

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ของการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้	5
2.1 ข่ายงานระบบประสาท	5
2.2 การเดินของหุ่นยนต์สี่ขา	18
2.3 Open Dynamics Engine (ODE)	20
2.4 อุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์	25
บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 4 การออกแบบการวิจัย	35
4.1 หุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง	35
4.2 สิ่งกีดขวาง	44
4.3 วิธีการควบคุมหุ่นยนต์	45
4.4 การสร้างแบบจำลองสามมิติของหุ่นยนต์	50
4.5 การควบคุมหุ่นยนต์ด้วยข่ายงานระบบประสาท	54
บทที่ 5 วิธีดำเนินการวิจัย	55
5.1 การรวบรวมชุดข้อมูล	55
5.2 การทดลองข่ายงานระบบประสาท	71
5.3 การประยุกต์ข่ายงานระบบประสาทกับการควบคุม	74
บทที่ 6 ผลการวิจัย	75
6.1 ผลการทดลองประสิทธิภาพการจำแนก	75

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2 ผลการทดลองใช้ข่ายงานระบบประสาทควบคุมหุ่นยนต์	82
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ	89
7.1 สรุปผลการวิจัย	89
7.2 แนวทางในการพัฒนางานวิจัยสำหรับอนาคต	90
เอกสารอ้างอิง	93
ประวัติผู้วิจัย	95

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4-1	ชื่อเรียกส่วนประกอบของหุ่นยนต์	38
4-2	ชื่อเรียกเซอร์โวมอเตอร์และรายละเอียด	38
4-3	ชื่อเรียกเซ็นเซอร์และรายละเอียด	43
4-4	ขนาดของสิ่งกีดขวาง	44
4-5	คำสั่งทั้งหมดที่ใช้สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์	45
4-6	สถานะของหุ่นยนต์และคำสั่งที่เลือกสำหรับการเดินบนพื้นราบ	48
5-1	การทดลองเพื่อรวบรวมชุดข้อมูลจากแบบจำลองหุ่นยนต์	56
5-2	คำอธิบายสถานะที่ใช้ในการเขียน State Diagram	57
5-3	ชุดข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองควบคุมแบบจำลองหุ่นยนต์	70
5-4	โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาท	72
5-5	พารามิเตอร์สำหรับข่ายงานระบบประสาท	72
6-1	ผลการทดลองข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.01 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ	75
6-2	ผลการทดลองข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ	76
6-3	ผลการทดลองข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.02 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ	77
6-4	ผลการทดลองข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.01 และทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ	79
6-5	ผลการทดลองข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ	80
6-6	ผลการทดลองข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.02 และทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ	81

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 เซลล์ประสาท	4
2-2 รูปแบบการทำงานของสมองอย่างง่าย	5
2-3 เพอร์เซ็ปตรอน	6
2-4 เพอร์เซ็ปตรอนแบบลบออกด้วยค่าขีดเริ่มเปลี่ยน	7
2-5 เพอร์เซ็ปตรอนแบบเพิ่มด้วยค่า Bias	8
2-6 แผนภาพของมัลติเลเยอร์เพอร์เซ็ปตรอนแบบมี 2 ชั้นซ่อน	9
2-7 พิสัยข้อมูลของฟังก์ชันกระตุ้น	10
2-8 ข่ายงานระบบประสาทแบบ 3 ชั้น ใช้อธิบายขั้นตอนวิธีการฝึกสอนแบบป้อนกลับ	11
2-9 การคำนวณแบบป้อนไปหน้าจากชั้นข้อมูลเข้าไปยังชั้นซ่อนชั้นที่ 1	13
2-10 การคำนวณแบบป้อนไปหน้าจากชั้นซ่อนที่ 1 ไปยังชั้นซ่อนชั้นที่ 2	14
2-11 การคำนวณแบบป้อนไปหน้าจากชั้นซ่อนที่ 2 ไปยังชั้นข้อมูลออก	14
2-12 การคำนวณค่าผิดพลาดในชั้นข้อมูลออก	14
2-13 การคำนวณค่าผิดพลาดในชั้นซ่อนชั้นที่ 2	15
2-14 การคำนวณค่าผิดพลาดในชั้นซ่อนชั้นที่ 1	15
2-15 การปรับค่าน้ำหนักการเชื่อมโยงในชั้นซ่อนชั้นที่ 1	16
2-16 การปรับค่าน้ำหนักการเชื่อมโยงในชั้นซ่อนชั้นที่ 2	16
2-17 การปรับค่าน้ำหนักการเชื่อมโยงในชั้นข้อมูลออก	17
2-18 ตำแหน่งการวางเท้าและบริเวณรองรับน้ำหนัก	18
2-19 รูปสามเหลี่ยมของบริเวณรองรับน้ำหนักที่ต่างกัน	18
2-20 องค์ประกอบพื้นฐานของการใช้งาน ODE	20
2-21 ตัวอย่างวัตถุแข็งและแกนสามมิติ	20
2-22 โปรแกรมตัวอย่างการสร้างวัตถุด้วย ODE	21
2-23 ตัวอย่างจุดเชื่อมต่อแบบ Ball and Socket	22
2-24 ตัวอย่างจุดเชื่อมต่อแบบ Hinge	22
2-25 ตัวอย่างจุดเชื่อมต่อแบบ Slider	23
2-26 ตัวอย่างจุดเชื่อมต่อแบบ Universal	23

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-27 ตัวอย่างจุดเชื่อมต่อแบบ Hing-2	23
2-28 เซอร์โวมอเตอร์	24
2-29 แผงวงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์	25
2-30 การเชื่อมต่อและใช้งานแผงวงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์	25
3-1 หุ่นยนต์สี่ขาที่ใช้ในการทดลองของ Honglak Lee	27
3-2 การทดลองเดินข้ามสิ่งกีดขวางแบบต่าง ๆ ของ Honglak Lee	28
3-3 การสร้างภาพสามมิติแสดงการเดินข้ามสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์ ของ Honglak Lee	28
3-4 หุ่นยนต์ 6 ขา Servobot	29
3-5 แผนผังการควบคุมหุ่นยนต์กับข่ายงานระบบประสาทของ Arndt	30
3-6 ภาพรวมระบบควบคุมเสถียรภาพด้วยข่ายงานประสาทเทียม	31
4-1 ภาพถ่ายของหุ่นยนต์ QNB-I ที่ใช้ในการทดลอง	35
4-2 ส่วนประกอบและโครงสร้างของหุ่นยนต์	36
4-3 ขนาดและองศาการหมุนของหุ่นยนต์มองจากด้านบน	37
4-4 ขนาดและองศาการหมุนของหุ่นยนต์มองจากด้านหน้า	37
4-5 กลไกการยกขาขึ้นและวางขาลง	40
4-6 กลไกการก้าวขาสำหรับขาหน้าด้านขวา	41
4-7 กลไกการบิดตัว	42
4-8 ภาพถ่ายเซ็นเซอร์และตำแหน่งการติดตั้งกับขาหุ่นยนต์	43
4-9 สิ่งกีดขวางที่ใช้ในการทดลอง	44
4-10 ตัวอย่างสถานะท่าทางและข้อมูลของหุ่นยนต์	47
4-11 สถานะเริ่มต้นของหุ่นยนต์	48
4-12 ขั้นตอนสำหรับการเดินแบบ Crawling Gait บนพื้นราบ	50
4-13 แบบจำลองสามมิติของส่วนลำตัวหุ่นยนต์	51
4-14 การเชื่อมต่อขาแต่ละข้างเข้ากับส่วนของลำตัว	51
4-15 แบบจำลองสามมิติของหุ่นยนต์ QNB-I	52
4-16 โปรแกรมควบคุมแบบด้วยมือเพื่อรวบรวมชุดข้อมูล	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-17 ตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกในเพิ่มชุดข้อมูล	53
5-1 แผนภาพระบบการรวบรวมชุดข้อมูลจากแบบจำลองหุ่นยนต์	56
5-2 State Diagram การควบคุมแบบจำลองให้เดินบนพื้นราบ	59
5-3 เหตุการณ์ที่เกิดในการควบคุมแบบจำลองเดินข้ามสิ่งกีดขวางขา FR	60
5-4 State Diagram การตรวจพบและก้าวข้ามสิ่งกีดขวางขา FR	60
5-5 เหตุการณ์ที่เกิดในการควบคุมแบบจำลองเดินข้ามสิ่งกีดขวางขา FL	61
5-6 State Diagram การตรวจพบและก้าวข้ามสิ่งกีดขวางขา FL	62
5-7 เหตุการณ์ที่เกิดในการควบคุมแบบจำลองเดินข้ามสิ่งกีดขวางขา RR	63
5-8 State Diagram การตรวจพบและก้าวข้ามสิ่งกีดขวางขา RR	63
5-9 เหตุการณ์ที่เกิดในการควบคุมแบบจำลองเดินข้ามสิ่งกีดขวางขา RL	64
5-10 State Diagram การตรวจพบและก้าวข้ามสิ่งกีดขวางขา RL	65
5-11 เหตุการณ์ที่เกิดในการควบคุมแบบจำลองเดินข้ามสิ่งกีดขวางขาหน้า	66
5-12 เหตุการณ์ที่เกิดในการควบคุมแบบจำลองเดินข้ามสิ่งกีดขวางขาหน้า	66
5-13 เหตุการณ์ที่เกิดในการควบคุมแบบจำลองเดินข้ามสิ่งกีดขวางขา ด้านขวา	67
5-14 เหตุการณ์ที่เกิดในการควบคุมแบบจำลองเดินข้ามสิ่งกีดขวางขา ด้านซ้าย	67
5-15 เหตุการณ์ที่เกิดในการควบคุมแบบจำลองเดินข้ามสิ่งกีดขวางขาหน้า ขวาและหลังซ้าย	68
5-16 เหตุการณ์ที่เกิดในการควบคุมแบบจำลองเดินข้ามสิ่งกีดขวางขาหน้า ขวาและหลังซ้าย	69
5-17 เหตุการณ์ที่เกิดในการควบคุมแบบจำลองเดินข้ามสิ่งกีดขวางขา 4 ข้าง	69
5-18 แผนผังขั้นตอนการฝึกสอนข่ายงานระบบประสาท	73
5-19 แผนผังขั้นตอนการทดสอบข่ายงานระบบประสาท	73
5-20 ระบบการควบคุมหุ่นยนต์จริงด้วยข่ายงานระบบประสาท	74
6-1 กราฟผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.01 และทำการ ฝึกสอน 500,000 รอบ	76

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6-2 กราฟผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และ ทำการฝึกสอน 500,000 รอบ	77
6-3 กราฟผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.02 และ ทำการฝึกสอน 500,000 รอบ	78
6-4 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกเมื่อทำการฝึกสอน 500,000 รอบ	78
6-5 กราฟผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.01 และ ทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ	79
6-6 กราฟผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และ ทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ	80
6-7 กราฟผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.02 และ ทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ	81
6-8 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกเมื่อทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ	82
6-9 ลักษณะท่าทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามการควบคุม	83
6-10 ตำแหน่งติดตั้งและทิศทางการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์	84
6-11 กราฟแสดงค่าองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 10 ชุดในการเดิน บนพื้นราบ	84
6-12 กราฟเปรียบเทียบค่าองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง กับค่าควบคุมที่ต้องการในการควบคุมหุ่นยนต์ให้เดินข้ามสิ่งกีดขวาง ขา FR	85
6-13 กราฟเปรียบเทียบค่าองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง กับค่าควบคุมที่ต้องการในการควบคุมหุ่นยนต์ให้เดินข้ามสิ่งกีดขวาง ขา FL	86
6-14 กราฟเปรียบเทียบค่าองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง กับค่าควบคุมที่ต้องการในการควบคุมหุ่นยนต์ให้เดินข้ามสิ่งกีดขวาง ขา FR และ FL	87

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
7-1	ความสมมาตรซ้าย - ขวาของโครงสร้างและตำแหน่งการติดตั้งเซอร์โวมอเตอร์	91