

การประยุกต์เครือข่ายนิเวศในการชดเชยแบบปรับตัวโดยตรงของแขนกล



นาย มนชัย อัสวรุ่งเรืองโชติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2537

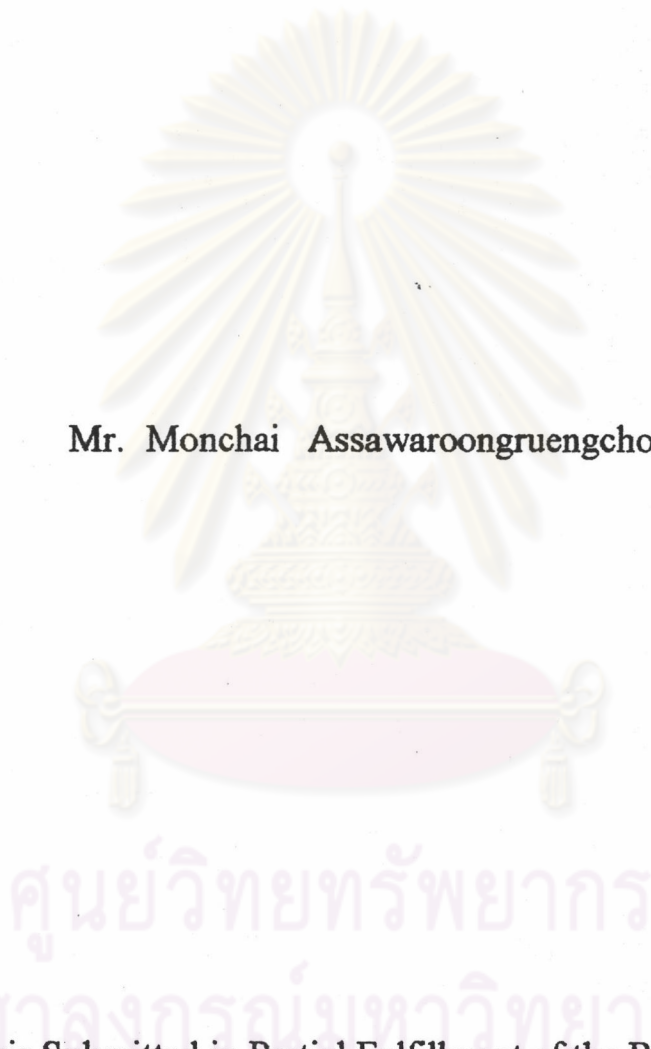
ISBN 974-584-357-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

117101323

**An Application of Neural Networks to the Direct Adaptive Compensation
of Mechanical Manipulators**

Mr. Monchai Assawaroongruengchot




**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Electrical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1994
ISBN 974-584-357-1**

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์เครือข่ายนิรอลในการชดเชยแบบปรับตัวโดยตรง
ของแขนกล


โดย นาย มนชัย อัสวรุ่งเรือง โชติ
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. บุญมี อย่างธารา

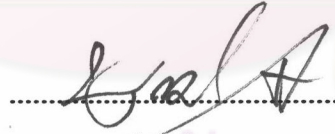


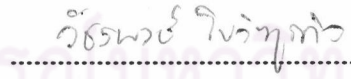
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เทียนชัย ประดิศถายน)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. บุญมี อย่างธารา)


..... กรรมการ
(ดร. วัชรพงษ์ โขวิทฺตกรกิจ)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

มนชัย อัสวรุ่งเรืองโชติ : การประยุกต์เครือข่ายนิเวรอลในการชดเชยแบบปรับตัว โดยตรงของแขนกล (An Application of Neural Networks to the Direct Adaptive Compensation of Mechanical Manipulators)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. บุญมี อย่างธารา, 131 หน้า. ISBN 974-584-357-1

ปัญหาสำคัญของการควบคุมตำแหน่งของแขนกลประการหนึ่งคือปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดในการติดตามตำแหน่งที่ต้องการ ในวิทยานิพนธ์ได้เสนอระบบควบคุมซึ่งประกอบด้วยตัวควบคุมและตัวชดเชยแบบปรับได้ ตัวควบคุมทำหน้าที่คำนวณแรงบิดที่ระบุด้วยวิธีคำนวณแรงบิด ตัวชดเชยแบบปรับได้สร้างจากเครือข่ายนิเวรอลชนิด Backpropagation (BNN) ซึ่งเรียนรู้ฟังก์ชันของแบบจำลองค่าความผิดพลาด(Error Model)ของแขนกล การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวชดเชยทำโดยปรับค่าน้ำหนักชั้นนอกสุดของ BNN เพื่อลดค่าความผิดพลาดของตำแหน่งให้อยู่ในย่านของศูนย์

ได้มีการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมที่เสนอในวิทยานิพนธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ผลปรากฏว่าระบบควบคุมทำงานเป็นอย่างดี และพบอีกว่าถ้าเลือกใช้อัตราการเรียนรู้ด้วยกฎที่เหมาะสม ผลตอบชั่วครู่ของค่าความผิดพลาดจะดีขึ้นเป็นอย่างมาก ท้ายสุดได้พิสูจน์ว่าเสถียรภาพของระบบควบคุมวงปิดมีเสถียรภาพในช่วงกว้างด้วยทฤษฎีเสถียรภาพของไลปูนอฟ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรม ไฟฟ้า
สาขาวิชา ระบบ ควบคุม
ปีการศึกษา 2536

ลายมือชื่อนิสิต มนชัย อัสวรุ่งเรืองโชติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา บุญมี อย่างธารา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C415440 : MAJOR CONTROL SYSTEM

KEYWORD : NEURAL NETWORK / ADAPTIVE COMPENSATION

MONCHAI ASSAWAROONGRUENGCHOT : AN APPLICATION OF
NEURAL NETWORKS TO THE DIRECT ADAPTIVE COMPENSATION
OF MECHANICAL MANIPULATORS

THESIS ADVISOR : Dr. BOONMEE YANGTHARA, Ph.D. 131 PP.

ISBN 974-584-357-1

One of the important problems faced by the position control of a mechanical manipulator is parameter variations that cause errors in position tracking. In the thesis, the control scheme is composed of a controller and an adaptive compensator. The controller determines, via the computed torque technique, the nominal torques for the manipulator. The adaptive compensator is based on the backpropagation neural networks (BNN) which learn the functions of the manipulator's error model. Then, the weights of the output layers of the resulting BNN's are adjusted such that the errors converge to the neighbourhood of zero after a period of time.

The proposed compensators are tested via digital simulations. It is found that the system performs well. Furthermore, it is also found that the transient responses of the errors can be greatly improved if rule-based selections of the learning rates are used. Finally, the proposed system is proved to be stable in-the-large in the Liapunov's sense

ภาควิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา..... ควบคุมทางกล
ปีการศึกษา..... 2536

ลายมือชื่อผู้ผลิต..... หมอชัย สัตว์รักษ์ประเสริฐ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. บุญมี อย่างธรา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้และช่วยเหลือด้านข้อคิดเห็น คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เทียนชัย ประดิศถายน และอาจารย์ ดร. วัชรพงษ์ โขวิฑูรกิจ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้กำลังใจในการทำงานตลอดมา

ท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา ซึ่งสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้เขียนจนสำเร็จการศึกษา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฉ
สารบัญคำย่อ.....	ฐ
สัญลักษณ์ที่ใช้.....	ฑ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
วิธีการดำเนินงาน.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 เครือข่ายนิเวรอล.....	4
ความเป็นมาของเครือข่ายนิเวรอล.....	4
ประเภทของเครือข่ายนิเวรอล.....	6
เครือข่ายนิเวรอลชนิด Backpropagation.....	10
การเรียนรู้ของเครือข่ายนิเวรอลชนิด Backpropagation.....	14
บทที่ 3 การชดเชยแบบปรับได้ด้วยเครือข่ายนิเวรอล	19
แบบจำลองพลวัตของแขนกล.....	19
การชดเชยแบบปรับได้ด้วยเครือข่ายนิเวรอล.....	23
การชดเชยแบบปรับได้ด้วยเครือข่ายนิเวรอล ร่วมกับการเลือกตัวควบคุม.....	43
การเปรียบเทียบผลการชดเชยแบบปรับได้ด้วยเครือข่ายนิเวรอล กับการควบคุมแบบปรับตัวโดยตรง.....	55

	หน้า
การวิเคราะห์เสถียรภาพของการชดเชยแบบปรับได้ ด้วยเครือข่ายนิรอรด.....	60
บทที่ 4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	66
เอกสารอ้างอิง.....	69
ภาคผนวกที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับแบบจำลองพลวัตของแขนกล.....	72
ภาคผนวกที่ 2 โปรแกรมเกี่ยวกับเครือข่ายนิรอรด.....	75
ภาคผนวกที่ 3 โปรแกรมจำลองการชดเชยแบบปรับได้ด้วยเครือข่ายนิรอรด.....	109
ประวัติผู้เขียน.....	132



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 การแบ่งประเภทของเครือข่ายนิวนรอด.....	9
ตารางที่ 3-1 ผลการเรียนรู้ฟังก์ชัน $F_1(.)$ ด้วยเครือข่ายนิวนรอด.....	29
ตารางที่ 3-2 ผลการเรียนรู้ฟังก์ชัน $F_2(.)$ ด้วยเครือข่ายนิวนรอด.....	29
ตารางที่ 3-3 ตารางแสดงกฎที่ใช้ในการเลือกค่า η_1	31
ตารางที่ 3-4 ตารางแสดงกฎที่ใช้ในการเลือกค่า η_2	31



คุนยวิทยทรพยากร
จุพาลงกรณมหาวิทยาฬย

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2-1	ตัวอย่างเครือข่ายนิเวรอล.....	4
รูปที่ 2-2	การเรียนรู้ของเครือข่ายนิเวรอลโดยใช้การแนะนำ.....	6
รูปที่ 2-3	การเรียนรู้ของเครือข่ายนิเวรอลโดยไม่ใช้การแนะนำ	7
รูปที่ 2-4	การเชื่อมต่อของเครือข่ายนิเวรอลแบบป้อนไปข้างหน้า	7
รูปที่ 2-5	การเชื่อมต่อของเครือข่ายนิเวรอลแบบหมุนเวียน.....	8
รูปที่ 2-6	เครือข่ายนิเวรอลชนิด Backpropagation.....	10
รูปที่ 2-7	ปมนิเวรอลของเครือข่ายนิเวรอลชนิด Backpropagation.....	11
รูปที่ 2-8	กราฟของฟังก์ชันซิกมอยด์ ที่ค่า a ต่างๆ.....	12
รูปที่ 3-1	แกนกลชนิด planar 2 ข้อต่อ.....	19
รูปที่ 3-2	โครงสร้างระบบควบคุมแกนกลซึ่งใช้การชดเชยแบบปรับได้ด้วย BNN	28
รูปที่ 3-3	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแกนกลด้วยเครือข่ายนิเวรอล ที่ $\Delta m_2 = 0$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0$	33
รูปที่ 3-4	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแกนกลด้วยเครือข่ายนิเวรอล ที่ $\Delta m_2 = 2.5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.25$	34
รูปที่ 3-5	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแกนกลด้วยเครือข่ายนิเวรอล ที่ $\Delta m_2 = 5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.333$	35
รูปที่ 3-6	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแกนกลด้วยเครือข่ายนิเวรอล ที่ $\Delta m_2 = 7.5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.333$	36
รูปที่ 3-7	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแกนกลด้วยเครือข่ายนิเวรอล ที่ $\Delta m_2 = 10$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.333$	37
รูปที่ 3-8	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแกนกลด้วยเครือข่ายนิเวรอล เมื่อเส้นทางอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่ $\Delta m_2 = 0$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0$	38

รูปที่ 3-9	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล เมื่อเส้นทางอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่ $\Delta m_2 = 2.5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.25$	39
รูปที่ 3-10	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล เมื่อเส้นทางอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่ $\Delta m_2 = 5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.25$	40
รูปที่ 3-11	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล เมื่อเส้นทางอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่ $\Delta m_2 = 7.5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.333$	41
รูปที่ 3-12	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล เมื่อเส้นทางอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่ $\Delta m_2 = 10$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.333$	42
รูปที่ 3-13	โครงสร้างการชดเชยแบบปรับได้ด้วยเครือข่ายนิวรอล ร่วมกับการเลือกตัวควบคุม.....	44
รูปที่ 3-14	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล ร่วมกับการเลือกตัวควบคุม ที่ $\Delta m_2 = 0$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0$	45
รูปที่ 3-15	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล ร่วมกับการเลือกตัวควบคุม ที่ $\Delta m_2 = 2.5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.167$	46
รูปที่ 3-16	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล ร่วมกับการเลือกตัวควบคุม ที่ $\Delta m_2 = 5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.25$	47
รูปที่ 3-17	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล ร่วมกับการเลือกตัวควบคุม ที่ $\Delta m_2 = 7.5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.3$	48

รูปที่ 3-18	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล ร่วมกับการเลือกตัวควบคุม ที่ $\Delta m_2 = 10$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.333$	49
รูปที่ 3-19	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล ร่วมกับการเลือกตัวควบคุม เมื่อเส้นทางอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่ $\Delta m_2 = 0$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0$	50
รูปที่ 3-20	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล ร่วมกับการเลือกตัวควบคุม เมื่อเส้นทางอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่ $\Delta m_2 = 2.5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.167$	51
รูปที่ 3-21	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล ร่วมกับการเลือกตัวควบคุม เมื่อเส้นทางอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่ $\Delta m_2 = 5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.25$	52
รูปที่ 3-22	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล ร่วมกับการเลือกตัวควบคุม เมื่อเส้นทางอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่ $\Delta m_2 = 7.5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.3$	53
รูปที่ 3-23	กราฟแสดงผลการชดเชยแบบปรับได้ของแขนกลด้วยเครือข่ายนิวรอล ร่วมกับการเลือกตัวควบคุม เมื่อเส้นทางอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่ $\Delta m_2 = 10$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.333$	54
รูปที่ 3-24	กราฟแสดงผลการควบคุมแบบปรับได้ของแขนกล ที่ $\Delta m_2 = 5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.25$	56
รูปที่ 3-25	กราฟเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการควบคุมแบบต่างๆของแขนกล ที่ $\Delta m_2 = 5$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.25$	57
รูปที่ 3-26	กราฟแสดงผลการควบคุมแบบปรับได้ของแขนกล ที่ $\Delta m_2 = 10$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.333$	58
รูปที่ 3-27	กราฟเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการควบคุมแบบต่างๆ ของแขนกล ที่ $\Delta m_2 = 10$, $\Delta I_2 = 10/12$ และ $\Delta I_{c_2} = 0.333$	59

สารบัญย่อ

NN	เครือข่ายนิวรอล (Neural Network)
BNN	เครือข่ายนิวรอลชนิด Backpropagation
WN	เครือข่ายนิวรอลชนิด Wavelet
Sup	Supervised Learning
Unsup	Unsupervised Learning
FF	Feedforward Connection
REC	Recurrent Connection
CT	Continuous Time Mode
DT	Discrete Time Mode



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์ที่ใช้

$y_i^l(k)$	ค่าเอาต์พุตของปมนิวรอน i ที่ชั้น l ที่เวลา k
$\sigma_i^l(\cdot)$	ค่าฟังก์ชันซิกมอยด์ของปมนิวรอน i ชั้น l
N_l	จำนวนปมนิวรอนในชั้นที่ l
w_{ji}^l	ค่าน้ำหนักของแกนซึ่งส่งผ่านสัญญาณจากปมนิวรอน j ที่ชั้น $l-1$ ไปยังปมนิวรอน i ที่ชั้น l
wb_i^l	ค่าน้ำหนักไบแอสของปมนิวรอน i ที่ชั้น l
a_i^l	ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันซิกมอยด์ของปมนิวรอน i ที่ชั้น l
Δt	ช่วงเวลาการชักตัวอย่าง (sampling time)
$\hat{(\cdot)}$	ค่าประมาณ (estimated value)
$\ (\cdot)\ $	ค่าประจำ (norm)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย