

## การสร้างและโปรแกรมหุ่นยนต์เดิน 2 ขาชนิด 10 จุดหมุน

### Construction and programming of a 10 degree of freedoms biped walker

นาย ปรีดา เลิศพงศวิญญะ, รศ. ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[prabhas@chula.ac.th](mailto:prabhas@chula.ac.th)

## บทคัดย่อ

เอกสารฉบับนี้กล่าวถึงการออกแบบหุ่นยนต์สองขาขนาดเล็กที่มีน้ำหนักเบา มีจำนวนจุดหมุนทั้งหมด 10 จุดหมุน และการออกแบบโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ โดยใช้แบบแผนการเดินของหุ่นยนต์ในการสร้างโปรแกรมการเดิน เพื่อให้โปรแกรมการเดินเป็นเพียงชุดตัวเลขที่ไม่ซับซ้อนมาก โดยชุดตัวเลขของโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์จะเป็นชุดตัวเลขที่มีความยาว 62 ตัว ทำให้เป็นโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ที่ง่ายต่อการสร้างและการนำไปใช้งาน

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากการทดลองการสร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมหุ่นยนต์สองขา โดยปกติจะทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่สร้างขึ้นในสภาวะแวดล้อมจำลองบนคอมพิวเตอร์ทำให้ผลที่ได้เมื่อต้องนำมาใช้กับหุ่นยนต์จริงเกิดปัญหาขึ้น เนื่องจากสภาวะแวดล้อมจริงมีปัญหาอื่น ๆ เกิดขึ้นมากมายที่ไม่สามารถควบคุมหรือคัดออกไปได้เหมือนสภาวะแวดล้อมจำลอง เพื่อให้การทดลองมีความสมบูรณ์มากที่สุดต้องทำการทดลองโปรแกรมบนหุ่นยนต์สองขาจริงๆ ทำให้ต้องออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สองขาขนาดเล็กที่มีน้ำหนักเบาและสามารถหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างจากวัสดุทั่วไป นอกจากนี้การสร้างโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ยังเป็นเรื่องที่ซับซ้อนทำให้การสร้างโปรแกรมเพื่อควบคุม

มอเตอร์ให้หมุนไปในทิศทางต่างๆ เพื่อให้หุ่นยนต์เดินได้ จึงออกแบบโปรแกรมการเดินหุ่นยนต์โดยใช้แบบแผนที่มีการกำหนดไว้ล่วงหน้าโดยผู้ที่ต้องการโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์เพียงแต่กำหนดตำแหน่งของมอเตอร์แต่ละตัวตามแบบแผนที่กำหนดไว้ โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ก็จะสมบูรณ์ ทำให้สามารถสร้างโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ได้มากเท่าที่ต้องการ และสามารถกำหนดรูปแบบการเดินได้ตามต้องการ

เป้าหมายคือนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการสังเคราะห์โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ แทนการใช้มนุษย์ในการสร้างโปรแกรม นำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการค้นหาคำตอบ ด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นเทคนิคหนึ่งของการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นโดย Holland (1975) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบ โดยจำลองแนวคิดมาจากกระบวนการวิวัฒนาการ และกฎการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

## งานที่เกี่ยวข้อง

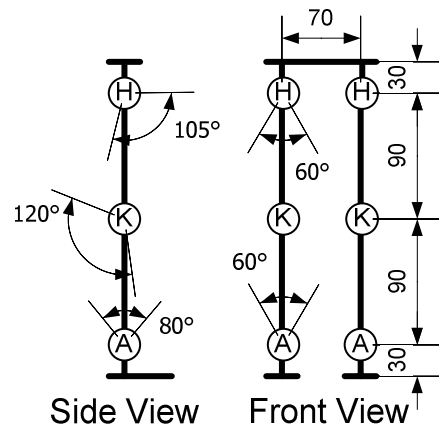
ชาญชัย ชัยสุข โกลส [4] ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการสังเคราะห์โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ โดยใช้หุ่นยนต์ที่สร้างจากไม้ทำให้มีน้ำหนักเบาและมีจำนวนของจุดหมุนทั้งหมด 7 จุด เป็นส่วนหาง 1 จุดใช้เพื่อการถ่วงน้ำหนัก ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการสังเคราะห์โปรแกรมจนกระทั่งได้โปรแกรมที่มีคุณภาพ โดยการวัดผลจากโปรแกรมหุ่นยนต์จำลองจึงนำไปทดลองกับหุ่นยนต์จริงเพื่อคัดเลือกโปรแกรมที่สามารถทำงานได้นำไปใช้ในการหาโปรแกรมส่วนต่อไป

Konno, A. [7] กล่าวถึงการออกแบบหุ่นยนต์สองขาที่มีจำนวนจุดหมุน 6 จุดหมุนต่อข้างให้มีน้ำหนักเบา หุ่นยนต์ที่ถูกสร้างขึ้นมีน้ำหนัก 46.9 กิโลกรัม ควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลใช้หน่วยประมวลผลกลางของ Intel Pentium MMX 233 MHz ติดตั้งอยู่บนตัวหุ่นยนต์พร้อมแบตเตอรี่น้ำหนัก 12 กิโลกรัม ที่ฝ่าเท้าติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับแรงกด (Force Sensing Resistor) 12 ตัวทั้งสองข้าง เพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งที่มีค่าโมเมนต์เป็นศูนย์ (Zero Moment Point, ZMP) การออกแบบหุ่นยนต์เริ่มจากการทดลองในแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์เพื่อหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของ ZMP และแรงบิดในข้อต่อต่างๆ เมื่อได้คำตอบจึงนำข้อมูลมาใช้ในการสร้างหุ่นยนต์

Arakawa, T. [1] ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการทำให้หุ่นยนต์สองขาเคลื่อนที่ได้อย่างเป็นธรรมชาติ และใช้พลังงานน้อยที่สุด การเรียนรู้จะเกิดในแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ก่อน เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้วจึงนำไปทดสอบกับหุ่นยนต์จริงเพื่อยืนยันผลการทดลอง

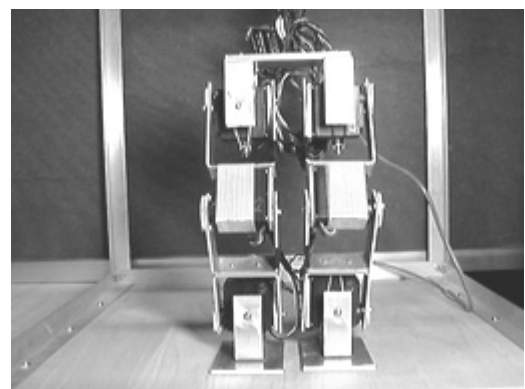
Sang-Ho, Choi. [10] กล่าวถึงวิธีการที่จะลดการกระตุกหรือสับัดของหุ่นยนต์เมื่อมีการเดิน โดยการควบคุมความเร็วและความเร่งของจุดหมุนทุกจุดเพื่อให้เส้นทางการเคลื่อนที่ตำแหน่งที่มีค่าโมเมนต์เป็นศูนย์ (ZMP) อยู่ในเส้นทางที่กำหนดไว้ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบ

## การออกแบบหุ่นยนต์สองขา



รูปที่ 1. แสดงขนาดและจุดหมุน

ต้องการหุ่นยนต์สองขาที่มีขนาดเล็กเพื่อใช้ในการทดสอบและประเมินผลโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ หุ่นยนต์ที่สร้างเป็นหุ่นขนาดเล็กที่มีจำนวนจุดหมุนในขาทั้งสองข้าง 10 จุดหมุน และมีความสูงไม่เกิน 25 เซนติเมตร มีน้ำหนักไม่เกิน 1.5 กิโลกรัม โดยหุ่นยนต์ต้องสามารถควบคุมได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้แหล่งพลังงานจากภายนอก ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ Sensor เพิ่ม รูปแบบการควบคุมเป็นแบบเปิด โดยการเดินของหุ่นยนต์สองขาจะเป็นแบบสมดุคสถิติ

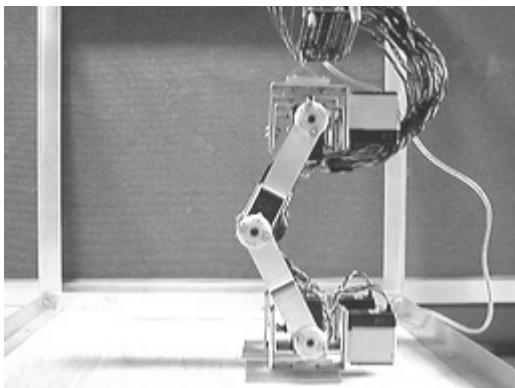


รูปที่ 2. แสดงโครงสร้างของหุ่นยนต์

### โครงสร้างของหุ่นยนต์ที่สร้าง

โครงสร้างของหุ่นยนต์ทำจากแผ่นอลูมิเนียม เนื่องจากต้องการให้มีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงสูง ไม่เกิดการบิดตัว เมื่อต้องมีการรับน้ำหนักของตัวเอง มีจำนวนจุดหมุน (Degree of Freedom) 10 จุดโดยใช้เซอร์โวมอเตอร์บังคับในแต่ละจุดหมุน โดยตรง (Direct Drive)

#### ระบบส่งกำลัง



รูปที่ 3. แสดงการติดตั้งอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์

เลือกใช้มอเตอร์แบบที่มีระบบเฟืองทดอยู่ภายใน ที่เรียกว่าอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ เนื่องจากมีราคาถูก ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถควบคุมการหมุนไปยังตำแหน่งต่างๆได้ง่าย และรักษาตำแหน่งของตัวเองได้ เซอร์โวมอเตอร์ที่เลือกใช้คือ Hitec HS 5945MG แบบดิจิทัล ที่มีความสามารถในการควบคุมตำแหน่งได้ละเอียดกว่าแบบอนาล็อก เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 6 โวลต์ จะมีแรงบิดขณะทำงานที่ 13 กิโลกรัมเซนติเมตร มีแรงบิดขณะรักษาตำแหน่งที่ 40 กิโลกรัมเซนติเมตร มีความเร็วในการหมุน 0.13 วินาทีต่อ 60 องศา ใช้กระแสไฟฟ้าที่ 230 มิลลิแอมป์ น้ำหนัก 56 กรัม ขนาดกว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 52.2 มิลลิเมตร และสูง 37.8 มิลลิเมตร

#### ระบบควบคุม

ส่วนการควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ใช้แผงวงจรควบคุมแบบเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายอนุกรมที่มีอัตราการส่งข้อมูลได้ 38,400 บิตต่อ

วินาที สามารถควบคุมอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ได้ 16 ตัวพร้อมกันต่อ 1 แผงวงจร สามารถกำหนดตำแหน่งองศาการหมุนของอาร์ซีเซอร์โวมอเตอร์ได้ละเอียดถึง 0.1 องศา

### โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์สองขา

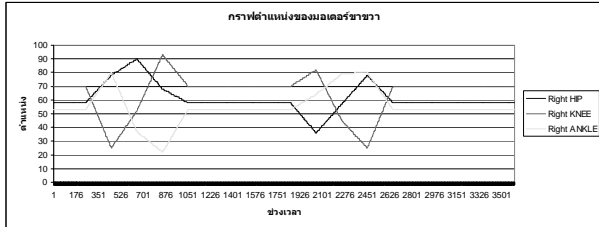
#### เงื่อนไขการควบคุมหุ่นยนต์

เอาและฝ่าเท้าต้องขนานกับพื้นเสมอ ระดับความสูงของเอาซ้ายและเอาขวาทั้งสองข้างต้องสูงเท่ากันเสมอ เพื่อให้เอวขนานกับพื้นตลอดเวลา และฝ่าเท้าทั้งสองข้างต้องขนานกับพื้นตลอดเวลา

#### การควบคุมหุ่นยนต์

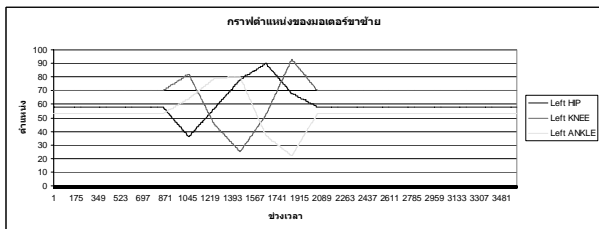
การควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถเดินได้คือการกำหนดตำแหน่งของมอเตอร์แต่ละตัวในแต่ละเวลา เพื่อให้มีการหมุนที่สัมพันธ์กันเพื่อเคลื่อนส่วนต่างของขาไปในทิศทางและตำแหน่งที่ต้องการ เนื่องจากการเดินแบบสมดุลสติกซ์จะเป็นการเดินโดยจุดศูนย์กลางน้ำหนักไม่มีการเคลื่อนออกจากฝ่าเท้าทำให้หุ่นยนต์ไม่ล้ม ดังนั้นถ้ามองตำแหน่งของมอเตอร์แต่ละตัว ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ตำแหน่งของมอเตอร์เหล่านั้นต้องทำให้หุ่นยนต์ยืนอยู่ได้โดยไม่ล้ม รูปแบบการเดินของหุ่นยนต์เป็นการหมุนมอเตอร์ทุกๆตัวในช่วงเวลาที่กำหนด เช่นถ้าต้องการสร้างโปรแกรมการเดินความยาว 17 วินาที ในแต่ละวินาทีสามารถส่งคำสั่งควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ได้ 640 คำสั่ง ดังนั้นถ้าส่งตำแหน่งเป็นชุด ชุดละ 10 ตำแหน่งสำหรับมอเตอร์ทั้ง 10 ตัวภายใน 1 วินาทีเพื่อให้มอเตอร์ทุกตัวทำงานสัมพันธ์กัน จะมีตำแหน่งทั้งหมด 64 ตำแหน่งของมอเตอร์แต่ละตัว ดังนั้นโปรแกรมความยาว 17 วินาทีของหุ่นยนต์จะมีตำแหน่งที่ต้องการกำหนดทั้งหมด 10,880 ตำแหน่ง การค้นหาตำแหน่งทั้งหมดนี้เป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก ส่วนต่อไปนี้จะแสดงค่าตำแหน่งมอเตอร์ของโปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์สองขาที่เริ่มจากท่ายืนปลายเท้าเสมอกัน แล้วก้าวเท้าขวา ตามด้วยการก้าวเท้าซ้าย และเท้าขวาอีกครั้ง

และจบลงด้วยท่าเริ่มต้น ที่มีความยาว 1 นาที 52.5 วินาที ต้องการตำแหน่งของมอเตอร์ทั้งหมด 36,000 ตำแหน่ง โดยแสดงเป็นกราฟเพื่อให้เห็นถึงการหมุนของมอเตอร์แต่ละตัว และมีการแบ่งส่วนในการแสดงคือ ตำแหน่งมอเตอร์ของขาขวา ตำแหน่งมอเตอร์ของขาซ้าย และตำแหน่งมอเตอร์ของการถ่ายน้ำหนัก



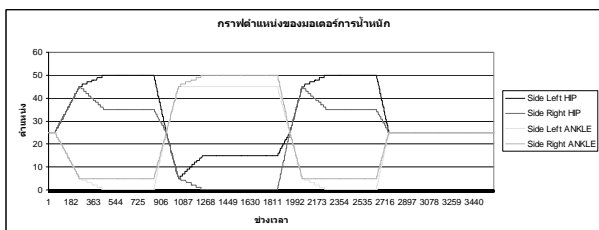
รูปที่ 4. กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาขวา

รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งมอเตอร์ที่อยู่ภายในขาขวา ที่ประกอบด้วยมอเตอร์ 3 ตัว คือ มอเตอร์ที่สะโพกขวา (Right Hip, RH) มอเตอร์ที่เข่าขวา (Right Knee, RK) และมอเตอร์ที่ข้อเท้าขวา (Right Ankle, RA)



รูปที่ 5. กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ขาซ้าย

รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งมอเตอร์ที่อยู่ภายในขาซ้าย ที่ประกอบด้วยมอเตอร์ 3 ตัวเช่นกัน คือ มอเตอร์ที่สะโพกซ้าย (Left Hip, LH) มอเตอร์ที่เข่าซ้าย (Left Knee, LK) และมอเตอร์ที่ข้อเท้าซ้าย (Left Ankle, LA)



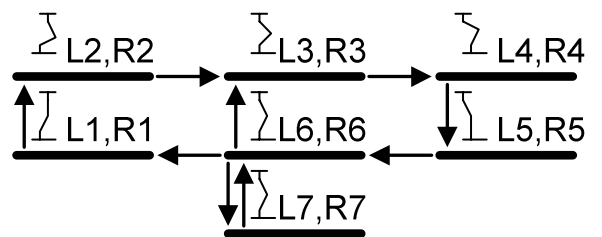
รูปที่ 6. กราฟแสดงตำแหน่งของมอเตอร์ถ่ายน้ำหนัก

รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งมอเตอร์การถ่ายน้ำหนัก ประกอบด้วยมอเตอร์จำนวน 4 ตัว ที่ติดตั้งอยู่ที่สะโพกทั้งสองข้าง และข้อเท้าทั้งสองข้าง คือ มอเตอร์ที่สะโพกซ้าย (Side Left Hip, SLH) มอเตอร์ที่สะโพกขวา (Side Right Hip, SRH) มอเตอร์ที่ข้อเท้าซ้าย (Side Left Ankle, SLA) และมอเตอร์ที่ข้อเท้าขวา (Side Right Ankle, SRA)

พบว่าโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์มีความซับซ้อนมาก จึงออกแบบการสร้างโปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ใหม่ให้ใช้แบบแผนการเดิน (Pattern Walking) เข้ามาช่วยในการสร้างโปรแกรม

### แบบแผนการเดินของหุ่นยนต์

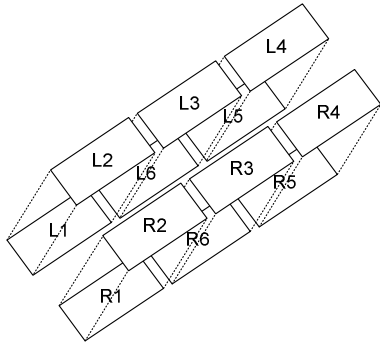
กำหนดแบบแผนการเดินตามลักษณะการเดิน และท่าทางของมนุษย์ เพื่อให้สามารถสร้างโปรแกรมควบคุมการเดินได้ง่ายขึ้น หลังจากที่ได้ศึกษาได้แบ่งการความสนใจออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ



รูปที่ 7. แสดงท่าทางและตำแหน่งการวางเท้า

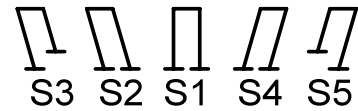
ส่วนที่ 1 ท่าทางและตำแหน่งการวางเท้า เพื่อกำหนดท่าทางลักษณะของขาและตำแหน่งของเท้าซ้ายและเท้าขวา โดยได้กำหนดให้มีไว้ 7 ท่าทาง 6 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่ L6,R6 และ L7,R7 จะมีการวางเท้าในตำแหน่งเดียวกัน แต่มีลักษณะท่าทางของขาที่แตกต่างกัน โดยตำแหน่งที่ L6,R6 จะเป็นตำแหน่งที่เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้น แต่ในตำแหน่งที่ L7,R7 จะเป็นตำแหน่งที่ขาที่อยู่ในตำแหน่งที่ L7,R7 สัมผัสพื้นเพียงข้างเดียว โดยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของขาซ้ายหรือขาขวาคือการกำหนดตำแหน่งมอเตอร์ทั้ง 3 ตัวที่อยู่ในขาแต่ละข้าง

สำหรับขาซ้ายคือ Left Hip (LH), Left Knee (LK) และ Left Ankle (LA) สำหรับขาขวาคือ Right Hip (RH), Right Knee (RK) และ Right Ankle (RA) ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมขาแต่ละข้าง โดยตำแหน่งต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 8. แสดงตำแหน่งการวางเท้าของเท้าทั้งสองข้าง

- L1, R1 เมื่อขาซ้ายหรือขาขวาวอยู่ในตำแหน่งด้านหลังของท่าขึ้นปกติ ฝ่าเท้าสัมผัสพื้น
- L2, R2 เมื่อขาซ้ายหรือขาขวาวอยู่ในตำแหน่งด้านหลังของท่าขึ้นปกติ ฝ่าเท้าไม่สัมผัสพื้น
- L3, R3 เมื่อขาซ้ายหรือขาขวาวอยู่ในตำแหน่งของท่าขึ้นปกติ ฝ่าเท้าสัมผัสพื้น
- L4, R4 เมื่อขาซ้ายหรือขาขวาวอยู่ในตำแหน่งด้านหน้าของท่าขึ้นปกติ ฝ่าเท้าไม่สัมผัสพื้น
- L5, R5 เมื่อขาซ้ายหรือขาขวาวอยู่ในตำแหน่งด้านหน้าของท่าขึ้นปกติ ฝ่าเท้าสัมผัสพื้น
- L6, R6 เมื่อขาซ้ายหรือขาขวาวอยู่ในตำแหน่งของท่าขึ้นปกติ ฝ่าเท้าสัมผัสพื้น
- L7, R7 เมื่อขาซ้ายหรือขาขวาวอยู่ในตำแหน่งของท่าขึ้นปกติ ฝ่าเท้าสัมผัสพื้น ขาอีกด้านลอยจากพื้น



รูปที่ 9. แสดงท่าทางการถ่ายน้ำหนักของหุ่นยนต์

ส่วนที่ 2 การถ่ายน้ำหนักของหุ่นยนต์เพื่อ กำหนดท่าทางลักษณะของขาและตำแหน่งของเท้าทั้งสองข้างที่ทำงานพร้อมกัน โดยได้กำหนดคิให้มีไว้ 5 ท่าทาง 3 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่ S1, S2 และ S4 จะมีการวางเท้าทั้งสองข้างในตำแหน่งเดียวกัน เท้าทั้งสองข้างจะต้องสัมผัสพื้น แต่มีลักษณะท่าทางที่แตกต่างกัน โดยตำแหน่งที่ S1 เป็นตำแหน่งที่น้ำหนักถ่ายลงระหว่างเท้าทั้งสองข้าง ตำแหน่งที่ S2 เป็นตำแหน่งที่น้ำหนักถ่ายลงเท้าซ้าย ตำแหน่งที่ S4 เป็นตำแหน่งที่น้ำหนักถ่ายลงเท้าขวา ในตำแหน่งที่ S2 และ S3 หรือ ตำแหน่งที่ S4 และ S5 จะมีท่าทางที่ใกล้เคียงกันแต่ในตำแหน่งที่ S2, S4 เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้น แต่ในตำแหน่งที่ S3, S5 จะเป็นตำแหน่งที่มีเท้าสัมผัสพื้นเพียงเท้าเดียว โดยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการถ่ายน้ำหนักคือการกำหนดตำแหน่งมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวที่อยู่ในขาทั้งสองข้าง สำหรับขาซ้ายคือ Side Left Hip (SLH) และ Side Left Ankle (SLA) สำหรับขาขวาคือ Side Right Hip (SRH) และ Side Right Ankle (SRA) ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการถ่ายน้ำหนักของขาทั้งสองข้าง โดยตำแหน่งต่างๆมีรายละเอียดดังนี้

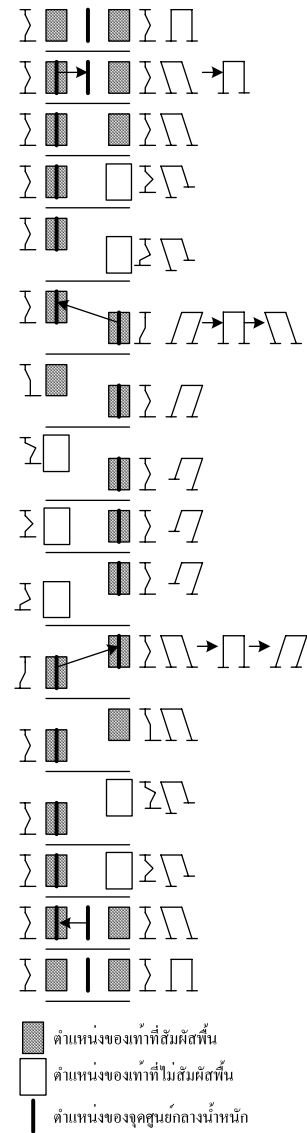
- S1 เมื่อขึ้นตัวตรงในสภาวะพร้อมเดินเท้าทั้งสองสัมผัสพื้น
- S2 เมื่อขึ้นถ่ายน้ำหนักไปไว้ที่เท้าซ้าย เท้าทั้งสองสัมผัสพื้น

- S3 เมื่อยื่นถ่ายน้ำหนักไปไว้ที่เท้าซ้าย เท้าซ้ายสัมผัสพื้น เท้าขวาลอยจากพื้น
- S4 เมื่อยื่นถ่ายน้ำหนักไปไว้ที่เท้าขวา เท้าทั้งสองสัมผัสพื้น
- S5 เมื่อยื่นถ่ายน้ำหนักไปไว้ที่เท้าขวา เท้าขวาสัมผัสพื้น เท้าซ้ายลอยจากพื้น

หลังจากที่ได้ทำการพิจารณาการเดินของหุ่นยนต์แล้ว สามารถแบ่งแต่ละส่วนออกเป็น State ย่อยๆ โดยสามารถแบ่งการทำงานของขาซ้ายและขาขวาได้อย่างละ 7 State และแบ่งการทำงานของกรถ่ายน้ำหนักได้อีก 5 State เมื่อนำลักษณะการทำงานของขาซ้าย ขาขวาและการถ่ายน้ำหนักมาจัดเรียงกันเป็นแบบแผนการเดินของหุ่นยนต์ จะได้แบบแผนการเดินดังตารางนี้

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

รูปที่ 10. ตารางแสดงแผนการเดินของหุ่นยนต์



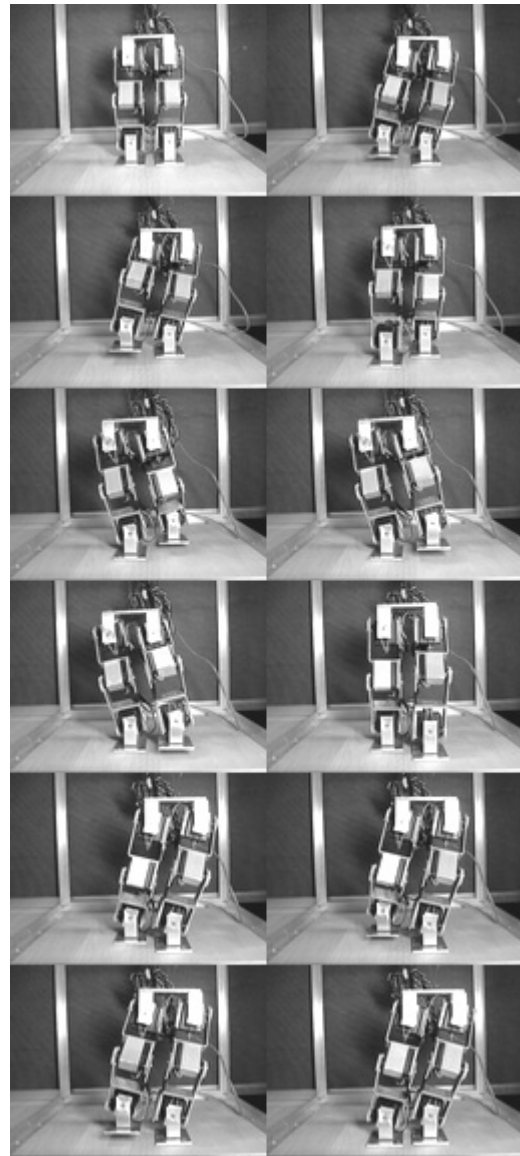
รูปที่ 11. แสดงแผนการเดินของหุ่นยนต์ทั้ง 17 ขั้นตอน

จากแบบแผนการเดินจะทำให้ได้โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ที่ต้องการได้โดยการหาตำแหน่งของมอเตอร์ตาม State ที่กำหนดไว้ พบว่าในบางขั้นตอนมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของมอเตอร์พร้อมกันทั้ง 10 ตัว แต่การแยกกันวิเคราะห์ในแต่ละ State ทำให้สามารถหาตำแหน่งของมอเตอร์ที่ต้องการได้ง่าย แบบแผนการเดินของหุ่นยนต์ที่ได้จะประกอบด้วยตัวเลขตำแหน่งมอเตอร์ต่างๆจำนวน 170 ตัวเลข ที่มีขนาดเล็กกว่าโปรแกรมจริงที่ต้องการถึง 10,880 ตัวมาก ดังนั้นเมื่อต้องการนำแบบแผนการเดินไปสร้างเป็นโปรแกรมการเดินต้องเริ่มต้นด้วยการกำหนดช่วงเวลาการทำงาน

ในแต่ละขั้นตอน เช่น ให้ใช้เวลา 1 วินาที ดังนั้นโปรแกรมที่ได้จะมีความยาว 17 วินาที ค่าตำแหน่งของมอเตอร์ในระหว่างการเปลี่ยนขั้นตอนแต่ละขั้นตอนที่เวลา 1 วินาที จะใช้วิธีการ Interpolation เพื่อให้ได้ค่าตำแหน่งของมอเตอร์ที่ละเอียดมากขึ้น ก็จะได้ค่าตำแหน่งของมอเตอร์ที่ต้องการทั้งหมด แบบแผนการเดินประกอบขึ้นจาก State ต่างๆ ที่ได้ทำการแบ่งไว้แล้ว ดังนั้นเราสามารถเปลี่ยนแบบแผนการเดินได้โดยนำ State ที่มีอยู่มาทำการจัดเรียงใหม่ตามที่เราต้องการได้ นอกจากนี้แบบแผนการเดินที่ประกอบด้วยตัวเลขทั้งหมด 170 ตัวเลขสามารถสร้างได้จาก ตำแหน่งของมอเตอร์ใน State ต่างๆ ค่าตำแหน่งของมอเตอร์ของ State L1 ถึง L7 ต้องการ 21 ตัว State R1 ถึง R7 ต้องการอีก 21 ตัว State S1 ถึง S5 ต้องการ 20 ตัว รวมทั้งหมดต้องการเพียง 62 ตัวเท่านั้น

#### ผลลัพธ์ที่ได้

สามารถโปรแกรมให้หุ่นยนต์สองขาเดินได้ด้วยการกำหนดชุดตัวเลขทั้งหมด 62 ตัว โดยใช้เวลาไม่มากในการที่จะค้นหาตำแหน่งของแต่ละ State ตามที่ได้กำหนดเงื่อนไขไว้ ทำให้สามารถที่จะทดลองโปรแกรมการเดินหุ่นยนต์ได้อย่างรวดเร็ว และสามารถปรับแต่งโปรแกรมที่ทำการทดลองได้ทันที รูปต่อไปนี้แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ที่สร้างจากแบบแผนการเดินของหุ่นยนต์



รูปที่ 12. แสดงหุ่นยนต์กำลังก้าวเดินตามแผนการเดิน

#### สรุป

โปรแกรมควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ที่ได้จะทำตามแบบแผนการเดินที่ได้กำหนดไว้ ถ้าต้องการการเดินในรูปแบบอื่นจะต้องทำการกำหนดแบบแผนขึ้นใหม่ ซึ่งอาจทำให้ State ต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ไม่เหมาะสมกับแบบแผนที่ต้องการสร้างใหม่ได้ State ต่างๆ ที่ได้ทำการแบ่งไว้จะมีเพียงพอต่อการใช้งานในปัจจุบันแต่ถ้าต้องการให้การก้าวเดินดูสวยงามมากขึ้นต้องทำการเพิ่ม State ในแต่ละกลุ่ม นอกจากนี้เรายังสามารถลด State ลงได้ในกรณีที่หุ่นยนต์ที่ทำการสร้างขึ้นมีความสมดุล

ซ้ำๆ แทนกันทำให้ค่าของ State ซ้ำ และค่าของ State ขวามีค่าเท่ากัน สามารถลดจำนวนตัวเลขที่ต้องการใช้งานลงได้ถึง 21 ตัว การออกแบบโปรแกรมการเดินหุ่นยนต์ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อต้องการที่นำระบบไปเชื่อมต่อกับระบบสังเคราะห์โปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เนื่องจากโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์สองขาที่มีจำนวน 10 จุดหมุน โปรแกรมที่ต้องการค้นหาจะมีความซับซ้อนสูงมาก ทำให้โอกาสที่จะพบโปรแกรมที่ต้องการน้อยมาก จึงต้องทำการลดขนาดของการค้นหาโดยการออกแบบการโปรแกรมการเดินใหม่ให้โปรแกรมมีขนาดเล็กแต่มีประสิทธิภาพสูง

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Arakawa, T. ; and Fukuda, T. (1996). Natural motion trajectory generation of biped locomotion robot using genetic algorithm through energy optimization. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2: 1495 - 1500.
- [2] Arakawa, T. ; Fukuda, T. (1997). Natural motion generation of biped locomotion robot using hierarchical trajectory generation method consisting of GA, EP layers. IEEE International Conference on Robotics and Automation 1: 211 - 216.
- [3] Cabodevila, G. ; and Abba, G. (1997). Quasi optimal gait for a biped robot using genetic algorithm. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 4: 3960 - 3965.
- [4] Chanchai, Chaisukkosol. ; and Prabhas, Chongstitvatana. (2001). Automatic Synthesis of Robot Programs for a Biped Static Walker by Evolutionary Computation. Asian Symposium on Industrial Automation and Robotics
- [5] Goldberg, D.E. (1989). Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison Wesley.
- [6] Hirai, K. ; Hirose, M. ; Haikawa, Y. ; and Takenaka, T. (1998). The development of Honda humanoid robot. IEEE International Conference on Robotics and Automation 2: 1321 - 1326.
- [7] Konno, A. ; Kato, N. ; Shirata, S. ; Furuta, T. ; and Uchiyama, M. (2000). Development of a light-weight biped humanoid robot. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 3: 1565 - 1570.
- [8] Kuroki, Y. (2001). A small biped entertainment robot. International Symposium on Micromechatronics and Human Science 1: 3 - 4.
- [9] Qiang, Huang. ; Yokoi, K. ; Kajita, S. ; Kaneko, K. ; Arai, H. ; Koyachi, N. ; and Tanie, K. (2001). Planning walking patterns for a biped robot. IEEE Transactions on Robotics and Automation 3: 280 - 289.
- [10] Sang-Ho, Choi. ; Young-Ha, Choi. ; and Jin-Geol, Kim. (1999). Optimal walking trajectory generation for a biped robot using genetic algorithm. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 3: 1456 - 1461.
- [11] Sias, F.R., Jr. ; and Zheng, Y.F. (1990). How many degrees-of-freedom does a biped need? IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems 1: 297 - 302.
- [12] Sorao, K. ; Murakami, T. ; and Ohnishi, K. (1997). A unified approach to ZMP and gravity center control in biped dynamic stable walking. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics 1: 112.