รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	หุ่นยนต์ลำเลียงสินค้าแบบ Parallel	6
2.2	Prototype Model ของ Low-Cost Parallel Robot	7
2.3	Prototype ของหุ่นยนต์ H4	7
2.4	โครงสร้าง จลนศาสตร์ ของรูปแบบโครงสร้างแบบ 5R	8
2.5	โครงสร้าง จลนศาสตร์ ของรูปแบบ PRRRP	8
2.6	3-TPT Parallel Robot	10
2.7	แสดงส่วน Restrict Limbs ที่ประกอบด้วย Upper Rod และ Lower Rod	11
2.8	การ จำลองสถานการณ์ ของ PMT เพื่อใช้หาขนาดความยาวที่เหมาะสดของแท่ง rod	11
2.9	1 DOF Planar Parallel Mechanism	12
2.10	2 DOF Spherical Parallel Mechanism (UPS)	12
2.11	3 DOF Spatial Parallel Mechanism	12
3.1	แขนกลแบบกลไกอนุกรม (Serial Robot)	15
3.2	แขนกลแบบกลไกขนาน (Parallel Robot)	16
3.3	FourBar Linkage Mechanism	16
3.4	ตำแหน่งของ Fivebar Linkage	17
3.5	NonSymmetricalFivebar Linkage	17
3.6	Coupler Curve ที่สร้างจากตำแหน่ง Coupler Point	18
3.7	แสดงตำแหน่งของจุด P	20
3.8	axis rotation about Z axis	21
3.9	การเปลี่ยนระบบพิกัด	25
3.10	D-H notation	26
3.11	D-H notation for revolute joints	27
3.12	เส้น Unit Vector T,N,B ที่กระทำต่อเส้นโค้ง	34
3.13	การนำ Frenet-Serret ไปติดบนจุดต่างๆบนเส้นโค้ง เพื่อสร้างจุดพิกัด	35
3.14	แสดงทิศทางการหมุนของ Parameter ขณะ Frenet-Serret Frame เคลื่อนที่	35
3.15	แสดงส่วนประกอบของ Parameter ใน helix formula	36
3.16	ตัวอย่างกลไกของแขนกลแบบขนาน	37
3.17	ลักษณะการวิเคราะห์แขนกลแบบกลไกขนาน	38

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

3.18 โครงสร้างและตัวแปรต่างๆ ที่นำมาใช้ในการคำนวณ D-H 39
3.19 การวิเคราะห์ D-H parameter แขนด้านซ้าย 39
3.20 การวิเคราะห์ D-H parameter แขนด้านขวา 40
3.21 โครงสร้างและตัวแปรต่างๆ ที่นำมาใช้ในการคำนวณเวคเตอร์ 41
3.22 แสดงการเกิด Singularity ขณะ EEF เคลื่อนเป็นเส้นตรงจากซ้ายไปขวา 50
3.23 แสดงเส้นทาง Pose และประเภทของ Singularity 51
3.24 แสดง Notation ต่างๆของก้านโยง 51
3.25 การวางตัวที่ทำให้เกิด Singularity 52
4.1 ขั้นตอนที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ 55
4.2 แท่งติดพลอย (Bees Wax) 56
4.3 การวางพลอยลงบนตัวเรือน 56
4.4 การเคลื่อนไหวของช่างติดพลอยบนตัวเรือน 57
4.5 ชิ้นงานสำเร็จที่ติดด้วยแท่งติดพลอย 57
4.6 แนวคิดแบบ Serial – Link Robot 58
4.7 แนวคิดแบบ Parallel – Link Robot แบบต้นกำลังอยู่ที่ต้น Link 58
4.8 ทดแทนการพาต้นกำลังไปด้วย ด้วยการแยกแขนและนำต้นกำลังไว้ที่ต้นแขน 58
4.9 เพิ่มแกนที่ 5 แนวตั้งจนได้ ภาพ IDEA ของ Parallel Robot แบบ Double Layer 59
4.10 ระบบการทำงานของหุ่นยนต์ 62
4.11 แผนภาพระบบการทำงานของหุ่นยนต์ 62
4.12 ลักษณะของโครงสร้างของ Five-Bar Mechanism แบบ RR/RRR ที่มีความเหมาะสมต่อการออกแบบหุ่นยนต์ 64
4.13 Parameter ที่ใช้ออกแบบ รูปแบบโครงสร้าง RR/RRR 65
4.14 ส่วนต่างๆที่ก้านโยงต้องเคลื่อนที่ไปให้ถึงให้ครอบคลุม 65
4.15 แสดงปริมาตร รูปทรง ของ Working Area 67
4.16 ใช้กลไก Universal Joint หรือ Ball Joint 68
4.17 การกำหนด notation ของแต่ละส่วนของหุ่นยนต์ 69
4.18 ลักษณะของความสัมพันธ์ของแขนคู่บนและแขนคู่ล่างในลักษณะสามเหลี่ยมคล้าย 70
4.19 การระบุค่ามุม Alpha angle 70

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.20 แสดง Quadrant จากสมการติดค่า tan 71
4.21 การเขียนโปรแกรมคำนวณความเร็วปลายแขนหุ่นยนต์ 72
4.22 ส่วนปฏิสัมพันธ์สำหรับการทดลองความเร็วปลายแขน 72
4.23 แสดงการระบุตำแหน่งต่างๆ 73
4.24 ตำแหน่ง Singarality 1 74
4.25 ขอบจำกัดด้านซ้าย และ ค่ากำหนดเพื่อการคำนวณ 76
4.26 Point จุด Singularity เพิ่มเติม 78
4.27 ระยะยืดสุดแขน 78
4.28 ค่าความละเอียดขั้นต่ำที่ผู้วิจัยต้อการขณะ วางพลอยเทียมลงบนหลุม = +-0.5 mm. 81
4.29 ภาพ Isomatic โดยรวมของหุ่นยนต์ 85
4.30 ภาพ Top View โดยรวมของหุ่นยนต์ 85
4.31 ภาพ Side view โดยรวมของหุ่นยนต์ 85
4.32 Front view โดยรวมของหุ่นยนต์ 85
4.33 แสดงภาพ Isometric View โดยรวมของหุ่นยนต์ 86
4.34 แสดงภาพ Close Up View ตรงบริเวณข้อต่อปลายแขนหุ่นยนต์ 86
4.35 แสดงส่วน Close Up View ตรงบริเวณข้อการทดเกียร์ของหุ่นยนต์ 87
4.36 แสดง Close Up view ตรงบริเวณการติด มอเตอร์ ของหุ่นยนต์ 87
4.37 ภาพรวมของหุ่นยนต์ รูปที่ 2, 7 ส่วนปลายข้อ รูปที่ 3,4 การยึดติดมอเตอร์ รูปที่ 8 การทดเฟื่อง 88
4.38 รูปแบบโครงสร้าง Robot Arm ใน SolidWork 89
4.39 mesh assembly แบบ หยาบๆ 89
4.40 Max Von MisesStrees =1.5e+08 90
4.41 Max Deform = -7.26e-01 = -0.726 mm. 90
4.42 Applied Torque ที่เกิดจาก มอเตอร์ ซึ่ง Max Torque = .02 NM. 90
5.1 บอร์ด USB2Dynamixel 91
5.2 การเชื่อมต่อ USB2Dynamixel กับคอมพิวเตอร์ 91
5.3 แสดงลักษณะและข้อมูลของเซอร์โวมอเตอร์ 92
5.4 วงจรการเชื่อมต่อมอเตอร์ 92

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

5.5 การเชื่อมต่อมอเตอร์หลายๆตัวด้วย USE2Dynamixel ตัวเดียว 93
5.6 เป็นการออกแบบการ Wire สายสัญญาณเข้ากับ MyDaq Card ของ NI 93
5.7 ตัว Sensor แสงตรวจสอบระยะ FS-V21 93
5.8 ไดอะแกรม แสดงการต่อวงจร ระหว่างการ์ด Daq และ FS-V21 94
5.9 การออกแบบบอร์ดไข่ปลา เพื่อจะ Wire สายของ Fiber Optic ให้รวมกลุ่มกันและดูเป็นระเบียบ 94
5.10 SMC ZM101H 24VDC อุปกรณ์สร้างลมดูด 94
5.11 RELAY ETT-REL8 12V อุปกรณ์ Trig สวิตซ์ SMC ZM101H 94
5.12 แผนภาพการต่อวงจร เพื่อดูดเพชรเทียม 95
5.13 กล้อง WebCam สำหรับตรวจสอบตำแหน่งปลายแขนหุ่นยนต์ต่อตรงทาง Port USB 95
5.14 การออกแบบตำแหน่งการยึดสายอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับ Relay 95
5.15 ค่าความละเอียดที่ปลาย End Effector เมื่อใช้ Ax-12 อยู่ที่ 0.26 mm. 96
5.16 บอร์ด Motor Control ให้เป็น บอร์ด Polulu รุ่น Jrk 21v3 96
5.17 การติดตั้งบอร์ด Polulu ลงบนกล่อง Control 96
5.18 การ ปรับปรุง มอเตอร์ เพื่อให้ มอเตอร์ ถูกควบคุมด้วยบอร์ด Polulu 96
5.19 ค่าความละเอียดที่ปลาย End Effector เมื่อใช้ Board Polulu อยู่ที่ 0.19 mm. 97
5.20 การเชื่อมต่อ Potentiometer 97
5.21 การติดตั้ง Potentiometer ภายนอกมอเตอร์ตรงบริเวณเพลาส่งกำลัง 97
5.22 State Chart Diagram ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 98
5.23 ส่วนปฏิสัมพันธ์ของโปรแกรมตรวจสอบปลายแขนกล 98
5.24 ส่วนปฏิสัมพันธ์ของการเขียนคำสั่ง 98
5.25 โปรแกรมย่อยต่างๆ 99
5.26 แผ่นผังการทำงานเชื่อมกันของ Labview -> Softmotion -> SolidWorks 99
5.27 โปรแกรม SolidWorkที่ใช้โมดูล TimeBaseEvent 100
5.28 เขียนส่วนปฏิสัมพันธ์เพื่อระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ แล้วสั่งงานหุ่นยนต์ 100
5.29 เขียน ชุดคำสั่ง จลศาสตร์ผกผัน ควบคุมแขนหุ่นยนต์ 101
5.30 หน้าจอ ส่วนติดต่อผู้ใช้ แสดงส่วนควบคุมความเร็ว แนวแกน 102
5.31 การฝัง ชุดคำสั่ง Omega Compute and Omega Overwriting 102

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

5.32 แสดงการฝั่ง ชุดคำสั่ง สร้าง Matrix Jx Jq เพื่อส่งออกให้ไปใช้คำสั่ง det ภายนอก 103

5.33 การฝัง อินเวอร์ส จาโคเบียน ลงในโปรแกรม Labview 104

5.34 กระบวนการในการเขียนโปรแกรม 104

5.35 แสดงการฝัง ชุดคำสั่ง Frenet-Serret เข้าไปในโปรแกรม Labview 105

5.36 การประกอบเข้าเป็น Matrix และการ Dot ด้วย Rotation Matrix 106

5.37 แสดงการส่งค่ามุม Theta แกนต่างๆ ที่เป็น Actuator Domain ไปยัง Function Call SyncWrite 107

5.38 แสดง Function Call SyncWrite ซึ่งทำหน้าที่รับค่าเพื่อส่งให้ Port Rs232 107

5.39 แสดง ชุดคำสั่ง จากสั่ง Snap Shot รูปนิ่งจากกล้อง WebCam 107

5.40 ชุดคำสั่ง การสร้าง Acsii Code เพื่อส่งให้ Polulu Board 108

6.1 ตัวอย่างรูปแบบชิ้นงานเพื่อทดลองการทำงานของแบบจำลอง 109

6.2 หน้าจอส่วนติดต่อผู้ใช้ สำหรับทดลองการเคลื่อนที่ 110

6.3 แสดงการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลเมื่อกำหนดค่าความเร็วแกน x 113

6.4 ความเร็วปลานแขนกล ในแนวแกน x ที่ได้ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 120-150 mm/s 114

6.5 ความเร็วปลานแขนกล ในแนวแกน y ที่ได้ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-0.2 mm/s 114

6.6 ค่าความเร็วเชิงมุมของต้นกำลังด้านซ้าย ด้านแขนบน $Dt[\theta IL1]$ 114

6.7 ค่าความเร็วเชิงมุมของต้นกำลังด้านขวาบน $Dt[\theta IL2]$ 114

6.8 ค่าความเร็วเชิงมุมของต้นกำลังด้านซ้ายล่าง 115

6.9 ค่าความเร็วเชิงมุมของต้นกำลังด้านขวาล่าง 115

6.10 ความเร็วเชิงเส้นในแกน x เมื่อกำหนดความเร็วต้นคงที่ 115

6.11 แสดง เส้นโค้ง เป้าหมาย (สีฟ้า) 116

6.12 ผลการจำลองสถานการณ์ แขนกล ด้วย Frenet-Serret Frame 117

6.13 แสดงภาพตำแหน่งหัว EEF พร้อม Scale บอกระยะ 118

6.14 แสดงระยะ Eror ในแนวแกน X จากการจัดเก็บค่า 20 ครั้ง 120

6.15 แสดงระยะ Eror ในแนวแกน Y จากการจัดเก็บค่า 20 ครั้ง 122

6.16 แสดงการ Plot ค่า Error สมบูรณ์ในแนวแกน X,Y จากตำแหน่งทั้ง 8 123

6.17 รูปปลาย EEF แสดงตำแหน่งมุมที่ EEF กระทำต่อระนาบแนวนอน 127

6.18 แสดงระยะมุม Eror ในแนวรอบแกน X จากการจัดเก็บค่า 20 ครั้ง 130

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

6.19 แสดงระยะมุม Eror ในแนวรอบแกน Y จากการจัดเก็บค่า 20 ครั้ง 131
6.20 แสดงการ Plot ค่าเฉลี่ย Error สมบูรณ์ในแนวมุม รอบแกน X,Y จากตำแหน่งทั้ง 12 132
6.21 แสดงระยะ Eror ในแนวแกน X จากการจัดเก็บค่า 20 ครั้ง หลังปรับปรุง 137
6.22 แสดงระยะ Eror ในแนวแกน Y จากการจัดเก็บค่า 20 ครั้ง หลังปรับปรุง 139
6.23 แสดงการ Plot ค่า Error สมบูรณ์ในแนวแกน X,Y จากตำแหน่งทั้ง 8 หลังปรับปรุง 140
6.24 แสดงระยะมุม Eror ในแนวรอบแกน X จากการจัดเก็บค่า 20 ครั้ง หลังปรับปรุง 146
6.25 แสดงระยะมุม Eror ในแนวรอบแกน Y จากการจัดเก็บค่า 20 ครั้ง หลังปรับปรุง 146
6.26 แสดงการ Plot ค่าเฉลี่ย Error สมบูรณ์หลังปรับปรุงในแนวมุม รอบแกน X,Y จากตำแหน่งทั้ง 12 147
6.27 ขั้นตอนการหา อินเวอร์ส จาโคเบียน และการนำค่าไปชดเชยมุมต้นกำลัง 151
6.28 ตำแหน่งเป้าหมายการเคลื่อนที่ D1,D2 152
6.29 แสดงการเคลื่อนที่ลู่เข้าหาค่าที่ถูกต้องในแต่ละครั้งที่ Run คำสั่ง อินเวอร์ส จาโคเบียน 152
6.30 หน้าจอส่วนติดต่อผู้ใช้ และตรวจสอบ ค่า Error ของการ Run อินเวอร์ส จาโคเบียน 152
6.31 แสดงแนวโน้มการลดลงของ Error หลังจาก Run อินเวอร์ส จาโคเบียน 155
7.1 การใช้แกน Slide เพื่อผลักให้เกิดการหมุน โดยไม่ผ่านอุปกรณ์แปลงหรือทดรอบ 158
7.2 แสดงให้เห็นส่วนการ Slide โดยผ่านการชุป electro nickel 159
7.3 โครงสร้างส่วนยึด Ball Bearing และ Roller Bearing 159
7.4 แสดงส่วนของการเชื่อมกันของแขนทั้ง 5 159
7.5 การออกแบบ แกนที่ 5 160
7.6 ส่วนประกอบ การถ่ายระนาบ 160
7.7 แสดงการใช้ Fixture ที่ถ่ายระนาบจากพื้นขึ้นมา Alignment ปลายแขน 160
7.8 การใช้แท่ง Precision ถ่ายระนาบจากพื้นขึ้นมายึดแขนทั้ง 2 ข้างบนล่างขณะประกอบ 161
7.9 การทำ Compliance ที่ข้อในขณะประกอบทำให้สามารถลดความเค้นได้ 161
7.10 ภาพด้านซ้ายคือ พื้นที่ทำงานใหม่ ภาพด้านขวาคือ มุมเอียงใหม่ที่ทำได้ 161
7.11 แสดงรูปของ Couple Curve ได้เป็นรูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด 162
7.12 หลังจากปรับปรุงโครงสร้างหลายรอบ ค่า Stress = 14 Mpa, Displacement = 190 micron 162
7.13 เปลี่ยน Bearing เป็นแบบ High Precision และยึดแบบ Bearing คู่ 162

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

7.14 ระบบ Voice Coil Control & Motor 163
7.15 การออกแบบหุ่นยนต์ใหม่เพื่อให้มีโครงสร้างที่แข็งแรง แม่นยำมากขึ้น 164
7.16 การออกแบบส่วนแขน โดยแนวคิดสร้างจุดยึดเป็นคู่ระนาบ 164
7.17 ตัวอย่างการออกใบ Drawing 165
7.18 แบบของหุ่นยนต์ทั้งหมด 58 แบบ เตรียมพร้อมในการผลิต 165