สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
ลำดับและสัญลักษณ์	ฎ
คำนิยามศัพท์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบข่ายของโครงงาน	2
1.4 ผลการศึกษาโครงงานที่ผ่านมา	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 งบประมาณที่ใช้	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	6
2.1 การแปลงพิกัดร่วมของหุ่นยนต์	6
2.2 การบอกลักษณะของวัตถุในทางคณิตศาสตร์	9
2.3 ความสัมพันธ์ของตัวแปลงในเนื้อที่ว่างของแขนกล	11
2.4 การแปลงในแขนกลหลายแกน	13
2.5 การกำหนดมุมโดยอาศัยมุมของออยเลอร์	18
2.6 การทำศึกษาการเคลื่อนที่ของแต่ละข้อต่อ ของหุ่นยนต์	25
2.7 ระบบควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	32
3.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานคิเนเมติกส์	32
3.2 ศึกษาฟอร์เวิร์ดคิเนเมติกส์	33
3.3 ศึกษาอินเวิร์ดคิเนเมติกส์	33
3.4 ศึกษาการเคลื่อนที่ของแต่ละข้อต่อ ของหุ่นยนต์	33
3.5 ศึกษาทดสอบและสร้างโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	33
3.6 ศึกษาทดสอบและสร้างโปรแกรมแสดงผลการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง และผลการวิเคราะห์	35
4.1 ลักษณะทางกายภาพของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2	35
4.2 การศึกษาคิเนเมติกส์ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2	47
4.3 การศึกษาการเคลื่อนที่ของแต่ละข้อต่อของหุ่นยนต์	46
4.4 การเขียนโปรแกรมควบคุม และโปรแกรมแสดงผลการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	47
บทที่ 5 สรุปวิจารณ์ผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	50
5.1 วิเคราะห์และสรุปผลโครงงาน	50
5.2 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางการแก้ไข	52
5.3 เป้าหมายในอนาคต	53
บรรณานุกรม	54
ประวัติผู้ทำโครงงาน	55
ภาคผนวก	56
ภาคผนวก ก. ข้อมูลของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2	57
ภาคผนวก ข. ขั้นตอนและภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุม และโปรแกรมแสดงผลการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2	62
ภาคผนวก ค. การตรวจสอบสมการด้วยโปรแกรม Mathcad	81
ภาคผนวก ง. การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม Mathcad เทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมควบคุมและโปรแกรมแสดงผล การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมKUKA KRC 125/2	91

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดง Link parameter ของหุ่นยนต์ KUKA KRC 125/2 37
ตารางที่ ก.1 แสดงตารางข้อมูลของแกน(Axis) ต่างๆ ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2 59
ตารางที่ ง.1 แสดง ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เทียบกับ ผลลัพธ์ของสมการอินเวิร์สคิเนเมติกที่คำนวณได้จาก โปรแกรม Mathcad เมื่อจุดพิกัดปลายของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ จากตำแหน่งพิกัดเดิม (Home) ไปสู่ตำแหน่งพิกัดที่ 1 90
ตารางที่ ง.2 แสดง ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เทียบกับ ผลลัพธ์ของสมการอินเวิร์สคิเนเมติกที่คำนวณได้จาก โปรแกรม Mathcad เมื่อจุดพิกัดปลายของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ จากตำแหน่งพิกัดเดิม (Home) ไปสู่ตำแหน่งพิกัดที่ 2 91
ตารางที่ ง.3 แสดง ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมแสดงผลการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เทียบกับ ผลลัพธ์ของสมการฟอร์เวิร์ดคิเนเมติกที่คำนวณได้จาก โปรแกรม Mathcad เมื่อมุมของแต่ละข้อต่อของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ จากตำแหน่งเดิม (Home) ไปสู่ตำแหน่งพิกัดที่ 1 92
ตารางที่ ง.4 แสดง ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมแสดงผลการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เทียบกับ ผลลัพธ์ของสมการฟอร์เวิร์ดคิเนเมติกที่คำนวณได้ จากโปรแกรม Mathcad เมื่อมุมของแต่ละข้อต่อของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ จากตำแหน่งเดิม (Home) ไปสู่ตำแหน่งพิกัดที่ 2 93

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงการอ้างอิงพิกัดฐานและการแปลงระบบพิกัด 6

รูปที่ 2.2 แสดงพิกัดสัมพัทธ์และพิกัดสัมบูรณ์ 7

รูปที่ 2.3 แสดงจุดปลายลูกบาศก์ P_0- P_7 9

รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบ A,Bและ C ให้จุด P_t คือเป้าหมายที่จะให้เคลื่อนที่ไป 12

รูปที่ 2.5 แสดงจุดต่อของแขนกลและตัวแปรต่างๆ 14

รูปที่ 2.6 แสดงระบบพิกัดจุดต่อของแขนกล 15

รูปที่ 2.7 แสดงการแปลงพิกัด 16

รูปที่ 2.8 แสดงการควบคุมเครื่องบิน 18

รูปที่ 2.9 แสดงมุมออยเลอร์ (Euler angles (α, β, γ)) สำหรับ roll – yaw – roll 20

รูปที่ 2.10 แสดงมุมออยเลอร์ (Euler angles (ϕ, θ, φ)) สำหรับ roll – pitch – yaw 22

รูปที่ 2.11 แสดงมุมออยเลอร์ (Euler angles $(\delta, \lambda, \sigma)$) สำหรับ roll – pitch – roll 24

รูปที่ 2.12 แสดงการเคลื่อนที่ของตำแหน่งเริ่มต้นไปสู่ตำแหน่งสุดท้ายของแต่ละข้อต่อ ภายใต้ข้อกำหนดของเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของแต่ละข้อต่อ ในรูปแบบต่างๆ 26

รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่แบบคิวบิคโพลิโนเมียล (Cubic polynomial) 27

รูปที่ 2.14 แสดงระบบควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2 31

รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2 35

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการเคลื่อนไหว และตัวแปรต่างๆ ของ หุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2 36

รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของ Forward transformatioและInverse transformation 50

รูปที่ ก.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2 56

รูปที่ ก.2 แสดงรูปหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2 57

รูปที่ ก.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2 58

รูปที่ ก.4 แสดงลักษณะของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ KUKA KRC 125/2 ที่ตำแหน่งต่างๆ 60

รูปที่ ข.1 แสดงหน้าต่างแรกของโปรแกรม 66

รูปที่ ข.2 แสดงหัวข้อที่ 1 แนะนำเกี่ยวกับโปรแกรม 66

รูปที่ ข.3 แสดงหัวข้อที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 67

รูปที่ ข.4 แสดงหน้าต่างแรกของ หัวข้อที่ 3 แบบจำลองการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ 67

รูปที่ ข.5 แสดงหัวข้อที่ 4 การเข้าสู่โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ 68

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข.6 แสดงหัวข้อที่ 4 รายละเอียดเกี่ยวกับผู้จัดทำ 68
รูปที่ ข.7 แสดงการใส่ค่าตำแหน่งพิกัดและค่ามุมของปลายแขนหุ่นยนต์ ที่ต้องการ 69
รูปที่ ข.8 แสดงผลพิกัดจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของปลายของหุ่นยนต์
ที่เคลื่อนที่ในตำแหน่งที่ 1 69
รูปที่ ข.9 เมื่อใส่ค่าพิกัดในตำแหน่งที่ 2 ที่ต้องการ
และแสดงผลพิกัดในตำแหน่งที่ 2 บนโปรแกรม 70
รูปที่ ข.10 โปรแกรมตรวจสอบค่าตำแหน่งปลายจากค่ามุมที่คำนวณ
ของจุดปลายที่ตำแหน่งเริ่มต้น 70
รูปที่ ข.11 โปรแกรมตรวจสอบค่าตำแหน่งปลายจากค่ามุมที่คำนวณได้
ของจุดปลายที่ตำแหน่งที่ 1 71
รูปที่ ข.12 โปรแกรมตรวจสอบค่าตำแหน่งปลายจากค่ามุมที่คำนวณได้
ของจุดปลายที่ตำแหน่งที่ 2 71
รูปที่ ข.13 แสดงการจัดเก็บค่าตำแหน่งพิกัดและมุมของจุดปลาย
ของหุ่นยนต์บนเมนูไฟล์ 72
รูปที่ ข.14 แสดงการจัดเก็บค่าตำแหน่งพิกัดจุดปลายของหุ่นยนต์
ที่เคลื่อนที่ในตำแหน่งต่างๆ 72
รูปที่ ข.15 แสดงการจัดเก็บค่ามุมของจุดปลายของหุ่นยนต์
ที่เคลื่อนที่ในตำแหน่งต่างๆ 73
รูปที่ ข.16 แสดงการใส่พิกัดปลายที่แขนกลไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตำแหน่งนั้นได้ 73
รูปที่ ข.17 แสดงการเปิดไฟล์ ค่ามุมที่บันทึกไว้ 74
ในขั้นตอนการใช้โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์
รูปที่ ข.18 แสดงค่ามุมที่ใช้ในการคำนวณ ที่เราได้เปิดไว้ 74
รูปที่ ข.19 การแสดงผลโปรแกรม ให้แสดงพิกัด,
ภาพการเคลื่อนที่ของจุดปลายในตำแหน่งจุดเริ่มต้น 75
รูปที่ ข.20 แสดงการแสดงผลโปรแกรม ให้แสดงพิกัด,
ภาพการเคลื่อนที่ของจุดปลายในตำแหน่งที่ 1 75
รูปที่ ข.21 แสดงการแสดงผลโปรแกรม ให้แสดงพิกัด,
ภาพการเคลื่อนที่ของจุดปลายในตำแหน่งที่ 2 76

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ ข.22	แสดงพิกัด, ภาพการเคลื่อนที่ระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดปลายตำแหน่งที่ 1	76
รูปที่ ข.23	แสดงพิกัด, ภาพความเร็วของการเคลื่อนที่ระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดปลายตำแหน่งที่ 1	77
รูปที่ ข.24	แสดงพิกัด, ภาพความเร่งของการเคลื่อนที่ระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดปลายตำแหน่งที่ 1	77
รูปที่ ข.25	แสดงภาพของหุ่นยนต์ที่ตำแหน่งเริ่มต้น (Home position)	78
รูปที่ ข.26	แสดงภาพจุดปลายของหุ่นยนต์อยู่ในตำแหน่งที่ 1 (Position 1)	78
รูปที่ ข.27	แสดงภาพจุดปลายของหุ่นยนต์อยู่ในตำแหน่งที่ 2 (Position 2)	79

ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a_i	ระยะห่างของแกน z ที่ปลายทั้ง 2 ของตัวเชื่อมตามแนวแกนตั้งฉากร่วมกัน	มิลลิเมตร(mm) -
b_i	ระยะทางจากเส้นการตั้งฉากร่วมที่ปลายของตัวเชื่อม	มิลลิเมตร(mm)
d_i	ความแตกต่างแนวระดับระหว่างข้อต่อ i กับข้อต่อ i +1	มิลลิเมตร(mm)
e_1, e_2, e_3	เวคเตอร์ 1 หน่วยของระบบพิกัดที่ใช้ในแปลงระบบพิกัดการหมุน	-
k	เมตริกซ์3x1 ในส่วนของเมตริกซ์การแปลง (Transformer matrix)	-
n	ตำแหน่งใหม่ (New position)	-
N	จำนวนจุดปลายของวัตถุที่แต่ละจุด	-
O_0	ระบบพิกัดฐาน	-
p	เวคเตอร์จาก ตำแหน่งระบบพิกัดฐานถึงจุด P	-
p_x, p_y, p_z	ตำแหน่งพิกัดปลายของหุ่นยนต์	มิลลิเมตร(mm)
p'	เวคเตอร์ตำแหน่งจากจุดกำเนิด O_1 ถึงจุด P	-
Pitch	การหมุนรอบแกน y ใดๆ	-
R	เมตริกซ์ย่อย 3x3 ในส่วนของการหมุน (Rotation part)	-
Roll	การหมุนรอบแกน z ใดๆ	-
s	ตำแหน่งแรกเริ่ม (Starting position)	-
T	เมตริกซ์การแปลงร่วม(Homogeneous transformer matrix)	-
t	เวลาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	วินาที(s)
x_0, y_0, z_0	ตำแหน่งพิกัดปลายของหุ่นยนต์เริ่มแรก	มิลลิเมตร(mm)
x_1, y_1, z_1	ตำแหน่งพิกัดปลายของหุ่นยนต์ใหม่	มิลลิเมตร(mm)
Yaw	การหมุนรอบแกน x ใดๆ	-
θ_f	ตำแหน่งพิกัดสุดท้ายของแต่ละข้อต่อของหุ่นยนต์	มิลลิเมตร(mm)
θ_i	มุมของแต่ละข้อต่อ i ของหุ่นยนต์	องศา(Degree)
θ_0	ตำแหน่งพิกัดเริ่มต้นของแต่ละข้อต่อของหุ่นยนต์	มิลลิเมตร(mm)
θ_0'	ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของแต่ละข้อต่อของหุ่นยนต์ในตำแหน่งเริ่มต้น	- (mm/s)