การปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับตัวอักษรภาษาไทย โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ

นายปกรณ์ บุพศิริ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

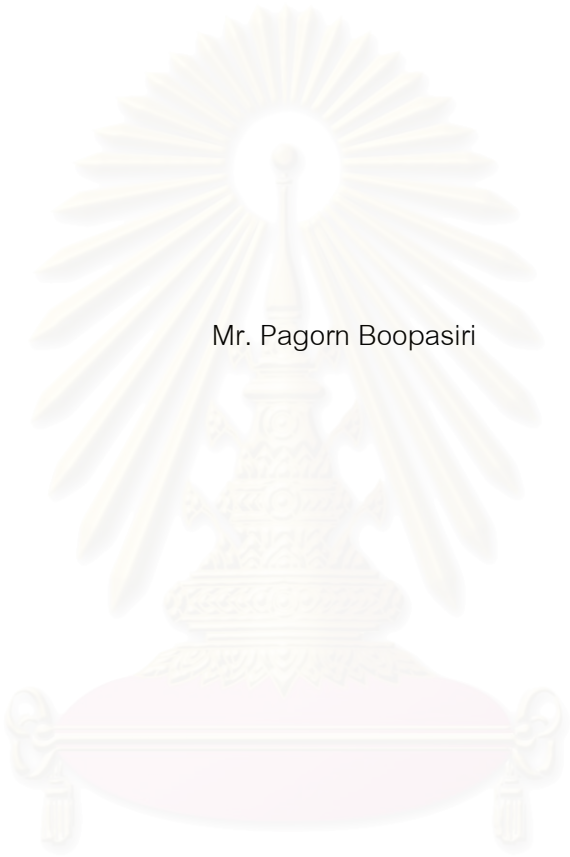
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2253-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF ONLINE HANDWRITTEN RECOGNITION SYSTEM FOR THAI CHARACTERS USING BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK

Mr. Pagorn Boopasiri



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Computer Science
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2002

ISBN 974-17-2253-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับตัวอักษรภาษาไทยโดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ
โดย	นายปกรณ์ บุพศิริ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

……. คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……. ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โควาวิสารัช)

……... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

……. กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาราทิพย์ สุวรรณศาสตร์)

……. กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์)

ปกรณ์ บุพศิริ : การปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับตัวอักษรภาษาไทยโดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ. (IMPROVEMENT OF ONLINE HANDWRITTEN RECOGNITION SYSTEM FOR THAI CHARACTERS USING BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ, 60 หน้า. ISBN 974-17-2253-2.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ สำหรับตัวอักษรภาษาไทย เน้นปรับปรุงข้อมูลที่ใช้ในการสอนข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ ซึ่งประกอบด้วย การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร และการเข้ารหัส โดยมีเทคนิคที่สำคัญที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ การหาวงรอบของตัวอักษร การใช้เขตย่อย และการเพิ่มจำนวนเข้ารหัสโหนด ในการหาวงรอบได้ใช้เทคนิคการหาจุดตัดและการเปลี่ยนแปลงของทิศทางรหัสลูกโซ่ ซึ่งจะทำให้การหาวงรอบมีความแม่นยำมากขึ้น การใช้เขตย่อยแบบ 5 เขต จะเป็นวิธีการจำแนกลักษณะของตัวอักษรได้ดี และการเพิ่มจำนวนเข้ารหัสโหนดได้ใช้เทคนิคเพิ่มจำนวนโหนดสโตรค และเพิ่มจำนวนโหนดวงรอบของตัวอักษร

จากการทดสอบข่ายงานประสาทที่ได้ ด้วยลายมือของผู้วิจัยจำนวน 2,010 ตัวอักษร พบว่าอัตราการรู้จำมีความถูกต้องร้อยละ 96.62 รู้จำผิดร้อยละ 1.79 และรู้จำไม่ได้ร้อยละ 1.59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2545	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4371444021 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEY WORD: ONLINE HANDWRITTEN RECOGNITION / BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK / FINDING CIRCLE / ZONE CODE / DOMINANT POINT

PAGORN BOOPASIRI : IMPROVEMENT OF ONLINE HANDWRITTEN RECOGNITION SYSTEM FOR THAI CHARACTERS USING BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. WIWAT VATANAWOOD, 60 pp. ISBN 974-17-2253-2.

The objective of this research is to improve the online handwritten recognition system for Thai characters. In order to improve input data used by the backpropagation neural network, the enhancement is emphasized on data preprocessing, feature extraction, and data encoding. The significant techniques used in this research are to find circles in a character, to zone a character, and to increase encoding nodes. The finding circle technique is used for precisely determining the circles by cross-finding and chain code direction technique. The zoning uses five-zone code technique to divide the character in the appropriate way for more accurate in classifying the features of the character. The increasing encoding node technique is used to add up the number of data encoding nodes especially for stroke and circle code.

The neural network experiment on 2,010 characters of the researcher's own handwriting data showed that the recognition rate is 96.62%, with 1.79% incorrect rate, and 1.59% rejection rate.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Computer Engineering Student's signature……..
Field of study Computer Science Advisor's signature…….....
Academic year 2002 Co-advisor's signature…….

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ เสนอแนะข้อคิดเห็นและแนวทางในการค้นคว้าด้วยดีตลอดมา และขอขอบคุณกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะนำ ตรวจและแก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ บมจ.บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เวลา ทุนในการศึกษาและทำการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจ ให้ข้อเสนอแนะ รวมถึงประสบการณ์การทำงาน ความรู้ที่ได้แลกเปลี่ยน และช่วยเหลือกันตลอดมา

ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดู เป็นกำลังใจและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมทั้งส่งเสริมการศึกษาให้กับผู้จัดทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

ปกรณ์ บุพศิริ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ขั้นตอนดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ 3

2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1.1 การรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์โดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ค 4
2.1.2 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการเข้ารหัสตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยเพื่อระบบการรู้จำโดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ค 4
2.1.3 การพัฒนาเครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ 5
2.2 การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น 6
2.2.1 การทำนอร์มอลไลซ์ 6
2.2.2 การประมวลผลเบื้องต้น 7
2.3 การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร 9
2.3.1 การแทนข้อมูลด้วยรหัสลูกโซ่ 9
2.3.2 การแทนข้อมูลด้วยจุดเด่น 10
2.3.3 การแทนข้อมูลด้วยรหัสโซน 10
2.3.4 การแทนข้อมูลด้วยจำนวนสโตรค 11
2.3.5 การแทนข้อมูลด้วยจำนวนวงรอบ 11

หน้า

2.4 ทฤษฎีข่ายงานประสาท 11
3 การปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทย
3.1 โครงสร้างของระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาท..... 14
3.2 การปรับปรุงการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น 15
3.2.1 การทำนอร์มอลไลซ์(Normalization) 15
3.2.2 การประมวลผลเบื้องต้น(Preprocessing)..... 17
3.3 การปรับปรุงการหาลักษณะเด่นของตัวอักษร 17
3.3.1 เทคนิคการแบ่งกลุ่มโดยอาศัยโครงสร้างพื้นฐานตัวอักษรภาษาไทย..... 17
3.3.2 เทคนิคการหาวงรอบ 19
3.3.3 เทคนิคการแทนข้อมูลด้วยรหัสโซนสำหรับตัวอักษรภาษาไทย 23
3.4 การปรับปรุงการเข้ารหัส..... 24
3.4.1 การเข้ารหัสจำนวนสโตรค..... 25
3.4.2 การเข้ารหัสจำนวน ตำแหน่ง และทิศทางการวนของวงรอบ..... 25
3.4.3 การเข้ารหัสเปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละโซน..... 26
3.4.4 การเข้ารหัสชุดข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่น..... 27
3.4.5 การเข้ารหัสโซน 28
3.5 การสอนข่ายงานประสาท..... 28
4 การทดสอบระบบการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทย
4.1 วิธีการทดสอบระบบการรู้จำ..... 31
4.1.1 การทดสอบโดยใช้เทคนิคจากงานวิจัยเดิม 31
4.1.2 การทดสอบโดยใช้เทคนิคการปรับปรุงระบบการรู้จำ..... 32
4.2 ข้อมูลลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทย..... 32
4.3 ผลการทดสอบระบบการรู้จำ..... 33
4.4 วิเคราะห์ผลระบบการรู้จำ..... 37
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 40
5.2 ข้อจำกัด..... 41
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 41

หน้า

รายการอ้างอิง 42
ภาคผนวก 43
ภาคผนวก ก.สคริปต์ที่ใช้ในการหาชุดข้อมูลวงรอบ 44
ภาคผนวก ข.ลักษณะตัวอักษรภาษาไทยที่ใช้ในการวิจัย 56
ภาคผนวก ค.ลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยที่ใช้ในการวิจัย 58
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 60

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

3.1 การเข้ารหัสข้อมูลตัวอักษรที่ใช้ในการสอนข่ายงานประสาท 24
3.2 ตัวอย่างของรหัสชุดข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่นของตัวอักษร น 27
3.3 ตัวอย่างรหัสข้อมูลที่ใช้ในการสอน และทดสอบข่ายงานประสาทของตัวอักษร น..... 29
3.4 รูปแบบของข่ายงานประสาทที่ใช้..... 30
4.1 ผลการรู้จำของข่ายงานประสาทกับตัวอักษร 2010 ตัว 33
4.2 ผลการทดสอบการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทย 34

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รูปที่

2.1 มุมที่ใช้ในการหามุมแหลม 8
2.2 แสดงทิศทางของรหัสลูกโซ่แบบ 8 ทิศทาง 9
2.3 จุดเด่นบนตัวอักษร น 10
2.4 รหัสประจำเขตย่อยของตัวอักษร 10
2.5 เซลล์ประสาทและเพอเซบทรอน [10] 11
2.6 โครงสร้างของข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ 12
3.1 โครงสร้างของระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาท 14
3.2 การทำนอร์มอลไลซ์ของตัวอักษร น 16
3.3 การทำนอร์มอลไลซ์ของสระอิ 16
3.4 การแบ่งกลุ่มโดยอาศัยโครงสร้างพื้นฐานตัวอักษรภาษาไทย 18
3.5 ตัวอักษรที่มีวงรอบแบบมีหัว 19
3.6 ตัวอักษรที่มีวงรอบแบบมีขมวด 19
3.7 ตัวอักษรที่มีวงรอบแบบมีหางม้วนตวัด 20
3.8 ตัวอักษรที่มีวงรอบแบบมีหางขมวดตวัด 20
3.9 วงรอบของตัวอักษร น 21
3.10 จุดตัดวงรอบที่สองของตัวอักษร น 21
3.11 ลักษณะการตัดกันของเส้นตรง 22
3.12 ตัวอย่างจุดตัดที่ไม่ถือว่าเป็นจุดตัดของวงรอบ 22
3.13 วงรอบที่พบในตัวอักษร ภ ที่ไม่เกิดจากจุดตัด 23
3.14 รหัสประจำเขตย่อยของตัวอักษรแบบ 5 เขต 24
3.15 ตัวอักษร น ที่แสดงลักษณะเด่นภายในเขตย่อยของตัวอักษร 25
4.1 ตัวอย่างการเขียนตัวอักษรภาษาไทย 32
4.2 กราฟเปรียบเทียบอัตราการรู้จำในงานวิจัยนี้และงานวิจัยเดิมของกลุ่มตัวอักษร ค 37
4.3 ตำแหน่งวงรอบของตัวอักษร ค 38
4.4 กราฟเปรียบเทียบอัตราการรู้จำแยกตามจำนวนจุดเด่น 39
4.5 กราฟเปรียบเทียบอัตราการรู้จำแยกตามจำนวนรหัสโซน 39
ก.1 โมดูลที่ใช้หาชุดข้อมูลวงรอบ 44
ข.1 รูปแบบการเขียนพยัญชนะไทย 56
ข.2 รูปแบบการเขียนสระ วรรณยุกต์และอักขระพิเศษ 57

หน้า

ค.1 ลายมือเขียนพยัญชนะไทย 58
ค.2 ลายมือเขียนสระ วรรณยุกต์และอักขระพิเศษ 59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการรู้จำตัวอักษรมีผู้สนใจทำการวิจัยมานานพอสมควร โดยเริ่มจากการวิจัยการรู้จำตัวพิมพ์ในภาษาต่างๆ ต่อมาจึงมีผู้หันมาศึกษาและทำการวิจัยการรู้จำลายมือเขียนกันมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อที่จะสร้างเครื่องมือที่สามารถรับข้อมูลเข้าจากการเขียนด้วยลายมือของผู้ใช้แทนทางแป้นพิมพ์ แต่อัตราการรู้จำก็ยังไม่ดีมากนัก โดยเฉพาะในภาษาไทย

ในปี พ.ศ. 2541 อภิชาต สัจจพงษ์ ได้เสนอการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาท [1] ซึ่งเทคนิคที่นำมาใช้สามารถให้อัตราการรู้จำมีความถูกต้องร้อยละ 83.43 ต่อมา โชติ ศิริวงศ์วิเชียร และปกิตต์ นิธิวิบูลย์ ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับการเข้ารหัสตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย เพื่อระบบการรู้จำโดยใช้ข่ายงานประสาท [2] เทคนิคที่นำมาใช้สามารถให้อัตราการรู้จำมีความถูกต้องร้อยละ 81.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการรู้จำทั้งสองงานวิจัยนี้ยังไม่ดีมากนัก สาเหตุหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการรู้จำที่ถูกต้องของระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ คือ การประมวลผลตัวอักษรเบื้องต้น การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร และการเข้ารหัส ซึ่งในงานวิจัยทั้งสองยังพบปัญหาและข้อจำกัดจากทั้งสามส่วนนี้ที่ยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นมาได้ และกันตา กิติยานันท์ ได้พัฒนาเครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ [3] ซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่ทำให้ลดภาระในการเขียนโปรแกรมลง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับตัวอักษรภาษาไทยโดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ โดยการใช้เทคนิคและวิธีการต่างๆ ทั้งในส่วนของการประมวลผลตัวอักษรเบื้องต้น การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร และการเข้ารหัสตัวอักษรลายมือเขียน ที่จะนำไปใช้ในการสอนข่ายงานประสาท เพื่อที่จะให้อัตราการรู้จำมีความถูกต้องมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อปรับปรุงวิธีการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยแบบออนไลน์ โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 โปรแกรมต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย ได้ทีละตัวอักษร จาก 67 ตัวอักษร ซึ่งประกอบด้วย พยัญชนะ 42 ตัว สระ 17 ตัว วรรณยุกต์ 4 ตัว และอักขระพิเศษ 4 ตัว ที่เลือกไว้ คือ ก ข ค ฆ ง จ ฉ ช ซ ฌ ญ ฎ ฏ ฐ ฑ ฒ ณ ด ต ถ ท ธ น บ ป ผ ฝ พ ฟ ภ ม ย ร ล ว ศ ษ ส ห ฬ อ ฮ ะ ิ ี ึ ื ุ ู เ แ โ ไ ใ ำ ั ฤ ฦ ่ ้ ๊ ๋ ็ ์ ฯ ๆ

1.3.2 เป็นงานปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ เพื่อให้ได้อัตราการรู้จำดีกว่างานวิจัยของโชติ ศิริวงศ์วิเชียร และ ปกิตต์ นิธิวิบูลย์ [2] โดยใช้ชุดลายมือทดสอบเดียวกัน

1.3.3 ใช้เครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ ของกันตา กิติยานันท์ [3] ในการทดลอง และใช้ไพธอนสคริปต์ (Python script) เป็นภาษาในการประมวลผลลายมือเขียน

1.3.4 ใช้เครื่องอ่านพิกัดแบบปากกาเป็นอุปกรณ์นำข้อมูลเข้า

1.3.5 ลักษณะการเขียนตัวอักษรภาษาไทยต้องเป็นไปตามรูปแบบจาก แบบฝึกหัดคัดไทย ของสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) [4]

1.3.6 ใช้ลายมือจากบุคคลเดียวในการสอนข่ายงานประสาทและในการทดสอบ

1.4 ขั้นตอนดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ของการแยกแยะลักษณะของตัวอักษรไทยที่เขียนด้วยลายมือ

1.4.2 ศึกษาความรู้ทางด้านข่ายงานประสาท

1.4.3 ศึกษาลักษณะที่เหมาะสมของข้อมูลที่จะใช้ในการสอนข่ายงานประสาท

1.4.4 รวบรวมชุดการสอน (Training set) และชุดการทดสอบ (Test set)

1.4.5 พัฒนาโปรแกรมต้นแบบเพื่อนำข้อมูลเข้าประมวลผลในข่ายงานประสาท

1.4.6 ทำการสอนข่ายงานประสาทด้วยชุดการสอน

1.4.7 ทดสอบการรู้จำและวิเคราะห์ผล

1.4.8 สรุปผลการวิจัยและจัดทำเอกสาร

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.5.1 ได้ข่ายงานประสาทที่ใช้ในการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทย

1.5.2 เป็นต้นแบบในการนำข่ายงานประสาทไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์โดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ค(2541) [1]

โดย อภิชาต สัจจพงษ์

เสนอการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาท วิธีการที่ใช้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น (Data preprocessing) การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร (Feature extraction) และการสอนข่ายงานประสาท ขั้นตอนแรกเป็นการปรับแต่งข้อมูลเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลในขั้นถัดไป โดยปรับให้มีอัตราส่วนของตัวอักษรคงเดิม และมีความสูงเท่ากันทั้งหมด ขั้นตอนที่สองใช้เพื่อการแยกแยะลักษณะของตัวอักษร โดยใช้การหาจุดเด่น (Dominant point) แล้วใช้รหัสลูกโซ่ของฟรีแมน (Freeman's chain code) ในการระบุทิศทางของจุดเด่นที่ได้ เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกลักษณะตัวอักษร และใช้การหารหัสโซนของตัวอักษร (Zone code) เพื่อเป็นส่วนช่วยในการจำแนกความแตกต่าง ขั้นตอนสุดท้ายคือการสอนข่ายงานประสาทเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่สอง ผ่านการเข้ารหัสตัวอักษรลายมือเขียนมาใช้ในการสอนข่ายงานประสาท เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนัก (Weight) ที่ใช้ในการแยกแยะลักษณะของตัวอักษร โดยใช้จำนวนชั้นอินพุต ชั้นแอบแฝง และชั้นเอาต์พุตอย่างละ 1 ชั้น โดยมีจำนวนโหนด 281, 400 และ 67 โหนด ตามลำดับ จากการทดสอบกับตัวอักษร 1,340 ตัว ซึ่งได้จากลายมือเขียนของผู้วิจัยเพียงคนเดียว มีรูปแบบตัวอักษร 67 แบบ ผลที่ได้มีความถูกต้อง 83.43 เปอร์เซ็นต์

2.1.2 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการเข้ารหัสตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยเพื่อระบบการรู้จำโดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ค(2543) [2]

โดย โชติ ศิริวงศ์วิเชียร และ ปกิตต์ นิธิวิบูลย์

เสนอการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการเข้ารหัสตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย เพื่อระบบการรู้จำโดยใช้ข่ายงานประสาท โดยเครื่องมือทางซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้น ครอบคลุมเทคนิคต่างๆ

ในการหาลักษณะสำคัญของตัวอักษรลายมือเขียน ได้แก่ เทคนิคการหาขอบเขตย่อย เทคนิคการหาทิศทางลูกโซ่ของฟรีแมน เทคนิคการหาจุดเด่น เทคนิคการหาจำนวนสโตรค เทคนิคการหาจำนวนและตำแหน่งของหัวของตัวอักษร และเทคนิคการหาเปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละขอบเขตย่อย ผลการทดสอบการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยที่ได้จากเครื่องมือทางซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นพบว่า เมื่อใช้เทคนิคร่วมระหว่างการหาขอบเขตย่อย การหาจุดเด่น เทคนิคการหาจำนวนสโตรค เทคนิคการหาจำนวนและตำแหน่งของหัวของตัวอักษร และเทคนิคการหาเปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละขอบเขตย่อย สามารถให้ผลการรู้จำที่ดีที่สุด คือ รู้จำถูกต้องร้อยละ 81.9 รู้จำไม่ได้ร้อยละ 12.1 และรู้จำผิดร้อยละ 6.0 จากตัวอักษรรวมที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 20 ชุด โดยในแต่ละชุดจะประกอบด้วยอักษรพยัญชนะไทย 42 ตัว สระ 17 ตัว วรรณยุกต์ 4 ตัว และอักขระพิเศษ 3 ตัว

งานวิจัย [2] นี้จะถูกนำมาใช้เป็นแนวทางเบื้องต้น และใช้เป็นหลักในการปรับปรุงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ การปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับตัวอักษรภาษาไทย โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ

2.1.3 **การพัฒนาเครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ**(2544) [3]

โดย กันตา กิติยานันท์

เสนอการพัฒนาเครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ โดยเครื่องมือนี้จะนำข้อมูลตัวอักษรลายมือเขียน และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญมาทำการประมวลผล จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลเหล่านั้นส่งไปยังโปรแกรมข่ายงานประสาท ของมหาวิทยาลัยสตุทการ์ท (SNNS: Stuttgart Neural Network Simulator) [5] เพื่อการรู้จำลายมือเขียน รวมไปถึงการรายงานผลการรู้จำให้กับผู้ใช้เครื่องมือได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้ภาระในการเขียนโปรแกรมลดลง เครื่องมือนี้ยังประกอบไปด้วยความสามารถดังนี้คือ ส่วนจัดเก็บข้อมูลตัวอักษรไว้ในฐานข้อมูลที่สามารถรองรับลายมือเขียนจากผู้เขียนหลายๆ คน ส่วนการสร้างและแก้ไขภาษาไพธอนสคริปต์ที่ใช้ในการประมวลผลลายมือเขียน รวมไปถึงการจัดเตรียมส่วนต่อประสานกับโปรแกรมข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับเพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้อย่างสะดวกและง่ายยิ่งขึ้น ในส่วนสุดท้ายของเครื่องมือคือส่วนในการแสดงผลการรู้จำในรูปของเปอร์เซ็นต์จากการออกแบบเครื่องมือนี้ กระบวนการในการเข้ารหัสข้อมูลลายมือเขียน ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการพัฒนาอัตราการรู้จำให้ดีขึ้น สามารถถูกเพิ่ม และแก้ไขได้โดยไม่มีผลกระทบกับส่วนอื่นๆ

เครื่องมือจากงานวิจัย [3] นี้ จะถูกนำมาใช้ในการทดลองการปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับตัวอักษรภาษาไทยโดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ ของงานวิจัยนี้

2.2 การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น[6]

การเขียนตัวอักษรหนึ่งครั้งหรือหนึ่งสโตรค (Stroke) หมายถึงจุดที่ปากกาสัมผัสกับพื้นที่เขียนจนกระทั่งยกปากกาขึ้น สามารถอธิบายลำดับของจุดบนระนาบ XY ในหนึ่งสโตรคได้ ดังสมการที่ 2.1

$$S = p_1 p_2 ... p_L \qquad ...(2.1)$$

เมื่อ

S คือ สโตรคในการเขียนหนึ่งครั้ง

p_i คือ คู่ลำดับ (x_i, y_i) เมื่อ $1 \le i \le L$

p_1 คือ จุดแรกที่ปากกาเริ่มสัมผัสกับพื้นที่เขียน

p_L คือ จุดสุดท้ายก่อนที่จะยกปากกาออกจากพื้นที่เขียน

L คือ จำนวนของจุดในการเขียนหนึ่งสโตรค

การเขียนตัวอักษรที่เป็นลายมือเขียนในหนึ่งตัว สามารถอธิบายได้เป็นลำดับของสโตรคดังสมการที่ 2.2

$$C = S_1 S_2 ... S_N \qquad ...(2.2)$$

เมื่อ

C คือ ลำดับสโตรคของตัวอักษร

S_i คือ สโตรคที่ i ในการเขียน

N คือ จำนวนของสโตรคในการเขียนตัวอักษรนั้น ๆ

2.2.1 การทำนอร์มอลไลซ์[6]

เนื่องจากขนาดของตัวอักษรจากลายมือเขียนมีขนาดและตำแหน่งที่ไม่แน่นอน ดังนั้นจึงต้องมีการทำนอร์มอลไลซ์ เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลต่อไป การปรับอัตราส่วนทั้งในแนวระดับและแนวตั้งของตัวอักษรแต่ละตัวทำได้ดังนี้

$$x_i = \frac{x_i^o - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} W \qquad ...(2.3)$$

$$y_i = \frac{y_i^o - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} H \qquad \ldots(2.4)$$

เมื่อ

(x_i^o, y_i^o) คือ จุดที่เป็นข้อมูลจริง

(x_i, y_i) คือ จุดที่เกิดจากการแปลงค่าแล้ว

$x_{\min}$ คือ พิกัด x ที่มีค่าน้อยที่สุดในข้อมูลจริงที่ได้จากการเขียน

$y_{\min}$ คือ พิกัด y ที่มีค่าน้อยที่สุดในข้อมูลจริงที่ได้จากการเขียน

$x_{\max}$ คือ พิกัด x ที่มีค่ามากที่สุดในข้อมูลจริงที่ได้จากการเขียน

$y_{\max}$ คือ พิกัด y ที่มีค่ามากที่สุดในข้อมูลจริงที่ได้จากการเขียน

W และ H คือ ความกว้างและความสูงของตัวอักษรที่ปรับแล้วตามลำดับ

ในการปรับให้ตัวอักษรมีความสูงเท่ากัน [1] และมีอัตราส่วนคงที่นั้นสามารถทำได้โดยใช้สมการที่ 2.5

$$r = \frac{h_n}{h_o} \qquad \ldots(2.5)$$

เมื่อ

r คือ อัตราส่วนของความสูงใหม่เทียบกับความสูงเดิม

h_n คือ ความสูงใหม่ของตัวอักษรลายมือเขียน

h_o คือ ความสูงเดิมของตัวอักษรลายมือเขียน

เมื่อได้อัตราส่วนนี้มาแล้วก็ทำการคำนวณหาค่าพิกัดตามแนวระนาบและแนวตั้งใหม่ซึ่งได้จากการนำอัตราส่วนนี้คูณกับทุกจุดของตัวอักษร

2.2.2 **การประมวลผลเบื้องต้น**[7]

ข้อมูลลายมือเขียนที่ได้จากกระดานอิเล็กทรอนิกส์จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของลำดับจุดบนระนาบ xy ซึ่งข้อมูลนั้นอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้จากตัวอุปกรณ์เอง และทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลทำให้เกิดปัญหาการประมวลผลการรู้จำลายมือเขียนที่ต้องใช้เวลามากขึ้น ดังนั้นการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้นจึงเป็นการกำจัดสัญญาณรบกวนของข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปทำการหาลักษณะเด่นได้ง่ายขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

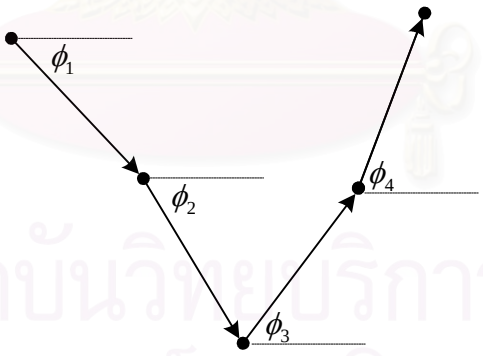
1. การปรับเส้นให้ราบเรียบขึ้น (Modified gear backlash smoothing) เป็นการปรับระยะห่างของจุด 2 จุด ระหว่างจุดก่อนหน้ากับจุดปัจจุบัน โดยทำการเลื่อนจุดปัจจุบันจากตำแหน่งเดิม

ไปเป็นระยะไม่เกิน *k* หน่วยเทียบจากจุดก่อนหน้า โดยมีทิศทางในการการเปลี่ยนแปลงไปในแนวตั้ง แนวนอน ทั้งนี้จะทำให้จุดทั้งสองไม่ห่างกันจนเกินไป

2. การกรองด้วยระยะห่างที่น้อยที่สุด (Minimum distance filtering) ช่วยในการกำจัดจุดที่อยู่ชิดกันต่ำกว่าค่าที่กำหนด ทั้งนี้เพื่อลดจำนวนจุดที่ซ้ำซ้อนออกไป ยกเว้นจุดที่เป็นจุดเริ่มต้นและสิ้นสุด การกรองด้วยวิธีนี้จะยังคงรักษารายละเอียดของข้อมูลโดยรวมไว้ได้

3. การทำให้เรียบโดยการเฉลี่ยให้เป็นแนวเส้นตรง (Straight line average smoothing) เป็นการทำให้เส้นมีความเรียบมากขึ้น วิธีนี้จะพิจารณาจาก 3 จุด โดยการเลื่อนจุดที่กำลังพิจารณาไปยังจุดที่อยู่ระหว่างกลางของจุดหน้าและจุดหลัง

4. การทำให้เรียบโดยการเฉลี่ยให้เป็นแนวเส้นตรงโดยมีมุมเข้ามาร่วมในการพิจารณา (Straight line average smoothing with angle constraint) การทำให้เรียบจะทำเฉพาะจุดที่ไม่ใช่จุดที่มีมุมแหลม เพื่อให้จุดนั้นคงรูปร่างเช่นเดิมไว้ การพิจารณาว่าจุดใดมีมุมที่แหลมพอหรือไม่ คำนวณได้จากผลรวมของค่ามุมของจุดรอบข้างของจุดนั้นข้างหน้า 2 จุด และถัดไปอีก 2 จุด ดังสมการที่ 2.6 ซึ่งถ้าผลรวมของค่ามุมน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ (เช่น กำหนดให้เท่ากับ 60 องศา) จุดปัจจุบันจะถูกทำตามขั้นตอนที่ 3 คือการทำให้เรียบโดยการเฉลี่ยให้เป็นแนวเส้นตรงอีกครั้ง



รูปที่ 2.1 มุมที่ใช้ในการหามุมแหลม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\phi_A = | \phi_1 + \phi_2 - \phi_3 - \phi_4 | \quad \ldots(2.6)$$

เมื่อ

ϕ_A คือ ค่ามุมของจุดที่กำลังพิจารณา

ϕ_T คือ ค่ามุมแหลมที่กำหนด

ϕ_1 คือ ค่ามุมของจุดก่อนหน้าจุดที่พิจารณา 1 จุด

ϕ_2 คือ ค่ามุมของจุดก่อนจุดที่พิจารณา 2 จุด

ϕ_3 คือ ค่ามุมของจุดถัดจากจุดที่พิจารณา 1 จุด

ϕ_4 คือ ค่ามุมของจุดถัดจากจุดที่พิจารณา 2 จุด

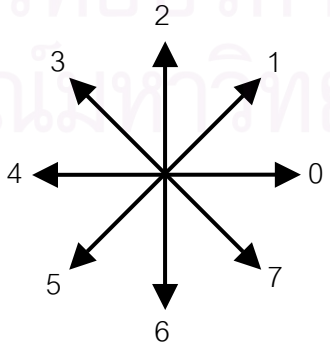
ถ้า $\phi_A < \phi_T$ จุดนั้นจะถูกทำตามขั้นตอนที่ 3 คือ การทำให้เรียบ

5. การกำจัดเส้นที่เกิดจากการวางปากกาหรือยกปากกา (Serif removal) เป็นขั้นตอนในการลบเส้นที่ไม่ต้องการของตัวอักษรออก ซึ่งเส้นที่เกินนี้ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของตัวอักษรทำให้การแปลความหมายผิดพลาดได้

2.3 การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร

2.3.1 การแทนข้อมูลด้วยรหัสลูกโซ่[8]

รหัสลูกโซ่นี้ใช้ในการแสดงทิศทางการเชื่อมต่อระหว่างจุด โดยทิศทางที่ได้กำหนดไว้จะแบ่งออกเป็น 8 ทิศทาง ดังรูปที่ 2.2 และสามารถใช้ทิศทางของรหัสลูกโซ่นี้แทนข้อมูลของตัวอักษรได้



รูปที่ 2.2 แสดงทิศทางของรหัสลูกโซ่แบบ 8 ทิศทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2 **การแทนข้อมูลด้วยจุดเด่น**[9]

จุดเด่นในสโตรค ประกอบด้วย 3 จุดด้วยกัน ได้แก่ จุดแรกในสโตรค คือจุดแรกที่ปากกาสัมผัสกระดานอิเล็กทรอนิกส์ จุดสุดท้ายในสโตรค คือจุดที่ยกปลายปากกาขึ้น และจุดที่อยู่บนส่วนโค้งที่มีความโค้งมากที่สุด (Extrema of curvature) โดยการสังเกตทิศทางรหัสลูกโซ่ของจุดก่อนและหลังจุดที่กำลังพิจารณา 1 จุด จะต้องไม่มีทิศทางเดียวกัน ซึ่งจุดเด่นในสโตรคเหล่านี้ใช้เพื่อลดจำนวนข้อมูลของตัวอักษรที่จะใช้ในการเข้ารหัส และเพื่อใช้ในการกำหนดให้เป็นลักษณะเด่นของตัวอักษร

รูปที่ 2.3 จุดเด่นบนตัวอักษร น

2.3.3 **การแทนข้อมูลด้วยรหัสโซน**[1]

เป็นการนำเอาข้อมูลจากขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นที่ผ่านมา มาทำการแบ่งเป็นเขตย่อยจำนวน 9 เขต โดยการแบ่งความกว้างและความสูงของตัวอักษรลายมือเขียนออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน ดังรูปที่ 2.4 จากนั้นจึงมาพิจารณาว่าแต่ละจุดที่ประกอบกันเป็นตัวอักษรมีค่ารหัสโซนเป็นอย่างไร หรือพิจารณาเวคเตอร์ของจุดเด่นแต่ละอันว่ามีจุดเริ่มต้นอยู่ที่เขตย่อยใด และมีจุดสิ้นสุดที่เขตย่อยใด จนครบทุกเวคเตอร์

7	8	9
4	5	6
1	2	3

รูปที่ 2.4 รหัสประจำเขตย่อยของตัวอักษร

2.3.4 **การแทนข้อมูลด้วยจำนวนสโตรค**[6]

จำนวนสโตรค เป็นคุณลักษณะอีกชนิดหนึ่งที่สามารถใช้เป็นข้อมูลในการเรียนรู้ และการทดสอบการรู้จำได้ สามารถหาได้โดยการนับจำนวนจุดเริ่มต้น หรือจำนวนจุดสุดท้ายอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งในภาษาไทยตัวอักษรลายมือเขียนหนึ่งตัวจะมีจำนวนสโตรคได้มากที่สุด 2 สโตรค

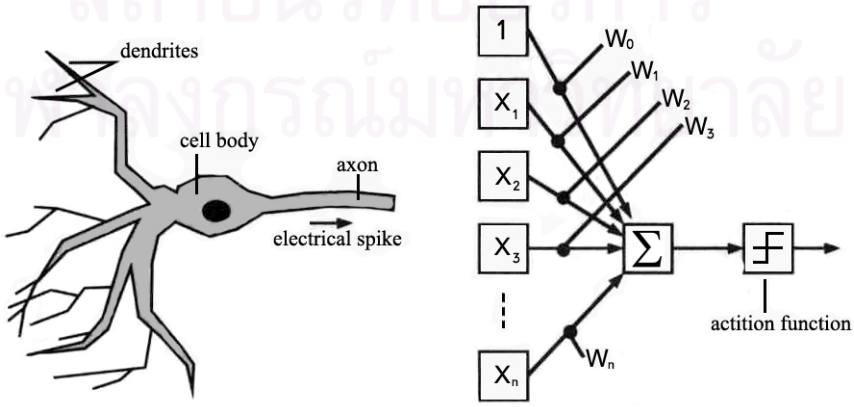
2.3.5 **การแทนข้อมูลด้วยจำนวนวงรอบ**[2]

จำนวนวงรอบ คือ จำนวนของชุดข้อมูลจุดที่มีลักษณะการเรียงลำดับของจุดเป็นวงรอบ ในภาษาไทยวงรอบสามารถเห็นได้โดยทั่วไปในลักษณะที่เป็นหัวของตัวอักษร

ลักษณะของวงรอบสามารถหาได้โดยการสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของรหัสทิศทาง (Direction code) ในชุดของจุดที่อยู่ต่อเนื่องกันไป ถ้าชุดของจุดใดมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่น่าจะก่อให้เกิดวงรอบก็จะถือว่าเจอวงรอบแล้ว และจะเลยไปพิจารณาจุดอื่นต่อไป

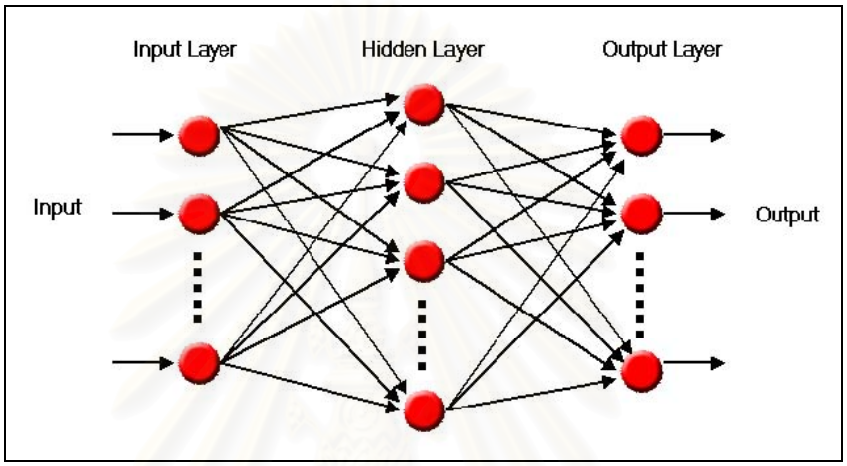
2.4 **ทฤษฎีข่ายงานประสาท**[10]

ข่ายงานประสาท เป็นระบบการประมวลผลแบบหนึ่งที่เลียนแบบลักษณะทั่วไปของระบบสมองมนุษย์ ที่มีเซลล์ประสาท (Neuron) จำนวนมากเชื่อมต่อกัน โดยข่ายงานประสาทจะจำลองให้มีลักษณะคล้ายเซลล์ประสาท คือ เพอเซบทรอน (Perceptron) จำนวนหนึ่งเช่นกันที่เชื่อมต่อถึงกัน โดยมีค่าน้ำหนัก (Weight) ของแต่ละการเชื่อมต่อ เมื่อมีการให้ตัวอย่างที่ใช้ในการเรียนรู้ ข่ายงานประสาทก็จะปรับค่าน้ำหนักให้เหมาะสม จนได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องหรือมีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด และสามารถนำค่าน้ำหนักนี้ไปใช้ในงานที่ต้องการได้ ข่ายงานประสาทจะเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกหรือแบ่งประเภท เซลล์ประสาทและเพอเซบทรอนแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เซลล์ประสาทและเพอเซบทรอน [10]

งานวิจัยนี้จะใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Backpropagation neural network) เป็นข่ายงานประสาทแบบหลายชั้น ซึ่งประกอบด้วยชั้นอินพุต (Input layer) ชั้นซ่อน (Hidden layer) และชั้นเอาต์พุต (Output layer) โดยแต่ละชั้นจะมีการเชื่อมต่อไปยังชั้นถัดไปแบบการเชื่อมต่อถึงกันหมด (Fully connected) แสดงดังในรูปที่ 2.6 โดยจำนวนชั้นซ่อนสามารถมีได้มากกว่า 1 ชั้น



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ

ในขั้นตอนการทำงานของข่ายงานประสาท จะป้อนข้อมูลที่ใช้สอนเข้าไปทางชั้นอินพุต ข่ายงานประสาทจะคำนวณค่าผลลัพธ์ ตามสมการที่ 2.7 ตามลำดับจนได้ค่าข้อมูลออกมาที่ชั้นเอาต์พุต

$$o = \sigma(\vec{w} \cdot \vec{x}) \qquad \ldots(2.7)$$

เมื่อ

o คือ ข้อมูลออก

$\vec{x}$ คือ ข้อมูลเข้า

$\vec{w}$ คือ ค่าน้ำหนักของอินพุตนั้น ๆ

σ คือ ฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation function) โดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) ตามสมการที่ 2.8

$$\sigma(y) = \frac{1}{1+e^{-y}} \qquad \ldots(2.8)$$

ค่าข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าข้อมูลเป้าหมายที่ต้องการ โดยข่ายงานประสาทจะทำการคำนวณค่าความผิดพลาด (error) ตามสมการที่ 2.9 หรือ 2.10 แล้วส่งค่าความผิดพลาดนั้นกลับมาสู่ในแต่ละชั้นของข่ายงานประสาท เพื่อทำการปรับปรุงค่าน้ำหนักต่อไป ตามสมการที่ 2.11 เมื่อทำการสอนจนกระทั่งได้ค่าความผิดพลาดอยู่ในระดับที่พอใจ ก็จะเก็บค่าน้ำหนักของข่ายงานประสาทนั้นไว้ ซึ่งค่าน้ำหนักที่เก็บไว้นี้จะถูกนำไปใช้ในการรู้จำ

$$\delta_k = o_k(1-o_k)(t_k - o_k) \qquad \text{...(2.9)}$$

$$\delta_h = o_h(1-o_h)\sum_{k \in outputs} w_{kh}\delta_k \qquad \text{...(2.10)}$$

$$w_{ji} = w_{ji} + \Delta w_{ji} \qquad \text{...(2.11)}$$

$$\Delta w_{ji} = \eta \delta_j x_{ji} \qquad \text{...(2.12)}$$

เมื่อ

δ_k เป็นค่าความผิดพลาดของแต่ละโหนดเอาต์พุต k

δ_h เป็นค่าความผิดพลาดของแต่ละโหนดที่ชั้นซ่อน h

$\vec{t}$ เป็นเวกเตอร์ของเป้าหมายของเอาต์พุตของข่ายงานประสาท

η เป็นค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate)

x_{ji} เป็นอินพุตขององค์ประกอบ j ซึ่งมาจากองค์ประกอบ i

w_{ji} เป็นค่าน้ำหนักขององค์ประกอบ j ซึ่งมาจากองค์ประกอบ i

o_u เป็นค่าเอาต์พุตของแต่ละโหนดในข่ายงานประสาท

u เป็นโหนดแต่ละโหนดในข่ายงานประสาท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

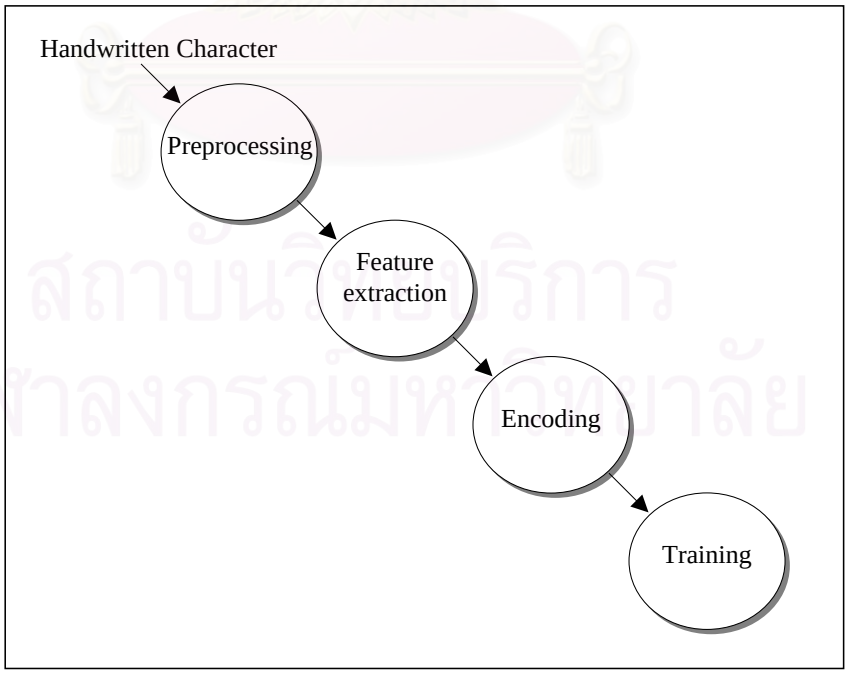
บทที่ 3

การปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทย

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างของระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาท วิธีการปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียน ซึ่งประกอบด้วยปรับปรุงการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น ปรับปรุงการหาลักษณะเด่นของตัวอักษร ปรับปรุงการเข้ารหัส และการสอนข่ายงานประสาท

3.1 โครงสร้างของระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาท

โครงสร้างของระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาท เริ่มจากการรับข้อมูลตัวอักษรลายมือเขียน (Handwritten character) จากอุปกรณ์มาตรฐานในการนำข้อมูลเข้า เช่น รับข้อมูลจากปากกาด้วยเครื่องอ่านพิกัด (Digitizer) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ากระดานอิเล็กทรอนิกส์ แล้วทำการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น (Preprocessing) หาลักษณะเด่นของตัวอักษร (Feature extraction) และทำการเข้ารหัส (Encoding) ข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้สอนข่ายงานประสาท (Training) ผลลัพธ์ที่ได้คือข่ายงานประสาทที่สามารถรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนได้ โดยโครงสร้างเหล่านี้จะเชื่อมต่อเพื่อทำงานร่วมกัน แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาท

เนื่องจากองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่ออัตราการรู้จำคือ ข้อมูลที่ใช้ในการสอนข่ายงานประสาท โดยข้อมูลที่ใช้สอนนี้จะได้จาก 3 ส่วนด้วยกัน คือ การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร และการเข้ารหัส งานวิจัยนี้จะเน้นการปรับปรุงในทั้ง 3 ส่วน เพื่อที่จะให้อัตราการรู้จำตัวอักษรดีขึ้น

3.2 การปรับปรุงการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น

การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น เป็นการปรับแต่งและกำจัดสัญญาณรบกวนของข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการรับข้อมูลตัวอักษรลายมือเขียน เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมและง่ายต่อการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป คือ การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้นในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 การทำนอร์มอลไลซ์(Normalization)

การทำนอร์มอลไลซ์ เป็นการปรับขนาดตัวอักษรลายมือเขียนให้มีขนาดเท่ากัน และย้ายกรอบของตัวอักษรไปยังจุดกำเนิด (Origin) เพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างในด้านของขนาด และตำแหน่งการเขียนในแต่ละครั้ง

ในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงวิธีการทำนอร์มอลไลซ์ใหม่ โดยใช้วิธีการปรับให้อัตราส่วนของตัวอักษรคงที่ ซึ่งอัตราส่วนที่ได้นี้ เกิดจากการคำนวณหาอัตราส่วนของความสูงใหม่เทียบกับความสูงเดิม หรือความกว้างใหม่เทียบกับความกว้างเดิม ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวอักษรนั้นว่ามีความสูงหรือความกว้างมากกว่ากัน ถ้ามีความสูงมากกว่าความกว้าง จะใช้ความสูงเป็นตัวเปรียบเทียบ

การทำนอร์มอลไลซ์สามารถทำได้ดังนี้

$$r = \frac{h_n}{h_o} \quad \text{เมื่อ} \quad h_o > w_o \qquad \ldots(3.1)$$

$$r = \frac{w_n}{w_o} \quad \text{เมื่อ} \quad w_o > h_o \qquad \ldots(3.2)$$

เมื่อ

r	คือ อัตราส่วนของตัวอักษร
h_n	คือ ความสูงใหม่ของตัวอักษรลายมือเขียน (งานวิจัยนี้ใช้ 600 หน่วย)
h_o	คือ ความสูงเดิมของตัวอักษรลายมือเขียน
w_n	คือ ความกว้างใหม่ของตัวอักษรลายมือเขียน (งานวิจัยนี้ใช้ 600 หน่วย)
w_o	คือ ความกว้างเดิมของตัวอักษรลายมือเขียน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$x_i = \frac{x_i^o - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} r \qquad \ldots(3.3)$$

$$y_i = \frac{y_i^o - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} r \qquad \ldots(3.4)$$

เมื่อ

(x_i^o, y_i^o) คือ จุดที่เป็นข้อมูลจริง

(x_i, y_i) คือ จุดที่เกิดจากการแปลงค่าแล้ว

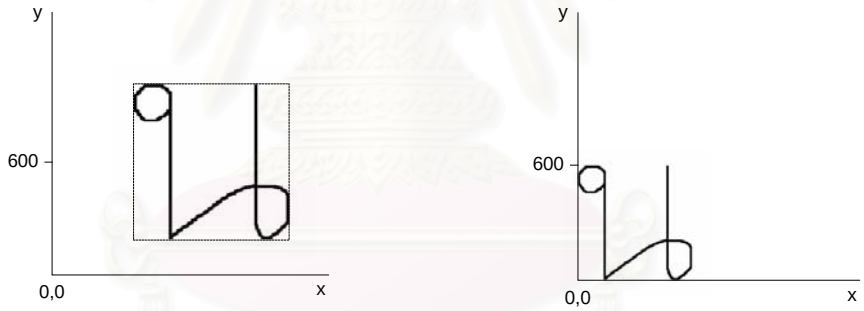
$x_{\min}$ คือ พิกัด x ที่มีค่าน้อยที่สุดในข้อมูลจริงที่ได้จากการเขียน

$y_{\min}$ คือ พิกัด y ที่มีค่าน้อยที่สุดในข้อมูลจริงที่ได้จากการเขียน

$x_{\max}$ คือ พิกัด x ที่มีค่ามากที่สุดในข้อมูลจริงที่ได้จากการเขียน

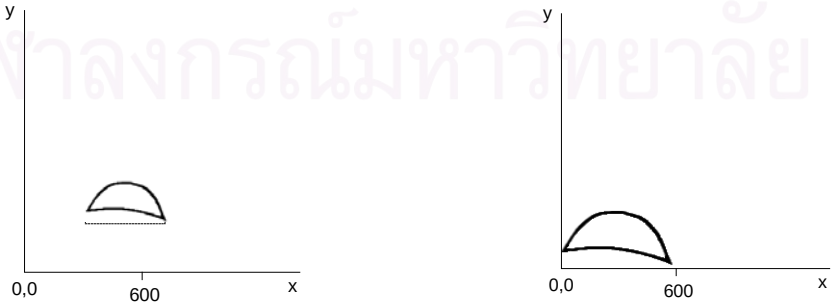
$y_{\max}$ คือ พิกัด y ที่มีค่ามากที่สุดในข้อมูลจริงที่ได้จากการเขียน

ตัวอย่างการทำนอร์มอลไลซ์ของตัวอักษร น และสระอิ แสดงดังรูปที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ



(ก) ก่อนทำนอร์มอลไลซ์ (ข) หลังทำนอร์มอลไลซ์

รูปที่ 3.2 การทำนอร์มอลไลซ์ของตัวอักษร น



(ก) ก่อนทำนอร์มอลไลซ์ (ข) หลังทำนอร์มอลไลซ์

รูปที่ 3.3 การทำนอร์มอลไลซ์ของสระอิ

3.2.2 การประมวลผลเบื้องต้น(Preprocessing) [7]

การประมวลผลเบื้องต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

1. ทำนอร์มอลไลซ์ โดยใช้วิธีการปรับให้อัตราส่วนของตัวอักษรคงที่

2. ทำให้เรียบโดยการเฉลี่ยให้เป็นแนวเส้นตรง (Straight line average smoothing) เป็นการทำให้เส้นมีความเรียบมากขึ้น วิธีนี้จะพิจารณาจาก 3 จุด โดยการเลื่อนจุดที่กำลังพิจารณาไปยังตำแหน่งที่เป็นแนวระหว่างจุดหน้าและจุดหลัง

3. กรองด้วยระยะห่างที่น้อยที่สุด (Minimum distance filtering) ช่วยในการกำจัดจุดที่อยู่ชิดกันมากเกินไป ซึ่งงานวิจัยนี้กำจัดจุดที่อยู่ติดกันต่ำกว่า 25 หน่วย (เทียบจากขนาดตัวอักษร 600x600 หน่วย) ทั้งนี้เพื่อลดจำนวนจุดที่ซ้ำซ้อนออกไป ยกเว้นจุดที่เป็นจุดเริ่มต้นและสิ้นสุด การกรองด้วยวิธีนี้จะยังคงรักษารายละเอียดของข้อมูลโดยรวมไว้ได้

4. ทำนอร์มอลไลซ์อีกรอบ เพื่อให้กรอบของตัวอักษรอยู่จุดกำเนิดหลังการกรองด้วยระยะห่างที่น้อยที่สุด

3.3 การปรับปรุงการหาลักษณะเด่นของตัวอักษร

ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนคือความแตกต่างของลายมือเขียน ทั้งความแตกต่างของลายมือเขียนของคนๆ เดียวกัน และความแตกต่างของลายมือเขียนระหว่างบุคคล ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องหาลักษณะเด่นที่เป็นลักษณะเฉพาะ (Local feature) ของแต่ละตัวอักษร เพื่อให้ตัวอักษรเกิดความเหมือนในตัวอักษรตัวเดียวกัน และแตกต่างกันในตัวอักษรคนละตัว ทั้งนี้เพื่อที่จะลดปัญหาที่เกิดจากความแตกต่างของลายมือเขียน

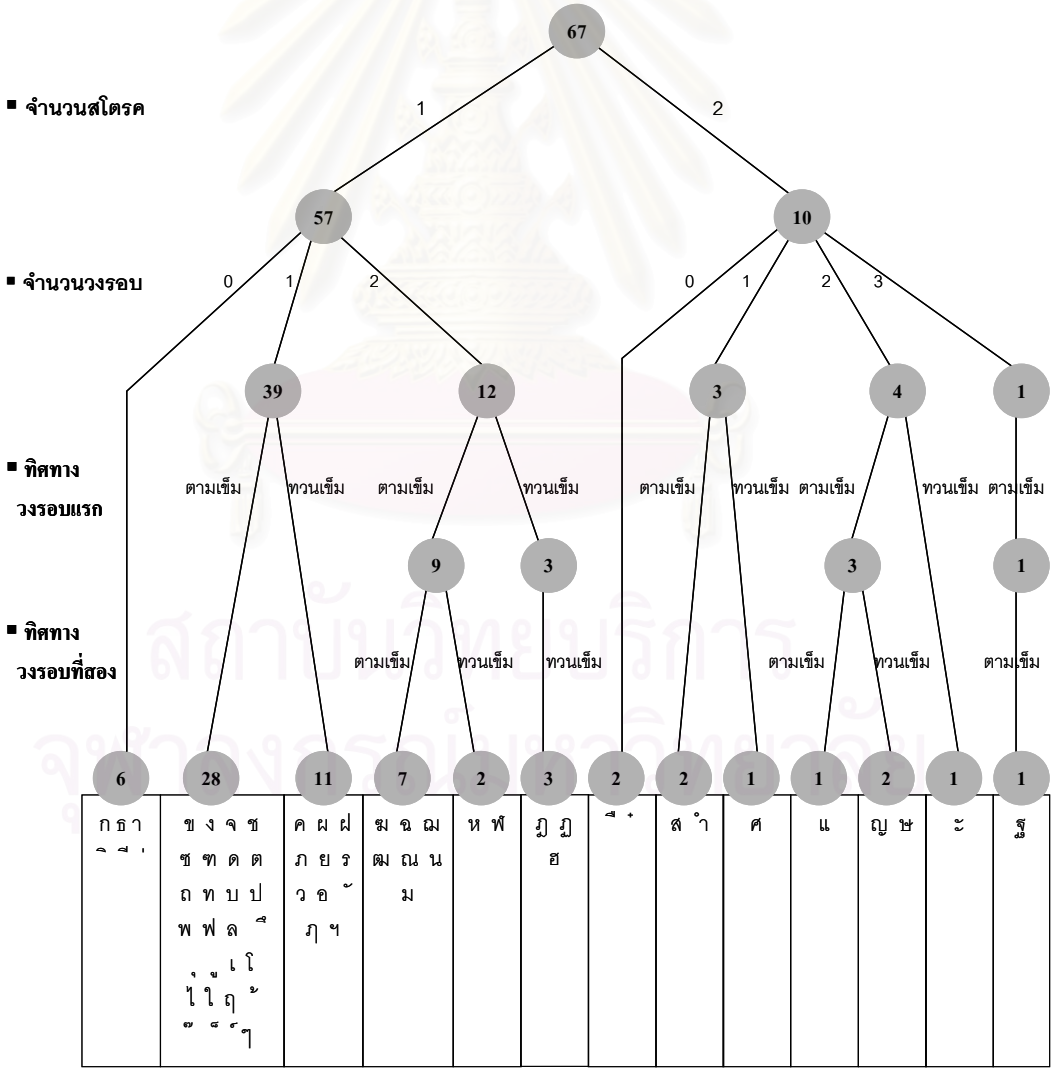
การหาลักษณะเด่นที่เป็นลักษณะเฉพาะของตัวอักษรภาษาไทย ในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงโดยนำเทคนิคใหม่ 3 เทคนิคมาใช้ ซึ่งประกอบด้วยเทคนิคต่างๆ ดังนี้

3.3.1 เทคนิคการแบ่งกลุ่มโดยอาศัยโครงสร้างพื้นฐานตัวอักษรภาษาไทย

ในโครงสร้างพื้นฐานตัวอักษรภาษาไทย จะมีลักษณะเด่นอยู่หลายอย่างที่เป็นลักษณะเฉพาะของตัวอักษรที่ไม่ขึ้นกับลายมือของผู้เขียน ซึ่งสามารถนำมาแบ่งกลุ่มของตัวอักษรได้ ในงานวิจัยนี้จึงนำโครงสร้างพื้นฐานตัวอักษรภาษาไทยบางส่วนมาใช้ในการแบ่งกลุ่มของตัวอักษร คือ การนำลักษณะของจำนวนสโตรคมาใช้ ซึ่งเป็นจำนวนรอยลากเส้นจากจุดเริ่มต้นของการเขียน จน

ถึงจุดสิ้นสุดที่มีการยกมือ การนำจำนวนวงรอบที่พบในแต่ละตัวอักษรมาใช้ รวมถึงทิศทางการวนของวงรอบด้วย

การนำจำนวนสโตรค จำนวนวงรอบและทิศทางการวนของวงรอบมาใช้ในการแบ่งกลุ่มของตัวอักษรภาษาไทยเพื่อการรู้จำนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้แบ่งเป็นกลุ่มต่างๆ ได้ทั้งหมด 13 กลุ่มด้วยกัน แสดงดังรูปที่ 3.4 ซึ่งในการแบ่งกลุ่มตัวอักษรโดยใช้โครงสร้างพื้นฐานตัวอักษรภาษาไทยนี้ในบางกลุ่มสามารถแบ่งตัวอักษรภาษาไทยออกมาได้ เช่น ในกลุ่มที่มีการแบ่งด้วยจำนวนสโตรค 2 สโตรค มีจำนวนวงรอบ 3 วงรอบ แล้วสามารถแบ่งตัวอักษร ฐ ออกมาได้ แต่ในบางกลุ่มยังมีจำนวนสมาชิกตัวอักษรภาษาไทยจำนวนมากที่ยังไม่สามารถแบ่งออกมาได้ เช่น กลุ่มที่มีการแบ่งด้วยจำนวนสโตรค 1 สโตรค มีจำนวนวงรอบ 1 วงรอบ และมีทิศทางของวงรอบตามเข็มนาฬิกา ในกลุ่มนี้จะมีจำนวนสมาชิกตัวอักษรภาษาไทยทั้งสิ้น 28 ตัวอักษรที่ไม่สามารถแบ่งออกมาได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีเทคนิคอื่นๆ เพิ่มอีก เพื่อที่จะแบ่งตัวอักษรให้ได้เพื่อการรู้จำที่ดีขึ้น

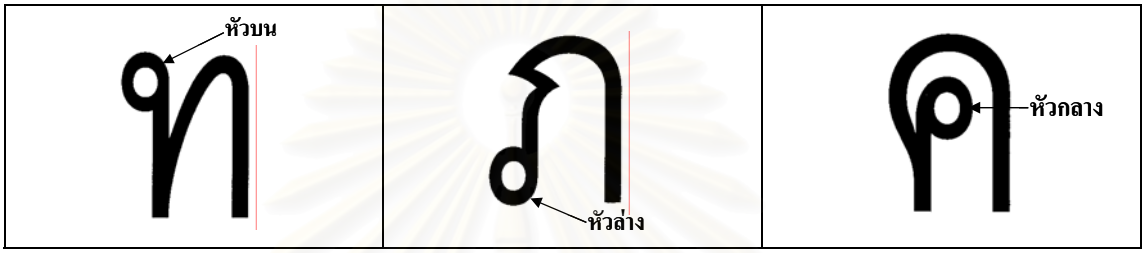


รูปที่ 3.4 การแบ่งกลุ่มโดยอาศัยโครงสร้างพื้นฐานตัวอักษรภาษาไทย

3.3.2 เทคนิคการหาวงรอบ

วงรอบในงานวิจัยนี้จะหมายถึง หัวตัวอักษร ขมวด หางม้วนตวัด และหางขมวดตวัด ซึ่งสามารถนิยามได้ ดังนี้

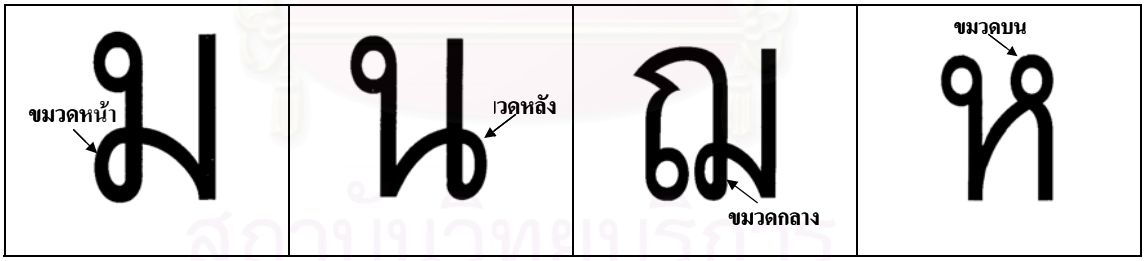
หัวตัวอักษร [11] เป็นต้นตัวอักษร มีลักษณะกลม โปร่ง สามารถแบ่งออกเป็น หัวบน หัวล่าง และหัวกลาง แสดงดังรูปที่ 3.5



(ก) หัวบนของตัวอักษร ท (ข) หัวล่างของตัวอักษร ภ (ค) หัวกลางของตัวอักษร ค

รูปที่ 3.5 ตัวอักษรที่มีวงรอบแบบมีหัว

ขมวด [11] คือเส้นที่ม้วนไขว้เป็นวงรอบของตัวอักษร สามารถแบ่งออกเป็น ขมวดหน้า ขมวดหลัง ขมวดกลาง และขมวดบน แสดงดังรูป 3.6



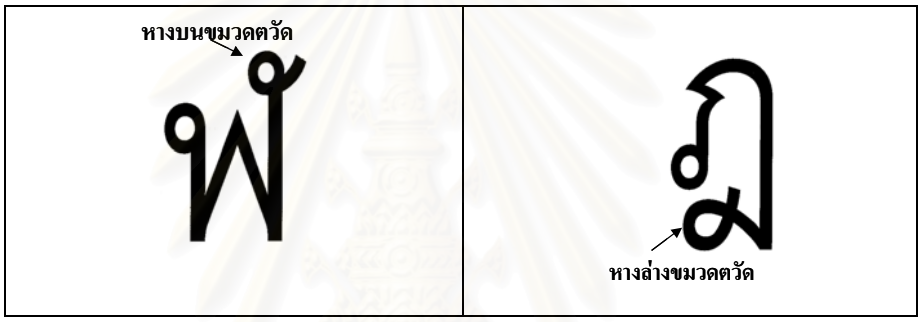
(ก) ขมวดหน้าของตัวอักษร ม (ข) ขมวดหลังของตัวอักษร น (ค) ขมวดกลางของตัวอักษร ฌ (ง) ขมวดบนของตัวอักษร ห

รูปที่ 3.6 ตัวอักษรที่มีวงรอบแบบมีขมวด

หางม้วนตวัด [11] คือ ส่วนของเส้นหลังที่ล้ำออกไปจากลำตัวอักษร แล้วโค้งทำเป็นขมวดรูปวงรี ตวัดปลายหางโค้งเฉียงขึ้นไปตัดกับเส้นหลัง แสดงดังรูป 3.7

รูปที่ 3.7 ตัวอักษรที่มีวงรอบแบบมีหางม้วนตวัด

หางขมวดตวัด [11] คือ ส่วนของเส้นหลังที่ล้ำออกไปจากลำตัวอักษร แล้วลากทำเป็นขมวด สามารถแบ่งออกเป็น หางบนขมวดตวัด และหางล่างขมวดตวัด แสดงดังรูป 3.8

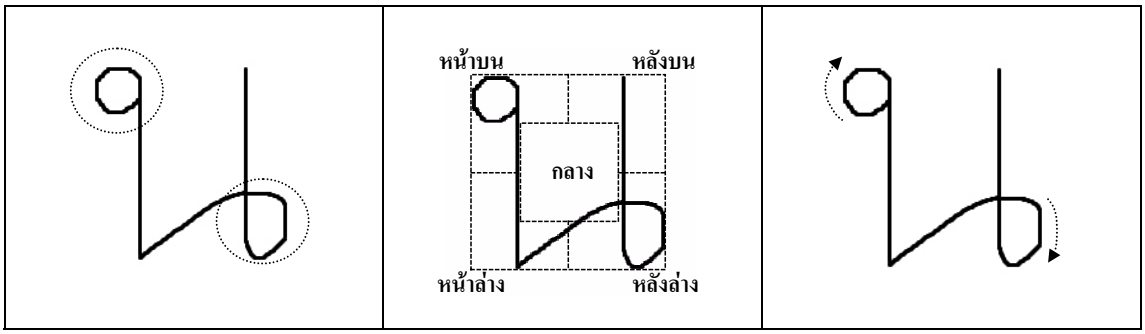


(ก) หางบนขมวดตวัดของตัวอักษร ฟ (ก) หางล่างขมวดตวัดของตัวอักษร ฎ

รูปที่ 3.8 ตัวอักษรที่มีวงรอบแบบมีหางขมวดตวัด

ในตัวอักษรภาษาไทย วงรอบสามารถพบเห็นได้ทั่วไปในลักษณะที่เป็นหัวของตัวอักษร และส่วนที่เป็นวงรอบของตัวอักษรนี้พบมากถึง 59 ตัวอักษร จากทั้งหมด 67 ตัวอักษร วงรอบที่ปรากฏในตัวอักษรเหล่านี้จะมีความแตกต่างกันไป คือ ในแต่ละตัวอักษรจะมีความแตกต่างในเรื่องของจำนวน ตำแหน่งและทิศทางการเขียนวงรอบ เช่น ตัวอักษร น จะมีจำนวนวงรอบ 2 วงรอบ ตำแหน่งของวงรอบแรกจะอยู่ส่วนหน้าบน ตำแหน่งของวงรอบที่สองจะอยู่ส่วนหลังล่าง ทิศทาง การวนของวงรอบแรกและวงรอบที่สองจะมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา แสดงดังรูปที่ 3.9

ในงานวิจัยนี้ได้นำลักษณะที่เป็นวงรอบของตัวอักษรมาใช้แบ่งลักษณะเฉพาะของแต่ละตัวอักษร เพื่อให้ตัวอักษรเกิดความแตกต่างกันมากที่สุด ซึ่งจะทำให้อัตราการรู้จำเพิ่มมากขึ้น และการหาวงรอบของตัวอักษรภาษาไทยสามารถหาได้ 2 วิธีคือ การหาวงรอบจากจุดตัด และการหาวงรอบจากการเปลี่ยนแปลงของทิศทางรหัสลูกโซ่

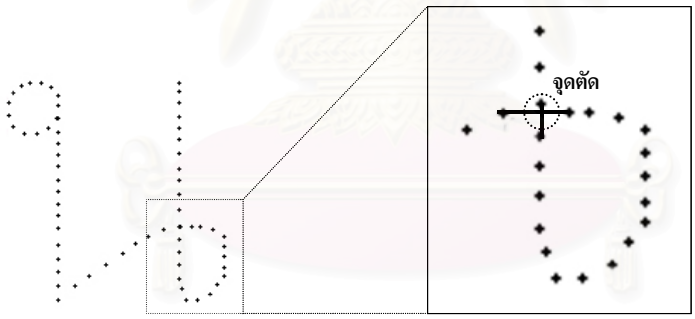


(ก) มี 2 วงรอบ (ข) ตำแหน่งของวงรอบ (ค) ทิศทางการวนของวงรอบ

รูปที่ 3.9 วงรอบของตัวอักษร น

3.3.2.1. การหาวงรอบจากจุดตัด

ลักษณะวงรอบโดยปกติจะหาได้จากจุดตัดที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรงสองเส้น และเส้นตรงนี้จะเกิดจากการเชื่อมระหว่างจุดสองจุดที่อยู่ติดกันใดๆ จุดตัดที่ได้นี้จะเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของวงรอบ แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 จุดตัดวงรอบที่สองของตัวอักษร น

วิธีการหาจุดตัดบนตัวอักษรภาษาไทยนั้น จะเริ่มจากการหาสมการเส้นตรงระหว่างจุดสองจุดที่อยู่ติดกัน โดยจะเริ่มจากจุดแรกของสโตรค แล้วหาสมการเส้นตรงเส้นที่สองจากจุดในลำดับต่อไป ในการหาสมการเส้นตรงที่เกิดจากจุดสองจุดนั้น สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ 3.5

$$y = mx + b \qquad \ldots(3.5)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \qquad \ldots(3.6)$$

เมื่อ

m คือ ความชันของเส้นตรงที่ผ่านจุด (x_1,y_1) และ (x_2,y_2)

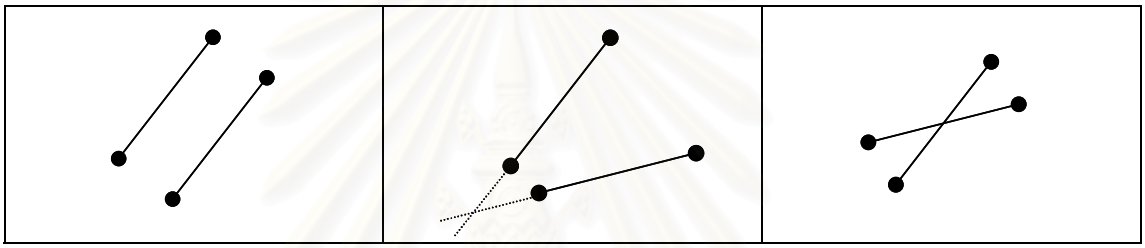
(x_1,y_1) คือ จุดแรกของเส้นตรง

(x_2,y_2) คือ จุดที่สองของเส้นตรง

b คือ จุดตัดแกน y (y-intercept)

ซึ่งหาได้ในสมการที่ 3.5 โดยการแทนค่า (x,y) ด้วย (x_1,y_1) หรือ (x_2,y_2)

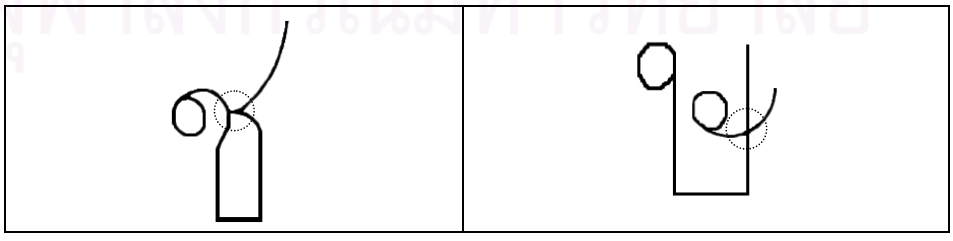
เมื่อได้สมการของเส้นตรงทั้งสองเส้นแล้ว สามารถหาจุดตัดได้จากการแก้สมการเส้นตรงทั้งสอง โดยให้ค่า y หรือ x เท่ากัน เมื่อได้จุดตัดแล้วจะต้องตรวจสอบว่าจุดตัดนั้นอยู่บนเส้นตรงทั้งสอง แสดงดังรูปที่ 3.11 (ค) จึงถือว่าเป็นจุดตัดของวงรอบ



(ก) ไม่มีจุดตัด (ข) จุดตัดไม่อยู่บนเส้นตรง (ค) จุดตัดอยู่บนเส้นตรง

รูปที่ 3.11 ลักษณะการตัดกันของเส้นตรง

การหาจุดตัดจะต้องหาจากจุดที่กำลังพิจารณาเทียบกับจุดในลำดับถัดไป ภายในระยะ k จุด (ในงานวิจัยนี้ให้ k = 35) ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอักษรที่ได้จากการทำนอร์มอลไลซ์และความห่างระหว่างจุดที่ได้จากการกรองด้วยระยะห่างที่น้อยที่สุด โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ขนาดตัวอักษร 600x600 หน่วย และให้ระยะห่างระหว่างจุด 25 หน่วย ซึ่งจะทำให้ขนาดของวงรอบที่เป็นไปได้ไม่เกิน 35 จุด และการหาจุดตัดจะต้องเป็นจุดตัดที่อยู่ภายในสโตรคเดียวกันเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดจุดตัดที่ไม่ใช่จุดตัดของวงรอบ แสดงดังภาพที่ 3.12



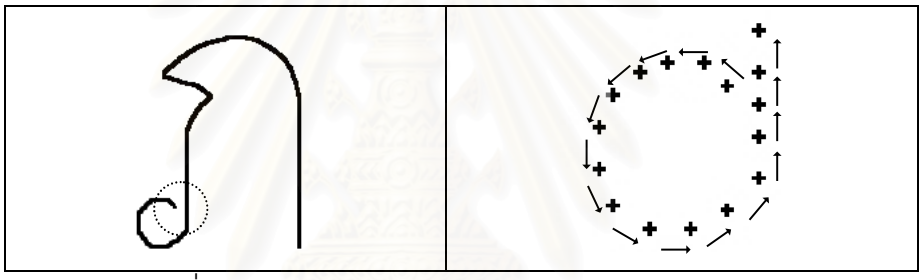
(ก) จุดตัดเกินระยะที่กำหนด (ข) จุดตัดระหว่างสโตรค

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างจุดตัดที่ไม่ถือว่าเป็นจุดตัดของวงรอบ

3.3.2.2. การหาวงรอบจากการเปลี่ยนแปลงของทิศทางรหัสลูกโซ่

ในบางครั้งการเขียนวงรอบแรกของสโตรคหรือที่เรียกว่าหัวของตัวอักษร อาจไม่มีจุดตัดได้ แสดงดังรูปที่ 3.13 (ก) จำเป็นที่จะต้องหาวงรอบแรกโดยใช้เทคนิคอื่นช่วย คือ การหาวงรอบจากการเปลี่ยนแปลงของทิศทางรหัสลูกโซ่

การหาลักษณะของวงรอบสามารถหาได้โดยการสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของทิศทางรหัสลูกโซ่ ตั้งแต่จุดแรกของสโตรคต่อเนื่องกันไปเป็นระยะไม่เกิน L หน่วย (ในงานวิจัยนี้ให้ L= 15) ถ้าชุดของจุดใดมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่น่าจะก่อให้เกิดวงรอบ ก็จะถือว่าเจอวงรอบ เช่น ในตัวอักษร ภ แสดงดังรูปที่ 3.13 (ข) รหัสลูกโซ่ตั้งแต่จุดแรกของสโตรคเปลี่ยนแปลงไปจาก 3-4-5-5-5-6-7-7-0-1-1-2 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของรหัสลูกโซ่ชุดนี้เปลี่ยนแปลงไปที่น่าจะถือว่าเกิดวงรอบ จึงทำให้ตัวอักษร ภ เกิดวงรอบ 1 วง



(ก) วงรอบที่ไม่เกิดจากจุดตัด (ข) ทิศทางรหัสลูกโซ่ของวงรอบ

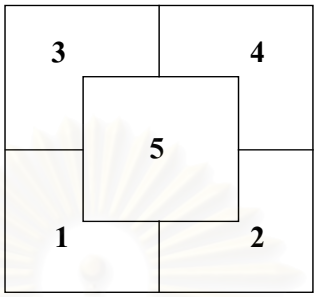
รูปที่ 3.13 วงรอบที่พบในตัวอักษร ภ ที่ไม่เกิดจากจุดตัด

ในงานวิจัยนี้ จะเน้นการหาวงรอบโดยใช้วิธีการหาวงรอบจากจุดตัดก่อน ถ้าไม่พบจุดตัดในช่วงแรกของสโตรค (5 จุดแรกของสโตรค) จึงหาวงรอบโดยวิธีการเปลี่ยนแปลงทิศทางรหัสลูกโซ่แทน สคริปต์ที่ใช้ในการหาชุดข้อมูลวงรอบ ซึ่งประกอบด้วย จำนวน ตำแหน่งและทิศทางการวนของวงรอบ แสดงในภาคผนวก ก

3.3.3 เทคนิคการแทนข้อมูลด้วยรหัสโซนสำหรับตัวอักษรภาษาไทย

ในโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทยโดยส่วนใหญ่มักพบวงรอบในตำแหน่งต่างๆ ดังนี้ คือ หน้าบน หน้าล่าง หลังบน หลังล่าง และตรงกลาง ดังนั้นการแบ่งรหัสโซนแบบ 5 โซนสำหรับตัวอักษรภาษาไทยนั้น จะมีความเหมาะสม ความยืดหยุ่นและทำให้การรู้จำได้ดีกว่าการใช้รหัสโซนแบบ 9 โซน

การใช้รหัสโซนแบบ 5 โซนนั้นจะแบ่งความกว้างและความสูงของตัวอักษรออกเป็น 4 ส่วน เท่าๆ กัน ซึ่งจะได้พื้นที่ทั้งหมด 16 หน่วย โดยที่โซนที่ 1 ถึงโซนที่ 4 จะครอบคลุมพื้นที่โซนละ 3 หน่วย ส่วนโซนที่ 5 จะครอบคลุมพื้นที่ 4 หน่วย แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 รหัสโซนของตัวอักษรแบบ 5 โซน

3.4 การปรับปรุงการเข้ารหัส

เนื่องจากข้อจำกัดของข่ายงานประสาท ที่กำหนดให้ข้อมูลนำเข้าของข่ายงานมีขนาดแน่นอนเสมอ แต่ตัวอักษรลายมือเขียนที่รับเข้ามามีขนาดไม่แน่นอน ดังนั้นเพื่อให้ข่ายงานประสาทสามารถรับค่าข้อมูลนำเข้าทั้งหมดได้ จึงจำเป็นต้องกำหนดค่าสูงสุดของข้อมูลนำเข้า ในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลนำเข้า 205 โหนด แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเข้ารหัสข้อมูลตัวอักษรที่ใช้ในการสอนข่ายงานประสาท

โหนดที่	ข้อมูล	หมายเหตุ
1	จำนวนสโตรค	จำนวนสโตรค
2-10	จำนวนวงรอบ, โซนของวงรอบ, ทิศทางการวน	ชุดข้อมูลวงรอบ
11-15	เปอร์เซ็นต์ของจุด	เปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละโซน
16-18	รหัสลูกโซ่, รหัสโซนจุดเริ่มต้น, รหัสโซนจุดปลาย	ข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่นที่ 1
19-21	รหัสลูกโซ่, รหัสโซนจุดเริ่มต้น, รหัสโซนจุดปลาย	ข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่นที่ 2
...	...	...
103-105	รหัสลูกโซ่, รหัสโซนจุดเริ่มต้น, รหัสโซนจุดปลาย	ข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่นที่ 30
106-205	รหัสโซน	รหัสโซนของแต่ละจุด

ข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการสอนเพื่อการรู้จำ และทดสอบข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ ประกอบด้วย

1. จำนวนสโตรค
2. จำนวน ตำแหน่ง และทิศทางการวนของวงรอบ
3. เปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละโซน
4. ชุดข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่น
5. รหัสโซน

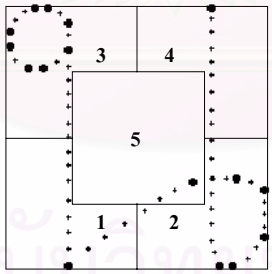
3.4.1 การเข้ารหัสจำนวนสโตรค

การเข้ารหัสจำนวนสโตรค จะเป็นการนับจำนวนรอยลากเส้นจากจุดเริ่มต้นของการเขียนจนถึงจุดสิ้นสุดที่มีการยกมือ ในตัวอักษรภาษาไทยทั้ง 67 ตัว พบสโตรคมากสุดจำนวน 2 สโตรค และจำนวนสโตรคถือเป็นลักษณะเด่นอันหนึ่งของตัวอักษรที่จะใช้ในการสอนข่ายงานประสาท และรหัสที่เป็นไปได้ของสโตรค คือ

1 เมื่อตัวอักษรมีจำนวน 1 สโตรค

2 เมื่อตัวอักษรมีจำนวน 2 สโตรค

ตัวอย่างรหัสจำนวนสโตรคของตัวอักษร น ตามรูปที่ 3.15 คือ 1



รูปที่ 3.15 ตัวอักษร น ที่แสดงลักษณะเด่นภายในเขตย่อยของตัวอักษร

3.4.2 การเข้ารหัสจำนวน ตำแหน่ง และทิศทางการวนของวงรอบ

การเข้ารหัสข้อมูลวงรอบในตัวอักษรภาษาไทย สามารถเข้ารหัสได้ 3 ส่วน คือ รหัสจำนวนวงรอบ รหัสโซนของวงรอบ และรหัสทิศทางการวนของวงรอบ

ในตัวอักษรภาษาไทยทั้ง 67 ตัว จะพบจำนวนวงรอบสูงสุด 3 วงรอบ คือ วงรอบในตัวอักษร ฐ ดังนั้น รหัสที่เป็นไปได้ของจำนวนวงรอบ คือ

0 เมื่อตัวอักษรไม่มีวงรอบ

1 เมื่อตัวอักษรมีจำนวน 1 วงรอบ

2 เมื่อตัวอักษรมีจำนวน 2 วงรอบ

3 เมื่อตัวอักษรมีจำนวน 3 วงรอบ

ตัวอย่างรหัสจำนวนวงรอบของตัวอักษร น ตามรูปที่ 3.15 คือ 2

รหัสโซนของวงรอบ จะเป็นการแสดงถึงตำแหน่งของวงรอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้รหัสโซนแบบ 5 โซน และสามารถเข้ารหัสโซนได้ 5 โหนด โดยที่ในแต่ละโหนดจะมีค่าได้ดังนี้

0 เมื่อไม่พบวงรอบในโซนนั้น

1 เมื่อพบวงรอบในโซนนั้น

ตัวอย่างรหัสโซนวงรอบของตัวอักษร น ตามรูปที่ 3.15 คือ 0-1-1-0-0

เนื่องจากจำนวนวงรอบในตัวอักษรภาษาไทยจะมีได้สูงสุด 3 วงรอบ รหัสทิศทางการวนของวงรอบจึงมีได้สูงสุด 3 โหนด ซึ่งตำแหน่งของแต่ละโหนดจะเป็นตำแหน่งของวงรอบตามลำดับที่พบ โดยที่ในแต่ละโหนดจะมีค่าได้ดังนี้

0 เมื่อไม่พบวงรอบ

1 เมื่อวงรอบมีทิศทางการวนตามเข็มนาฬิกา

2 เมื่อวงรอบมีทิศทางการวนทวนเข็มนาฬิกา

ตัวอย่างรหัสทิศทางวงรอบของตัวอักษร น ตามรูปที่ 3.15 คือ 1-1-0

ดังนั้นการเข้ารหัสชุดข้อมูลวงรอบของตัวอักษร น ตามรูปที่ 3.15 คือ 2-0-1-1-0-0-1-1-0

3.4.3 การเข้ารหัสเปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละโซน

การหาเปอร์เซ็นต์ของจุด เป็นการหาว่าในแต่ละโซนมีความหนาแน่นของจุดอยู่มากน้อยเพียงใด เนื่องจากว่าลักษณะการเขียนตัวอักษรบางตัว บางโซนไม่มีจุดถูกเขียนผ่านเลย หรือในโซนที่มีการเขียนหัวหรือวงรอบของตัวอักษร โซนนั้นก็จะมีจำนวนจุดอยู่มากกว่าปกติ ดังนั้นการหาเปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละโซน จะสามารถแยกความแตกต่างระหว่างตัวอักษรที่คล้ายกัน แต่จำนวนวงรอบไม่เท่ากันได้หรือวงรอบเท่ากันแต่อยู่ต่างโซนกัน เช่น ก กับ ถ หรือ ณ กับ ฌ เป็นต้น

ในการหารหัสเปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละโซนทั้ง 5 โซนนั้น จะเทียบจากจำนวนจุดทั้งหมดของตัวอักษร ซึ่งตัวเลขรหัสที่ได้จะเป็นเลขจำนวนเต็ม

ตัวอย่างรหัสเปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละโซนของตัวอักษร น ตามรูปที่ 3.15 คือ 16-33-31-13-4

3.4.4 การเข้ารหัสชุดข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่น

การเข้ารหัสตัวอักษรโดยใช้จุดเด่น โดยวิธีนี้จะไม่ใช้ข้อมูลของทุกๆ จุดที่ประกอบเป็นตัวอักษร แต่จะใช้เฉพาะจุดที่มีลักษณะเด่นเท่านั้น ซึ่งจะเป็นการเข้ารหัสเพื่อลดจำนวนข้อมูลของตัวอักษร

การเข้ารหัสตัวอักษรโดยใช้จุดเด่นนี้ จะเข้ารหัสโดยใช้ชุดข้อมูลพื้นฐานของเวคเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย รหัสลูกโซ่ซึ่งเป็นรหัสทิศทางของเวคเตอร์ รหัสโซนจุดเริ่มต้นของเวคเตอร์ และรหัสโซนจุดปลายของเวคเตอร์

เนื่องจากจุดเด่นของตัวอักษร ฐ ซึ่งเป็นตัวอักษรที่มีจุดเด่นมากที่สุด และมีไม่เกิน 30 จุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้จำกัดจำนวนจุดเด่นไว้ไม่เกิน 30 จุด ซึ่งจะทำให้มีจำนวนทั้งสิ้น 90 โหนด และถ้าตัวอักษรมีจำนวนจุดเด่นไม่ถึง 30 จุด จะต้องเติมค่าของโหนดที่เหลือให้ครบ เพราะเป็นข้อจำกัดของข้อมูลนำเข้าข่ายงานที่ต้องมีขนาดแน่นอนเสมอ และด้วยจำนวนสโตรคซึ่งเป็นรหัสที่มีความถูกต้องแม่นยำในตัวอักษรแต่ละตัว แต่ถูกนำมาใช้เข้ารหัสแค่โหนดแรกเพียงตำแหน่งเดียว ซึ่งเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับการใช้รหัสตัวอื่น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ปรับปรุงวิธีการเข้ารหัสโดยใช้จำนวนสโตรค มาเติมค่าของโหนดที่เหลือจากจุดเด่นให้ครบตามจำนวนที่กำหนด เพื่อที่จะทำให้สัดส่วนของขนาดข้อมูลในแต่ละลักษณะเด่นไม่แตกต่างกันมากเกินไป

ตัวอย่างรหัสชุดข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่นของตัวอักษร น ตามรูปที่ 3.15 แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างของรหัสชุดข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่นของตัวอักษร น

โหนดที่	ค่าข้อมูล			หมายเหตุ
1-3	5	3	3	ข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่นที่ 1
4-6	4	3	3	ข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่นที่ 2
7-9	3	3	3	ข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่นที่ 3
10-12	2	3	3	ข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่นที่ 4
13-15	1	3	3	ข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่นที่ 5
…	…	…	…	…
46-90	1	…	1	เติมโหนดที่เหลือด้วยจำนวนสโตรค

3.4.5 การเข้ารหัสโซน

การเข้ารหัสตัวอักษรโดยใช้รหัสโซน สามารถหาได้จากการนำเอาข้อมูลตัวอักษรที่ผ่านการประมวลผลเบื้องต้นแล้วมาทำการแบ่งเป็นเขตย่อยจำนวน 5 เขต จากนั้นจึงมาพิจารณาจุดที่ประกอบเป็นตัวอักษรว่าอยู่ที่เขตย่อยใด

เนื่องจากจำนวนจุดของตัวอักษร ฐ ซึ่งเป็นตัวอักษรที่มีจุดมากที่สุด และมีไม่เกิน 100 จุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้จำกัดจำนวนโหนดของรหัสโซนไว้ไม่เกิน 100 โหนด และถ้าตัวอักษรมีจำนวนจุดที่ต้องเข้ารหัสโซนไม่ถึง 100 จุด จะต้องเติมค่าของโหนดที่เหลือให้ครบ เพราะเป็นข้อจำกัดของข้อมูลนำเข้าข่ายงานที่ต้องมีขนาดแน่นอนเสมอ และด้วยจำนวนวงรอบซึ่งเป็นรหัสที่มีความถูกต้องค่อนข้างดี แต่ถูกนำมาใช้เข้ารหัสแค่เพียงโหนดเดียว ซึ่งเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับการใช้รหัสตัวอื่น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ปรับปรุงวิธีการเข้ารหัสโดยใช้จำนวนวงรอบ มาเติมค่าของโหนดที่เหลือจากรหัสโซนให้ครบตามจำนวนที่กำหนด เพื่อที่จะทำให้สัดส่วนของขนาดข้อมูลในแต่ละลักษณะเด่นไม่แตกต่างกันมากเกินไป

ตัวอย่างรหัสโซนของตัวอักษร น ตามรูปที่ 3.15 คือ 3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-3-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-2-5-5-5-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-4-4-4-4-4-4-4-4-4-4-2-2-2 … 2

การเข้ารหัสข้อมูลตัวอักษรทั้ง 205 โหนด เพื่อจะนำไปใช้ในการสอน และทดสอบข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ ของตัวอักษร น แสดงดังตารางที่ 3.3

3.5 การสอนข่ายงานประสาท

ข้อมูลลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทย ที่ผ่านการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น การหาลักษณะเด่น และการเข้ารหัส จะถูกนำมาใช้ในการสอนข่ายงานประสาท โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมข่ายงานประสาทจำลองของมหาวิทยาลัยสตุทการ์ท (SNNS: Stuttgart Neural Network Simulator) รูปแบบและรายละเอียดของข่ายงานประสาทที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างรหัสข้อมูลที่ใช้ในการสอน และทดสอบข่ายงานประสาทของตัวอักษร น

ตำแหน่งที่	ค่าข้อมูล									หมายเหตุ
1	1									จำนวนสโตรค
2-10	2	0	1	1	0	0	1	1	0	ชุดข้อมูลวงรอบ
11-15	16	33	31	13	4					เปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละโซน
16-24	5	3	3	4	3	3	3	3	3	ข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่น
25-33	2	3	3	1	3	3	0	3	3	- รหัสลูกโซ่
34-42	7	3	3	6	3	1	1	1	5	- รหัสโซนจุดเริ่มต้นของเวคเตอร์
43-51	0	5	2	7	2	2	6	2	2	- รหัสโซนจุดปลายของเวคเตอร์
52-60	5	2	2	4	2	2	2	2	4	
61-69	1	1	1	1	1	1	1	1	1	เติมค่าตำแหน่งที่เหลือด้วยจำนวน
70-78	1	1	1	1	1	1	1	1	1	สโตรค
79-87	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
88-96	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
97-105	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
106-114	3	3	3	3	3	3	3	3	3	รหัสโซนของแต่ละจุด
115-123	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
124-132	3	3	3	1	1	1	1	1	1	
133-141	1	1	1	1	1	2	5	5	5	
142-150	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
151-159	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
160-168	2	2	2	4	4	4	4	4	4	
169-177	4	4	4	2	2	2	2	2	2	เติมค่าตำแหน่งที่เหลือด้วยจำนวน
178-186	2	2	2	2	2	2	2	2	2	วงรอบ
187-195	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
196-204	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
205	2									

ตารางที่ 3.4 รูปแบบของข่ายงานประสาทที่ใช้

รายละเอียด	ค่าของข้อมูล
รูปแบบของข่ายงานประสาท	แพร่กระจายย้อนกลับ
จำนวนชั้น	3
จำนวนโหนดในชั้นนำเข้าข้อมูล	205
จำนวนโหนดในชั้นซ่อน	700
จำนวนโหนดในชั้นผลลัพธ์	67
จำนวนตัวอักษรที่ใช้ในการสอนข่ายงานประสาท	2010
จำนวนตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบข่ายงานประสาท	2010
จำนวนตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบอัตราการรู้จำ	2010
กำหนดจำนวนรอบในการสอน	1000
กำหนดค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้	0.001

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดสอบระบบการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบระบบการรู้จำ การใช้ข้อมูลลายมือเพื่อการรู้จำ ผลการทดสอบระบบการรู้จำ และวิเคราะห์ผลระบบการรู้จำ ซึ่งการทดสอบนี้เป็นการทดสอบในเชิงเปรียบเทียบระหว่างการใช้เทคนิคการปรับปรุงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และการใช้เทคนิคจากงานวิจัยเดิม [2]

4.1 วิธีการทดสอบระบบการรู้จำ

หลังจากการสอนข่ายงานประสาทตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.5 ของบทที่ 3 ซึ่งจะได้ข่ายงานประสาทที่ใช้ในการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทย ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดสอบข่ายงานประสาทดังกล่าว

เพื่อเป็นการทดสอบเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับตัวอักษรภาษาไทย โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ จึงได้ทำการทดสอบการรู้จำในเชิงเปรียบเทียบอัตราการรู้จำ ระหว่างเทคนิคการปรับปรุงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และการใช้เทคนิคจากงานวิจัยเดิมของโชติ ศิริวงศ์วิเชียร และปกิตต์ นิธิวิบูลย์ [2] โดยใช้ชุดลายมือสอนและทดสอบเดียวกัน

4.1.1 การทดสอบโดยใช้เทคนิคจากงานวิจัยเดิม

ในงานวิจัยเดิมจะมีเทคนิคในการเข้ารหัสตัวอักษรที่แตกต่างกันไปหลายวิธี แต่ที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้จะนำมาเฉพาะวิธีที่ให้ผลการรู้จำที่ดีที่สุดในงานเดิม นั่นคือการใช้เทคนิคร่วมระหว่างการหาขอบเขตย่อยแบบ 9 โซน การหาจุดเด่น การหาจำนวนสโตรค การหาจำนวนและตำแหน่งของหัวตัวอักษรแบบสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของทิศทางรหัสลูกโซ่ และการหาเปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละขอบเขตย่อย ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้ใช้จำนวนโหนดทั้งสิ้น 210 โหนด

การทดสอบระบบการรู้จำของงานวิจัยเดิม จะทำโดยการสอนข่ายงานประสาทด้วยการนำโปรแกรมที่เขียนจากภาษาไพธอนสคริปต์ ซึ่งผู้วิจัยเดิมได้เขียนไว้ และใช้รูปแบบข่ายงานประสาทเหมือนกับงานวิจัยนี้ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3.4 แต่จำนวนโหนดในชั้นนำเข้าข้อมูลจะเปลี่ยนแปลงไปตามเทคนิค คือเปลี่ยนเป็น 210 โหนด

เมื่อผ่านขั้นตอนการสอนข่ายงานประสาทแล้วจะได้ข่ายงานประสาทที่ใช้ในการรู้จำ ซึ่งจะนำข่ายงานประสาทที่ได้นี้มาทดสอบระบบการรู้จำของงานวิจัยเดิม โดยจะใช้ชุดลายมือเดียวกันกับงานวิจัยนี้

4.1.2 การทดสอบโดยใช้เทคนิคการปรับปรุงระบบการรู้จำ

ข้อมูลที่ใช้ในการสอนและทดสอบระบบการรู้จำของข่ายงานประสาทของงานวิจัยนี้ จะใช้เทคนิคการหาจำนวนสโตรค การหาจำนวน ตำแหน่ง และทิศทางการวนของวงรอบ การหาเปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละขอบเขตย่อย การหาชุดข้อมูลเวคเตอร์จุดเด่น และการหารหัสโซนแบบ 5 โซนตามที่เสนอไว้ในบทที่ 3 ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้ใช้จำนวนโหนดทั้งสิ้น 205 โหนด แสดงดังตารางที่ 3.1

การทดสอบระบบการรู้จำในงานวิจัยนี้ จะใช้ข่ายงานประสาทที่ใช้ในการรู้จำ ซึ่งได้จากการสอนข่ายงานประสาทมาทดสอบด้วยลายมือเขียนจำนวน 2010 ตัวอักษร

4.2 ข้อมูลลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทย

ข้อมูลลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้จากการรับข้อมูลด้วยกระดานอิเล็กทรอนิส์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปพิกัดของจุดที่อยู่บนเส้นของลายมือเขียน และจะใช้ตัวอักษรภาษาไทยทั้งหมด 67 ตัวอักษร ซึ่งแบ่งเป็นพยัญชนะ 42 ตัว สระ 17 ตัว วรรณยุกต์ 4 ตัว และอักขระพิเศษ 4 ตัว ลักษณะการเขียนตัวอักษรได้ใช้รูปแบบจาก แบบฝึกหัดคัดไทย ของสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) [4] แสดงในภาคผนวก ข และตัวอย่างวิธีการเขียน แสดงดังรูป 4.1

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการเขียนตัวอักษรภาษาไทย

ในงานวิจัยนี้ จะใช้ข้อมูลลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยของผู้ทำการวิจัยทั้งหมด 6030 ตัวอักษร ซึ่งได้จากการเขียนตัวอักษรทั้ง 67 ตัว (พยัญชนะ 42 ตัว สระ 17 ตัว วรรณยุกต์ 4 ตัว และอักขระพิเศษ 4 ตัว) ตัวละ 90 ครั้ง โดยข้อมูลลายมือเขียนที่ได้นี้จะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน คือ ส่วนละ 2010 ตัวอักษร เพื่อใช้ในการสอนข่ายงานประสาท ทดสอบข่ายงานประสาท และทดสอบอัตราการรู้จำ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการสอนข่ายงานประสาทจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าข้อมูลที่ข่ายงานประสาทเคยเห็นแล้ว (Seen data) และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบอัตราการรู้จำจะเป็นข้อมูลที่ข่ายงานประสาทไม่เคยเห็น (Unseen data) ตังอย่างลายมือเขียนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงในภาคผนวก ค

4.3 ผลการทดสอบระบบการรู้จำ

จากการทดสอบระบบการรู้จำทั้ง 2 เทคนิค ด้วยลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยจำนวน 2010 ตัว ซึ่งประกอบด้วยตัวอักษร 67 ตัว เขียนตัวละ 30 ครั้ง ผลปรากฏว่า ข่ายงานประสาทที่ได้จากเทคนิคในงานวิจัยเดิม สามารถรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยได้ถูกต้องเฉลี่ย 95.47 เปอร์เซ็นต์ รู้จำผิดเฉลี่ย 2.64 เปอร์เซ็นต์ และไม่สามารถรู้จำได้เฉลี่ย 1.89 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเทคนิคการปรับปรุงระบบการรู้จำที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยได้ถูกต้องเฉลี่ย 96.62 เปอร์เซ็นต์ รู้จำผิดเฉลี่ย 1.79 เปอร์เซ็นต์ และไม่สามารถรู้จำได้เฉลี่ย 1.59 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 4.1 และรายละเอียดผลการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการรู้จำของข่ายงานประสาทกับตัวอักษร 2010 ตัว

ประเภทอัตราการรู้จำ	งานวิจัยเดิม		งานวิจัยนี้	
	จำนวน	%	จำนวน	%
การรู้จำที่ถูกต้อง	1919	95.47	1942	96.62
การรู้จำที่ผิด	53	2.64	36	1.79
การรู้จำไม่ได้	38	1.89	32	1.59

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทย

ตัวอักษร	งานวิจัยเดิม						งานวิจัยนี้					
	รู้จำถูกต้อง		รู้จำผิด		รู้จำไม่ได้		รู้จำถูกต้อง		รู้จำผิด		รู้จำไม่ได้	
	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
ก	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ข	25	83.3	5	16.7	0	0.0	29	96.7	1	3.3	0	0.0
ค	27	90.0	3	10.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ฆ	29	96.7	1	3.3	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ง	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
จ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ฉ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ช	28	93.3	1	3.3	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ซ	29	96.7	1	3.3	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ฌ	29	96.7	1	3.3	0	0.0	26	86.7	4	13.3	0	0.0
ญ	28	93.3	1	3.3	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ฎ	28	93.3	2	6.7	0	0.0	25	83.3	5	16.7	0	0.0
ฏ	25	83.3	2	6.7	3	10.0	29	96.7	1	3.3	0	0.0
ฐ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ฑ	29	96.7	0	0.0	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ฒ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ณ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ด	27	90.0	3	10.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ต	29	96.7	1	3.3	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ถ	29	96.7	0	0.0	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ท	29	96.7	0	0.0	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ธ	29	96.7	0	0.0	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
น	30	100.0	0	0.0	0	0.0	29	96.7	0	0.0	1	3.3

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการทดสอบการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทย

ตัวอักษร	งานวิจัยเดิม						งานวิจัยนี้					
	รู้จำถูกต้อง		รู้จำผิด		รู้จำไม่ได้		รู้จำถูกต้อง		รู้จำผิด		รู้จำไม่ได้	
	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
บ	27	90.0	3	10.0	0	0.0	29	96.7	0	0.0	1	3.3
ป	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ผ	29	96.7	1	3.3	0	0.0	28	93.3	0	0.0	2	6.7
ฝ	26	86.7	4	13.3	0	0.0	29	96.7	1	3.3	0	0.0
พ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ฟ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	28	93.3	2	6.7	0	0.0
ภ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ม	29	96.7	1	3.3	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ย	29	96.7	1	3.3	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ร	29	96.7	1	3.3	0	0.0	26	86.7	4	13.3	0	0.0
ล	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ว	30	100.0	0	0.0	0	0.0	27	90.0	1	3.3	2	6.7
ศ	27	90.0	3	10.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ษ	29	96.7	0	0.0	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ส	30	100.0	0	0.0	0	0.0	29	96.7	0	0.0	1	3.3
ห	27	90.0	2	6.7	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ฬ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	29	96.7	0	0.0	1	3.3
อ	27	90.0	3	10.0	0	0.0	29	96.7	1	3.3	0	0.0
ฮ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ะ	29	96.7	0	0.0	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
า	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ิ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	29	96.7	1	3.3	0	0.0
ี	28	93.3	2	6.7	0	0.0	29	96.7	0	0.0	1	3.3

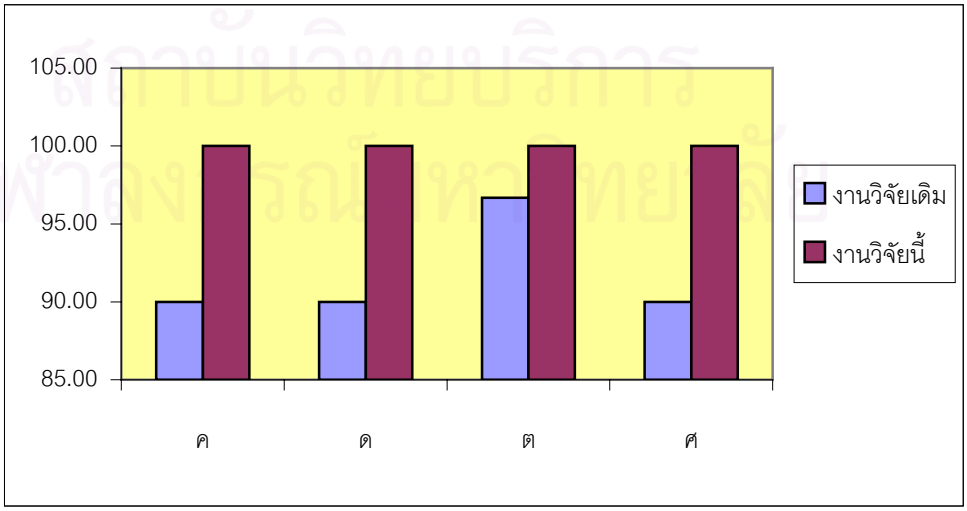
ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการทดสอบการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทย

ตัวอักษร	งานวิจัยเดิม						งานวิจัยนี้					
	รู้จำถูกต้อง		รู้จำผิด		รู้จำไม่ได้		รู้จำถูกต้อง		รู้จำผิด		รู้จำไม่ได้	
	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
็	27	90.0	3	10.0	0	0.0	28	93.3	0	0.0	2	6.7
ี	28	93.3	1	3.3	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ุ	28	93.3	0	0.0	2	6.7	28	93.3	0	0.0	2	6.7
ู	29	96.7	0	0.0	1	3.3	29	96.7	0	0.0	1	3.3
เ	28	93.3	0	0.0	2	6.7	25	83.3	5	16.7	0	0.0
แ	28	93.3	0	0.0	2	6.7	29	96.7	0	0.0	1	3.3
โ	27	90.0	3	10.0	0	0.0	27	90.0	3	10.0	0	0.0
ใ	28	93.3	0	0.0	2	6.7	28	93.3	1	3.3	1	3.3
ไ	25	83.3	0	0.0	5	16.7	28	93.3	0	0.0	2	6.7
ำ	29	96.7	0	0.0	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ั	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ฤ	28	93.3	0	0.0	2	6.7	28	93.3	1	3.3	1	3.3
ฦ	29	96.7	0	0.0	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
ิ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0
้	28	93.3	0	0.0	2	6.7	26	86.7	2	6.7	2	6.7
๊	29	96.7	0	0.0	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
๋	29	96.7	0	0.0	1	3.3	30	100.0	0	0.0	0	0.0
์	27	90.0	1	3.3	2	6.7	28	93.3	1	3.3	1	3.3
๎	29	96.7	0	0.0	1	3.3	26	86.7	1	3.3	3	10.0
ฯ	27	90.0	3	10.0	0	0.0	26	86.7	1	3.3	3	10.0
ๆ	30	100.0	0	0.0	0	0.0	26	86.7	0	0.0	4	13.3
รวม	**1919**	**95.47**	**53**	**2.64**	**38**	**1.89**	**1942**	**96.62**	**36**	**1.79**	**32**	**1.59**

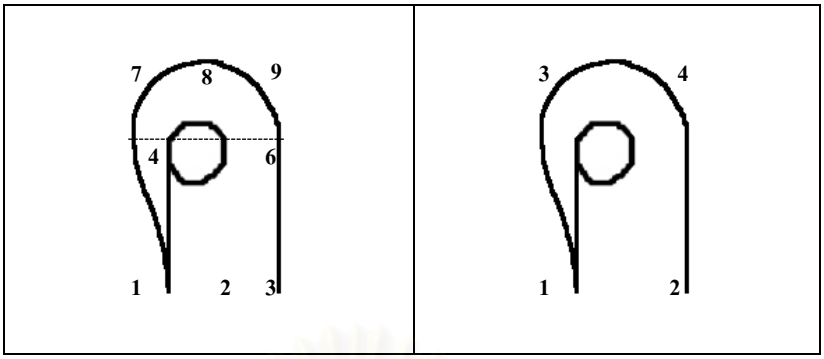
4.4 วิเคราะห์ผลระบบการรู้จำ

จากผลการทดสอบระบบการรู้จำปรากฏว่า การปรับปรุงระบบการรู้จำที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีอัตราการรู้จำได้ดีกว่างานวิจัยเดิม โดยสามารถเพิ่มอัตราการรู้จำได้จาก 95.47 เปอร์เซ็นต์ เป็น 96.62 เปอร์เซ็นต์ ลดการรู้จำผิดได้จาก 2.64 เปอร์เซ็นต์ เป็น 1.79 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดการรู้จำไม่ได้จาก 1.89 เปอร์เซ็นต์ เป็น 1.59 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เกิดจากเทคนิคร่วมหลายเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. การนำเทคนิครหัสโซนแบบ 5 โซนสำหรับตัวอักษรภาษาไทยมาใช้นั้น พบว่าข่ายงานประสาทที่ได้มีความสามารถในการรู้จำตัวอักษรในบางกลุ่มดีขึ้น เช่น ในกลุ่มตัวอักษร ค(ค ด ต ศ) ในงานวิจัยเดิมในกลุ่มนี้จะมีอัตราการรู้จำเฉลี่ยเพียง 91.67 เปอร์เซ็นต์ แต่ในงานวิจัยนี้สามารถเพิ่มอัตราการรู้จำขึ้นได้เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 4.2 ทั้งนี้เกิดจากกลุ่มตัวอักษร ค นี้มีตำแหน่งของวงรอบที่ชัดเจนขึ้นกว่าเดิม คือ จะมีตำแหน่งของวงรอบอยู่ที่โซน 5 ซึ่งต่างจากงานวิจัยเดิมที่ใช้รหัสโซนแบบ 9 โซน ที่มีความยืดหยุ่นของตำแหน่งวงรอบน้อยกว่า และจะทำให้ความชัดเจนของตำแหน่งไม่แน่นอน ดังเช่นตัวอักษร ค แสดงดังรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าตำแหน่งของวงรอบในรหัสโซนแบบ 9 โซนมีโอกาสที่จะมีค่าเป็น 4,5,7 หรือ 8 ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะลายมือของผู้เขียน ส่วนตำแหน่งของวงรอบในรหัสโซนแบบ 5 โซน จะมีโอกาสที่จะมีค่าเป็น 5 สูงกว่าค่าอื่นๆ ดังนั้นการใช้รหัสโซนแบบ 5 โซนจึงมีความเหมาะสมสำหรับตัวอักษรภาษาไทยมากกว่า เพราะมีความยืดหยุ่นสูง



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบอัตราการรู้จำในงานวิจัยนี้และงานวิจัยเดิมของกลุ่มตัวอักษร ค

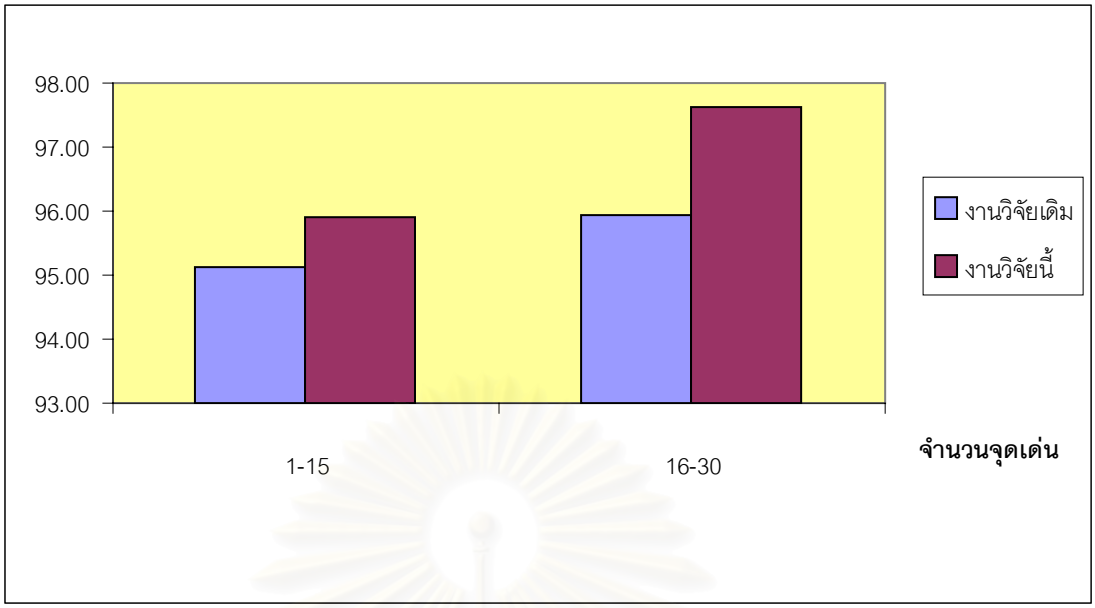


ก) แบบ 9 โซน ข) แบบ 5 โซน

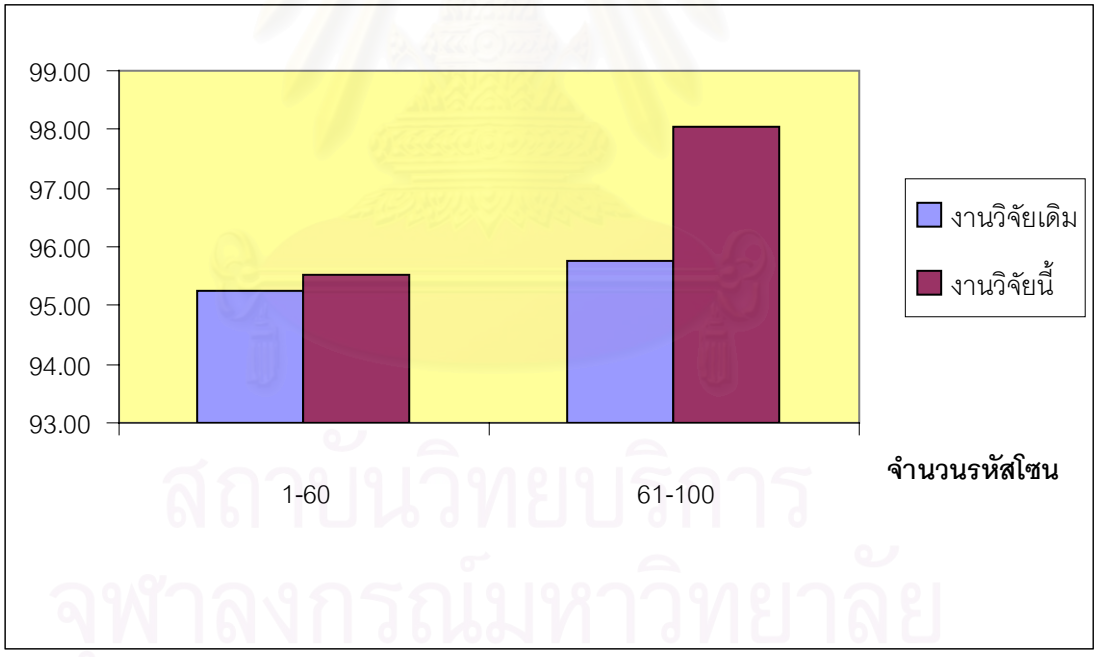
รูปที่ 4.3 ตำแหน่งวงรอบของตัวอักษร ค

2. การนำเทคนิคการหาวงรอบจากจุดตัด และจากการเปลี่ยนแปลงของทิศทางรหัสลูกโซ่มาใช้นั้น ทำให้การหาจำนวนวงรอบมีความถูกต้องมากขึ้น ส่งผลให้สามารถแยกความแตกต่างของตัวอักษรที่ใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันที่จำนวน ตำแหน่งและทิศทางการวนของวงรอบได้ เช่น ในกลุ่มตัวอักษร น (ฆ น บ ป ม ย ษ) สามารถเพิ่มอัตราการรู้จำเฉลี่ยขึ้นได้จาก 96.67 เปอร์เซ็นต์ เป็น 99.05 เปอร์เซ็นต์ หรือกลุ่ม ท (ฑ ท ห) จาก 94.44 เป็น 100 เปอร์เซ็นต์

3. การใช้เทคนิคการหาจุดเด่นโดยใช้ชุดข้อมูลเวคเตอร์และการเข้ารหัสโซน แล้วนำเอาข้อมูลมาสอนข่ายงานประสาท ผลปรากฏว่าในงานวิจัยเดิมมีอัตราการรู้จำน้อยกว่างานวิจัยนี้ สาเหตุเนื่องมาจากตัวอักษรแต่ละตัวมีจำนวนจุดเด่นและจุดในแต่ละโซนที่แตกต่างกัน ทำให้ในกรณีที่ตัวอักษรที่มีจำนวนจุดน้อย จะต้องเติมค่าตำแหน่งที่เหลือให้ครบ ในงานวิจัยเดิมได้เติมค่าตำแหน่งที่เหลือด้วยด้วย –1 ซึ่งจะส่งผลเสียต่อความสามารถในการรู้จำของข่ายงานประสาท เมื่อต้องเติมค่าที่เหลือเป็นจำนวนมาก ในงานวิจัยนี้จึงได้เติมค่าตำแหน่งที่เหลือด้วยจำนวนสโตรคในส่วนของจุดเด่น และจำนวนวงรอบในส่วนของรหัสโซน ซึ่งส่งผลให้อัตราการรู้จำเฉลี่ยดีขึ้น ดังสังเกตได้จากงานวิจัยเดิมในกลุ่มตัวอักษรที่มีจำนวนจุดเด่นน้อยจะมีอัตราการรู้จำ 95.13 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มตัวอักษรที่มีจำนวนจุดเด่นมากจะมีอัตราการรู้จำ 95.95 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเมื่อมีการปรับปรุงในงานวิจัยนี้ทำให้อัตราการรู้จำเพิ่มขึ้นเป็น 95.90 เปอร์เซ็นต์ และ 97.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.4 และสามารถสังเกตได้จากงานวิจัยเดิมในกลุ่มตัวอักษรที่มีจำนวนรหัสโซนน้อยจะมีอัตราการรู้จำ 95.26 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มตัวอักษรที่มีจำนวนรหัสโซนมากจะมีอัตราการรู้จำ 95.75 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเมื่อมีการปรับปรุงในงานวิจัยนี้ทำให้อัตราการรู้จำเพิ่มขึ้นเป็น 95.53 เปอร์เซ็นต์ และ 98.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบอัตราการรู้จำแยกตามจำนวนจุดเด่น



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบอัตราการรู้จำแยกตามจำนวนรหัสโซน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ สำหรับตัวอักษรภาษาไทย โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับนี้ ได้ถูกปรับปรุงข้อมูลที่ใช้ในการสอนจาก 3 ส่วนด้วยกัน คือ การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร และการเข้ารหัส โดยได้ปรับปรุงวิธีการปรับขนาดของตัวอักษร ปรับแต่งข้อมูลเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผล จากนั้นได้ใช้ลักษณะเด่นเฉพาะของตัวอักษรภาษาไทยมาแยกความแตกต่าง เช่น จำนวนสโตรคของตัวอักษร จำนวนวงรอบ ตำแหน่งวงรอบ และทิศทางการวนของวงรอบ นอกจากนี้ได้ใช้รหัสโซนที่มีความเหมาะสมกับโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทย คือ แบบ 5 โซน และได้ปรับปรุงการเข้ารหัสข้อมูลโดยการเพิ่มตำแหน่งสำหรับค่าข้อมูลที่มีความแม่นยำสูง เช่น จำนวนสโตรค จำนวนวงรอบ เป็นต้น

การสอนและทดสอบข่ายงานประสาทที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้เครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ ของกันตา กิติยานันท์ [3] และได้เก็บตัวอย่างตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยของผู้วิจัย 67 ตัว จำนวน 90 ชุด โดยข้อมูลลายมือเขียนที่ได้นี้จะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน คือ ส่วนละ 30 ชุด เพื่อใช้ในการสอนข่ายงานประสาท ทดสอบข่ายงานประสาท และทดสอบอัตราการรู้จำ

เพื่อเป็นการทดสอบเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงระบบการรู้จำ จึงได้ทำการทดสอบการรู้จำในเชิงเปรียบเทียบอัตราการรู้จำ ระหว่างเทคนิคการปรับปรุงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และการใช้เทคนิคจากงานวิจัยเดิมของโชติ ศิริวงศ์วิเชียร และปกิตต์ นิธิวิบูลย์ [2] โดยใช้ชุดลายมือสอนและทดสอบเดียวกัน

ผลการทดสอบที่ได้พบว่าการใช้เทคนิคร่วมระหว่างการหาจำนวนสโตรค จำนวนวงรอบ ตำแหน่งของวงรอบแบบ 5 โซน ทิศทางของวงรอบ เปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละโซน การหาจุดเด่น รหัสโซนของแต่ละจุด และการเพิ่มตำแหน่งของจำนวนสโตรคและวงรอบ จะทำให้ข่ายงานประสาทที่ได้มีอัตราการรู้จำที่ดีขึ้นจากงานวิจัยเดิม โดยสามารถรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 96.62 รู้จำผิดเฉลี่ยร้อยละ 1.79 และไม่สามารถรู้จำได้เฉลี่ยร้อยละ 1.59

5.2 ข้อจำกัด

5.2.1 ข่ายงานประสาทที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะสามารถจดจำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยได้ 67 ตัวเท่านั้น

5.2.2 ข่ายงานประสาทที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะรู้จำได้ดีเฉพาะตัวอักษรลายมือเขียนของผู้วิจัยเพียงคนเดียวเท่านั้น ถ้าเป็นลายมือของบุคคลอื่น อัตราการรู้จำจะลดลง ดังนั้นหากต้องการใช้เทคนิคการปรับปรุงที่ใช้ในงานวิจัยนี้กับลายมือเขียนของบุคคลอื่น จำเป็นที่จะต้องทำการสอนข่ายงานใหม่ด้วยลายมือของบุคคลนั้นด้วย

5.2.3 ข่ายงานประสาทที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะรู้จำได้ดีจะต้องเขียนตัวอักษรภาษาไทยตามรูปแบบจาก แบบฝึกหัดคัดไทย ของสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

5.3 ข้อเสนอแนะ

การทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยพบว่ายังมีข้อเสนอแนะบางประการที่น่าจะเป็นประโยชน์ และสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงหรือพัฒนาระบบการรู้จำลายมือเขียนต่อไปได้ ดังนี้

5.3.1 ข่ายงานประสาทที่ได้ ควรมีความยืดหยุ่นต่อลักษณะลายมือของผู้เขียนให้มากขึ้น คือ สามารถใช้กับลายมือของบุคคลใดก็ได้

5.3.2 ข่ายงานประสาทที่ได้ ควรมีความยืดหยุ่นต่อภาษาที่ใช้ในการเขียน คือ สามารถเขียนได้มากกว่า 1 ภาษา

5.3.3 เทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเน้นรูปแบบการเขียนมาก โดยเฉพาะลักษณะของวงรอบจำเป็นที่จะต้องเขียนให้ชัดเจน ดังนั้น ถ้าลายมือเขียนวงรอบไม่ชัดเจน จะทำให้อัตราการรู้จำลดลง จึงควรหาเทคนิคอื่นๆ ที่สามารถชดเชยลักษณะการเขียนวงรอบได้

5.3.4 การปรับปรุงระบบการรู้จำ นอกจากจะปรับปรุงได้ในส่วนการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร และการเข้ารหัส ที่ได้เสนอในงานวิจัยนี้แล้ว ยังสามารถปรับปรุงในส่วนของการสอนข่ายงานประสาท เช่น การหาจำนวนชั้นซ่อน(Hidden layer) หรือโมเมนตัมที่เหมาะสมในข่ายงานประสาท

5.3.5 งานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างเทคนิค ดังนั้นจึงบอกไม่ได้ว่าถ้าใช้บางเทคนิคจะทำให้ผลดีขึ้นหรือลดลง ดังนั้น ถ้ามีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างเทคนิคจะมีประโยชน์ในการปรับปรุงการรู้จำมาก

รายการอ้างอิง

1. อภิชาต สัจจพงษ์. การรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์โดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
2. โชติ ศิริวงศ์วิเชียร และ ปกิตต์ นิธิวิบูลย์. การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการเข้ารหัสตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยเพื่อระบบการรู้จำโดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ก. โครงงานทางวิศวกรรมปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
3. กันตา กิติยานันท์. การพัฒนาเครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
4. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). แบบฝึกหัดคัดไทย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร :, 2541.
5. Stuttgart Neural Network Simulator (SNNS). Available from: <http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/SNNS/>.
6. X. Li and D. Yeung. On-line Handwritten Alphanumeric Character Recognition using Dominant Points in Strokes. Pattern Recognition vol. 30, no.1 (1997) : 31-44.
7. A. Nair and C.G. Leedham. Preprocessing of Line Codes for Online Recognition Purposes. Electronics Letters vol. 27, (1991) : 1-2.
8. I. Pitas. Digital Image Processing Algorithms. U.K. : Prentice Hall, 1993.
9. X. Li , M. Parizeau and R. Plamondon. Segmentation and Reconstruction of On-line Handwritten Scripts. Pattern Recognition vol. 31, no.6 (1998) : 675-684.
10. E. Rich and K. Knight. Artificial Intelligence. 2nd. Singapore : McGraw-Hill, 1991.
11. ราชบัณฑิตยสถาน. มาตรฐานโครงสร้างตัวอักษรไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : อรุณการพิมพ์, 2540.

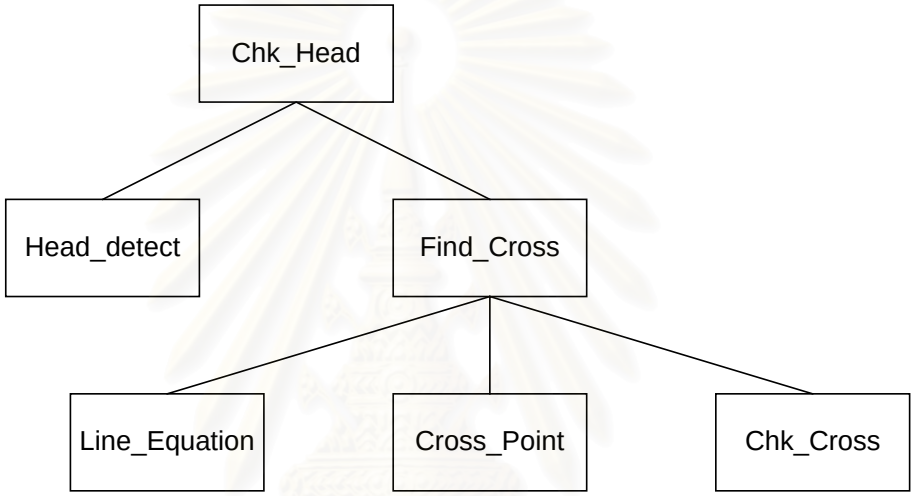
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

สคริปต์ที่ใช้ในการหาชุดข้อมูลวงรอบ

ชุดข้อมูลวงรอบ เป็นข้อมูลที่สำคัญที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วย จำนวน ตำแหน่ง และทิศทางการวนของวงรอบ ผู้วิจัยจึงได้เสนอสคริปต์ที่ใช้ในการหาชุดข้อมูลวงรอบ ที่อยู่ในรูปแบบไพธอนสคริปต์ (Python script) ซึ่งมีทั้งสิ้น 6 โมดูลดังนี้



รูปที่ ก.1 โมดูลที่ใช้หาชุดข้อมูลวงรอบ

1. Chk_Head

   เป็นโมดูลหลักที่ใช้ในการหาชุดข้อมูลวงรอบ

2. Head_detect

   เป็นโมดูลที่ใช้ในการหาวงรอบแบบสังเกตการเปลี่ยนแปลงทิศทางรหัสลูกโซ่

3. Find_Cross

   เป็นโมดูลที่ใช้ในการหาวงรอบแบบหาจุดตัด

4. Line_Equation

   เป็นโมดูลที่ใช้หาสมการเส้นตรงของจุดสองจุด

5. Cross_Point

   เป็นโมดูลที่ใช้หาจุดตัดโดยใช้สมการเส้นตรงสองเส้น

6. Chk_Cross

   เป็นโมดูลตรวจเช็คว่าจุดตัดเป็นจุดที่อยู่บนเส้นตรงทั้งสองเส้น

```
 # หาวงรอบของตัวอักษร
def Chk_Head(plist):
    head,foundH=0,0
    newStroke=1 #true
    fhead=plist[0]
    i,i2=0,0
    found=[]
    while i < len(plist)-1 :
        # หาวงรอบด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงของรหัสลูกโซ่
        if (i==5 and head == 0) or (newStroke==1 and i==i2+5 and dHead==head):
            if i2+15 > len(plist):
                L=len(plist)-i2
            else:
                L=15
            head,found = Head_detect(head,found,plist,i2,L)
            newstroke=0 #false
        j=i+4
        # หาวงรอบด้วยวิธีการหาจุดตัด
        StartP1=plist[i]
        EndP1=plist[i+1]
        while (j<len(plist)-1)and(j<=(i+35))and(plist[j].f<>2):
            StartP2=plist[j]
            EndP2=plist[j+1]
              FoundH = Find_Cross (StartP1.x, StartP1.y, EndP1.x, EndP1.y, StartP2.x,
                          StartP2.y, EndP2.x, EndP2.y)
              # พบวงรอบ
            if foundH==1:
                k=i
                temp=[]
                tempZone=[]
                sumT=0
                while (k>=i and k<=j):
                    # หาค่าโซนทั้งหมดของจุดที่เป็นส่วนหนึ่งของวงรอบ
                  tempZone.append(plist[k].zone)
                  n1= plist[k].direct
                  n2= plist[k+1].direct
```

```
                if n1- n2 >= 5 :
                  n2 = n1+n2+1
                elif n2-n1 >= 5 :
                  n1 = n2+n1+1
                sumT=sumT+(n2-n1)
                k=k+1
              # ตรวจสอบทิศทางของวงรอบ
              if sumT<=0:
                Htype=1        # วงรอบแบบตามเข็มนาฬิกา
              else:
                Htype=2        # วงรอบแบบทวนเข็มนาฬิกา
              # ข้อมูลของวงรอบ : ตำแหน่งของวงรอบ, ชนิดของวงรอบ, จำนวนวงรอบ
              temp.append(tempZone)
              temp.append(Htype)
              found.append(temp)
              head=head+1
              i=j+4
              break
          j=j+1
      # กรณีตัวอักษรมีมากกว่า 1 สโตรค
      if (i+4 < len(plist)):
          if (plist[i+4].f==2): # กรณี 4 จุดถัดไปเป็นสโตรคใหม่
              # กำหนดค่า i และ i2 ไปยังจุดเริ่มต้นของสโตรคใหม่
              i=i+5
              i2=i
              newStroke=1  #true
              dHead=head
          else:
              i=i+1
      else:
          i=i+1
headzone=[0,0,0,0,0,0,0,0,0]
headzone[0]=head
for i in range(len(found)):
      # หาค่าตำแหน่งของวงรอบ
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        Hzone=major(found[i][0])
        headzone[Hzone]=1
        if i==0:
            headzone[6]=found[i][1]     # ทิศทางของวงรอบที่ 1
        if i==1:
            headzone[7]=found[i][1]     # ทิศทางของวงรอบที่ 2
        if i==2:
            headzone[8]=found[i][1]     # ทิศทางของวงรอบที่ 3
    return headzone

# หาจุดตัดของเส้นตรงสองเส้น
def Find_Cross(Start1X,Start1Y,End1X,End1Y,Start2X,Start2Y,End2X,End2Y):
    # หาชนิดของเส้นตรงและสมการเส้นตรงของทั้ง 2 เส้น
    LType1,y1,x1,m1,c1 = Line_Equation(Start1X,Start1Y,End1X,End1Y)
    LType2,y2,x2,m2,c2 = Line_Equation(Start2X,Start2Y,End2X,End2Y)
    # ถ้าเส้นตรงทั้งสองเป็นชนิดเดียวกัน และค่าความชันเท่ากัน เส้นตรงสองเส้นไม่ตัดกัน
    if ((LType1==3)and(LType2==3)) and (m1==m2):
        cross=0
    elif ((LType1==1)and(LType2==1)) or ((LType1==2)and(LType2==2)):
        cross=0
    else:          # หาจุดตัดของเส้นตรง
        crossX,crossY = Cross_Point(LType1,y1,x1,m1,c1,LType2,y2,x2,m2,c2)
        cross = Chk_Cross (crossX, crossY, Start1X, Start1Y, End1X, End1Y, Start2X, Start2Y, End2X,
End2Y)
    return cross

# หาสมการเส้นตรง
def Line_Equation(StartX,StartY,EndX,EndY):
    LType,y,x,m,c = 0,0,0,0,0
    dx=EndX-StartX
    dy=EndY-StartY
    if dx==0:
        LType = 1               # เส้นตรงตั้งฉากกับแกน X
        x = StartX
    elif dy==0:
        LType = 2               # เส้นตรงขนานกับแกน X (ความชันเป็น 0)
```

```
        y = StartY
    else:
        LType = 3                # เส้นตรงมีความชัน = m
        m = dy/dx
        c = StartY-(m*StartX)
    return LType,y,x,m,c

# การหาจุดตัดจากสมการเส้นตรง
def Cross_Point(LType1,y1,x1,m1,c1,LType2,y2,x2,m2,c2):
    if (LType1==1) and (LType2==2):
        crossX = x1
        crossY = y2
    elif (LType1==2) and (LType2==1):
        crossX = x2
        crossY = y1
    elif (LType1==1) and (LType2==3):
        crossX = x1
        crossY = (m2*x1)+c2
    elif (LType1==3) and (LType2==1):
        crossX = x2
        crossY = (m1*x2)+c1
    elif (LType1==2) and (LType2==3):
        crossX = (y1-c2)/m2
        crossY = y1
    elif (LType1==3) and (LType2==2):
        crossX = (y2-c1)/m1
        crossY = y2
    elif (LType1==3) and (LType2==3):
        crossX = (c2-c1)/(m1-m2)
        crossY = (m1*crossX)+c1
    return crossX,crossY
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
# ตรวจสอบจุดตัดบนเส้นตรงทั้งสองเส้น
def Chk_Cross(crossX,crossY,Start1X,Start1Y,End1X,End1Y,Start2X,Start2Y,End2X,End2Y):
    cross = 0
    if ((crossX<=max(Start1X,End1X))and(crossX>=min(Start1X,End1X))) and
       ((crossY<=max(Start1Y,End1Y))and(crossY>=min(Start1Y,End1Y))):
        if ((crossX<=max(Start2X,End2X))and(crossX>=min(Start2X,End2X))) and
           ((crossY<=max(Start2Y,End2Y))and(crossY>=min(Start2Y,End2Y))):
            cross = 1
            gui.circle(crossX*4,crossY*4,5)
            gui.circle(crossX*4,crossY*4,10)
    return cross


# หาวงรอบด้วยวิธีสังเกตการเปลี่ยนแปลงทิศทางรหัสลูกโซ่
def Head_detect(head,found,plist,Start,Long):
    i=Start
    L=Start+Long
    headtype=[]
    while i < L :
        j=i
        # จุดเริ่มต้นของวงรอบมีรหัสโซนเป็น 7 หรือ 0 และมีทิศทางการวนตามเข็มนาฬิกา
        if (plist[j].direct == 7 or plist[j].direct == 0) and j < L-1 :
            j=j+1
            while(plist[j].direct == 7 or plist[j].direct == 0)and j < L-1:
                j=j+1
            if (plist[j].direct == 5 or plist[j].direct == 6)and j < L-1:
                j=j+1
                while(plist[j].direct == 5 or plist[j].direct == 6)and j < L-1:
                    j=j+1
                if (plist[j].direct == 3 or plist[j].direct == 4)and j < L-1:
                    j=j+1
                    while(plist[j].direct == 3 or plist[j].direct == 4)and j < L-1:
                        j=j+1
                    if (plist[j].direct == 1 or plist[j].direct == 2) and j-i <=15 and j < L-1:
                        k=i
```

```
            temp=[]
            tempZone=[]
            while (k>=i and k<=j): #พบวงรอบโดยมีทิศทางการวนตามเข็มนาฬิกา
                z=plist[k].zone
                tempZone.append(z)
                k=k+1
            temp.append(tempZone)
            temp.append(1)
            found.append(temp)
            head=head+1
            i=j+10
        else :
            head=head

  # จุดเริ่มต้นของวงรอบมีรหัสโซนเป็น 7 หรือ 0 และมีทิศทางการวนทวนเข็มนาฬิกา
elif (plist[j].direct == 1 or plist[j].direct == 2)and j < L-1:
    j=j+1
    while(plist[j].direct == 1 or plist[j].direct == 2)and j < L-1:
        j=j+1
    if (plist[j].direct == 3 or plist[j].direct == 4)and j < L-1:
        j=j+1
        while(plist[j].direct == 3 or plist[j].direct == 4)and j < L-1:
            j=j+1
        if (plist[j].direct == 5 or plist[j].direct == 6) and j-i <=15 and j < L-1:
            k=i
            temp=[]
            tempZone=[]
            while (k>=i and k<=j): #พบวงรอบโดยมีทิศทางการวนทวนเข็มนาฬิกา
                z=plist[k].zone
                tempZone.append(z)
                k=k+1
            temp.append(tempZone)
            temp.append(2)
            found.append(temp)
            head=head+1
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            i=j+10
        else :
            head=head

# จุดเริ่มต้นของวงรอบมีรหัสโซนเป็น 5 หรือ 6 และมีทิศทางการวนตามเข็มนาฬิกา
 elif ( plist[j].direct == 5 or plist[j].direct == 6) and j < L-1 :
    j=j+1
    while(plist[j].direct == 5 or plist[j].direct == 6)and j < L-1:
        j=j+1
    if (plist[j].direct == 3 or plist[j].direct == 4)and j < L-1:
        j=j+1
        while(plist[j].direct == 3 or plist[j].direct == 4)and j < L-1:
            j=j+1
        if (plist[j].direct == 1 or plist[j].direct == 2)and j < L-1:
            j=j+1
            while(plist[j].direct == 1 or plist[j].direct == 2)and j < L-1:
                j=j+1
            if (plist[j].direct == 0 or plist[j].direct == 7) and j-i <=15 and j < L-1:
                k=i
                temp=[]
                tempZone=[]
                while (k>=i and k<=j): #พบวงรอบโดยมีทิศทางการวนตามเข็มนาฬิกา
                    z=plist[k].zone
                    tempZone.append(z)
                    k=k+1
                temp.append(tempZone)
                temp.append(1)
                found.append(temp)
                head=head+1
                i=j+10
            else :
                head=head
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    # จุดเริ่มต้นของวงรอบมีรหัสโซนเป็น 5 หรือ 6 และมีทิศทางการวนทวนเข็มนาฬิกา
  elif (plist[j].direct == 7 or plist[j].direct == 0)and j < L-1:
    j=j+1
    while(plist[j].direct == 7 or plist[j].direct == 0)and j < L-1:
      j=j+1
    if (plist[j].direct == 1 or plist[j].direct == 2)and j < L-1:
      j=j+1
      while(plist[j].direct == 1 or plist[j].direct == 2)and j < L-1:
        j=j+1
      if (plist[j].direct == 3 or plist[j].direct == 4) and j-i <=15 and j < L-1:
        k=i
        temp=[]
        tempZone=[]
        while (k>=i and k<=j): #พบวงรอบโดยมีทิศทางการวนทวนเข็มนาฬิกา
          z=plist[k].zone
          tempZone.append(z)
          k=k+1
        temp.append(tempZone)
        temp.append(2)
        found.append(temp)
        head=head+1
        i=j+10
      else :
        head=head

# จุดเริ่มต้นของวงรอบมีรหัสโซนเป็น 3 หรือ 4 และมีทิศทางการวนตามเข็มนาฬิกา
elif ( plist[j].direct == 3 or plist[j].direct == 4) and j < L-1 :
  j=j+1
  while(plist[j].direct == 3 or plist[j].direct == 4)and j < L-1:
    j=j+1
  if (plist[j].direct == 1 or plist[j].direct == 2)and j < L-1:
    j=j+1
    while(plist[j].direct == 1 or plist[j].direct == 2)and j < L-1:
      j=j+1
    if (plist[j].direct == 7 or plist[j].direct == 0)and j < L-1:
```

```
        j=j+1
        while(plist[j].direct == 7 or plist[j].direct == 0)and j < L-1:
            j=j+1
        if (plist[j].direct == 5 or plist[j].direct == 6) and j-i <=15 and j < L-1:
            k=i
            temp=[]
            tempZone=[]
            while (k>=i and k<=j): #พบวงรอบโดยมีทิศทางการวนตามเข็มนาฬิกา
                z=plist[k].zone
                tempZone.append(z)
                k=k+1
            temp.append(tempZone)
            temp.append(1)
            found.append(temp)
            head=head+1
            i=j+10
        else :
            head=head

    # จุดเริ่มต้นของวงรอบมีรหัสโซนเป็น 3 หรือ 4 และมีทิศทางการวนทวนเข็มนาฬิกา
elif (plist[j].direct == 5 or plist[j].direct == 6)and j < L-1:
    j=j+1
    while(plist[j].direct == 5 or plist[j].direct == 6)and j < L-1:
        j=j+1
    if (plist[j].direct == 7 or plist[j].direct == 0)and j < L-1:
        j=j+1
        while(plist[j].direct == 7 or plist[j].direct == 0)and j < L-1:
            j=j+1
        if (plist[j].direct == 1 or plist[j].direct == 2) and j-i <=15 and j < L-1:
            k=i
            temp=[]
            tempZone=[]
            while (k>=i and k<=j): #พบวงรอบโดยมีทิศทางการวนทวนเข็มนาฬิกา
                z=plist[k].zone
                tempZone.append(z)
```

```
                k=k+1
            temp.append(tempZone)
            temp.append(2)
            found.append(temp)
            head=head+1
            i=j+10
        else :
            head=head

# จุดเริ่มต้นของวงรอบมีรหัสโซนเป็น 1 หรือ 2 และมีทิศทางการวนตามเข็มนาฬิกา
elif ( plist[j].direct == 1 or plist[j].direct == 2) and j < L-1 :
    j=j+1
    while(plist[j].direct == 1 or plist[j].direct == 2)and j < L-1:
        j=j+1
    if (plist[j].direct == 7 or plist[j].direct == 0)and j < L-1:
        j=j+1
        while(plist[j].direct == 7 or plist[j].direct == 0)and j < L-1:
            j=j+1
        if (plist[j].direct == 5 or plist[j].direct == 6)and j < L-1:
            j=j+1
            while(plist[j].direct == 5 or plist[j].direct == 6)and j < L-1:
                j=j+1
            if (plist[j].direct == 3 or plist[j].direct == 4) and j-i <=15 and j < L-1:
                k=i
                temp=[]
                tempZone=[]
                while (k>=i and k<=j): #พบวงรอบโดยมีทิศทางการวนตามเข็มนาฬิกา
                    z=plist[k].zone
                    tempZone.append(z)
                    k=k+1
                temp.append(tempZone)
                temp.append(1)
                found.append(temp)
                head=head+1
                i=j+10
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                else :
                    head=head

            # จุดเริ่มต้นของวงรอบมีรหัสโซนเป็น 1 หรือ 2 และมีทิศทางการวนทวนเข็มนาฬิกา
        elif (plist[j].direct == 3 or plist[j].direct == 4)and j < L-1:
            j=j+1
            while(plist[j].direct == 3 or plist[j].direct == 4)and j < L-1:
                j=j+1
            if (plist[j].direct == 5 or plist[j].direct == 6)and j < L-1:
                j=j+1
                while(plist[j].direct == 5 or plist[j].direct == 6)and j < L-1:
                    j=j+1
                if (plist[j].direct == 7 or plist[j].direct == 0) and j-i <=15 and j < L-1:
                    k=i
                    temp=[]
                    tempZone=[]
                    while (k>=i and k<=j): #พบวงรอบโดยมีทิศทางการวนทวนเข็มนาฬิกา
                        z=plist[k].zone
                        tempZone.append(z)
                        k=k+1
                    temp.append(tempZone)
                    temp.append(2)
                    found.append(temp)
                    head=head+1
                    i=j+10
                else :
                    head=head
    else:
        head=head
    i=i+1
return head,found
```

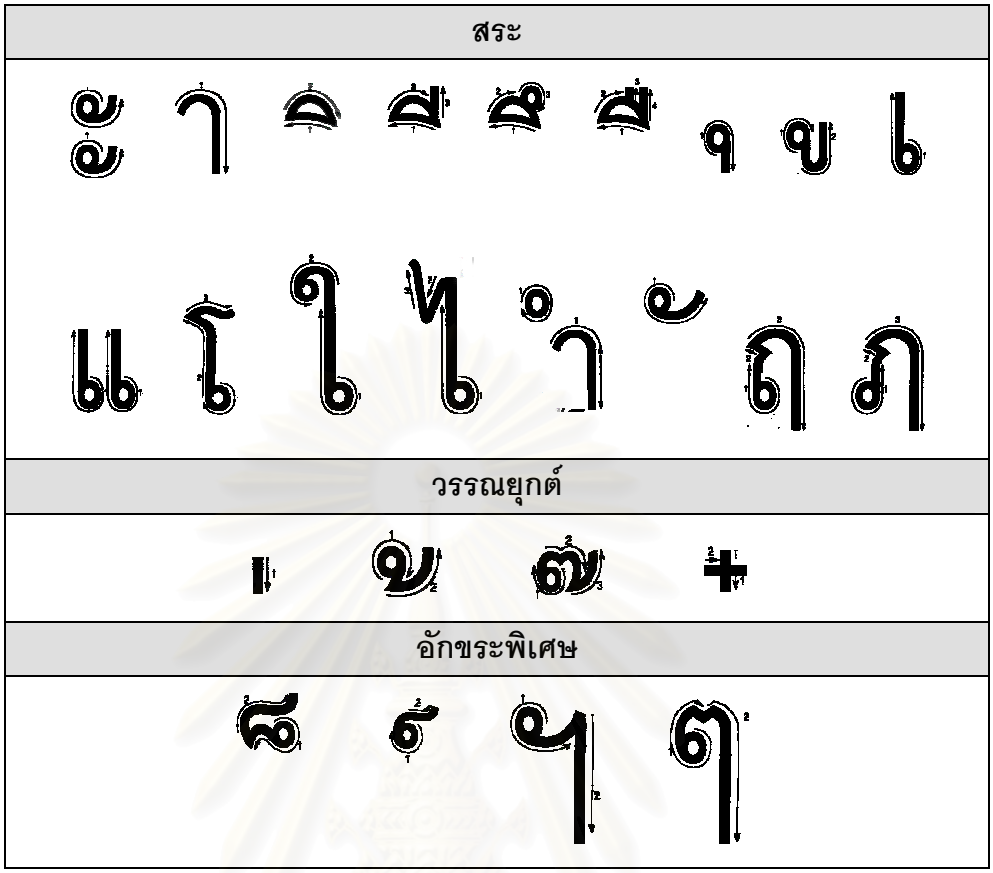
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ลักษณะตัวอักษรภาษาไทยที่ใช้ในการวิจัย

การเขียนตัวอักษรภาษาไทย สามารถเขียนได้หลายลักษณะ เช่น เขียนตัวอักษร ก จากด้านหลังมาข้างหน้า เขียน ว จากบนมาล่าง ซึ่งการเขียนในลักษณะนี้จะทำให้อัตราการรู้จำที่ได้จากงานวิจัยนี้ลดลง เนื่องจากรูปแบบการเขียนจะแตกต่างไปจากตัวอักษรลายมือเขียนที่ใช้สอนข่ายงานประสาท เช่น ความแตกต่างของลำดับจุดลายมือที่เขียน ความแตกต่างทิศทางของวงรอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกวิธีเขียนตัวอักษรภาษาไทยต้นแบบจาก แบบฝึกหัดคัดไทย ของสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) เพื่อเป็นแนวทางการเขียนตัวอักษรสำหรับงานวิจัยนี้ แสดงได้ดังรูป

รูปที่ ข.1 รูปแบบการเขียนพยัญชนะไทย



รูปที่ ข.2 รูปแบบการเขียนสระ วรรณยุกต์และอักขระพิเศษ

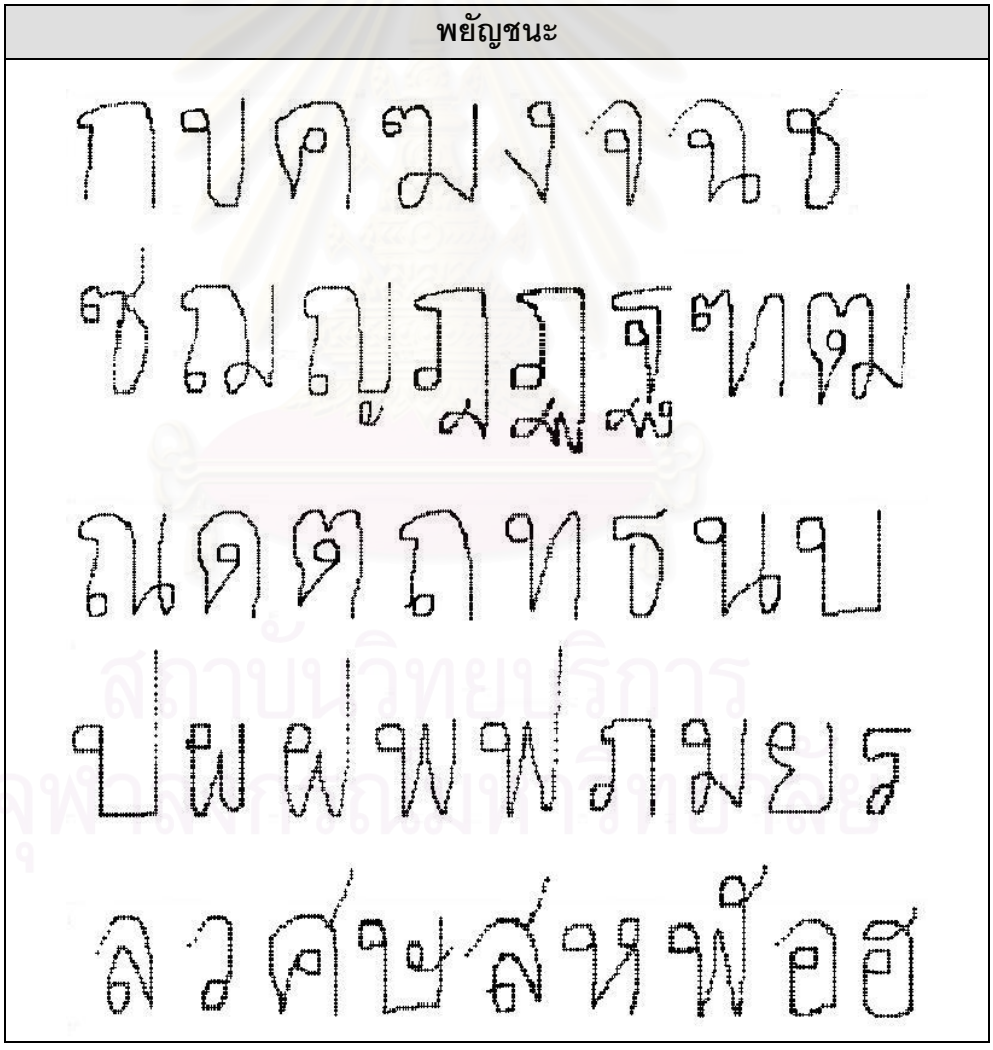
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

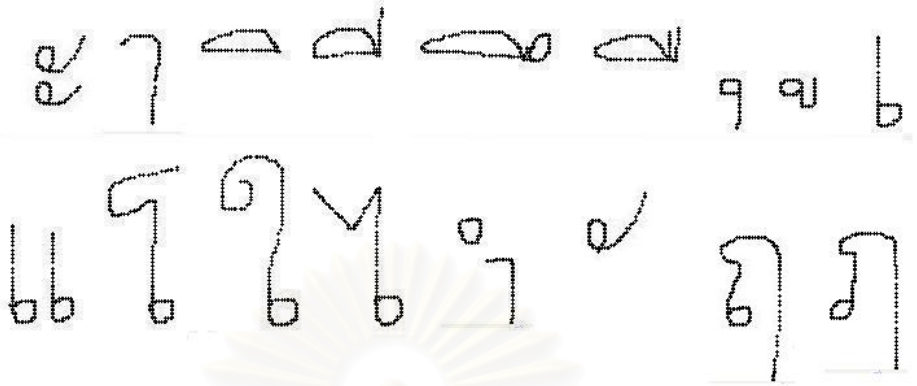
ลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยที่ใช้ในการวิจัย

ลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นลายมือของผู้ทำวิจัยทั้งหมด 6030 ตัวอักษร ซึ่งได้จากการเขียนตัวอักษรทั้ง 67 ตัว (พยัญชนะ 42 ตัว สระ 17 ตัว วรรณยุกต์ 4 ตัว และอักขระพิเศษ 4 ตัว) ตัวละ 90 ครั้ง โดยข้อมูลลายมือเขียนที่ได้นี้จะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน คือ ส่วนละ 2010 ตัวอักษร เพื่อใช้ในการสอนข่ายงานประสาท ทดสอบข่ายงานประสาท และทดสอบอัตราการรู้จำ ตัวอย่างลายมือเขียนแสดงดังรูป

พยัญชนะ



รูปที่ ค.1 ลายมือเขียนพยัญชนะไทย

สระ

วรรณยุกต์
อักขระพิเศษ

รูปที่ ค.2 ลายมือเขียนสระ วรรณยุกต์และอักขระพิเศษ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปกรณ์ บุพศิริ เกิดเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2513 ที่จังหวัดนครพนม สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต(วท.บ.) สาขาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยานเรศวร เมื่อปีการศึกษา 2535 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรพัฒนบริหารศาสตรมหาบัณฑิตทางสถิติประยุกต์(พบ.ม.) สาขาสถิติ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(วท.ม.) ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543 ปัจจุบันทำงานที่บริษัทบริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย