

ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่ช่วยวิเคราะห์กลไกแบบปิด

นายเกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

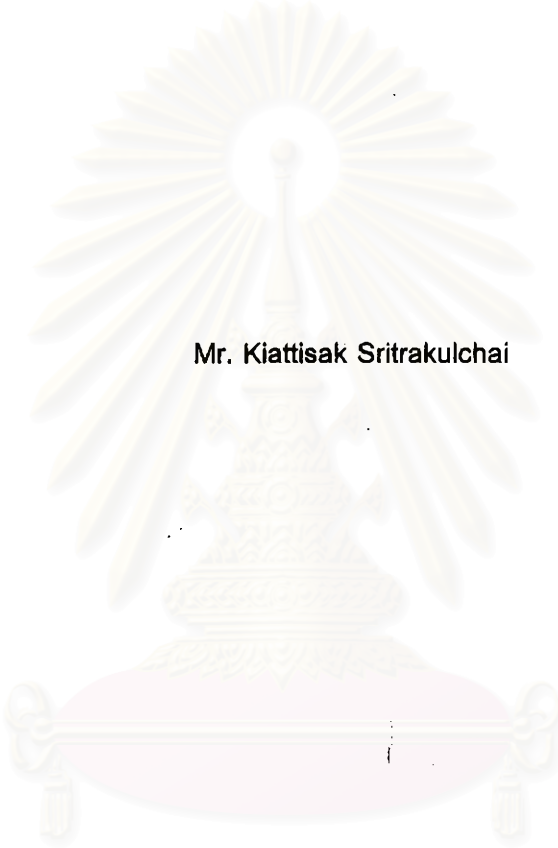
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-711-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19207116

A COMPUTER AIDED SOFTWARE FOR ANALYSIS OF CLOSED MECHANISMS



Mr. Kiattisak Sritrakulchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic Year 1999

ISBN 974-334-711-9


หัวข้อวิทยานิพนธ์
โดย
ภาควิชา
อาจารย์ที่ปรึกษา

ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่ช่วยวิเคราะห์กลไกแบบปิด
นายเกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย
วิศวกรรมเครื่องกล
รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

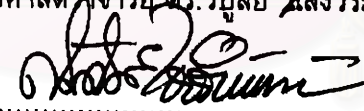
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ไชยะภินันท์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ)

เกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย : ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่ช่วยวิเคราะห์กลไกแบบปิด.

(A Computer Aided Software for Analysis of Closed Mechanisms)

อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, 130 หน้า. ISBN 974-334-711-9.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการสังเคราะห์และวิเคราะห์กลไกที่เคลื่อนที่อยู่ในระนาบเพื่อให้ได้กลไกแบบปิดที่เหมาะสม โดยผู้ใช้จะต้องกำหนดคุณสมบัติชนิดของก้านต่อที่ต้องการ และกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่ไว้ล่วงหน้า 3 ตำแหน่ง เพื่อให้กลไกที่จะออกแบบขึ้นนี้เคลื่อนที่ผ่าน และสามารถจำลองการเคลื่อนที่ของกลไกนั้นบนหน้าจอซอฟต์แวร์อโตแคดรีลิส 14 จากนั้นแสดงข้อมูลการเคลื่อนที่ของตำแหน่งที่สนใจที่จะพิจารณากันต่อต่างๆ โดยที่ผู้ออกแบบสามารถทำการออกแบบและแก้ไขกลไกเชิงโต้ตอบได้

ซอฟต์แวร์นี้พัฒนามาจากระบบปฏิบัติการไมโครซอฟต์วินโดวส์ ซึ่งเป็นระบบติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟฟิกและใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์อโตแคดรีลิส 14 โดยใช้อโตแคด ARX

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต *พิชญ์นิลลภรณ์ อังกุลลาภ*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

3970156421 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: COMPUTER AIDED / MECHANISMS / SYNTHESIS AND ANALYSIS

KIATTISAK SRITRAKULCHAI : A COMPUTER AIDED SOFTWARE FOR ANALYSIS OF CLOSED MECHANISMS, THESIS

ADVISOR : ASSO.PROF.VIBOON SANGVERAPHUNSIRI, Ph.D , 130 pp.

ISBN 974-334-711-9.

This thesis is to develop a computer-aided software for synthesis and analysis of planar motion for appropriated close-mechanism. The users needed to provided links type properties and three prescribed positions, which the mechanism will pass through. The motion of the mechanism will be simulated and display on the screen, under AutoCAD release 14, as well as the motion information of each link at the desired point on the link. The designer can also perform interactive design and modification.

Microsoft Visual C++ and Windows GUI (Graphical User Interface) are used as developing tool. The software will interface with AutoCAD release 14 through the AutoCAD ARX.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต *Kiattisak Srirakulchai*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Viboon Sangveraphunsiri*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้คอยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่มีประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งคอยสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณไพรัช ตั้งพรประเสริฐ คุณวาสนา ศรีรักษ์ คุณพลังรัฐ ชนการพานิช คุณมนต์ศักดิ์ จานทอง คุณบวร ปัญญาวรวัจน์ คุณประสาทพร พูลสมบัติ และน้องๆ ที่ศึกษาระดับปริญญาโทสาขาควบคุมอัดโนมัตทุกคน ที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะ ให้กำลังใจด้วยดีมาตลอด

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ๆ และญาติทุกคน ซึ่งคอยสนับสนุนในด้านทุนทรัพย์และคอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฎ
สัญลักษณ์	ณ

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย	4
2. การสังเคราะห์เชิงรูปแบบ (Type Synthesis).....	6
2.1 รูปเขียนคิเนแมติก (Kinematic Diagrams).....	6
2.2 โซ่คิเนแมติก (Kinematic Chains).....	8
2.3 กลไก (Mechanisms) หรือเครื่องกล (Machine)	9
2.4 คู่สัมผัสคิเนแมติก (Kinematic Pairs).....	9
2.5 ระดับขั้นเสรี (ร.ข.ส) (Degree Of Freedom – DOF)	9
2.6 การสังเคราะห์เชิงจำนวน	11
2.7 การสับเปลี่ยน (Inversion)	14
2.8 ตำแหน่งจุดตาย (Dead-Point Configuration)	19
3. การสังเคราะห์เชิงมิติ (Dimension Synthesis).....	21
3.1 กรณีของโมชันเจนเนอเรชัน (Motion Generation)	23
3.2 กรณีของพาธเจนเนอเรชัน (Path Generation).....	25
3.3 กรณีของฟังก์ชันเจนเนอเรชัน (Function Generation)	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. การวิเคราะห์คิเนแมติก (Kinematic Analysis).....	34
4.1 ข้อต่อคู่สัมผัสหมุน (Revolute Joint)	35
4.2 ข้อต่อคู่สัมผัสเลื่อนไถล (Translation Joint).....	37
4.3 ก้านต่อส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Link).....	39
4.4 ก้านต่อยึดอยู่กับที่ (Ground Link).....	41
4.5 วิธีการคำนวณการวิเคราะห์คิเนแมติก (Kinematics Analysis).....	41
5. การออกแบบและสร้างซอฟต์แวร์.....	44
5.1 เป้าหมายของซอฟต์แวร์	44
5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	44
5.3 โฟลว์ชาร์ต (Flow Chart) ของซอฟต์แวร์.....	45
5.4 ขั้นตอนการทำงานของซอฟต์แวร์.....	46
6. การทดสอบซอฟต์แวร์และผลการทดสอบ	62
6.1 กลไก 4 ก้านต่อ.....	63
6.2 กลไก 6 ก้านต่อ.....	83
6.3 กลไก 8 ก้านต่อ.....	90
6.4 กลไก 5 ก้านต่อ.....	96
6.5 กลไก 7 ก้านต่อ.....	102
6.6 กลไก 6 ก้านต่อมีข้อต่อคู่สัมผัสเลื่อนไถล.....	107
6.7 กลไกที่เกิดจากการเอากลไกหนึ่งต่อกับอีกกลไกหนึ่ง.....	112
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	119
7.1 สรุปผลการวิจัย.....	119
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	121
รายการอ้างอิง	123
ภาคผนวก.....	125
ภาคผนวก ก การติดตั้งและการโหลด (Load) ซอฟต์แวร์.....	125
ประวัติผู้เขียน.....	130

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	กลไกที่ประกอบด้วยก้านต่อชนิดต่างๆ และมี ร.ข.ส เท่ากับ 1.....	12
ตารางที่ 3.1	การกำหนดตัวแปรที่กำหนดค่าสว่างหน้า และตัวแปรเลือกอิสระ	29
ตารางที่ 6.1	ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 1 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน.....	65
ตารางที่ 6.2	ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 2 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน.....	66
ตารางที่ 6.3	ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 3 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน.....	67
ตารางที่ 6.4	ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 4 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน.....	68
ตารางที่ 6.5	ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 5 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน.....	70
ตารางที่ 6.6	ค่าคิเนแมติกงานขนย้ายกล่องจากสายพานที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง	71
ตารางที่ 6.7	ค่าตัวแปรเลือกอิสระในการทดลองครั้งที่ 1 ในงานควบคุมคลัทช์รถเข็นคนไข้แบบ นั่ง (Wheelchair).....	74
ตารางที่ 6.8	ค่าตัวแปรเลือกอิสระในการทดลองครั้งที่ 2 ในงานควบคุมคลัทช์รถเข็นคนไข้แบบ นั่ง (Wheelchair).....	76
ตารางที่ 6.9	ค่าคิเนแมติกงานควบคุมคลัทช์รถเข็นคนไข้แบบนั่งที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง	77
ตารางที่ 6.10	ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 1 ในงานควบคุมมือเทียม	81
ตารางที่ 6.11	ค่าคิเนแมติกก้านต่อส่งออกในงานควบคุมมือเทียมที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง.....	82
ตารางที่ 6.12	ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 1 ในงานแม่พิมพ์ (Mold).....	85
ตารางที่ 6.13	ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 2 ในงานแม่พิมพ์	88
ตารางที่ 6.14	ค่าคิเนแมติกในงานแม่พิมพ์เมื่อเคลื่อนที่จากสายพานไปที่แม่พิมพ์จากที่ ตำแหน่ง 1 ไป 3.....	89
ตารางที่ 6.15	ค่าคิเนแมติกในงานแม่พิมพ์เมื่อเคลื่อนที่จากแม่พิมพ์ไปที่สายพานจากที่ ตำแหน่ง 3 ไป 1.....	89
ตารางที่ 6.16	ค่าตัวแปรเลือกอิสระในงานใบหูหุ่นยนต์สัตว์.....	94
ตารางที่ 6.17	ค่าคิเนแมติกงานใบหูหุ่นยนต์สัตว์ที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง	96
ตารางที่ 6.18	ค่าตัวแปรเลือกอิสระงานขนย้ายกล่องจากสายพานของกลไก 5 ก้านต่อ	100
ตารางที่ 6.19	ค่าคิเนแมติกงานขนย้ายกล่องกลไก 5 ก้านต่อที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง.....	101
ตารางที่ 6.20	ค่าตัวแปรเลือกอิสระงานเปิดฝากล่องอัตโนมัติ.....	106
ตารางที่ 6.21	ค่าคิเนแมติกงานเปิดฝากล่องอัตโนมัติที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง	107
ตารางที่ 6.22	ค่าตัวแปรเลือกอิสระของกลไก 6 ก้านต่อ แบบมีข้อต่อคู่สัมผัสเลื่อนไกลในงาน หน้าต่าง	109

สารบัญญัตราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 6.23 ค่าคินแเม็ดกงานบานพับหน้าตางที่เงอนไซ 3 ต้าแห่ง	111
ตารางที่ 6.24 ค่าตัวแปรเลือกอิสระกลไกควบคุมที่พัทศิระะ.....	113
ตารางที่ 6.25 ค่าคินแเม็ดกงานควบคุมที่พัทศิระะก้านต้อส่งออกที่เงอนไซ 3 ต้าแห่ง.....	114
ตารางที่ 6.26 ค่าตัวแปรเลือกอิสระกลไกควบคุมที่พัทเท้า.....	116
ตารางที่ 6.27 ค่าคินแเม็ดกงานควบคุมที่พัทเท้าก้านต้อส่งออกที่เงอนไซ 3 ต้าแห่ง.....	117
ตารางที่ 7.1 จ้านวนสมการสำหรับตัวแปรที่หาค้า คือ W, Z โดยก้าหนดค้า δ_j, α_j	121



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	รูปเขียนคิเนแมติกของก้านต่อชนิดต่างๆ	7
รูปที่ 2.2	โซ่คิเนแมติก (Kinematic Chains).....	8
รูปที่ 2.3	การสังเคราะห์ชนิดของกลไก 6 ก้านต่อ และระดับชั้นเสรีเท่ากับ 1.....	13
รูปที่ 2.4	ความเหมือนกันของข้อต่อคู่ชั้นต่ำกับข้อต่อคู่ชั้นสูง	16
รูปที่ 2.5	ความสัมพันธ์ของกลไก 4 ก้านต่อแบบตัวเลื่อน-ข้อเหวี่ยงระดับชั้นเสรีเท่ากับ 1	17
รูปที่ 2.6	ความสัมพันธ์ของโซ่สเตฟเฟนสัน 6 ก้านต่อ ระดับชั้นเสรีเท่ากับ 1.....	18
รูปที่ 2.7	ความสัมพันธ์ของโซ่วัตต์ 6 ก้านต่อ ระดับชั้นเสรีเท่ากับ 1.....	18
รูปที่ 2.8	ตำแหน่งขีดจำกัดของกลไก 4 ก้านต่อ แบบข้อเหวี่ยง-แขนแกว่ง	19
รูปที่ 2.9	ตำแหน่งจุดตายของกลไก 4 ก้านต่อ.....	20
รูปที่ 3.1	ไดแอด $A (W_A, Z_A)$ และไดแอด $B (W_B, Z_B)$ ของกลไก 4 ก้านต่อ	22
รูปที่ 3.2	ไดแอด W, Z กับการกำหนด β_j	23
รูปที่ 3.3	ไดแอด W, Z กับการกำหนดตำแหน่งก้านต่ออยู่กับที่	24
รูปที่ 3.4	กลไก 4 ก้านต่อ สำหรับฟังก์ชันเจนเนอเรชัน (Function Generation).....	26
รูปที่ 3.5	วงวนปิดของกลไก 4 ก้านต่อ.....	27
รูปที่ 3.6	กลไก 4 ก้านต่อแบบตัวเลื่อน-ข้อเหวี่ยง.....	28
รูปที่ 3.7	กลไก 6 ก้านต่อแบบสเตฟเฟนสันแบบที่ III	30
รูปที่ 3.8	จำลองกลไก 6 ก้านต่อแบบสเตฟเฟนสันแบบที่ III เป็น 3 ไดแอด.....	31
รูปที่ 4.1	ก้านต่อที่มีการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในระนาบ.....	35
รูปที่ 4.2	ก้านต่อ i และ j ต่อด้วยข้อต่อคู่สัมผัสหมุนที่จุด P	36
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์กันระหว่างพิกัดเฉพาะที่ (Local Coordinates) กับพิกัดวงกว้าง (Global Coordinates) ที่ตำแหน่ง P_i	36
รูปที่ 4.4	ก้านต่อ i และ j ต่อด้วยข้อต่อคู่สัมผัสเลื่อนไกล	38
รูปที่ 5.1	โพลีชาร์ตของซอฟต์แวร์.....	45
รูปที่ 5.2	ทูลบาร์ (Toolbar) คำสั่งหลักของซอฟต์แวร์.....	46
รูปที่ 5.3	โพลีชาร์ตในขั้นตอนการสังเคราะห์เชิงรูปแบบ	46
รูปที่ 5.4	ไดอะล็อกบ็อกซ์หลักของการสังเคราะห์เชิงรูปแบบ	47
รูปที่ 5.5	วินโดวส์ของชนิดก้านต่อในระนาบขนานกัน (Planar Link Type).....	48
รูปที่ 5.6	ไดอะล็อกบ็อกซ์สำหรับโหลดไฟล์ในฐานข้อมูลของผู้ใช้จากฮาร์ดดิสก์	49
รูปที่ 5.7	โซ่พื้นฐานคิเนแมติก (Basic Kinematic Chain) 6 ก้านต่อ	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.8	ไฟล์วชาร์ตในขั้นตอนของการกำหนดเงื่อนไขบังคับ (Define Constraints).....	51
รูปที่ 5.9	ไดอะล็อกบ็อกซ์หลักสำหรับกำหนดเงื่อนไขบังคับ (Define Constraints).....	52
รูปที่ 5.10	ไฟล์วชาร์ตในขั้นตอนของการสังเคราะห์เชิงมิติ (Dimension Synthesis).....	53
รูปที่ 5.11	ค่าผลลัพธ์ของการสังเคราะห์เชิงมิติ (Dimension Synthesis).....	54
รูปที่ 5.12	ไฟล์วชาร์ตในขั้นตอนการวิเคราะห์คิเนแมติก (Kinematics Analysis).....	56
รูปที่ 5.13	ไฟล์วชาร์ตในขั้นตอนการจำลองการเคลื่อนที่ (Simulation) ของกลไก.....	57
รูปที่ 5.14	ไฟล์วชาร์ตในขั้นตอนของการแสดงกราฟ (Display Graph).....	57
รูปที่ 5.15	ไดอะล็อกบ็อกซ์เพื่อบันทึกข้อมูลลงไฟล์.....	58
รูปที่ 5.16	ไดอะล็อกบ็อกซ์เพื่อเลือกการแสดงกราฟ.....	58
รูปที่ 5.17	วินโดวส์สำหรับแสดงกราฟความเร็ว กับเวลาของก้านต่อ 3.....	59
รูปที่ 5.18	ไดอะล็อกบ็อกซ์สำหรับสร้างไฟล์นามสกุล dwg (Drawing File).....	60
รูปที่ 6.1	วงวน (Loop) ทำซ้ำในการออกแบบ.....	62
รูปที่ 6.2	งานที่ต้องการขนย้ายกล่องจากสายพาน.....	63
รูปที่ 6.3	กลไกเมื่อเคลื่อนที่ขนย้ายกล่องจากสายพานในการทดลองครั้งที่ 1.....	64
รูปที่ 6.4	กลไกเมื่อเคลื่อนที่ขนย้ายกล่องจากสายพานในการทดลองครั้งที่ 2.....	66
รูปที่ 6.5	กลไกเมื่อเคลื่อนที่ขนย้ายกล่องจากสายพานในการทดลองครั้งที่ 3.....	67
รูปที่ 6.6	กลไกเมื่อเคลื่อนที่ขนย้ายกล่องจากสายพานในการทดลองครั้งที่ 4.....	68
รูปที่ 6.7	กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานที่ตำแหน่งที่ 1.....	69
รูปที่ 6.8	กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2.....	69
รูปที่ 6.9	กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3.....	69
รูปที่ 6.10	กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานเมื่อเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ.....	70
รูปที่ 6.11	กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน..	71
รูปที่ 6.12	กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน..	71
รูปที่ 6.13	งานที่ต้องการใช้แขนควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่ง (Wheelchair).....	72
รูปที่ 6.14	กลไกเมื่อเคลื่อนที่ควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่งในการทดลองครั้งที่ 1.....	73
รูปที่ 6.15	กลไกควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่งที่ตำแหน่งที่ 1.....	74
รูปที่ 6.16	กลไกควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่งเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2.....	75
รูปที่ 6.17	กลไกควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่งเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3.....	75
รูปที่ 6.18	กลไกควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้มากที่สุด.....	76

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6.19	กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่ง	77
รูปที่ 6.20	กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่ง	77
รูปที่ 6.21	งานที่ต้องการใช้กลไกควบคุมการจับของมือเทียม.....	78
รูปที่ 6.22	กลไกควบคุมมือเทียมที่ตำแหน่งที่ 1.....	79
รูปที่ 6.23	กลไกควบคุมมือเทียมเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2.....	80
รูปที่ 6.24	กลไกควบคุมมือเทียมเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3.....	80
รูปที่ 6.25	กลไกควบคุมมือเทียมที่สามารถเคลื่อนที่ได้มากที่สุด.....	81
รูปที่ 6.26	กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานควบคุมมือเทียม.....	82
รูปที่ 6.27	กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานควบคุมมือเทียม.....	82
รูปที่ 6.28	งานเคลื่อนย้ายเหล็กหล่อจากแม่พิมพ์ (Mold).....	83
รูปที่ 6.29	กลไกเมื่อเคลื่อนที่ในงานแม่พิมพ์ (Mold) ของการทดลองครั้งที่ 1.....	85
รูปที่ 6.30	กลไกในงานแม่พิมพ์ (Mold) ที่ตำแหน่งที่ 1.....	86
รูปที่ 6.31	กลไกในงานแม่พิมพ์ (Mold) เมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2.....	86
รูปที่ 6.32	กลไกในงานแม่พิมพ์ (Mold) เมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3.....	87
รูปที่ 6.33	กลไกในงานแม่พิมพ์ (Mold) เมื่อเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ.....	87
รูปที่ 6.34	กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานแม่พิมพ์.....	88
รูปที่ 6.35	กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานแม่พิมพ์.....	89
รูปที่ 6.36	งานใบหูของหุ่นยนต์สัตว์.....	91
รูปที่ 6.37	กลไกควบคุมใบหูของหุ่นยนต์สัตว์ที่ตำแหน่งที่ 1.....	92
รูปที่ 6.38	กลไกควบคุมใบหูของหุ่นยนต์สัตว์เมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2.....	93
รูปที่ 6.39	กลไกควบคุมใบหูของหุ่นยนต์สัตว์เมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3.....	93
รูปที่ 6.40	กลไกควบคุมใบหูของหุ่นยนต์สัตว์เมื่อเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ.....	94
รูปที่ 6.41	กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานใบหูหุ่นยนต์สัตว์.....	95
รูปที่ 6.42	กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานใบหูหุ่นยนต์สัตว์.....	95
รูปที่ 6.43	งานขนย้ายกล่องจากสายพานในแนวระนาบไปยังสายพานลาดเอียง.....	97
รูปที่ 6.44	กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานของกลไก 5 ก้านต่อที่ตำแหน่งที่ 1.....	98
รูปที่ 6.45	กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานของกลไก 5 ก้านต่อเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2.....	99

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6.46	กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานของกลไก 5 ก้านต่อเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3	99
รูปที่ 6.47	กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานของกลไก 5 ก้านต่อเมื่อเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ	100
รูปที่ 6.48	กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_3 ก้านต่อ 3 งานขนย้ายกล่องของกลไก 5 ก้านต่อ	101
รูปที่ 6.49	กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_3 ก้านต่อ 3 งานขนย้ายกล่องของกลไก 5 ก้านต่อ	101
รูปที่ 6.50	งานเปิดฝากล่องอัตโนมัติ	102
รูปที่ 6.51	กลไกเปิดฝากล่องที่ตำแหน่งที่ 1	104
รูปที่ 6.52	กลไกเปิดฝากล่องเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2	104
รูปที่ 6.53	กลไกเปิดฝากล่องเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3	105
รูปที่ 6.54	กลไกเปิดฝากล่องเมื่อเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ	105
รูปที่ 6.55	กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานเปิดฝากล่องอัตโนมัติ	106
รูปที่ 6.56	กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานเปิดฝากล่องอัตโนมัติ	107
รูปที่ 6.57	งานบานพับหน้าต่าง	108
รูปที่ 6.58	กลไกเปิดหน้าต่างที่ตำแหน่งที่ 1	109
รูปที่ 6.59	กลไกปิดหน้าต่างเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2	109
รูปที่ 6.60	กลไกปิดหน้าต่างเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3	109
รูปที่ 6.61	กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_5 บนก้านต่อ 5 ในงานบานพับหน้าต่าง	110
รูปที่ 6.62	กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_5 บนก้านต่อ 5 ในงานบานพับหน้าต่าง	111
รูปที่ 6.63	งานแก้อี๊ดัดผม	112
รูปที่ 6.64	กลไกเมื่อเคลื่อนที่ควบคุมที่פקศิระะ	113
รูปที่ 6.65	กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานควบคุมที่פקศิระะ	114
รูปที่ 6.66	กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานควบคุมที่פקศิระะ	114
รูปที่ 6.67	กลไกเมื่อเคลื่อนที่ควบคุมที่פקเท้า	116
รูปที่ 6.68	กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานควบคุมที่פקเท้า	116
รูปที่ 6.69	กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานควบคุมที่פקเท้า	117
รูปที่ 6.70	กลไกควบคุมแก้อี๊ดัดผม	118
รูปที่ ก.1	สร้างแฟ้มข้อมูลใหม่ในไดเรกทอรีซอฟต์แวร์ออโตแคด	126

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ก.2	เมนูของซอฟต์แวร์อโดแคด..... 126
รูปที่ ก.3	เพิ่มไดเรกทอรีที่สร้างใหม่เข้าไปที่หัวข้อชื่อ Support File Search Path 127
รูปที่ ก.4	ไดอะล็อกบ็อกซ์ของการโหลดไฟล์นามสกุล ARX ใช้งานด้วยตนเอง 128
รูปที่ ก.5	เมนูของซอฟต์แวร์อโดแคดเพื่อโหลดไฟล์เพื่อใช้งาน 129
รูปที่ ก.6	ไดอะล็อกบ็อกซ์เพื่อเลือกไฟล์ที่จะโหลดใช้งาน 129



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์เชิงมิติ (Dimension Synthesis)

W_A, Z_A	ส่วนของเวกเตอร์ของกลไก 4 ก้านต่อ ซึ่งเป็น 1 ไดแอด (Dyad) ทางด้านซ้าย ในกรณีของฟังก์ชันโมชันเจนเนอเรชันและฟังก์ชันพาธเจนเนอเรชัน
W_B, Z_B	ส่วนของเวกเตอร์ของกลไก 4 ก้านต่อ ซึ่งเป็น 1 ไดแอดทางด้านขวา ในกรณีของฟังก์ชันโมชันเจนเนอเรชันและฟังก์ชันพาธเจนเนอเรชัน
W, Z	ส่วนของเวกเตอร์ที่เป็นไดแอดใดๆ ของกลไก
Z_A, Z_B	ส่วนของเวกเตอร์ที่จะประกบกันเป็นก้านส่ง (Coupler Link) ในกรณีของฟังก์ชันโมชันเจนเนอเรชันและฟังก์ชันพาธเจนเนอเรชัน
j	ตัวบ่งชี้บอกตำแหน่งที่กำหนดการเคลื่อนที่ไว้ล่วงหน้าตำแหน่งที่ 2 และ 3
α_j	เป็นมุมที่หมุนเชิงมุมของเวกเตอร์ Z_A ที่จะประกบกันเป็นก้านส่งจากตำแหน่งแรกถึงตำแหน่งที่ j
β_j	เป็นมุมที่หมุนเชิงมุมของเวกเตอร์ W_A จากตำแหน่งแรกถึงตำแหน่งที่ j โดยที่ปลายด้านหนึ่งของเวกเตอร์จะเป็นตำแหน่งของก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ (Ground Link)
δ_j	เป็นเวกเตอร์การกระจัดจากตำแหน่งแรกถึงตำแหน่งที่ j
R_j	เป็นเวกเตอร์ในระบบพิกัดฉาก ซึ่งบอกตำแหน่งที่กำหนดค่าล่วงหน้า 3 ตำแหน่ง ในพิกัดสมบูรณ์ (Absolute Coordinates)
Z_1, Z_2, Z_3, Z_4	เป็นเวกเตอร์ชี้แทนกลไก 4 ก้านต่อ ในกรณีของฟังก์ชันเจนเนอเรชัน
ϕ_j	เป็นมุมที่หมุนเชิงมุมของเวกเตอร์ Z_2 ที่เป็นก้านต่อส่งเข้า (Input Link) จากตำแหน่งแรกถึงตำแหน่งที่ j
ψ_j	เป็นมุมที่หมุนเชิงมุมของเวกเตอร์ Z_4 ที่เป็นก้านต่อส่งออก (Output Link) จากตำแหน่งแรกถึงตำแหน่งที่ j
γ_j	เป็นมุมที่หมุนเชิงมุมของเวกเตอร์ Z_3 ที่เป็นก้านส่ง (Coupler Link) จากตำแหน่งแรกถึงตำแหน่งที่ j
p_j	อัตราส่วนการเลื่อนของอุปกรณ์เลื่อนไถล (Slider)

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คิเนแมติก (Kinematic Analysis)

- η, ξ , ระบบแกนพิกัดฉากเฉพาะที่ (Local Cartesian Coordinator System) ของก้านต่อในกลไก
- ϕ_i มุมของการหมุนสำหรับก้านต่อ i
- ϕ_i^0 มุมเริ่มต้นของการหมุนสำหรับก้านต่อ i
- \bar{s}_i^p เป็นเวกเตอร์ระหว่างจุด 2 จุด บนก้านต่อ i ซึ่งมีจุดหนึ่งเป็นจุด p
- s_i^p ส่วนประกอบของพิกัดวงกว้าง (Global Components) ของ \bar{s}_i^p
- $s_i'^p$ ส่วนประกอบของพิกัดเฉพาะที่ (Local Components) ของ \bar{s}_i^p
- \bar{r}_i^p เป็นเวกเตอร์ของตำแหน่งเลื่อนขนาน (Translational Position Vector) สำหรับก้านต่อ i ไปที่จุด p
- r_i^p ส่วนประกอบของพิกัดวงกว้าง (Global Components) ของ \bar{r}_i^p
- A_i เมทริกซ์ใช้ในการแปลงการหมุน (Rotational Transformation Matrix) ของก้านต่อ i
- \bar{d} เป็นเวกเตอร์ระหว่างจุด 2 จุดที่อยู่บนก้านต่อที่แตกต่างกัน
- d ส่วนประกอบของพิกัดวงกว้าง (Global Components) ของ \bar{d}
- \bar{n}_i เป็นเวกเตอร์ระหว่างจุด 2 จุด บนก้านต่อ i ซึ่งตั้งฉากกับเวกเตอร์ \bar{d}
- n_i ส่วนประกอบของพิกัดวงกว้าง (Global Components) ของ \bar{n}_i
- q_i เป็นเวกเตอร์ของระบบพิกัด (Vector of Coordinate) สำหรับก้านต่อ i
- q เป็นเวกเตอร์ของระบบพิกัดสำหรับระบบกลไก
- Φ_q เมทริกซ์จาโคเบียน (Jacobian Matrix) ของเงื่อนไขบังคับ (Constraints)
- Φ เงื่อนไขบังคับ (One Constraint)
- Φ เป็นเวกเตอร์ของเงื่อนไขบังคับ (Vector of Constraints)
- $\Phi^{(r,2)}$ เป็นเวกเตอร์ของเงื่อนไขบังคับของข้อต่อคู่สัมผัสผสมหมุน (Revolute Joint) ซึ่งจะลดจำนวนระดับขั้นเสรีเท่ากับ 2
- $\Phi^{(t,2)}$ เป็นเวกเตอร์ของเงื่อนไขบังคับของข้อต่อคู่สัมผัสเคลื่อนไถล (Translation Joint) ซึ่งจะลดจำนวนระดับขั้นเสรีเท่ากับ 2
- $\Phi^{(d)}$ เป็นเวกเตอร์ของเงื่อนไขบังคับของก้านต่อส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Link)
- $\Phi_q^{(d)}$ เมทริกซ์จาโคเบียนของเงื่อนไขบังคับของก้านต่อส่งกำลังขับเคลื่อน
- t เวลา (Time)
- t^0 เวลาเริ่มต้น (Initial Time)
- t^e เวลาสุดท้าย (Final Time)
- t^i ช่วงของเวลาที่เพิ่มขึ้นอันดับที่ i (Time Step)