

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อัลกอริธึมการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติสำหรับระบบควบคุม
แบบคลุมเครือที่มีการหน่วงเวลา

AUTOMATIC TUNING ALGORITHM FOR TIME-DELAY
FUZZY CONTROL SYSTEMS



จพ.
๘ 852๑
2549

เลขหมู่.....**65479**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี 11 ต.ค. 2549

b. 11655161
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2721-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**AUTOMATIC TUNING ALGORITHM FOR TIME-DELAY
FUZZY CONTROL SYSTEMS**



**A THESIS SUMMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION TECHNOLOGY ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2721-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้องานวิจัย	อัลกอริทึมการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติสำหรับระบบควบคุมแบบคลุมเครือที่มีการหน่วงเวลา
นักศึกษา	นายสุรพงษ์ ตีเมืองสอง
รหัสนักศึกษา	44061822
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมงานวิจัย	รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา

บทคัดย่อ

การหน่วงเวลาในระบบเกิดขึ้นได้โดยทั่วไปในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ และเป็นปัญหาหลักปัญหาหนึ่งในการออกแบบตัวควบคุมในการควบคุมระบบ งานวิจัยนี้เสนอวิธีการปรับแต่งพารามิเตอร์อัตโนมัติสำหรับระบบควบคุมที่มีการหน่วงเวลาโดยใช้ตัวควบคุมพี้นซีเป็นตัวควบคุมระบบ ในการออกแบบการควบคุมระบบการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะทำการปรับแต่งเองด้วยการลองผิดลองถูกแล้วเปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้ จากแนวคิดของโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้ในงานวิจัยจึงทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพี้นซีด้วยการเรียนรู้ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมโดยนำไปใช้ในการควบคุมระบบที่มีการหน่วงเวลา ผลการจำลองที่ได้ชี้ชัดว่าการปรับค่าพารามิเตอร์การควบคุมโดยอาศัยวิธีการที่นำเสนอนี้ ให้ผลเทียบเท่ากับการปรับแต่งโดยผู้เชี่ยวชาญ

Thesis Title	Automatic Tuning Algorithm for Time-delay Fuzzy Control Systems
Student	Mr. Surapong Teemuangsong
Student ID.	44061822
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2006
Thesis Adviser	Assoc.Prof. Dr. Pitikhate Sooraksa

ABSTRACT

Time delay systems exist widely in industrial processes, and it is one of the main difficult problem in process control due to the time delay property. This research presents automatic tuning algorithm for time delay fuzzy control system. The parameters of the system are adjusted by learning techniques provided by an artificial neural networks. The fuzzy control parameters are first adjusted manually until desired plant output are obtained. This process is then automatic adjusted parameters by the multilayer neural networks. The results obtained from the two methods are compared. The simulation results show that effectiveness of appropriate tuning parameters for the system using the proposed algorithm is similar to the manual tuning by an expert.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาของบุคคลต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้รับความเมตตาจาก รศ. ดร. ปิติเขต สุรักษา ผู้วิจัยผู้ศึกษาซึ่งตลอดมาและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ คณะจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ได้ให้คำแนะนำและให้กำลังใจตลอดมา

และสุดท้ายที่จะลืมเสียไม่ได้คือ กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณยาย และพี่สาว อันเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยอบรมเลี้ยงดู ให้การสนับสนุนและกำลังใจตลอดมา คุณค่าและประโยชน์ใด ๆ อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุรพงษ์ ตีเมืองทอง



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 สมมุติฐานเบื้องต้น.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม.....	3
2.1.1 ประวัติความเป็นมา.....	3
2.1.2 เซลล์ประสาท.....	5
2.1.3 แบบจำลองเซลล์ประสาท.....	6
2.1.4 ฟังก์ชันกระตุ้น.....	7
2.1.4.1 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Linear.....	7
2.1.4.2 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Tanh-sigmoid.....	8
2.1.4.3 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Log-sigmoid.....	8
2.1.4.4 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Hard limit.....	9
2.1.5 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม.....	9
2.1.5.1 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน.....	10
2.1.5.2 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน.....	10
2.1.6 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.7 โครงข่ายประสาทแบบหลายชั้น.....	12
2.1.8 การแพร่กระจายกลับ.....	12
2.1.8.1 การป้อนไปข้างหน้า.....	12
2.1.8.2 การป้อนกลับ.....	14
2.1.9 การแพร่กระจายกลับด้วย Levenberg – Marquardt.....	19
2.1.10 การประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียม.....	22
2.1.11 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม.....	24
2.2 การควบคุมแบบฟิชชี.....	26
2.2.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
2.3 การควบคุมแบบ Smith Predictor.....	28
2.4 สรุป.....	30
บทที่ 3 การออกแบบและหลักการทํางาน.....	31
3.1 ระบบควบคุมแบบฟิชชี.....	31
3.2 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมในการควบคุมระบบที่มีการหน่วงเวลา.....	33
3.2.1 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม.....	34
3.2.2 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม.....	35
3.3 สรุป.....	38
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	39
4.1 การทดลองกับกระบวนการอันดับหนึ่ง.....	39
4.2 การทดลองกับกระบวนการอันดับสอง.....	45
4.3 การทดลองกับกระบวนการอันดับสาม.....	52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	59
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	59
5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยและแนวทางพัฒนาในอนาคต.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	61
ภาคผนวก ก.....	64
ประวัติผู้เขียน.....	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม NNT และ NNS.....	35
3.2 ลักษณะชุดข้อมูลในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม.....	36
4.1 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิชชีในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งและค่าเป้าหมาย เท่ากับ 1.....	41
4.2 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิชชีในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งและค่าเป้าหมาย เท่ากับ 2.....	43
4.3 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิชชีในการควบคุมกระบวนการอันดับสองและค่าเป้าหมาย เท่ากับ 1.....	47
4.4 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิชชีในการควบคุมกระบวนการอันดับสองและค่าเป้าหมาย เท่ากับ 2.....	50
4.5 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิชชีในการควบคุมกระบวนการอันดับสามและค่าเป้าหมาย เท่ากับ 1.....	54
4.6 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิชชีในการควบคุมกระบวนการอันดับสามและค่าเป้าหมาย เท่ากับ 2.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เซลล์ประสาทชีววิทยา.....	6
2.2 แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียม.....	7
2.3 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Linear.....	7
2.4 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Tanh – sigmoid.....	8
2.5 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Log – sigmoid.....	8
2.6 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Hard limit.....	9
2.7 การเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน.....	10
2.8 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ฝึกสอน.....	11
2.9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว.....	11
2.10 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	12
2.11 โครงข่ายประสาทเทียมแบบสามชั้น.....	13
2.12 การปรับค่าถ่วงน้ำหนักของ โครงข่ายประสาทเทียมแบบสามชั้น.....	14
2.13 ขั้นตอนการเรียนรู้แบบแพร่กลับ.....	18
2.14 ผลตอบสนองความสัมพันธ์แบบ Autoassociation.....	23
2.15 ผลตอบสนองความสัมพันธ์แบบ Heteroassociation.....	23
2.16 ผลตอบสนองของการจัดเป็นหมวดหมู่แบบ Classification.....	24
2.17 ผลตอบสนองของการจัดเป็นหมวดหมู่แบบ Recognition.....	24
2.18 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมแบบฟuzzy.....	27
2.19 การควบคุมระบบกับกระบวนการที่มีค่าหน่วยเวลา.....	28
2.20 การควบคุมแบบ Smith Predictor.....	29
2.21 ระบบเมื่อทำการควบคุมแบบ Smith Predictor.....	29
3.1 โครงสร้างของตัวควบคุมแบบฟuzzyพีไอ.....	32
3.2 พื้นที่ทั้งหมดของตัวควบคุมฟuzzyพีไอ.....	32
3.3 โครงสร้างการควบคุมระบบที่มีการหน่วงเวลา.....	34
3.4 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบฟuzzy.....	35
3.5 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำลองกระบวนการ.....	35
3.6 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปรับค่าพารามิเตอร์.....	36
3.7 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำลองกระบวนการ.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 ขั้นตอนการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม.....	38
4.1 รอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองกระบวนการสำหรับการทดลองกับกระบวนการอันดับหนึ่ง.....	40
4.2 รอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีชชีสำหรับการทดลองกับกระบวนการอันดับหนึ่ง.....	40
4.3 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 20 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1.....	41
4.4 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 30 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1.....	42
4.5 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 50 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1.....	42
4.6 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 20 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2.....	43
4.7 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 30 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2.....	44
4.8 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 50 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2.....	44
4.9 รอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองกระบวนการสำหรับการทดลองกับกระบวนการอันดับสอง.....	46
4.10 รอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีชชีสำหรับการทดลองกับกระบวนการอันดับสอง.....	46
4.11 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 20 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1.....	48
4.12 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 30 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1.....	48
4.13 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 50 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อเวลาหนึ่งงในระบบเท่ากับ 20 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2.....	50
4.15 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อเวลาหนึ่งงในระบบเท่ากับ 30 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2.....	51
4.16 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อเวลาหนึ่งงในระบบเท่ากับ 50 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2.....	51
4.17 รอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองกระบวนการสำหรับการทดลองกับ กระบวนการอันดับสาม.....	53
4.18 รอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีชชี สำหรับการทดลองกับกระบวนการอันดับสาม.....	53
4.19 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อเวลาหนึ่งงในระบบเท่ากับ 20 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1.....	55
4.20 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อเวลาหนึ่งงในระบบเท่ากับ 30 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1.....	55
4.21 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อเวลาหนึ่งงในระบบเท่ากับ 50 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1.....	56
4.22 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อเวลาหนึ่งงในระบบเท่ากับ 20 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2.....	57
4.23 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อเวลาหนึ่งงในระบบเท่ากับ 30 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2.....	57
4.24 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อเวลาหนึ่งงในระบบเท่ากับ 50 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัญหาการหน่วงเวลาสำหรับระบบเป็นปัญหาทางกายภาพของระบบที่เกิดขึ้นทั่วไปในระบบหรือกระบวนการต่าง ๆ เช่น กระบวนการทางเคมี ระบบชีววิทยา ระบบวิศวกรรมและในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในการควบคุมระบบได้มีการเสนอการแก้ปัญหาการหน่วงเวลาโดยใช้การควบคุมแบบ Smith Predictor โดยในปี ค.ศ. 1959 Smith [1-3] ได้คิดการแก้ปัญหาของการหน่วงเวลาในระบบ การออกแบบการควบคุมแบบ Smith Predictor นั้น ผู้ออกแบบต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการและตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมซึ่งโดยมากเป็นตัวควบคุมพีไอดีแบบดั้งเดิม ซึ่งระบบนี้ไม่สามารถควบคุมระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ระบบที่มีอันดับสูงและระบบที่มีความซับซ้อนได้คิณัก ต่อมา Chen [4-10] ได้นำเสนอแนวคิดในการนำทฤษฎีตรรกศาสตร์ฟัซซีมาทำงานร่วมกับระบบควบคุมพีไอดีแบบดั้งเดิม เพื่อแก้ปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบที่ใช้ตัวควบคุมพีไอดีแบบดั้งเดิมเพียงอย่างเดียว แต่ในการควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นจะต้องปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับตัวควบคุมแบบฟัซซี ซึ่งโดยทั่วไป จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์แบบลองผิดลองถูกทำให้ต้องใช้เวลาในการปรับนานดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบการควบคุมระบบที่มีการหน่วงเวลาโดยใช้การควบคุมแบบ Smith Predictor ซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีเป็นตัวควบคุมแทนตัวควบคุมพีไอดีแบบดั้งเดิมและได้นำเสนอการใช้แนวคิดของโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบฟัซซีและการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาต่าง ๆ จากความสามารถในการเรียนรู้ ซึ่งเมื่อโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ปัญหาได้แล้วโครงข่ายประสาทเทียมสามารถหาคำตอบให้กับปัญหานั้น ๆ ได้อย่างเหมาะสม [11-20]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมกับการควบคุมระบบ
- 1.2.2 เพื่อเสนอการควบคุมระบบที่มีการหน่วงเวลาโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

1.3 สมมติฐานเบื้องต้น

- 1.3.1 ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียมช่วยปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์พีชชี่ได้
- 1.3.2 การควบคุมแบบ Smith Predictor พื้นฐานโดยอาศัยวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียมสามารถชดเชยเวลาหน่วงได้
- 1.3.3 เมื่อใช้สมมติฐาน 1.3.1 ร่วมกับ 1.3.2 จะสามารถออกแบบระบบควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

- 1.4.1 ทฤษฎีตรรกศาสตร์พีชชี่
- 1.4.2 ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม
- 1.4.3 ทฤษฎีการควบคุมแบบ Smith Predictor

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.5.2 ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์พีชชี่
- 1.5.2 จำลองการควบคุมระบบที่มีการหน่วงเวลาด้วยตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์พีชชี่ร่วมกับการควบคุมแบบ Smith Predictor บนฐานโครงข่ายประสาทเทียม

1.6 ขั้นตอนของการวิจัย

- 1.6.1 ค้นคว้าเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 1.6.2 ศึกษาเอกสารและข้อมูลที่รวบรวมได้
- 1.6.3 ออกแบบการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์พีชชี่
- 1.6.4 ออกแบบการควบคุมการหน่วงเวลาในระบบด้วยการควบคุมแบบ Smith Predictor บนพื้นฐานโครงข่ายประสาทเทียม
- 1.6.5 จำลองการทำงานของระบบที่ออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์
- 1.6.6 นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับ สรุปผลและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย ซึ่งเนื้อหาจะกล่าวถึง โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) การควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Control) และการควบคุมแบบ Smith Predictor ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาและเป็นแนวคิดเพื่อ ใช้ในงานวิจัยหาอัลกอริทึมการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติสำหรับระบบควบคุมแบบฟัซซีที่มีการหน่วงเวลา

2.1 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองที่มีแนวคิดมาจากระบบการทำงานของสมองมนุษย์ [21,22] โดยในระบบการทำงานของสมองมนุษย์จะประกอบด้วย เซลล์ประมวลผลที่มีการเชื่อมต่อกัน อย่างหนาแน่น ซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้หาผลตอบสนองจากอินพุตที่มากกระตุ้นและสามารถ กระจายการคำนวณแบบขนาน ทำให้สามารถข้ามผ่านอุปสรรคในการคำนวณแบบจัดเรียงลำดับ ซึ่งเป็น การคำนวณแบบลำดับขั้นโดยเป็นหลักการที่ใช้ในการคำนวณ ในคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไป ด้วยความ สามารถดังกล่าวนักวิจัยเชื่อว่าโครงข่ายประสาทเทียมเป็นยุคใหม่แห่งการประมวลผลและมีอนาคตที่ สดใสในการพัฒนาการสร้างระบบการคำนวณที่มีความเฉลียวฉลาดอย่างแท้จริง ถึงแม้ว่าปัจจุบัน คอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้คอมพิวเตอร์มีความเร็วที่สูงขึ้นมากและมีความแม่นยำ กว่ามนุษย์ในการคำนวณ แต่ในงานบางด้าน เช่น การจดจำและแยกแยะภาพ การจดจำเสียงและการ วิเคราะห์เสียง เป็นต้น มนุษย์สามารถเรียนรู้และทำได้ดีกว่า ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมจึงได้มีการ พัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการนำไปประยุกต์ ในด้านต่าง ๆ มากมาย ซึ่งในหัวข้อของโครงข่ายประสาท เทียมนี้จะกล่าวถึง ประวัติความเป็นมาในการศึกษาวิจัยและการพัฒนาเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียม การทำงานของเซลล์ประสาทวิทยาซึ่งเป็นพื้นฐานของแนวคิดการสร้างแบบจำลองของโครงข่าย ประสาทเทียม โครงสร้างและการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม และในที่สุดท้ายของหัวข้อเป็น การประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมซึ่งเป็นการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ในงานด้านต่าง ๆ

2.1.1 ประวัติความเป็นมา

ในการศึกษาเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียม นั้น จุดเริ่มต้นและการเปลี่ยนแปลงและเหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นกับการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมเป็นส่วนหนึ่งที่จะทำให้เข้าใจเกี่ยวกับโครงข่ายประสาท เทียมได้ดียิ่งขึ้น ในหัวข้อนี้จะสรุปประวัติความเป็นมา บุคคลและเหตุการณ์ที่สำคัญที่เกิดขึ้นในแต่ละ ช่วงเวลาในการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมตั้งแต่จุดเริ่มการพัฒนาจนถึงปัจจุบัน

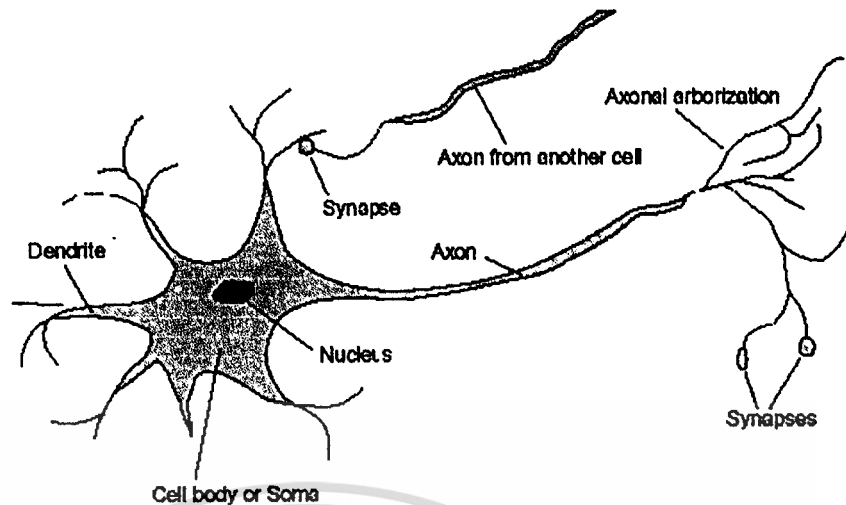
การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมเริ่มต้นในปี ค.ศ. 1943 โดย McCulloch และ Pitts [29, 32] ได้เสนอบทความเกี่ยวกับหลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่ายโดยเป็นการจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับแต่ละหน่วยเซลล์ประสาทแบบสองสถานะในการคำนวณทางด้านการฟังก์ชันตรรกวิทยา ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มแรกของการพัฒนางานในด้านโครงข่ายประสาทเทียม ต่อมาในปี ค.ศ. 1949 Hebb [31,32] ได้เขียนหนังสือชื่อ “The Organization of Behavior” ซึ่งมีการกล่าวถึงกลไกการเรียนรู้ในเซลล์ประสาทวิทยา และต่อมาเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อของ กฎการเรียนรู้ของ Hebb ซึ่งเป็นรูปแบบการเรียนรู้ที่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของนักวิจัยรุ่นหลัง ๆ จากนั้นได้มีการประดิษฐ์โครงข่ายในการคำนวณขึ้น โดย ในปี ค.ศ. 1958 Rosenblatt [29, 31] ได้คิดค้นโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Perceptron ขึ้นและได้เสนอการเรียนรู้แบบ Perceptron สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นและประสบความสำเร็จในการทดลองให้เห็นความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมในด้านการจดจำกลุ่มข้อมูล ทว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Perceptron สามารถแก้ไขปัญหามากรอบที่จำกัดเท่านั้น และในปีต่อมา ปี ค.ศ. 1959 Widrow และ Hoff [29,31,32] ได้คิดค้นแบบจำลองของเซลล์ประสาทคล้ายกับ Perceptron ที่เรียกว่า ADALINE (ADaptive LINEar NEuron) และโครงข่ายประสาทเทียมของ ADALINE ที่ชื่อว่า MADALINE (Multiple ADALINE) โดยใช้การเรียนรู้แบบ Least Mean Square (LMS) หรือ Widrow – Hoff โครงข่ายประสาทเทียมนี้ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงเป็นครั้งแรก โดยมีการนำไปใช้กับ วงจร โทรศัพท์ และ ในโมเด็มความเร็วสูง ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมของ Widrow และ Hoff ยังมีการใช้กันอยู่ในปัจจุบัน และเหตุการณ์ที่สำคัญเหตุการณ์หนึ่งที่มีผลกับการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งทำให้การพัฒนาเข้าสู่ยุคมืดหรือยุคที่มีการหยุดชะงักเกิดขึ้นเมื่อ ปี ค.ศ. 1969 Minsky และ Papert [31] ได้เขียนหนังสือซึ่งกล่าวถึงข้อจำกัดของโครงข่ายประสาทเทียมที่คิดค้นโดย Rosenblatt และโครงข่ายประสาทเทียมที่คิดค้นโดย Widrow และ Hoff ทำให้นักวิจัยหลายคนไม่ให้ความสนใจในการพัฒนางานทางด้านโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป แต่อย่างไรก็ตามยังมีนักวิจัยบางกลุ่มที่ยังมุ่งมั่นในการพัฒนาทางด้านนี้ต่อไป เช่น ในปี ค.ศ. 1977 Anderson ได้พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ชื่อว่า “Brain – State – in – a – Box” หรือ (BSB) ปี ค.ศ. 1978 Fukushima ได้พัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมที่ชื่อว่า “Neocognitron” ปี ค.ศ. 1982 Hopfield ได้พัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมและการเรียนรู้แบบ Hopfield เป็นต้น [20,21,29,31,32]

การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมเริ่มได้รับความสนใจอีกครั้งเมื่อมีการเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นหรือที่รู้จักกันในชื่อของการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Backpropagation) ซึ่งสามารถแก้ปัญหาที่ Minsky และ Papert ได้กล่าวไว้เมื่อ ปี ค.ศ. 1969 ได้สำเร็จ โดยแนวคิดนี้ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในแต่ละช่วงเวลาจนประสบความสำเร็จ โดย ปี ค.ศ. 1974 จาก Werbos ปี ค.ศ. 1985 จาก Parker และในปี ค.ศ. 1986 จาก Rumelhart และคณะ [31] จากหนังสือชื่อ “Parallel Distributed Processing” หรือ (PDP) ตามลำดับ ซึ่งทำให้การพัฒนางานทางด้านโครงข่ายประสาทเทียมเข้าสู่ยุคที่เชื่อว่าเป็นยุคที่รุ่งเรืองทั้งในด้านการคิดค้นทฤษฎีในการเรียนรู้ของโครงข่าย

ประสาทเทียมและการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในงานด้านต่าง ๆ เช่น การจดจำกลุ่มข้อมูล การทำนายหรือการพยากรณ์และในระบบควบคุม เป็นต้น ในปัจจุบันเมื่อเทคโนโลยีมีการพัฒนาและเข้ามามีบทบาทกับชีวิตมนุษย์มากขึ้นมีการค้นพบวิธีใหม่ ๆ ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ มากขึ้น แม้โครงข่ายประสาทเทียมไม่ใช่คำตอบในการแก้ปัญหาทุกปัญหา แต่เชื่อว่าแนวทางในการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมยังคงมีอย่างต่อเนื่องต่อไปตราบไคที่มนุษย์ยังไม่สามารถอธิบายการทำงานของระบบสมองได้อย่างชัดเจนและสมบูรณ์ [33,34,35]

2.1.2 เซลล์ประสาท

เซลล์ประสาท คือ เซลล์พิเศษในการจัดการกับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ ที่เข้ามาในระบบสมองของมนุษย์จัดเป็นระบบที่มีความซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ประสาทประมาณ 10^{11} เซลล์ประสาทและมีการเชื่อมต่อกันอย่างหนาแน่น ในแต่ละเซลล์ประสาทมีการเชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทอื่นประมาณ 10^3 ถึง 10^4 เซลล์ประสาท รูปที่ 2.1 แสดงเซลล์ประสาทวิทยาซึ่งเซลล์ประสาทวิทยาประกอบไปด้วย ตัวเซลล์ (Cell body) หรือ โซมา (Soma) และแขนงที่แยกออกจากตัวเซลล์คือ แอคซอน (axon) และ เดนไดรท์ (Dendrites) ในตัวเซลล์มีนิวเคลียส (Nucleus) ซึ่งบรรจุข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างส่วนประกอบสำหรับเซลล์ประสาท เมื่อเซลล์ประสาทรับสัญญาณกระตุ้นจากเซลล์ประสาทอื่น ๆ ผ่านทางเดนไดรท์ (Dendrites) หรือตัวรับ และส่งผ่านสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นจากตัวเซลล์ไปตามแอคซอน (axon) หรือ ตัวส่งสัญญาณ ซึ่งอยู่ในส่วนท้ายของแขนงที่แยกออกจากตัวเซลล์ และที่ส่วนปลายของเส้นแขนงคือ ส่วนที่เรียกว่า ไซแนปส์ (Synapses) ซึ่งไซแนปส์เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของเซลล์ประสาท และเป็นส่วนที่มีบทบาทหน้าที่ระหว่างการเชื่อมต่อของสองเซลล์ประสาท คือระหว่างแอคซอนของเซลล์ประสาทกับ เดนไดรท์ของเซลล์ประสาทของเซลล์อื่น เมื่อมีสัญญาณกระตุ้นมาถึงส่วนปลายของไซแนปส์ จะมีสารเคมีที่เรียกว่า สารสื่อประสาท (Neurotransmitters) ถูกปล่อยออกมา สารสื่อประสาทจะแพร่ข้ามผ่านช่องว่างของไซแนปส์เพื่อกระตุ้นหรือยับยั้งการส่งผ่านกระแสประสาท ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิดของ ไซแนปส์ และแนวโน้มของการแพร่ของสัญญาณไฟฟ้าที่มากกระตุ้น ในการปรับค่าของไซแนปส์จะขึ้นอยู่กับสัญญาณที่ผ่านเข้ามา ดังนั้นเซลล์ประสาทจะสามารถปรับค่าของไซแนปส์ หรือทำการเรียนรู้ ในขณะที่เดิวกันเมื่อมีสัญญาณกระตุ้นเข้ามา [20,21,29]



รูปที่ 2.1 เซลล์ประสาทชีววิทยา

2.1.3 แบบจำลองเซลล์ประสาท

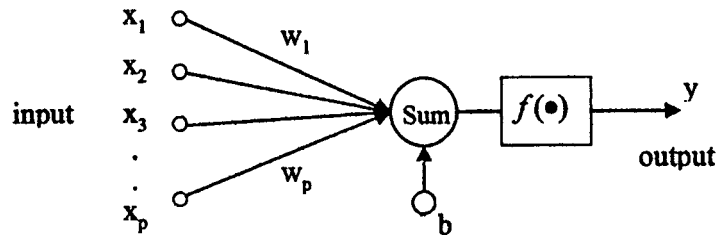
จากแบบจำลองของ McCulloch และ Pitts ที่ได้เสนอในปี ค.ศ. 1943 เป็นแบบจำลองแบบง่าย ๆ ที่สามารถใช้แทนตัวดำเนินการทางตรรกวิทยา เช่น AND OR หรือ NOT เป็นต้น ซึ่งในแบบจำลองไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมที่แท้จริงของเซลล์ประสาทได้ แบบจำลองที่มีการปรับปรุงดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยคล้ายกับแบบจำลองของ McCulloch และ Pitts แต่แตกต่างที่ค่าตัวแปรต่าง ๆ จะใช้จำนวนจริง และค่าถ่วงน้ำหนักได้จากการเรียนรู้ ในรูปที่ 2.2 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หนึ่งหน่วยเซลล์ประสาทเทียม ซึ่งประกอบด้วยอินพุต ค่าถ่วงน้ำหนัก หน่วยประมวลผล และเอาต์พุต ซึ่งสอดคล้องกับเดนไดรต์ (Dendrites) ซิแนปส์ (Synapses) โซมา (Soma) และแอกซอน (Axon) ตามลำดับ ในหนึ่งหน่วยเซลล์ประสาทชีววิทยาจะทำการเรียนรู้โดยการปรับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างเซลล์ประสาท โดยเอาต์พุตของเซลล์ประสาทจะเกิดจากค่าของฟังก์ชันกระตุ้นหรือฟังก์ชันการตัดสินใจของผลรวมของอินพุตคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละอินพุตดังแสดงในสมการที่ (2.1)

$$y = f\left(\sum_{j=1}^p w_j x_j + b\right) \quad (2.1)$$

โดยที่	$f(\bullet)$	คือ ฟังก์ชันกระตุ้น
	x_j	คือ อินพุตของเซลล์ประสาทเทียมที่ j เมื่อ $j = 1, 2, 3, \dots, p$
	w_j	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่ j เมื่อ $j = 1, 2, 3, \dots, p$
	b	คือ ค่าไบแอสของเซลล์ประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

y คือ เอาต์พุตของเซลล์ประสาทเทียม



รูปที่ 2.2 แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียม

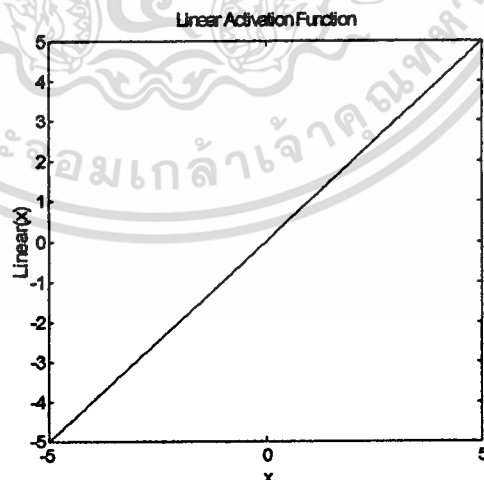
2.1.4 ฟังก์ชันกระตุ้น

ฟังก์ชันกระตุ้นเป็นฟังก์ชันในการกำหนดค่าเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเป็นได้ทั้งแบบเป็นสมการเชิงเส้นและแบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งในการเลือกใช้ฟังก์ชันกระตุ้นจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของปัญหาและชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ถึงรูปที่ 2.6 และสมการของแต่ละฟังก์ชันในสมการที่ (2.2) ถึงสมการที่ (2.5) เป็นฟังก์ชันที่นิยมใช้กันทั่วไปในแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมชนิดต่าง ๆ [20,21,29,31,32]

2.1.4.1 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Linear

$$f(x) = x$$

(2.2)

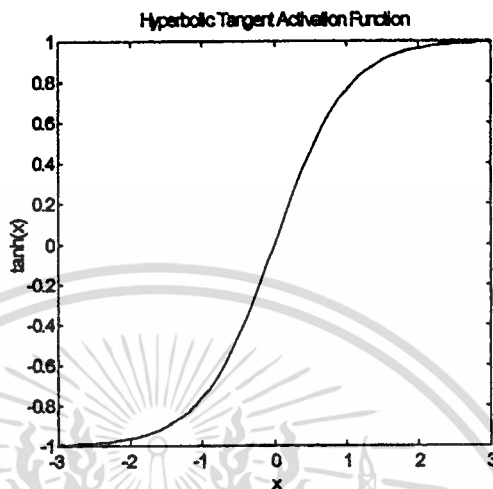


รูปที่ 2.3 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Linear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.2 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Tanh - sigmoid

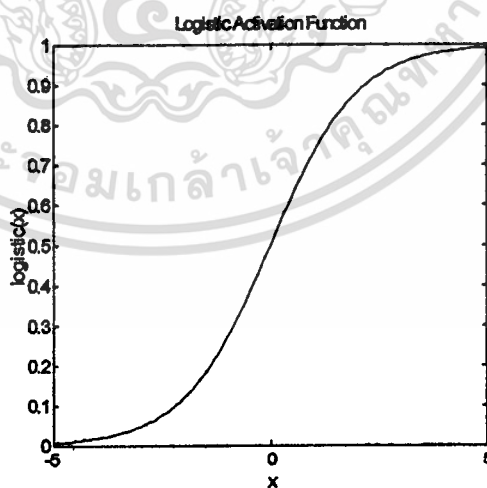
$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Tanh - sigmoid

2.1.4.3 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Log - sigmoid

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-2x}} \quad (2.4)$$

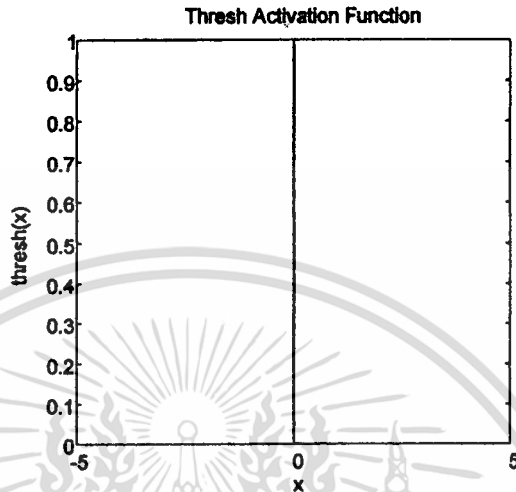


รูปที่ 2.5 ฟังก์ชันกระตุ้น แบบ Log - sigmoid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.4 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Hard limit

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Hard limit

2.1.5 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นสิ่งสำคัญที่สุดของโครงข่ายประสาทเทียมและได้มีการศึกษาค้นคว้าในเรื่องนี้ทั้งในด้านชีววิทยาและโครงข่ายประสาทเทียม คำถามพื้นฐานที่ผู้เชี่ยวชาญพยายามหาคำตอบก็คือ มีการเรียนรู้อย่างไร การเรียนรู้อย่างไรมีประสิทธิภาพ มีการเรียนรู้ทำอะไรจึงสามารถเรียนรู้ได้ ในการศึกษาค้นคว้าการเรียนรู้ได้มีการศึกษาในสัตว์ที่มีระดับความฉลาดที่แตกต่างกัน ในมนุษย์ที่มีอายุและระดับความฉลาดที่แตกต่างกัน จากสิ่งมีชีวิตในทะเล และสิ่งมีชีวิตโบราณ การเรียนรู้จะไม่เป็นกระบวนการที่เหมือนกันโดยมีกระบวนการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน ซึ่งกระบวนการเรียนรู้และประสิทธิภาพในการเรียนรู้จะเหมาะสมในแต่ละสิ่งมีชีวิต สิ่งผู้เชี่ยวชาญทางพฤติกรรมจะต้องการพิจารณา คือ ความเหมาะสมที่สุดและมีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับแต่ละชนิดของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะในโครงข่ายประสาทเทียม ผู้เชี่ยวชาญโครงข่ายประสาทได้สร้างโครงข่ายประสาทเทียมโดยได้เลือกการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพที่สุดและนำแนวคิดของกระบวนการการเรียนรู้มาใช้จากห้องทดลองของผู้เชี่ยวชาญและนำไปสู่การนำไปใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยทั่วไปการเรียนรู้คือกระบวนการโดยโครงข่ายประสาททำการปรับตัวเองคือสิ่งกระตุ้นและสุดท้ายจะสร้างการตอบสนองที่ต้องการ ซึ่งแท้จริงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมคือกระบวนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของ

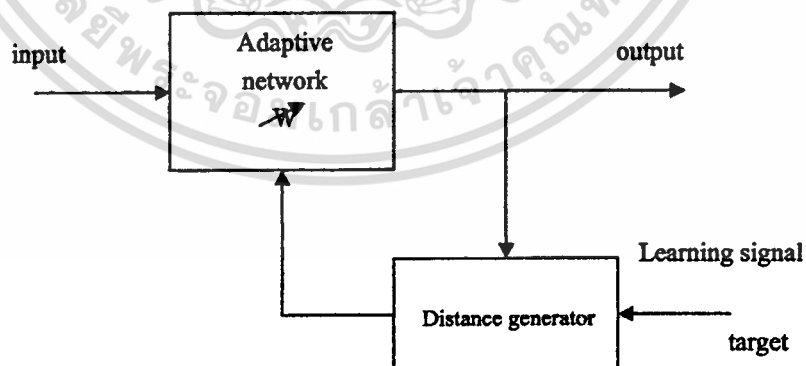
โครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ผลตอบสนองของเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าเท่ากับเอาต์พุตที่ต้องการนั่นเอง การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้กันอยู่สามารถแบ่งได้ 2 แบบด้วยกัน

2.1.5.1 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning)

ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อมีอินพุตเข้ามาทำให้มีผลตอบสนองทางเอาต์พุต ผลตอบสนองนี้จะถูกเปรียบเทียบกับเอาต์พุตที่ต้องการหรือเอาต์พุตเป้าหมาย ถ้าผลลัพธ์ที่แท้จริงของเอาต์พุตแตกต่างจากเอาต์พุตเป้าหมาย โครงข่ายประสาทเทียมจะสร้างสัญญาณความผิดพลาด ซึ่งถูกใช้ในการคำนวณและปรับค่าตัวนำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมให้มีความใกล้เคียงกับค่าเอาต์พุตเป้าหมาย หรือทำให้ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุดหรือมีค่าใกล้เคียงกับค่าเอาต์พุตเป้าหมาย กระบวนการในการลดค่าความผิดพลาดจึงต้องใช้ผู้สอนหรือผู้แนะนำ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

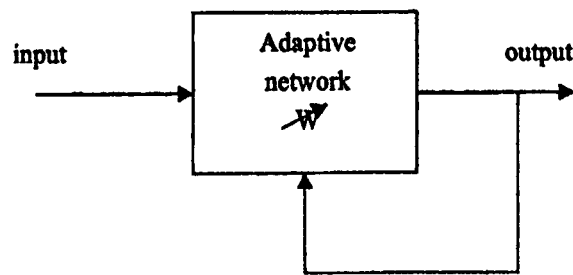
2.1.5.2 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning)

การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนตรงกันข้ามกับการเรียนรู้แบบมีผู้สอน ซึ่งการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนไม่ต้องการผู้สอนหรือผู้แนะนำนั่นคือไม่มีค่าเอาต์พุตเป้าหมาย ระหว่างการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมจะรับค่ากลุ่มอินพุตที่มีการกระตุ้นที่แตกต่างกันหรืออินพุตที่มีแบบแผนและมีการจัดการกลุ่มข้อมูลในประเภทต่าง ๆ เอง เมื่อมีอินพุตหรือมีการกระตุ้นเข้ามาอีกในภายหลังโครงข่ายประสาทเทียมจะจัดเตรียมผลตอบสนองทางเอาต์พุตที่แสดงถึงกลุ่มความสัมพันธ์ที่เป็นของอินพุตหรือสิ่งกระตุ้นนั้น ถ้ากลุ่มความสัมพันธ์ของอินพุตข้อมูลไม่สามารถหาได้ กลุ่มข้อมูลใหม่จะถูกสร้างขึ้น ถึงแม้ว่าการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนไม่ต้องการผู้สอนหรือผู้แนะนำแต่ต้องการแนวทางในการตัดสินใจในการจัดกลุ่ม ซึ่งกลุ่มอาจจะเป็น รูปร่าง สี หรือ คุณสมบัติของในแต่ละเป้าหมาย ที่สามารถจัดกลุ่มได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 แสดงแผนภาพการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน



รูปที่ 2.7 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน

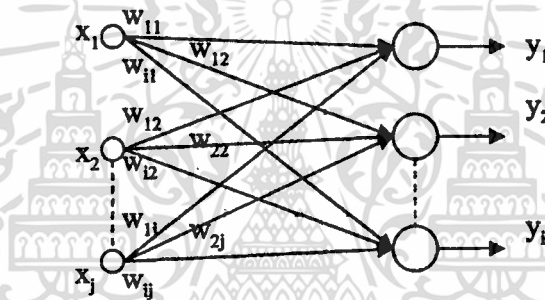
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ฝึกสอน

2.1.6 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวเป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีลักษณะคล้ายกันกับเซลล์ประสาทเทียมหลายเซลล์ประสาทเรียงตัวกันในชั้น ซึ่งจะประกอบไปด้วย เอาต์พุต y_i , อินพุต x_j , และค่าถ่วงน้ำหนัก w_{ij} ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยการคำนวณหาค่าเอาต์พุตแสดงในสมการที่ (2.6)



รูปที่ 2.9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

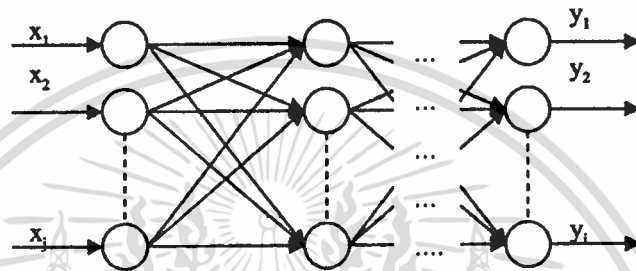
$$y_i = f\left(\sum_{j=1}^m w_{ij} x_j\right) \quad (2.6)$$

- โดยที่
- $f(\bullet)$ คือ ฟังก์ชันกระตุ้น
 - x_j คือ อินพุตที่ j ของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อ $j = 1, 2, \dots, m$
 - w_{ij} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อกับอินพุตที่ j และเอาต์พุตที่ i เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, n$
 - y_i คือ เอาต์พุตที่ i ของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นจะเหมือนโครงข่ายประสาทเทียมที่ประกอบไปด้วย การเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทเชื่อมต่อกันเป็นชั้น โดยมีชั้นที่เพิ่มเข้ามาระหว่างชั้นอินพุตและชั้น เอาต์พุตซึ่งเรียกว่าชั้นซ่อน (Hidden layers) ชั้นซ่อนอาจมีมากกว่าหนึ่งชั้นแล้วแต่การออกแบบและ ใช้งานของผู้ออกแบบเอง โดยแต่ละชั้นจะมีการเชื่อมโยงแบบต่อกันหมดและจะมีลักษณะป้อน ไปข้างหน้า คือ เอาต์พุตของแต่ละชั้นจะไปเป็นอินพุตของชั้นถัดไปต่อไปเรื่อยๆจนถึงชั้นเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ 2.10



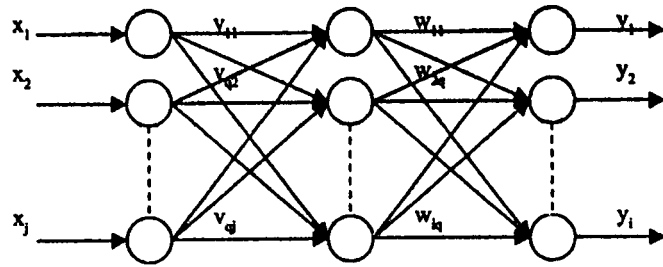
รูปที่ 2.10 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

2.1.8 การแพร่กระจายกลับ (Backpropagation)

วิธีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายกลับ เป็นหนึ่งในการพัฒนาที่สำคัญของโครงข่ายประสาท เทียม ซึ่งทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีการเติบโตและพัฒนาอย่างรวดเร็ว ซึ่งวิธีการเรียนรู้นี้ถูกใช้ใ นการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นซึ่งใช้ทั้งกัชั้นกระตุ้นแบบต่อเนื่องและมีการเรียนรู้ แบบมีผู้ฝึกสอนหรือผู้แนะนำโดยการกำหนดกลุ่มข้อมูลฝึกสอนของคู่อินพุตและเอาต์พุตวิธีนี้จะเตรียม กระบวนการสำหรับปรับค่าตัวนำหนักในโครงข่ายประสาทเทียมในการจัดกลุ่มของของคู่อินพุตและ เอาต์พุตที่ให้น่าอย่างถูกต้องวิธีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายกลับสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชั้นตอน

2.1.8.1 การป้อนไปข้างหน้า (Forward propagation)

การป้อนไปข้างหน้าของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นเป็นการคำนวณหาผลตอบสนอง ทางเอาต์พุตของแต่ละชั้นออกมาจนได้ค่าเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อป้อนกลุ่มอินพุตเข้าสู่ โครงข่ายประสาทเทียมซึ่งทิศทางการไหลของข้อมูลจะมีลักษณะเคลื่อนไปข้างหน้า จากรูปที่ 2.11 การ คำนวณค่าเอาต์พุตของชั้นซ่อนจากสมการ (2.7) และ (2.8)



รูปที่ 2.11 โครงข่ายประสาทเทียมแบบสามชั้น

โดยที่

x_j คือ อินพุตที่ j ของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อ $j = 1, 2, \dots, m$

v_{qj} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นอินพุตที่ j และเอาต์พุตที่ q ในชั้นซ่อน ของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อ $q = 1, 2, \dots, p$

w_{iq} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างเอาต์พุตที่ q ในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตที่ i ของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อ $i = 1, 2, \dots, m$

z_q คือ เอาต์พุตที่ q ในชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อ $q = 1, 2, \dots, p$

y_i คือ เอาต์พุตที่ i ของโครงข่ายประสาทเทียม

$f(\bullet)$ คือ ฟังก์ชันกระตุ้น

δ_{oi} คือ ค่าความผิดพลาดในชั้นเอาต์พุตที่ i ของโครงข่ายประสาทเทียม

δ_{hq} คือ ค่าความผิดพลาดในชั้นซ่อนที่ q ของโครงข่ายประสาทเทียม

d_i คือค่าเอาต์พุตเป้าหมายที่ i

$$net_q = \sum_{j=1}^m v_{qj} x_j \quad (2.7)$$

$$z_q = f(net_q) = f\left(\sum_{j=1}^m v_{qj} x_j\right) \quad (2.8)$$

และการคำนวณค่าเอาต์พุตของชั้นเอาต์พุตแสดงในสมการที่ 2.9 และ 2.10

$$net_i = \sum_{q=1}^p w_{iq} z_q = \sum_{q=1}^p w_{iq} f\left(\sum_{j=1}^m v_{qj} x_j\right) \quad (2.9)$$

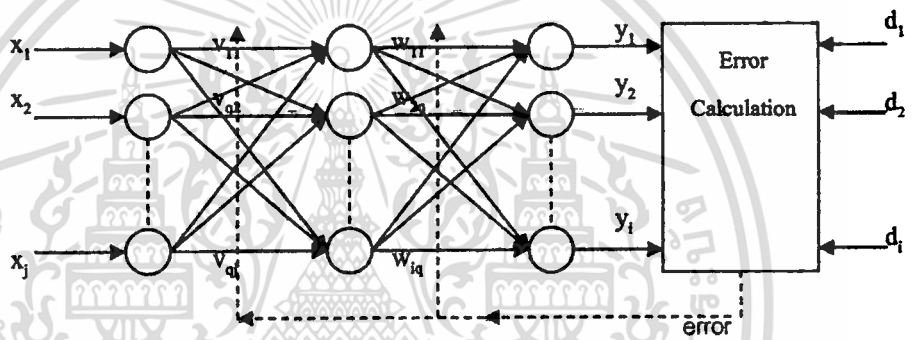
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y_i = f(net_i) = f\left(\sum_{q=1}^p w_{iq} z_q\right) = f\left(\sum_{q=1}^p w_{iq} f\left(\sum_{j=1}^m v_{qj} x_j\right)\right) \quad (2.10)$$

2.1.8.2 การป้อนกลับ (Backward propagation)

ในส่วนแรกของการป้อนไปข้างหน้าเป็นการหาเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อป้อนอินพุตให้โครงข่ายประสาทเทียมในส่วนของการป้อนกลับจะเป็นการคำนวณค่าผิดพลาดของโครงข่ายประสาทเทียมจากค่าความแตกต่างของเอาต์พุตโครงข่ายประสาทเทียมและค่าเอาต์พุตเป้าหมายแล้วปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละชั้นจากชั้นเอาต์พุตจนถึงชั้นอินพุตจากค่าความผิดพลาดที่ได้ซึ่งเปรียบเสมือนค่าความผิดพลาดถูกคำนวณถอยหลังกลับจากชั้นเอาต์พุตสู่ชั้นอินพุตดัง

แสดงในรูปที่ 2.12 ค่าฟังก์ชันเป้าหมายของการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแสดงในสมการที่ (2.11)



รูปที่ 2.12 การปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมแบบสามชั้น

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (d_i - y_i)^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [d_i - f(net_i)]^2 \quad (2.11)$$

$$= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [d_i - f(\sum_{q=1}^p w_{iq} z_q)]^2 \quad (2.12)$$

ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตโดยให้ฟังก์ชันเป้าหมายมีค่าน้อยที่สุดดังสมการที่ (2.13)

$$w_{iq}(t+1) = w_{iq}(t) + \Delta w_{iq} \quad (2.13)$$

จากสมการที่ (2.13) การปรับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตโดยใช้ วิธี Gradient Descent ดังสมการ (2.14)

$$\Delta w_{iq} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{iq}} \quad (2.14)$$

จากสมการ (2.14) ใช้กฎลูกโซ่จะได้

$$\Delta w_{iq} = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial y_i} \cdot \frac{\partial y_i}{\partial net_i} \cdot \frac{\partial net_i}{\partial w_{iq}} \quad (2.15)$$

จากสมการที่ (2.15) พจน์ $\frac{\partial E}{\partial y_i}$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เอาต์พุต ดังสมการที่ (2.16)

$$\frac{\partial E}{\partial y_i} = -(d_i - y_i) \quad (2.16)$$

พจน์ $\frac{\partial y_i}{\partial net_i}$ คือ อนุพันธ์ของฟังก์ชันกระตุ้นที่ชั้นเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังสมการที่ (2.17)

$$\frac{\partial y_i}{\partial net_i} = f'(net_i) \quad (2.17)$$

และในพจน์ $\frac{\partial net_i}{\partial w_{iq}}$ คือ เอาต์พุตในชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียม ดังสมการที่ (2.18)

$$\frac{\partial net_i}{\partial w_{iq}} = z_q \quad (2.18)$$

แทนค่าสมการที่ (2.16) สมการที่ (2.17) และสมการที่ (2.18) ลงในสมการที่ (2.15) จะได้

$$\Delta w_{iq} = \eta \cdot \delta_{oi} \cdot z_q \quad (2.19)$$

โดยที่กำหนดให้ δ_{oi} คือค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในชั้นเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ

$$\delta_{ol} = (d_l - y_l) \cdot f'(net_l) \quad (2.20)$$

เมื่อได้สมการในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตแล้ว ค่อยไปทำการหาสมการในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นอินพุต และชั้นซ่อน ดังสมการที่ (2.21)

$$v_{qj}(t+1) = v_{qj}(t) + \Delta v_{qj} \quad (2.21)$$

โดยที่

$$\Delta v_{qj} = -\eta \frac{\partial E}{\partial v_{qj}} \quad (2.22)$$

จากสมการที่ (2.22) โดยใช้กฎลูกโซ่ จะได้

$$\Delta v_{qj} = -\eta \sum_{l=1}^n \frac{\partial E}{\partial y_l} \frac{\partial y_l}{\partial net_l} \frac{\partial net_l}{\partial z_q} \frac{\partial z_q}{\partial net_q} \frac{\partial net_q}{\partial v_{qj}} \quad (2.23)$$

โดยที่ พจน์ $\frac{\partial net_l}{\partial z_q}$ คือ

$$\frac{\partial net_l}{\partial z_q} = w_{lq} \quad (2.24)$$

และพจน์ $\frac{\partial z_q}{\partial net_q}$ คือ อนุพันธ์ของฟังก์ชันกระตุ้นที่ชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียม ดังสมการที่ (2.25)

$$\frac{\partial z_q}{\partial net_q} = f'(net_q) \quad (2.25)$$

และพจน์ $\frac{\partial net_q}{\partial v_{qj}}$ คือ อินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม ดังสมการที่ (2.26)

$$\frac{\partial net_q}{\partial v_{qj}} = x_j \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าในสมการ (2.23) จะได้

$$\Delta v_{qj} = \eta \sum_{i=1}^n (d_i - y_i) f'(net_i) w_{iq} f'(net_q) x_j \quad (2.27)$$

ดังนั้นการปรับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นอินพุต และชั้นซ่อน ดังสมการที่ (2.28)

$$\Delta v_{qj} = \eta x_j \delta_{hq} \quad (2.28)$$

โดยที่กำหนดให้ค่าความผิดพลาดในชั้นซ่อนมีค่าเท่ากับ

$$\delta_{hq} = f'(net_q) \cdot \sum_{i=1}^n \delta_{oi} w_{iq} \quad (2.29)$$

โดยฟังก์ชันกระตุ้นใน โครงข่ายประสาทเทียมอาจจะเป็นฟังก์ชันแบบ Linear หรือฟังก์ชันแบบ Log - sigmoid ซึ่งขึ้นอยู่กับกรอกแบบและใช้งาน โครงข่ายประสาทเทียม สมการที่ (2.30) ที่สมการ (2.31) และสมการที่ (2.32) แสดงฟังก์ชันกระตุ้นและอนุพันธ์ของแต่ละฟังก์ชันกระตุ้น ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Linear และอนุพันธ์ของฟังก์ชัน

$$f(net) = net \quad \text{และ} \quad f'(net) = 1 \quad (2.30)$$

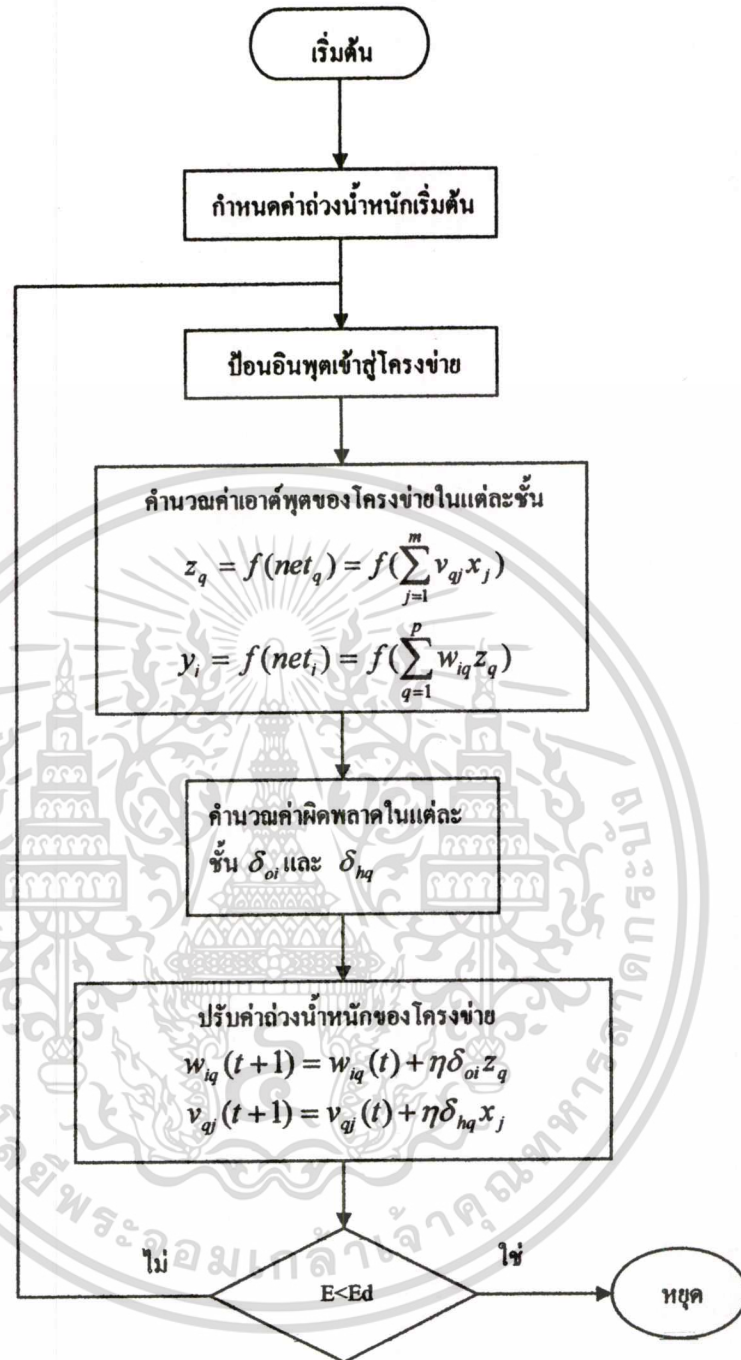
ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Log - sigmoid อนุพันธ์ของฟังก์ชัน

$$f(net) = \frac{1}{1 + e^{-ax}} \quad \text{และ} \quad f'(net) = af(net)(1 - f(net)) \quad (2.31)$$

ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Tanh - sigmoid และอนุพันธ์ของฟังก์ชัน

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-\lambda x}} - 1 \quad \text{และ} \quad f'(net) = \lambda(1 - f(net)^2) \quad (2.32)$$

โดยขั้นตอนการเรียนรู้แบบแพร่กลับแสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการเรียนรู้แบบแพร่กลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9 การแพร่กระจายกลับด้วย Levenberg – Marquardt

การแพร่กระจายกลับด้วย Levenberg – Marquardt เป็นวิธีการปรับค่าดั่งน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นวิธีหนึ่ง ซึ่งแนวคิดของการแพร่กระจายกลับด้วย Levenberg – Marquardt เป็นการปรับปรุงมาจากระเบียบวิธีของนิวตัน โดยเป็นวิธีที่สามารถปรับค่าดั่งน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมได้รวดเร็วกว่าวิธีการอื่น ๆ [23] ในการปรับค่าน้ำหนักของแนวคิดของการแพร่กระจายกลับด้วย Levenberg – Marquardt คังสมการที่ (2.33)

$$w(t+1) = w(t) - A(t)^{-1} g(t) \quad (2.33)$$

เมื่อ $A(t) = \nabla^2 E(w)$ และ $g(t) = \nabla E(w)$

และสมการฟังก์ชันเป้าหมายของการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมคังสมการที่ (2.34)

$$E(w) = \sum_{p=1}^P \left[\sum_{m=1}^M (d_{mp} - y_{mp})^2 \right] = \sum_{p=1}^P \left[\sum_{m=1}^M e_{mp}^2 \right] \quad (2.34)$$

โดยที่พจน์ $g(t)$ ในสมการที่ (2.33) หาได้จาก

$$\nabla E(w) = \frac{\partial E(w)}{\partial w_r} = 2 \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M e_{mp} \frac{\partial e_{mp}}{\partial w_r} \quad (2.35)$$

โดยที่ $1 \leq r \leq N$ เมื่อ N คือจำนวนของค่าดั่งน้ำหนัก

$$\nabla E(w) = J^T(w) F \quad (2.36)$$

จากสมการที่ (2.36) พจน์ F คือ เมตริกซ์ของค่าความผิดพลาด

$$F = [e_{11} \cdots e_{m1} \ e_{12} \cdots e_{m2} \cdots e_{m1} \cdots e_{mP}]^T \quad (2.37)$$

เมื่อ

$$e_{mp} = d_{mp} - y_{mp} \quad (2.38)$$

$J(w)$ คือ จาโคเบียนแมทริกซ์ของอนุพันธ์ค่าผิดพลาดเทียบกับค่าถ่วงน้ำหนัก

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial e_{11}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{11}}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_{11}}{\partial w_N} \\ \frac{\partial e_{21}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{21}}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_{21}}{\partial w_N} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e_{m1}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{m1}}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_{m1}}{\partial w_N} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e_{1P}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{1P}}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_{1P}}{\partial w_N} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e_{mP}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{mP}}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_{mP}}{\partial w_N} \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

และพจน์ $A(i)$ ในสมการที่ (2.33) หาได้จาก

$$\nabla^2 E(w) = 2 \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \left\{ \frac{\partial e_{mp}}{\partial w_c} \cdot \frac{\partial e_{mp}}{\partial w_r} + e_{i \cdot} \cdot \frac{\partial^2 e_{mp}}{\partial w_c \partial w_r} \right\} \quad (2.40)$$

เมื่อ $1 \leq c, r \leq N$ จะได้

$$\nabla^2 E = 2J(w)^T J(w) + 2S \quad (2.41)$$

เมื่อพจน์ S ในสมการที่ (2.41) มีค่าเท่ากับ

$$S = \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M e_{mp} \nabla^2 e_{mp} \quad (2.42)$$

ซึ่งพจน์ S มีค่าน้อยมากดังนั้นจากสมการที่ (2.41) จะมีค่าเป็นดังสมการที่ (2.43)

$$\nabla^2 E(w) \approx 2J(w)^T J(w) \quad (2.43)$$

จากนั้นแทนค่าสมการที่ (2.36) และสมการที่ (2.43) ลงในสมการที่ (2.33) จะได้สมการปรับค่าน้ำหนักของโครงข่ายดังสมการที่ (2.44)

$$w(t+1) = w(t) - [J^T(w)J(w)]^{-1} J^T(w)F \quad (2.44)$$

จะเห็นว่าจากสมการที่ (2.44) อาจจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นในการหาค่าผกผันของเมทริกซ์ $J^T(w)J(w)$ ดังนั้นสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวโดยกำหนดให้

$$G = J^T(w)J(w) + \eta I = H + \eta I \quad (2.45)$$

จากสมการที่ (2.45) กำหนดให้ค่าเฉพาะ (eigenvalues) และค่าเวกเตอร์เฉพาะ (eigenvectors) ของ H เป็น $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ และ $\{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ ตามลำดับจะได้

$$Gs_f = (H + \eta I)s_f = Hs_f + \eta Is_f = \lambda_f s_f + \eta s_f = (\lambda_f + \eta)s_f \quad (2.46)$$

ดังนั้นจะได้ว่าเวกเตอร์เฉพาะของเมทริกซ์ G มีค่าเท่ากับเวกเตอร์เฉพาะของเมทริกซ์ H และค่าเฉพาะของเมทริกซ์ G คือ $(\lambda_f + \eta)$ ซึ่งจะมีค่าเป็นข้อกำหนดแบบบวกเมื่อเพิ่มค่า η จนกระทั่ง $(\lambda_f + \eta) > 0$ ซึ่งทำให้หาค่าผกผันของเมทริกซ์ G ได้ ดังนั้นจากสมการที่ (2.44) จะได้เป็น

$$w(t+1) = w(t) - [J^T(w)J(w) + \eta I]^{-1} J^T(w)F \quad (2.47)$$

โดยสรุปขั้นตอนการเรียนรู้แบบแพร่กลับด้วย Levenberg - Marquardt ของโครงข่ายประสาทเทียมได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ป้อนชุดข้อมูลอินพุตเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมและคำนวณผลตอบสองทางเอาต์พุต ของโครงข่ายประสาทเทียมแล้วคำนวณหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดยคำนวณจากฟังก์ชันเป้าหมาย สมการที่ (2.34)

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่าเมทริกซ์จาโคเบียน จากสมการที่ (2.39)

ขั้นตอนที่ 3 ปรับค่านำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมจากสมการที่ (2.47)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากสมการที่ (2.34) เพื่อหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากค่าถ่วงน้ำหนักที่ปรับใหม่ ถ้าค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าความผิดพลาดที่คำนวณจาก ขั้นตอนที่ 1 ให้ปรับค่า η ด้วยการหารด้วย β แล้วกลับไปขั้นตอนที่ 1 หรือถ้าค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าความผิดพลาดที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ให้ปรับค่า η ด้วยการคูณด้วย β แล้วกลับไปขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 5 ถ้าค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดเป้าหมาย แสดงว่าสิ้นสุดกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

โดยที่	η	คือ Learning Factor
	I	คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ (Identity Matrix)
	w_N	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่ N ของโครงข่ายประสาทเทียม
	P	คือจำนวนของชุดข้อมูล
	M	คือจำนวนเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม
	β	คือค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับค่า η ในระหว่างรอบการเรียนรู้

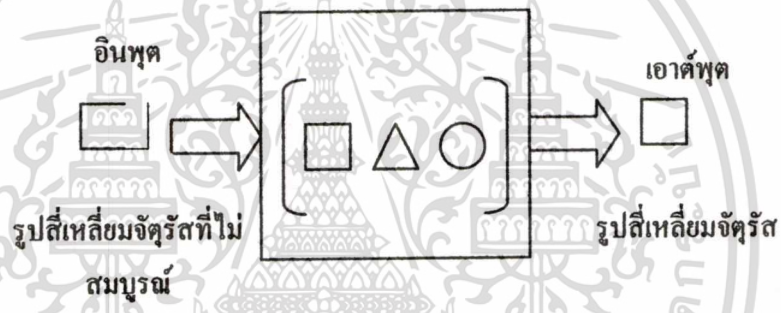
2.1.10 การประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียม

เนื้อหาในหัวข้อที่ผ่านมาจะเน้นไปที่การคำนวณของผลการตอบสนองทางเอาต์พุตจากกลุ่มอินพุตที่ให้มา ในกระบวนการของการคำนวณเอาต์พุตจากอินพุตที่ให้มาซึ่งกระทำโดยโครงข่ายประสาทเทียมคือ การเรียกกลับของความรู้ที่ได้จดจำไว้ ซึ่งการเรียกกลับ เป็นสภาวะการประมวลผลที่สำคัญสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม และเป้าหมายก็คือการกู้ข้อมูลกลับมา การเรียกข้อมูลกลับนั้นอาจจะกล่าวว่าเป็นการถอดรหัสของข้อมูลซึ่งถูกเข้ารหัสไว้ในโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งในหัวข้อนี้จะเป็นการเน้นไปที่ชนิดของการเรียกกลับและสิ่งที่ประสบความสำเร็จที่เกิดจากการเรียกกลับ บนพื้นฐานของการสังเกตเบื้องต้น และบนโครงสร้างพื้นฐานของการคำนวณข้อมูลข่าวสาร

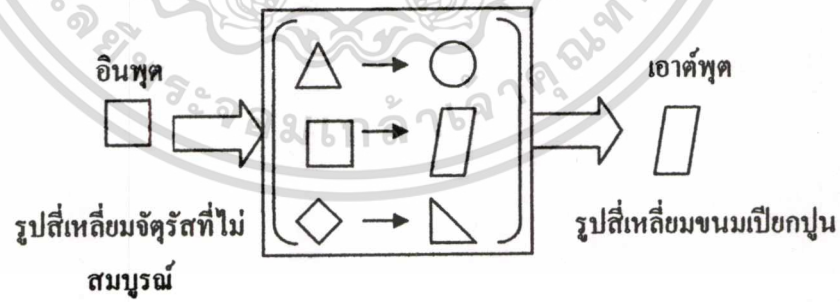
สมมุติให้กลุ่มข้อมูลถูกเก็บหรือจดจำในโครงข่ายประสาทเทียม หลังจากนั้นถ้ากลุ่มอินพุตนั้นมีความสัมพันธ์หรือมีความใกล้เคียงกับข้อมูลที่ถูกรวบรวมหรือจดจำไว้กระบวนการนี้อาจเรียกว่า Autoassociation กล่าวคือกลุ่มอินพุตที่ไม่สมบูรณ์สามารถถูกใช้เป็นเบาะแสในการกู้ข้อมูลเดิมกลับมาดังแสดงดังรูปที่ 2.14 ในความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลอินพุตกลุ่มข้อมูลสามารถถูกเก็บหรือจดจำในโครงข่ายประสาทเทียมในแบบเพี้ยนไปหรือไม่เหมือนกันในแบบที่เรียกว่า

Heteroassociation ได้ด้วยเช่นกัน โดยในการประมวลผลแบบ Heteroassociation จะเป็นการเชื่อมโยงระหว่างคู่ของกลุ่มข้อมูลที่ถูกรวบรวมหรือจดจำในโครงข่ายประสาทเทียม ดังแสดงในรูปที่ 2.15 กลุ่มข้อมูลแบบสี่เหลี่ยมถูกป้อนเข้าสู่อินพุตและผลของอินพุตได้ผลตอบสนองทางเอาต์พุตเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ซึ่งสรุปได้ว่าสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนและรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นหนึ่งคู่ของกลุ่มข้อมูลที่ถูกรวบรวมหรือจดจำไว้ในโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งกลุ่มข้อมูลอินพุตที่ไม่สมบูรณ์หรือในรูปที่ 2.15 อาจจะถูกใช้เป็นเบาะแสในการกู้ข้อมูลที่ถูกรวบรวมในแบบ Heteroassociation ได้เช่นกัน

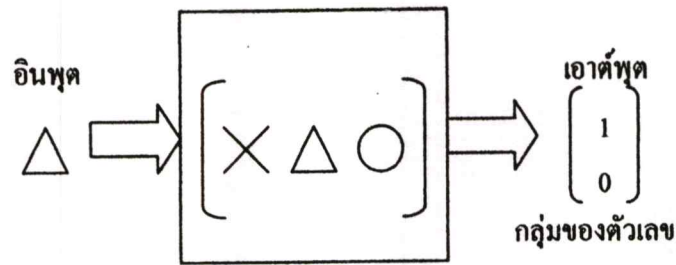
Classification คืออีกรูปแบบหนึ่งในการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียม โดยการสมมุติแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นกลุ่มหรือหมวดหมู่และเก็บหรือจดจำในโครงข่ายประสาทเทียมผลตอบสนองทางเอาต์พุตจากแต่ละกลุ่มข้อมูลอินพุตจะได้จากการเรียกกลับข้อมูลจากโครงข่ายประสาทเทียมโดยกลุ่มข้อมูลอินพุตที่ถูกจัดเป็นหมวดหมู่ไว้แล้ว ซึ่งโดยทั่วไปเอาต์พุตในแบบ Classification จะแสดงได้ชัดเจนจะอยู่ในรูปของตัวเลขแบบไม่ต่อเนื่องดังนั้นเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้ฟังก์ชันกระตุ้นในแบบไบนารี การแบ่งกลุ่มอินพุตออกเป็น 3 กลุ่มแสดงในรูปที่ 2.16 ในการจัดเป็นหมวดหมู่ในแบบ Classification นั้นสามารถเข้าใจได้ในแบบพิเศษของ Heteroassociation จากคู่ของกลุ่มอินพุตและเอาต์พุตข้อมูลที่ถูกเก็บหรือจดจำไว้ในโครงข่ายประสาทเทียม ในขณะที่เดียวกันถ้าผลตอบสนองทางเอาต์พุตที่ต้องการของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นกลุ่มของตัวเลขแต่กลุ่มอินพุตที่ป้อนให้โครงข่ายประสาทเทียมไม่สอดคล้องกับกลุ่มข้อมูลหรือหมวดหมู่ใด ๆ ที่ถูกจดจำไว้ในโครงข่ายประสาทเทียมในการประมวลผลแบบนี้จะถูกเรียกว่า Recognition ดังแสดงดังรูปที่ 2.17



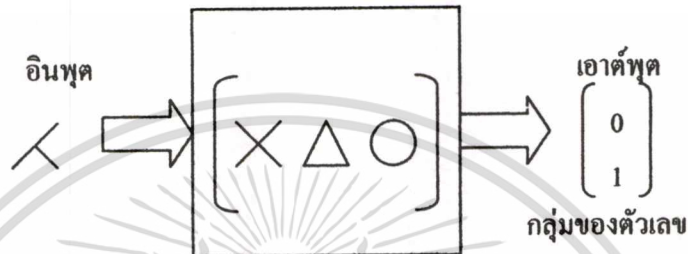
รูปที่ 2.14 ผลตอบสนองความสัมพันธ์แบบ Autoassociation



รูปที่ 2.15 ผลตอบสนองความสัมพันธ์แบบ Heteroassociation



รูปที่ 2.16 ผลตอบสนองของการจัดเป็นหมวดหมู่แบบ Classification



รูปที่ 2.17 ผลตอบสนองของการจัดเป็นหมวดหมู่แบบ Recognition

2.1.11 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม

จากการศึกษาความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมได้มีการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปแก้ปัญหาต่าง ๆ และประยุกต์ใช้ในงานหลาย ๆ ด้านซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำไปใช้ประสบความสำเร็จได้เป็นอย่างดี ในหัวข้อนี้จะยกตัวอย่างปัญหาการประยุกต์ใช้งานและการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อความเข้าใจความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมได้ดียิ่งขึ้น

ในปัญหาด้านการจัดจำและการจัดกลุ่มหรือจัดเป็นหมวดหมู่ เช่น ในการจดจำใบหน้ามนุษย์ จดจำลายนิ้วมือและการจดจำลายเซ็นหรือการเขียนลายมือ [12] ซึ่งการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการจดจำใบหน้าและลายนิ้วมือเป็นหนึ่งในการศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาเทคโนโลยีในการระบุตัวตนของบุคคลซึ่งสามารถใช้ในทางราชการหรือสืบหาผู้สูญหายได้และในการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจดจำลายเซ็นหรือการเขียนลายมือเป็นอีกหนึ่งในการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการแก้ปัญหา ซึ่งในปัญหาทางธุรกิจในการจัดการเกี่ยวกับเอกสารลายเซ็นเป็นปัญหาที่มีการปลอมแปลงกันมากถึงแม้มนุษย์สามารถแยกแยะได้ในระดับหนึ่งแต่อาจจะไม่สามารถแยกแยะได้ละเอียดนัก โครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นหนึ่งในแนวคิดในการแก้ปัญหานี้ได้

ในปัญหาด้านการพยากรณ์ (Forecasting) และการทำนาย (Prediction) เช่น ในการทำนายดัชนีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของหุ้นเพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจในการลงทุน [13] และในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พยากรณ์คลื่นที่เกิดขึ้นในมหาสมุทร [14] ซึ่งเป็นประโยชน์ในการเดินเรือและในการส่งการทางทหาร เป็นต้น

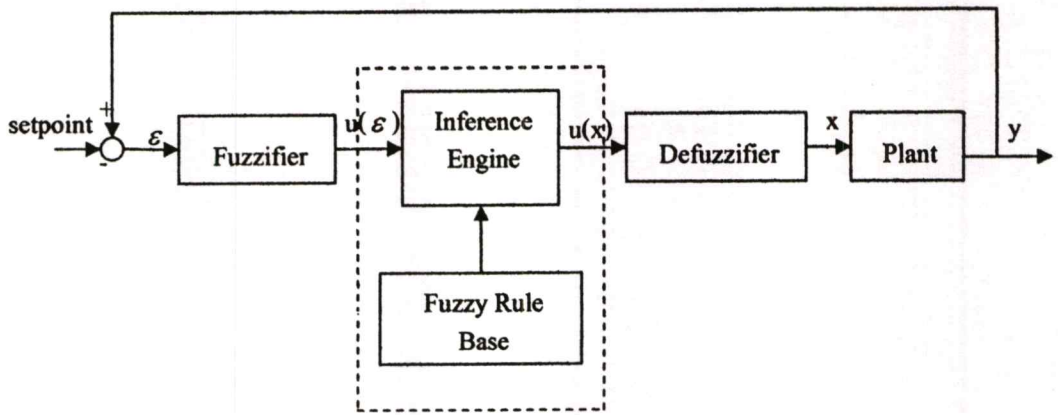
ในปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งในทางวิศวกรรม วิทยาศาสตร์ สถิติ คณิตศาสตร์ และเศรษฐศาสตร์ โดยเป้าหมายของแนวคิดของปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดคือ การหาคำตอบที่น่าพอใจซึ่งจะเป็นค่าที่มากที่สุดหรือค่าน้อยที่สุดขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของแต่ละปัญหา เช่น Traveling Salesman Problem (TSP) [21]

ในปัญหาด้านการควบคุม (Control) ในกระบวนการที่มีความซับซ้อน การวิเคราะห์ปัญหาในทางคณิตศาสตร์และมีความไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งยากต่อการควบคุม ในการข้ามผ่านปัญหานั้น โครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหา มีการศึกษาและนำเสนองานวิจัยในหลาย ๆ ปีที่ผ่านมา เช่น ในการควบคุมระบบ Psaltis กับ Sideris และ Yamamura [15] ได้นำเสนอโครงสร้างตัวควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นในการควบคุมระบบในแบบที่เรียกว่า General และแบบ Specialized Narendra และ Parthasarathy [18] ได้นำเสนอการควบคุมระบบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นและโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำ (Recurrent networks) ในการระบุกระบวนการ (Identification) และการควบคุม (Control) ซึ่งจากการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอแสดงให้เห็นประสิทธิภาพในการเรียนรู้การจำลองกระบวนการและควบคุมระบบ Khalid และ Omatu [16] ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการควบคุมระบบ อุณหภูมิ ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติในการเรียนรู้และนำความรู้ที่ได้เรียนออกมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบฟuzzy ในงานที่ความไม่เป็นเชิงเส้นสูง Widrow และ Nguyen [17] ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการแก้ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้น ในการควบคุมมุมเลี้ยวรถบรรทุกถอยหลังเข้าช่อง โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองรถบรรทุกและโครงข่ายประสาทเทียมควบคุมระบบ ในการทดสอบกำหนดค่าเริ่มต้นของรถบรรทุกในตำแหน่งต่าง ๆ และตำแหน่งที่ยากต่อการควบคุม ซึ่งจากการจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแก้ปัญหาได้เป็นอย่างดี

สำหรับการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์นั้น การควบคุมหุ่นยนต์ต้องการการควบคุมที่ต้องการความเร็วในการตัดสินใจ ความแม่นยำและความความยืดหยุ่นในการควบคุม ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหานี้เช่นกัน เช่น Wu และ Huang [19] ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการควบคุมหุ่นยนต์ร่วมกับตัวควบคุมแบบฟuzzy ซึ่งในโครงสร้างที่ออกแบบแสดงถึงความแม่นยำในการควบคุมในการหาวิถีของแขนของหุ่นยนต์

2.2 การควบคุมแบบฟัซซี

ในปี ค.ศ. 1965 Zadeh กิดค้นฟัซซีเซต (Fuzzy set) ซึ่งเป็นการนำเสนอสถิติคลุมเครือในทางภาษากับแนวทางคณิตศาสตร์ ด้วยแนวคิดในความไม่แน่นอนและคลุมเครือทำให้ระบบฟัซซีได้รับความสนใจจากความสามารถที่มีความยืดหยุ่นได้มากกว่าเซตแบบดั้งเดิม ในแนวคิดของฟัซซีลอจิกนั้น เป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานที่ว่าทุกสิ่งบนโลกไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งที่มีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งที่เกิดขึ้นอย่างไม่มีที่แน่นอน อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (Fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น เซตความเร็วของรถยนต์ อาจแบ่งเป็น ช้ามาก ช้า เร็ว และเร็วมาก จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงของความเร็วไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าความเร็วของรถช้ามากและช้าแยกจากกันแน่ชัดช่วงใดความเร็วช้ามากอาจถูกตีความว่าเป็นความเร็วระหว่าง 0 ถึง 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บางคนอาจตีความว่าความเร็วแบบช้ามากอยู่ในช่วงความเร็วระหว่าง 0 ถึง 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในทำนองเดียวกัน ช้าและเร็ว ก็ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าช่วงต่อของความเร็วควรอยู่ในช่วงใด อาจตีความว่าช้ามีความเร็วอยู่ในช่วง 10 ถึง 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรืออาจเป็น 20 ถึง 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่างของความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป เซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนเช่นนี้เรียกว่า ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) จากแนวความคิดของเกี่ยวกับความไม่แน่นอนได้มีการขยายแนวคิดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ มากมายจนนับไม่ถ้วน ได้มีนักวิจัยคิดค้นทฤษฎีเสริมกับแนวคิดเดิมจนทำให้ฟัซซีเซตโคเคนในหลาย ๆ ด้าน ในการนำไปประยุกต์ใช้อย่างจริงจัง โดยประเทศญี่ปุ่นถึงเห็นคุณค่าของศาสตร์ด้านนี้ได้เป็นผู้บุกเบิกฟัซซีเซตทางการค้า โดยได้นำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้ามากมาย เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า และอื่น ๆ อีกมากมาย ระบบฟัซซีได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมจากรูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมแบบฟัซซี [16] ซึ่งอินพุตของระบบจะมีลักษณะเป็นเซตแบบดั้งเดิม ในส่วนของ ฟัซซีฟาย (Fuzzify) เป็นขั้นตอนการแปลงค่าของตัวแปรอินพุตไปเป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเซต โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ของตัวแปรอินพุต ส่วนการอนุมานแบบฟัซซี (Fuzzy Inference) เป็นส่วนที่ทำการอนุมานแบบฟัซซีจากข้อมูลต่าง ๆ ประกอบกับฐานความรู้เพื่อให้ได้ข้อสรุป ส่วนของฐานความรู้ (Knowledge Base) เป็นส่วนที่เก็บกฎซึ่งได้จากฐานข้อมูลและประสบการณ์ความชำนาญของระบบ และส่วนของการดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification) เป็นส่วนที่เปลี่ยนจากฟัซซีเซตเป็นเซตแบบดั้งเดิมเพื่อเป็นสัญญาณในการควบคุมในระบบ



รูปที่ 2.18 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมแบบฟัซซี

2.2.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบควบคุมแบบฟัซซีได้นำมาใช้ในงานด้านภาคอุตสาหกรรมครั้งแรกในปี ค.ศ. 1974 โดย Mamdani [24] ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของระบบควบคุมฟัซซี ต่อมาได้มีทฤษฎีใหม่ ๆ และมีการประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เกิดขึ้น หนึ่งในนั้นคืองานของ Chen [4-10] ซึ่งได้เสนอโครงสร้างการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอแบบดั้งเดิมเพื่อแก้ปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบที่ใช้ตัวควบคุมพีไอแบบดั้งเดิมเพียงอย่างเดียว ใน [13] Tang และ Chen ได้ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอในการควบคุมความไม่แน่นอนของแขนของหุ่นยนต์ ซึ่งในงานวิจัยแสดงถึงความสามารถของตัวควบคุมในการควบคุมความไม่แน่นอนเชิงเส้นและมีความไม่แน่นอนของแขนของหุ่นยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภูวนาด [25] ได้นำเสนอตัวควบคุมแบบฟัซซีพีแอลแอล (Fuzzy-based phase-locked loop controller) ซึ่งเป็นหลักการใหม่สำหรับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นการนำเอาระบบฟัซซีมาใช้ทำให้ระบบมีผลตอบสนองที่ดีขึ้นและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ในขณะที่เฟสล็อกกลูปทำให้ระบบมีสถานะอยู่ตัวที่ดีขึ้น ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับระบบพีไอแบบดั้งเดิม ฉัฐพงศ์ [26] ได้ใช้โครงสร้างของตัวควบคุมตรรกศาสตร์แบบฟัซซีพีไอพลัสดี (Fuzzy PI+D Controller) ในการควบคุมแขนกลคาร์ทีเซียนนำหนักเบาชนิดสามแกนซึ่งผลการทดลองตัวควบคุมตรรกศาสตร์แบบฟัซซีพีไอพลัสดี (Fuzzy PI+D Controller) สามารถทำงานได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอและพีไอพลัสดีแบบดั้งเดิม Sanchez และ Flores [27] เสนอโครงสร้างตัวควบคุมฟัซซีพีไอพลัสดีในการประยุกต์ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์แขนกลสองข้อต่อ (Double Pendulum) โดยโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีพีไอพลัสดีเป็นแบบหลายอินพุตและหลายเอาต์พุต ซึ่งในการควบคุมใช้ตัวควบคุมฟัซซีพีดีในการเร่งให้แขนกลสองข้อต่อขึ้นจากตำแหน่งเริ่มต้นแล้วใช้ตัวควบคุมฟัซซีพีไอพลัสดีในการเลี้ยงแขนกลให้สู่จุดสมดุล โดยใช้ระยะห่างจากปลายของข้อต่อที่สองกับตำแหน่งเป้าหมายเป็นฟังก์ชันใน

บทที่ 3

การออกแบบและหลักการทำงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและหลักการทำงานของอัลกอริทึมการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติสำหรับระบบควบคุมแบบพีชชีที่มีการหน่วงเวลา ซึ่งในครั้งแรกจะเป็นการกล่าวถึงระบบควบคุมแบบพีชชีพีโอซึ่งใช้เป็นตัวควบคุมระบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จากนั้นจะกล่าวถึงการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีชชี (K_p, K_i, K_u, L) และโครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองกระบวนการบนพื้นฐานของการควบคุมแบบ Smith Predictor โดยเป็นการออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมและการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีชชี และการจำลองกระบวนการเพื่อให้การควบคุมระบบที่ได้ออกแบบไว้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3.1 ระบบควบคุมแบบพีชชี

จากรูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างตัวควบคุมพีชชีพีโอ โดยออกแบบมาจากโครงสร้างของตัวควบคุมพีโอแบบดั้งเดิมและเพิ่มตัวควบคุมพีชชีเข้าไปที่เอาต์พุต ซึ่งระบบพีชชีนี้ยังคงอนุรักษ์โครงสร้างพีโอแบบดั้งเดิมไว้ สมการเอาต์พุตของตัวควบคุมแสดงในสมการที่ (3.1) และ (3.2)

$$\Delta u_{pi}(nT) = K_p e_v(nT) + K_i e_p(nT) \quad (3.1)$$

และ

$$u_{pi}(nT) = u_{pi}(nT - T) + K_{uPi} \Delta u_{pi}(nT) \quad (3.2)$$

เมื่อ

$\Delta u_{pi}(nT)$

คือ เอาต์พุตของตัวควบคุม

K_p, K_i และ K_{uPi}

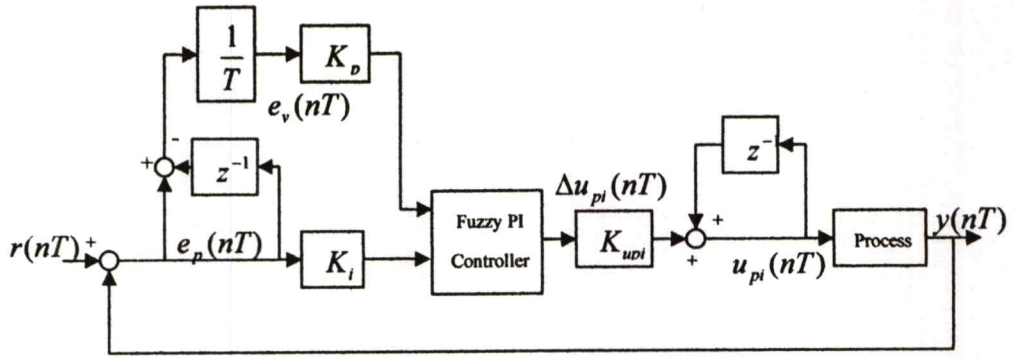
คือค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบของตัวควบคุม

$e_p(nT)$

คือค่าสัญญาณความผิดพลาด

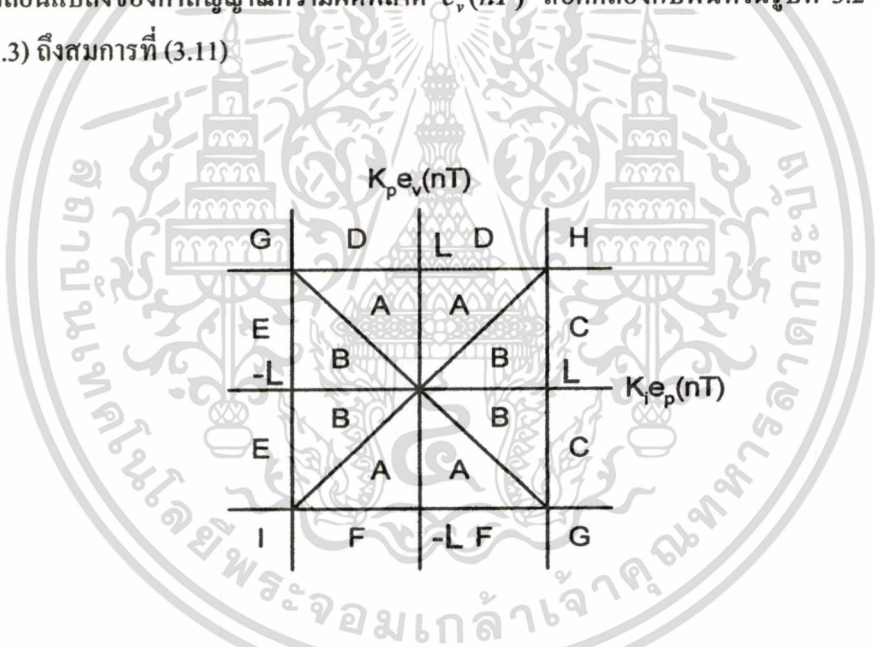
$e_v(nT)$

คือค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณความผิดพลาด



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ

ในการออกแบบของตัวควบคุมแบบฟัซซีโดยกระบวนการควบคุมแบบฟัซซี คือ ฟัซซีฟิเคชัน (fuzzification) การอนุมานกฎ (inference rules) และดีฟัซซีฟิเคชัน (defuzzification) [20,23] ได้ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจากฟังก์ชันสมาชิกของค่าสัญญาณความผิดพลาด $e_p(nT)$ และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณความผิดพลาด $e_v(nT)$ สอดคล้องกับพื้นที่ในรูปที่ 3.2 และสมการที่ (3.3) ถึงสมการที่ (3.11)



รูปที่ 3.2 พื้นที่ทั้งหมดของตัวควบคุมฟัซซีพีไอ

$$\Delta u_{pi}(nT) = \frac{L[K_i e_p(nT) + K_p e_v(nT)]}{2[2L - K_i |e_p(nT)|]} \quad \text{in region A} \quad (3.3)$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = \frac{L[K_i e_p(nT) + K_p e_v(nT)]}{2[2L - K_i |e_v(nT)|]} \quad \text{in region B} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta u_{pi}(nT) = \frac{1}{2}[K_p e_v(nT) + L] \quad \text{in region C} \quad (3.5)$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = \frac{1}{2}[K_i e_p(nT) + L] \quad \text{in region D} \quad (3.6)$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = \frac{1}{2}[K_p e_v(nT) - L] \quad \text{in region E} \quad (3.7)$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = \frac{1}{2}[K_i e_p(nT) - L] \quad \text{in region F} \quad (3.8)$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = 0 \quad \text{in region G} \quad (3.9)$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = L \quad \text{in region H} \quad (3.10)$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = -L \quad \text{in region I} \quad (3.11)$$

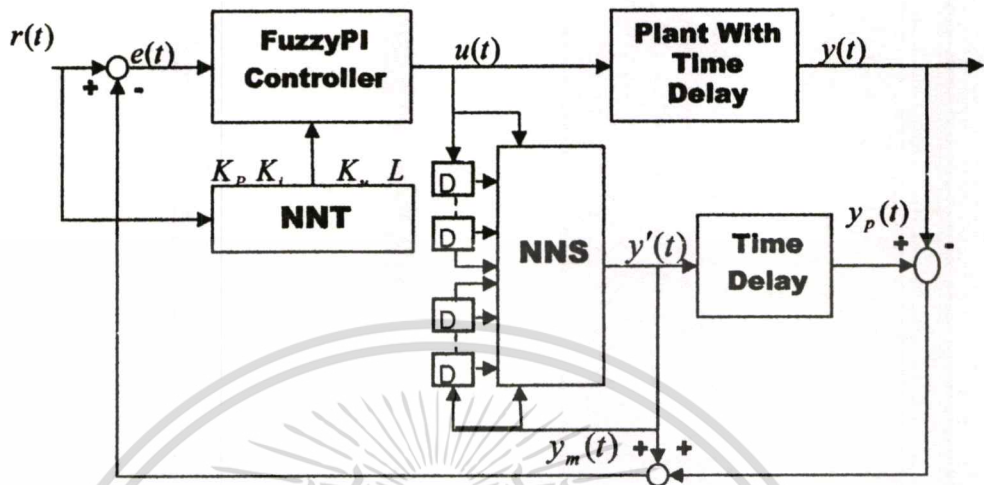
เนื่องจากระบบควบคุมแบบพีชชีฟิไอที่ใช้นี้ออกแบบโดย Chen และ Ying [4-8, 23] และได้พัฒนาต่อเนืองมาโดย [9, 10, 25, 26, 27, 28] ผู้สนใจสามารถตรวจสอบรายละเอียดได้จากเอกสารอ้างอิงดังกล่าว

3.2 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมในการควบคุมระบบที่มีการหน่วงเวลา

การควบคุมระบบที่มีการหน่วงเวลาดำวยวิธีการควบคุมแบบ Smith Predictor นั้นในการออกแบบระบบจะต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการและปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้เหมาะสมเพื่อควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องพิจารณาในการออกแบบระบบ ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ดังรูปที่ 3.3 ประกอบไปด้วยโครงข่ายประสาทเทียม 2 โครงข่ายประสาทเทียม คือ โครงข่ายประสาทเทียม NNT และโครงข่ายประสาทเทียม NNS ซึ่งแต่ละโครงข่ายประสาทเทียมทำหน้าที่แตกต่างกันโดยโครงข่ายประสาทเทียม NNT ทำหน้าที่ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีชชี และโครงข่ายประสาทเทียม NNS ทำหน้าที่ในการชดเชยค่าหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นในระบบ

ในส่วนถัดไปในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งจะพิจารณาในส่วนของโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมและการเรียนรู้หรือการปรับค่าถ่วง

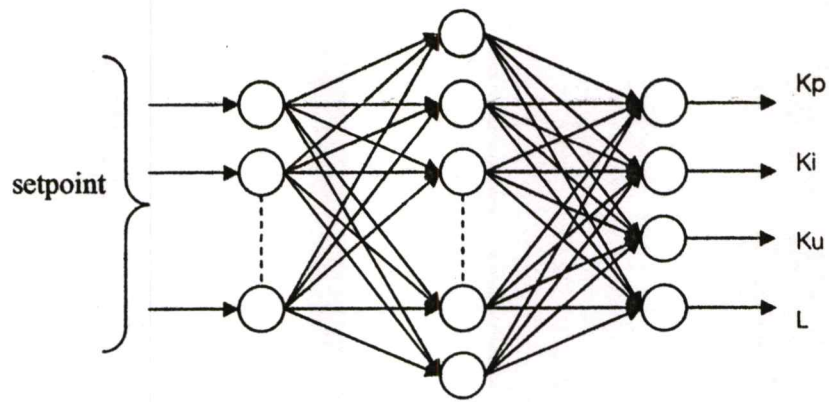
น้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้และหาคำตอบได้อย่างแม่นยำ



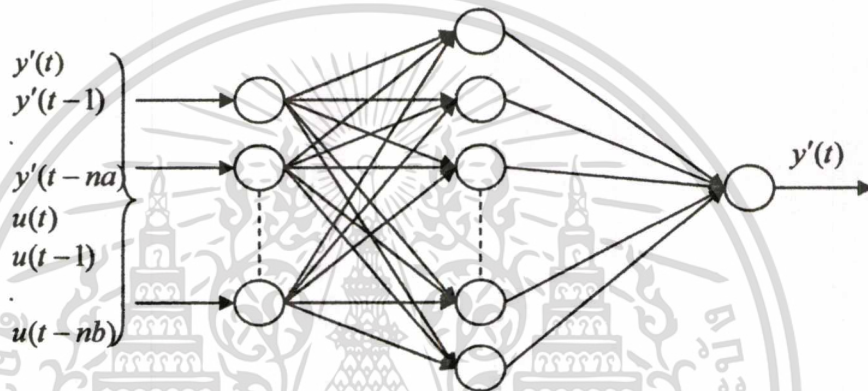
รูปที่ 3.3 โครงสร้างการควบคุมระบบที่มีการหน่วงเวลา

3.2.1 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม NNT ประกอบไปด้วย 1 ชั้นซ่อน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า อินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม NNT คือค่าเป้าหมาย ในส่วนค่าเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม NNT คือค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีซซี (K_p, K_i, K_d, L) และโครงข่ายประสาทเทียม NNS ประกอบด้วย 1 ชั้นซ่อน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า อินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม NNS คือค่าเอาต์พุต ($y'(t)$) และเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบพีซซี ($u(t)$) ในส่วนเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม NNS คือค่าเอาต์พุตของแบบจำลองของกระบวนการ ($y'(t)$) จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละโครงข่ายประสาทเทียมแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.4 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีซซี



รูปที่ 3.5 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำลองกระบวนการ

ตารางที่ 3.1 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม NNT และ NNS ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3.4 และ 3.5

โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม	โครงข่ายประสาทเทียม	
	NNT	NNS
จำนวนอินพุต	83	6
จำนวนชั้นซ่อน	1	1
จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน	25	15
จำนวนเอาต์พุต	4	1

3.2.2 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

การนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้งานจะต้องทำการฝึกสอนให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความรู้ก่อน สำหรับการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การเรียนรู้แบบ

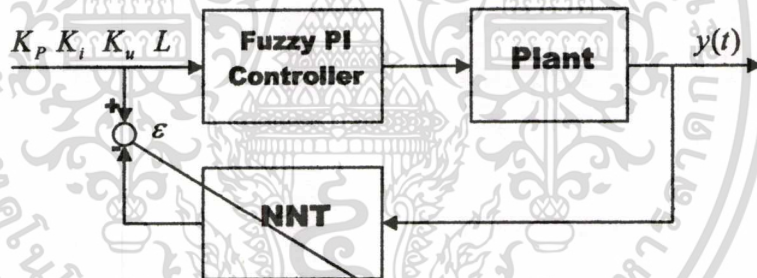
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพรวกลับด้วย Levenberg–Marquardt ซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 2 สมการการปรับน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมดังสมการที่ (3.12)

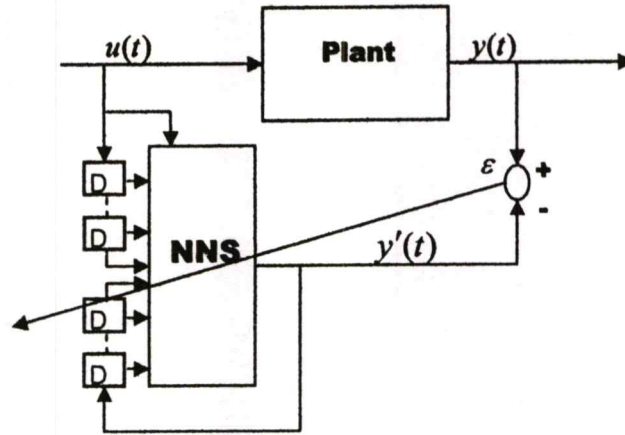
$$w(t+1) = w(t) - [J^T(w)J(w) + \eta I]^{-1} J^T(w)F \quad (3.12)$$

โดยที่	η	คือ Learning Factor
	I	คือ เมตริกซ์เอกลักษณ์ (Identity Matrix)
	w	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียม
	$J(w)$	คือ จาคอเบียนเมตริกซ์ของอนุพันธ์ค่าผิดพลาดเทียบกับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียม
	F	คือ เมตริกซ์ของค่าความผิดพลาด

ในส่วนของค่า η นั้นกำหนดให้เริ่มค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.001 และค่า β หรือค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับค่า η ในระหว่างรอบการเรียนรู้ให้เริ่มค่าเท่ากับ 10 ในรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 แสดงการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปรับค่าพารามิเตอร์และจำลองกระบวนการตามลำดับ



รูปที่ 3.6 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปรับแต่งค่าพารามิเตอร์



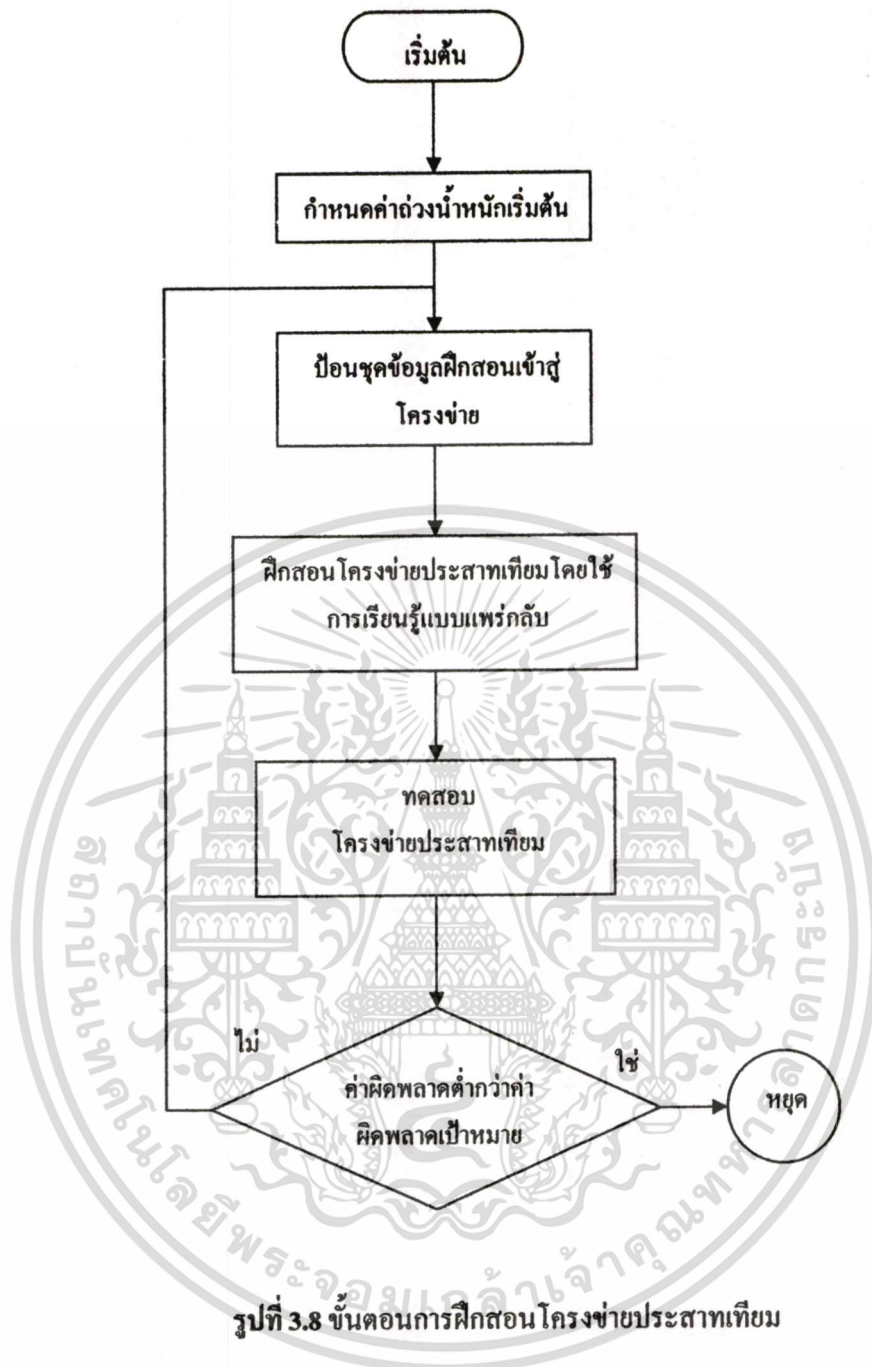
รูปที่ 3.7 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับจำลองกระบวนการ

โดยส่วนของชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ในปัญหาได้ ชุดข้อมูลในการฝึกสอนจะได้จากชุดข้อมูลพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีซซี (K_p, K_i, K_u, L) ชุดข้อมูลเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบพีซซี $u(t)$ และชุดข้อมูลเอาต์พุต $y(t)$ ที่สอดคล้องกันดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 โดยทำการเลือกค่าที่เหมาะสมและครอบคลุมในแต่ละปัญหาเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ในปัญหาได้ ซึ่งลักษณะชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแสดงในตารางที่ 3.2 และขั้นตอนการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแสดงในรูปที่ 3.8

ตารางที่ 3.2 ลักษณะชุดข้อมูลในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

ชุดข้อมูล ($y(t)$)	ชุดข้อมูล ($u(t)$)	ชุดข้อมูลค่าพารามิเตอร์			
		K_p	K_i	K_u	L
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
0.30936	0.069225	2	1.33	1	4
0.94703	0.64882	1.9	1.3	0.9	3.9
1.6144	0.68842	2.1	1.5	1.1	8.9
2.2532	0.72937	2.2	1.4	1	9
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.3 สรุป

ในการออกแบบที่กล่าวมาในบทนี้ ในส่วนของการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม การฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมที่ออกแบบอาจต้องใช้เวลาเรียนรู้มากกว่าหนึ่งรอบจนโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ได้เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ได้แล้วโครงข่ายประสาทเทียมจึงจะสามารถนำไปใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบฟัซซีและเป็นแบบจำลองของกระบวนการได้ ซึ่งผลการทดลองจะแสดงในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการทดลองของระบบที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 โดยแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง คือการทดลองแรกทำการทดลองระบบกับกระบวนการอันดับหนึ่ง การทดลองที่สองทำการทดลองระบบกับกระบวนการอันดับสองและในการทดลองที่สามทำการทดลองระบบกับกระบวนการในอันดับสาม โดยทำการทดสอบกับเวลาหน่วงที่ต่างกัน ทำการทดลองเปลี่ยนค่าเป้าหมายและเปรียบเทียบกับการควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบดั้งเดิม

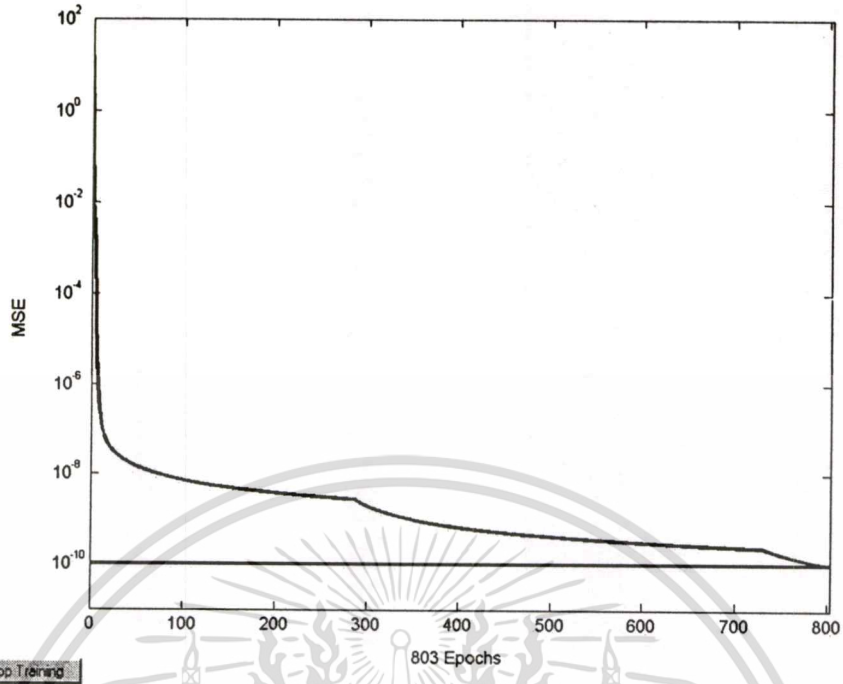
4.1 การทดลองกับกระบวนการอันดับหนึ่ง

การทดลองระบบกับกระบวนการอันดับหนึ่ง โดยกำหนดให้สมการฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการที่ (4.1) ในส่วนแรกของการทดลองจะเป็นการฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมให้มีความรู้ก่อนไปใช้งานในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์และจำลองกระบวนการ ในส่วนที่สองทำการทดลองควบคุมกระบวนการโดยการเปลี่ยนเวลาหน่วงสามค่า คือ 20 วินาที 30 วินาทีและ 50 วินาทีและทดลองเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพื่อทดสอบระบบ ทำการเปรียบเทียบกับการควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบดั้งเดิมซึ่งกำหนดให้ทราบแบบจำลองของกระบวนการในการควบคุมและปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยผู้ทดลอง

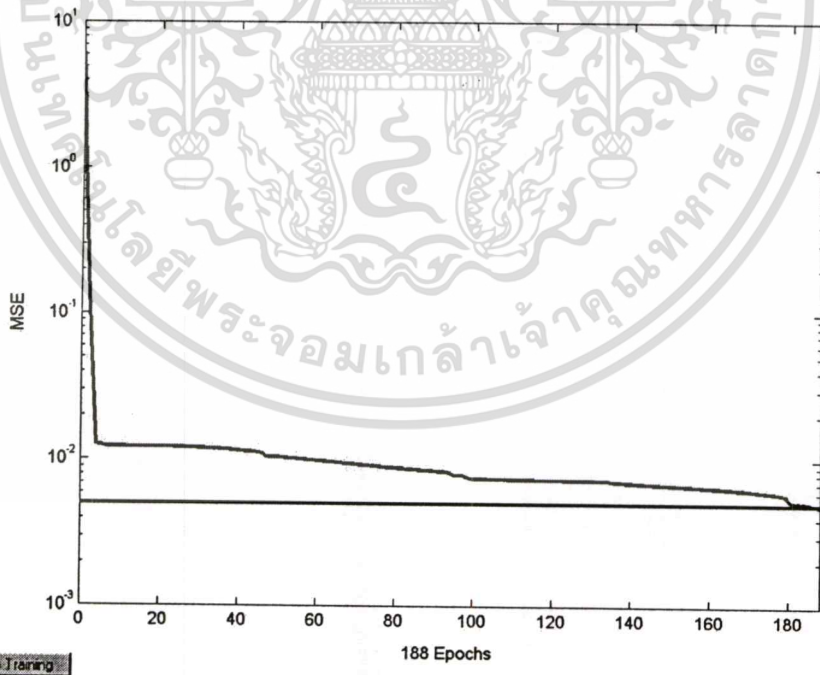
$$G(s) = \frac{e^{-\tau s}}{1 + 1.65s} \quad (4.1)$$

เมื่อ τ คือ ค่าหน่วงเวลาในระบบ (วินาที)

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงรอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองกระบวนการและปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ตามลำดับ จากที่ได้ออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมและการฝึกสอนไว้ในบทที่ 3 หลังจากทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความรู้ จากนั้นเป็นการทดลองในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่ง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูป ที่ 4.3 ถึง 4.8



รูปที่ 4.1 รอบการเรียนรู้ของ โครงข่ายประสาทเทียม ในการจำลองกระบวนการสำหรับการทดลอง
กับกระบวนการอันดับหนึ่ง



รูปที่ 4.2 รอบการเรียนรู้ของ โครงข่ายประสาทเทียม ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีชชี
สำหรับการทดลองกับกระบวนการอันดับหนึ่ง

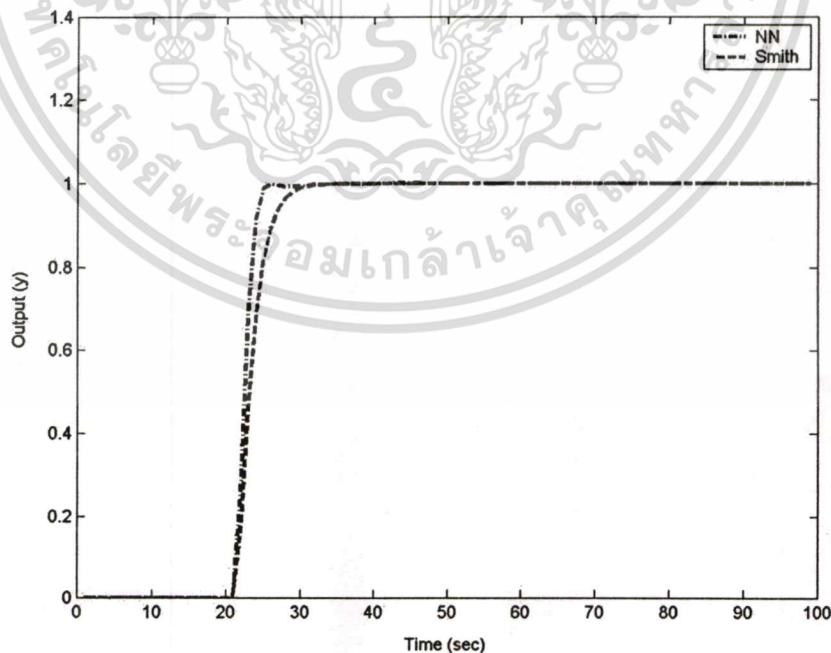
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 รูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 แสดงผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่ง โดยในตารางที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีซซีจากการปรับด้วยผู้ทดลองและจากการปรับโดยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมจะปรับค่าพารามิเตอร์ละเอียดมากกว่าการปรับด้วยผู้ทดลอง ในการทดลองทำการเปลี่ยนค่าหน่วยเวลาในแต่ละค่าเพื่อทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและทำการเปรียบเทียบกับการควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor ซึ่งกำหนดให้ทราบแบบจำลองของกระบวนการ จากผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถควบคุมและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในระบบได้เป็นอย่างดี โดยมีค่า rise time และ ค่า settling time น้อยกว่า การควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีซซีในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อค่าเป้าหมายเท่ากับ 1

	Kp	Ki	Ku	L	Rise time	Settling time(2%)	Overshoot
Smith	1.5	1.33	0.8	4	5	7	0
NN	1.9940	1.3258	1.0117	3.9917	2	3	0.0023

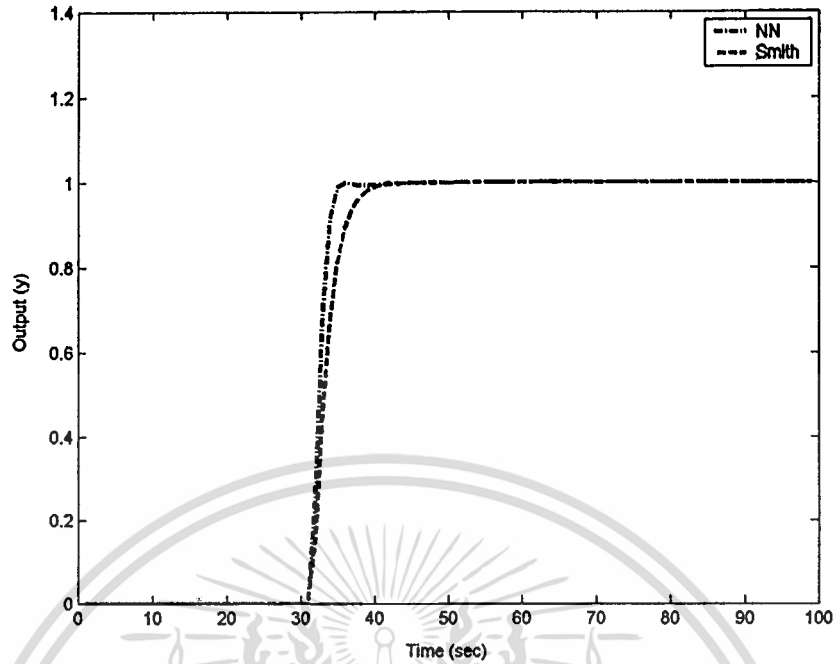
* ค่า settling time ไม่คิดค่าหน่วยเวลาในระบบ



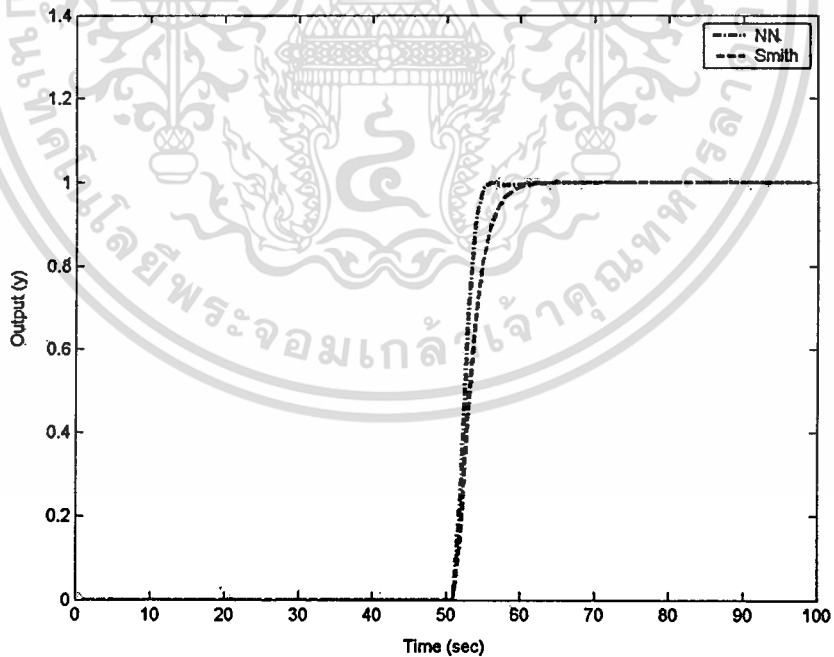
รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อเวลาหน่วยในระบบเท่ากับ

20 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 30 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1



รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 50 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1

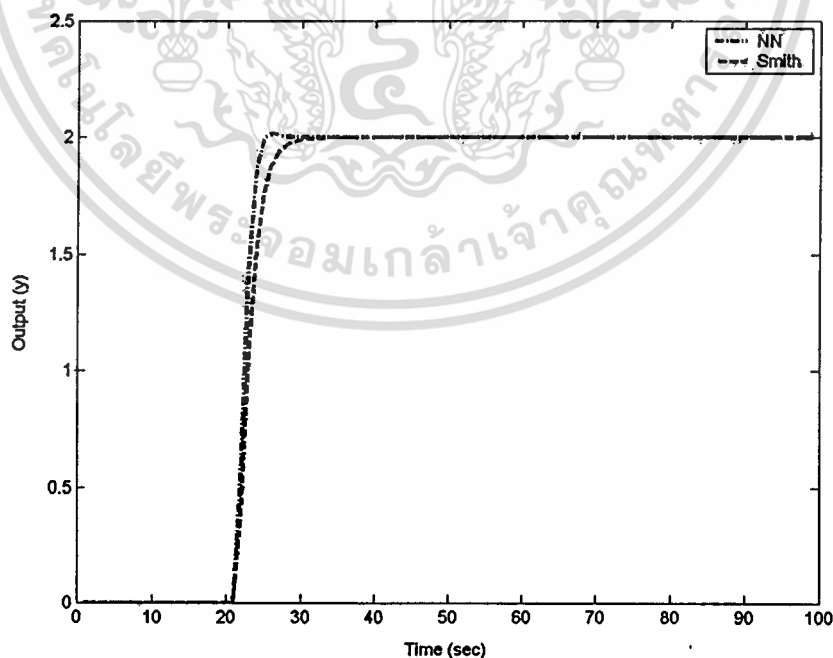
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 รูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งโดยกำหนดให้ค่าเป้าหมายเท่ากับ 2 และในตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีซีด้วยโครงข่ายประสาทเทียมและการปรับด้วยผู้ทดลอง ซึ่งในการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมจะปรับค่าพารามิเตอร์ละเอียดมากกว่าการปรับด้วยผู้ทดลอง ผลการทดลองเมื่อมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายการควบคุมที่ได้ออกแบบยังคงสามารถเข้าสู่เป้าหมายได้ดีกว่าการควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบดั้งเดิมซึ่งปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยผู้ทดลอง โดยมีค่า overshoot เล็กน้อย แต่มีค่า rise time และ settling time น้อยกว่า การควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบดั้งเดิม

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีซีในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อค่าเป้าหมายเท่ากับ 2

	Kp	Ki	Ku	L	Rise Time	Settling Time (2%)	Overshoot
Smith	1.5	1.2	1	8.5	4	6	0
NN	2.0879	1.4135	1.0254	8.9853	2	3	0.0362

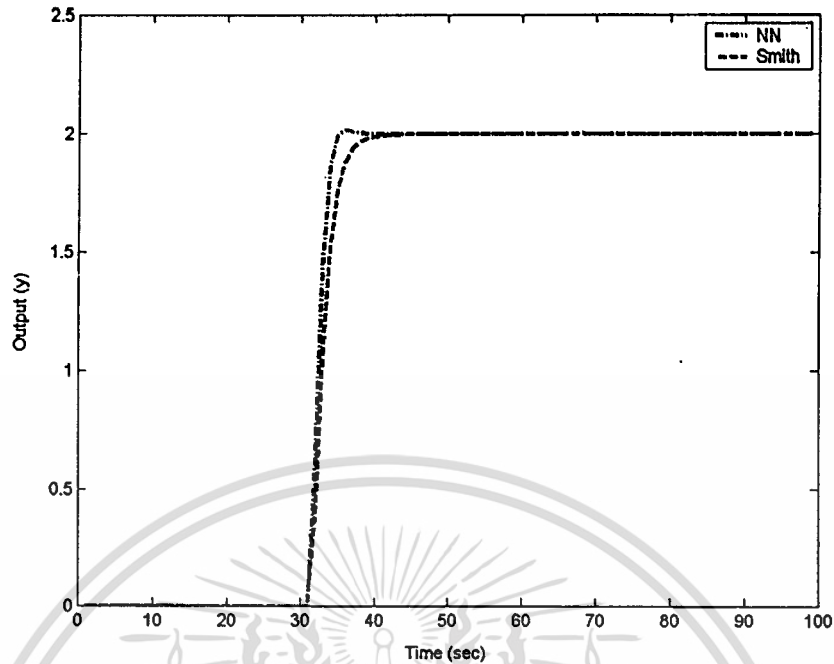
* ค่า settling time ไม่คิดค่าหน่วงเวลาในระบบ



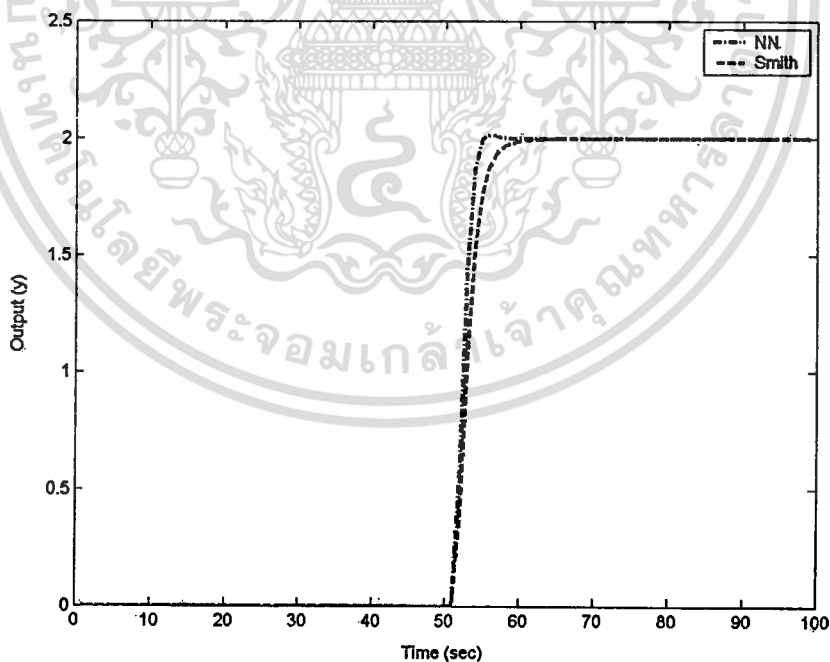
รูปที่ 4.6 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ

20 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 30 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2



รูปที่ 4.8 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 50 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

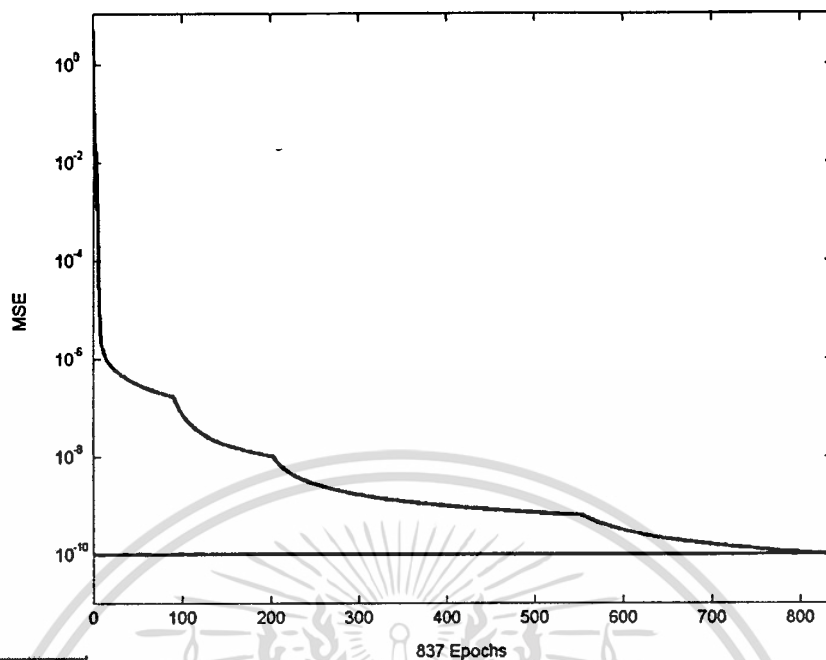
4.2 การทดลองกับกระบวนการอันดับสอง

ในการทดลองที่ 2 เป็นการทดสอบระบบกับกระบวนการอันดับสอง กำหนดให้สมการฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการที่ (4.2) โดยในส่วนแรกของการทดลองเป็นการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้เรียนรู้ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์และจำลองกระบวนการ ในส่วนที่สองทำการทดลองควบคุมกระบวนการ โดยการเปลี่ยนเวลาหน่วงสามค่า คือ 20 วินาที 30 วินาที และ 50 วินาที และทดลองเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพื่อทดสอบระบบ ทำการเปรียบเทียบกับ การควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบดั้งเดิมซึ่งกำหนดให้ทราบแบบจำลองของกระบวนการในการควบคุมและปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยผู้ทดลอง

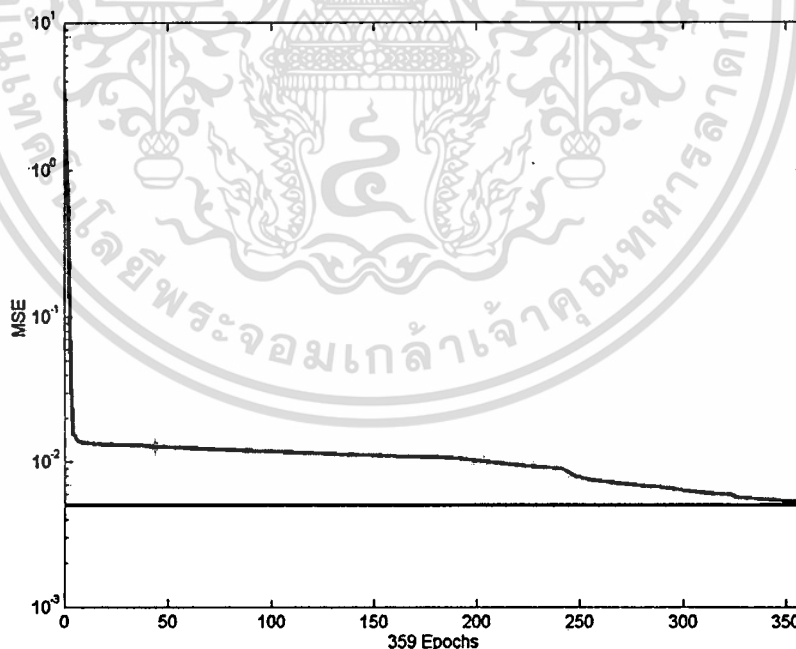
$$G(s) = \frac{e^{-\tau}}{s^2 + 2.75s + 0.5} \quad (4.2)$$

เมื่อ τ คือ ค่าหน่วงเวลาในระบบ (วินาที)

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงรอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองกระบวนการและปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ตามลำดับ จากที่ได้ออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมและการฝึกสอนไว้ในบทที่ 3 หลังจากทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความรู้ จากนั้นเป็นการทดลองในการควบคุมกระบวนการอันดับสอง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11 ถึง 4.16



รูปที่ 4.9 รอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองกระบวนการสำหรับการทดลองกับกระบวนการอันดับสอง



รูปที่ 4.10 รอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีชชีสำหรับการทดลองกับกระบวนการอันดับสอง

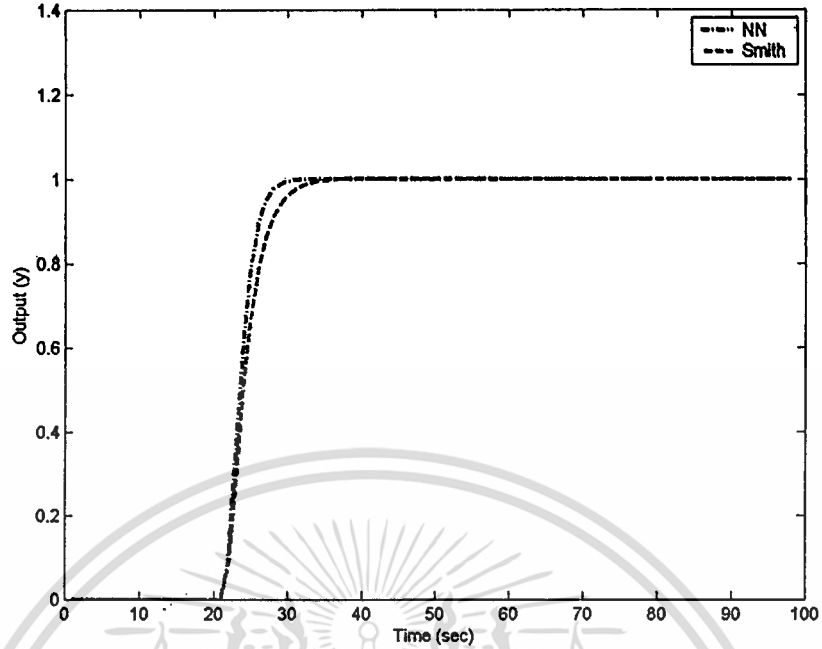
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 รูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสอง และในตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีชซี โดยเปรียบเทียบการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยโครงข่ายประสาทเทียมและการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยผู้ทดลอง ซึ่งในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีชซีด้วยโครงข่ายประสาทเทียมจะปรับค่าพารามิเตอร์ละเอียดมากกว่าการปรับด้วยผู้ทดลอง ในการทดลองเมื่อป้อนอินพุตเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีชซีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งสามารถควบคุมระบบเข้าสู่เป้าหมายได้ดีกว่าการควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบดั้งเดิมซึ่งปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยผู้ทดลอง โดยมีค่า rise time และ ค่า settling time น้อยกว่า การควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor และในการทดลองเมื่อมีการเปลี่ยนค่าช่วงเวลาโครงข่ายประสาทเทียมสามารถหาค่าช่วงเวลาได้ดีโดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบจากการเปลี่ยนค่าช่วงเวลาที่เกิดขึ้น

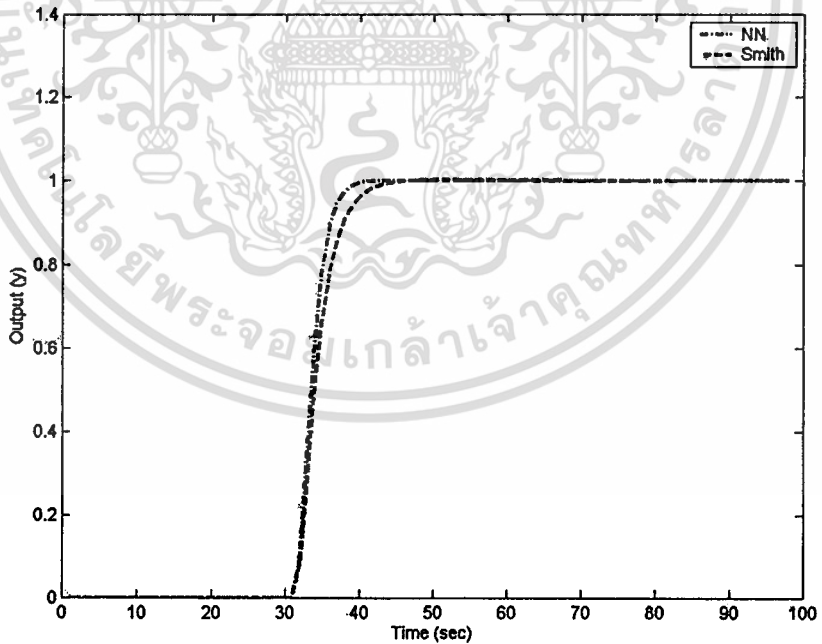
ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีชซีในการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อค่าเป้าหมายเท่ากับ 1

	Kp	Ki	Ku	L	Rise Time	Settling Time (2%)	Overshoot
Smith	1.5	0.17	1	1.65	5	9	0.0017
NN	2.0007	0.1982	1.0008	1.6729	3	5	0.0094

* ค่า settling time ไม่คิดค่าช่วงเวลาในระบบ

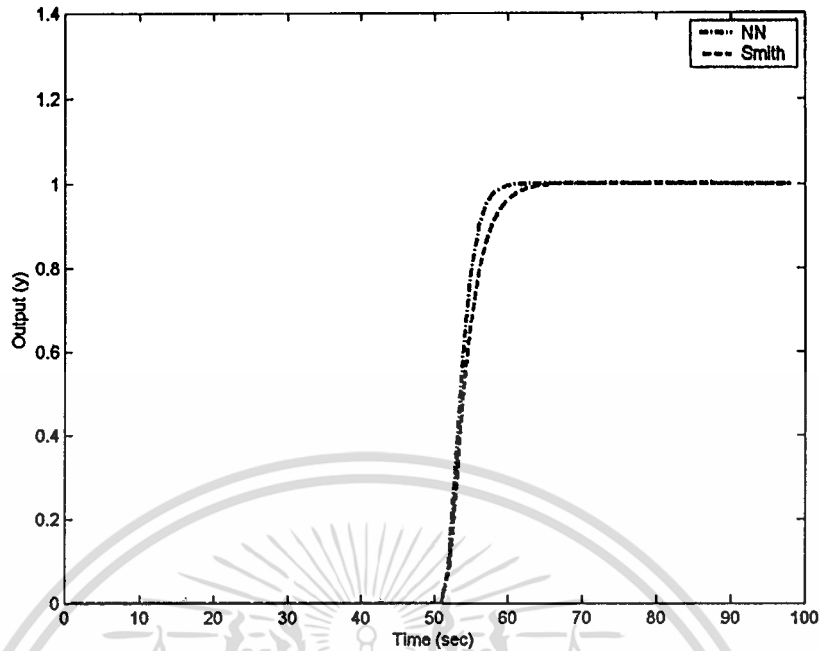


รูปที่ 4.11 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 20 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1



รูปที่ 4.12 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 30 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



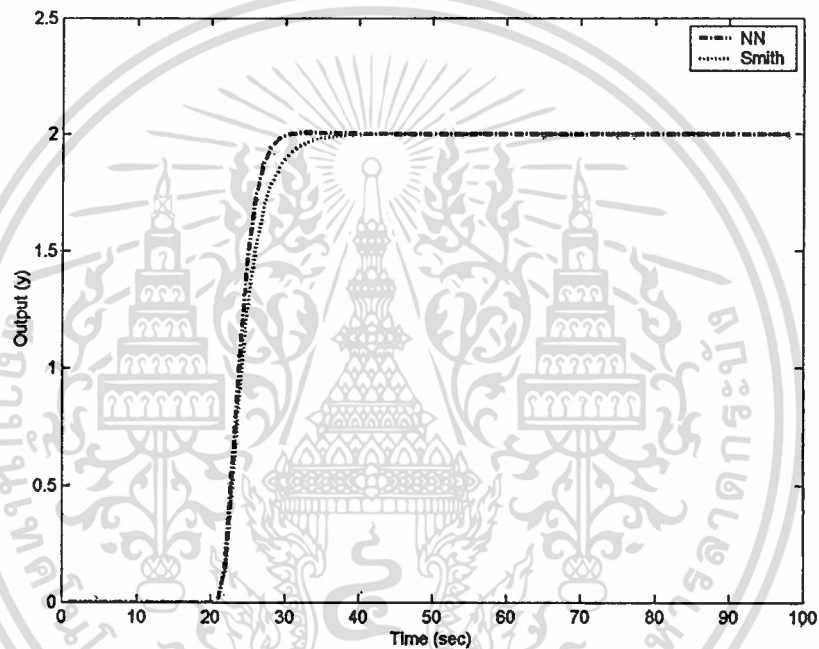
รูปที่ 4.13 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 50 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1

จากรูปที่ 4.14 รูปที่ 4.15 และ รูปที่ 4.16 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสอง โดยกำหนดให้ค่าเป้าหมายเท่ากับ 2 จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีซซี โดยเปรียบเทียบการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยผู้ทดลองและจากการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเท่ากับ 2 โครงข่ายประสาทเทียมยังสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมแบบพีซซีในการควบคุมระบบเข้าสู่เป้าหมายได้ดีกว่าการควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบดั้งเดิมซึ่งปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยผู้ทดลองและในการทดลองเมื่อมีการปรับค่าหน่วงเวลาโครงข่ายประสาทเทียมสามารถชดเชยการหน่วงเวลาได้ดีโดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบจากการเปลี่ยนค่าหน่วงเวลาที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีซีซีในการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อค่าเป้าหมายเท่ากับ 2

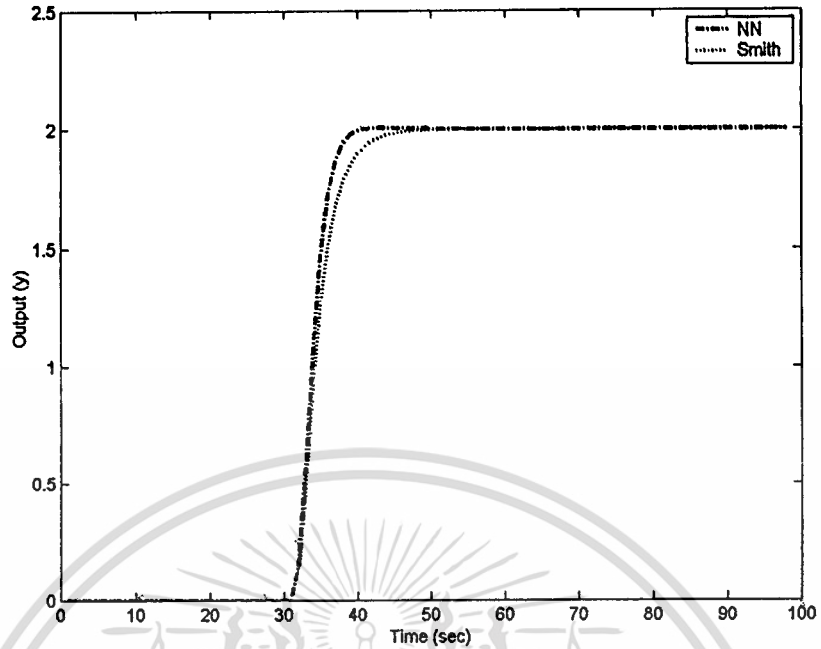
	Kp	Ki	Ku	L	Rise Time	Settling Time (2%)	Overshoot
Smith	2	0.45	1	1.65	6	10	0
NN	2.0067	0.5018	1.1317	1.6283	4	6	0.0062

* ค่า settling time ไม่กิดค่าหน่วงเวลาในระบบ

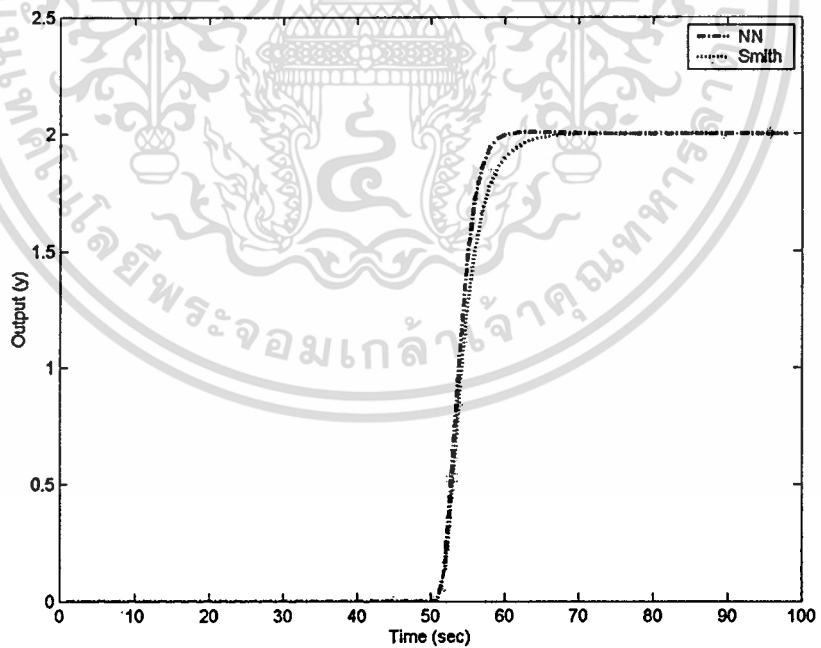


รูปที่ 4.14 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 20 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 30 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2



รูปที่ 4.16 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 50 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

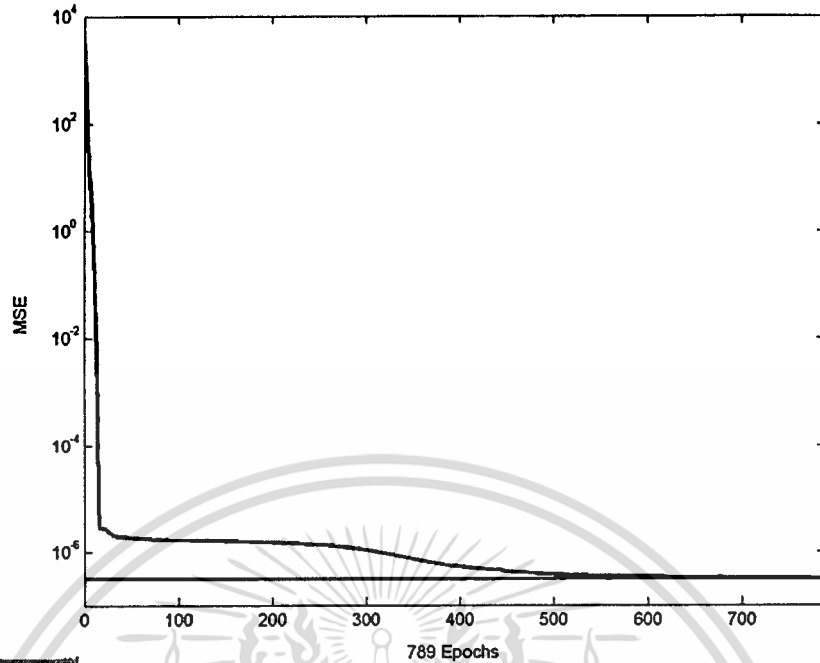
4.3 การทดลองกับกระบวนการอันดับสาม

ในการทดลองระบบกับกระบวนการอันดับสาม กำหนดให้สมการฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการที่ (4.3) โดยในส่วนแรกของการทดลองเป็นการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้เรียนรู้ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์และจำลองกระบวนการ ในส่วนที่สองทำการทดลองควบคุมระบบโดยเปลี่ยนค่าเวลาหน่วงในระบบสามค่า คือ 20 วินาที 30 วินาทีและ 50 วินาทีและทดลองเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพื่อทดสอบระบบ ทำการเปรียบเทียบกับ การควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบดั้งเดิม ซึ่งกำหนดให้ทราบแบบจำลองของกระบวนการในการควบคุมและปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยผู้ทดลอง

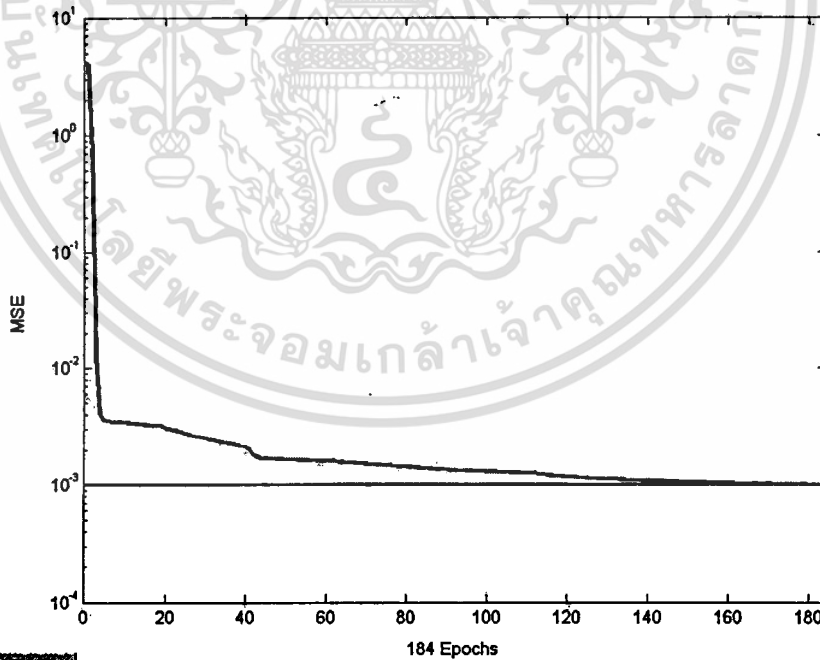
$$G(s) = \frac{168.0436.e^{-\tau s}}{s(s^2 + 25.921s + 168.0436)} \quad (4.3)$$

เมื่อ τ คือ ค่านช่วงเวลาในระบบ (วินาที)

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 แสดงรอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองกระบวนการและปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ตามลำดับ จากที่ได้ออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมและการฝึกสอนไว้ในบทที่ 3 หลังจากทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความรู้ จากนั้นเป็นการทดลองในการควบคุมกระบวนการอันดับสาม ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.19 ถึง 4.24



รูปที่ 4.17 รอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองกระบวนการสำหรับการทดลอง
กับกระบวนการอันดับสาม



รูปที่ 4.18 รอบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟิชซี
สำหรับการทดลองกับกระบวนการอันดับสาม

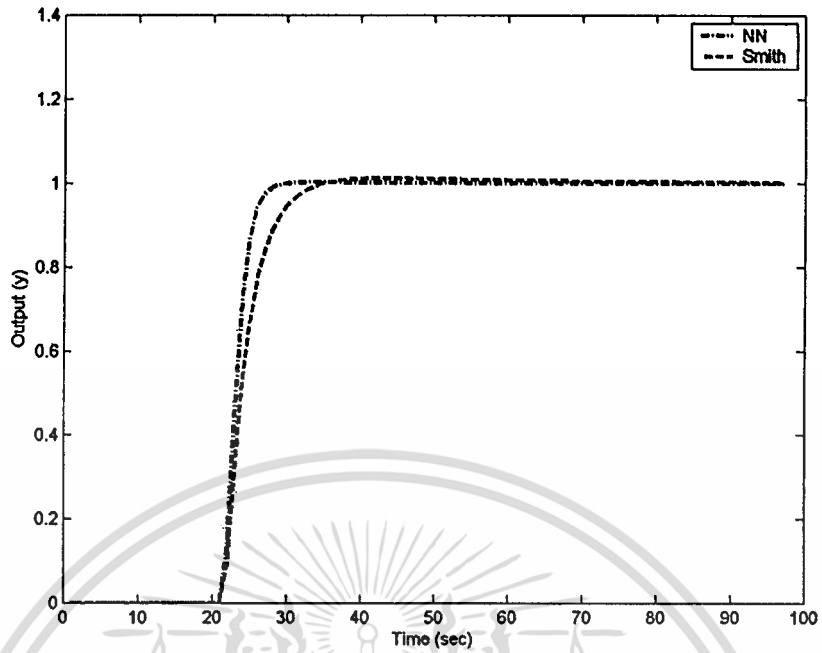
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 รูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21 แสดงผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อค่าเป้าหมายเท่ากับ 1 และในตารางที่ 4.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีซซี โดยเปรียบเทียบการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีซซีด้วยโครงข่ายประสาทเทียมและการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยผู้ทดลอง ซึ่งผลการทดลองเมื่อป้อนอินพุตเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีซซีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งสามารถควบคุมเข้าสู่เป้าหมายได้ดีกว่าการควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบดั้งเดิมซึ่งปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยผู้ทดลองโดยมีค่า rise time และ ค่า settling time น้อยกว่าการควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor และในการทดลองเมื่อมีการปรับค่านช่วงเวลาโครงข่ายประสาทเทียมสามารถหาค่าช่วงเวลาได้ดีโดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบจากการเปลี่ยนค่านช่วงเวลาที่เกิดขึ้น

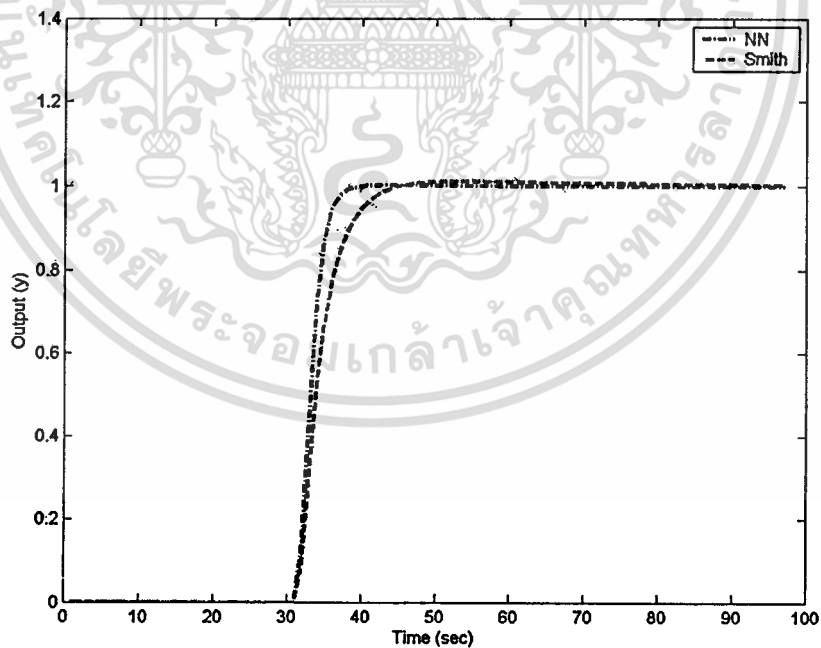
ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีซซีในการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อค่าเป้าหมายเท่ากับ 1

	Kp	Ki	Ku	L	Rise Time	Settling Time (2%)	Overshoot
Smith	1.8	0.06	0.5	0.9	6	10	0.0108
NN	1.7610	0.0712	0.6590	0.9634	3	4	0.0067

* ค่า settling time ไม่คิดค่านช่วงเวลาในระบบ

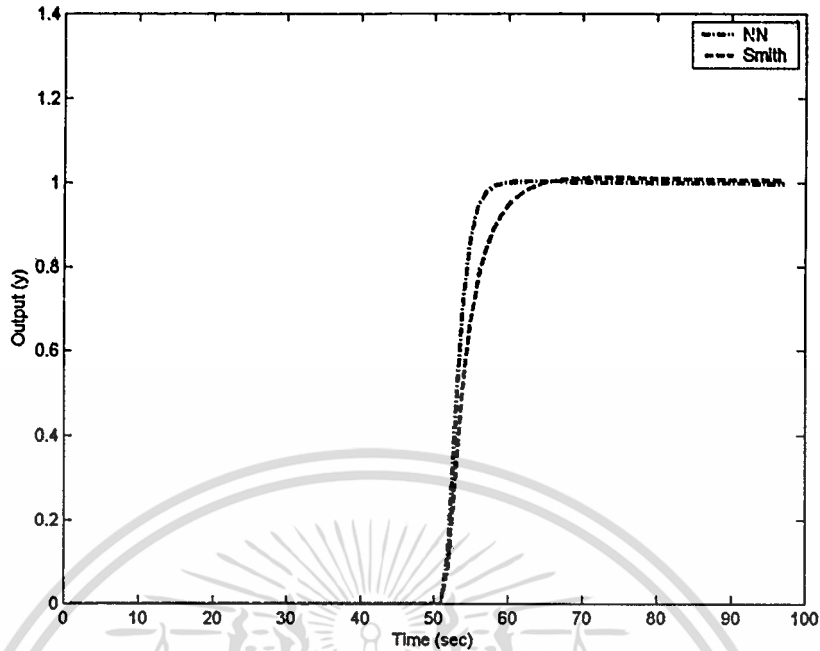


รูปที่ 4.19 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 20 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1



รูปที่ 4.20 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 30 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 50 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 1

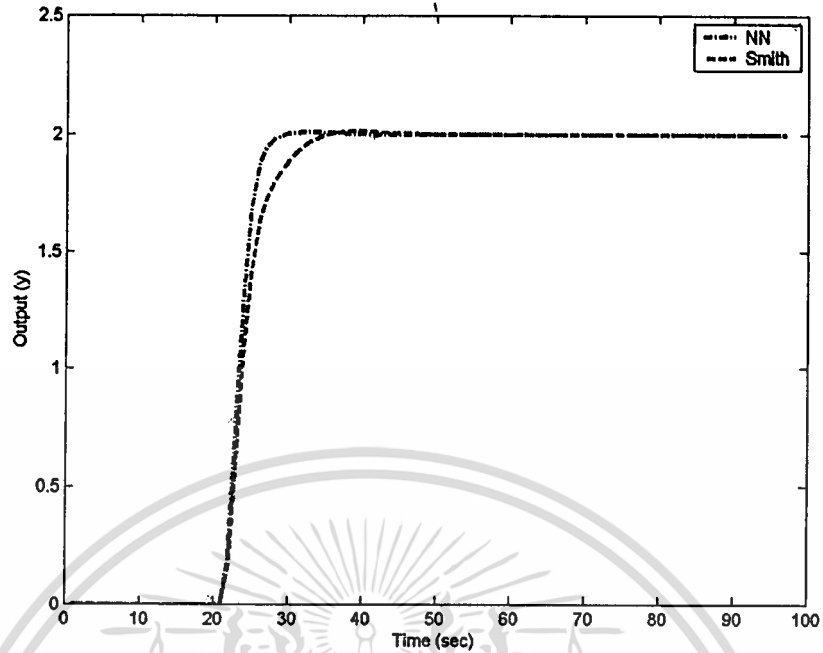
จากรูปที่ 4.22 รูปที่ 4.23 และ รูปที่ 4.24 แสดงผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อค่าเป้าหมายเท่ากับ 2 และในตารางที่ 4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีซีซี โดยเปรียบเทียบการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยโครงข่ายประสาทเทียมและการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยผู้ทดลอง ผลการทดลองสามารถเข้าสู่เป้าหมายดีกว่าการการควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบดั้งเดิมซึ่งปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยผู้ทดลอง โดยมีค่า rise time และ ค่า settling time น้อยกว่า การควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีซีซีในการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อค่าเป้าหมายเท่ากับ 2

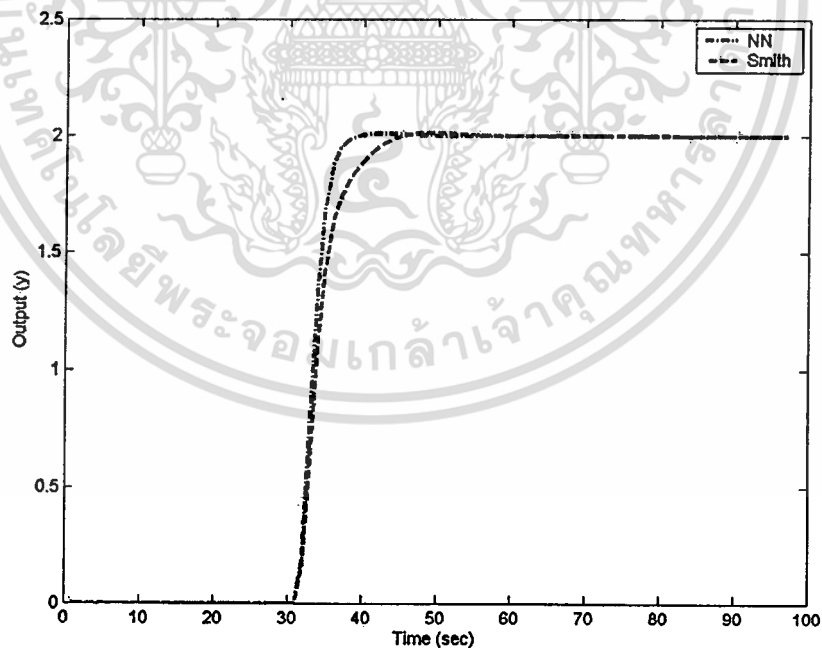
	Kp	Ki	Ku	L	Rise Time	Settling Time (2%)	Overshoot
Smith	2.3	0.39	0.5	1	6	10	0.0136
NN	1.8465	0.3791	0.6362	0.9984	4	5	0.0012

* ค่า settling time ไม่คิดค่าหน่วงเวลาในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

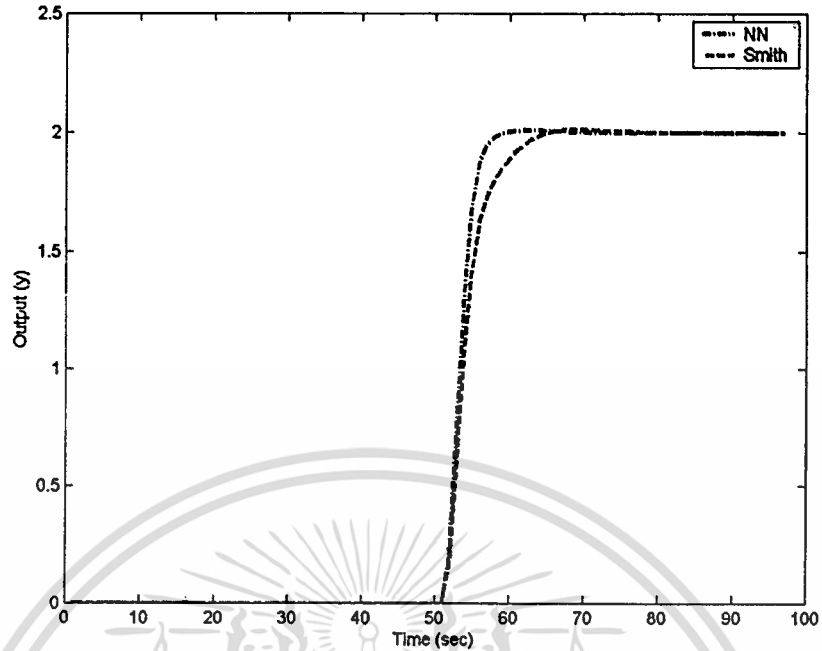


รูปที่ 4.22 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 20 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2



รูปที่ 4.23 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 30 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการอันดับสามเมื่อเวลาหน่วงในระบบเท่ากับ 50 วินาทีและค่าเป้าหมายเท่ากับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมแบบพีชซีในการควบคุมระบบที่มีการหน่วงเวลา เป็นการนำตัวควบคุมพีชซีมาใช้ควบคุมระบบในแนวคิดของโครงสร้างการควบคุมแบบ Smith Predictor โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการควบคุมระบบและเป็นแบบจำลองกระบวนการในระบบ ในการศึกษาพื้นฐานการควบคุมระบบซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 2 การควบคุมระบบที่มีการหน่วงเวลาแบบเดิมด้วยการควบคุมแบบ Smith Predictor นั้นจะใช้ตัวควบคุมแบบดั้งเดิมและต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการเพื่อชดเชยค่าหน่วงเวลาในระบบได้ถูกต้อง จากการศึกษาพบว่า การนำตัวควบคุมแบบพีชซีมาทำงานร่วมกับตัวควบคุมแบบดั้งเดิมมีความสามารถในการควบคุมระบบซึ่งทำได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบดั้งเดิมเพียงอย่างเดียวและโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการเรียนรู้ซึ่งสามารถหาผลตอบสนองที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี จากผลการศึกษาดังกล่าวจึงได้มีการออกแบบการควบคุมแบบ Smith Predictor ซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบพีชซีและโครงข่ายประสาทเทียมในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติและเป็นแบบจำลองของระบบ ซึ่งได้กล่าวในบทที่ 3 และในบทที่ 4 ได้ทำการทดลองระบบที่ได้ออกแบบไว้โดยก่อนการทดลองในแต่ละการทดลองทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้มีความรู้ก่อนจะนำไปใช้งาน โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองกับกระบวนการอันดับหนึ่ง การทดลองกับกระบวนการอันดับสอง และการทดลองกับกระบวนการอันดับสาม ในการทดลองทำการควบคุมระบบโดยเปลี่ยนค่าหน่วงเวลาในระบบสามค่า คือ 20 วินาที 30 วินาที และ 50 วินาที เพื่อทดสอบการชดเชยค่าหน่วงเวลาในระบบและทำการทดลองเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพื่อทดสอบการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีชซีในการควบคุมระบบ

ในการทดลองกับกระบวนการอันดับหนึ่งซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูป ที่ 4.3 ถึง 4.8 ระบบควบคุมที่ออกแบบไว้สามารถควบคุมระบบเข้าสู่เป้าหมายได้ดีกว่าการการควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบดั้งเดิมซึ่งกำหนดให้ทราบแบบจำลองของกระบวนการในการควบคุมและปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยผู้ทดลอง โดยมีค่า overshoot เล็กน้อย แต่มีค่า rise time และ settling time น้อยกว่า การควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบดั้งเดิม

สำหรับการทดลองกับกระบวนการอันดับสอง ผลการทดลองแสดงดังรูป ที่ 4.11 ถึง 4.16 และในการทดลองกับกระบวนการอันดับสาม ผลการทดลองดังรูป ที่ 4.19 ถึง 4.24 ระบบควบคุมที่ออกแบบไว้ยังคงสามารถควบคุมระบบเข้าสู่เป้าหมายได้ดีกว่าการการควบคุมด้วยวิธี Smith

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

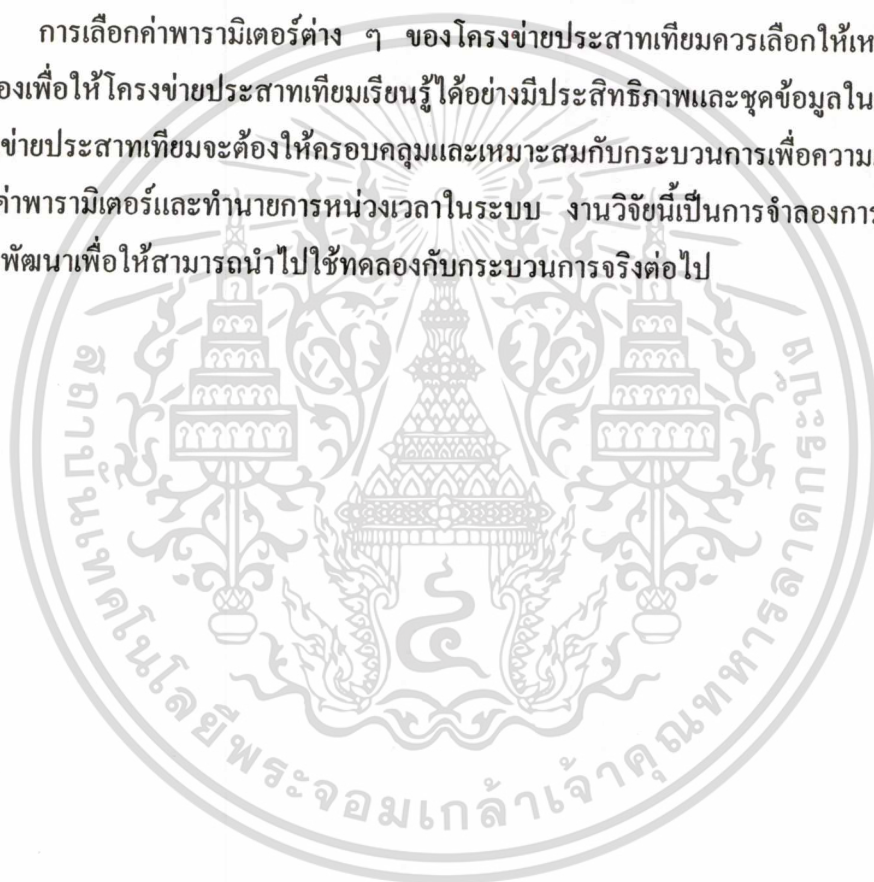
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Predictor แบบคั้งเดิมเช่นกันโดยมีค่า rise time และ settling time น้อยกว่า การควบคุมด้วยวิธี Smith Predictor แบบคั้งเดิม ซึ่งในการทดลองทำการเปลี่ยนค่าห้วงเวลาและทดลองเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพื่อทดสอบระบบ

จากการทดลองที่ได้กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับค่าพารามิเตอร์และห้วงเวลาในระบบในแต่ละการทดลองได้ดีเสมือนปรับแต่งโดยผู้เชี่ยวชาญ

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

การเลือกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโครงข่ายประสาทเทียมควรเลือกให้เหมาะสมกับการทดลองเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและชุดข้อมูลในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะต้องให้ครอบคลุมและเหมาะสมกับกระบวนการเพื่อความแม่นยำในการปรับค่าพารามิเตอร์และทำนายการห้วงเวลาในระบบ งานวิจัยนี้เป็นการจำลองการทำงานจึงต้องมีการพัฒนาเพื่อให้สามารถนำไปใช้ทดลองกับกระบวนการจริงต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- [1] I. Kaya, "Obtaining controller parameters for a new PI-PD Smith predictor using autotuning," *Journal of Process Control*, vol.13, no.13, 2003, pp.465-472.
- [2] M.R. Matausek, A.D. Micic, "A Modified Smith Predictor for Controlling a Process with an Integrator and Long Dead-Time," *IEEE Transactions on Automatic control*, vol.41, no.8, 1996, pp.1199-1203.
- [3] K.J. Astrom, C.C. Hang and B.C. Lim, "A New Smith Predictor for Controlling a Process with an Integrator and Long Dead-Time," *IEEE Transactions on Automatic control*, vol.39, no.2, 1994, pp.343-345.
- [4] K.S. Tang, K.F. Man, G. Chen and S. Kwong, "An Optimal Fuzzy PID Controller," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.48, 2001, pp.757-765.
- [5] G. Chen, "Conventional and fuzzy PID controllers: An overview," *International Journal of Intelligent and Control System*, vol. 1, 1996, pp. 235-246.
- [6] G. Chen and H. Ying, "BIBO Stability of nonlinear fuzzy PI control system," *Journal of Intelligent and Fuzzy System*, vol. 5, 1997, pp. 245-256.
- [7] H.A. Malki, H. Li and G. Chen, "New Design and Stability Analysis of Fuzzy Proportional-Derivative Control System," *IEEE Transactions on Fuzzy systems*, vol. 2, no.4, 1994, pp.245-254.
- [8] D. Misir, H.A. Malki and G. Chen, "Design and analysis of a fuzzy proportional-integral-derivative controller," *International Journal of Intelligent and Fuzzy System*, vol.79, 1996, pp. 297-314.
- [9] H.A. Malki, D. Misir, D. Feigenspan and G. Chen, "Fuzzy PID Control of a Flexible-Joint Robot Arm with Uncertainties from Time-Varying Loads," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 5, no. 3, 1997, pp. 371-378.
- [10] W. Tang, G. Chen and R. Lu, "A modified fuzzy PI controller for a flexible-joint robot arm with uncertainties," *Fuzzy Sets and Systems*, no. 118, 2001, pp. 109-119.
- [11] S. Morishima, "Realtime Face Analysis And Synthesis Using Neural Network," *Proceedings of the 2000 IEEE Signal Processing Neural Networks*, vol. 1, 2000, pp. 13-22.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] E.M. Kussul and L.M. Kasatkina, "Neural Network System for Continuous Hand-written Words Recognition," IEEE International Joint Conference on Neural Networks, vol. 4, 1999, pp. 2855-2858.
- [13] P.K.H. Phua, X. Zhu and C.H. Koh, "Forecasting Stock Index Increments Using Neural Networks with Trust Region Methods," Proceedings of the International joint Conference on Neural Networks, vol. 1, 2003, pp. 260-265.
- [14] S. Mandal and N. Prabaharan, "Ocean wave forecasting using recurrent neural networks," Ocean Engineering, vol. 33, no. 10, 2006, pp. 1401-1410.
- [15] D. Psaltis, A. Sideris and A. Yamamura, "A Multilayered Neural Network Controller," IEEE Control System Magazine, vol. 8, no. 2, 1998, pp. 17-21.
- [16] M. Khalid and S. Omatu, "A Neural Network Controller for a Temperature Control System," IEEE Control System Magazine, vol. 12, no. 3, 1992, pp. 58-64.
- [17] D. Nguyen and B. Widrow, "The truck backer-upper: An example of self-learning in neural networks," IEEE Control System Magazine, 1990, pp. 18-23.
- [18] K.S. Narendra and K. Parthasarathy, "Identification and control of dynamic systems using neural networks," IEEE Transactions Neural Networks, vol. 1, Mar. 1990, pp. 4-28.
- [19] C. Wu and C. Huang, "A Neural Network Controller with PID Compensation for Trajectory Tracking of Robotic Manipulators," Journal Franklin Inst., vol. 333(B), no. 4, 1996, pp.523-537.
- [20] C.T. Lin and C.S. George, **Neural Fuzzy System**, United States : Prentic Hall International, 1996.
- [21] M.T. Hagan, H.B. Demult and M. Beale, **Neural Network Design**, Boston : PWS Publishing Company, Inc. 1995.
- [22] M.T. Hagan and M.B. Menhaj, "Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm," IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 5, no. 6, 1994, pp. 989-993.
- [23] H. Ying, **Fuzzy Control and Modeling**, New York : IEEE Press, 2000.
- [24] E.H. Mandani, "Application of fuzzy algorithms for the control of a dynamic plant," Proceedings IEE, 121, 1974, pp.1585-1588.

- [25] ภูวนาด คำรงพร. 2546. “ฟuzzyพีดี-พีแอลแอล สำหรับการควบคุมความเร็วมอเตอร์ กระแสตรง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [26] ณัฐพงศ์ จินจาคาม. 2546. “การควบคุมแบบฟuzzyสำหรับแขนกลน้ำหนักรวมสามแกน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [27] E.N. Sanchez and V. Flores, “Real-time Fuzzy PI+PD Control for an Underactuate Robot,” IEEE International Symposium on Intelligent Control, Oct., 2002, pp. 27-30.
- [28] มนตรี ชาติพจน์. 2546. “การออกแบบและสร้างระบบล้อยเหนื่อราง.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [29] J.M. Zurada, **Introduction to artificial neural systems**, Singapore : Info Access Distribution, 1992.
- [30] J.W. Hines, **MATLAB supplement to fuzzy and neural approaches in engineering**, New York : John Wiley, 1997.
- [31] D.W. Patterson, **Artificial neural networks : theory and applications**, Singapore : Prentice Hall, 1996.
- [32] R.J. Schalkoff, **Artificial neural networks**, New York : McGraw-Hill, 1997.
- [33] F. Abdollahi, H.A. Talebi and R.V. Patel, “A stable neural network-based observer with application to flexible-joint manipulators,” IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 17, no. 1, 2006, pp. 118-129.
- [34] J. Dobes and L. Pospil, “Accurate Modeling of the Special Microwave Structures Using Artificial Neural Networks,” IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, 2006, pp. 149-152.
- [35] A.M. Cretu, E.M. Petriu and G.G. Patry, “Neural-network-based models of 3-D objects for virtualized reality: a comparative study,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 55, no. 1, 2006, pp. 99-111.

ภาคผนวก ก
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] **S.Teemuangsong** and P.Sooraksa “Automatic Tuning Algorithm for Time-Delay Fuzzy Control Systems,” Proceeding of the Int. Conf. on computer and communication engineering , vol. I, 2006, pp.427-430.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AND COMMUNICATION ENGINEERING ICCCCE'06



Global Links for Human Development



ORGANIZED BY



FACULTY OF ENGINEERING
NATIONAL ISLAMIC UNIVERSITY MALAYSIA

Prince Hotel and Residence
Kuala Lumpur, MALAYSIA
9 - 11 MAY 2006

CO-SPONSOR



Islamic Development Bank

CO-ORGANIZED BY



IEEE

VOLUME I



Automatic Tuning Algorithm for Time-Delay Fuzzy Control Systems

Surapong teemuangsong, Pitikhate Sooraksa
Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Rd.,
Ladkrabang, 10520 Bangkok, Thailand
Email: teemuangsong@hotmail.com

Abstract

Time delay systems exist widely in industrial processes, and it is one of the main difficulties in process control. This paper presents an automatic tuning algorithm for time-delay fuzzy control systems. Control parameters of the system are adjusted by learning techniques using the neural networks. Conventionally, in the fuzzy system, the parameters are adjusted manually until desired outputs are obtained. In this work, this process is automatic adjusted parameters by the multilayer neural networks. Given a nonlinear plant with time-delay, the simulations yield satisfactory results.

1. Introduction

The conventional PID controllers, which use widely in various industrial fields [1], are not suitable for control of time-delay systems. This is because it is not easy to select appropriate control parameters. Artificial neural networks have strong learning ability of learning that makes neural networks being suitable tools to solve many problems. One of these problems is to use neural networks to solve highly nonlinear control systems for which multilayer neural networks have proven to be a very powerful tool.

In the field of Artificial Intelligence (AI), Artificial Neural Networks (ANNs) and fuzzy models are most popular because it is capable of making calculations which are used as models of the systems [2]. This paper presents an application of ANN for tuning parameters of a fuzzy controller.

The paper is organized as follows: Section 2 provides a brief review of the fuzzy controller developed in [3]. Section 3 presents architecture of the ANN feature. Simulation results show in Section 4. Section 5 gives concluding remarks.

2. Fuzzy Control System

Referring to Fig. 1, a fuzzy logic control system developed in [3] is adopted to use for our proposed scheme. The controller is a nonlinear PI type. The fuzzy control law can be written mathematically as:

$$\Delta u_{pi}(nT) = K_p e_v(nT) + K_i e_p(nT) \quad (1)$$

$$u_{pi}(nT) = u_{pi}(nT - T) + K_{uPi} \Delta u_{pi}(nT) \quad (2)$$

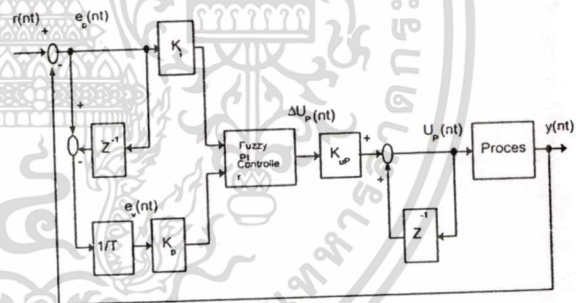


Figure 1 A fuzzy control system developed in [3].

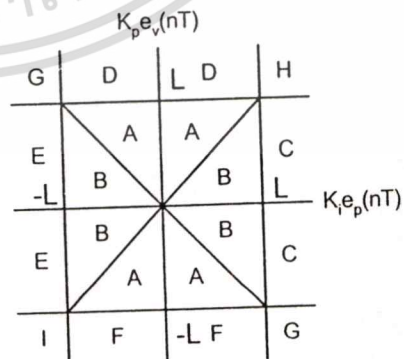


Figure 2 All possible combinations over the error-phase plane.

Considering the fuzzy control procedure into account, which are fuzzification, inference engine, and defuzzification, the increment control action can then be derived in the closed-form corresponding to the region on the entire error-phase plane shown in Fig. 2. The reader is referred to [3] for more detail derivation.

The increment control action are:

$$\Delta u_{pi}(nT) = \frac{L[K_i e_p(nT) + K_p e_v(nT)]}{2[2L - K_i |e_p(nT)|]} \quad \text{in region A (3)}$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = \frac{L[K_i e_p(nT) + K_p e_v(nT)]}{2[2L - K_i |e_p(nT)|]} \quad \text{in region B (4)}$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = \frac{1}{2}[K_p e_v(nT) + L] \quad \text{in region C (5)}$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = \frac{1}{2}[K_i e_p(nT) + L] \quad \text{in region D (6)}$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = \frac{1}{2}[K_p e_v(nT) - L] \quad \text{in region E (7)}$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = \frac{1}{2}[K_i e_p(nT) - L] \quad \text{in region F (8)}$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = 0 \quad \text{in region G (9)}$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = L \quad \text{in region H (10)}$$

$$\Delta u_{pi}(nT) = -L \quad \text{in region I (11)}$$

Next Section gives a review of neural network architecture and components for automatic tuning.

3. Automatic Tuning Components

3.1 Smith Predictor

A solution commonly used in industrial process control to cope with a time delay phenomenon is employed a Smith predictor shown in Fig. 3. The idea is to eliminate the time delay output of the system [4]. In Fig. 3,

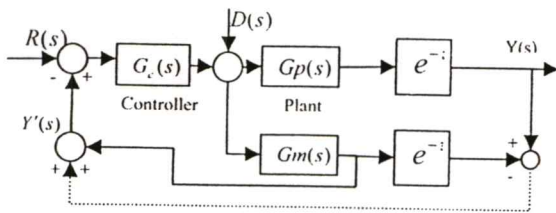


Figure 3 A Smith predictor

$R(s)$ is the system input,

$Y(s)$ is the system output,

$D(s)$ is the external disturbance,

$Gp(s) e^{-s}$ is a plant with delay unit,

$Gm(s)$ is the perfect modeling or the predictor when

$Gp(s)$ is equal to $Gm(s)$.

3.2 Neural networks based on Smith predictor

The ANN based on a Smith predictor is first presented in [5]. We adopt this architecture in our work. Figure 4 shows the components of the ANN.

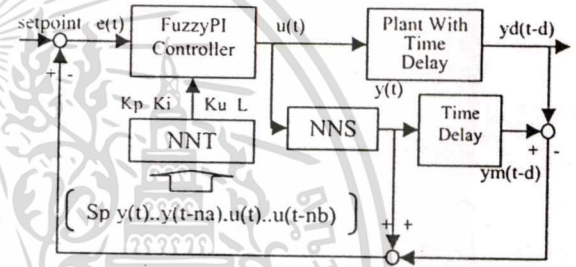


Figure 4 The ANN for time-delay system

The training is based on data obtained from time-delay output. After finishing the training, the learnt one eliminates the time-delay out of the trained model. The error in a hidden layer can be described as

$$e(t) = y(t) - y(t - d) \quad (12)$$

The ANN model can be written as

$$y'(t) = g[y(t-1), \dots, y(t-na), u(t-1), \dots, u(t-nb), w] \quad (13)$$

where $g(\bullet)$ is a nonlinear mapping function, $y(t)$ is the output of the ANN, $u(t)$ is the input to the plant, n and m is the orders of input and output respectively.

3.3 Neural networks self-tuning parameters method

In tuning the fuzzy PI parameters, K_i , K_p , K_u , and L , the multilayer NN with backpropagation composed of an input layer, an output layer, and a hidden layer is employed as shown in Fig. 5. There are four outputs generated from the ANN, which are the control parameters K_p, K_i, K_u , and L respectively.

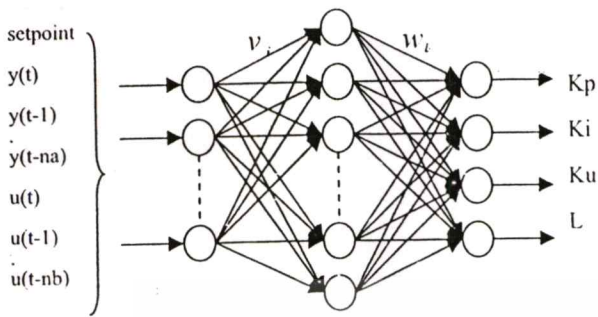


Figure 5 ANN architecture for tuning the fuzzy PI control system

where $\text{sgn}(\frac{\partial y}{\partial u})$ is an approximated value [6]. The

term $\frac{\partial u}{\partial o_k^{(2)}(t)}$ can be found from equation (1). To

obtain the optimal value of L, we can find directly from the updated values from the input to the hidden layer:

$$v_{ji}(t+1) = v_{ji}(t) + \eta \cdot \delta_j^{(1)} \cdot x(t)$$

$$\delta_j^{(1)} = f'(net_j^{(1)}(t)) \cdot \sum_{k=1}^m \delta_k^{(2)} \cdot w_{kj}(t) \tag{18}$$

Since the control parameters have positive values, the excitation function is assigned to be a non-negative sigmoid function written in equation (13):

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-2x}} \tag{13}$$

The unit of the hidden layer is assigned to be symmetrical sigmoid function:

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \tag{14}$$

The objective function is

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (d_k(t) - y(t))^2 \tag{15}$$

where $d_k(t)$ is the set-point and $y(t)$ is the output of the ANN. To adjust the weighting function, we have

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{kj}(t)} \tag{16}$$

where $\eta \geq 0$ which are the learning rate. To minimize the objective function, the derivation yields

$$\delta_k^{(2)} = (d(t) - y(t)) \cdot \text{sgn}(\frac{\partial y(t)}{\partial u(t)}) \cdot \frac{\partial u(t)}{\partial o_k^{(2)}(t)} \cdot f'(net_k^{(2)}(t))$$

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \eta \cdot \delta_k^{(2)} \cdot z_j \tag{17}$$

4. Simulation Results

To perform the simulation, we use a time delay plant:

$$G(s) = \frac{e^{-5s}}{1 + 1.65s} \tag{19}$$

The ANN parameters for the fuzzy controller are: $\eta = 0.05$ Figure 6 shows the result. When the parameters in equation (19) has been changed to

$$G(s) = \frac{e^{-10s}}{s^2 + 2.75s + 0.5} \tag{20}$$

, the system can also be handled the perturbed plant as shown in Figure 7. This implies the robustness of the designed system. As can be seen from both Figs. 6-7 that the outputs have little overshoot and the time-delay phenomena are coped. The control parameters adjusted corresponding to Figs. 6-7 are presented in Figs 8-9, respectively.

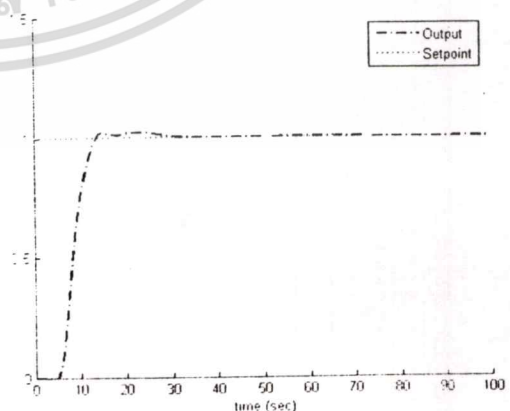


Figure 6 Output of the control system for the plant shown in equation (19)

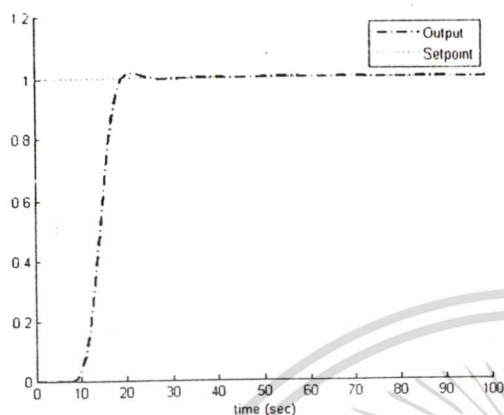


Figure 7 Output of the control system for the plant shown in equation (20)

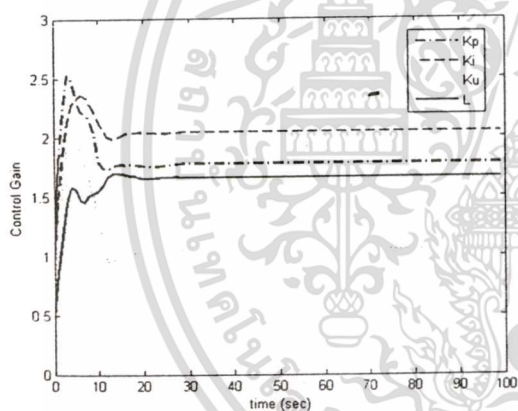


Figure 8 Tracking output of automatic control gains corresponding to the system in Fig. (6)

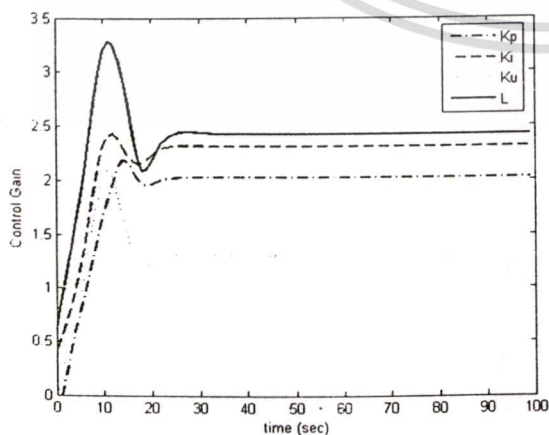


Figure 9 Tracking output of automatic control gains corresponding to the system in Fig. (7)

5. Concluding Remarks

The paper presents automatic tuning algorithm for a time delay fuzzy PI control system using ANN. Smith predictor is employed in the architecture to cope with time delay effects. Computer simulation show satisfactory results of the designed control system. We would like to encourage the reader to validate the results experimentally for further investigation.

6. Acknowledgement

The authors would like to thank the Thailand Research Fund to partial support the paper under grant RSA4680007.

References

- [1] S. Bennett, "Development of the PID Controller", *IEEE Control System Magazine*, pp. 58-65, Dec, 1994.
- [2] D. Nguyen and B. Widrow, "The tuck backer-upper: An example of self-learning in neural network", *IEEE Control and System Magazine*, pp. 18-23, 1990.
- [3] G. Chen and H. Ying, "BIBO Stability of nonlinear fuzzy PI control system", *Journal of Intelligent and Fuzzy System*, vol. 5, pp. 245-256., 1997.
- [4] A.T. Bahill, "A Simple Adaptive Smith-Predictor for Controlling Time-Delay Systems", *IEEE Control Systems magazine*, pp.16-22, 1983
- [5] Y. Zhang, Z.Q. Chen, P. Yang and Z.Z. Yuan, "Neural network-based pid predictive control for nonlinear time-delay systems", *IEEE Proc. On machine learning and cybernetics*, pp. 26-29, 2004.
- [6] M. Saerens and A. Soquet, "Neural controller based on back-propagation algorithm", *IEE Proc. Control Theory and Application*, pp. 55-62, 1991.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายสุรพงษ์ ตีเมืองสง เกิดเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2520 อำเภอัญญาคีรี จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพ จากวิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น ในปีการศึกษา 2539 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่น ในปีการศึกษา 2541 และอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2545



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้