การเปรียบเทียบนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้าและแบบวกกลับในการรู้จำตัวเลขลายมือเขียน

นางสาวสมปอง เสนาอัมพรชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARISON OF FEED-FORWARD AND RECURRENT NEURAL NETWORKS IN HAND-WRITTEN DIGIT RECOGNITION

Miss Sompong Sena-ampornchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Computer Science

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

490485

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้าและแบบวกกลับในการรู้จำตัวเลขลายมือเขียน
โดย	นางสาวสมปอง เสนาอัมพรชัย
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ญาใจ ลิ่มปิยะกรณ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์)

สมปอง เสนาอัมพรชัย : การเปรียบเทียบนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้าและแบบวกกลับในการรู้จำตัวเลขลายมือเขียน. (COMPARISON OF FEED-FORWARD AND RECURENT NEURAL NETWORKS IN HAND-WRITTEN DIGIT RECOGNITION) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. บุญเสริม กิจศิริกุล, 70 หน้า.

ในวิทยานิพนธ์นี้ ศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้าและนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับในการรู้จำตัวเลขลายมือเขียน โครงสร้างทั้งสามของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับที่ใช้ในการทดลอง คือ ในโครงสร้างที่ 1 โหนดในชั้นอินพุตในขั้นตอนก่อนหน้าถูกป้อนกลับไปที่โหนดในชั้นอินพุตในขั้นตอนถัดไป ในโครงสร้างที่ 2 โหนดในชั้นซ่อนในขั้นตอนก่อนหน้าถูกป้อนกลับไปที่โหนดในชั้นอินพุตในขั้นตอนถัดไป ในโครงสร้างที่ 3 โหนดในชั้นเอาท์พุตในขั้นตอนก่อนหน้าถูกป้อนกลับไปที่โหนดในชั้นอินพุตในขั้นตอนถัดไป ทดลองเปรียบเทียบเน็ตเวิร์กทั้งสี่ชนิด (นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้าและนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับทั้งสามโครงสร้าง) ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง คือ ลายมือเขียนตัวเลขอารบิก (0-9) ตัวเลขละ 10,000 ตัวอย่าง ขั้นแรกเลือกนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับหนึ่งชนิดพร้อมด้วยเซตพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดซึ่งให้ประสิทธิภาพดีที่สุดเหนือกว่านิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับทั้งสามโครงสร้างและเลือกนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้าหนึ่งเน็ตเวิร์กพร้อมด้วยเซตพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด ขั้นถัดไปนำนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับและนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้าที่ได้ ไปเปรียบเทียบกันอย่างละเอียดโดยใช้การตรวจสอบไขว้ 5 พับ ผลการทดลอง พบว่า นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้าให้ความถูกต้องสูงกว่านิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา .....2549.....

4670542021 : MAJOR COMPUTER SCIENCE
KEY WORD: CHARACTER RECOGNITION / FEED-FORWARD NEURAL NETWORKS / RECURRENT NEURAL NETWORKS

SOMPONG SENA-AMPORNCHAI : COMPARISON OF FEED-FORWARD AND RECURRENT NEURAL NETWORKS IN HAND-WRITTEN DIGIT RECOGNITION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. BOONSERM KIJSIRIKUL, Ph.D., 70 pp.

In this thesis, we study the comparison between feed-forward and recurrent neural networks in hand-written digit recognition. Three topologies of the recurrent neural networks have been investigated. In the first topology, nodes of the input layer in the previous step are fed back to nodes of the input layer in the next step. In the second topology, nodes of the hidden layer in the previous step are fed back to nodes of the input layer in the next step. In the third topology, nodes of the output layer in the previous step are fed back to nodes of the input layer in the next step. We ran experiments to compare these four types of networks (one feed-forward and three recurrent networks). The data used in the experiments are hand-written Arabic numerals (0-9), each of which contains 10,000 examples. First, we selected one type of recurrent neural networks with the best parameter set that provided the best performance among the three topologies of the recurrent neural networks, and also determined a feed-forward neural network with the best parameter set. Next, the selected recurrent neural network and the feed-forward neural network were thoroughly compared by using 5-fold cross validation. The experimental results show that the feed-forward neural network provides is more accurate than the recurrent neural network.

Department....Computer Engineering.....Student's signature Sompong Sena-amporncha
Field of study...Computer Science.....Advisor's signature.....
Academic year ....2006.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล โดยท่านได้ให้ความรู้ คำแนะนำ แนวทางที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา ผศ.ดร.ญาใจ ลิ่มปิยะกรณ์ และอ.ดร.อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ ที่ช่วยอบรมสั่งสอนและประสิทธิประสาทวิชาความรู้มาให้ตั้งแต่เล็กจนโต

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญภาพ.....ฌ

สารบัญตาราง.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1.1 หลักการทำงานของโปรแกรมโอซีอาร์.....4

2.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญ.....5

2.1.3 นิวรอลเน็ตเวิร์ก.....7

2.1.3.1 ข่ายงานชั้นเดียว.....8

2.1.3.2 นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า.....9

2.1.3.3 นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับ.....11

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....13

บทที่ 3 การทดลอง.....16

3.1 โครงสร้างของนิวรอลเน็ตเวิร์กในการทดลอง.....16

3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....17

3.3 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง.....19

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....21

4.1 ผลการทดลอง.....21

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....25

4.2.1 วิเคราะห์ผลการทดลองของการทดลองในขั้นตอนที่ 1.....25

หน้า

4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองของการทดลองในขั้นตอนที่ 2.....27
4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลองของวิทยานิพนธ์.....29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....32
5.1 สรุปผลการวิจัย.....32
5.2 ข้อเสนอแนะ.....32
รายการอ้างอิง.....33
ภาคผนวก.....35
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างลายมือเขียนตัวเลข 0-9 ที่ใช้ในการทดลอง.....36
ภาคผนวก ข. กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและ
ข้อมูลตรวจสอบ (Validation Set) ของเน็ตเวิร์ก.....37
ภาคผนวก ค. ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของเน็ตเวิร์กทั้งสี่.....46
ภาคผนวก ง. กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและ
เซตตรวจสอบ (Validation Set) ของเน็ตเวิร์กที่ทดลองแบบการตรวจสอบ
ไขว้ 5 พับ (5-Fold Cross Validation).....57
ภาคผนวก จ. ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ที่ทดลองแบบการตรวจสอบไขว้ 5 พับ.....63
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....70

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 กระบวนการทำงานของโปรแกรมโอซีอาร์.....4
รูปที่ 2.2 ลักษณะเมตริกซ์ของไอเกนเวกเตอร์.....6
รูปที่ 2.3 เพอร์เซปตรอนอย่างง่าย.....8
รูปที่ 2.4 ระนาบตัดสินใจ.....9
รูปที่ 2.5 นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า.....9
รูปที่ 2.6 องค์ประกอบของฟังก์ชันกระตุ้นแบบต่าง ๆ 9
รูปที่ 2.7 นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้าและนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับ.....11
รูปที่ 2.8 (a) จอร์แดน (b) เอลแมน 12
รูปที่ 2.9 (a) นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า (b) จอร์แดนที่มีการวกกลับ 1 รอบ
(c) เอลแมนที่มีการวกกลับ 1 รอบ.....12
รูปที่ 2.10 (a) จอร์แดนที่มีการวกกลับ 2 รอบ (b) เอลแมนที่มีการวกกลับ 2 รอบ.....13
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับที่ใช้ในการทดลอง.....16
รูปที่ 3.2 นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับ 1 รอบ.....17
รูปที่ 3.3 การแบ่งข้อมูลแบบการตรวจสอบไขว้ 5 พับ.....17
รูปที่ 3.4 การทดสอบครั้งที่หนึ่ง.....18
รูปที่ 3.5 การทดสอบครั้งที่สอง.....18
รูปที่ 3.6 การทดสอบครั้งที่สาม.....18
รูปที่ 3.7 การทดสอบครั้งที่สี่.....18
รูปที่ 3.8 การทดสอบครั้งที่ห้า 19
รูปที่ ก-1 ตัวอย่างลายมือเขียนตัวเลข 0-9 ที่ใช้ในการทดลอง.....36
รูปที่ ข-1 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของ
นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 20 โหนด.....37
รูปที่ ข-2 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของ
นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 40โหนด.....38
รูปที่ ข-3 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของ
นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 60 โหนด.....38
รูปที่ ข-4 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของ
นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 125 โหนด 39
รูปที่ ข-5 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของ
นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 20 โหนด.....39

หน้า

รูปที่ ข-6 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 40 โหนด.....40
รูปที่ ข-7 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 60 โหนด.....40
รูปที่ ข-8 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 125 โหนด....41
รูปที่ ข-9 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 2 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 20 โหนด.....41
รูปที่ ข-10 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 2 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 40 โหนด.....42
รูปที่ ข-11 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 2 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 60 โหนด.....42
รูปที่ ข-12 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 2 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 125 โหนด....43
รูปที่ ข-13 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 3 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 20 โหนด.....43
รูปที่ ข-14 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 3 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 40 โหนด.....44
รูปที่ ข-15 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 3 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 60 โหนด.....44
รูปที่ ข-16 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 3 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 125 โหนด.....45
รูปที่ ง-1 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า พับที่ 1.....57
รูปที่ ง-2 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า พับที่ 2.....58
รูปที่ ง-3 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า พับที่ 3.....58
รูปที่ ง-4 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า พับที่ 4 59

หน้า

รูปที่ ง-5 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า พับที่ 5.....59
รูปที่ ง-6 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 พับที่ 1.....60
รูปที่ ง-7 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 พับที่ 2.....60
รูปที่ ง-8 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 พับที่ 3.....61
รูปที่ ง-9 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 พับที่ 4.....61
รูปที่ ง-10 กราฟค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดของข้อมูลสอนและเซตตรวจสอบของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 พับที่ 5.....62

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการรู้จำของนิวรอลเน็ตเวิร์ก แบบป้อนไปข้างหน้าและนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับทั้งสามโครงสร้าง 21
ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการรู้จำของนิวรอลเน็ตเวิร์ก แบบป้อนไปข้างหน้าและนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับทั้งสามโครงสร้าง ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 20 40 60 และ 125 โหนด 23
ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการรู้จำของนิวรอลเน็ตเวิร์ก แบบป้อนไปข้างหน้าและนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 โดยทดลองแบบการตรวจสอบไขว้ 5 พับ.....24
ตารางที่ 4.4 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อน เท่ากับ 60 โหนด.....26
ตารางที่ 4.5 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างแบบที่ 1 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 40 โหนด.....27
ตารางที่ 4.6 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ในการทดสอบทั้งห้าครั้งของนิวรอลเน็ตเวิร์ก แบบป้อนไปข้างหน้าที่ทดลองแบบการตรวจสอบไขว้ 5 พับ.....28
ตารางที่ 4.7 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ในการทดสอบทั้งห้าครั้งของนิวรอลเน็ตเวิร์ก แบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 ที่ทดลองแบบการตรวจสอบไขว้ 5 พับ 29
ตารางที่ ค-1 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 20 โหนด.....46
ตารางที่ ค-2 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 40 โหนด.....47
ตารางที่ ค-3 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 60 โหนด.....47
ตารางที่ ค-4 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 125 โหนด.....48
ตารางที่ ค-5 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 20 โหนด.....49
ตารางที่ ค-6 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 40 โหนด.....49
ตารางที่ ค-7 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 60 โหนด.....50

หน้า

ตารางที่ ค-9 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 2
ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 20 โหนด.....51
ตารางที่ ค-10 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 2
ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 40 โหนด.....52
ตารางที่ ค-11 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 2
ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 60 โหนด.....52
ตารางที่ ค-12 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 2
ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 125 โหนด.....53
ตารางที่ ค-13 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 3
ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 20 โหนด.....54
ตารางที่ ค-14 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 3
ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 40 โหนด.....54
ตารางที่ ค-15 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 3
ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 60 โหนด.....55
ตารางที่ ค-16 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 3
ที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 125 โหนด.....56
ตารางที่ จ-1 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า พับที่ 1.....63
ตารางที่ จ-2 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า พับที่ 2.....64
ตารางที่ จ-3 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า พับที่ 3.....64
ตารางที่ จ-4 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า พับที่ 4.....65
ตารางที่ จ-5 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบป้อนไปข้างหน้า พับที่ 5.....65
ตารางที่ จ-6 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 พับที่ 1...66
ตารางที่ จ-7 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 พับที่ 2...67
ตารางที่ จ-8 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 พับที่ 3...67
ตารางที่ จ-9 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1 พับที่ 4...68
ตารางที่ จ-10 ผลการทำนายตัวเลข 0-9 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบวกกลับโครงสร้างที่ 1
พับที่ 5.....69