สารบัญ

	หน้า
รายละเอียดโครงการ	ก
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การทบทวนวรรณกรรม	3
2.2 จลนศาสตร์	4
2.3 กระบวนการแปลงพิกัด	5
2.4 ตัวแปรแบบ Denavit – Hartenberg	5
2.5 ระบบพลศาสตร์	7
2.6 การควบคุมแรงและการเคลื่อนที่	9
2.7 การควบคุมความยืดหยุ่นแบบ Passive	12
2.8) การควบคุมความต้านทานแบบ active	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	
3.1 แผนการดำเนินการ	16
3.2 การออกแบบ	19
3.3 ขั้นตอนการสร้าง	26
3.4 วิธีการทดสอบ	33
3.5 ทฤษฎีการคำนวณหาค่าจลน์ศาสตร์ของการเคลื่อนที่	35
3.6 ทฤษฎีการคำนวณหาสมการทางพลศาสตร์ของแขนหุ่นยนต์	38

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

4.1 การทดลองความแม่นยำในการทำงานซ้ำเดิมของแขนหุ่นยนต์ 43

4.2 การทดลองเพื่อทดสอบการยกน้ำหนักต่างๆกันโดยแขนหุ่นยนต์ 44

4.3 การทดลองความคลาดเคลื่อนที่ความเร็วรอบต่างๆ 48

4.4 การทดสอบการควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยสมการทางจลศาสตร์โดยใช้ Jacobian 50

4.5 การทดลองเพื่อทดสอบการวัดแรงกดและแรงเสียดทานเมื่อปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนบนเบาะตามแนวแกน X 51

4.6 การทดลองเพื่อทดสอบการวัดแรงกดและแรงเสียดทานเมื่อปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนบนเนื้อไก่ตามแนวแกน X 58

4.7) การจำลองการควบคุมแรงและการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ 68

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุป 70

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทดสอบโดยรวม 72

บรรณานุกรม 73

ภาคผนวก ก

ภาพชิ้นส่วนของแขนหุ่นยนต์แบบ 6 แกน 74

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ 79

ประวัติคณะวิจัย 80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่3.1แสดงแผนงานวิจัย	18
ตารางที่3.2นิยามของตัวแปรในข้อต่อของแกนที่ 5	19
ตารางที่3.3นิยามของตัวแปรในข้อต่อของแกนที่ 4	21
ตารางที่3.4นิยามของตัวแปรในข้อต่อของแกนที่ 3	22
ตารางที่3.5นิยามของตัวแปรในข้อต่อของแกนที่ 2	23
ตารางที่3.6นิยามของตัวแปรในข้อต่อของแกนที่ 1	24
ตารางที่ 3.7 แรงบิดของมอเตอร์ที่ใช้จริงในแต่ละแกนเทียบกับแรงบิดของมอเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ	25
ตารางที่ 3.8 ค่าอัตราทดเกียร์ของมอเตอร์และค่าเอนโค้ดเดอร์เคาน์ของแต่ละแกน	27
ตารางที่ 3.9 ค่าองศาการหมุนของมอเตอรแต่ละแกน	28
ตารางที่ 3.10 แสดงค่าของตัวแปร Densvit-hartenberg ของแขนหุ่นยนต์ในแต่ละแกน	36
ตารางที่ 4.1 การทดลองหาความคลาดเคลื่อนของความเร็วของแขนหุ่นยนต์แบบ 6 แกน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของมวลที่ปลายแขน	45
ตารางที่ 4.2 การทดลองหาความคลาดเคลื่อนของความเร็วเชิงมุมเมื่อทดสอบที่ความเร็วต่างกัน	48
ตารางที่4.3นิยามของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วรอบ	49
ตารางที่ 4.4ตำแหน่งที่วัดได้จริง และ ตำแหน่งที่ต้องการหรือคำนวณได้จากเทคนิค RMRC ทางจลศาสตร์	51

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่2.1ตำแหน่งและทิศทางของปลายแขนหุ่นยนต์ [1]	4
รูปที่ 2.2 D-H notation for revolute joints [7]	6
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการเขียนบนกระดานดำโดยแขนหุ่นยนต์	10
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการสอดหมุดเข้าไปในหลุมด้วยความเร็วที่ต้องการท่ากับ v_d	11
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการหมุนด้ามจับด้วยความเร็วเชิงมุมที่ต้องการท่ากับ ω_d	11
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการขันน็อตด้วยความเร็วเชิงมุมที่ต้องการท่ากับ ω_d	12
รูปที่ 2.7 ความยืดหยุ่นของเนื้อเยื่อเมื่อสัมผัสโดยแขนหุ่นยนต์ [1]	15
รูปที่ 3.1 แสดงการหาค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณหาค่าแรงบิดของมอเตอร์แกนที่ 5	19
รูปที่3.2 แสดงการหาค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณหาค่าแรงบิดของมอเตอร์แกนที่ 4	20
รูปที่ 3.3 แสดงการหาค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณหาค่าแรงบิดของมอเตอร์แกนที่ 3	21
รูปที่ 3.4 แสดงการหาค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณหาค่าแรงบิดของมอเตอร์แกนที่ 2	22
รูปที่ 3.5 แสดงการหาค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณหาค่าแรงบิดของมอเตอร์แกนที่ 1	24
รูปที่ 3.6 แสดงการออกแบบและจำลองการเคลื่อนที่ ของแขนหุ่นยนต์ด้วยโปรแกรม Solid Work	26
รูปที่ 3.7 แสดงการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของวัสดุที่จะใช้ทำชิ้นส่วนหุ่นยนต์	26
รูปที่ 3.8 แสดงชิ้นส่วนของแขนหุ่นยนต์ในแต่ละแกน	27
รูปที่ 3.9 ประกอบมอเตอร์เข้ากับฐานแกนที่ 1	28
รูปที่ 3.10 ประกอบมอเตอร์เข้ากับฉากแกนที่ 2	29
รูปที่ 3.11 แสดงการประกอบฉากแกนที่ 2 เข้ากับฐานหมุนแกนที่ 1	29
รูปที่3.12 แสดงการประกอบแขนแกนที่ 3 เข้ากับฉากแกนที่ 2	30
รูปที่ 3.13 แสดงขั้นตอนการประกอบแขนแกนที่ 4 เข้ากับแขนแกนที่ 3	30
รูปที่ 3.14 คณะผู้วิจัยและนักศึกษา	31
รูปที่ 3.15 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของตู้ควบคุม SPiiPlus Motion Controller	32
รูปที่ 3.16 แสดงพอร์ทเชื่อมต่อระหว่างSPiiPlus กับ คอมพิวเตอร์	32
รูปที่ 3.17 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของชุดควบคุมมอเตอร์แกนที่ 1,2,3	33
รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของชุดควบคุมมอเตอร์แกนที่ 4,5,6	33
รูปที่ 3.19 สองหน้าจอโปรแกรมของ Spiiplus motion Controller	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 3.20 โปรแกรมที่ใช้สั่งงานแขนหุ่นยนต์สำเร็จรูปที่เขียนด้วย Visual studio 2008 34

รูปที่ 3.21 การให้แขนหุ่นยนต์วาดรูปสามเหลี่ยม 35

รูปที่ 3.22 การตั้งแกนของแขนหุ่นยนต์6 แกน 36

รูปที่ 3.23 แสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ด้วยโปรแกรมMatlab 37

รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองหาความแม่นยำของปลายแขนหุ่นยนต์ 43

รูปที่4.2 แสดงการติดตั้งไดอัลเกจกับโต๊ะ (ซ้าย)
และค่าของไดอัลเกจที่วัดได้เมื่อปลายแขนหุ่นยนต์กดที่ไดอัลเกจ (ขวา) 44

รูปที่ 4.3 แสดงการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ไปแตะไดอัลเกจ 44

รูปที่ 4.4 แสดงกราฟของการเคลื่อนที่จริงเทียบกับค่าคำสั่งจากคอมพิวเตอร์
ของแขนแกนที่ 1 (ซ้าย) และ ของแขนแกนที่ 2 (ขวา) เมื่อไม่มีมวลมาแขวน 46

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟของการเคลื่อนที่จริงเทียบกับค่าคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ของ
แขนแกนที่ 3 (ซ้าย) และ ของแขนแกนที่ 4 (ขวา) เมื่อไม่มีมวลมาแขวน 46

รูปที่ 4.6 แสดงกราฟของการเคลื่อนที่จริงเทียบกับค่าคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ของ 47
แขนแกนที่ 5เมื่อไม่มีมวลมาแขวน

รูปที่ 4.7 แสดงกราฟของการเคลื่อนที่จริงเทียบกับค่าคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ของแขนแกนที่ 1 47
เมื่อมีมวล 1.6 kg. มาแขวนที่ปลายแขน (ซ้าย) และ ของแขนแกนที่ 2เมื่อมีมวล 1.2kg.
มาแขวนที่ปลายแขน (ขวา)

รูปที่ 4.8 แสดงกราฟของการเคลื่อนที่จริงเทียบกับค่าคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ของแขนแกนที่ 3 47
เมื่อมีมวล 1.6 kg. มาแขวนที่ปลายแขน (ซ้าย) และ ของแขนแกนที่ 4เมื่อมีมวล 1.2kg.
มาแขวนที่ปลายแขน (ขวา)

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟของการเคลื่อนที่จริงเทียบกับค่าคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ของแขนแกนที่5 48
เมื่อมีมวล 1.2kg. มาแขวนที่ปลายแขน

รูปที่ 4.10แสดงการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ด้วยความเร็วรอบ 20000 พัลส์ ต่อวินาที(ซ้าย) 50
และ 30000 พัลส์ ต่อวินาที(ขวา)

รูปที่ 4.11 การกำหนดแกน x, y, z ของเซนเซอร์วัดแรงที่ติดตั้งที่ปลายแขนของหุ่นยนต์ 52

รูปที่ 4.12 การเชื่อมต่อแขนหุ่นยนต์แบบ แกนผ่านสายอินเตอร์เน็ต และ 52
เซนเซอร์วัดแรงเข้ากับคอมพิวเตอร์

รูปที่ 4.13 การทดสอบการวัดแรงที่กระทำโดยแขนหุนยนต์เพื่อกดลงบนเบาะ 53
โดยมีการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.14 แรงกดจากแขนหุ่นยนต์ (Fz) ที่กระทำกับเบาะให้ยุบลงใน 3 ระดับความลึก (0.8, 2.8, 4.5) cm 53

รูปที่ 4.15 แรงในแนวแกน x (ซ้าย) และ y(ขวา) หรือ แรงในแนวสัมผัสกับเบาะที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวก x 54

รูปที่ 4.16 แรงในแนวแกน z หรือ แรงในแนวตั้งฉากกับเบาะ (ซ้าย) และ โมเมนต์รอบแกน x(ขวา) ที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวก x 54

รูปที่ 4.17 โมเมนต์รอบแกน y(ซ้าย) และ โมเมนต์รอบแกน z(ขวา) ที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวก x 54

รูปที่ 4.18ค่าเฉลี่ยของแรงในแนวแกน x (บน) และ y(กลาง) และ z(ล่าง) หรือ แรงในแนวสัมผัสและตั้งฉากกับเบาะที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวก x 55

รูปที่ 4.19 แรงในแนวแกน x (ซ้าย) และ y(ขวา) หรือ แรงในแนวสัมผัสกับเบาะที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์เมื่อเคลื่อนที่ในทิศลบ x 55

รูปที่ 4.20แรงในแนวแกน z หรือ แรงในแนวตั้งฉากกับเบาะ (ซ้าย) และ โมเมนต์รอบแกน x(ขวา) ที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศลบ x 55

รูปที่ 4.21โมเมนต์รอบแกน y(ซ้าย) และ โมเมนต์รอบแกน z(ขวา) ที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศลบ x 56

รูปที่ 4.22ค่าเฉลี่ยของแรงในแนวแกน x (บน) และ y(กลาง) และ z(ล่าง) หรือ แรงในแนวสัมผัสและตั้งฉากกับเบาะที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศลบ x 56

รูปที่ 4.23 การจำลองการผ่าเนื้อไก่ โดยจะวัดแรงและโมเมนต์ที่กระทำจากปลายแขนหุ่นยนต์ในทั้ง 6 พิกัด 59

รูปที่ 4.24 แรงในแนวแกน x (ซ้าย) และ y(ขวา) หรือ แรงในแนวสัมผัสกับเบาะที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวก x 59

รูปที่ 4.25 แรงในแนวแกน z หรือ แรงในแนวตั้งฉากกับเบาะ (ซ้าย) และ โมเมนต์รอบแกน x(ขวา) ที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวก x 60

รูปที่ 4.26 โมเมนต์รอบแกน y(ซ้าย) และ โมเมนต์รอบแกน z(ขวา) ที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวก x 60

รูปที่ 4.27ค่าเฉลี่ยของแรงในแนวแกน x (บน) และ y(กลาง) และ z(ล่าง) หรือ แรงในแนวสัมผัสและตั้งฉากกับเบาะที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวก x 60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.28 แรงในแนวแกน x (ซ้าย) และ y(ขวา) หรือ แรงในแนวสัมผัสกับเบาะ ที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์เมื่อเคลื่อนที่ในทิศลบ x 61

รูปที่ 4.29แรงในแนวแกน z หรือ แรงในแนวตั้งฉากกับเบาะ (ซ้าย) และ โมเมนต์รอบแกน x(ขวา) ที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศลบ x 61

รูปที่ 4.30โมเมนต์รอบแกน y(ซ้าย) และ โมเมนต์รอบแกน z(ขวา) ที่ออกแรงกระทำ โดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศลบ x 62

รูปที่ 4.31ค่าเฉลี่ยของแรงในแนวแกน x (บน) และ y(กลาง) และ z(ล่าง) หรือ แรงในแนวสัมผัสและตั้งฉากกับเบาะที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศลบ x 62

รูปที่ 4.32 การจำลองการกดและการผ่าเนื้อหมู โดยจะวัดแรงและโมเมนต์ที่กระทำจากปลายแขนหุ่นยนต์ในทั้ง 6 พิกัด 63

รูปที่ 4.33 เนื่อหมูที่โดนผ่า 4 ครั้ง 64

รูปที่ 4.34 แรงในแนวแกน x (ซ้าย) และ y(ขวา) หรือ แรงในแนวสัมผัสกับเนื้อหมู ที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวก x 64

รูปที่ 4.35 แรงในแนวแกน z หรือ แรงในแนวตั้งฉากกับเนื้อหมู (ซ้าย) และ โมเมนต์รอบแกน x(ขวา) ที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวก x 64

รูปที่ 4.36 โมเมนต์รอบแกน y(ซ้าย) และ โมเมนต์รอบแกน z(ขวา) ที่ออกแรงกระทำ โดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวก x 65

รูปที่ 4.37ค่าเฉลี่ยของแรงในแนวแกน x (บน) และ y(กลาง) และ z(ล่าง) หรือ แรงในแนวสัมผัสและตั้งฉากกับเนื้อหมูที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวก x 65

รูปที่ 4.38 แรงในแนวแกน x (ซ้าย) และ y(ขวา) หรือ แรงในแนวสัมผัสกับเนื้อหมูที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวกxและมีการติดใบมีดที่ปลายแขน 66

รูปที่ 4.39แรงในแนวแกน z หรือ แรงในแนวตั้งฉากกับเนื้อไก่ (ซ้าย) และ โมเมนต์รอบแกน x(ขวา) ที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวกxและมีการติดใบมีดที่ปลายแขน 66

รูปที่ 4.40โมเมนต์รอบแกน y(ซ้าย) และ โมเมนต์รอบแกน z(ขวา) ที่ออกแรงกระทำ โดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวกxและมีการติดใบมีดที่ปลายแขน 66

รูปที่ 4.41ค่าเฉลี่ยของแรงในแนวแกน x (บน) และ y(กลาง) และ z(ล่าง) หรือ แรงในแนวสัมผัสและตั้งฉากกับเนื้อไก่ที่ออกแรงกระทำโดยแขนหุ่นยนต์ เมื่อเคลื่อนที่ในทิศบวกxและมีการติดใบมีดที่ปลายแขน 67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.42 การตั้งพิกัดของระนาบการเคลื่อนที่ (u,v) และแนวแรง (f1,f2) ของแขนหุ่นยนต์สามแกน ที่ควบคุมโดยการควบคุมแรงและการเคลื่อนที่ไปพร้อมๆกัน 68

รูปที่ 4.43 การเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์บนระนาบ (u,v) และ แรงกด (f1) และ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบนผิว (f2) เมื่อควบคุมด้วยเทคนิคแบบ impedance 69

รูปที่ 4.44 แรงบิดที่กระทำโดยมอเตอร์ในแต่ละข้อต่อ 69

รูปที่ก.1ภาพฉาย 3 ด้าน แกนที่ 1 75

รูปที่ ก.2 แผ่นรองฐานแกนที่ 1 75

รูปที่ ก.3 แผ่นปิดด้านข้างแกนที่ 1 76

รูปที่ ก.4 ภาพฉาย 3 ด้าน ฉากแกนที่ 1 76

รูปที่ ก.5 ภาพฉาย 3 ด้าน แกนที่ 2 77

รูปที่ ก.6 ภาพฉาย 3 ด้าน แกนที่ 3 77

รูปที่ ก.7 ภาพฉาย 3 ด้าน แกนที่ 4 78

รูปที่ ก.8 ภาพฉาย 3 ด้าน แกนที่ 5 78