

ระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ สำหรับสัญลักษณ์ภาษาเซต  
โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ



นายนำชัย ยี่งวอลจันทร์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3764-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN ONLINE HANDWRITING RECOGNITION SYSTEM FOR Z SYMBOL  
USING BACK PROPAGATION NEURAL NETWORK



Mr. Numchai Yingnuanchun

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 2003

ISBN 974-17-3764-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์      ระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ สำหรับสัญลักษณ์ภาษาเขมร  
โดยให้ทำงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ  
โดย                              นายนำชัย ยิ่งนวลจันทร์  
สาขาวิชา                      วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้มหาวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โควาศิลาวัณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราทิพย์ สุวรรณศาสตร์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญชัย ไสวรรณวนิชกุล)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นำชัย ยิงนวลจันทร์ : ระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ สำหรับสัญลักษณ์ภาษาเซต โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ. (AN ONLINE HANDWRITING RECOGNITION SYSTEM FOR Z SYMBOL USING BACK PROPAGATION NEURAL NETWORK) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ, 110 หน้า. ISBN 974-17-3764-5.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับสัญลักษณ์ในภาษาเซตโดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ โดยครอบคลุมสัญลักษณ์ที่แตกต่างกันจำนวน 103 ตัว งานวิจัยมีการพัฒนาระบบการประมวลผลเบื้องต้นด้วยเทคนิคการนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรค การพัฒนาระบบการหาลักษณะเด่นด้วยเทคนิคการแบ่งสโตรคออกเป็นเซกเมนต์ และหาชนิดของสโตรคและเซกเมนต์โดยพิจารณาจากค่าความโค้งและจำนวนจุดเด่นของแต่ละสโตรค และการพัฒนาระบบการเข้ารหัสด้วยการจัดโครงสร้างของข้อมูลนำเข้าให้เป็นสัดส่วนสำหรับลักษณะเด่นแต่ละชนิดของแต่ละสโตรค

จากการสอนข่ายงานประสาทด้วยข้อมูลลักษณะเด่น ได้แก่ จำนวนสโตรคของสัญลักษณ์ จำนวนสโตรคชนิดจุด จำนวนสโตรคชนิดวงรอบ จำนวนสโตรคชนิดเส้นตรง อัตราส่วนของจุดในแต่ละไซน รหัสลูกโซ่ของสัญลักษณ์ ชนิดของเซกเมนต์ และจำนวนจุดเด่นของแต่ละสโตรค เมื่อทดสอบข่ายงานประสาทที่ได้ด้วยลายมือของผู้วิจัยจำนวน 3,090 ตัว ได้ค่าอัตราการเรียนรู้จำถูกต้องร้อยละ 92.46 รู้จำผิดร้อยละ 5.50 และรู้จำไม่ได้ร้อยละ 2.04 ซึ่งสามารถประมาณค่าอัตราการเรียนรู้จำของข่ายงานประสาท ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ อยู่ในช่วงร้อยละ 91.53 ถึง 93.39

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2546

ลายมือที่อนิสิต.....  
ลายมือที่อาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือที่อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4471424621 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEY WORD: ONLINE HANDWRITING RECOGNITION / BACK PROPAGATION NEURAL NETWORK / DOMINANT POINT / CROOKEDNESS / Z / SYMBOL

NUMCHAI YINGNUANCHUN : AN ONLINE HANDWRITING RECOGNITION SYSTEM FOR Z SYMBOL USING BACK PROPAGATION NEURAL NETWORK. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. WIWAT VATANAWOOD, PH.D., 110 pp. ISBN 974-17-3764-5.

The objective of this research is to seek a methodology for an online handwriting recognition system for Z symbols by using back propagation neural network. This research, which covers 103 different symbols, proposes 3 main processes, 1) data preprocessing process by using stroke oriented normalization; 2) feature extraction process by stroke segmentation and stroke/segment type checking by using crookedness value and number of dominant points in stroke; 3) encoding process by arranging structure of input nodes for the neural network so that the same feature of the same stroke is stored at the same input node for every symbol.

The number of strokes, number of loop typed strokes, number of straight line typed strokes, number of dot typed strokes, weight of points in each zone, chain codes of stroke, segment type, and number of stroke's dominant points are used as the training features for the neural network. The test result from 3,090 characters of researcher's handwriting gives a recognition rate of 92.46%, incorrect rate of 5.50%, and rejection rate of 2.04%. The estimated recognition rate of the system at 95% confident level is in range 91.53% to 93.39%

Department	Computer Engineering	Student's signature.....
Field of study	Computer Science	Advisor's signature.....
Academic year	2003	Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ โดยได้รับความช่วยเหลืออย่างมากจาก ผศ.ดร. วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นและแนวทางในการค้นคว้าและแก้ปัญหาต่างๆ ด้วยดีมาตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง มา ณ ที่นี้

นอกเหนือจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะนำ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ซึ่งเป็นรากฐานที่นำมาสู่ความสำเร็จของวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และ น้องๆ ที่ให้ความสนับสนุนช่วยเหลือผู้วิจัย ทั้งทางด้านความคิดเห็น เครื่องมืออุปกรณ์ และ กำลังใจ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้ความเข้าใจและสนับสนุนผู้วิจัย ทางด้านการศึกษาตลอดมา

นำชัย ยิงนวลจันทร์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	3
1.4 ขั้นตอนดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1.1 การพัฒนาเครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ .....	4
2.1.2 การปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับตัวอักษร ภาษาไทยโดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ .....	5
2.1.3 วิธีการเข้ารหัสลูกโซ่สำหรับการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ .....	5
2.2 ภาษาเซต .....	6
2.3 การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น .....	7
2.3.1 การนอร์มอลไลซ์.....	8
2.3.2 การปรับแต่งและกำจัดสัญญาณรบกวนในข้อมูลลายมือเขียน .....	9
2.4 การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร .....	13
2.4.1 รหัสลูกโซ่ .....	13
2.4.2 จุดเด่น .....	14
2.4.3 รหัสไซน .....	16
2.4.4 จำนวนสโตรค .....	16
2.4.5 จำนวนวงรอบ .....	17
2.5 ข่ายงานประสาท .....	17

บทที่ 3 กระบวนการคัดเลือกและกำหนดรูปแบบของสัญลักษณ์ .....	20
3.1 การคัดเลือกสัญลักษณ์ที่จะนำมาใช้ในระบบการรู้จำ .....	20
3.2 การกำหนดรหัสสำหรับใช้อ้างอิงถึงแต่ละสัญลักษณ์ .....	21
3.3 การกำหนดลักษณะวิธีการเขียนสัญลักษณ์ .....	27
บทที่ 4 กระบวนการสอนข่ายงานประสาท .....	36
4.1 การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น .....	36
4.1.1 การนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรค .....	36
4.1.2 การปรับแต่งและกำจัดสัญญาณรบกวนในข้อมูลลายมือเขียน .....	41
4.2 การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร .....	42
4.2.1 ค่าความโค้ง .....	42
4.2.2 จำนวนจุดเด่นของแต่ละสโตรค .....	43
4.2.3 ชนิดของสโตรคและเซกเมนต์ .....	44
4.2.4 รหัสไซนของจุดเด่น .....	51
4.2.5 อัตราส่วนของจุดในแต่ละไซน .....	51
4.3 การเข้ารหัส .....	52
4.4 การสอนข่ายงานประสาท .....	60
บทที่ 5 การทดสอบอัตราการเรียนรู้จำและวิเคราะห์ผล .....	61
5.1 การทดสอบระบบการเรียนรู้จำ .....	61
5.2 ผลการทดสอบระบบการเรียนรู้จำ .....	61
5.3 วิเคราะห์ผลการรู้จำ .....	66
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	69
6.1 สรุปผลการวิจัย .....	69
6.2 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	70
6.3 ข้อจำกัด .....	70
6.4 ข้อเสนอแนะ .....	70
รายการอ้างอิง .....	72
ภาคผนวก .....	74
ภาคผนวก ก ตัวอย่างของข้อกำหนดรูปถ่ายที่แสดงในรูปสัญลักษณ์เซต .....	75
ภาคผนวก ข ชื่อ และ รูปของอักขระในภาษาเซต .....	77
ภาคผนวก ค ข้อความสั่งในรูปแบบลาเท็กซ์ รูปแบบการใช้ในรูปสัญลักษณ์เซต และ ความหมาย .....	79



ภาคผนวก ง ตัวอย่างลายมือเขียนที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....81

ภาคผนวก จ ตัวอย่างคำรหัสของลักษณะเด่นต่างๆของสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ .....84

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 110



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่	
3.1 รหัสเอาต์พุต รหัสแบบอักษรในฐานสิบ และ ความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ .....	23
3.2 วิธีการเขียนสัญลักษณ์.....	29
4.1 การกำหนดรหัสแก่ลักษณะเด่นต่างๆ .....	53
4.2 การจัดโครงสร้างของข้อมูลนำเข้าและตัวอย่างข้อมูลนำเข้าสำหรับสัญลักษณ์ P <sub>1</sub> .....	59
4.3 โครงสร้างและค่าพารามิเตอร์ของข่ายงานประสาทที่ใช้ .....	60
5.1 ผลการรู้จำและอัตราการเรียนรู้จากการทดสอบ.....	61
5.2 รายละเอียดผลการทดสอบการเรียนรู้จำลายมือเขียนสัญลักษณ์.....	62
5.3 ผลการทดสอบการเรียนรู้จำของสัญลักษณ์ที่รู้จำได้น้อยกว่าร้อยละ 70.....	67
5.4 ผลการทดสอบการเรียนรู้จำผิดส่วนใหญ่ของสัญลักษณ์ .....	67



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

1.1 ตัวอย่างข้อกำหนดรูปนัยในรูปแบบลาเท็กซ์ เทียบกับรูปแบบเค้าร่างในสัญลักษณ์เซต .....	1
2.1 รูปแบบของเค้าร่างเซต .....	6
2.2 ตัวอย่างของสัญลักษณ์ที่ใช้ในสัญลักษณ์เซต .....	7
2.3 มุมที่ใช้ในการคำนวณค่าเปลี่ยนแปลงมุม .....	12
2.4 ทิศทางของรหัสลูกโซ่แบบ 8 ทิศทาง .....	13
2.5 แสดงมุมของเส้นระหว่างจุด( $\alpha$ ) และมุมเปลี่ยนแปลง( $\Delta\alpha$ ) สำหรับการหาจุดเด่น .....	15
2.6 การแบ่งส่วนตัวอักษรและรหัสโซนของแต่ละส่วน .....	16
2.7 โครงสร้างของข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ .....	18
3.1 สัญลักษณ์ที่คัดเลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้ .....	20
3.2 ชุดแบบอักษรอังกฤษพีซีชุดดัดแปลงที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้ .....	22
4.1 ผลการทำนอร์มอลไลซ์แบบกำหนดความสูง ซึ่งกระจายจุดข้อมูลจนผิดเพี้ยน .....	37
4.2 ผลการทำนอร์มอลไลซ์แบบกำหนดความกว้างและความสูง ซึ่งทำให้สัดส่วนขนาดผิดเพี้ยน .....	37
4.3 ตัวอย่างผลการทำนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรคของสัญลักษณ์ • .....	40
4.4 ตัวอย่างผลการทำนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรคของสัญลักษณ์ » .....	40
4.5 ตัวอย่างผลการทำนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรคของสัญลักษณ์ >> .....	40
4.6 การวัดความยาวรวม ( $L_A$ ) และระยะขจัด ( $L_N$ ) ของสัญลักษณ์ ( $\sim$ และ 1) .....	43
4.7 ตัวอย่างจุดเด่นที่ตำแหน่งต่างๆของสโตรคของสัญลักษณ์ $\Xi$ .....	43
4.8 การแบ่งกลุ่มสัญลักษณ์ด้วยจำนวนและชนิดของสโตรค .....	46
4.9 ทิศทางและรหัสทิศทางของเส้นตรง .....	47
4.10 ตัวอย่างการแบ่งเซกเมนต์ของสโตรคที่ 1 และ 3 ของสัญลักษณ์ $\Xi$ .....	49
4.11 ตัวอย่างการแบ่งเซกเมนต์ของสัญลักษณ์ $\cap$ .....	49
4.12 รหัสจำลองสำหรับหาชนิดของสโตรคและเซกเมนต์ .....	50
4.13 ตัวอย่างการหารหัสโซนของจุดเด่นของสัญลักษณ์ $\Xi$ .....	51
4.14 ตัวอย่างการหารหัสของลักษณะเด่นสำหรับสัญลักษณ์ P <sub>1</sub> .....	54

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภาษาเซต (Z) เป็นภาษาที่ใช้ในการเขียนข้อกำหนดรูปนัย (Formal specification) ที่เป็นที่ยอมรับกัน สัญกรณ์เซต (Z notation) มีการใช้ตัวอักษร ตัวเลข และสัญลักษณ์ต่างๆ ประกอบในการเขียนจำนวนมาก

การใช้งานภาษาเซตในปัจจุบัน มีเครื่องมือช่วยที่ใช้ในการเขียนหลายชนิด โปรแกรมเซตอีฟ (Z/EVES) เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งซึ่งได้รับความนิยมสูง โดยผู้ใช้งานต้องป้อนข้อความเข้าในรูปของลาเท็กซ์ (Latex) ซึ่งโปรแกรมเซตอีฟจะสามารถตรวจสอบ พิสูจน์ข้อกำหนดที่เขียนขึ้น และแสดงผลของข้อกำหนดนั้นออกมาในรูปแบบสัญกรณ์เซต อันประกอบด้วยตัวอักษร ตัวเลข และสัญลักษณ์ต่างๆ ซึ่งเป็นรูปแบบที่ผู้ใช้งานสามารถอ่านและทำความเข้าใจได้ง่าย รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างของข้อกำหนดในรูปแบบลาเท็กซ์ เทียบกับรูปแบบเค้าร่าง (Schema box) ที่ใช้ในสัญกรณ์เซต

#### Latex Format

```
\begin{schema}{AddBirthday}
  \Delta BirthdayBook \{
    name?: NAME \{
      date?: DATE
    }
  }
  \where
    name? \notin known
  \also
    birthday' = birthday \cup \{ name? \mapsto date? \}
\end{schema}
```

#### Schema Box Format

```
-----
-AddBirthdayBook
ΔBirthdayBook
name? : NAME
date? : DATE
-----
name? ≠ known
birthday' = birthday ∪ {name? ↦ date?}
```

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างข้อกำหนดรูปนัยในรูปแบบลาเท็กซ์ เทียบกับรูปแบบเค้าร่างในสัญกรณ์เซต

จากรูป จะเห็นว่าการป้อนข้อความในรูปแบบลาเท็กซ์ ผู้ใช้งานต้องป้อนข้อมูลด้วยแป้นพิมพ์ในจำนวนสโตรคค่อนข้างมาก ในขณะที่ข้อความนั้นสามารถแทนได้ด้วยสัญลักษณ์เพียงไม่กี่ตัว ข้อความในรูปแบบลาเท็กซ์จะมีความยาวมากกว่าข้อความในรูปแบบสัญกรณ์เซต และไม่สามารถอ่านและทำความเข้าใจได้ง่ายเหมือนรูปแบบสัญกรณ์เซต นอกจากนี้ การป้อนข้อความใน

รูปแบบลาเท็กซ์ยังมีข้อจำกัดคือ ผู้ใช้จะต้องจดจำคำสั่งต่างๆในรูปแบบลาเท็กซ์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งทำได้ยากกว่าการจำสัญลักษณ์ต่างๆในสัทภรณ์เซต

ปัจจุบัน การป้อนข้อมูลด้วยเครื่องอ่านพิกัดแบบปากกาได้ถูกนำมาใช้งานมากขึ้น ทั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์พีซีและเครื่องคอมพิวเตอร์มือถือ เนื่องจากมีจุดเด่นคือ เป็นวิธีการป้อนข้อมูลที่สะดวก สามารถใช้เป็นอุปกรณ์ป้อนข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพาซึ่งไม่มีแป้นพิมพ์ และสามารถป้อนข้อมูลสำหรับงานกราฟิกได้ดี การใช้งานเครื่องอ่านพิกัดแบบปากกาจึงได้รับการพัฒนาและปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้ในงานต่างๆมากขึ้นเรื่อยๆ เช่น ระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับรู้จำตัวอักษรแบบต่างๆ เป็นต้น โดยผู้ใช้งานสามารถป้อนข้อมูลด้วยการเขียนตัวอักษรนั้นๆลงบนเครื่องอ่านพิกัดแบบปากกาด้วยลายมือเขียนปกติ และระบบจะแปลงข้อมูลลายมือเขียนนั้นให้เป็นข้อมูลรหัสของตัวอักษรดังกล่าวซึ่งเป็นรหัสที่ใช้ในคอมพิวเตอร์

จากปัจจัยและเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำวิธีการป้อนข้อมูลด้วยเครื่องอ่านพิกัดแบบปากกามาใช้กับการป้อนข้อกำหนดในภาษาเซต โดยการเขียนตัวอักษร ตัวเลข และสัญลักษณ์ต่างๆโดยตรงด้วยเครื่องอ่านพิกัดแบบปากกา และมีระบบในการแปลงข้อมูลลายมือเขียนนั้นๆให้เป็นข้อกำหนดในภาษาเซตทั้งในรูปแบบลาเท็กซ์และสัทภรณ์เซตต่อไป วิธีการดังกล่าวมีข้อดีคือ เป็นการประยุกต์ใช้การนำเข้าข้อมูลวิธีใหม่ในการเขียนภาษาเซต โดยผู้ใช้งานไม่ต้องจดจำคำสั่งในรูปแบบลาเท็กซ์เช่นวิธีการเดิม ทำให้สามารถเขียนภาษาเซตได้สะดวกยิ่งขึ้น และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพาต่อไปได้

สัญลักษณ์ในภาษาเซตมีลักษณะที่แตกต่างจากตัวอักษรไทย-อังกฤษทั่วไป คือ สัญลักษณ์ในภาษาเซตมีการใช้จำนวนสโตรคในการเขียนที่แตกต่างกันและค่อนข้างมาก มีลักษณะที่หลากหลาย บางสัญลักษณ์มีลักษณะเหมือนกัน แตกต่างกันเพียงสัดส่วนความกว้าง-ความสูงเท่านั้น และลักษณะของสโตรคจะแตกต่างจากลักษณะสโตรคของตัวอักษร เช่น ในสัญลักษณ์หนึ่งอาจเขียนโดยใช้สโตรคที่เป็นจุด เส้นตรง หรือ วงกลม มาประกอบเข้าด้วยกัน เป็นต้น

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีงานวิจัยและพัฒนาระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับอักษรและตัวเลขอยู่แล้วค่อนข้างมาก แต่ยังไม่พบว่ามีกรวิจัยระบบดังกล่าวสำหรับใช้กับสัญลักษณ์ในภาษาเซตโดยเฉพาะ งานวิจัยนี้จึงจะทำการวิจัยระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับสัญลักษณ์ในภาษาเซตซึ่งไม่ใช่ตัวอักษรและตัวเลข เพื่อให้ได้ข่างานประสาที่ใช้ในการรู้จำลายมือเขียนในส่วนของสัญลักษณ์ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาระบบการป้อนข้อกำหนดในภาษาเซตด้วยเครื่องอ่านพิกัดแบบปากกา และเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการ

รู้จำสัญลักษณ์อื่นๆต่อไปในอนาคต โดยงานวิจัยนี้ จะให้หลักการประมวลผลตัวอักษรเบื้องต้น การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร การเข้ารหัส และใช้เครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back propagation Neural Network) ซึ่งพัฒนาโดย กันตา กิตยานันท์ [1] เป็นหลัก

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาวิธีการรู้จำลายมือเขียนสัญลักษณ์ในภาษาเซตแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) ใช้เครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ ของกันตา กิตยานันท์ [1] ในการทดลอง และใช้ไพธอน สคริปต์ (Python script) เป็นภาษาในการประมวลผลลายมือเขียน

- 2) ใช้รู้จำลายมือเขียนแบบครั้งละ 1 ตัว ตามข้อกำหนดของเครื่องมือซอฟต์แวร์ที่ใช้
- 3) ใช้เครื่องอ่านพิกัดแบบปากกาเป็นอุปกรณ์นำข้อมูลเข้า
- 4) ครอบคลุมการรู้จำสัญลักษณ์ทั้งสิ้น 103 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ในบทที่ 3
- 5) ใช้ลายมือเขียนจากบุคคลเดียวในการสอนข่ายงานประสาทและในการทดสอบ

## 1.4 ขั้นตอนดำเนินงาน

- 1) ศึกษาสัญลักษณ์ และ ความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ ที่ใช้ในภาษาเซต
- 2) ศึกษาวิธีการเขียนสัญลักษณ์ และ แยกแยะลักษณะของสัญลักษณ์
- 3) ศึกษาความรู้ทางด้านข่ายงานประสาท
- 4) ศึกษาลักษณะที่เหมาะสมของข้อมูลที่จะใช้ในการสอนข่ายงานประสาท
- 5) รวบรวมข้อมูลลายมือเขียนสำหรับการสอนและการทดสอบข่ายงานประสาท
- 6) พัฒนาโปรแกรมต้นแบบเพื่อนำข้อมูลเข้าประมวลผลในข่ายงานประสาท
- 7) ทำการสอนข่ายงานประสาทด้วยชุดการสอน
- 8) ทดสอบการรู้จำและวิเคราะห์ผล
- 9) สรุปผลการวิจัยและจัดทำเอกสาร

## บทที่ 2

### งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 การพัฒนาเครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (2544) [1]

โดย กันตา กิตียนันท์

เสนอการพัฒนาเครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ โดยมีความสามารถครอบคลุมขั้นตอนต่างๆในการพัฒนาข่ายงานประสาทเพื่อการรู้จำคือ รับข้อมูลลายมือเขียน กำหนดชนิดและตัวอักษรที่ต้องการให้รู้จำ กำหนดวิธีการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น หาลักษณะเด่นของตัวอักษร เข้าวัด กำหนดคุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ต่างๆของข่ายงานประสาทที่ต้องการใช้ และส่งข้อมูลที่เข้าวัดแล้วรวมทั้งคุณสมบัติของข่ายงานประสาทไปทำการสอนและทดสอบข่ายงานประสาท โดยใช้โปรแกรมข่ายงานประสาทของมหาวิทยาลัยศตูการ์ท (SNNS: Stuttgart Neural Network Simulator) [2] หลังจากนั้น จะรับข้อมูลข่ายงานประสาทและผลการทดสอบกลับมาเพื่อรายงานผล และจัดเก็บเพื่อการใช้งานต่อไป

จุดเด่นของเครื่องมือนี้คือ การรับโปรแกรมภาษาไพธอนในรูปแบบของไพธอนสคริปต์ (Python script) เพื่อใช้ในการกำหนดวิธีการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร และการเข้าวัดข้อมูล เพื่อนำไปเป็นข้อมูลนำเข้าข่ายงานประสาท ทำให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกและคล่องตัวในการทดสอบการรู้จำด้วยวิธีการต่างๆ โดยเครื่องมือนี้จะมีส่วนสำหรับใช้ป้อนและแก้ไขไพธอนสคริปต์ ส่วนจัดเก็บสคริปต์ย่อยในคลัง (Library) และมีความสามารถในการทดสอบ เพื่อดูผลและแก้จุดบกพร่องของสคริปต์ที่เขียนขึ้นได้ทันที

นอกจากนี้ ความสามารถอื่นๆของเครื่องมือนี้คือ การจัดเก็บข้อมูลต่างๆ เช่น ข้อมูลลายมือเขียน ไพธอนสคริปต์ที่ใช้ ข่ายงานประสาทที่ใช้ เป็นต้น ลงในฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการอ้างอิงและนำมาใช้ใหม่ได้ในการสอนอื่นๆ การแสดงผลการทดสอบเป็นเปอร์เซ็นต์ และการทดสอบด้วยการป้อนลายมือเขียนแบบออนไลน์

เครื่องมือซอฟต์แวร์นี้ จะเป็นเครื่องมือหลักสำหรับใช้งานข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ เพื่อศึกษาระบบการรู้จำลายมือเขียนสัญลักษณ์ในงานวิจัยนี้

### 2.1.2 การปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับตัวอักษรภาษาไทย โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (2545) [3]

โดย ปกรณ์ บุพศิริ

เสนอการปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับตัวอักษรภาษาไทยโดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ ประกอบด้วยขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร และการเข้ารหัส โดยมีเทคนิคที่สำคัญคือ การหาวงรอบของตัวอักษรโดยการหาจุดตัดและการเปลี่ยนแปลงของทิศทางรหัสลูกโซ่ การใช้เขตย่อยแบบ 5 เขต และการเพิ่มรหัสจำนวนสโตรคและจำนวนวงรอบของตัวอักษรลงในโหนดที่ว่าง

จากการสอนข่ายงานประสาทด้วยข้อมูลซึ่งประกอบด้วย จำนวนและรหัสเขตย่อยของสโตรค จำนวน รหัสเขตย่อย และทิศทางการวนของวงรอบ เปอร์เซ็นต์ของจุดในแต่ละเขตย่อย รหัสเขตย่อยของแต่ละจุด และ รหัสเขตย่อยและรหัสลูกโซ่ของจุดเด่น ผลการทดสอบอัตราการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทย โดยใช้ตัวอักษรในการทดสอบจำนวน 30 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยอักษร 67 ตัว (พยัญชนะไทย 42 ตัว สระ 17 ตัว วรรณยุกต์ 4 ตัว และอักขระพิเศษ 4 ตัว) ให้ผลการรู้จำที่ดีที่สุด คือ รู้จำถูกต้องร้อยละ 96.62 รู้จำผิดร้อยละ 1.79 และ รู้จำไม่ได้ร้อยละ 1.59

เทคนิคการเพิ่มรหัสจำนวนสโตรคและจำนวนวงรอบของตัวอักษรลงในโหนดที่ว่าง จะถูกนำมาใช้ประกอบในแนวทางการเข้ารหัสสำหรับงานวิจัยนี้

### 2.1.3 วิธีการเข้ารหัสลูกโซ่สำหรับการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ (2539) [4] (A Chain Coding Approach for Real-time Recognition of On-line Handwritten Characters)

โดย Hung Yuen

เสนอวิธีการเข้ารหัสลูกโซ่ในออร์มอลไลซ์ท์เจเนอรัลไลซ์ท์ (Normalized Generalized Chain Code, NGCC) ซึ่งเป็นวิธีการเข้ารหัสลูกโซ่ที่สามารถแสดงทิศทางของจุดในลายมือเขียนได้อย่างละเอียดและถูกต้องมากขึ้นกว่าแบบรหัสลูกโซ่ทั่วไป (Generalized Chain Code, GCC) และยังสามารถเก็บข้อมูลด้านความเร็วในการเขียนได้ด้วย โดยวิธีการนี้ จะหารหัสทิศทางระหว่างจุดของข้อมูลจริง และมีการกำหนดค่ารหัสทิศทาง (Direction code) ให้เป็นค่าทศนิยมได้ ทำให้สามารถแสดงทิศทางระหว่างจุดต่างๆได้อย่างละเอียดและถูกต้องมากขึ้น รวมทั้งมีการเก็บค่าระยะห่างระหว่างจุดของข้อมูลนั้นๆเพื่อใช้แสดงแทนความเร็วในการเขียน



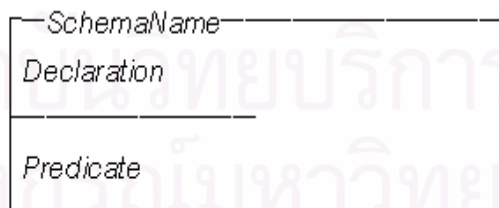
ในการวิจัยนี้ ได้ทดลองกับการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาอังกฤษชนิดตัวพิมพ์เล็ก โดยข้อมูลลายมือเขียนจะถูกแบ่งออกเป็นเซกเมนต์ โดยพิจารณาจากจุดเปลี่ยนแนว (Retrace point) ซึ่งประกอบด้วย จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของแต่ละสโตรค และ จุดที่มีค่าผลต่างของค่ารหัส ลูกโซ่มากกว่าค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นจะหาค่ารหัสลูกโซ่แบบบรรทัดฐานทั่วไปของส่วนต่างๆ และค่าตำแหน่งสัมพันธ์ของจุดเปลี่ยนแนวแต่ละจุด และนำค่าทั้งหมดไปใช้ในกระบวนการรู้จำด้วยวิธีการกำหนดการพลวัตแบบเรียกซ้ำ (Recursive dynamic programming algorithm) ได้ผลการรู้จำเฉลี่ยมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

เทคนิคการแบ่งข้อมูลลายมือเขียนออกเป็นเซกเมนต์ตามจุดเปลี่ยนแนว จะถูกนำมาเป็นแนวทางประกอบการหาลักษณะเด่นของสัญลักษณ์ในงานวิจัยนี้

## 2.2 ภาษาเซต (Z Language)

ภาษาเซตเป็นภาษาที่นิยมใช้ในการเขียนข้อกำหนดรูปนัยภาษาหนึ่ง ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นโดยกลุ่มพีอาร์จี (PRG: Programming Research Group) ที่มหาวิทยาลัยอ็อกซ์ฟอร์ด (Oxford university) สัญลักษณ์เซตเป็นการแสดงข้อกำหนดรูปนัยที่มีหลักมาจากแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่แจ่มชัดของทฤษฎีเซตและตรรกเพรดิเคต [5] โครงสร้างหลักของสัญลักษณ์เซตคือเค้าร่าง (Schema) มีรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 2.1 แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- 1) ส่วนการประกาศ (Declaration part) ประกอบไปด้วยการประกาศตัวแปรต่างๆ
- 2) ส่วนเพรดิเคต (Predicate part) ประกอบด้วยนิพจน์ตรรกเพรดิเคตที่นิยามความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ได้ประกาศไว้



รูปที่ 2.1 รูปแบบของเค้าร่างเซต

ในส่วนการประกาศและส่วนเพรดิเคต จะมีการใช้อักขระต่างๆซึ่งประกอบด้วย ตัวอักษร ตัวเลข และสัญลักษณ์ต่างๆเพื่ออธิบายถึงการประกาศหรือเพรดิเคตนั้นๆ ตัวอย่างบางส่วนของสัญลักษณ์ที่ใช้ในสัญลักษณ์เซตแสดงในรูปที่ 2.2 ตัวอย่างของข้อกำหนดรูปนัยที่แสดงในสัญลักษณ์เซต แสดงอยู่ในภาคผนวก ก ชื่อและรูปของอักขระในภาษาเซต แสดงอยู่ในภาคผนวก ข

$\mapsto$	$+$	$-$	$\cup$	$\setminus$	$\cap$	$\oplus$	$*$	$\cap$
$;$	$\circ$	$\oplus$	$\#$	$\triangleleft$	$\triangleright$	$\triangleleft$	$\triangleright$	$\uparrow$
$\neq$	$\notin$	$\subseteq$	$\subset$	$\leq$	$\geq$	$<$	$>$	$\sim$
$\Rightarrow$	$\rightarrow$	$\Leftrightarrow$	$\rightsquigarrow$	$\Rightarrow$	$\Rightarrow$	$\Rightarrow$	$\Leftrightarrow$	$\neg$
$\cup$	$\cap$	$\emptyset$	$\langle$	$\rangle$	$\vdash$	$\sim/$	$\neq$	$.$
$[$	$]$	$[$	$]$	$\{$	$\}$	$\langle$	$\rangle$	$/$
$\wedge$	$\vee$	$\Rightarrow$	$\Leftrightarrow$	$=$	$\in$	$\forall$	$\exists$	$\bullet$
$\times$	$\cong$	$\&$	$\vdash$	$-$	$::=$	$'$	$?$	$!$
$,$	$;$	$:$	$($	$)$	$F$	$N$	$P$	$Z$

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของสัญลักษณ์ที่ใช้ในสัญกรณ์เซต

ในการใช้งานภาษาเซต มักจะมีการใช้งานผ่านเครื่องมือซอฟต์แวร์ช่วยที่เป็นที่นิยมคือ โปรแกรมเซตอ็อป [6] เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีความสามารถในการตรวจสอบวากยสัมพันธ์ (Syntax) ตรวจสอบชนิดตัวแปร (Type check) และสามารถพิสูจน์ทฤษฎี (Theorem) ในข้อกำหนดที่เขียนขึ้นได้ทันที แต่การป้อนข้อมูลและคำสั่ง จะต้องอยู่ในรูปแบบลาเท็กซ์ที่กำหนดไว้เท่านั้น ข้อความสั่งในรูปแบบลาเท็กซ์ รูปแบบการใช้ในรูปสัญกรณ์เซต และความหมาย แสดงอยู่ในภาคผนวก ค

### 2.3 การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น (Data Preprocessing) [7]

ในข้อมูลลายมือเขียนตัวอักษรหนึ่งตัว จะประกอบด้วยข้อมูลลายมือเขียนตั้งแต่หนึ่ง สโตรค (Stroke) ขึ้นไป โดยแต่ละสโตรคจะประกอบด้วยข้อมูลแสดงพิกัด X-Y ของจุดต่างๆ เรียงตามลำดับตั้งแต่จุดเริ่มจรดปากกาจนถึงจุดยกปากกา ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ 2.1

$$S = p_1 p_2 \dots p_L \quad \dots(2.1)$$

เมื่อ

$S$  คือ สโตรคในการเขียนหนึ่งครั้ง

$p_i$  คือ จุดภายในสโตรค โดยแสดงด้วยคู่ลำดับ  $(X_i, Y_i)$  เมื่อ

$$1 \leq i \leq L$$

$p_1$	คือ จุดจรดปากกา ซึ่งเป็นจุดแรกที่ปากกาเริ่มสัมผัสกับพื้นที่เขียน
$p_L$	คือ จุดยกปากกา ซึ่งเป็นจุดสุดท้ายก่อนยกปากกาออกจากพื้นที่เขียน
$L$	คือ จำนวนของจุดในการเขียนหนึ่งสโตรค

ดังนั้น ข้อมูลลายมือเขียนตัวอักษรใดๆ สามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ 2.2

$$C = S_1 S_2 \dots S_N \quad \dots(2.2)$$

เมื่อ

$C$	คือ ลำดับสโตรคของตัวอักษร
$S_i$	คือ สโตรคที่ $i$ ในการเขียน
$N$	คือ จำนวนของสโตรคในการเขียนตัวอักษรนั้น ๆ

การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น ประกอบด้วย ขั้นตอนการทำงานออร์มอลไลซ์ และการปรับแต่งและกำจัดสัญญาณรบกวนในข้อมูลลายมือเขียน ดังต่อไปนี้

### 2.3.1 การนอร์มอลไลซ์ (Normalization)

เนื่องจากตัวอักษรลายมือเขียนอาจมีขนาดและตำแหน่งในการเขียนที่ไม่แน่นอน ดังนั้นจึงต้องมีการนอร์มอลไลซ์เพื่อปรับให้ตัวอักษรลายมือเขียนเหล่านั้นมาอยู่ในมาตรฐานเดียวกันและทำให้ง่ายต่อการประมวลผล โดยการปรับขนาดและย้ายตำแหน่งของตัวอักษร วิธีการนอร์มอลไลซ์ที่ใช้ทั่วไป มี 2 วิธีการ ดังนี้

1) การนอร์มอลไลซ์แบบกำหนดความกว้างและความสูง [7] เป็นการปรับให้ตัวอักษรมีขนาดความกว้างและความสูงตามที่ต้องการ โดยการปรับขนาดดังสมการที่ 2.3 และ 2.4

$$X_i^N = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \times W \quad \dots(2.3)$$

$$Y_i^N = \frac{Y_i - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \times H \quad \dots(2.4)$$

เมื่อ

$(X_i^N, Y_i^N)$	คือ พิกัดในแกน $X$ และ $Y$ ของจุดที่ $i$ ที่เกิดจากการนอร์มอลไลซ์
$(X_i, Y_i)$	คือ พิกัดในแกน $X$ และ $Y$ ของจุดที่ $i$ ของข้อมูลจริงตามลำดับ
$X_{\min}$	คือ พิกัดในแกน $X$ ที่มีค่าน้อยที่สุดในข้อมูลจริง

$Y_{min}$	คือ พิกัดในแกน $Y$ ที่มีค่าน้อยที่สุดในข้อมูลจริง
$X_{max}$	คือ พิกัดในแกน $X$ ที่มีค่ามากที่สุดในข้อมูลจริง
$Y_{max}$	คือ พิกัดในแกน $Y$ ที่มีค่ามากที่สุดในข้อมูลจริง
$W, H$	คือ ความกว้างและความสูงของตัวอักษรที่ต้องการหลังจากการนอร์มอลไลซ์แล้ว ตามลำดับ

2) การนอร์มอลไลซ์แบบกำหนดความสูง เป็นการปรับให้ตัวอักษรมีขนาดความสูงเท่ากันตามที่ต้องการ โดยคงสัดส่วนของความกว้างต่อความสูงเท่าเดิม [8] โดยการหาอัตราส่วนด้วยสมการที่ 2.5

$$R = H_N / H_O \quad \dots(2.5)$$

เมื่อ

$R$	คือ อัตราส่วนของความสูงใหม่เทียบกับความสูงเดิม
$H_N$	คือ ความสูงใหม่ของตัวอักษรลายมือเขียน
$H_O$	คือ ความสูงเดิมของตัวอักษรลายมือเขียน

และนำอัตราส่วนที่ได้มาคำนวณหาค่าพิกัดใหม่ด้วยสมการที่ 2.6 และ 2.7 ซึ่งจะทำให้ได้ตัวอักษรที่ตำแหน่งพิกัดอ้างอิงเดียวกัน โดยตัวอักษรใหม่มีขนาดความสูงตามที่ต้องการ และยังคงสัดส่วนของตัวอักษรเหมือนกับตัวอักษรเดิม

$$X_i^N = (X_i - X_{min}) \times R \quad \dots(2.6)$$

$$Y_i^N = (Y_i - Y_{min}) \times R \quad \dots(2.7)$$

เมื่อ

$(X_i^N, Y_i^N)$	คือพิกัดในแกน $X$ และ $Y$ ของจุดที่ $i$ ที่เกิดจากการนอร์มอลไลซ์
$(X_i, Y_i)$	คือ พิกัดในแกน $X$ และ $Y$ ของจุดที่ $i$ ของข้อมูลจริงตามลำดับ
$X_{min}$	คือ พิกัดในแกน $X$ ที่มีค่าน้อยที่สุดในข้อมูลจริง
$Y_{min}$	คือ พิกัดในแกน $Y$ ที่มีค่าน้อยที่สุดในข้อมูลจริง

### 2.3.2 การปรับแต่งและกำจัดสัญญาณรบกวนในข้อมูลลายมือเขียน

ขั้นตอนนี้เป็น การปรับแต่งข้อมูลลายมือเขียนเพื่อแก้ปัญหาความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล กำจัดสัญญาณรบกวนในข้อมูล และปรับข้อมูลให้เหมาะสมและสะดวกในการหาลักษณะเด่นในขั้นต่อไป Nair และ Leedham [9] ได้เสนอวิธีการประมวลผลเบื้องต้น โดยทดลองจากเครื่องอ่าน

พิกัดแบบปากกาซึ่งมีความละเอียด 500 จุดต่อนิ้ว และความถี่ในการส่งข้อมูลประมาณ 120 ตัวอย่างต่อวินาที ซึ่งวิธีการประมวลผลเบื้องต้นประกอบด้วยขั้นตอนตามลำดับดังนี้

- 1) การกำจัดจุดผิดพลาดที่เกิดจากการยกปากกาโดยไม่เจตนา (Removal of accidental pen-lifts) ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่กดปากกาในช่วงที่มีการเปลี่ยนทิศทางการเขียนภายในสโตรค ซึ่งหากน้ำหนักที่กดมีค่าต่ำกว่าระดับที่เครื่องอ่านพิกัดกำหนดไว้ จะทำให้เข้าใจว่าเป็นจุดที่มีการยกปากกาขึ้นและจรดปากกาใหม่ ซึ่งจะทำให้ข้อมูลลายมือเขียนของสโตรคเดียวกันถูกแยกออกเป็นสองสโตรค จุดผิดพลาดดังกล่าวพิจารณาจากจุดที่มีระยะห่างระหว่างจุดยกปากกาและจุดจรดปากกาน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร และมีระยะเวลาในการเขียนต่างกันน้อยกว่า 100 มิลลิวินาที
- 2) การปรับให้ราบเรียบโดยวิธีโมดิไฟด์เกียร์แบคแลช (Modified gear backlash smoothing) เป็นการปรับเส้นลายมือเขียนให้ราบเรียบขึ้น โดยการหาระยะห่างระหว่างจุดต่างๆกับจุดก่อนหน้า นำมาเปรียบเทียบกับค่า  $K$  ที่กำหนดไว้ เพื่อใช้พิจารณาปรับย้ายจุดให้เข้ามาอยู่ใกล้จุดก่อนหน้ามากขึ้น หรือ ให้เข้ามาอยู่ในแนวแกนนอนหรือแนวแกนตั้งเดียวกัน ด้วยวิธีการต่อไปนี้

กระทำตามขั้นตอนต่อไปนี้สำหรับแต่ละจุด จนครบทุกจุด :

- ปรับในแนวแกน X :

หากพิกัด X ของจุดก่อนหน้า  $\leq$  พิกัด X ของจุดปัจจุบัน -  $K$

ให้กำหนดพิกัด X ของจุดปัจจุบัน = พิกัด X ของจุดปัจจุบัน -  $K$

มิฉะนั้น หากพิกัด X ของจุดก่อนหน้า  $\geq$  พิกัด X ของจุดปัจจุบัน +  $K$

ให้กำหนดพิกัด X ของจุดปัจจุบัน = พิกัด X ของจุดปัจจุบัน +  $K$

มิฉะนั้น ให้กำหนดพิกัด X ของจุดปัจจุบัน = พิกัด X ของจุดก่อนหน้า

- ปรับในแนวแกน Y :

หากพิกัด Y ของจุดก่อนหน้า  $\leq$  พิกัด Y ของจุดปัจจุบัน -  $K$

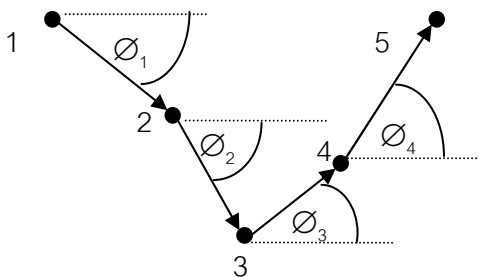
ให้กำหนดพิกัด Y ของจุดปัจจุบัน = พิกัด Y ของจุดปัจจุบัน -  $K$

มิฉะนั้น หากพิกัด Y ของจุดก่อนหน้า  $\geq$  พิกัด Y ของจุดปัจจุบัน +  $K$

ให้กำหนดพิกัด Y ของจุดปัจจุบัน = พิกัด Y ของจุดปัจจุบัน +  $K$

มิฉะนั้น ให้กำหนดพิกัด Y ของจุดปัจจุบัน = พิกัด Y ของจุดก่อนหน้า

- 3) การกรองด้วยระยะห่างที่น้อยที่สุด (Minimum distance filtering) กระบวนการนี้จะเป็นการลดจำนวนจุดที่มีความซ้ำซ้อนและไม่มีความสำคัญออก ซึ่งอาจเกิดจากการจรดปากกาอยู่หนึ่งๆ หรือการเคลื่อนปากกาที่ซ้ำมากเกินไป มีหลักการคือ กำหนดค่า  $D$  ซึ่งเป็นค่าระยะห่างที่น้อยที่สุด (Minimum distance) ไว้ล่วงหน้า และพิจารณาระยะห่างของแต่ละจุดเทียบกับจุดก่อนหน้า หากจุดใดมีระยะห่างน้อยกว่าค่า  $D$  ให้ลบจุดนั้นออก ทั้งนี้จะยกเว้นจุดแรกและจุดสุดท้ายของสโตรค การกำหนดค่า  $D$  ต้องให้เป็นค่าที่เหมาะสม เพราะหากค่า  $D$  มีค่ามากเกินไป อาจทำให้จุดที่มีความสำคัญในการแสดงลักษณะเด่น เช่น จุดหักมุมต่างๆ ถูกลบไปด้วย แต่หากค่า  $D$  มีค่าน้อยเกินไป ก็จะทำให้การกรองนี้ไม่มีผล โดยในขั้นตอนนี้จะใช้ค่า  $D$  น้อยๆ เพื่อเป็นการกรองแบบหยาบๆก่อน
- 4) การทำให้เรียบโดยการเฉลี่ยให้เป็นแนวเส้นตรง (Straight line average smoothing) ใช้หลักการเลื่อนจุดปัจจุบัน ซึ่งอยู่ตรงกลางระหว่างจุดก่อนหน้าและจุดถัดไป ให้มาอยู่ในแนวเส้นตรงที่ลากระหว่างจุดก่อนหน้าและจุดถัดไป โดยการปรับย้ายที่ละจุดไล่ไปจนสุดสโตรค วิธีการนี้อาจมีผลทำให้จุดที่เป็นการหักมุมลดการหักมุมลงไปบ้าง แต่เมื่อใช้กับข้อมูลลายมือเขียนที่มีความละเอียดสูง จะช่วยลดความไม่สม่ำเสมอของจุดที่อยู่ใกล้เคียงกันลงได้
- 5) การกรองด้วยระยะห่างที่น้อยที่สุดตามขั้นตอนที่ 4) อีกครั้ง โดยใช้ค่า  $D$  ที่มากขึ้น เพื่อให้ข้อมูลลายมือเขียนมีจำนวนลดลง โดยการลดจำนวนจุดที่ไม่มีความสำคัญออกมากขึ้น
- 6) การทำให้เรียบโดยการเฉลี่ยให้เป็นแนวเส้นตรงโดยใช้มุมเข้าร่วมในการพิจารณา (Straight line average smoothing with angle constraint) เนื่องจากจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางหรือหักมุมมักจะเป็นจุดสำคัญในการหาลักษณะเด่นของตัวอักษร จึงควรมีการรักษาจุดเหล่านี้ไว้ การทำให้เรียบในขั้นตอนนี้จึงมีการยกเว้นไม่ปรับย้ายจุดที่มีค่าเปลี่ยนแปลงมุม ( $\theta$ ) มากกว่าค่าขีดแบ่ง ( $\theta_0$ ) ที่กำหนด รูปที่ 2.3 แสดงมุมต่างๆที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเปลี่ยนแปลงมุมสำหรับจุด 3 โดยการคำนวณหาค่าเปลี่ยนแปลงมุมจากสมการที่ 2.8



รูปที่ 2.3 มุมที่ใช้ในการคำนวณค่าเปลี่ยนแปลงมุม

$$\phi_A = |\phi_1 + \phi_2 - \phi_3 - \phi_4| \quad \dots(2.8)$$

เมื่อ

- $\phi_A$  คือ ค่าเปลี่ยนแปลงมุมของจุดที่พิจารณา
- $\phi_1$  คือ มุมของจุดก่อนหน้า 2 จุด โดยวัดจากแกน  $X$  ไปในทิศตามเข็มนาฬิกา
- $\phi_2$  คือ มุมของจุดก่อนหน้า 1 จุด โดยวัดจากแกน  $X$  ไปในทิศตามเข็มนาฬิกา
- $\phi_3$  คือ มุมของจุดถัดไป 1 จุด โดยวัดจากแกน  $X$  ไปในทิศทวนเข็มนาฬิกา
- $\phi_4$  คือ มุมของจุดถัดไป 2 จุด โดยวัดจากแกน  $X$  ไปในทิศทวนเข็มนาฬิกา

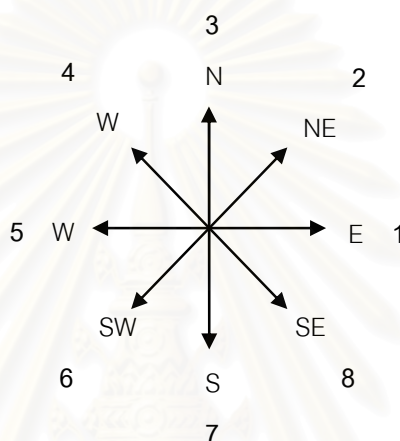
ดำเนินการทำให้เรียบโดยการเฉลี่ยให้เป็นแนวเส้นตรงตามขั้นตอนที่ 4) กับจุดที่มีค่าเปลี่ยนแปลงมุม  $\phi_A$  ต่ำกว่าค่าขีดแบ่ง  $\phi_T$  และยกเว้นจุดที่มีค่าเปลี่ยนแปลงมุมมากกว่าค่าขีดแบ่ง จากการทดลองพบว่าค่าขีดแบ่ง  $\phi_T$  เท่ากับ 60 องศา จะให้ผลดีที่สุด

- 7) การกำจัดจุดส่วนเกินที่จุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของสโตรค (Serif removal) จุดส่วนเกินเหล่านี้เกิดจากการเปลี่ยนทิศทางของปากกาในจังหวะจรดปากกาและยกปากกา จุดเหล่านี้พิจารณาได้จากจุดในระยะ 1 มิลลิเมตรในช่วงจุดเริ่มต้นและช่วงสุดท้ายของสโตรคที่มีการเปลี่ยนแปลงมุมมากกว่า 60 องศา มีขั้นตอนในการทำงานคือ พิจารณาจุด โดยเริ่มจากจุดเริ่มต้นเป็นระยะทาง 1 มิลลิเมตร หากจุดใดมีการเปลี่ยนแปลงมุมมากกว่า 60 องศา แสดงว่าจุดจากจุดเริ่มต้นถึงจุดนั้นเป็นส่วนเกิน ให้ลบจุดเหล่านั้นออกได้ และให้ทำขั้นตอนเดียวกันกับจุดที่ระยะทาง 1 มิลลิเมตรจากจุดสุดท้ายของสโตรค

## 2.4 การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร

### 2.4.1 รหัสลูกโซ่ (Chain Code)[10]

รหัสลูกโซ่เป็นรหัสที่ใช้แสดงทิศทางระหว่างจุด โดยมีการแบ่งทิศทางต่างๆออกเป็น 8 ทิศทางหลักๆ ซึ่งแทนได้ด้วยรหัสตัวเลข ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ทิศทางของจุดจากข้อมูลจริงจะถูกปรับเข้าหาทิศทางหลักที่ใกล้เคียงที่สุด เช่น หากทิศทางของจุดจากข้อมูลจริงมีทิศทาง 40 องศาไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ จะถือว่ามียุทธศาสตร์ทิศทางเป็น 2 เป็นต้น



รูปที่ 2.4 ทิศทางของรหัสลูกโซ่แบบ 8 ทิศทาง

เมื่อนำข้อมูลจุดต่างๆของลายมือเขียนแต่ละสโตรคมาปรับ โดยการนำข้อมูลจุดที่มีระยะห่างกันมากมาเพิ่มจุดด้วยวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น (Linear interpolation) เพื่อให้มีระยะห่างระหว่างจุดน้อยลง หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาหารหัสลูกโซ่ และนำรหัสลูกโซ่ที่ได้มาเขียนต่อเนื่องกัน จะได้ลำดับรหัสลูกโซ่ (Chain code sequence) ดังสมการที่ 2.9 ซึ่งใช้แทนข้อมูลของลายมือเขียนของ สโตรคนั้นๆได้ และสามารถใช้ในการแสดงลักษณะเด่นชนิดหนึ่งของลายมือเขียนได้

$$D = d_1 d_2 \dots d_{L-1} \quad \dots (2.9)$$

เมื่อ

$D$  คือ ลำดับรหัสลูกโซ่ของสโตรค

$d_i$  คือ รหัสลูกโซ่แสดงทิศทางระหว่างจุด  $i$  และจุด  $i+1$

โดยที่  $d_i \in \{0,1,2,3,4,5,6,7\}$  และ  $1 \leq i \leq L-1$

$L$  คือ จำนวนจุดของสโตรคนั้นๆ



## 2.4.2 จุดเด่น (Dominant Point)

จุดเด่นในข้อมูลลายมือเขียน เป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงลักษณะเด่นชนิดหนึ่งของลายมือเขียนนั้นๆ จุดเด่นประกอบด้วยจุด 3 ประเภทคือ

- จุดเริ่มต้นของสโตรค และจุดสุดท้ายของสโตรค
- จุดที่อยู่บนส่วนโค้งมากที่สุด (Local extrema of curvature)
- จุดกึ่งกลางที่อยู่ระหว่างจุดประเภทที่ 1 และ 2

วิธีการในการหาจุดที่อยู่บนส่วนโค้งมากที่สุด มีหลายวิธี โดยในงานวิจัยของ Li และ Yeung [7] ได้เสนอวิธีการดังนี้คือ

1) หาค่ามุมของเส้น ( $\alpha_i$ ) ระหว่างจุดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ด้วยสมการที่ 2.10 และแทนข้อมูลเส้นด้วยลำดับของค่ามุม ดังสมการที่ 2.11

$$\alpha_i = \tan^{-1} \left[ \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \right] \quad \dots(2.10)$$

$$A = \alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_{L-1} \quad \dots(2.11)$$

เมื่อ

$A$  คือ ลำดับของค่ามุม

$\alpha_i$  คือ มุมของเส้นตรงแทนแทนที่จุด  $p_i$

2) หาค่ามุมเปลี่ยนแปลง ( $\Delta\alpha_i$ ) ของจุดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ด้วยสมการที่ 2.12 และแสดงลำดับของค่ามุมเปลี่ยนแปลง ดังสมการที่ 2.13

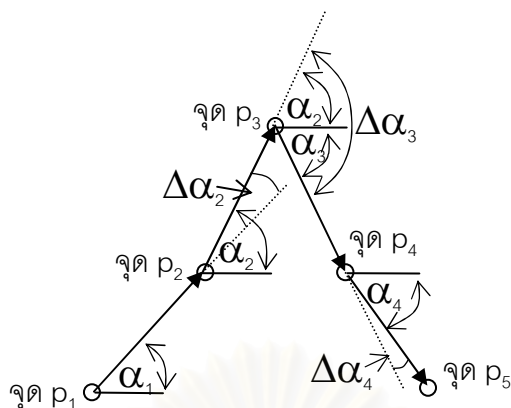
$$\Delta\alpha_i = (\alpha_i - \alpha_{i-1}) \pmod{360^\circ} \quad \dots(2.12)$$

$$\Delta A = \Delta\alpha_1 \Delta\alpha_2 \dots \Delta\alpha_L \quad \dots(2.13)$$

เมื่อ

$\Delta\alpha_i$  คือ ค่ามุมเปลี่ยนแปลง และ  $\Delta\alpha \in [-180^\circ, 180^\circ]$

$\Delta A$  คือลำดับค่าของมุมเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2.5 แสดงมุมของเส้นระหว่างจุด ( $\alpha_i$ ) และมุมเปลี่ยนแปลง ( $\Delta\alpha_i$ ) สำหรับการหาจุดเด่น

3) นำค่ามุมเปลี่ยนแปลงมาคำนวณด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian function) สองครั้ง ตามสมการต่อไปนี้

$$\Delta\alpha_i^* = \frac{1}{W} \sum_{s=l-16}^{l+16} w_s \Delta\alpha_s \quad \dots(2.14)$$

เมื่อ

$\Delta\alpha_s$  คือ ลำดับค่ามุมเปลี่ยนแปลงที่ยังไม่ผ่านฟังก์ชันเกาส์เซียน

$\Delta\alpha_i^*$  คือ ลำดับค่ามุมเปลี่ยนแปลงที่ผ่านฟังก์ชันเกาส์เซียนแล้ว

$$w_s = e^{-[0.2(s-l)]^2} \quad \dots(2.15)$$

$$W = \sum_{s=l-16}^{l+16} w_s \quad \dots(2.16)$$

4) คำนวณหาค่าความเข้มของสัญญาณ และค่าขีดแบ่ง ด้วยสมการต่อไปนี้

$$I = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \Delta\alpha_l^* \times \Delta\alpha_l^*} \quad \dots(2.17)$$

$$T = k_S I + k_L \quad \dots(2.18)$$

เมื่อ

$I$  คือ ความเข้มของสัญญาณ

$T$  คือ ค่าขีดแบ่ง

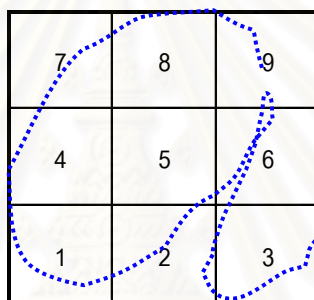
$k_S$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความชัน เช่น กำหนดให้ค่าเท่ากับ 0.25

$k_L$  คือ ค่าต่ำสุดของค่าขีดแบ่ง เช่น กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.5

5) หากจุดที่อยู่บนส่วนโค้งมากที่สุด โดยการพิจารณาจากลำดับค่ามุมเปลี่ยนแปลงที่ผ่านฟังก์ชันเกาส์เซียนแล้วมาเทียบกับค่าขีดแบ่ง หาก  $\Delta\alpha_i^* \leq -T$  แสดงว่าจุด  $p_i$  เป็นจุดต่ำสุดของส่วนโค้ง หาก  $\Delta\alpha_i^* \geq T$  แสดงว่าจุด  $p_i$  เป็นจุดสูงสุดของส่วนโค้ง

### 2.4.3 รหัสโซน (Zone Code) [8]

วิธีการนี้เป็นการแบ่งข้อมูลลายมือเขียนตัวอักษรออกเป็น 9 ส่วนเท่าๆกัน และมีการกำหนดรหัสโซนสำหรับแต่ละส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 รหัสโซนใช้เป็นการบอกตำแหน่งของจุดต่างๆในข้อมูลลายมือเขียนว่าอยู่ในบริเวณใดของตัวอักษร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาลักษณะเด่นอีกวิธีหนึ่ง เช่น การแสดงตำแหน่งของหัวของตัวอักษรไทย หรือ การหาอัตราส่วนร้อยละของจำนวนจุดที่อยู่ในแต่ละโซน เป็นต้น



รูปที่ 2.6 การแบ่งส่วนตัวอักษรและรหัสโซนของแต่ละส่วน

### 2.4.4 จำนวนสโตรค [8]

สโตรคในการเขียน หมายถึง การจรดปากกาและเขียนต่อเนื่องไปจนกระทั่งยกปากกาขึ้น จำนวนสโตรคในการเขียนตัวอักษรแต่ละตัว สามารถนับได้จากจำนวนครั้งที่มีการจรดปากกาหรือยกปากกาขึ้น ซึ่งหากเปรียบเทียบกับ การเขียนตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ด้วยปากกาทั่วไป จำนวนสโตรคก็คือจำนวนขีดที่ใช้เขียนตัวอักษรหรือสัญลักษณ์นั้นนั่นเอง

เนื่องจากการเขียนตัวอักษรต่างๆอาจมีการใช้จำนวนสโตรคไม่เท่ากัน จำนวนสโตรคจึงเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สามารถใช้แสดงลักษณะเด่น หรือใช้ประกอบการหาลักษณะเด่นของตัวอักษรได้ เช่น การใช้จำนวนสโตรคเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ช่วยในการแบ่งข้อมูลลายมือเขียนตัวอักษรออกเป็นส่วนๆ เพื่อแยกหาลักษณะเด่น เป็นต้น

### 2.4.5 จำนวนวงรอบ [3,11]

วงรอบ คือ ชุดข้อมูลจุดที่มีลักษณะการเรียงลำดับของจุดเป็นวงรอบ (Loop) ภายในสโตรคเดียวกัน ในตัวอักษรและสัญลักษณ์ต่างๆ มักมีวงรอบเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย ในสัญลักษณ์ที่ใช้ในภาษาเซต มีสัญลักษณ์หลายตัวที่มีวงรอบเป็นส่วนประกอบ เช่น  $9 \circ \oplus$  เป็นต้น จำนวนวงรอบจึงสามารถใช้เป็นลักษณะเด่นของตัวอักษรได้

การหาลักษณะของวงรอบในข้อมูลลายมือเขียน สามารถพิจารณาได้จากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของลำดับรหัสลูกโซ่ที่ต่อเนื่องกันจนครบรอบ เช่น ลำดับรหัสลูกโซ่ 012345670 จะเป็นลักษณะของวงรอบที่วนในทิศทวนเข็มนาฬิกา ลำดับรหัส 543210765 จะเป็นลักษณะของวงรอบที่วนในทิศตามเข็มนาฬิกา เป็นต้น หรือ พิจารณาจากการมีจุดตัดของเส้นภายในสโตรคเดียวกัน เช่น วงรอบที่เกิดจากหัวหรือขมวดของตัวอักษรภาษาไทย เป็นต้น

### 2.5 ข่ายงานประสาท (Neural Network) [12,13]

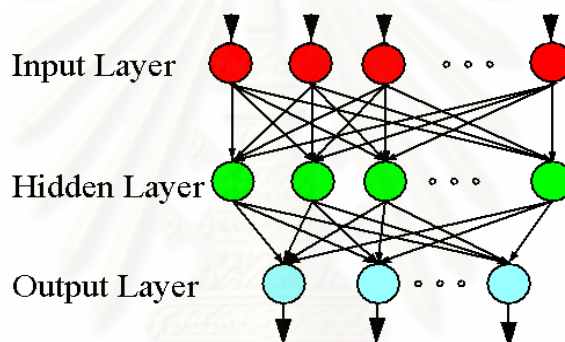
ข่ายงานประสาทเป็นวิธีการเรียนรู้ของเครื่องวิธีหนึ่ง ซึ่งเหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการจำแนกหรือแบ่งประเภท เป็นการจำลองวิธีการมาจากการทำงานของระบบข่ายงานประสาทของมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยประสาทเล็กๆจำนวนมากที่เชื่อมต่อกัน และมีการรับ-ส่งสัญญาณถึงกัน สำหรับใช้ในกระบวนการเรียนรู้และการตัดสินใจต่างๆ ข่ายงานประสาทในปัญญาประดิษฐ์จะมีลักษณะเช่นเดียวกันคือ ประกอบด้วยหน่วยประสาทย่อย ที่มักเรียกว่า โหนด (Node) ซึ่งมีการเชื่อมต่อและรับ-ส่งข้อมูลถึงกัน โครงสร้างของข่ายงานประสาทนี้จะแบ่งออกเป็นชั้น (Layer) 3 ชั้นคือ

- ชั้นอินพุต (Input layer) จะทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อในการรับข้อมูลนำเข้าจากภายนอกและส่งไปยังโหนดในชั้นอื่นต่อไป
- ชั้นซ่อน (Hidden layer) จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากโหนดอื่นๆมาประมวลผลและส่งข้อมูลไปยังโหนดอื่นๆต่อไป
- ชั้นเอาต์พุต (Output layer) จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากโหนดในชั้นก่อนหน้าเพื่อประมวลผลและแสดงผลลัพธ์

จำนวนชั้นในชั้นซ่อนอาจมีมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ และในแต่ละชั้นอาจมีจำนวนโหนดไม่เท่ากันก็ได้ หน่วยประสาทแต่ละโหนดที่เชื่อมต่อกันจะมีการรับ-ส่งข้อมูลถึงกัน โดยมีการให้น้ำหนักความสำคัญของข้อมูลที่มาจากแต่ละโหนดไม่เท่ากัน เมื่อโหนดใดได้รับข้อมูลจากโหนด

อื่นๆแล้ว จะทำการประมวลผล โดยการคำนวณผลรวมของข้อมูลเข้าทั้งหมดแบบถ่วงน้ำหนัก นำผลรวมที่ได้ไปใช้กับฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation function) เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ของโหนด และส่งผลลัพธ์ที่ได้ไปสู่โหนดอื่นๆต่อไป

ข่ายงานประสาทที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Backpropagation neural network) ซึ่งมีลักษณะดังนี้ โหนดในแต่ละชั้นจะมีการเชื่อมต่อไปยังโหนดในชั้นถัดไปแบบเชื่อมต่อถึงกันหมด (Fully connected) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 มีการส่งผ่านข้อมูลในลักษณะส่งต่อไปข้างหน้า (Feed forward) โดยส่งเรียงลำดับจากโหนดในชั้นอินพุตไปสู่ชั้นซ่อนแต่ละชั้นไปจนถึงชั้นเอาต์พุต ลักษณะเฉพาะอีกประการหนึ่งของข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับคือ การนำค่าผิดพลาดของชั้นข้างหน้าย้อนกลับมาใช้ในการปรับค่าน้ำหนักสำหรับชั้นหลังตามลำดับ



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ

วิธีการทำงานของระบบข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ คือ

- 1) กำหนดข้อมูลที่จำเป็นคือ ตัวอย่างของข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตเป้าหมาย จำนวนชั้นซ่อน จำนวนโหนดของชั้นอินพุต จำนวนโหนดของชั้นเอาต์พุต จำนวนโหนดของชั้นซ่อน ค่าอัตราการเรียนรู้ ค่าผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ และ จำนวนรอบสูงสุดในการสอน (Epoch)
  - 2) สร้างข่ายงานประสาทตามโครงสร้างที่ต้องการ และกำหนดค่าน้ำหนักเริ่มต้นแบบสุ่มให้มีค่าน้อย ๆ (เช่น ระหว่าง -0.05 ถึง 0.05)
  - 3) ทำกระบวนการต่อไปนี้ซ้ำ จนกว่าจะพบเงื่อนไขการหยุด นั่นคือ ค่าผิดพลาดที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ หรือ จำนวนรอบเกินกว่าจำนวนรอบสูงสุดในการสอนที่กำหนดไว้
- ป้อนค่าตัวอย่างของข้อมูลอินพุต และคำนวณค่าเอาต์พุตของแต่ละโหนดจาก

$$o = \sigma(\vec{w} \cdot \vec{x}) \quad \dots(2.19)$$

เมื่อ

- $o$  คือ ค่าเอาต์พุตจากการคำนวณ
- $\vec{x}$  คือ เวกเตอร์ของข้อมูลอินพุต
- $\vec{w}$  คือ เวกเตอร์ของค่าน้ำหนัก
- $\sigma$  คือ ฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation function) ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) ตามสมการที่ 2.20

$$\sigma(y) = \frac{1}{1 + e^{-y}} \quad \dots(2.20)$$

- คำนวณค่าผิดพลาดของโหนดในชั้นเอาต์พุต ด้วยสมการ 2.21

$$\delta_k = o_k (1 - o_k) (t_k - o_k) \quad \dots(2.21)$$

เมื่อ

- $\delta_k$  คือ ค่าผิดพลาดของโหนดที่  $k$  ในชั้นเอาต์พุต
- $o_k$  คือ ค่าเอาต์พุตจากการคำนวณของโหนดที่  $k$  ในชั้นเอาต์พุต
- $t_k$  คือ ค่าเอาต์พุตเป้าหมายของโหนดที่  $k$  ในชั้นเอาต์พุต

- คำนวณค่าผิดพลาดของโหนดในชั้นซ่อน ด้วยสมการ 2.22

$$\delta_h = o_h (1 - o_h) \sum_{k \in \text{outputs}} w_{kh} \delta_k \quad \dots(2.22)$$

เมื่อ

- $\delta_h$  คือ ค่าผิดพลาดของโหนดที่  $h$  ในชั้นซ่อน
- $o_h$  คือ ค่าเอาต์พุตจากการคำนวณของโหนดที่  $h$  ในชั้นซ่อน
- $w_{kh}$  เป็นค่าน้ำหนักสำหรับข้อมูลที่มาจากโหนด  $h$  มายังโหนด  $k$

- ปรับค่าน้ำหนัก  $w_{ji}$  ด้วยสมการ 2.23

$$w_{ji} = w_{ji} + \Delta w_{ji} \quad \dots(2.23)$$

โดยที่  $\Delta w_{ji} = \eta \delta_j x_{ji}$

เมื่อ

- $\eta$  คือ ค่าอัตราการเรียนรู้
- $x_{ji}$  คือ ข้อมูลอินพุตจากโหนด  $i$  ไปสู่โหนด  $j$

### บทที่ 3

#### กระบวนการคัดเลือกและกำหนดรูปแบบของสัญลักษณ์

ในกระบวนการนี้ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการคัดเลือกสัญลักษณ์สำหรับใช้ในการวิจัย ขั้นตอนการกำหนดรหัสต่างๆสำหรับใช้อ้างอิงถึงตัวสัญลักษณ์ และขั้นตอนการกำหนดลักษณะวิธีการเขียนสัญลักษณ์ เพื่อเป็นมาตรฐานสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้ รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

#### 3.1 การคัดเลือกสัญลักษณ์ที่จะนำมาใช้ในระบบการรู้จำ

งานวิจัยนี้ มีการพิจารณาคัดเลือกสัญลักษณ์ โดยคัดเลือกจากสัญลักษณ์ที่ใช้ในโปรแกรมเซตอีฟ [6] ดังแสดงในภาคผนวก ค เป็นหลัก โดยพิจารณาเลือกสัญลักษณ์ที่มีความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ที่แตกต่างกัน แต่จะไม่รวมถึงสัญลักษณ์ที่แทนด้วยตัวอักษรพยัญชนะหรือตัวเลขทั้งที่เป็นตัวอักษรแบบปกติ แบบตัวห้อย (Subscript) และ แบบตัวยก (Superscript) เครื่องหมายในการแสดงวรรคตอน ระยะเวลา และเครื่องหมายแสดงเค้าร่าง เนื่องจากสัญลักษณ์ดังกล่าวสามารถรู้จำได้ด้วยระบบการรู้จำตัวอักษรปกติอยู่แล้ว

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	[	]	$\equiv$	$==$	$::=$		«	»	(	)
10	{	}	P	$\times$	$\cdot$	$\lambda$	$\mu$	.	$\theta$	<
20	>			<	>	!	?	—	=	$\in$
30	$\neg$	$\wedge$	$\vee$	$\Rightarrow$	$\Leftrightarrow$	$\forall$	$\exists$	$\exists!$	$\Delta$	$\Xi$
40	\		;	$\gg$	$\neq$	$\notin$	$\emptyset$	$\subseteq$	$\subset$	P
50	$\cup$	$\cap$	\.	U	$\cap$	$\leftrightarrow$	$\mapsto$	$\S$	$\circ$	$\triangleleft$
60	$\triangleright$	$\triangleleft$	$\triangleright$	$\sim$	(	)	$\oplus$	+	*	$\rightarrow$
70	$\rightarrow$	$\mapsto$	$\rightsquigarrow$	$\dashrightarrow$	$\rightarrow$	$\rightsquigarrow$	$\bar{\phantom{x}}$	1	!	/
80	N	Z	+	-	*	<	$\leq$	$\geq$	>	N
90	..	F	F	#	$\mapsto$	#	$\mapsto$	$\otimes$	$\sqsubseteq$	$\in$
100	$\cup$	$\rightsquigarrow$	'							

รูปที่ 3.1 สัญลักษณ์ที่คัดเลือกมาใช้ในการวิจัยนี้

จากการคัดเลือกดังกล่าว พบว่าครอบคลุมสัญลักษณ์ทั้งสิ้น 103 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีการรวมถึงสัญลักษณ์ที่มีรูปสัญลักษณ์เหมือนกัน แต่มีความหมายในลาเท็กซ์ที่แตกต่างกันอยู่ด้วย

### 3.2 การกำหนดรหัสสำหรับใช้อ้างอิงถึงแต่ละสัญลักษณ์

เนื่องจากข้อกำหนดของเครื่องมือซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับระบบการรู้จำ ซึ่งกำหนดให้ใช้ชุดแบบอักษรอังสนายูพีซี (AngsanaUPC font) ในการแสดงผลเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถใช้ชุดแบบอักษรยูนิโคดในการแสดงรูปสัญลักษณ์ในภาษาเซตบนเครื่องมือซอฟต์แวร์ดังกล่าวได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้จัดทำชุดแบบอักษรอังสนายูพีซีชุดดัดแปลงขึ้น เพื่อใช้ติดตั้งแทนชุดแบบอักษรอังสนายูพีซีเดิมก่อนการใช้งานเครื่องมือซอฟต์แวร์ เพื่อให้เครื่องมือซอฟต์แวร์สามารถแสดงรูปสัญลักษณ์ได้อย่างถูกต้อง

ชุดแบบอักษรอังสนายูพีซีชุดดัดแปลง ดังแสดงในรูป 3.2 ได้ดัดแปลงมาจากชุดแบบอักษรอังสนายูพีซีเดิม เพื่อให้มีแบบอักษรครบสำหรับทุกสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยดัดแปลงด้วยการแทนที่แบบอักษรภาษาอังกฤษและสัญลักษณ์เดิม ด้วยแบบอักษรที่จัดหามาใหม่ซึ่งส่วนใหญ่ได้นำมาจากแบบอักษรของสัญลักษณ์ในภาษาเซตจากชุดแบบอักษรเซต (Z font) และมีบางส่วนที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นเอง ซึ่งในส่วนสัญลักษณ์ที่ได้จัดทำแบบอักษรที่ขึ้นเอง ได้แก่กรณีต่อไปนี้

- กรณีสัญลักษณ์ที่ไม่สามารถหาแบบอักษรจากชุดแบบอักษรเซตและชุดแบบอักษรทั่วไปได้ ซึ่งได้แก่ สัญลักษณ์  $\cup$  และ  $::=$
- กรณีสัญลักษณ์มีรูปสัญลักษณ์เหมือนกัน แต่มีความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ได้หลายความหมาย ได้แก่ สัญลักษณ์  $\downarrow$  และ  $\setminus$  ผู้วิจัยได้จัดทำสัญลักษณ์ขึ้นเพิ่มเติม โดยเพิ่มจุดเข้าไปในสัญลักษณ์เดิม ได้แก่ สัญลักษณ์  $\downarrow$  และ  $\setminus$  ทั้งนี้เพื่อให้มีรูปสัญลักษณ์ที่แตกต่างกันสำหรับใช้แสดงแทนความหมายที่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้สัญลักษณ์  $\downarrow$  หมายถึง `\project` ขณะที่สัญลักษณ์  $\downarrow$  หมายถึง `\filter` และให้สัญลักษณ์  $\setminus$  หมายถึง `\hide` ขณะที่สัญลักษณ์  $\setminus$  หมายถึง `\setminusminus`
- เนื่องจากสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะมีสัญลักษณ์ ? ซึ่งตรงกับสัญลักษณ์ ? ที่เครื่องมือซอฟต์แวร์ใช้สำหรับแสดงผลการรู้จำไม่ได้อยู่ด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้แก้ไขแบบอักษรของสัญลักษณ์ ? เดิม ให้เป็นแบบตัวเอียงและตัวหนา (Bold Italic) เพื่อใช้แสดงผลการรู้จำไม่ได้ให้แตกต่างจากสัญลักษณ์ ? ในภาษาเซต



	[	]	≡	=	::	&	«	»	(	)	{	}	P	×	·	λ	μ	
.	θ	<	>	⌊	⌋	⌈	⌉	!	?	—	=	∈	?	∧	∨	⇒	⇐	
∇	∃	∩	Δ	Ξ	\		;	»	≠	∉	∅	⊆	⊂	P	∪	∩	∖	
∪	∩	←	→	§	◦	◁	▷	◂	◃	~	( )	⊕	+	*	+	-		
⊥	⊂	+	-	⊃	∩				∞	∞	+	-	*	<	≤	≥	>	
N	..	F	F	#	ε	+	+	#	⊗	⊆	∪	∪	∪			ก	ข	ฅ
ค	ค	ฅ	ง	จ	ฉ	ช	ช	ฅ	ญ	ฎ	ฏ	ฐ	ฑ	ฒ	ณ	ด	ต	
ถ	ท	ช	น	บ	ป	ผ	ฝ	พ	ฟ	ภ	ม	ย	ร	ฤ	ล	ภ	ว	
ศ	ษ	ส	ห	ฬ	อ	ฮ	๑	๒	๓	๔	๕	๖	๗	๘	๙			
-		เ	แ	โ	ใ	ไ	๑	๑	๒	'	'	๗	+	✓	๐	๑	'	
๐	๑	๒	๓	๔	๕	๖	๗	๘	๙	๐๐๐								

รูปที่ 3.2 ชุดแบบอักษรอังกฤษสกริปต์ที่ชุดดัดแปลงที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

จากชุดแบบอักษรดังกล่าว ได้มีการกำหนดรหัสแบบอักษรสำหรับแต่ละสัญลักษณ์เพื่อใช้อ้างอิงถึงตัวแบบอักษรที่ถูกต้อง และได้กำหนดรหัสเอาต์พุตของแต่ละสัญลักษณ์สำหรับใช้อ้างอิงถึงตัวสัญลักษณ์และใช้เป็นค่าเอาต์พุตของข่ายงานประสาทสำหรับสัญลักษณ์นั้นๆ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและเรียบเรียงความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ของแต่ละสัญลักษณ์ และ รหัสแบบอักษรยูนิโค้ดของสัญลักษณ์เท่าที่มีอยู่ในแบบอักษรยูนิโค้ดมาตรฐาน [14] เพื่อใช้ในการอ้างอิงสำหรับการใช้งานอื่นๆต่อไป

จากการค้นหารหัสแบบอักษรยูนิโค้ด พบว่าบางสัญลักษณ์ไม่มีรหัสแบบอักษรยูนิโค้ดมาตรฐานเฉพาะตัว ได้แก่ สัญลักษณ์  $\exists$ ,  $P$ ,  $N$ , และ  $F$  แต่สัญลักษณ์เหล่านี้สามารถใช้แบบอักษรสองตัวมาเรียงต่อกันแทนได้ เช่น สัญลักษณ์  $\exists$  สามารถใช้รหัสแบบอักษรยูนิโค้ดของสัญลักษณ์  $\exists$  ซึ่งเท่ากับ 8707 มาต่อท้ายด้วยรหัสแบบอักษรยูนิโค้ดของสัญลักษณ์  $\exists$  ซึ่งเท่ากับ 8321 จะได้เป็นรหัสแบบอักษรยูนิโค้ดของสัญลักษณ์  $\exists$  เป็น 8707;8321 เป็นต้น

รายละเอียดของรหัสเอาต์พุต รูปสัญลักษณ์ รหัสฐานสิบสำหรับชุดแบบอักษรที่กำหนดขึ้น รหัสฐานสิบสำหรับแบบอักษรยูนิโค้ด และ ความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ของทุกสัญลักษณ์ แสดงอยู่ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รหัสเอชทีเอชทีเอช รหัสแบบอักษรในฐานสิบ และ ความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์

รหัสเอชทีเอชทีเอช	สัญลักษณ์	รหัสแบบอักษรสำหรับชุดแบบอักษรอังกฤษที่ชุดดัดแปลง	รหัสแบบอักษรยูนิโค้ดมาตรฐาน	ความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์
0	[	33	91	[
1	]	34	93	]
2	$\cong$	35	8793	<code>\defs</code>
3	$==$	36	10869	$==$
4	$::=$	37	10868	$::=$
5		223	124	
6	《	39	10218	<code>\ldata</code>
7	》	40	10219	<code>\rdata</code>
8	(	41	40	(
9	)	42	41	)
10	{	43	123	<code>\{</code>
11	}	44	125	<code>\}</code>
12	$\mathbb{P}$	45	8473	<code>\power</code>
13	$\times$	46	215	<code>\cross</code>
14	•	47	10625	@
15	$\lambda$	48	955	<code>\lamda</code>
16	$\mu$	49	956	<code>\mu</code>
17	.	50	46	.
18	$\theta$	51	952	<code>\theta</code>
19	⟨	52	10216	<code>\langle</code>
20	⟩	53	10217	<code>\rangle</code>
21	⌊	54	10214	<code>\lbrack</code>
22	⌋	55	10215	<code>\rbrack</code>
23	◁	56	10633	<code>\blot</code>

ตารางที่ 3.1 รหัสเอardtพุต รหัสแบบอักษรในฐานสิบ และ ความหมายในรูปแบบลาเทกซ์ (ต่อ)

รหัสเอardtพุต	สัญลักษณ์	รหัสแบบอักษรสำหรับชุดแบบอักษรอังกฤษสนายูพีซีชุดดัดแปลง	รหัสแบบอักษรยูนิโค้ดมาตรฐาน	ความหมายในรูปแบบลาเทกซ์
24	$\triangleright$	57	10634	<code>\rblot</code>
25	$!$	58	33	<code>!</code>
26	$?$	59	63	<code>?</code>
27	$—$	60	95	<code>\_</code>
28	$=$	61	61	<code>=</code>
29	$\in$	62	8712	<code>\in</code>
30	$\neg$	218	172	<code>\not</code>
31	$\wedge$	64	8896	<code>\land</code>
32	$\vee$	65	8897	<code>\lor</code>
33	$\Rightarrow$	66	8658	<code>\implies</code>
34	$\Leftrightarrow$	67	8660	<code>\iff</code>
35	$\forall$	68	8704	<code>\forall</code>
36	$\exists$	69	8707	<code>\exists</code>
37	$\exists_1$	70	8707;8321	<code>\exists_1</code>
38	$\Delta$	71	8710	<code>\Delta</code>
39	$\Xi$	72	926	<code>\Xi</code>
40	$\backslash$	73	10745	<code>\hide</code>
41	$\uparrow$	74	10785	<code>\project</code>
42	$;$	75	59	<code>\semi</code>
43	$\gg$	76	10784	<code>\pipe</code>
44	$\neq$	77	8800	<code>\neq</code>
45	$\notin$	78	8713	<code>\notin</code>
46	$\emptyset$	79	8709	<code>\emptyset</code>
47	$\subseteq$	80	8838	<code>\subseteq</code>

ตารางที่ 3.1 รหัสเอาต์พุต รหัสแบบอักษรในฐานสิบ และ ความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ (ต่อ)

รหัสเอาต์พุต	สัญลักษณ์	รหัสแบบอักษรสำหรับชุดแบบอักษรอังกฤษพีซีชุดดัดแปลง	รหัสแบบอักษรยูนิโค้ดมาตรฐาน	ความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์
48	$\subset$	81	8834	<code>\subset</code>
49	$\mathbb{P}$	82	8473;8321	<code>\power_1</code>
50	$\cup$	83	8746	<code>\cup</code>
51	$\cap$	84	8745	<code>\cap</code>
52	$\setminus$	85	10745	<code>\setminus</code>
53	$\bigcup$	86	8899	<code>\bigcup</code>
54	$\bigcap$	87	8898	<code>\bigcap</code>
55	$\leftrightarrow$	88	8596	<code>\rel</code>
56	$\mapsto$	89	8614	<code>\mapsto</code>
57	$\circledast$	90	10814	<code>\comp</code>
58	$\circ$	91	8408	<code>\circ</code>
59	$\triangleleft$	92	9665	<code>\dres</code>
60	$\triangleright$	93	9655	<code>\rres</code>
61	$\triangleleft$	94	10852	<code>\ndres</code>
62	$\triangleright$	95	10853	<code>\nrres</code>
63	$\sim$	96	732	<code>\inv</code>
64	$($	97	10631	<code>\limg</code>
65	$)$	98	10632	<code>\rimg</code>
66	$\oplus$	99	8853	<code>\oplus</code>
67	$+$	100	8314	<code>\plus</code>
68	$*$	101	42	<code>\star</code>
69	$\rightarrow$	102	8696	<code>\pfun</code>
70	$\longrightarrow$	103	8594	<code>\fun</code>
71	$\rightsquigarrow$	104	10516	<code>\pinj</code>

ตารางที่ 3.1 รหัสเอาต์พุต รหัสแบบอักษรในฐานสิบ และ ความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ (ต่อ)

รหัสเอาต์พุต	สัญลักษณ์	รหัสแบบอักษร สำหรับชุดแบบ อักษรอังกฤษพีซี ชุดดัดแปลง	รหัสแบบอักษรยูนิโค้ด มาตรฐาน	ความหมายใน รูปแบบลาเท็กซ์
72	$\rightharpoonrightarrow$	105	8611	<code>\inj</code>
73	$\rightarrowtail$	106	10496	<code>\psurj</code>
74	$\rightarrow$	107	8608	<code>\surj</code>
75	$\rightharpoonrightarrow$	108	10518	<code>\bij</code>
76	$\frown$	109	8256	<code>\cat</code>
77	$\upharpoonright$	110	8639	<code>\extract</code>
78	$\downharpoonright$	111	10785	<code>\filter</code>
79	$\curvearrowright$	112	8256	<code>\dcat</code>
80	$\mathbb{N}$	113	8469	<code>\nat</code>
81	$\mathbb{Z}$	114	8484	<code>\num</code>
82	$+$	115	43	<code>+</code>
83	$-$	116	45	<code>-</code>
84	$*$	117	8727	<code>*</code>
85	$<$	118	8249	<code>&lt;</code>
86	$\leq$	119	8804	<code>\leq</code>
87	$\geq$	120	8805	<code>\geq</code>
88	$>$	121	62	<code>&gt;</code>
89	$\mathbb{N}_1$	122	8469;8321	<code>\nat_1</code>
90	$\dots$	123	8229	<code>\upto</code>
91	$\mathbb{F}$	124	70	<code>\finset</code>
92	$\mathbb{F}_1$	125	70;8321	<code>\finset_1</code>
93	$\#$	126	35	<code>\#</code>
94	$\twoheadrightarrow$	133	8699	<code>\ffun</code>
95	$\twoheadrightarrow$	145	10517	<code>\finj</code>

ตารางที่ 3.1 รหัสเอาต์พุต รหัสแบบอักษรในฐานสิบ และ ความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ (ต่อ)

รหัสเอาต์พุต	สัญลักษณ์	รหัสแบบอักษรสำหรับชุดแบบอักษรอังกษนาญฟี่ซี่ชุดดัดแปลง	รหัสแบบอักษรยูนิโคดมาตรฐาน	ความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์
96	#	146	9839	\bcount
97	⊗	147	8855	\otimes
98	⊆	148	8849	\subageq
99	⊕	149	8846	\uplus
100	⊖	150	10817	\uminus
101	↪	151	8605	\bind
102	'	239	39	'

### 3.3 การกำหนดลักษณะวิธีการเขียนสัญลักษณ์

เนื่องจากสัญลักษณ์ต่างๆไม่มีมาตรฐานวิธีการเขียนที่แน่นอน ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องกำหนดลักษณะวิธีการเขียนสัญลักษณ์ขึ้นเอง เพื่อให้เป็นมาตรฐานสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้ โดยผู้วิจัยได้กำหนดลักษณะวิธีการเขียนด้วยหลักการใหญ่ๆ สำหรับใช้กับสโตรคในลักษณะต่างๆของสัญลักษณ์

หนึ่ง ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้เครื่องอ่านพิกัดแบบปากกาเป็นอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลลายมือเขียน โดยเครื่องอ่านพิกัดแบบปากกาที่ใช้ ยี่ห้อ AIPTEK รุ่น Hyper Pen 6000U ซึ่งมีความละเอียด 120 จุดต่อมิลลิเมตร และมีความถี่ในการส่งข้อมูล 115 ตัวอย่างต่อวินาที การระบุขนาดต่างๆของสัญลักษณ์ในงานวิจัยนี้ จะอ้างอิงจากค่าความละเอียดของเครื่องอ่านพิกัดนี้

ลักษณะวิธีการเขียนสัญลักษณ์ที่กำหนดขึ้น สามารถจัดหลักการใหญ่ๆได้ดังนี้

- 1) สัญลักษณ์ที่มีจุด เช่น สัญลักษณ์  $\dots$   $::=$  เป็นต้น จะเขียนในส่วนของจุดโดยไม่มีกรขีดหรือกดย้ำจนมีขนาดมากกว่า 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งขนาด 0.8 มิลลิเมตรนี้เป็นค่าที่วัดได้จากลายมือเขียนของผู้วิจัย
- 2) สัญลักษณ์ที่มีลักษณะวงรอบประกอบ เช่น สัญลักษณ์  $\theta$   $\emptyset$   $\oplus$  เป็นต้น จะเขียนวงรอบโดยเริ่มจากตำแหน่ง 12 นาฬิกา และวนในทิศทวนเข็มนาฬิกาจนครบรอบ

และมีระยะห่างระหว่างจุดแรกและจุดสุดท้ายไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากลายมือเขียนของผู้วิจัยเช่นกัน

- 3) สัญลักษณ์กลุ่มที่เป็นลูกศร เช่น สัญลักษณ์  $\leftrightarrow$   $\longleftrightarrow$   $\rightrightarrows$   $\rightleftarrows$   $\rightleftarrows$  เป็นต้น การเขียนหัวลูกศรหรือหางลูกศร จะเขียนด้วยสโตรคเดียว และจัดลำดับการเขียนจากสโตรคซ้ายไปขวา คือ เริ่มเขียนสโตรคหางลูกศร ชีดลูกศรบน ชีดลูกศรล่าง หัวลูกศรด้านนอก หัวลูกศรด้านใน ชีดกลางลูกศรทางซ้าย และ ชีดกลางลูกศรทางขวา ตามลำดับ
- 4) สัญลักษณ์ที่เหมือนตัวอักษร เช่น สัญลักษณ์ P N Z F เป็นต้น จะมีวิธีการเขียนตามแบบการเขียนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ [15] และมีการเพิ่มขีดเข้าไปเพื่อให้มีลักษณะคล้ายกับแบบอักษรของสัญลักษณ์นั้นๆ
- 5) สัญลักษณ์ที่มีลักษณะเป็นกรอบและมีเส้นขีดอยู่ภายใน เช่น สัญลักษณ์ [ ] < > < > ( ) เป็นต้น จะเขียนส่วนของกรอบจนครบก่อน จึงเขียนเส้นภายใน
- 6) สัญลักษณ์ที่มีส่วนหักมุมสั้นๆ เช่น สัญลักษณ์ [ E ] เป็นต้น จะเขียนโดยรวมส่วนที่หักมุมนั้นเข้าไว้ด้วยเป็นสโตรคเดียว และส่วนที่หักมุมนั้นต้องเขียนให้ยาวมากกว่า 1 มิลลิเมตร มิฉะนั้น ส่วนนั้นอาจถูกลบออกในขั้นตอนการปรับแต่งและกำจัดสัญญาณรบกวนในข้อมูลลายมือเขียน
- 7) สัญลักษณ์ที่มีลักษณะเป็นเส้นตัดกันระหว่างเส้นแนวนอนและเส้นแนวตั้ง เช่น สัญลักษณ์ + # เป็นต้น จะเขียนเส้นในแนวนอนก่อน แล้วจึงเขียนเส้นในแนวตั้ง
- 8) ในบางสัญลักษณ์ที่มีรูปสัญลักษณ์เหมือนกัน หรือแตกต่างกันเพียงตำแหน่งของการเขียนสัญลักษณ์ แต่มีความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการเขียนสัญลักษณ์เหล่านี้ โดยการเพิ่มจุดเข้าไปในสัญลักษณ์เดิม เพื่อให้สัญลักษณ์นั้นๆ มีวิธีการเขียนที่แตกต่างกันสำหรับความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ที่แตกต่างกัน สัญลักษณ์เหล่านี้ ได้แก่
  - สัญลักษณ์ | ซึ่งมีความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ 2 ความหมาย คือ \project และ \filter ดังนั้น จึงกำหนดให้มีการเพิ่มสัญลักษณ์อีกหนึ่งตัวให้มีจุด คือ |. และกำหนดให้สัญลักษณ์ | หมายถึง \project ขณะที่สัญลักษณ์ |. หมายถึง \filter

- สัญลักษณ์  $\backslash$  ซึ่งมีความหมายในรูปแบบลาเท็กซ์ 2 ความหมาย คือ  $\backslash$ hide และ  $\backslash$ setminus ดังนั้น จึงกำหนดให้มีการเพิ่มสัญลักษณ์อีกหนึ่งตัวให้มีจุด คือ  $\backslash$ . และกำหนดให้สัญลักษณ์  $\backslash$  หมายถึง  $\backslash$ hide ขณะที่สัญลักษณ์  $\backslash$ . หมายถึง  $\backslash$ setminus
- สัญลักษณ์  $\_$  และ  $\_$  ซึ่งแตกต่างกันเพียงตำแหน่งการเขียน จึงกำหนดวิธีการเขียนให้มีการเพิ่มจุดเหนือสัญลักษณ์  $\_$
- สัญลักษณ์  $\+$  และสัญลักษณ์  $\overset{+}$  ซึ่งเป็นตัวยก จะแตกต่างกันเพียงตำแหน่งการเขียนเท่านั้น จึงกำหนดวิธีการเขียนให้มีการเพิ่มจุดใต้สัญลักษณ์  $\overset{+}$
- สัญลักษณ์  $\ast$  และสัญลักษณ์  $\overset{\ast}$  ซึ่งเป็นตัวยก จะแตกต่างกันเพียงตำแหน่งการเขียนเท่านั้น จึงกำหนดวิธีการเขียนให้มีการเพิ่มจุดใต้สัญลักษณ์  $\overset{\ast}$
- สัญลักษณ์  $\bullet$  ซึ่งมีรูปสัญลักษณ์เป็นวงกลมทึบ อาจมีความไม่แน่นอนในการเขียนส่วนทึบ จึงกำหนดวิธีการเขียนให้เขียนเป็นวงกลมและมีจุดตรงกลาง 1 จุด

รายละเอียดวิธีการเขียนสัญลักษณ์ทั้งหมด ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วิธีการเขียนสัญลักษณ์




















































รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	วิธีเขียน					
		สโตรคที่1	สโตรคที่2	สโตรคที่3	สโตรคที่4	สโตรคที่5	สโตรคที่6
0	[						
1	]						
2	$\cong$						
3	$\equiv$						
4	$\therefore$						
5							
6	$\ll$						



ตารางที่ 3.2 วิธีการเขียนสัญลักษณ์ (ต่อ)

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	วิธีเขียน					
		สโตรคที่1	สโตรคที่2	สโตรคที่3	สโตรคที่4	สโตรคที่5	สโตรคที่6
7	»						
8	(						
9	)						
10	{						
11	}						
12	¶						
13	×						
14	•						
15	λ						
16	μ						
17	·						
18	θ						
19	<						
20	>						
21	⌈						
22	⌋						

ตารางที่ 3.2 วิธีการเขียนสัญลักษณ์ (ต่อ)

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	วิธีเขียน					
		สโตรคที่1	สโตรคที่2	สโตรคที่3	สโตรคที่4	สโตรคที่5	สโตรคที่6
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							



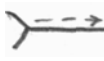
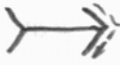
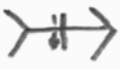






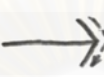

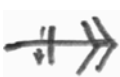






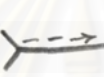











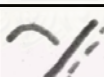





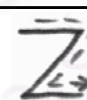















ตารางที่ 3.2 วิธีการเขียนสัญลักษณ์ (ต่อ)

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	วิธีเขียน					
		สโตรคที่1	สโตรคที่2	สโตรคที่3	สโตรคที่4	สโตรคที่5	สโตรคที่6
39	$\square$						
40	$\diagdown$						
41	$\uparrow$						
42	$;$						
43	$\gg$						
44	$\neq$						
45	$\notin$						
46	$\emptyset$						
47	$\subset$						
48	$\supset$						
49	$\mathbb{P}$						
50	$\cup$						
51	$\cap$						
52	$\setminus$						
53	$\cup$						
54	$\cap$						

ตารางที่ 3.2 วิธีการเขียนสัญลักษณ์ (ต่อ)

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	วิธีเขียน					
		สโตรคที่1	สโตรคที่2	สโตรคที่3	สโตรคที่4	สโตรคที่5	สโตรคที่6
55							
56							
57							
58							
59							
60							
61							
62							
63							
64							
65							
66							
67							
68							
69							
70							

ตารางที่ 3.2 วิธีการเขียนสัญลักษณ์ (ต่อ)

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	วิธีเขียน					
		สโตรคที่1	สโตรคที่2	สโตรคที่3	สโตรคที่4	สโตรคที่5	สโตรคที่6
71							
72							
73							
74							
75							
76							
77							
78							
79							
80							
81							
82							
83							
84							
85							
86							

ตารางที่ 3.2 วิธีการเขียนสัญลักษณ์ (ต่อ)

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	วิธีเขียน					
		สโตรคที่1	สโตรคที่2	สโตรคที่3	สโตรคที่4	สโตรคที่5	สโตรคที่6
87	$\geq$						
88	$>$						
89	$\mathbb{N}$						
90	$\dots$						
91	$\mathbb{F}$						
92	$\mathbb{F}_1$						
93	$\#$						
94	$\# \rightarrow$						
95	$\rightarrow \#$						
96	$\#$						
97	$\otimes$						
98	$\sqcup$						
99	$\cup$						
100	$\cup$						
101	$\rightsquigarrow$						
102	$'$						

## บทที่ 4

### กระบวนการสอนข่ายงานประสาท

กระบวนการสอนข่ายงานประสาท ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการประมวลผลตัวอักษรเบื้องต้น (Preprocessing) ขั้นตอนการหาลักษณะเด่นของตัวอักษร (Feature extraction) และ ขั้นตอนการเข้ารหัส (Encoding) ขั้นตอนทั้ง 3 ล้วนมีผลต่ออัตราการรู้จำระยะเวลาที่ใช้ในการสอนข่ายงานประสาท และ ความเร็วในการรู้จำ งานวิจัยนี้มีวิธีการที่สำคัญในแต่ละขั้นตอนดังนี้

#### 4.1 การประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น

ในขั้นตอนนี้ ประกอบด้วยการทำงานออร์มอลไลซ์เพื่อปรับขนาดของสัญลักษณ์ที่ได้จากลายมือเขียนให้มีขนาดตามที่กำหนดและย้ายตำแหน่งของสัญลักษณ์นั้นมาสู่ตำแหน่งอ้างอิงเดียวกัน และ การปรับแต่งและกำจัดสัญญาณรบกวนในข้อมูลลายมือเขียนเพื่อแก้ปัญหาความไม่สมบูรณ์และกำจัดสัญญาณรบกวนในลายมือเขียน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

##### 4.1.1 การนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรค

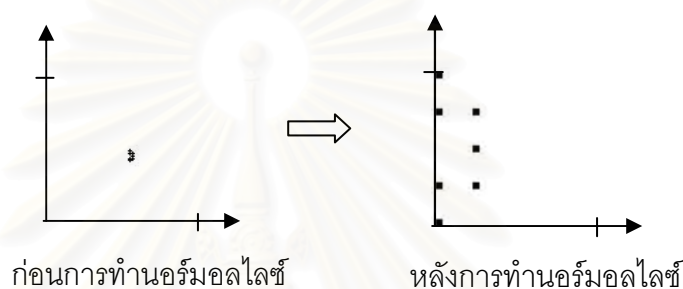
เนื่องจากสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยจำนวนสโตรคตั้งแต่ 1 ถึง 6 สโตรค ซึ่งในแต่ละสโตรคอาจมีลักษณะแตกต่างกัน เช่น เป็นจุด เส้นตรงในแนวนอน เส้นตรงในแนวตั้ง หรือเส้นโค้งในลักษณะต่างๆ เป็นต้น ในบางกรณีการนอร์มอลไลซ์ด้วยวิธีการเดิมจะเป็นการกระจายข้อมูลของสโตรคเหล่านั้นออกมา ซึ่งทำให้ลักษณะของสโตรคผิดเพี้ยนไปจนพิจารณาไม่ได้ว่าเป็นสโตรคชนิดใด ซึ่งกรณีเหล่านี้ได้แก่

- กรณีที่สัญลักษณ์มีขนาดความกว้างหรือความสูงน้อยมาก เช่น สัญลักษณ์ . หรือ | เป็นต้น หากใช้วิธีการนอร์มอลไลซ์แบบเดิมโดยคำนวณหาอัตราส่วนการปรับขนาดจากความกว้างหรือความสูงนั้น จะทำให้ได้อัตราส่วนการปรับขนาดที่สูงมาก ซึ่งจะเป็นผลให้จุดข้อมูลต่างๆในสัญลักษณ์นั้นถูกเลื่อนตำแหน่งให้ห่างกันออกไปจนพิจารณาไม่ได้ว่าเป็นสัญลักษณ์ใด

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการทำงานออร์มอลไลซ์แบบกำหนดความสูงให้มีขนาดความสูงตามต้องการ โดยกระทำกับสัญลักษณ์ . ซึ่งประกอบด้วยจุดข้อมูลหลายจุดซึ่งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันมาก จากการหาความสูงของสัญลักษณ์จะมีความสูงน้อยมาก เมื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วน

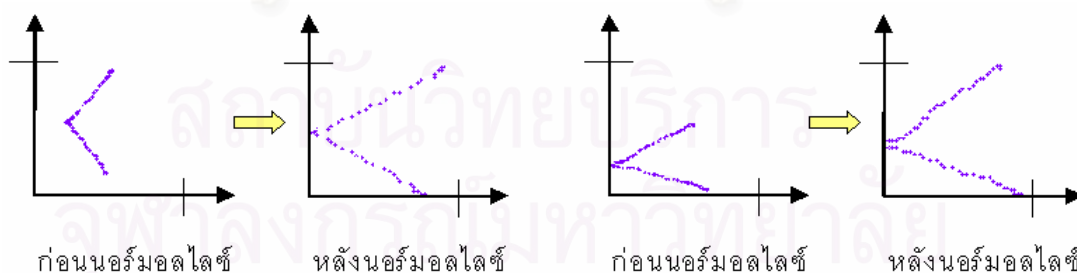
การปรับขนาดตามสมการ 2.5 ในบทที่ 2 จะได้ค่าอัตราส่วนการปรับขนาดสูงมาก ซึ่งเมื่อนำมาใช้ปรับขนาดของสัญลักษณ์นี้ จะทำให้จุดข้อมูลต่างๆถูกกระจายออก ทำให้มีระยะห่างระหว่างจุดข้อมูลมากขึ้น ซึ่งทำให้ไม่สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นสัญลักษณ์ . อีกต่อไป

นอกจากนี้ ในกรณีที่สัญลักษณ์มีความสูงเท่ากับ 0 เช่น สัญลักษณ์— ซึ่งเป็นเส้นตรงในแนวนอนที่มีพิกัดในแกน Y เท่ากันตลอด หากมีการนำความสูงนั้นมาหาอัตราส่วนการปรับขนาดตามสมการ 2.5 จะทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้นในการคำนวณ เนื่องจากมีการหารด้วยค่า 0



รูปที่ 4.1 ผลการทำนอร์มอลไลซ์แบบกำหนดความสูง ซึ่งกระจายจุดข้อมูลจนผิดเพี้ยน

- กรณีที่สัญลักษณ์บางตัวมีลักษณะคล้ายกันมาก แตกต่างกันที่สัดส่วนขนาดของสัญลักษณ์เท่านั้น เช่น สัญลักษณ์  $\langle$  และ  $<$  และสัญลักษณ์  $\gg$  และ  $\gg$  หากใช้วิธีการทำนอร์มอลไลซ์แบบปรับขนาดทั้งความกว้างและความสูงให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ จะทำให้สัดส่วนขนาดของสัญลักษณ์ผิดเพี้ยนไป และทำให้ได้ผลการนอร์มอลไลซ์สัญลักษณ์ทั้งสองเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2



(ก) การทำนอร์มอลไลซ์สัญลักษณ์  $\langle$

(ข) การทำนอร์มอลไลซ์สัญลักษณ์  $\langle$

รูปที่ 4.2 ผลการนอร์มอลไลซ์แบบกำหนดความกว้างและความสูง ซึ่งทำให้สัดส่วนขนาดผิดเพี้ยน

จากเหตุผลดังกล่าว จึงเห็นว่าวิธีการทำนอร์มอลไลซ์ที่จะใช้สำหรับสัญลักษณ์ในงานวิจัยนี้ ควรเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับสัญลักษณ์ในทุกลักษณะ และสามารถรักษาสัดส่วนขนาดของสัญลักษณ์เดิมไว้ได้ ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการทำนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรค โดยมีการ



พิจารณาลักษณะความกว้างและความสูงของสัญลักษณ์เพื่อหาอัตราส่วนการปรับขนาดที่เหมาะสม คือ หากสัญลักษณ์มีความกว้างมากกว่าความสูง ก็จะใช้ความกว้างมาคำนวณหาอัตราส่วนในการปรับขนาด หากสัญลักษณ์มีความสูงมากกว่าความกว้าง ก็จะใช้ความสูงมาคำนวณหาอัตราส่วนการปรับขนาด แต่หากสัญลักษณ์มีความสูงและความกว้างน้อยกว่าหรือเท่ากับขนาดที่พิจารณาว่าเป็นสัญลักษณ์ชนิดจุด ก็จะใช้อัตราส่วนการปรับขนาดเท่ากับ 1 เพื่อป้องกันการกระจายจุดข้อมูลให้ห่างกันออกไป หลังจากนั้น จะนำค่าอัตราส่วนการปรับขนาดที่ได้มาปรับข้อมูลลายมือเขียนแต่ละสโตรค โดยมีการพิจารณาลักษณะของสโตรคประกอบด้วย คือ หากสโตรคใดเป็นสโตรคชนิดจุด ก็จะทำให้การย้ายสโตรคนั้นมาที่ตำแหน่งอ้างอิงเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการปรับขนาดของสโตรคนั้น

การนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรค มีวิธีการดังต่อไปนี้

1) ตรวจสอบขนาดสัญลักษณ์เพื่อหาอัตราส่วนการปรับขนาด

คำนวณค่าความกว้างและความสูงของสัญลักษณ์

ถ้า (ความสูง > ขนาดของจุด) และ (ความสูง > ความกว้าง)

- คำนวณค่าอัตราส่วนการปรับขนาด ตามสมการ 4.1

มิฉะนั้น ถ้า (ความกว้าง > ขนาดของสัญลักษณ์ชนิดจุด)

- คำนวณค่าอัตราส่วนการปรับขนาด ตามสมการ 4.2

มิฉะนั้น (ถือว่าเป็นสัญลักษณ์ชนิดจุด)

- อัตราส่วนการปรับขนาด = 1

2) ตรวจสอบชนิดและปรับตำแหน่งของแต่ละสโตรค

คำนวณความกว้างและความสูงของสโตรค

ถ้า (ความกว้างและความสูง  $\leq$  ขนาดของสัญลักษณ์ชนิดจุด)

- สโตรคนั้นเป็นสโตรคชนิดจุด

ถ้า (อัตราส่วนการปรับขนาด  $\leq$  1) หรือ (สโตรคนั้นไม่เป็นชนิดจุด)

- ปรับขนาดตามอัตราส่วนและย้ายตำแหน่งของสโตรค โดยคำนวณพิกัดใหม่ของจุดต่างๆ ตามสมการ 4.3 และ 4.4

มิฉะนั้น ถ้าเป็นจุดเริ่มต้นของสโตรค (เป็นจุดเริ่มต้นของสโตรคชนิดจุด)

- ย้ายตำแหน่งของจุดมาที่จุดอ้างอิงตามอัตราส่วน โดยคำนวณพิกัดใหม่ของจุดต่างๆ ตามสมการ 4.3 และ 4.4

- คำนวณค่าพิกัดอ้างอิงของจุด ตามสมการ 4.5 และ 4.6

มิฉะนั้น (เป็นจุดระหว่างสโตรคหรือจุดสุดท้ายของสโตรคชนิดจุด)

- ย้ายตำแหน่งของจุดมาตามพิกัดอ้างอิงของจุดที่คำนวณไว้ โดยคำนวณตำแหน่งใหม่ของจุดต่างๆ ตามสมการ 4.7 และ 4.8

$$R = H_N / H_O \quad \dots(4.1)$$

$$R = W_N / W_O \quad \dots(4.2)$$

$$X_i^N = (X_i - X_{min}) R \quad \dots(4.3)$$

$$Y_i^N = (Y_i - Y_{min}) R \quad \dots(4.4)$$

$$X_{ref} = X_i^N - X_i \quad \dots(4.5)$$

$$Y_{ref} = Y_i^N - Y_i \quad \dots(4.6)$$

$$X_i^N = X_i + X_{ref} \quad \dots(4.7)$$

$$Y_i^N = Y_i + Y_{ref} \quad \dots(4.8)$$

เมื่อ

$R$  คือ อัตราส่วนการปรับขนาด

$H_N$  คือ ความสูงที่ต้องการ

$W_N$  คือ ความกว้างที่ต้องการ

$H_O$  คือ ความสูงเดิมของตัวอักษรลายมือเขียน

$W_O$  คือ ความกว้างเดิมของตัวอักษรลายมือเขียน

$(X_i^N, Y_i^N)$  คือ พิกัดในแกน X และ Y ของจุดที่  $i$  ที่เกิดจากการนอร์มอลไลซ์

$(X_i, Y_i)$  คือ พิกัดในแกน X และ Y ของจุดที่  $i$  ของข้อมูลจริงตามลำดับ

$X_{min}$  คือ พิกัดในแกน X ที่มีค่าน้อยที่สุดในข้อมูลจริง

$Y_{min}$  คือ พิกัดในแกน Y ที่มีค่าน้อยที่สุดในข้อมูลจริง

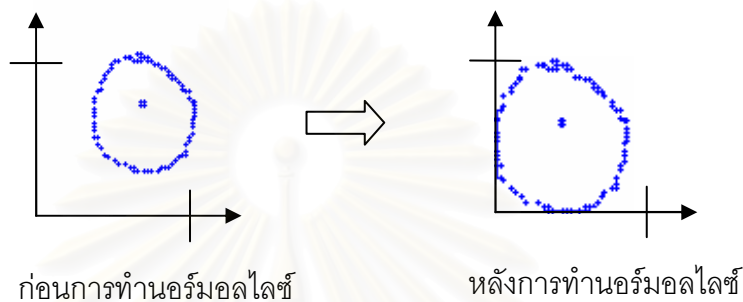
$X_{ref}$  คือ พิกัดอ้างอิงในแกน X ของจุด

$Y_{ref}$  คือ พิกัดอ้างอิงในแกน Y ของจุด

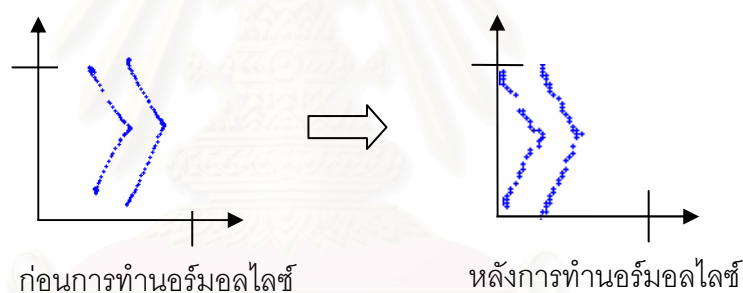
ในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดขนาดความกว้างและความสูงของสัญลักษณ์ที่ต้องการ ( $L_N$  และ  $H_N$ ) ไว้เท่ากับ 600 และกำหนดขนาดสูงสุดของความกว้างและความสูงของสัญลักษณ์ชนิดจุดเท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร ตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.3 เรื่องการกำหนดลักษณะวิธีการเขียน

สัญลักษณ์ และที่จะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อ 4.2.3.1 เรื่องคุณสมบัติของสโตรคและเชกเมนต์ชนิดต่างๆ

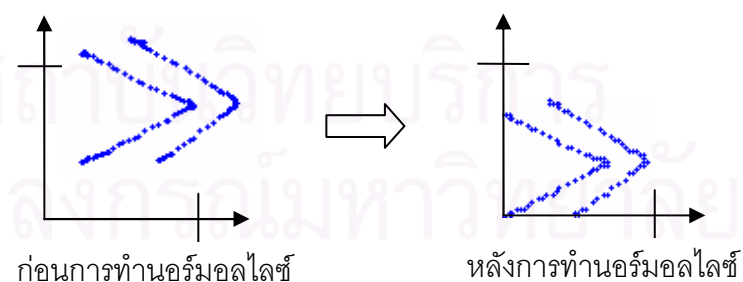
ผลของการนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรค สามารถดูได้จากตัวอย่างในรูปที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นว่าส่วนที่เป็นจุดตรงกลางมิได้ถูกขยายขนาดตามส่วนของวงรอบไปด้วย รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงให้เห็นว่า ผลของการนอร์มอลไลซ์ยังคงรักษาสัดส่วนขนาดของสัญลักษณ์ไว้ได้



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างผลการทำงานนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรคของสัญลักษณ์ •



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างผลการทำงานนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรคของสัญลักษณ์ »



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างผลการทำงานนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรคของสัญลักษณ์ >>

#### 4.1.2 การปรับแต่งและกำจัดสัญญาณรบกวนในข้อมูลลายมือเขียน

ในขั้นตอนการปรับแต่งและกำจัดสัญญาณรบกวนในข้อมูลลายมือเขียนนี้ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการทั้ง 7 ข้อตามที่เสนอโดย Nair และ Leedham [9] โดยนำมาปรับปรุงในรายละเอียดและเรียงลำดับขั้นตอนดังนี้

1) การกำจัดจุดผิดพลาดที่เกิดจากการยกปากกาโดยไม่เจตนา (Removal of accidental pen-lifts) มีการตรวจสอบที่จุดสิ้นสุด (จุดยกปากกา) และจุดเริ่มต้น (จุดจรดปากกา) ของสโตรคต่อไปว่ามีระยะห่างกันน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร และมีระยะเวลาในการเขียนต่างกันน้อยกว่า 100 มิลลิวินาทีหรือไม่ หากใช่ แสดงว่าจุดยกปากกาดังกล่าวเกิดขึ้นโดยไม่เจตนา จะทำการแก้ไขชนิดของจุดสิ้นสุดและจุดเริ่มต้นนั้นให้เป็นจุดที่ต่อเนื่องเป็นสโตรคเดียวกัน

2) การกำจัดจุดส่วนเกินที่จุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของสโตรค (Serif removal) ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3.2 ในบทที่ 2 ในขั้นตอนนี้จะต้องมีการพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงมุมของเส้นลายมือเขียนในระยะ 1 มิลลิเมตรในช่วงเริ่มต้นและช่วงสุดท้ายของสโตรค ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำขั้นตอนนี้มากระทำก่อนขั้นตอนที่เหลือ เนื่องจากในขั้นตอนที่เหลืออาจมีการปรับย้ายตำแหน่งของจุดข้อมูล ซึ่งอาจทำให้การเปลี่ยนแปลงมุมของเส้นลายมือเขียนผิดเพี้ยนไปได้

3) การปรับให้เรียบโดยวิธีโมดิฟายด์เกียร์แบคแลช (Modified gear backlash smoothing)

4) การกรองด้วยระยะห่างที่น้อยที่สุด (Minimum distance filtering) โดยขั้นตอนนี้ผู้วิจัยกำหนดค่า  $D$  เท่ากับ 10 เพื่อลดจุดข้อมูลที่อยู่ใกล้กันและซ้ำซ้อนกันลง

5) การทำให้เรียบโดยการเฉลี่ยให้เป็นแนวเส้นตรง (Straight line average smoothing)

6) การกรองด้วยระยะห่างที่น้อยที่สุดอีกครั้ง โดยใช้ค่า  $D$  ที่มากขึ้นคือ 30 เพื่อจำกัดจำนวนจุดข้อมูลให้น้อยลง

7) การทำให้เรียบโดยการเฉลี่ยให้เป็นแนวเส้นตรงโดยใช้มุมเข้าร่วมในการพิจารณา (Straight line average smoothing with angle constraint) ผู้วิจัยใช้ค่าขีดแบ่ง  $\theta_T$  เท่ากับ  $60^\circ$

## 4.2 การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร

ในงานวิจัยนี้ นอกเหนือจากการใช้ลักษณะเด่นทั่วไป เช่น จำนวนสโตรค จำนวนวงรอบ หรือ จุดเด่น ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการหาลักษณะเด่นชนิดใหม่ขึ้นเพิ่มเติม โดยบางส่วนได้ปรับปรุงมาจากวิธีการหาลักษณะเด่นแบบเดิม ลักษณะเด่นที่เพิ่มขึ้นใหม่มีดังนี้

### 4.2.1 ค่าความโค้ง (Crookedness value)

ค่าความโค้งเป็นค่าที่ใช้ในการแสดงถึงลักษณะของสโตรคหรือเชกเมนต์ว่ามีความคดหรือโค้งไปจากเส้นตรงเพียงใด ค่าความโค้งของเส้นตรงจะมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้น หากสโตรคหรือเชกเมนต์ใดมีค่าความโค้งเข้าใกล้ 1 จนถึงระดับของค่าขีดแบ่ง ( $C_T$ ) ที่กำหนดไว้ ก็จะสามารถสรุปได้ว่า สโตรคหรือเชกเมนต์นั้นมีลักษณะเป็นเส้นตรง ในงานวิจัยนี้ มีการใช้ค่าขีดแบ่งเท่ากับ 1.03 ซึ่งเป็นค่าได้จากการทดลองด้วยลายมือเขียนของผู้วิจัย

การคำนวณค่าความโค้ง หาได้จากสมการ 4.9

$$C_V = \frac{L_A}{L_N} \quad \dots(4.9)$$

เมื่อ

$C_V$  คือ ค่าความโค้ง

$L_A$  คือ ความยาวรวมของสโตรคหรือเชกเมนต์ ดังรูปที่ 4.6

$L_N$  คือ ระยะขจัดระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของสโตรคหรือเชกเมนต์ ดังรูปที่ 4.6

$C_T$  คือ ค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ ซึ่งเท่ากับ 1.03

ค่า  $L_A$  และ  $L_N$  หาได้จากสมการ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

$$L_A = \sum_{i=1}^{L-1} \sqrt{(X_i - X_{i+1})^2 + (Y_i - Y_{i+1})^2} \quad \dots(4.10)$$

$$L_N = \sqrt{(X_1 - X_L)^2 + (Y_1 - Y_L)^2} \quad \dots(4.11)$$

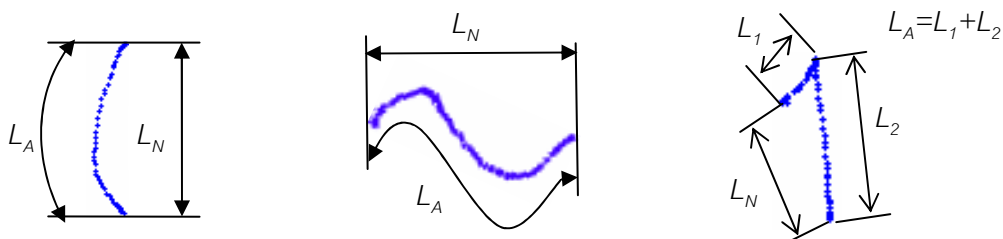
เมื่อ

$X_i, Y_i$  คือ พิกัด  $X, Y$  ของจุดข้อมูลที่  $i$

$X_1, Y_1$  คือ พิกัด  $X, Y$  ของจุดข้อมูลจุดแรกของสโตรคหรือเชกเมนต์

$X_L, Y_L$  คือ พิกัด  $X, Y$  ของจุดข้อมูลจุดสุดท้ายของสโตรคหรือเชกเมนต์

$L$  คือ จำนวนจุดข้อมูลที่มีในสโตรคหรือเชกเมนต์นั้น



รูปที่ 4.6 การวัดความยาวรวม ( $L_A$ ) และระยะขจัด ( $L_N$ ) ของสัญลักษณ์ (~ และ 1

ค่าความโค้งนี้สามารถนำมาใช้เป็นลักษณะเด่นชนิดหนึ่งของสโตรคหรือเซกเมนต์ใดๆได้ และจะถูกนำไปใช้ประกอบการตรวจสอบหาชนิดของสโตรคหรือเซกเมนต์ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

#### 4.2.2 จำนวนจุดเด่นของแต่ละสโตรค

จำนวนจุดเด่นของแต่ละสโตรคเป็นลักษณะเด่นซึ่งสามารถช่วยในการแยกแยะสโตรคได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับสโตรคที่เป็นเส้นโค้งหรือเส้นที่มีการหักมุม เนื่องจากในการวิธืหาจุดเด่นจะพิจารณหาจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงมุมมากเกินค่าขีดแบ่ง ซึ่งหมายถึงจุดที่มีความโค้งมากๆ หรือจุดที่เกิดการหักมุม ดังนั้น จำนวนจุดเด่นของสโตรคจึงอาจใช้แสดงถึงจำนวนโค้งหรือจำนวนมุมที่มีในสโตรคนั้นๆ

ตัวอย่างในรูปที่ 4.7 แสดงจุดเด่นที่ตำแหน่งต่างๆของสโตรคของสัญลักษณ์  $\Xi$  จะเห็นได้ว่า ในสโตรคที่ 1 และ 3 (ขีดด้านบนและด้านล่าง) มีจำนวนจุดเด่นของสโตรคเท่ากับ 4 จุด เนื่องจากเป็นสโตรคที่มีมุมประกอบ 2 มุม ขณะที่สโตรคที่ 2 (ขีดตรงกลาง) มีจำนวนจุดเด่นของสโตรคเท่ากับ 2 จุด เนื่องจากเป็นเส้นที่ไม่มีมุมหรือส่วนโค้งมากๆ

เช่นเดียวกับค่าความโค้ง จำนวนจุดเด่นของสโตรคจะถูกนำไปใช้ประกอบการตรวจสอบหาชนิดของสโตรคหรือเซกเมนต์ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างจุดเด่นที่ตำแหน่งต่างๆของสโตรคของสัญลักษณ์  $\Xi$

### 4.2.3 ชนิดของสโตรคและเชกเมนต์

จากการพิจารณาลักษณะของสโตรคที่ประกอบขึ้นเป็นตัวสัญลักษณ์ และลักษณะวิธีการเขียนสัญลักษณ์ จะพบว่าสามารถแบ่งชนิดของสโตรคตามลักษณะพื้นฐานออกเป็นกลุ่มหลักๆ คือ ชนิดจุด ชนิดวงรอบ ชนิดเส้นตรง และชนิดอื่นๆ (ซึ่งอาจเป็นเส้นโค้งหรือเส้นตรงที่มีมุมประกอบ) จากลักษณะพื้นฐานของสโตรคนี้ เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับจำนวนสโตรครวมของสัญลักษณ์ จะสามารถนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มสัญลักษณ์ในเบื้องต้นได้

รูปที่ 4.8 แสดงผลการแบ่งกลุ่มสัญลักษณ์โดยแบ่งออกตามการมีวงรอบ จำนวนสโตรค ชนิดจุด จำนวนสโตรคชนิดเส้นตรง และ จำนวนสโตรคทั้งหมดที่ใช้ในการเขียนสัญลักษณ์นั้น ตามลำดับ ตัวเลขที่แสดงในวงกลมหมายถึงจำนวนสัญลักษณ์ที่อยู่ในกลุ่มนั้นๆ โดยเริ่มแบ่งกลุ่มจากทางซ้ายไปทางขวาตามลำดับดังนี้

- 1) เริ่มจากสัญลักษณ์ทั้งหมด 103 ตัวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ในวงกลมทางซ้ายสุด
- 2) แบ่งออกตามการมีสโตรคชนิดวงรอบได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มสัญลักษณ์ที่มีวงรอบมีจำนวน 7 ตัว และไม่มีวงรอบมีจำนวน 96 ตัว
- 3) แบ่งออกตามจำนวนสโตรคชนิดจุด คือ มีจำนวนสโตรคชนิดจุด 0 ถึง 4 สโตรค เช่น ในสัญลักษณ์กลุ่มที่ไม่มีวงรอบ 96 ตัว จะแบ่งย่อยออกได้เป็นกลุ่มที่ไม่มีสโตรคชนิดจุดเลยจำนวน 85 ตัว กลุ่มที่มีจำนวนสโตรคชนิดจุด 2 สโตรค และ 4 สโตรคจำนวนกลุ่มละ 1 ตัว และ กลุ่มที่มีจำนวนสโตรคชนิดจุด 1 สโตรคจำนวน 9 ตัว เป็นต้น
- 4) แบ่งออกตามจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรง โดยจะมีจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรงอยู่ระหว่าง 0 ถึง 4 สโตรค เช่น ในกลุ่มสัญลักษณ์ที่ไม่มีสโตรคชนิดวงรอบและไม่มีสโตรคชนิดจุดเลยจำนวน 85 ตัว จะสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็นกลุ่มที่ไม่มีจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรงเลยจำนวน 27 ตัว กลุ่มที่มีสโตรคชนิดเส้นตรง 1 สโตรค จำนวน 28 ตัว กลุ่มที่มีสโตรค ชนิดเส้นตรง 2 สโตรค จำนวน 21 ตัว กลุ่มที่มีสโตรคชนิดเส้นตรง 3 สโตรค จำนวน 4 ตัว และ กลุ่มที่มีสโตรคชนิดเส้นตรง 4 สโตรค จำนวน 5 ตัว เป็นต้น
- 5) แบ่งออกตามจำนวนสโตรคทั้งหมดที่ใช้ในการเขียนสัญลักษณ์นั้น จะแบ่งได้เป็นจำนวน 1 ถึง 6 สโตรค เช่น ในกลุ่มสัญลักษณ์ที่ไม่มีสโตรคชนิดวงรอบ-ไม่มีสโตรคชนิดจุดแต่มีสโตรคชนิดเส้นตรง 1 สโตรค จะสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้เป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้

จำนวนสโตรคในการเขียนเท่ากับ 1 2 3 และ 4 สโตรค โดยแต่ละกลุ่มมีจำนวนสัญลักษณ์เท่ากับ 4 19 4 และ 1 ตัว ตามลำดับ

6) ตัวสัญลักษณ์ที่แสดงในกรอบสี่เหลี่ยมทางด้านขวาสุด เป็นสัญลักษณ์ที่จัดอยู่ในกลุ่มนั้นๆ

จากรูป จะเห็นได้ว่าการแบ่งกลุ่มสัญลักษณ์เบื้องต้นด้วยจำนวนและชนิดของสโตรค สามารถแบ่งสัญลักษณ์ออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ได้ดี โดยกลุ่มย่อยที่มีสัญลักษณ์จำนวนมากที่สุด มี 23 ตัว คือ กลุ่มที่มีจำนวน 1 สโตรค ซึ่งเป็นสโตรคชนิดอื่นๆ (ไม่ใช่เส้นตรง จุด หรือ วงรอบ) ซึ่งคาดได้ว่าอาจเป็นสโตรคชนิดเส้นโค้งหรือเส้นตรงที่มีมุมประกอบ

นอกเหนือจากการแบ่งกลุ่มสัญลักษณ์เบื้องต้นด้วยจำนวนและชนิดหลักๆ ของสโตรคแล้ว ยังสามารถแบ่งกลุ่มสัญลักษณ์ให้ละเอียดยิ่งขึ้นได้อีก คือ

- โดยวิธีการแบ่งสโตรคชนิดเส้นตรงออกเป็น 8 ชนิดย่อยตามทิศทางหลักของเส้นตรงนั้น โดยใช้หลักการเช่นเดียวกับการหาทิศทางในรหัสลูกโซ่
- โดยวิธีการนำสโตรคที่เป็นชนิดอื่นๆ (ไม่ใช่ชนิดจุด เส้นตรง วงรอบ หรือเส้นโค้ง) มาแยกออกเป็นเซกเมนต์ตามตำแหน่งของจุดเด่น (Dominant points) และนำแต่ละเซกเมนต์มาพิจารณาหาชนิดอีกครั้งว่าเป็นเซกเมนต์ชนิดเส้นตรงหรือชนิดเส้นโค้ง ชนิดของเซกเมนต์เหล่านั้นจะสามารถนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มสัญลักษณ์ให้ละเอียดยิ่งขึ้น

รายละเอียดและข้อกำหนดในการหาชนิดของสโตรคและเซกเมนต์ มีดังนี้

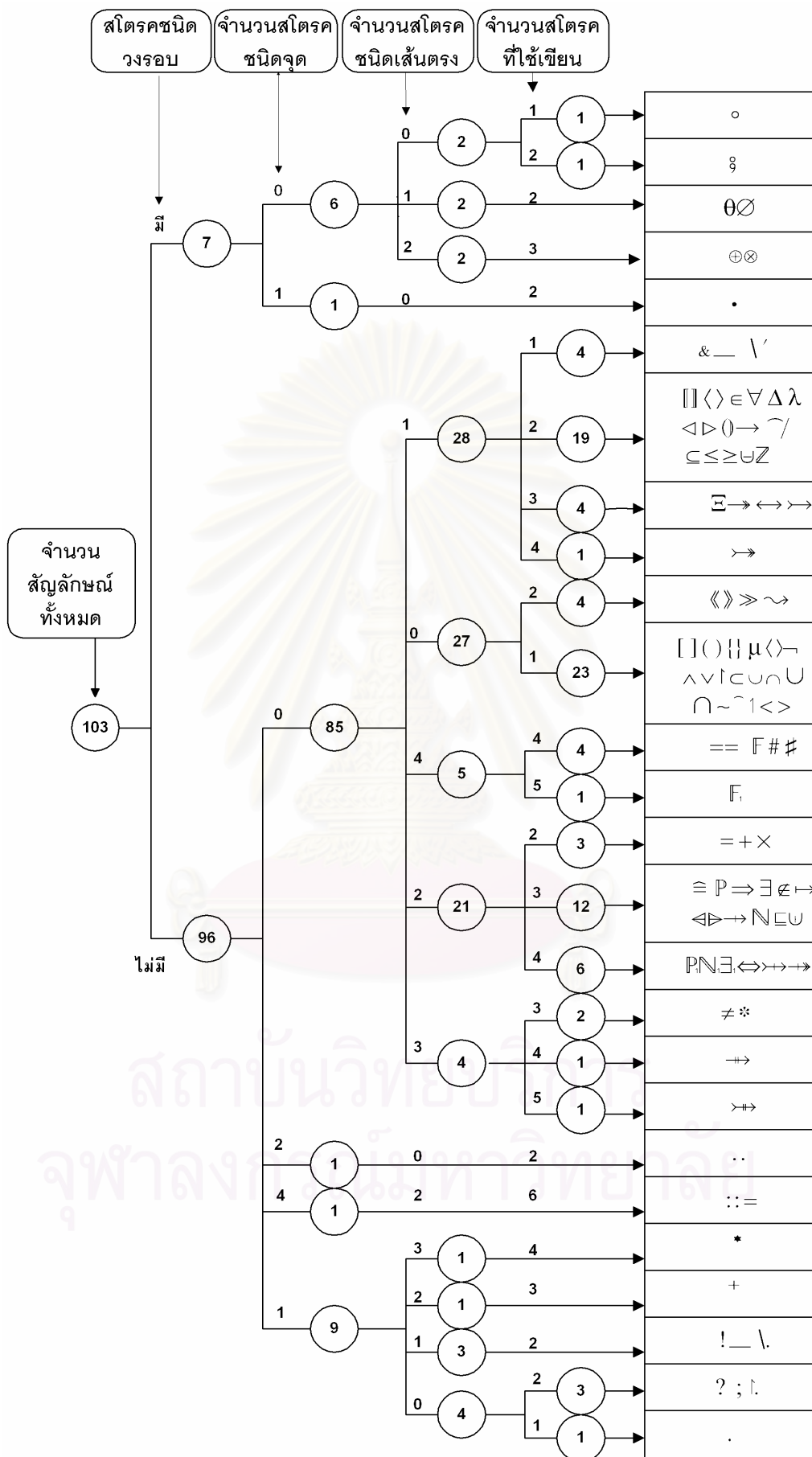
#### 4.2.3.1 คุณสมบัติของสโตรคและเซกเมนต์ชนิดต่าง ๆ

ในการจำแนกชนิดของสโตรคหรือเซกเมนต์ว่าเป็นชนิดใด ผู้วิจัยได้กำหนดคุณสมบัติของสโตรคและเซกเมนต์ชนิดต่างๆ ไว้ดังนี้

##### 1) ชนิดจุด

คุณสมบัติของสโตรคที่เป็นชนิดจุดคือ ต้องมีขนาดความกว้างและความสูงของสโตรคน้อยกว่าหรือเท่ากับขนาดของสโตรคชนิดจุดที่กำหนดไว้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดขนาดสูงสุดของสโตรคชนิดจุดไว้เท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าประมาณที่ได้จากการทดลองเขียนสัญลักษณ์ชนิดจุดด้วยลายมือเขียนของผู้วิจัย





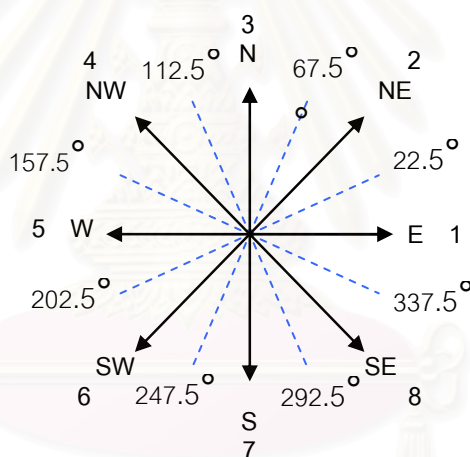
รูปที่ 4.8 การแบ่งกลุ่มสัญลักษณ์ด้วยจำนวนและชนิดของสโตรค

## 2) ชนิดเส้นตรง

คุณสมบัติเบื้องต้นของสโตรคหรือเซกเมนต์ที่พิจารณาว่าเป็นชนิดเส้นตรง มีดังนี้

- ต้องไม่เป็นสโตรคชนิดจุด
- มีค่าความโค้ง น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ ( $C_V \leq C_T$ )

เมื่อพบว่าสโตรคหรือเซกเมนต์นั้นมีคุณสมบัติตามข้างต้น จะใช้ค่าพิกัดของจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของสโตรคหรือเซกเมนต์นั้นมาคำนวณหาทิศทางของเส้น เพื่อนำมาหาห้ทิศทางหลัก ดังรูปที่ 4.9 โดยใช้หลักการหาทิศทางหลักเช่นเดียวกับที่ใช้ในรหัสลูกโซ่ เส้นประที่แสดงในรูปแสดงถึงมุมขีดแบ่งสำหรับทิศทางหลักต่างๆ เช่น เส้นที่มีมุมจากแกน X มากกว่า  $22.5^\circ$  แต่ไม่เกิน  $67.5^\circ$  จะถือว่าเป็นเส้นตรงขีดเฉียงไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) มีรหัสเท่ากับ 2 หรือหากเส้นมีมุมจากแกน X มากกว่า  $247.5^\circ$  แต่ไม่เกิน  $292.5^\circ$  จะถือว่าเป็นเส้นตรงขีดลงทางทิศใต้ (S) มีรหัสเท่ากับ 7 เป็นต้น



รูปที่ 4.9 ทิศทางและรหัสทิศทางของเส้นตรง

## 3) ชนิดวงรอบ

ในการหาวงรอบ มีการใช้รหัสลูกโซ่มาประกอบด้วย โดยลักษณะของสโตรคที่พิจารณาว่าเป็นชนิดวงรอบมีคุณสมบัติดังนี้ คือ

- ต้องไม่เป็นสโตรคชนิดจุด
- มีค่าความโค้งมากกว่าค่าขีดแบ่ง ( $C_V > C_T$ )
- มีระยะขจัดระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของสโตรคไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร ( $L_N \leq 1.5$ ) ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.3 เรื่องการกำหนดลักษณะวิธีการเขียนสัญลักษณ์ และเป็นค่าที่ได้จากการทดลองกรณีนี้

บางส่วนของตอนต้นหรือตอนท้ายของสโตรคถูกลบออกเนื่องจากขั้นตอนการกำจัดจุดส่วนเกินที่จุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของสโตรค (Serif removal)

- มีความแตกต่างของรหัสลูกโซ่ของจุดเริ่มต้นและรหัสลูกโซ่ของจุดสุดท้ายไม่เกิน 3
- มีค่าเปลี่ยนแปลงรหัสลูกโซ่ระหว่างจุดที่ต่อกันไม่เกิน 2
- มีผลรวมของค่าเปลี่ยนแปลงรหัสลูกโซ่ตลอดทั้งสโตรคอยู่ในช่วง 5 ถึง 9

#### 4) ชนิดเส้นโค้ง

ในการพิจารณาเส้นโค้ง จะมีการนำจำนวนของจุดเด่นของสโตรคนั้นมาพิจารณาประกอบด้วย ลักษณะของสโตรคที่พิจารณาว่าเป็นชนิดเส้นโค้งมีคุณสมบัติดังนี้ คือ

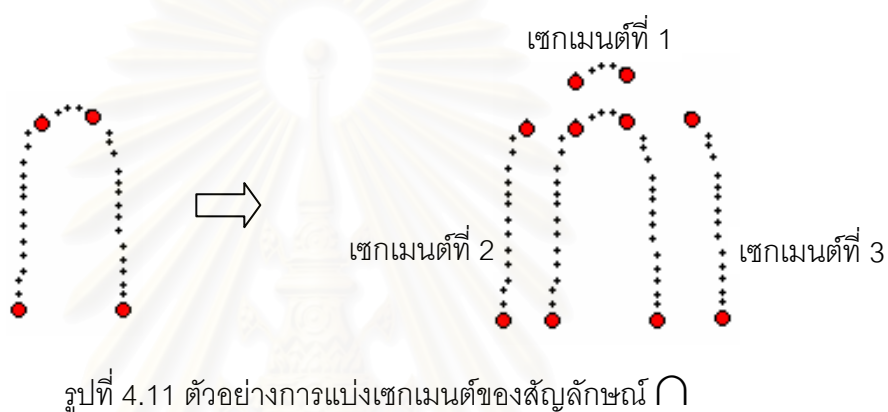
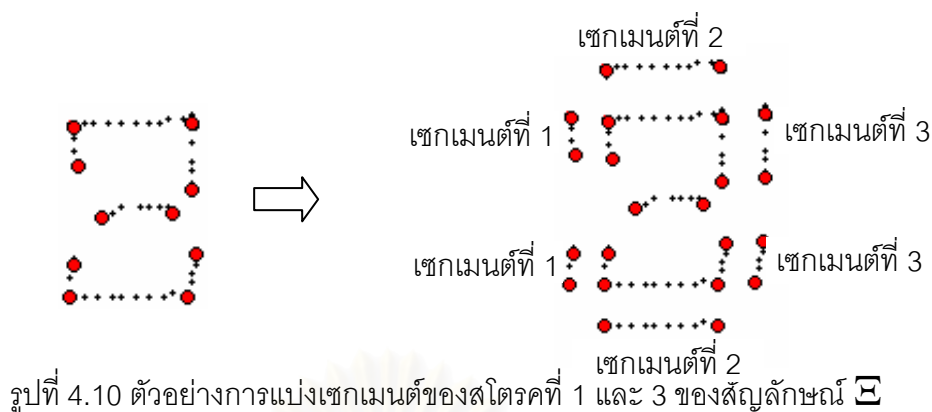
- ต้องไม่เป็นสโตรคชนิดจุด
- ต้องไม่เป็นสโตรคชนิดวงรอบ
- มีค่าความโค้งมากกว่าค่าขีดแบ่ง ( $C_V > C_T$ )
- มีจำนวนของจุดเด่นเท่ากับ 2 จุด

#### 4.2.3.2 การแบ่งสโตรคออกเป็นเซกเมนต์เพื่อวิเคราะห์ชนิดของเซกเมนต์

ในกรณีที่คุณสมบัติของสโตรคไม่ตรงตามชนิดใดในหัวข้อ 4.2.3.1 แต่มีค่าความโค้งมากกว่าค่าขีดแบ่ง เป็นไปได้ว่าสโตรคนั้นอาจเป็นชนิดเส้นตรงที่มีมุมประกอบ เช่น  $\langle \vee \exists$  เป็นต้น หรืออาจเป็นชนิดเส้นโค้งที่มีจำนวนจุดเด่นของสโตรคมากกว่า 2 จุด เช่น  $\{\mu \cap \subset$  เป็นต้น สโตรคดังกล่าวสามารถนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ โดยพิจารณาจากจำนวนจุดเด่นของสโตรคนั้นๆ ดังนี้

##### 1) กรณีที่จำนวนจุดเด่นของสโตรคมากกว่า 2 จุด แต่ไม่เกิน 4 จุด

ในกรณีที่สโตรคมีจำนวนของจุดเด่นมากกว่า 2 จุด แต่ไม่เกิน 4 จุด อาจเป็นไปได้ว่าสโตรคนั้นอาจเป็นชนิดเส้นตรงที่มีมุมประกอบ หรืออาจเป็นชนิดเส้นโค้ง จึงมีการพิจารณาเพิ่มเติม โดยการแบ่งสโตรคนั้นออกเป็นเซกเมนต์ตามตำแหน่งของจุดเด่น ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.10 และ 4.11 หลังจากการแบ่งเซกเมนต์แล้ว จะนำข้อมูลของแต่ละเซกเมนต์ไปตรวจสอบคุณสมบัติว่าเป็นชนิดเส้นโค้งหรือเส้นตรงในทิศทางใด ตามกระบวนการเดิมอีกครั้ง



2) กรณีที่จำนวนจุดเด่นของสโตรคมากกว่า 4 จุด

เนื่องจากในสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ มีสโตรคชนิดเส้นตรงที่มีมุมประกอบสูงสุดคือ 2 มุม ได้แก่ สโตรคในสัญลักษณ์ [ ] [ ]  $\Xi$  ซึ่งสโตรคเหล่านั้นควรจะมีความถี่จุดเด่นสูงสุดคือ 4 จุด ดังตัวอย่างในรูป 4.7 ดังนั้น ในกรณีที่สโตรคมีค่าความโค้งมากกว่าค่าขีดแบ่ง และมีจำนวนของจุดเด่นมากกว่า 4 จุด ในงานวิจัยนี้จะถือว่าสโตรคนั้นเป็นชนิดเส้นโค้งโดยไม่ต้องแบ่งเซกเมนต์และตรวจสอบอีกต่อไป

#### 4.2.3.3 วิธีการหาชนิดของสโตรคและเซกเมนต์

ในการหาชนิดของสโตรคและเซกเมนต์ มีวิธีการตามรหัสจำลอง (Pseudo code) ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในรูป มีความหมายดังนี้

$W$ , คือ ความกว้างของสโตรค

$H$  คือ ความสูงของสโตรค

$S_D$  คือ ขนาดสูงสุดของสโตรคชนิดจุดที่กำหนดไว้

$C_V$  คือ ค่าความโค้ง คำนวณได้จากสมการ 4.9

$C_T$  คือ ค่าขีดแบ่งสำหรับความโค้ง

- $L_N$  คือ ระยะขจัดระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของสโตรคหรือเชกเมนต์  
คำนวณได้จากสมการ 4.11
- $d_i$  คือ รหัสลูกโซ่ของจุดที่  $i$
- $L$  คือ จำนวนจุดทั้งหมดของสโตรค
- $D_p$  คือ จำนวนของจุดเด่น (Dominant point) ที่มีในสโตรค

Split handwritten data of symbol into strokes

FOR each stroke :

Find width ( $W$ ) and height ( $H$ ) of stroke

IF ( $W \leq S_d$ ) and ( $H \leq S_d$ ) THEN

The stroke type is 'DOT'

ELSE

Calculate crookedness value ( $C_v$ ) of stroke

IF ( $C_v \leq C_r$ ) THEN

Find direction of stroke

Find main direction from picture 4.9

The stroke type is 'STRAIGHT LINE' in that direction

ELSE

IF  $\{ (L_N \leq 1.5) \text{ and } (|d_{L-1} - d_1| \leq 3) \text{ and } (|d_{i+1} - d_i| \leq 2, \text{ where } i = 1 \text{ to } L-2)$

and  $(\sum_{i=1}^{L-2} |d_{i+1} - d_i| \in \{5,6,7,8,9\}) \}$  THEN

The stroke type is 'LOOP'

ELSE

IF ( $D_p = 2$ ) or ( $D_p > 4$ ) THEN

The stroke type is 'CURVE'

ELSE

Split the stroke into segments according to the dominant points' coordination

FOR each segment :

Calculate crookedness value ( $C_v$ ) of segment

IF ( $C_v \leq C_r$ ) THEN

Find direction of segment

Find the main direction from picture 4.9

The segment type is 'STRAIGHT LINE' in that direction

ELSE

The segment type is 'CURVE'

END IF

END FOR

END IF

END IF

END IF

END IF

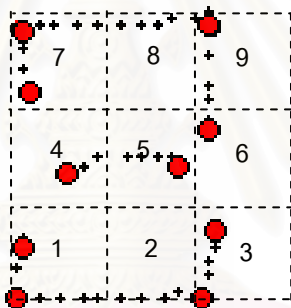
END FOR

รูปที่ 4.12 รหัสจำลองสำหรับหาชนิดของสโตรคและเชกเมนต์

#### 4.2.4 รหัสโซนของจุดเด่น

เนื่องจากจุดเด่นเป็นจุดที่แสดงตำแหน่งที่เป็นมุม หรือจุดที่มีความโค้งมาก ๆ ของสโตรค ดังนั้นตำแหน่งของจุดเด่นแต่ละจุด จะสามารถแสดงถึงตำแหน่งที่สำคัญของสโตรคได้ แต่การระบุตำแหน่งของจุดเด่นด้วยพิกัด (X,Y) จะเป็นค่าที่ละเอียดเกินไป และจะได้ค่าตำแหน่งที่ไม่แน่นอน ในการเขียนสัญลักษณ์แต่ละครั้ง ดังนั้นจึงจะใช้วิธีการระบุตำแหน่งด้วยรหัสโซนของจุดเด่นแทน ถึงแม้ว่าจะเป็นการระบุตำแหน่งที่ค่อนข้างหยาบ แต่จะช่วยให้ได้ตำแหน่งที่สม่ำเสมอมากขึ้น

ในการหารหัสโซนของจุดเด่น จะทำโดยการแบ่งตารางโซนตามขนาดมาตรฐานของสัญลักษณ์เป็น 9 ส่วนเท่าๆ กัน และวางตำแหน่งของขอบล่าง-ซ้ายของสัญลักษณ์ที่ขอบล่าง-ซ้ายของตารางโซน และหาตำแหน่งของจุดเด่นแต่ละจุดว่าอยู่ในโซนใด ดังตัวอย่างการหารหัสโซนของจุดเด่นของสัญลักษณ์  $\Xi$  ในรูป 4.13 จะได้รหัสโซนของจุดเด่นของแต่ละสโตรคคือ '7796' '45' และ '1133' ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการหารหัสโซนของจุดเด่นของสัญลักษณ์  $\Xi$

เนื่องจากจำนวนจุดเด่นที่มากที่สุดของสโตรคชนิดเส้นตรงมีมุมประกอบควรจะมีไม่เกิน 4 จุด ผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้พิจารณารหัสโซนของจุดเด่นสูงสุดไม่เกิน 5 จุดสำหรับแต่ละสโตรค เพื่อเป็นการจำกัดจำนวนข้อมูลนำเข้าทำงานประสาทไม่ให้มากเกินไป โดยหากสโตรคใดมีจำนวนจุดเด่นมากกว่า 5 จุด จะคัดเลือกเฉพาะจุดแรก จุดสุดท้าย และ จุดที่อยู่เฉลี่ยระหว่างกลางอีก 3 จุดมาหารหัสโซนเท่านั้น

#### 4.2.5 อัตราส่วนของจุดในแต่ละโซน

สัญลักษณ์บางสัญลักษณ์มีลักษณะพื้นฐานเหมือนกัน คือ ประกอบด้วยจำนวนและชนิดของสโตรคเหมือนกัน แต่ต่างกันเพียงสัดส่วนของสัญลักษณ์ เช่น สัญลักษณ์  $>$  และ  $>$  สัญลักษณ์  $<$  และ  $<$  เป็นต้น การแยกแยะสัญลักษณ์ดังกล่าว นอกจากพิจารณาได้จากรหัสโซนของจุดเด่นแล้ว อัตราส่วนของจุดในแต่ละโซนก็สามารถใช้แสดงความแตกต่างได้เช่นกัน

ในการแบ่งโซนเพื่อหาอัตราส่วนของจุดจะใช้วิธีเดียวกันกับการแบ่งโซนในการหารหัสโซนของจุดเด่น นั่นคือ จะทำโดยการแบ่งตารางโซนตามขนาดมาตรฐานของสัญลักษณ์เป็น 9 ส่วนเท่าๆ กัน และวางตำแหน่งขอบล่าง-ซ้ายของสัญลักษณ์ที่ขอบล่าง-ซ้ายของตารางโซน และคำนวณหาอัตราส่วนของจำนวนจุดในแต่ละโซนเทียบจากจำนวนจุดทั้งหมด โดยปรับค่าอัตราส่วนดังกล่าวให้เป็นค่าจำนวนเต็มและอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 ดังสมการ 4.12

$$R_i = \text{Round} \left( \frac{N_i}{N} \times 10 \right) \quad \dots(4.12)$$

เมื่อ

$R_i$  คือ อัตราส่วนของจุดในโซน  $i$

โดยที่  $R_i \in \{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\}$  และ  $1 \leq i \leq 9$

$N_i$  คือ จำนวนจุดที่อยู่ในโซน  $i$

$N$  คือ จำนวนจุดทั้งหมดของสัญลักษณ์

Round คือ ฟังก์ชันการปัดค่าให้เป็นจำนวนเต็มที่ใกล้เคียงที่สุด

### 4.3 การเข้ารหัส

งานวิจัยนี้มีการกำหนดรหัสแก่ลักษณะเด่นทั้งหมดที่นำมาใช้ เพื่อป้อนเป็นข้อมูลนำเข้าแก่ข่ายงานประสาท โดยการกำหนดรหัสที่ใช้สำหรับลักษณะเด่นแต่ละตัวมีดังนี้

#### รหัสวงรอบ

เนื่องจากสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีจำนวนวงรอบมากที่สุดเพียง 1 วงรอบ ซึ่งหมายความว่า สัญลักษณ์ใดๆ อาจ 'มี' หรือ 'ไม่มี' วงรอบเท่านั้น ผู้วิจัยได้กำหนดให้รหัสวงรอบมีค่าเป็น '0' กรณีที่ไม่มีวงรอบ และเป็น '12' กรณีที่มีวงรอบ โดยสาเหตุที่ใช้รหัสค่า 12 ก็เพื่อให้รหัสมีค่าแตกต่างจากรหัสชนิดของสโตรคและเชกเมนต์ ดังที่จะกล่าวถึงต่อไป

#### รหัสชนิดของสโตรคและชนิดของเชกเมนต์

จากการพิจารณาลักษณะพื้นฐานของสโตรคและเชกเมนต์ ซึ่งพบว่าแบ่งออกได้เป็นชนิดจุด เส้นตรง วงรอบ และเส้นโค้ง โดยที่ชนิดเส้นตรงยังสามารถแบ่งออกเป็นเส้นตรงในทิศทางหลัก 8 ทิศทาง จึงมีการกำหนดรหัสชนิดของสโตรคและเชกเมนต์ดังนี้

- กรณีที่เป็นชนิดเส้นตรง กำหนดรหัสเป็น 1 ถึง 8 ตามรหัสทิศทางของเส้นตรงนั้น
- กรณีที่เป็นชนิดจุด กำหนดรหัสเป็น 9

- กรณีที่เป็นชนิดวงรอบ กำหนดรหัสเป็น 10
- กรณีที่เป็นชนิดเส้นโค้ง กำหนดรหัสเป็น 11

ตารางที่ 4.1 การกำหนดรหัสแก่ลักษณะเด่นต่างๆ

ชื่อรหัส	ค่ารหัส	หมายเหตุ
รหัสจำนวนสโตรครวม	0 - 6	ตามจำนวนสโตรคทั้งหมดที่ใช้เขียนสัญลักษณ์นั้น
รหัสจำนวนสโตรคชนิดจุด	0 - 4	ตามจำนวนสโตรคชนิดจุดที่มีในสัญลักษณ์
รหัสจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรง	0 - 5	ตามจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรงที่มีในสัญลักษณ์ โดยจะไม่รวมเส้นตรงที่ได้จากการแบ่งเซกเมนต์
รหัสวงรอบ	0	กรณีไม่มีวงรอบ
	12	กรณีมีวงรอบ
รหัสอัตราส่วนของจุดในแต่ละโซน	0 - 10	ตามอัตราส่วนของจุดในแต่ละโซน
รหัสจำนวนจุดเด่นของแต่ละสโตรค	$\geq 2$	ตามจำนวนจุดเด่นที่มีในแต่ละสโตรค
รหัสโซนของจุดเด่น	1 - 9	รหัสโซนของจุดเด่นแต่ละจุด
รหัสลูกโซ่ของสัญลักษณ์	1 - 8	รหัสลูกโซ่ของจุดต่างของสโตรค
รหัสชนิดของสโตรคและชนิดของเซกเมนต์	1	กรณีเป็นเส้นตรงขีดไปทางขวา
	2	กรณีเป็นเส้นตรงขีดเฉียงขึ้นทางขวา
	3	กรณีเป็นเส้นตรงขีดขึ้น
	4	กรณีเป็นเส้นตรงขีดเฉียงขึ้นทางซ้าย
	5	กรณีเป็นเส้นตรงขีดไปทางซ้าย
	6	กรณีเป็นเส้นตรงขีดเฉียงลงทางซ้าย
	7	กรณีเป็นเส้นตรงขีดลง
	8	กรณีเป็นเส้นตรงขีดเฉียงลงทางขวา
	9	กรณีเป็นจุด
	10	กรณีเป็นวงรอบ
	11	กรณีเป็นเส้นโค้ง

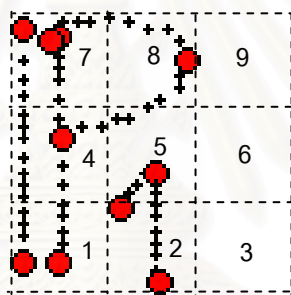


## รหัสลักษณะเด่นอื่นๆ

การกำหนดรหัสของลักษณะเด่นอื่นๆ จะใช้ค่าของลักษณะเด่นนั้นๆ โดยตรง ได้แก่ รหัสจำนวนสโตรครวม รหัสจำนวนสโตรคชนิดจุด รหัสจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรง รหัสอัตราส่วนของจุดในแต่ละโซน รหัสจำนวนจุดเด่นของแต่ละสโตรค รหัสโซนของจุดเด่น และ รหัสลูกโซ่ของสโตรค ตารางที่ 4.1 แสดงถึงรายละเอียดการกำหนดรหัสแก่ลักษณะเด่นต่างๆ

## การเข้ารหัสข้อมูลนำเข้าสำหรับข่ายงานประสาท

ผู้วิจัยได้แบ่งโครงสร้างของข้อมูลนำเข้าสำหรับข่ายงานประสาทออกเป็นสัดส่วน สำหรับใช้เก็บรหัสของลักษณะเด่นของแต่ละส่วน ทั้งนี้เพื่อให้ตำแหน่งของโหนดข้อมูลนำเข้าแต่ละส่วนเป็นตำแหน่งสำหรับลักษณะเด่นที่แน่นอนสำหรับทุกๆ สัญลักษณ์ โดยรูปที่ 4.14 จะใช้เป็นตัวอย่าง แสดงการเข้ารหัสของสัญลักษณ์  $P_1$  วงกลมทึบในรูปแสดงถึงตำแหน่งของจุดเด่นของสโตรคต่างๆ และตัวเลขในบริเวณต่างๆในรูป หมายถึงรหัสโซนของบริเวณนั้นๆ



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างการหารหัสของลักษณะเด่นสำหรับสัญลักษณ์  $P_1$

โครงสร้างของข้อมูลนำเข้าที่กำหนดขึ้น แบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ๆได้ดังนี้

1) โหนดที่ 1 ถึง 3 รวม 3 โหนด ใช้สำหรับรหัสจำนวนสโตรครวม โดยจะเก็บค่าที่เหมือนกันทั้ง 3 โหนด ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มระดับความสำคัญของลักษณะเด่นนี้

ยกตัวอย่างสำหรับสัญลักษณ์  $P_1$  ดังรูปที่ 4.14 จะมีรหัสจำนวนสโตรครวม (ซึ่งหมายถึงจำนวนสโตรคทั้งหมดที่ใช้ในการเขียนสัญลักษณ์นี้) เท่ากับ 4 สโตรค ดังนั้น จะเก็บค่า '4' ที่โหนด 1 2 และ 3 เป็นต้น

2) โหนดที่ 4 ถึง 12 รวม 9 โหนด ใช้เก็บค่ารหัสอัตราส่วนของจำนวนจุดในแต่ละโซน เรียงตามลำดับ

ยกตัวอย่างสำหรับสัญลักษณ์  $P_i$  ในรูปที่ 4.14 จากการคำนวณด้วยสมการ 4.12 จะได้ค่ารหัสอัตราส่วนของจำนวนจุดในแต่ละโซนเท่ากับ 1 1 0 2 1 0 3 1 0 สำหรับโซนที่ 1 ถึง 9 ตามลำดับ ดังนั้น ผลการเข้ารหัสคือ

- โหนดที่ 4 ใช้เก็บค่ารหัสอัตราส่วนของจำนวนจุดในโซนที่ 1 ซึ่งเท่ากับ '1'
- โหนดที่ 5 ใช้เก็บค่ารหัสอัตราส่วนของจำนวนจุดในโซนที่ 2 ซึ่งเท่ากับ '1'
- โหนดที่ 6 ใช้เก็บค่ารหัสอัตราส่วนของจำนวนจุดในโซนที่ 3 ซึ่งเท่ากับ '0'
- ----- เรียงตามลำดับ จนถึง -----
- โหนดที่ 12 ใช้เก็บค่ารหัสอัตราส่วนของจำนวนจุดในโซนที่ 9 ซึ่งเท่ากับ '0'

3) โหนดที่ 13 ถึง 112 รวม 100 โหนด ใช้เก็บรหัสลูกโซ่ของสัญลักษณ์ เรียงตามลำดับ ตั้งแต่โหนดที่ 13 เป็นต้นไป และจะเติมค่าในโหนดว่างที่เหลือด้วยรหัสจำนวนสโตรครวม

4) โหนดที่ 113 ถึง 130 รวม 18 โหนด ใช้เก็บรหัสชนิดของสโตรคและชนิดของเชกเมนต์ โดยแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ส่วนละ 3 โหนด สำหรับใช้เก็บรหัสชนิดของเชกเมนต์ของแต่ละสโตรค เรียงตามลำดับ หากสโตรคใดสามารถหาชนิดของสโตรคได้โดยไม่ต้องแบ่งเชกเมนต์ ก็จะเก็บรหัสชนิดของสโตรคนั้นในโหนดแรกของส่วน กรณีที่สัญลักษณ์มีจำนวนสโตรคไม่ถึง 6 สโตรค หรือ มีจำนวนเชกเมนต์ในสโตรคไม่ถึง 3 เชกเมนต์ จะเติมค่าในโหนดที่ว่างอยู่ด้วยรหัสวงรอบ

ยกตัวอย่างสำหรับสัญลักษณ์  $P_i$  ในรูปที่ 4.14 เมื่อนำแต่ละสโตรคไปหาชนิดของสโตรคและชนิดของเชกเมนต์ตามวิธีการในหัวข้อ 4.2.3.3 จะพบว่าสามารถหาชนิดของสโตรคที่ 1 และ 2 ได้โดยไม่ต้องแบ่งเชกเมนต์ เนื่องจากเป็นเส้นตรงที่ขีดลงทางทิศใต้ทั้งสองสโตรค ดังนั้นจะได้รหัสชนิดสโตรคของสโตรคที่ 1 และ 2 เหมือนกันคือ '7' (ซึ่งหมายถึงชนิดเส้นตรงขีดลงทางทิศใต้) สำหรับสโตรคที่ 3 และ 4 เนื่องจากไม่ใช่ชนิดเส้นตรงและมีจำนวนจุดเด่นในแต่ละสโตรคเท่ากับ 3 จุด จึงต้องมีการนำมาแบ่งเชกเมนต์ โดยแต่ละสโตรคแบ่งออกได้เป็น 2 เชกเมนต์ เนื่องจากมีจำนวนจุดเด่นของสโตรคเท่ากับ 3 จุด และเมื่อนำแต่ละเชกเมนต์มาหารหัสชนิดของเชกเมนต์ จะได้ค่ารหัสชนิดของเชกเมนต์ที่ 1 และ 2 ของสโตรคที่ 3 คือ '11' และ '11' ตามลำดับ เนื่องจากเป็นชนิดเส้นโค้งทั้งสองเชกเมนต์ และจะได้ค่ารหัสชนิดของเชกเมนต์ที่ 1 และ 2 ของสโตรคที่ 4 คือ '3' และ '7' ตามลำดับ เนื่องจากเป็นชนิดเส้นตรงขีดไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและเส้นตรงขีดไปทางทิศใต้ ตามลำดับ และเนื่องจากในสัญลักษณ์นี้ไม่มีวงรอบ ดังนั้นจึงมีค่ารหัสวงรอบเท่ากับ '0' ผลการเข้ารหัสคือ

- โหนดที่ 113 ใช้เก็บรหัสชนิดสโตรคของสโตรคที่ 1 ซึ่งเท่ากับ '7'

- โหนดที่ 114 ใช้เก็บรหัสชนิดเชกเมนต์ของเชกเมนต์ที่ 2 ของสโตรคที่ 1 แต่เนื่องจากในสโตรคนี้ไม่มีการแบ่งเชกเมนต์ จึงเป็นโหนดว่าง จึงเติมด้วยค่ารหัสวงรอบ ซึ่งเท่ากับ '0'
- โหนดที่ 115 ใช้เก็บรหัสชนิดเชกเมนต์ของเชกเมนต์ที่ 3 ของสโตรคที่ 1 แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันกับโหนดที่ 114 จึงเติมด้วยค่า '0'
- โหนดที่ 116 ใช้เก็บรหัสชนิดสโตรคของสโตรคที่ 2 ซึ่งเท่ากับ '7'
- โหนดที่ 117 ใช้เก็บรหัสชนิดเชกเมนต์ของเชกเมนต์ที่ 2 ของสโตรคที่ 2 แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันกับโหนดที่ 114 จึงเติมด้วยค่า '0'
- โหนดที่ 118 ใช้เก็บรหัสชนิดเชกเมนต์ของเชกเมนต์ที่ 3 ของสโตรคที่ 2 แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันกับโหนดที่ 114 จึงเติมด้วยค่า '0'
- โหนดที่ 119 ใช้เก็บรหัสชนิดสโตรคของสโตรคที่ 3 หรือ รหัสชนิดเชกเมนต์ของเชกเมนต์ที่ 1 ของสโตรคที่ 3 เนื่องจากสโตรคที่ 3 มีการแบ่งเชกเมนต์ ดังนั้นโหนดนี้จึงใช้เก็บค่ารหัสชนิดของเชกเมนต์ที่ 1 ของสโตรคที่ 3 ซึ่งเท่ากับ '11'
- โหนดที่ 120 ใช้เก็บรหัสชนิดเชกเมนต์ของเชกเมนต์ที่ 2 ของสโตรคที่ 3 ซึ่งเท่ากับ '11'
- โหนดที่ 121 ใช้เก็บรหัสชนิดเชกเมนต์ของเชกเมนต์ที่ 3 ของสโตรคที่ 3 แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันกับโหนดที่ 114 จึงเติมด้วยค่า '0'
- ----- เรียงตามลำดับ จนถึง -----
- โหนดที่ 125 ใช้เก็บรหัสชนิดสโตรคของสโตรคที่ 5 หรือ รหัสชนิดเชกเมนต์ของเชกเมนต์ที่ 1 ของสโตรคที่ 5 แต่เนื่องจากสัญลักษณ์ P, มีจำนวนสโตรคในการเขียนเพียง 4 สโตรค ดังนั้นโหนดนี้จึงเป็นโหนดว่าง จึงเติมด้วยค่ารหัสวงรอบ ซึ่งเท่ากับ '0'
- โหนดที่ 126 ใช้เก็บรหัสชนิดเชกเมนต์ของเชกเมนต์ที่ 2 ของสโตรคที่ 5 แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันกับโหนดที่ 125 จึงเติมด้วยค่า '0'
- โหนดที่ 127 ใช้เก็บรหัสชนิดเชกเมนต์ของเชกเมนต์ที่ 3 ของสโตรคที่ 5 แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันกับโหนดที่ 125 จึงเติมด้วยค่า '0'
- โหนดที่ 128 ใช้เก็บรหัสชนิดสโตรคของสโตรคที่ 6 หรือ รหัสชนิดเชกเมนต์ของเชกเมนต์ที่ 1 ของสโตรคที่ 6 แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันกับโหนดที่ 125 จึงเติมด้วยค่า '0'

- โหนดที่ 129 ใช้เก็บรหัสชนิดเซกเมนต์ของเซกเมนต์ที่ 2 ของสโตรคที่ 6 แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันกับโหนดที่ 125 จึงเติมด้วยค่า '0'
- โหนดที่ 130 ใช้เก็บรหัสชนิดเซกเมนต์ของเซกเมนต์ที่ 3 ของสโตรคที่ 6 แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันกับโหนดที่ 125 จึงเติมด้วยค่า '0'

5) โหนดที่ 131 ถึง 136 รวม 6 โหนด ใช้เก็บรหัสจำนวนจุดเด่นของแต่ละสโตรคเรียงตามลำดับจนครบทุกสโตรค กรณีที่สัญลักษณ์มีจำนวนสโตรคไม่ถึง 6 สโตรค จะเติมค่าในโหนดว่างที่เหลือด้วยรหัสจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรง

จากตัวอย่างสำหรับสัญลักษณ์ P<sub>i</sub> ดังรูปที่ 4.14 จะเห็นว่ารหัสจำนวนจุดเด่นของแต่ละสโตรคจะเท่ากับ '2' '2' '3' และ '3' ตามลำดับ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากรูป โดยดูจากจำนวนวงกลมทึบที่มีในแต่ละสโตรค และสัญลักษณ์นี้มีจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรงเท่ากับ '2' ดังนั้นผลการเข้ารหัสคือ

- โหนดที่ 131 ใช้เก็บค่ารหัสจำนวนจุดเด่นของสโตรคที่ 1 ซึ่งเท่ากับ '2'
- โหนดที่ 132 ใช้เก็บค่ารหัสจำนวนจุดเด่นของสโตรคที่ 2 ซึ่งเท่ากับ '2'
- โหนดที่ 133 ใช้เก็บค่ารหัสจำนวนจุดเด่นของสโตรคที่ 3 ซึ่งเท่ากับ '3'
- โหนดที่ 134 ใช้เก็บค่ารหัสจำนวนจุดเด่นของสโตรคที่ 4 ซึ่งเท่ากับ '3'
- โหนดที่ 132 ใช้เก็บค่ารหัสจำนวนจุดเด่นของสโตรคที่ 5 แต่เนื่องจากสัญลักษณ์นี้มีจำนวนสโตรครวมเพียง 4 สโตรค จึงเป็นโหนดว่าง จึงเติมด้วยรหัสจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรง ซึ่งเท่ากับ '2'
- โหนดที่ 136 ใช้เก็บค่ารหัสจำนวนจุดเด่นของสโตรคที่ 6 แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันกับโหนดที่ 135 จึงเติมด้วยค่า '2'

6) โหนดที่ 137 ถึง 140 รวม 4 โหนด ใช้สำหรับเก็บรหัสจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรง โดยจะเก็บค่าที่เหมือนกันทั้ง 4 โหนด เพื่อเป็นการเพิ่มระดับความสำคัญของลักษณะเด่นนี้

ยกตัวอย่างสำหรับสัญลักษณ์ P<sub>i</sub> มีจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรงเท่ากับ 2 ดังนั้น จะเก็บค่า '2' ไว้ที่โหนด 137 138 139 และ 140

7) โหนดที่ 141 ถึง 170 รวม 30 โหนด ใช้สำหรับเก็บค่ารหัสไซนของจุดเด่นของแต่ละสโตรค โดยจะแบ่งโหนดออกเป็น 6 ส่วน ส่วนละ 5 โหนด แต่ละส่วนใช้สำหรับเก็บค่ารหัสไซนของจุดเด่นของสโตรคที่ 1 ถึง 6 เรียงตามลำดับ ในกรณีที่สัญลักษณ์มีจำนวนสโตรคไม่ถึง 6 สโตรค หรือ มีจำนวนจุดเด่นในสโตรคไม่ถึง 5 จุด จะเติมค่าในโหนดว่างที่เหลือด้วยรหัสจำนวนสโตรคชนิดจุด

ยกตัวอย่างสำหรับสัญลักษณ์  $P_i$  ในรูป 4.14 ค่ารหัสโซนของจุดเด่นทั้ง 2 จุดของสโตรคที่ 1 คือ '7' และ '1' ค่ารหัสโซนของจุดเด่นทั้ง 2 จุดของสโตรคที่ 2 คือ '7' และ '1' ค่ารหัสโซนของจุดเด่น 3 จุดของสโตรคที่ 3 คือ '7' '8' และ '4' และค่ารหัสโซนของจุดเด่น 3 จุดของสโตรคที่ 4 คือ '2' '5' และ '2' ตามลำดับ และเนื่องจากสัญลักษณ์นี้ไม่มีสโตรคชนิดจุด จึงมีรหัสจำนวนสโตรคชนิดจุดเท่ากับ '0' เมื่อนำมาเข้ารหัส ได้ผลดังนี้

- โหนดที่ 141 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 1 ของสโตรคที่ 1 ซึ่งเท่ากับ '7'
- โหนดที่ 142 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 2 ของสโตรคที่ 1 ซึ่งเท่ากับ '1'
- โหนดที่ 143 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 3 ของสโตรคที่ 1 เนื่องจากสโตรคนี้มีจำนวนจุดเด่นเพียง 2 จุด โหนดนี้จึงเป็นโหนดว่าง ดังนั้นจึงเติมด้วยรหัสจำนวนสโตรคชนิดจุด ซึ่งเท่ากับ '0'
- โหนดที่ 144 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 4 ของสโตรคที่ 1 แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันกับโหนดที่ 143 จึงเติมด้วย '0'
- โหนดที่ 145 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 5 ของสโตรคที่ 1 แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันกับโหนดที่ 143 จึงเติมด้วย '0'
- โหนดที่ 146 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 1 ของสโตรคที่ 2 ซึ่งเท่ากับ '7'
- โหนดที่ 147 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 2 ของสโตรคที่ 2 ซึ่งเท่ากับ '1'
- โหนดที่ 148 – 150 เหมือนโหนดที่ 143
- โหนดที่ 151 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 1 ของสโตรคที่ 3 ซึ่งเท่ากับ '7'
- โหนดที่ 152 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 2 ของสโตรคที่ 3 ซึ่งเท่ากับ '8'
- โหนดที่ 153 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 3 ของสโตรคที่ 3 ซึ่งเท่ากับ '4'
- โหนดที่ 154 – 155 เหมือนโหนดที่ 143
- โหนดที่ 156 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 1 ของสโตรคที่ 4 ซึ่งเท่ากับ '2'
- โหนดที่ 157 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 2 ของสโตรคที่ 4 ซึ่งเท่ากับ '5'
- โหนดที่ 158 ใช้เก็บรหัสโซนของจุดเด่นจุดที่ 3 ของสโตรคที่ 4 ซึ่งเท่ากับ '2'
- โหนดที่ 159 – 170 เหมือนโหนดที่ 143

รูปแบบการจัดโครงสร้างของข้อมูลนำเข้าสำหรับข่ายงานประสาท และตัวอย่างข้อมูลนำเข้าสำหรับสัญลักษณ์  $P_i$  แสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 ค่ารหัสของลักษณะเด่นต่างๆของสัญลักษณ์ทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงอยู่ในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.2 การจัดโครงสร้างของข้อมูลนำเข้าและตัวอย่างข้อมูลนำเข้าสำหรับสัญลักษณ์ P

โหนดที่	ค่าข้อมูล										หมายเหตุ	
1-3	4	4	4								จำนวนสโตรครวม	
4-12	1	1	0	2	1	0	3	1	0		อัตราส่วนของจำนวนจุดในแต่ละโซน	
13-22	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	รหัสลูกโซ่ของสัญลักษณ์	
33-42	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
43-52	7	7	7	7	7	7	1	1	1	1		
53-62	1	1	8	8	7	7	7	7	6	6		
63-72	5	5	6	5	5	3	8	7	7	7		
73-82	7	7	4	4	4	4	4	4	4	4		เติมค่าในโหนดว่างที่เหลือด้วย
83-92	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		จำนวนสโตรครวม (4)
93-102	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
103-112	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
113-115	7	0	0								ชนิดสโตรคของสโตรคที่ 1	
116-118	7	0	0								ชนิดสโตรคของสโตรคที่ 2	
119-121	11	11	0								ชนิดของเชกเมนต์ของสโตรคที่ 3	
122-124	3	7	0								ชนิดของเชกเมนต์ของสโตรคที่ 4	
125-127	0	0	0								เติมโหนดว่างด้วยรหัสวงรอบ (0)	
128-130	0	0	0								เติมโหนดว่างด้วยรหัสวงรอบ (0)	
131-134	2	2	3	3							จำนวนจุดเด่นของแต่ละสโตรค	
135-136	2	2									เติมที่ว่างด้วยจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรง (2)	
137-140	2	2	2	2							จำนวนสโตรคชนิดเส้นตรง	
141-145	7	1	0	0	0						รหัสโซนของจุดเด่นในสโตรคที่ 1	
146-150	7	1	0	0	0						รหัสโซนของจุดเด่นในสโตรคที่ 2	
151-155	7	8	4	0	0						รหัสโซนของจุดเด่นในสโตรคที่ 3	
156-160	2	5	2	0	0						รหัสโซนของจุดเด่นในสโตรคที่ 4	
161-165	0	0	0	0	0						เติมค่าในโหนดว่างที่เหลือด้วย	
166-170	0	0	0	0	0						จำนวนสโตรคชนิดจุด (0)	

#### 4.4 การสอนข่ายงานประสาท

ในการสอนข่ายงานประสาท ผู้วิจัยได้ป้อนลายมือเขียนสัญลักษณ์ด้วยเครื่องอ่านพิกัดแบบปากกา โดยเขียนตามวิธีการเขียนที่ได้กำหนดไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ตัวอย่างของลายมือเขียนที่ใช้ แสดงไว้ในภาคผนวก ง. และได้กำหนดโครงสร้างและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของข่ายงานประสาท โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 โครงสร้างและค่าพารามิเตอร์ของข่ายงานประสาทที่ใช้

รายละเอียด	ชนิด / ค่าที่ใช้
รูปแบบของข่ายงานประสาท	แพร่กระจายย้อนกลับ
จำนวนโหนดในชั้นนำเข้าข้อมูล	170
จำนวนชั้นซ่อน	1
จำนวนโหนดในชั้นซ่อน	1000
จำนวนโหนดในชั้นผลลัพธ์	103
ค่าน้ำหนักตั้งต้น	Random
ฟังก์ชันการกระตุ้น	Act_Logistic
ฟังก์ชันการเรียนรู้	BackPropMomentum
ฟังก์ชันในการปรับปรุงค่าน้ำหนัก	Topological Order
จำนวนรอบสูงสุดในการสอน	1000
ค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้	0.001
จำนวนตัวอักษรที่ใช้ในการสอนข่ายงานประสาท	1030
จำนวนตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบข่ายงานประสาท	1030
จำนวนตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบอัตราการเรียนรู้	3090

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของข่ายงานประสาทดังกล่าว ได้มาจากการทดลองสอนข่ายงานประสาทโดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์และสังเกตผลการสอนว่า สามารถสอนจนจบกระบวนการสอน คือ ได้ค่าผิดพลาดที่อยู่ในระดับที่กำหนดไว้ได้หรือไม่ และได้ผลอัตราการเรียนรู้เป็นอย่างไร จากการทดลองพบว่าจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสม จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อจำนวนโหนดในชั้นข้อมูลนำเข้าเปลี่ยนไป เช่น ในการทดลองสอนด้วยจำนวนโหนดในชั้นข้อมูลนำเข้า 245 โหนด ค่าพารามิเตอร์ที่พบว่าใช้ได้ดีคือ จำนวนชั้นซ่อน 3 ชั้น และจำนวนโหนดในชั้นซ่อน 400 โหนด แต่เมื่อสอนข่ายงานประสาทที่มีจำนวนโหนดในชั้นข้อมูลนำเข้า 170 โหนด โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เดียวกัน ผลการเรียนรู้ที่ได้จะต่ำกว่าเมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.3

## บทที่ 5

### การทดสอบอัตราการเรียนรู้และวิเคราะห์ผล

จากกระบวนการสอนข้างานประสาทด้วยข้อมูลลักษณะเด่นต่างๆ ของลายมือเขียน จนกระทั่งได้ข้างานประสาทซึ่งผ่านหลักเกณฑ์ที่ต้องการ ในขั้นต่อไปนี้จะกล่าวถึงกระบวนการทดสอบระบบการเรียนรู้ของข้างานประสาท ผลของการทดสอบ และการวิเคราะห์ผลที่ได้มา

#### 5.1 การทดสอบระบบการเรียนรู้

การทดสอบระบบการเรียนรู้ กระทำด้วยฟังก์ชันการทดสอบข้างานประสาทของเครื่องมือซอฟต์แวร์ที่ใช้ โดยเครื่องมือซอฟต์แวร์จะทำการทดสอบข้างานประสาทด้วยชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบที่ได้เตรียมไว้ และจะแสดงผลการทดสอบ รวมถึงคำนวณค่าเฉลี่ยของอัตราการเรียนรู้ออกมา

ผู้วิจัยได้ทดสอบระบบการเรียนรู้ของข้างานประสาทด้วยชุดข้อมูลลายมือเขียนที่ข้างานประสาทไม่เคยเห็น (Unseen data) จำนวน 30 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยจำนวนสัญลักษณ์ 103 ตัว รวมเป็นสัญลักษณ์ทั้งสิ้น 3,090 ตัว

#### 5.2 ผลการทดสอบระบบการเรียนรู้

จากการทดสอบ ได้ผลการเรียนรู้และค่าอัตราการเรียนรู้ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และรายละเอียดผลการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ผลการเรียนรู้และอัตราการเรียนรู้จากการทดสอบ

ผลการเรียนรู้	ค่าที่ได้	
	จำนวน (ตัว)	อัตราการเรียนรู้(%)
รู้จำถูกต้อง	2,857	92.46
รู้จำที่ผิด	170	5.50
รู้จำไม่ได้	63	2.04



ตารางที่ 5.2 รายละเอียดผลการทดสอบการรู้จำลายมือเขียนสัญลักษณ์

รหัสเอาต์พุต	สัญลักษณ์	รู้จำถูกต้อง		รู้จำผิด		รู้จำไม่ได้	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
0	[	27	90%	3	10%	0	0%
1	]	30	100%	0	0%	0	0%
2	≡	23	77%	6	20%	1	3%
3	==	30	100%	0	0%	0	0%
4	::=	30	100%	0	0%	0	0%
5		30	100%	0	0%	0	0%
6	《	30	100%	0	0%	0	0%
7	》	30	100%	0	0%	0	0%
8	(	20	67%	10	33%	0	0%
9	)	14	47%	16	53%	0	0%
10	{	19	63%	10	33%	1	3%
11	}	23	77%	7	23%	0	0%
12	P	30	100%	0	0%	0	0%
13	×	28	93%	2	7%	0	0%
14	•	28	93%	2	7%	0	0%
15	λ	29	97%	1	3%	0	0%
16	μ	27	90%	3	10%	0	0%
17	.	30	100%	0	0%	0	0%
18	θ	30	100%	0	0%	0	0%
19	<	28	93%	2	7%	0	0%
20	>	30	100%	0	0%	0	0%
21	⌈	29	97%	1	3%	0	0%
22	⌋	29	97%	1	3%	0	0%
23	⟨	30	100%	0	0%	0	0%
24	⟩	25	83%	2	7%	3	10%
25	!	30	100%	0	0%	0	0%

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดผลการทดสอบการรู้จำลายมือเขียนสัญลักษณ์ (ต่อ)

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	รู้จำถูกต้อง		รู้จำผิด		รู้จำไม่ได้	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
26	?	29	97%	1	3%	0	0%
27	—	29	97%	0	0%	1	3%
28	=	30	100%	0	0%	0	0%
29	∈	20	67%	9	30%	1	3%
30	¬	30	100%	0	0%	0	0%
31	∧	28	93%	2	7%	0	0%
32	∨	28	93%	2	7%	0	0%
33	⇒	30	100%	0	0%	0	0%
34	↔	30	100%	0	0%	0	0%
35	∀	30	100%	0	0%	0	0%
36	∃	28	93%	2	7%	0	0%
37	∃!	30	100%	0	0%	0	0%
38	Δ	30	100%	0	0%	0	0%
39	Ξ	30	100%	0	0%	0	0%
40	\	29	97%	1	3%	0	0%
41	↑	28	93%	1	3%	1	3%
42	;	30	100%	0	0%	0	0%
43	≫	29	97%	0	0%	1	3%
44	≠	30	100%	0	0%	0	0%
45	∉	29	97%	0	0%	1	3%
46	∅	27	90%	0	0%	3	10%
47	⊆	19	63%	10	33%	1	3%
48	⊂	24	80%	6	20%	0	0%
49	ℙ	30	100%	0	0%	0	0%
50	∪	29	97%	1	3%	0	0%
51	∩	29	97%	0	0%	1	3%

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดผลการทดสอบการรู้จำลายมือเขียนสัญลักษณ์ (ต่อ)

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	รู้จำถูกต้อง		รู้จำผิด		รู้จำไม่ได้	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
52	\.	30	100%	0	0%	0	0%
53	U	30	100%	0	0%	0	0%
54	∩	28	93%	2	7%	0	0%
55	↔	29	97%	1	3%	0	0%
56	↦	30	100%	0	0%	0	0%
57	∩	29	97%	1	3%	0	0%
58	○	30	100%	0	0%	0	0%
59	◁	25	83%	3	10%	2	7%
60	▷	29	97%	1	3%	0	0%
61	◁	29	97%	0	0%	1	3%
62	▷	30	100%	0	0%	0	0%
63	~	29	97%	1	3%	0	0%
64	(	27	90%	3	10%	0	0%
65	)	26	87%	4	13%	0	0%
66	⊕	30	100%	0	0%	0	0%
67	+	30	100%	0	0%	0	0%
68	*	29	97%	0	0%	1	3%
69	→	30	100%	0	0%	0	0%
70	→	29	97%	1	3%	0	0%
71	↗	27	90%	2	7%	1	3%
72	↘	23	77%	7	23%	0	0%
73	→	28	93%	1	3%	1	3%
74	→	27	90%	1	3%	2	7%
75	↗	28	93%	0	0%	2	7%
76	^	29	97%	1	3%	0	0%
77	1	24	80%	3	10%	3	10%

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดผลการทดสอบการรู้จำลายมือเขียนสัญลักษณ์ (ต่อ)

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	รู้จำถูกต้อง		รู้จำผิด		รู้จำไม่ได้	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
78	।	29	97%	0	0%	1	3%
79	∩	28	93%	0	0%	2	7%
80	N	29	97%	1	3%	0	0%
81	Z	28	93%	0	0%	2	7%
82	+	29	97%	1	3%	0	0%
83	-	28	93%	0	0%	2	7%
84	*	27	90%	0	0%	3	10%
85	<	25	83%	3	10%	2	7%
86	≤	25	83%	2	7%	3	10%
87	≥	15	50%	11	37%	4	13%
88	>	24	80%	5	17%	1	3%
89	N <sub>1</sub>	29	97%	0	0%	1	3%
90	..	30	100%	0	0%	0	0%
91	F	23	77%	0	0%	7	23%
92	F <sub>1</sub>	30	100%	0	0%	0	0%
93	#	29	97%	1	3%	0	0%
94	→	28	93%	1	3%	1	3%
95	↗	29	97%	0	0%	1	3%
96	#	26	87%	4	13%	0	0%
97	⊗	29	97%	0	0%	1	3%
98	⊆	30	100%	0	0%	0	0%
99	⊕	28	93%	1	3%	1	3%
100	⊂	27	90%	1	3%	2	7%
101	↪	26	87%	3	10%	1	3%
102	'	27	90%	3	10%	0	0%
รวม		2,857	92.46%	170	5.50%	63	2.04%

### 5.3 วิเคราะห์ผลการรู้จำ

ผลอัตราการรู้จำที่ได้จากการทดสอบ เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบจากตัวอย่างลายมือเขียน 3,090 ตัว ซึ่งสามารถใช้วิธีการทางสถิติในประมาณค่าสัดส่วนประชากรแบบช่วง [16] มาคำนวณหาค่าอัตราการรู้จำของระบบ ด้วยสมการ 5.1

$$R_S = R_T \pm Z_N \sqrt{\frac{R_T(1-R_T)}{n}} \quad \dots(5.1)$$

เมื่อ

$R_S$  คือ ค่าประมาณแบบช่วงของอัตราการรู้จำของระบบ

$R_T$  คือ ค่าอัตราการรู้จำที่ได้จากการทดสอบ

$Z_N$  คือ ค่าคงที่ ที่ระดับความเชื่อมั่น  $N$

$n$  คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ และ  $n \geq 30$

จากการคำนวณค่าประมาณแบบช่วงของอัตราการรู้จำของระบบ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $Z_N=1.96$ ) จะได้ค่าอัตราการรู้จำของระบบ คือ

$$91.53\% < \text{อัตราการรู้จำของระบบ} < 93.39\%$$

จากรายละเอียดผลการทดสอบในตาราง 5.2 จะเห็นว่าข่ายงานประสาทที่ได้สามารถรู้จำสัญลักษณ์ส่วนใหญ่ได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัญลักษณ์ที่มีวงรอบ หรือ จุด หรือ เส้นตรงประกอบ แสดงว่าชนิดพื้นฐานของสโตรคสามารถใช้เป็นลักษณะเด่นในการรู้จำได้ดี และเมื่อมีการใช้ชนิดของเซกเมนต์เป็นลักษณะเด่นเพิ่มเติม ก็เป็นการเสริมให้สามารถแบ่งแยกสัญลักษณ์ได้ละเอียดยิ่งขึ้น สำหรับในส่วนของเส้นโค้ง พบว่าโดยส่วนใหญ่สามารถรู้จำได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัญลักษณ์ที่มีลักษณะความโค้งเฉพาะตัว เช่น  $\lambda$   $\mu$   $\sigma$  เป็นต้น ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากการใช้จำนวนจุดเด่นของสโตรค รหัสไซนของจุดเด่น และรหัสลูกโซ่ เป็นลักษณะเด่น

สำหรับสัญลักษณ์ที่มีอัตราการรู้จำน้อยกว่าร้อยละ 70 มีจำนวน 6 ตัว ดังแสดงในตาราง 5.3 จะเห็นว่าส่วนใหญ่เป็นสัญลักษณ์ที่เป็นชนิดเส้นโค้งและมีลักษณะคล้ายกัน มีจำนวนจุดเด่นและรหัสไซนของจุดเด่นใกล้เคียงกัน ทำให้มีอัตราการรู้จำผิดสูงกว่าสัญลักษณ์ตัวอื่นๆ ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบด้วยการเขียนสัญลักษณ์เหล่านี้เพื่อทดสอบการรู้จำแบบออนไลน์ตัวละ 60 ครั้ง เพื่อศึกษาว่าในส่วนที่มีการรู้จำผิดนั้น ส่วนใหญ่จะรู้จำผิดเป็นสัญลักษณ์ใด ผลการทดสอบ แสดงในตาราง 5.4 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบการรู้จำของสัญลักษณ์ที่รู้จำได้น้อยกว่าร้อยละ 70

ลำดับที่	สัญลักษณ์	รู้จำถูกต้อง		รู้จำผิด		รู้จำไม่ได้	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
8	(	20	67%	10	33%	0	0%
9	)	14	47%	16	53%	0	0%
10	{	19	63%	10	33%	1	4%
29	∈	20	67%	9	30%	1	3%
47	⊆	19	63%	10	33%	1	4%
87	≥	15	50%	11	37%	4	13%

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบการรู้จำผิดส่วนใหญ่ของสัญลักษณ์

ลำดับที่	สัญลักษณ์	รู้จำผิดไปเป็นสัญลักษณ์
8	(	< และ {
9	)	> และ }
10	{	} และ )
29	∈	⊆
47	⊆	∈
87	≥	⊆ และ ≤

สัญลักษณ์ ( ) { และ } จะมีลักษณะเด่นใกล้เคียงกัน คือ เป็นชนิดเส้นโค้งเหมือนกัน และมีจำนวนจุดเด่นและรหัสโทนของจุดเด่นใกล้เคียงกัน ซึ่งหากเขียนสัญลักษณ์ให้มีสัดส่วนความสูงมากกว่าความกว้างมากเกินไป จะทำให้ได้รหัสโทนของจุดเด่นดังกล่าวของสัญลักษณ์ในกลุ่มนี้เหมือนกัน ส่วนที่เป็นความแตกต่างของสัญลักษณ์กลุ่มนี้ที่เห็นได้ชัดคือ ลักษณะทิศทางการโค้ง ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า วิธีการแบ่งชนิดของสโตรคและเชกเมนต์เป็นเส้นโค้งยังละเอียดไม่เพียงพอ ควรมีการปรับปรุงหรือหาวิธีการแบ่งชนิดของเส้นโค้งให้ละเอียดมากขึ้น เช่น การหาทิศทางของการโค้ง หรือ ลักษณะของการโค้ง เป็นต้น และควรปรับปรุงวิธีการแบ่งชนิดใหม่ และปรับปรุงการเข้ารหัสลูกโซ่ให้ละเอียดมากขึ้น

สัญลักษณ์ ∈ จะใกล้เคียงกับสัญลักษณ์ ⊆ โดยจะต่างกันเพียงตำแหน่งของสโตรคที่ 2 เท่านั้น หากมีการเขียนสโตรคที่ 2 (ขีดด้านล่าง) ของสัญลักษณ์ ⊆ ให้มีระยะห่างจากสโตรคที่ 1

จะทำให้มีอัตราส่วนของจำนวนจุดในแต่ละโซนเหมือนกับของสัญลักษณ์  $\in$  ซึ่งทำให้สัญลักษณ์ทั้งสองมีลักษณะเด่นที่แตกต่างกันคือ รหัสโซนของจุดเด่นของสโตรคที่ 2 เท่านั้น จึงอาจวิเคราะห์ได้ว่า การเข้ารหัสในส่วนรหัสโซนของจุดเด่นอาจยังไม่ดีพอ จึงทำให้ลักษณะเด่นดังกล่าวไม่เพียงพอในการใช้แบ่งแยกสัญลักษณ์นี้ ซึ่งอาจปรับปรุงโดยการเพิ่มจำนวนโหนดสำหรับรหัสโซนของจุดเด่นให้มากขึ้น เพื่อเป็นการเน้นความสำคัญสำหรับลักษณะเด่นนี้

สัญลักษณ์  $\geq$  พบว่ามีการรู้จำผิดไปเป็นสัญลักษณ์  $\subseteq$  และ  $\leq$  เมื่อมีการเขียนสโตรคที่ 1 เอียง ทำให้มีการหาชนิดของเซกเมนต์ผิดพลาด และบางครั้งมีการเขียนสโตรคที่ 1 และสโตรคที่ 2 ห่างกันเกินไป ทำให้มีรหัสโซนของจุดเด่นและอัตราส่วนของจุดในแต่ละโซนแตกต่างกัน ซึ่งแสดงถึงข้อจำกัดในเรื่องสัดส่วนขนาดของสัญลักษณ์ที่เขียน นอกจากนี้ ยังแสดงว่าการเข้ารหัสชนิดของสโตรคและเซกเมนต์และรหัสโซนของจุดเด่นอาจยังไม่เพียงพอเช่นเดียวกับกรณีของสัญลักษณ์  $\in$  และ  $\subseteq$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเพื่อหาวิธีการรู้จำลายมือเขียนสัญลักษณ์ในภาษาเซต เริ่มต้นด้วยกระบวนการคัดเลือกและกำหนดรูปแบบของสัญลักษณ์ โดยมีการคัดเลือกสัญลักษณ์จากสัญลักษณ์ที่ใช้ในโปรแกรมเซตอีฟมาทั้งสิ้น 103 สัญลักษณ์ และมีการกำหนดลักษณะวิธีการเขียน รหัส และความหมายในรูปลาเท็กซ์สำหรับแต่ละสัญลักษณ์ หลังจากนั้น ในกระบวนการสอนข่ายงานประสาท นอกเหนือจากการใช้ลักษณะเด่นชนิดเดิมแล้ว ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาเทคนิคขึ้นเพิ่มเติม ได้แก่ เทคนิคในการประมวลผลตัวอักษรเบื้องต้น โดยปรับปรุงวิธีการนอร์มอลไลซ์แบบเดิมมาเป็นวิธีการนอร์มอลไลซ์แบบพิจารณาลักษณะของสโตรค และได้เสนอวิธีการหาลักษณะเด่นชนิดใหม่ คือ ชนิดของสโตรคและเชกเมนต์ โดยมีการแบ่งชนิดของสโตรคและเชกเมนต์ออกเป็น 4 ชนิดคือ ชนิดจุด ชนิดเส้นตรง ชนิดวงรอบ และชนิดเส้นโค้ง และในชนิดเส้นตรง ยังมีการแบ่งย่อยออกได้เป็น 8 ทิศทางหลักตามทิศทางของเส้นตรงนั้น โดยใช้หลักการแบ่งทิศแบบเดียวกับที่ใช้ในรหัสลูกโซ่ ในการพิจารณาชนิดของสโตรคและเชกเมนต์ จะพิจารณาจากค่าความโค้ง และจำนวนจุดเด่นของสโตรค นอกจากนั้น ยังมีการใช้ค่าอัตราส่วนของจุดในแต่ละโซนมาเป็นลักษณะเด่น โดยปรับค่าอัตราส่วนให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 10 ในส่วนของการเข้ารหัส มีเทคนิคการเข้ารหัสข้อมูลนำเข้าสู่สำหรับสอนข่ายงานประสาทโดยจัดโครงสร้างให้เป็นสัดส่วนที่แน่นอนสำหรับลักษณะเด่นแต่ละชนิดของแต่ละสโตรค

จากการสอนข่ายงานประสาทด้วยข้อมูลลักษณะเด่น ได้แก่ จำนวนสโตรคของสัญลักษณ์ จำนวนสโตรคชนิดจุด จำนวนสโตรคชนิดวงรอบ จำนวนสโตรคชนิดเส้นตรง อัตราส่วนของจุดในแต่ละโซน รหัสลูกโซ่ของสัญลักษณ์ ชนิดของเชกเมนต์ และจำนวนจุดเด่นของแต่ละสโตรค เมื่อทดสอบข่ายงานประสาทที่ได้ด้วยลายมือของผู้วิจัยจำนวน 3,090 ตัว ได้ค่าอัตราการเรียนรู้จำถูกต้องร้อยละ 92.46 รู้จำผิดร้อยละ 5.50 และรู้จำไม่ได้ร้อยละ 2.04 ซึ่งสามารถประมาณค่าอัตราการเรียนรู้จำของข่ายงานประสาท ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ อยู่ในช่วงร้อยละ 91.53 ถึง 93.39

กล่าวได้ว่า ระบบการรู้จำซึ่งใช้วิธีการและลักษณะเด่นดังกล่าว สามารถใช้ในการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับสัญลักษณ์ในภาษาเซตได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถ



แบ่งแยกสโตรคและเซกเมนต์ชนิดเส้นตรง จุด และวงรอบ ได้ถูกต้องสูง อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าวยังคงมีข้อจำกัดในการแบ่งแยกสโตรคและเซกเมนต์ชนิดเส้นโค้งบางตัว ซึ่งอาจใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการรู้จำลายมือเขียนต่อไป

## 6.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ได้ข่างานประสาทที่ใช้ในการรู้จำลายมือเขียนสัญลักษณ์ในภาษาเซต
- 2) ได้วิธีการเข้ารหัสข้อมูลลายมือเขียนที่ใช้ในการรู้จำลายมือเขียนสัญลักษณ์ในภาษาเซต เพื่อเป็นต้นแบบในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ

## 6.3 ข้อจำกัด

- 1) ข่างานประสาทที่ได้จากงานวิจัยนี้ เหมาะสมสำหรับลายมือเขียนของผู้วิจัยเท่านั้น เนื่องจากการสอนด้วยลายมือเขียนของผู้วิจัยเพียงคนเดียว
- 2) ลักษณะวิธีเขียนสัญลักษณ์ ต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้เท่านั้น
- 3) ข่างานประสาทรนี้ ใช้ในการรู้จำได้เฉพาะกับสัญลักษณ์ที่กำหนดไว้เท่านั้น ไม่สามารถใช้กับตัวอักษรหรือสัญลักษณ์อื่นๆได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสัญลักษณ์ที่มีจำนวนสโตรคมากกว่า 6 สโตรค

## 6.4 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยและทดลองใช้งานระบบการรู้จำในงานวิจัย ผู้วิจัยได้พบแนวทางบางประการ และมีข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

- 1) ในการแบ่งชนิดของเส้นโค้ง ควรมีการทดลองแบ่งออกตามทิศทางการโค้งด้วย โดยอาจใช้ทิศทางแบบรหัสทิศทางของรหัสลูกโซ่ เช่น ( จะเป็นเส้นโค้งไปทางซ้าย ) จะเป็นเส้นโค้งไปขวา เป็นต้น
- 2) ควรมีการทดลองนำค่าความโค้งมาใช้แสดงลักษณะของเส้นโค้งมากกว่านี้ เช่น ใช้แสดงหรือเปรียบเทียบระดับความโค้ง เป็นต้น
- 3) จำนวนและลักษณะของตัวอย่างที่ใช้ในการสอนข่างานประสาท และโครงสร้างของข่างานประสาท ก็มีผลต่อการรู้จำ จึงควรมีการทดลองสอนข่างานประสาทด้วยจำนวนตัวอย่างมากขึ้น และ โครงสร้างของข่างานประสาทที่แตกต่างออกไป

- 4) ควรจะมีการพัฒนาระบบการสอนช่างงานประสาทแบบออนไลน์ เพื่อให้ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถสอนช่างงานประสาทด้วยลายมือเขียนของตนเองได้ เพื่อให้ได้ช่างงานประสาทที่เหมาะสมกับลายมือของตนเอง
- 5) ควรมีการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการใช้งานระบบการรู้จำลายมือเขียน โดยสามารถเรียกใช้งานช่างงานประสาทได้หลายประเภท เช่น ช่างงานประสาทสำหรับการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรไทย อังกฤษ สัญลักษณ์ เป็นต้น เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ระบบการรู้จำจากช่างงานประสาทที่มีทั้งหมดได้จากที่เดียว



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

1. กันตา กิตียนันท์. การพัฒนาเครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์โดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
2. University of Stuttgart, Institute for Parallel and Distributed High Performance Systems (IPVR). Stuttgart Neural Network Simulator (SNNS) version 4.2 [Computer software]. Germany: University of Stuttgart, 1998. Available from: <ftp://ftp.informatik.uni-tuebingen.de>; directory: pub/SNNS/Windows/Executables/ [August 2002]
3. ปกรณ์ บุพศิริ. การปรับปรุงระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์สำหรับตัวอักษร ภาษาไทยโดยใช้ข่ายงานประสาทแบบแพร่กระจายย้อนกลับ. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
4. Hung Yuen. A Chain Coding Approach for Real-time Recognition of On-line Handwritten Characters. IEEE, (1996): 3426-3429.
5. J. M. Spivey. The Z Notation: A Reference Manual. 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992.
6. ORA Canada. Z/EVES, Available from: <http://www.ora.on.ca/z-eves/welcome.html>. [May 2001]
7. 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.
8. อภิชาติ สัจจงพงษ์. การรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์โดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ก. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรม คอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
9. A. Nair and C.G. Leedham. Preprocessing of Line Codes for Online Recognition Purposes. Electronics Letters. vol.27, (1991): 1-2.
10. I. Pitas. Digital Image Processing Algorithms. U.K.: Prentice Hall, 1993.

11. โชติ ศิริวงศวิเชียร และ ปกิตต์ นิธิวิบูลย์. การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการเข้ารหัสตัวอักษร  
ลายมือเขียนภาษาไทยเพื่อระบบการรู้จำโดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ก. โครงการงานทางวิศวกรรม  
ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย, 2543.
12. E. Rich and K. Knight. Artificial Intelligence. Singapore: Prentice-Hill, 1991.
13. T. M. Michell. Machine Learning. NY: McGraw-Hill, 1997.
14. The Unicode Consortium. The Unicode Standard version 4.0 [Online edition].  
Available from: <http://www.unicode.org> [September 2003]
15. สกฤษรัตน์ กมุทมาศ. ฝึกเขียนอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ประสานมิตร,  
2546.
16. มัลลิกา บุนนาค. สถิติเพื่อการตัดสินใจ. จำนวน 1,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร:  
โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

## ตัวอย่างของข้อกำหนดรูปนัยที่แสดงในรูปสัญกรณ์เซต [5]

**The Birthday Book****Latex Format**

```
\begin{zed}
[NAME, DATE]
\end{zed}
```

**Schema Box Format**

```
[NAME, DATE]
```

```
\begin{schema}{BirthdayBook}
  known: \power NAME\
  birthday: NAME \pfun DATE
\where
  known = \dom birthday
\end{schema}
```

```
-----BirthdayBook-----
known : P NAME
birthday : NAME → DATE
-----
known = dom birthday
```

```
\begin{schema}{InitBirthdayBook}
  BirthdayBook
\where
  birthday = \emptyset \
  known = \emptyset
\end{schema}
```

```
-----InitBirthdayBook-----
BirthdayBook
-----
birthday = ∅
known = ∅
```

```
\begin{schema}{AddBirthday}
  \Delta BirthdayBook \
  name?: NAME \
  date?: DATE
\where
  name? \notin known
\also
  birthday' = birthday \cup \{ name? \mapsto date? \}
\end{schema}
```

```
-----AddBirthdayBook-----
ΔBirthdayBook
name? : NAME
date? : DATE
-----
name? ∉ known
birthday' = birthday ∪ { name? ↦ date? }
```

```
\begin{schema}{FindBirthday}
  \Xi BirthdayBook \
  name?: NAME\
  date!: DATE
\where
  name? \in known
\also
  date! = birthday (name?)
\end{schema}
```

```
-----FindBirthdayBook-----
ΞBirthdayBook
name? : NAME
date! : DATE
-----
name? ∈ known
date! = birthday(name?)
```

```
\begin{schema}{Remind}
```

```
\Xi BirthdayBook \
```

```
today?: DATE \
```

```
cards!: \power NAME
```

```
\where
```

```
cards! = \{ n: known | birthday(n) = today? \}
```

```
\end{schema}
```

---

*Remind*

$\exists$ BirthdayBook

today? : DATE

cards! : P NAME

---

cards! = {n : known | birthday(n) = today?}

---

```
\begin{zed}
```

```
REPORT ::= ok | already\_known | not\_known
```

REPORT ::= ok | already\_known | not\_known

```
\end{zed}
```

```
\begin{schema}{Success}
```

```
result!: REPORT
```

---

*Success*

result! : REPORT

```
\where
```

```
result! = ok
```

---

result! = ok

---

```
\end{schema}
```

```
\begin{schema}{AlreadyKnown}
```

```
\Xi BirthdayBook \
```

```
name?: NAME \
```

```
result!: REPORT
```

---

*AlreadyKnown*

$\exists$ BirthdayBook

name? : NAME

result! : REPORT

```
\where
```

```
name? \in known \
```

---

name?  $\in$  known

```
result! = already\_known
```

result! = already\_known

---

```
\end{schema}
```

```
\begin{zed}
```

```
RAddBirthday \defs (AddBirthday \land Success) \lor  
AlreadyKnown
```

RaddBirthday  $\cong$  (AddBirthday  $\wedge$  Success)  $\vee$   
AlreadyKnown

```
\end{zed}
```

ภาคผนวก ข  
ชื่อ และ รูปของอักขระในภาษาเซต [5]

NAME	SYNTAX TERMINALS
Given set brackets	[ ]
Schema definition	$\hat{=}$
Abbreviation definition	$\equiv$
Chevron Brackets	$\langle \rangle$
Bar	
Schema brackets	[ ]
Colon	:
Semicolon	;
Comma	,
Fat dot	•
Universal quantifier	$\forall$
Existential quantifier	$\exists$
Unique Existential quantifier	$\exists_1$
Equality	$=$
Membership	$\in$
Negation	$\neg$
Conjunction	$\wedge$
Disjunction	$\vee$
Implication	$\Rightarrow$
Equivalence	$\Leftrightarrow$
Power set	P
Selection	.
Theta	$\theta$
Cartesian product	$\times$
Tuple Brackets	( )
Mu	$\mu$
Set brackets	{ }
Sequence brackets	$\langle \rangle$
Bag brackets	[ ]
Lambda	$\lambda$
Relational image Brackets	$\langle \rangle$
Dash	'
Query	?
Shriek	!
Delta	$\Delta$
Xi	$\Xi$



NAME	TOOLKIT SYMBOLS
Inequality	$\neq$
Non-membership	$\notin$
Empty-set	$\emptyset, \{ \}$
Proper subset	$\subset$
Non-empty subsets	$P_1$
Subset	$\subseteq$
Set union	$\cup$
Set intersection	$\cap$
Set difference	$\setminus$
Generalised union	$\bigcup$
Generalised intersection	$\bigcap$
Binary relation	$\leftrightarrow$
Maplet	$\mapsto$
Composition	$\circ$
Domain restriction	$\triangleleft$
Range restriction	$\triangleright$
Domain subtraction	$\triangleleft$
Range subtraction	$\triangleright$
Relational inverse	$R^\sim$
Transitive closure	$R^+$
Reflexive-transitive closure	$R^*$
Partial functions	$\rightharpoonup$
Total functions	$\rightarrow$
Partial injections	$\rightsquigarrow$
Total injections	$\rightarrow$
Partial surjections	$\twoheadrightarrow$
Total surjections	$\twoheadrightarrow$
Bijections	$\xrightarrow{\sim}$
Functional override	$\oplus$
Natural numbers	$\mathbb{N}$
Integers	$\mathbb{Z}$
Addition	$+$
Subtraction	$-$
Multiplication	$*$
Division	$\text{div}$
Less than	$<$
Less than or equal to	$\leq$
Greater than or equal to	$\geq$
Greater than	$>$
Strictly positive integers	$\mathbb{N}_1$
Relational iteration	$R^k$
Number range	$\dots$
Finite sets	$F$
Non-empty finite sets	$F_1$
Cardinality	$\#$
Finite partial functions	$\rightsquigarrow$
Finite partial injections	$\rightsquigarrow$
Filter	$\uparrow$
Concatenation	$\succ$

ภาคผนวก ค

ข้อความสั่งในรูปแบบลาเท็กซ์ รูปแบบการใช้ในรูปสัญลักษณ์เซต และ ความหมาย [6]

Z Paragraphs, Declarations		
L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X input	Output	Meaning
[X]	[X]	given set
\begin{axdef}		
D	$D$	axiomatic box
\where	$P$	
P		
\end{axdef}		
\begin{schema}{S}		
D	$S$	schema box
\where	$D$	
P	$P$	
\end{schema}		
\begin{gendef}[X]		
D	$[X]$	generic box
\where	$D$	
P	$P$	
\end{gendef}		
S \defs T	$S \hat{=} T$	horizontal schema definition
X == e	$X == e$	abbreviation definition
T ::=	$T ::=$	
A	$A  $	free type definition
B\data E\rdata	$B\langle E \rangle$	

Predicates		
L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X input	Output	Meaning
x = y	$x = y$	equality
x \in S	$x \in S$	membership
\notin P	$\neg P$	negation
P \land Q	$P \wedge Q$	conjunction
P \lor Q	$P \vee Q$	disjunction
P \implies Q	$P \Rightarrow Q$	implication
P \iff Q	$P \Leftrightarrow Q$	equivalence
\forall ST \bullet P	$\forall ST \bullet P$	universal quantification
\exists ST \bullet P	$\exists ST \bullet P$	existential quantification
\exists_1 ST \bullet P	$\exists_1 ST \bullet P$	unique quantification
\LET V==E	let V ==	local definition
\bullet P	E	
\pre S	pre S	schema pre-condition
a \inrel{R} b	$a R b$	infix relation
\IF P	if P	
\THEN Q	then Q	conditional
\ELSE R	else R	

Schema Expressions		
L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X input	Output	Meaning
\Delta S	$\Delta S$	schema name prefix
\Xi S	$\Xi S$	schema name prefix
\not S	$\neg S$	negation
S \land T	$S \wedge T$	conjunction
S \lor T	$S \vee T$	disjunction
S \implies T	$S \Rightarrow T$	implication
S \iff T	$S \Leftrightarrow T$	equivalence
\forall ST \bullet S	$\forall ST \bullet S$	universal quantification
\exists ST \bullet S	$\exists ST \bullet S$	existential quantification
\exists_1 ST \bullet S	$\exists_1 ST \bullet S$	unique quantification
S \hide (a)	$S \setminus (a)$	hiding
S \project T	$S \upharpoonright T$	projection
\pre S	pre S	pre-condition
S \semi T	$S \S T$	sequential composition
S \pipe T	$S \gg T$	pipng

Expressions		
L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X input	Output	Meaning
(a, b)	$(a, b)$	tuple
\{a, b\}	$\{a, b\}$	set display
\power X	$\mathbb{P}X$	power set
X \cross Y	$X \times Y$	cross product
\{D   P \bullet E\}	$\{D   P \bullet E\}$	set comprehension
(\lambda ST \bullet E)	$(\lambda ST \bullet E)$	lambda expression
(\mu ST \bullet E)	$(\mu ST \bullet E)$	definite description
(\LET V==E1	let V ==	local definition
\bullet E2	E1	
E1 E2	$E1 E2$	function application
a.b	$a.b$	selection
\theta S	$\theta S$	binding formation
\IF P	if P	
\THEN E1	then E1	conditional
\ELSE E2	else E2	
\langle E \rangle	$\langle E \rangle$	sequence display
\bagg E \rbagg	$\llbracket E \rrbracket$	bag display
\neg n	$n$	negative numeral
\blot D \rblot	$\langle\!\langle D \!\!\rangle\!\rangle$	binding set
x!	$x!$	decoration
x?	$x?$	decoration
x'	$x'$	decoration
x_n	$x_n$	decoration (n a digit)
\_	-	underscore (in opnames)

Sets		
L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X input	Output	Meaning
x \neq y	$x \neq y$	inequality
x \notin S	$x \notin S$	non-membership
\emptyset	$\emptyset$	empty set
S \subseteq T	$S \subseteq T$	subset
S \subset T	$S \subset T$	proper subset
\power_1 X	$\mathbb{P}_1 X$	non-empty powerset
S \cup T	$S \cup T$	set union
S \cap T	$S \cap T$	set intersection
S \setminus T	$S \setminus T$	set difference
\bigcup S	$\bigcup S$	generalized union
\bigcap S	$\bigcap S$	generalized intersection
first`x	$first\ x$	first component of ordered pair
second`x	$second\ x$	second component of ordered pair

Relations		
L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X input	Output	Meaning
$X \backslash \text{rel } Y$	$X \leftrightarrow Y$	relation
$x \backslash \text{mapsto } y$	$x \mapsto y$	maplet (ordered pair)
$\backslash \text{dom } X$	$\text{dom } X$	domain
$\backslash \text{ran } X$	$\text{ran } X$	range
$\backslash \text{id } X$	$\text{id } X$	identity relation
$Q \backslash \text{comp } R$	$Q \circ R$	relational composition
$R \backslash \text{circ } Q$	$R \circ Q$	backward relational composition
$S \backslash \text{dres } R$	$S \triangleleft R$	domain restriction
$R \backslash \text{rres } T$	$R \triangleright T$	range restriction
$S \backslash \text{ndres } R$	$S \triangleleft R$	domain anti-restriction
$R \backslash \text{nrres } T$	$R \triangleright T$	range anti-restriction
$R \backslash \text{inv}$	$R^{-1}$	relational inversion
$R \backslash \text{img } S \backslash \text{ring}$	$R(S)$	relational image
$Q \backslash \text{oplus } R$	$Q \oplus R$	overriding
$R \backslash \text{plus}$	$R^+$	transitive closure
$R \backslash \text{star}$	$R^*$	reflexive transitive closure

Functions		
L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X input	Output	Meaning
$X \backslash \text{pfun } Y$	$X \rightarrow Y$	partial function
$X \backslash \text{fun } Y$	$X \rightarrow Y$	total function
$X \backslash \text{pinj } Y$	$X \rightarrow Y$	partial injection
$X \backslash \text{inj } Y$	$X \rightarrow Y$	total injection
$X \backslash \text{psurj } Y$	$X \rightarrow Y$	partial surjection
$X \backslash \text{surj } Y$	$X \rightarrow Y$	total surjection
$X \backslash \text{bij } Y$	$X \rightarrow Y$	bijection

Sequences		
L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X input	Output	Meaning
$\backslash \text{seq } X$	$\text{seq } X$	finite sequence
$\backslash \text{seq}_1 X$	$\text{seq}_1 X$	non-empty finite sequence
$\backslash \text{iseq } X$	$\text{iseq } X$	injective sequence
$s \backslash \text{cat } t$	$s \circ t$	concatenation
$\text{rev}^s$	$\text{rev } s$	reversal
$\text{head}^s$	$\text{head } s$	first element
$\text{last}^s$	$\text{last } s$	last element
$\text{tail}^s$	$\text{tail } s$	all but the first element
$\text{front}^s$	$\text{front } s$	all but the last element
$U \backslash \text{extract } s$	$U   s$	extraction
$s \backslash \text{filter } V$	$s   V$	filter
$\text{squash}^f$	$\text{squash } f$	compaction
$s \backslash \text{prefix } t$	$s \text{ prefix } t$	prefix relation
$s \backslash \text{suffix } t$	$s \text{ suffix } t$	suffix relation
$s \backslash \text{inseq } t$	$s \text{ in } t$	segment relation
$\backslash \text{dcat } q$	$\sim / q$	distributed concatenation
$\backslash \text{disjoint } S$	$\text{disjoint } S$	disjointness
$S \backslash \text{partition } T$	$S \text{ partition } T$	partition





































Numbers and Finiteness		
L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X input	Output	Meaning
$\backslash \text{nat}$	$\mathbb{N}$	natural numbers
$\backslash \text{num}$	$\mathbb{Z}$	integers
$a + b$	$a + b$	addition
$a - b$	$a - b$	subtraction
$a * b$	$a * b$	multiplication
$a \backslash \text{div } b$	$a \text{ div } b$	division
$a \backslash \text{mod } b$	$a \text{ mod } b$	modulus
$a < b$	$a < b$	less than
$a \backslash \text{leq } b$	$a \leq b$	less than or equal to
$a \backslash \text{geq } b$	$a \geq b$	greater than or equal to
$a > b$	$a > b$	greater than
$\backslash \text{nat}_1$	$\mathbb{N}_1$	positive integers
$\text{succ}^a$	$\text{succ } a$	successor
$a \backslash \text{upto } b$	$a .. b$	number range
$R \backslash \text{sup } k \backslash \text{esup}$	$R^k$	iteration
$\backslash \text{finset}$	$\mathbb{F}$	finite set
$\backslash \text{finset}_1$	$\mathbb{F}_1$	non-empty finite set
$\backslash \# X$	$\# X$	number of members of a finite set
$X \backslash \text{ffun } Y$	$X \twoheadrightarrow Y$	finite partial function
$X \backslash \text{finj } Y$	$X \twoheadrightarrow Y$	finite partial injection
$\text{min}^S$	$\text{min } S$	minimum of a set of numbers
$\text{max}^S$	$\text{max } S$	maximum of a set of numbers

Bags		
L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X input	Output	Meaning
$\backslash \text{bag}$	$\text{bag}$	bags
$\text{count}^B x$	$\text{count } B x$	multiplicity
$B \backslash \text{bcount } x$	$B \uparrow x$	multiplicity
$n \backslash \text{otimes } B$	$n \otimes B$	bag scaling
$x \backslash \text{inbag } B$	$x \text{ in } B$	bag membership
$B \backslash \text{subbageq } C$	$B \sqsubseteq C$	sub-bag relation
$B \backslash \text{uplus } C$	$B \uplus C$	bag union
$B \backslash \text{uminus } C$	$B \ominus C$	bag difference
$\text{items}^s$	$\text{items } s$	bag of sequence elements

Miscellaneous, Spacing		
L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X input	Output	Meaning
$\backslash \text{spot}, \text{\textcircled{}}$	$\bullet$	separator
$\backslash \text{mid},  $	$ $	separator
$p \backslash \text{bind } x$	$p \rightsquigarrow x$	variable binding
$\backslash \backslash$		newline
$\backslash !$	$xx$	negative thin space
$\backslash \cup$ (a space)	$xx$	normal space
$\backslash ,$	$xx$	thin space
$\backslash -$	$xx$	thin space
$\backslash :$	$xx$	medium space
$\backslash ;$	$xx$	thick space
$\backslash \cup$ (a space)	$xx$	interword space
$\backslash \text{tn}$	$x \quad x$	n quad spaces (n a digit)

## ภาคผนวก ง

## ตัวอย่างลายมือเขียนที่ใช้ในงานวิจัยนี้

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	ลายมือเขียน	รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	ลายมือเขียน
0	[		18	$\theta$	
1	]		19	$\langle$	
2	$\cong$		20	$\rangle$	
3	$==$		21	$\llcorner$	
4	$::=$		22	$\lrcorner$	
5			23	$\langle$	
6	$\ll$		24	$\rangle$	
7	$\gg$		25	!	
8	(		26	?	
9	)		27	—	
10	{		28	=	
11	}		29	$\in$	
12	P		30	$\neg$	
13	$\times$		31	$\wedge$	
14	.		32	$\vee$	
15	$\lambda$		33	$\Rightarrow$	
16	$\mu$		34	$\Leftrightarrow$	
17	.		35	$\forall$	

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	ลายมือเขียน
36	≡	
37	≢	
38	Δ	
39	≡	
40	∖	
41	↑	
42	;	
43	»	
44	≠	
45	€	
46	∅	
47	⊂	
48	⊃	
49	ℙ	
50	∪	
51	∩	
52	∩	
53	∪	

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	ลายมือเขียน
54	∩	
55	↔	
56	→	
57	∩	
58	∅	
59	Δ	
60	∇	
61	◁	
62	▷	
63	~	
64	(	
65	)	
66	⊕	
67	+	
68	*	
69	→	
70	→	
71	↔	

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	ลายมือเขียน
72	$\rightrightarrows$	
73	$\rightarrow$	
74	$\rightarrow$	
75	$\rightrightarrows$	
76	$\smile$	
77	1	
78	1.	
79	$\smile$	
80	N	
81	Z	
82	+	
83	-	
84	*	
85	<	
86	$\leq$	
87	$\geq$	

รหัส เอาต์พุต	สัญลักษณ์	ลายมือเขียน
88	>	
89	N	
90	..	
91	F	
92	F <sub>1</sub>	
93	#	
94	$\rightarrow$	
95	$\rightrightarrows$	
96	#	
97	$\otimes$	
98	$\sqsubseteq$	
99	$\supseteq$	
100	$\supseteq$	
101	$\rightsquigarrow$	
102	,	























































ลำดับที่		96	97	98	99	100	101	102	
สัญลักษณ์		#	⊗	⊐	⊑	⊒	↪	'	
รหัสจำนวนสโตรครวม		4	3	3	3	2	2	1	
รหัสจำนวนสโตรคชนิดเส้นตรง		4	2	2	2	1	0	1	
รหัสจำนวนสโตรคชนิดจุด		0	0	0	0	0	0	0	
รหัสวงรอบ		0	12	0	0	0	0	0	
รหัสอัตราส่วน จำนวนจุดใน แต่ละโซน	โซนที่ 1	2	1	1	1	1	2	3	
	โซนที่ 2	0	0	2	1	1	2	0	
	โซนที่ 3	0	1	1	0	0	5	0	
	โซนที่ 4	2	1	0	1	1	0	2	
	โซนที่ 5	1	0	0	1	1	0	0	
	โซนที่ 6	0	0	0	1	0	0	0	
	โซนที่ 7	1	0	1	0	1	0	0	
	โซนที่ 8	2	1	0	0	1	0	3	
	โซนที่ 9	0	0	1	1	0	0	0	
รหัสชนิดของ สโตรคและ เชกเมนต์	สโตรคที่ 1	เชกเมนต์ที่ 1	2	10	1	11	7	2	6
		เชกเมนต์ที่ 2				11	11	11	
		เชกเมนต์ที่ 3				11	3	2	
	สโตรคที่ 2	เชกเมนต์ที่ 1	2	8	7	1	1	1	
		เชกเมนต์ที่ 2			1			7	
		เชกเมนต์ที่ 3							
	สโตรคที่ 3	เชกเมนต์ที่ 1	7	6	1	7			
		เชกเมนต์ที่ 2							
		เชกเมนต์ที่ 3							
	สโตรคที่ 4	เชกเมนต์ที่ 1	7						
		เชกเมนต์ที่ 2							
		เชกเมนต์ที่ 3							
	สโตรคที่ 5	เชกเมนต์ที่ 1							
		เชกเมนต์ที่ 2							
		เชกเมนต์ที่ 3							
	สโตรคที่ 6	เชกเมนต์ที่ 1							
		เชกเมนต์ที่ 2							
		เชกเมนต์ที่ 3							

ลำดับที่		96	97	98	99	100	101	102	
สัญลักษณ์		#	⊗	⊐	⊑	⊒	↪	'	
รหัสจำนวน จุดเด่นของแต่ละ สโตรค	สโตรคที่ 1	2	8	2	5	4	4	2	
	สโตรคที่ 2	2	2	3	2	2	3		
	สโตรคที่ 3	2	2	2	2				
	สโตรคที่ 4	2							
	สโตรคที่ 5								
	สโตรคที่ 6								
รหัสโซนของ จุดเด่น	ในสโตรคที่ 1	จุดเด่นจุดที่ 1	4	8	7	7	7	1	9
		จุดเด่นจุดที่ 2	8	4	9	1	1	1	1
		จุดเด่นจุดที่ 3		2		2	2	3	
		จุดเด่นจุดที่ 4		9		3	8	3	
		จุดเด่นจุดที่ 5		8		9			
	ในสโตรคที่ 2	จุดเด่นจุดที่ 1	1	7	7	4	4	3	
		จุดเด่นจุดที่ 2	5	3	1	6	5	3	
		จุดเด่นจุดที่ 3			3			3	
		จุดเด่นจุดที่ 4							
		จุดเด่นจุดที่ 5							
	ในสโตรคที่ 3	จุดเด่นจุดที่ 1	7	9	1	8			
		จุดเด่นจุดที่ 2	1	1	3	2			
		จุดเด่นจุดที่ 3							
		จุดเด่นจุดที่ 4							
		จุดเด่นจุดที่ 5							
	ในสโตรคที่ 4	จุดเด่นจุดที่ 1	8						
		จุดเด่นจุดที่ 2	2						
		จุดเด่นจุดที่ 3							
		จุดเด่นจุดที่ 4							
		จุดเด่นจุดที่ 5							
	ในสโตรคที่ 5	จุดเด่นจุดที่ 1							
		จุดเด่นจุดที่ 2							
		จุดเด่นจุดที่ 3							
		จุดเด่นจุดที่ 4							
		จุดเด่นจุดที่ 5							
ในสโตรคที่ 6	จุดเด่นจุดที่ 1								
	จุดเด่นจุดที่ 2								
	จุดเด่นจุดที่ 3								
	จุดเด่นจุดที่ 4								
	จุดเด่นจุดที่ 5								



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนำชัย ยี่งนวลจันทร์ เกิดเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2509 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปีการศึกษา 2532 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต (บธ.ม.) สาขาบริหารธุรกิจ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(วท.ม.) ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย