือการนำข้อมูลภาพจากกล้องเว็บแคมเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ ตำแหน่งและระยะห่างของกล้องและร่างกายของคนมีความสำคัญมาก เพราะตำแหน่งของกล้องจะเป็นปัจจัยที่กำหนดขอบเขตและทิศทางของภาพที่ได้ ซึ่งมีผลต่อพื้นที่และรายละเอียดของภาพที่ได้ เช่น ในการจับภาพใบหน้าของคนใช้กล้องจำนวน 2 ตัวสามารถถ่ายภาพการเคลื่อนไหวของใบหน้าได้ครบถ้วน แต่ในการถ่ายภาพท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกายคนทั้งตัวนั้นต้องใช้กล้อง 3-16 ตัววางไว้ในมุมต่างๆ จึงจะได้ภาพการเคลื่อนไหวที่ครบถ้วน [14] เนื่องจากภาพที่ได้จากกล้องแต่ละตัวนั้นจะเป็นภาพสองมิติซึ่งมีข้อมูลของความกว้างและความยาวแต่จะสูญเสียข้อมูลเชิงความลึกไป จึงต้องใช้กล้องในการจับภาพท่าทางของคนอย่างน้อยสองตัว แล้วนำข้อมูลที่ได้อีกมาคำนวณเป็นภาพหรือข้อมูลในระนาบสามมิติเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป [15][16]

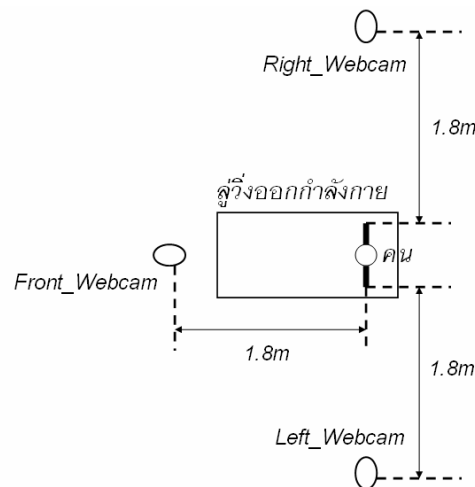


ภาพประกอบ 3-2 การใช้กล้องจับการเคลื่อนไหวของส่วนต่างๆบนใบหน้า [14]



ภาพประกอบ 3-3 การใช้กล้องจับการเคลื่อนไหวของแขน[17]

ในการถ่ายภาพการเดินของคนจะรับภาพจากสามทิศทางคือ ด้านซ้าย ด้านขวาและด้านหน้า ของคน ตำแหน่งการวางกล้องเพื่อรับภาพ แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3-4 ภาพการเดินที่ได้จะนำไปหาจุดศูนย์กลางของจุดสังเกตแต่ละตำแหน่งที่ติดอยู่บนข้อของคนที่เป็นต้นแบบเพื่อนำพิกัดของจุดศูนย์กลางของจุดสังเกตแต่ละตัวมาคำนวณหามุมที่ข้อต่อแต่ละจุดต่อไป



ภาพประกอบ 3-4 ตำแหน่งในการวางกล้องเพื่อถ่ายภาพการเดินของคน

3.2.2 แลบลีหรือตัวสะท้อนแสงสำหรับใช้เป็นจุดอ้างอิง

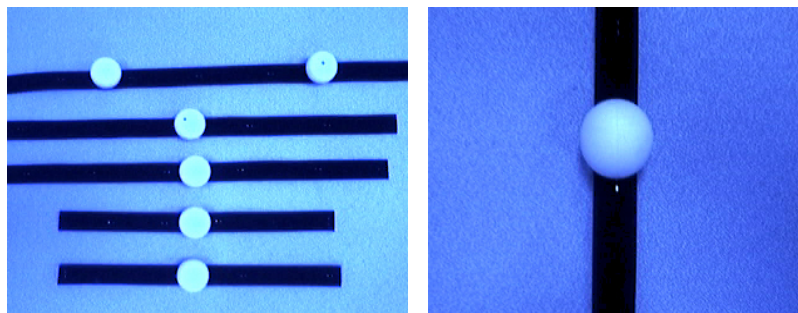
ในการถ่ายภาพการเคลื่อนไหวของส่วนต่างๆของคนนั้น ในงานวิจัยนี้ข้อมูลที่สำคัญที่จะทำการพิจารณาคือการเปลี่ยนแปลงของมุมที่ข้อต่อต่างๆ ในการคำนวณหาค่ามุมที่ข้อต่อต่างๆ นั้น ในขั้นแรกต้องทราบตำแหน่งของข้อต่อแต่ละจุด เมื่อทราบตำแหน่งของข้อต่อแล้วก็จะสามารถคำนวณหามุมระหว่างข้อต่อแต่ละจุดได้

การติดจุดสังเกตหรือจุดอ้างอิงที่บริเวณข้อต่อจุดต่าง ๆ นั้น ทำให้สามารถแยกส่วนของข้อต่อที่สนใจออกจากภาพร่างกายส่วนอื่นๆ ได้ชัดเจนและง่ายขึ้น ทำให้การประมวลผลภาพทำได้ง่ายขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามในการเคลื่อนไหวกของคนที่ใช้เป็นต้นแบบนั้น กรณีที่นำไปใช้ควบคุมตัวหุ่นยนต์จริง จะต้องจำกัดการเคลื่อนไหวกของคนที่เป็นต้นแบบให้ข้อต่อแต่ละจุดหมุนอยู่ในช่วงมุมที่จำกัดเท่าที่หุ่นยนต์สามารถตอบสนองได้เช่นกัน [18],[19]



ภาพประกอบ 3-5 แถบสีหรือตัวสะท้อนแสงสำหรับใช้เป็นจุดอ้างอิง

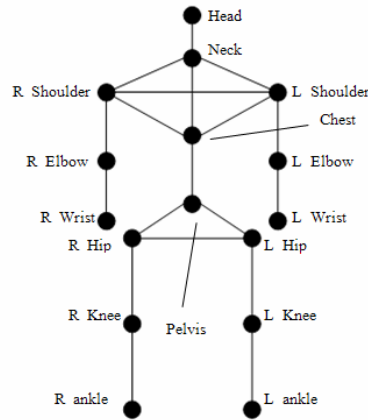
ในการทดลอง ใช้ลูกปิงปองสีขาวติดกับแถบรัด นำไปรัดติดที่ข้อต่อ สะโพก หัวเข่า และข้อเท้า บนขาทั้งสองข้างของคนที่เป็นตัวอย่างทดสอบ เพื่อระบุตำแหน่งของจุดสังเกตบนข้อต่อลักษณะของอุปกรณ์ แสดงได้ดังภาพประกอบ 4-2



ภาพประกอบ 3-6 จุดสังเกตที่ใช้ในการทดลอง

ตำแหน่งในการวางแถบสีหรือตัวสะท้อนแสงที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงบนร่างกายสำหรับการถ่ายภาพการเคลื่อนไหวกของคน จะสนใจเฉพาะข้อต่อที่สำคัญซึ่งมีผลต่อท่าทางและการเคลื่อนไหวก โดยรวมคือ ข้อเท้า หัวเข่า ต้นขา ข้อมือ ข้อศอก เป็นต้น [6] สำหรับจุดเล็กๆ เช่น นิ้วมือและนิ้วเท้า

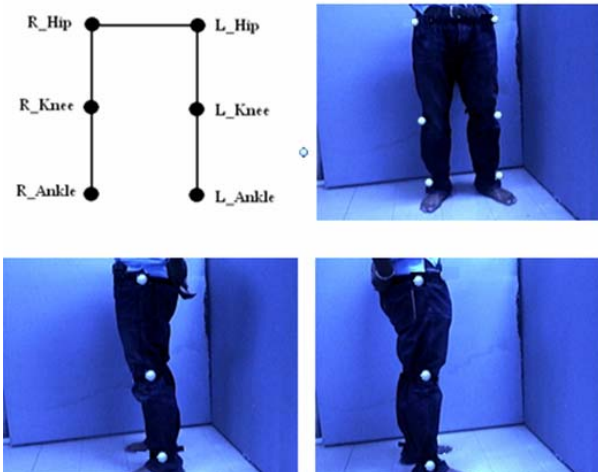
หากไม่ต้องการรายละเอียดของการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนนี้เป็นพิเศษ ก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญกับการเคลื่อนไหวในส่วนนี้



ภาพประกอบ 3-7 ตำแหน่งในการวางจุดอ้างอิงเพื่อใช้ติดตามการเคลื่อนไหว

ในงายวิจัยนี้ จะพิจารณาเฉพาะส่วนล่างของร่างกาย (ตั้งแต่สะโพกลงมา) ซึ่งข้อต่อต่างๆ ของคนที่หมุนได้และมีผลต่อการเคลื่อนไหวโดยรวมของร่างกาย มีดังนี้

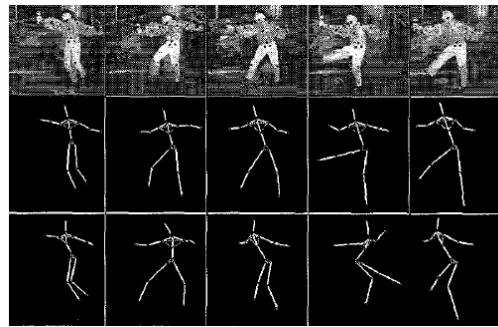
1. ข้อเท้า 2 DOF
2. หัวเข่า 1 DOF
3. สะโพก 3 DOF



ภาพประกอบ 3-8 ตัวอย่างการติดจุดสังเกตบนข้อต่อส่วนล่างของร่างกาย

3.2.3 โปรแกรมสำหรับประมวลผล

โปรแกรมสำหรับประมวลผลเป็นส่วนที่นำข้อมูลภาพที่ได้มาประมวลผล เพื่อแยกเอาภาพส่วนที่ไม่สนใจออกให้เหลือเฉพาะส่วนข้อต่อที่สนใจซึ่งทำการติดจุดสังเกตหรืออุปกรณ์ระบุตำแหน่งไว้ ซึ่งจะใช้หลักการของการประมวลผลภาพทำการแยกจุดสังเกตหรือตัวสะท้อนแสงที่ติดตั้งตามข้อต่อต่างๆของร่างกายออกมาจากส่วนอื่นของภาพที่ไม่สนใจ และทำการคำนวณเพื่อหามุมระหว่างข้อต่อและการสร้างภาพสองมิติหรือสามมิติ เพื่อแสดงเอาท์พุทที่ได้จากการประมวลผล และนำไปใช้งานในส่วนอื่นที่ต้องการต่อไป เช่น นำไปควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ให้แสดงท่าทางต่างๆ ตามท่าทางที่มนุษย์เคลื่อนไหว [2]



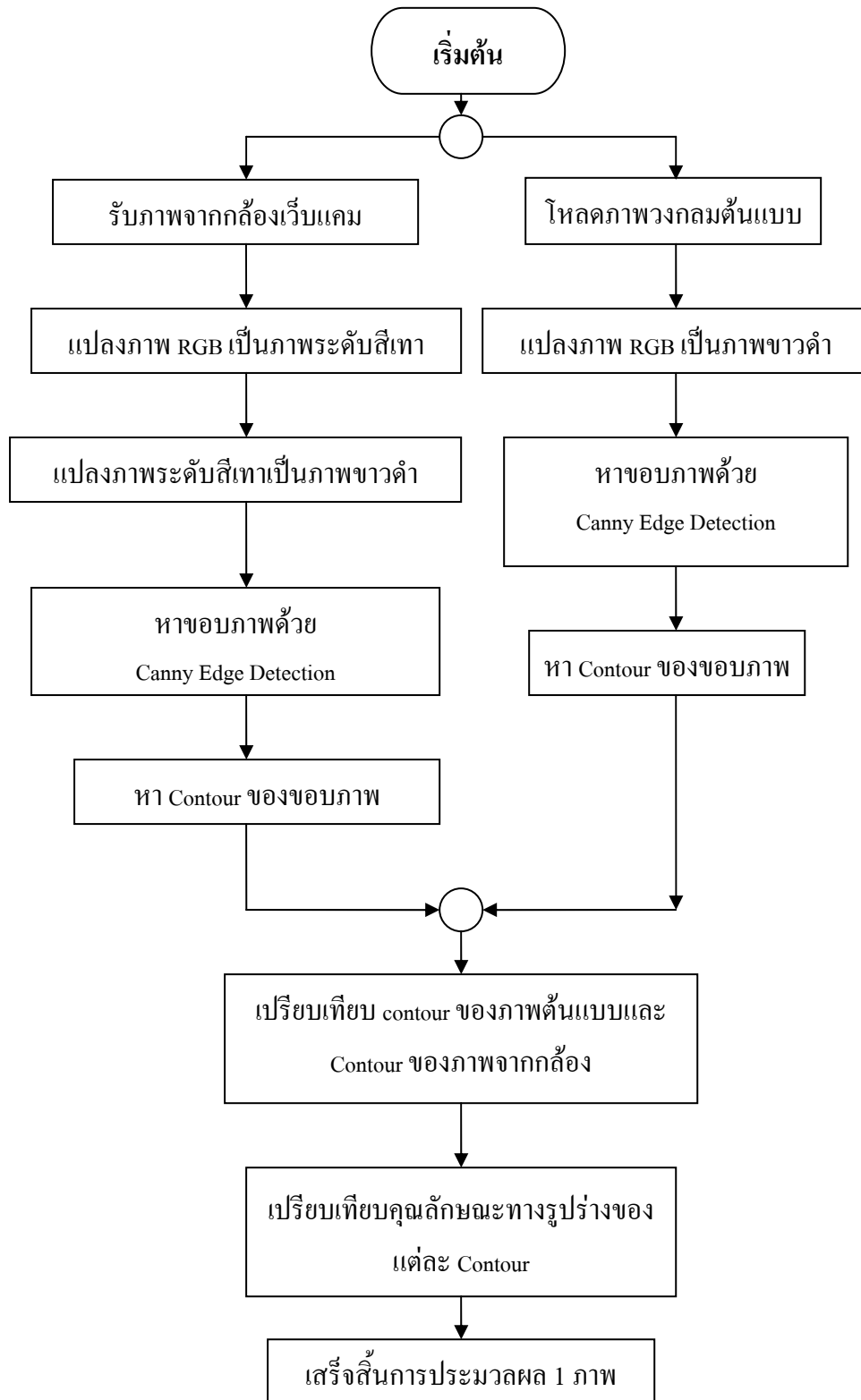
ภาพประกอบ 3-9 ตัวอย่างผลลัพธ์การประมวลผลของโปรแกรม

3.3 การหารูปแบบการเดินของคนจากภาพถ่าย

3.3.1 การหาจุดศูนย์กลางของจุดสังเกต

กระบวนการในการหาดำแหน่งของจุดศูนย์กลางของจุดสังเกต เริ่มต้นจากรับภาพจากกล้องทั้งสามทิศทาง จากนั้นแปลงภาพจากภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาแล้วทำการหาขอบภาพด้วย Canny Edge Detection ซึ่งจะได้ภาพที่ประกอบด้วยขอบภาพของส่วนที่เป็นจุดสังเกตและภาพอื่นๆปะปนมาด้วยจึงยังไม่สามารถระบุตำแหน่งที่แน่นอนของจุดสังเกตแต่ละจุดได้ โดยต้องทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆของขอบภาพแต่ละจุดโดยใช้การหาคอนทัวร์ของขอบภาพ จากนั้นเปรียบเทียบคุณลักษณะที่สำคัญของแต่ละคอนทัวร์กับเงื่อนไขที่กำหนด คือ พื้นที่และรัศมีของคอนทัวร์ และค่าความเหมือนของคอนทัวร์กับภาพกับคอนทัวร์ของภาพจุดสังเกตที่เป็นภาพต้นแบบ

ด้วยเงื่อนไขการตรวจสอบเหล่านี้ ทำให้สามารถตัดบริเวณที่มีลักษณะเป็นวงปิดอื่นๆที่ไม่ใช่พื้นที่วงปิดของจุดสังเกตออกไปได้ กระบวนการหาดำแหน่งของจุดสังเกตทั้งหมดนี้ แสดงได้ดังภาพประกอบ 3-10

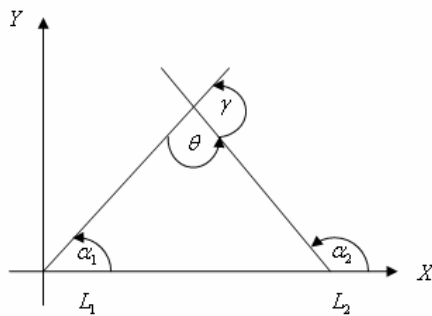


ภาพประกอบ 3-10 ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของจุดตั้งเกตุ

3.3.2 การคำนวณมุมที่ข้อต่อ

เมื่อสามารถหาพิกัดที่เป็นจุดศูนย์กลางของจุดสังเกตแต่ละจุดได้แล้ว จะสามารถหาเส้นตรงระหว่างจุดแต่ละจุดได้ และจากเส้นตรงระหว่างจุดนี้ จะสามารถหามุมระหว่างเส้นตรงสองเส้นที่ตัดกันได้ โดยมีรายละเอียดในการคำนวณมุม ดังนี้

พิจารณาภาพประกอบ 3-11 ให้ L_1 และ L_2 เป็นเส้นตรงสองเส้นที่ไม่ตั้งฉากกัน และไม่ขนานกันและให้ m_1 และ m_2 เป็นความชันของ L_1 และ L_2 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-11 มุมที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรงสองเส้น

θ เป็นมุมที่วัดจาก L_1 ไปยัง L_2 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

γ เป็นมุมที่วัดจาก L_2 ไปยัง L_1 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

α_1 และ α_2 เป็นมุมเอียงของเส้นตรง L_1 และ L_2 ซึ่ง θ เป็นมุมแหลม และ γ เป็นมุมป้าน

$$\text{เพราะ } \alpha_2 = \alpha_1 + \theta \quad (3-1)$$

$$\theta = \alpha_2 - \alpha_1$$

$$\tan \theta = \tan(\alpha_2 - \alpha_1)$$

$$= \frac{\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1}{1 + \tan \alpha_1 \tan \alpha_2}$$

$$\tan \theta = \frac{m_2 - m_1}{1 + m_1 m_2} \quad (3-2)$$

$$\text{และ } \gamma = 180^\circ - \theta$$

$$\text{ดังนั้น } \tan \gamma = \tan(180^\circ - \theta)$$

$$= -\tan \theta$$

$$\tan \gamma = -\frac{(m_2 - m_1)}{1 + m_1 m_2}$$

$$\tan \gamma = \frac{m_1 - m_2}{1 + m_1 m_2} \quad (3-3)$$

จาก (3-1) และ (3-2) สรุปได้ว่า

ถ้า L_1 และ L_2 เป็นเส้นตรงสองเส้นซึ่งมี m_1 และ m_2 เป็นความชันตามลำดับ และให้ θ เป็นมุมระหว่าง L_1 และ L_2 ซึ่งวัดทวนเข็มนาฬิกา แล้วจะได้ว่า

$$\tan \theta = \frac{m_2 - m_1}{1 + m_1 m_2} \quad (3-4)$$

จากหลักการดังกล่าวนี้เราสามารถคำนวณหามุมระหว่างเส้นตรงที่ลากขึ้นได้ ค่ามุมที่ได้จะนำไปปรับค่าให้เหมาะสมกับหุ่นยนต์ต่อไป

3.4 การปรับค่ามุมจากการเดินของคนเพื่อใช้สร้างท่าทางการเดินของหุ่นยนต์

ในขั้นตอนนี้เป็น การปรับค่ามุมที่ได้จากจากท่าทางการเดินของคนให้มีความเหมาะสมกับโครงสร้างของหุ่นยนต์ ข้อมูลมุมที่ได้จากท่าทางการเดินของคนไม่สามารถจะไปใช้กับหุ่นยนต์ได้โดยตรงเนื่องจาก โครงสร้างและข้อต่อของคนและหุ่นยนต์มีความแตกต่างกัน

3.4.1 ข้อแตกต่างระหว่างโครงสร้างของคนกับโครงสร้างของหุ่นยนต์

3.4.1.1 ความแตกต่างของระดับข้อมองเสรี [2]

เนื่องจากลักษณะข้อต่อของมนุษย์มีความซับซ้อนมากกว่าโครงสร้างของหุ่นยนต์ ทำให้ข้อต่อแต่ละจุดของมนุษย์สามารถหมุนได้หลายทิศทาง รวมถึงขอบเขตการหมุนของข้อต่อในแต่ละจุดก็มีความแตกต่างกัน [20] ในการนำรูปแบบการเดินของคนไปใช้กับหุ่นยนต์จึงต้องปรับค่ามุมที่ข้อต่อให้มีความเหมาะสมกับโครงสร้างและข้อจำกัดเกี่ยวกับการหมุนของข้อต่อจุดต่างๆ ของหุ่นยนต์ที่จะใช้ทดสอบด้วย

3.4.1.2 ความแตกต่างของอัตราส่วน [2]

นอกจากความแตกต่างของระดับข้อมองเสรี (Degree of Freedom) ระหว่างคนกับหุ่นยนต์แล้ว ความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างโครงสร้างแต่ละส่วนของคนกับหุ่นยนต์เป็น

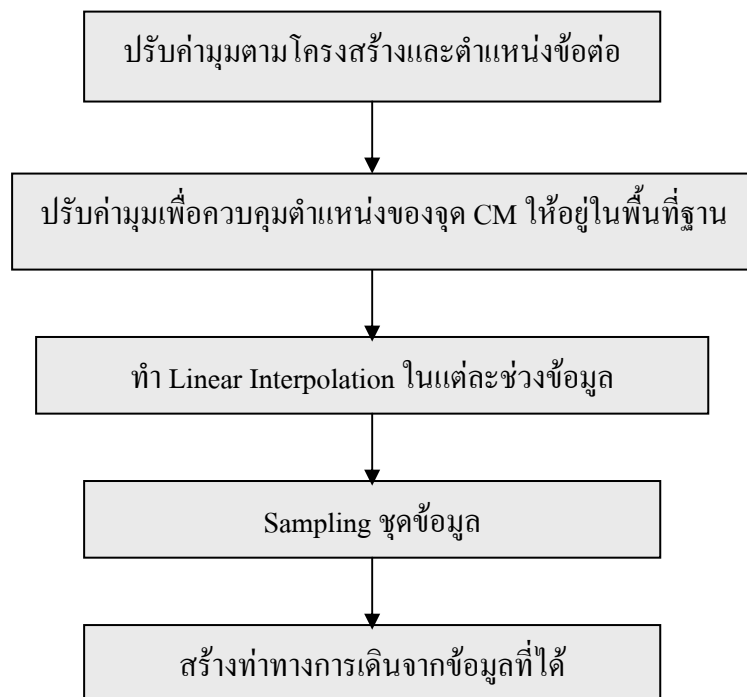
อีกสาเหตุหนึ่งที่ต้องทำการปรับแต่งค่ามุมให้เหมาะสม เนื่องจากความยาวของโครงสร้างแต่ละส่วน รวมทั้งระยะห่างระหว่างจุดหมุนแต่ละจุดของคนกับหุ่นยนต์มีความแตกต่างกัน

3.4.1.3 กำลังและประสิทธิภาพของมอเตอร์

ส่วนสุดท้ายที่มีความแตกต่างกัน คือความสามารถในการรับน้ำหนักของข้อต่อแต่ละจุดมีความแตกต่างกัน การเคลื่อนไหวของคนนั้นจะมีกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นเป็นตัวออกแรงดึงส่วนต่างๆของร่างกายเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนไหวซึ่งจะมีความยืดหยุ่นและแรงดึงที่มีค่าสูง สำหรับการเคลื่อนไหวหุ่นยนต์ จะใช้การบิดแกนของเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) หรือมอเตอร์ที่ติดอยู่ที่ข้อต่อจุดต่างๆ ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนัก แรงบิดและความยืดหยุ่นที่ข้อต่อขึ้นกับกำลังของมอเตอร์เป็นหลัก การสร้างท่าทางจึงต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักและกำลังของเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ด้วยเช่นกัน

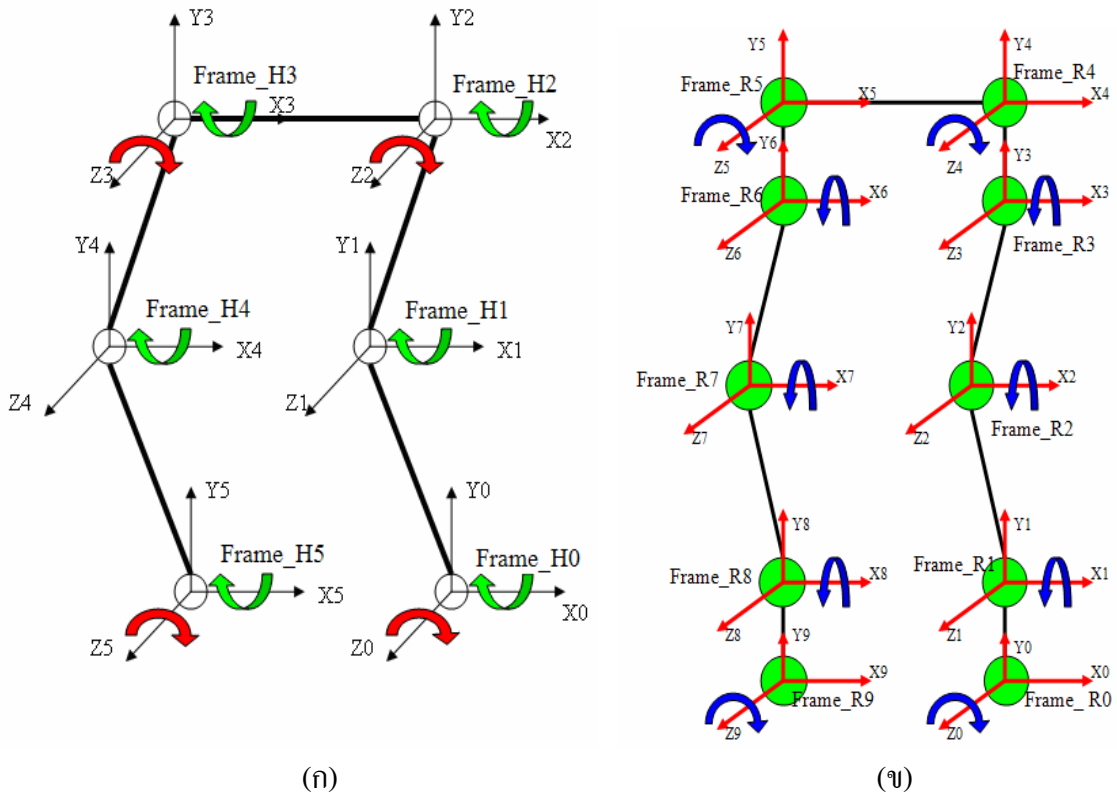
3.4.2 ขั้นตอนการปรับมุมจากการเดินของคนให้เหมาะสมกับโครงสร้างของหุ่นยนต์

หลังจากได้ข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อจุดต่างๆ จากการเดินของคน ขั้นตอนในการปรับค่ามุมเพื่อนำไปใช้ทดสอบกับหุ่นยนต์ แสดงได้ดังภาพประกอบ 3-12



ภาพประกอบ 3-12 ขั้นตอนการปรับค่ามุมจากการเดินของคน

เนื่องจากตำแหน่งและลักษณะข้อต่อของหุ่นยนต์และคนมีความแตกต่างกัน ทำให้ระยะห่างระหว่างข้อต่อแต่ละจุดมีความแตกต่างกันด้วย ในการพิจารณาการชดเชยมุมที่ข้อต่อจุดต่างๆ นั้นต้องกำหนดระบบแกนพิกัดเพื่อใช้อ้างอิงประกอบการพิจารณา ระบบแกนพิกัดสมมุติแสดงได้ดังภาพ ประกอบ 3-13



ภาพประกอบ 3-13 แกนพิกัดสมมุติ เพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่ง

(ก) การหมุนที่ข้อต่อของมนุษย์

(ข) การหมุนที่ข้อต่อของหุ่นยนต์

จากภาพประกอบ 3-13 (ก) ข้อต่อของคนในตำแหน่งข้อเท้าและสะโพก ($Frame_H_0$, $Frame_H_3$, $Frame_H_4$, $Frame_H_5$) สามารถหมุนได้สองทิศทางคือ หมุนรอบแกน x และ หมุนรอบแกน z แต่สำหรับโครงสร้างของหุ่นยนต์ในภาพประกอบ 3-13 (ข) ในการแทนตำแหน่งของการหมุนที่สะโพกและข้อเท้า ซึ่งเกิดการหมุนในสองทิศทางนั้นต้องใช้มอเตอร์สองตัว แต่ไม่สามารถทำจุดหมุนอยู่ในตำแหน่งเดียวกันได้ ทำให้ตำแหน่งในการหมุนของข้อต่อมีความแตกต่างกัน เช่น จุดที่เป็นข้อเท้าซ้ายของคน คือ $Frame_H_0$ จะหมุนได้สองทิศทางคือ รอบแกน x_0 และ แกน z_0 แต่ตำแหน่งข้อเท้าซ้ายของหุ่นยนต์จะประกอบด้วยข้อต่อสองจุด คือ $Frame_R_0$ จะ

แทนการหมุนในแนวแกน z_0 และ $Frame_R_1$ แทนการหมุนในแนวแกน x_1 จากลักษณะการวางตำแหน่งข้อต่อของหุ่นยนต์ดังกล่าวทำให้ระยะห่างระหว่างข้อต่อแต่ละจุดของหุ่นยนต์มีความแตกต่างจากข้อต่อของคน เปรียบเทียบการหมุนของข้อต่อแต่ละจุดของคนและหุ่นยนต์ แสดงดังตาราง 3-1

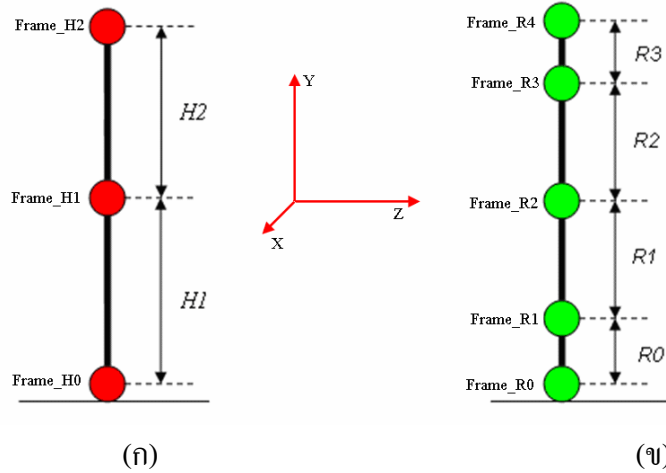
ตาราง 3-1 เปรียบเทียบการหมุนของข้อต่อแต่ละจุดของคนละหุ่นยนต์

ตำแหน่งข้อต่อ	ข้อต่อของคน	ทิศทางการหมุน	ข้อต่อของหุ่นยนต์	ทิศทางการหมุน
ข้อเท้าซ้าย	$Frame_H_0$	รอบแกน x_0, z_0	$Frame_R_0$	รอบแกน z_0
			$Frame_R_1$	รอบแกน x_1
หัวเข่าซ้าย	$Frame_H_1$	รอบแกน x_1	$Frame_R_2$	รอบแกน x_2
สะโพกซ้าย	$Frame_H_2$	รอบแกน x_2, z_2	$Frame_R_3$	รอบแกน x_3
			$Frame_R_4$	รอบแกน z_4
สะโพกขวา	$Frame_H_3$	รอบแกน x_3, z_3	$Frame_R_5$	รอบแกน z_5
			$Frame_R_6$	รอบแกน x_6
หัวเข่าขวา	$Frame_H_4$	รอบแกน x_4	$Frame_R_7$	รอบแกน x_7
ข้อเท้าขวา	$Frame_H_5$	รอบแกน x_5, z_5	$Frame_R_8$	รอบแกน x_8
			$Frame_R_9$	รอบแกน z_9

จากตำแหน่งของข้อต่อที่มีความแตกต่างกัน ทำให้ต้องทำการปรับค่ามุมก่อนนำไปใช้กับหุ่นยนต์ ซึ่งในการคำนวณเพื่อหาอัตราส่วนการชดเชยมุมที่แต่ละจุด มีรายละเอียดดังนี้

3.4.2.1 การชดเชยมุมที่มุมรอบแกน x ที่ข้อต่อ

ในการพิจารณาการหมุนของข้อต่อในแต่ละจุด จะพิจารณาโดยใช้แกนพิกัดอ้างอิงจาก ภาพประกอบ 3-13 ซึ่งลักษณะทางโครงสร้างของช่วงขาของคนและหุ่นยนต์สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 3-14



ภาพประกอบ 3-14 อัตราส่วนของขาช่วงบนและช่วงล่างของคนกับหุ่นยนต์ (ด้านข้าง)

(ก) ข้อต่อของส่วนขาของคน

(ข) ข้อต่อของส่วนขาของหุ่นยนต์

เมื่อกำหนดให้ H_1 คือ ความยาวของขาช่วงข้อเท้าถึงหัวเข่า

H_2 คือ ความยาวของขาช่วงหัวเข่าถึงสะโพก

R_0 คือ ระยะห่างระหว่าง ข้อต่อข้อเท้าของหุ่นยนต์

R_1 คือ ความยาวขาช่วงล่างของหุ่นยนต์

R_2 คือ ความยาวขาช่วงบนของหุ่นยนต์

R_3 คือ ระยะห่างระหว่างข้อต่อสะโพกของหุ่นยนต์

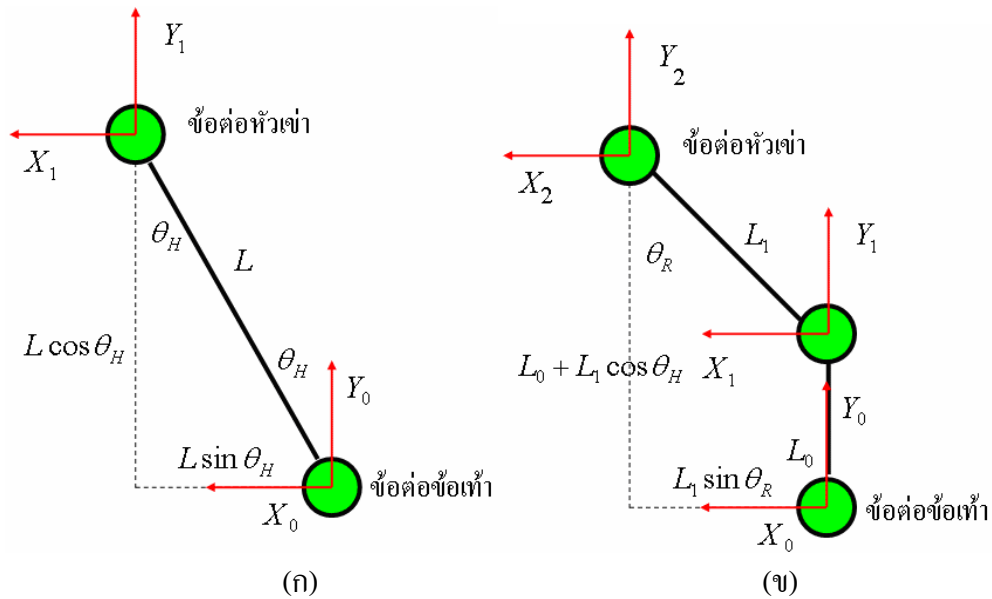
การปรับค่ามุมรอบแกน x ที่ข้อเท้า

พิจารณาจากภาพประกอบ 3-15 (ก) ให้ขาส่วนล่างของคนมีความยาว L และเมื่องอเข่าเป็นมุม θ_H อัตราส่วนของขาที่เปลี่ยนไปคือ

$$\frac{L}{L \cos \theta_h} \quad (3-5)$$

พิจารณาจากภาพประกอบ 3-15 (ข) ให้ขาส่วนล่างของหุ่นมีความยาว $L_0 + L_1$ และเมื่องอเข่าเป็นมุม θ_R อัตราส่วนของขาที่เปลี่ยนไปคือ

$$\frac{L_0 + L_1}{L_1 \cos \theta_R + L_0} \quad (3-6)$$



ภาพประกอบ 3-15 ภาพประกอบสมการ (3-5) และสมการ (3-6)

(ก) ตำแหน่งข้อต่อที่ข้อเท้าและหัวเข่าของคน

(ข) ตำแหน่งข้อต่อในส่วนที่เป็นข้อเท้าและหัวเข่าของหุ่นยนต์

$$\text{ถ้าให้ (3-5) = (3-6) \text{ จะได้ } \frac{L}{L \cos \theta_H} = \frac{L_0 + L_1}{L_1 \cos \theta_R + L_0}$$

$$(L_1 + L_0) \cos \theta_H = (L_1) \cos \theta_R + L_0$$

$$\cos \theta_R = \left[\frac{(L_1 + L_0) \cos \theta_H - L_0}{L_1} \right]$$

$$\theta_R = \cos^{-1} \left[\frac{(L_1 + L_0) \cos \theta_H - L_0}{L_1} \right] \quad (3-7)$$

เมื่อกำหนดให้ L คือ ความยาวของขาช่วงข้อเท้าถึงหัวเข่า

L_0 คือ ระยะห่างระหว่าง joint ของข้อเท้าของหุ่นยนต์

L_1 คือ ความยาวขาช่วงล่างของหุ่นยนต์

θ_H คือ มุมที่เกิดจากการเดินของคน

θ_R คือ มุมที่ปรับแต่งแล้วสำหรับใช้กับหุ่นยนต์

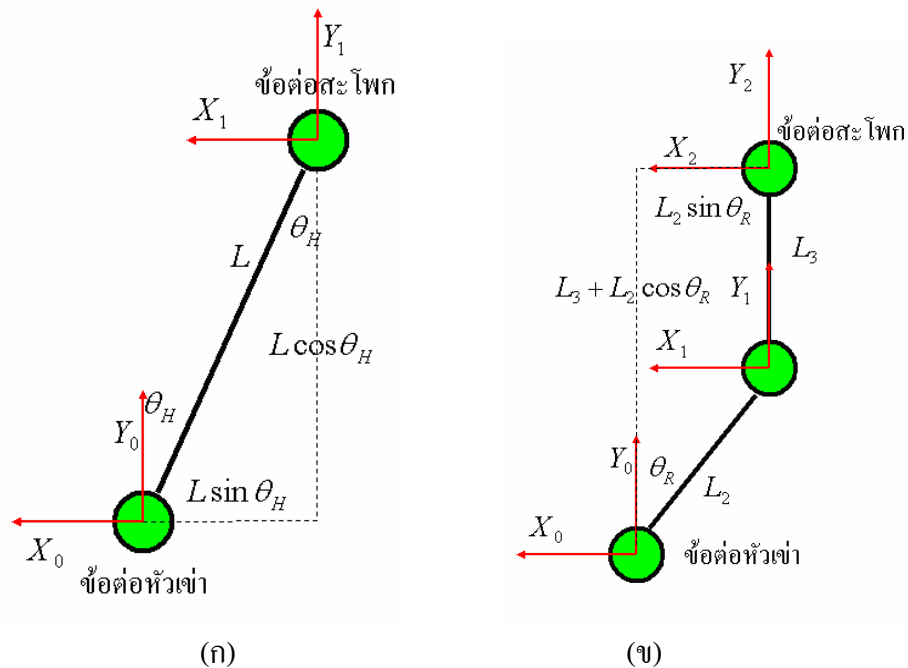
การปรับค่ามุมรอบแกน x ที่สะโพก

พิจารณาจากภาพประกอบ 3-16 (ก) ให้ขาส่วนบนของคนมีความยาว L และเมื่องอเข้าเป็นมุม θ_H อัตราส่วนของขาที่เปลี่ยนไปคือ

$$\frac{L}{L \cos \theta_H} \quad (3-8)$$

พิจารณาจากภาพประกอบ 3-16 (ข) ให้ขาล่างของหุ่นมีความยาว $L_2 + L_3$ และเมื่องอเข้าเป็นมุม θ_R อัตราส่วนของขาที่เปลี่ยนไปคือ

$$\frac{L_2 + L_3}{L_3 \cos \theta_R + L_2} \quad (3-9)$$



ภาพประกอบ 3-16 ภาพประกอบสมการ (3-4) และ (3-5)

(ก) ตำแหน่งข้อต่อที่เป็นหัวเข่าและสะโพกของคน

(ข) ตำแหน่งข้อต่อที่เป็นหัวเข่าและสะโพกของหุ่นยนต์

ถ้าให้ (3-8) = (3-9) จะได้

$$\frac{L}{L \cos \theta_H} = \frac{L_2 + L_3}{L_3 \cos \theta_R + L_2}$$

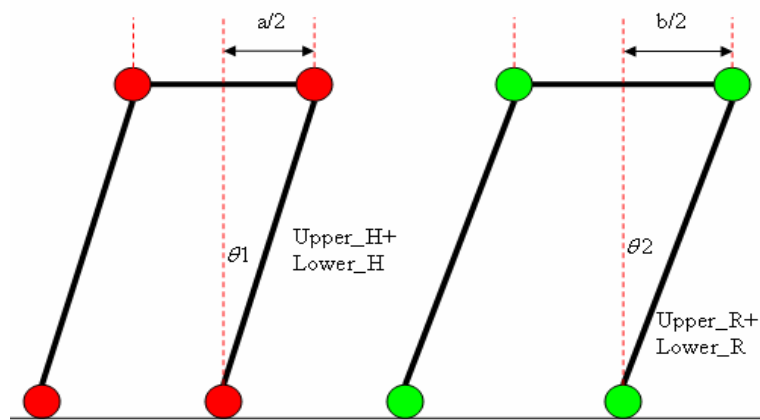
$$(L_3 + L_2) \cos \theta_H = (L_2) \cos \theta_R + L_3$$

$$\cos \theta_R = \left[\frac{(L_3 + L_2) \cos \theta_H - L_3}{L_2} \right]$$

$$\theta_R = \cos^{-1} \left[\frac{(L_3 + L_2) \cos \theta_H - L_3}{L_2} \right] \quad (3-10)$$

- เมื่อกำหนดให้ L คือ ความยาวของขาช่วงหัวเข่าถึงสะโพก
 L_2 คือ ความยาวขาช่วงบนของหุ่นยนต์
 L_3 คือ ระยะห่างระหว่างข้อต่อสะโพกของหุ่นยนต์
 θ_H คือ มุมที่เกิดจากการเดินของคน
 θ_R คือ มุมที่ปรับแต่งแล้วสำหรับใช้กับหุ่นยนต์

3.4.2.2 การชดเชยมุมที่มุมรอบแกน z ที่ข้อเท้าและสะโพก



ภาพประกอบ 3-17 ภาพประกอบสมการ (3-11)

$$\sin \theta_1 = \frac{(a/2)}{Upper_H + Lower_h}$$

$$\sin \theta_2 = \frac{(b/2)}{Upper_R + Lower_R}$$

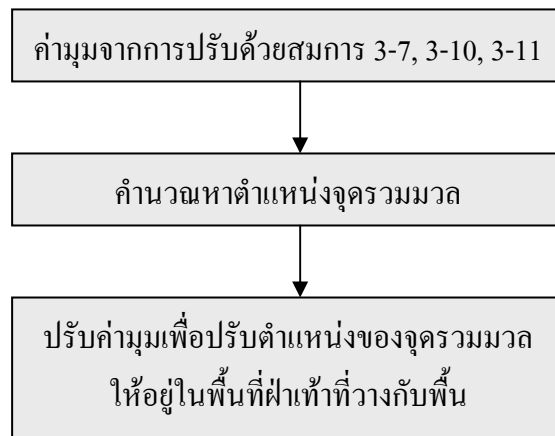
$$\text{อัตราชดเชยมุม} = \frac{\theta_2}{\theta_1} \quad (3-11)$$

เมื่อกำหนดให้ $Upper_H$ คือ ความยาวขาช่วงบนของคน
 $Upper_R$ คือ ความยาวรวมของขาช่วงบนของหุ่นยนต์
 $Lower_H$ คือ ความยาวขาช่วงล่างของคน
 $Lower_R$ คือ ความยาวรวมของขาช่วงล่างของหุ่นยนต์

3.4.3 การปรับค่ามุมเพื่อรักษาจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐาน

หลังจากปรับค่ามุมตามเงื่อนไขของขนาดโครงสร้างและตำแหน่งของข้อต่อที่มีความแตกต่างกันแล้ว อีกปัจจัยที่ต้องพิจารณาคือ การรักษาตำแหน่งของจุดรวมมวลของโครงสร้างให้อยู่ในพื้นที่ฝ่าเท้าที่เป็นพื้นที่ฐาน เพื่อรักษาสมดุลในการเดิน

ขั้นตอนในการปรับมุมนี้จะหาค่ามุมที่ข้อต่อแต่ละจุดเพื่อปรับตำแหน่งของจุดรวมมวลให้กลับมาอยู่ในพื้นที่ฐาน สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 3-18



ภาพประกอบ 3-18 การปรับมุมเพื่อควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวล

สมการในการคำนวณหาตำแหน่งจุดรวมมวล บนแกน x และ z คือ

$$CM_{-X}_{frame_x} = \frac{\sum_{i=x}^n m_i x_{li}}{\sum_{i=x}^n m_i} \quad (3-12)$$

$$CM_{-Z}_{frame_x} = \frac{\sum_{i=x}^n m_i z_{li}}{\sum_{i=x}^n m_i} \quad (3-13)$$

เมื่อกำหนดให้

$CM_{-x_{frame_x}}$ คือ ตำแหน่งของจุดรวมมวลบนแกน x เมื่อพิจารณาจาก เฟรมที่ x เป็นต้นไป

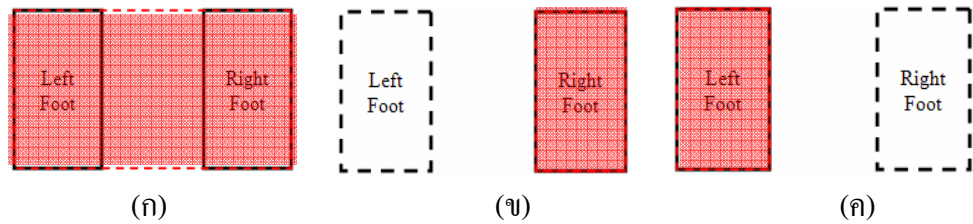
$CM_{-z_{frame_x}}$ คือ ตำแหน่งของจุดรวมมวลบนแกน z เมื่อพิจารณาจาก เฟรมที่ x เป็นต้นไป

m_i คือ มวลของชิ้นส่วนที่ i

x_{li} คือ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลบนแกน x ของชิ้นส่วนที่ i เทียบกับเฟรมที่ x

z_{li} คือ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลบนแกน z ของชิ้นส่วนที่ i เทียบกับเฟรมที่ x

เงื่อนไขในการล้มของหุ่นยนต์ คือ เมื่อจุดรวมมวลของโครงสร้างหลุดออกจากพื้นที่ฐานในทิศทางใดทิศทางหนึ่งหุ่นยนต์จะล้มไปในทิศทางนั้น เช่น หากตำแหน่งของจุดรวมมวลหลุดออกจากฐานไปในทิศทางด้านหน้า หุ่นยนต์ก็จะล้มไปข้างหน้า พื้นที่ฐานสำหรับการยืนของหุ่นยนต์แสดงได้ดังภาพประกอบ 3-19



ภาพประกอบ 3-19 พื้นที่ฐานของโครงสร้าง

(ก) กรณียืนด้วยขาทั้งสองข้าง

(ข) กรณียืนด้วยขาขวา

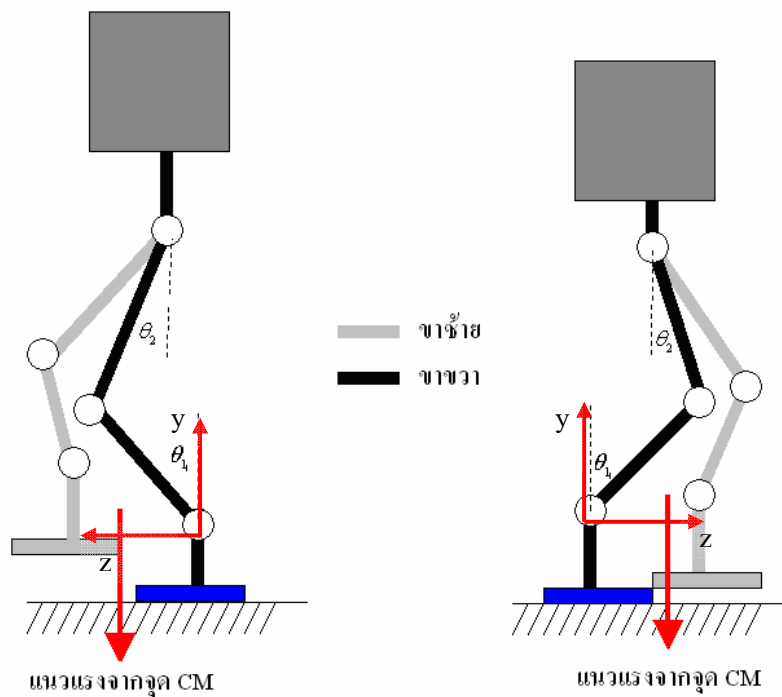
(ค) กรณียืนด้วยขาซ้าย

โดยที่สามารถกำหนดคีย์ตำแหน่งของจุดรวมมวลที่อยู่นอกพื้นที่ฐานได้เป็น 4 กรณีหลัก ดังภาพประกอบ 3-20 และ ภาพประกอบ 3-21 ถึง 3-24

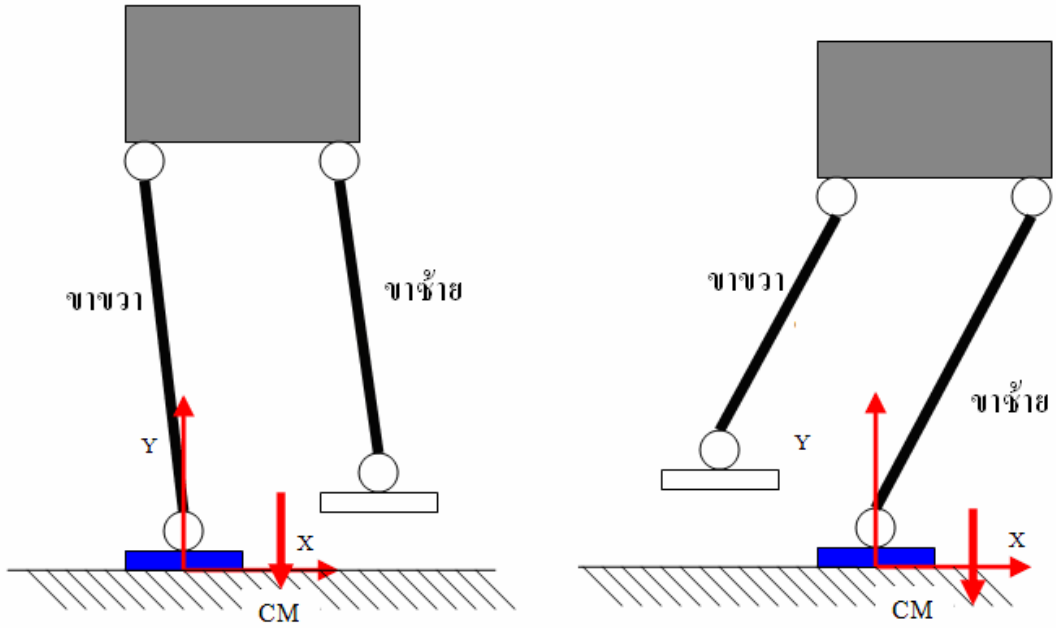
- กรณีที่ 1 ตำแหน่งของจุดรวมมวลอยู่นอกพื้นที่ฐานในทิศทาง แกน $+z$
- กรณีที่ 2 ตำแหน่งของจุดรวมมวลอยู่นอกพื้นที่ฐานในทิศทาง แกน $+x$
- กรณีที่ 3 ตำแหน่งของจุดรวมมวลอยู่นอกพื้นที่ฐานในทิศทาง แกน $-x$
- กรณีที่ 4 ตำแหน่งของจุดรวมมวลอยู่นอกพื้นที่ฐานในทิศทาง แกน $-z$



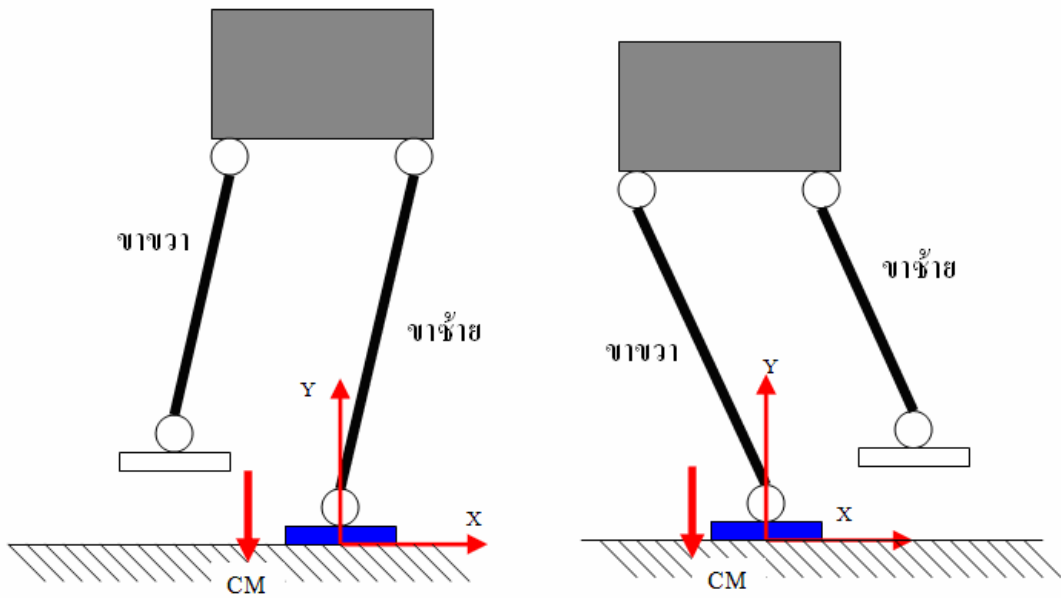
ภาพประกอบ 3-20 ตำแหน่งของจุดรวมมวลที่มีโอกาสอยู่นอกพื้นที่ฐาน



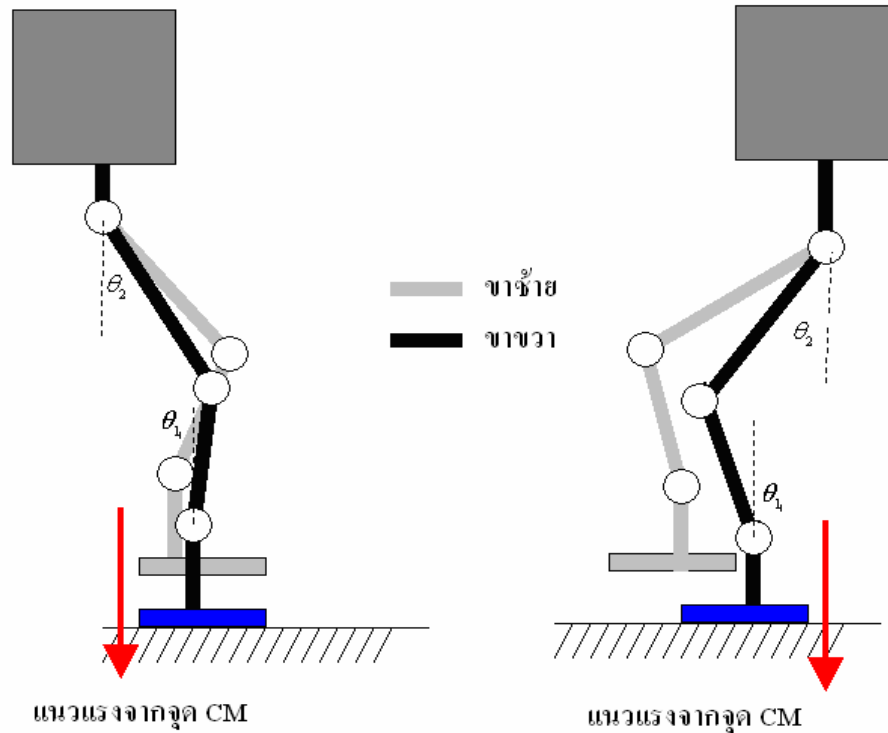
ภาพประกอบ 3-21 ตำแหน่งของจุดรวมมวลอยู่นอกพื้นที่ฐานในทิศทาง แกน +z



ภาพประกอบ 3-22 ตำแหน่งของจุดรวมมวลอยู่นอกพื้นที่ฐานในทิศทาง แกน +x

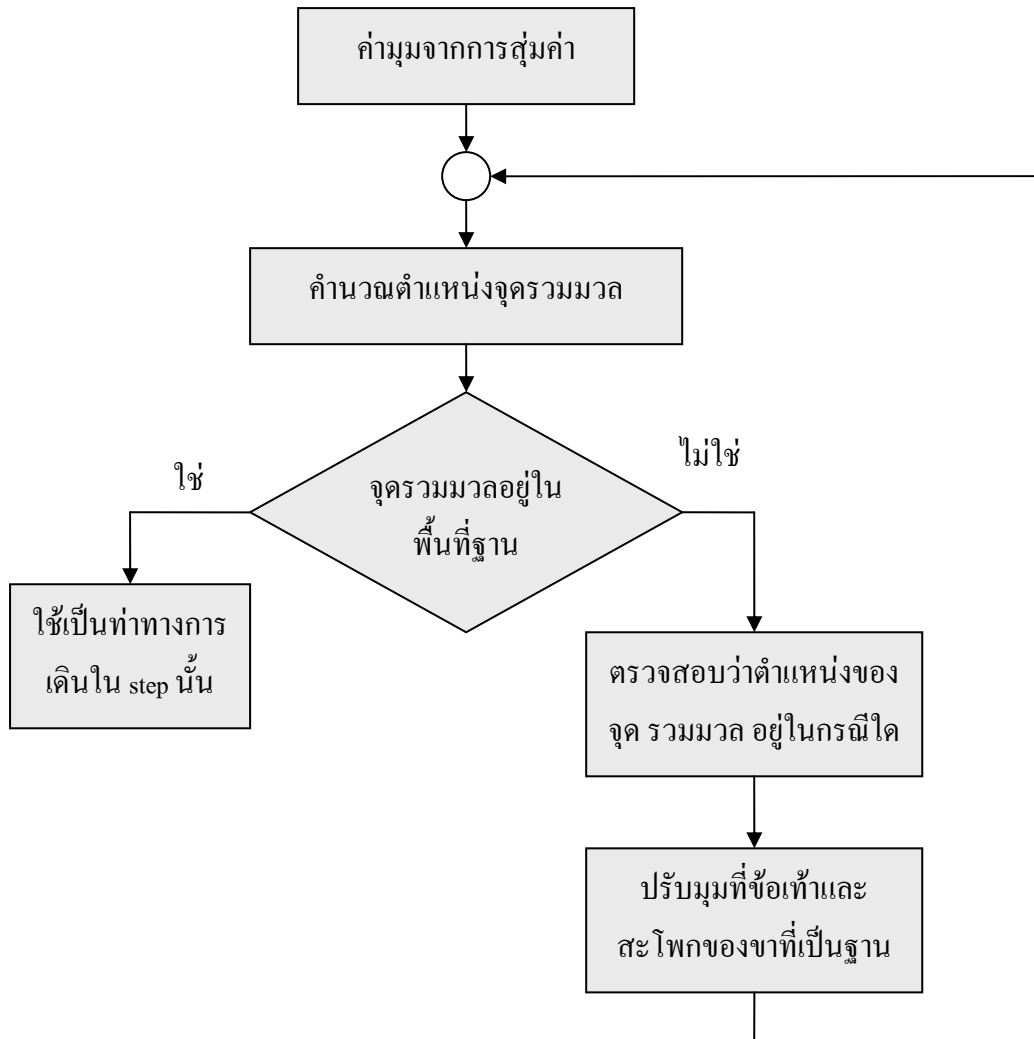


ภาพประกอบ 3-23 ตำแหน่งของจุดรวมมวลอยู่นอกพื้นที่ฐานในทิศทาง แกน -x



ภาพประกอบ 3-24 ตำแหน่งของจุดรวมมวลอยู่นอกพื้นที่ฐานในทิศทาง แกน -z

ในการปรับค่ามุมเพื่อรักษาตำแหน่งของจุดรวมมวลของโครงสร้างให้อยู่ในพื้นที่ฝ่าเท้าที่วางกับพื้นเพื่อรักษาสมดุลของโครงสร้าง ขั้นแรกจะต้องทราบตำแหน่งจุดรวมมวลของโครงสร้างทั้งหมด และเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดรวมมวลกับขอบเขตของพื้นที่ฐานเพื่อพิจารณาว่าจุดรวมมวลอยู่นอกฐานในทิศทางใด จากนั้นทำการปรับค่ามุมที่ข้อต่อบางจุดเพื่อปรับตำแหน่งของจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐานของโครงสร้าง ขั้นตอนการทำงานในการปรับค่ามุมเพื่อควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวล แสดงดังภาพประกอบ 3-25



ภาพประกอบ 3-25 ขั้นตอนการปรับค่ามุมเพื่อรักษาตำแหน่งของจุดรวมมวล

3.4.4 การพิจารณาทอร์คที่ข้อต่อ

นอกเหนือจากการคำนวณหามุมที่ข้อต่อและการควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลแล้วอีกปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาประกอบคือ ค่าทอร์คที่ข้อต่อแต่ละจุด ซึ่งทำให้ทราบค่าทอร์คที่เหมาะสมในการใช้งาน โดยในการพิจารณาแรงจากการเคลื่อนไหวของท่าทางต่าง ๆ นั้นจะแบ่งจุดที่ทำการพิจารณาเป็น 9 จุด ดังภาพประกอบ 3-13 (ข)

- ที่ $Frame_R_0$ (ข้อเท้าซ้าย) มีมอเตอร์ 1 ตัว ซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน z
- ที่ $Frame_R_1$ (ข้อเท้าซ้าย) มีมอเตอร์ 1 ตัว ซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน x
- ที่ $Frame_R_2$ (หัวเข่าซ้าย) มีมอเตอร์ 1 ตัว ซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน x
- ที่ $Frame_R_3$ (สะโพกซ้าย) มีมอเตอร์ 1 ตัว ซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน x

- ที่ $Frame_R_4$ (สะโพกซ้าย) มีมอเตอร์ 1 ตัว ซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน z
- ที่ $Frame_R_5$ (สะโพกขวา) มีมอเตอร์ 1 ตัว ซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน z
- ที่ $Frame_R_6$ (สะโพกขวา) มีมอเตอร์ 1 ตัว ซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน x
- ที่ $Frame_R_7$ (หัวเข่าขวา) มีมอเตอร์ 1 ตัว ซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน x
- ที่ $Frame_R_8$ (ข้อเท้าขวา) มีมอเตอร์ 1 ตัว ซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน x
- ที่ $Frame_R_9$ (ข้อเท้าขวา) มีมอเตอร์ 1 ตัว ซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน z

สมการในการคำนวณหาทอร์กรอบแกน x และ z คือ

$$Torque_x_x = CM_Z_{frame_x} \sum_{i=x}^n m_i \quad (3-14)$$

$$Torque_z_x = CM_X_{frame_x} \sum_{i=x}^n m_i \quad (3-15)$$

เมื่อกำหนดให้

$CM_z_{frame_x}$ คือ ตำแหน่งของจุดรวมมวลบนแกน x เมื่อพิจารณาจาก เฟรมที่ x เป็นต้นไป

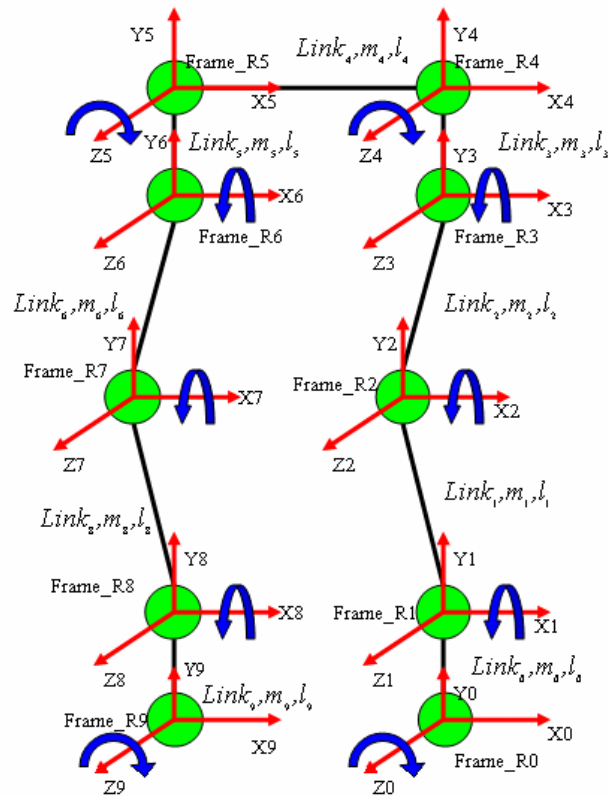
$CM_x_{frame_x}$ คือ ตำแหน่งของจุดรวมมวลบนแกน z เมื่อพิจารณาจาก เฟรมที่ x เป็นต้นไป

m_i คือ มวลของชิ้นส่วนที่ i

ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ดินโดยใช้เท้าซ้ายเป็นเท้าหลักที่รับน้ำหนัก จะสามารถคำนวณหาแรงที่มอเตอร์แต่ละตัวต้องรับได้ดังนี้

พิจารณาภาพประกอบ 3-26 การหมุนที่ข้อเท้าซ้ายประกอบด้วยมอเตอร์ 2 ตัว ซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน x และ z แต่เนื่องจากตำแหน่งในการวางมอเตอร์ไม่ตรงกันจึงต้องแยกพิจารณาทีละจุด

พิจารณาที่ $Frame_R_0$ มอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนที่ข้อต่อจุดนี้จะต้องรับน้ำหนักทั้งหมดของโครงสร้างในแนวแกน x ตั้งแต่ $Link_0 - Link_8$ ซึ่งโครงสร้างดังภาพประกอบ 3-26



ภาพประกอบ 3-26 การคำนวณทอร์ครอบแกน Z ที่ข้อเท้า

เมื่อกำหนดให้ m_0 คือ มวลของ $Link_0$, $m_1 =$ มวลของ $Link_1$
 m_2 คือ มวลของ $Link_2$, $m_3 =$ มวลของ $Link_3$
 m_4 คือ มวลของ $Link_4$, $m_5 =$ มวลของ $Link_5$
 m_6 คือ มวลของ $Link_6$, $m_7 =$ มวลของ $Link_7$
 m_8 คือ มวลของ $Link_8$

x_0 คือ พิกัดบนแกน x ของ $Frame_R0$

x_{10} คือ ระยะจาก x_0 ไปยังจุดกึ่งกลางมวลบนแกน x ของ $Link_0$

x_{11} คือ ระยะจาก x_0 ไปยังจุดกึ่งกลางมวลบนแกน x ของ $Link_1$

x_{12} คือ ระยะจาก x_0 ไปยังจุดกึ่งกลางมวลบนแกน x ของ $Link_2$

x_{13} คือ ระยะจาก x_0 ไปยังจุดกึ่งกลางมวลบนแกน x ของ $Link_3$

x_{14} คือ ระยะจาก x_0 ไปยังจุดกึ่งกลางมวลบนแกน x ของ $Link_4$

x_{15} คือ ระยะจาก x_0 ไปยังจุดกึ่งกลางมวลบนแกน x ของ $Link_5$

x_{16} คือ ระยะจาก x_0 ไปยังจุดกึ่งกลางมวลบนแกน x ของ $Link_6$

x_{17} คือ ระยะจาก x_0 ไปยังจุดกึ่งกลางมวลบนแกน x ของ $Link_7$

x_{18} คือ ระยะจาก x_0 ไปยังจุดกึ่งกลางมวลบนแกน x ของ $Link_8$

ตำแหน่งจุดรวมมวลบนแกน x_0 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3-14)

$$CM_{-x_{frame_0}} = x_0 - \left(\frac{m_0 x_{10} + m_1 x_{11} + m_2 x_{12} + m_3 x_{13} + m_4 x_{14} + m_5 x_{15} + m_6 x_{16} + m_7 x_{17} + m_8 x_{18}}{m_0 m_1 m_2 m_3 m_4 m_5 m_6 m_7 m_8} \right)$$

ขนาดของ ทอร์ครอบแกน z_0 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3-15)

$$Torque_{-z_{frame_0}} = CM_{-x_{frame_0}} (m_0 + m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 + m_8)$$

สำหรับที่ตำแหน่งข้อต่ออื่นๆ ใช้วิธีการเดียวกันนี้ในการคำนวณหาค่าทอร์ค และหากเปลี่ยนท่าทางมาใช้เท้าขวาเป็นเท้าหลักที่รับน้ำหนัก ก็จะใช้วิธีการเดียวกันในการคำนวณเช่นกัน แต่เริ่มพิจารณาจากข้อเท้าขวาเป็นจุดแรก และคำนวณเป็นลำดับเหมือนขาซ้าย หากเป็นในกรณีที่เปลี่ยนมาเป็นท่าทางที่เท้าสองข้างสัมผัสพื้น จะสามารถควบคุมท่าทางได้ง่ายกว่าขณะที่ยืนด้วยขาเพียงข้างใดข้างหนึ่ง เพราะนอกจากพื้นที่ฐานจะมากกว่ากรณียืนด้วยขาข้างเดียวแล้ว จะมีการกระจายแรงไปยังมอเตอร์ที่ขาทั้งสองข้าง ทำให้ปัญหาจากการล้มเนื่องมาจากกำลังของมอเตอร์ไม่เพียงพอกับน้ำหนักที่ต้องรับภาระลดน้อยลง

3.5 การสร้างชุดข้อมูลสำหรับควบคุมหุ่นยนต์

หลังจากนำค่ามุมจากการเดินของคน มาปรับค่ามุมด้วยการชดเชยด้านอัตราส่วนและการควบคุมตำแหน่งจุดรวมมวลแล้ว ข้อมูลที่ได้จะยังมีความถี่ไม่คงที่ ในขั้นตอนนี้เป็นารปรับค่ามุมให้เป็นข้อมูลที่มีความถี่คงที่ เนื่องจากในการรับภาพเข้ามาคำนวณหามุมจะมีความเหลื่อมล้ำของเวลาอยู่เล็กน้อย จึงต้องแก้ไขให้เป็นข้อมูลจากการเดินทั้งสามทิศทางเป็นข้อมูลที่เวลาเดียวกัน แล้วจึงนำไปสร้างเป็นชุดข้อมูลสำหรับควบคุมการเดินต่อไป โดยจะใช้วิธีการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้นมาใช้ในการแก้ไขให้เป็นข้อมูลที่เวลาเดียวกันและมีความถี่ตามที่ต้องการ

3.5.1 การประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้น

เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นที่เชื่อมจุด 2 จุดที่อยู่ติดกัน โดยนิยามได้ดังนี้

$$\text{สำหรับช่วงที่ 1 : } f(x) = F(x_0) + m_0(x - x_0), x \in [x_0, x_1]$$

$$\text{สำหรับช่วงที่ 2 : } f(x) = F(x_1) + m_1(x - x_1), x \in [x_1, x_2]$$

$$\text{สำหรับช่วงที่ n : } f(x) = F(x_{n-1}) + m_{n-1}(x - x_{n-1}), x \in [x_{n-1}, x_n]$$

เมื่อกำหนดให้ $f(x)$ คือ ผลลัพธ์ของ x ที่ในช่วงที่ต้องการ

$F(x_{n-1})$ คือ ผลลัพธ์ของ x ที่ $n-1$

m_{n-1} คือ ความชันระหว่าง $F(x_{n-1})$ และ $F(x_n)$

โดยที่ x ต้องอยู่ระหว่าง x_n และ x_{n-1}

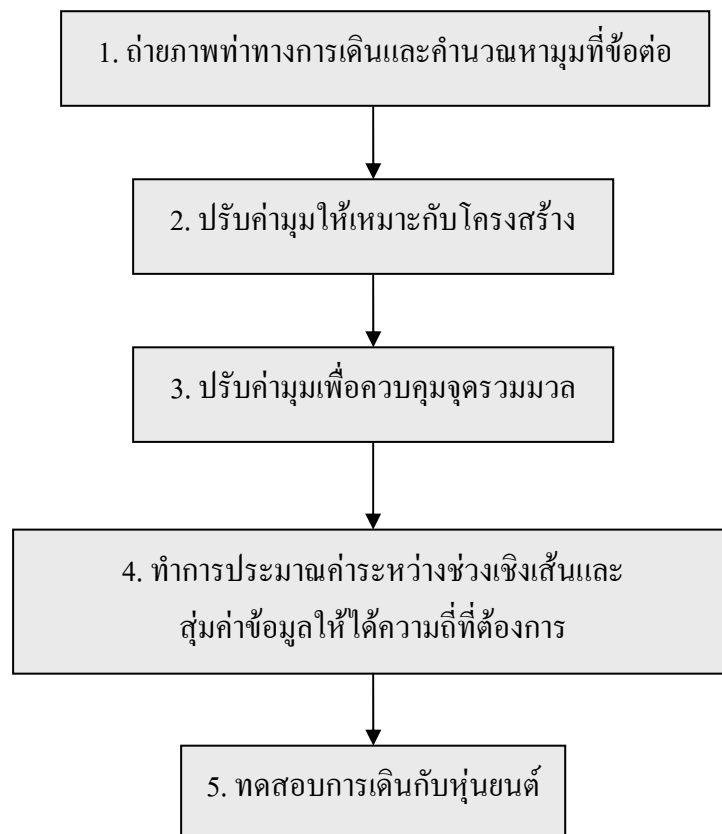
โดยที่การประมาณค่าข้อมูลด้วยวิธีการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้น มีข้อจำกัดดังนี้

1. เส้นโค้งที่ลากผ่าน $n+1$ จุดข้อมูล (n ช่วง) มีลักษณะไม่เรียบ
2. ความชันของเส้นตรงที่ผ่านช่วงที่ติดกันไม่เท่ากัน
3. แก้ไขได้โดยการใช้พหุนามดีกรีสูงกว่าช่วยปรับเส้นโค้งให้เรียบขึ้น

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบส่วนต่างๆของงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยการถ่ายภาพการเดินทางและคำนวณหาค่ามุมที่ขั้วต่อจากการเดินของคน การปรับค่ามุมที่ได้จากการเดินของคนให้เหมาะสมกับโครงสร้างและลักษณะการเดินของหุ่นยนต์ และการทดสอบการเดินของหุ่นยนต์ด้วยชุดข้อมูลที่สร้างขึ้น ขั้นตอนและวิธีการในการทดสอบจะเป็นไปตามขั้นตอนและวิธีการที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 3 ขั้นตอนในการทดสอบแสดงได้ดังภาพประกอบ 4-1



ภาพประกอบ 4-1 ขั้นตอนในการสอบ

4.1 การถ่ายภาพทำทางการเดินและคำนวณหามุมที่ขั้วต่อ

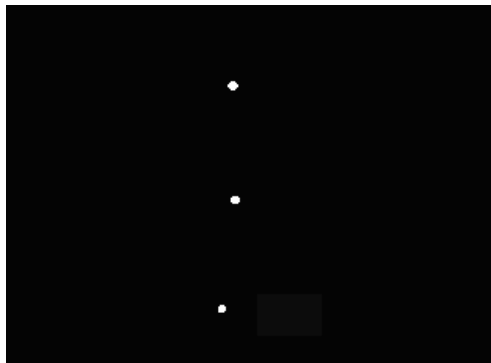
ในขั้นตอนนี้ เริ่มต้นโดยการถ่ายภาพการเดินทางจากกล้องทั้งสามทิศทาง จากนั้นทำการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดสังเกตและคำนวณหามุมที่ขั้วต่อ การวางตำแหน่งของกล้องจะต้องมี

ระยะห่างระหว่างกล้องกับคนที่ทำให้สามารถมองเห็นจุดสังเกตที่ติดอยู่บนข้อต่อจุดต่างๆของขาได้ครบถ้วนทุกจุด ดัง ตารางที่ 4-1

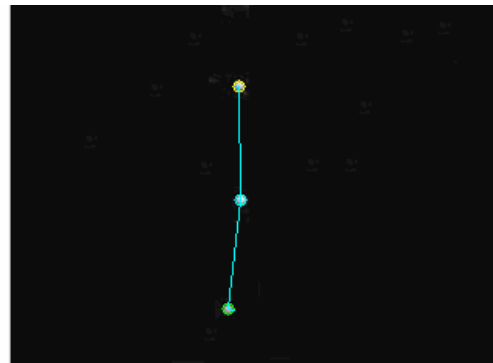
ตาราง 4-1 ระยะห่างของกล้องแต่ละตัวกับส่วนขาของคน

กล้องตัวที่	ระยะห่าง(m)	ความสูง(m)
กล้องที่ 1(ด้านหน้า)	1.8	0.4
กล้องที่ 2(ด้านซ้าย)	1.8	0.4
กล้องที่ 3(ด้านขวา)	1.8	0.4

ที่ระยะห่างระหว่างกล้องและร่างกายคนดังตารางที่ 4-1 จะให้ภาพที่ครอบคลุมส่วนต่างๆของช่วงขาได้ครบถ้วน เมื่อถ่ายภาพและลบภาพส่วนที่ไม่ต้องการให้เหลือเฉพาะจุดสังเกตที่ข้อต่อที่สนใจและหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของจุดสังเกต ให้ตัวอย่างผลลัพธ์ดังภาพประกอบ 4-2



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 4-2 (ก) ภาพขาวดำของขาขวาของคน



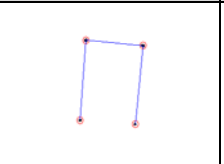
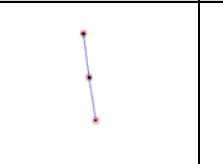
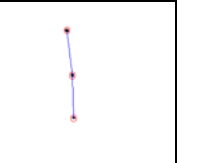


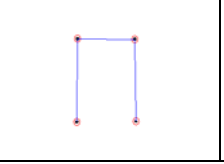
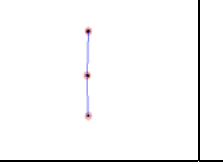
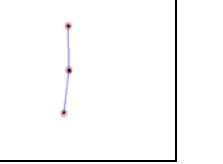
(ข) ภาพที่ผ่านการหาจุดศูนย์กลางของจุดสังเกตแล้ว

ตัวอย่างการถ่ายภาพการเดินของคนจำนวน 4 ก้าวบนลู่วิ่งไฟฟ้าด้วยความเร็ว 1.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วในการเดินทั่วไปของคน โดยเริ่มต้นเดินด้วยการก้าวเท้าขวา จากนั้นทำการหาจุดศูนย์กลางของจุดสังเกต ผลการทดสอบการถ่ายภาพและหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางจุดสังเกต แสดงดังตาราง 4-2

ตาราง 4-2 ภาพแสดงตัวอย่างการเดินจำนวน 4 ก้าวโดยเริ่มต้นด้วยการก้าวเท้าขวา

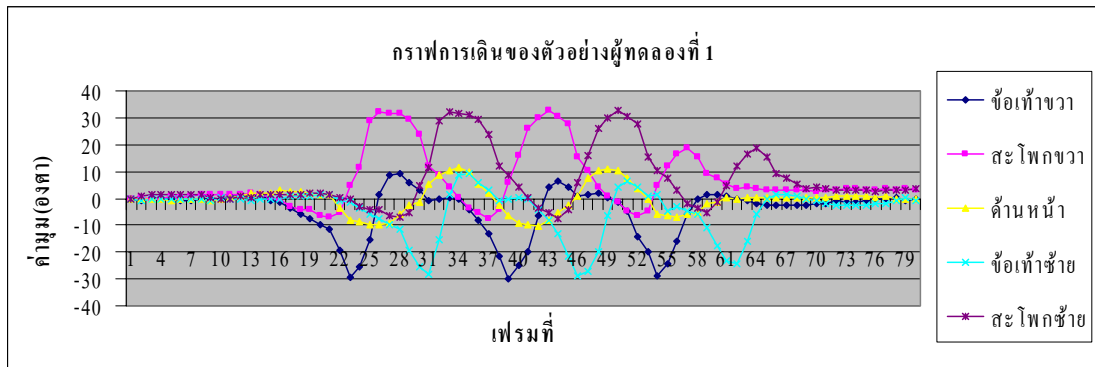
ตารางแสดงผลลัพธ์การหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดสังเกต				
ภาพอินพุต		ภาพที่หาจุดศูนย์กลางจุดสังเกตแล้ว		
ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านหน้า	ด้านซ้าย	ด้านขวา

ตาราง 4-2(ต่อ) ภาพแสดงตัวอย่างการเดินจำนวน 4 ก้าวโดยเริ่มต้นด้วยการก้าวเท้าขวา

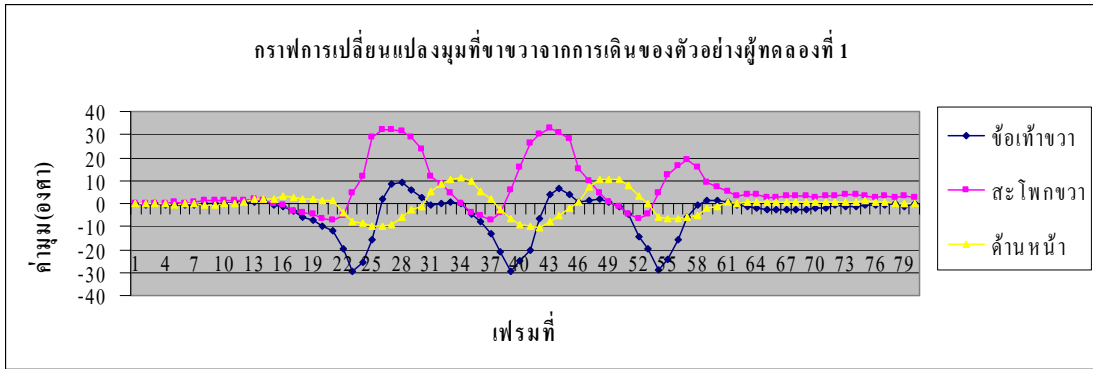
ตารางแสดงผลลัพธ์การหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจุดสังเกต(ต่อ)				
ภาพอินพุต		ภาพที่หาจุดศูนย์กลางจุดสังเกตแล้ว		
ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านหน้า	ด้านซ้าย	ด้านขวา
				
				

4.1.1 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อจากการเดินของคน

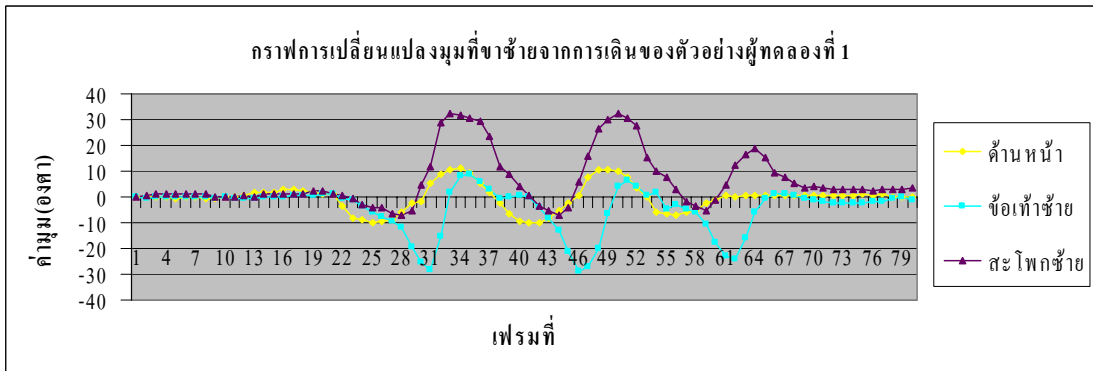
จากชุดข้อมูลทั้งหมดที่บันทึกจากการเดิน 4 ก้าวจำนวน 80 เฟรม เมื่อนำผลลัพธ์จากการคำนวณมุมที่ข้อต่อจากการเดินมาวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ของมุมที่ข้อต่อจุดต่างๆแสดงดังภาพประกอบ 4-3 ถึง 4-5



ภาพประกอบ 4-3 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อของคน



ภาพประกอบ 4-4 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อขาขวาของคน



ภาพประกอบ 4-5 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อขาซ้ายของคน

4.2 การปรับค่ามุม ให้เหมาะสมกับโครงสร้าง

4.2.1 ตัวอย่างโครงสร้างทางกายภาพของคนที่ใช้เป็นต้นแบบ

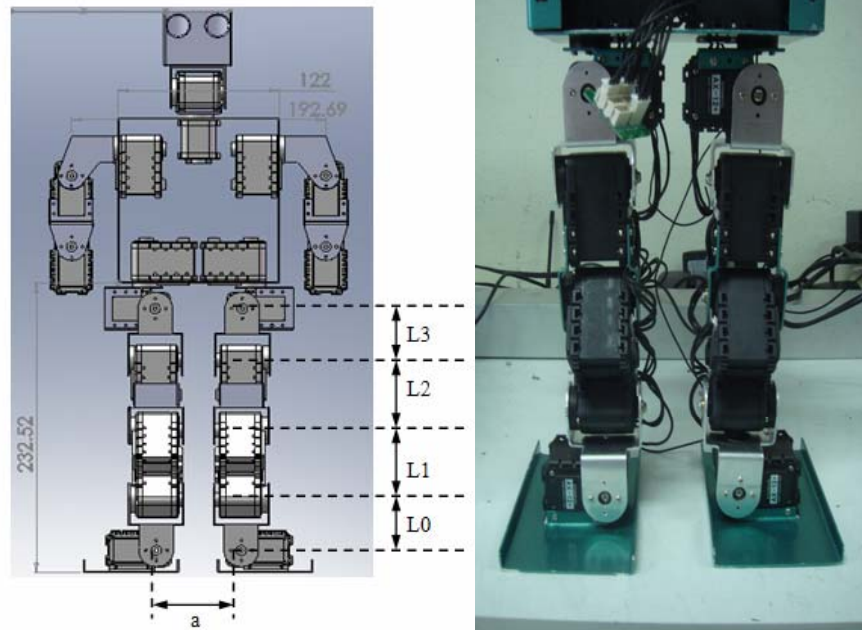
อัตราส่วนของโครงสร้างส่วนขาของผู้ทดลอง แสดงดังตาราง 4-3

ตาราง 4-3 ขนาดของโครงสร้างคนที่เป็นตัวอย่าง

link	ความยาว(ซม.)
ขาตอนล่าง	42
ขาตอนบน	38
ระยะห่างระหว่างสะโพก	24

4.2.2 โครงสร้างทางกายภาพของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง

อัตราส่วนของโครงสร้างส่วนขาของหุ่นยนต์ แสดงดังภาพประกอบ 4-6 และตาราง 4-4



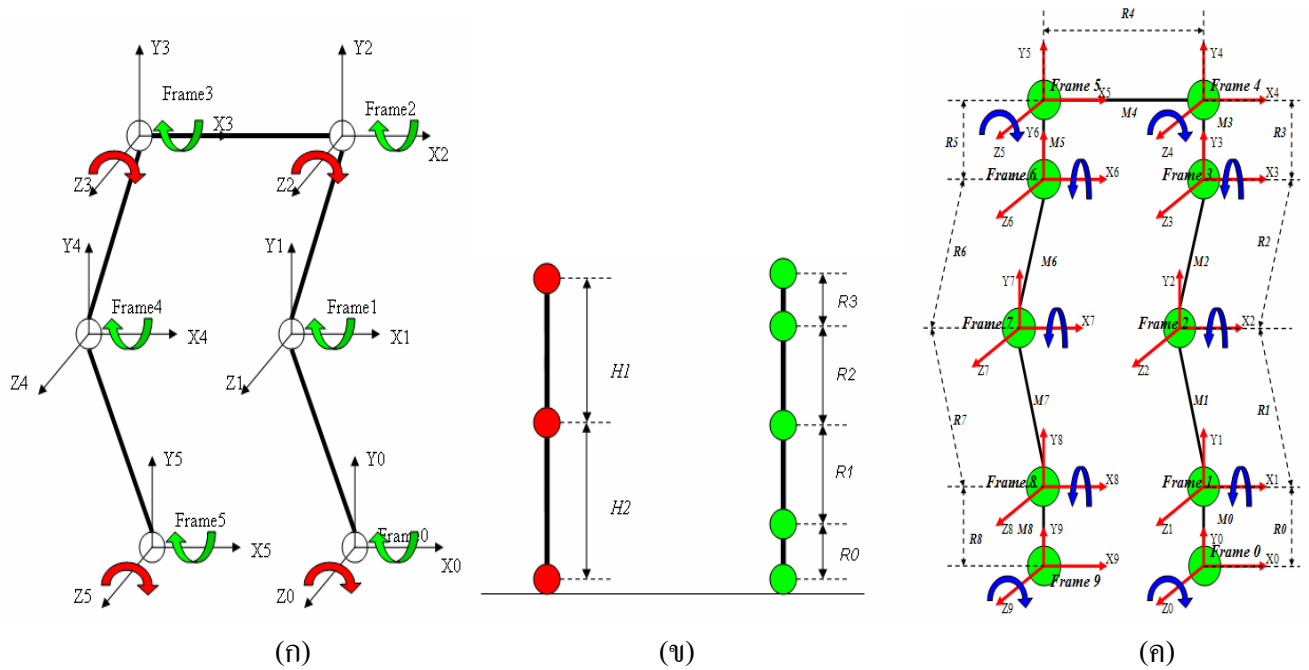
ภาพประกอบ 4-6 โครงสร้างของหุ่นยนต์

ตาราง 4-4 ความยาวของโครงสร้างหุ่นยนต์

link	ความยาว(ซม.)
L0	5.6
L1	4.8
L2	5.5
L3	4
a	6.6

4.2.3 การปรับมุมที่ข้อต่อจุดต่างๆ

ลักษณะทางโครงสร้างและตำแหน่งของจุดหมุนของช่วงขาของคนและหุ่นยนต์สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ ที่ 4-7



ภาพประกอบ 4-7 (ก) ตำแหน่งของจุดหมุนของช่วงขาของคน

(ข) เปรียบเทียบตำแหน่งของจุดหมุนของช่วงขาของคน

(ภาพประกอบ 4-9 ก) และหุ่นยนต์ (ภาพประกอบ 4-9 ค)

(ค) ตำแหน่งของจุดหมุนของช่วงขาของหุ่นยนต์

4.2.3.1 ปรับค่ามุมตามโครงสร้างและตำแหน่งข้อต่อที่แตกต่างกัน

การปรับค่ามุมรอบแกน Z ที่ข้อเท้าของหุ่นยนต์ ใช้การปรับมุมด้วยสมการ (3-7)

$$\theta_R = \cos^{-1} \left[\frac{(L_1 + L_0) \cos \theta_H - L_0}{L_1} \right]$$

เมื่อกำหนดให้ L คือ ความยาวของขาช่วงข้อเท้าถึงหัวเข่า

L_0 คือ ระยะห่างระหว่างข้อต่อข้อเท้าของหุ่นยนต์

L_1 คือ ความยาวขาช่วงล่างของหุ่นยนต์

θ_H คือ มุมที่เกิดจากการเดินของคน

θ_R คือ มุมที่ปรับแต่งแล้วสำหรับใช้กับหุ่นยนต์

การปรับค่ามุมรอบแกน Z ที่สะโพก ใช้การปรับมุมด้วย สมการ (3-10)

$$\theta_R = \cos^{-1} \left[\frac{(L_3 + L_2) \cos \theta_H - L_3}{L_2} \right]$$

เมื่อกำหนดให้ L คือ ความยาวของขาช่วงหัวเข่าถึงสะโพก

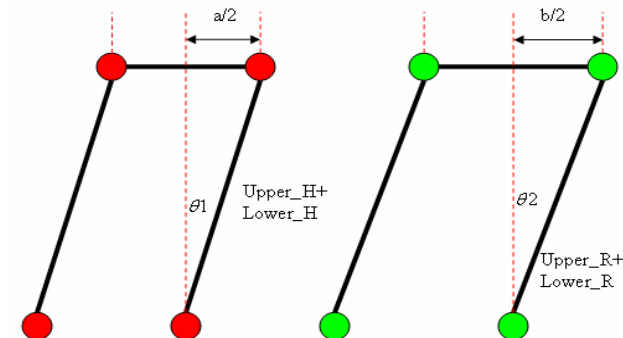
L_2 คือ ความยาวขาช่วงบนของหุ่นยนต์

L_3 คือ ระยะห่างระหว่างข้อต่อสะโพกของหุ่นยนต์

θ_H คือ มุมที่เกิดจากการเดินของคน

θ_R คือ มุมที่ปรับแต่งแล้วสำหรับใช้กับหุ่นยนต์

การปรับค่ามุมรอบแกน X ที่สะโพกและข้อเท้า ใช้การปรับมุมด้วยสมการ (3-11)



ภาพประกอบ 4-8 ภาพประกอบสมการ (3-11)

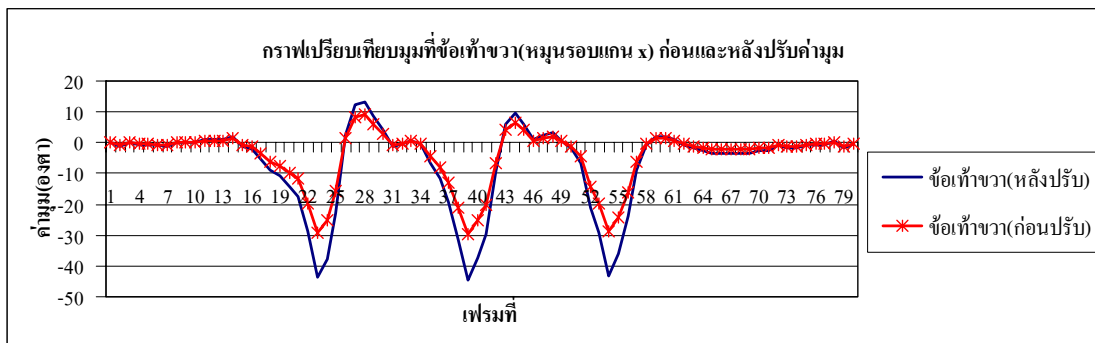
$$\sin \theta_1 = \frac{(a/2)}{Upper_H + Lower_h}$$

$$\sin \theta_2 = \frac{(b/2)}{Upper_R + Lower_R}$$

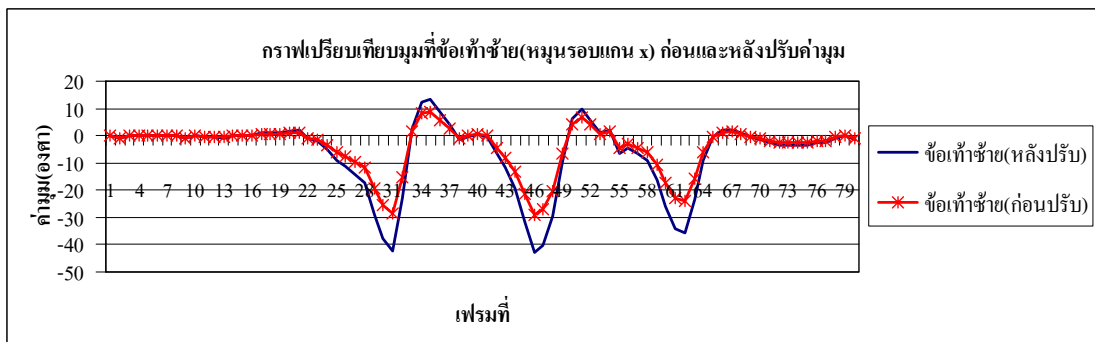
$$\text{อัตราคดเซยมุม} = \frac{\theta_2}{\theta_1}$$

- เมื่อกำหนดให้ $Upper_H$ คือ ความยาวขาช่วงบนของคน
 $Upper_R$ คือ ความยาวรวมของขาช่วงบนของหุ่นยนต์
 $Lower_H$ คือ ความยาวขาช่วงล่างของคน
 $Lower_R$ คือ ความยาวรวมของขาช่วงล่างของหุ่นยนต์
 θ_1 คือ มุมจากการเอียงของคน
 θ_2 คือ มุมจากการเอียงของหุ่นยนต์

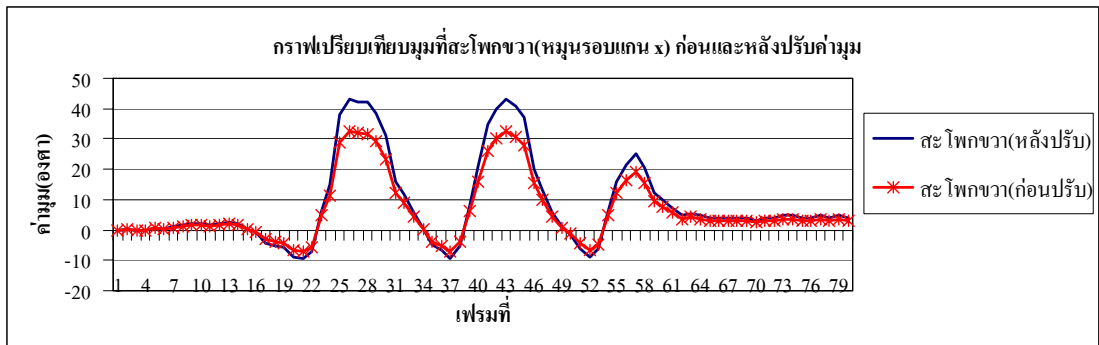
จากชุดข้อมูลทั้งหมดที่บันทึกจากการเดิน 4 ก้าวจำนวน 80 เฟรม เมื่อผ่านการปรับค่ามุม ด้วยสมการ 3-7, 3-10, 3-11 แล้ว สามารถแสดงกราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อจุดต่างๆ ก่อนและหลังปรับค่ามุม ได้ดังภาพประกอบ 4-9 ถึง 4-13



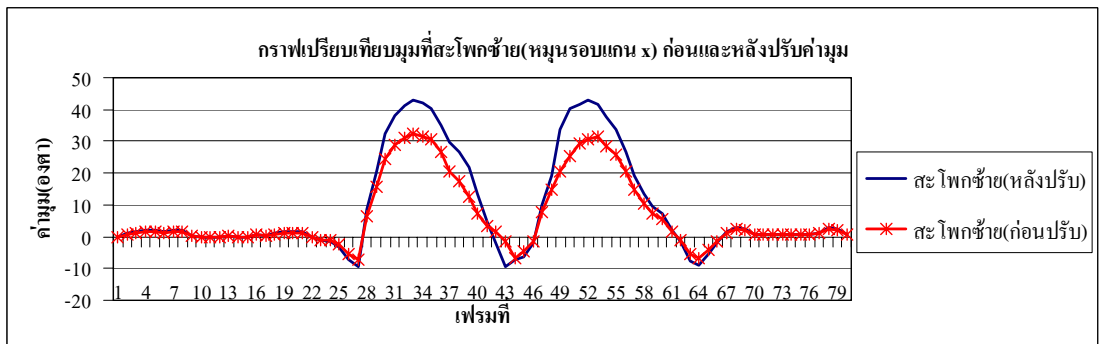
ภาพประกอบ 4-9 กราฟเปรียบเทียบมุมที่ข้อเท้าขวา ก่อนและหลังการปรับค่ามุม



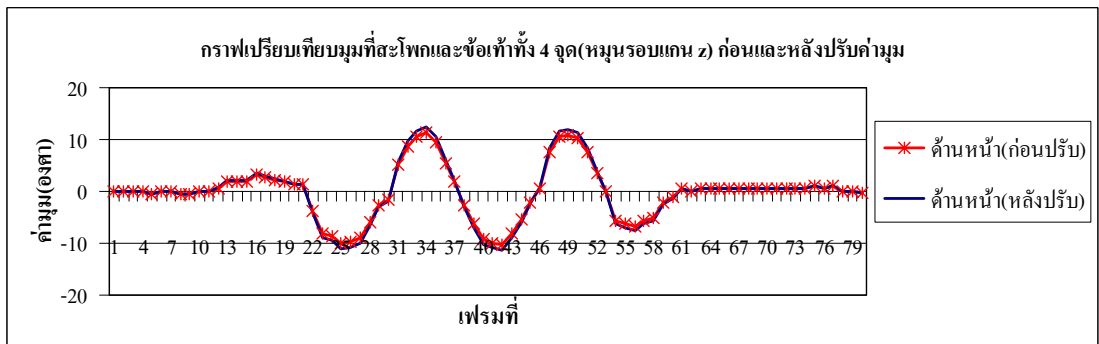
ภาพประกอบ 4-10 กราฟเปรียบเทียบมุมที่ข้อเท้าซ้าย ก่อนและหลังการปรับค่ามุม



ภาพประกอบ 4-11 กราฟเปรียบเทียบมุมที่สะโพกขวา ก่อนและหลังการปรับค่ามุม



ภาพประกอบ 4-12 กราฟเปรียบเทียบมุมที่สะโพกซ้าย ก่อนและหลังการปรับค่ามุม



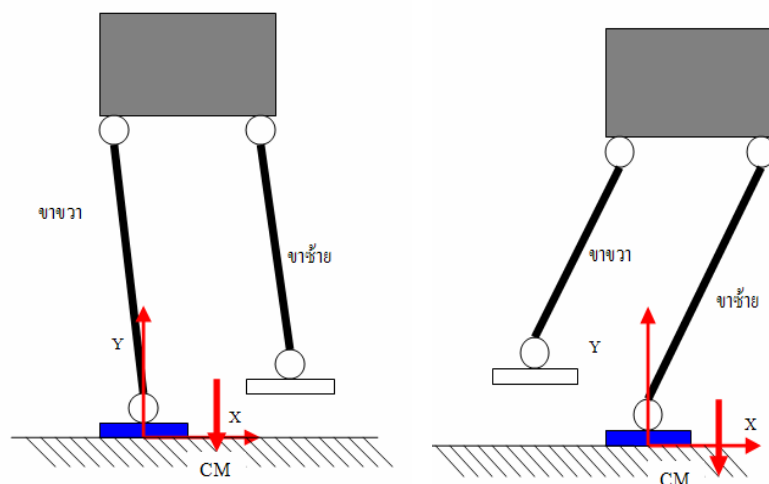
ภาพประกอบ 4-13 กราฟเปรียบเทียบมุมที่หมุนรอบแกน z ที่สะโพกและข้อเท้า ก่อนและหลังการปรับค่ามุม

หลังจากผ่านกระบวนการปรับค่ามุมตามอัตราส่วนของโครงสร้างและตำแหน่งของข้อต่อที่แตกต่างกันแล้ว ในขั้นตอนต่อไปคือการปรับมุมเพื่อควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐานเพื่อรักษาสมดุลของโครงสร้าง

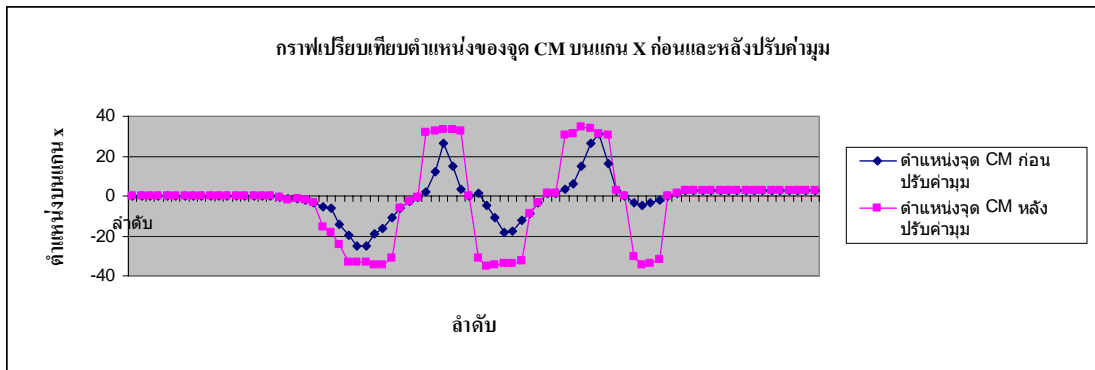
4.3 การปรับมุมเพื่อควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐาน

ข้อแตกต่างที่สำคัญหลังจากการปรับตำแหน่งของจุดรวมมวลของโครงสร้างให้อยู่ในพื้นที่ฐานคือ ทำทางการเดินที่ได้จะแตกต่างจากทำทางการเดินของคนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเดินของคน เป็นการเดินโดยใช้การรักษาสมดุลแบบพลวัต ซึ่งไม่ได้ควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลให้อยู่ภายในพื้นที่ฐานตลอดเวลาดังที่ได้อธิบายในบทที่ 2 (หัวข้อ 2.5.2 การสร้างและควบคุมการเดินแบบพลวัต) แต่หากเป็นในหุ่นยนต์ที่มีการควบคุมและรักษาสมดุลในการเดินแบบพลวัตจะมีความซับซ้อนและใช้ตัวตรวจวัดประกอบการทำงานหลายส่วน

จากการเดินของคนที่มีลักษณะการรักษาสมดุลแบบพลวัต เมื่อพิจารณาดำแหน่งของจุดรวมมวลบนแกน x ดังภาพประกอบ 4-15 พบว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของจุดรวมมวลจะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อทำการปรับตำแหน่งของจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐาน ลักษณะการควบคุมและรักษาสมดุลของโครงสร้างจะเปลี่ยนไป เนื่องจากเมื่อยกขาข้างใดข้างหนึ่งลอยขึ้นจากพื้นโดยที่ไม่ถ่วงน้ำหนักให้จุดรวมมวลอยู่บนพื้นที่ฐานดังภาพประกอบ 4-14 โครงสร้างของหุ่นยนต์จะล้มลงในการรักษาสมดุลจะต้องเปลี่ยนตำแหน่งของพื้นที่ฐานไปยังตำแหน่งใหม่โดยการก้าวเท้าที่ลอยขึ้นไปวางที่ตำแหน่งใหม่อย่างรวดเร็ว เพื่อปรับพื้นที่ฐานให้รองรับตำแหน่งของจุดรวมมวลอีกครั้ง ในการปรับตำแหน่งของจุดรวมมวลของงานวิจัยนี้จะใช้การรักษาสมดุลแบบสถิตย์ โดยที่จะย้ายตำแหน่งของจุดรวมมวลมายังพื้นที่ฐานคือฝ่าเท้าข้างที่สัมผัสพื้นก่อนที่จะยกขาอีกข้างหนึ่งลอยจากพื้นไปวางที่ตำแหน่งใหม่ ผลลัพธ์ของการปรับตำแหน่งนี้ทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งของจุดรวมมวลมีลักษณะดังภาพ ประกอบ 4-15



ภาพประกอบ 4-14 ตัวอย่างลักษณะตำแหน่งของจุดรวมมวลที่อยู่นอกพื้นที่ฐาน



ภาพประกอบ 4-15 เปรียบเทียบตำแหน่งของจุดรวมมวลบนแกน x
ก่อนและหลังปรับตำแหน่งจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐาน

4.4 การสร้างชุดข้อมูลสำหรับควบคุมหุ่นยนต์

เนื่องจากการรับภาพจากกล้องทั้ง 3 ทิศทางจะมีความแตกต่างของเวลาในการถ่ายภาพอยู่เล็กน้อย หลังจากทำการปรับค่ามุมให้เหมาะสมกับโครงสร้างและควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลแล้ว ต้องทำการปรับค่ามุมที่ได้ให้เป็นค่ามุมที่เวลาเดียวกันทั้งสามทิศทาง โดยใช้การประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้น ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลที่เวลาตรงกันทั้งสามทิศทาง และมีความถี่ตามที่ต้องการเพื่อใช้ในการสร้างท่าทางสำหรับควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ต่อไป

สมการที่ใช้ในการทำการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้นคือ

$$f(x) = F(x_{n-1}) + m_{n-1}(x - x_{n-1}), x \in [x_{n-1}, x_n]$$

เมื่อกำหนดให้ $f(x)$ คือ ผลลัพธ์ของ x ที่ในช่วงที่ต้องการ

$F(x_{n-1})$ คือ ผลลัพธ์ของ x ที่ $n-1$

m_{n-1} คือ ความชันระหว่าง $F(x_{n-1})$ และ $F(x_n)$

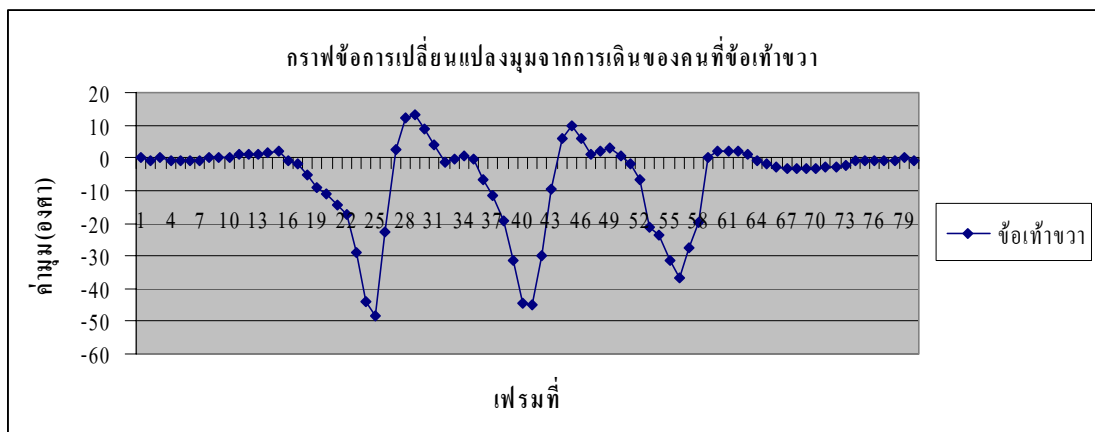
โดยที่ x ต้องอยู่ระหว่าง x_n และ x_{n-1}

ตัวอย่างผลลัพธ์การประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้นของชุดข้อมูลบางช่วง แสดงดังตาราง 4-5

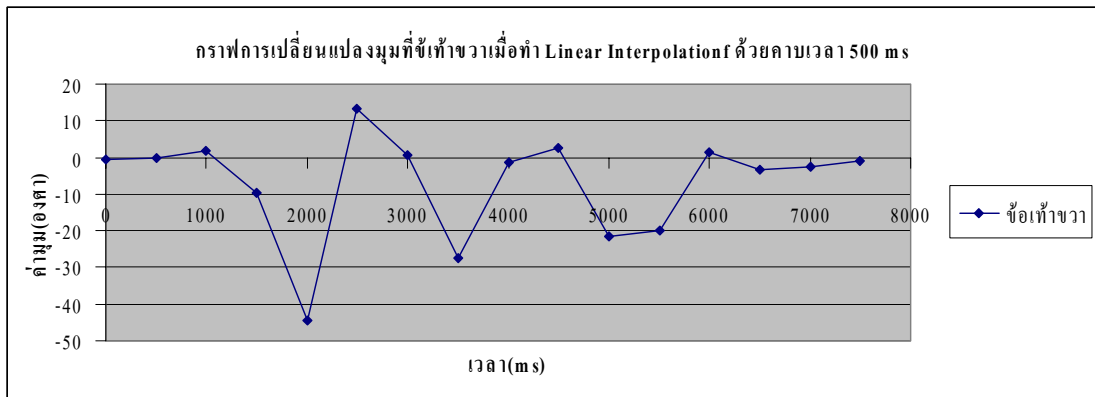
ตาราง 4-5 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการทำการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้น

ข้อมูลก่อนทำการประมาณค่า ระหว่างช่วงเชิงเส้น		ข้อมูลหลังทำการประมาณค่า ระหว่างช่วงเชิงเส้น	
ค่ามุม(องศา)	เวลา(วินาที)	ค่ามุม(องศา)	เวลา(วินาที)
-7.49	4.005	-6.243	4.1
-5.56	4.152	-4.782	4.2
-2.92	4.315	-3.163	4.3
4.65	4.487	0.82	4.4
8.11	4.628	4.96	4.5
11.52	4.803	7.42	4.6
25.98	4.954	8.319	4.7
28.77	5.155	11.462	4.8
-	-	25.642	4.9
-	-	26.618	5

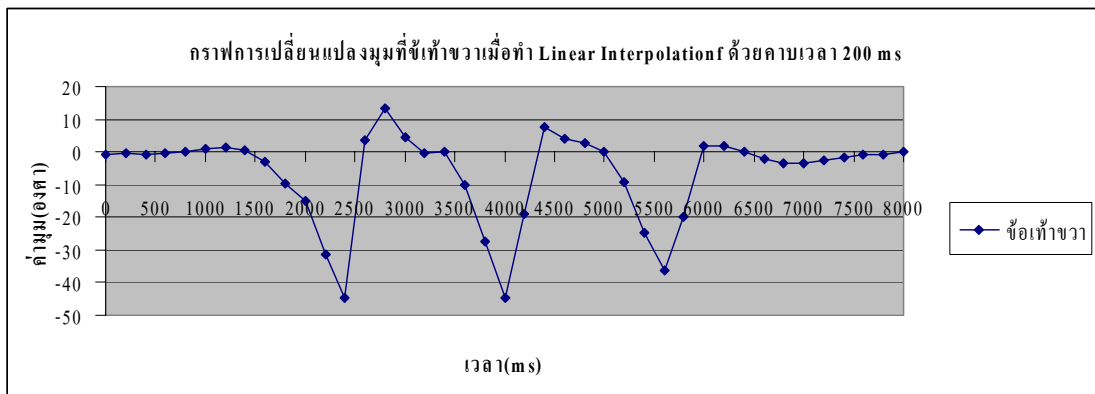
ตัวอย่างการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้นของข้อมูลการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวา
ด้วยความถี่ค่าต่างๆ แสดงได้ดังภาพประกอบ 4-16 ถึง 4-20



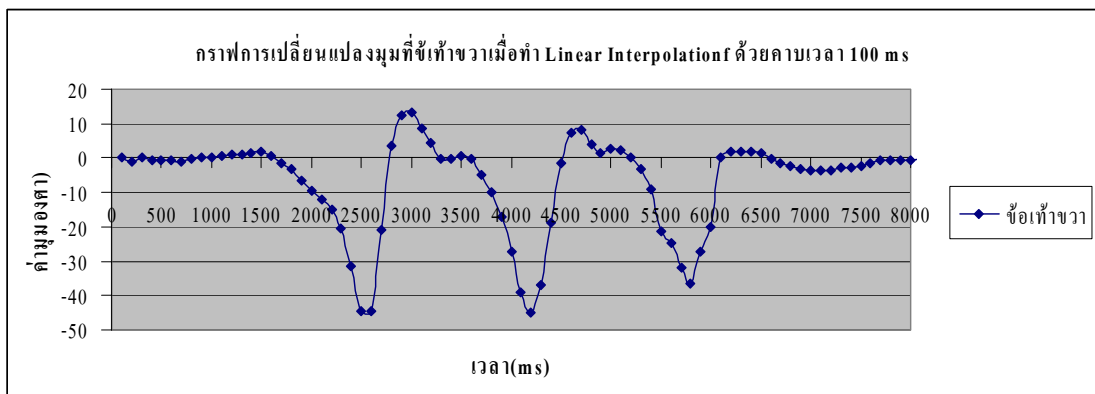
ภาพประกอบ 4-16 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวา



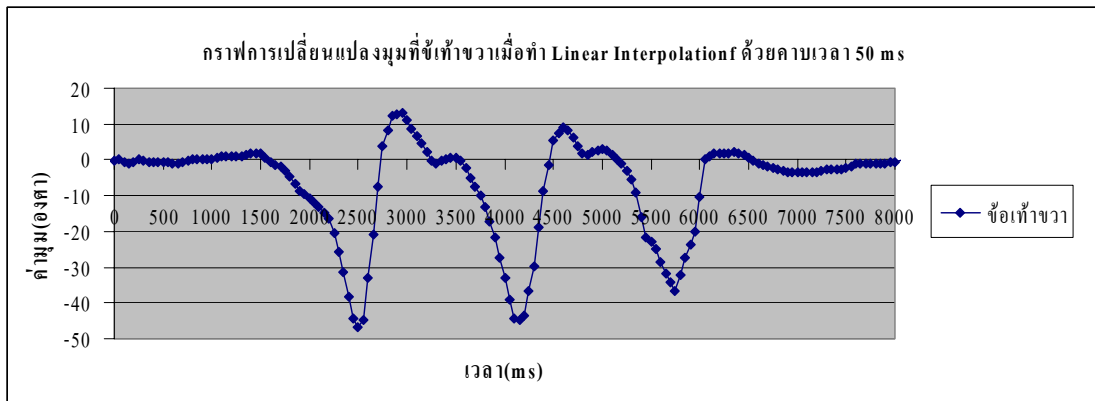
ภาพประกอบ 4-17 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวาเมื่อทำการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้น ด้วยคาบเวลา 500 ms



ภาพประกอบ 4-18 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวาเมื่อการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้น ด้วยคาบเวลา 200 ms



ภาพประกอบ 4-19 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวาเมื่อทำการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้น ด้วยคาบเวลา 100 ms



ภาพประกอบ 4-20 กราฟการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวาเมื่อทำการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้น ด้วยคาบเวลา 50 ms

จากกระบวนการทั้งหมด จะได้ค่ามุมที่ข้อต่อ ซึ่งถูกปรับค่าจากลำดับข้อมูลการเดินของคน และควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฝ่าเท้า ข้อมูลนี้จะนำไปใช้เป็นที่ทางเดิน เบื้องต้นสำหรับควบคุมท่าทางการเดินของหุ่นยนต์ต่อไป

4.5 การทดสอบการเดินกับหุ่นยนต์

ในการทดลองการเดินของหุ่นยนต์ ใช้โปรแกรม Motion Editor ในการสร้างท่าทางจากชุดข้อมูลปรับแต่งแล้ว โดยสร้างเป็นท่าทางในแต่ละลำดับเรียงต่อเนื่องกันไปและควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์รุ่น AX-12 จำนวน 12 ตัว



ภาพประกอบ 4-21 เซอร์โวมอเตอร์ AX-12

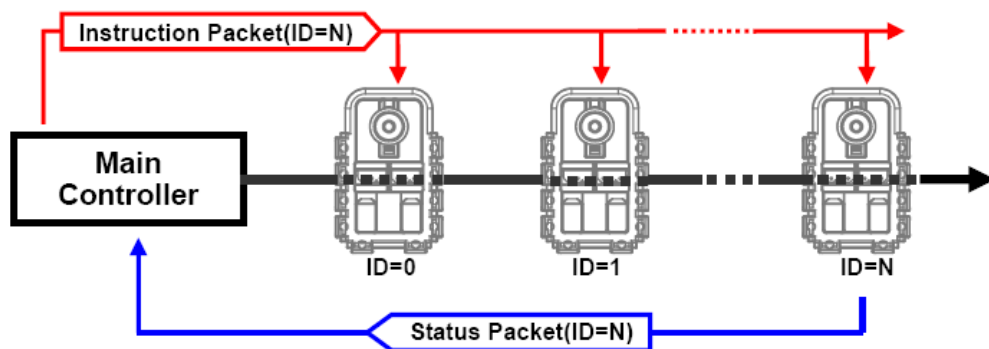
4.5.1 สเปกของมอเตอร์ที่ใช้

เซอร์โวมอเตอร์รุ่น AX-12 สามารถควบคุมตำแหน่งได้ 1024 สเต็ป และสามารถอ่านค่าที่ป้อนกลับจากเซอร์โวมอเตอร์ได้ ค่าที่เซอร์โวมอเตอร์ส่งกลับมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ ได้แก่ ตำแหน่ง, ความเร็วในการหมุน และทอร์ค ข้อมูลของเซอร์โวมอเตอร์แสดงดังตาราง 4-6

ตาราง 4-6 ข้อมูลทางเทคนิคของ เซอร์โวมอเตอร์ AX-12

DATA	AX-12	
Weight(g)	55	
Gear Reduction Ratio	1-254	
Input Voltage(V)	At 7V	At 10V
Final Max Holding Torque(kgf.cm)	12	16.5
Sec/60degree	0.269	0.196

เซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวจะมี ID ที่แตกต่างกัน การติดต่อรับส่งข้อมูลกับมอเตอร์หลายตัวจะใช้ ID ของเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวระบุว่าจะส่งข้อมูลที่จะไปควบคุม เป็นข้อมูลที่ส่งให้กับมอเตอร์ตัวใด ลักษณะการส่งข้อมูลไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ แสดงได้ดังภาพประกอบ 4-22



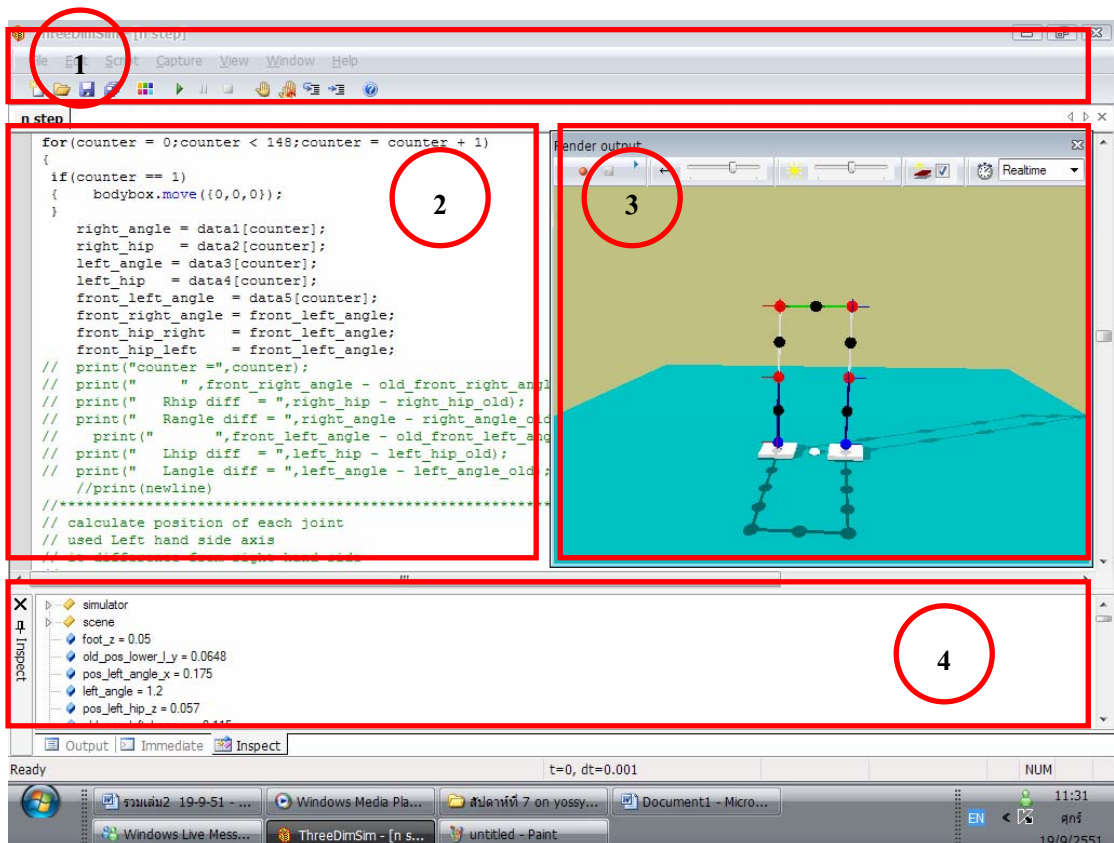
ภาพประกอบ 4-22 ลักษณะการส่งข้อมูลของเซอร์โวมอเตอร์ AX-12

4.5.2 การจำลองท่าทางการเดินที่สร้างขึ้น

ก่อนนำข้อมูลที่ได้ไปทดสอบกับหุ่นยนต์จริง ได้ทดลองข้อมูลมุมที่ได้มาสร้างเป็นแบบจำลองการเดิน โดยใช้ซอฟต์แวร์ ThreeDsim (ภาพประกอบ 4-23) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ที่ <http://www.hav ingasoftware.nl> ซึ่งซอฟต์แวร์สามารถกำหนดขนาดและน้ำหนักของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างของหุ่นยนต์ได้ และสามารถควบคุมการหมุนของข้อต่อแต่ละจุดให้หมุนเป็นมุมที่ต้องการได้ จึงสามารถตรวจสอบผลลัพธ์ได้ทั้งท่าทางการเดิน และทอร์กในแต่ละแกนที่ข้อต่อแต่ละจุดได้ด้วย

ซอฟต์แวร์ ThreeDimSim มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ดังนี้

1. แถบเมนูของโปรแกรม
2. หน้าต่างสำหรับเขียนโปรแกรม
3. Render window เป็นส่วนแสดงผลการทำงานของระบบของโปรแกรม
4. Output window เป็นส่วนที่แสดงค่าต่างๆที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม



ภาพประกอบ 4-23 หน้าต่างโปรแกรม ThreeDimSim

4.6 ตัวอย่างผลการทดสอบการเดินของหุ่นยนต์

จากข้อมูลที่มีทั้งหมดสำหรับการเดิน 4 ก้าวจากการรับภาพท่าทางการเดินของคน (80 step) หลังจากการประมาณค่าระหว่างช่วงเชิงเส้นและทำการสุ่มค่าข้อมูลให้เหลือความถี่ 4 เฮิร์ต แสดงได้ดังตารางที่ 4-7 ข้อมูลนี้จะถูกนำไปสร้างเป็นลำดับท่าทางการเดินของหุ่นยนต์ต่อไป

ตาราง 4-7 ลำดับข้อมูลที่น่ามาสร้างเป็นชุดค่าทางในการควบคุมหุ่นยนต์

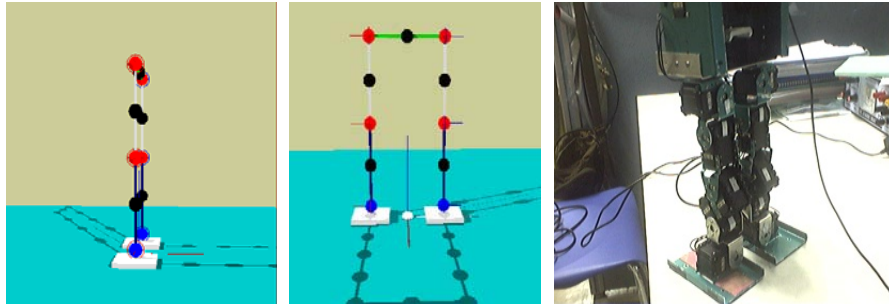
มุมด้านหน้า	ข้อเท้าขวา	สะโพกขวา	ข้อเท้าซ้าย	สะโพกซ้าย
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-0.868	0.000	0.000	0.191	1.972
-0.868	0.162	0.000	0.000	1.972
0.191	1.972	0.000	-0.191	0.162
1.045	1.972	0.000	-0.662	0.000
1.737	3.077	-0.672	-0.191	2.105
-1.075	0.471	0.000	0.000	2.105
-7.024	-4.829	0.084	0.868	3.077
-14.195	-9.824	0.768	1.737	3.209
-34.477	-4.299	3.444	-1.722	2.105
-22.838	42.899	12.300	-8.969	-5.786
16.043	47.331	2.700	-14.993	-10.09
4.210	34.900	-2.940	-37.777	6.847
0.868	10.119	-10.296	-15.215	47.548
-6.449	-5.565	-11.64	13.264	45.973
-22.838	-11.034	-5.460	2.429	25.625
-37.413	23.359	1.992	0.677	6.287
-4.991	46.698	7.860	-8.409	-6.493
5.860	41.584	9.336	-31.585	-5.786
3.489	9.043	-6.792	-36.019	29.768
-1.722	-1.943	-11.844	5.992	48.601
-24.402	-10.09	-8.016	4.210	36.397
-45.049	18.146	-3.000	3.150	6.287
1.045	8.203	-0.672	-34.281	6.920
-1.722	5.344	0.588	-19.644	27.029
-3.415	4.284	0.084	1.914	13.958
-3.415	4.284	0.492	1.236	8.070

ตาราง 4-7(ต่อ) ลำดับข้อมูลที่น่ามาสร้างเป็นชุดท่าทางในการควบคุมหุ่นยนต์

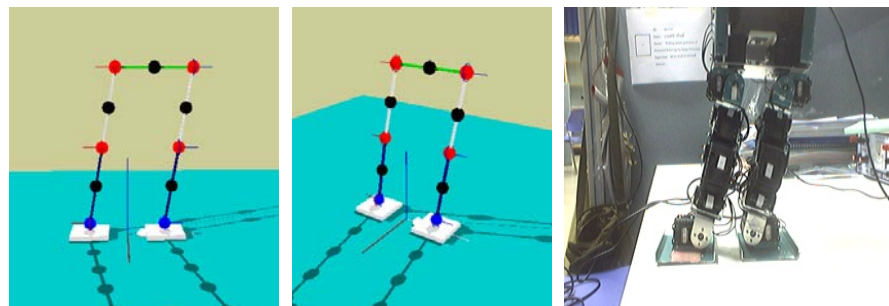
มุมด้านหน้า	ข้อเท้าขวา	สะโพกขวา	ข้อเท้าซ้าย	สะโพกซ้าย
-2.576	-1.516	0.588	-0.662	2.199
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

โดยทั่วไปลำดับขั้นตอนในการก้าวขาเดินของคนแต่ละคน จะมีลำดับการเดินคล้ายคลึงกัน แต่จะแตกต่างกันในรายละเอียดบางประการ คือ ความเร็วในการเดิน ความสูงของการยกขา ความยาวช่วงก้าว เป็นต้น ในที่นี้ตัวอย่างผลลัพธ์ของการเดินจำนวน 4 ก้าวโดยก้าวเท้าขวาก่อน

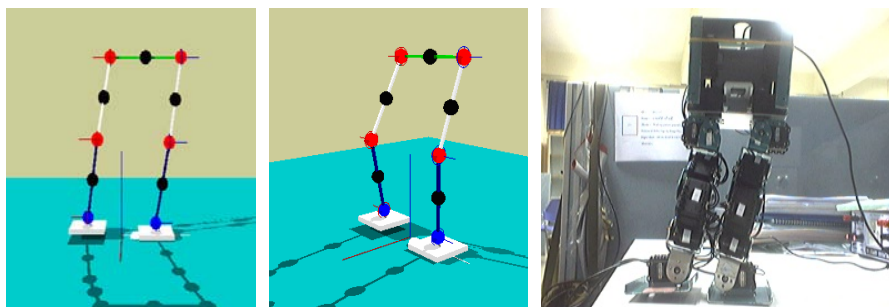
เริ่มต้นจากท่ายืนตรง



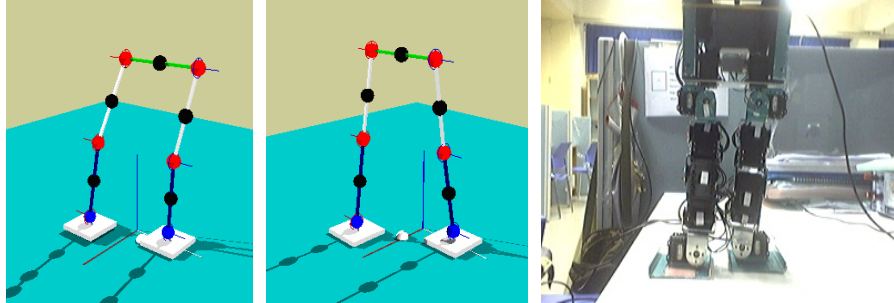
เอียงตัวไปทางซ้าย เพื่อถ่ายน้ำหนักให้ตกลงบนเท้าซ้าย



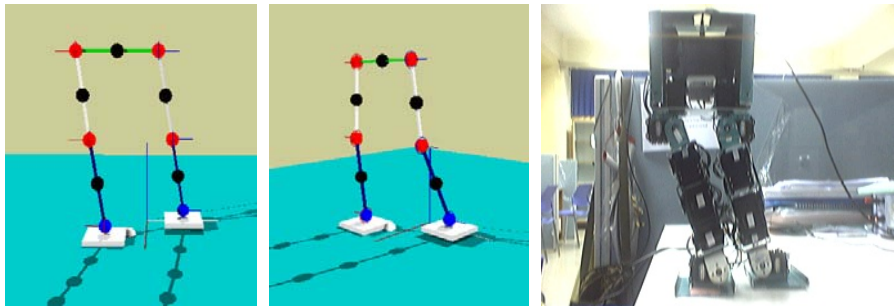
เริ่มยกขาขวาให้ลอยขึ้นเหนือพื้น



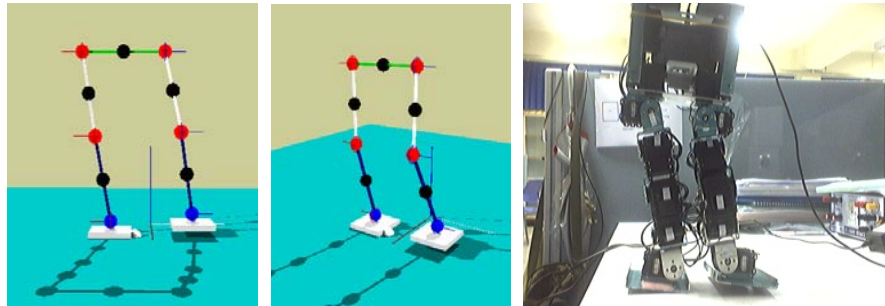
ยื่นเท้าขวามาข้างหน้า วางเท้าขวา และ ถ่ายน้ำหนักกลับมาที่เท้าทั้งสองข้าง



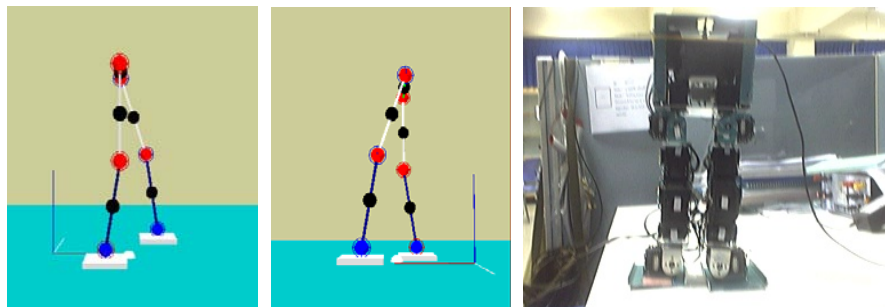
เอียงตัวกลับมาทางขวา ถ่ายน้ำหนักลงเท้าขวา เริ่มยกเท้าซ้ายให้ลอยขึ้นเหนือพื้น



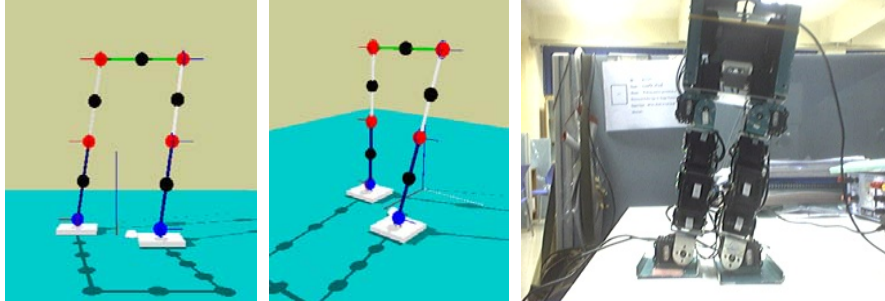
ยื่นเท้าซ้ายมาข้างหน้า



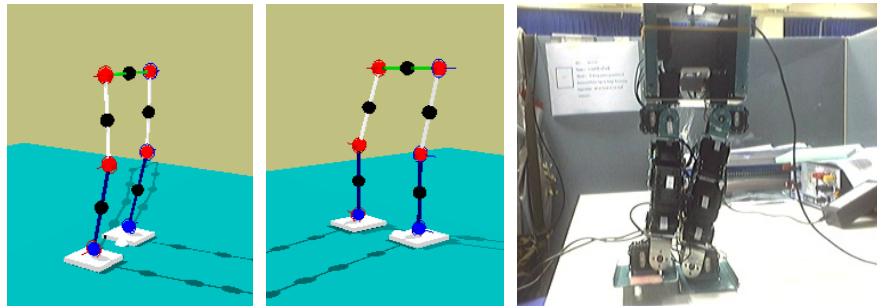
วางเท้าซ้ายลงกับพื้น และถ่ายน้ำหนักตัวกลับมาที่เท้าทั้งสองข้าง



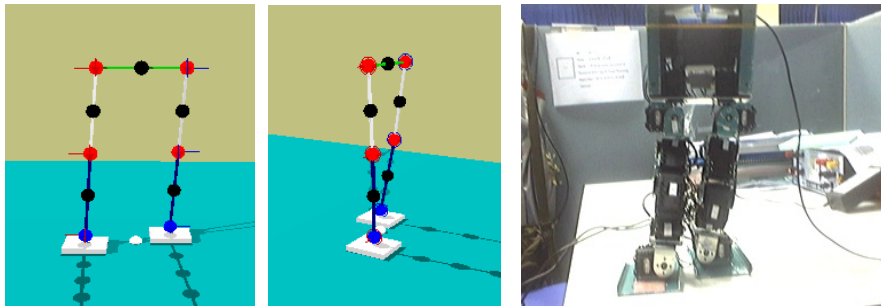
เอียงตัวไปทางซ้ายเพื่อถ่ายน้ำหนักให้ลงบนเท้าซ้าย



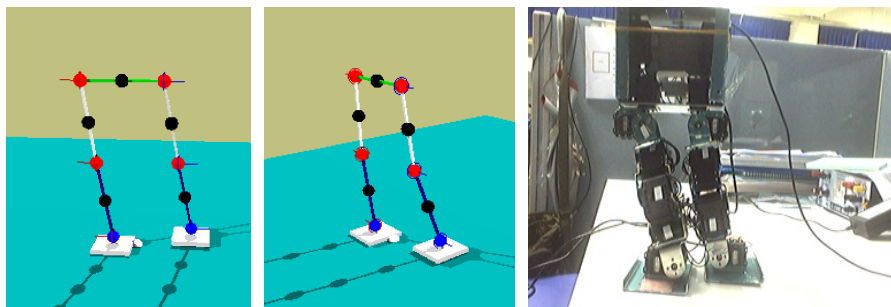
ยกเท้าขวาขึ้น และ ยื่นเท้าขวามาข้างหน้า



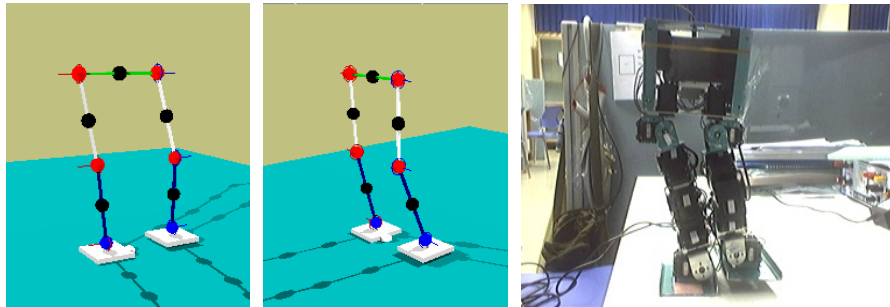
วางเท้าขวาลงกับพื้น



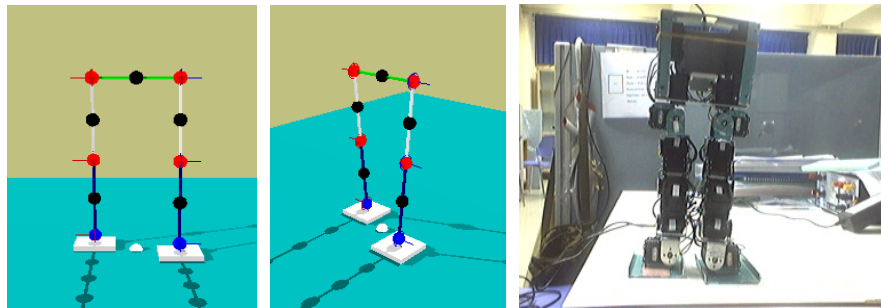
เอียงตัวกลับมาทางขวา เพื่อถ่ายน้ำหนักลงขาขวา



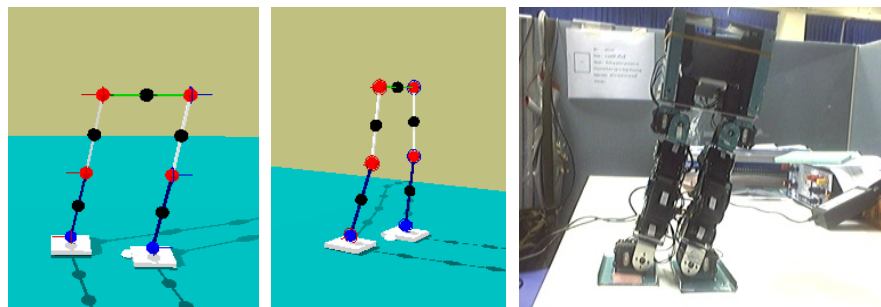
ยกเท้าซ้าย และ ยื่นเท้าซ้ายมาข้างหน้า



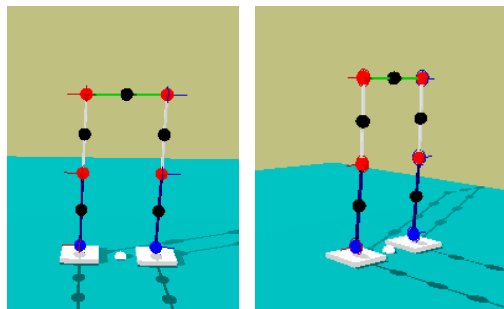
วางเท้าซ้ายลงกับพื้น



เอียงตัวไปทางซ้ายเพื่อถ่ายน้ำหนักให้ลงบนเท้าซ้าย



ยกเท้าขวาขึ้น และ ยื่นเท้าขวามาข้างหน้า กลับสู่ท่ายืนตรง



จากกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทำการทดลอง ในขั้นตอนการหาตำแหน่งของจุดสังเกตและคำนวณหามุมที่ข้อต่อ สามารถแยกภาพจุดสังเกตที่ติดอยู่บริเวณข้อต่อจุดที่สนใจ และทำการคำนวณหามุมที่ข้อต่อที่สนใจได้ ข้อมูลจากการเดินของคนที่ได้นี้จะนำไปผ่านกระบวนการปรับค่ามุมให้เหมาะสมกับอัตราส่วนของโครงสร้างที่แตกต่างกันระหว่างโครงสร้างของคนกับหุ่นยนต์ และปรับค่ามุมเพื่อควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลของโครงสร้างให้อยู่ในพื้นที่ฐาน เพื่อให้โครงสร้างมีความสมดุลแบบวิชัยจึงมุ่งเน้นในส่วนของลำดับการเคลื่อนไหวที่สอดคล้องกันระหว่างคนและหุ่นยนต์เป็นหลัก โดยไม่ได้พิจารณาในประเด็นเรื่องความเร็วและเวลาที่ใช้ในการเดิน

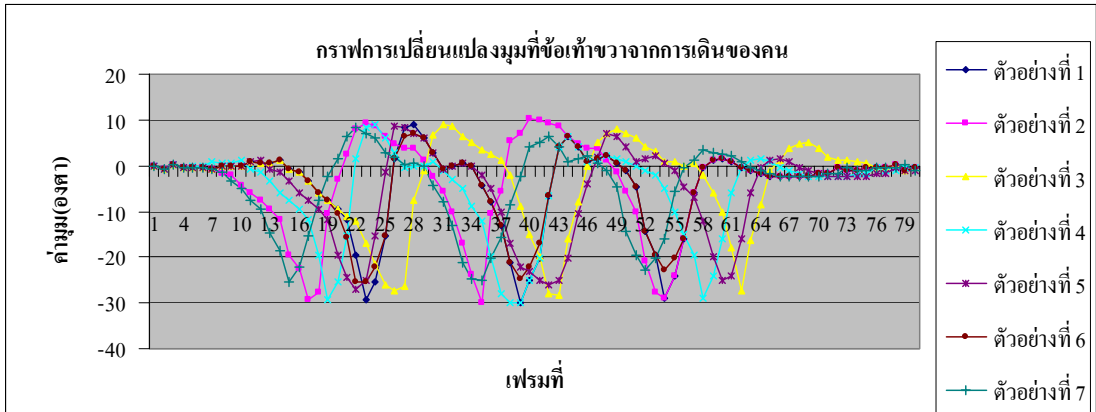
พิจารณาจากกราฟการเดินของผู้ทดสอบในภาพระกอบ 4-24 ถึง 4-27 พบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงมุมของตัวอย่างท่าทางการเดินของคนแต่ละตัวอย่างจะมีลักษณะคล้ายกัน เนื่องจากลำดับของการเคลื่อนไหวที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อในการเดินของคนจะมีขั้นตอนที่คล้ายกันแต่จะมีความแตกต่างกันในรายละเอียดปลีกย่อยบางประการที่ทำให้ผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงมุมมีความแตกต่างกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ความยาวช่วงก้าวและความสูงในการยกขา

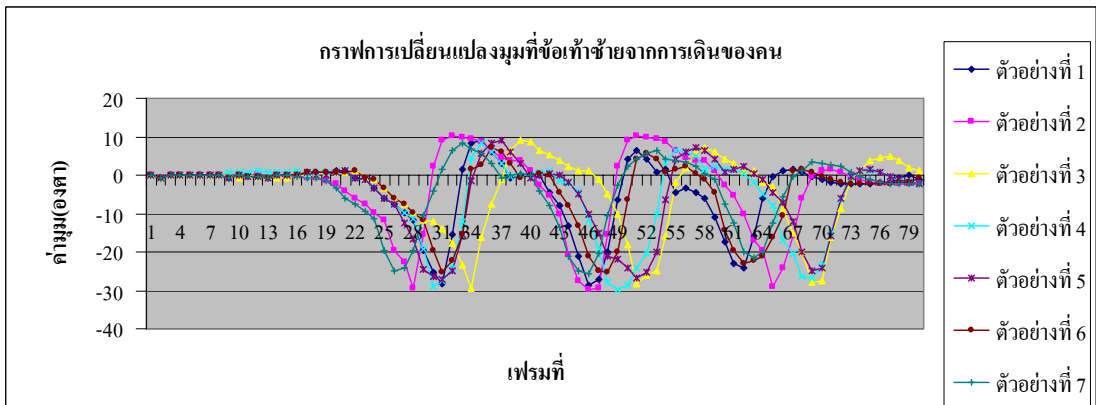
พิจารณาการเปลี่ยนแปลงมุม จะพบว่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงของมุมในการเดินที่ข้อต่อแต่ละจุด จะเป็นปริมาณที่มีผลต่อความสูงในการยกขาและการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดปลายของขา ในที่นี้หมายถึงตำแหน่งของข้อเท้า และจะเป็นระยะทางในการเปลี่ยนตำแหน่งในการวางเท้า ซึ่งเป็นระยะในการก้าวเท่านั้นเอง

2. ความเร็วในการเดิน

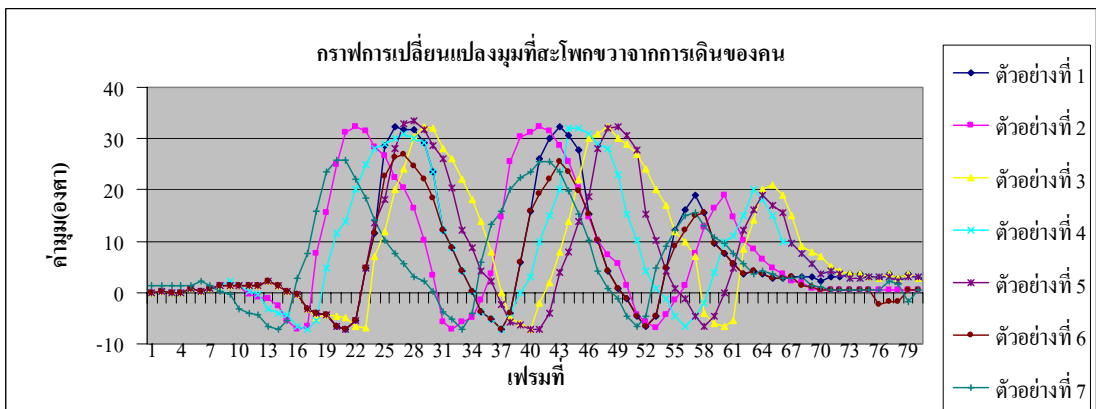
ความกว้างของช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงมุม จะเป็นการบอกความเร็วในการเดิน เนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนไหวจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งใหม่ ดังนั้น ในผลการทดลอง ความกว้างของคาบในการเดินแต่ละก้าว จะเป็นการบอกความเร็วในการเดินของแต่ละตัวอย่างเช่นกัน



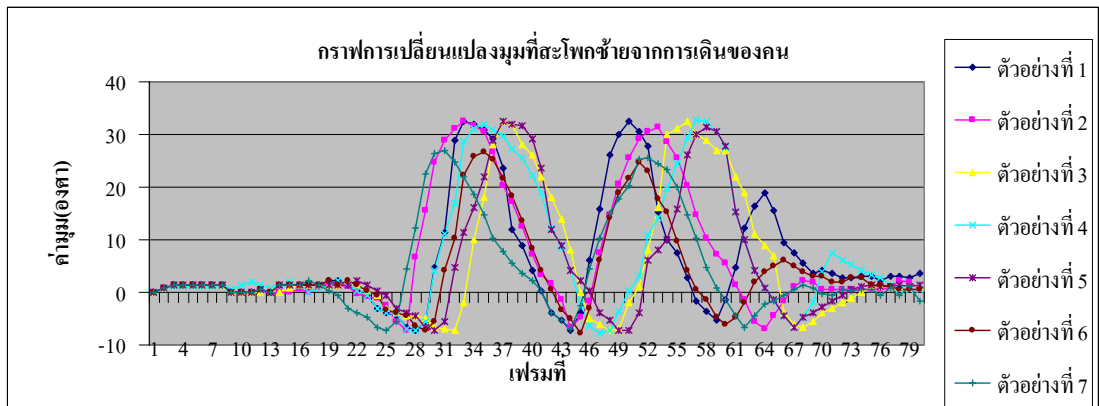
ภาพประกอบ 4-24 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าขวาของทั้ง 7 ตัวอย่าง



ภาพประกอบ 4-25 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อเท้าซ้ายของทั้ง 7 ตัวอย่าง



ภาพประกอบ 4-26 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมุมที่สะโพกขวาของทั้ง 7 ตัวอย่าง



ภาพประกอบ 4-27 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมุมที่สะโพกซ้ายของทั้ง 7 ตัวอย่าง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการสรุปรูปแบบการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขา โดย ใช้การปรับแต่งจากลำดับท่าทางการเดินของคน การวิจัยประกอบด้วยสามส่วนหลักคือ การถ่ายภาพท่าทางการเดินของคน การปรับข้อมูลจากการเดินของคนให้มีความเหมาะสมกับโครงสร้าง และองค์ประกอบอื่นๆที่มีความแตกต่างกันของคนและหุ่นยนต์ และการทดสอบการเดินของ หุ่นยนต์ด้วยชุดข้อมูลที่สร้างขึ้น

ในส่วนแรก คือการถ่ายภาพท่าทางการเดินของคน ได้ทำการทดลองตามขั้นตอนและสภาพ แวดล้อมดังที่ได้อธิบายในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1 ซึ่งได้ทำการทดลองกับตัวอย่างการเดินจำนวน 7 ตัวอย่าง ซึ่งมีรายละเอียดทางโครงสร้างและผลการเดินดังตาราง 5-1 และ 5-2 และกราฟการ เปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อของตัวอย่างทดลองทั้ง 7 ตัวอย่างจะแสดงในภาคผนวก ข

ตาราง 5-1 รายละเอียดทางโครงสร้างและน้ำหนักของตัวอย่างทดลอง

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก(kg)	ส่วนสูง(cm)	ความยาวขา ท่อนล่าง(cm)	ความยาวขา ท่อนบน(cm)	ระยะห่าง สะโพก(cm)
1	72	173	43	39	24
2	63	175	45	40	23.5
3	58	165	40	36	23.5
4	90	175	42	40	28
5	62	170	41	40	25
6	59	161	39	37	24
7	62	170	42	38	25

ตาราง 5-2 รายละเอียดข้อมูลเกี่ยวกับการเดิน

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (kg)	ส่วนสูง (cm)	เวลาที่ใช้ (sec)	จำนวนภาพ ที่ประมวล ผล	Frame/sec
1	72	173	8.126	80	9.845
2	63	175	8.254	80	9.692
3	58	165	8.217	80	9.736
4	90	175	8.548	80	9.359
5	62	170	8.023	80	9.971
6	59	161	8.125	80	9.846
7	62	170	8.232	80	9.718

ในการคำนวณและสร้างท่าทางการเดินโดยทั่วไป จะใช้การคำนวณและอัลกอริทึมที่มีความซับซ้อน ไม่ว่าจะเป็นการใช้หลักการในการหาจุดโมเมนต์ศูนย์ซึ่งจะพิจารณาแรงเฉื่อยจากการเดิน และผลจากแรงดึงดูดของโลกมีผลต่อการเพิ่มและลดความเร่งในการเดิน การหาแรงปฏิกิริยาจากพื้น โมเมนต์จากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆของโครงสร้าง จากนั้นจึงคำนวณหามุมที่ข้อต่อจุดต่างๆเพื่อควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ โดยพิจารณาแรงและโมเมนต์ต่างๆที่เกิดจากการเดินของหุ่นยนต์เพื่อคำนวณและสร้างท่าทางการเดิน [1],[4],[5],[11],[12], [21],[22],[23]

ในงานวิจัยนี้ การสร้างท่าทางการเดินของหุ่นยนต์จะใช้ค่ามุมจากลำดับท่าทางการเดินของคนเป็นข้อมูลตั้งต้น และปรับค่ามุมที่ได้จากการเดินของคนให้มีความเหมาะสมกับความแตกต่างของคนและหุ่นยนต์ ลำดับการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อและลักษณะท่าทางการเดินของหุ่นยนต์จะสอดคล้องกับท่าทางการเดินของคน โดยที่ในการปรับค่ามุมที่ข้อต่อจากการเดินของคน เมื่อพิจารณาจากสมการในการปรับค่ามุมจากท่าทางการเดินของคนไปใช้กับหุ่นยนต์ (สมการ 3-9 , 3-10, 3-11) ในการคำนวณค่ามุมสำหรับหุ่นยนต์ ตัวแปรที่มีผลในสมการในการปรับค่ามุมได้แก่

1. ความยาวช่วงขาของคน

- ความยาวจากข้อเท้าถึงหัวเข่า
- ความยาวจากหัวเข่าถึงสะโพก
- ระยะห่างระหว่างข้อต่อสะโพก

2. ความยาวช่วงขาและตำแหน่งข้อต่อของหุ่นยนต์

3. คำมูมจากการเดินของคน

หลังจากปรับคำมูมตามขั้นตอนการปรับมูมให้เหมาะสมกับโครงสร้างของหุ่นยนต์แล้ว ในการปรับมูมเพื่อควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐาน ทำได้โดยการคำนวณหาตำแหน่งของจุดรวมมวล และปรับตำแหน่งของจุดรวมมวลดังกล่าวถึงในบทที่ 3 (หัวข้อ 3.4.3 การปรับมูมเพื่อรักษาจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐาน) ซึ่งใช้สมการพื้นฐานในการหาจุดรวมมวลของวัตถุ ทำให้ช่วยลดการคำนวณและลดความซับซ้อนในการสร้างท่าทางการเดิน ทำให้การสร้างท่าทางการเดินสำหรับหุ่นยนต์เดินสองขาทำได้สะดวกมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ ใช้การปรับท่าทางการเดินที่ใช้กับหุ่นยนต์มาจากท่าทางการเดินของคน โดยปรับคำมูมที่ข้อต่อจุดต่างๆ ให้เหมาะสมกับโครงสร้าง ซึ่งจะให้ความสำคัญในส่วนของคุณลักษณะท่าทางและลำดับของท่าทางเป็นหลัก แต่ไม่ได้ให้ความสำคัญในเรื่องเวลาและความเร็วในการเดิน กล่าวคือ ท่าทางที่ได้จะมีลักษณะและลำดับการเปลี่ยนแปลงท่าทางที่คล้ายกันกับท่าทางการเดินของคน แต่ในส่วนของคุณลักษณะจะใช้เวลาในการเดินไม่เท่ากัน หากปรับปรุงเพิ่มเติมในส่วนนี้จะทำให้งานสมบูรณ์มากขึ้น โดยในการปรับปรุงในส่วนของคุณลักษณะในการเดิน สิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มขึ้นคือ ทอร์กที่ข้อต่อซึ่งเกิดจากโมเมนต์ของการเคลื่อนที่ ซึ่งหากเพิ่มพิจารณาในส่วนนี้จะทำให้สามารถทราบความเร็วสูงสุดที่หุ่นยนต์สามารถเดินได้โดยที่ไม่เกิดการลื่น

2. ในงานวิจัยนี้ ไม่ได้รวมการคำนวณเกี่ยวกับการกระจายแรงที่ฝ่าเท้า และการคำนวณจุดโมเมนต์ศูนย์เข้ามาด้วย ทำให้ไม่สามารถยืนยันได้ว่าท่าทางที่สร้างด้วยวิธีนี้จะสามารถเดินได้โดยที่ไม่ลื่น ในส่วนการปรับท่าทางให้เหมาะสมกับโครงสร้าง หากเพิ่มการคำนวณในส่วนของการกระจายแรงที่ฐานและเพิ่มการคำนวณจุดโมเมนต์ศูนย์เพิ่มเติม จะให้ผลการเดินที่ได้มีความมั่นคงมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ท่าทางที่สร้างขึ้นด้วยวิธีนี้เป็นเพียงท่าทางการเดินขั้นต้น หากต้องการนำไปใช้ในการควบคุมการเดินของหุ่นยนต์จริง จะต้องปรับปรุงให้มีการทำงานร่วมกับตัวตรวจวัดอื่นๆ เพื่อเพิ่มเสถียรภาพและความมั่นคงในการเดินให้แน่นอนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเป้าหมายของงานวิจัยนี้ต้องการกระบวนการสร้างท่าทางการเดินของหุ่นยนต์โดยการเลียนแบบจากลำดับท่าทางการเดินของคนโดยตรงเป็นหลัก

เอกสารอ้างอิง

- [1] C.C.Kang, K.H.Khoo, E.K.Wong, V.C.Koo, "Trajectory Planning for 7-link Biped Robot" Faculty of Engineering and Technology ,Multimedia University, 75450 Bukit Beruang, Melaka, Malaysia
- [2] Xiaojun Zhao , Qiang Huang , Peng Du , Dongming Wen and Kejie Li "Humanoid Kinematics Mapping and Similarity Evaluation Base on Human Motion Capture" *Proceedings of 2004 IEEE/RJS International Conference on Intelligent Robots and Systems*, September 28. October 2,2004, Sendai, Japan
- [3] ทิดชอบ ไวยสุศรี, รศ.ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา, "การศึกษาการควบคุม ZMP สำหรับหุ่นยนต์เดินสองขา ด้วยระบบควบคุมพีซซีที่ใช้ฟังก์ชัน Sine" , ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [4] Mamiko Nakamura, Michitake Mori, Jun Nishii," Trajectory planning for a leg swing during human walking", *2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*
- [5] Nathapon Chankaew, Poj Tangamchit," A Comparison Study of Static and Dynamic Walking Model of A Biped Robot", *The 21st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications*, ISBN 974-94418-9-3 ©2006 ECTI
- [6] Xiaoming Liu, Yueting Zhuang, Yi Wu; Yunhe Pan "VIDEO BASED HUMAN MOTION CAPTURE",*Multimedia Signal Processing, 1999 IEEE 3rd Workshop on 13-15 Sept. 1999 Page(s):483 - 488 Digital Object Identifier 10.1109/MMSP.1999.793896*
- [7] J.D. Foley, A.V. Dam, S.K. Feiner, and J.F. Hughes, 1996, "Computer Graphics Principles and Practice 2nd ed.", USA, Addison Wesley.
- [8] R.C. Gonzalez, and R.E. Woods. 1993, "Digital Image Processing", USA, Addison Wesley.
- [9] S. Ozdemir, and D. Casasent, 1999, "Scale-Space Median and Gabor Filtering for Boundary Detection in Electron Microscopy Images", *Proc. SPIE Vol.3715*.
- [10] http://schoolnet.nectec.or.th/library/webcontest2003/100team/dlnes137/am/asimo_honda_walking.htm

- [11] MIOMIR VUKOBRATOVIC, BRANISLAV BOROVIAC, “ZERO-MOMENT POINT THIRTY FIVE YEARS OF ITS LIFE”, *International Journal of Humanoid Robotics Vol. 1*, No 1(2004) 157-173
- [12] Byung-Hun Hwang, Jung-Shik Kong, Bo-Hee Lee, Jin-Geol Kim and Uk-Youl Huh “ZMP Compensation Algorithm for Stable Posture of a Humanoid Robot”, School of Electrical Engineering, Inha University, Incheon, South Korea ICCAS2005 June 2-5, KINTEX, Gyeonggi-Do, Korea
- [13] Kazuo Hirai, Masato Hirose, Yuji Haikawa, Toru Takenaka, “The Development of Honda Humanoid Robot”, *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation*
- [14] www.cc.gatech.edu/classes/cs8113a_98_spring/motioncapture.pdf
- [15] นางสาว จุฑานันท์ จันทร์ศิริ, นางสาว ปิณฑิตา คลังมนตรี, นาย เอกลักษณ์ ธรรมเจริญ, ดร ทรงพล องค์วัฒนกุล “การควบคุมแขนกลโดยการใช้การเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์” ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, *Proceeding of the 2005 Conference on Robotics and Industrial Technology*
- [16] Shinagawa, Y.; Nakajima, J.; Kunii, T.L.; Hara, K., “Capturing and analyzing stability of human body motions using video cameras”, *Computer Animation '97*, 5-6 June 1997 Page(s): 48 - 57 Digital Object Identifier 10.1109/CA.1997.601039
- [17] Yaqin Tao; Huosheng Hu; Systems, Man and Cybernetics, “Colour based human motion tracking for home-based rehabilitation”, *2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Volume 1, 10-13 Oct. 2004 Page(s): 773 - 778 vol.1 Digital Object Identifier 10.1109/ICSMC.2004.1398396
- [18] N. Pollard, J.K. Hodgins, M.J. Riley, and C.G. Atkeson, “Adapting Human Motion for the Control of a Humanoid Robot”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '02)*, May, 2002.
- [19] www.metamotion.com/motion-capture
- [20] N. Pollard, J.K. Hodgins, M.J. Riley, and C.G. Atkeson, “Adapting Human Motion for the Control of a Humanoid Robot”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '02)*, May, 2002

- [21] Tad McGeer, Passive Dynamic Walking , CSS-IS TR 88-02
- [22] S. MIOSSEC, Y. AOUSTIN, A SIMPLIFIED STABILITY STUDY FOR A BIPED WALK WITH UNDER AND OVER ACTUATED PHASES, Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes, France
- [23] Jin'ichi Yamaguchi, Eiji Soga, Sadatoshi Inoue and Atsuo Takanishi, Development of a Bipedal Humanoid Robot Control Method of Whole Body Cooperative Dynamic Biped Walking, *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation Detroit, Michigan May 1999*

ภาคผนวก ก

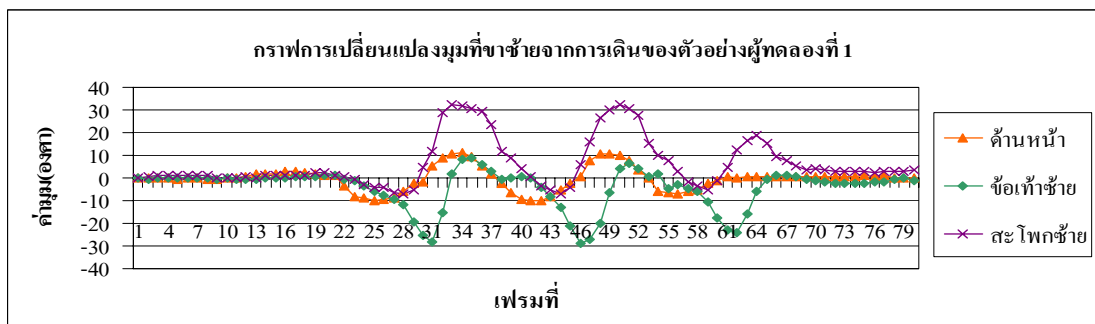
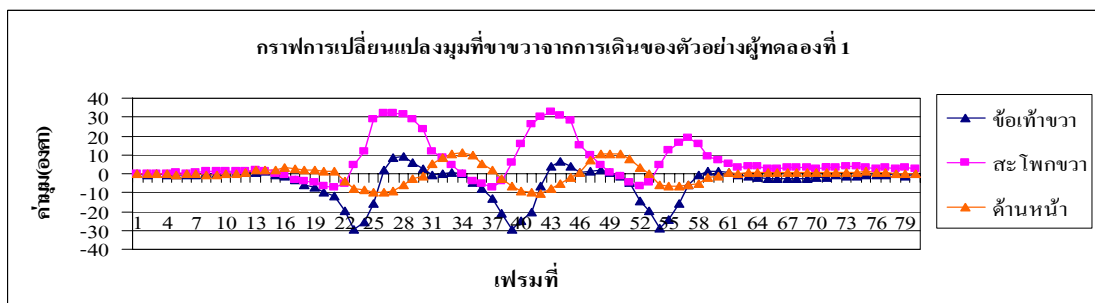
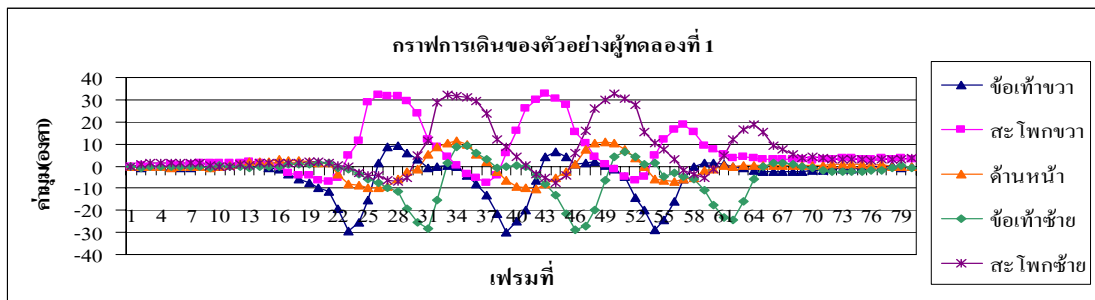
งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความที่ 1 ได้รับการตีพิมพ์ในงาน การประชุมวิชาการ The 5th PSU Engineering Conference (PEC-6) ระหว่างวันที่ 8-9 พฤษภาคม 2551, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในหัวข้อเรื่อง “การสร้างรูปแบบการเดินส่วนขาของหุ่นยนต์คล้ายมนุษย์โดยเลียนแบบจากภาพท่าทางการเดินของมนุษย์ (The Generation of Walking Pattern for a Humanoid Robot legs from Human Walking Pattern)”

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการเดินทางของกลุ่มตัวอย่าง

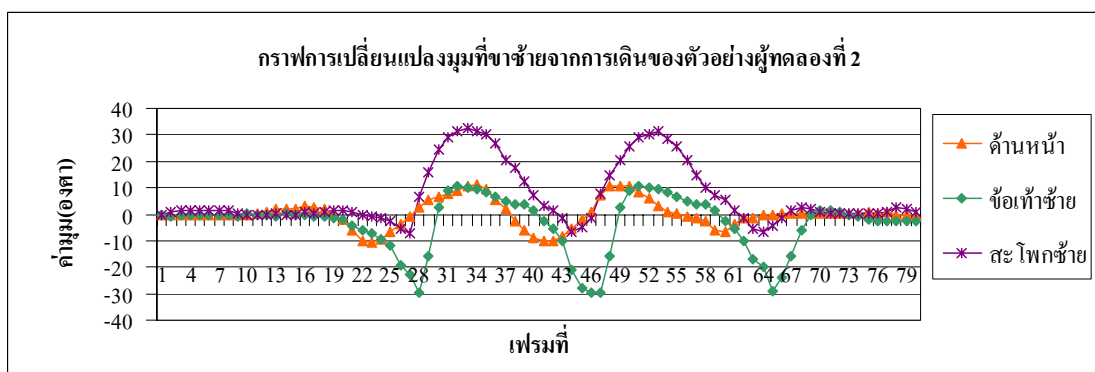
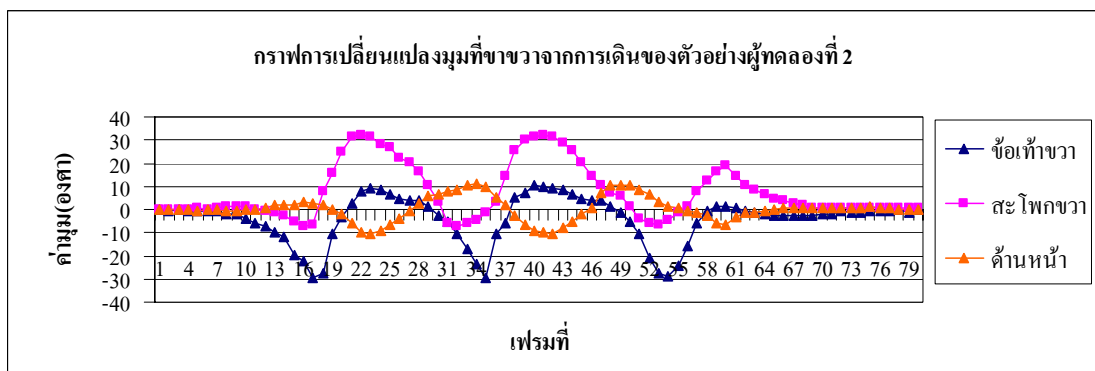
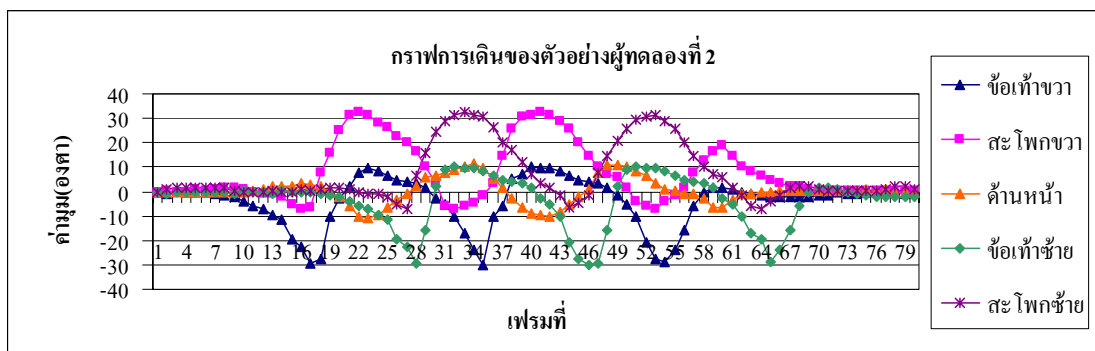
ตัวอย่างทดลองที่ 1

ชื่อ-สกุล	นาย ยศวิทย์ แก้วมณี
อายุ	25 ปี
น้ำหนัก	72 Kg
ส่วนสูง	173 cm
ข้อมูลความยาวช่วงขา	
ระยะจากข้อเท้าถึงหัวเข่า	43 cm
ระยะจากหัวเข่าถึงสะโพก	39 cm
ระยะห่างระหว่างสะโพก	24 cm



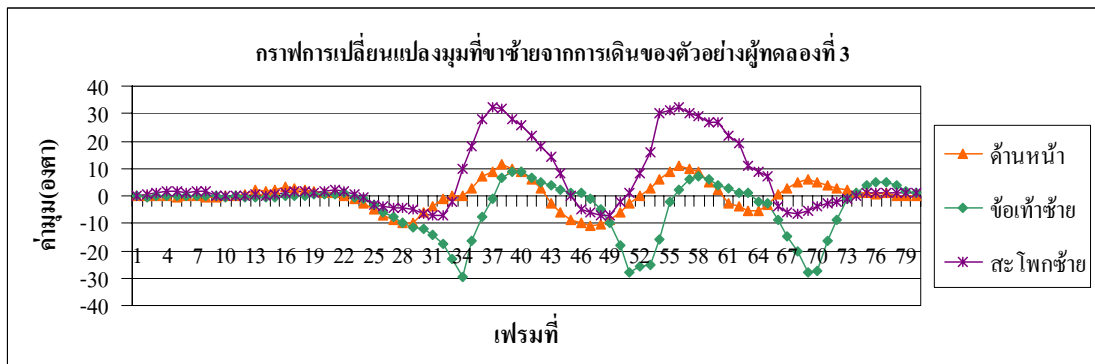
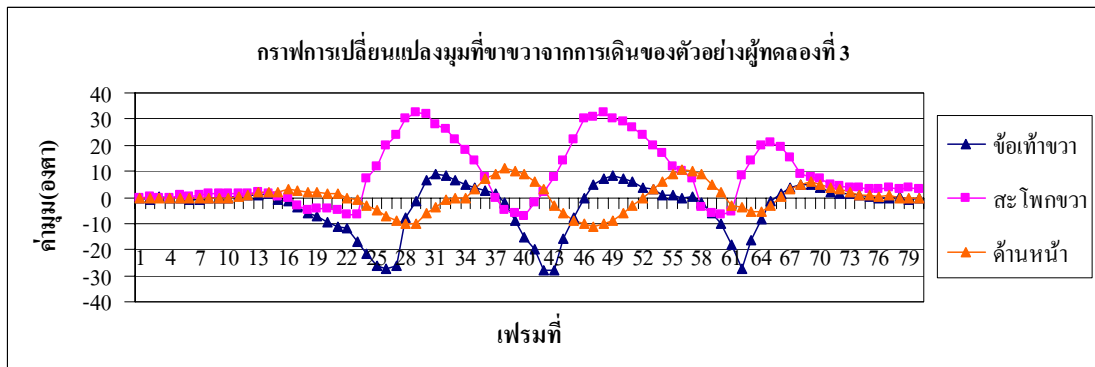
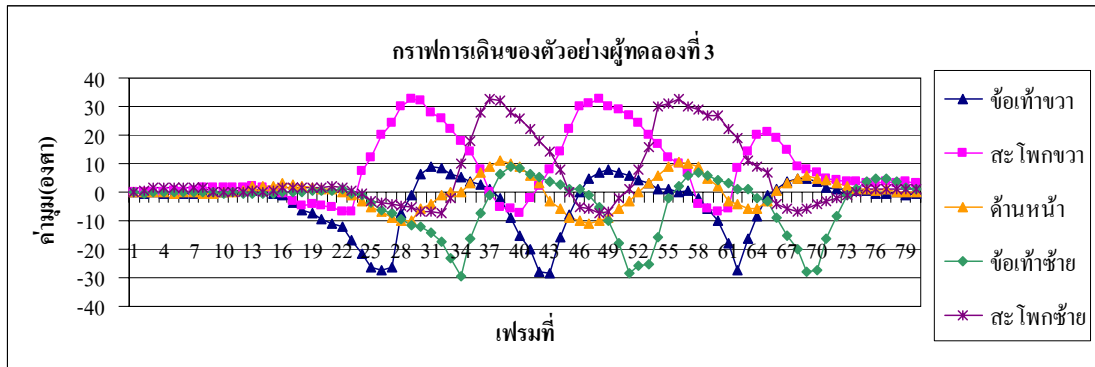
ตัวอย่างทดลองที่ 2

ชื่อ-สกุล	นาย กัมปนาท รัตวิติ
อายุ	27 ปี
น้ำหนัก	84 Kg
ส่วนสูง	173 cm
ข้อมูลความยาวช่วงขา	
ระยะจากข้อเท้าถึงหัวเข่า	41 cm
ระยะจากหัวเข่าถึงสะโพก	40 cm
ระยะห่างระหว่างสะโพก	25 cm



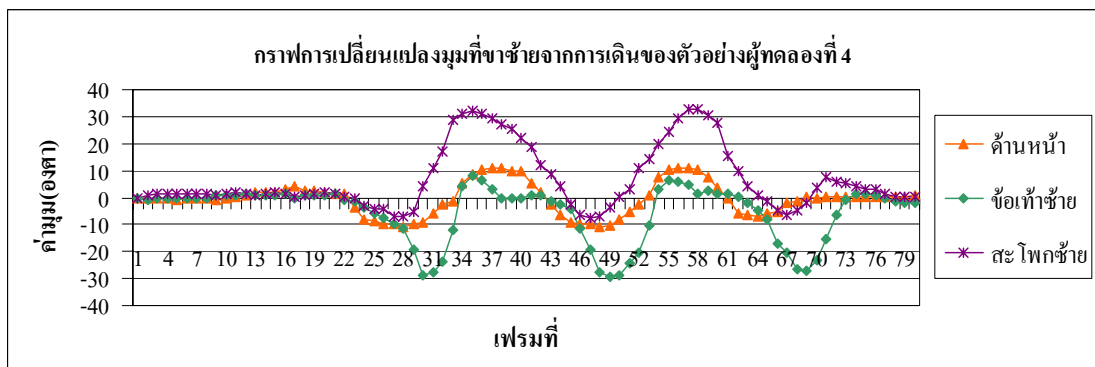
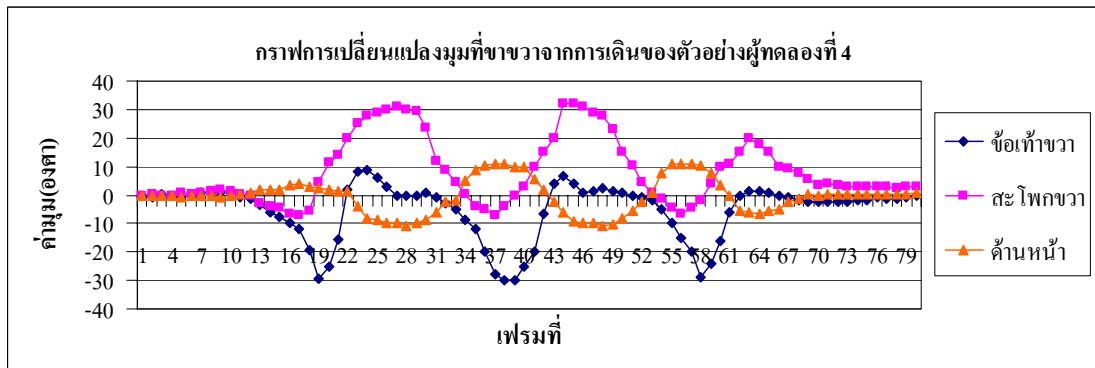
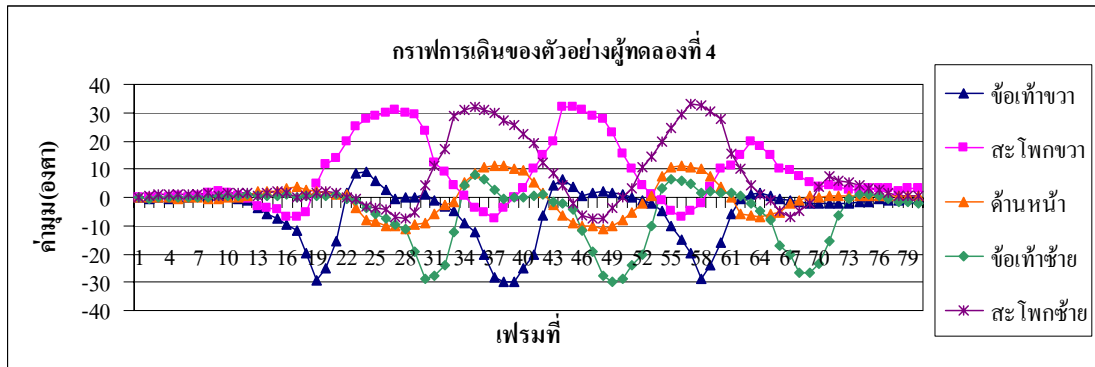
ตัวอย่างทดลองที่ 3

ชื่อ-สกุล	นาย วีระพล สุขสมบูรณ์
อายุ	24 ปี
น้ำหนัก	63 Kg
ส่วนสูง	175 cm
ข้อมูลความยาวช่วงขา	
ระยะจากข้อเท้าถึงหัวเข่า	45 cm
ระยะจากหัวเข่าถึงสะโพก	40 cm
ระยะห่างระหว่างสะโพก	24 cm



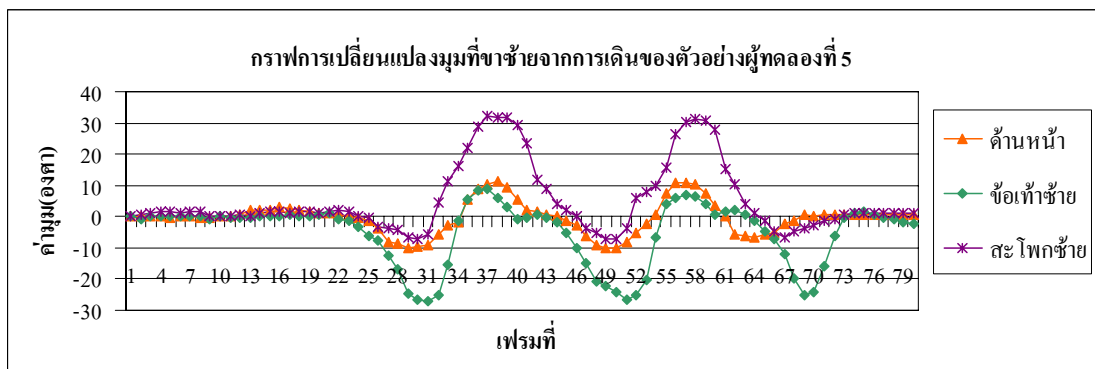
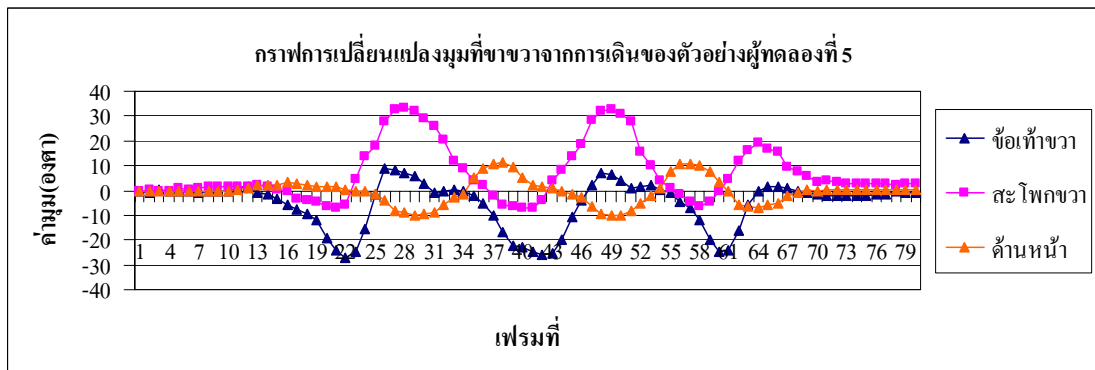
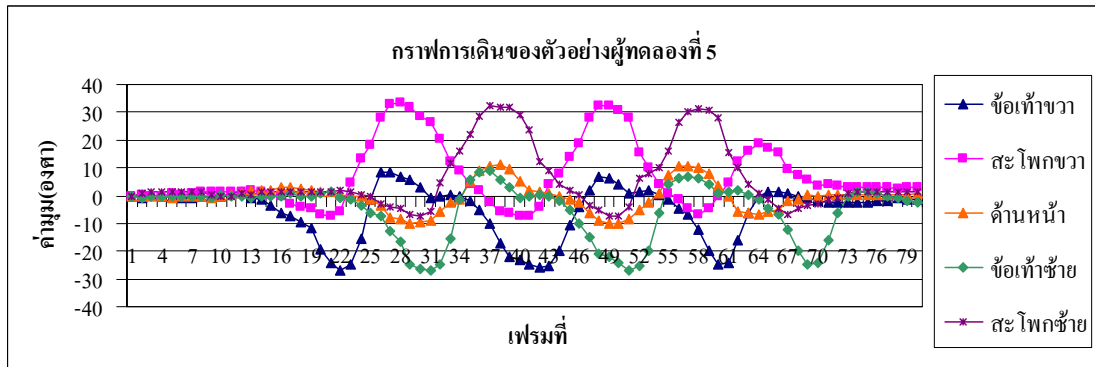
ตัวอย่างทดลองที่ 4

ชื่อ-สกุล	นาย ธิติภัทร ไพชำนาญ
อายุ	24 ปี
น้ำหนัก	125 Kg
ส่วนสูง	178 cm
ข้อมูลความยาวช่วงขา	
ระยะจากข้อเท้าถึงหัวเข่า	42 cm
ระยะจากหัวเข่าถึงสะโพก	40 cm
ระยะห่างระหว่างสะโพก	28 cm



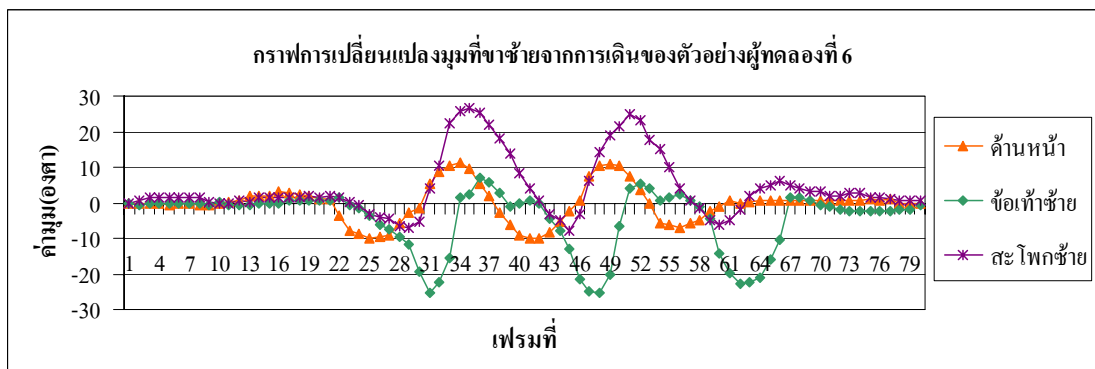
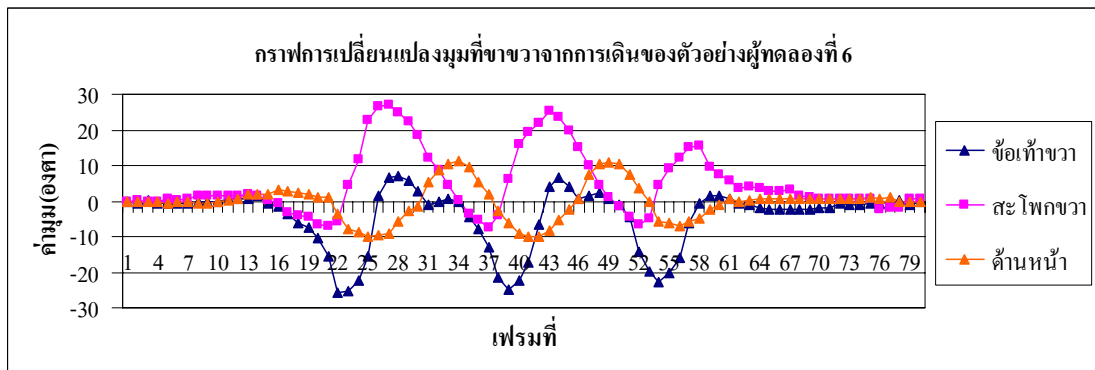
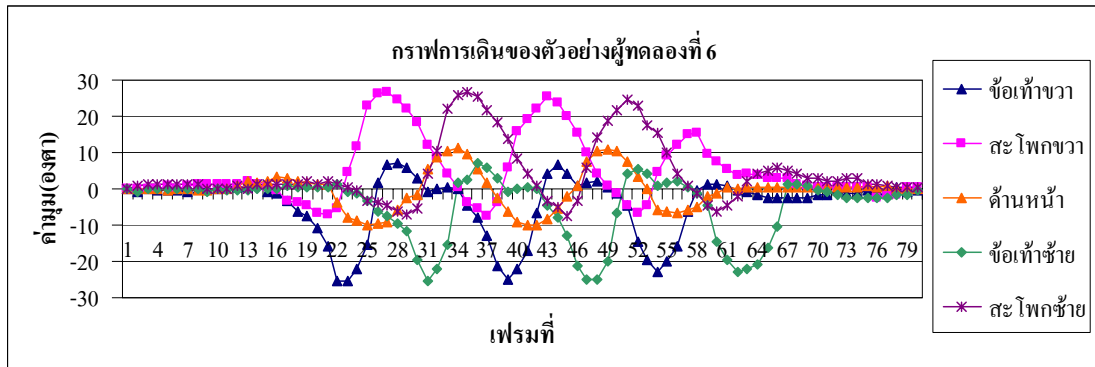
ตัวอย่างทดลองที่ 5

ชื่อ-สกุล	นาย วิสรุต จันทระ
อายุ	26 ปี
น้ำหนัก	62 Kg
ส่วนสูง	170 cm
ข้อมูลความยาวช่วงขา	
ระยะจากข้อเท้าถึงหัวเข่า	42 cm
ระยะจากหัวเข่าถึงสะโพก	38 cm
ระยะห่างระหว่างสะโพก	25 cm



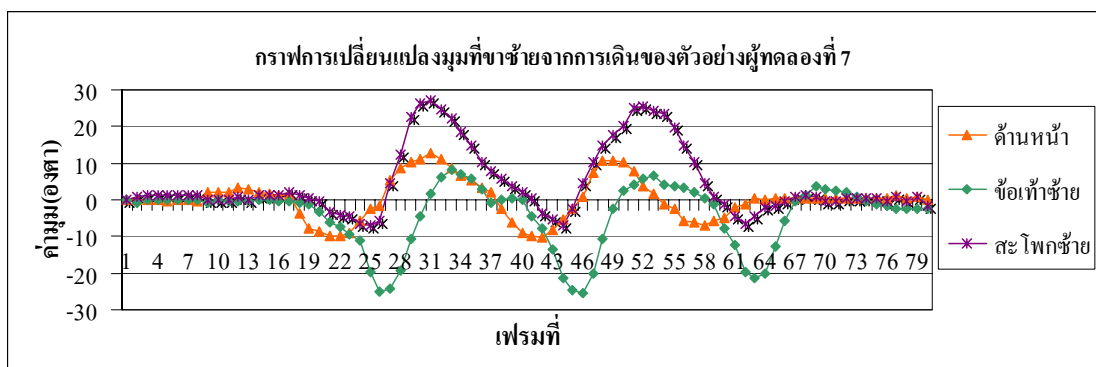
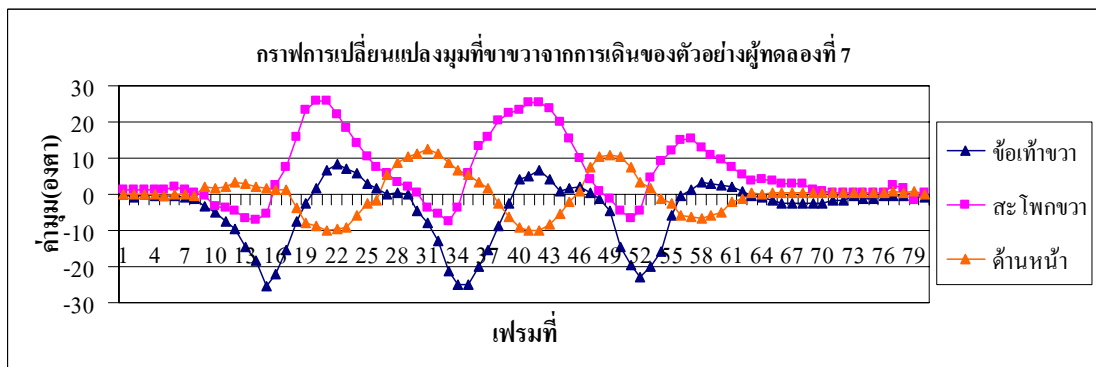
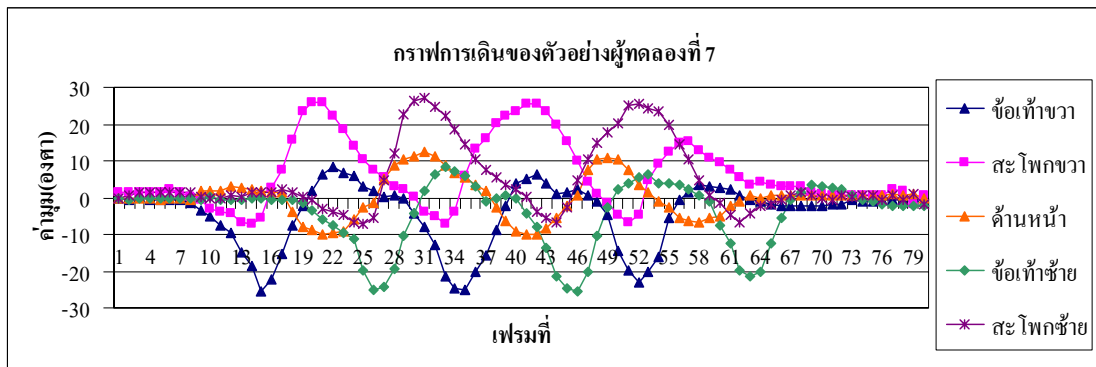
ตัวอย่างทดลองที่ 6

ชื่อ-สกุล	นาย ฐานิศร์ เกลิมบุญ
อายุ	24 ปี
น้ำหนัก	59 Kg
ส่วนสูง	161 cm
ข้อมูลความยาวช่วงขา	
ระยะจากข้อเท้าถึงหัวเข่า	39 cm
ระยะจากหัวเข่าถึงสะโพก	38 cm
ระยะห่างระหว่างสะโพก	24 cm



ตัวอย่างทดลองที่ 7

ชื่อ-สกุล	นาย บรรณวิษณุ วังตระกูล
อายุ	23 ปี
น้ำหนัก	65 Kg
ส่วนสูง	170 cm
ข้อมูลความยาวช่วงขา	
ระยะจากข้อเท้าถึงหัวเข่า	42 cm
ระยะจากหัวเข่าถึงสะโพก	44 cm
ระยะห่างระหว่างสะโพก	24 cm



การสร้างรูปแบบการเดินส่วนขาของหุ่นยนต์คล้ายมนุษย์โดยเลียนแบบจาก ภาพท่าทางของมนุษย์

The Generation of Walking Pattern for a Humanoid Robot legs from Human Walking Pattern

ยศวิทย์ แก้วมณี และ ธเนศ เคารพพวงค์

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

E-mail: yossy_coe@hotmail.com, kthanate@fivedots.psu.ac.th

Yossawee Keaomanee , Tanate Khaorapapong

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail: yossy_coe@hotmail.com, kthanate@fivedots.psu.ac.th

เพื่อกำหนดเป็นท่าทางการเดิน ซึ่งในการคำนวณเพื่อสร้าง
ท่าทางออกมานั้นจะต้องใช้การคำนวณด้วยสมการ

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับการศึกษาและพัฒนา
รูปแบบการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขา โดยใช้วิธี การ
เลียนแบบท่าทางการเดินของมนุษย์ โดยการใช้กล้องเว็บแคม
(webcam) จำนวน 3 ตัวจับภาพการเดินของมนุษย์ จากนั้นทำ
การคำนวณหามุมที่ข้อต่อจุดต่างๆ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐาน
ในการสร้างรูปแบบการเดินของหุ่นยนต์ ข้อมูลท่าทางการเดินที่
ได้จะถูกนำมาปรับให้เหมาะสมกับโครงสร้างของหุ่นยนต์ และ
สร้างเป็นรูปแบบการเดินที่จะใช้ควบคุมการเดินของหุ่นยนต์

คำหลัก การเดิน, หุ่นยนต์เดินสองขา

Abstract

This paper present the development walking
pattern of humanoid robot from human walking pattern.
We used 3 webcam for capture human walking image .
And calculate data of joint angle from human walking for
input data and transform data to match for robot
structure. And make data pattern to control robot walk

Keyword walking , humanoid

1. บทนำ

ในการสร้างรูปแบบการเดินของหุ่นยนต์เดินสองขามา
ทำได้หลายวิธี วิธีที่มีประสิทธิภาพและใช้กันอย่าง
แพร่หลาย คือ ใช้การคำนวณหาสมมูลของท่าทางร่วมกับ
เซนเซอร์ประเภทต่างๆ

คณิตศาสตร์ที่ความซับซ้อน ไม่ว่าจะเป็นการสร้างและควบคุมการ
เดินแบบstatic[1][2] [3][4] ซึ่งการเดินของหุ่นยนต์ในลักษณะนี้
จะควบคุมให้แนวแรงที่เกิดจากจุดรวมมวล (Center of Mass)
อยู่ภายในฐานของโครงสร้างตลอดเวลา หรือการสร้างและควบคุม
การเดินแบบ dynamic [5][6][7] ซึ่งจะปรับท่าทางของหุ่นยนต์เมื่อ
เริ่มเกิดการล้มขึ้น โดยการตรวจสอบเซนเซอร์ต่างๆและเปลี่ยน
ตำแหน่งการวางเท้าไปยังตำแหน่งใหม่ เพื่อปรับให้โครงสร้างเข้าสู่
ภาวะสมดุลอีกครั้ง ซึ่งต้องใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ที่ยุ่งยาก
และซับซ้อน จึงได้ทดลองหาวิธีการสร้างรูปแบบการเดินที่จะใช้
ควบคุมหุ่นอย่างง่าย ซึ่งใช้ท่าทางของคนเป็นต้นแบบ แล้วทำการ
ปรับค่ามุมที่ได้ ให้มีความเหมาะสมกับโครงสร้างของหุ่น โดยใช้
สมการที่ไม่ซับซ้อนเพื่อสร้างเป็นรูปแบบการเดินที่จะใช้ควบคุม
การเดินหุ่นยนต์

2. การหารูปแบบท่าทางการเดินของคน

ประกอบด้วยสองขั้นตอน คือถ่ายภาพการเดินของคนแล้วจึง
นำมาหาค่ามุมที่ข้อต่อต่างๆ

2.1 การถ่ายภาพท่าทางการเดินของคน

สำหรับการถ่ายภาพท่าทางการเดินของคนเพื่อนำมาหา
รูปแบบการเดิน มีขั้นตอนดังนี้

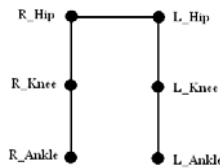
1 ติดจุดสังเกตในข้อต่อที่สนใจ ได้แก่ ข้อต่อสะโพก หัวเข่า
และ ข้อเท้าของคน แล้วทำการบันทึกภาพการเดิน

2 นำภาพมาคำนวณหามุมที่ข้อต่อในจุดที่ติดจุดสังเกตไว้

2.1.1 ตำแหน่งข้อต่อที่สามารถเคลื่อนไหวได้ของคน

ในการพิจารณาที่จุดข้อต่อต่างๆของร่างกาย ซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนไหวโดยรวมของโครงสร้างนั้น จะต้อง สัมพันธ์กับข้อต่อของหุ่นยนต์ด้วย โดยที่ในการศึกษา จะพิจารณาเฉพาะส่วนล่างของร่างกาย(ตั้งแต่สะโพกลงมา) ซึ่งข้อต่อต่างๆของคนที่มีผลต่อการเคลื่อนไหวโดยรวมของร่างกาย มีดังนี้

- ข้อเท้า 2 DOF (degree of freedom)
- หัวเข่า 1 DOF (degree of freedom)
- สะโพก 3 DOF (degree of freedom)

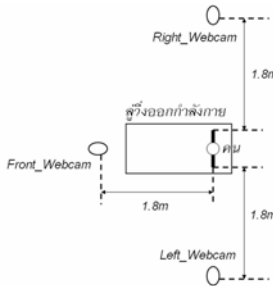


รูปที่ 1 การวางตำแหน่งของ marker สำหรับจับภาพการเคลื่อนไหวของส่วนขาของคน

ในการทดลองใช้ลูกปิงปองสีส้ม ติดที่ข้อต่อ สะโพก หัวเข่า และข้อเท้า บนขาทั้งสองข้าง เพื่อเป็นจุดสังเกตบนข้อต่อ

2.1.2 ตำแหน่งการวางกล้องเพื่อถ่ายภาพท่าทางการเดินของคน

ในการรับภาพ จะรับภาพจาก สาม ทิศทาง ซ้าย ขวา และด้านหน้า ดังรูปที่ 2 และบันทึกภาพไว้ สำหรับนำมาคำนวณหามุมที่ข้อต่อแต่ละจุด

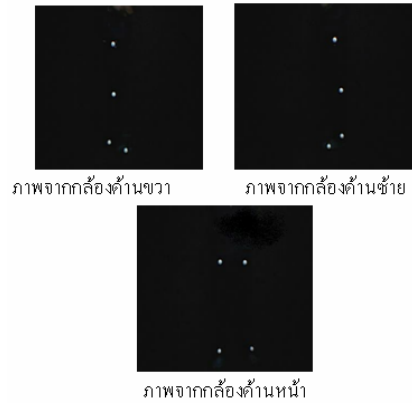


รูปที่ 2 ตำแหน่งการวางกล้องเพื่อรับภาพ(top view)

โดยที่ มีระยะห่าง ระหว่างกล้องกับคนต้องสามารถมองเห็นจุดสังเกตที่ติดอยู่บนขาได้ครบถ้วนทุกจุด ดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระยะห่างของกล้องแต่ละตัวกับขา

กล้องตัวที่	ระยะห่าง(m)	ความสูง(m)
กล้องที่ 1(ด้านหน้า)	1.8	0.4
กล้องที่ 2(ด้านซ้าย)	1.8	0.4
กล้องที่ 3(ด้านขวา)	1.8	0.4



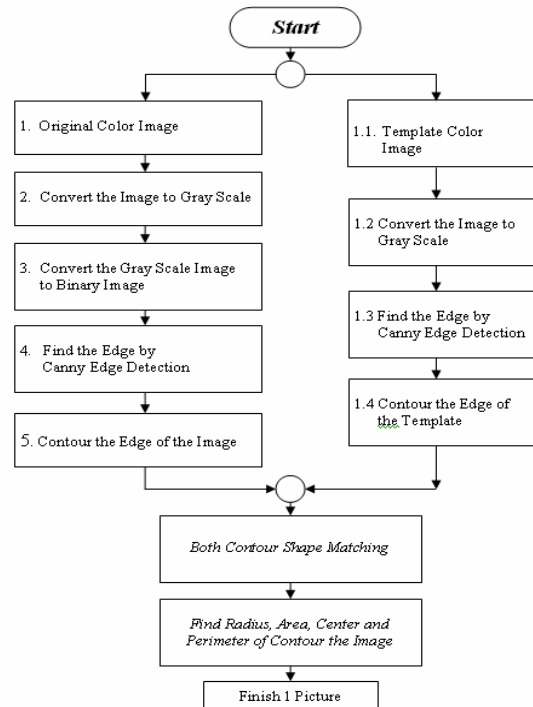
รูปที่ 3 ภาพจุดสังเกตที่ได้จากกล้องทั้งสาม

2.2 การหาค่ามุมที่ข้อต่อแต่ละจุด

ในการหารูปแบบการเดินของคนจากภาพท่าทางการเดินของคน มีสองขั้นตอน คือ หาจุดศูนย์กลาง ของจุดสังเกตที่ข้อต่อ เมื่อได้พิกัดจุดศูนย์กลางของจุดสังเกตจะนำมาคำนวณหามุมที่ข้อต่อแต่ละจุด

2.2.1 ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของจุดสังเกต

การหาจุดศูนย์กลางของจุดสังเกตแต่ละจุดประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ แปลงภาพอินพุตให้เป็นภาพระดับสีเทา และทำเป็นภาพ ขาวดำ จากนั้น หาขอบภาพของบริเวณที่เป็นจุดสังเกตแต่ละจุด และหาตำแหน่งจุดศูนย์กลาง ของขอบภาพของจุดสังเกตแต่ละจุด โดยเทียบกับภาพจุดสังเกตที่เป็นต้นแบบ แสดงได้ดังรูปที่ 4

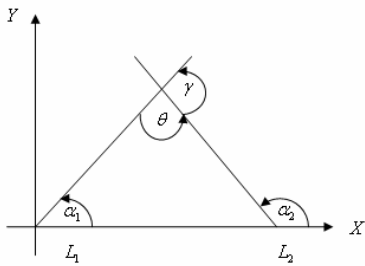


รูปที่ 4 ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของ marker

2.2.2 การหามุมระหว่างข้อต่อแต่ละจุดโดยใช้เส้น ตรงสองเส้น

เมื่อเราสามารถหาพิกัดที่เป็นจุดศูนย์กลาง ของ Marker แต่ละตัวได้แล้ว เราสามารถลากเส้นตรงระหว่างจุดแต่ละจุดได้ และจากเส้นตรงที่ลากขึ้นมา นี้ จะสามารถหามุมระหว่างเส้นตรงสองเส้นที่ตัดกันได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ให้ L_1 และ L_2 เป็นเส้นตรงสองเส้นที่ไม่ตั้งฉากกัน และไม่ขนานกันและให้ m_1 และ m_2 เป็นความชันของ L_1 และ L_2 ตามลำดับ



รูปที่ 5 มุมระหว่างเส้นตรงสองเส้น

จากรูปที่ 5

θ เป็นมุมที่วัดจาก L_1 ไปยัง L_2 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

γ เป็นมุมที่วัดจาก L_2 ไปยัง L_1 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

α_1 และ α_2 เป็นมุมเอียงของเส้นตรง L_1 และ L_2 ซึ่ง θ เป็น

มุมแหลม และ γ เป็น มุมป้าน เพราะ

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \theta \quad (1)$$

$$\theta = \alpha_2 - \alpha_1$$

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \tan(\alpha_2 - \alpha_1) \\ &= \frac{\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1}{1 + \tan \alpha_1 \tan \alpha_2} \end{aligned}$$

$$\tan \theta = \frac{m_2 - m_1}{1 + m_1 m_2} \quad (2)$$

และ $\gamma = 180^\circ - \theta$

ดังนั้น $\tan \gamma = \tan(180^\circ - \theta)$

$$\begin{aligned} &= -\tan \theta \\ \tan \gamma &= -\frac{(m_2 - m_1)}{1 + m_1 m_2} \end{aligned}$$

$$\tan \gamma = \frac{m_1 - m_2}{1 + m_1 m_2} \quad (3)$$

จาก (2) และ (3) สรุปได้ว่า

ถ้า L_1 และ L_2 เป็นเส้นตรงสองเส้นซึ่งมี m_1 และ m_2 เป็นความชันตามลำดับ และให้ θ เป็นมุมระหว่าง

L_1 และ L_2 ซึ่งวัดทวนเข็มนาฬิกา แล้วจะได้ว่า

$$\tan \theta = \frac{m_2 - m_1}{1 + m_1 m_2} \quad (4)$$

จากสมการ (4) เราสามารถคำนวณ หามุมระหว่างเส้นตรงที่ลากขึ้นได้ ซึ่งค่ามุมที่ได้จะนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการสร้างรูปแบบการเดิน เพื่อสร้างท่าทางการเดินของหุ่นยนต์ต่อไป

ในการทดสอบเพื่อหาความแม่นยำในการวัดมุมด้วยวิธีการทั้งหมดที่กล่าวมาโดยใช้การทดสอบกับจุดสังเกต ซึ่งใช้ลูกปิงปองติดกับฉากหลังที่มีมุมคงที่ และอยู่หนึ่ง ที่มีมุมระหว่างจุดสังเกตคงที่ค่าต่างๆ ให้ตัวอย่างผลการทดลอง แสดงในตารางที่ 2

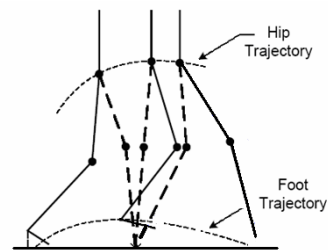
ตารางที่ 2 ค่ามุมที่ได้จากการคำนวณและค่าความผิดพลาด

ค่ามุมจริง	ค่าเฉลี่ยที่วัดได้	% ความผิดพลาด
5	4.7	6.00
10	10.5	5.00
15	14.5	3.33
20	19.4	3.00
25	26.0	4.00
30	29.0	3.33

3. การนำรูปแบบการเดินของคนมาปรับใช้กับหุ่นยนต์

จากรูปแบบท่าทางการเดินของคนที่ได้ เราไม่สามารถจะนำเอารูปแบบการเดินของคนไปใช้กับหุ่นยนต์ได้โดยตรงเนื่องจากมีความโครงสร้างของคนกับหุ่นยนต์มีความแตกต่างกันหลายประการ คือ ความแตกต่างของระดับชั้นของศาเสรี ความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างโครงสร้าง รวมถึง กำลังและประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ใช้

ในการปรับแต่งท่าทาง ให้เหมาะสมกับโครงสร้างของหุ่นยนต์ นั้นจะพิจารณาจากแนวการเคลื่อนที่ของข้อเท้าและสะโพกจากข้อมูลภาพ ดังรูปที่ 6 มาเป็นตัวกำหนดแนวการเคลื่อนที่ของข้อเท้าและสะโพกของหุ่นด้วย

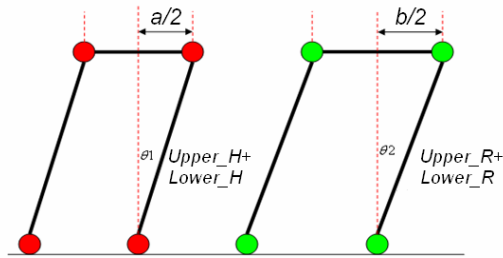


รูปที่ 6 แนวการเคลื่อนที่ของข้อเท้าและสะโพก โดยการเปลี่ยนแปลงมุมจะขึ้นกับ อัตราส่วนของความยาวของ Link ที่แตกต่างกันดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบความยาวของชิ้นส่วนโครงสร้างของคนและหุ่นยนต์

ชั้นส่วน	โครงสร้างของ คน(ซม.)	โครงสร้าง หุ่นยนต์(ซม.)
ขาที่นอนบน	42	6
ขาที่นอนล่าง	40	5
ระยะห่างสะโพก	28	8.5

อัตราการจัดเซตมุมด้านหน้าตามอัตราส่วนช่วงขา แสดง
ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 อัตราการจัดเซตมุมด้านหน้า

โดยที่ a = ระยะห่างของข้อต่อสะโพกของคน

b = ระยะห่างของข้อต่อสะโพกของหุ่นยนต์

Upper_H = ความยาวของขาที่นอนบนของคน

Lower_H = ความยาวของขาที่นอนล่างของคน

Upper_R = ความยาวของขาที่นอนบนของหุ่นยนต์

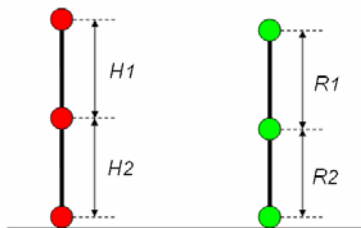
Lower_R = ความยาวของขาที่นอนล่างของหุ่นยนต์

$$\sin \theta_1 = \frac{(a/2)}{Upper_H + Lower_H}$$

$$\sin \theta_2 = \frac{(b/2)}{Upper_R + Lower_R}$$

$$\text{อัตราจัดเซตมุม} = \frac{\theta_2}{\theta_1}$$

อัตราการจัดเซตมุมที่ข้อต่อสะโพกและข้อเท้าตามอัตรา
ส่วนช่วงขา แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 อัตราการจัดเซตมุมสะโพกและข้อเท้า

โดยที่ H1 = ความยาวของขาที่นอนบนของคน

H2 = ความยาวของขาที่นอนล่างของคน

R1 = ความยาวของขาที่นอนบนของหุ่นยนต์

R2 = ความยาวของขาที่นอนล่างของหุ่นยนต์

จากรูป ความยาวช่วงขาทั้งหมด = H1 + H2

อัตราส่วนความยาวขาส่วนบนต่อความยาวช่วงขาทั้งหมดของ คน 87

$$Upper_HL_Ratio = \frac{H1}{H1+H2}$$

อัตราส่วนความยาวขาส่วนล่างต่อความยาวช่วงขาทั้งหมดของคน

$$Lower_HL_Ratio = \frac{H2}{H1+H2}$$

จากรูป ความยาวช่วงขาทั้งหมดของหุ่น = R1 + R2

อัตราส่วนความยาวขาส่วนล่างต่อความยาวช่วงขาทั้งหมดของหุ่น

$$Upper_RL_Ratio = \frac{R1}{R1+R2}$$

อัตราส่วนความยาวขาส่วนล่างต่อความยาวช่วงขาทั้งหมดของหุ่น

$$Lower_RL_Ratio = \frac{R2}{R1+R2}$$

อัตราการจัดเซตมุมสำหรับขาที่นอนบนของหุ่น

$$Upper_adjust = \frac{Upper_HL_Ratio}{Upper_RL_Ratio}$$

อัตราการจัดเซตมุมสำหรับขาที่นอนล่างของหุ่น

$$Lower_adjust = \frac{Lower_HL_Ratio}{Lower_RL_Ratio}$$

จากการจัดเซตมุมโดยใช้อัตราส่วนของความยาวที่แตกต่าง
ต่างกัน มีผลให้ ระยะการย่อของช่วงขามีอัตราส่วนที่เท่ากัน คือ
หากการเปลี่ยนแปลงมุมที่ข้อต่อต่างๆบนขาของคน ทำให้ขาถูก
ยกขึ้นเป็นอัตราส่วนเท่าไรก็ตามเมื่อเทียบกับขณะที่ยืนตรง หลัง
จากปรับมุมตามอัตราส่วนที่แตกต่างของช่วงขาแล้ว จะทำให้ ขา
หุ่นถูกยกขึ้นเป็นอัตราส่วนที่เท่ากันด้วย แม้ว่าความยาวของขา
ช่วงบนและล่างจะมีอัตราส่วนแตกต่าง กันก็ตาม ผลที่ได้ คือ แนว
การเคลื่อนที่ของขาคนและหุ่น จะมีลักษณะเหมือนกัน ตัวอย่าง
การเปลี่ยนแปลงค่ามุมแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบมุมที่ข้อต่อสะโพกก่อนและหลังการปรับ
แต่งค่ามุมให้เหมาะกับโครงสร้างในตารางที่ 3

Hip_Right		Hip_Left	
ก่อนปรับ	หลังปรับ	ก่อนปรับ	หลังปรับ
1.20	1.44	0.60	0.72
3.60	4.32	3.00	3.6
8.40	10.08	6.70	8.04
11.92	14.30	11.50	13.8
16.45	19.74	17.00	20.4

4.

การจำลองรูปแบบการเดินที่สร้างขึ้น

จากหลักการที่กล่าวมา ได้นำข้อมูลของมุมที่ข้อต่อจุดต่างๆ
ที่ได้จากการรับภาพท่าทางการเดินของคน มาสร้างเป็นชุดข้อมูล
สำหรับสร้างท่าทางการเดินของหุ่น โดยจำลองเป็นโมเดลสามมิติ
ด้วยโปรแกรม ThreeDimSim

4.1 การพิจารณาการล้มของโครงสร้าง

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการล้มของหุ่นยนต์ในระหว่างการเดิน คือตำแหน่งของจุดรวมมวลของโครงสร้าง ซึ่งหากตำแหน่งของจุดรวมมวลของโครงสร้างหุ่นยนต์ หลุดออกจากส่วนที่เป็นฐาน ก็จะทำให้โครงสร้างเกิดการล้ม ซึ่งในการคำนวณหาตำแหน่งของจุดรวมมวล สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$x_position = \frac{\sum_{i=1}^n x_n m_n}{\sum_{i=1}^n m_n}$$

โดยที่ $x_position$ = ตำแหน่งของจุดรวมมวลในแนวแกน x

x_n = ตำแหน่งจุดรวมมวลของชิ้นส่วนที่ n

m_n = มวลของชิ้นส่วนที่ n

4.2 ขอบเขตการเคลื่อนไหว

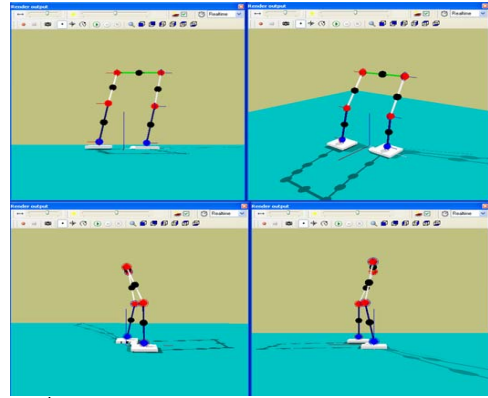
ในส่วนของปัจจัยที่นำมาพิจารณาว่า ค่าใดที่ยังทำให้โครงสร้างสามารถทรงตัวอยู่ได้ คือ ตำแหน่งของจุดรวมมวล ซึ่งจะตั้งอยู่ในบริเวณส่วนฐานของโครงสร้างเสมอ ในที่นี้หมายถึง กรณีที่ยืนด้วยขาเพียงข้างเดียว ตำแหน่งของจุดรวมมวล ต้องอยู่ในบริเวณฝ่าเท้าข้างที่เป็นเท้าหลัก และจะอยู่ในพื้นที่ที่ฝ่าเท้าข้างนี้จนกระทั่งวางเท้าอีกข้างลงกับพื้น จากนั้นเมื่อถ่ายน้ำหนักกลับมายังเท้าอีกข้าง โดยที่เท้าทั้งสองสัมผัสพื้น ตำแหน่งของจุดรวมมวลจะต้องอยู่ในบริเวณระหว่างเท้าทั้งสองข้าง โครงสร้างจึงจะสามารถทรงตัวอยู่ได้ โดยที่ค่ามุมมากที่สุดและน้อยสุด จะขึ้นอยู่กับความยาวและอัตราส่วนของโครงสร้างด้วยเช่นกัน สำหรับในการทดลอง ได้ค่าดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่า Max และ Min ของมุมที่ข้อต่อจุดต่างๆ

มุม	Maximum(Degree)	Minimum(Degree)
Right_hip	18	-18
Right_ankle	20	-20
Left_hip	18	-18
Left_ankle	20	-20
Front	13	20

5. ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากท่าทางคนเดิน มาปรับขีดเข้ยมุม และสร้างเป็นชุดข้อมูลเพื่อสร้างท่าทางการเดินให้ กับโมเดลที่สร้างขึ้น สามารถสร้างท่าทางที่มีความคล้ายคลึงกับท่าทางของคนต้นแบบ และควบคุมตำแหน่งจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐานคือ บริเวณฝ่าเท้าข้างที่รับน้ำหนัก เมื่อยกขาข้างใดข้างหนึ่งลอยจากพื้นและอยู่ระหว่างเท้าทั้งสอง เมื่อเท้าทั้งสองข้างวางลงกับพื้นได้ ตัวอย่างผลการทดลองในการเดินขณะแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ตัวอย่างการเดินโดยก้าวเท้าขวาไปข้างหน้า

6.สรุป

จากรูปแบบท่าทางการเดินที่สร้างขึ้น สามารถควบคุมให้แบบจำลองของโครงสร้างหุ่นยนต์เดินได้คล้ายคลึงกับท่าทางของคน โดยมีข้อจำกัดในคือ มุมที่ข้อต่อสะโพกทำกับแนวดิ่งจะอยู่ในช่วง 18 ถึง -18 องศา และมุมที่ข้อเท้าทำกับแนวดิ่งจะอยู่ในช่วง 20 ถึง -20 องศา อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการเปลี่ยนเท้าที่ใช้เป็นเท้าหลักในการรับน้ำหนัก จุดรวมมวลของโครงสร้าง จะเลื่อนไปมาระหว่างเท้าทั้งสอง ซึ่งต้องพิจารณาร่วมกับค่าทอร์ก (Torque) ที่ข้อต่อแต่ละจุด เพื่อหาขนาดมอเตอร์ที่เหมาะสม และทำการ ทดสอบกับการนำไปใช้ควบคุมหุ่นจริงว่าในระหว่างการถ่าน้ำหนัก ไปมาระหว่างเท้าทั้งสอง จะสามารถทรงตัวอยู่ได้หรือไม่

เอกสารอ้างอิง

[1] Byung-Hun Hwang, Jung-Shik Kong , Bo-Hee Lee, Jin-Geol Kim and Uk-Youl Huh . ZMP Compensation Algorithm for Stable Posture of a Humanoid Robot . School of Electrical Engineering, Inha University, Inchen, South ICCAS2005 June 2-5, KINTEX, Gyeonggi-Do, Korea

[2] Jinichi Yamaguchi, Eiji Soga, Sadatoshi Inoue and Atsuo Takanishi Development of a Bipedal Humanoid Robot Control Method of Whole Body Cooperative Dynamic Biped Walking . Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation Detroit, Michigan May 1999

[3] Team KMUTT : Team description Paper of Humanoid “Jaidee”

[4] คิตซอบ ไวยสุศรี, ประภาส จงสถิตวัฒนา . การศึกษาการควบคุม ZMP สำหรับหุ่นยนต์เดินสองขา ด้วยระบบควบคุมพีชซีที่ใช้ฟังก์ชัน Sine . ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[5] Shuui KAJITA, Fumio KANEHIRO, Kenji KANEKO, Kiyoshi FUJIWARA, Kensuke HARADA Kazuhito YOKOI and Hirohisa HIRUKAWA . Biped

- Walking Pattern Generation by using Preview Control of Zero-Moment Point. Proceeding of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation .Taipei , Taiwan, September 14-19,2003
- [6] Mamiko Nakamura, Michitake Mori , Jun Nichii
Trajectory Planning for a leg swing during human walking . 2004 IEEE International Conference on System Man & Cybernetics
- [7] Kazuo Hirai , Masato Hirose , Yuji Haikawa , Toru Takenaka .The Development of Honda Humanoid Robot.
Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายศวิชัย แก้วมณี		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4812107		
วุฒิการศึกษา			
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2548	

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนศึกษยก้นกุฎิ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ทุนผู้ช่วยสอน บัณฑิตวิทยาลัย

ทุนผู้ช่วยสอน ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

1. ยศวิทย์ แก้วมณี และ ชเนศ เคารพพวงส์, “การสร้างรูปแบบการเดินส่วนขาของหุ่นยนต์ คล้ายมนุษย์โดยเลียนแบบจากภาพท่าทางของมนุษย์”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6, 8-9 พฤษภาคม 2551, หน้า 84.