การรู้จำอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างและเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

PRINTED THAI CHARACTERS RECOGNITION USING THE STRUCTURAL AND NEURAL NETWORK TECHNIQUES

พงษ์เทพ รักผกาวงศ์
PHONGTHEP RUXPAKAWONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545
ISBN 974-648-590-3

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การรู้จำอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างและเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

PRINTED THAI CHARACTERS RECOGNITION USING THE STRUCTURAL AND NEURAL NETWORK TECHNIQUES

พงษ์เทพ รักผกาวงศ์
PHONGTHEP RUXPAKAWONG

เลขหมู่..........
เลขทะเบียน 42565
วัน, เดือน, ปี 3 1 พ.ค. 2545

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2545

ISBN 974-648-590-3

PRINTED THAI CHARACTERS RECOGNITION USING THE STRUCTURAL AND NEURAL NETWORK TECHNIQUES

PHONGTHEP RUXPAKAWONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2002

ISBN 974-648-590-3

COPYRIGHT 2002
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การรู้จำอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างและเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

นักศึกษา นายพงษ์เทพ รักผกาวงศ์

รหัสประจำตัว 42067004

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

พ.ศ. 2545

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อาริต ธรรมโน

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับการรู้จำอักษรภาษาไทยจำนวนมาก มีการนำเสนอหลายวิธี เช่น การเปรียบเทียบหาหัวอักษร ใช้โครงข่ายประสาทเทียม หรือตรรกศาสตร์คลุมเครือ แต่อย่างไรก็ตามการรู้จำอักษรภาษาไทยยังมีความถูกต้องไม่สูงเท่าการรู้จำอักษรภาษาอังกฤษ เพราะตัวอักษรภาษาไทยมีความซับซ้อนมาก ลักษณะตัวอักษรมีเส้นโค้ง และมีวงกลมมาก และอักษรบางตัวมีลักษณะคล้ายกับอักษรตัวอื่นๆ งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีใหม่ที่เหมาะกับคุณลักษณะของอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทย โดยการพิจารณาโครงอักษร โครงอักษรมีลักษณะเป็นด้านทั้ง 4 ของตัวอักษร (ด้านบน, ด้านซ้าย, ด้านขวา และ ด้านล่างของตัวอักษร) ด้านทั้ง 4 จะถูกพิจารณาว่ามีลักษณะโค้งเข้าไปภายในบริเวณส่วนกลางของอักษรหรือไม่ ทำให้สามารถแบ่งอักษรออกเป็นกลุ่มๆ ซึ่งจะทำให้พิจารณาคุณลักษณะอักษรเฉพาะกลุ่มได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยในแต่ละกลุ่มจะใช้โครงข่ายประสาทเทียม หรือวิธีอื่นๆ ต่างกันตามความเหมาะสม ด้วยวิธีการนี้สามารถรู้จำอักษรได้หลายแบบ หลายลักษณะได้อย่างถูกต้อง

Thesis Title	Printed Thai Characters Recognition Using the Structural and Neural Network Techniques
Student	Mr.Phongthep Ruxpakawong
Student ID.	42067004
Degree	Master of Science
Programme	Information Science
Year	2002
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Arit Thammano

ABSTRACT

Currently, several techniques on Thai character recognition such as comparing the heading of character, Neural Network and Fuzzy Logic have been proposed. However, the accuracy of Thai character recognition is currently not as high as that of English since Thai characters are obviously more complicated by many curves and circles in each character, including the similarity of some different characters. This research proposes a new technique appropriated for recognition of printed-Thai characters by discriminating the contour of character in order to classify character into different groups and then to further classify within each small group. Contour of each character is divided into 4 segments, characterized as the top, the left, the right and the bottom segment. Each character has been classified into group by determining the characteristic of getting near to the center of curve on the edge of all 4 segments and then discriminated each character within each group, thus increasing the accuracy of Thai character recognition. Neural network technique and any reasonable method have been utilized in this research. This research accurately recognizes many different fonts and styles of Thai character.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาเกี่ยวกับระบบรู้จำอักษรภาษาไทย และเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมจาก ผศ.ดร.อาริต ธรรมโน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์คณะเทคโนโลยีสารสนเทศทุกท่าน และอาจารย์จากคณะอื่นๆ ที่รับเชิญมาประสิทธิประสาทวิชาความรู้ พร้อมทั้งคำแนะนำต่างๆ ซึ่งสามารถนำความรู้ที่ได้รับมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้ได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะเทคโนโลยีสารสนเทศทุกท่านที่อำนวยความสะดวกด้านเอกสารและติดต่อประสานงานต่างๆ ซึ่งทำให้การทำงานวิจัยดำเนินไปโดยสะดวก และสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ พร้อมทั้งช่วยวิเคราะห์แก้ไขทฤษฎีต่างๆ และเป็นกำลังใจให้งานวิจัยสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบิดา มารดาผู้ให้กำเนิดที่สนับสนุนให้ศึกษาหาวิชาความรู้ และเป็นกำลังใจให้สามารถทำงานวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จ

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และสถาบันราชภัฏพิบูลสงครามที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พงษ์เทพ รักผกาวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VIII

สารบัญรูป X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 2

1.4 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย 2

1.5 ขั้นตอนการศึกษา 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 Neural Network 5

2.1.1 Input Layer 6

2.1.2 Hidden Layer 7

2.1.3 Output Layer 8

2.1.4 Backpropagation Algorithm 8

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.2.1 การจดจำรูปแบบตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย 10

2.2.2 การจดจำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยในระบบออนไลน์ 11

2.2.3 การรู้จำอักษรคัดลายมือภาษาไทยของคอมพิวเตอร์โดยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างแบบทันทีทันใด 11

2.2.4 การจดจำรูปแบบตัวอักษรคัดลายมือภาษาไทยโดยวิธีแยกลักษณะเด่น 11

2.2.5 การจดจำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยโดยการพิจารณาหัวตัวอักษร 12

2.2.6 การรู้จำอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีการค้นหาลักษณะโครงสร้างของลายเส้น 13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.7 การรู้จำอักษรไทยโดยใช้ลักษณะเด่นของตัวอักษร.............13

2.2.8 Distinctive Feature Analysis for Thai Handwritten Character Recognition Based on Modified Stroke Changing Sequence.............14

2.2.9 Thai Printed Character Recognition by Combining Inductive Logic Programming with Backpropagation Neural Network.............14

บทที่ 3 แนวทางที่ใช้ในการวิจัย.............15

3.1 แผนภาพระบบ (System Diagram).............15

3.2 คัดแยกอักษรและกำหนดคุณลักษณะอักษร.............16

3.2.1 การกำหนดขอบเขตอักษร (Character Block).............16

3.2.2 การเตรียมการก่อนกำหนดคุณลักษณะ (Prepare Feature).............16

3.2.3 คุณลักษณะหลักของอักษร (Global Feature).............23

3.2.4 กระบวนการขจัดสัญญาณรบกวน (Noise Cleaning Process).............24

3.2.5 คุณลักษณะเฉพาะกลุ่มอักษร (Local Feature).............26

3.3 การรู้จำอักษรภาษาไทย (Thai Character Recognition).............32

3.3.1 วิธีพิจารณาโครงสร้างอักษร (Structural Method).............33

3.3.2 ใช้โครงข่ายประสาทเทียม.............33

3.4 สรุป.............35

บทที่ 4 กรรมวิธีการกำหนดคุณลักษณะอักษร.............36

4.1 คุณลักษณะหลักของอักษร (Global Feature).............36

4.1.1 คุณลักษณะสำคัญๆ ในการพิจารณาคุณลักษณะหลัก.............36

4.1.2 สัญลักษณ์แผนภาพ.............37

4.1.3 ด้านซ้ายของอักษร (E1).............37

4.1.4 ด้านบนของอักษร (E2).............38

4.1.5 ด้านขวาของอักษร (E3).............39

4.1.6 ด้านล่างของอักษร (E4).............40

4.2 การขจัดสัญญาณรบกวน (Noise Cleaning Process).............40

4.2.1 กำหนดแผนภาพพื้นผิวปิด และตำแหน่งพื้นผิวปิด.............41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 ตารางในการปรับคุณลักษณะหลัก....41

4.3 คุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม (Local Feature) 42

4.4 สรุป....44

บทที่ 5 ผลการทดลอง 46

5.1 การทดลองกับตัวอักษรภาษาไทยทุกตัว....46

5.2 การทดลองกับภาพเอกสารทั่วๆ ไป....48

บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ....49

6.1 สรุปผลงานวิจัย 49

6.1.1 ขอบอักษร 49

6.1.2 พื้นผิวปิด 49

6.2 ปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้ 50

6.2.1 ตัวอักษรมีสัญญาณรบกวน บริเวณที่สำคัญ....50

6.2.2 กำหนดคุณลักษณะเฉพาะผิดในอักษรตัวเอียง 50

6.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต 50

6.3.1 ปรับปรุงปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้....50

6.3.2 เพิ่มเติมจากงานวิจัยนี้ 51

หนังสืออ้างอิง....52

ภาคผนวก ก. อัลกอริทึ่ม....54

ก.1 Peak & Bottom Algorithm....54

ก.2 Close Area Map Algorithm....56

ก.3 Shape Algorithm 57

ภาคผนวก ข. แผนภาพการพิจารณาคุณลักษณะอักษร 61

ข.1 คุณลักษณะหัวอักษร 61

ข.1.1 หัวอักษรแบบเขียนลง (q, p)....62

ข.1.2 หัวอักษรแบบเขียนขึ้น (d, b) 64

ข.1.3 หัวอักษรหัวแตก-หลังแตก 67

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ข.2 คุณลักษณะหางอักษร 68

ข.2.1 หางอักษรแบบธรรมดา (ช, ซ, ศ, ส, ฮ)..68

ข.2.2 หางอักษรแบบม้วนหาง (ฬ)..70

ข.3 คุณลักษณะอื่นๆ 71

ข.3.1 คุณลักษณะวงบริเวณมุมบนขวา (ห)..71

ข.3.2 คุณลักษณะวงภายในอักษร (ษ) 72

ภาคผนวก ค. ตารางการขจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้แผนภาพพื้นผิวปิด 74

ค.1 คุณลักษณะหลัก '0111'...74

ค.2 คุณลักษณะหลัก '1110'...75

ค.3 คุณลักษณะหลัก '1101'...77

ค.4 คุณลักษณะหลัก '1011'...77

ค.5 คุณลักษณะหลัก '1111'...78

ค.6 อักษรระดับบน และระดับเหนือบน..80

ภาคผนวก ง. การรู้จำอักษรภาษาไทยโดยใช้วิธีพิจารณาโครงสร้างอักษร 81

ง.1 ระบบรู้จำอักษรภาษาไทยโดยใช้วิธีพิจารณาโครงสร้างอักษร (Structural Method) 81

ง.1.1 การเชื่อมโยงจุดแบบทั่วไป..82

ง.1.2 การเชื่อมโยงจุดแบบพิเศษ 82

ง.2 การรู้จำพยัญชนะภาษาไทย 82

ง.2.1 การรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '0101' หรือ '1101' 82

ง.2.2 การรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '0110' 83

ง.2.3 การรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '0111' 83

ง.2.4 การรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '1010' 84

ง.2.5 การรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '1011' 84

ง.2.6 การรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '1110' 85

ง.3 การรู้จำอักษรระดับกลาง นอกเหนือจากพยัญชนะ..................................86

ง.4 การรู้จำอักษรระดับล่าง..88

ประวัติผู้เขียน...89

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แบบอักษรและตัวอย่างอักษรที่ใช้ในการวิจัย 2
3.1 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม 34
3.2 ข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม 35
4.1 สมาชิกอักษรที่พิจารณาขอบอักษรด้านซ้าย (E1) 37
4.2 สมาชิกอักษรที่พิจารณาขอบอักษรด้านบน (E2) 38
4.3 สมาชิกอักษรที่พิจารณาขอบอักษรด้านขวา (E3) 39
4.4 สมาชิกอักษรที่พิจารณาขอบอักษรด้านขวา (E4) 40
4.5 ตัวอย่างตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1011' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5 41
5.1 ผลการทดลองกับอักษรภาษาไทยทุกตัวทั้ง 15 แบบ แบ่งตามขนาดและความละเอียด เปรียบเทียบกับโปรแกรม ArnThai 47
5.2 ผลการทดลองกับอักษรภาษาไทยครบทุกตัวอักษร แยกตามแบบอักษร ขนาดและความละเอียด 47
5.3 ผลการทดลองกับเอกสารทั่วไป 48
ข.1 คำอธิบายแผนภาพ 61
ค.1 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '0111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 2 74
ค.2 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '0111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 3 75
ค.3 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '0111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5 75
ค.4 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '0111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 6 75
ค.5 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '0111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 8 75
ค.6 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '0111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 9 75
ค.7 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1110' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 1 75
ค.8 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1110' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 2 76
ค.9 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1110' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 4 76
ค.10 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1110' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5 76
ค.11 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1110' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 6 76
ค.12 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1101' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5 77
ค.13 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1011' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 1 77
ค.14 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1011' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 2 77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค.15 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1011' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 4....77
ค.16 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1011' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5....78
ค.17 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 1....78
ค.18 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 2....78
ค.19 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 3....78
ค.20 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5....79
ค.21 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 6....79
ค.22 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 8....80
ค.23 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 9....80
ค.24 ตารางปรับคุณลักษณะหลักของอักษรระดับบน และระดับเหนือบน ในตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 4....80
ค.25 ตารางปรับคุณลักษณะหลักของอักษรระดับบน และระดับเหนือบน ในตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5....80

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์ประสาทโดยทั่วไป....6

2.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม....6

2.3 กราฟฟังก์ชั่นกระตุ้น....7

3.1 System Block Diagram of Character Recognition System. 15

3.2 Character Block. 17

3.3 ความเป็นสมาชิกของ Link AB เมื่อเทียบกับด้านบนของกล่องอักษร....19

3.4 ความเป็นสมาชิกของ Link AB เมื่อเทียบกับด้านล่างของกล่องอักษร....19

3.5 ความเป็นสมาชิกของ Link AB เมื่อเทียบกับด้านซ้ายของกล่องอักษร 20

3.6 ความเป็นสมาชิกของ Link AB เมื่อเทียบกับด้านขวาของกล่องอักษร....20

3.7 ความเป็นสมาชิกของ Link BD เมื่อเทียบกับด้านบนของกล่องอักษร....20

3.8 ความเป็นสมาชิกของ Link BD เมื่อเทียบกับด้านล่างของกล่องอักษร....20

3.9 ความเป็นสมาชิกของ Link BD เมื่อเทียบกับด้านซ้ายของกล่องอักษร 20

3.10 ความเป็นสมาชิกของ Link BD เมื่อเทียบกับด้านขวาของกล่องอักษร....21

3.11 ความเป็นสมาชิกของ Link CD เมื่อเทียบกับด้านบนของกล่องอักษร 21

3.12 ความเป็นสมาชิกของ Link CD เมื่อเทียบกับด้านล่างของกล่องอักษร 21

3.13 ความเป็นสมาชิกของ Link CD เมื่อเทียบกับด้านซ้ายของกล่องอักษร 21

3.14 ความเป็นสมาชิกของ Link CD เมื่อเทียบกับด้านขวาของกล่องอักษร 21

3.15 ความเป็นสมาชิกของ Link AC เมื่อเทียบกับด้านบนของกล่องอักษร....22

3.16 ความเป็นสมาชิกของ Link AC เมื่อเทียบกับด้านล่างของกล่องอักษร....22

3.17 ความเป็นสมาชิกของ Link AC เมื่อเทียบกับด้านซ้ายของกล่องอักษร 22

3.18 ความเป็นสมาชิกของ Link AC เมื่อเทียบกับด้านขวาของกล่องอักษร....22

3.19 Character Group 24

3.20 ตัวอย่างอักษรที่มีสัญญาณรบกวน 24

3.21 ตัวอย่างภาพอักษร จ....26

3.22 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link AC เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร จ 26

3.23 ตัวอย่างภาพอักษร พ 27

3.24 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link AB เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร พ 27

3.25 ตัวอย่างภาพอักษร น 27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.26 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link AB เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร น 27
3.27 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link CD เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร น 28
3.28 ตัวอย่างภาพอักษร บ 28
3.29 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link CD เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร บ 28
3.30 ตัวอย่างภาพอักษร ฑ 29
3.31 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link AB เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร ฑ 29
3.32 ตัวอย่างภาพอักษร ต 29
3.33 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link AB เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร ต 30
4.1 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหลัก ด้านซ้าย (E1) 38
4.2 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหลัก ด้านบน (E2) 39
4.3 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหลัก ด้านขวา (E3) 39
4.4 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหลัก ด้านล่าง (E4) 40
4. 5 ตัวอย่างภาพการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม (Local Feature) 42
4.6 กราฟความเป็นสมาชิกจากจุด S1 ถึง S2 เมื่อเทียบกับด้านขวาของกล่องอักษร 43
4.7 กราฟความเป็นสมาชิกจากจุด S1 ถึง S2 เมื่อเทียบกับด้านล่างของกล่องอักษร 43
4.8 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ q, p บริเวณส่วนซ้ายของอักษร............... 44
5.1 ตัวอย่างภาพเอกสารก่อนการรู้จำอักษร............... 46
5.2 ตัวอย่างภาพเอกสารหลังการรู้จำอักษร 46
ก.1 Peak&Bottom Algorithm 55
ก.2 ตัวอย่างภาพอักษร ‘ฌ’............... 56
ก.3 แผนภาพตาราง 9 ช่อง 56
ก.4 ตัวอย่างภาพการใช้ Shape Algorithm 58
ก.5 กราฟความเป็นสมาชิกจากจุด S1 ถึง S2 เมื่อเทียบกับด้านขวาของกล่องอักษร............... 59
ก.6 กราฟความเป็นสมาชิกจากจุด S1 ถึง S2 เมื่อเทียบกับด้านซ้ายของกล่องอักษร 59
ก.7 กราฟความเป็นสมาชิกจากจุด S1 ถึง S2 เมื่อเทียบกับด้านล่างของกล่องอักษร............... 59
ก.8 กราฟความเป็นสมาชิกจากจุด S1 ถึง S2 เมื่อเทียบกับด้านบนของกล่องอักษร............... 59
ก.9 ลักษณะภาพหลังจากผ่าน Shape Algorithm 60
ข.1 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ q, p บริเวณส่วนซ้ายของอักษร 62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ข.2 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ q, p บริเวณส่วนซ้ายของอักษร 62

ข.3 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ q, p บริเวณกลางของอักษร 62

ข.4 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ q, p บริเวณกลางของอักษร 63

ข.5 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ q, p บริเวณกลาง ด้านซ้ายของอักษร 63

ข.6 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ q, p บริเวณกลาง ด้านซ้ายของอักษร 63

ข.7 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ d, b บริเวณส่วนซ้ายของอักษร 64

ข.8 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ d, b บริเวณส่วนซ้ายของอักษร 64

ข.9 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ d, b บริเวณตอนล่างของอักษร (ร) 64

ข.10 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ d, b บริเวณตอนล่างของอักษร (ร)............... 65

ข.11 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ d, b บริเวณตอนล่างของอักษร (ว) 65

ข.12 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ d, b บริเวณตอนล่างของอักษร (ว) 66

ข.13 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ d, b บริเวณตอนล่างของอักษร (เ).............. 66

ข.14 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ d, b บริเวณตอนล่างของอักษร (เ) 67

ข.15 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรหัวแตก-หลังแตก 67

ข.16 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษรหัวแตก-หลังแตก 68

ข.17 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหางอักษรแบบธรรมดา (ช, ซ) 68

ข.18 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหางอักษร แบบธรรมดา (ช, ซ) 69

ข.19 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหางอักษร แบบธรรมดา (ศ, ส, ฮ)...................................... 69

ข.20 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหางอักษร แบบธรรมดา (ศ, ส, ฮ)....................................... 70

ข.21 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหางอักษร แบบม้วนหาง (ฬ)... 70

ข.22 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหางอักษร แบบม้วนหาง (ฬ) 71

ข.23 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะวงบริเวณมุมบนขวา (ห).. 71

ข.24 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะวงบริเวณมุมบนขวา (ห).. 72

ข.25 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะวงภายในอักษร (ษ) 72

ข.26 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะวงภายในอักษร (ษ) 73

ง.1 แผนภาพระบบรู้จำอักษรภาษาไทยโดยใช้วิธีพิจารณาโครงสร้างอักษร (Structural Method)81

ง.2 แผนภาพระบบการรู้จำพยัญชนะภาษาไทย 82

ง.3 แผนภาพการรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '0101' หรือ '1101'... 83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ง.4 แผนภาพการรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '0110' 83

ง.5 แผนภาพการรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '0111' 83

ง.6 แผนภาพการรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '1010' 84

ง.7 แผนภาพการรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '1011' 85

ง.8 แผนภาพการรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '1110' 86

ง.9 แผนภาพระบบการรู้จำอักษรระดับกลาง นอกเหนือจากพยัญชนะ 86

ง.10 แผนภาพการรู้จำอักษรระดับกลาง นอกเหนือจากพยัญชนะ ที่มีคุณลักษณะหลัก '1111' .. 87

ง.11 แผนภาพการรู้จำอักษรระดับกลาง เลข 3, 9........ 87

ง.12 แผนภาพการรู้จำอักษรระดับกลาง เลข 2........ 87

ง.13 แผนภาพการรู้จำอักษรระดับล่าง 88

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการนำคอมพิวเตอร์ไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งงานส่วนหนึ่งที่สำคัญไม่ว่าจะนำไปใช้ในงานสาขาใดๆ ก็ตามจำเป็นต้องมี คือการป้อน และจัดเก็บข้อมูล ซึ่งข้อมูลต่างๆ เหล่านี้มักมีเป็นจำนวนมหาศาล แม้ว่า ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องป้อนข้อมูลแบบใหม่ๆ เช่น เครื่องป้อนข้อมูลเข้าจานแม่เหล็ก เครื่องป้อนข้อมูลเข้าเทปแม่เหล็ก เป็นต้น แต่เครื่องป้อนข้อมูลเหล่านี้ก็ต้องป้อนผ่านทางคีย์บอร์ด จึงทำให้ต้องใช้ทรัพยากรบุคคลจำนวนมากที่จะคีย์ข้อมูลผ่านแป้นพิมพ์ให้เครื่องคอมพิวเตอร์ จะเห็นว่าต้องสูญเสียทั้งเวลาและงบประมาณจำนวนมาก

เนื่องจากเทคโนโลยีได้ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว จึงทำให้มีการพัฒนาเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพและการทำงานที่สูงขึ้น และมีอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานอื่นๆ มากมาย อุปกรณ์ชนิดหนึ่งก็คือ เครื่องอ่านตัวอักษรด้วยแสง (Optical Character Reader) หลักการทำงานของเครื่องจะฉายแสงลงบนแผ่นกระดาษแล้วนำปริมาณแสงที่สะท้อนกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า และสัญญาณไฟฟ้าจะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นรหัสข้อมูลทางดิจิตอลแล้วนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อส่งต่อให้คอมพิวเตอร์ทำการวิเคราะห์ต่อไปว่าเป็นตัวอักษรอะไรต่อไป การใช้เครื่องอ่านตัวอักษร (OCR) ดังกล่าวสามารถทดแทนการใช้แป้นพิมพ์ดีดได้เป็นอย่างดี เพราะช่วยประหยัดทั้งเวลาในการป้อนข้อมูล และต้นทุนในการจัดเก็บเอกสารได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นอย่างมาก

ในต่างประเทศมีการวิจัยระบบรู้จำตัวอักษรภาษาต่างๆ มากมาย แต่วิธีต่างๆ ที่มีการประยุกต์ใช้ในภาษาต่างประเทศก็จะเหมาะสมกับคุณลักษณะของภาษานั้นๆ โดยเฉพาะ ยังไม่สามารถนำวิธีการเดียวกันนั้นมาใช้ในการจดจำอักษรภาษาไทยได้โดยตรงทันที จึงมีการศึกษาวิจัยให้คอมพิวเตอร์สามารถที่จะรับรู้ และเข้าใจตัวอักษรภาษาไทยกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งแต่ละวิธีในงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมาให้ผลลัพธ์และประสิทธิภาพในการทำงานแตกต่างกัน ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ล้วนเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบให้ดียิ่งขึ้นไปในอนาคต

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการรู้จำตัวอักษร วิธีต่างๆ เพื่อทราบถึงข้อดี ข้อเสียของวิธีการเหล่านั้น

1.2.2 เพื่อศึกษาและเสนอวิธีการที่เหมาะสมในการรู้จำกับลักษณะตัวอักษรภาษาไทย

1.2.3 เพื่อศึกษาและเสนอการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ backpropagation และนำมาประยุกต์ใช้ในการรู้จำอักษรภาษาไทย

1.2.4 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบรู้จำอักษรภาษาไทย (Thai OCR) ต่อไปในอนาคต

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ภาพเอกสารที่ใช้ในการศึกษา เป็นภาพเอกสารที่มีบรรทัดอักษรตรง ไม่เอียง

1.3.2 ตัวอักษรที่ใช้ในการรู้จำไม่ติดกัน

1.3.3 ภาพเอกสารมีตัวอักษรภาษาไทย เลขอารบิค ไม่รวมรูปภาพ เส้น หรือสัญลักษณ์อื่นๆ

1.4 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ภายในบรรทัดเดียวกัน ตัวอักษรต้องมีขนาดเท่ากัน หรือมีขนาดต่างกันไม่มากนัก และเป็นอักษรต่างแบบกันได้ รวมทั้งอักษรตัวหนา ตัวเอียง และตัวหนาเอียงได้

1.4.2 งานวิจัยนี้ครอบคลุมเฉพาะอักษร สระ วรรณยุกต์ภาษาไทย และเลขอารบิค

ตารางที่ 1.1 แบบอักษรและตัวอย่างอักษรที่ใช้ในการวิจัย

ชื่อแบบอักษร	ตัวอย่างอักษร
1.AngsanaUPC	กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ
2.BrowalliaUPC	กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ
3.CordiaUPC	กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ
4.DillenialUPC	กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ
5.EucrosiaUPC	กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ
6.FreesiaUPC	กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ
7.IrisUPC	กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ
8.AngsanaUPC Bold	**กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ**
9.AngsanaUPC Italic	*กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ*
10.AngsanaUPC Bold Italic	***กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ***
11. BrowalliaUPC Bold	**กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ**
12. BrowalliaUPC Italic	*กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ*
13. BrowalliaUPC Bold Italic	***กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ***
14. CordiaUPC Bold	**กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ**
15. CordiaUPC Bold Italic	***กขคฆงจฉชซฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบปผฝพฟภมยรฤลฦวศษสหฬอฮ***

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 รวบรวมอักษรตัวอย่างจากการจับภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ เก็บเป็นอักษรต้นแบบ โดยแบบอักษรที่ใช้ มี 15 แบบ ดังตารางที่ 1.1

1.5.2 พัฒนาโปรแกรมโดยเขียนด้วยภาษา Delphi V5.0 บนระบบปฏิบัติการ windows 98 ทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์ CPU AMD THUNDERBIRD RAM 128MB เพื่อใช้ในการรู้จำตัวอักษรแบบต่างๆ ทั้ง 15 แบบ

1.5.3 นำโปรแกรมที่ได้ไปทดสอบกับภาพอักษรที่มีอักษรภาษาไทยครบทุกตัวอักษร ที่ได้จากการจับภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ทั้ง 15 แบบ โดยใช้ขนาดอักษร 14 pt และ 16 pt

1.5.4 นำโปรแกรมที่ได้ไปทดสอบกับภาพเอกสารที่มีอักษรภาษาไทยครบทุกตัวอักษร โดยมีแบบอักษรครบทุก 15 แบบ โดยใช้ขนาดอักษร 14 pt และ 16 pt ความละเอียดในการสแกน 300dpi และ 600dpi ที่สแกนมาจากการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Laser

1.5.5 นำโปรแกรมที่ได้ไปทดสอบกับภาพเอกสารที่สแกนมาจากเอกสารต่างๆ กัน เช่น หนังสือพิมพ์ วารสาร เอกสารที่พิมพ์จากเครื่อง Laser และ dot matrix เป็นต้น

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1. เพื่อพัฒนาความสามารถรู้จำอักษรภาษาไทยหลายๆ แบบได้ รวมทั้งแบบตัวหนา ตัวเอียง และตัวหนาเอียงได้ โดยใช้อัลกอริทึ่มเดียวกัน

1.6.2. เป็นพื้นฐานเพื่อการพัฒนาในการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยที่สมบูรณ์แบบ โดยสามารถรู้จำอักษรภาษาไทยได้ทุกตัวรวมทั้งสระ วรรณยุกต์ และตัวเลขภาษาไทย ต่อไป

1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

เพื่อความสะดวกในการศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงแบ่งเป็นส่วนที่สำคัญดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ขั้นตอนการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในงานวิจัยนี้ได้นำ ทฤษฎีของโครงข่ายประสาทเทียม แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Backpropagation) จึงได้สรุปใจความสำคัญเบื้องต้นไว้ในบทนี้ และกล่าวถึงงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการรู้จำอักษรภาษาไทย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต่อไป

บทที่ 3 แนวทางที่ใช้ในการวิจัย กล่าวถึงแนวความคิด ทฤษฎี วิธีการรู้จำอักษรภาษาไทยของงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งจะกล่าวถึงภาพรวมของการรู้จำอักษรภาษาไทย ตั้งแต่การคัดแยกอักษรแต่ละตัวออกจากภาพเอกสาร ผ่านกรรมวิธีการเตรียมคุณลักษณะอักษร (Prepare Feature) การแบ่งคุณลักษณะอักษรออกเป็นกลุ่ม (Global Feature) การลดสัญญาณรบกวนของคุณลักษณะอักษร (Noise Cleaning Process-NCP) เพื่อทำให้ช่วงขั้นตอนการรู้จำ ทำได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น หลังจากแบ่งกลุ่มอักษรเป็นกลุ่มๆ ได้แล้ว จึงทำการหาคุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม (Local Feature) เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการรู้จำต่อไป ถ้าอักษรใดไม่สามารถรู้จำได้ จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Backpropagation Neural Network) ทำการรู้จำต่อไป

บทที่ 4 กรรมวิธีการกำหนดคุณลักษณะอักษร จะเป็นการขยายความกรรมวิธีการรู้จำอักษรภาษาไทยในขั้นตอนต่างๆ โดยละเอียด กล่าวคือ

- ขั้นตอนการแบ่งคุณลักษณะอักษรออกเป็นกลุ่ม (Global Feature)
- ขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวนของคุณลักษณะอักษร (Noise Cleaning Process)
- ขั้นตอนการหาคุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม (Local Feature)

บทที่ 5 ผลการทดลอง

บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 Neural Network

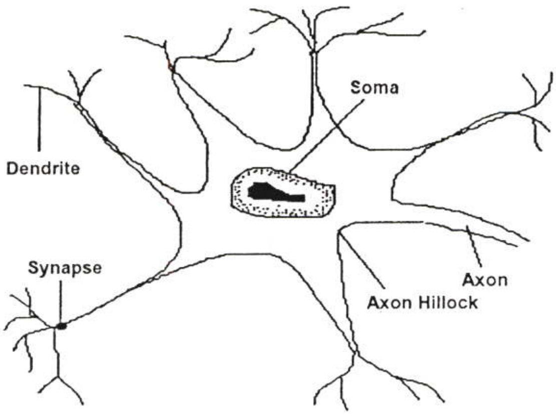
ในธรรมชาติเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิตมีหลายประเภท แล้วแต่หน้าที่ของเซลล์ประสาทชนิดนั้นๆ เซลล์ประสาทในตัวของคนเราก็เช่นกัน มีอยู่หลายประเภท เช่น เซลล์ประสาทของกล้ามเนื้อ เซลล์ประสาทในสมอง เซลล์ประสาทที่ลิ้น เป็นต้น โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์ประสาทโดยทั่วๆ ไป แสดงได้ดังรูปที่ 2.1

เซลล์ประสาทประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 4 ส่วนคือ ตัวเซลล์ประสาท หรือ Neural ซึ่งมีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง รอบๆ ตัวเซลล์ประสาทมีสิ่งที่ยื่นออกไปเพื่อรับและส่งสัญญาณจากเซลล์ประสาทอื่นๆ สิ่งดังกล่าวเรียกว่า Axon ที่ปลายกิ่งจะแตกออกเป็นก้านย่อยๆ เรียกว่า Dendrite รอยต่อระหว่างก้านของเซลล์ประสาทที่ต่างกัน เรียกว่า Synapse ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ตามสัญญาณที่ส่งระหว่างกันของเซลล์ประสาท การส่งสัญญาณระหว่างเซลล์ประสาททำได้โดยการถ่ายเทสารประกอบโซเดียม และโพแทสเซียม

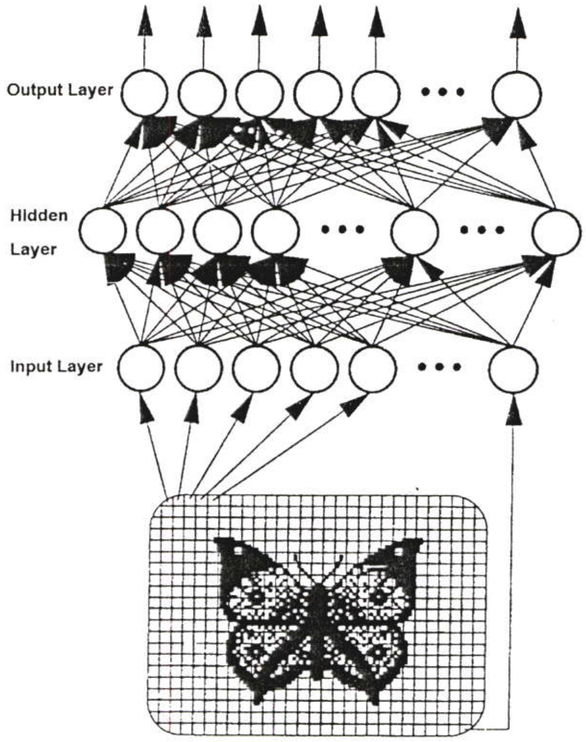
โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับสมองและระบบประสาท ซึ่งประกอบด้วยส่วนของการประมวลผลต่างๆ ที่เรียกว่า Neural ทุกๆ Neural สามารถมี input ได้หลาย input แต่มี output เพียง output เดียว และทุกๆ output จะแยกไปยัง input ของ Neural อื่นๆ ภายในโครงข่าย การติดต่อกันภายในระหว่าง Neural ไม่ใช่ลักษณะของการต่อแบบธรรมดา โดยทุกๆ input จะมีน้ำหนักเป็นตัวกำหนดกำลังของการติดต่อภายใน และช่วยในการตัดสินใจการทำงานของ neural ในบางโครงข่ายจะถูกกำหนดไว้ตายตัว แต่บางโครงข่ายสามารถจะปรับแต่งได้ ซึ่งอาจจะเป็นการปรับแต่งจากภายนอกโครงข่าย หรือตัว neural สามารถปรับแต่งได้ด้วยตัวของมันเอง ซึ่งในจุดนี้เองที่แสดงถึงความสามารถในการเรียนรู้ และการจดจำของโครงข่ายประสาทเทียม

สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม

จากรูปที่ 2.2 เป็นการจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการรู้จำรูปผีเสื้อ ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมมีส่วนที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ 1. Input Layer 2. Hidden Layer 3. Output Layer และ Backpropagation Algorithm ซึ่งเป็นส่วนในการปรับ weight เพื่อการรู้จำ



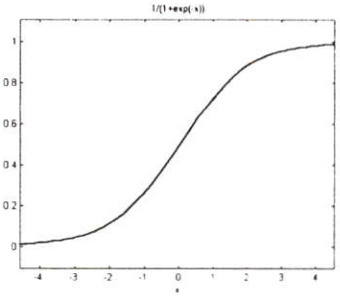
รูปที่ 2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์ประสาทโดยทั่วไป



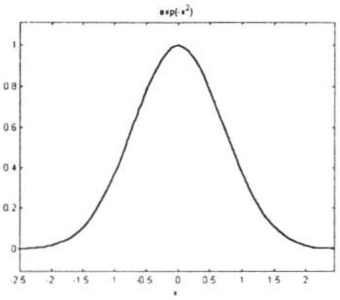
รูปที่ 2.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม

2.1.1 Input Layer

ใน Input Layer จะมี node ที่คอยรับค่า input เข้ามา โดยแต่ละค่า จะมีค่าระหว่าง 0-1 และมีจำนวน node เท่าไร ขึ้นอยู่กับจำนวน input ที่ป้อนให้กับ neural เช่นต้องการรู้จำภาพขนาด



(a) กราฟฟังก์ชั่น $1/(1+e^{-net})$



(b) กราฟฟังก์ชั่น $e^{-(net)^2}$

รูปที่ 2.3 กราฟฟังก์ชั่นกระตุ้น

50x50 pixels โดยให้แต่ละ pixel เป็น input ที่ป้อนให้กับ neural โดย pixel ที่มีสีดำให้มีค่าเป็น 1 และ pixel ที่มีสีขาวให้มีค่าเป็น 0 ดังนั้น neural ตัวนี้จะมี input 250 node (50x50) มีค่าเป็น 1 เมื่อ pixel ที่รับมามีสีดำ และมีค่าเป็น 0 เมื่อ pixel ที่รับมามีสีขาว เป็นต้น

2.1.2 Hidden Layer

จำนวน node ที่อยู่ใน Hidden Layer นี้ จะมีกี่ node ขึ้นอยู่กับความต้องการ ไม่มีสูตรใดเฉพาะที่จะบอกว่าจะต้องมีกี่ node แต่จำนวน node ก็มีส่วนในการรู้จำของ neural ดังนั้นอาจจะกำหนดให้มีจำนวน node มากๆ ก่อน แล้วจึงค่อยๆ ลดจำนวน node ลง แต่ยังคงประสิทธิภาพการรู้จำเท่าเดิม

ในแต่ละ node ใน Hidden Layer นี้ จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากทุกๆ Input node มาคูณกับค่า weight ประจำ node นั้นๆ แสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$net_i(t) = \sum_{j=1}^{n} w_{ij}(t)o_j(t) \qquad (2.1)$$

net_i คือ node ที่ i โดย i คือแต่ละ node ใน layer นี้ ซึ่งก็คือแต่ละ node ใน Hidden Layer

$o_j(t)$ คือ output จาก layer ก่อนหน้านี้ ในที่นี้คือ output จาก node ที่ j ของ input layer ณ เวลา t

w_{ij} คือ weight ประจำ node i ซึ่งเชื่อมต่อมาจาก node j ของ layer ก่อนหน้านี้

จากสมการที่ 2.1 จะนำ $net_i(t)$ ผ่าน function กระตุ้น ในที่นี้ใช้ sigmoidal function ดังสมการที่ 2.2

$$f(net_k) = \frac{1}{1+e^{-net_k}} \qquad (2.2)$$

จากสมการ 2.2 แสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 2.3(a)

ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากสมการที่ 2.2 เป็น output ของ $node_j$ ซึ่งจะเป็น $input_i$ ให้กับ Layer ถัดไป ในที่นี้คือ Output Layer ต่อไป

2.1.3 Output Layer

จำนวน Node ใน Output Layer จะมีตามจำนวน output ที่ต้องการให้ neural รู้จำ ซึ่งแต่ละ node ใน Output Layer นี้ จะทำหน้าที่เหมือน node ใน Hidden Layer

input ที่รับมาก็คือ output ของ node ใน Hidden Layer

ผ่านกระบวนการ Summations และ function กระตุ้น เหมือนใน Hidden Layer

และ output ของ Output Layer นี้ ก็คือ output ของ neural นั่นเอง

2.1.4 Backpropagation Algorithm

ส่วนนี้เป็นขั้นตอนการเรียนรู้ของ Neural โดยจะทำการปรับค่า weight ต่างๆ ของ node ที่อยู่ทั้งใน Hidden Layer และ Output Layer เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม ซึ่งเป้าหมายก็คือ ค่า output ที่ถูกต้อง หรือการรู้จำที่ถูกต้องของ neural

ขั้นตอนการเรียนรู้นี้ เริ่มต้นตั้งแต่ Input Layer, Hidden Layer และ Output Layer ตามลำดับ ซึ่งจะนำ output ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ target output กล่าวคือ input ชุดนี้ ต้องการให้ output มีค่าเท่าไร ในแต่ละ node ใน Output Layer ซึ่งค่าเหล่านี้ ในส่วน Backpropagation จะนำมาคำนวณแล้วปรับค่า weight เพื่อให้ได้ output เป็นไปตามที่กำหนด การปรับค่า weight มีสมการดังนี้

$$\delta_{pk}^{o} = (y_k - o_k) f'(net_k^0) \quad \text{.......(2.3)}$$

จากสมการที่ 2.3

o คือ Output Layer

p คือ pattern ที่ป้อนให้กับ neural

k คือ node ที่ k ใน output layer

y_k คือ target output ที่ $node_k$ ซึ่งได้รับมาคู่กับ input ที่ป้อนเข้ามาในแต่ละ pattern

o_k คือ output ที่ $node_k$ ซึ่งคำนวณได้มาจาก neural

$$\delta_{pj}^{h} = f'(net_j^h) \sum_{k=1}^{K} \delta_{pk}^{o} w_{kj} \quad \text{.......(2.4)}$$

จากสมการที่ 2.4

h คือ Hidden Layer

j คือ node ที่ j ใน Hidden Layer

หลังจากคำนวณ delta ใน output layer และ hidden layer เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มปรับค่า weight โดยเริ่มปรับค่า weight ใน hidden layer ก่อน แล้วจึงค่อยปรับค่า weight ใน output layer ดังสมการที่ 2.5, 2.6 ตามลำดับ

$$w_{ji}(t+1) = w_{ji}(t) + \eta\delta^{h}_{pj}x_i \qquad (2.5)$$

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \eta\delta^{o}_{pk}f(net^{h}_{j}) \qquad (2.6)$$

η คือ อัตราการเรียนรู้ $(0 < \eta \leq 1)$ ถ้ามีค่ามากจะทำให้ปรับค่า weight ได้อย่างรวดเร็ว หมายถึงการเรียนรู้อย่างรวดเร็ว เมื่อเรียนรู้สิ่งใหม่อย่างรวดเร็ว ย่อมหมายถึงการลืมสิ่งเก่าอย่างรวดเร็วด้วย ซึ่งทำให้ปรับ weight เข้าสู่ weight ที่สมดุลได้ช้า โดยส่วนใหญ่จะกำหนด η มีค่าประมาณ 0.5, 0.1, 0.05 ตามความเหมาะสม

สมการที่ 2.5 ใช้สำหรับปรับค่า weight ใน Hidden layer

สมการที่ 2.6 ใช้สำหรับปรับค่า weight ใน Output layer

จากการที่ neural เรียนรู้ input ในแต่ละชุด ครั้งแรกๆ output ที่ได้ย่อมมี error มาก แต่หลังจากได้ปรับค่า weight และเรียนรู้ input เดิมบ่อยๆ output ที่ได้จะมีค่า error น้อยลง โดยสามารถคำนวณหาค่า error ได้จากสมการที่ 2.7

$$\mathrm{E} = \sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K}(\delta^{o}_{pk})^2 \qquad (2.7)$$

ส่วนสำคัญของการใช้ neural คือการเรียนรู้ โดยการป้อน input ที่เหมาะสม และกำหนด output ที่ต้องการขณะเรียนรู้ให้ถูกต้อง หลังจากนั้น neural ก็จะสามารถ recognize input ใหม่ๆ และบอก output ที่ถูกต้องได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น input ใหม่ๆ ที่ป้อนให้ neural รู้จำ ต้องไม่แตกต่างจาก input ที่ neural เรียนรู้มาก่อนมากนัก เพราะ neural จะไม่รู้อะไร นอกจากสิ่งที่ได้เรียนรู้มา ซึ่ง output ที่รู้จำ หรือที่ neural บอกออกมานั้น ก็คือ "Input ใหม่ๆ นั้น มีส่วนคล้ายกับ input ใดที่ neural เคยเรียนรู้มามากที่สุด"

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่ผ่านมาได้มีการวิจัยทางด้านการรู้จำตัวอักษรอยู่หลายวิธี ในที่นี้ขอนำเสนอเฉพาะงานวิจัยที่เกี่ยวกับการรู้จำอักษรภาษาไทย ดังนี้

2.2.1 การจดจำรูปแบบตัวพิมพ์อักษรภาษาไทย

ผลงานวิจัยของ รศ.ดร.ชม กิ้มปาน ซึ่งได้เสนอวิธีการไว้ 2 วิธีคือ การรู้จำแบบซ้อนทับ (Matching method) และวิธีการวิเคราะห์แบบโครงสร้าง (Structural analysis method)

วิธีที่ 1 การจดจำแบบซ้อนทับ ได้แบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ขั้นตอนคือการแบ่งกลุ่มตัวอักษร (Rough classification stage) ในขั้นตอนแรกนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณารูปร่างปลีกย่อยของตัวอักษรที่ไม่จำเป็น และสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่ถูกอ่านเข้ามาจะถูกกำจัดออกไปโดยการทำตัวอักษรให้เบลอ ตัวอักษรที่เบลอแล้วจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ เงื่อนไขสำหรับการแบ่งกลุ่ม ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของความเหมือนของแต่ละรูปแบบแล้วใช้การกระจายแบบคาร์ฮูเนนโลบ (Karhunen Loeve expansion) หารูปแบบมาตราฐานสำหรับเก็บไว้เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่ม จากนั้นในขั้นตอนซึ่งเป็นการแยกตัวอักษรออกจากกลุ่ม (Fine classification stage) มีวิธีการอยู่สองวิธีสำหรับการแยกตัวอักษรออกจากกันวิธีแรกใช้การซ้อนทับเป็นส่วนๆ (subpattern matching) ในการแยกตัวอักษรออกจากกัน วิธีที่สองใช้วิธีการสร้างฟังก์ชั่นการตัดสินใจแบบเชิงเส้น (linear decision functions) บนระนาบของไอเกนเวคเตอร์ที่ได้จากการกระจายแบบคาร์ฮูเนนโลบ สำหรับแยกตัวอักษรในแต่ละกลุ่มออกจากกัน

วิธีที่ 2 การจดจำแบบวิเคราะห์โครงสร้าง ผู้วิจัยได้แบ่งระบบการรู้จำออกเป็นสองขั้นตอนเหมือนเช่นกับวิธีแรก กล่าวคือในขั้นตอนการแบ่งกลุ่มตัวอักษรอาศัยเทคนิคการทำตัวอักษรให้บางกับข้อมูลตัวอักษรที่จะวิเคราะห์ ทั้งนี้เพื่อจะได้กำจัดสัญญาณรบกวนและลักษณะปลีกย่อยที่ไม่ต้องการต่างๆ ออกไปก่อน ตัวอักษรที่ถูกทำให้บางแล้วจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ โดยอาศัยฟังก์ชั่นการตัดสินใจแบบเชิงเส้นที่ยึดหลักความกว้างและความสูงของตัวอักษร และในขั้นตอนที่สองเป็นการแยกตัวอักษรออกจากกลุ่ม ผู้วิจัยได้ใช้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างจุด โดยแทนที่ค่าที่ได้จากการคำนวณของแต่ละจุดในรูปร่างของตัวอักษร จะเกิดคุณสมบัติทางเรขาคณิตศาสตร์ของตัวอักษรที่อยู่ในฟอร์มของค่าความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่แทนจุดปลาย จุดแยก จุดต่อเนื่องและจุดอื่นๆ ให้ความแตกต่างระหว่างตัวอักษรต่างๆ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะนำมาใช้ในการแยกตัวอักษรออกจากกันในแต่ละกลุ่ม

จากผลงานวิจัยทั้งสองวิธีนี้ การรู้จำแบบการซ้อนทับเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า เพราะไม่เกิดความกำกวมในกระบวนการรู้จำ ทั้งนี้เพราะผลของการกระจายแบบคาร์ฮูเนนโลบ แต่ขบวนการทั้งหมดจะให้เวลาในการประมวลผลนานซึ่งใช้ได้ผลเฉพาะในการทดลองเท่านั้น ยังไม่เหมาะสำหรับที่จะนำไปประมวลผลกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้จริง

2.2.2 การจดจำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยในระบบออนไลน์

ผลงานวิจัยของ ดร.พิพัฒน์ หิรัณย์วณิชชากร (Hiranvanichchakorn Pipat. 1985) ได้หาวิธีการจำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย โดยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างจากคอนทัวร์(Contour) ของตัวอักษรในลักษณะดิจิตอลคอนทัวร์ เพื่อหารหัสที่สอดคล้องกับทิศทางตามลักษณะของฟรีแมนแชนโค๊ต (Freeman Chain Code) แล้วขจัดสิ่งรบกวน (Noise) ที่ไม่ต้องการออกไป จากนั้นค้นหาส่วนนูน (Convex) และส่วนเว้า (Concave) ของโครงร่างตัวอักษร และนำลักษณะมุมทางเรขาคณิตของส่วนนูนและส่วนเว้า มาคำนวณหาค่าความเหมือนของมุมทั้งจากภายในตัวอักษรเอง และความเหมือนระหว่างตัวอักษรแต่ละตัว แล้วนำค่าที่ได้ทั้งหมดเก็บเป็นค่าต้นแบบไว้ในตาราง

เมื่อมีตัวอักษรที่เป็นอินพุทเข้ามาจะถูกนำมาผ่านขบวนการเดียวกัน แล้วนำค่าที่คำนวนได้ไปเปรียบเทียบกับค่าต้นแบบในตาราง ลักษณะของงานวิจัยเน้นการใช้งานแบบออนไลน์ โดยการเขียนตัวอักษรบนแผ่นดิจิไตร์เซอร์ ซึ่งจะเหมาะกับวิธีการนี้เท่านั้น ทั้งนี้เพราะการคำนวณหาค่ามุมส่วนนูนและส่วนเว้าจะดำเนินไปพร้อมๆ กับการลากเส้นโครงร่างของตัวอักษร แต่ในการนำไปใช้งานจริง ยังไม่มีอุปกรณ์อินพุทที่เหมาะสมกับการใช้งาน

2.2.3 การรู้จำอักษรคัดลายมือภาษาไทยของคอมพิวเตอร์โดยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างแบบทันทีทันใด

ผลงานวิจัยของนายชาญชัย ดีอ่วม (ชาญชัย ดีอ่วม. 2542) เป็นวิธีการพิจารณาแบบ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนในการแยกแยะเส้น จะทำการวิเคราะห์ว่าเส้นที่ประกอบเป็นตัวอักษรเส้นใน โดยกรรมวิธีเปลี่ยนเป็นรหัสลูกโซ่แปดทิศ เพื่อให้ได้เส้นต่างๆ ได้แก่หัวตัวอักษร วงกลมภายในตัวอักษรเส้นตรงที่เคลื่อนที่ไปยังทิศทั้ง 8 และเส้นหยักอยู่ในตำแหน่งใด ซึ่งตัวอักษรจะถูกแบ่งเป็น 6 ส่วนเท่าๆ กันโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ทราบตำแหน่งของเส้นและนำเส้นต่างๆ เข้าสู่ขั้นตอนที่ 2 เพื่อทำการวิเคราะห์ว่าเป็นตัวอักษรใด โดยพิจารณาหมายเลขช่องว่ามีเส้นที่กำหนดอยู่หรือไม่ มีการเริ่มต้นหรือการสิ้นสุดการเขียนที่ตำแหน่งช่องใดๆ ความยาวของเส้นบางเส้น และจำนวนเส้นในแนวดิ่งเป็นต้น

2.2.4 การจดจำรูปแบบตัวอักษรคัดลายมือภาษาไทยโดยวิธีแยกลักษณะเด่น

ผลงานวิจัยของนายประสาร ตังติสานนท์ (ประสาร ตังติสานนท์. 2529) เป็นวิธีการที่พิจารณาถึงโครงสร้างของรูปแบบตัวอักษร ทั้งลายเส้นและพื้นเบื้องหลังของลายเส้นควบคู่กันไป วิธีการพิจารณาลายเส้นและพื้นเบื้องหลังลายเส้น ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็นสามขั้นตอนด้วยกันคือ ขั้นตอนแรก เป็นการเปลี่ยนลักษณะลายเส้นและลักษณะของพื้นเบื้องหลังลายเส้นไปเป็นรหัสเบื้องต้น (Initial feature extraction) ขั้นตอนที่สองการลดทอนรหัสเบื้องต้นของพื้นเบื้องหลังลายเส้นที่ซ้ำซ้อนกันออกไป (Unification) ขั้นตอนที่สามเป็นการรวมรหัสลายเส้นและรหัสของพื้นเบื้องหลัง

ลายเส้นเข้าด้วยกันเพื่อให้เป็นคุณสมบัติของรูปแบบตัวอักษร (Concentration) เมื่อได้รหัสรวมของอักษรแต่ละตัวจะถูกจัดแยกกลุ่ม แล้วพิจารณาหาคุณสมบัติที่เป็นลักษณะเด่นเฉพาะของตัวอักษรนั้นๆ ที่ไม่เหมือนกันกับอักษรตัวอื่น ทำการแยกตัวอักษรออกจากกลุ่มออกไป รหัสที่เป็นคุณสมบัติเด่นของอักษรแต่ละตัวจะถูกพิจารณาจากบริเวณพื้นที่รอบๆ ตัวอักษร โดยผู้วิจัยจะพิจารณาด้วยสายตา แล้วจึงกำหนดเป็นเงื่อนไข วิธีการนี้จึงใช้ได้ผลดีกับตัวอักษรต้นแบบ แต่หากลักษณะของตัวอักษรที่ต้องการวิเคราะห์เปลี่ยนรูปร่างแตกต่างจากต้นแบบแล้ว จะไม่สามารถวิเคราะห์ได้ อีกทั้งยุ่งยากต่อการเพิ่มเติมเงื่อนไขใหม่ๆ เพื่อแยกตัวอักษรออกจากกลุ่ม หากอักษรที่วิเคราะห์ไม่สามารถวินิจฉัยได้ แต่หากอักษรมีลักษณะเหมือนอักษรต้นแบบ ผลการรู้จำให้ความถูกต้องสูงเกินกว่า 90% แต่ว่าเวลาที่ใช้ในการรู้จำตัวอักษรแต่ละตัวต้องใช้เวลาประมาณ 3 นาที ซึ่งเป็นเวลานานเกินไป จึงไม่สามารถนำออกมาใช้งานได้จริง

2.2.5 การจดจำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยโดยการพิจารณาหัวตัวอักษร

ผลงานวิจัยของนายสุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ (สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์. 2531) ทำการเลือกพิจารณาส่วนหัวของตัวอักษรภาษาไทยที่มีลักษณะเป็นวงกลมเล็กๆ ซึ่งแตกต่างไปจากอักษรภาษาอื่นๆ ซึ่งมักไม่มีหัว ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบหัวของตัวอักษร แล้วจัดแบ่งกลุ่มตัวอักษรออกเป็นกลุ่มๆ คือ กลุ่มอักษรที่ไม่มีหัว กลุ่มอักษรที่มี 1 หัว กลุ่มอักษรที่มี 2 หัว และกลุ่มอักษรที่มี 3 หัว

ขั้นตอนการทำงานแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่หนึ่งเป็นการเตรียมภาพตัวอักษรแต่ละตัวไว้ 2 ชุด โดยชุดหนึ่งเป็นภาพปกติ และอีกชุดหนึ่งจะเป็นภาพตัวอักษรที่ผ่านการทำให้บางแล้ว ขั้นตอนที่สอง จะทำการค้นหาจากส่วนหัวตัวอักษรปกติ และคำนวณหาคุณสมบัติทางโทโพโลยีจากตัวอักษรที่ถูกทำให้บาง ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ตัวอักษรด้วยเทคนิคพิเศษ 4 เทคนิค ได้แก่ 1. Subhead Region 2. Feature Code 3. Head Style และ 4. Width per height ratio การทำงานของระบบใช้กล้องเก็บภาพ CCD เป็นอุปกรณ์ป้อนข้อมูล (Input device) ซึ่งการใช้งานคงยุ่งยากพอสมควร และต้องพึ่งผู้มีความชำนาญเป็นผู้ปรับแต่งความคมชัดในการถ่ายเก็บภาพ และในส่วนของอัลกอลิทึมที่ใช้ เป็นการพิจารณาเฉพาะส่วนหัวของอักษรซึ่งค่อนข้างจะเป็นการพิจารณาเฉพาะเจาะจงเกินไป หากข้อมูลเป็นภาพตัวอักษรที่เขียนแบบไม่มีหัว หรือลายเส้นของหัวขาดไม่สมบูรณ์ หรือไม่เป็นวงปิด หรือไม่ว่าหัวมีลักษณะทึบตัน ผลของการรู้จำย่อมผิดพลาดอย่างแน่นอน แต่อย่างไรก็ตาม หากทุกอย่างเป็นไปตามเงื่อนไขที่ผู้ทำวิจัยกำหนดไว้ในงานวิจัยนี้สามารถรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนให้ผลของการรู้จำที่ดีพอสมควร

2.2.6 การรู้จำอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีการค้นหาลักษณะโครงสร้างของลายเส้น

ผลงานวิจัยของนายสุรสิทธิ์ ราตรี (สุรสิทธิ์ ราตรี. 2532) ได้นำเสนอวิธีการค้นหาลักษณะโครงสร้างลายเส้นซึ่งเป็นลักษณะเด่นของตัวอักษร (Topological feature extraction) การพิจารณากระทำกับโครงสร้างของลายเส้นตัวอักษรที่ถูกแบ่งออกเป็น 8 ส่วนในแนวตั้ง แนวนอน และในแนวเส้นทแยงมุมทั้งสอง ในขั้นตอนต่อไปทำการแยกพิจารณาในแต่ละส่วน (Octant) หาคุณสมบัติทางโทโพโลยีของลายเส้น (Stroke) ของตัวอักษร ซึ่งจะได้รหัสแทนตัวอักษรที่เรียกว่า A-Code จากการรวมรหัสแสดงคุณลักษณะเด่นในแต่ละส่วนของตัวอักษรที่ถูกแบ่งทั้ง 8 ส่วน เนื่องจากการพิจารณากระทำกับลักษณะโครงสร้างลายเส้นของตัวอักษรอย่างละเอียดจึงสามารถเก็บคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรได้ครบถ้วน ส่งผลให้ความถูกต้องของการรู้จำมีความถูกต้องสูงเกินกว่า 95% แต่การแบ่งพื้นที่การพิจารณาออกเป็นส่วนๆ ที่มีพื้นที่เล็กเกินไป จะทำให้การพิจารณาโครงสร้างของลายเส้นในแต่ละส่วนอาจไม่ได้ลักษณะลายเส้นที่แท้จริงในกรณีที่ลายเส้นตัวอักษรที่มีความหนา แต่แนวทางแก้ไขสามารถทำได้โดยเพิ่มเติมส่วนของการทำตัวอักษรให้บาง ซึ่งจะได้โครงร่างของลายเส้นตัวอักษรที่แท้จริง แล้วจึงนำไปพิจารณาก็จะสามารถแก้ปัญหาส่วนนี้ได้ และคาดว่าจะได้ความถูกต้องแน่นอนแม้ว่ารูปแบบ (Font) ของตัวอักษรอาจจะแตกต่างกัน แต่ทั้งนี้ยังไม่สามารถรู้จำตัวอักษรแบบเอียง (Italic) เพราะตัวอักษรเอียงเมื่อแบ่งออกเป็น 8 ส่วน โดยใช้หลักการแบ่งเหมือนตัวปกติ จะได้ผลที่แตกต่างกัน เมื่อนำไปพิจารณาเพื่อรู้จำอักษรโดยใช้หลักการเดียวกับตัวอักษรปกติ ก็จะเกิดความผิดพลาด

2.2.7 การรู้จำอักษรไทยโดยใช้ลักษณะเด่นของตัวอักษร

ผลงานวิจัยของนายกฤษฎา วิไลลักษณ์ รศ.ดร.วิเชียร เปรมชัยสวัสดิ์ และ รศ.นุชรี เปรมชัยสวัสดิ์ ซึ่งเสนอวิธีการรู้จำอักษรภาษาไทยโดยอาศัยลักษณะเด่นของตัวอักษร แนวคิดนี้ไม่ขึ้นอยู่กับขนาด ความหนา หรือการเอียงของตัวอักษร จึงช่วยลดเวลาในการการจัดการเบื้องต้น (Preprocessing) ในการใช้ลักษณะเด่นหลายๆ แบบแบ่งกลุ่มของตัวอักษร พบว่าตัวอักษรบางตัวอาจอยู่ได้หลายกลุ่ม เมื่อนำกลุ่มเหล่านี้มาหาตัวร่วม (intersection) พบว่าจะได้กลุ่มที่เล็กลง ซึ่งมีสมาชิกไม่เกิน 7 ตัวอักษร จากนั้นเมื่อนำลักษณะพิเศษเฉพาะตัวอักษร มาแยกแยะอีกครั้ง ก็สามารถรู้จำอักษรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดสอบกับตัวพิมพ์ 5 รูปแบบ และลายมือเขียนภาษาไทยของ 10 คน เขียนข้อความทดสอบอักษรไทยมาตรฐานของสมาคมคอมพิวเตอร์แห่งประเทศไทย โดยมีพยัญชนะและสระทั้งหมด 3870 ตัว พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถรู้จำได้ถูกต้องประมาณ 91 เปอร์เซ็นต์

2.2.8 Distinctive Feature Analysis for Thai Handwritten Character Recognition Based on Modified Stroke Changing Sequence

ผลงานวิจัยของ Choruengwiwat, P., Jitapunkul, S., Wuttisittikulkij, L., Seehapan, P. งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการรู้จำลายมือเขียนอักษรภาษาไทย โดยปรับปรุงเพิ่มเติมจากวิธี Stroke Changing Sequence (SCS) และพิจารณาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะอักษร จากศูนย์กลางของหัวอักษร ลำดับการเขียนอักษรจะวาดทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งจะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของลายเส้นนั้น ผลการทดลองสามารถรู้จำได้ 92% ผิดพลาด 4% และไม่สามารถตัดสินใจได้ 4% ความเร็วในการรู้จำ 5.8 ตัวต่อวินาที

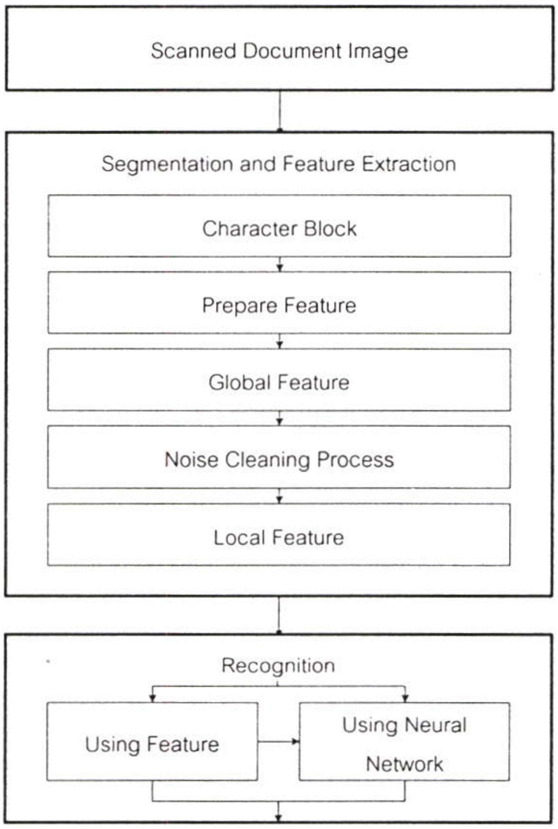
2.2.9 Thai Printed Character Recognition by Combining Inductive Logic Programming with Backpropagation Neural Network

ผลงานวิจัยของ Boonserm Kijsirikul, Sukree Sinthupinyo, Apinya Supanwansa งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการรู้จำตัวอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทย โดยการรวมอัลกอริทึ่มในการเรียนรู้ 2 อัลกอริทึ่มคือ Inductive Logic Programming (ILP) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation หลังจากการคัดแยกคุณลักษณะของภาพอักษรออกมาแล้ว จะนำคุณลักษณะที่ได้นำไปใช้เป็นตัวอย่างในการฝึกสอน ILP และ ILP จะเรียนรู้กฎที่ใช้กำหนดตัวอักษร กฎที่เรียนรู้ได้นั้น จะนำไปใช้ในการแบ่งกลุ่มอักษรอื่นๆ ที่ไม่เคยเห็นมาก่อน อย่างไรก็ตาม ภาพอักษรบางตัวเป็นภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาก อาจไม่เหมาะที่จะจัดเป็นกฎ การใช้ BNN สำหรับการประมาณการให้เหมาะสมในการจับคุณลักษณะของภาพไปเป็นกฎ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความถูกต้องของกฎที่เรียนรู้โดย ILP โดยไม่มีการช่วยเหลือจาก BNN แล้วนำไปเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ แต่การรวม BNN กับ ILP ทำให้ได้ผลถูกต้องสูงกว่าวิธีอื่นๆ ที่ได้ทำการทดลองมา

บทที่ 3
แนวทางที่ใช้ในการวิจัย

3.1 **แผนภาพระบบ** (System Diagram)

เอกสารจะถูกสแกนเป็นภาพเอกสาร (Document Image) เพื่อเข้าสู่กระบวนการคัดแยกและค้นหาคุณลักษณะของแต่ละอักษร (Segmentation and Feature Extraction) เพื่อดึงลักษณะเด่นของแต่ละอักษรออกมาคัดแยกเป็นกลุ่มๆ ในที่นี้ใช้วิธีพิจารณาลักษณะด้านทั้ง 4 ของอักษร เมื่อคัดแยกอักษรออกมาทีละตัวและกำหนดคุณลักษณะของอักษรแล้ว จึงเข้าสู่กระบวนการรู้จำอักษร (Recognition) เพื่อรู้จำอักษรออกมาเป็นรหัสแอสกี (ASCII) ของแต่ละตัวอักษรต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 System Block Diagram of Character Recognition System.

3.2 คัดแยกอักษรและกำหนดคุณลักษณะอักษร (Segmentation and Feature Extraction)

3.2.1 การกำหนดขอบเขตอักษร (Character Block)

จากภาพเอกสารสามารถหาบรรทัดอักษรได้ ซึ่งประกอบด้วยขอบเขตบน และขอบเขตล่าง (Upper Bound (UpB), Lower Bound (LoB)) ของบรรทัดอักษร โดยหาผลรวมจุดตามแนวแกนนอน (แกน x) ซึ่งอักษรส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณบรรทัดอักษร (Center Zone) ทำให้ผลรวมจุดบริเวณนี้ ตามแนวแกนนอนมีมากกว่าบริเวณอื่นๆ ซึ่งสามารถคำนวณหาผลรวมจุดได้จากสูตร

$$PxP(y) = \sum_{x} P(x,y) \quad \text{.....(3.1)}$$

โดยที่ *P(x,y)* คือข้อมูลภาพ และ PxP(y) คือผลรวมจุดแต่ละ y

จากนั้นอักษรแต่ละตัว กำหนดค่า Left Bound (LtB) และ Right Bound (RtB) ซึ่งจะได้ Character Block (LtB, UpB, RtB, LoB) เพื่อเป็นขอบเขตอักษรและใช้ในการหาคุณลักษณะ (Feature) ของแต่ละตัวอักษรต่อไป (รูปที่ 3.2)

LtB = min(x) | P(x,y) $\in$ จุดบนตัวอักษร .....(3.2)

RtB = max(x) | P(x,y) $\in$ จุดบนตัวอักษร .....(3.3)

3.2.2 การเตรียมการก่อนกำหนดคุณลักษณะ (Prepare Feature)

เพื่อให้การกำหนดคุณลักษณะโครงอักษร (Global Feature) ได้อย่างถูกต้อง จึงต้องเตรียมส่วนประกอบของคุณลักษณะที่ถูกต้องด้วย โดยเริ่มจากการกำหนดจุด A, B, C, D การเชื่อมต่อระหว่างจุดได้แก่ Link AB, Link BD, Link AC, Link CD และกำหนดคุณลักษณะของพื้นผิวปิด (Close Area) ที่อาจจะพบได้ในอักษรบางตัว

3.2.2.1 กำหนดจุด A, B, C, D

กำหนดจุด A, B, C, D บนตัวอักษร เพื่อใช้เป็นจุดแบ่งการเชื่อมโยงขอบอักษรเป็น 4 ส่วน โดยให้ขอบอักษรทั้ง 4 ส่วนนี้เป็นตัวแทนที่เหมาะสมของด้านทั้ง 4 ด้านของตัวอักษร (ด้านซ้าย, ด้านบน, ด้านขวา และด้านล่าง) ซึ่งด้านทั้ง 4 ของอักษรจะใช้กำหนดคุณลักษณะหลักของอักษรต่อไป ดังนั้นการกำหนดจุดทั้ง 4 นี้มีความสำคัญมาก เพราะเป็นจุดเริ่มต้นของด้านทั้ง 4 ด้าน ถ้ากำหนดจุดผิด การพิจารณาด้านทั้ง 4 ด้านก็จะผิดพลาด ซึ่งจะมีผลทำให้การรู้จำอักษรผิดพลาดไปด้วย

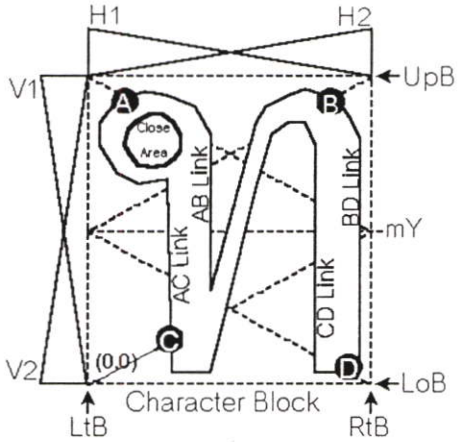
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เพื่อให้การกำหนดด้านทั้ง 4 ด้าน เป็นตัวแทนที่เหมาะสมของด้านซ้าย ด้านบน ด้านขวา และด้านล่าง จึงกำหนดให้ลากจากมุม มาที่กึ่งกลางอักษรด้านตรงข้ามของมุม โดยหยุดเมื่อพบขอบอักษรและกำหนดให้เป็นจุดดังกล่าว ซึ่งจะทำให้จุดที่กำหนดนั้นแบ่งขอบอักษรได้เหมาะสมกับด้านทั้ง 4 ด้าน ซึ่งมีรายละเอียดการกำหนดจุดดังนี้

กำหนดให้ mY คือค่ากึ่งกลางแนวตั้งระหว่าง UpB, LoB หาได้จากสูตร

mY = (UpB-LoB)/2 ....(3.4)

P(x,y) คือตำแหน่งจุด x, y บนภาพเอกสาร



รูปที่ 3.2 Character Block.

จุด A กำหนดได้โดยลากเส้นตรงจากจุดมุมบนด้านซ้าย (P(LtB,UpB)) ถึงจุดกึ่งกลางแนวตั้งด้านขวา (P(RtB,mY)) โดยหยุดเมื่อพบจุดแรกที่ขอบอักษร และกำหนดให้เป็นจุด A

จุด B กำหนดได้โดยลากเส้นตรงจากจุดมุมบนด้านขวา (P(RtB,UpB)) ถึงจุดกึ่งกลางแนวตั้งด้านซ้าย (P(LtB,mY)) โดยหยุดเมื่อพบจุดแรกที่ขอบอักษร และกำหนดให้เป็นจุด B

จุด C กำหนดได้โดยลากเส้นตรงจากจุดมุมล่างด้านขวา (P(LtB,LoB)) ถึงจุดกึ่งกลางแนวตั้งด้านขวา (P(RtB,mY)) โดยหยุดเมื่อพบจุดแรกที่ขอบอักษร และกำหนดให้เป็นจุด C

จุด D กำหนดได้โดยลากเส้นตรงจากจุดมุมล่างด้านขวา P(RtB,LoB) ถึงจุดกึ่งกลางแนวตั้งด้านซ้าย (P(LtB,mY)) โดยหยุดเมื่อพบจุดแรกที่ขอบอักษร และกำหนดให้เป็นจุด D

เมื่อกำหนดจุด A, B, C และ D แล้ว จะพบว่าการกำหนดจุดอ้างอิงบนตัวอักษรนี้ จะได้ตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันทั้งตัวอักษรตัวปกติ ตัวหนา ตัวเอียง หรือตัวหนา-เอียง ซึ่งทำให้การกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของอักษรในขั้นตอนต่อไปนั้น สามารถใช้วิธีการเดียวกันได้ โดยไม่ต้องทราบว่าอักษรนั้นเป็นอักษรแบบใด

3.2.2.2 **การเชื่อมโยงจุด** (Link AB, BD, AC, CD) **และเขียนกราฟ**

สร้างการเชื่อมโยงระหว่างจุดทั้ง 4 จุด โดยลากตามขอบอักษรในทิศทางที่ไม่ผ่านจุดอื่นๆ ซึ่งสามารถสร้างการเชื่อมโยงได้ 4 แบบ คือ Link AB, BD, AC และ CD เพื่อใช้เป็นตัวแทนด้านทั้ง 4 ของอักษร สามารถนิยาม Link ที่สร้างได้ดังนี้

Link AB คือการลากเส้นตามขอบอักษรเพื่อเชื่อมโยงระหว่างจุด A กับจุด B โดยลากในทิศทางที่ไม่ผ่าน จุด C หรือจุด D

Link AC คือการลากเส้นตามขอบอักษรเพื่อเชื่อมโยงระหว่างจุด A กับจุด C โดยลากในทิศทางที่ไม่ผ่าน จุด B หรือจุด D

Link BD คือการลากเส้นตามขอบอักษรเพื่อเชื่อมโยงระหว่างจุด B กับจุด D โดยลากในทิศทางที่ไม่ผ่าน จุด A หรือจุด C

Link CD คือการลากเส้นตามขอบอักษรเพื่อเชื่อมโยงระหว่างจุด C กับจุด D โดยลากในทิศทางที่ไม่ผ่าน จุด A หรือจุด B

จาก Link AB, AC, BD, CD ที่หาได้นำมาเข้าสูตร H1, H2, V1, V2 เพื่อเปรียบเทียบความเป็นสมาชิกของจุดบนตัวอักษรกับขอบกล่องอักษร (Character Block) ทั้ง 4 ด้าน

H1 ใช้เปรียบเทียบความเป็นสมาชิกของจุดบนตัวอักษรกับด้านซ้ายของกล่องอักษร

H2 ใช้เปรียบเทียบความเป็นสมาชิกของจุดบนตัวอักษรกับด้านขวาของกล่องอักษร

V1 ใช้เปรียบเทียบความเป็นสมาชิกของจุดบนตัวอักษรกับด้านบนของกล่องอักษร

V2 ใช้เปรียบเทียบความเป็นสมาชิกของจุดบนตัวอักษรกับด้านล่างของกล่องอักษร

เช่นถ้าจุดใดเมื่อเปรียบเทียบกับ H1 แล้วมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าจุดนั้นอยู่ชิดขอบซ้ายของกล่องอักษรมาก แต่ถ้ามีค่า 0 แสดงว่าอยู่ไกลจากขอบซ้ายของกล่องอักษร เป็นต้น

ซึ่งการเปรียบเทียบการเป็นสมาชิกของขอบกล่องอักษรนี้ ทำให้สามารถรู้จำอักษรได้ทุกขนาด โดยใช้อัลกอริทึ่มเดียวกัน โดย H1, H2 จะเปรียบเทียบค่าความเป็นสมาชิกตามแนวแกนนอน (แกน x) ดังนี้

H1(LtB..RtB) $\longrightarrow$ H1(1..0)

H2(LtB..RtB) $\longrightarrow$ H2(0..1)

$$H1(x) = 1 - \frac{x - LtB}{RtB - LtB} \qquad \text{(3.5)}$$

$$H2(x) = \frac{x - LtB}{RtB - LtB} \qquad \text{(3.6)}$$

และ V1, V2 จะเปรียบเทียบค่าความเป็นสมาชิกตามแนวแกนตั้ง (แกน y) ดังนี้

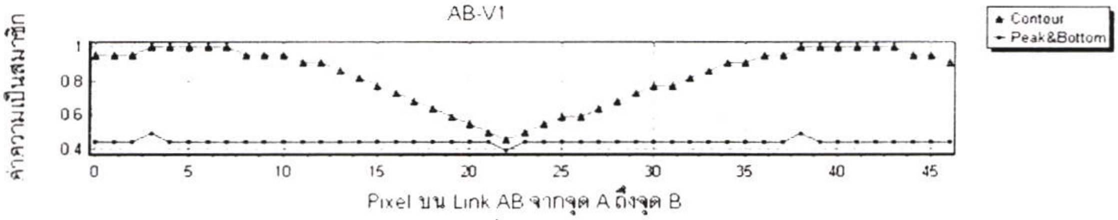
V1(UpB..LoB) $\longrightarrow$ V1(1..0)

V2(UpB..LoB) $\longrightarrow$ V2(0..1)

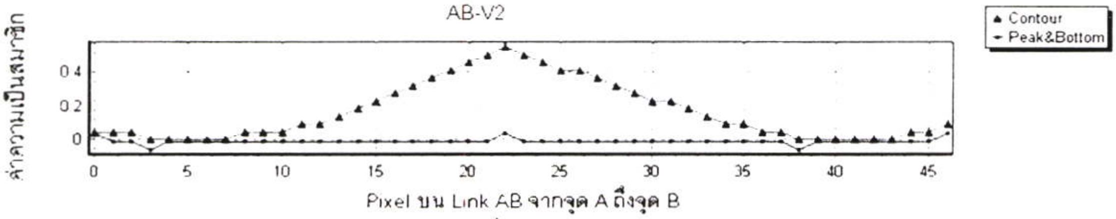
$$V1(y)=1-\frac{y-UpB}{LoB-UpB} \quad (3.7)$$

$$V2(y)=\frac{y-UpB}{LoB-UpB} \quad (3.8)$$

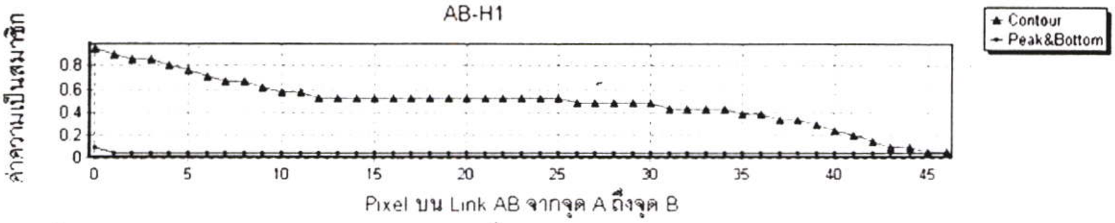
เมื่อนำแต่ละ Link มาเข้าสูตร H1, V1, H2, V2 และสร้างเป็นกราฟ จะได้กราฟขึ้น-ลงที่แสดงถึงลักษณะของอักษรในแต่ละด้าน (รูปที่ 3.3-รูปที่ 3.18) แต่ลักษณะของขอบอักษรที่ได้จากการสแกนมักขรุขระ เพราะต้นฉบับที่ไม่สมบูรณ์ หรือเป็นผลมาจากการสแกน เกิดเป็นสัญญาณรบกวนที่จะทำให้การรู้จำอักษรผิดพลาด จึงจำเป็นต้องลดสัญญาณรบกวนเหล่านั้นลง และเพื่อให้การพิจารณาของขอบอักษรในแต่ละด้านได้ง่ายขึ้น จึงใช้ Peak & Bottom Algorithm (ภาคผนวก ก) เพื่อใช้พิจารณาเฉพาะจุดขึ้นลงหลักๆ ของกราฟ และละเลยจุดขึ้นลงที่ไม่สำคัญหรือจุดขึ้นลงที่เกิดจากสัญญาณรบกวน (noise) ซึ่งจะทำให้ขั้นตอนการทำงานในส่วนถัดไปสามารถกำหนดคุณลักษณะอักษร (feature) ของอักษรได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น



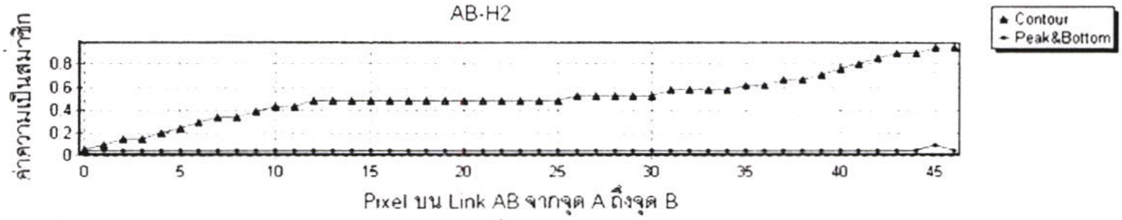
รูปที่ 3.3 ความเป็นสมาชิกของ Link AB เมื่อเทียบกับด้านบนของกล่องอักษร



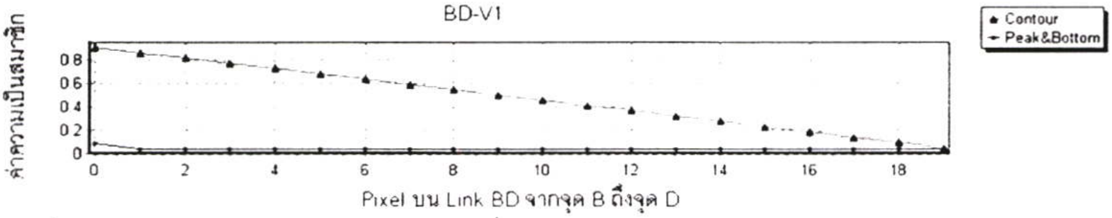
รูปที่ 3.4 ความเป็นสมาชิกของ Link AB เมื่อเทียบกับด้านล่างของกล่องอักษร



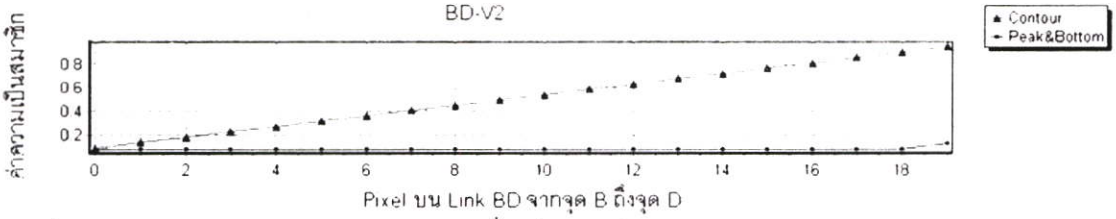
รูปที่ 3.5 ความเป็นสมาชิกของ Link AB เมื่อเทียบกับด้านซ้ายของกล่องอักษร



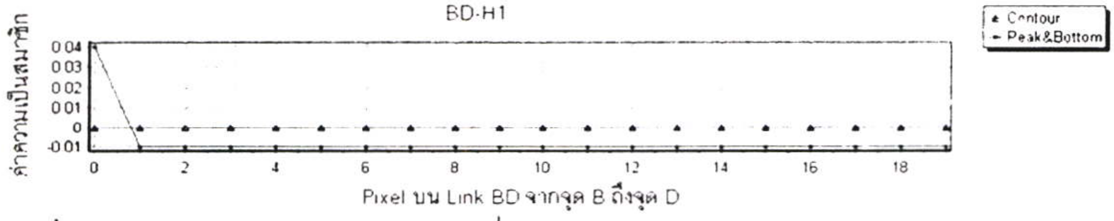
รูปที่ 3.6 ความเป็นสมาชิกของ Link AB เมื่อเทียบกับด้านขวาของกล่องอักษร



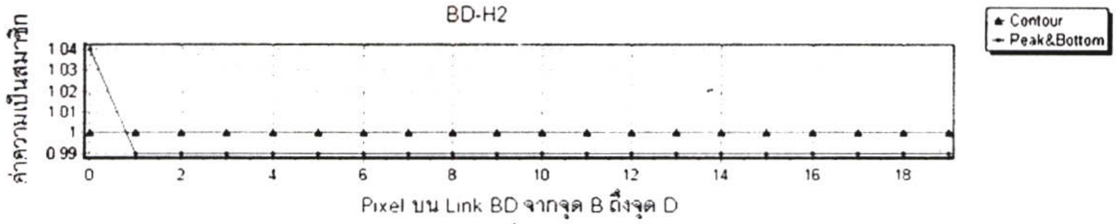
รูปที่ 3.7 ความเป็นสมาชิกของ Link BD เมื่อเทียบกับด้านบนของกล่องอักษร



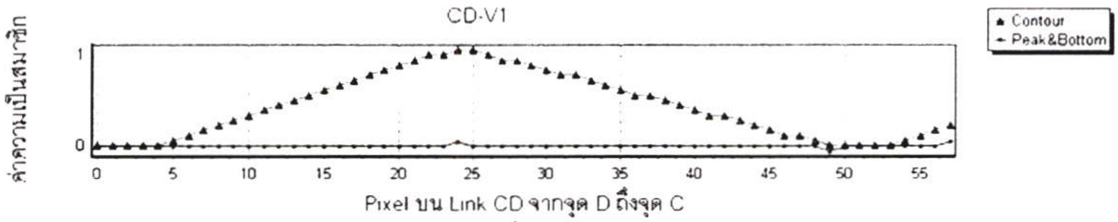
รูปที่ 3.8 ความเป็นสมาชิกของ Link BD เมื่อเทียบกับด้านล่างของกล่องอักษร



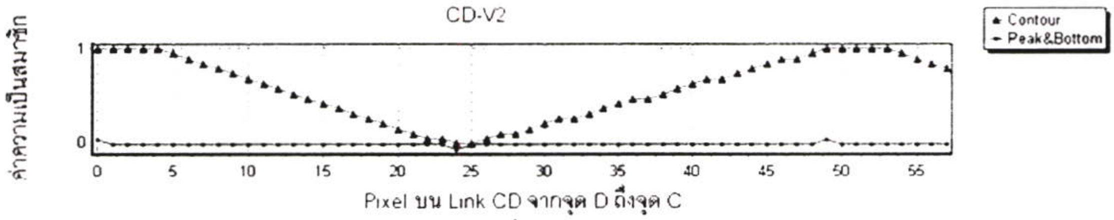
รูปที่ 3.9 ความเป็นสมาชิกของ Link BD เมื่อเทียบกับด้านซ้ายของกล่องอักษร



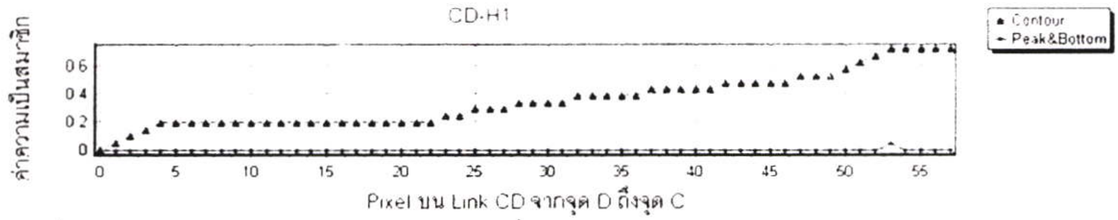
รูปที่ 3.10 ความเป็นสมาชิกของ Link BD เมื่อเทียบกับด้านขวาของกล่องอักษร



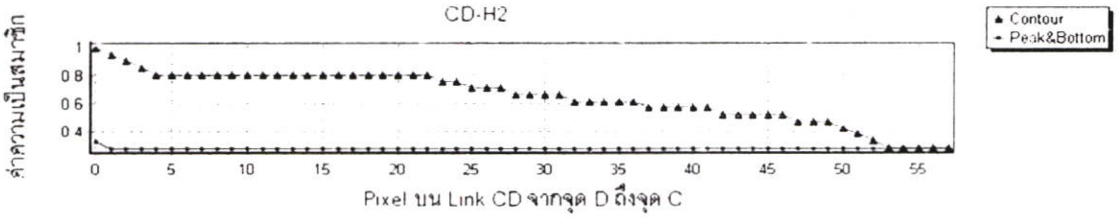
รูปที่ 3.11 ความเป็นสมาชิกของ Link CD เมื่อเทียบกับด้านบนของกล่องอักษร



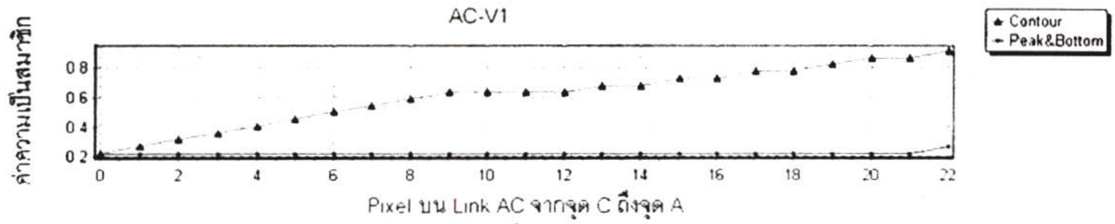
รูปที่ 3.12 ความเป็นสมาชิกของ Link CD เมื่อเทียบกับด้านล่างของกล่องอักษร



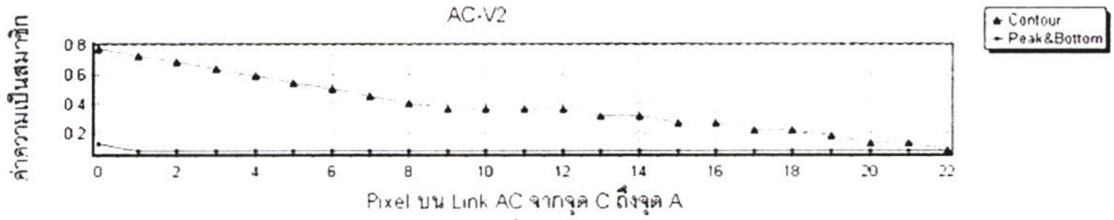
รูปที่ 3.13 ความเป็นสมาชิกของ Link CD เมื่อเทียบกับด้านซ้ายของกล่องอักษร



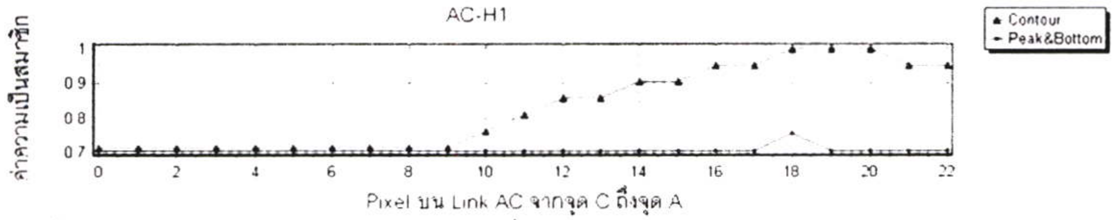
รูปที่ 3.14 ความเป็นสมาชิกของ Link CD เมื่อเทียบกับด้านขวาของกล่องอักษร



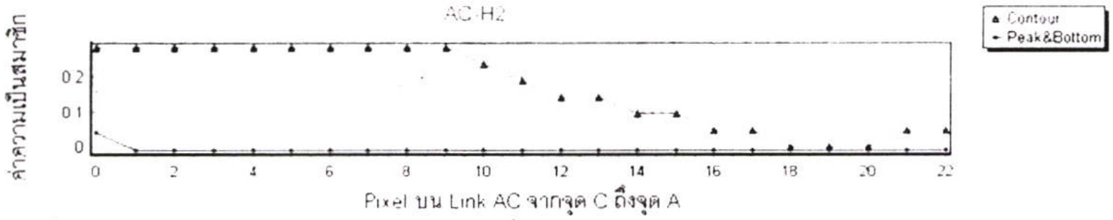
รูปที่ 3.15 ความเป็นสมาชิกของ Link AC เมื่อเทียบกับด้านบนของกล่องอักษร



รูปที่ 3.16 ความเป็นสมาชิกของ Link AC เมื่อเทียบกับด้านล่างของกล่องอักษร



รูปที่ 3.17 ความเป็นสมาชิกของ Link AC เมื่อเทียบกับด้านซ้ายของกล่องอักษร



รูปที่ 3.18 ความเป็นสมาชิกของ Link AC เมื่อเทียบกับด้านขวาของกล่องอักษร

3.2.2.3 **พื้นผิวปิด** (Close Area)

เมื่อเชื่อมโยงด้านทั้ง 4 ต่อเนื่องกันครบทุกจุดแล้ว นั่นหมายความว่าขอบอักษรภายนอกได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ ซึ่งทำเครื่องหมายไว้แล้ว และถ้ายังมีขอบอักษรบางส่วนที่ยังไม่ได้ทำเครื่องหมาย แสดงว่าบริเวณนั้นเป็นพื้นผิวปิด คือเป็นวงที่อยู่ภายในของตัวอักษร ยังไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ จึงต้องค้นหาขอบอักษรที่ยังไม่ได้ทำเครื่องหมายเหล่านั้น และเริ่มเดินตามขอบอักษรแล้วทำเครื่องหมาย และบันทึกไว้เช่นเดียวกับวิธีการของการเชื่อมโยงจุด แต่ต่างกันตรงที่ เดินตาม

ขอบอักษรจนมาพบจุดแรกของแต่ละพื้นผิวปิด จนขอบอักษรทั้งหมดได้ถูกทำเครื่องหมาย ซึ่งตอนนี้จะได้คุณลักษณะของขอบอักษรครบทุกส่วนของตัวอักษร

พื้นผิวปิด (Close Area) เป็นเรื่องธรรมดาของอักษรภาษาไทย เพราะอักษรภาษาไทยมีวงกลมเป็นส่วนประกอบอยู่หลายส่วน แต่บางครั้ง พื้นผิวปิด (close area) ก็เกิดจากสัญญาณรบกวน (noise) ได้ ซึ่งเป็นผลทำให้โครงอักษร (Char Frame) มีความผิดพลาด จึงต้องนำพื้นผิวปิด (close area) ที่เกิดขึ้นมาปรับโครงอักษร (Char Frame) ให้ถูกต้องก่อนการรู้จำอักษร ดังจะได้อธิบายในส่วนของกระบวนการขจัดสัญญาณรบกวน (Noise Cleaning Process) ต่อไป

3.2.3 **คุณลักษณะหลักของอักษร** (Global Feature)

ในงานวิจัยนี้ ใช้คุณลักษณะหลักของอักษรภาษาไทยเป็นโครงร่างที่เปรียบเหมือนสี่เหลี่ยมที่มี 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านซ้าย (E_1) ด้านบน (E_2) ด้านขวา (E_3) ด้านล่าง (E_4) แต่ละด้านมีลักษณะการเขียนเชื่อมกันได้ 2 แบบ คือเชื่อมกันโดยไม่มีส่วนใดเว้าเข้าไปภายในกลางอักษร (ด้านปิด='1') กับเชื่อมกันแบบมีส่วนใดส่วนหนึ่งเว้าเข้าไปกลางอักษร (ด้านเปิด='0') แต่ละด้านมีลักษณะเปิด-ปิดที่แตกต่างกัน ซึ่งแบ่งกลุ่มออกเป็นกลุ่มๆ ได้ 6 กลุ่ม โดยในแต่ละกลุ่มมีสมาชิกอักษรที่แตกต่างกันเป็นส่วนใหญ่ มีอักษรบางตัวที่เป็นสมาชิก 2 กลุ่ม ซึ่งไม่เป็นอุปสรรคในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม (Local Feature) และการรู้จำอักษร เพราะอักษรในแต่ละกลุ่ม มีลักษณะคล้ายคลึงกัน สามารถใช้วิธีกำหนดคุณลักษณะวิธีเดียวกันได้อย่างถูกต้อง

คุณลักษณะหลักของอักษร ประกอบด้วยด้าน 4 ด้านคือ ด้านซ้าย ด้านบน ด้านขวา และด้านล่าง ในที่นี้กำหนดให้ ด้านซ้ายเรียกว่า E_1 ด้านบนเรียกว่า E_2 ด้านขวาเรียกว่า E_3 ด้านล่างเรียกว่า E_4 ซึ่งตรงกับการเชื่อมโยงจุดที่กำหนดมาก่อนหน้านี้ ดังนี้

Link AC $\leftrightarrow E_1$

Link AB $\leftrightarrow E_2$

Link BD $\leftrightarrow E_3$

Link CD $\leftrightarrow E_4$

และเรียกลักษณะการเชื่อมโยงของแต่ละด้านว่า ด้านเปิด ('0') หรือ ด้านปิด ('1') ตามลักษณะการเชื่อมโยงจุดที่มีส่วนใดส่วนหนึ่งเว้าเข้าไปบริเวณส่วนกลางอักษรหรือไม่ สำหรับรายละเอียดการกำหนดคุณลักษณะเปิด ('0') หรือ ปิด ('1') นี้ มีขั้นตอนและรายละเอียดอยู่มาก จึงรวบรวมขั้นตอนต่างๆ ไว้ในหัวข้อการกำหนดคุณลักษณะหลัก ในบทถัดไป ซึ่งจะได้อธิบายวิธีการและรายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย

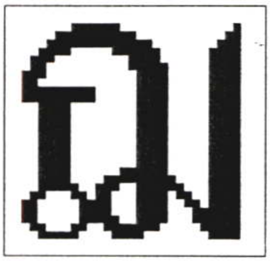
ในบทนี้ใช้วิธีการกำหนดคุณลักษณะหลักในเบื้องต้นว่า แต่ละด้านมี 2 แบบคือ เปิด ('0') ปิด ('1') เพื่อให้ง่ายต่อการอ่าน-เขียนด้าน จึงเขียนด้านต่อกันคือ $E_1E_2E_3E_4$ ซึ่งสามารถเขียนออกมาได้ 16 แบบ แต่เมื่อพิจารณาอักษรภาษาไทยจะมีเพียง 6 แบบคือ (0101,1101), 0110, 0111, 1010, 1011, 1110 โดยจัดให้กลุ่ม (0101,1101) เป็นอักษรกลุ่มเดียวกัน เพราะ E_3='0' ในกลุ่มอื่นๆ จะเป็น E_3='1' และอักษรที่อยู่ในกลุ่ม (0101,1101) เป็นอักษรกลุ่มเดียวกันที่สามารถใช้คุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม (local feature) แบบเดียวกันได้ ตัวอักษรแต่ละกลุ่มแสดงในรูปที่ 3.19

Frame	Code Frame	Character
	0101	ฐธร
	1101	ฐธร
	0110	ลส
	0111	งจฉวอฮ
	1010	ฌญฑฒณทผฝพฟหฬ
	1011	ขฆชซนบปผฝพฟมยษฬ
	1110	กคฎฏดตถภฦฤศ

รูปที่ 3.19 Character Group

3.2.4 **กระบวนการขจัดสัญญาณรบกวน** (Noise Cleaning Process)

เมื่อได้โครงอักษร (Char Frame) และพื้นผิวปิด (Close Area) เรียบร้อยแล้ว ถ้าพื้นผิวปิด (Close Area) มีขนาดใหญ่มาก นั่นอาจหมายถึงการเกิดสัญญาณรบกวน ที่ทำให้เกิดบริเวณพื้นผิวปิดนั้นๆขึ้น ซึ่งมักเกิดกับอักษรภาษาไทยถ้าภาพอักษรเหล่านั้นมีคุณภาพต่ำ จึงจำเป็นต้องมีอัลกอริทึ่ม เพื่อการปรับเปลี่ยนโครงอักษร (Char frame) ให้ถูกต้อง เช่นอักษร 'ฌ' (รูปที่ 3.20)



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างอักษรที่มีสัญญาณรบกวน

อักษร 'ฌ' โดยปกติแล้ว โครงอักษรจะเป็น '1010' แต่ถ้ามีสัญญาณรบกวน(รูปที่ 3.4) จะได้ '1011' และมีพื้นผิวปิดขนาดใหญ่ ดังนั้นเป้าหมายคือนำพื้นผิวปิดนั้น ไปเชื่อมต่อกับด้านที่ปิดให้เป็นเปิดเพราะคาดว่าด้านนั้นเป็นปิดเพราะเกิดสัญญาณรบกวน (Noise) นั่นเอง ซึ่งพิจารณาโดยรวมแล้วมี 4 วิธีคือ

1. ปรับ E1 ให้เป็น '0' → '0011'
2. ปรับ E1 ให้เป็น '0' → '1011'
3. ปรับ E3 ให้เป็น '0' → '1001'
4. ปรับ E4 ให้เป็น '0' → '1010'

ซึ่งจะเห็นว่า วิธีที่ 1, 3 เป็นไปไม่ได้เพราะเมื่อปรับแล้ว โครงอักษรที่ได้ไม่อยู่ในกลุ่มอักษรภาษาไทย (ดูรูปที่ 3.19 ประกอบ) มีเพียงวิธีที่ 2, 4 เท่านั้นที่เป็นกลุ่มอักษรภาษาไทย แต่จะตัดสินอย่างไรว่าควรจะปรับให้เป็นกลุ่มใด ระหว่างนำพื้นผิวปิด (Close Area) ไปรวมกับ Link AB (วิธีที่ 2) หรือ นำพื้นผิวปิด (Close Area) ไปรวมกับ Link CD (วิธีที่ 4)

จากเหตุผลดังกล่าว ถ้าพิจารณาในส่วนของ Link AB กับพื้นผิวปิด (Close Area) โดยนำไปเทียบกับ V1 ถ้าพบว่าค่าที่น้อยที่สุดในส่วนของ Link AB มีค่าน้อยกว่าค่าสูงสุดในส่วนของพื้นผิวปิดที่กำลังพิจารณา จะเรียกกรณีนี้ว่า Link AB มีส่วนซ้อนทับกับพื้นผิวปิดในแนวแกนนอน เมื่อพบลักษณะนี้ ให้นำพื้นผิวปิดไปเชื่อมต่อกับ Link CD โดยเลือกจุดที่ใกล้ที่สุด อักษรที่พบคือ ณ, ฌ, ฒ กล่าวคือใช้วิธีที่ 4

แต่ถ้าพบว่า Link AB ไม่มีส่วนใดซ้อนทับกับพื้นผิวปิดในแนวแกนนอน กล่าวคือ เมื่อนำ Link AB และพื้นผิวปิด ไปเทียบกับ V1 แล้วพบว่าค่าต่ำสุดของ Link AB มีค่ามากกว่า ค่าสูงสุดของพื้นผิวปิดที่กำลังพิจารณา จะเรียกกรณีนี้ว่า Link AB ไม่มีส่วนซ้อนทับกับพื้นผิวปิดในแนวแกนนอน เมื่อพบลักษณะนี้ ให้นำพื้นผิวปิดไปเชื่อมต่อกับ Link AB โดยเลือกจุดที่ใกล้ที่สุด ลักษณะอักษรที่พบแบบนี้ คือ ข, ช, ซ กล่าวคือใช้วิธีที่ 2

ดังนั้น ถ้านำ Link AB เทียบกับพื้นผิวปิด โดยใช้กับ V1 แล้ว พบว่า

- มีลักษณะซ้อนทับกันมากจะนำ พื้นผิวปิด ไปเชื่อมกับ Link CD
- มีลักษณะซ้อนทับกันน้อยจะนำ พื้นผิวปิด ไปเชื่อมกับ Link AB

โดยพิจารณาจุดเชื่อมต่อที่ใกล้ที่สุด

แต่จากการศึกษาทดลอง พบว่ามีตัวอักษรอยู่หลายตัว หลายแบบ ที่จะต้องทำการขจัดสัญญาณรบกวนเหล่านั้นออกไปก่อนที่จะทำการรู้จำอักษร ซึ่งวิธีการพิจารณาจะแตกต่างกันไปตามแต่กรณี โดยสามารถนำคุณลักษณะของพื้นผิวปิดมาประกอบการพิจารณาเช่น ตำแหน่ง

ของพื้นผิวปิด และแผนภาพของพื้นผิวปิด ซึ่งจากตัวอย่างอักษร 'ฌ' เมื่อใช้ Close Area Map Algorithm แล้วจะได้ Close Area Map (CAM)= '000-010-110' และพื้นผิวปิดขนาดใหญ่อยู่ใน ตำแหน่งที่ 5 ของแผนภาพพื้นผิวปิด ซึ่งสามารถนำคุณลักษณะเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการขจัด สัญญาณรบกวนได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้เสนอวิธีการขจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้แผนภาพพื้นผิวปิด และจะนำเสนอโดยละเอียดในบทถัดไป

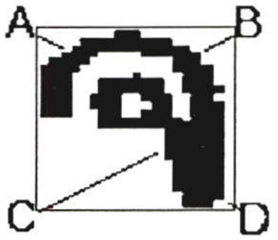
3.2.5 **คุณลักษณะเฉพาะกลุ่มอักษร** (Local Feature)

เมื่อแบ่งอักษรออกเป็นกลุ่มหลักๆ แล้ว คุณลักษณะเฉพาะของแต่ละกลุ่มอักษรจะ แตกต่างกัน ดังนั้นวิธีการตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะกลุ่มก็จะแตกต่างกันด้วย ในบทนี้จะรวบ รวมคุณลักษณะเฉพาะกลุ่มที่สำคัญๆ ส่วนวิธีการตรวจสอบคุณลักษณะเหล่านั้นจะได้อธิบายและ แสดงรายละเอียดในบทถัดไป

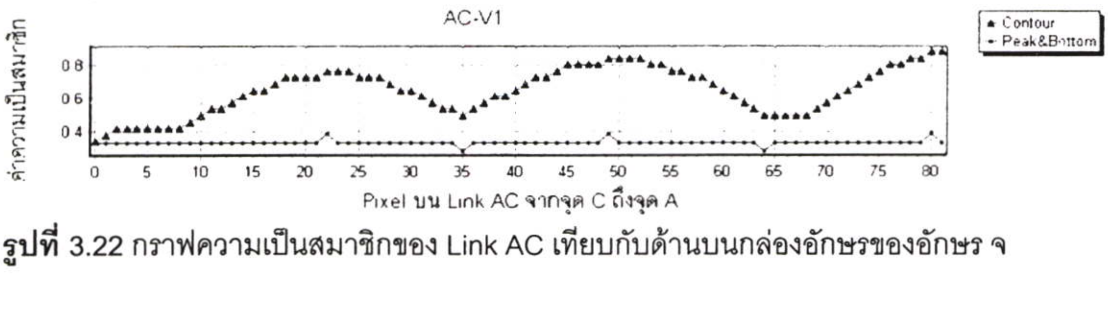
คุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม (Local Feature) ที่สำคัญมีดังนี้

3.2.5.1 AC Up & Down

พิจารณาขอบด้านซ้ายของตัวอักษร (E_1) ว่าขอบอักษรมีลักษณะการขึ้น-ลงหรือไม่ โดยเขียนกราฟความเป็นสมาชิกของ Link AC กับด้านบนของกล่องอักษร ซึ่งอักษร ง, อ, จ, ฮ, ฉ จะได้กราฟขึ้น-ลง-ขึ้นชัดเจน (รูปที่ 3.21) ส่วนตัวอักษรอื่นๆ จะได้กราฟขึ้นอย่างเดียว ลักษณะดัง กล่าวจึงใช้เป็นคุณลักษณะที่ใช้ตรวจสอบอักษร ง, อ, จ, ฮ, ฉ โดยเฉพาะ



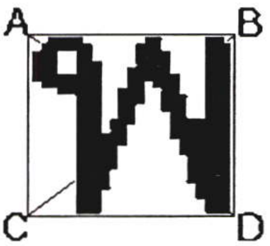
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างภาพอักษร จ



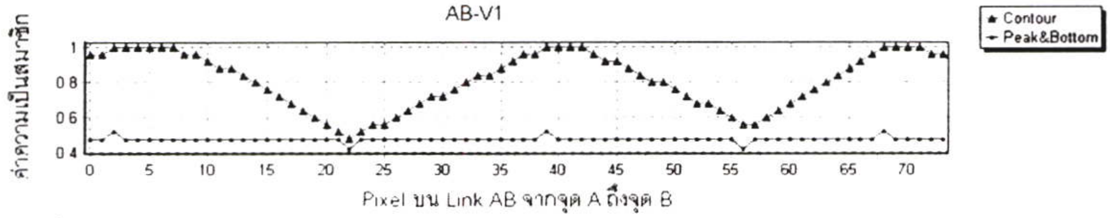
รูปที่ 3.22 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link AC เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร จ

3.2.5.2 AB Peak

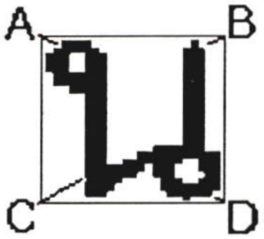
พิจารณาด้านบนของตัวอักษร (E2) ว่าขอบอักษรมีการขึ้น-ลงกี่จุด โดยเขียนกราฟความเป็นสมาชิกของ Link AB กับด้านบนของกล่องอักษร ซึ่งอักษร พ, ฟ, ผ, ฝ จะได้กราฟขึ้นลงที่มีจุดต่ำ 2 จุด (รูปที่ 3.24) ส่วนตัวอักษรอื่นๆ จะได้กราฟขึ้นลงที่มีจุดต่ำเพียง 1 จุด (รูปที่ 3.26) ลักษณะดังกล่าวจึงใช้เป็นคุณลักษณะที่พิจารณาอักษรเช่น พ, ฟ, ผ, ฝ, บ, ป เป็นต้น



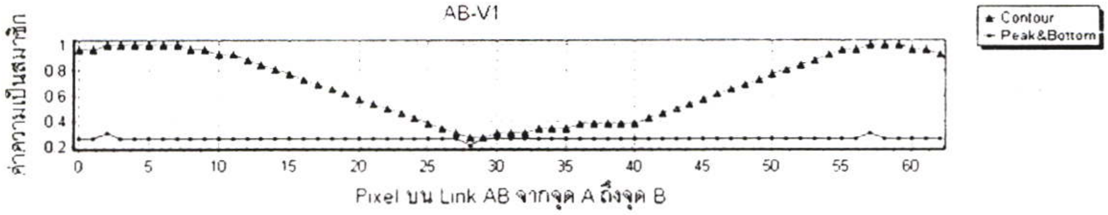
รูปที่ 3.23 ตัวอย่างภาพอักษร พ



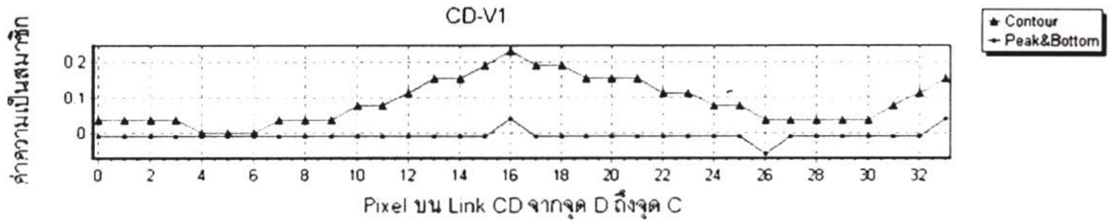
รูปที่ 3.24 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link AB เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร พ



รูปที่ 3.25 ตัวอย่างภาพอักษร น



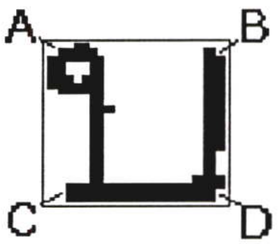
รูปที่ 3.26 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link AB เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร น



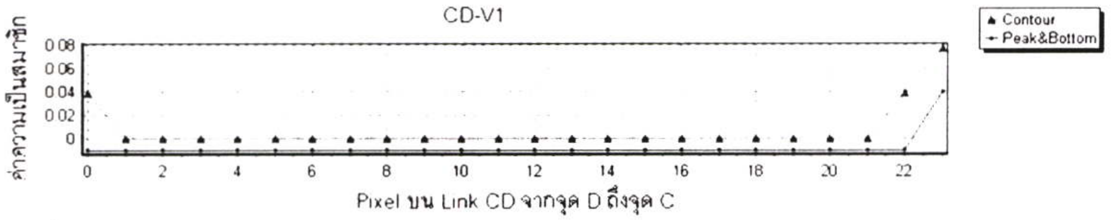
รูปที่ 3.27 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link CD เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร น

3.2.5.3 CD Peak

พิจารณาด้านล่างของตัวอักษร (E_4) ว่าขอบอักษรมีการขึ้น-ลงกี่จุด โดยเขียนกราฟความเป็นสมาชิกของ Link CD กับด้านบนของกล่องอักษร ซึ่งอักษร ม, น จะได้กราฟขึ้นลงที่มีจุดสูง 1 จุด (รูปที่ 3.27) ส่วนตัวอักษรอื่นๆ เช่น บ, ป จะได้กราฟขึ้นลงที่ไม่มีจุดสูง (รูปที่ 3.29) ลักษณะดังกล่าวจึงใช้เป็นคุณลักษณะที่พิจารณาอักษรเช่น ม, น, บ, ป เป็นต้น



รูปที่ 3.28 ตัวอย่างภาพอักษร บ



รูปที่ 3.29 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link CD เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร บ

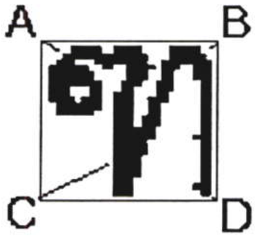
3.2.5.4 CD Base

ลักษณะอักษร ญ จะมีลักษณะพิเศษกว่าอักษรอื่นๆ คือ ฐาน ญ จะมีลักษณะฐานที่กว้างกว่าปกติ จึงสามารถนำคุณลักษณะเฉพาะนี้ เพื่อใช้ในการคัดแยกอักษร ญ ได้อย่างถูกต้อง

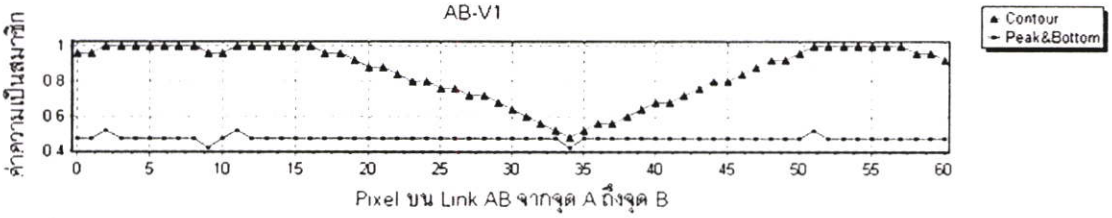
3.2.5.5 Broken Head (B-Head)

เป็นลักษณะของอักษรหัวแตกซึ่งลักษณะอักษรภาษาไทยหลายตัวที่มีลักษณะแตกต่างกันเพียงคุณลักษณะหัวแตกนี้เช่น ท-ฑ, ซ-ฆ, ม-ฆ เป็นต้น ตำแหน่งของลักษณะอักษรหัวแตกจะอยู่ด้านบนของตัวอักษร (E_1) ซึ่งสามารถใช้ Link AB มาตรวจสอบลักษณะอักษรหัวแตกนี้ได้

โดยเขียนกราฟความเป็นสมาชิกของ Link AB กับด้านบนของกล่องอักษร ซึ่งอักษร ฑ จะได้กราฟที่มีขึ้นลงในส่วนของหัวแตก (รูปที่ 3.31) มากกว่ากราฟที่สร้างจากอักษร ท (รูปที่ 3.3) เพราะไม่มีส่วนหัวแตก เป็นต้น



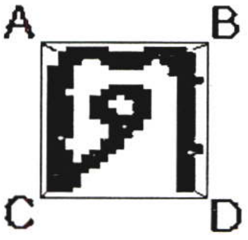
รูปที่ 3.30 ตัวอย่างภาพอักษร ฑ



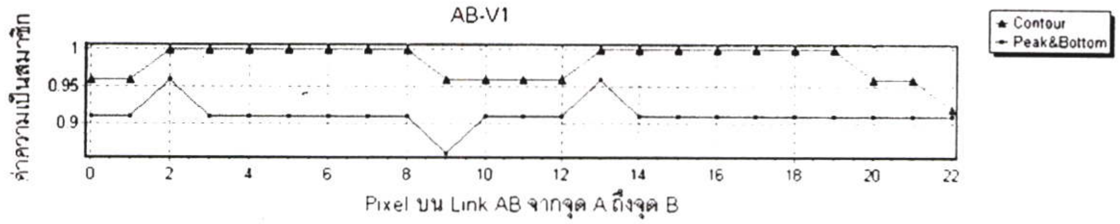
รูปที่ 3.31 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link AB เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร ฑ

3.2.5.6 Broken Back (B-Back)

เป็นลักษณะของอักษรหลังแตก ซึ่งลักษณะอักษรภาษาไทยหลายตัวที่มีลักษณะแตกต่างกันเพียงคุณลักษณะหลังแตกนี้เช่น ด-ต, ฒ เป็นต้น ตำแหน่งของลักษณะอักษรหลังแตกจะอยู่ด้านบนของตัวอักษร (E_1) ซึ่งสามารถใช้ Link AB มาตรวจสอบลักษณะอักษรหลังแตกนี้ได้ (รูปที่ 3.33)



รูปที่ 3.32 ตัวอย่างภาพอักษร ต



รูปที่ 3.33 กราฟความเป็นสมาชิกของ Link AB เทียบกับด้านบนกล่องอักษรของอักษร ต

3.2.5.7 Head (q,p,-)

มีลักษณะเป็นหัวอักษรแบบ q หรือแบบ p ลักษณะของหัวอักษรจะเป็นได้เพียงอย่างใด อย่างหนึ่ง หรือไม่ใช่ทั้ง 2 อย่าง ตำแหน่งของหัวอักษรแบบนี้ เกิดขึ้นในตำแหน่งที่แตกต่างกัน เช่น อักษร พ, ผ, ฝ (Frame='1010') ตำแหน่งที่เกิดของหัวอักษรจะอยู่บริเวณ ด้านบนซ้ายมือ แต่อักษร ด, ต, ค (Frame='1110') ตำแหน่งที่เกิดของหัวอักษรจะอยู่บริเวณ ตรงกลาง ซึ่งจากโครงอักษร (Char Frame) ทำให้ทราบแน่ชัดว่า การตรวจสอบคุณลักษณะของหัวอักษรต้องใช้อัลกอริทึมที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของงานวิจัยนี้ที่ทำให้การรู้จำอักษรมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.2.5.8 Head (d,b,-)

มีลักษณะเป็นหัวอักษรแบบ d หรือแบบ b ลักษณะของหัวอักษรจะเป็นได้เพียงอย่างใด อย่างหนึ่ง หรือไม่ใช่ทั้ง 2 อย่าง ตำแหน่งของหัวอักษรแบบนี้ เกิดขึ้นในตำแหน่งที่แตกต่างกัน เช่น อักษร ภ, ถ, ก (Frame='1110') ตำแหน่งที่เกิดของหัวอักษรจะอยู่บริเวณ ด้านล่างซ้ายมือ แต่อักษร ร, ว, เ (Frame='1101', '0111') ตำแหน่งที่เกิดของหัวอักษรจะอยู่บริเวณ ด้านล่างตรงกลาง ซึ่งจากโครงอักษร (Char Frame) ทำให้ทราบแน่ชัดว่า การตรวจสอบคุณลักษณะของหัวอักษรต้องใช้อัลกอริทึมที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของงานวิจัยนี้ที่ทำให้การรู้จำอักษรมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.2.5.9 Loop Trail

อักษร ฬ มีลักษณะพิเศษคือ หางอักษรจะมีการม้วนหางเป็นวงกลม ดังนั้นจะตรวจสอบโดยเชื่อม Link AB และ Link BD เป็นเส้นเดียวกัน และเขียนกราฟความเป็นสมาชิกกับด้านบนของกล่องอักษร และตรวจสอบลักษณะการขึ้นลงของกราฟ ซึ่งลักษณะของอักษร ฬ จะมีกราฟขึ้นลงที่มากกว่าอักษรอื่นๆ

3.2.5.10 Trail

หางอักษรเป็นส่วนเพิ่มเติมของอักษรบางตัว เพื่อสร้างอักษรใหม่ ถ้าหางอักษรนั้นยาวเกินไปอยู่ใน Upper Zone หรือ Lower Zone ก็สามารถค้นพบได้โดยคุณลักษณะ Ascending

หรือ Descending อยู่แล้ว แต่หางอักษรบางตัว หรือบางแบบอักษรก็อยู่บริเวณ Center Zone ซึ่งต้องใช้ Link AB และ Link BD ประกอบกัน เพื่อค้นหาลักษณะของ Trail ให้ถูกต้อง เช่น อักษร ช, ซ โดยปกติหางอักษรจะยาวไปถึง upper zone แต่แบบอักษรบางแบบ อักษร ช, ซ จะหยักเพียงเล็กน้อย เพื่อแสดงเป็นลักษณะของหาง และจะไม่ยาวเลยไปถึงส่วนของ upper zone ดังนั้นจึงต้องมีอัลกอริทึ่มพิเศษเพื่อช่วยในการตรวจสอบคุณลักษณะนี้มากขึ้น

3.2.5.11 Ascending

โดยปกติตัวอักษรจะอยู่ในบริเวณ Lower Bound ถึง Upper Bound แต่ถ้ามีบางส่วนของตัวอักษรอยู่เลยขึ้นไปบน Upper Bound จะกำหนดให้ Ascending เป็นจริง นอกนั้นเป็น เท็จ

3.2.5.12 Descending

โดยปกติตัวอักษรจะอยู่ในบริเวณ Lower Bound ถึง Upper Bound แต่ถ้ามีบางส่วนของตัวอักษรอยู่ต่ำกว่า Lower Bound จะกำหนดให้ Descending เป็นจริง นอกนั้นเป็น เท็จ

3.2.5.13 AB,CD compare

ใช้ตรวจสอบอักษร ณ-ฌ และ น-ม ในที่นี้จะพิจารณาอักษร น-ม เป็นหลัก ส่วนอักษร ณ-ฌ ใช้วิธีการเดียวกันแต่อาจปรับเปลี่ยนเพียงเล็กน้อย

อักษร น-ม มีลักษณะที่ต่างกันคือ ม-จะมีวงกลมอยู่ทางด้านหน้าเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งวง แต่สำหรับ น-วงกลมนั้นจะอยู่ทางด้านหลังของอักษร แต่วิธีการหาวงกลมของอักษรนั้นมีความซับซ้อน และมีความผิดพลาดสูง จึงอาจทำให้การรู้จำผิดพลาดด้วย ในที่นี้จะพิจารณาผลที่เกิดจากการสร้างวงกลมแทน การสร้างวงกลมบริเวณไหน จะทำให้ขอบอักษรบริเวณนั้นสูงขึ้น กว่าอีกด้านที่ไม่ได้สร้างวงกลม สามารถจับความแตกต่างนี้ได้โดยใช้ Link AB กับ Link CD

3.2.5.14 AC,CD compare

เป็นคุณลักษณะเพื่อใช้ตรวจสอบอักษร ท ห ลักษณะอักษร ท ห แตกต่างกันตรงที่ ห จะมีวงกลมอยู่ทางด้านหลัง 1 วงด้วย แต่ ท ไม่มี เช่นเดียวกันการตรวจสอบวงกลมมีความผิดพลาดสูง เพราะอักษรแต่ละแบบ มีลักษณะวงกลมที่ไม่เหมือนกัน ในที่นี้จึงใช้การเกิดของวงกลมมาช่วยในการ classify โดยพยายามเปรียบเทียบขนาดของวงกลมที่ใช้สร้างหัวอักษรกับขอบอักษรบริเวณที่อาจมีวงกลม โดยใช้ Link AC กับ Link CD เพื่อเปรียบเทียบค้นหาว่าจะเป็นอักษร ท หรืออักษร ห

3.2.5.15 AB parallel

ลักษณะของอักษร ข บ มีลักษณะที่คล้ายกันมากคือ มีลักษณะการลากเส้นลง และขึ้นให้ขนานกัน แต่ต่างกันตรงที่ เส้นคู่ขนานนั้น มีขนาดกว้าง หรือแคบ ถ้าแคบเป็นลักษณะของ

อักษร ข แต่ถ้ากว้างก็เป็นลักษณะของอักษร บ และอาจมีรายละเอียดบางอย่างเพิ่มเติมของอักษร ข เช่น อักษร ข จะมีการเขียนม้วนหัวอักษรมากกว่า บ ถึงแม้ว่าจะเป็นการเขียนหัวแบบ q เหมือนกัน แต่ลักษณะการเขียนหัวอักษร ข ที่เขียนม้วนหัวมากกว่าปกติ จึงเป็นเหตุให้การสร้างเส้นลงและขึ้นอาจไม่เป็นเส้นขนาน ถ้าตรวจสอบได้ว่าเส้นลงและขึ้นนั้น ไม่เป็นคู่ขนาน ก็สรุปได้ว่าไม่ใช่ บ มีลักษณะเป็น ข มากกว่า การตรวจสอบการขนานกันของเส้นลง และขึ้น สามารถใช้ Link AB ตรวจสอบได้

3.2.5.16 CD Lower Zone

เป็นคุณลักษณะที่ใช้ตรวจสอบอักษร ฎ-ฏ-ฤ-ฦ ซึ่งมีลักษณะลากหางยาวไปถึงบริเวณ Lower Zone และมีลักษณะที่แตกต่างกันไป อักษร ฎ-ฏ มีลักษณะที่ลากหางยาวลงไปบริเวณ Lower Zone และมีการลากเป็นวงกลมหนึ่งวง ซึ่งในส่วนนี้สามารถแยกลักษณะออกจากอักษร ฤ-ฦ ได้

อักษร ฤ-ฦ มีลักษณะลากหางยาวลงไปธรรมดา แต่อักษร 2 ตัวนี้ มีความแตกต่างกันที่หัวอักษรเป็นแบบ d หรือแบบ b จึงใช้ลักษณะหัวอักษรเพื่อตรวจสอบอักษร 2 ตัวนี้

อักษร ฎ-ฏ มีลักษณะลากหางยาวลงไปในส่วน Lower Zone และลากหางขึ้นไปทางด้านซ้ายแล้วสร้างเป็นวงกลม 1 วงหมุนทวนเข็มนาฬิกาเหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่ อักษร ฏ จะลากหยัก 1 ครั้ง ก่อนที่จะสร้างเป็นวงกลม แต่อักษร ฎ ลากเป็นวงกลมโดยไม่ต้องหยัก ในส่วนนี้สามารถใช้ Link CD ร่วมกับ PB Algorithm เพื่อตรวจสอบการขึ้นลงของการสร้างหยักได้ ซึ่ง PB Algorithm สามารถแยกแยะการขึ้นลงที่เกิดจาก noise กับ การขึ้นลงที่เกิดจากการหยักของอักษรได้เป็นอย่างดี ทำให้การตรวจสอบคุณลักษณะของอักษรมีความถูกต้องสูง

3.3 **การรู้จำอักษรภาษาไทย** (Thai Character Recognition)

จากที่อักษรภาษาไทยมี 4 ระดับ คือ ระดับเหนือบน (Above Upper) ระดับบน (Upper) ระดับกลาง (Center) และระดับล่าง (Lower) ซึ่งทราบระดับอักษรจากการหาบรรทัดอักษร (หัวข้อ 3.2.1) ในขั้นตอนการรู้จำอักษรนี้จึงใช้อัลกอริทึ่มที่ต่างกันในแต่ละระดับ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีหลักๆ ในการรู้จำอักษร 2 วิธี คือ

1. ใช้วิธีพิจารณาโครงสร้างอักษร (Structural Method) ซึ่งวิธีนี้จะใช้คุณลักษณะหลัก และคุณลักษณะเฉพาะกลุ่มในการรู้จำอักษร ถ้าคุณลักษณะอักษรไม่ใช่เป้าหมายของการรู้จำโดยวิธีนี้ อักษรนั้นจะถูกรู้จำโดยวิธีที่ 2 ต่อไป

2. ใช้โครงข่ายประสาทเทียม แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Backpropagation Neural Network)

3.3.1 **วิธีพิจารณาโครงสร้างอักษร** (Structural Method)

วิธีนี้จะใช้คุณลักษณะหลักอักษร (Global Feature) ในการเลือกอัลกอริทึ่มที่จะนำมาใช้ในการรู้จำตัวอักษรซึ่งในแต่ละกลุ่มหลักก็จะใช้คุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม (Local Feature) ที่แตกต่างกันตามความเหมาะสม ซึ่งลำดับขั้นในการตัดสินใจ เลือกการตัดสินใจที่มีความถูกต้องสูงในลำดับต้นๆ เพื่ออัตราในการรู้จำตัวอักษรจะมีความถูกต้องสูงด้วย เพื่อให้การนำเสนองานวิจัยนี้มีความกระทัดรัด จึงแสดงแผนภาพการรู้จำอักษรในแต่ละกลุ่มในภาคผนวก ง.

3.3.2 **ใช้โครงข่ายประสาทเทียม**

การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ในงานวิจัยนี้ใช้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Backpropagation) โดยมีโครงข่ายประสาทเทียม 2 ชุด เพื่อใช้รู้จำอักษรระดับบน และระดับเหนือบน 1 ชุด ส่วนอีกชุดหนึ่งใช้สำหรับรู้จำอักษรระดับกลางที่นอกเหนือจากความสามารถรู้จำของวิธีพิจารณาโครงสร้างข้างต้น

3.3.2.1 **ข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม**

ในงานวิจัยนี้ เป็นการรู้จำภาพอักษร ซึ่งต้องเปลี่ยนคุณลักษณะภาพอักษรมาเป็นตัวเลข เพื่อให้สามารถนำไปเป็นข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้ และรู้จำคุณลักษณะภาพอักษรเหล่านั้นได้ โดยเลือกคุณลักษณะเฉพาะที่สำคัญๆ เพื่อให้การเรียนรู้ และการรู้จำของโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกนำข้อมูลเข้าโครงข่ายประสาทเทียมที่สำคัญๆ ดังนี้

1) Subsegment

แบ่ง Link เป็นส่วนๆ เช่น Link AB จะถูกแบ่งออกเป็น n ส่วนเท่าๆ กัน นำค่าของจุดแบ่งส่วนแต่ละจุด ไปเป็นค่าข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะได้ n ค่า เพราะลักษณะการเชื่อมโยงในแต่ละด้านของอักษรมีลักษณะเฉพาะแต่ละอักษร จึงใช้ลักษณะการเชื่อมโยงนี้เป็นข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้รู้จำแต่ละอักษร

2) Ratio

อัตราส่วนระหว่างความกว้างหารด้วยความสูงของตัวอักษร (x/y) เพราะอักษรแต่ละตัวมีอัตราส่วนความกว้าง และความสูงที่แตกต่างกัน จึงใช้คุณลักษณะนี้ เป็นข้อมูลเข้าให้กับโครงข่ายประสาทเทียมในการรู้จำตัวอักษร

3) Frame

ลักษณะหลักของอักษรที่ใช้คือ ด้านทั้ง 4 ของอักษร (ด้านซ้าย, ด้านบน, ด้านขวา และด้านล่าง)ของอักษร ซึ่งจะมีลักษณะเปิด หรือปิด (3.2.3 คุณลักษณะหลักของอักษร

(Global Feature)) สามารถนำคุณลักษณะนี้เป็นข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมโดย ด้านที่มีลักษณะเปิด มีค่าเป็น 0 และด้านที่มีลักษณะปิดมีค่าเป็น 1

4) Close Area Map

ในอักษรภาษาไทยมักมีพื้นผิวปิด จึงสามารถนำตำแหน่งของพื้นผิวปิดมาเป็นข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมนี้ได้ (วิธีการกำหนดตำแหน่งพื้นผิวปิดดูภาคผนวก ก.2) โดยนำแต่ละตำแหน่งมาเป็นข้อมูลเข้าโครงข่ายประสาทเทียม ถ้ามีพื้นผิวปิดกำหนดให้เป็น 1 ถ้าไม่มีพื้นผิวปิดกำหนดให้เป็น 0

3.3.2.2 **โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม**

ในงานวิจัยนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียม 2 ชุด เพื่อใช้การเรียนรู้ และรู้จำอักษรในแต่ละกลุ่มอักษรที่เหมาะสม แต่ละชุดมีโครงสร้าง และเป้าหมายการรู้จำอักษรดังนี้

1) Central Net

เป็นโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับใช้รู้จำอักษรระดับกลางที่นอกเหนือจากการรู้จำโดยวิธีพิจารณาโครงสร้าง โดยมีโครงสร้างดังตารางที่ 3.1 ซึ่งมีจำนวนข้อมูลเข้า (Input Layer) จำนวน 35 โหนด ดังมีรายละเอียดของข้อมูลเข้าดังตารางที่ 3.2 แต่สำหรับกลุ่มอักษรกลุ่มนี้มีคุณลักษณะพิเศษคือ มีอักษร 3 ตัว ('ไไโ') ที่มีคุณลักษณะ Ascending ซึ่งสามารถนำคุณลักษณะที่แตกต่างนี้มาเป็นเงื่อนไขในการเลือกนำข้อมูลเข้าดังนี้

- ถ้าคุณลักษณะ Ascending เป็นจริง ให้นำ Link AB มาแบ่งส่วน 35 ส่วน ตามวิธี Subsegment และนำค่าทั้ง 35 ค่าเป็นข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมชุดนี้
- ถ้าคุณลักษณะ Ascending เป็นเท็จ ใช้ข้อมูลเข้าปกติ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

Parameter	Central Net	Upper Net
Input Layer	35	34
Hidden Layer	60	50
Ouput Layer	11	12
Transfer function	Sigmoid	Sigmoid
Output Character	าไไโฯๆ14567	ั ิ ี ึ ื ่ ้ ๊ ๋ ็ ํ ์

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม

Feature	Central Net	Upper Net
Subsegment Link AC	10	5
Subsegment Link AB	10	5
Subsegment Link BD	5	5
Subsegment Link CD	5	5
Ratio	1	1
Frame	4	4
Close Area Map	-	9
Total	35	34

2) Upper Net

เป็นโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับรู้จำอักษรระดับบน และระดับเหนือบน โดยมีโครงสร้างดังตารางที่ 3.1 และมีจำนวนข้อมูลเข้า (Input Layer) จำนวน 34 โหนด ดังมีรายละเอียดข้อมูลเข้าดังตารางที่ 3.2

3.4 สรุป

ในบทนี้ อธิบายถึงการทำงานหลักๆ ที่ใช้ในการรู้จำอักษร เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการโดยรวม ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

- การเตรียมการก่อนการกำหนดคุณลักษณะ (Prepare Feature)
- คุณลักษณะหลักของอักษร (Global Feature)
- การขจัดสัญญาณรบกวน (Noise Cleaning Process)
- คุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม (Local Feature)
- การรู้จำอักษรภาษาไทย (Thai Character Recognition)

และในบทถัดไปจะอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติม ในหัวข้อคุณลักษณะหลักของอักษร การขจัดสัญญาณรบกวน และคุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม เพื่อให้งานวิจัยฉบับนี้สื่อความหมายได้ครบถ้วนต่อไป

บทที่ 4
กรรมวิธีการกำหนดคุณลักษณะอักษร

4.1 คุณลักษณะหลักของอักษร (Global Feature)

ลักษณะโดยทั่วไปของตัวอักษรภาษาไทยจะมีลักษณะมีเส้นโค้งมาก ซึ่งทำให้ยากต่อการรู้จำอักษร ในงานวิจัยนี้ จึงแบ่งอักษรออกเป็น 4 ด้าน และกำหนดลักษณะแต่ละด้านเพียงคร่าวๆ ว่ามีลักษณะโค้งเข้าไปกลางอักษรหรือไม่ ดังนั้นแนวความคิดหลักของการกำหนดคุณลักษณะหลัก (Global Feature) นี้ คือ พิจารณาขอบอักษรแต่ละด้านว่ามีลักษณะโค้งเข้าไปภายในส่วนกลางของอักษรลึกมากหรือไม่ โดยยังไม่คำนึงถึงตำแหน่ง หรือทิศทาง ซึ่งในแต่ละด้านจะพิจารณาแตกต่างกันไป โดยมีรายละเอียดการกำหนดคุณลักษณะหลักดังนี้

4.1.1 คุณลักษณะสำคัญ ๆ ในการพิจารณาคุณลักษณะหลัก

4.1.1.1 AC, AB, BD, CD inmost Box

พิจารณาแต่ละการเชื่อมโยง (Link) โดยเลือกจุดที่ลึกเข้าไปในบริเวณกลางอักษรมากที่สุด โดยใช้ Peak & Bottom Algorithm ช่วยในการพิจารณา เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่อาจเกิดจากสัญญาณรบกวน (noise)

4.1.1.2 Overlap AC and AB

พิจารณาจุด AC inmost Box ที่ได้ โดยธรรมดาจุดที่เข้าไปภายในนี้ อาจแสดงคุณสมบัติเปิด หรือปิดได้แล้ว แต่ถ้าค่าที่ได้อาจอยู่ไม่ลึกมาก จึงจำเป็นต้องใช้ค่านี้ เทียบกับ จุดที่ลึกที่สุดของ Link AB ว่ามีการซ้อนทับกันในแนวแกนนอน (แกน x) หรือไม่ ประกอบการพิจารณาอีกต่อหนึ่ง อักษรที่พบ เช่น ข, ช, ซ ที่มักมีหัวอักษรม้วนขนาดใหญ่

4.1.1.3 Height Big Close Area

ขนาดความสูงของพื้นผิวปิดที่ใหญ่ที่สุด อักษรที่พบเช่น ช, ซ โดยที่บริเวณหัวอักษรอาจจะเขียนติดกับหางอักษร ทำให้เกิดพื้นผิวปิดขนาดใหญ่

4.1.1.4 Bottom AB between point A and B

จุดต่ำสุดของการเชื่อมโยง AB (Link AB) จะอยู่ระหว่างจุด A และจุด B เพราะลักษณะโดยทั่วไปของอักษรภาษาไทย ด้านบนของอักษรจะมีลักษณะเว้าไปภายในกลางอักษร เช่น บ, ป, ผ, ฝ, พ, ฟ เป็นต้น

4.1.1.5 Close area at BD inmost Box

ใช้เพื่อตรวจสอบอักษร ฐ, ธ, ร ซึ่งด้านขวาอักษรอาจมีลักษณะปิด ทำให้ด้าน E_3 มีลักษณะการเชื่อมโยงไม่โค้งเข้าไปกลางอักษร และทำให้การกำหนดคุณลักษณะเปิด-ปิด ของด้าน E_3 นี้ผิดพลาด จึงต้องใช้คุณลักษณะนี้ตรวจสอบว่า มีพื้นผิวปิดบริเวณนั้น หรือไม่ เพื่อกำหนดคุณลักษณะเปิด หรือปิดที่ถูกต้องต่อไป

4.1.1.6 AB Peak

จำนวนจุดสูง-ต่ำ ของกราฟที่เขียนจากความเป็นสมาชิกของ Link AB กับด้านบนของกล่องอักษร และใช้ Peak & Bottom Algorithm ช่วยในการกำหนดจำนวนจุดสูง-ต่ำนี้ได้

4.1.1.7 CD Peak

จำนวนจุดสูง-ต่ำ ของกราฟที่เขียนจากความเป็นสมาชิกของ Link CD กับด้านล่างของกล่องอักษร และใช้ Peak & Bottom Algorithm ช่วยในการกำหนดจำนวนจุดสูง-ต่ำนี้ได้

4.1.2 **สัญลักษณ์แผนภาพ**

ในงานวิจัยนี้ ใช้เงื่อนไขต่างๆ ในกำหนดคุณลักษณะของอักษร ซึ่งมีหลายคุณลักษณะต้องใช้เงื่อนไขจำนวนมากจึงจะทราบผลของการกำหนดคุณลักษณะดังกล่าว ดังนั้นเพื่อให้การกำหนดคุณลักษณะมีประสิทธิภาพ และทำความเข้าใจถึงเงื่อนไข และผลของการใช้เงื่อนไขได้โดยง่าย จึงใช้แผนภาพที่แสดงเงื่อนไข และสมาชิกอักษรหลังจากใช้เงื่อนไขนั้นๆ แล้ว ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมาก ในการพิจารณาผลของการกำหนดคุณลักษณะได้อย่างถูกต้อง

สัญลักษณ์แผนภาพที่ใช้ มี 4 แบบแสดงในตารางที่ ข.1

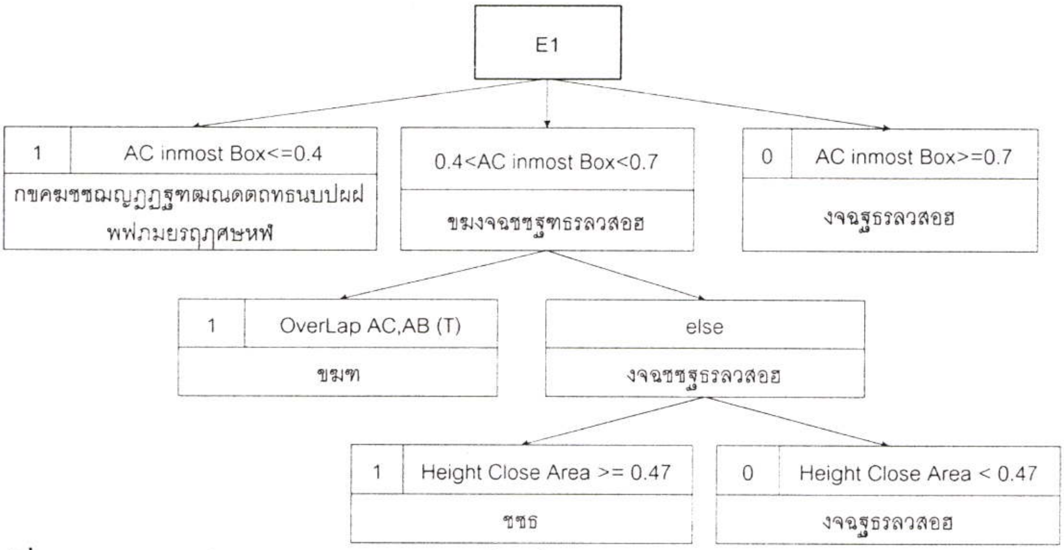
4.1.3 **ด้านซ้ายของอักษร** (E1)

กลุ่มอักษรที่ถูกกำหนดให้ด้านซ้ายเป็นด้านเปิด ('0') หรือ ปิด ('1') แสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งมีอักษร ฐ, ธ, ร เป็นสมาชิกทั้ง 2 กลุ่ม ในกรณีนี้ไม่เป็นอุปสรรคต่อการรู้จำอักษร เพราะเมื่อนำด้านทั้ง 4 ประกอบกัน สามารถจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ ซึ่งได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้แล้ว

ตารางที่ 4.1 สมาชิกอักษรที่พิจารณาขอบอักษรด้านซ้าย (E1)

E1	อักษร
'0'	งจฉ(ฐธร)ลวสอฮ
'1'	กขคฆชซฌญฎฏฑฒณดตถทนบปผฝพฟภมยฤฦศษหฬ (ฐธร)

การพิจารณาด้านซ้ายของอักษร (E1) นี้ จะใช้การเชื่อมขอบอักษร AC (Link AC) เป็นหลัก และอาจใช้ Link AB มาประกอบการพิจารณา แผนภาพการพิจารณาขอบอักษรด้านซ้าย ดูรูปที่ 4.1 ประกอบ



รูปที่ 4.1 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหลัก ด้านซ้าย (E1)

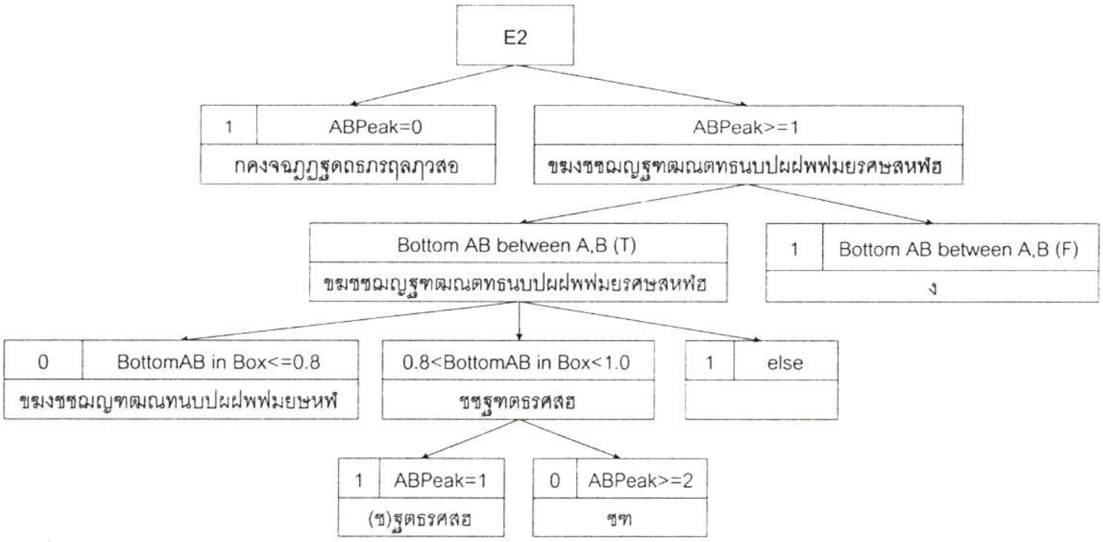
4.1.4 **ด้านบนของอักษร** (E2)

กลุ่มอักษรที่ถูกกำหนดให้ด้านบนเป็นด้านเปิด ('0') หรือ ปิด ('1') แสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งมีอักษร ช, ซ เป็นสมาชิกทั้ง 2 กลุ่ม ในกรณีนี้ไม่เป็นอุปสรรคต่อการรู้จำอักษร เพราะจะถูกทำให้ถูกต้อง ในขั้นตอนการขจัดสัญญาณรบกวนได้

ตารางที่ 4.2 สมาชิกอักษรที่พิจารณาขอบอักษรด้านบน (E2)

E2	อักษร
'0'	ขฆ(ชซ)ฌญฑฒณทนบปผฝพฟมยษหฬ
'1'	กคงจฉ (ชซ) ฎฏฐดตถธภรฤลฦวศสอฮ

การพิจารณาด้านบนของอักษร (E2) นี้ จะใช้การเชื่อมขอบอักษร AB (Link AB) เป็นหลักในการพิจารณา ซึ่งแผนภาพการพิจารณาขอบอักษรด้านบน ดูรูปที่ 4.2 ประกอบ



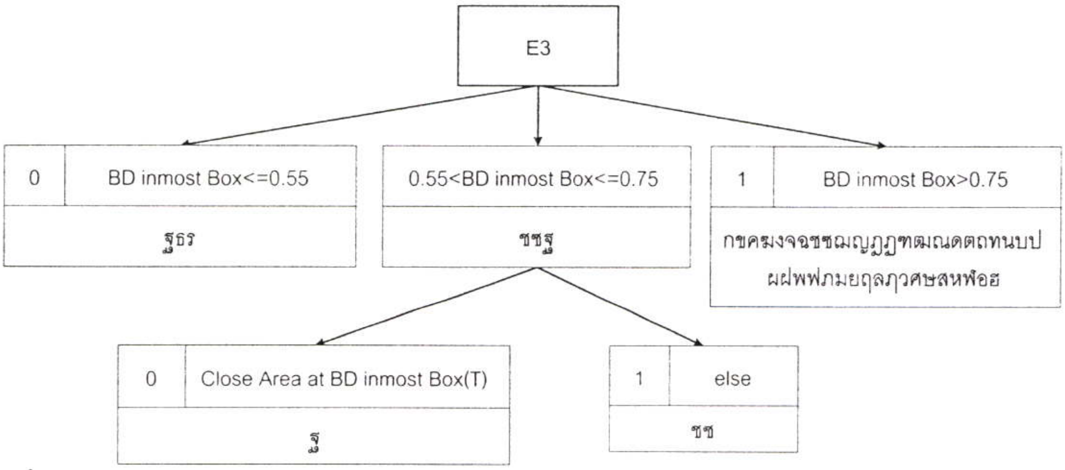
รูปที่ 4.2 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหลัก ด้านบน (E2)

4.1.5 **ด้านขวาของอักษร** (E3)

กลุ่มอักษรที่ถูกกำหนดให้ด้านขวาเป็นด้านเปิด ('0') หรือ ปิด ('1') แสดงในตารางที่ 4.3 การพิจารณาด้านขวาของอักษร (E3) นี้ จะใช้การเชื่อมขอบอักษร BD (Link BD) เป็นหลักในการพิจารณา ซึ่งแผนภาพการพิจารณาขอบอักษรด้านขวา ดูรูปที่ ข.3 ประกอบ

ตารางที่ 4.3 สมาชิกอักษรที่พิจารณาขอบอักษรด้านขวา (E3)

E3	อักษร
'0'	ฐธร
'1'	กขคฆงจฉชซฌญฎฏฑฒณดตถทนบปผฝพฟภมยฤลฦวศษสหฬอฮ



รูปที่ 4.3 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหลัก ด้านขวา (E3)

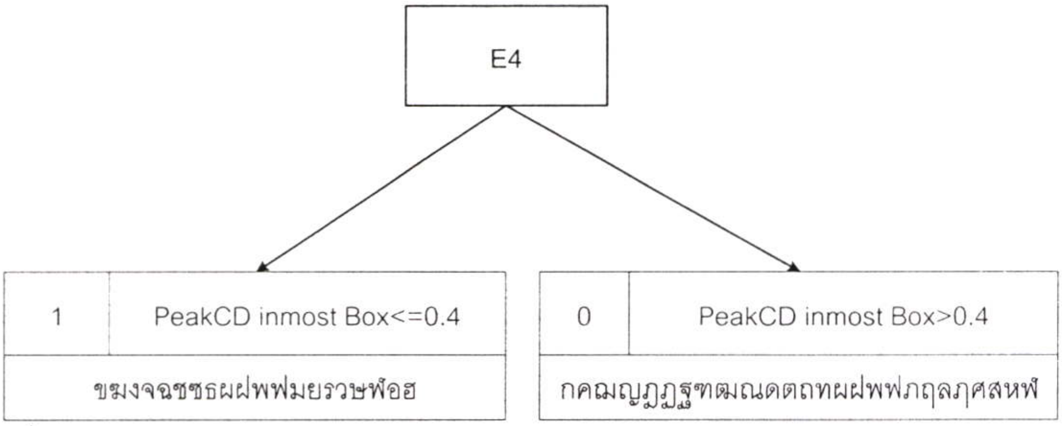
4.1.6 **ด้านล่างของอักษร** (E4)

กลุ่มอักษรที่ถูกกำหนดให้ด้านล่างเป็นด้านเปิด ('0') หรือ ปิด ('1') แสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งมีอักษร ผ, ฝ, พ, ฟ, ฬ เป็นสมาชิกทั้ง 2 กลุ่ม ในกรณีนี้ไม่เป็นอุปสรรคต่อการรู้จำอักษร เพราะสามารถเพิ่มกฎในการรู้จำไว้ทั้ง 2 กลุ่ม เพื่อให้สามารถรู้จำได้อย่างถูกต้อง

ตารางที่ 4.4 สมาชิกอักษรที่พิจารณาขอบอักษรด้านขวา (E4)

E4	อักษร
'0'	กคฒญฎฏฑฒณดตถท (ผฝพฟ) ภฤลฦศสห (ฬ)
'1'	ขฆงจฉชซฐธนบป (ผฝพฟ) มยรวษ (ฬ) อฮ

การพิจารณาด้านล่างของอักษร (E4) นี้ จะใช้การเชื่อมขอบอักษร CD (Link CD) เป็นหลักในการพิจารณา ซึ่งแผนภาพการพิจารณาขอบอักษรด้านล่าง ดูรูปที่ ข.4 ประกอบ



รูปที่ 4.4 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหลัก ด้านล่าง (E4)

4.2 **การขจัดสัญญาณรบกวน** (Noise Cleaning Process)

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ลักษณะอักษรภาษาไทยมีลักษณะโค้ง และมีวงกลมมาก ซึ่งถ้าภาพอักษรมีคุณภาพต่ำ หรือมีสัญญาณภาพรบกวนเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้ขอบอักษรมีลักษณะผิดไป และเกิดมีพื้นผิวปิดขึ้นมาแทน ในงานวิจัยนี้จึงมีกระบวนการขจัดสัญญาณรบกวนนี้ขึ้นมา เพื่อให้ได้คุณลักษณะของอักษรที่ถูกต้อง ก่อนทำการรู้จำอักษร เพื่อให้สามารถใช้อัลกอริทึมเดียวกันในการรู้จำอักษรได้

ในงานวิจัยนี้เสนอ การขจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้คุณลักษณะหลัก (Global Feature) ร่วมกับแผนภาพพื้นผิวปิด (Close Area Map) และตำแหน่งของพื้นผิวปิด (Close Area Position)

จากภาพตัวอย่างอักษรที่มีสัญญาณรบกวน(รูปที่ 3.4) จะได้คุณลักษณะหลัก '1011' และพื้นผิวปิดขนาดใหญ่ (โดยพิจารณาขนาดของพื้นผิวปิดขนาดใหญ่เฉพาะที่มีขนาดมากกว่า 0.4 โดยวัดจากความกว้าง หรือความสูงของพื้นผิวปิด) ซึ่งนำคุณลักษณะที่ได้มาใช้ในการขจัดสัญญาณรบกวนได้ดังนี้

4.2.1 กำหนดแผนภาพพื้นผิวปิด และตำแหน่งพื้นผิวปิด

จากพื้นผิวปิดที่ได้มา ในขั้นตอนการเตรียมคุณลักษณะ ใช้ Close Area Map Algorithm (ดูในภาคผนวก ก.2) จะได้แผนภาพพื้นผิวปิดคือ '000-010-110' และตำแหน่งของพื้นผิวปิดขนาดใหญ่อยู่ในตำแหน่งหมายเลข 5

4.2.2 ตารางในการปรับคุณลักษณะหลัก

นำแผนภาพพื้นผิวปิด และตำแหน่งของพื้นผิวปิด ไปเทียบตารางการขจัดสัญญาณรบกวน โดยใช้แผนภาพพื้นผิวปิด โดยเริ่มจากหาตารางที่มีคุณลักษณะหลัก '1011' และตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5 จากนั้นดูภายในตารางจะพบแผนภาพพื้นผิวปิด '000-010-110' ซึ่งตรงกับคอลัมน์ CD Link (ตารางที่ 4.5) แสดงว่าพื้นผิวปิดขนาดใหญ่ที่พบนั้น มีสัญญาณรบกวนบริเวณ Link CD และในความเป็นจริงถ้าไม่มีสัญญาณรบกวนเหล่านั้น พื้นผิวปิดนี้จะเป็นส่วนหนึ่งของ Link CD ดังนั้นจึงต้องหาจุดเชื่อมต่อที่ใกล้ที่สุดระหว่าง Link CD กับ พื้นผิวปิด และทำการเชื่อม Link CD กับพื้นผิวปิดเข้าด้วยกัน เพื่อให้เหมือนกับว่าไม่มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น และเปลี่ยนคุณลักษณะหลักเป็น '1010' ตามที่กำหนดไว้ในคอลัมน์นั้น

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1011' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5

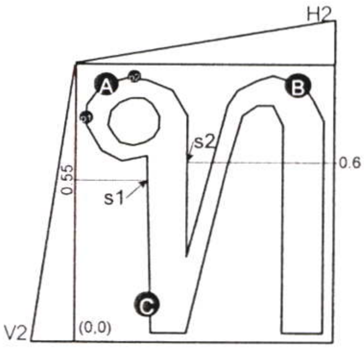
ABLink ('1011')	CDLink ('1010')	Ignore	หมายเหตุ
	000-010-011		ณ
	000-010-101		ณ
	000-010-110		ฌ
	000-010-111		ณ
000-110-000			ข, ฃ
	000-110-110		ฒ

ในงานวิจัยนี้ ได้รวบรวมตารางการปรับคุณลักษณะจากการทดลองกับอักษร 15 แบบ (ตาราง 1.1) ใช้ขนาดอักษร 14 pt, 16 pt ความละเอียดในการสแกน 300dpi, 400dpi และ 600dpi

ทำให้การปรับเปลี่ยนคุณลักษณะหลักครอบคลุมอักษรหลายแบบ หลายขนาด ซึ่งได้แสดงตาราง ทั้งหมดไว้ในภาคผนวก ค.

4.3 **คุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม** (Local Feature)

คุณลักษณะเฉพาะกลุ่มที่ต้องพิจารณาเช่น หัวอักษรแบบหัวออกเขียนลง (q) หัวอักษรแบบหัวเข้าเขียนลง (p) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ นำขอบอักษรมาใช้เป็นคุณลักษณะ โดยขอบอักษรจะมีลักษณะโค้งไป โค้งมาตามลักษณะอักษร ซึ่งการพิจารณาคุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม (Local Feature) นี้ จะพิจารณาว่าจากจุดเริ่มต้น ขอบอักษรลากไปในทิศทางใด ไปทางซ้าย ทางขวา ขึ้นบน หรือลงล่าง เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแผนภาพที่ได้รวบรวมไว้ว่าเป็นคุณลักษณะเฉพาะกลุ่มแบบใด



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างภาพการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม (Local Feature)

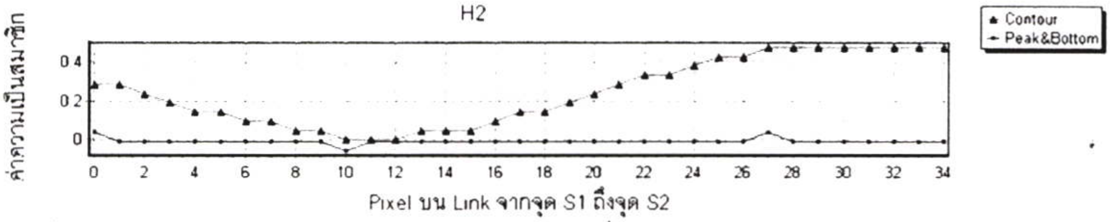
เช่นจากรูปที่ 4.1 กำหนดให้ s1 คือจุดเริ่มต้น และ s2 คือจุดปลาย และนำขอบอักษรจาก s1 ถึง s2 มาพิจารณาหาจุด p1 และ p2 ซึ่งจุด s1, s2, p1 และ p2 สามารถกำหนดได้ดังนี้

s1 กำหนดได้โดยพิจารณา Link AC โดยเริ่มจากจุด C ไปจนพบจุดที่ค่า y=0.55 กำหนดให้เป็นจุด s1

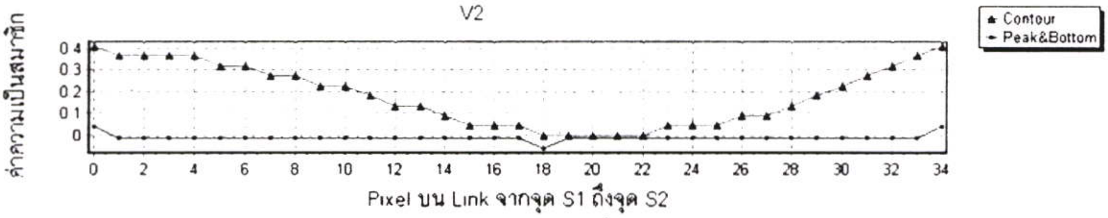
s2 กำหนดได้โดยพิจารณา Link AB โดยเริ่มจากจุด A ไปจนพบจุดที่ค่า y=0.6 กำหนดให้เป็นจุด s2

p1 กำหนดได้โดยพิจารณาการเชื่อมโยงจาก s1 ถึง s2 เขียนกราฟโดยเทียบค่ากับ H2 และใช้ PB Algorithm และจะได้จุดต่ำ 1 จุด และจุดสูง 2 จุด กำหนดให้จุดต่ำคือ จุด p1 และเป็นจุดลำดับที่ 10 นับจากจุดเริ่มต้น (ดูรูปที่ 4.6 ประกอบ)

p2 กำหนดได้โดยพิจารณาการเชื่อมโยงจาก s1 ถึง s2 เขียนกราฟโดยเทียบค่ากับ V2 และใช้ PB Algorithm และจะได้จุดต่ำ 1 จุด และจุดสูง 2 จุด กำหนดให้จุดต่ำคือ จุด p2 และเป็นจุดลำดับที่ 18 นับจากจุดเริ่มต้น (ดูรูปที่ 4.7 ประกอบ)



รูปที่ 4.6 กราฟความเป็นสมาชิกจากจุด S1 ถึง S2 เมื่อเทียบกับด้านขวาของกล่องอักษร



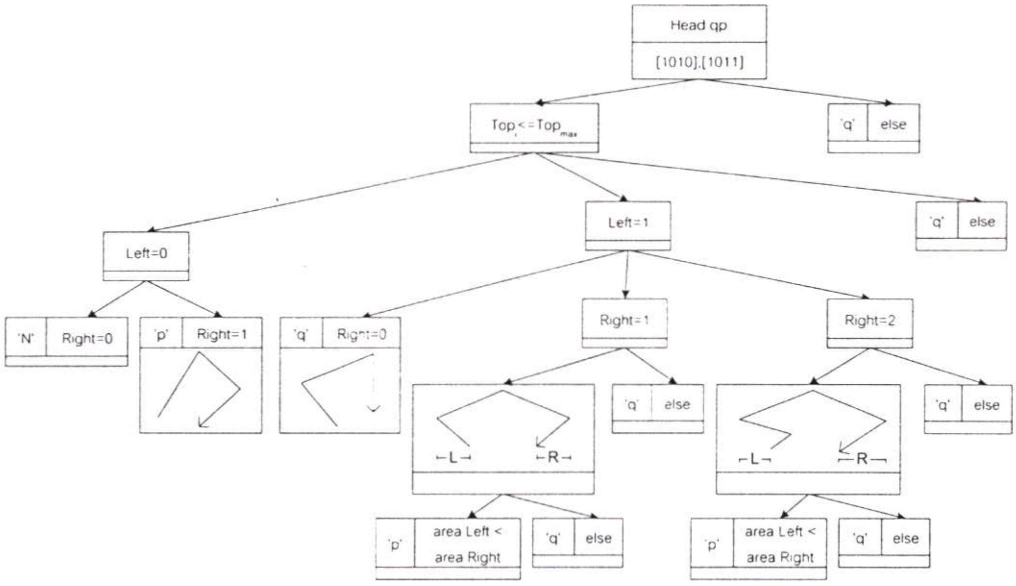
รูปที่ 4.7 กราฟความเป็นสมาชิกจากจุด S1 ถึง S2 เมื่อเทียบกับด้านล่างของกล่องอักษร

จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แกน y คือค่าความเป็นสมาชิก และแกน x คือจุดบนขอบอักษรที่เริ่มจากจุด S1 (ค่า 0) ไปตามขอบอักษรจนพบจุด S2 (ค่า 34)

จากจุดต่างๆ สามารถพิจารณาได้ดังนี้ จากจุดเริ่มต้น (จุด s1 ตำแหน่ง 0) ขอบอักษรลากไปทางซ้าย (จุด p1 ตำแหน่ง 10) แล้วขึ้นบน (จุด p2 ตำแหน่ง 18) และลากลงมาที่จุดปลาย (s2 ตำแหน่ง 34) ซึ่งลักษณะดังตัวอย่างก็พอระบุได้ว่า เป็นลักษณะหัวอักษรแบบหัวออกเขียนลง

ในบทนี้อธิบายการพิจารณาหัวอักษรโดยมีเป้าหมายให้เข้าใจหลักการเบื้องต้น เพื่อให้เนื้อหางานวิจัยมีความกระชับได้ใจความ ซึ่งรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนจะรวบรวมไว้ในภาคผนวก ก.3 Shape Algorithm

จากคุณลักษณะหลักของอักษรคือ '1010' จึงใช้การกำหนดคุณลักษณะหัวอักษรเฉพาะกลุ่ม แบบเฉพาะของ '1010' ได้ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ q, p บริเวณส่วนซ้ายของอักษร

จากรูปที่ 4.8 มีเงื่อนไขต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

Top_1 คือค่า Top ที่ 1 เมื่อเทียบความเป็นสมาชิกกับขอบบนของกล่องอักษร

Top_i คือค่า Top ใดๆ เมื่อเทียบความเป็นสมาชิกกับขอบบนของกล่องอักษร

Left คือจำนวนจุดต่ำจากการหาค่าเมื่อเทียบกับ H1

Right คือจำนวนจุดต่ำจากการหาค่าเมื่อเทียบกับ H2

Area Left คือระยะจากจุดเริ่มต้น ถึงจุด Left โดยเทียบตามแนวแกนนอน

Area Right คือระยะจากจุด Right ถึงจุดสิ้นสุด โดยเทียบตามแนวแกนนอน

จากแผนภาพ และวิธีกำหนดคุณลักษณะข้างต้น เป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งที่กำหนดหัวอักษรเฉพาะคุณลักษณะหลัก '1011' เพื่อให้การศึกษางานวิจัยนี้ได้มีความกระชับ และมีความสมบูรณ์ในเนื้อหาจึงรวบรวมแสดงแผนภาพและวิธีการกำหนดคุณลักษณะต่างๆ ไว้ในภาคผนวก ข.

4.4 สรุป

เนื้อหาอธิบายถึง การกำหนดคุณลักษณะหลักของอักษร การขจัดสัญญาณรบกวน และการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม ซึ่งในแต่ละขั้นตอนใช้วิธีการอธิบายโดยยกตัวอย่างประกอบเพียงตัวอย่างเดียว ไม่สามารถนำยกตัวอย่างอักษรภาษาไทยทั้งหมดมาอธิบายได้ แต่ได้รวบรวมแผนภาพประกอบการพิจารณาที่สำคัญๆ ไว้ในภาคผนวก ซึ่งสามารถใช้หลักการและวิธีการเดียวกันนี้ไปเปรียบเทียบตามแผนภาพ และใช้กำหนดคุณลักษณะต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง

การกำหนดคุณลักษณะหลักของอักษร

- ใช้ Peak & Bottom Algorithm พิจารณาจุดสูง-ต่ำของกราฟ เพื่อหลีกเลี่ยงการขึ้นลงของกราฟที่เกิดจากสัญญาณรบกวนของภาพอักษร
- กำหนดด้านเปิด-ปิด ของแต่ละด้าน (บน, ล่าง, ซ้าย, ขวา) โดยพิจารณาส่วนที่โค้งเข้าไปภายในกลางอักษร และใช้แผนภาพการกำหนดคุณลักษณะประกอบการพิจารณา

การขจัดสัญญาณรบกวน

- ใช้ Close Area Map Algorithm กำหนดแผนภาพพื้นผิวปิด และกำหนดตำแหน่งของพื้นผิวปิดขนาดใหญ่ที่สุดว่าอยู่ตำแหน่งใด ในตาราง 9 ช่อง
- ใช้ตารางปรับคุณลักษณะหลัก เพื่อปรับคุณลักษณะหลักใหม่ให้ถูกต้อง

การกำหนดคุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม

- ใช้ Peak & Bottom Algorithm พิจารณาจุดสูง-ต่ำของกราฟ เพื่อหลีกเลี่ยงการขึ้นลงของกราฟที่เกิดจากสัญญาณรบกวนของภาพอักษร
- ใช้ Shape Algorithm เพื่อพิจารณาลักษณะภาพที่เกิดขึ้น
- กำหนดคุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม โดยใช้แผนภาพการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะกลุ่มประกอบการพิจารณา

ในบทถัดไปจะแสดงผลการทดลองจากการวิจัยฉบับนี้ และเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ หรือโปรแกรมรู้จำอักษรภาษาไทยในเชิงพาณิชย์ที่ออกจำหน่ายในปัจจุบัน

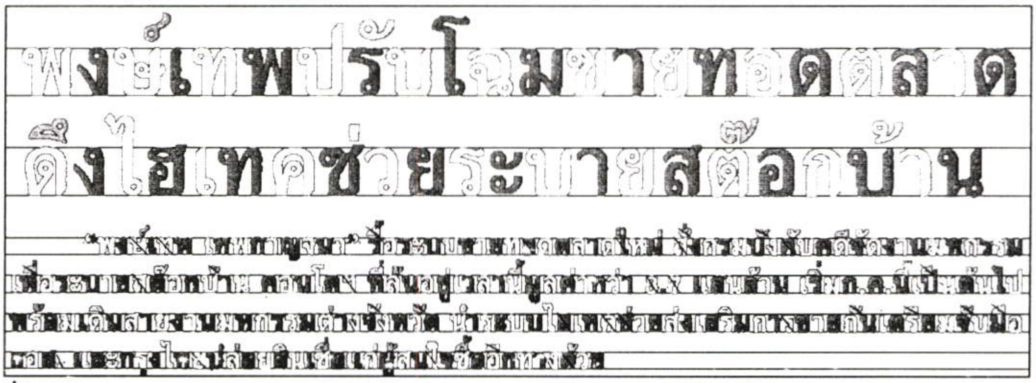
บทที่ 5
ผลการทดลอง

การทดลองการรู้จำอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้วิธีวิเคราะห์โครงสร้างและเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมนี้ ทำการทดลองกับอักษรขนาด 14 pt, 16 pt และ 18 pt ซึ่งถูกสแกนด้วยความละเอียด 200 dpi, 300 dpi และ 600 dpi โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล CPU AMD THUNDERBIRD หน่วยความจำ 128 MB ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 98 โดยใช้โปรแกรม Delphi V5.0 ในการพัฒนาโปรแกรม มีลักษณะภาพเอกสารก่อนการรู้จำ และภาพเอกสารหลังการรู้จำดังแสดงในรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 โดยทำการทดลองในหัวข้อต่อไปนี้

พงษ์เทพปรับโฉมขายทอดตลาด
ดึงไฮเทคช่วยระบายสต๊อกบ้าน

"พงษ์เทพ เทพกาญจนา" รื้อระบบขายทอดตลาดใหม่ สั่งกรมบังคับคดีจัดงานมหกรรมเพื่อระบายสต๊อกบ้าน คอนโดฯ ที่ล้นอยู่เวลานี้มูลค่ากว่า 3.7 แสนล้าน เริ่มก.ค.นี้เป็นต้นไป พร้อมเดินสายงานมหกรรมต่างจังหวัด นำระบบไฮเทคช่วยส่งเสริมการขายกันเตรียมจับมือ ธอส. และกรุงไทยปล่อยสินเชื่อแก่ผู้สนใจซื้ออีกทางด้วย

รูปที่ 5.1 ตัวอย่างภาพเอกสารก่อนการรู้จำอักษร



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างภาพเอกสารหลังการรู้จำอักษร

5.1 การทดลองกับตัวอักษรภาษาไทยทุกตัว

ในการทดลองนี้ใช้บทกลอน ซึ่งมีอักษรภาษาไทยครบทุกตัวอักษร โดยใช้แบบอักษร 15 แบบ ขนาดอักษร 14 pt และ 16 pt พิมพ์ด้วยเครื่อง Laser และทำการสแกนด้วยความละเอียด 300 dpi และ 600 dpi จะได้ภาพเอกสาร 60 ภาพ แล้วนำไปใช้ในการรู้จำอักษร โดยทำการรู้จำกับ

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น (S&N OCR) กับโปรแกรม ArnThai 2.0 เพื่อเปรียบเทียบผลการรู้จำ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2

จากการทดลองกับแบบอักษร 15 แบบ ขนาดอักษร 2 ขนาด สแกนด้วยความละเอียด 2 ความละเอียด สามารถรู้จำได้เฉลี่ยร้อยละ 98.28

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองกับอักษรภาษาไทยทุกตัวทั้ง 15 แบบ แบ่งตามขนาดและความละเอียด เปรียบเทียบกับโปรแกรม ArnThai

ขนาด&ความละเอียด	S&N OCR	ArnThai 2.0	ส่วนต่าง
14pt 300dpi	98.02	97.89	+0.13
14pt 600dpi	98.47	98.69	-0.22
16pt 300dpi	98.18	97.99	+0.19
16pt 600dpi	98.47	98.18	+0.29
เฉลี่ย	98.28	98.18	+0.1

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองกับอักษรภาษาไทยครบทุกตัวอักษร แยกตามแบบอักษร ขนาดและความละเอียด

แบบอักษร	S&N OCR				ArnThai 2.0			
	14pt 300dpi	14pt 600dpi	16pt 300dpi	16pt 600dpi	14pt 300dpi	14pt 600dpi	16pt 300dpi	16pt 600dpi
1.AngsanaUPC	95.69	96.17	98.09	97.13	97.13	99.04	98.09	99.52
2.BrowalliaUPC	98.09	99.04	99.52	99.52	99.04	100.00	99.52	99.52
3.CordiaUPC	99.52	98.56	99.04	99.04	99.04	99.04	99.04	99.52
4.DilleniaUPC	98.09	99.04	95.22	95.69	98.56	100.00	97.61	99.52
5.EucrosiaUPC	98.09	99.52	99.04	99.52	95.22	100.00	98.56	99.52
6.FreesiaUPC	98.09	97.61	96.63	98.09	99.04	99.04	99.04	98.09
7.IrisUPC	98.56	99.04	98.09	96.65	94.26	97.61	97.13	95.69
8.AngsanaUPC Bold	96.65	97.61	97.61	98.09	97.61	97.61	96.17	97.13
9.AngsanaUPC Italic	97.13	99.04	99.04	99.52	97.13	97.61	98.56	98.09
10.AngsanaUPC Bold Italic	98.09	99.04	99.52	99.52	98.09	97.61	96.17	97.61
11. BrowalliaUPC Bold	98.09	98.56	98.56	100.00	99.04	100.00	99.52	99.04
12. BrowalliaUPC Italic	99.52	99.04	98.56	99.52	98.09	99.52	98.09	98.56
13. BrowalliaUPC Bold Italic	98.56	98.56	99.52	98.56	99.04	98.56	98.09	98.56
14. CordiaUPC Bold	98.09	98.56	97.13	98.09	98.09	99.04	95.22	93.78
15. CordiaUPC Bold Italic	98.09	97.61	97.13	98.09	99.04	95.69	99.04	98.56
เฉลี่ย	98.02	98.47	98.18	98.47	97.89	98.69	97.99	98.18

5.2 การทดลองกับภาพเอกสารทั่วๆ ไป

เอกสารที่นำมาทดลองเลือกมาจากหนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ หนังสือพิมพ์สยามธุรกิจ และวารสารอุดมศาสน์ โดยเลือกมาอย่างละ 1 บทความ นำมาสแกนด้วยความละเอียด 200dpi และ 300dpi และนำข้อความเดียวกันมาพิมพ์ใหม่โดยใช้แบบอักษรที่เป็นที่นิยมในการพิมพ์เอกสาร คือ AngsanaUPC, CordiaUPC, AngsanaUPC Bold และ AngsanaUPC Bold Italic โดยแต่ละบทความใช้ขนาดอักษรแตกต่างกัน แล้วพิมพ์โดยใช้เครื่องเลเซอร์ และสแกนด้วยความละเอียด 200dpi และ 300dpi เพื่อนำมาใช้ในการทดลองกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ผลการรู้จำแสดงในตารางที่ 5.3

จากการทดลองกับบทความทั้ง 3 บทความ แบบอักษร 5 แบบ ขนาดอักษร 3 ขนาด และสแกนด้วยความละเอียด 2 ความละเอียด คิดเป็นจำนวนตัวอักษรรวม 78,470 ตัวอักษร สามารถรู้จำได้เฉลี่ยร้อยละ 95.58

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองกับเอกสารทั่วไป

	ฐานเศรษฐกิจ		สยามธุรกิจ		อุดมศาสน์	
จำนวนตัวอักษร	3600		1650		2597	
ความละเอียด	200dpi	300dpi	200dpi	300dpi	200dpi	300dpi
สแกนจากต้นฉบับ	94.36	98.11	92.97	95.27	92.88	95.57
ขนาดอักษร	18 pt		16 pt		14 pt	
AngsanaUPC	98.08	98.72	94.67	97.15	90.26	96.38
CordiaUPC	96.5	97.42	97.58	99.45	93.57	98.11
AngsanaUPC Bold	97.08	98.92	95.58	97.7	85.48	94.38
AngsanaUPC Bold Italic	96.89	98.22	95.45	98.67	87.56	94.38
เฉลี่ย	96.58	98.28	95.25	97.65	89.95	95.76

บทที่ 6
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นแนวความคิดที่นำขอบอักษรมาใช้ในการรู้จำอักษร ซึ่งทำให้การรู้จำอักษรมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสามารถสรุปหลักการทำงานหลักๆ ได้ดังต่อไปนี้

6.1.1 ขอบอักษร

ในงานวิจัยนี้นำขอบอักษรมาใช้ในการรู้จำอักษร ซึ่งลักษณะของอักษรไม่ว่าจะเป็นอักษรตัวปกติ ตัวหนา ตัวเอียง หรือตัวหนาเอียง ลักษณะของขอบอักษร ก็จะมีลักษณะไม่แตกต่างกันมากนัก โดยในงานวิจัยนี้พิจารณาคุณลักษณะขอบอักษรภาษาไทยในแต่ละด้าน (ด้านซ้าย ด้านบน ด้านขวา และด้านล่าง) ซึ่งจะได้ลักษณะที่แตกต่างกัน จึงนำคุณลักษณะเด่นนี้มาแบ่งอักษรออกเป็นกลุ่มๆ แต่ละกลุ่มมีสมาชิกที่มากน้อยต่างกัน ซึ่งไม่เป็นอุปสรรคต่อการรู้จำอักษร เพราะในแต่ละกลุ่มมีสมาชิกที่มีคุณลักษณะเด่นเหมือนกัน จึงสามารถใช้คุณลักษณะเฉพาะกลุ่ม (Local Feature) มารู้จำอักษรในแต่ละกลุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอบอักษรมีลักษณะต่อเนื่อง จึงนำขอบอักษรนี้มาเขียนกราฟ และนำกราฟนี้มาวิเคราะห์คุณลักษณะของอักษร ซึ่งใช้ PB Algorithm มาช่วยในการวิเคราะห์ได้ เพราะ PB Algorithm จะละเลยจุดขึ้นลงที่ไม่สำคัญซึ่งเกิดจากสัญญาณภาพคุณภาพต่ำ และพิจารณาเฉพาะจุดขึ้นลงของกราฟที่สำคัญๆ ได้ ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญๆ ของอักษร

6.1.2 พื้นผิวปิด

เป็นธรรมดาของลักษณะอักษรภาษาไทยที่มักมีพื้นผิวปิด ทั้งที่เกิดจากคุณลักษณะของอักษรภาษาไทยเอง (เช่น หัวอักษร) หรือเกิดจากสัญญาณรบกวน (Noise) ในงานวิจัยนี้สามารถแยกแยะคุณลักษณะของพื้นผิวปิดได้ ถ้าเป็นคุณลักษณะปกติของอักษรภาษาไทย ก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการรู้จำอักษร แต่ถ้าเกิดจากสัญญาณรบกวน (Noise) ก็สามารถรู้ได้ และนำสัญญาณรบกวนเหล่านั้น มาพิจารณาร่วมกับคุณลักษณะอื่นๆ ที่พบ และปรับเปลี่ยนทำให้เป็นสัญญาณที่ถูกต้อง เพื่อให้การรู้จำอักษรได้ถูกต้องต่อไป

ในการพิจารณาพื้นผิวปิด ก็สามารถใช้ Close Area Map Algorithm มาช่วยกำหนดตำแหน่งแผนภาพพื้นผิวปิดได้ เพราะคุณลักษณะอักษรภาษาไทยมักมีพื้นผิวปิดจำนวนมาก ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน เมื่อทราบตำแหน่งของพื้นผิวปิดแล้ว จะทำให้การพิจารณาพื้นผิวปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6.2 ปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีพิจารณาขอบอักษรเป็นหลัก ซึ่งพอสรุปปัญหาที่พบได้ดังนี้

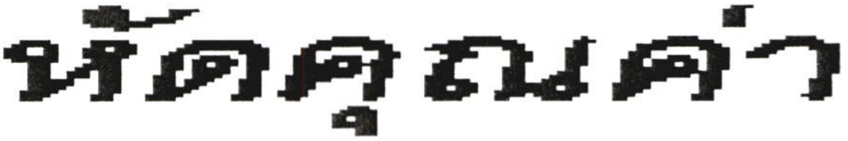
6.2.1 ตัวอักษรมีสัญญาณรบกวน บริเวณที่สำคัญ

อักษรภาษาไทยมีลักษณะคล้ายกันมาก เช่น ช-ซ, ด-ต, ท-ฑ เป็นต้น ซึ่งแตกต่างกันเพียงการหยักของอักษรเพียงเล็กน้อย โดยธรรมดา การรู้จำโดยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างนี้ก็มียากอยู่แล้ว หากมีสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น เป็นต้นบริเวณหยักอักษรดังกล่าว ยิ่งทำให้การกำหนดคุณลักษณะดังกล่าวมีความผิดพลาด ซึ่งเป็นผลทำให้การรู้จำผิดพลาดด้วย

รูปที่ 6.1 สัญญาณรบกวน บริเวณที่สำคัญ (ซ, ต, ไม้โท)

6.2.2 กำหนดคุณลักษณะเฉพาะผิดในอักษรตัวเอียง

การรู้จำอักษรโดยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างนี้ สามารถรู้จำได้ทั้งอักษรตัวปกติ ตัวหนา ตัวเอียง และตัวหนาเอียงได้ แต่มีคุณลักษณะเฉพาะบางอย่างที่ยากต่อการกำหนดในอักษรตัวเอียง เช่น อักษร ด-ค โดยปกติหัวอักษรในแบบอักษรปกติ หรือตัวหนา จะกำหนดลักษณะหัวเข้า หรือหัวออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นอักษรตัวเอียง คุณลักษณะของหัวเข้า หรือหัวออกจะน้อยลงไป ทำให้ตัดสินใจได้ยากว่าเป็นหัวเข้าหรือหัวออก จึงทำให้กำหนดคุณลักษณะหัวอักษรผิด และการรู้จำก็ผิดตามไปด้วย



รูปที่ 6.2 ลักษณะหัวอักษร ด, ค ที่เหมือนกันในอักษรตัวเอียง

6.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

6.3.1 ปรับปรุงปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้

จากปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้ เกิดจากการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะกลุ่มผิดพลาด กล่าวคือกำหนดหัวอักษรผิด กำหนดหัวแตก หรือหลังแตกผิด ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ขอบอักษรเพียงอย่างเดียวมาพิจารณา ทำให้การกำหนดคุณลักษณะผิดพลาด

ดังนั้นแนวทางการพัฒนาในอนาคตควรกำหนดคุณลักษณะที่มักผิดพลาดจากงานวิจัยนี้ โดยใช้คุณลักษณะอื่นๆ ประกอบการพิจารณาเพิ่มเติม เช่น ขนาด-ตำแหน่งพื้นผิวปิด ค่าความเอียงของตัวอักษร เป็นต้น ซึ่งถ้ากำหนดคุณลักษณะดังกล่าวได้ถูกต้อง จะทำให้การรู้จำอักษรได้ถูกต้องต่อไป

6.3.2 **เพิ่มเติมจากงานวิจัยนี้**

ในงานวิจัยนี้นำเสนอเฉพาะวิธีการรู้จำอักษรภาษาไทยและตัวเลขอารบิค ซึ่งสามารถรู้จำได้ทั้งอักษรตัวปกติ ตัวหนา ตัวเอียง หรือตัวหนาเอียง ทั้งขนาดอักษรที่แตกต่างกัน แต่ไม่รวมถึงอักษรภาษาอังกฤษ หรือภาษาอื่นๆ ซึ่งต่อไปควรมีการพัฒนาการรู้จำอักษรได้ทั้งอักษรภาษาอังกฤษและภาษาอื่นๆ ด้วย เพื่อให้การรู้จำอักษรได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และครอบคลุมถึงภาพเอกสารที่มีทั้งอักษรภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และภาษาอื่นๆ ต่อไป

หนังสืออ้างอิง

กฤษฎา วิไลลักษณ์ , วิเชียร เปรมชัยสวัสดิ์ และนุชรี เปรมชัยสวัสดิ์. "การรู้จำอักษรไทยโดยใช้ลักษณะเด่นของตัวอักษร." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21, กรุงเทพฯ, 2541, หน้า 90-93

ชม กิ้มปาน. 2525 "ทฤษฎีการจดจำรูปแบบเบื้องต้น." กรุงเทพ: ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชม กิ้มปาน. 2529. "การรู้จำรูปแบบอักษรพิมพ์ภาษาไทยของคอมพิวเตอร์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชาย เกษมอมรกุล. 2532. "การออกแบบพจนานุกรมสำหรับการเรียนรู้ตัวอักษรคัดลายมือไทย-อังกฤษอัตโนมัติบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ประสาร ตังติสานนท์. 2529. "การจดจำรูปแบบตัวอักษรคัดลายมือภาษาไทย โดยใช้วิธีแยกลักษณะเด่น." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุขสถิต สุขใจ. 2540. "การใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อจดจำรูปแบบลายมือเขียนตัวเลขอารบิคแสดงข้อมูลเป็นมุมสัมบูรณ์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุรสิทธิ์ ราตรี. 2532. "การจดจำรูปแบบตัวอักษรคัดลายมือภาษาไทย โดยใช้วิธีค้นหาลักษณะโครงสร้างลายเส้น." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อภิรักษ์ จิรายุสกุล. 2539. "การจดจำรูปแบบตัวอักษรคัดลายมือภาษาไทย โดยใช้ CPN." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อัญชลี วานิชทวีวัฒน์. 2540. "การจดจำรูปแบบตัวอักษรคัดลายมือภาษาไทย โดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเซลออร์แกนไนซิ่งแมปซ์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Thammano, A. and P. Ruxpakawong (2001), "Printed Thai Character Recognition Using the Hybrid Approach," *To appear in Proceedings of the 2001 ITC-CSCC*, Tokushima, Japan.

Hiranvanichakorn Pipat, Takesni Agui and Masayuki Nakajima. 1985. "An On-lineRecognition Method of Thai Character." The Transaction of the IECE of Japan. 2 (68): 594-601.

Hiromichi F.,Yasuaki N. and Kiyomichi K. "Segmentation Methods for Character Recognition: From Segmentation to Document Structure Analysis." Proceeding of the IEEE, Vol.80, No.7, July 1992. pp. 1079-1092

Lipschutz, Seymour. 1986. "Schaum's Outline Series: Theory and Problems of Data Structures." New York: McGraw-Hill.

Panich, W., Jitapunkul S. and Choruengwiwat P. "Segmentation of Connected Characters using Distinctive features of Thai Characters in Thai Character Recognition System." 20th Electrical Engineering Conference, Bangkok, Thailand, 1997. pp. 338-342.

ภาคผนวก ก.
อัลกอริทึ่ม

ในงานวิจัยนี้มีอัลกยริทึ่มที่สำคัญๆ ดังนี้

ก.1 Peak & Bottom Algorithm

ในงานวิจัยนี้ นำขอบอักษรมาเขียนเป็นกราฟ ซึ่งกราฟที่ได้เป็นกราฟขึ้นลงตามขอบอักษรที่มักมีลักษณะขรุขระตามต้นฉบับ หรือผลมาจากการสแกนภาพ ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์กราฟได้ถูกต้องมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีอัลกอริทึ่มที่สามารถตรวจสอบได้เฉพาะการขึ้นลงหลักๆ ของกราฟ และละเลยจุดขึ้นลงที่ไม่สำคัญ หรือจุดขึ้นลงที่เกิดจากสัญญาณรบกวน (noise) เหล่านั้น เพื่อนำการขึ้นลงหลักๆ ของกราฟนั้นมาวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องต่อไป

หลักการทำงานคือ

1.1 แบ่งกราฟออกเป็น n ส่วนเท่าๆ กัน

1.2 แต่ละส่วนหาจุดสูงสุด และต่ำภายในแต่ละส่วน

1.3 พิจารณาจุดต่ำสุดในแต่ละส่วน

- ถ้าจุดต่ำสุดในส่วนใดๆ เป็นจุดเดียวกับจุดสูงสุดในส่วนที่ติดกัน ให้นำ 2 ส่วนนี้มารวมเป็นส่วนเดียวกัน
- ถ้าไม่มีให้แบ่งส่วนนั้นออกเป็น 2 ส่วนโดยใช้จุดต่ำสุดนั้นเป็นจุดแบ่ง

1.4 พิจารณาจุดสูงสุดในแต่ละส่วน

- ถ้าจุดสูงสุดในส่วนใดๆ เป็นจุดเดียวกับจุดต่ำสุดในส่วนที่ติดกัน ให้นำ 2 ส่วนนี้มารวมเป็นส่วนเดียวกัน
- ถ้าไม่มีให้แบ่งส่วนนั้นออกเป็น 2 ส่วนโดยใช้จุดสูงสุดนั้นเป็นจุดแบ่ง

1.5 ทำข้อ 1.2, 1.3 และ 1.4 จนกว่าไม่มีการรวมส่วน หรือแบ่งส่วน ซึ่งต่อจากนี้จะได้จุดสูงสลับจุดต่ำของกราฟ

1.6 พิจารณาจุดสูงและจุดต่ำในแต่ช่วงกราฟ ถ้าค่าความต่างของจุดสูงกับจุดต่ำน้อยกว่าค่าที่กำหนด (Threshold) ก็ลบจุดสูง และจุดต่ำนั้นออกไป ซึ่งจะได้จุดสูง จุดต่ำหลักๆ ของกราฟ

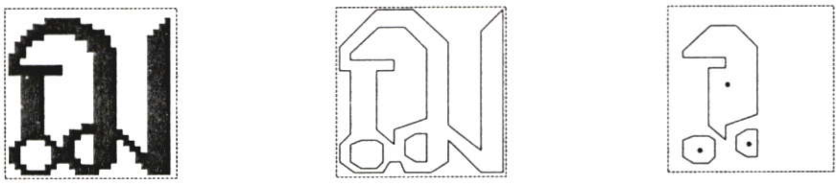
ดังแสดงดังรูปที่ ก.1

```
noise = 0.05
Segment = 15
{data  : stream of data graph
P      : array of peak index of data
B      : array of bottom index of data}
Procedure PB Algorithm (data,P,B)
begin
    For i=1 to Segment
        P_i = B_i = n(data)/Segment * (i-1)
    n(B) = n(B)-1                    // n(P)=n(B)+1
    repeat
        For i=1 to n(B)-1 do
            P_{i+1} = IndexMaxValue(data,B_i,B_{i+1})
        For i=1 to n(P)-1 do
            B_i = IndexMinValue(data,P_i,P_{i+1})
        For i=1 to n(B) do
            If P_i=B_i then delete P_i,B_i
            If P_{i+1}=B_i then delete P_{i+1},B_i
            If (data(B_i)-data(P_i)<noise) then
                    delete P_i,B_i
     until not delete
end;

{data  : stream of data graph
start,stop: index of data}
Function IndexMinValue(data,start,stop)
Return i | min_{i=start}^{stop} (data_i)

{data  : stream of data graph
start,stop: index of data}
Function IndexMaxValue(data,start,stop)
Return i | max_{i=start}^{stop} (data_i)
```

รูปที่ ก.1 Peak&Bottom Algorithm

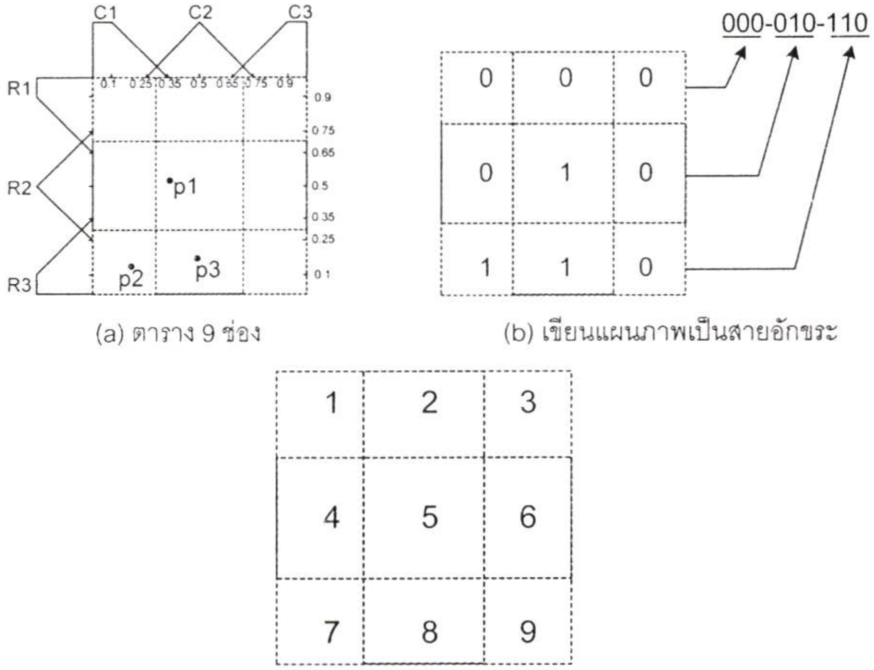
ก.2 Close Area Map Algorithm

อักษรภาษาไทยส่วนใหญ่มักมีพื้นผิวปิดเป็นส่วนประกอบ เช่นบริเวณหัวอักษรที่มีลักษณะเป็นวงกลม บริเวณหางอักษรที่มีลักษณะม้วนเป็นวงกลม หรือพื้นผิวปิดที่เกิดจากสัญญาณรบกวนที่ทำให้เกิดเป็นพื้นผิวปิด ซึ่งตำแหน่งของพื้นผิวปิดเกิดขึ้นหลายตำแหน่งแตกต่างกันไปในแต่ละตัวอักษร เพื่อให้ทราบตำแหน่งของพื้นผิวปิดเป็นไปโดยสะดวก และง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์ จึงใช้ Close Area Map Algorithm ในการกำหนดตำแหน่งของพื้นผิวปิด ซึ่งจะทำให้ทราบตำแหน่งบริเวณที่มีพื้นผิวปิด และบริเวณที่ไม่มีพื้นผิวปิดได้โดยง่าย ซึ่งมีอัลกอริทึมดังนี้



(a) ภาพอักษรเริ่มต้น (b) กำหนดขอบอักษร (c) กำหนดจุดศูนย์กลางของพื้นผิวปิด

รูปที่ ก.2 ตัวอย่างภาพอักษร 'ฌ'



(a) ตาราง 9 ช่อง (b) เขียนแผนภาพเป็นสายอักขระ

(c) หมายเลขตำแหน่งของตาราง 9 ช่อง

รูปที่ ก.3 แผนภาพตาราง 9 ช่อง

2.1 จากรูปที่ ก.2 หาบริเวณพื้นผิวปิด และกำหนดจุดศูนย์กลางของแต่ละพื้นผิวปิด

2.2 กำหนดจุดศูนย์กลางของแต่ละจุดลงในตาราง 9 ช่อง ซึ่งมีวิธีการดังนี้

พิจารณาจุด p1

2.2.1 หาค่า p1 เมื่อเทียบ C1, C2, C3 จะได้ 0.01, 0.4, -1.2

2.2.2 หาค่า p1 เมื่อเทียบ R1, R2, R3 จะได้ -0.52, 0.8, -0.68

2.2.3 หาผลคูณของ Ci, Rj โดยใช้สูตร Ci*Rj*m

โดย m = -1 เมื่อ Ci และ Rj มีค่าน้อยกว่า 0 นอกนั้น m = 1

C1R1 = -0.0052 , C1R2 = 0.008 , C1R3 = -0.0068

C2R1 = -0.208 , C2R2 = 0.32 , C2R3 = -0.272

C3R1 = -0.624 , C3R2 = -0.96 , C3R3 = -0.816

2.2.4 เลือกผลคูณที่มีค่ามากที่สุด กำหนดให้เป็นตำแหน่งของ p1 ในที่นี้คือ ตำแหน่ง C2R2

2.2.5 จุดอื่นๆ ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1-2.2.4

2.2.6 ในแต่ละช่องจะมีจุดได้เพียงจุดเดียว ถ้ามีมากกว่า 1 จุดลงช่องเดียวกันให้เลือกจุดที่มีค่ามากที่สุด และจุดที่ค่าน้อยกว่าต้องไปเลือก CiRj ที่มีค่าน้อยกว่าแทน เช่น สมมติมี p4 เมื่อทำตามข้อ 1-4 แล้วมีค่ามากที่สุดคือค่า C2R2 = 0.5 ดังนั้น p4 จะได้ตำแหน่ง C2R2 แล้ว p1 จะต้องเปลี่ยนไปเลือกค่าที่น้อยกว่าค่ามากที่สุดคือ C1R2=0.008 และ p1 จะได้ตำแหน่ง C1R2 เป็นต้น

2.3 เขียนตาราง 9 ช่องเป็นสายอักขระ ช่องที่มีจุดศูนย์กลาง กำหนดเป็น '1' และช่องที่ไม่มีจุดศูนย์กลาง กำหนดเป็น '0' ดังรูปที่ ก.3 (b) ซึ่งจะได้แผนภาพพื้นผิวปิดคือ '000-010-110'

2.4 จุดศูนย์กลางของแต่ละพื้นผิวปิด จะมีหมายเลขตำแหน่งของตาราง 9 ช่อง คือ

จุด p1 จะมีหมายเลขประจำตำแหน่งของตาราง 9 ช่อง คือหมายเลข 5

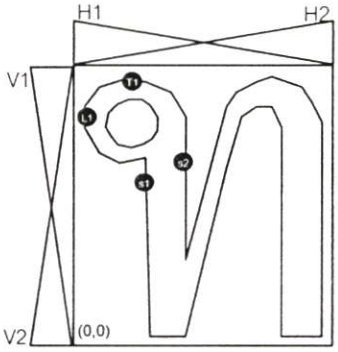
จุด p2 จะมีหมายเลขประจำตำแหน่งของตาราง 9 ช่อง คือหมายเลข 7

จุด p3 จะมีหมายเลขประจำตำแหน่งของตาราง 9 ช่อง คือหมายเลข 8

ก.3 Shape Algorithm

Shape Algorithm จะวิเคราะห์กราฟที่ถูกเขียนมาจากขอบของรูปภาพที่เป็น 2 มิติ ซึ่งจะทำให้ทราบรูปลักษณ์ของรูปภาพนั้นๆ ในที่นี้จะยกตัวอย่างวิเคราะห์ภาพอักษร ท บริเวณขอบอักษร

ด้านบนซ้าย เพื่อจะทราบว่ามีลักษณะหัวอักษรหัวออก หรือหัวเข้า ซึ่งในที่นี้จะทราบจุด s1 และ s2 เป็นตัวกำหนดบริเวณที่จะให้วิเคราะห์ โดย s1 เป็นจุดเริ่มต้น และ s2 เป็นจุดปลาย ซึ่งสามารถกำหนดบริเวณที่ต้องการให้วิเคราะห์ใหม่ โดยกำหนดจุด s1 และ s2 ใหม่ให้ถูกต้อง กับตำแหน่งที่ต้องการ



รูปที่ ก.4 ตัวอย่างภาพการใช้ Shape Algorithm

กำหนดให้ s1 คือจุดเริ่มต้น และ s2 คือจุดปลาย และนำขอบอักษรจาก s1 ถึง s2 มาพิจารณา โดยเขียนเป็นกราฟซึ่งเทียบค่า H1, H2, V1, V2 และหาค่า Left, Right, Top และ Bottom ได้ดังนี้

Left กำหนดได้โดยพิจารณาการเชื่อมโยงจาก s1 ถึง s2 เขียนกราฟโดยเทียบค่ากับ H2 และใช้ PB Algorithm และจะได้จุดสูง 2 จุด และจุดต่ำ 1 จุด ดังนั้นกำหนดให้ Left มีค่า 1 เท่ากับจำนวนจุดต่ำ และกำหนดให้จุดต่ำคือ จุด L_1 และเป็นจุดลำดับที่ 10 นับจากจุดเริ่มต้น (ดูรูปที่ ก.5 ประกอบ) ซึ่งถ้ามีจุดต่ำมากกว่า 1 จุด ก็กำหนดให้เป็น L_2, L_3 ,... เป็นต้น

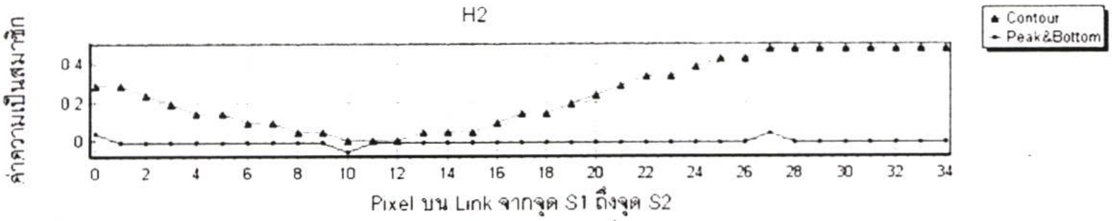
Right กำหนดได้โดยพิจารณาการเชื่อมโยงจาก s1 ถึง s2 เขียนกราฟโดยเทียบค่ากับ H1 และใช้ PB Algorithm และจะได้จุดสูง 1 จุด และไม่มีจุดต่ำ ดังนั้นกำหนดให้ Right มีค่า 0 เท่ากับจำนวนจุดต่ำ (ดูรูปที่ ก.6 ประกอบ) และไม่ต้องกำหนดจุดต่ำ R_1, R_2 ,... เป็นต้น

Top กำหนดได้โดยพิจารณาการเชื่อมโยงจาก s1 ถึง s2 เขียนกราฟโดยเทียบค่ากับ V2 และใช้ PB Algorithm และจะได้จุดสูง 2 จุด และจุดต่ำ 1 จุด ดังนั้นกำหนดให้ Top มีค่า 1 เท่ากับจำนวนจุดต่ำ และ กำหนดให้จุดต่ำคือ จุด T_1 และเป็นจุดลำดับที่ 18 นับจากจุดเริ่มต้น (ดูรูปที่ ก.7 ประกอบ) ซึ่งถ้ามีจุดต่ำมากกว่า 1 จุด ก็กำหนดให้เป็น T_2, T_3 ,... เป็นต้น

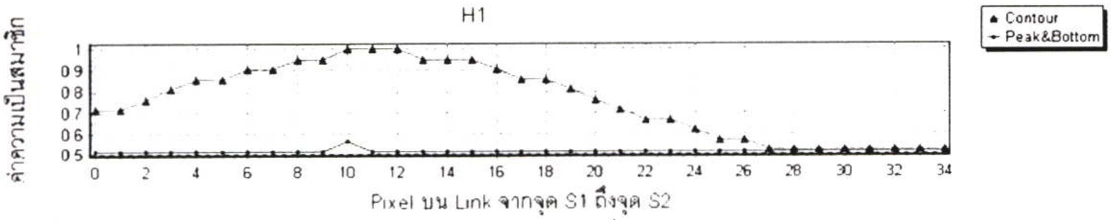
Bottom กำหนดได้โดยพิจารณาการเชื่อมโยงจาก s1 ถึง s2 เขียนกราฟโดยเทียบค่ากับ V1 และใช้ PB Algorithm และจะได้จุดสูง 1 จุด และไม่มีจุดต่ำ ดังนั้นกำหนดให้ Bottom มีค่า 0 เท่ากับจำนวนจุดต่ำ (ดูรูปที่ ก.8 ประกอบ) และไม่ต้องกำหนดจุดต่ำ B_1, B_2 ,... เป็นต้น

จากค่าต่างๆ คือ Left=1, Top=1, Right=0, Bottom=0 ทำให้ทราบในเบื้องต้นว่าลักษณะของภาพจะไปทางด้านซ้าย และด้านบน แต่ยังไม่ทราบว่าไปทางด้านใดก่อน ซึ่งต้องใช้ลำดับของที่เกิดจุด L_1 และ T_1 มาประกอบการพิจารณา ซึ่งสามารถสรุปลักษณะของภาพจากจุดเริ่มต้น (s1) จนถึงจุดปลาย (s2) ได้ดังนี้

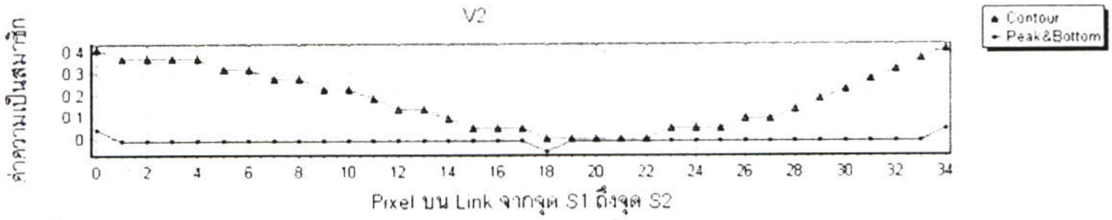
จากจุดเริ่มต้น (จุด s1 ตำแหน่ง 0) ขอบภาพลากไปทางซ้าย (จุด L_1 ตำแหน่ง 10) แล้วขึ้นบน (จุด T_1 ตำแหน่ง 18) และลากลงมาที่จุดปลาย (s2 ตำแหน่ง 34) แสดงดังรูปที่ ก.9



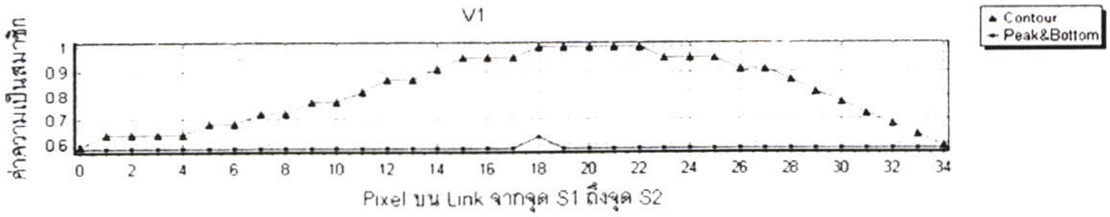
รูปที่ ก.5 กราฟความเป็นสมาชิกจากจุด S1 ถึง S2 เมื่อเทียบกับด้านขวาของกล่องอักษร



รูปที่ ก.6 กราฟความเป็นสมาชิกจากจุด S1 ถึง S2 เมื่อเทียบกับด้านซ้ายของกล่องอักษร



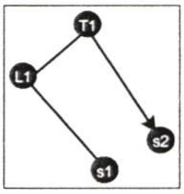
รูปที่ ก.7 กราฟความเป็นสมาชิกจากจุด S1 ถึง S2 เมื่อเทียบกับด้านล่างของกล่องอักษร



รูปที่ ก.8 กราฟความเป็นสมาชิกจากจุด S1 ถึง S2 เมื่อเทียบกับด้านบนของกล่องอักษร

จากรูปที่ ก.5-ก.8 แกน y คือค่าความเป็นสมาชิก และแกน x คือจุดบนขอบอักษรที่เริ่มจากจุด S1 (ค่า 0) ไปตามขอบอักษรจนพบจุด S2 (ค่า 34)

จากการใช้ Shape Algorithm จะได้ จำนวนจุดต่ำ (Left, Right, Top และ Bottom) และลำดับที่เกิดจุดต่ำเหล่านั้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของอักษรได้ โดยนำค่าที่ได้เหล่านี้ไปใช้กับแผนภาพการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะในภาคผนวก ข.



รูปที่ ก.9 ลักษณะภาพหลังจากผ่าน Shape Algorithm

ภาคผนวก ข.

แผนภาพการพิจารณาคุณลักษณะอักษร

จากแผนภาพที่ใช้ พยายามแสดงข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจ และอักษรที่เป็นสมาชิกในแต่ละเงื่อนไข เพื่อให้ผู้ศึกษางานวิจัยได้ติดตามการเปลี่ยนแปลง และเหตุที่ใช้เงื่อนไขนั้นๆ ซึ่งจะทำให้ผู้ศึกษาได้เข้าใจได้ง่ายขึ้น คำอธิบายแผนภาพแสดงในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 คำอธิบายแผนภาพ

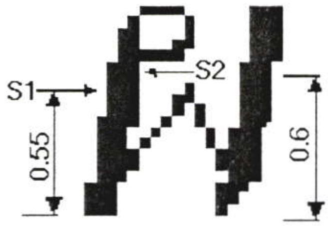
แผนภาพ	คำอธิบาย
Feature Name	ชื่อการกำหนดคุณลักษณะ และจุดเริ่มต้นการกำหนดคุณลักษณะ
Result | Condition Member	Result: ผลลัพธ์การใช้เงื่อนไข Condition: เงื่อนไขที่ใช้ในการตัดสินใจ Member: สมาชิกภายใต้เงื่อนไข
Condition Member	Condition: เงื่อนไขที่ใช้ในการตัดสินใจ Member: สมาชิกภายใต้เงื่อนไข
→	เส้นทางการตัดสินใจ

ข.1 คุณลักษณะหัวอักษร

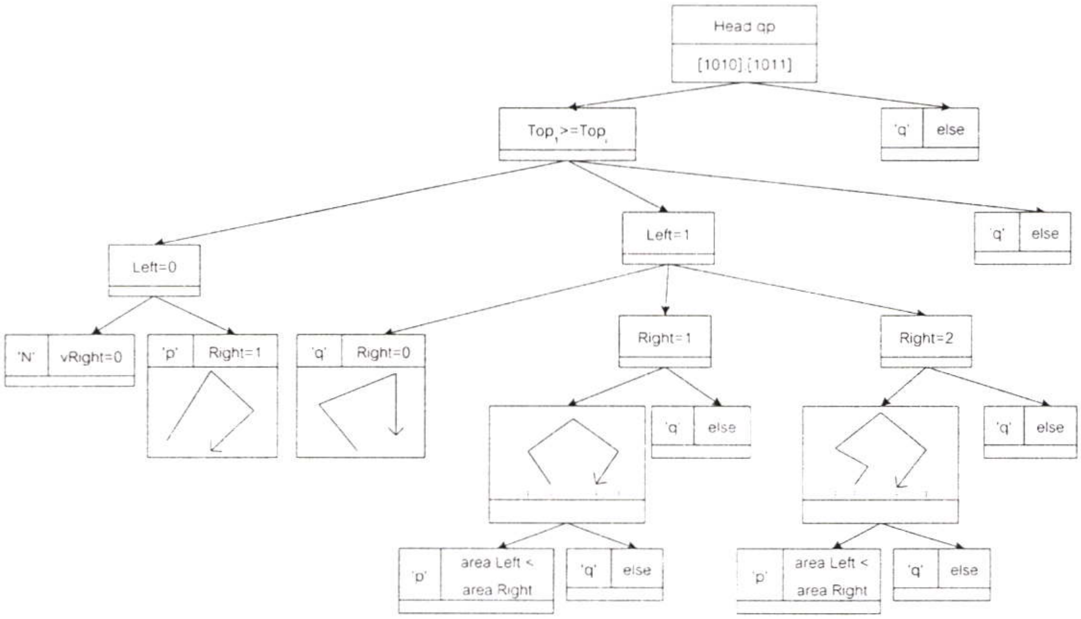
การกำหนดคุณลักษณะหัวอักษรนี้จะต้องกำหนดจุด s1 และ s2 เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้น และจุดปลายของบริเวณขอบอักษรที่จะพิจารณา และใช้ Shape Algorithm (ภาคผนวก ก.3) เพื่อพิจารณารูปร่างของขอบอักษรนั้นๆ ซึ่งเมื่อใช้ Shape Algorithm แล้วจะได้ทิศทางของขอบอักษร คือไปทางซ้าย ไปทางขวา ไปข้างบน หรือลงข้างล่าง และนำข้อมูลเหล่านั้นมาเปรียบเทียบพิจารณาตามคุณลักษณะที่กำหนดในแผนภาพซึ่งจะได้แสดงในหัวข้อต่อไปนี้

ข.1.1 หัวอักษรแบบเขียนลง (q, p)

ข.1.1.1 บริเวณส่วนซ้ายของอักษร (บ, ท, ห, พ, ย, ผ)

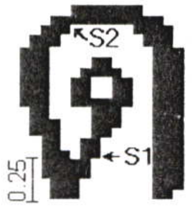


รูปที่ ข.1 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ q, p บริเวณส่วนซ้ายของอักษร

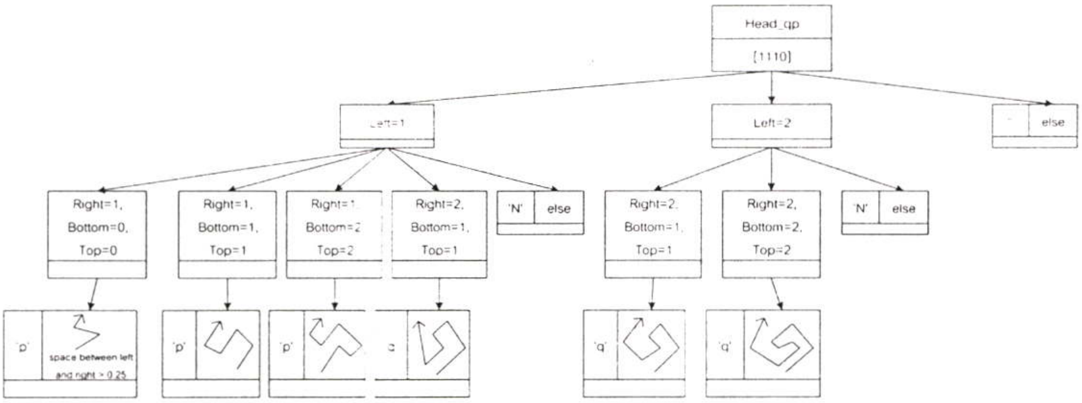


รูปที่ ข.2 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ q, p บริเวณส่วนซ้ายของอักษร

ข.1.1.2 บริเวณกลางอักษร (ด, ค)

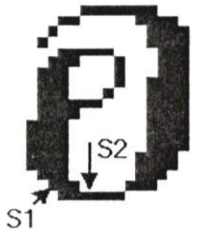


รูปที่ ข.3 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ q, p บริเวณกลางของอักษร

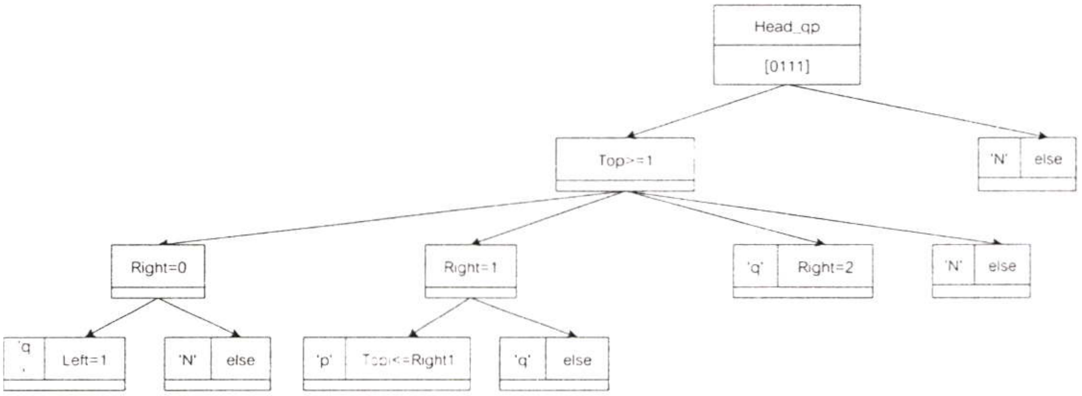


รูปที่ ข.4 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ q, p บริเวณกลางของอักษร

ข.1.1.3 บริเวณกลางอักษรด้านซ้าย (อ, จ)



รูปที่ ข.5 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ q, p บริเวณกลาง ด้านซ้ายของอักษร

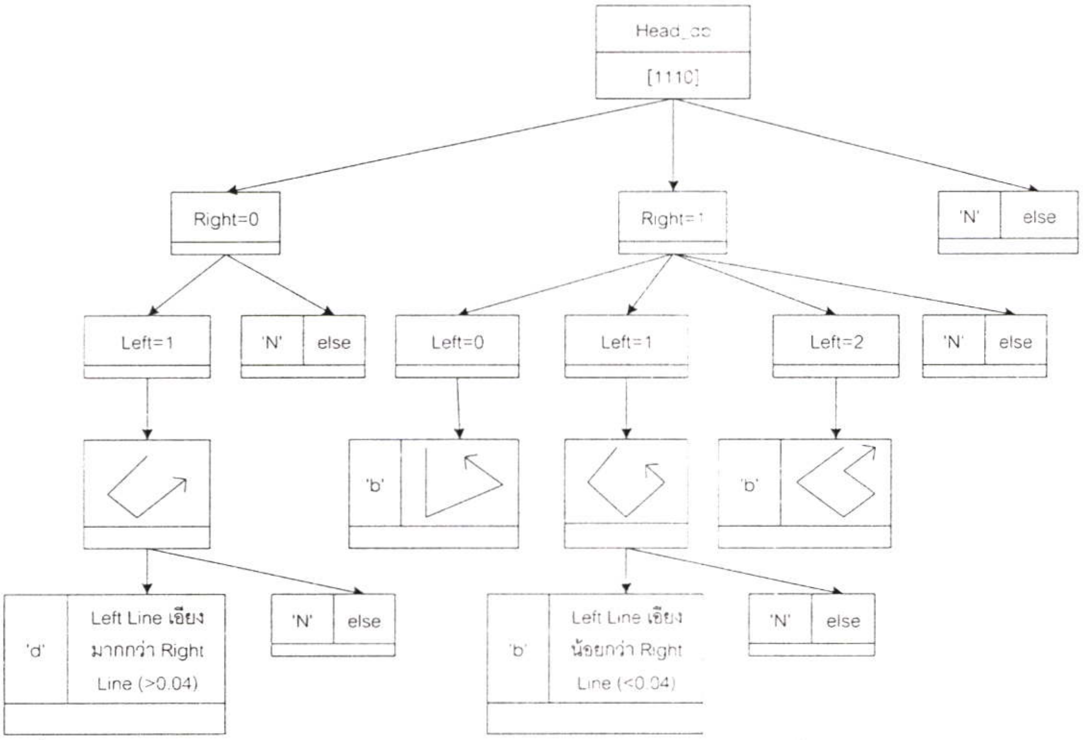


รูปที่ ข.6 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ q, p บริเวณกลาง ด้านซ้ายของอักษร

ข.1.2 **หัวอักษรแบบเขียนขึ้น** (d, b)

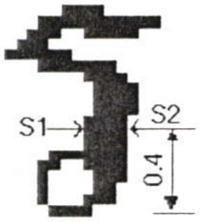
ข.1.2.1 บริเวณส่วนซ้ายของอักษร (ภ, ถ)

รูปที่ ข.7 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ d, b บริเวณส่วนซ้ายของอักษร

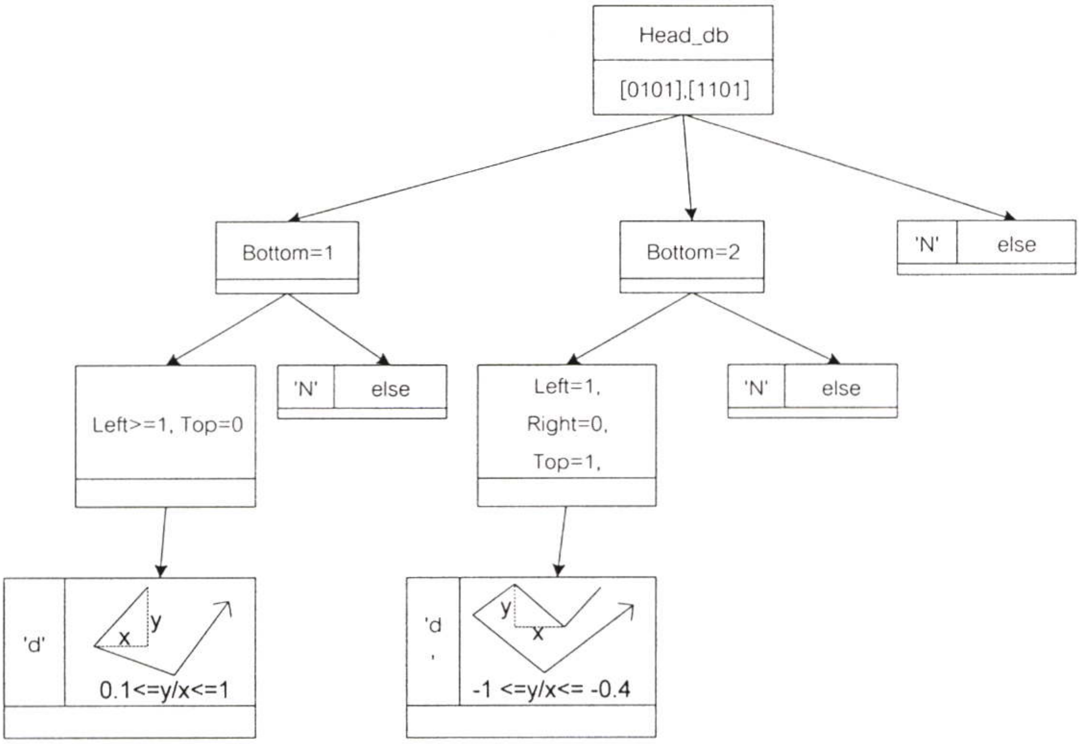


รูปที่ ข.8 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ d, b บริเวณส่วนซ้ายของอักษร

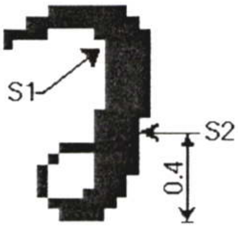
ข.1.2.2 บริเวณตอนล่างของอักษร (ร, ว)



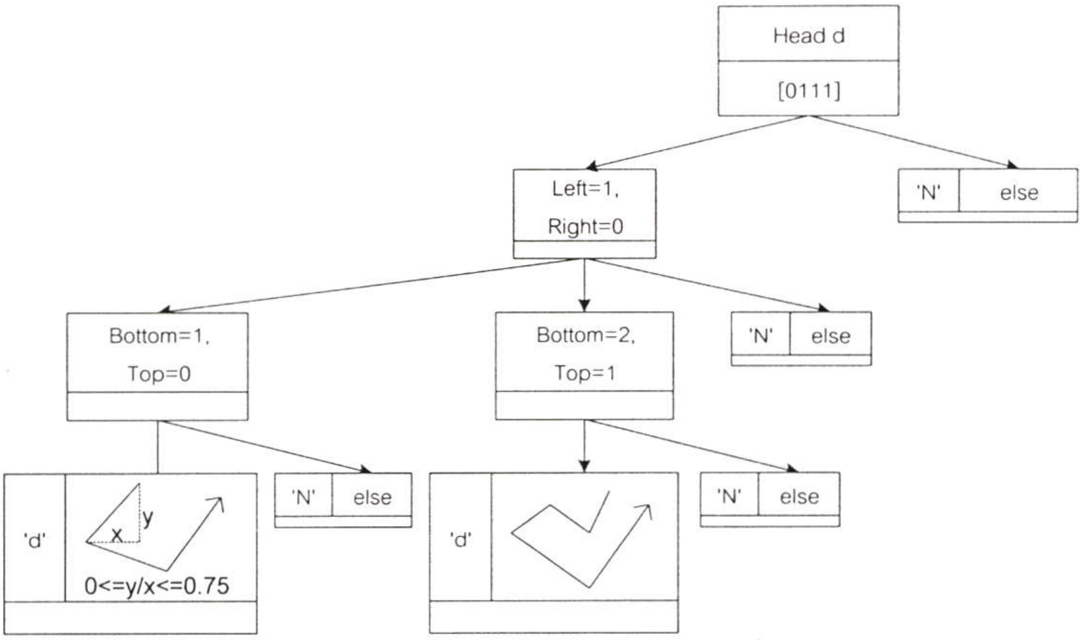
รูปที่ ข.9 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ d, b บริเวณตอนล่างของอักษร (ร)



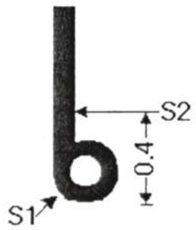
รูปที่ ข.10 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ d, b บริเวณตอนล่างของอักษร (ร)



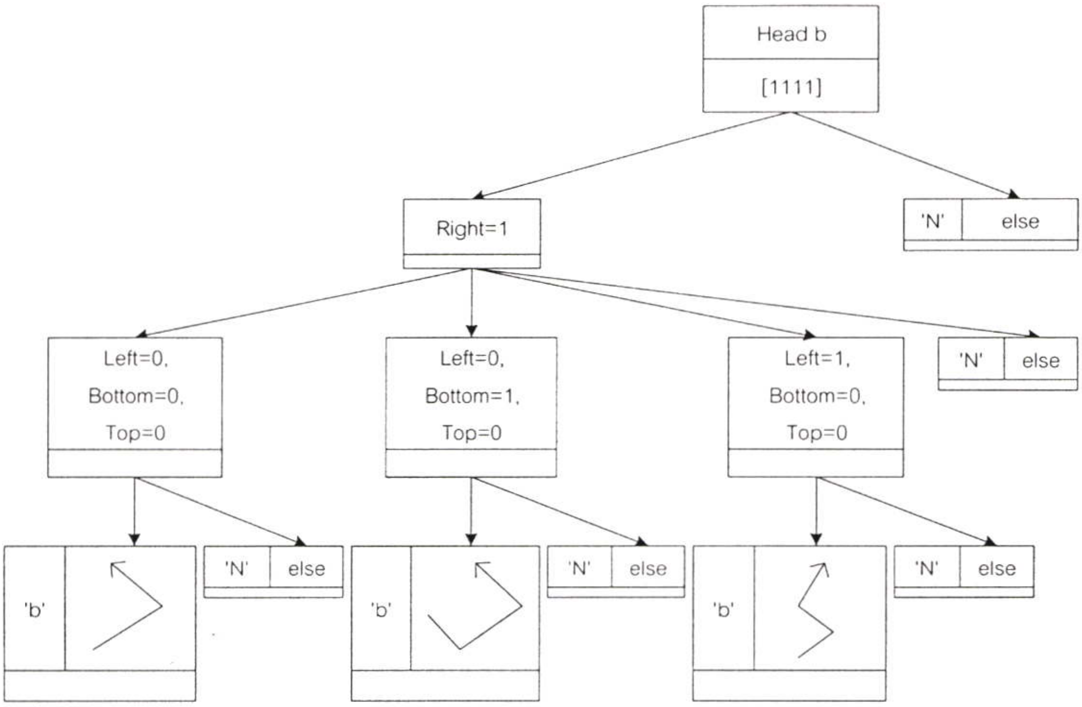
รูปที่ ข.11 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ d, b บริเวณตอนล่างของอักษร (ว)



รูปที่ ข.12 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ d, b บริเวณตอนล่างของอักษร (ว)

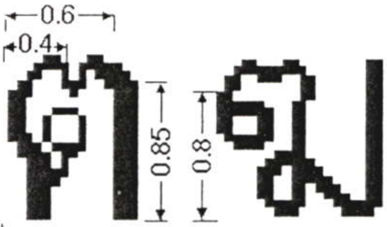


รูปที่ ข.13 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรแบบ d, b บริเวณตอนล่างของอักษร (เ)

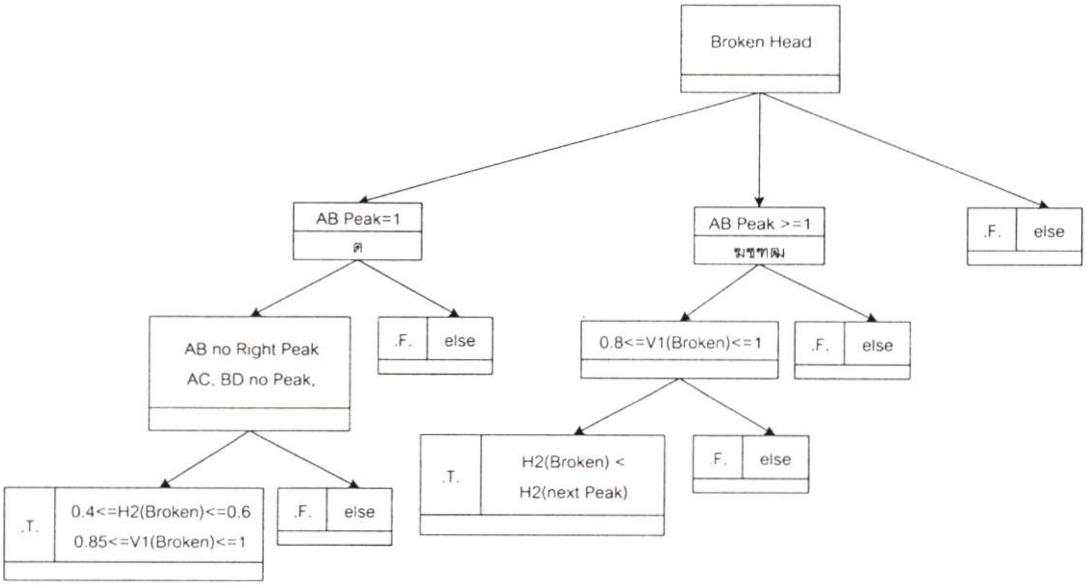


รูปที่ ข.14 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษร แบบ d, b บริเวณตอนล่างของอักษร (เ)

ข.1.3 หัวอักษรหัวแตก-หลังแตก



รูปที่ ข.15 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหัวอักษรหัวแตก-หลังแตก

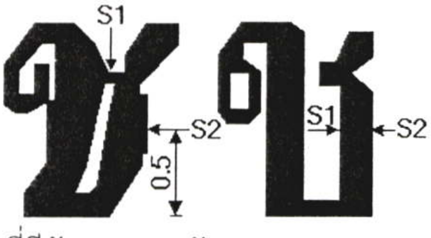


รูปที่ ข.16 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหัวอักษรหัวแตก-หลังแตก

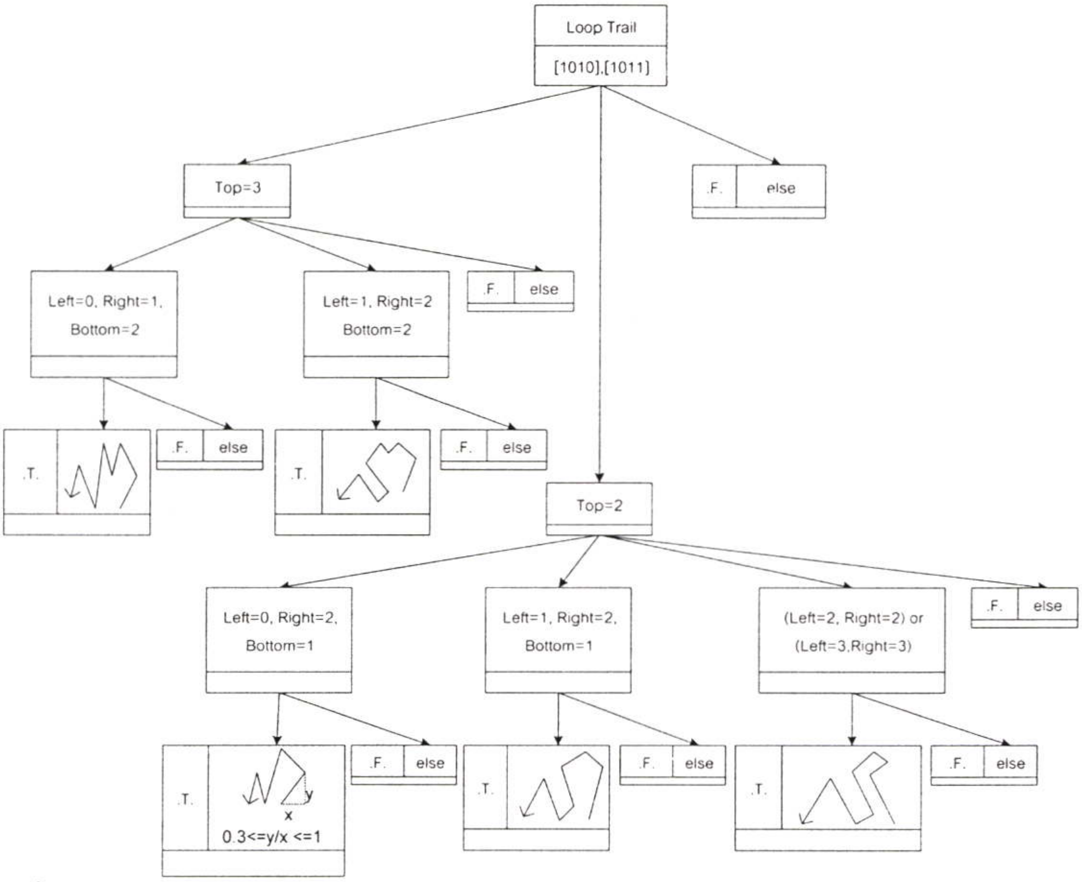
ข.2 คุณลักษณะหางอักษร

การกำหนดคุณลักษณะหางอักษรนี้จะต้องกำหนดจุด s1 และ s2 เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้น และจุดปลายของบริเวณขอบอักษรที่จะพิจารณา และใช้ Shape Algorithm (ภาคผนวก ก.3) เพื่อพิจารณารูปร่างของขอบอักษรนั้นๆ ซึ่งเมื่อใช้ Shape Algorithm แล้วจะได้ทิศทางของขอบอักษร คือไปทางซ้าย ไปทางขวา ไปข้างบน หรือลงข้างล่าง และนำข้อมูลเหล่านั้นมาเปรียบเทียบพิจารณาตามคุณลักษณะที่กำหนดในแผนภาพซึ่งจะได้แสดงในหัวข้อต่อไปนี้

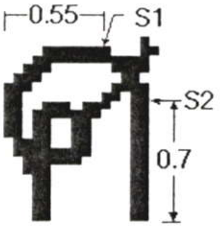
ข.2.1 หางอักษรแบบธรรมดา (ช, ซ, ศ, ส, ฮ)



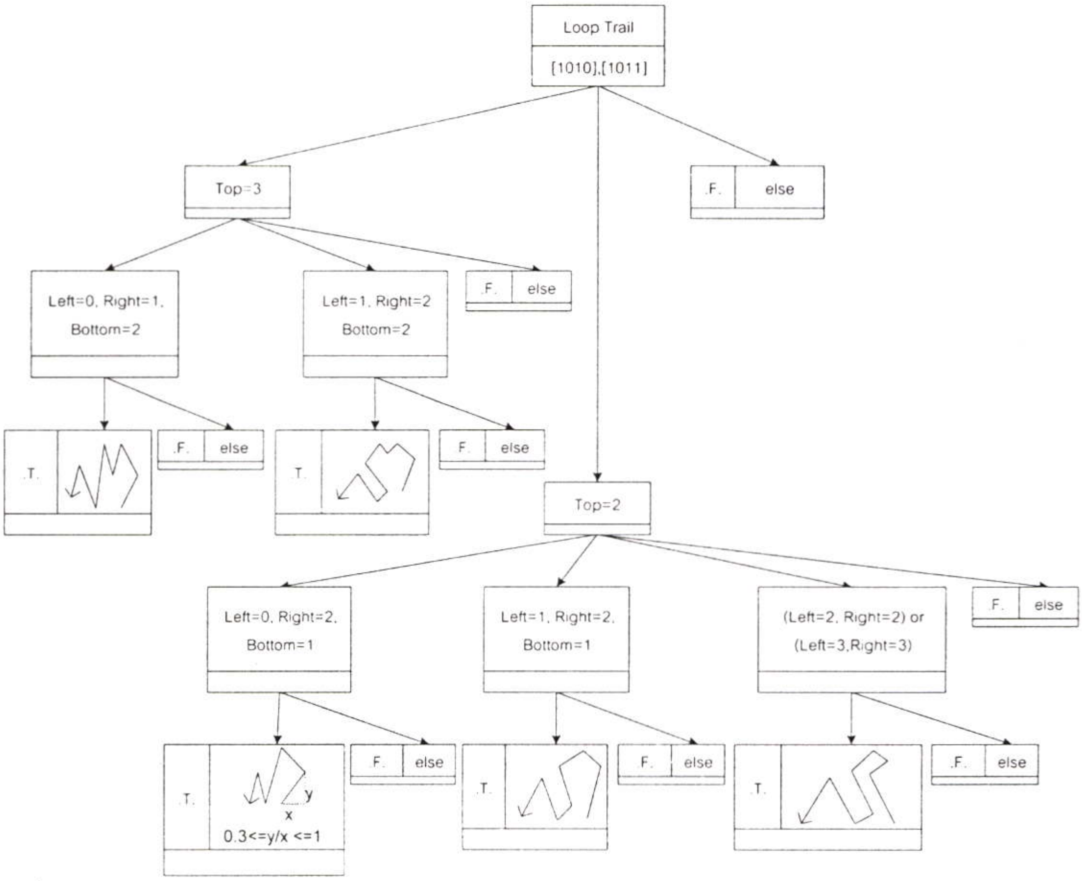
รูปที่ ข.17 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหางอักษรแบบธรรมดา (ช, ซ)



รูปที่ ข.18 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหางอักษร แบบธรรมดา (ข, ซ)

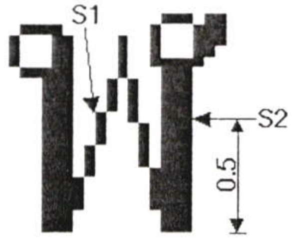


รูปที่ ข.19 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหางอักษร แบบธรรมดา (ศ, ส, ฮ)

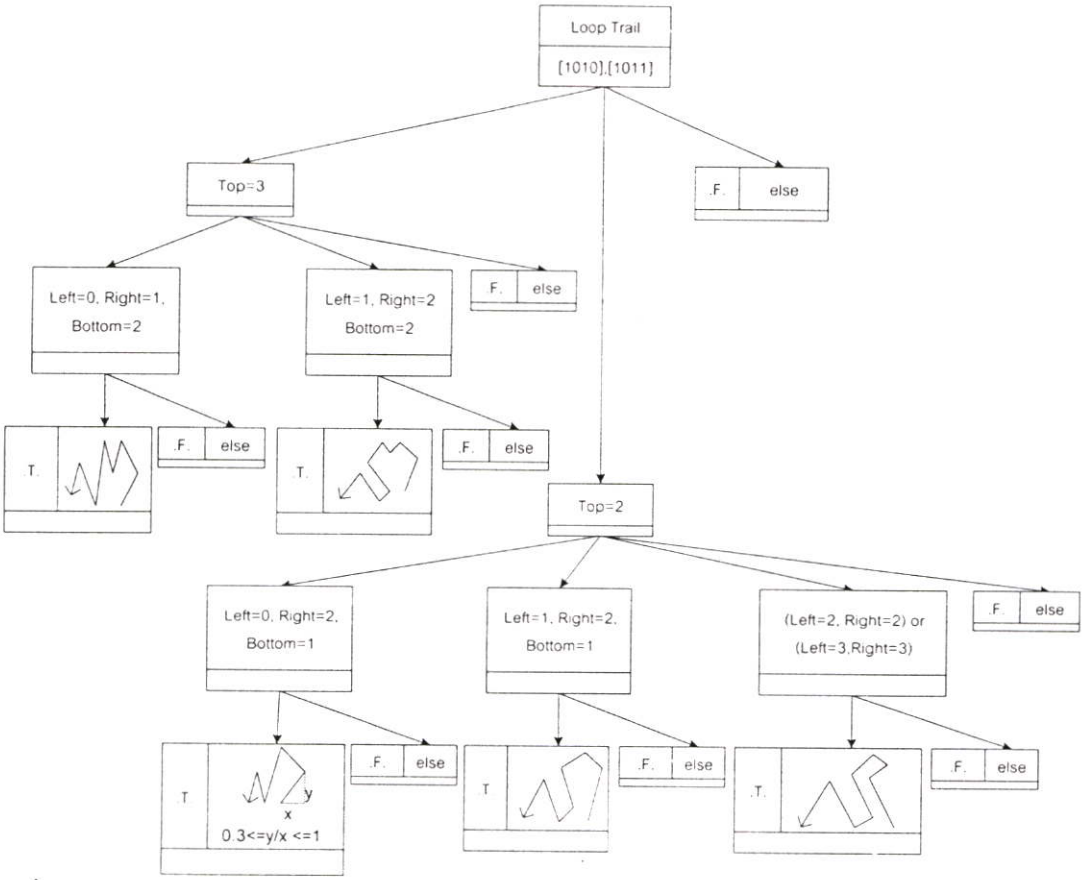


รูปที่ ข.20 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหางอักษร แบบธรรมดา (ศ, ส, ฮ)

ข.2.2 หางอักษรแบบม้วนหาง (ฬ)



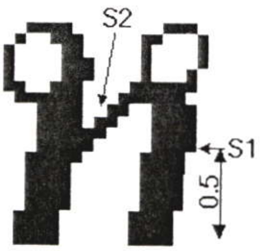
รูปที่ ข.21 ตัวอย่างภาพอักษรที่มีลักษณะหางอักษร แบบม้วนหาง (ฬ)



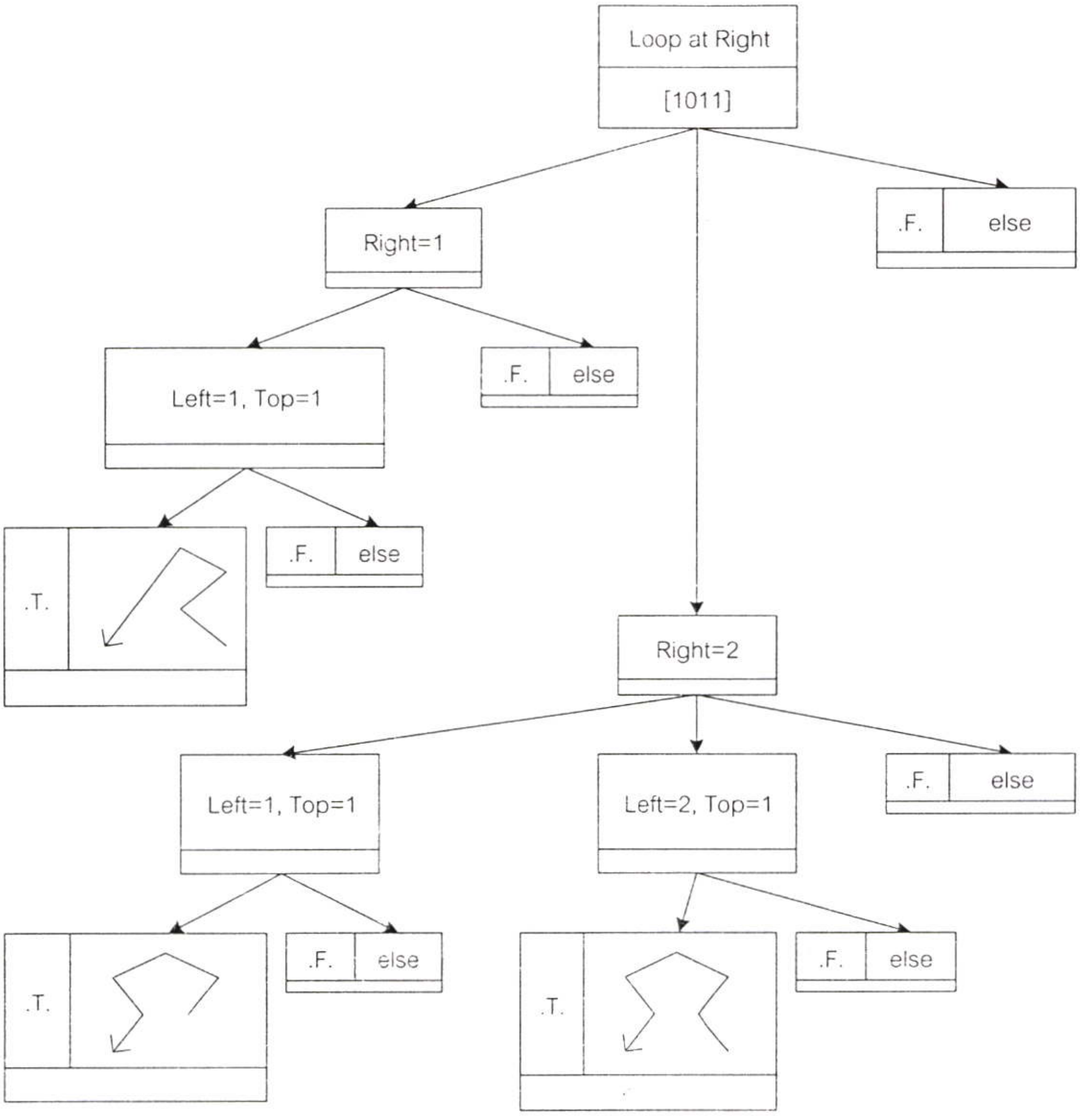
รูปที่ ข.22 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะหางอักษร แบบม้วนหาง (ฬ)

ข.3 คุณลักษณะอื่น ๆ

ข.3.1 คุณลักษณะวงบริเวณมุมบนขวา (ห)

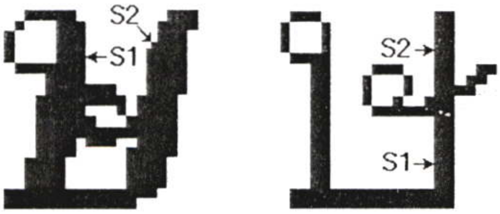


รูปที่ ข.23 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะวงบริเวณมุมบนขวา (ห)

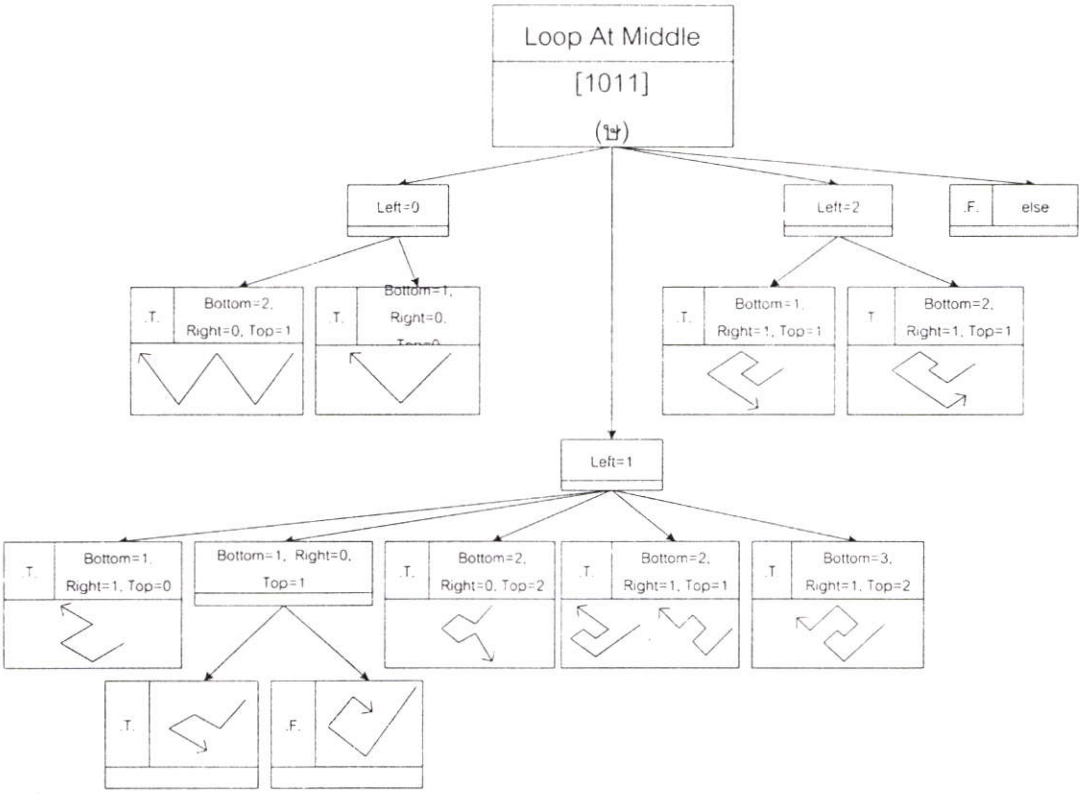


รูปที่ ข.24 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะวงบริเวณมุมบนขวา (ห)

ข.3.2 คุณลักษณะวงภายในอักษร (ษ)



รูปที่ ข.25 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะวงภายในอักษร (ษ)



รูปที่ ข.26 แผนภาพกำหนดคุณลักษณะวงภายในอักษร (ษ)

ภาคผนวก ค.

ตารางการขจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้แผนภาพพื้นผิวปิด

ตารางการขจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้แผนภาพพื้นผิวปิดนี้ ได้รวบรวมจากการทดลองกับอักษร 15 แบบ คือ AngsanaUPC, BrowalliaUPC, CordiaUPC, DillenialUPC, EucrosiaUPC, FreesiaUPC, IrisUPC, AngsanaUPC Bold, AngsanaUPC Italic, AngsanaUPC Bold Italic, BrowalliaUPC Bold, BrowalliaUPC Italic, BrowalliaUPC Bold Italic, CordiaUPC Bold, และ CordiaUPC Bold Italic โดยใช้ขนาดอักษร 14 pt, 16 pt ความละเอียดในการสแกน 300 dpi, 400 dpi และ 600 dpi

วิธีการใช้ตาราง

1. จะต้องทราบ คุณลักษณะหลัก (Global Feature) ตำแหน่งของพื้นผิวปิด และแผนภาพพื้นผิวปิด โดยใช้ Close Area Map Algorithm เช่น ภาพอักษร ฌ มีคุณลักษณะหลักคือ '1011' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5 และแผนภาพพื้นผิวปิดคือ '000-010-110'

2. หาตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1011' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5 (ตารางที่ ค.16 หน้า 78)

3. หาแถวที่มีแผนภาพพื้นผิวปิด '000-010-110'

- ถ้าภายในแถวนั้นมี แผนภาพพื้นผิวปิดปรากฏอยู่เพียงคอลัมน์เดียว สามารถนำพื้นผิวปิดไปเชื่อมกับชื่อ Link ที่ปรากฏในหัวคอลัมน์ ได้ทันที
- แต่ถ้ามีปรากฏอยู่หลายคอลัมน์ ต้องใช้อัลกอริทึ่มเฉพาะที่ตรวจสอบคุณลักษณะเพื่อเลือกการเชื่อมกับ Link ที่ถูกต้อง

4. เปลี่ยนคุณลักษณะหลักใหม่ให้ถูกต้องตามที่กำหนดไว้

ค.1 คุณลักษณะหลัก '0111'

ตารางที่ ค.1 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '0111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 2

ACLink ('0111')	BDLink ('0101')	CDLink ('0110')	Ignore	หมายเหตุ
	010-000-000		010-000-000	ร, ง
	010-000-010			ร
010-010-000			010-010-000	จ, ฮ
010-011-000				จ
010-110-000				จ

ตารางที่ ค.2 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '0111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 3

ACLink ('0111')	BDLink ('0101')	CDLink ('0110')	Ignore	หมายเหตุ
001-010-000				จ

ตารางที่ ค.3 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '0111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5

ACLink ('0111')	BDLink ('0101')	CDLink ('0110')	Ignore	หมายเหตุ
000-010-000			000-010-000	จ, 4
		000-010-010		ล
		000-010-011		ล, ส
000-110-000				ข
		010-010-010		ล, ส
100-010-000				ข
100-011-000				ข
110-010-000				ข, ฃ

ตารางที่ ค.4 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '0111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 6

ACLink ('0111')	BDLink ('0101')	CDLink ('0110')	Ignore	หมายเหตุ
100-101-000				ซ

ตารางที่ ค.5 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '0111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 8

ACLink ('0111')	BDLink ('0101')	CDLink ('0110')	Ignore	หมายเหตุ
			000-000-010	ว
000-010-010				ข
010-010-010				ข

ตารางที่ ค.6 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '0111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 9

ACLink ('0111')	BDLink ('0101')	CDLink ('0110')	Ignore	หมายเหตุ
000-010-001				ข

ค.2 คุณลักษณะหลัก '1110'

ตารางที่ ค.7 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1110' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 1

ACLink ('0110')	CDLink ('1110')	Ignore	หมายเหตุ
	100-010-000		ค, ฅ, ฆ
	101-010-000		ฅ

ตารางที่ ค.8 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1110' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 2

ACLink ('0110')	CDLink ('1110')	Ignore	หมายเหตุ
010-000-010			ล, ส
010-000-100			ล
010-010-000	010-010-000		ส, ศ, ค, ด
010-001-010			ล, ส
010-001-100			ล, ส
010-010-010			ส
010-010-100			ส
010-100-010			ล, ส
010-100-100			ล
	010-110-000		ค, ศ
	011-010-000		ค

ตารางที่ ค.9 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1110' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 4

ACLink ('0110')	CDLink ('1110')	Ignore	หมายเหตุ
000-101-100			ส
	000-110-000		ค, ด, ศ
	000-110-100		ด
	001-110-000		ศ
	010-110-000		ด
	010-111-000		ด

ตารางที่ ค.10 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1110' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5

ACLink ('0110')	CDLink ('1110')	Ignore	หมายเหตุ
	000-010-000		ด
000-010-010			ล
000-010-011			ล
000-010-100			ล
000-011-010			ส
000-011-100			ส
000-110-100			ส

ตารางที่ ค.11 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1110' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 6

ACLink ('0110')	CDLink ('1110')	Ignore	หมายเหตุ
000-001-100			ส
010-001-100			ส

ค.3 คุณลักษณะหลัก '1101'

ตารางที่ ค.12 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1101' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5

ACLink ('0101')	BDLink ('1101')	Ignore	หมายเหตุ
		000-000-010	6
000-010-000		000-010-000	ฐ, 6
000-110-000			ฐ
010-010-000			ธ
010-011-000			ฐ
010-110-000			ฐ
100-010-000			ธ
110-110-100			ฐ

ค.4 คุณลักษณะหลัก '1011'

ตารางที่ ค.13 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1011' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 1

ABLink ('1011')	ACLink ('1011')	CDLink ('1010')	Ignore	หมายเหตุ
		100-010-010		ฒ
		100-010-011		ฒ

ตารางที่ ค.14 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1011' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 2

ABLink ('1011')	ACLink ('1011')	CDLink ('1010')	Ignore	หมายเหตุ
	010-100-000			ฆ

ตารางที่ ค.15 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1011' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 4

ABLink ('1011')	ACLink ('1011')	CDLink ('1010')	Ignore	หมายเหตุ
	000-110-010			ฒ
	100-110-110			ฒ

ตารางที่ ค.16 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1011' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5

ABLink ('1011')	ACLink ('1011')	CDLink ('1010')	Ignore	หมายเหตุ
000-010-000		000-010-000		ซซ, ฌณ
		000-010-011		ณ
		000-010-101		ณ
		000-010-110		ฌ
		000-010-111		ณ
000-110-000				ซ, ซ
	000-110-010	000-110-010		ฆ, ฒ
		000-110-110		ฒ

ค.5 คุณลักษณะหลัก '1111'

ตารางที่ ค.17 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 1

ABLink ('1011')	ACLink ('0111')	ACLink ('0110')	ACLink ('0110')	CDLink ('1110')	CDLink ('0110')	Ignore	หมายเหตุ
				100-010-000			ค
				100-011-000			ศ

ตารางที่ ค.18 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 2

ABLink ('1011')	ACLink ('0111')	ACLink ('0110')	ACLink ('0110')	CDLink ('1110')	CDLink ('0110')	Ignore	หมายเหตุ
				010-010-000			ค
	010-010-001						อ
	010-010-010	010-010-010					อ, ส
				010-011-000			ค, ด, ศ
		010-010-110					ส
	110-010-000						อ

ตารางที่ ค.19 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 3

ABLink ('1011')	ACLink ('0111')	ACLink ('0110')	ACLink ('0110')	CDLink ('1110')	CDLink ('0110')	Ignore	หมายเหตุ
	001-010-000						จ, อ
		001-010-110					ล
	001-110-000						อ
	101-010-000						อ

ตารางที่ ค.20 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5

ABLink ('1011')	ACLink ('0111')	ACLink ('0101')	ACLink ('0110')	CDLink ('1110')	CDLink ('0110')	Ignore	หมายเหตุ
000-010-000	000-010-000					000-010-000	ขช, อจ, 4
	000-010-001						ฉ
					000-010-010		ล
					000-010-011		ล
			000-011-010				ล, ส
	000-010-100			000-010-100	000-010-100		อ, ฎฎ, ลส
				000-010-110			ฎ, ฎ
000-110-000	000-110-000						ฐ, ช, ช, อ, ฮ
	000-110-001						ฉ
	000-110-010						อ
				000-110-110			ฎ
	001-010-000						อ
	010-010-000	010-010-000				010-010-000	ธ, อ, 8
					010-010-010		ล
	010-010-100						ฮ
010-110-000	010-110-000						ฐ, ช, ช
010-110-010							ช
	010-111-000						อ
					011-010-010		ล
100-010-000	100-010-000	100-010-000					ธ, ช, อ, จ, ช
	100-010-001						ฉ
	100-010-010						อ
100-110-000	100-110-000						ฐ, ช
	100-110-001						ฉ
	100-110-010						อ
110-010-000	110-010-000						อ, ฮ, ช
	110-011-000						อ
110-110-000	110-110-000						ช, ฮ
	111-010-000						อ

ตารางที่ ค.21 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 6

ABLink ('1011')	ACLink ('0111')	ACLink ('0110')	CDLink ('1110')	Ignore	หมายเหตุ
000-001-000					ช
000-101-000					ข, ช
000-111-000					ช
010-101-000					ช
010-111-000					ข
	011-011-001				ง
010-111-000					ข, ช
100-001-000					ช
100-101-000					ช
110-101-000					ช

ตารางที่ ค.22 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 8

ABLink ('1011')	ACLink ('0111')	ACLink ('0101')	ACLink ('0110')	CDLink ('1110')	CDLink ('0110')	Ignore	หมายเหตุ
						000-000-010	เ, 6
	000-010-010						อ
000-110-010	000-110-010						ซ, ฐ
						010-000-010	8
	010-010-010						อ

ตารางที่ ค.23 ตารางปรับคุณลักษณะหลัก '1111' ตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 9

ABLink ('1011')	ACLink ('0111')	ACLink ('0101')	ACLink ('0110')	CDLink ('1110')	CDLink ('0110')	Ignore	หมายเหตุ
	000-010-001						อ
	000-011-001						อ
	010-010-001						ฮ
	010-011-001						อ
010-110-001							ซ

ค.6 อักษรระดับบน และระดับเหนือบน

สำหรับการใช้ตารางปรับคุณลักษณะหลักของอักษรระดับบน และระดับเหนือบน เหมือนกับการใช้ตารางปรับคุณลักษณะหลัก แต่สำหรับอักษรระดับบน และระดับเหนือบนนี้ ไม่กำหนดการปรับคุณลักษณะหลักไว้ เพียงกำหนดให้นำพื้นผิวปิดขนาดใหญ่นั้นไปรวมกับ Link ที่กำหนดไว้ในแต่ละคอลัมน์ ดังนั้นจึงต้องใช้การกำหนดคุณลักษณะหลักใหม่อีกครั้ง เพื่อให้ได้คุณลักษณะใหม่ที่ถูกต้อง

ตารางที่ ค.24 ตารางปรับคุณลักษณะหลักของอักษรระดับบน และระดับเหนือบน ในตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 4

ABLink	ACLink	BDLink	CDLink	Ignore	หมายเหตุ
		000-110-000			ไม้ไต้คู้

ตารางที่ ค.25 ตารางปรับคุณลักษณะหลักของอักษรระดับบน และระดับเหนือบน ในตำแหน่งพื้นผิวปิดหมายเลข 5

ABLink	ACLink	BDLink	CDLink	Ignore	หมายเหตุ
		000-010-000		000-010-000	ไม้ไต้คู้, สระอิ, อี, อื
		000-010-001		000-010-001	"-------------------"
		000-010-010		000-010-010	"-------------------"
		000-111-000		000-111-000	"-------------------"
		001-011-000		001-011-000	"-------------------"

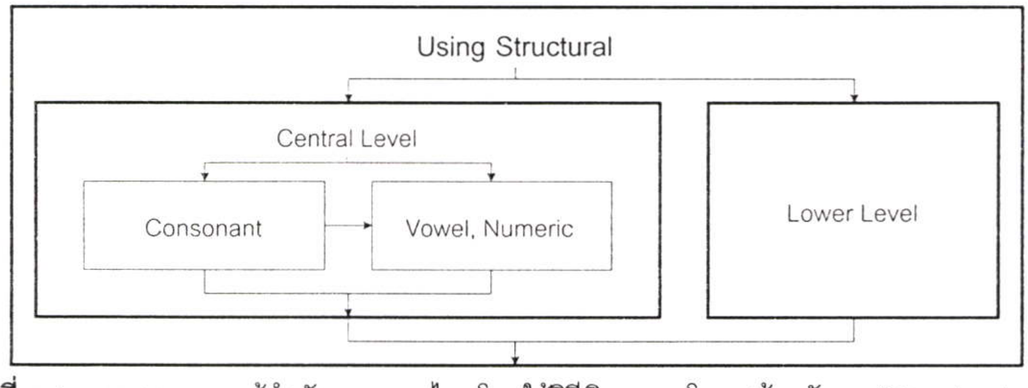
ภาคผนวก ง.

การรู้จำอักษรภาษาไทยโดยใช้วิธีพิจารณาโครงสร้างอักษร

ง.1 ระบบรู้จำอักษรภาษาไทยโดยใช้วิธีพิจารณาโครงสร้างอักษร (Structural Method)

ระบบรู้จำอักษรภาษาไทยโดยใช้วิธีพิจารณาโครงสร้างอักษรนี้ (รูปที่ ง.1) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ การรู้จำอักษรในระดับกลาง และการรู้จำอักษรระดับล่าง ซึ่งในระดับอื่นๆ คือ ระดับบน และระดับเหนือบน จะไม่สามารถรู้จำได้ แต่จะใช้วิธีรู้จำโดยโครงข่ายประสาทเทียมแทน

การรู้จำอักษรในระดับกลางแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเพื่อให้การรู้จำได้อย่างมีประสิทธิภาพคือ การรู้จำพยัญชนะภาษาไทย และการรู้จำสระ หรือตัวเลขที่อยู่ในระดับกลาง เพราะระบบการรู้จำพยัญชนะภาษาไทยนี้ สามารถรู้จำพยัญชนะภาษาไทยได้ค่อนข้างถูกต้อง และยังสามารถระบุได้ด้วยว่า อักษรที่กำลังรู้จำอยู่ไม่ใช่พยัญชนะภาษาไทย ซึ่งอักษรที่ยังไม่ทราบนี้ สามารถใช้วิธีการอื่นๆ ที่มีประสิทธิภาพในการรู้จำอักษรนั้นๆ มาช่วยในการรู้จำต่อไป ในที่นี้ใช้การรู้จำสระ และตัวเลข มาใช้ในการรู้จำ ซึ่งเช่นเดียวกัน การรู้จำสระและตัวเลขที่ใช้ สามารถรู้จำสระและตัวเลขเป้าหมายได้ค่อนข้างถูกต้อง แต่ถ้าอักษรเหล่านั้นยังไม่ใช่เป้าหมายของการรู้จำโดยวิธีโครงสร้างอักษรนี้ ก็จะถูกระบุว่าเป็นอักษรที่ไม่สามารถรู้จำได้ด้วยระบบนี้ และจะถูกรู้จำโดยโครงข่ายประสาทเทียมอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ ง.1 แผนภาพระบบรู้จำอักษรภาษาไทยโดยใช้วิธีพิจารณาโครงสร้างอักษร (Structural Method)

การรู้จำอักษรภาษาไทยโดยใช้วิธีพิจารณาโครงสร้างอักษร มีแนวความคิดนำขอบอักษรมาวิเคราะห์ โดยแบ่งขอบอักษรออกเป็น 4 ด้าน ซึ่งต้องกำหนดจุด 4 จุดบนตัวอักษร และเชื่อมจุด 4

จุดเหล่านั้นในแต่ละจุดที่ใกล้ที่สุด จึงทำให้เกิดการเชื่อมโยง 4 เชื่อมโยง ดังนั้นในการรู้จำอักษรนี้จึงสามารถใช้คุณลักษณะนี้มาใช้ในการรู้จำได้ โดยแบ่งการพิจารณาได้ดังนี้

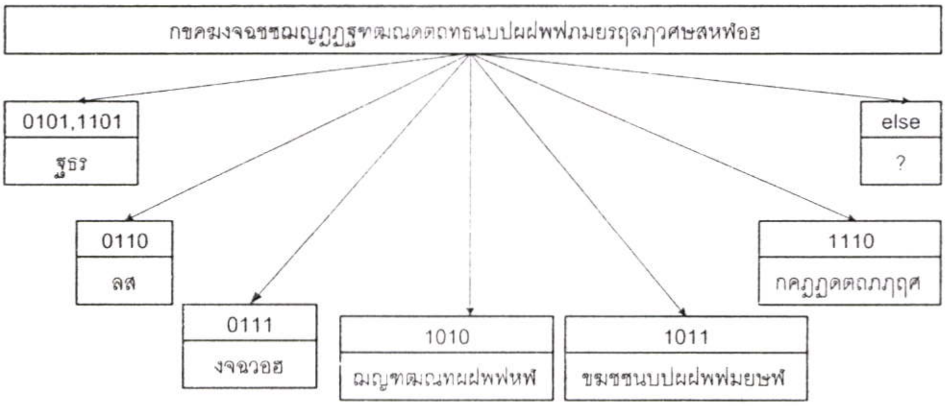
ง.1.1 การเชื่อมโยงจุดแบบทั่วไป

การกำหนดจุด 4 จุดบนตัวอักษร เพื่อใช้เป็นจุดเชื่อมโยงขอบอักษรทั้ง 4 ด้าน ดังนั้นการเชื่อมโยงจุดจะมีลักษณะ AB, BD, CD และ AC เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์แต่ละด้าน ซึ่งอักษรภาษาไทยจะมีคุณลักษณะที่อักษรแต่ละตัวติดกันเป็นพื้นผิวเดียวกัน ก็สามารถใช้คุณลักษณะการเชื่อมโยงจุดนี้ในการพิจารณาก่อน และถ้าเป็นการเชื่อมโยงจุดแบบทั่วไป ก็จะใช้วิธีพิจารณาโครงสร้างอักษร หรือโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

ง.1.2 การเชื่อมโยงจุดแบบพิเศษ

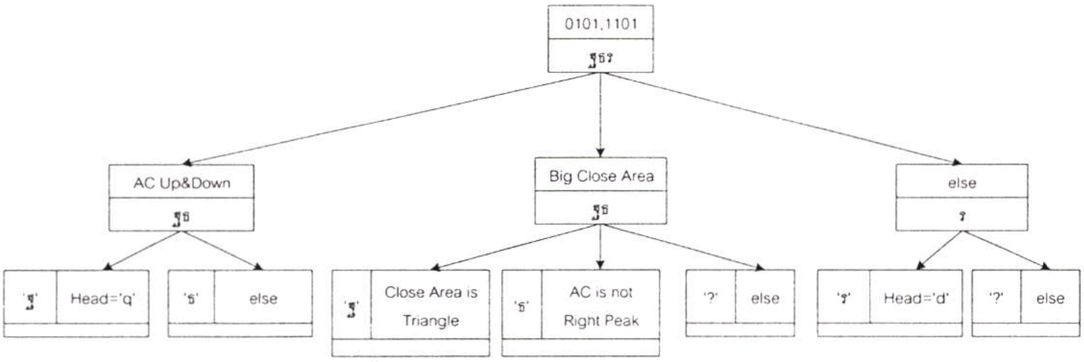
ยังมีอักระภาษาไทยบางตัวที่มีคุณลักษณะอักษรพื้นผิวไม่ติดกัน แต่ถือเป็นอักษรตัวเดียวกัน เช่นอักษร 'ะ' ซึ่งเมื่อกำหนดจุด และทำการเชื่อมโยงจุดแล้ว จะได้ AB, BA, CD และ DC คุณลักษณะนี้ ก็สามารถใช้ประโยชน์ในการรู้จำได้ หรืออักษร ' (single quote) จะมีลักษณะการเชื่อมโยงจุดคือ AB, BA, CC, DD เป็นต้น

ง.2 การรู้จำพยัญชนะภาษาไทย



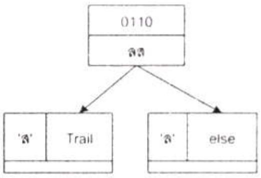
รูปที่ ง.2 แผนภาพระบบการรู้จำพยัญชนะภาษาไทย

ง.2.1 การรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '0101' หรือ '1101'



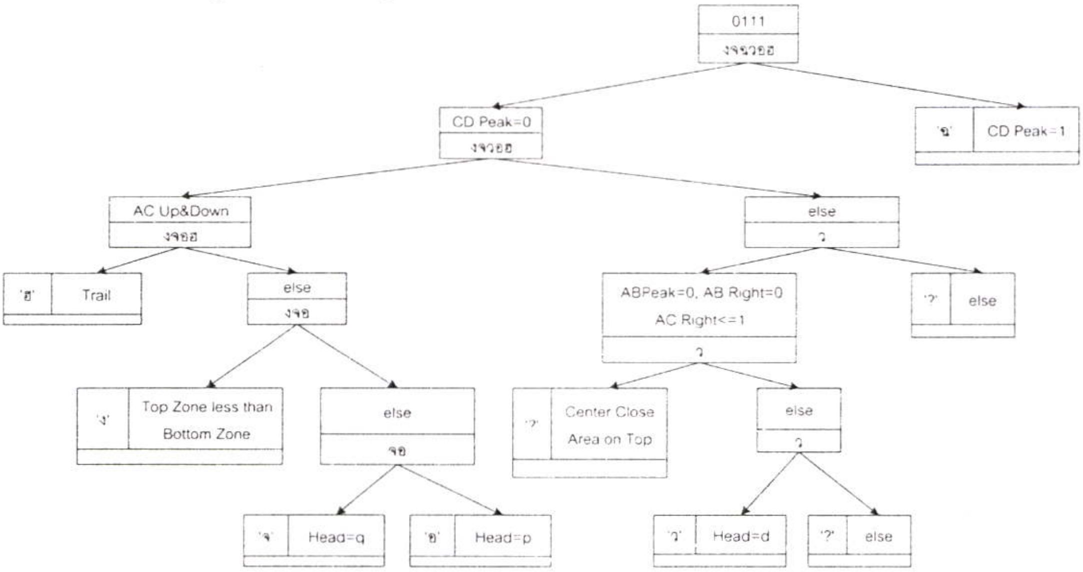
รูปที่ ง.3 แผนภาพการรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '0101' หรือ '1101'

ง.2.2 การรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '0110'



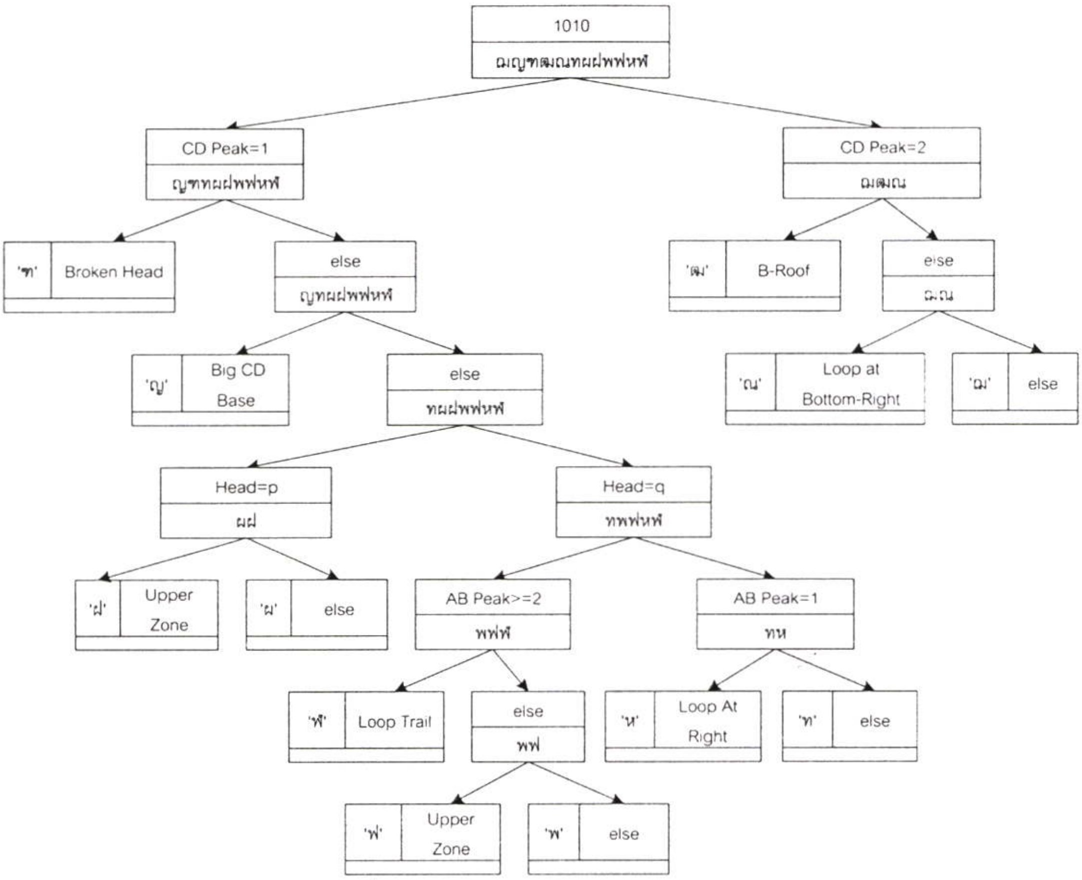
รูปที่ ง.4 แผนภาพการรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '0110'

ง.2.3 การรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '0111'



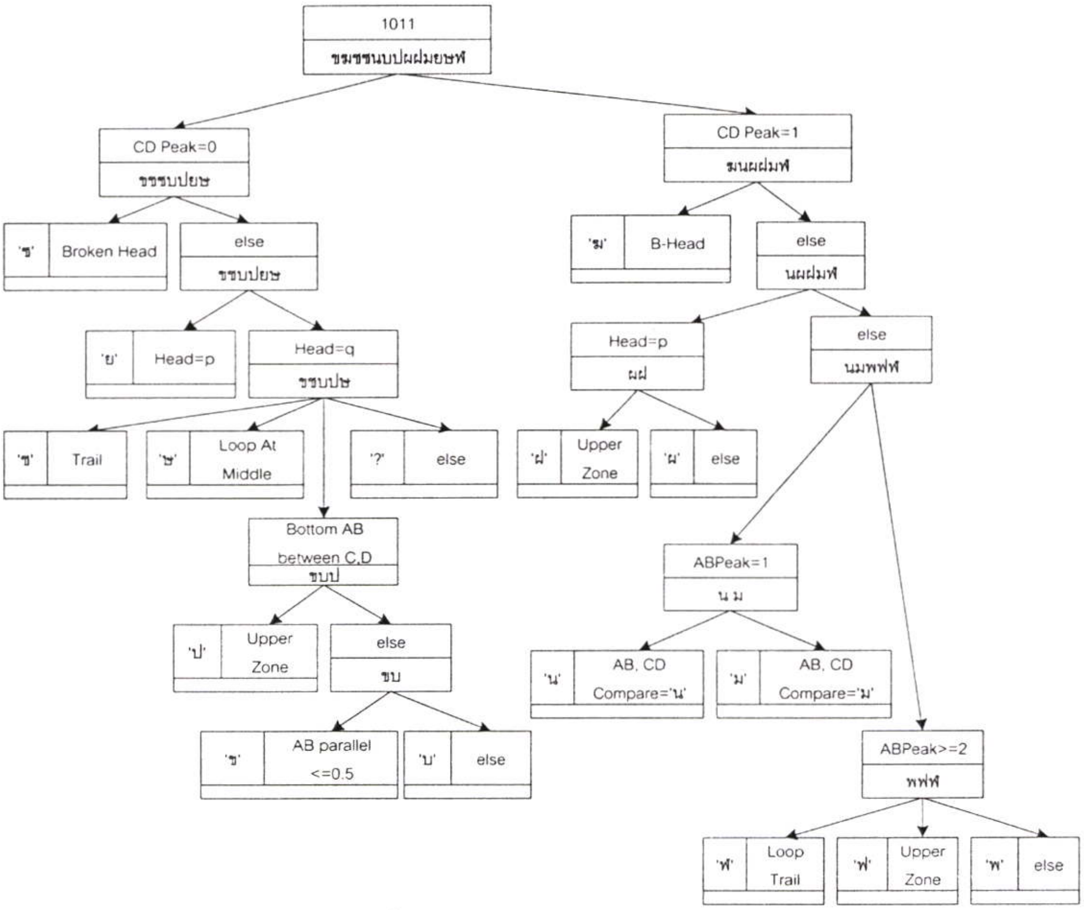
รูปที่ ง.5 แผนภาพการรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '0111'

ง.2.4 การรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '1010'



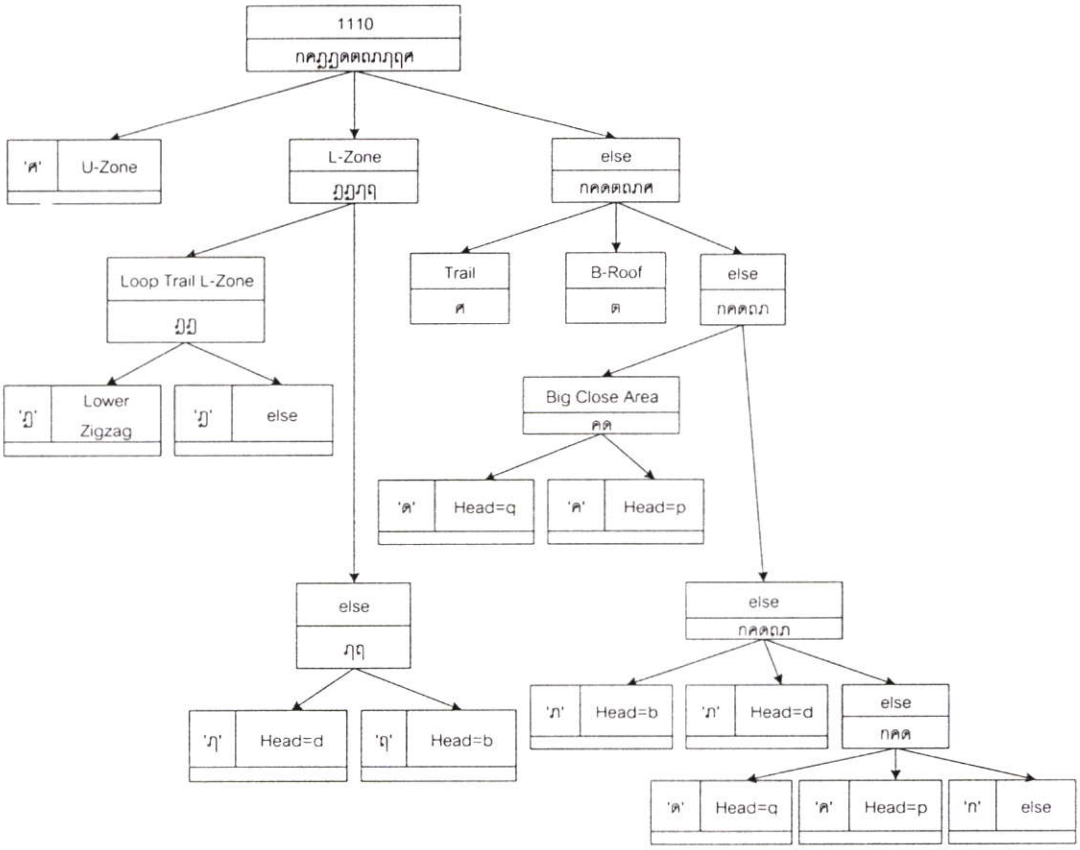
รูปที่ ง.6 แผนภาพการรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '1010'

ง.2.5 การรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '1011'



รูปที่ ง.7 แผนภาพการรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '1011'

ง.2.6 การรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '1110'

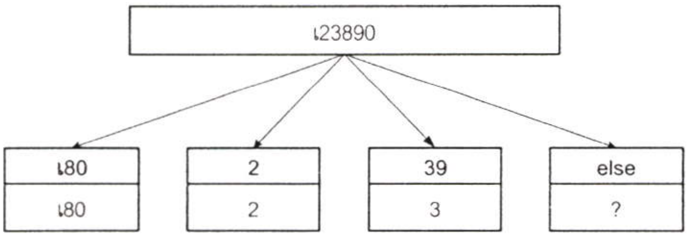


รูปที่ ง.8 แผนภาพการรู้จำอักษรที่มีคุณลักษณะหลัก '1110'

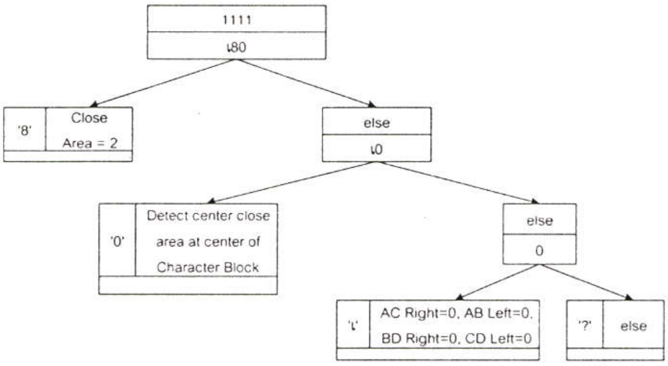
ง.3 การรู้จำอักษรระดับกลาง นอกเหนือจากพยัญชนะ

ในส่วนนี้ใช้คุณลักษณะเด่นของสระ หรือตัวเลขที่สามารถรู้จำโดยวิธีพิจารณาโครงสร้างอักษรได้อย่างถูกต้อง เพื่อทำให้การรู้จำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ก่อนที่จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการรู้จำ เพราะถ้าสามารถใช้วิธีการใดๆ ที่มีประสิทธิภาพมากกว่า ก็ควรใช้วิธีนั้นๆ เพื่อให้ประสิทธิภาพโดยรวม มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยเป็นลำดับ

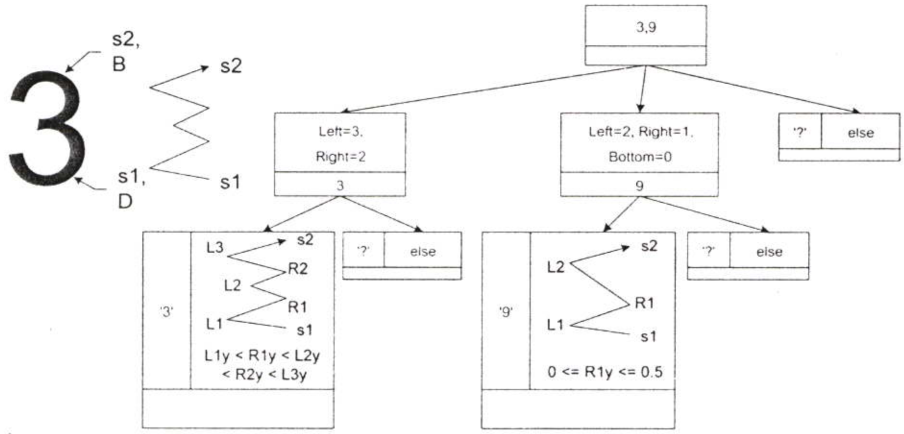
อักษรที่ใช้รู้จำในขั้นตอนนี้คือ 'เ23890' แสดงในรูปที่ ง.9 และคุณลักษณะเฉพาะที่ใช้ในการรู้จำอักษรชุดนี้ แสดงในรูปที่ ง.10 รูปที่ ง.11 และรูปที่ ง.12 ตามลำดับ



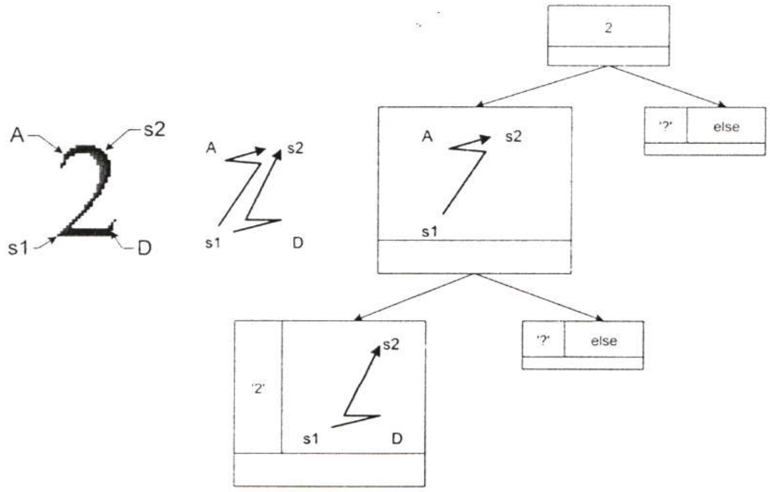
รูปที่ ง.9 แผนภาพระบบการรู้จำอักษรระดับกลาง นอกเหนือจากพยัญชนะ



รูปที่ ง.10 แผนภาพการรู้จำอักษรระดับกลาง นอกเหนือจากพยัญชนะ ที่มีคุณลักษณะหลัก '1111'



รูปที่ ง.11 แผนภาพการรู้จำอักษรระดับกลาง เลข 3, 9

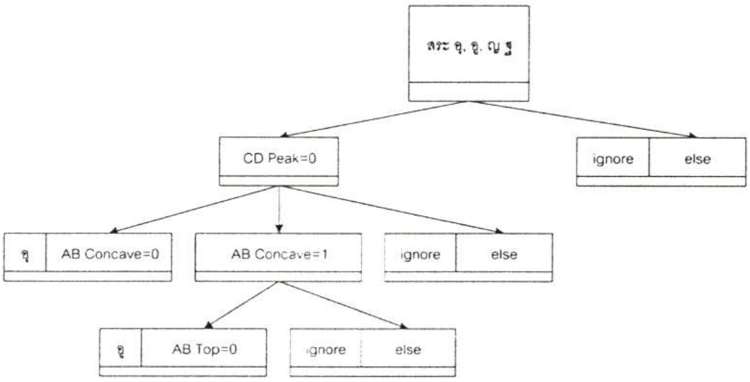


รูปที่ ง.12 แผนภาพการรู้จำอักษรระดับกลาง เลข 2

ง.4 การรู้จำอักษรระดับล่าง

อักษรภาษาไทยระดับล่างที่พบคือ สระอุ สระอู ส่วนเพิ่มเติมของอักษร ญ และส่วนเพิ่มเติมของอักษร ฐ ซึ่งส่วนเพิ่มเติมของอักษรทั้งสอง จะไม่ถูกพบในอักษรอื่นๆ เลย และในงานวิจัยนี้พิจารณาอักษรระดับกลาง อักษรระดับล่าง อักษรระดับบน และอักษรระดับเหนือบน เป็นลำดับวนจนครบทุกตัวอักษร ดังนั้นเมื่อการรู้จำอักษรระดับกลางพบว่าเป็นอักษร ญ หรือ ฐ จึงสามารถนำการรู้จำอักษรระดับกลางนั้นมาประกอบการพิจารณาในอักษรระดับล่างนี้ได้

แผนภาพการรู้จำอักษรระดับล่าง แสดงในรูปที่ ง.13



รูปที่ ง.13 แผนภาพการรู้จำอักษรระดับล่าง

ประวัติผู้เขียน

นายพงษ์เทพ รักผกาวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม 2513 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์) จากมหาวิทยาลัยกรุงเทพ ปีการศึกษา 2537

ปี พ.ศ. 2540 เข้ารับราชการในตำแหน่งอาจารย์ 1 ระดับ 3 สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม จ. พิษณุโลก

ปี พ.ศ. 2542 ลาศึกษาต่อปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง