# การออกแบบและติดตั้งระบบควบคุมแบบติดตามทางเดินต่อเนื่อง สำหรับระบบแขนกลจุฬา 2

นายประวิทย์ ผ่องโสภา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2534

ISBN 974-581-705-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018509

# Design and Implementation of a Continuous Path Tracking Controller for the Chula2 Manipulator Arm

Mr. Pravit Phongsopa

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1991

ISBN 974-581-705-8

| | |
|---|---|
| Thesis Title | Design and Implementation of a Continuous Path Tracking Controller for the Chula2 Manipulator Arm |
| By | Mr. Pravit Phongsopa |
| Department | Mechanical Engineering |
| Thesis Advisor | Assi. Prof. Dr. Viboon Sangveraphunsiri |

---

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.

Thavorn Vajrabhaya

..... Dean of Graduate School

(Prof. Dr. Thavorn Vajrabhaya)

Thesis Committee

Variddhi Ungbhakorn ..... Chairman

(Prof. Dr. Variddhi Ungbhakorn)

..... Thesis Advisor

(Assi. Prof. Dr. Viboon Sangveraphunsiri)

Withaya Yongchareon ..... Member

(Asso. Prof. Dr. Withaya Yongchareon)

Chairote Kunpanitchakit ..... Member

(Assi. Prof. Dr. Chairote Kunpanitchakit)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ประวิทย์ ผ่องไสภา : การออกแบบและติดตั้งระบบควบคุมแบบติดตามทางเดินต่อเนื่องสำหรับระบบแขนกลจุฬา 2 (DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A CONTINUOUS PATH TRACKING CONTROLLER FOR THE CHULA 2 MANIPULATOR ARM) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, 165 หน้า. ISBN 974-581-705-8.

วิทยานิพนธ์นี้ทำการศึกษาถึงความสามารถในการใช้งานได้ของรูปแบบหนึ่งของระบบควบคุมแบบอะแดพทีฟ (Adaptive Control) สำหรับระบบแขนกลอุตสาหกรรม โดยอาศัยการทดสอบโดยการทดลอง ระบบควบคุมแบบอินไดเร็กอะแดพทีฟ (Indirect Adaptive Control) ซึ่งใช้หลักการเซอเทนตี้อีควิวาเลนซ์ (Certainty Equivalence Principle) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบแขนกลให้สามารถเคลื่อนที่ติดตามทางเดินต่อเนื่องที่ได้โปรแกรมไว้ก่อนแล้วอย่างถูกต้องแม่นยำ ระบบควบคุมนี้ถูกนำไปติดตั้งลงบนแขนกลจุฬา 2 เพื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบพีดี (PD Control) ในการทำงานติดตามทางเดินที่โปรแกรมไว้ล่วงหน้า

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการควบคุมแบบอินไดเร็กอะแดพทีฟสามารถควบคุมแขนกลให้เคลื่อนไปตามทางเดินต่อเนื่องที่ถูกโปรแกรมไว้ได้เป็นอย่างดี โดยที่มีค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่น้อยกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากระบบควบคุมแบบพีดีเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในแง่ของโรบัสเนสของระบบควบคุม (Control Robustness) ระบบพีดีมีแนวโน้มที่ดีกว่า โดยทางเดินที่ได้จากการทำงานของแขนกลภายใต้ระบบควบคุมแบบพีดีมีความราบเรียบกว่าเล็กน้อย ส่วนในกรณีของการทดลองที่มีการรบกวนเนื่องจากการเติมน้ำหนักที่ปลายแขนกลในขณะทำงาน ระบบควบคุมแบบอินไดเร็กอะแดพทีฟแสดงอย่างชัดเจนถึงความสามารถในการปรับระบบที่ถูกรบกวนให้สามารถรักษาสมรรถนะในการเคลื่อนติดตามทางเดินไว้ได้ต่อไป โดยที่ค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ตลอดเส้นทางมีค่าน้อยกว่าในกรณีของระบบควบคุมแบบพีดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต ประวิทย์ ผ่องไสภา

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

## C015913 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD : ADAPTIVE CONTROL/ROBOT MANIPULATORS

PRAVIT PHONGSOPA : DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A CONTINUOUS PATH TRACKING CONTROLLER FOR THE CHULA2 MANIPULATOR ARM THESIS ADVISOR: ASS I. PROF. VIBOON SANGVERA PHUNSIRI, Ph.D., 165 PP.
ISBN 974-581-705-8.

The thesis addresses experimental point of view in justification of an adaptive control scheme for a robot manipulator. The scheme utilizes the certainty equivalence principle, which incorporates recursive least square identification and optimal regulation in a linear quadratic sense, augmented with nonlinear compensation of nominal torque along the desired trajectory. The adaptive scheme was implemented on the Chula 2 manipulator system. The Proportional-Derivative (PD) scheme was also performed to present experimental results that can be compared with the adaptive performance.

The results show that the adaptive system tracks the desired trajectory with a little improvement on tracking error regulation over the PD. In the sense of robustness, the adaptive control offers no advantage over the PD as the tracking characteristics were reported exhibiting less smoothness of the performed trajectory. In the presence of a large load, outstanding performance of the adaptive control is shown as the adaptive system can continue to maintain tracking performance, while the PD system was perturbed away from the desired trajectory and resulted in a larger amount of tracking error.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต ประวิทย์ ผ่องโสภา
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

## ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express special thanks to the principal thesis advisor, Assi. Prof. Dr.viboon Sangveraphunsiri who offers very important assistant in supplying excellent technical guidance and necessary experimental equipments. Major part of the fund used to support construction of the Chula2 manipulator is based upon his personal helps. The author is thankful to Assi. Prof. Dr.Chairote Kunpanitchakit for valuable suggestions to encourage the thesis creation.

Uthai Lerttanasangtrom and Somchai Thamanukul, my colleagues at the department of mechanical engineering, Chulalongkorn University also deserves special thanks for supplying a large amount of technical effort in conjunction with the author to design and construct the manipulator control system, especially in software system design.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# LIST OF TABLES


| Table | | Page |
|---|---|---|
| 4.1 | Link parameters and joint variables of the Chula2 manipulator . . . . | 58 |


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## LIST OF ILLUSTRATIONS


| Figure | | Page |
|---|---|---|
| 2.1 | Affixing coordinate frame to joint axes . . . . . | 11 |
| 3.1 | The certainty equivalence control law of a manipulator . . . . | 34 |
| 4.1 | The Chula2 manipulator . . . . . | 41 |
| 4.2 | System interconnection of the Chula2 control hardware . . . . | 45 |
| 4.3 | Functional block diagram of the SDP . . . . . | 50 |
| 4.4 | Functional block diagram of the SDI . . . . . | 51 |
| 4.5 | Functional block diagram of the GIO . . . . . | 52 |
| 4.6 | Functional block diagram of the API . . . . . | 53 |
| 4.7 | Affixing coordinate frames . . . . . | 57 |
| 4.8 | Adaptive implementation on the Chula2 manipulator system | 62 |
| 4.9 | Software implementation . . . . . | 63 |
| 4.10 | Timing of algorithm calculation . . . . . | 65 |
| 4.11 | PD Control with No Load, Averaged Speed 0.5 rad/sec. . . . | 71 |
| 4.12 | Adaptive Control with No Load, Averaged Speed 0.5 rad/sec. . . | 72 |
| 4.13 | PD Control with No Load, Averaged Speed 1.0 rad/sec. . . . | 73 |
| 4.14 | Adaptive Control with No Load, Averaged Speed 1.0 rad/sec. . . | 74 |
| 4.15 | PD Control with Large Load, Averaged Speed 1.0 rad/sec. . . | 75 |
| 4.16 | Adaptive Control with Large Load, Averaged Speed 1.0 rad/sec. . | 76 |
| A.1 | A unity feedback system . . . . . | 101 |

## TABLE OF CONTENTS


| | | Page |
|---|---|---|
| ABSTRACT (THAI) | | ii |
| ABSTRACT (ENGLISH) | | iii |
| ACKNOWLEDGEMENTS | | iv |
| LIST OF TABLES | | vi |
| LIST OF ILLUSTRATIONS | | vii |
| CHAPTER | | |
| I | Introduction | 1 |
| II | Manipulator Mathematical Model | 7 |
| III | Adaptive Manipulator Control | 26 |
| IV | Implementation | 35 |
| V | Conclusions and Suggestions for Further Improvement | 80 |
| LIST OF REFERENCES | | 87 |
| APPENDIX | | 89 |
| ABOUT THE AUTHOR | | 165 |


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย