

การสร้างทางเดินต่อเนื่องในขณะทำงานสำหรับแขนกลजूน่า2

นาย อุตัย เลิศชนะแสงธรรม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พุทธศักราช 2535

ISBN 974-581-439-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018506

117152720

RUN TIME TRAJECTORY GENERATION FOR THE CHULA2 MANIPULATOR ARM

MR. UTHAI LERTTRANASANGTROM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
GRADUATE SCHOOL  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1992

ISBN 974-581-438-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสร้างทางเดินต่อเนื่องในขณะทำงานสำหรับแขนกลรุ่น 2  
โดย นาย อุกัย เลิศชนะแสงธรรม  
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

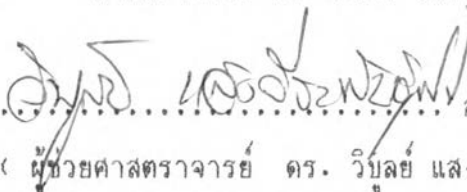


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากัย )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ  
( ศาสตราจารย์ ดร. วรสิทธิ์ อึ้งภากรณ์ )



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ )



..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ )



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

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



อุทัย เลิศธนะแสงธรรม : การสร้างทางเดินต่อเนื่องในขณะที่ทำงานสำหรับแขนกลจุฬา 2 (RUN TIME TRAJECTORY GENERATION FOR THE CHULA2 MANIPULATOR ARM) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, 135 หน้า. ISBN 974-581-438-5

โครงการวิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการสร้างทางเดินต่อเนื่องเพื่อใช้ศึกษาวิถีทางเดินต่อเนื่องที่สร้างขึ้น และเพื่อความสะดวกในการสั่งงานของแขนกล ซึ่งสามารถเลือกแบบการสร้างวิถีทางเดินได้ 5 ลักษณะ อันได้แก่ การสร้างวิถีทางเดินแบบแฉง-แฉง การสร้างวิถีทางเดินแบบควอดติก การสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 1 การสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 2 และการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 3 และสามารถนำมาใช้ในการควบคุมแขนกลจุฬา 2 โดยผู้ใช้สามารถสร้างแนวทางเดินที่ต้องการผ่านทางโปรแกรมวาดแบบอัตโนมัติหรือผ่านทางโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้

จากการศึกษาพบว่า ความเบี่ยงเบนระหว่างวิถีทางเดินที่สร้างขึ้นกับวิถีทางเดินที่กำหนด การสร้างวิถีทางเดินแบบควอดติกจะให้ค่าความเบี่ยงเบนมากที่สุด รองมาคือการสร้างวิถีทางเดินแบบแฉง-แฉง การสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 2 การสร้างทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 3 และการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 1 จะให้ค่าความเบี่ยงเบนน้อยที่สุด แต่ถ้าพิจารณาถึงความราบเรียบของวิถีทางเดินการสร้างวิถีทางเดินแบบควอดติกจะให้ความราบเรียบมากที่สุด รองมาคือการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 2 การสร้างทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 3 การสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 1 และการสร้างวิถีทางเดินแบบแฉง-แฉงจะให้ค่าความเบี่ยงเบนน้อยที่สุด

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา ..... 2534

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมเพียงแผ่นเดียว

## C015946 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING


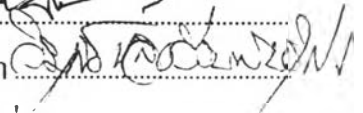
KEY WORD : MANIPULATER ARM/TRAJECTORY

UTHAI LERTTANASANGTROM : RUN TIME TRAJECTORY GENERATION FOR THE  
CHULA2 MANIPULATOR ARM. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.VIBUL  
SANGVERAPHUNSIRI, Ed.D., 135 PP. ISBN 974-581-438-5

The thesis of studying and writting a computer software to compute continuous paths for controlling of the Chula2 manipulator arm. Five methods include Bang-bang, Quartic, X1-spline, X2-spline and X3-spline are under consideration. Path information can be input either via program itself or convert from AutoCAD files.

From the results shown that the paths generated by using Quartic method have the maximum deviation. The minimum deviation is from X1-spline method. The quartic method gives the smoothness path while the Bang-bang method is in the opposite.

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา ..... 2534

ลายมือชื่อนิสิต .....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม .....

### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์  
ผศ.ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และ  
ข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และเนื่องจากทบทวนวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจาก  
ทบทวนแผนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ. ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน  
และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

|                                                                                                                | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....                                                                                          | ผ    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....                                                                                       | ง    |
| กิตติกรรมประกาศ .....                                                                                          | จ    |
| สารบัญภาพ .....                                                                                                | ช    |
| บทที่                                                                                                          |      |
| 1. บทนำ .....                                                                                                  | 1    |
| 2. การสร้างทางเดินต่อเนื่อง .....                                                                              | 4    |
| 3. นวัตกรรมโนลิโนเมียลกับการสร้างทางเดินต่อเนื่องในรูประบบแกนอ้างอิงแบบข้อหมุน .....                           | 7    |
| 4. คิเนมาติกของแขนกล .....                                                                                     | 22   |
| 5. โปรแกรมการสร้างวิถีทางเดินต่อเนื่อง .....                                                                   | 30   |
| 6. การศึกษาวิถีทางเดินต่อเนื่องด้วยโปรแกรมการสร้างวิถีทางเดิน ..                                               | 35   |
| 7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....                                                                           | 46   |
| เอกสารอ้างอิง .....                                                                                            | 50   |
| ภาคผนวก ก. กราฟประกอบการศึกษาความเบี่ยงเบนระหว่างวิถีทางเดินที่สร้างขึ้นกับวิถีทางเดินที่ต้องการ .....         | 51   |
| ภาคผนวก ข. กราฟประกอบการศึกษาความเบี่ยงเบนระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดินที่สร้างขึ้นกับอัตราเร็วที่กำหนด ..... | 80   |
| ภาคผนวก ค. กราฟประกอบการศึกษาความราบเรียบของวิถีทางเดิน ...                                                    | 90   |
| ภาคผนวก ง. คู่มือการใช้โปรแกรมการสร้างวิถีทางเดินต่อเนื่อง .....                                               | 111  |
| โปรแกรมการสร้างทางเดินต่อเนื่อง .....                                                                          | 134  |
| ประวัติผู้เขียน .....                                                                                          | 135  |

สารบัญภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--------|------|
| 2.1    | 5    |
| 3.1    | 7    |
| 3.2    | 18   |
| 3.3    | 19   |
| 4.1    | 22   |
| 4.2    | 23   |
| 4.3    | 24   |
| 4.4    | 25   |
| 5.1    | 31   |
| 6.1    | 36   |
| 6.2    | 37   |
| 6.3    | 38   |
| 6.4    | 40   |
| 6.5    | 42   |



สารบัญภาพ (ภาคผนวก)

หน้า

รูปที่

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปวงกลมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบขง-ขง และควอตติก .....                                 | 52 |
| 2 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปวงกลมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดที่1 และเอ็กสไปนชันดที่2 .....             | 53 |
| 3 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปวงกลมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดที่3 .....                                 | 54 |
| 4 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1และ2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปวงกลมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบขง-ขง .....            | 55 |
| 5 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1และ2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปวงกลมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอตติก .....          | 56 |
| 6 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1และ2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปวงกลมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดที่1 ..... | 57 |
| 7 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1และ2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปวงกลมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดที่2 ..... | 58 |
| 8 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1และ2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปวงกลมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดที่3 ..... | 59 |
| 9 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปเส้นตรงหักมุม ที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบขง-ขง และควอตติก .....                        | 60 |
| 10 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปเส้นตรงหักมุมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดที่1 และเอ็กสไปนชันดที่2 .....    | 61 |
| 11 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปเส้นตรงหักมุมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดที่3 .....                        | 62 |
| 12 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย1และ2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปเส้นตรงหักมุมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบขง-ขง .....    | 63 |
| 13 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย1และ2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปเส้นตรงหักมุมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอตติก .....  | 64 |
| 14 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย1และ2 เทียบกับเวลาสำหรับแนว                                                                   |    |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูปที่                                                                                                                                              | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| วิถีทางเดินรูปเส้นตรงหักมุม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปน์<br>ชนิดที่ 1 .....                                                                   | 65   |
| 15 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนว<br>วิถีทางเดินรูปเส้นตรงหักมุม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปน์<br>ชนิดที่ 2 ..... | 66   |
| 16 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนว<br>วิถีทางเดินรูปเส้นตรงหักมุม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปน์<br>ชนิดที่ 3 ..... | 67   |
| 17 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปหลายเหลี่ยม ที่สร้างโดยการสร้าง<br>วิถีทางเดินแบบแวง-แวง และควอตติก .....                                         | 68   |
| 18 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปหลายเหลี่ยม ที่สร้างโดยการสร้าง<br>วิถีทางเดินแบบเอ็กสไปน์ชนิดที่ 1 และเอ็กสไปน์ชนิดที่ 2 .....                   | 69   |
| 19 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปหลายเหลี่ยม ที่สร้างโดยการสร้าง<br>วิถีทางเดินแบบเอ็กสไปน์ชนิดที่ 3 .....                                         | 70   |
| 20 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนว<br>วิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแวง-แวง                        | 71   |
| 21 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนว<br>วิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอตติก ..                     | 72   |
| 22 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนว<br>วิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปน์<br>ชนิดที่ 1 .....   | 73   |
| 23 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนว<br>วิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปน์<br>ชนิดที่ 2 .....   | 74   |
| 24 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนว<br>วิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปน์<br>ชนิดที่ 3 .....   | 75   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนของวิถีทางเดินรูปวงกลมในแนวแกน X และ Y โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบต่างๆกับเวลาที่อัตราเร็ว  $5 \text{ cm./s.}$  และระยะวิถีทางเดินน้อย  $2.5 \text{ cm.}$  75
- 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนของวิถีทางเดินรูปเส้นตรงหักมุมในแนวแกน X และ Y โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบต่างๆกับเวลาที่อัตราเร็ว  $5 \text{ cm./s.}$  และระยะวิถีทางเดินน้อย  $2.5 \text{ cm.}$  77
- 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยมในแนวแกน X และ Y โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบต่างๆกับเวลาที่อัตราเร็ว  $5 \text{ cm./s.}$  และระยะวิถีทางเดินน้อย  $2.5 \text{ cm}$  78
- 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยมในแนวแกน X และ Y โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบต่างๆกับเวลาที่อัตราเร็ว  $2.5 \text{ cm./s.}$  และระยะวิถีทางเดินน้อย  $2.5 \text{ cm.}$  79
- 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแฉก-แฉกและควอดติก กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด  $2.5 \text{ cm./s.}$  และระยะวิถีทางเดินน้อย  $2.5 \text{ cm.}$  81
- 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนัซันดที่ 2 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด  $2.5 \text{ cm./s.}$  และระยะวิถีทางเดินน้อย  $2.5 \text{ cm.}$  82
- 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนัซันดที่ 3 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด  $2.5 \text{ cm./s.}$  และระยะวิถีทางเดินน้อย  $2.5 \text{ cm.}$  83
- 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแฉก-แฉกและควอดติก กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด  $5.0 \text{ cm./s.}$  และระยะวิถีทางเดินน้อย  $2.5 \text{ cm.}$  84
- 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนัซันดที่ 1 และ 2 กับเวลา

สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูปที่                                                                                                                                                                                                         | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.                                                                                                                                                 | 85   |
| 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดิน<br>เหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดที่ 3 กับเวลาที่อัตรา<br>เร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.                           | 86   |
| 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดิน<br>เหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแวง-แวงและควอดติก กับเวลา<br>ที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 0.5 cm.                           | 87   |
| 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดิน<br>เหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดที่ 1 และ 2 กับเวลา<br>ที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 0.5 cm.                     | 88   |
| 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดิน<br>เหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดที่ 3 กับเวลาที่อัตรา<br>เร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 0.5 cm.                           | 89   |
| 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดิน<br>เหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแวง-แวงของแขนย่อย 1 และ 2 กับ<br>เวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย<br>2.5 cm. ....            | 91   |
| 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดิน<br>เหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอดติกของแขนย่อย 1 และ 2 กับ<br>เวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย<br>2.5 cm. ....           | 92   |
| 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดิน<br>เหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดที่ 1 ของแขนย่อย 1<br>และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทาง<br>เดินย่อย 2.5 cm. .... | 93   |
| 41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดิน<br>เหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดที่ 2 ของแขนย่อย 1                                                                                         |      |

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินน้อย 2.5 cm. .... 94

42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนัซด์ที่ 3 ของแขนน้อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินน้อย 2.5 cm. .... 95

43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแบง-แบง ของแขนน้อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินน้อย 2.5 cm. .... 96

44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอดติคของแขนน้อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินน้อย 2.5 cm. .... 97

45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนัซด์ที่ 1 ของแขนน้อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินน้อย 2.5 cm. .... 98

46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนัซด์ที่ 2 ของแขนน้อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินน้อย 2.5 cm. .... 99

47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนัซด์ที่ 3 ของแขนน้อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินน้อย 2.5 cm. .... 100

48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดิน รูปหลาย

รูปที่

|                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| เหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแฉง-แฉงของแขนย่อย1และ2<br>กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย<br>2.5 cm. ....                                                                              | 101 |
| 49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดิน รูปหลาย<br>เหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอดติกของแขนย่อย 1และ2<br>กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย<br>2.5 cm. ....             | 102 |
| 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดิน รูปหลาย<br>เหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่1 ของแขนย่อย1<br>และ2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทาง<br>เดินย่อย 2.5 cm. .... | 103 |
| 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดิน รูปหลาย<br>เหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่2 ของแขนย่อย1<br>และ2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทาง<br>เดินย่อย 2.5 cm. .... | 104 |
| 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดิน รูปหลาย<br>เหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่3 ของแขนย่อย1<br>และ2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทาง<br>เดินย่อย 2.5 cm. .... | 105 |
| 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดิน รูปหลาย<br>เหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแฉง-แฉงของแขนย่อย1และ2<br>กับเวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดิน<br>ย่อย 2.5 cm. ....            | 106 |
| 64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดิน รูปหลาย<br>เหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอดติกของแขนย่อย 1และ2<br>กับเวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดิน<br>ย่อย 2.5 cm. ....           | 107 |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

|    |                                                                                                                                                                                                            |     |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 55 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 1 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm. .... | 108 |
| 56 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 2 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm. .... | 109 |
| 57 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดิน รูปหลายเหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 3 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm. .... | 110 |
| 58 | ผังแสดงหน้าที่ของคำสั่งในโปรแกรมการสร้างวิถีทางเดิน .....                                                                                                                                                  | 119 |
| 59 | แสดงหน้าจอเมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรมการสร้างวิถีทางเดิน .....                                                                                                                                                | 120 |
| 60 | แสดงหน้าจอหลังกดคีย์ Enter เมื่อเริ่มใช้งานโปรแกรม .....                                                                                                                                                   | 120 |
| 61 | แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path Gen.....                                                                                                                                                                 | 121 |
| 62 | แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Select File .....                                                                                                                                                             | 121 |
| 63 | แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Robot config. และแสดงการกำหนดรายละเอียดของแขนกล .....                                                                                                                         | 122 |
| 64 | แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path config. และแสดงการกำหนดรายละเอียดของแนววิถีทางเดิน .....                                                                                                                 | 122 |
| 65 | แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Run .....                                                                                                                                                                     | 123 |
| 66 | แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Acad Drawing ซึ่งแสดงรูปที่สร้างจากโปรแกรม ออโตแคด .....                                                                                                                      | 123 |
| 67 | แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path Drawing และแสดงการกำหนดรายละเอียดของแนววิถีทางเดิน .....                                                                                                                 | 124 |
| 68 | แสดงหน้าจอการสร้างแนววิถีทางเดิน .....                                                                                                                                                                     | 124 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

|                                                                                                             | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 69 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path Design .....                                                           | 125  |
| 70 แสดงหน้าจอหลังเลือกคำสั่ง Build Path .....                                                               | 125  |
| 71 แสดงหน้าจอหลังเลือกคำสั่ง Coverse Path .....                                                             | 126  |
| 72 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Save .....                                                                  | 126  |
| 73 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path Selection และแสดงการกำหนดค่าความเร่งสูงสุดที่แขนกลสามารถกระทำได้ ..... | 127  |
| 74 แสดงหน้าจอขณะรอการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปน์ .....                                                     | 127  |
| 75 แสดงหน้าจอหลังการสร้างวิถีทางเดิน และแสดงค่าความเร็ว และความเร่งสูงสุดของวิถีทางเดินที่สร้างขึ้น .....   | 128  |
| 76 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path Generation .....                                                       | 128  |
| 77 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path of Link1 และเลือกเก็บข้อมูลสำหรับการแสดงผลออกทางพล็อตเตอร์ .....       | 129  |
| 78 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง 3D-Path .....                                                               | 129  |
| 79 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง All Path ซึ่งแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อยทั้ง 3 และที่ปลายแขนแขนกล .....       | 130  |
| 80 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path Speed ซึ่งแสดงอัตราเร็วที่ปลายแขนแขนกล .....                           | 130  |
| 81 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path Acceleration ซึ่งแสดงถึงความเร่งที่ปลายแขนแขนกล .....                  | 131  |
| 82 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Control System .....                                                        | 131  |
| 83 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Install Controller .....                                                    | 132  |
| 84 แสดงหน้าจอสำหรับการกำหนดค่า Gain ของระบบ .....                                                           | 132  |
| 85 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Plotter .....                                                               | 133  |
| 86 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Position Error .....                                                        | 133  |