คลังโปรแกรมสำหรับการจำลองระบบพลวัตของแขนหุ่นยนต์

นาย กมล ลิมธัญญกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-477-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19436695 14 มี.ค. 2547

A ROBOT MANIPULATOR DYNAMIC SYSTEM SIMULATION LIBRARY

Mr. Kamol Limtanyakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974-346-477-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	คลังโปรแกรมสำหรับการจำลองระบบพลวัตของแขนหุ่นยนต์
โดย	**นาย กมล ลิมธัญญกูล**
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วราภรณ์ เชาว์วิศิษฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ)

กมล ลิมธัญญกูล : คลังโปรแกรมสำหรับการจำลองระบบพลวัตของแขนหุ่นยนต์ (A Robot Manipulator Dynamic System Simulation Library) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ, 45 หน้า, ISBN 974-346-477-8.

คลังโปรแกรมสำหรับการจำลองระบบพลวัตของแขนหุ่นยนต์ พร้อมด้วยการติดต่อกับผู้ใช้ทางภาพกราฟิก และการแสดงภาพจำลองการเคลื่อนไหวของแขนในรูปแบบ 3 มิติ ได้ถูกสร้างขึ้น สำหรับทำงานบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก

ในส่วนแรกประกอบขึ้นจากฟังก์ชันของภาษาซี เพื่อทำหน้าที่อ่านค่าพารามิเตอร์ของแขนกลจากไฟล์ข้อมูล แล้วทำการคำนวณหาจลนศาสตร์และสมการพลวัต ซึ่งมีประโยชน์ในการจำลองระบบเพื่อทดสอบตัวควบคุม และสามารถนำไปใช้ในการควบคุมแขนกลจริงได้

ในส่วนที่สองนั้น เขียนขึ้นจากภาษา GTK เพื่อสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ทางภาพกราฟิกบน X window ทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น และมีหน้าต่างสำหรับปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุมทั้ง 3 แบบ ได้แก่ การควบคุมแบบพลวัตผกผัน แบบโครงสร้างแปรผันได้ และแบบ PID รวมทั้งมีการแสดงภาพเคลื่อนไหวของแขนกลเป็นรูปแบบ 3 มิติ

ภาควิชา ไฟฟ้า	**ลายมือชื่อนิสิต** กมล ลิมธัญญกูล
สาขาวิชา ไฟฟ้า	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** มานพ วงศ์สายสุวรรณ
ปีการศึกษา 2541	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** .....

##4170207321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: ROBOT MANIPULATOR/LIBRARY/SIMULATION
KAMOL LIMTANYAKUL : A ROBOT MANIPULATOR DYNAMIC SYSTEM SIMULATION LIBRARY. THESIS ADVISOR : MANOP WONGSAISUWAN, Ph.D.
45 pp., ISBN 974-346-477-8.

The robot manipulator dynamic system simulation library with a graphic user interface and 3D animation is delevoped to operate on the Linux operating systems. It has two major parts.

The first part written in C Language as library functions reads parameters of robot manipulator from a text file, then computes its kinematics and dynamics. A user can test his controller by making a simulation on the mathematical model and extend it to control a real manipulator.

In the second part, a graphic user interface on X window is developed from GTK library. It made the library easier to adjust parameters of the controllers. The types of controllers provided include inverse dynamics control, variable structure control, and PID. A 3D animation of robot is also included in the library so that the user can understand its operation more obviously.

Department Electrical Engineering **Student's signature** Kamol Limtanyakul
Field of study Electrical Engineering **Advisor's signature** Manop Wongsaisuwan
Academic Year 2000

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อ.ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำมาตลอด ทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วราภรณ์ เชาว์วิศิษฐ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ ที่ได้ช่วยแนะนำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่ได้สั่งสอน เคี่ยวเข็ญ ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณโครงการศิษย์ก้นกุฏิของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งสนับสนุนทุนในการวิจัยตลอด 2 ปี

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม รวมถึงบุคคลอื่นทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง ซึ่งไม่สามารถเขียนรายชื่อได้ทั้งหมด เนื่องจากพื้นที่อันจำกัดของหน้ากระดาษ

ท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือด้านการเงินและกำลังใจ มาตลอดจนสำเร็จการศึกษา และหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่มาสานต่อทุกท่าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ **1**

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 จุดประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์ 4

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 4

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 5

2 ความรู้พื้นฐานด้านแขนหุ่นยนต์และทฤษฎีการควบคุม **7**

2.1 ความรู้พื้นฐานด้านแขนหุ่นยนต์ 7

2.1.1 การเปลี่ยนพิกัดของเวกเตอร์ 7

2.1.2 จลนศาสตร์ (Kinematics) 9

2.1.3 สมการพลวัตของแขนหุ่นยนต์ (Dynamic equation) 10

2.2 ทฤษฎีการควบคุมการเคลื่อนที่ 13

2.2.1 การควบคุมแบบพลวัตผกผัน (Inverse Dynamic Control) 13

2.2.2 การควบคุมแบบโครงสร้างแปรผันได้ (Variable Structure Control) 14

2.2.3 การควบคุมแบบ PID 15

3 คลังโปรแกรมแขนหุ่นยนต์ **16**

3.1 รายละเอียดของคลังโปรแกรม 16

3.1.1 โครงสร้างของตัวแปรแขนหุ่นยนต์ 16

3.1.2 ฟังก์ชันภายในคลังโปรแกรม 17

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

3.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่าง คลังโปรแกรมกับ Robotic Toolbox [5] 19
3.2.1 ผลของการหาจลน์ศาสตร์และสมการพลวัต 19
3.2.2 ผลการหาเมตริกซ์ผกผัน 20
3.2.3 ผลการแก้สมการอนุพันธ์ 20

4 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ทางภาพกราฟิก 30
4.1 ความสามารถของส่วน GUI ของแขนกล 30
4.1.1 การแสดงรูปแขนหุ่นยนต์เป็นภาพ 3 มิติ 31
4.1.2 หน้าที่ของปุ่มต่าง ๆ บนแผงของ GUI 31
4.2 ตัวอย่างการใช้ GUI ในการจำลองระบบ 33
4.2.1 การควบคุมแบบ PID 33
4.2.2 การควบคุมแบบพลวัตผกผัน และ การควบคุมแบบโครงสร้างแปรผันได้ 35

5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 40

รายการอ้างอิง 42

ภาคผนวก 44

ก คลังโปรแกรมแขนหุ่นยนต์ 45
ก.1 การติดตั้งและการใช้งานคลังโปรแกรม 45
ก.2 ไฟล์ข้อมูลพารามิเตอร์ของแขนกล 45
ก.3 วิธีการใช้งานฟังก์ชันภายในคลังโปรแกรม 49

ข ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ทางภาพกราฟิก 55
ข.1 การสร้างและติดตั้งส่วนติดต่อกับผู้ใช้ทางภาพกราฟิก 55
ข.2 การใช้งานในส่วนติดต่อกับผู้ใช้ทางภาพกราฟิก 55

ประวัติผู้วิจัย 58

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์สำหรับท่อนแขนต่อเติมที่ i 11

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลของแขนกลชนิด 5 ข้อต่อแบบหมุน 18
ตารางที่ 3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการหาเมตริกซ์ผกผัน 21
ตารางที่ 3.3 กรณีต่างๆ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบการคำนวณระหว่างจากคลังโปรแกรมกับ Matlab 26
ตารางที่ 3.4 ค่าความแตกต่างของค่ามุม ซึ่งได้จากคลังโปรแกรมกับ Matlab 27

ตารางที่ ก.1 ฟังก์ชันสำหรับการคำนวณในส่วนของแขนกล 49
ตารางที่ ก.2 ฟังก์ชันสำหรับการจัดการเกี่ยวกับตัวแปรเวกเตอร์และเมตริกซ์ 50
ตารางที่ ก.3 ฟังก์ชันอื่นๆ 50

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เวกเตอร์ p ในแกนอ้างอิง 2 ชุดที่มีจุดกำเนิดร่วมกัน 8
รูปที่ 2.2 เวกเตอร์ p ในแกนอ้างอิง 2 ชุดที่มีจุดกำเนิดแยกกัน 8
รูปที่ 2.3 ลักษณะของแขนท่อนที่ i สำหรับการหาแบบจำลองพลวัตโดยวิธีนิวตันออยเลอร์ . 12
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการหาแบบจำลองพลวัตโดยวิธีนิวตันออยเลอร์ 12

รูปที่ 3.1 ความแตกต่างของมุมของข้อต่อที่ 1 ซึ่งได้จาก ode5 และ ode4 ของ Matlab 21
รูปที่ 3.2 ความแตกต่างของมุมของข้อต่อที่ 1 ซึ่งได้จาก ode5 และ ode3 ของ Matlab 22
รูปที่ 3.3 ความแตกต่างของมุมของข้อต่อที่ 1 ซึ่งได้จาก ode4 ของ Matlab รุ่นที่ 5.3 และ 5.1 22
รูปที่ 3.4 ความแตกต่างของตัวแปรสถานะที่ได้จาก Runge-Kutta อันดับ 4 ของคลังโปรแกรมกับของ Matlab 23
รูปที่ 3.5 ความแตกต่างของตัวแปรสถานะที่ได้จาก ode4 และ ode5 ของ Matlab 23
รูปที่ 3.6 ความแตกต่างของตัวแปรสถานะที่ได้จาก ode4 และ ode3 ของ Matlab 24
รูปที่ 3.7 ความแตกต่างของตัวแปรสถานะโดยวิธี Runge-Kutta อันดับ 4 กรณีที่ระบบขาดเสถียรภาพ 25
รูปที่ 3.8 ค่าร้อยละของความแตกต่างของตัวแปรสถานะโดยวิธี Runge-Kutta อันดับ 4 กรณีที่ระบบขาดเสถียรภาพ 25
รูปที่ 3.9 ความแตกต่างของตำแหน่งข้อต่อที่ 1 ซึ่งได้จากคลังโปรแกรมกับ Matlab ในกรณีที่ 1 27
รูปที่ 3.10 ความแตกต่างของตำแหน่งข้อต่อที่ 1 ซึ่งได้จากคลังโปรแกรมกับ Matlab ในกรณีที่ 6 28
รูปที่ 3.11 ความแตกต่างของตำแหน่งข้อต่อที่ 1 ซึ่งได้จากคลังโปรแกรมกับ Matlab ในกรณีที่ 11 และ 12 28
รูปที่ 3.12 ตำแหน่งข้อต่อที่ 1 ซึ่งได้จากกรณีที่ 1 และ 11 29

รูปที่ 4.1 หน้าต่างหลักของ GUI ของแขนกล 30
รูปที่ 4.2 การแสดงภาพ 3 มิติของแขนกล 31
รูปที่ 4.3 หน้าต่างคำโต้ตอบสำหรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของแนวทางการเคลื่อนที่ 32
รูปที่ 4.4 หน้าต่างคำโต้ตอบสำหรับเลือกรูปกราฟที่จะแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ 32
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างรูปกราฟแรงบิดที่ได้ 33
รูปที่ 4.6 หน้าต่างคำโต้ตอบสำหรับการตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม VSC 33

รูปที่ 4.7 ตำแหน่งของข้อต่อที่ 1 และ 2 34
รูปที่ 4.8 ตำแหน่งของข้อต่อที่ 3,4 และ 5 34
รูปที่ 4.9 ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของข้อต่อที่ 1 36
รูปที่ 4.10 ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของข้อต่อที่ 2 36
รูปที่ 4.11 ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของข้อต่อที่ 3 37
รูปที่ 4.12 ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของข้อต่อที่ 4 37
รูปที่ 4.13 ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของข้อต่อที่ 5 38
รูปที่ 4.14 แรงบิดของข้อต่อที่ 2 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพลวัตผกผัน 38
รูปที่ 4.15 แรงบิดของข้อต่อที่ 2 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบโครงสร้างแปรผันได้ โดย ϵ มีค่า 0.003 39
รูปที่ 4.16 แรงบิดของข้อต่อที่ 2 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบโครงสร้างแปรผันได้ โดย ϵ มีค่า 0.01 39

รูปที่ ก.1 การกำหนดแกนอ้างอิงตามวิธีของ Denavit-Hartenberg 47