

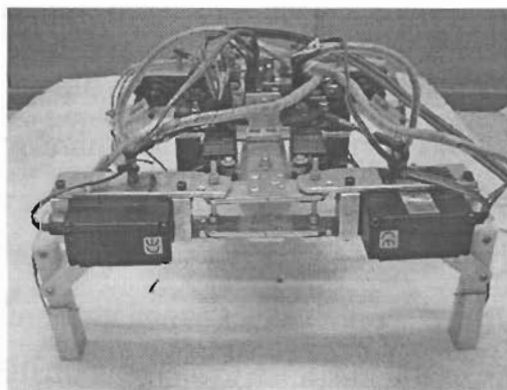
บทที่ 4

การออกแบบงานวิจัย

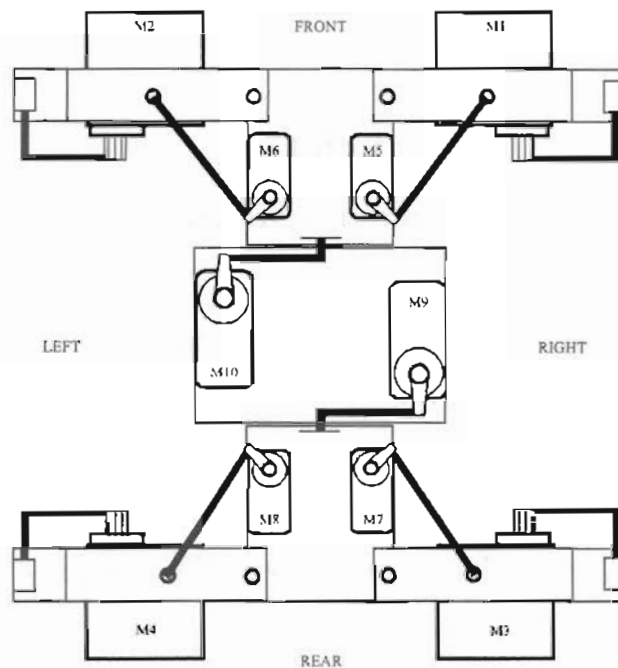
ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบงานวิจัยซึ่งประกอบด้วยเนื้อหา 5 ส่วนคือ ส่วนแรกกล่าวถึงหุ่นยนต์ QNB-I หุ่นยนต์สี่ขาที่ใช้ในการทดลอง เป็นการอธิบายส่วนประกอบต่าง ๆ โครงสร้างของหุ่นยนต์และกลไกการทำงานของส่วนประกอบเหล่านั้น ส่วนที่ 2 กล่าวถึงสิ่งกีดขวางที่ใช้ในการทดลอง ส่วนที่ 3 กล่าวถึงวิธีการควบคุมหุ่นยนต์ การกำหนดคำสั่งและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้การควบคุมหุ่นยนต์ให้เดินไปข้างหน้าและเดินข้ามสิ่งกีดขวางได้ ส่วนที่ 4 กล่าวถึงการสร้างแบบจำลองสามมิติของหุ่นยนต์ด้วย Open Dynamics Engine (ODE) สำหรับส่วนสุดท้ายกล่าวถึงการใช้ข่ายงานระบบประสาทควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติ

4.1 หุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง

หุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลองคือหุ่นยนต์สี่ขา QNB-I ซึ่งถูกออกแบบให้มีลักษณะและท่าทางการเคลื่อนที่คล้ายกับสัตว์เลื้อยคลาน จำพวกเต่า โดยจุดเด่นของหุ่นยนต์ QNB-I ก็คือมีขาที่กางออกด้านข้างลำตัว ก้าวขาในลักษณะของการกวาดไปในแนวระดับ และใช้การบิดลำตัวช่วยในการยกขา ส่วนประกอบและชิ้นส่วนโครงสร้างของหุ่นยนต์ทำจากอลูมิเนียมและพลาสติก ภาพถ่ายของหุ่นยนต์จริงแสดงในภาพที่ 4-1 ส่วนการอธิบายถึงโครงสร้างและตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์แสดงในภาพที่ 4-2



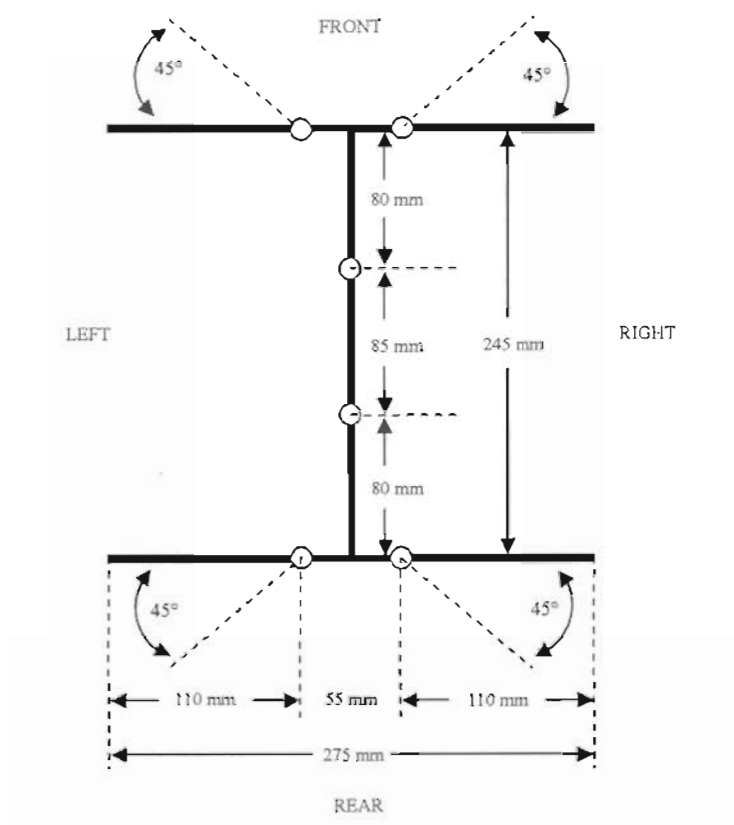
ภาพที่ 4-1 ภาพถ่ายของหุ่นยนต์ QNB-I ที่ใช้ในการทดลอง



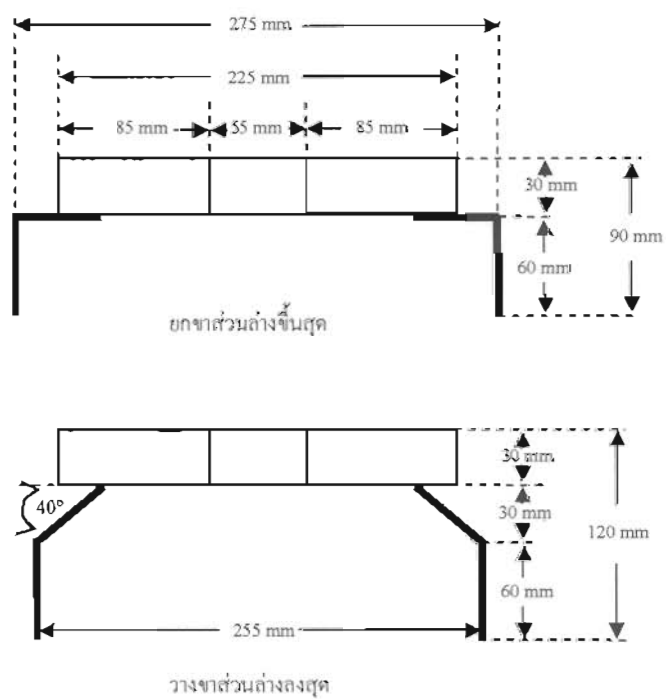
ภาพที่ 4-2 ส่วนประกอบและโครงสร้างของหุ่นยนต์

ในภาพที่ 4-2 แสดงส่วนประกอบและโครงสร้างของหุ่นยนต์ โดยกลไกการทำงานทั้งหมดใช้เซอร์โวมอเตอร์จำนวน 10 ตัว ซึ่งแขนของเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Horn) แต่ละตัวจะเชื่อมต่ออยู่กับคันชักคันส่ง ทำหน้าที่ดึงหรือดันชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ด้วยให้เคลื่อนที่ อันจะส่งผลให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ ในกลไกการยกขาใช้เซอร์โวมอเตอร์จำนวน 4 ตัว กลไกการก้าวขาใช้เซอร์โวมอเตอร์จำนวน 4 ตัว และกลไกการบิดตัวใช้เซอร์โวมอเตอร์จำนวน 2 ตัว สำหรับกลไกการยกขาและกลไกการบิดตัวใช้เซอร์โวมอเตอร์ยี่ห้อ GWS รุ่น S04 BBM มีความยาว 54.4 มิลลิเมตร กว้าง 26.5 มิลลิเมตร และสูง 51.5 มิลลิเมตร น้ำหนัก 114 กรัม แรงบิด 13.00 kg.-cm. สำหรับกลไกการก้าวขาใช้เซอร์โวมอเตอร์ยี่ห้อ FUTABA รุ่น S3003 ซึ่งมีความยาว 41 มิลลิเมตร กว้าง 20 มิลลิเมตร และสูง 36 มิลลิเมตร น้ำหนัก 37.2 กรัม แรงบิด 4.1 kg.-cm. อุปกรณ์ตรวจจับการชนติดตั้งไว้กับขาของหุ่นยนต์ทั้ง 4 ข้าง โดยแต่ละข้างติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการชน 2 ตัว คือ บริเวณใต้ขาเพื่อตรวจจับการสัมผัสพื้นและบริเวณด้านหน้าของขาเพื่อตรวจจับการชนสิ่งกีดขวาง

หุ่นยนต์มีขนาดโดยประมาณดังนี้คือ กว้าง 27.5 เซนติเมตร ยาว 24.5 เซนติเมตร และขณะบิดขาเพื่อยกตัวขึ้นสุดมีความสูง 12 เซนติเมตร ขณะลดตัวลงต่ำสุดมีความสูง 9 เซนติเมตร น้ำหนักโดยประมาณ 1,500 กรัม ขาส่วนล่างแต่ละข้างมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม ยาว 6 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัด 10 x 8 มิลลิเมตร แสดงในภาพที่ 4-3 และภาพที่ 4-4 โดยวงจรควบคุมได้ถูกติดตั้งไว้บริเวณส่วนบนของลำตัวช่วงกลาง



ภาพที่ 4-3 ขนาดและองศาการหมุนของหุ่นยนต์มุมมองจากด้านบน



ภาพที่ 4-4 ขนาดและองศาการหมุนของหุ่นยนต์มุมมองจากด้านหน้า

เพื่อความสะดวกในการอ้างถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ จึงได้กำหนดคำย่อแทนการกล่าวถึงส่วนประกอบของหุ่นยนต์ และเซอร์โวมอเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4-1 และตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 ชื่อเรียกส่วนประกอบของหุ่นยนต์

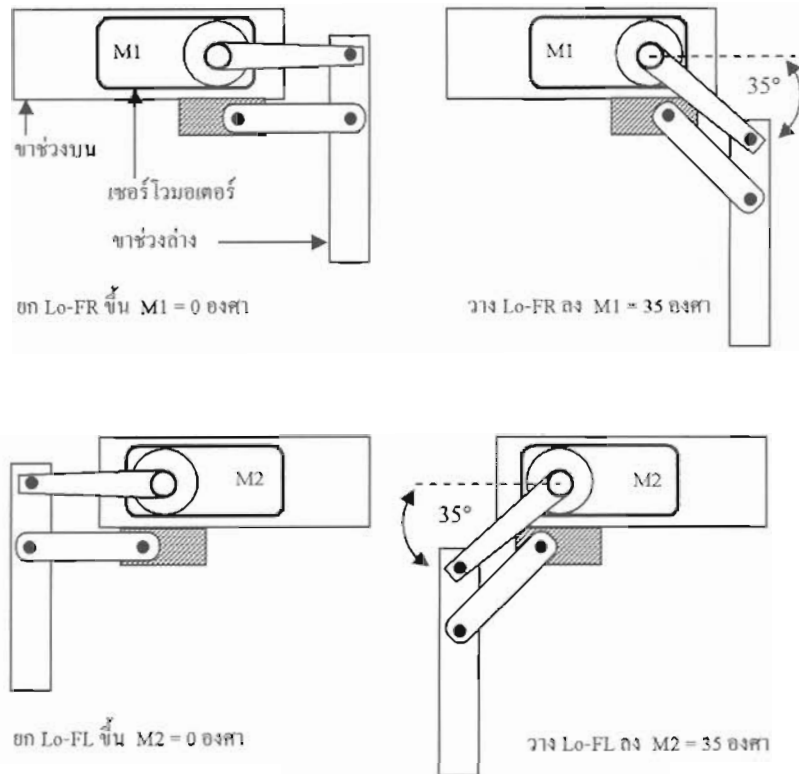
ชื่อเรียก	ความหมาย
FR	ขาหน้าข้างขวา (Front Right Leg)
FL	ขาหน้าข้างซ้าย (Front Left Leg)
RR	ขาหลังข้างขวา (Rear Right Leg)
RL	ขาหลังข้างซ้าย (Rear Left Leg)
Lo-FR	ขาหน้าข้างขวา ส่วนล่าง (Lower Front Right Leg)
Lo-FL	ขาหน้าข้างซ้าย ส่วนล่าง (Lower Front Left Leg)
Lo-RR	ขาหลังข้างขวา ส่วนล่าง (Lower Rear Right Leg)
Lo-RL	ขาหลังข้างซ้าย ส่วนล่าง (Lower Rear Left Leg)
FB	ลำตัวส่วนหน้า (Front Body)
MB	ลำตัวส่วนกลาง (Middle Body)
RB	ลำตัวส่วนหลัง (Rear Body)

ตารางที่ 4-2 ชื่อเรียกเซอร์โวมอเตอร์และรายละเอียด

ชื่อ	คำอธิบาย / หน้าที่	องศา	รหัสแทนข้อมูล
M1	เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 ยกขา Lo-FR ขึ้น-ลง	35	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
M2	เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 2 ยกขา Lo-FL ขึ้น-ลง	35	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
M3	เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 3 ยกขา Lo-RR ขึ้น-ลง	35	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
M4	เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 4 ยกขา Lo-RL ขึ้น-ลง	35	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
M5	เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 5 ก้าวขา FR หน้า-หลัง	70	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
M6	เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 6 ก้าวขา FL หน้า-หลัง	70	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
M7	เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 7 ก้าวขา RR หน้า-หลัง	70	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
M8	เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 8 ก้าวขา RL หน้า-หลัง	70	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
M9	เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 9 บิด RB ซ้าย-ขวา	60	0, 1, 2
M10	เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 10 บิด FB ซ้าย-ขวา	60	0, 1, 2

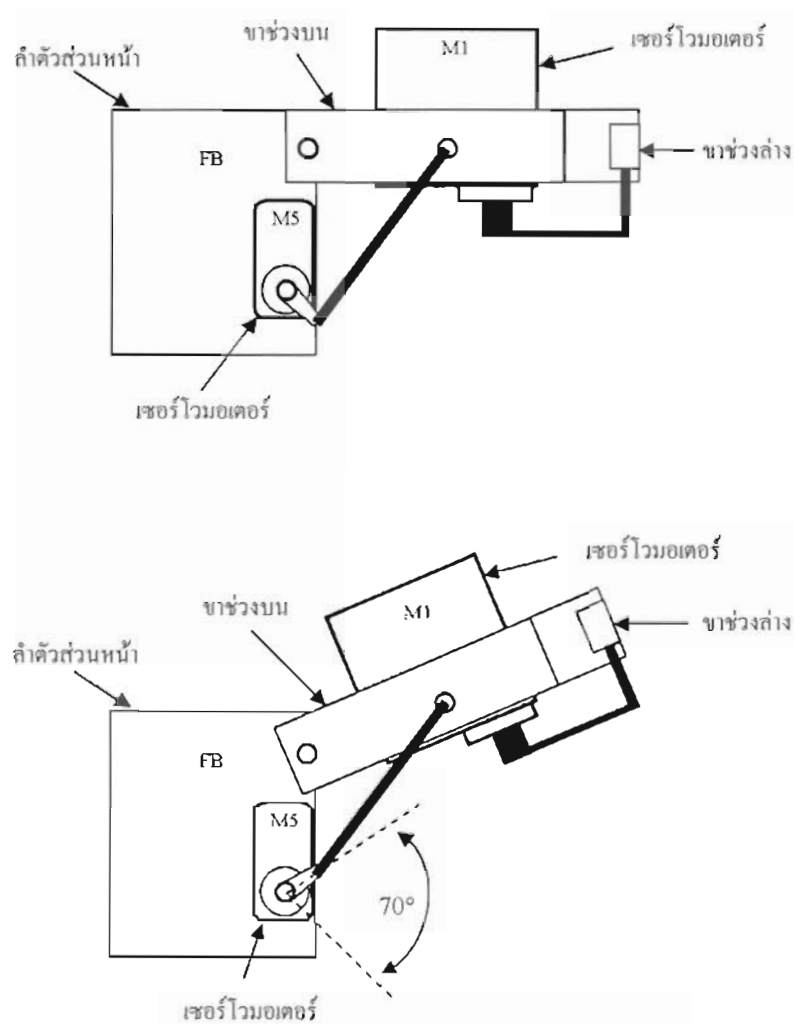
ข้อมูลในตารางที่ 4-2 คือชื่อเรียกเซอร์โวมอเตอร์และรายละเอียด โดยเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวมีองศาการหมุนไม่เท่ากัน เนื่องจากถูกติดตั้งและใช้ในกลไกการทำงานที่ต่างกัน ในส่วนของรหัสแทนการหมุนที่กำหนดเป็นตัวเลขนั้นเป็นการแทนค่าองศาการหมุนโดยการกำหนดเป็นช่วงแล้วแทนด้วยค่าตัวเลข ดังนั้นในส่วนของเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในกลไกการยกขา ซึ่งได้แก่ M1 M2 M3 และ M4 ที่มีองศาการหมุนเท่ากับ 35 องศา ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวเลขแทนองศาการหมุนที่กำหนดเป็น 9 ค่า คือ 0 1 2 3 4 5 6 7 8 จะได้จากการนำค่าองศาการหมุนที่อ่านได้จากเซอร์โวมอเตอร์หารด้วย 3.89 แล้วปัดเศษคำตอบที่ได้ให้เป็นจำนวนเต็ม (3.89 เป็นตัวเลขที่ได้จาก 35 หารด้วย 9) ส่วนเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในกลไกการก้าวขา ซึ่งได้แก่ M5 M6 M7 และ M8 ที่มีองศาการหมุนเท่ากับ 70 องศา การกำหนดตัวเลขแทนองศาการหมุนที่กำหนดเป็น 9 ค่าเช่นกัน คือ 0 1 2 3 4 5 6 7 8 จะได้จากการนำค่าองศาการหมุนที่อ่านได้จากเซอร์โวมอเตอร์หารด้วย 7.78 แล้วปัดเศษ (7.78 เป็นตัวเลขที่ได้จาก 70 หารด้วย 9) และสำหรับเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในกลไกการบิดตัว ซึ่งได้แก่ M9 และ M10 ที่มีองศาการหมุน 60 องศา การกำหนดตัวเลขแทนองศาการหมุนที่กำหนดเป็น 3 ค่าคือ 0 1 2 จะได้จากการนำค่าองศาการหมุนที่อ่านได้จากเซอร์โวมอเตอร์หารด้วย 20 แล้วปัดเศษ (20 เป็นตัวเลขที่ได้จาก 60 หารด้วย 3)

หุ่นยนต์มีกลไกการทำงานหลัก 3 กลไกคือ กลไกการยกขา กลไกการก้าวขา และกลไกการบิดตัว ซึ่งกลไกการทำงานทั้งสามกลไกนี้เมื่อทำงานสอดคล้องสัมพันธ์กันแล้วจะสามารถช่วยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าในลักษณะของการเดินได้ โดยการทำงานของกลไกการยกขาและส่วนประกอบกลไก แสดงในภาพที่ 4-5 กลไกนี้ทำหน้าที่ดันลำตัวหุ่นยนต์ขึ้น-ลง โดยการยกขาและวางขาส่วนล่าง คล้ายกับการทำงานของเข่า (knee) หรือข้อศอกของสัตว์เลื้อยคลาน ส่วนกลไกการก้าวขาและส่วนประกอบกลไกแสดงในภาพที่ 4-6 เป็นกลไกที่ทำให้ขาข้างที่ต้องการก้าวเคลื่อนที่ไปข้างหน้า-หลัง คล้ายการทำงานของข้อต่อสะโพก (hip) หรือไหล่ ส่วนกลไกการบิดตัวและส่วนประกอบกลไก แสดงในภาพที่ 4-7 ทำหน้าที่บิดลำตัวเพื่อทำให้โครงสร้างส่วนลำตัวของหุ่นยนต์พร้อมสำหรับการก้าวขา (ไม่ยุบตัวลง) ก่อนที่จะทำการยกขา



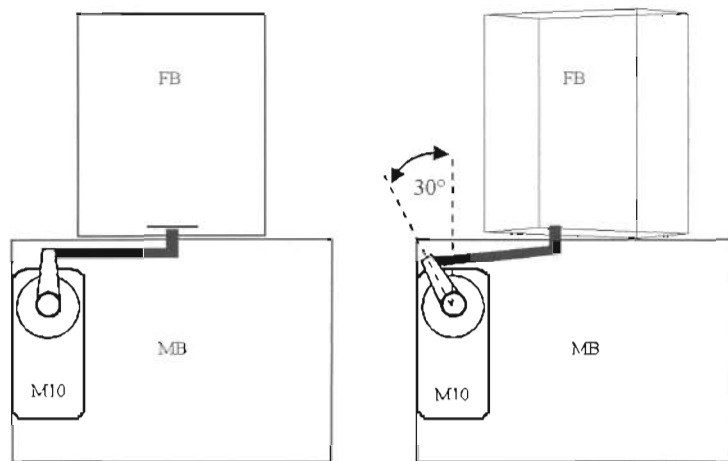
ภาพที่ 4-5 กลไกการยกขาขึ้นและการวางขา

กลไกการยกขาเป็นการยกขาส่วนล่างของขาหุ่นยนต์แต่ละข้างขึ้นและวางขาส่วนล่างแต่ละข้างลง กลไกนี้อาศัยการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ จำนวน 1 ตัว ที่เชื่อมต่อกับชิ้นส่วนขาส่วนล่าง เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้มีองศาการหมุนเท่ากับ 35 องศา โดยเมื่อแขนของเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ในตำแหน่ง 0 องศา จะเป็นการยกขาส่วนล่างที่เชื่อมต่ออยู่ขึ้นสุด และเมื่อแขนของเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ 35 องศา จะเป็นการวางขาส่วนล่างลงสุด

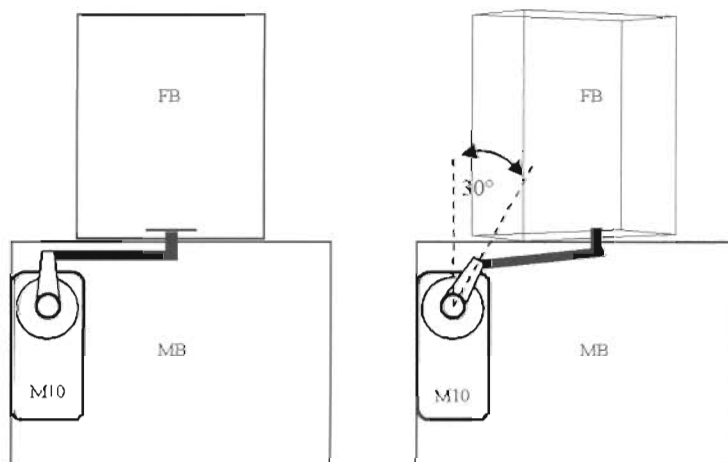


ภาพที่ 4-6 กลไกการก้าวขาสำหรับขาหน้าด้านขวา

กลไกการก้าวขาถูกควบคุมด้วยเซอร์โวมอเตอร์ 1 ตัวสำหรับขาแต่ละข้าง โดยเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้มีองศาการหมุนเท่ากับ 70 องศา และขาแต่ละข้างจะมีกลไกการก้าวขาเหมือนกันคือ ก้าวขาโดยกวาดไปในแนวระดับ แต่กลไกการก้าวขาของขาหน้าทั้งซ้ายและขวานั้นตำแหน่งที่ 8 หรือตำแหน่ง 70 องศาคือตำแหน่งที่อยู่ด้านหน้าสุด ส่วนกลไกการก้าวขาของขาหลังทั้งซ้ายและขวา ตำแหน่ง 8 หรือตำแหน่ง 70 องศาคือตำแหน่งที่อยู่ด้านหลังสุด การก้าวขาจะทำเมื่อขาข้างที่ต้องการจะก้าวนั้นยกลอยขึ้นจากพื้นแล้ว โดยพิจารณาจากเซ็นเซอร์ตรวจจับการชนที่ติดตั้งอยู่ใต้เท้าข้างนั้น



ปิดลำตัวส่วนหน้าไปด้านซ้าย



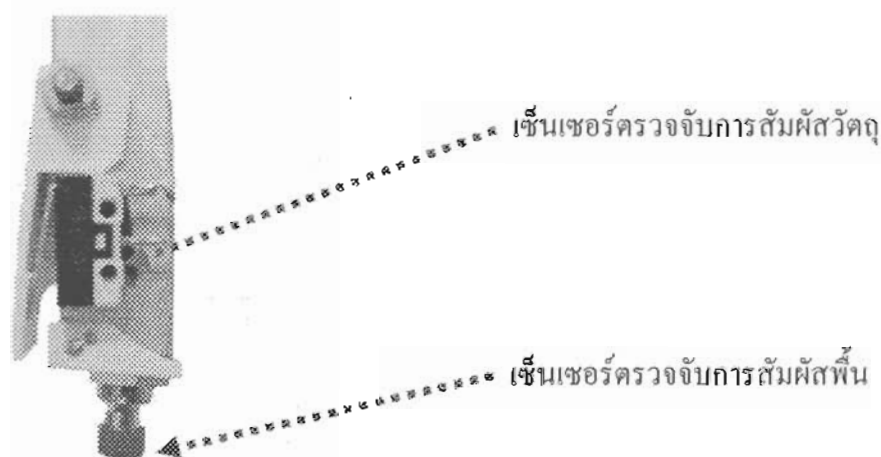
ปิดลำตัวส่วนหน้าไปด้านขวา

FB ลำตัวส่วนหน้า
MB ลำตัวส่วนกลาง
M10 เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 10

ภาพที่ 4-7 กลไกการปิดตัว

กลไกการปิดตัวเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยในการยกขา โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว คือเซอร์โวมอเตอร์ M10 สำหรับปิดลำตัวส่วนหน้าและเซอร์โวมอเตอร์ M9 สำหรับปิดลำตัวส่วนหลัง กลไกนี้มียึดการหมุนเท่ากับ 60 องศา เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนเพื่อปิดตัวไปทางด้านซ้ายจะทำให้ขา ด้านขวายกขึ้นในทางกลับกันเมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางด้านขวาจะทำให้ขา ด้านซ้ายยกขึ้น ในภาพที่ 4-7 แสดงการปิดลำตัวส่วนหน้าไปด้านซ้ายและขวาซึ่งมียึดการหมุนด้านละ 30 องศา

เซ็นเซอร์ที่ใช้ในหุ่นยนต์คือเซ็นเซอร์แบบสัมผัสหรือ Contact Switch ติดตั้งอยู่กับขาแต่ละข้างของหุ่นยนต์ข้างละ 2 ชุด โดยติดตั้งอยู่บริเวณด้านหน้าของขา 1 ชุด เพื่อตรวจจับการสัมผัสกับสิ่งกีดขวาง และติดตั้งอยู่บริเวณใต้ขาอีก 1 ชุด เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับการสัมผัสกับพื้นรองรับ จึงทำให้หุ่นยนต์มีเซ็นเซอร์ตรวจจับสัมผัสจำนวน 8 ชุด สถานะของเซ็นเซอร์ตรวจจับการสัมผัสจะมี 2 สถานะคือ สถานะที่มีการสัมผัสกับวัตถุและสถานะที่ไม่มีการสัมผัสกับวัตถุ วงจรของระบบเซ็นเซอร์เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจวัดค่าสถานะของระบบเซ็นเซอร์และแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลเพื่อส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าสัญญาณที่ใช้แทนสถานะที่มีการสัมผัสคือ 1 และค่าสัญญาณที่ใช้แทนสถานะที่ไม่มีการสัมผัสคือ 0 ส่วนตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์แต่ละชุดแสดงในภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4-8 ภาพถ่ายเซ็นเซอร์และตำแหน่งการติดตั้งกับขาหุ่นยนต์

ข้อมูลในตารางที่ 4-3 คือชื่อเรียกของเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งกับขาแต่ละข้างของหุ่นยนต์ สำหรับรหัสแทนข้อมูลของเซ็นเซอร์แต่ละตัวที่มี 2 ค่า คือ 0 และ 1 จะใช้แทนสถานะของเซ็นเซอร์แต่ละตัว โดย 0 หมายถึงไม่มีการชนกับวัตถุ ส่วน 1 หมายถึงมีการชน

ตารางที่ 4-3 ชื่อเรียกเซ็นเซอร์และรายละเอียด

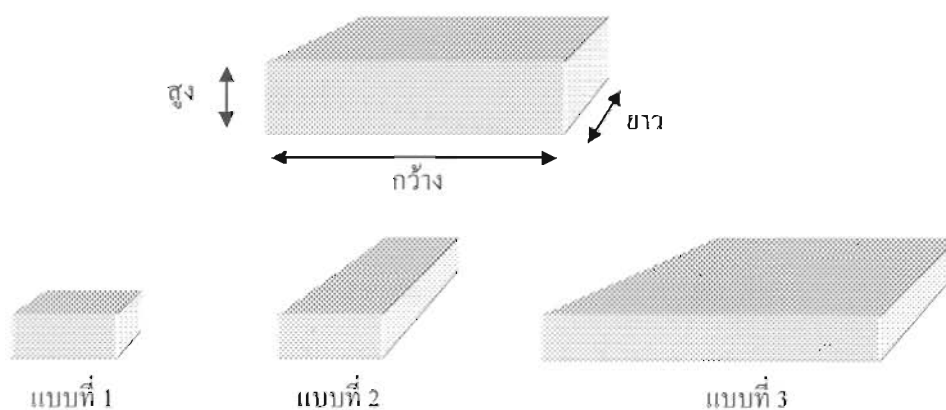
ชื่อเรียก	หน้าที่	บริเวณที่ติดตั้ง	รหัสแทนข้อมูล
S1	ตรวจจับการชนพื้นของขา FR	ใต้ Lo-FR	0, 1
S2	ตรวจจับการชนพื้นของขา FL	ใต้ Lo-FL	0, 1
S3	ตรวจจับการชนพื้นของขา RR	ใต้ Lo-RR	0, 1
S4	ตรวจจับการชนพื้นของขา RL	ใต้ Lo-RL	0, 1

ตารางที่ 4-3 (ต่อ)

ชื่อเรียก	หน้าที่	บริเวณที่ติดตั้ง	รหัสแทนข้อมูล
S5	ตรวจจับการชนวัตถุของขา FR	ด้านหน้า Lo-FR	0, 1
S6	ตรวจจับการชนวัตถุของขา FL	ด้านหน้า Lo-FL	0, 1
S7	ตรวจจับการชนวัตถุของขา RR	ด้านหน้า Lo-RR	0, 1
S8	ตรวจจับการชนวัตถุของขา RL	ด้านหน้า Lo-RL	0, 1

4.2 สิ่งกีดขวาง

สิ่งกีดขวางที่ใช้ในการทดลองเป็นแผ่นไม้รูปทรงสี่เหลี่ยม ถูกติดตั้งอยู่บนพื้นที่หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ผ่าน โดยมีทั้งหมด 3 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 4-9 ขนาดของสิ่งกีดขวางแสดงในตารางที่ 4-4 ในการทดลองจะกำหนดตำแหน่งการวางสิ่งกีดขวางตามขนาดของสิ่งกีดขวางแต่ละแบบ โดยสิ่งกีดขวางแบบที่ 1 เพื่อใช้กีดขวางการเคลื่อนที่ของขาเพียง 1 ข้าง สิ่งกีดขวางแบบที่ 2 ใช้กีดขวางการเคลื่อนที่ของขา 2 ข้าง ส่วนแบบที่ 3 ใช้สิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของขาทั้ง 4 ข้าง



ภาพที่ 4-9 สิ่งกีดขวางที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4-4 ขนาดของสิ่งกีดขวาง

แบบที่	ขนาด (เซนติเมตร)		
	สูง	กว้าง	ยาว
1	3	10	10
2	3	50	10
3	3	50	50

4.3 วิธีการควบคุมหุ่นยนต์

4.3.1 คำสั่งสำหรับควบคุมหุ่นยนต์

การควบคุมหุ่นยนต์จะพิจารณาจากข้อมูลท่าทางและสถานะของหุ่นยนต์ จากนั้นจึงใช้คำสั่งที่เหมาะสมกับข้อมูลในแต่ละสถานการณ์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการเลือกคำสั่ง คือ

- ควบคุมให้หุ่นยนต์ก้าวเดินไปด้านหน้าได้
- ควบคุมให้หุ่นยนต์ปรับระดับการยกขาเพื่อก้าวข้ามสิ่งกีดขวางได้

ทั้ง 2 วัตถุประสงค์นี้จะทำให้เกิดการควบคุมที่เหมาะสม และเนื่องจากการเดินในสภาพแวดล้อม ที่ไม่ทราบว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่ในตำแหน่งใด ดังนั้นโปรแกรมควบคุมการเดิน จำเป็นต้องมีความยืดหยุ่น เพื่อให้สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้หลากหลายสถานการณ์ ในแต่ละครั้งของการควบคุมจึงใช้คำสั่งย่อยเพียง 1 คำสั่งที่เหมาะสมกับสถานะของหุ่นยนต์ ซึ่งจากการออกแบบ และทดลองควบคุมหุ่นยนต์สามารถรวบรวมคำสั่งที่ใช้งานจริงได้จำนวน 23 คำสั่งตามตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 คำสั่งทั้งหมดที่ใช้สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์

ลำดับ	คำสั่ง	เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้	คำอธิบายการทำงาน
1	M1(0)	M1	หมุนไปที่ตำแหน่ง 0 เพื่อยก Lo-FR ขึ้นสูงสุด
2	M1(8)	M1	หมุนไปที่ตำแหน่ง 8 เพื่อวาง Lo-FR ลงต่ำสุด
3	M2(0)	M2	หมุนไปที่ตำแหน่ง 0 เพื่อยก Lo-FL ขึ้นสูงสุด
4	M2(8)	M2	หมุนไปที่ตำแหน่ง 8 เพื่อวาง Lo-FL ลงต่ำสุด
5	M3(0)	M3	หมุนไปที่ตำแหน่ง 0 เพื่อยก Lo-RR ขึ้นสูงสุด
6	M3(8)	M3	หมุนไปที่ตำแหน่ง 8 เพื่อวาง Lo-RR ลงต่ำสุด
7	M4(0)	M4	หมุนไปที่ตำแหน่ง 0 เพื่อยก Lo-RL ขึ้นสูงสุด
8	M4(8)	M4	หมุนไปที่ตำแหน่ง 8 เพื่อวาง Lo-RL ลงต่ำสุด
9	M5(8)	M5	หมุนไปที่ตำแหน่ง 8 เพื่อก้าวขา FR ไปหน้าสุด
10	M6(8)	M6	หมุนไปที่ตำแหน่ง 8 เพื่อก้าวขา FL ไปหน้าสุด
11	M7(2)	M7	หมุนไปที่ตำแหน่ง 2 เพื่อก้าวขา RR ไปด้านหน้า
12	M8(2)	M8	หมุนไปที่ตำแหน่ง 2 เพื่อก้าวขา RL ไปด้านหน้า
13	M9(0)	M9	หมุนไปที่ตำแหน่ง 0 เพื่อบิด RB ไปทางซ้าย
14	M9(1)	M9	หมุนไปที่ตำแหน่ง 1 เพื่อบิด RB อยู่ตรงกลาง
15	M9(2)	M9	หมุนไปที่ตำแหน่ง 2 เพื่อบิด RB ไปทางขวา
16	M10(0)	M10	หมุนไปที่ตำแหน่ง 0 เพื่อบิด FB ไปทางซ้าย

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

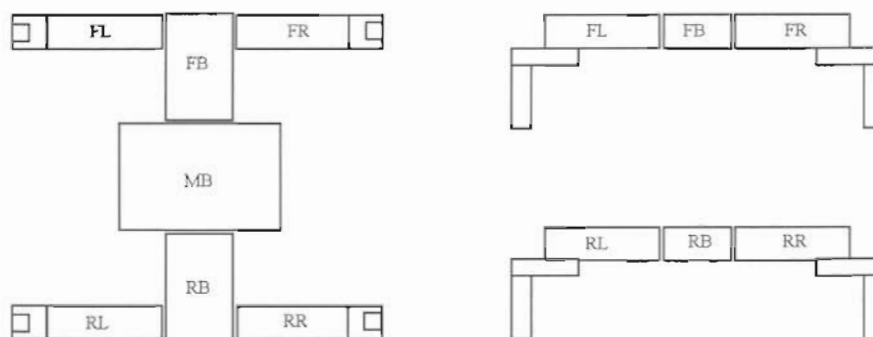
ลำดับ	คำสั่ง	เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้	คำอธิบายการทำงาน
17	M10(1)	M10	หมุนไปที่ตำแหน่ง 1 เพื่อบิด FB อยู่ตรงกลาง
18	M10(2)	M10	หมุนไปที่ตำแหน่ง 2 เพื่อบิด FB ไปทางขวา
19	MF	M5, M6, M7, M8	ถ่าน้ำหนักไปด้านหน้า
20	MB	M5, M6, M7, M8	ถ่าน้ำหนักไปด้านหลัง
21	MU	M1, M2, M3, M4	ยกลำตัวขึ้นโดยการวางขาส่วนล่างลง
22	MD	M1, M2, M3, M4	ลดลำตัวลงโดยการยกขาส่วนล่างขึ้น
23	STOP	-	หยุดการทำงาน

ข้อมูลตามตารางที่ 4-5 คำสั่งที่ 1 – 18 เป็นคำสั่งที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เพียงตัวเดียว โดยตัวเลขในวงเล็บคือตำแหน่งที่ต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไป ดังรายละเอียดในส่วนของคำอธิบายการทำงาน ส่วนคำสั่งที่ 19 – 22 เป็นคำสั่งที่ใช้เซอร์โวมอเตอร์จำนวน 4 ตัว ทำงานพร้อมกัน คำสั่ง MF (Move Forward) เป็นคำสั่งที่ทำให้หุ่นยนต์ถ่าน้ำหนักตัวไปด้านหน้า เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ทั้ง 4 ตัวคือ M5 M6 M7 และ M8 ซึ่งเป็นเซอร์โวมอเตอร์ของกลไกการก้าวขาและจะหมุนพร้อมกันด้วยองศาที่เท่ากัน คำสั่งนี้จะทำเมื่อขาหน้าทั้ง 2 ข้าง ที่เชื่อมต่อกับเซอร์โวมอเตอร์ M5 และ M6 อยู่ที่ตำแหน่ง 8 และขาหลังทั้ง 2 ข้าง ที่เชื่อมต่อกับเซอร์โวมอเตอร์ M7 และ M8 อยู่ที่ตำแหน่ง 0 โดยการทำงานคือควบคุมให้ขาหน้าทั้ง 2 ข้างหมุนกลับไปยังตำแหน่ง 0 และควบคุมให้ขาหลังทั้ง 2 ข้างหมุนไปยังตำแหน่ง 8 คำสั่ง MB (Move Back) เป็นคำสั่งที่ทำให้หุ่นยนต์กลับสู่สถานะเริ่มต้น เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ทั้ง 4 ตัวคือ M5 M6 M7 และ M8 คำสั่งนี้จะทำเมื่อขาหน้าทั้ง 2 ข้าง ที่เชื่อมต่อกับเซอร์โวมอเตอร์ M5 และ M6 อยู่ที่ตำแหน่ง 0 และขาหลังทั้ง 2 ข้าง ที่เชื่อมต่อกับเซอร์โวมอเตอร์ M7 และ M8 อยู่ที่ตำแหน่ง 2 โดยควบคุมให้ขาหน้าทั้ง 2 ข้างหมุนไปยังตำแหน่ง 2 และขาหลังทั้ง 2 ข้าง หมุนไปยังตำแหน่ง 0 คำสั่ง MU (Move Up) เป็นคำสั่งที่ทำให้หุ่นยนต์ยกลำตัวขึ้นโดยการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ M1 M2 M3 และ M4 ให้หมุนไปยังตำแหน่ง 8 คำสั่ง MD (Move Down) เป็นคำสั่งที่ทำให้หุ่นยนต์ลดลำตัวลงโดยการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ M1 M2 M3 และ M4 ให้หมุนไปยังตำแหน่ง 0 ส่วนคำสั่งสุดท้ายคือ STOP เป็นการสั่งให้หุ่นยนต์หยุดการทำงานเนื่องจากไม่สามารถก้าวข้ามสิ่งกีดขวางได้

4.3.2 ขั้นตอนการเดินของหุ่นยนต์

การเดินคือการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวในระบบของหุ่นยนต์ที่สอดคล้องสัมพันธ์กัน โดยเมื่อเซอร์โวมอเตอร์ทำงานจะส่งผลให้ส่วนประกอบของหุ่นยนต์ที่เชื่อมต่อกับแกนของเซอร์โ

มอเตอร์ตัวนั้นเคลื่อนที่ ตามกลไกการทำงาน 3 กลไกที่อธิบายไว้ข้างต้น สถานะของเซ็นเซอร์ตรวจจับการชนใช้ในการตรวจสอบพื้นที่และสิ่งกีดขวาง



ข้อมูลแทนท่าทางและสถานะ 18 ค่า

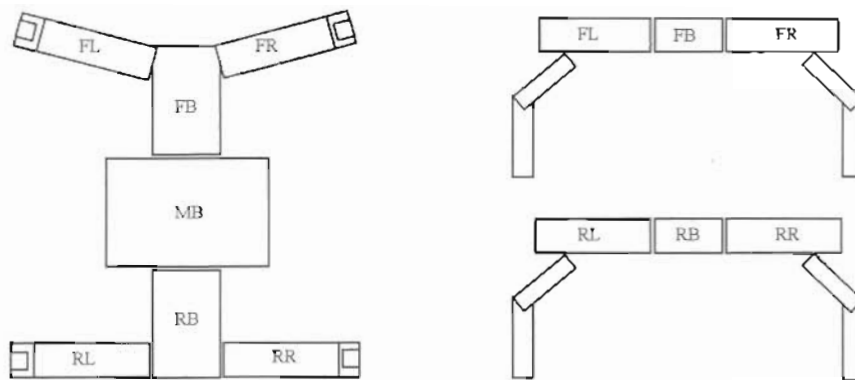
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1	1	1	1	0	0	0	0

ภาพที่ 4-10 ตัวอย่างสถานะท่าทางและข้อมูลของหุ่นยนต์

ในภาพที่ 4-10 สามารถอธิบายได้ว่า หุ่นยนต์อยู่ในสถานะยกขาส่วนล่างทั้ง 4 ข้างขึ้นสุด พิจารณาจาก M1, M2, M3 และ M4 ที่มีค่าเป็น 0 ทำให้ความสูงของหุ่นยนต์อยู่ในระดับต่ำสุด ขาหน้าทั้ง 2 ข้างและขาหลังทั้ง 2 ข้างอยู่ในตำแหน่ง 0 พิจารณาจาก M5, M6, M7 และ M8 ไม่มีการบิดตัว พิจารณาจาก M9 และ M10 ขาทั้ง 4 ข้างอยู่บนพื้นรองรับ พิจารณาจาก S1, S2, S3 และ S4 และไม่มีการชนกับวัตถุ พิจารณาจาก S1, S2, S3 และ S4

การออกแบบท่าทางการเดินแบบ Crawling Gait สำหรับหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลองนั้น ในขั้นแรกจะพิจารณาการเดินบนพื้นราบที่ไม่มีสิ่งกีดขวางก่อน โดยจะกำหนดท่าทางเริ่มต้นให้กับหุ่นยนต์ คือ หุ่นยนต์อยู่ในสถานะยกขาทั้ง 4 ข้างออกสุด ไม่มีการบิดลำตัว และจัดให้ขา FR และ FL อยู่ที่ตำแหน่ง 2 ดังแสดงในภาพที่ 4-11 เพื่อช่วยให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ภายในพื้นที่รองรับน้ำหนักอย่างแน่นหนาเมื่อมีการบิดตัวเพื่อยกขาข้างหน้า หลังจากนั้นจึงกำหนดขั้นตอนการเดินโดยใช้การเลือกคำสั่งควบคุมที่เหมาะสมกับสถานะท่าทางของหุ่นยนต์ในขณะนั้น โดยเมื่อทำการควบคุมเสร็จสิ้นในแต่ละคำสั่งจะส่งผลให้สถานะท่าทางของหุ่นยนต์เปลี่ยนไป สำหรับการเดินบนพื้นราบนี้จะควบคุมแบบต่อเนื่องจนกระทั่งสามารถทำให้หุ่นยนต์เดินไปข้างหน้าได้ 1 ก้าว และกลับมาอยู่ในสถานะเริ่มต้นอีกครั้ง



ข้อมูลแทนท่าทางและสถานะ 18 ค่า

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
8	8	8	8	2	2	0	0	1	1

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1	1	1	1	0	0	0	0

ภาพที่ 4-11 สถานะท่าทางเริ่มต้นของหุ่นยนต์

สำหรับการก้าวเดินแบบ Crawling gait บนพื้นราบที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง ประกอบด้วย 14 ขั้นตอนจำนวน คำสั่ง การควบคุมจำเป็นต้องทำตามลำดับ จึงจะสามารถควบคุมให้หุ่นยนต์ก้าวเดินไปข้างหน้าได้ ดังข้อมูลในตารางที่ 4-6 ซึ่งแสดงการเลือกคำสั่งที่เหมาะสมกับสถานะท่าทางปัจจุบันของหุ่นยนต์และการเปลี่ยนไปสู่สถานะใหม่จากคำสั่งที่เลือก ข้อมูลในลำดับที่ 1 และ 15 คือสถานะเริ่มต้นสำหรับการเดิน โดยเมื่อทำการควบคุมครบทั้ง 14 ขั้นตอนแล้ว สถานะของแบบจำลองจะกลับมาอยู่ในสถานะเริ่มต้นอีกครั้ง

ตารางที่ 4-6 สถานะของหุ่นยนต์และคำสั่งที่เลือกสำหรับการเดินบนพื้นราบ

ลำดับ	ค่าสถานะของหุ่นยนต์																		คำสั่ง ถัดไป
	เซอร์โวมอเตอร์ M1 – M10										เซ็นเซอร์ S1 – S8								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	
1*	8	8	8	8	2	2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	M10(0)
2	8	8	8	8	2	2	0	0	1	8	8	1	1	1	0	0	0	0	M5(8)
3	8	8	8	8	8	2	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	M10(1)
4	8	8	8	8	8	2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	M10(2)

* สถานะเริ่มต้น

ตารางที่ 4-6 (ต่อ)

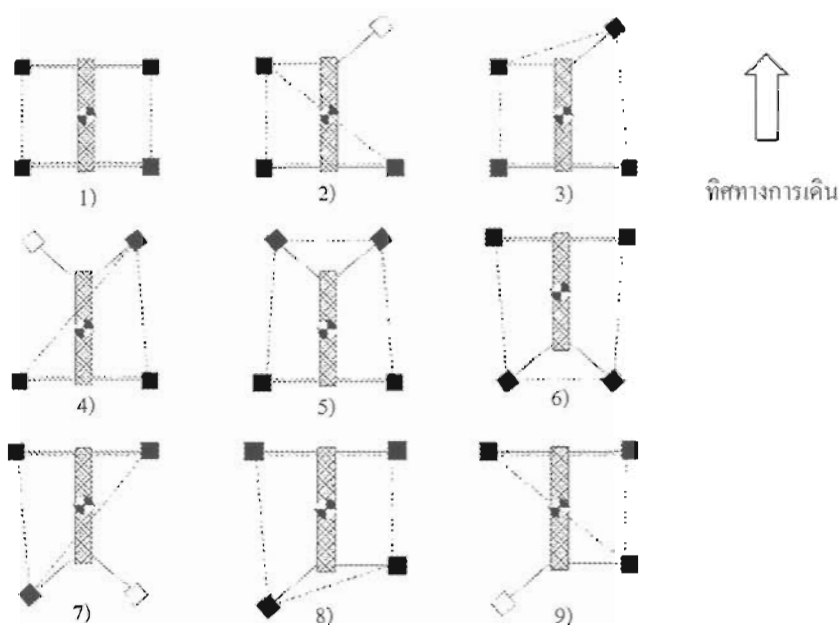
ลำดับ	ค่าสถานะของหุ่นยนต์																		คำสั่ง ถัดไป
	เซอร์โวมอเตอร์ M1 – M10										เซ็นเซอร์ S1 – S8								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	
5	8	8	8	8	8	2	0	0	1	2	1	0	1	1	0	0	0	0	M6(8)
6	8	8	8	8	8	8	0	0	1	2	1	0	1	1	0	0	0	0	M10(1)
7	8	8	8	8	8	8	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	MF
8	8	8	8	8	0	0	8	8	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	M9(0)
9	8	8	8	8	0	0	8	8	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	M7(2)
10	8	8	8	8	0	0	2	8	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	M9(1)
11	8	8	8	8	0	0	2	8	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	M9(2)
12	8	8	8	8	0	0	2	8	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	M8(2)
13	8	8	8	8	0	0	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	M9(1)
14	8	8	8	8	0	0	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	MB
15*	8	8	8	8	2	2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	M10(0)

* สถานะเริ่มต้น

การเดินบนพื้นราบจะใช้กลไกการบิดตัวช่วยในการยกขา เนื่องจากโครงสร้างของหุ่นยนต์จะทรุดตัวถ้ามีการยกขาข้างหนึ่งขึ้นโดยไม่มีการบิดตัวช่วย และจากการทดลองพบว่ากลไกการบิดตัวสามารถช่วยให้หุ่นยนต์ยกขาข้างที่สัมพันธ์กับการบิดตัวขึ้นได้ประมาณ 1 เซนติเมตร ซึ่งเพียงพอสำหรับการก้าวขา และเมื่อพิจารณาเรื่องบริเวณรองรับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเมื่อต้องทรงตัวโดยใช้ 3 ขา สามารถสร้างรูปแบบการเดินแบบ Crawling Gait สำหรับการเดินบนพื้นราบของหุ่นยนต์สี่ขา โดยในภาพที่ 4-12 แสดงขั้นตอนของการเดินบนพื้นราบที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง

4.3.3 การเดินข้ามสิ่งกีดขวาง

การเดินข้ามสิ่งกีดขวางใช้รูปแบบการเดินแบบ Crawling Gait เช่นเดียวกับการเดินบนพื้นราบที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง แต่ขั้นตอนในการเดินและคำสั่งที่เลือกใช้จะต่างออกไป ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่เซ็นเซอร์ของขาแต่ละข้างตรวจพบ โดยเมื่อมีการตรวจพบสิ่งกีดขวางที่ขาข้างใดจะต้องยกขาข้างนั้นให้สูงขึ้น เพื่อที่เมื่อก้าวขาข้างนั้นต่อไปแล้วจะไม่ชนกับสิ่งกีดขวาง



ภาพที่ 4-12 ขั้นตอนสำหรับการเดินแบบ Crawling gait บนพื้นราบ

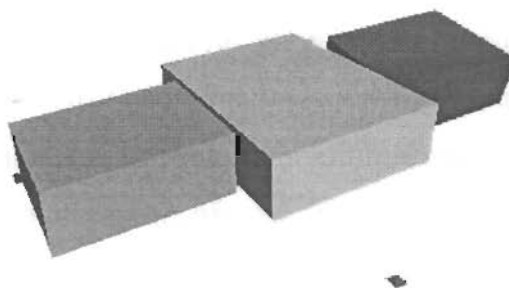
4.4 การสร้างแบบจำลองสามมิติของหุ่นยนต์

4.4.1 การสร้างแบบจำลองสามมิติของหุ่นยนต์ QNB-I

แบบจำลองที่สร้างขึ้นอ้างอิงขนาดและรูปร่างมาจากหุ่นยนต์จริงที่ใช้ในการทดลอง โดยในการสร้างแบบจำลองจะใช้รูปทรงพื้นฐานคือกล่องสี่เหลี่ยม ซึ่งนำมาเชื่อมต่อกันตามโครงสร้างและจุดเชื่อมต่อของวัตถุแต่ละชิ้นเป็นประเภทที่เหมาะสมกับการเชื่อมต่อของส่วนประกอบในหุ่นยนต์จริง การสร้างแบบจำลองเริ่มจากสร้างส่วนของลำตัวก่อน จากนั้นจึงสร้างขาแต่ละข้างและนำมาเชื่อมต่อกับส่วนของลำตัว

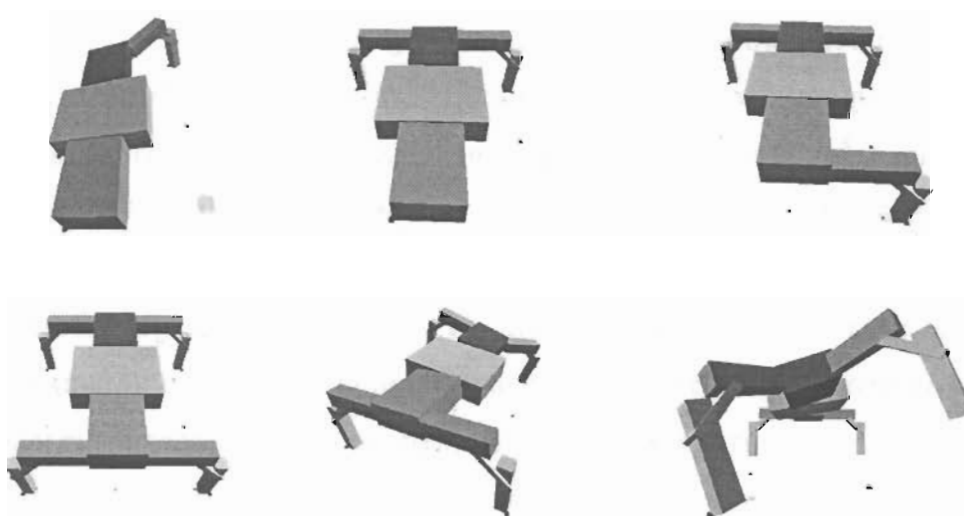
จากโครงสร้างของหุ่นยนต์ QNB-I ดังแสดงในภาพที่ 4-2 มีส่วนที่เป็นลำตัว 3 ส่วนคือส่วนของลำตัวส่วนหน้า (Front Body : FB) ส่วนของลำตัวส่วนกลาง (Middle Body : MB) และส่วนของลำตัวส่วนหลัง (Rear Body : RB) ที่นำมาเชื่อมต่อกันในแนวระดับและออกแบบให้สามารถบิดได้ ดังนั้นส่วนลำตัวหุ่นยนต์ของแบบจำลองจึงประกอบด้วยวัตถุรูปกล่องสี่เหลี่ยมจำนวน 3 ชิ้น และจุดเชื่อมต่อจำนวน 2 จุด เริ่มจากสร้างวัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยมตามขนาดส่วนของลำตัวส่วนหน้า คือ กว้าง 55 มิลลิเมตร ยาว 80 มิลลิเมตร และสูง 30 มิลลิเมตร สร้างวัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยมตามขนาดส่วนของลำตัวส่วนกลาง คือ กว้าง 55 มิลลิเมตร ยาว 85 มิลลิเมตร และสูง 30 มิลลิเมตร แล้วจึงนำวัตถุทั้งสองชิ้นเชื่อมต่อกันด้วยจุดเชื่อมต่อแบบบานพับ (Hinge Joint) และกำหนดให้หมุนได้รอบแกน x ซึ่งแทนการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ M10 ของหุ่นยนต์ จากนั้นสร้างวัตถุสี่เหลี่ยมตามขนาดส่วนของลำตัวส่วนหลัง ซึ่งมีขนาดเดียวกับลำตัวส่วนหน้า แล้วนำมาเชื่อมต่อกับลำตัว

ส่วนกลางด้วยจุดเชื่อมต่อแบบบานพับ และกำหนดให้หมุนได้รอบแกน x ซึ่งแทนการทำงานของ เซอร์โวมอเตอร์ M9 ของหุ่นยนต์ แบบจำลองส่วนของลำตัวทั้งสามส่วนที่สร้างและเชื่อมต่อกัน แล้วแสดงในภาพที่ 4-13



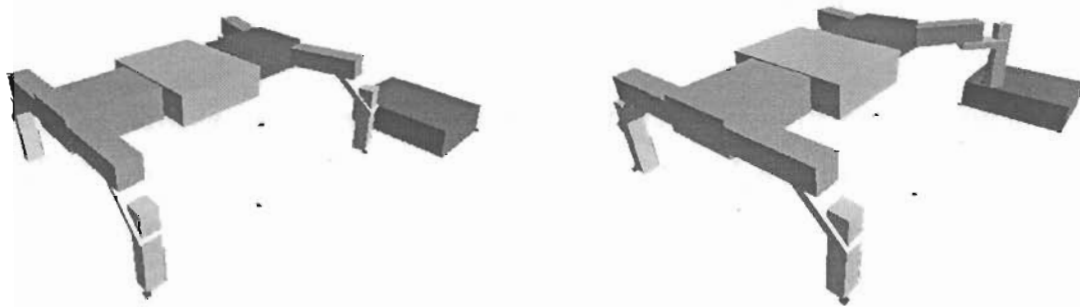
ภาพที่ 4-13 แบบจำลองสามมิติของส่วนลำตัวหุ่นยนต์

ส่วนของขาแต่ละข้าง จะประกอบด้วยวัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยมลักษณะเดียวกับส่วนประกอบ ของขาของหุ่นยนต์จริงดังแสดงในภาพที่ 4-1 แต่จะจำลองแบบมาเพียงสามชิ้นเท่านั้น โดยไม่ได้ จำลองในส่วนของแขนที่เชื่อมต่อกับแกนหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ การสร้างแบบจำลองของขา หุ่นยนต์จะเริ่มจากสร้างขาส่วนบนตามมาตราส่วนจากขาหุ่นยนต์จริงคือ ยาว 60 มิลลิเมตร ขนาด หน้าตัด 10 x 8 มิลลิเมตร จากนั้นนำส่วนของขามาเชื่อมต่อกับส่วนของลำตัว ในภาพที่ 4-14 แสดงลำดับการเชื่อมต่อขาแต่ละข้างเข้ากับส่วนของลำตัว



ภาพที่ 4-14 การเชื่อมต่อขาแต่ละข้างเข้ากับส่วนของลำตัว

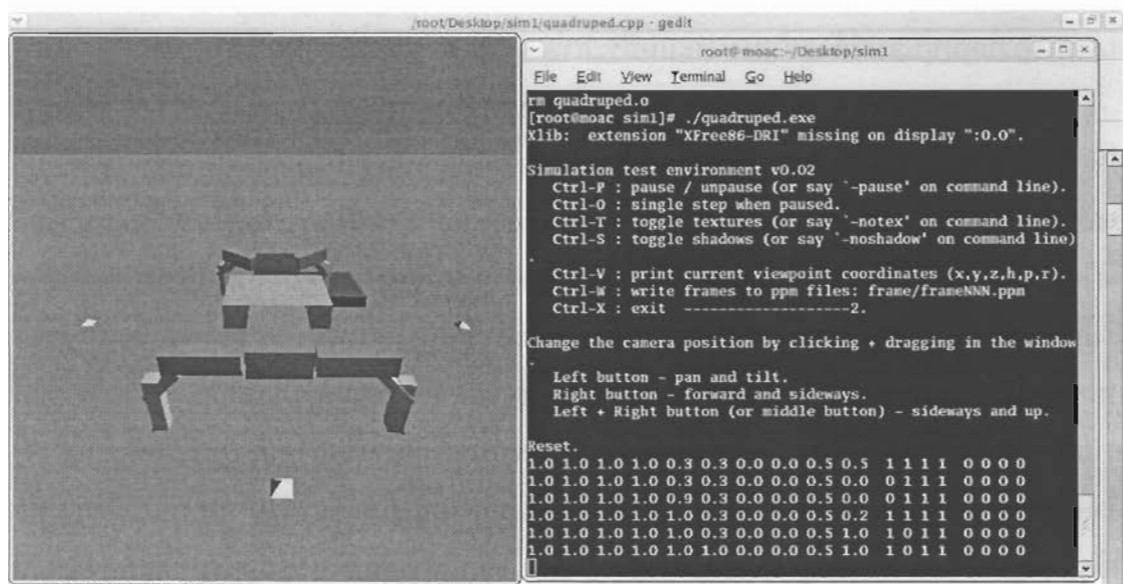
เมื่อทำการเชื่อมต่อขาทั้ง 4 ข้างเข้ากับส่วนของลำตัวเรียบร้อยแล้วจะได้แบบจำลองสามมิติของหุ่นยนต์สี่ขา QNB-I ดังแสดงในภาพที่ 4-15 จุดเชื่อมต่อที่ใช้เชื่อมต่อ Lo-FR กับ FR ทำหน้าที่เช่นเดียวกับเซอร์โวมอเตอร์ M1 จุดเชื่อมต่อที่ใช้เชื่อมต่อขา FR เข้ากับส่วนของลำตัวส่วนหน้าทำหน้าที่เช่นเดียวกับเซอร์โวมอเตอร์ M5 จุดเชื่อมต่อที่เชื่อมต่อ Lo-FL กับ FL ทำหน้าที่เช่นเดียวกับเซอร์โวมอเตอร์ M2 จุดเชื่อมต่อที่ใช้เชื่อมต่อขา FL เข้ากับลำตัวส่วนหน้าทำหน้าที่เช่นเดียวกับเซอร์โวมอเตอร์ M6 จุดเชื่อมต่อที่ใช้เชื่อมต่อ Lo-RR กับ RR ทำหน้าที่เช่นเดียวกับเซอร์โวมอเตอร์ M3 จุดเชื่อมต่อที่ใช้เชื่อมต่อขา RR เข้ากับลำตัวส่วนหลังทำหน้าที่เช่นเดียวกับเซอร์โวมอเตอร์ M7 จุดเชื่อมต่อที่ใช้เชื่อมต่อ Lo-RL กับ RL ทำหน้าที่เช่นเดียวกับเซอร์โวมอเตอร์ M4 จุดเชื่อมต่อที่ใช้เชื่อมต่อขา RL เข้ากับลำตัวส่วนหลังทำหน้าที่เช่นเดียวกับเซอร์โวมอเตอร์ M8



ภาพที่ 4-15 แบบจำลองสามมิติของหุ่นยนต์ QNB-I

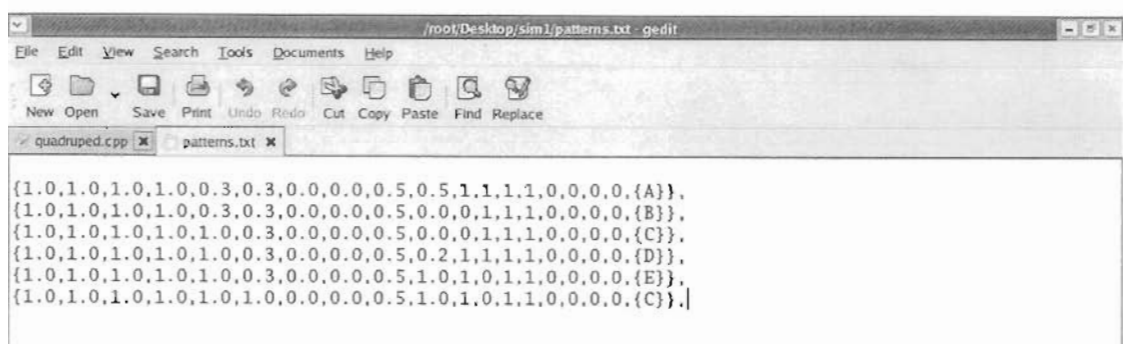
4.4.2 โปรแกรมควบคุมแบบด้วยมือ (Manual Control Program)

โปรแกรมควบคุมแบบด้วยมือ เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้ซึ่งทำหน้าที่แสดงภาพแบบจำลองสามมิติของหุ่นยนต์และค่าข้อมูลสถานะท่าทางจากแบบจำลองหุ่นยนต์ และรอรับคำสั่งควบคุมที่เหมาะสมจากผู้ใช้โดยการกดปุ่มบนแป้นพิมพ์ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4-4 โดยแป้นพิมพ์ตัว A หมายถึงคำสั่งที่ 1 แป้นพิมพ์ตัว B หมายถึงคำสั่งที่ 2 กำหนดเช่นนี้จนครบ 23 คำสั่ง ซึ่งคำสั่งสุดท้ายคือ แป้นพิมพ์ตัว W ใช้แทนคำสั่งที่ 23 ผู้ใช้จะพิจารณาข้อมูลสถานะท่าทางของหุ่นยนต์ที่ปรากฏขึ้นในรูปตัวเลขประกอบกับภาพจำลองสามมิติที่แสดงอยู่ (Patterns File) หน้าต่างโปรแกรมควบคุมแบบด้วยมือแสดงในภาพที่ 4-16 โดยภาพด้านซ้ายคือภาพแบบจำลองสามมิติของหุ่นยนต์ ภาพด้านขวาคือภาพแสดงข้อมูลตัวเลขของค่าสถานะท่าทางของแบบจำลอง และการรอรับคำสั่งจากผู้ใช้



ภาพที่ 4-16 โปรแกรมควบคุมแบบด้วยมือเพื่อรวบรวมชุดข้อมูล

เมื่อผู้ใช้เลือกคำสั่งควบคุมที่เหมาะสมกับข้อมูลสถานะท่าทางของแบบจำลองโดยการกดปุ่มบนแป้นพิมพ์แล้ว โปรแกรมควบคุมแบบด้วยมือจะบันทึกลำดับของข้อมูลสถานะท่าทางของแบบจำลองกับคำสั่งที่เลือกไว้ในแฟ้มข้อมูลเพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนและทดสอบข่ายงาน ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บแสดงในภาพที่ 4-17 ข้อมูลที่เก็บในแต่ละบรรทัดคือข้อมูล 1 รายการประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนของข้อมูลสถานะท่าทางของแบบจำลอง 18 ค่า แทนด้วยตัวเลขที่แยกด้วยเครื่องหมาย , ข้อมูลลำดับที่ 1 – 10 คือข้อมูลของจุดเชื่อมต่อจุดที่ 1 – 10 ของแบบจำลองหุ่นยนต์ที่กำหนดให้เดียวกับเซอร์โวมอเตอร์ในหุ่นยนต์จริง ข้อมูลลำดับที่ 11 – 18 คือข้อมูลสถานะการฉกของแบบจำลองกับสิ่งกีดขวางท่าทางที่กำหนดให้เดียวกับเซ็นเซอร์ในหุ่นยนต์จริง ส่วนที่สองคือคำสั่งควบคุมซึ่งแทนด้วยตัวอักษรตามแป้นพิมพ์ที่ผู้ใช้กดเพื่อควบคุมแบบจำลอง



ภาพที่ 4-17 ตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกในแฟ้มชุดข้อมูล

4.5 การควบคุมหุ่นยนต์ด้วยข่ายงานระบบประสาท

จากความสามารถของข่ายงานระบบประสาทในด้านการทำนาย (Prediction) หรือการจำแนก (Classification) ซึ่งสามารถเลือกคำตอบให้กับชุดข้อมูลนำเข้าที่ไม่เคยพบมาก่อน (ชุดข้อมูลทดสอบ) โดยใช้ความรู้ที่ผ่านกระบวนการฝึกสอนแล้วจากค่าน้ำหนักการเชื่อมโยง ในงานวิจัยนี้ จึงใช้ความสามารถดังกล่าวของข่ายงานระบบประสาท เพื่อใช้ควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถเดินข้ามสิ่งกีดขวางได้ โดยมองประโยชน์ของข่ายงานระบบประสาทในลักษณะที่ใช้เลือกคำสั่งให้เหมาะสมกับสถานะท่าทางของหุ่นยนต์ ที่ต่างออกไปจากขั้นตอนการฝึกสอน ซึ่งจะช่วยให้สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้โดยไม่ต้องทำการ โปรแกรมแบบกำหนดเงื่อนไขล่วงหน้าไว้ทั้งหมด สำหรับการใช้ชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนข่ายงานระบบประสาทรุ่นนี้ใช้อัตราส่วน 50 เปอร์เซ็นต์ คือ ใช้ชุดข้อมูลครึ่งหนึ่งจากข้อมูลทั้งหมดที่รวบรวมได้ และใช้ข้อมูลที่เหลือสำหรับทดสอบข่ายงานระบบประสาท