สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตัดแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ติดกัน

THE SEGMENTATION OF CONNECTED THAI HANDWRITTEN CHARACTERS

โดย

นางสาวป่านแก้ว สีหาวงษ์

นายปิยะพงษ์ แดงขำ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61455
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE SEGMENTATION OF CONNECTED THAI HANDWRITTEN CHARACTERS

BY

Miss PANKAEO SIHAWONG

Mr. PIYAPONG DANGKHAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การตัดแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ติดกัน
ชื่อนักศึกษา	นางสาวป่านแก้ว สีหาวงษ์ รหัสประจำตัว 44010301
	นายปิยะพงษ์ แดงขำ รหัสประจำตัว 44010305
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สมเกียรติ อุดมหรรษากุล
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2547

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

.....

(ดร. สมเกียรติ อุดมหรรษากุล)
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การตัดแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่ติดกัน
ชื่อนักศึกษา	นางสาวป่านแก้ว สีหาวงษ์ รหัสประจำตัว 44010301
	นายปิยะพงษ์ แดงขำ รหัสประจำตัว 44010305
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สมเกียรติ อุดมหรรษากุล
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2547

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอแนวทางในการแยกตัวอักษรลายมือภาษาไทยที่ติดกัน ซึ่งภาษาไทยจะแตกต่างจากภาษาอื่น คือ ภาษาไทยมีถึง 3 ระดับทำให้เกิดการติดกันได้ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน โดยจะนำเสนอตั้งแต่การวิเคราะห์หาเส้นแบ่งระดับ การหาตัวอักษรที่ติดกัน จนถึงการแยกตัวอักษรที่ติดกัน โดยจะทำการเปรียบเทียบระหว่าง 2 วิธี คือ วิธีการดรอปฟอลลิ่ง (Drop Falling) ซึ่งพบว่ามีปัญหาในการแยกตัวอักษรผิดพลาดโดยการตัดผ่ากลางตัวอักษร และวิธีการแยกตัวอักษรโดยอาศัยลักษณะเด่นทางโครงร่าง (Structural Feature-Based Segmentation) โดยวิธีการนี้จะทำการหาจุดเชื่อม (Junction Point) ซึ่งใช้ในการหาตำแหน่งที่ติดกัน และจุดวิกฤต (Critical Point) ซึ่งใช้ในการหาแนวในการแยกตัวอักษรที่ติดกัน ซึ่งพบว่าวิธีการแยกโดยอาศัยลักษณะเด่นทางโครงสร้าง (Structural Feature-Based Segmentation) มีความถูกต้องมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The Segmentation of Connected Thai Handwritten Characters
Student	Miss PANKAEO SIHAWONG ID. 44010301
	Mr. PIYAPONG DANGKHAM ID. 44010305
Advisor	Dr. Somkait Udomhunsakul
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering
Department	Information Engineering
Academic Year	2004

ABSTRACT

This project presents the segmentation of connected Thai handwritten characters methods. Unlike other languages, there are three levels in Thai characters so they are able to be connected together in both vertical and horizontal styles. The segmentation of connected Thai handwritten characters is devided into three steps that are the level analysis, the connected character detection and the character segmentation. In the character segmentation step, we compare Drop Falling technique with Structural Feature-Based Segmentation technique, containing finding Junction Point (used to find the connected point) and Critical Point (used to find the segmentation directions). As a result, we found that Structural Feature-Based Segmentation technique works out more efficiently because there are many segmentation problems such as cutting through characters in Drop Falling technique.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากการให้คำแนะนำและคำปรึกษาของอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สมเกียรติ อุดมหรรษากุล นอกจากนี้ยังได้รับคำแนะนำด้านโปรแกรมภาษาซี++ ในส่วนของการประมวลผลภาพจากพี่ตั้ม อิทธิพันธ์ เมธเศรษฐ นักวิจัยจากเนคเทคอีกด้วย

ขอขอบคุณ คุณพ่อคุณแม่ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมา รวมทั้งเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือด้านการเก็บตัวอย่างข้อมูล ตลอดจนทุกๆ ฝ่ายที่ไม่ได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้

นางสาวป่านแก้ว สีหาวงษ์

นายปิยะพงษ์ แดงขำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เทคนิคการแยกตัวอักษร (Segmentation Techniques)	3
2.1.1 โปรเจคชั่น (Projection)	3
2.1.2 Connected Components Labeling	4
2.1.3 เทคนิคดรอปฟอลลิ่ง (Drop Falling Technique)	6
2.1.4 การแยกโดยอาศัยลักษณะเด่นของโครงร่าง (Structural Feature-Based Segmentation)	9
2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)	11
2.2.1 การหาขอบภาพ (Edge Detection)	11
2.2.2 Thinning Algorithm	14
บทที่ 3 การเก็บและวิเคราะห์ชุดข้อมูล	17
3.1 การเก็บข้อมูล	17
3.2 วิเคราะห์ชุดข้อมูล	17
3.2.1 ลักษณะของตัวอักษรไทย	17
3.2.2 ลักษณะการติดกันของตัวอักษร	18
3.2.3 ประเภทของการติดกันในประโยคภาษาไทย	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.3 การวิเคราะห์เส้นแบ่งระดับ	20
3.4 การวิเคราะห์หาตัวอักษรที่ติดกัน	21
3.4.1 แยกกลุ่มตัวอักษรด้วย Connected Components Labeling	21
3.4.2 width-to-height ratio	21
3.4.3 การตรวจหาตัวอักษรที่ติดกัน	21
3.5วิเคราะห์การติดกันของตัวอักษร 2 ตัวในระดับกลางกับระดับกลาง	23
3.5.1 เทคนิคดรอปฟอลลิ่งและโปรเจคชั่นแนวตั้ง	23
3.5.2 จุดเชื่อมต่อและจุดวิกฤต (Junction Point and Critical Point)	24
บทที่ 4 การทดสอบและผลที่ได้	26
4.1 การหาเส้นแบ่งระดับ	26
4.2 การตรวจหาการติดของตัวอักษร	27
4.3 การแยกตัวอักษรที่ติดกัน 2 ตัวในระดับกลาง	28
4.3.1 เทคนิคดรอปฟอลลิ่ง (Drop Falling Technique)	28
4.3.2 การแยกโดยอาศัยลักษณะเด่นของโครงร่าง	31
4.4 การแยกตัวอักษรที่ติดกันมากกว่า 2 ตัวในระดับกลาง	37
4.5 การแยกตัวอักษรที่ติดกัน 2 ตัวในต่างระดับ	39
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ และแนวทางการพัฒนาแก้ไข	41
5.1 การวิเคราะห์การติดกันของตัวอักษร	41
5.2 การแยกตัวอักษรที่ติดกันด้วยเทคนิคดรอปฟอลลิ่ง	41
5.3 การแยกตัวอักษรที่ติดกันด้วยวิธีการแยกโดยอาศัยลักษณะเด่นของโครงร่าง	42
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก ตัวอย่างชุดข้อมูลที่เก็บ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป 1.1 ขั้นตอนของกระบวนการรู้จำตัวอักษร 1

รูป 2.1 a) ค่าโปรเจคชั่นของภาพ 3

b) ค่าความแตกต่างของโปรเจคชั่นข้างเคียง

รูป2.2 a) ภาพที่จะนำมาทำ Labeling จะอยู่ในรูปแบบ binary image 4

b) การทำ Label ให้แต่ละ Connected Components

รูป 2.3 การแบ่ง connected components ของ labeling ตาม neighborhood 4

รูป 2.4 อัลกอริทึมการทำ Connected Components Labeling 5

รูป 2.5 การทำ Connected Components Labeling 5

รูป 2.6 ตัวอย่างการไหลของ Drop Falling Algorithm 6

รูป 2.7 การไหลของอัลกอริทึม Top-Left Drop Fall 7

รูป 2.8 รูปแบบการทำ Top – Right Drop Fall 7

รูป 2.9 รูปแบบการทำ Bottom – Left Drop Fall 8

รูป 2.10 รูปแบบการทำ Bottom – Right Drop Fall 8

รูป 2.11 การคำนวณมุมของพิกเซลขอบภาพ เพื่อหาค่าจุดวิกฤต 9

รูป 2.12 การแยกตัวอักษรโดยอาศัย Critical Point เป็นแนวการแยก 9

รูป 2.13 แสดง Junction Point ที่ได้จากกระบวนการ Thinning 10

รูป 2.14 ตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกันมักจะพบจุดเชื่อมต่ออยู่ด้วย 10

รูป 2.15 สมการ(1) อนุพันธ์อันดับหนึ่ง Gradient 11

สมการ(2) อนุพันธ์อันดับสอง Laplacian

รูป 2.16 Masks for Edge Detection 12

รูป 2.17 การทำ Edge Detection โดยใช้ Quick Mask 13

รูป 2.18 ผลการทำ Edge Detection โดยใช้ Quick Mask ของตัวอักษรที่ติดกัน 13

รูป 2.19 ผลจากการทำ Thinning โดยอัลกอริธึมต่างๆกัน 14

รูป 2.20 ผลจากการผ่านกระบวนการ 15

One-Pass Parallel Thinning in the Square Grid ในตัวอักษรไทยที่ติดกัน

รูป 2.21 เทมเพลทที่ใช้ในการทำThinning 16

รูป 3.1 ตัวอักษรของภาษาไทย 17

รูป 3.2 การติดแบบสัมผัส (Touching) 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป 3.3 การติดแบบต่อเนื่อง (Cursive) 18

รูป 3.4 การติดแบบซ้อนทับ (Overlapping) 19

รูป 3.5 ระดับการเขียนของประโยคภาษาไทย 19

รูป 3.6 แสดงความสูงของแต่ละบล็อกของการทำ Blob Coloring 20

รูป 3.7 แสดงการหาเส้นแบ่งระดับโดยใช้จุดกึ่งกลางมัธยฐาน และความสูงมัธยฐาน 21

รูป 3.8 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอักษรที่ติดกันพร้อมแสดงความกว้างของบล็อก 22

รูป 3.9 ผลของการใช้วิธีนี้ตรวจหาตัวอักษรที่ติดกัน 22

รูป 3.10 a) อักษรที่ติดกัน 2 ตัวในระดับกลาง 23

b) การทำดรอปฟอลลิ่งโดยเลือกจุดเริ่มที่เหมาะสม

c) การทำดรอปฟอลลิ่งโดยเลือกจุดเริ่มที่ผิด ทำให้การแยกผิดพลาด

รูป 3.11 ค่าโปรเจคชั่นสามารถนำมาร่วมพิจารณาหาจุดเริ่มดรอปฟอลลิ่งได้ 24

รูป 3.12 การเลือกจุดเชื่อมต่อจะเลือกจุดที่ใกล้กับเส้นแนวแบ่ง 25

ตามขนาดตัวอักษรเดี่ยวมากที่สุด

รูป 3.13 แสดงขั้นตอนการเลือกจุดวิกฤตทั้งบนและล่างของจุดเชื่อมต่อเพื่อใช้เป็นแนวแยก 25

รูป 4.1 ผลการวิเคราะห์เส้นแบ่งระดับตัวอักษร 26

รูป 4.2 ผลทดสอบการวิเคราะห์การติดกันของตัวอักษร 27

รูป 4.3 ทำการแบ่งภาพออกเป็น 4 ส่วน เลือกพิจารณาในส่วนที่ 2 และ 3 28

รูป 4.4 ผลการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคดรอปฟอลลิ่งในการแยก 29

รูป 4.4 (ต่อ) ผลการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคดรอปฟอลลิ่งในการแยก 30

รูป 4.5 ขั้นตอนการแยกตัวอักษรที่ติดกัน 31

รูป 4.6 ผลการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ลักษณะเด่นทางโครงร่างในการแยกที่ถูกต้อง 32

รูป 4.7 ผลการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ลักษณะเด่นทางโครงร่างในการแยกที่ผิดพลาด 33

รูป 4.8 ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรได้ถูกต้อง 34

รูป 4.8 (ต่อ) ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรได้ถูกต้อง 35

รูป 4.9 ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรได้ไม่ถูกต้อง 36

รูป 4.10 ขั้นตอนการแยกตัวอักษรที่ติดกันมากกว่า 2 ตัว โดยอาศัยการแยกออกทีละ 37

1 ตัวอักษร

รูป 4.11 ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรที่ติดกันมากกว่า 2 ตัว 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.12 การแยกตัวอักษรที่ติดกันในต่างระดับ 39
รูป 4.13 a) แสดงการแยกตัวอักษรที่ติดกันในแนวดิ่งได้ถูกต้อง 40
b) แสดงการแยกตัวอักษรที่ติดกันในแนวดิ่งไม่ถูกต้อง
รูป 5.1 a) ภาพที่จะนำตัวอักษรมาแยก 41
b) เมื่อทำการดรอปฟอลลิ่ง จะพบว่ามีการตัดผ่านตัวอักษร
c) ทิศทางการตัดที่ควรจะทำการแยกออกจากกัน
รูป 5.2 การเลือกจุดวิกฤตมีผลต่อแนวการแยกที่ถูกต้องด้วย 42
รูป 5.3 การเลือกจุดเชื่อมต่อมีผลต่อแนวการแยกที่ถูกต้องด้วย 43
รูป 5.4 การติดกันของตัวอักษรที่มีผลต่อการแยก 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

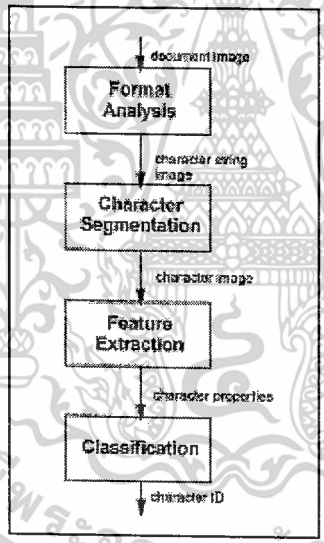
ตาราง 3.1 จำนวนประเภทของการติดกันในแต่ละระดับ 19
ตาราง 4.1 แสดงผลการแยกด้วยเทคนิคดรอปฟอลลิ่ง 30
ตาราง 4.2 เปรียบเทียบผลการแยกด้วยเทคนิคดรอปฟอลลิ่งและลักษณะเด่นทางโครงร่าง 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ในกระบวนการรู้จำตัวอักษร(Optical Character Recognition : OCR) นอกจากจะต้องมีอัลกอริทึมที่ดีในการรู้จำแล้ว ข้อมูลที่นำเข้าสู่กระบวนการจะต้องมีความสมบูรณ์อีกด้วย เช่น ตัวอักษรไม่มีการขาดและไม่เอียง นอกจากนี้ กระบวนการรู้จำยังมีปัญหาในการติดกันของตัวอักษร เพราะการรู้จำจะทำในตัวอักษรเดี่ยวๆ ซึ่งยังไม่มีวิธีการที่ใช้ได้ดีที่สุด แม้ว่าปัจจุบันจะมีการพัฒนาในส่วนเฉพาะการรู้จำเพื่อแก้ปัญหา แต่ก็จะต้องพัฒนาและปรับปรุงข้อมูลที่นำเข้าให้สมบูรณ์มากขึ้น เพราะจะเป็นการเพิ่มความถูกต้องให้กระบวนการรู้จำตัวอักษร



รูป 1.1 ขั้นตอนของกระบวนการรู้จำตัวอักษร

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการติดกันของตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย

1.2.2 เพื่อศึกษาแนวทางวิธีที่จะใช้แยกตัวอักษรที่ติดกัน และนำมาประยุกต์ใช้

1.2.3 เพื่อพัฒนาไปสู่ขั้นตอนของการทำกระบวนการรู้จำตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ชุดข้อมูลที่ใช้ประกอบไปด้วยตัวอักษรภาษาไทยทั้งหมด (พยัญชนะ สระ และวรรณยุกต์) รวมถึงเครื่องหมายวรรคตอน

1.3.2 จะทำการแยกตัวอักษรที่ติดกันแบบสัมผัสไม่ทำการแยกในส่วนที่ติดกันแบบซ้อนทับ

1.3.3 ผลการทดสอบจะวัดจากการสามารถอ่านเข้าใจในตัวอักษรที่ถูกแยกออกจากกัน

1.3.4 การศึกษามุ่งเพื่อหาแนวทางการแยกตัวอักษร เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการรู้จำตัวอักษร โดยจะทำการเขียนโปรแกรมด้วย ซีพลัสพลัส บิลเดอร์ 6 (C++ Builder 6) เพื่อทดสอบแนวความคิดที่ได้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

1. ศึกษาบทความต่างๆ ทั้งการแยกตัวอักษรลายมือเขียน และอักษรตัวพิมพ์
2. เก็บข้อมูลตัวอย่าง โดยทำต้นฉบับแบ่งออกเป็นชุดๆ แล้วนำไปให้ผู้อื่นเขียน
3. นำข้อมูลไปผ่านการสแกน แล้วทำการจัดเก็บให้อยู่ในรูปภาพโมโนโครม(monochrome) หรือ รูปภาพไบนารี (binary image) นั่นเอง
4. วิเคราะห์หาเส้นแบ่งระดับตัวอักษร
5. ตรวจหาตัวอักษรที่ติดกัน
6. นำแนวทางการแยกมาประยุกต์ใช้ เพื่อทดสอบผลที่ได้
7. สรุปผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคนิคการแยกตัวอักษร (Segmentation Techniques)

2.1.1 โปรเจคชั่น (Projection)

โปรเจคชั่น คือการสร้าง ฮิสโตแกรม (Histogram) ของตัวอักษรแต่ละตัว โดยนับเฉพาะจุดที่เป็นเนื้อของตัวอักษร แบ่งออกได้เป็น

- โปรเจคชั่นแนวตั้ง (Vertical Projection) จะทำการนับในแนวตั้ง
- โปรเจคชั่นแนวนอน (Horizontal Projection) จะทำการนับในแนวนอน

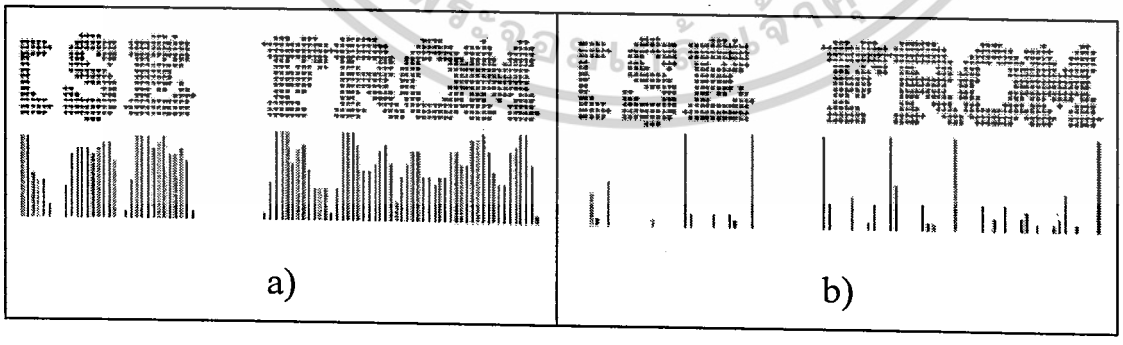
โดยสามารถเขียนสมการคำนวณได้ดังนี้

$$Vertical\ \Pr oj(x) = \sum_{y} P(x,y)$$

$$Horizontal\ \Pr oj(y) = \sum_{x} P(x,y)$$

เมื่อ P(x,y) เป็นค่าของจุดที่ตำแหน่ง x และ y

ค่าโปรเจคชั่นแนวตั้ง จะถูกนำไปใช้ในการแยกตัวอักษรโดยที่มีช่องว่างคั่น นั่นหมายถึงในสดมภ์นั้นจะมีค่าโปรเจคชั่นแนวตั้งที่เป็นศูนย์หรือมีค่าน้อยๆ นอกจากนี้ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าโปรเจคชั่นแนวตั้งข้างเคียงโดยใช้สมการอนุพันธ์อันดับสอง จะทำให้ได้ค่าสูงสุดที่ใช้เป็นจุดแยกตัวอักษรได้ โดยจะใช้ได้ดีกับตัวอักษรที่มีขนาดตัวคงที่ ซึ่งก็คือตัวพิมพ์นั่นเอง

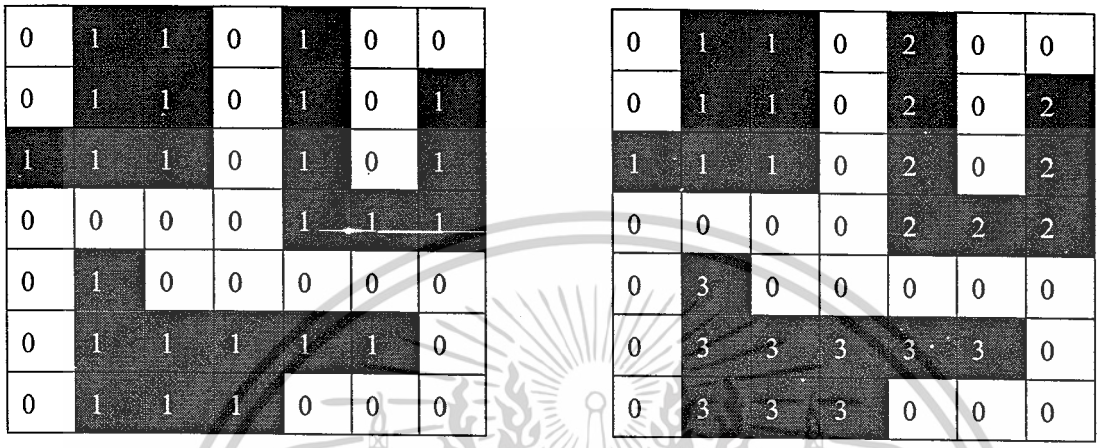


รูป 2.1 a) ค่าโปรเจคชั่นของภาพ
b) ค่าความแตกต่างของโปรเจคชั่นข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 Connected Components Labeling

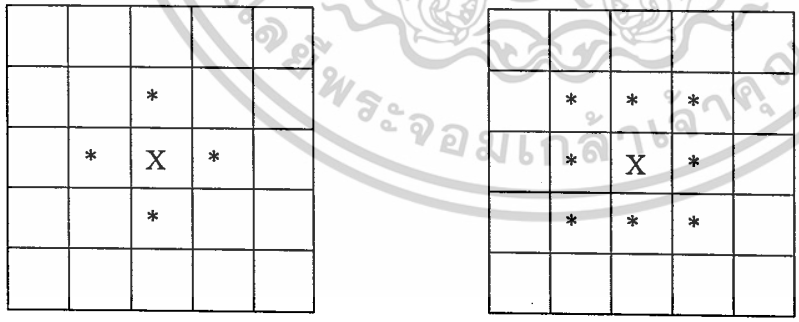
Connected Components Labeling เรียกอีกชื่อว่า Blob Coloring เป็นกระบวนการแยกวัตถุออกจากกัน โดยอาศัยการทำป้ายฉลาก(label) ให้วัตถุเพื่อสร้างความแตกต่างของแต่ละชิ้น



a) b)

รูป2.2 a) ภาพที่จะนำมาทำ Labeling จะอยู่ในรูปแบบของภาพไบนารี
b) การทำ Label ให้แต่ละ Connected Components

การทำป้ายฉลากจะใช้กับรูปภาพที่ผ่านการเธรสโฮล(threshold) ให้อยู่ในรูปของรูปภาพไบนารี เพื่อลดความซับซ้อนในกระบวนการ โดยมีการแบ่ง connected components ออกเป็นการติดกันใน 4 และ 8 พิเซลที่เป็นพิกเซลข้างเคียง (neighborhood) ของจุดกลาง



a) b)

รูป 2.3 การแบ่ง connected components ของ labeling ตาม neighborhood
a) 4 – connected b) 8 – connected
เมื่อ X คือ พิกเซลที่พิจารณาซึ่งเป็นจุดกลาง
* คือ พิกเซลข้างเคียง

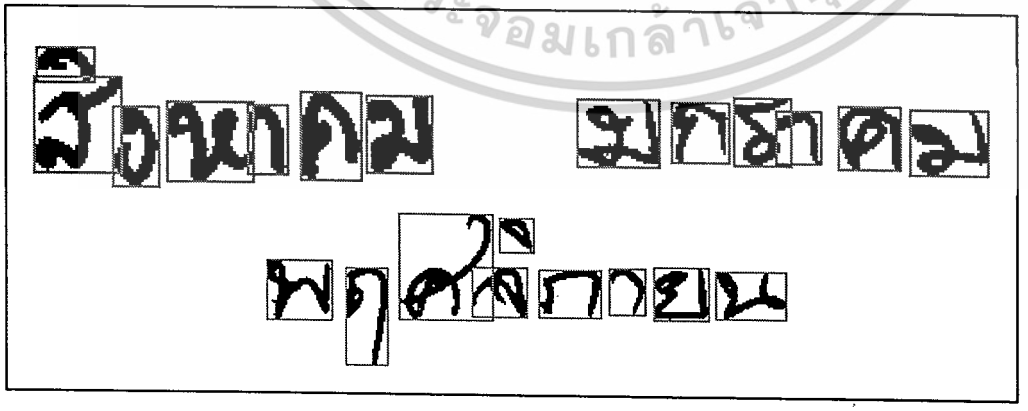
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึมในการทำป้ายฉลากจะเป็นการวนซ้ำในขอบเขตของป้ายฉลากแต่ละตัวจนเมื่อไม่พบค่าที่ต้องการในแต่ละconnected components ที่เลือกใช้ ก็จะทำการเลื่อนสู่พิกเซลอื่นต่อไป

```
Procedure Label;
for L : = 1 to NLINES do
    for P : = 1 to NPIXELS do
        { if I(L,P) = = 1
            I(L,P) : = LABEL;
            Boundary : = Rect( I(L,P) );
            for BL : = L to BLINES do
               for BP : = P to BPIXELS do
                  { if I(BL,BP) = = 1 and CheckNeighBour
                        I(BL,BP) := LABEL;
                        Extend Boundary;
                  }
            LABEL ++;
        }
```

รูป 2.4 อัลกอริทึมการทำ Connected Components Labeling

ตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยไม่สามารถใช้ค่าโปรเจคชั่นเข้ามาช่วยในการแยกตัวอักษรออกเป็นตัวเดี่ยวๆได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากเส้นโค้งของอักษรที่มาประกอบกันมีความซับซ้อน อีกทั้งอักษรบางตัวยังมีหางชี้ขึ้นหรือลงทำให้เกิดการเหลื่อมล้ำกันของขอบเขตตัวอักษร ทางออกในการแก้ไข คือนำ Connected Components Labeling มาช่วยจัดกลุ่ม



รูป 2.5 การทำ Connected Components Labeling ช่วยแยกตัวอักษรออกจากกันแม้จะมีส่วนที่เหลื่อมกันอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 เทคนิคดรอปฟอลลิ่ง (Drop Falling Technique)

ดรอปฟอลลิ่ง เป็นวิธีการแยกตัวอักษรที่ติดกันโดยจะทำการตัดในจุดที่เหมาะสม วิธีการการแยกนี้จะอาศัยการไหลผ่านขอบของตัวอักษรไปจนถึงจุดที่เป็นแอ่งที่ไม่สามารถไหลผ่านไปได้อีกก็จะทำการตัดเพื่อให้ตัวอักษรทั้งสองออกจากกัน คล้ายกับการไหลของน้ำ ดรอปฟอลลิ่งได้มีการพัฒนาออกมาถึง 4 รูปแบบคือ

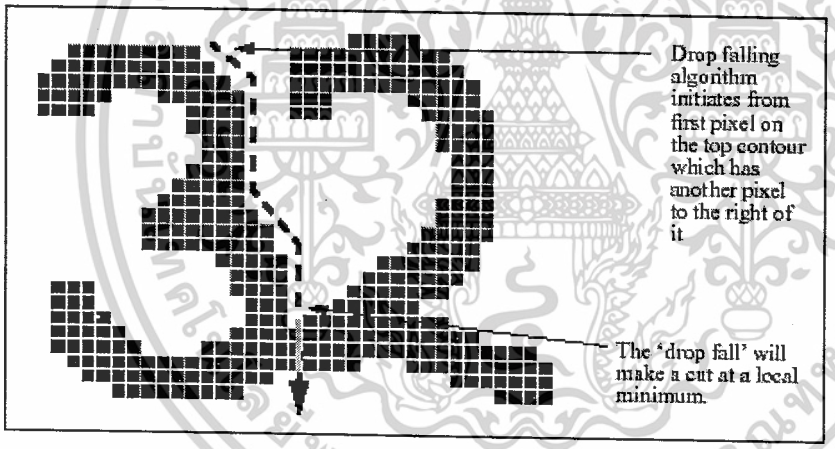
1 Top-Left Drop Fall

2 Top-Right Drop Fall

3 Bottom-Left Drop Fall

4 Bottom-Right Drop Fall

โดยในแต่ละรูปแบบจะให้ความสำคัญในทิศทางการไหลต่างกัน ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละรูปแบบดังนี้

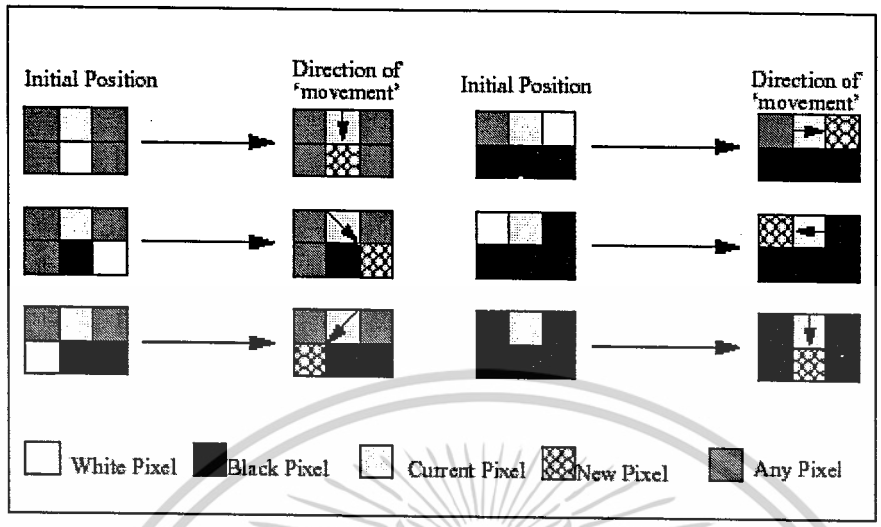


รูป 2.6 ตัวอย่างการไหลของดรอปฟอลลิ่งอัลกอริธึม

1 Top –Left Drop Fall

รูปแบบดรอปฟอลลิ่งนี้เป็นรูปแบบพื้นฐานของอีก 3 รูปแบบที่เหลือ โดยหลักการจะทำการหาพิกเซล(pixel) ที่เป็นจุดเริ่มต้นแล้วพิจารณาในพิกเซลด้านล่าง เป็นอันดับแรกว่าเป็นสีดำหรือไม่ ถ้าไม่ใช่ก็จะทำการไหลไปที่ตำแหน่งนั้น เนื่องจากแสดงว่าจุดนั้นไม่ใช่ส่วนที่เป็นตัวอักษร ถัดมาจะพิจารณาที่จุดด้านล่างขวา ล่างซ้าย ด้านขวา ด้านซ้าย ตามลำดับ จนกระทั่งไม่สามารถไหลไปในทิศทางอื่นได้(มีจุดดำล้อมรอบ) ก็จะทำการไหลทะลุผ่านจุดดำลงด้านล่าง ซึ่งแสดงได้ดังรูป 2.7

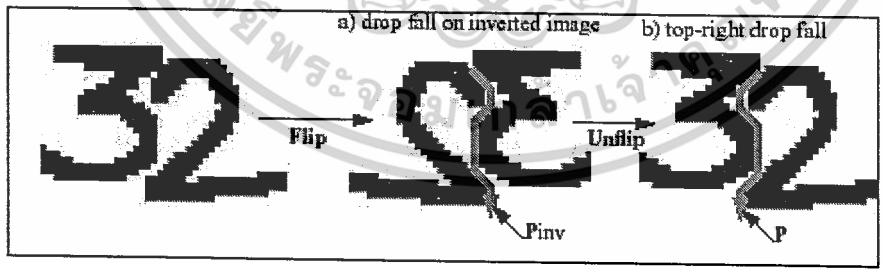
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.7 การไหลของอัลกอริทึม Top-Left Drop Fall

2 Top – Right Drop Fall

ขั้นตอนจะคล้ายกับ Top-Left โดยจะให้ลำดับความสำคัญในทิศทางการไหลต่างกัน รูปแบบนี้จะให้ความสำคัญในทิศทางจากขวาไปซ้าย คือจะกำหนดทิศทางการไหลจากด้านล่างซ้าย ด้านล่างขวา ด้านซ้าย ด้านขวา ตามลำดับ ในกรณีที่ไม่มีทิศทางการไหลจะทำการทะลุผ่านจุดดำ เพื่อเป็นการตัดแยกตัวอักษรออกจากกัน Top-Right นี้สามารถอธิบายโดยใช้ขั้นตอน Top-Left ได้ ด้วยการพลิกรูปในแนวตั้งแล้วทำ Top-Left เสร็จแล้วจึงพลิกรูปกลับคืนสู่สภาพเดิม

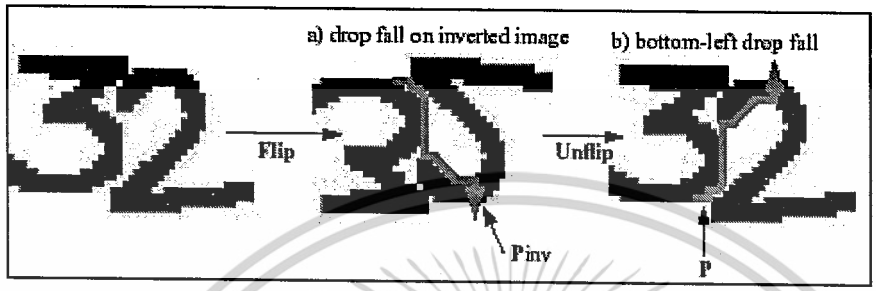


รูป 2.8 รูปแบบการทำ Top – Right Drop Fall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 Bottom – Left Drop Fall

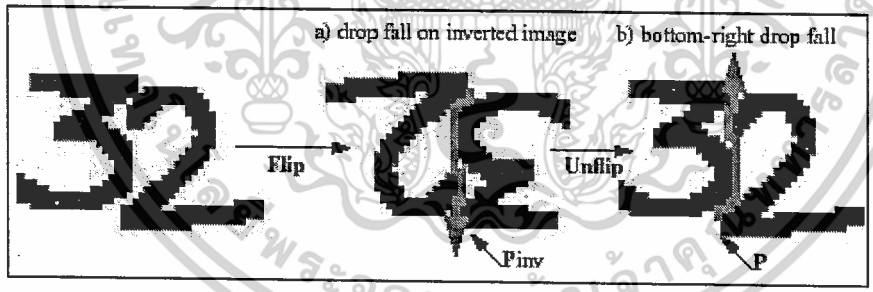
รูปแบบนี้จะกลับการไหลเป็นจากล่างขึ้นบน ส่วนทิศทางการไหลขวา-ซ้ายยังคงกำหนดเหมือนกับTop-Left ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการพลิกรูปในแนวนอนแล้วทำ Top-Left และทำการพลิกรูปกลับคืนเหมือนเดิม



รูป 2.9 รูปแบบการทำ Bottom – Left Drop Fall

4 Bottom – Right Drop Fall

การแยกด้วยรูปแบบนี้จะคล้ายกับรูปแบบก่อนหน้านี้ และลำดับการไหลในทิศทางซ้ายขวาจะเหมือนกับ Top – Right ซึ่งก็สามารถอธิบายได้ด้วยการใช้ Top-Left ในการแยกด้วยรูปแบบนี้ โดยการพลิกรูปในแนวนอนและแนวตั้ง จากนั้นทำ Top-Left เสร็จแล้วจึงพลิกรูปกลับตามเดิม



รูป 2.10 รูปแบบการทำ Bottom – Right Drop Fall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การแยกโดยอาศัยลักษณะเด่นของโครงร่าง (Structural Feature-Based Segmentation)

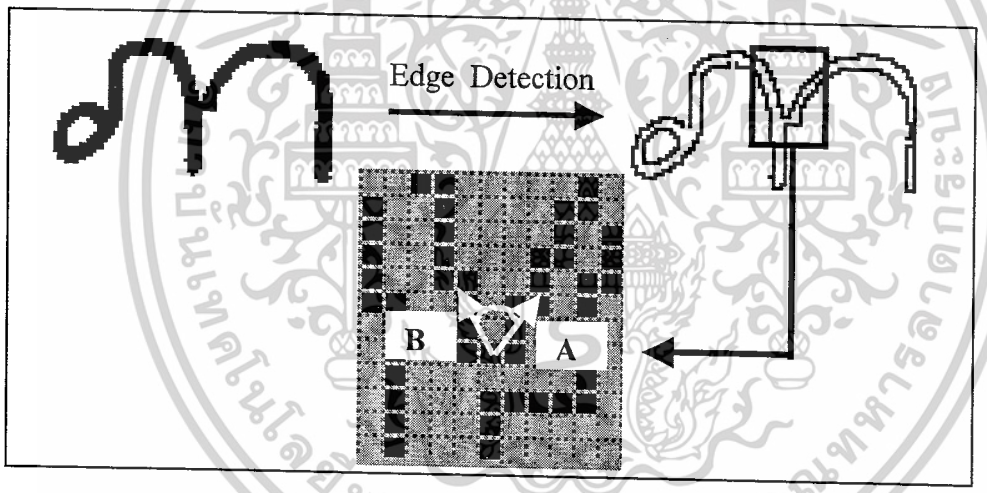
การแยกลักษณะนี้จะอาศัยโครงร่างที่เป็นลักษณะเด่นของตัวอักษรแต่ละตัว เช่น การหามุมที่แคบของขอบที่ติดกันของตัวอักษร หรือการหาตำแหน่งที่ติดโดยอาศัยโครงเส้น

1 จุดวิกฤต (Critical Point)

จากการสังเกตตัวอักษรที่ติดกัน ตำแหน่งที่ติดกันมักจะทำมุมแคบๆ ซึ่งเราจะเรียกจุดพวกนี้ว่าจุดวิกฤต (Critical Point) สามารถคำนวณมุมจากขอบของตัวอักษร โดยอาศัยหลักการทางเวกเตอร์ คือ

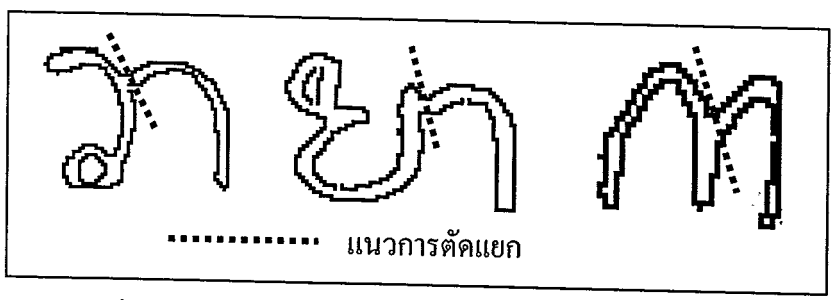
$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\vec{A} \bullet \vec{B}}{|A||B|}\right)$$

โดย A และ B เป็นเวกเตอร์ที่ลากออกจากจุดที่ต้องการหาจุดวิกฤต



รูป 2.11 การคำนวณมุมของพิกเซลขอบภาพ เพื่อหาค่าจุดวิกฤต

นอกจากนี้ หากใช้จุดวิกฤตในบริเวณที่ตัวอักษรติดกันเป็นแนวแยก ก็จะสามารถแยกตัวอักษรออกจากกันได้อย่างถูกต้อง โดยอาศัยจุดวิกฤตที่มุมเล็กที่สุด ทั้งขอบภาพด้านบนและด้านล่าง จากนั้นจึงลากเส้นเชื่อมระว่างสองจุดที่เลือกไว้

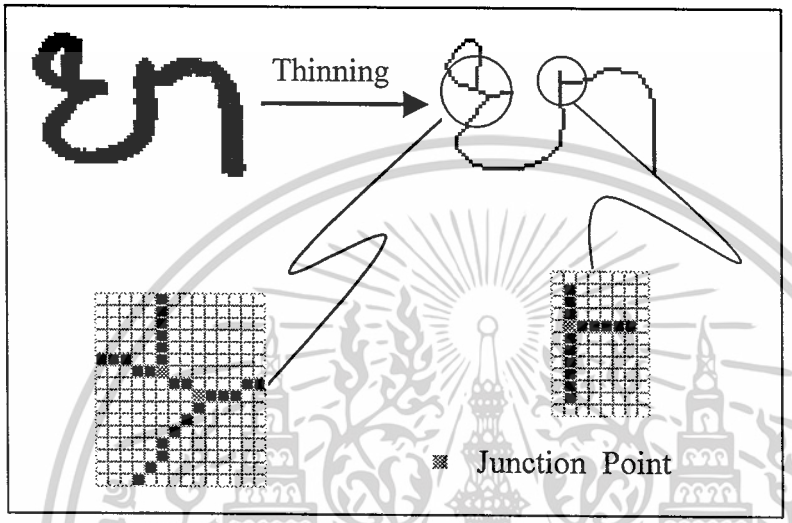


รูป 2.12 การแยกตัวอักษรโดยอาศัยจุดวิกฤตเป็นแนวการแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

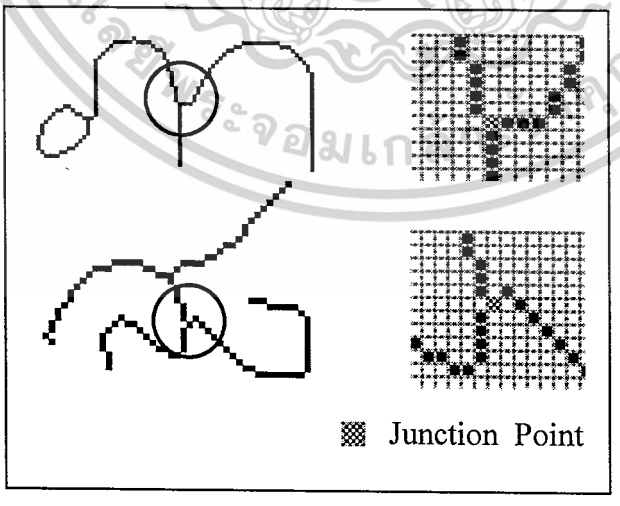
2 จุดเชื่อมต่อ (Junction Point)

การประมวลผลภาพมีกระบวนการหนึ่งที่เรียกว่า Thinning คือการทำให้ขนาดความกว้างของภาพเหลือเพียงพิกเซลเดียว และรูปภาพที่ได้จะมีจุดบางจุดที่มีลักษณะเป็นจุดแยก โดยจะเรียกจุดที่มีการแยกนี้ว่า จุดเชื่อมต่อ (Junction Point)



รูป 2.13 แสดงจุดเชื่อมต่อที่ได้จากกระบวนการ Thinning

เมื่อพิจารณาในตำแหน่งของตัวอักษรที่ติดกันจะพบจุดเชื่อมต่ออยู่ด้วย ดังนั้นจึงสามารถหาตำแหน่งของตัวอักษรที่ติดกันจากการหาจุดเชื่อมต่อ



รูป 2.14 ตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกันมักจะพบจุดเชื่อมต่ออยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

2.2.1 การหาขอบภาพ (Edge Detection)

การหาขอบภาพ (Edge Detection)เป็นตัวดำเนินการเพื่อหาขอบภาพ(Edge) โดยขอบภาพจะสามารถบอกถึงตำแหน่ง ขนาด จนถึงรูปร่างของวัตถุนั้นๆ ได้

ในการหาขอบภาพจะใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่งและสองในการตรวจจับ โดยที่อนุพันธ์อันดับหนึ่ง(First Order Derivative) จะได้แก่ ตัวดำเนินการ Sobel, Pewitt ส่วนอนุพันธ์อันดับสองได้แก่ ตัวดำเนินการ Laplacian

$$\nabla f = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} + \frac{\partial f(x,y)}{\partial y}$$
$$= f(x+1) - f(x) + f(y+1) - f(y) \qquad \text{_____(1)}$$
$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2}$$
$$= [f(x+1,y) + f(x-1,y) - 2f(x,y)]$$
$$+ [f(x,y+1) + f(x,y-1) - 2f(x,y)]$$
$$= f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1) - 4f(x,y) \qquad \text{_____(2)}$$

Gradient Magnitude $\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$

รูป 2.15 สมการ(1) อนุพันธ์อันดับหนึ่ง Gradient
สมการ(2) อนุพันธ์อันดับสอง Laplacian

นอกจาก Prewitt, Sobel แล้วยังมีแมสค์(mask) แบบอื่นๆ อีกเช่น Kirsch ,Quick Mask ,Mexican Hat โดยจะมีรูปแบบของแมสค์ต่างๆกัน และยังตรวจจับขอบได้ในทิศทางต่างๆ กันอีกด้วย ซึ่งอาศัยการคอนโวลูชั่น (convolution) ของรูปภาพกับแมสค์ทิศทางต่างๆ แล้วนำมารวมกันแบบ Magnitude

โดยควิกแมสค์ (Quick Mask) เป็นแมสค์ที่สามารถตรวจจับขอบทั้งแปดทิศทางได้ในการทำคอนโวลูชั่นเพียงครั้งเดียว ซึ่งถ้าต้องการความเร็วและขอบทุกทิศทางจึงควรเลือกใช้แมสค์ชนิดนี้ แต่ถ้าต้องการขอบภาพในบางทิศทางก็สามารถเลือกใช้แมสค์แบบอื่นๆ ได้อีก

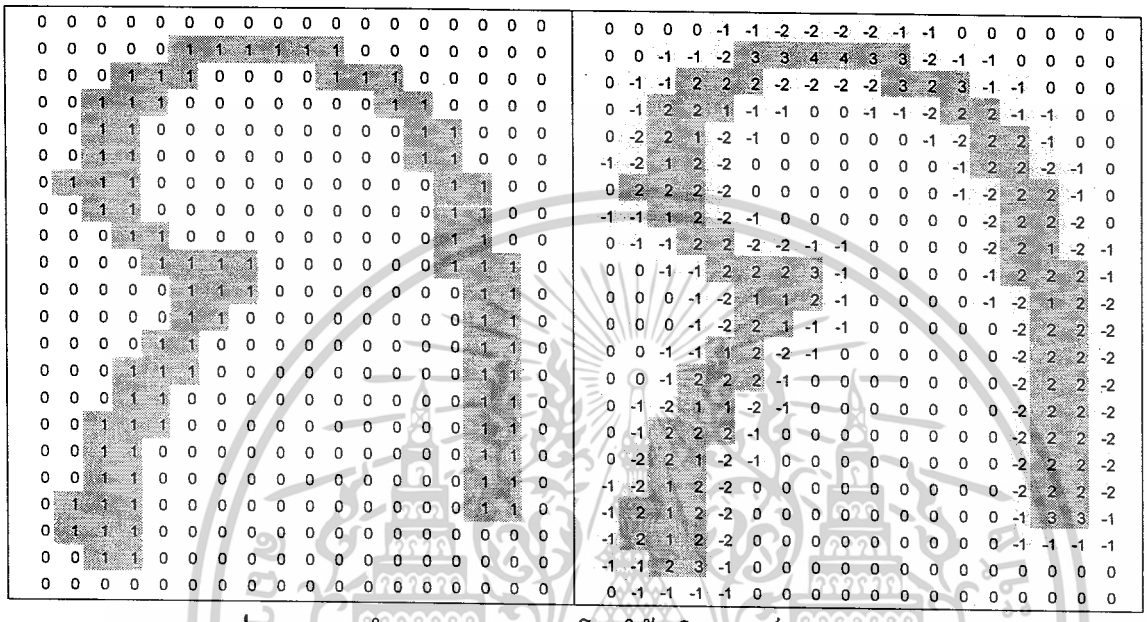
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kirsch	Prewitt	Sobel	Quick Mask
5 5 5 -3 0 -3 -3 -3 -3	1 1 1 1 -2 1 -1 -1 -1	1 2 1 0 0 0 -1 -2 -1	-1 0 -1 0 4 0 -1 0 -1
-3 5 5 -3 0 5 -3 -3 -3	1 1 1 1 -2 -1 1 -1 -1	2 1 0 1 0 -1 0 -2 -2	
-3 -3 5 -3 0 5 -3 -3 5	1 1 -1 1 -2 -1 1 1 -1	1 0 -1 2 0 -2 1 0 -1	
-3 -3 -3 -3 0 5 -3 5 5	1 -1 -1 1 -2 -1 1 1 1	0 -1 -2 1 0 -1 2 1 0	
-3 -3 -3 -3 0 -3 5 5 5	-1 -1 -1 1 -2 1 1 1 1	-1 -2 -1 0 0 0 1 2 1	
-3 -3 -3 5 0 -3 5 5 -3	-1 -1 1 -1 -2 1 1 1 1	-2 -1 0 -1 0 1 0 1 2	
5 -3 -3 5 0 -3 5 -3 -3	-1 1 1 -1 -2 1 -1 1 1	-1 0 1 -2 0 2 -1 0 1	
5 5 -3 5 0 -3 -3 -3 -3	1 1 1 -1 -2 1 -1 -1 1	0 1 2 -1 0 1 -2 -1 0	

รูป 2.16 แมสค์ที่ใช้ในการหาขอบภาพ

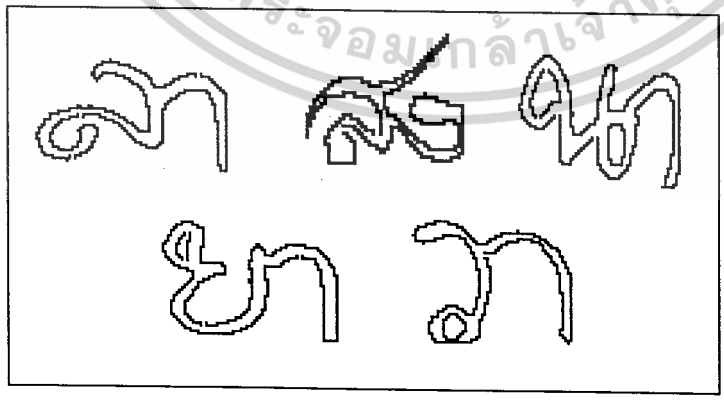
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการใช้แมสค์แบบต่างๆเพื่อตรวจจับขอบแล้ว ในส่วนของรูปภาพที่ถูกเก็บอยู่ในรูปของไบนารี (มีเพียงสีดำและขาวเท่านั้น) ยังต้องเลือกค่าที่ได้จากผลของการคอนโวลูชั่นอีกด้วย เนื่องจากค่าที่ได้ออกมาจะมีผลลัพธ์ที่มากกว่าตัวเลข 0 หรือ 1



รูป 2.17 การทำ การหาขอบภาพโดยใช้ ควิกแมสค์

จากรูปจะพบว่า เมื่อทำการคอนโวลูชั่นแล้วจะได้ค่าของแต่ละพิกเซลเปลี่ยนไป ซึ่งผลลัพธ์ไม่ได้มีเพียงแค่ 0 และ 1 เท่านั้น แต่จะพบ -2 ,-1 ,0 ,1 ,2 และ 3 รวมกันอยู่ ซึ่งค่าที่จะเลือกนำมาใช้เพื่อเป็นขอบของภาพถูกเลือกจากพิกเซลที่มีค่าน้อยกว่า 0 (ในที่นี้คือ -2 และ -1 นั่นเอง)



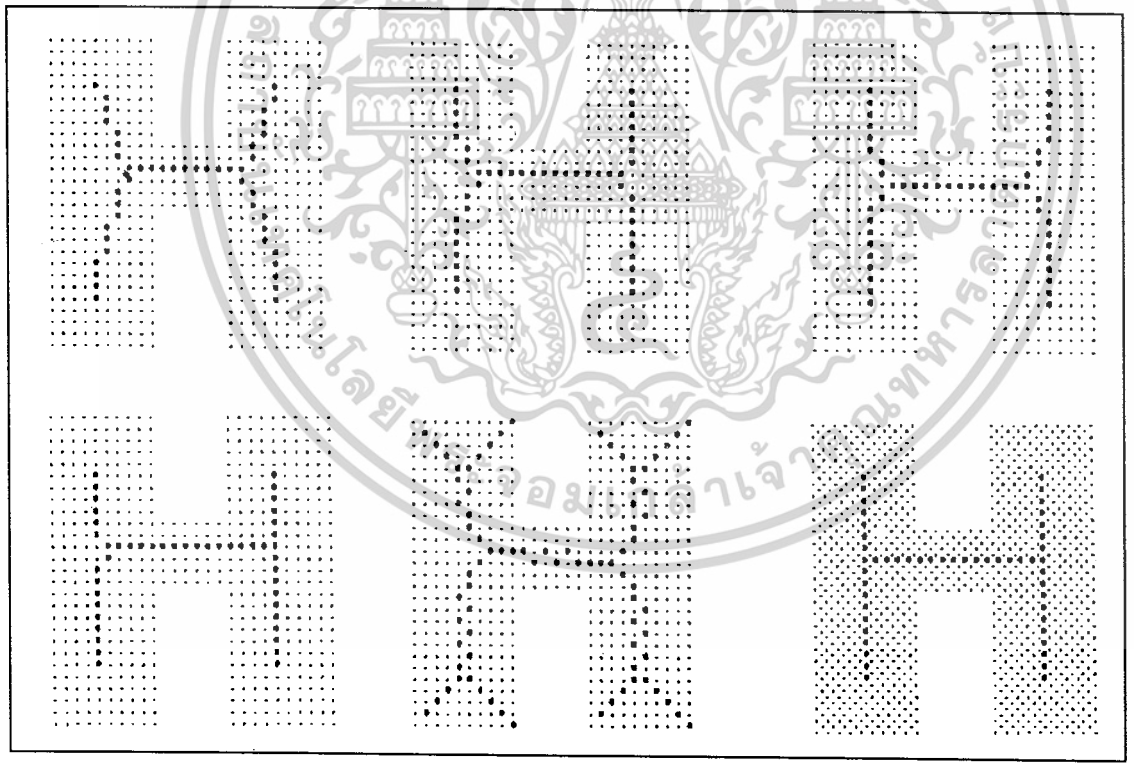
รูป 2.18 ผลการทำ การหาขอบภาพโดยใช้ ควิกแมสค์ของตัวอักษรที่ติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 Thinning Algorithm

Thinning เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปภาพไบนารีที่มีขนาดความกว้างพิกเซลที่ใหญ่ให้ความกว้างเหลือเพียงพิกเซลเดียว กระบวนการนี้ถูกใช้ในหลายด้าน เช่น ขั้นตอนการรู้จำ และใช้ในเรื่องการอธิบายรูปร่าง ซึ่งการทำ Thinning แบ่งได้เป็น 2 แบบที่เป็นพื้นฐานของกระบวนการนี้ คือ iterative boundary removal และ distance transformation โดยแบบ iterative boundary removal ยังถูกแบ่งออกเป็นอีก 2 วิธีคือ แบบลำดับ(sequential) และ แบบขนาน(parallel) ซึ่งใช้ต่างกันในรูปแบบของการประมวลผลทางเครื่องคอมพิวเตอร์

ในการทำ Thinning มีผู้คิดขั้นตอนซึ่งให้ได้ผลลัพธ์ต่างๆกันแล้วแต่การใช้งาน แต่ส่วนมากแล้ว Thinning ที่ดีจะต้องรักษาโครงร่างของรูปเก่าไว้ให้ได้ดีที่สุด รูปแบบของผลลัพธ์การทำ Thinning ในแบบต่างๆแสดงได้ดังภาพข้างล่าง



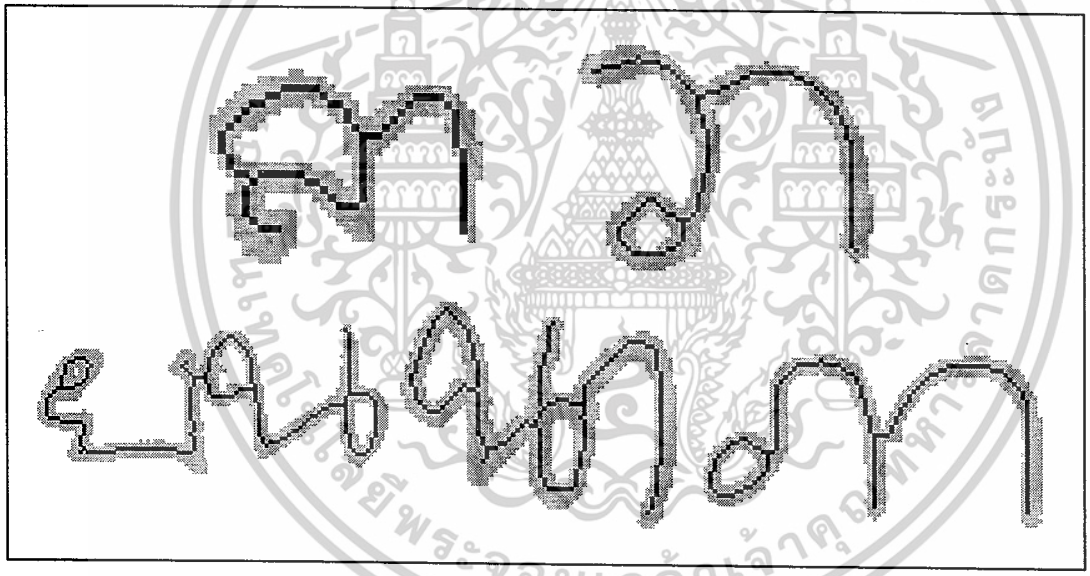
รูป 2.19 ผลจากการทำ Thinning โดยอัลกอริธึมต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

One-Pass Parallel Thinning in the Square Grid

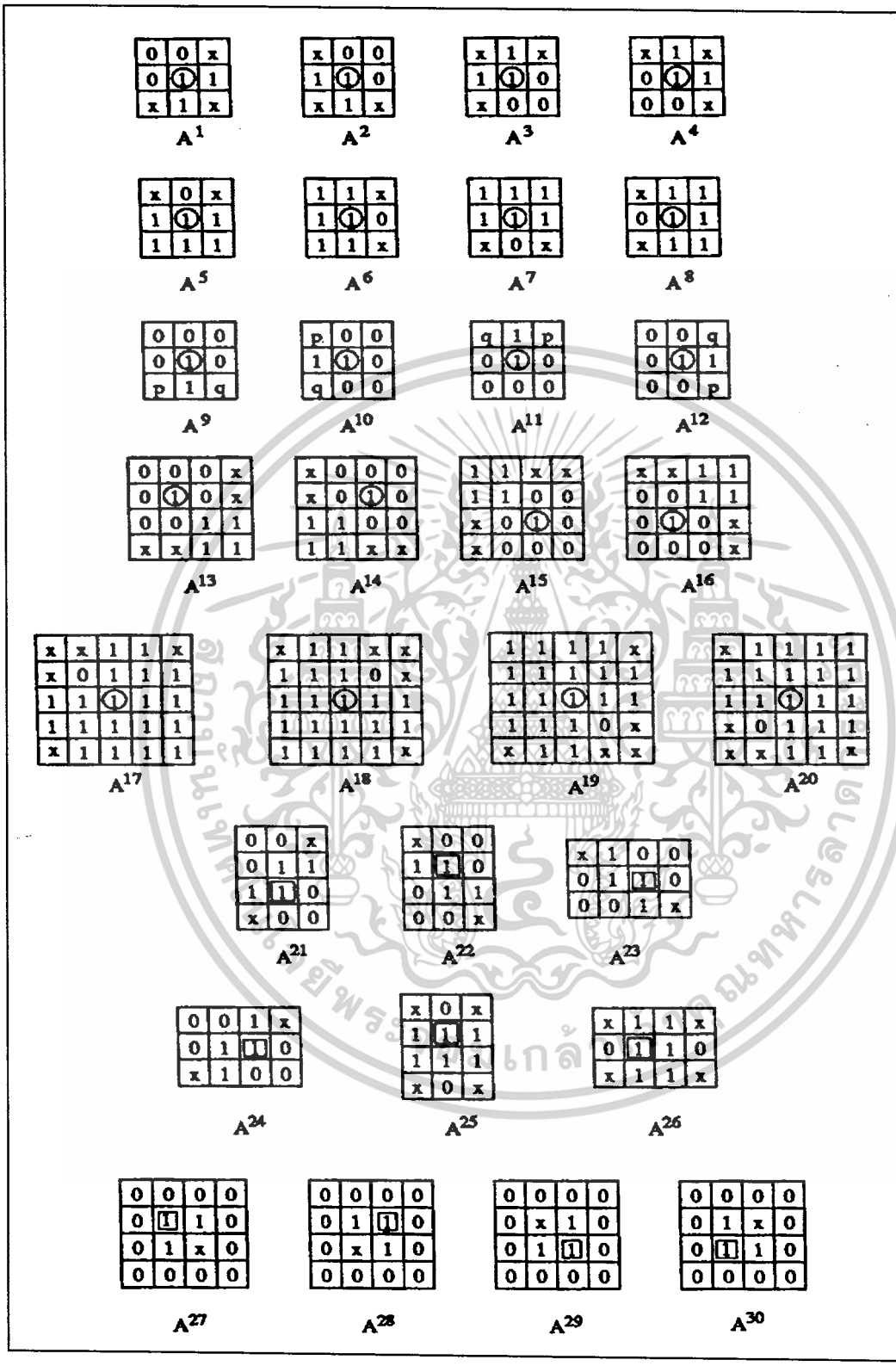
การทำ Thinning ในรูปแบบนี้จะอาศัยเทมเพลท (Template) ที่มีทั้งหมด 30 เทมเพลท ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชุดด้วยกัน คือ ชุดที่กำจัดพิกเซลออก (Remove Boundary Pixel Templates) และชุดคืนค่า(Restoring Templates) โดยชุดแรกจะใช้เทมเพลทตั้งแต่ A^1 ถึง A^{20} ส่วนที่เหลือจะเป็นเทมเพลทชุดคืนค่า

ขั้นตอนของอัลกอริธึมนี้จะเริ่มโดยการนำเทมเพลทไปเปรียบเทียบกับภาพ ถ้าเหมือนกันก็จะทำการลบพิกเซลนั้นออกในกรณีที่ใช้เทมเพลทชุดแรก แต่ถ้าเข้ากรณีของชุดที่สองก็จะคืนค่าให้เหมือนเดิม ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการวางเทมเพลทเปรียบเทียบก็จะได้ผลของการทำ Thinning ภาพ



รูป 2.20 ผลจากการผ่านกระบวนการ One-Pass Parallel Thinning in the Square Grid ในตัวอักษรไทยที่ติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.21 เทมเพลทที่ใช้ในการทำThinning โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ A^1-A^{20} และ A^{21} -A^{30} ซึ่ง p กับ q เป็นตัวแปรที่ต้องมีค่า p or q = 1 ส่วน X คือ don't cares

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
การเก็บและวิเคราะห์ชุดข้อมูล

ชุดข้อมูลที่นำมาทดสอบได้เก็บตัวอย่างมาจากนักศึกษาวิศวกรรมสารสนเทศ โดยมีรูปแบบให้แล้วเขียนตาม

3.1 การเก็บข้อมูล

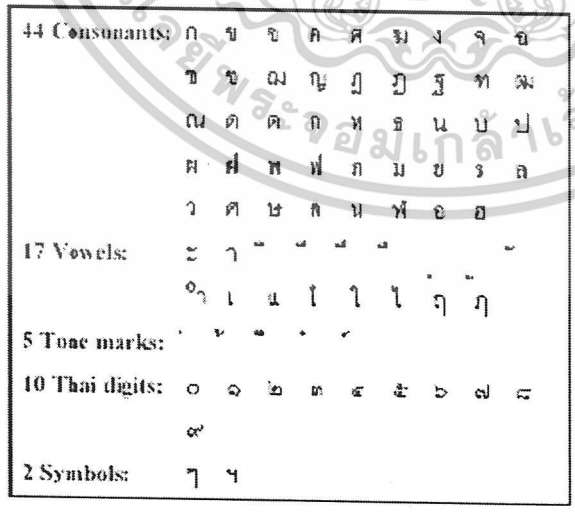
จากชุดข้อมูลที่เก็บมาได้ นำมาผ่านสแกนเนอร์(scanner) ที่รีโซลูชั่น(resolution) 300 dpi โดยในขั้นตอนแรกนี้จะจัดเก็บอยู่ในรูปแบบไฟล์.tif จากนั้นนำไฟล์ที่ได้ไปปรับ briteness/contrast ด้วยโปรแกรม Photoshop แล้วจึงจัดเก็บให้อยู่ในรูปของไฟล์ .bmp ชนิด monochrome

3.2 วิเคราะห์ชุดข้อมูล

3.2.1 ลักษณะของตัวอักษรไทย

ตัวอักษรไทยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

- พยัญชนะ
- สระ
- วรรณยุกต์



รูป 3.1 ตัวอักษรของภาษาไทย

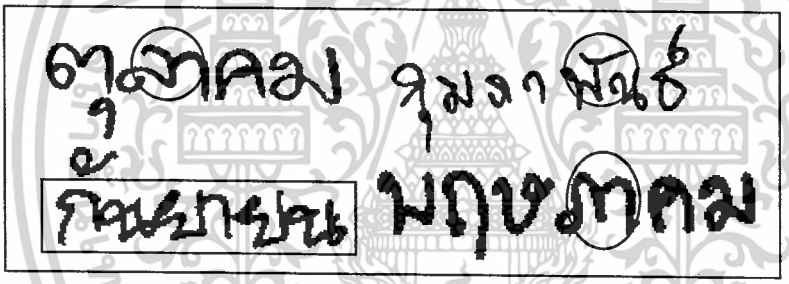
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61455

โดยในส่วนของสระ ระบบการรู้จำตัวอักษรจะทำการแยกการรู้จำ เช่น สระ เอาะ จะแยกออกเป็น สระเอ สระอา และสระอะ นอกจากนั้นยังมีเครื่องหมายวรรคตอนต่างๆ และตัวเลขอีกด้วย ในการเขียนเป็นประโยคสามารถแบ่งระดับของการเขียนออกได้ คือ ระดับบน ระดับกลาง และระดับล่าง

3.2.2 ลักษณะการติดกันของตัวอักษร

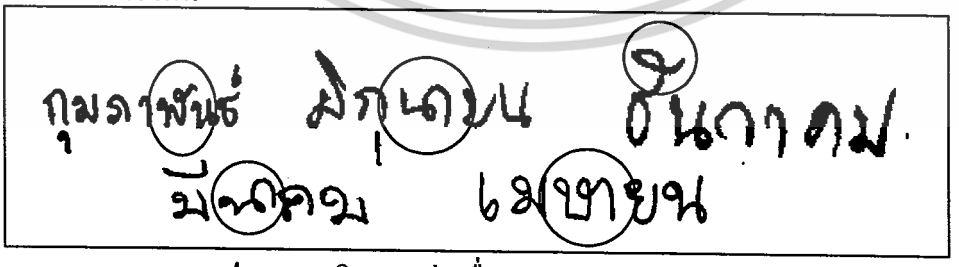
จากการสังเกตกลุ่มตัวอย่าง จะมีรูปแบบการติดกันของตัวอักษรที่แตกต่างกัน โดยส่วนมากจะเกิดจากตัวอักษรที่ตามมาทางด้านขวามือ หรือสระและวรรณยุกต์มาติดตัวพยัญชนะทั้งนี้เพราะลำดับการเขียนของตัวอักษรจะเขียนพยัญชนะก่อน และเขียนจากทางซ้ายไปขวา โดยสามารถแบ่งรูปแบบการติดกันของตัวอักษรได้เป็น

รูปแบบที่ 1 การติดแบบสัมผัส(Touching) การติดแบบนี้จะมีส่วนของตัวอักษรสัมผัสกันที่จุดของขอบ ซึ่งจะพบได้มากที่สุด และการแยกจะทำได้ง่ายกว่าอีกสองแบบที่เหลือ



รูป 3.2 การติดแบบสัมผัส(Touching)

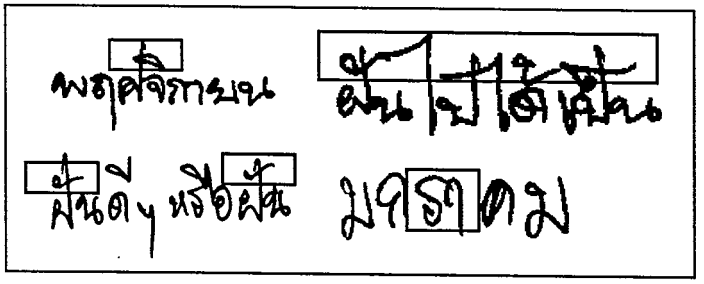
รูปแบบที่ 2 การติดแบบต่อเนื่อง(Cursive) เกิดจากการเขียนที่ไม่ได้ยกมือ แล้วลากยาวต่อเนื่องไปเขียนถึงตัวอักษรตัวที่สองที่มาติด การติดแบบนี้จะสังเกตได้ยากเพราะการติดกันจะทำให้เหมือนเป็นตัวเดียวกัน



รูป3.3 การติดแบบต่อเนื่อง(Cursive)

รูปแบบที่ 3 การติดแบบซ้อนทับ(Overlapping) ส่วนมากจะเกิดในการเขียนระดับบนกับระดับกลาง เช่น พยัญชนะกับวรรณยุกต์ หรือพยัญชนะกับสระที่อยู่ข้างบน

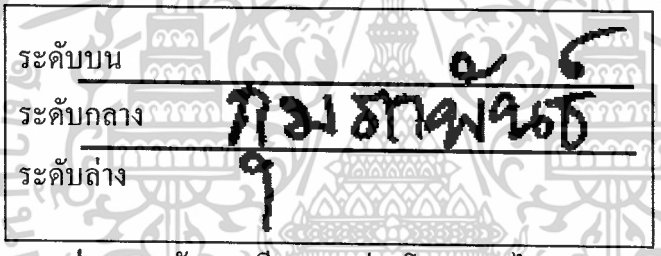
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป3.4 การติดแบบซ้อนทับ (Overlapping)

3.2.3 ประเภทของการติดกันในประโยคภาษาไทย

จากลักษณะการเขียนตัวอักษรไทยที่แบ่งออกเป็น 3 ระดับตามแนวที่เขียนเป็นประโยค คือ ระดับบน ระดับกลาง ระดับล่าง ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยการติดกันของตัวอักษรที่พบได้มาก คือ ระดับกลางกับระดับกลาง นอกจากนี้การติดในประโยคยังพบได้ในส่วนของระดับบนกับ



รูป 3.5 ระดับการเขียนของประโยคภาษาไทย

ระดับบน ระดับบนกับระดับกลาง ระดับกลางกับระดับล่าง มีจำนวนที่พบในชุดข้อมูลที่เก็บดังนี้

ประเภทของการติด	ปริมาณที่พบ (ร้อยละ)
ระดับบน กับ ระดับบน	0
ระดับบน กับ ระดับกลาง	26.04
ระดับกลาง กับ ระดับกลาง	67.77
ระดับกลาง กับ ระดับล่าง	6.19

ตาราง 3.1 จำนวนประเภทของการติดกันในแต่ละระดับ

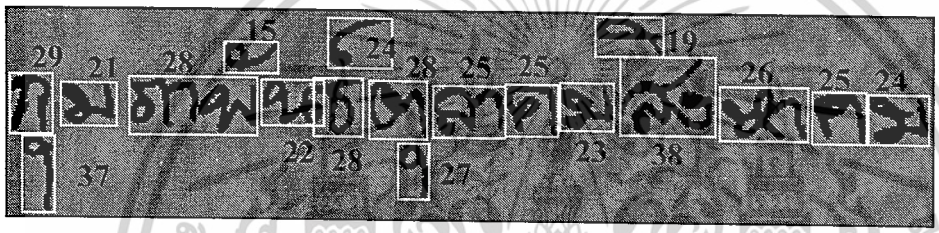
นอกจากนี้ยังมีการติดกันตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไปคิดเป็นร้อยละ 9.92 โดยนับรวมในตารางของการติดกันในระดับต่างๆดังแสดงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์เส้นแบ่งระดับ

จากการใช้ Connected Component Labeling จับกลุ่มอักษรออกเป็นบล็อกๆ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ส่วนสูงของแต่ละบล็อกจะพบว่า ส่วนมากมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงจะนำความสูงของบล็อกตัวอักษรส่วนใหญ่มาช่วยวิเคราะห์หาความสูงของตัวอักษรระดับกลาง เพื่อสร้างเส้นแบ่งระดับ โดยจะอาศัยการหาค่ามัธยฐาน (Median) เนื่องจากค่านี้จะไม่ได้รับผลกระทบหากมีค่าที่สูงหรือต่ำมากๆ

หลังจากนั้น ทำการหาค่ามัธยฐานจุดกึ่งกลางของแต่ละบล็อกเพื่อใช้ความสูงที่หาได้สร้างแนวเส้นแบ่งระดับทั้งบนและล่าง



รูป 3.6 แสดงความสูงของแต่ละบล็อกของการทำ Blob Coloring

จากรูป 4.1 สามารถหาขนาดความสูงที่จะนำมาใช้เป็นมาตรฐานได้จากค่ามัธยฐานได้ดังนี้

1. เรียงค่าจากน้อยไปหามากของค่าความสูง จะได้

15 19 21 22 23 24 24 25 25 25 26 27 28 28 28 29 37 38

2. จากค่าข้อมูล 18 ตัว จะได้ค่ามัธยฐานอยู่ที่ตำแหน่ง 9 และ10 เฉลี่ยกัน ซึ่งค่ามัธยฐานที่ได้คือ 25

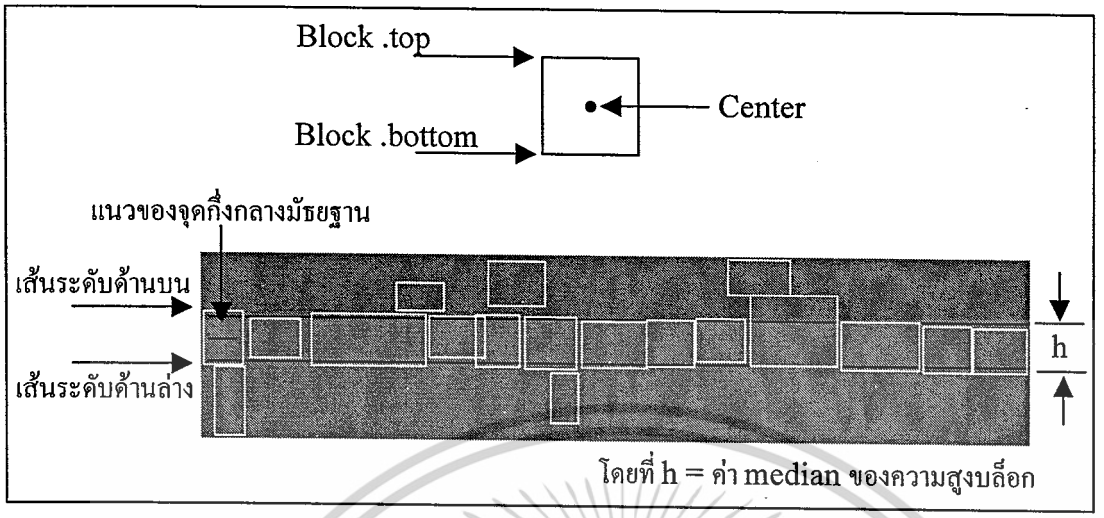
ในทางเดียวกันก็ทำการหาค่ามัธยฐานของจุดกึ่งกลางจากความสัมพันธ์

$$Center = Block.top + \frac{Block.bottom - Block.top}{2}$$

จากนั้นจึงสร้างเส้นแบ่งระดับ โดยใช้ค่ามัธยฐานของจุดกึ่งกลางที่ได้เป็นจุดกึ่งกลางของบรรทัด ซึ่งบรรทัดจะมีความสูงเท่ากับค่าความสูงที่ได้จากการหาค่ามัธยฐานของความสูงบล็อกนั่นเอง

เส้นแบ่งระดับนี้สามารถนำไปใช้ในการรู้จำต่อไปได้ เพราะเป็นการแบ่งแยกว่าแต่ละบล็อกอยู่ในระดับบน ระดับกลาง หรือระดับล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.7 แสดงการหาเส้นแบ่งระดับโดยใช้จุดกึ่งกลางมัธยฐาน และความสูงมัธยฐาน

3.4 การวิเคราะห์หาตัวอักษรที่ติดกัน

3.4.1 แยกกลุ่มตัวอักษรด้วย Connected Components Labeling

ขั้นตอนแรกของการแยกตัวอักษรที่ติดกัน จะต้องตรวจจับให้ได้ว่าตัวอักษรใดบ้างที่เกิดการติดกัน แม้ว่าการทำ labeling จะช่วยแยกอักษรออกเป็นตัวเดี่ยวๆ แต่บางบล็อกที่แยกออกมาได้ก็ยังคงเป็นตัวอักษรที่ติดกัน

3.4.2 width-to-height ratio

การวิเคราะห์ในส่วนของตัวพิมพ์จะพบว่า อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของตัวอักษรเพียงตัวเดียวมักจะต่ำกว่า 1 เนื่องจากส่วนใหญ่อักษรจะมีความสูงกว่าความกว้างของตัวมันเอง แต่การเขียนด้วยลายมือไม่ได้เป็นไปตามนั้น จึงจะนำหลักการอื่น ๆ มาช่วยวิเคราะห์ด้วย

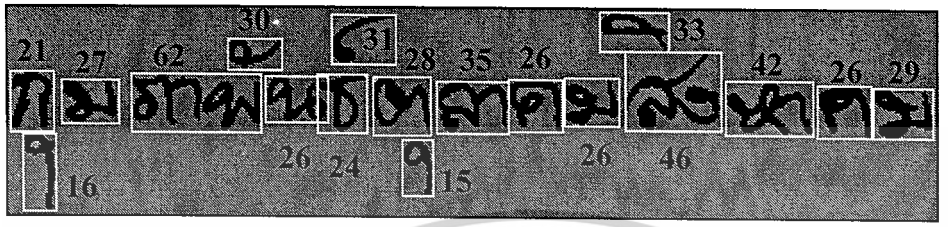
การวิเคราะห์จะอาศัยพื้นฐานที่ว่า การติดกันของตัวอักษรในประโยคจะพบน้อยกว่าตัวที่ไม่ติดกัน แสดงว่าความกว้างจะต้องมีตัวที่แตกต่างจากกลุ่มอักษรในประโยคมากๆ ดังนั้นจึงอาศัยหลักการนี้ ถ้าห่างมาก ๆ ก็หมายถึงการที่บล็อกนั้นมีการติดกันของตัวอักษรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป

3.4.3 การตรวจหาตัวอักษรที่ติดกัน

หลังจากการทำ labeling จะหาความกว้างของแต่ละบล็อก เพื่อตรวจจับอักษรที่ติดกันมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป เริ่มจากการเรียงความกว้างจากน้อยไปมาก แล้วเลือกค่ากลางของข้อมูล(median) ขึ้นมาเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ เพราะค่าที่ต่ำกว่านั้นจะต้องเป็นอักษรเพียงตัวเดียวอย่างแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของความกว้างตัวข้างเคียง แล้วทำการเปรียบเทียบว่าตัวใดมีค่าความแตกต่างของความกว้างมากเกินค่าที่กำหนด ก็แสดงว่ามีการติดกันตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป



รูป 3.8 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอักษรที่ติดกันพร้อมแสดงความกว้างของบล็อก

จากรูป เรียงค่าจากน้อยไปมากจะได้

15 16 21 24 26 26 26 26 27 28 29 30 31 33 35 42 46 62

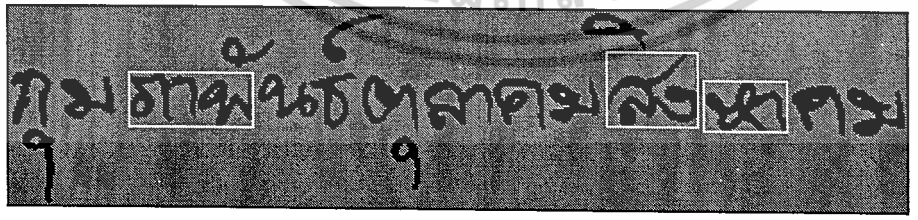
ซึ่งค่ามัธยฐานที่ได้ก็คือ ผลเฉลี่ยของ 27 และ 28 นั่นคือ 28 (ค่าประมาณของ 27.5) โดยหมายความว่าค่าที่ต่ำกว่า 28 เป็นตัวอักษรเดี่ยวๆ

ต่อไปจึงหาค่าผลต่างระหว่างตัวข้างเคียง

28 29 30 31 33 35 42 46 62

1 1 1 2 2 7 4 16

จากผลต่างที่ได้จะพบว่าที่ผลต่าง 7 มีความกว้างที่เริ่มเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นที่ความกว้างของบล็อก 42 ขึ้นไปจึงเป็นตัวอักษรที่ติดกัน



รูป 3.9 ผลของการใช้วิธีนี้ตรวจหาตัวอักษรที่ติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

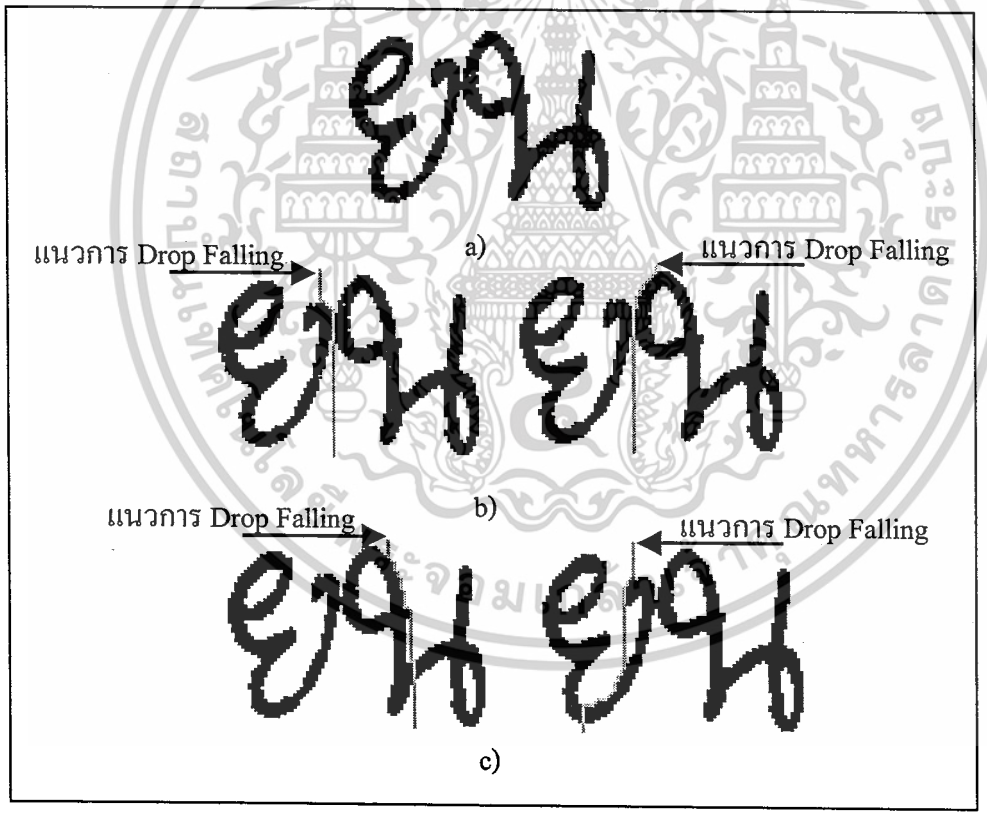
3.5 วิเคราะห์การติดกันของตัวอักษร 2 ตัวในระดับกลางกับระดับกลาง

จากปริมาณที่พบได้มากที่สุดในชุดข้อมูล ทำให้เกิดความสนใจที่จะแยกตัวอักษรในระดับกลางกับระดับกลางเพียง 2 ตัวก่อน โดยจะนำอัลกอริทึมที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 2 มาประยุกต์ใช้

3.5.1 เทคนิคดรอปฟอลลิ่งและโปรเจคชั่นแนวตั้ง

(Drop Falling and Vertical Projection)

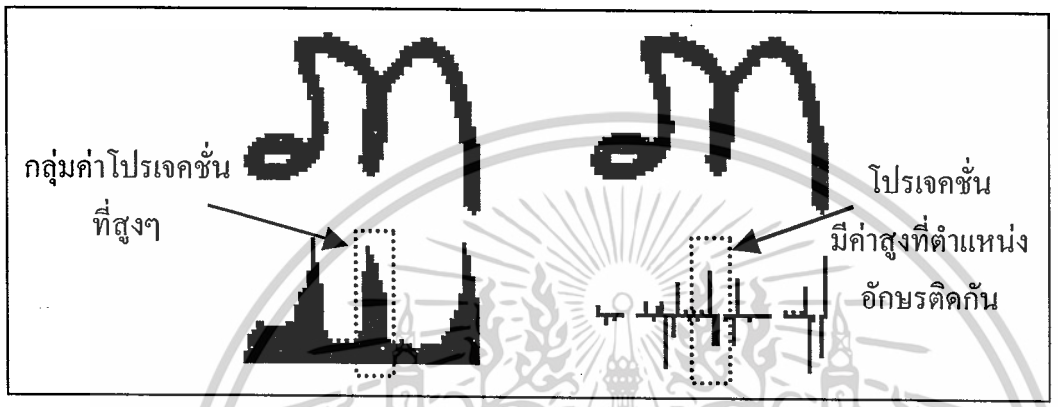
จากบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงการแยกตัวอักษรที่ติดกันโดยใช้ดรอปฟอลลิ่งอัลกอริทึม ซึ่งสามารถแยกได้ถูกต้องในระดับหนึ่ง แต่ปัญหาสำคัญที่ดรอปฟอลลิ่งจะพบคือ การเลือกจุดเริ่มในการดรอป(drop)ให้เหมาะสม เนื่องจากถ้าเริ่มจุดดรอปที่ไม่ใช่ตำแหน่งที่ใกล้เคียงจุดที่ตัวอักษรติดจะทำให้การแยกมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น



รูป 3.10 a) อักษรที่ติดกัน 2 ตัวในระดับกลาง
b) การทำดรอปฟอลลิ่งโดยเลือกจุดเริ่มที่เหมาะสม
c) การทำดรอปฟอลลิ่งโดยเลือกจุดเริ่มที่ผิด ทำให้การแยกผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำตัวอักษรที่ติดกัน 2 ตัวมาหาค่าโปรเจคชั่นจะพบค่าที่เป็นจุดสูงสุดและต่ำสุดอยู่ข้างๆ บริเวณที่ตัวอักษรติดกัน ดังนั้นหากจะเริ่มดรอปที่จุดเหล่านี้ก็ควรจะเป็นการเหมาะสม แต่เนื่องจากไม่สามารถบอกได้ว่าจะใช้ตำแหน่งของค่าโปรเจคชั่นสูงหรือต่ำในการเริ่ม จึงนำการเปรียบเทียบค่าข้างเคียงโดยอาศัยอนุพันธ์อันดับสองเข้าช่วย จึงสรุปได้ว่าตำแหน่งที่จะเริ่มต้นในการดรอปจะใช้จุดสูงสุดของการเปรียบเทียบค่าโปรเจคชั่น



รูป 3.11 ค่าโปรเจคชั่นสามารถนำมาร่วมพิจารณาหาจุดเริ่มดรอปฟอลลิ่งได้ โดยทางซ้ายเป็นโปรเจคชั่นแนวตั้ง ส่วนทางขวาเป็นการเปรียบเทียบค่ารอบข้างของโปรเจคชั่น

3.5.2 จุดเชื่อมต่อและจุดวิกฤต (Junction Point and Critical Point)

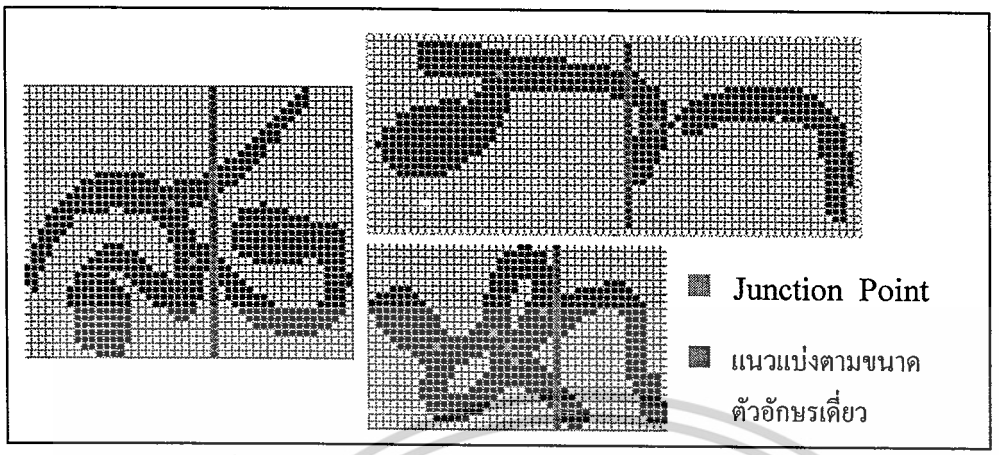
ในการแยกตัวอักษรโดยใช้ลักษณะเด่นของโครงร่างจะอาศัยจุดเชื่อมต่อและจุดวิกฤต ซึ่งจุดเชื่อมต่อจะเป็นตำแหน่งที่ตัวอักษรมีการติดกัน ส่วนจุดวิกฤตจะใช้ในการหาแนวการแยกตัวอักษรออกจากกัน

1 จุดเชื่อมต่อ

จากการทำ Thinning เพื่อหาจุดเชื่อมต่อจะพบว่า ในตัวอักษรที่ติดกันนอกจากตำแหน่งที่มีการติดกันจะพบจุดเชื่อมต่อแล้ว บริเวณอื่นๆก็ยังพบจุดเชื่อมต่ออีกด้วย ดังนั้นจึงต้องทำการเลือกจุดเชื่อมต่อที่ถูกต้องเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกันจริงๆ

ตัวอักษรที่ติดกันถ้าแยกออกจากกันแล้วก็จะมีขนาดเท่ากับอักษรตัวเดียว ดังนั้นการเลือกตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อจึงจะนำขนาดของตัวอักษรเดี่ยวๆมาร่วมวิเคราะห์ด้วย โดยขนาดของตัวอักษรเดี่ยวจะหาจากค่ามัธยฐาน (Median) ของกลุ่มตัวอักษรที่เขียนรวมกันเป็นข้อความทั้งบรรทัด เนื่องจากค่ามัธยฐานไม่ได้รับผลกระทบจากข้อมูลที่มีค่าสูงหรือต่ำมากๆ ซึ่งข้อมูลที่มีค่าสูงๆ ก็คือ ความกว้างของตัวอักษรที่ติดกันนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.12 การเลือกจุดเชื่อมต่อจะเลือกจุดที่ใกล้กับเส้นแนวแบ่งตามขนาดตัวอักษรเดี่ยวมากที่สุด

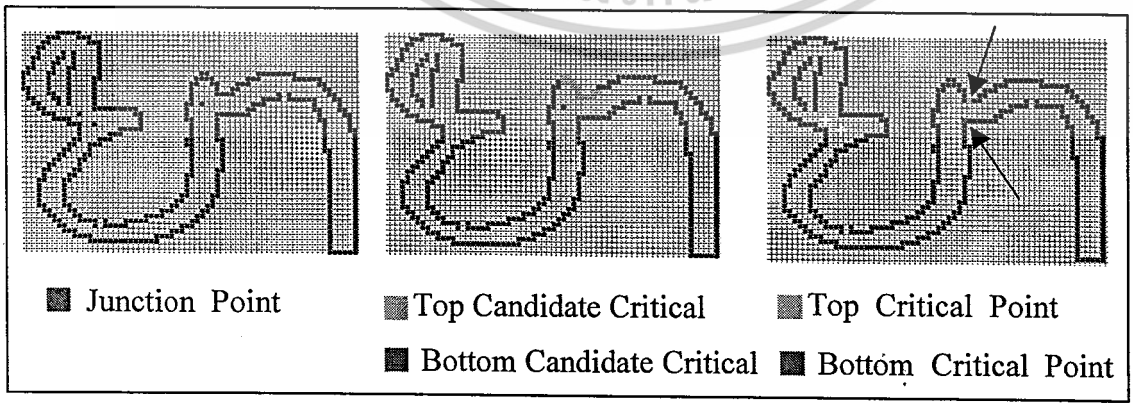
2 จุดวิกฤต

เส้นแนวการแยกตัวอักษรที่ติดกันสามารถนำจุดวิกฤตที่อยู่บนและล่างจุดเชื่อมต่อมาใช้จะทำให้การแยกถูกต้องมากขึ้น โดยมีหลักการเลือกจุดวิกฤตที่อยู่ด้านบนและด้านล่างดังนี้

- ด้านบน จะเลือกจุดที่อยู่ด้านบนจุดวิกฤตขนาดเล็กที่สุด โดยการกวาดหาตั้งแต่สดมภ์ของจุดเชื่อมต่อไปทางขวา เนื่องจากตัวอักษรที่อยู่ทางด้านซ้ายมือมักจะมีแนวเส้นตัวอักษรซึ่งไม่สามารถใช้เป็นแนวแยกได้

- ด้านล่าง จะเลือกจุดที่มีขนาดเล็กที่สุดเช่นเดียวกันแต่จะเลือกจากด้านล่างของจุดเชื่อมต่อและจะกวาดหาตั้งแต่สดมภ์ของจุดเชื่อมต่อไปทางขวา เนื่องจากเหตุผลเดียวกัน คือตัวอักษรที่อยู่ทางด้านซ้ายมือมักจะมีแนวเส้นตัวอักษรซึ่งไม่สามารถใช้เป็นแนวแยกได้

หลังจากที่ได้จุดวิกฤตทั้งสองจุดแล้วก็จะลากเส้นเชื่อมทั้งสองจุดทำให้ได้เส้นแนวการแยกตัวอักษรที่ติดกัน ที่ถูกต้องขึ้น



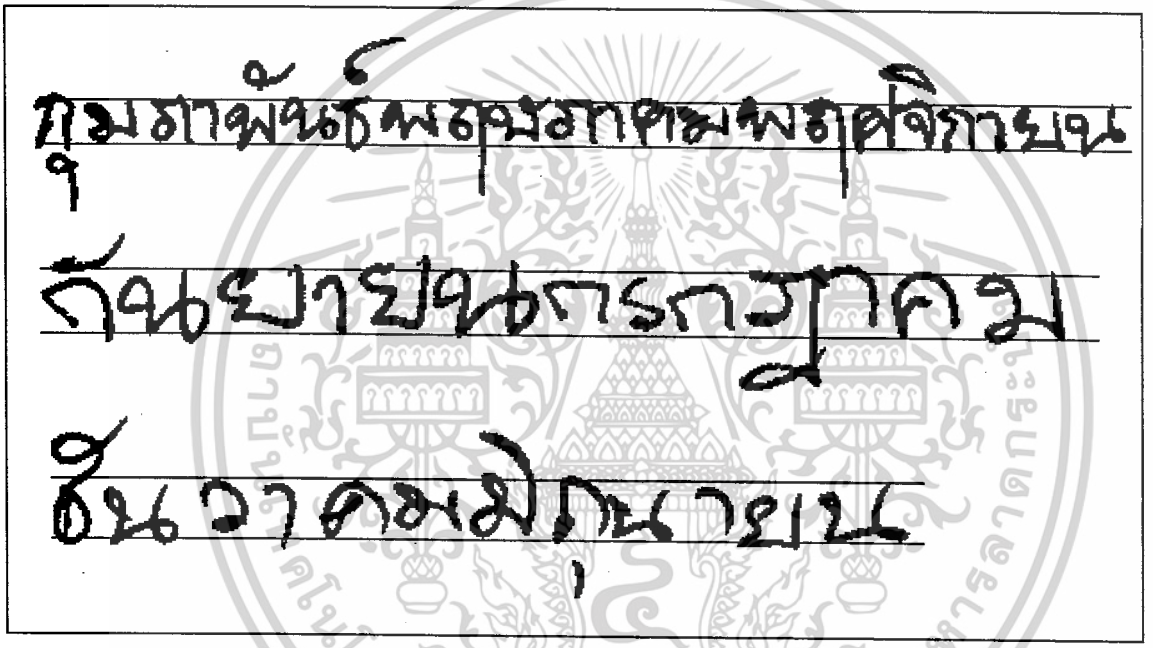
รูป 3.13 แสดงขั้นตอนการเลือกจุดวิกฤตทั้งบนและล่างของจุดเชื่อมต่อเพื่อใช้เป็นแนวแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบและผลที่ได้

4.1 การหาเส้นแบ่งระดับ

ผลการทดสอบ



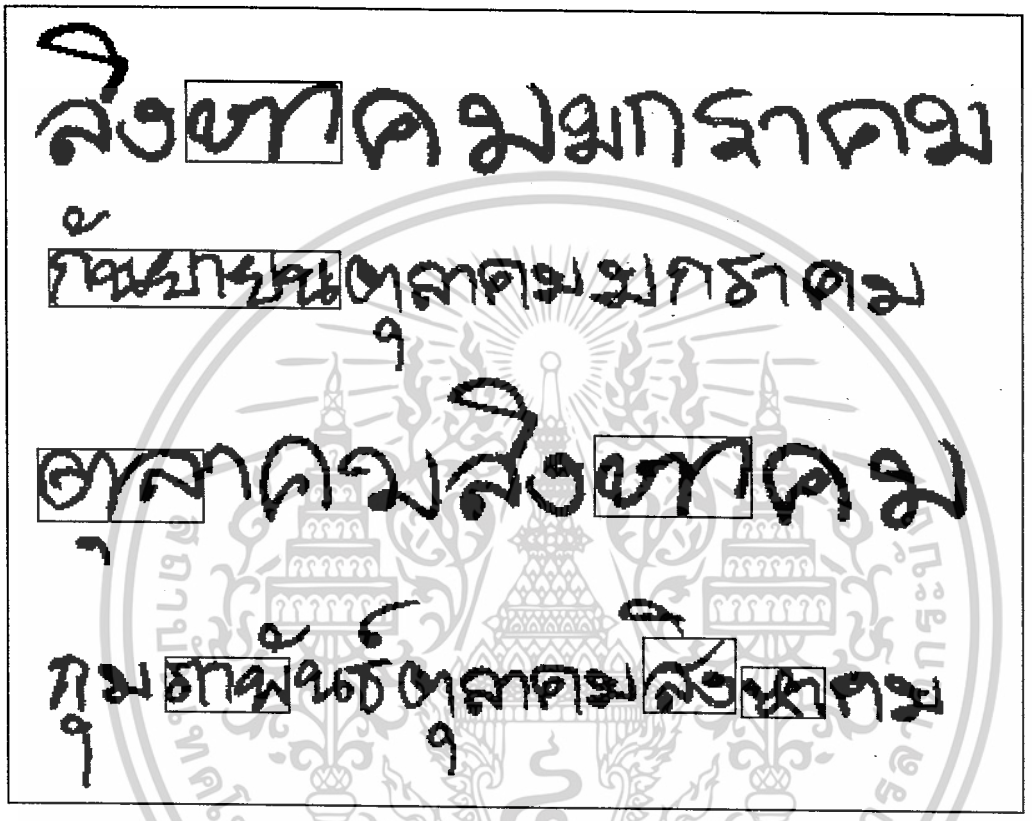
รูป 4.1 ผลการวิเคราะห์เส้นแบ่งระดับตัวอักษร

จากการทดสอบการหาเส้นแบ่งระดับ กับชุดข้อมูลที่จัดเก็บไว้ พบว่า สามารถวิเคราะห์หาเส้นแบ่งระดับได้ถูกต้องทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การตรวจหาการติดของตัวอักษร

ผลการทดสอบ



รูป 4.2 ผลทดสอบการวิเคราะห์การติดกันของตัวอักษร โดยกรอบสี่เหลี่ยมแสดงการตรวจพบตัวอักษรที่ติดกัน

จากการทดสอบการตรวจหาการติดกันของตัวอักษร โดยใช้ชุดข้อมูลที่จัดเก็บไว้ พบว่ามีความถูกต้องในการตรวจพบตัวอักษรที่ติดกัน คิดเป็นร้อยละ 72.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การแยกตัวอักษรที่ติดกัน 2 ตัวในระดับกลาง

4.3.1 เทคนิคดรอปฟอลลิ่ง (Drop Falling Technique)

จากดรอปฟอลลิ่งอัลกอริธึม แสดงให้เห็นถึงแนวทางในการแยก แต่ปัญหาที่สำคัญ คือ การเลือกจุดเริ่มต้นที่เหมาะสม จึงนำโปรเจคชั่นในแนวตั้งมาร่วมวิเคราะห์

ขั้นตอนการแยก มีดังนี้คือ

1. นำตัวอักษรที่ติดกัน 2 ตัวมาหาค่าโปรเจคชั่นในแนวตั้ง
2. คำนวณหาค่าโปรเจคชั่นในแนวตั้งข้างเคียงโดยอาศัยสมการอนุพันธ์อันดับสองดังนี้

$$dP = P(x-1) - 2P(x) + P(x+1)$$

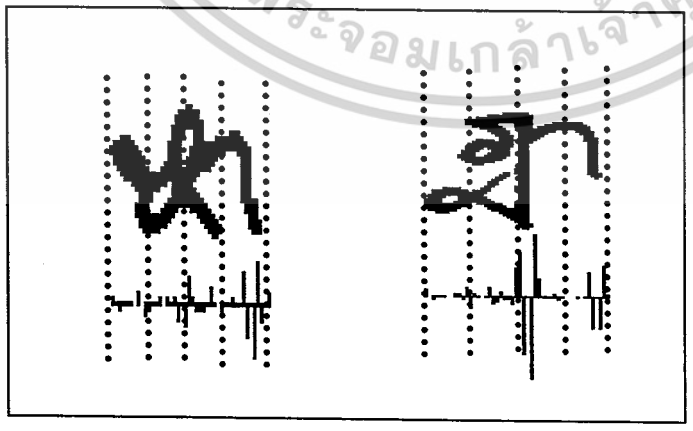
เมื่อ dP คือ ค่าอนุพันธ์อันดับสองของโปรเจคชั่นในแนวตั้ง

P(x-1) คือ ค่า โปรเจคชั่นในแนวตั้ง ที่สดมภ์ x-1

P(x) คือ ค่า โปรเจคชั่นในแนวตั้ง ที่สดมภ์ x

P(x+1) คือ ค่า โปรเจคชั่นในแนวตั้ง ที่สดมภ์ x+1

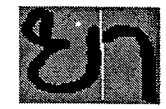
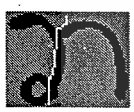
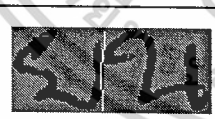
3. หาค่าสูงสุดของ dP โดยจะทำการแบ่งภาพออกเป็น 4 ส่วนในแนวตั้ง แล้วพิจารณาเฉพาะส่วนที่ 2 และ 3 เนื่องจากส่วนมากมักจะเป็นตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกัน
4. เริ่มการทำดรอปฟอลลิ่งทั้งสี่แบบเพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง



รูป 4.3 ทำการแบ่งภาพออกเป็น 4 ส่วน เลือกพิจารณาในส่วนที่ 2 และ 3

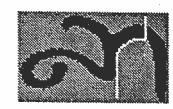
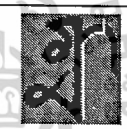
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

Top-Left	Top-Right	Bottom-Left	Bottom-Right
☑	☑	☒	 ☑
☒	☑	☒	☒
☒	☒	☒	☒
 ☒	☒	☒	☑
☑	☑	☒	☒
☑	☑	☒	☒
☒	☒	☒	☒
☑	 ☒	☑	☑
☑	☑	☑	☑
☑	☑	☒	☒

รูป 4.4 ผลการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคดรอปฟอลลิ่งในการแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Top-Left	Top-Right	Bottom-Left	Bottom-Right
☑	☑	☒	☒
☒	☒	☒	☒
☒	☒	☒	 ☒
☒	☒	☒	☒
☒	☒	☑	☑
☑	☑	☒	 ☒

รูป 4.4 (ต่อ) ผลการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคดรอปฟอลลิ่งในการแยก

จากการนำตัวอักษรที่ติดกันในระดับกลางมาทำการแยกโดยวิธีเทคนิคดรอปฟอลลิ่งทั้ง 4 แบบ ซึ่งใช้ตัวอักษรที่ติดกันจำนวน 90 คู่ ให้ผลการแยกที่ถูกต้องดังนี้

ดรอปฟอลลิ่ง	การแยกที่ถูกต้อง (ร้อยละ)
Top-Left	40.90
Top-Right	36.70
Bottom-Left	22.78
Bottom-Right	25.32

ตาราง 4.1 แสดงผลการแยกด้วยเทคนิคดรอปฟอลลิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

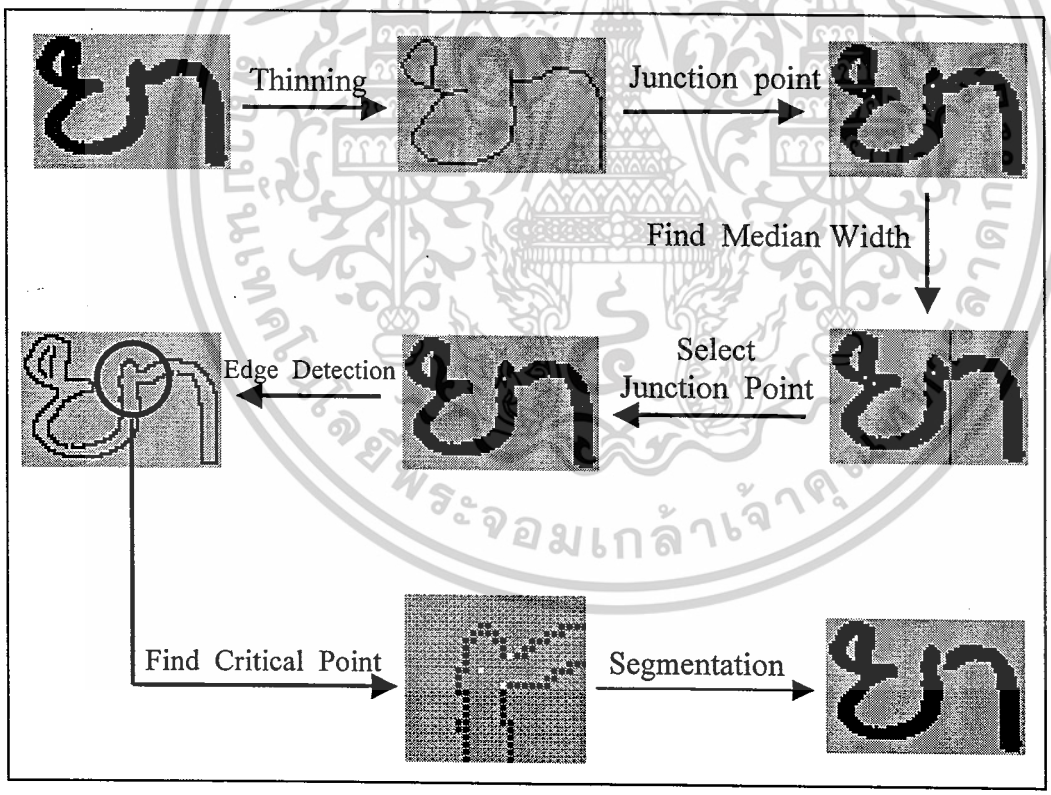
4.3.2 การแยกโดยอาศัยลักษณะเด่นของโครงร่าง

(Structural Feature-Based Segmentation)

การใช้วิธีการแยกแบบนี้จะอาศัยจุดเชื่อมต่อ (Junction Point) และจุดวิกฤต (Critical Point) เข้ามาช่วย นอกจากนั้นยังต้องอาศัยกระบวนการประมวลผลภาพคือการหาขอบภาพ และ Thinning

ขั้นตอนการแยก

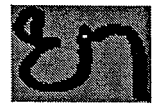
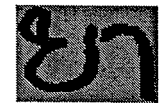
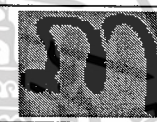
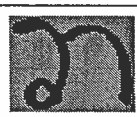
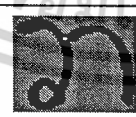
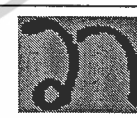
1. หาจุดเชื่อมต่อโดยการทำ Thinning
2. เลือกจุดเชื่อมต่อซึ่งนำขนาดตัวอักษรเดี่ยวเข้ามาช่วย โดยเลือกจุดที่ใกล้ที่สุด
3. หาจุดวิกฤตโดยผ่านขอบภาพที่ผ่านกระบวนการหาขอบภาพ
4. ลากเส้นเชื่อมระหว่างจุดวิกฤตทั้งสองจุด (บนและล่างจุดเชื่อมต่อ)
5. จะได้แนวการแยกของตัวอักษรที่ติดกัน



รูป 4.5 ขั้นตอนการแยกตัวอักษรที่ติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

Original Character	Selected Junction Point	Character Segmentation
		
		
		

รูป 4.6 ผลการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ลักษณะเด่นทางโครงร่างในการแยกที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

Original Character	Selected Junction Point	Character Segmentation

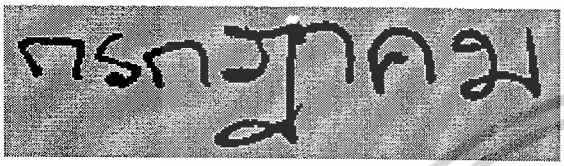
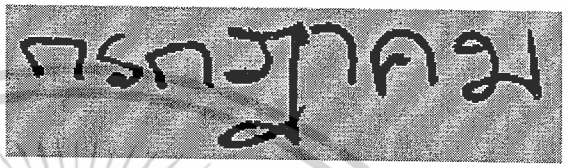
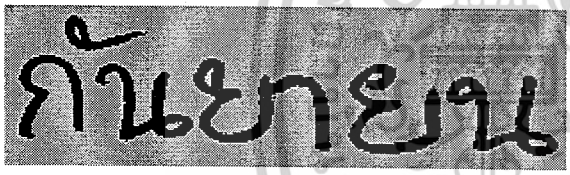
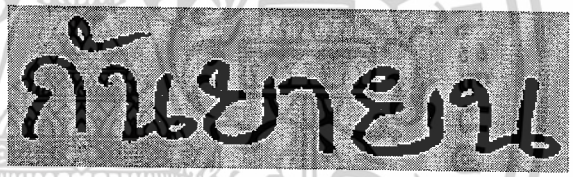
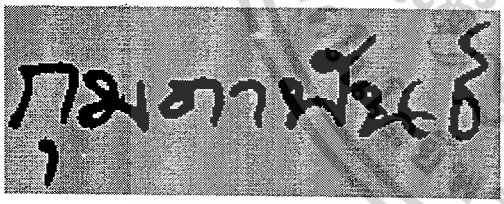
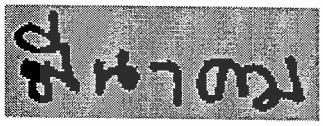
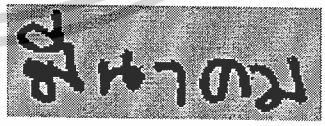
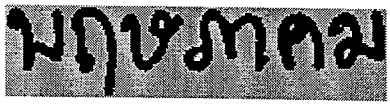
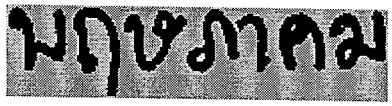
รูป 4.7 ผลการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ลักษณะเด่นทางโครงร่างในการแยกที่ผิดพลาด

จากการใช้เทคนิคการแยกที่ต่างกัน ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่เหมือนกันด้วย ซึ่งในการทดสอบเทคนิคการแยก แบบอาศัยลักษณะเด่นทางโครงร่าง ได้ใช้ชุดทดสอบเดียวกันกับเทคนิคดรอป-ฟอลลิ่ง ซึ่งเปรียบเทียบผลการแยกที่ถูกต้องได้ดังนี้

เทคนิควิธีการแยก	การแยกที่ถูกต้อง (ร้อยละ)
Top-Left Drop Falling	40.90
Top-Right Drop Falling	36.70
Bottom-Left Drop Falling	22.78
Bottom-Right Drop Falling	25.32
Structural Feature-Based Segmentation	58.16

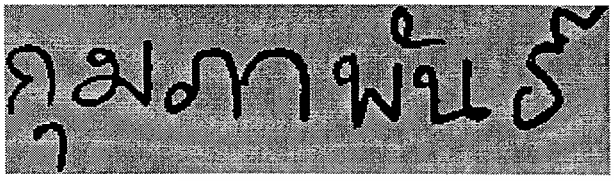
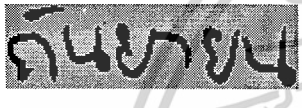
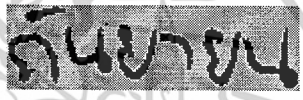
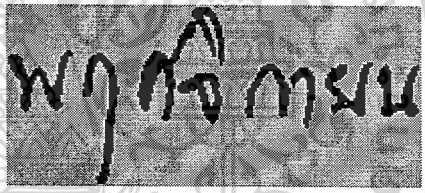
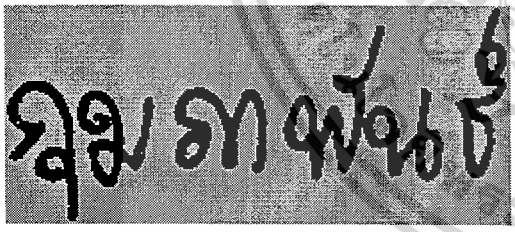
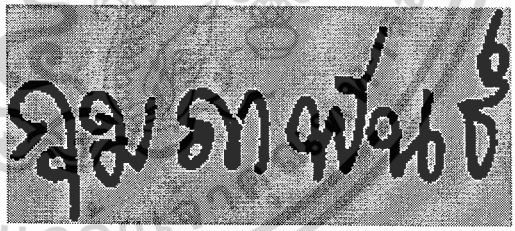
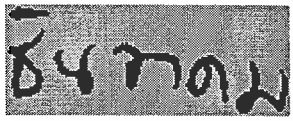
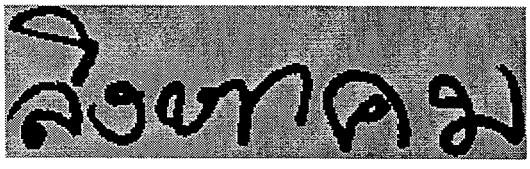
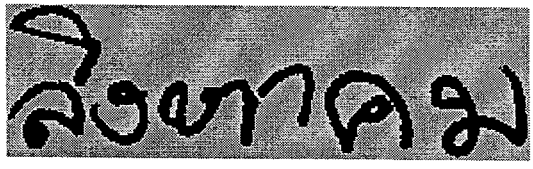
ตาราง 4.2 เปรียบเทียบผลการแยกด้วยเทคนิคดรอปฟอลลิ่งและลักษณะเด่นทางโครงร่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อความก่อนทำการแยก	ข้อความที่ผ่านการแยกแล้ว
	
	
	
	
	

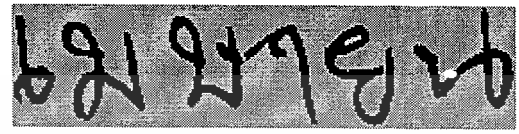
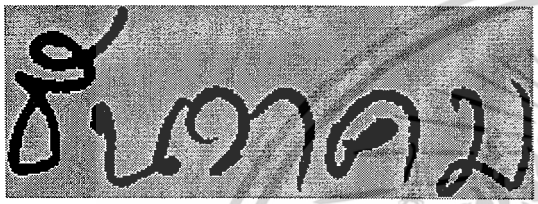
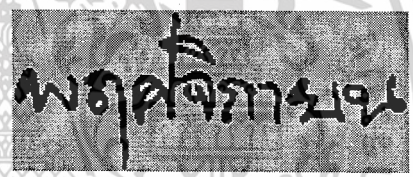
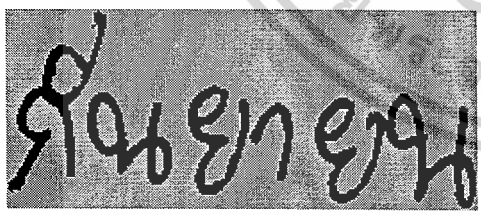
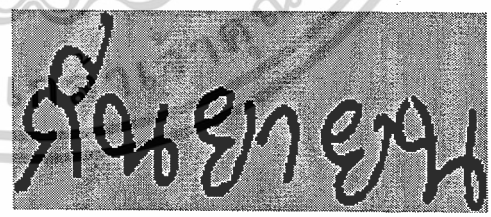
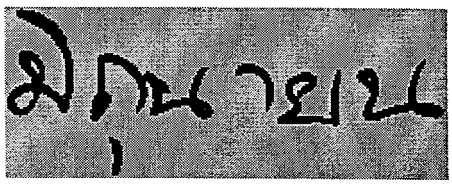
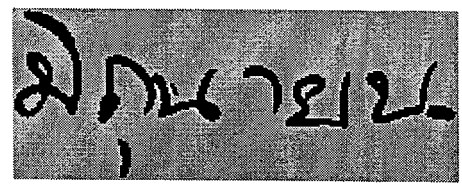
รูป 4.8 ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรได้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อความก่อนทำการแยก	ข้อความที่ผ่านการแยกแล้ว
	
	
	
	
	
	

รูป 4.8 (ต่อ) ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรได้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

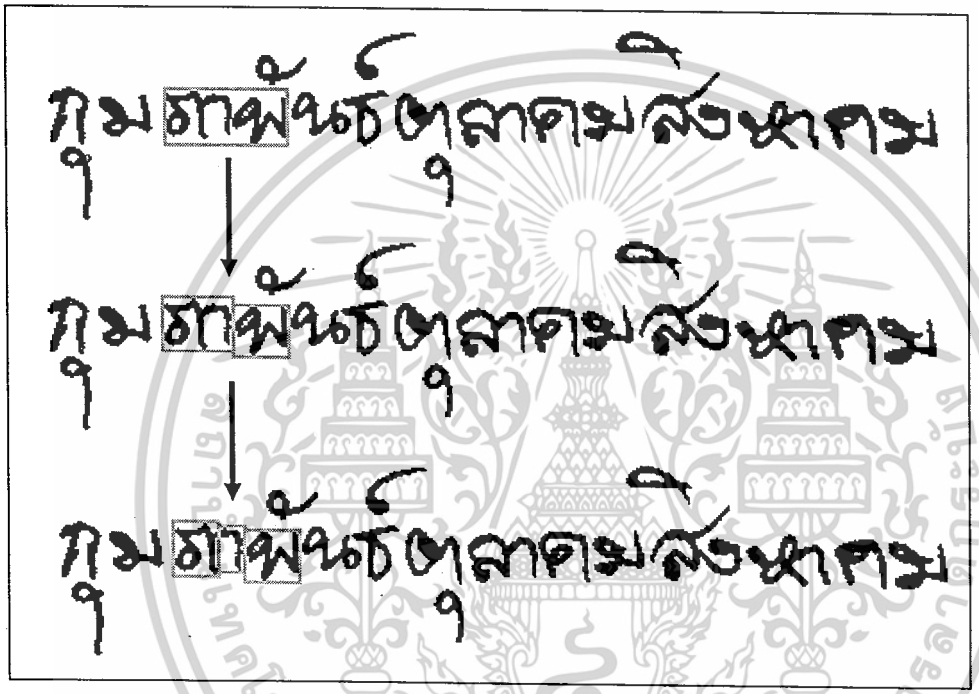
ข้อความก่อนทำการแยก	ข้อความที่ผ่านการแยกแล้ว
	
	
	
	
	

รูป 4.9 ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรได้ไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การแยกตัวอักษรที่ติดกันมากกว่า 2 ตัวในระดับกลาง

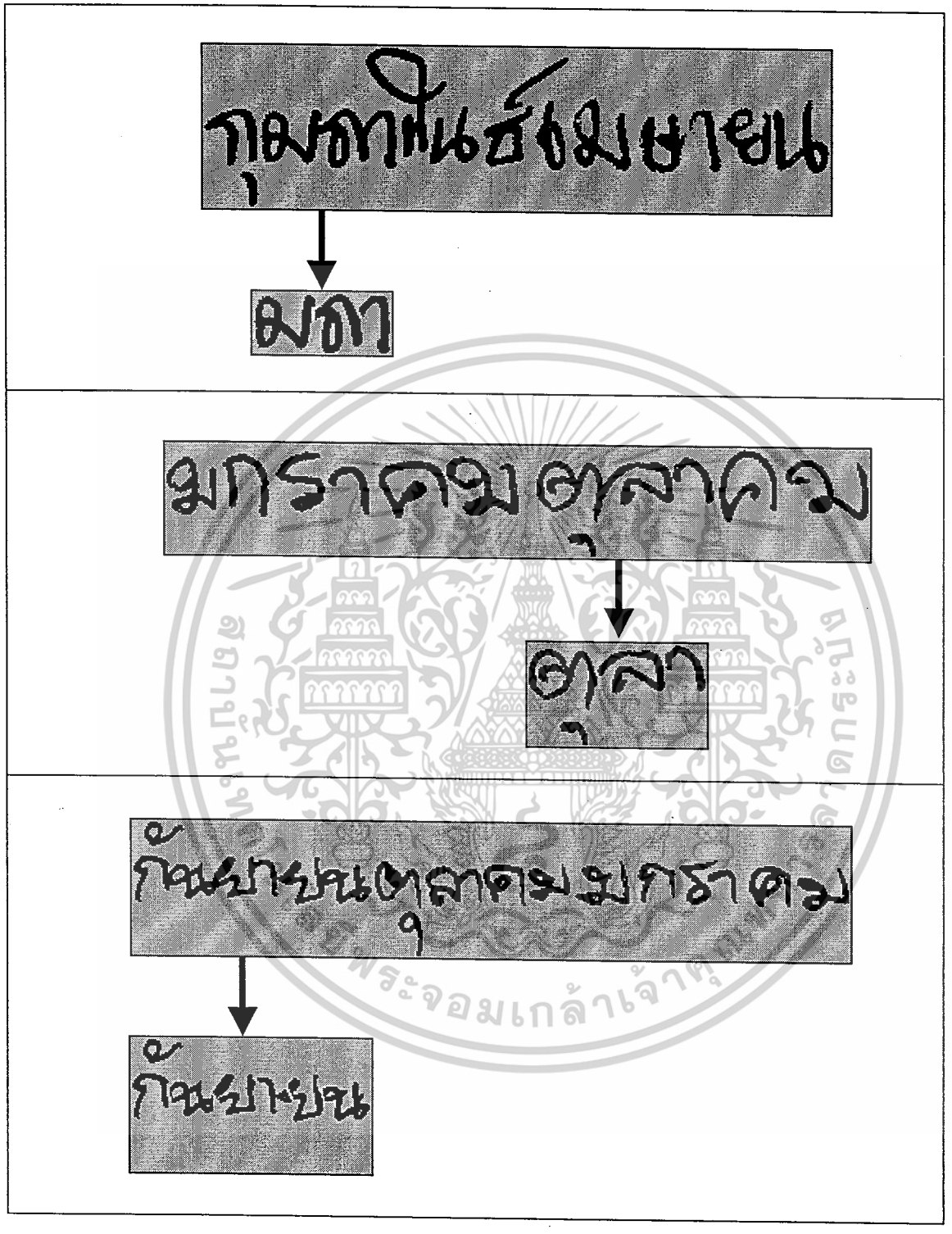
เนื่องจากผลการทดสอบปรากฏว่าเทคนิคครอปฟอลลิ่งได้ผลความถูกต้องที่น้อยกว่าการใช้ลักษณะเด่นทางโครงร่าง ดังนั้นการแยกอักษรที่ติดกันมากกว่า 2 ตัวในระดับกลางจึงนำจุดเชื่อมต่อและจุดวิกฤตเข้ามาช่วย โดยจะทำการแยกตัวอักษรทีละตัวก่อน ทำจนกระทั่งตัวอักษรไม่เกิดการติดกัน



รูป 4.10 ขั้นตอนการแยกตัวอักษรที่ติดกันมากกว่า 2 ตัว โดยอาศัยการแยกออกทีละ 1 ตัวอักษร

จากกลุ่มตัวอย่างข้อมูลที่มีการติดกันของตัวอักษรมากกว่า 2 ตัว นำมาทดสอบมีการติดกันทั้งหมด 60 ตำแหน่ง พบว่าทำการแยกได้อย่างถูกต้องทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 60 โดยจะพบว่ามีความถูกต้องใกล้เคียงกับการแยกตัวอักษรที่ติดกัน 2 ตัว เนื่องจากใช้วิธีการแยกวิธีเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

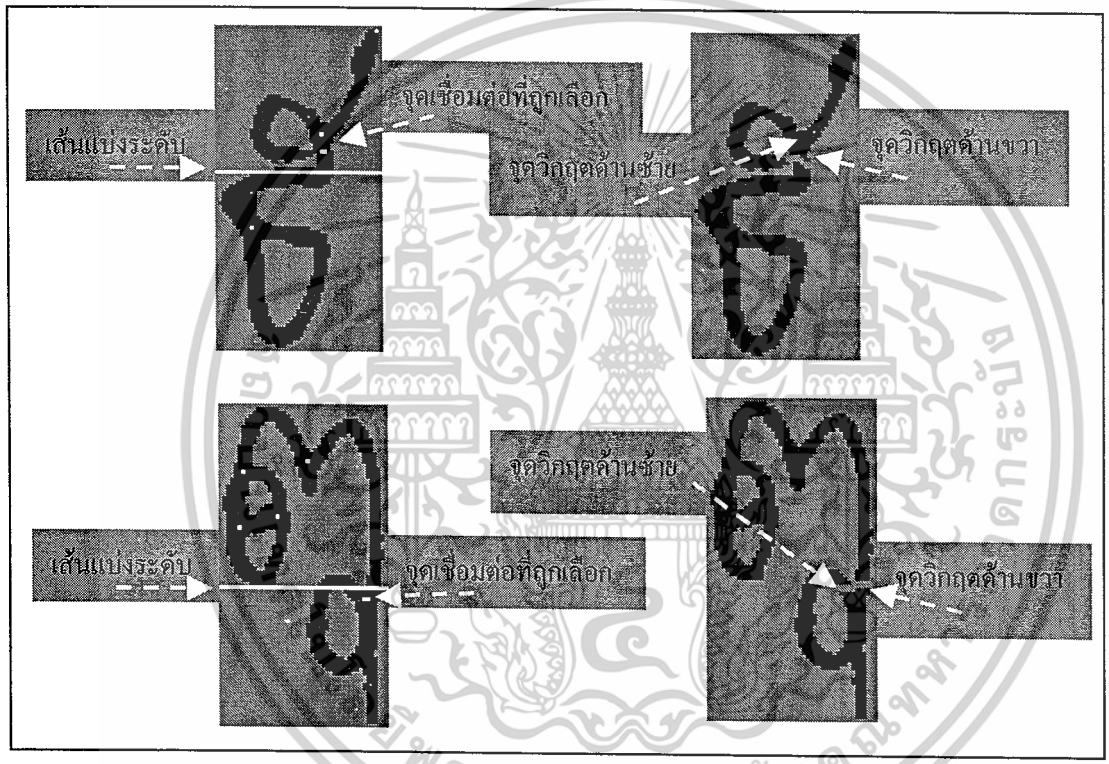


รูป 4.11 ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรที่ติดกันมากกว่า 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การแยกตัวอักษรที่ติดกัน 2 ตัวในต่างระดับ

การติดกันในต่างระดับของตัวอักษรสามารถนำลักษณะเด่นทางโครงร่างมาประยุกต์ใช้ได้เช่นเดียวกัน แต่ต้องทำการเปลี่ยนการเลือกจุดวิกฤตทั้งสอง และจุดเชื่อมต่อที่จะเป็นตำแหน่งการติดกันของตัวอักษร โดยใช้เส้นแบ่งระดับเข้ามาช่วย ซึ่งจะเลือกจุดเชื่อมต่อที่ใกล้เส้นแบ่งระดับมากที่สุด ส่วนจุดวิกฤตทั้งสองเปลี่ยนการหาจากด้านบนและล่างมาเป็นด้านซ้ายและขวาของจุดเชื่อมต่อ

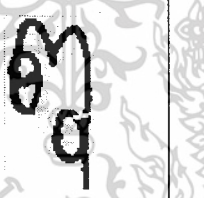
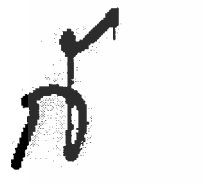
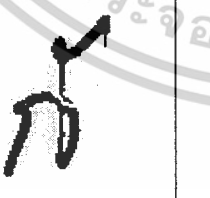


รูป 4.12 การแยกตัวอักษรที่ติดกันในต่างระดับ ที่มีการเปลี่ยนแปลงการเลือกจุดวิกฤตและจุดเชื่อมต่อ

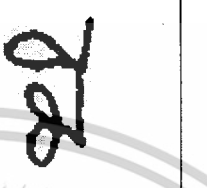
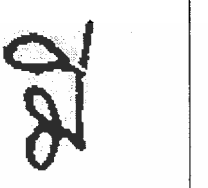
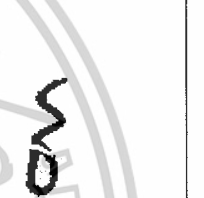
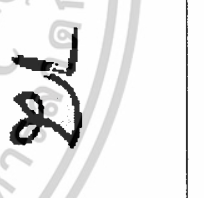
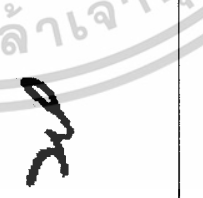
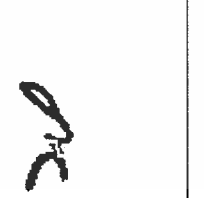
ในการทดสอบ ได้นำชุดข้อมูลที่มีการติดกันในต่างระดับทั้งหมด 51 ตัว ซึ่งสามารถแยกได้อย่างถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 11.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการแยกตัวอักษรที่ติดกันในต่างระดับ

ตัวอักษรที่ติดกัน ก่อนทำการแยก	ตัวอักษรที่ติดกัน หลังทำการแยก
	
	

a)

ตัวอักษรที่ติดกัน ก่อนทำการแยก	ตัวอักษรที่ติดกัน หลังทำการแยก
	
	
	
	

b)

รูป 4.13 a) แสดงการแยกตัวอักษรที่ติดกันในแนวดิ่งได้ถูกต้อง
b) แสดงการแยกตัวอักษรที่ติดกันในแนวดิ่งไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดสอบ และแนวทางการพัฒนา

5.1 การวิเคราะห์การติดกันของตัวอักษร

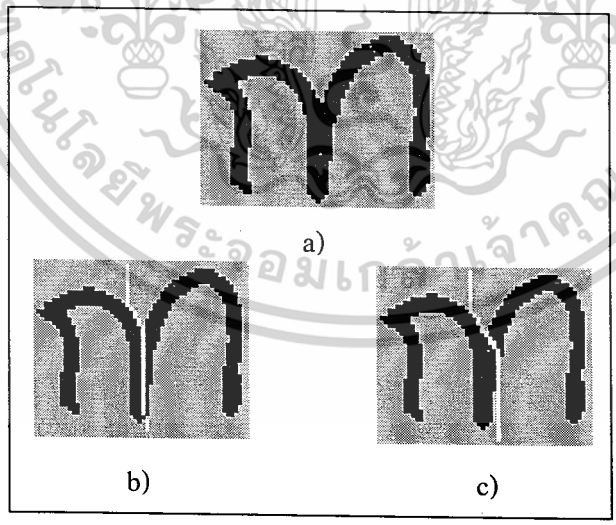
สาเหตุที่ทำให้การตรวจจับตัวอักษรที่ติดกันในแนวนอนของระดับกลางผิดพลาด คือ การเขียนตัวอักษรบางตัวกว้างหรือแคบเกินไป บางทีทำให้ตรวจจับตัวอักษรตัวเดียวที่กว้างเกินไปผิดพลาดได้ และตัวอักษรที่ติดกันที่แคบเกินไป อาจจะทำให้การตรวจไม่พบว่าเป็นตัวที่ติดกันเป็นต้น

5.2 การแยกตัวอักษรที่ติดกันด้วยเทคนิคดรอปฟอลลิ่ง

ปัญหาที่สำคัญของเทคนิคดรอปฟอลลิ่ง พบว่ามี 2 ข้อ คือ

- การไหลลงตำแหน่งที่ไม่ใช่จุดติด
- การตัดทะลุผ่านเนื้อของตัวอักษร

ซึ่งทิศทางของการแยกตัวอักษรที่ติดกัน ไม่ควรที่จะตัดลงมาตรงๆ ควรจะตัดเฉียงออกจากแนวที่ติด จึงจะได้ตัวอักษรที่ทำการแยกได้อย่างถูกต้อง



รูป 5.1 a) ภาพที่จะนำตัวอักษรมาแยก
b) เมื่อทำการดรอปฟอลลิ่ง จะพบว่ามีการตัดผ่านตัวอักษร
c) ทิศทางการตัดที่ควรจะทำการแยกออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การแยกตัวอักษรที่ติดกันด้วยวิธีการแยกโดยอาศัยลักษณะเด่นของโครงร่าง

ปัญหาที่พบของการใช้วิธีการ แยกตัวอักษรที่ติดกันด้วยวิธีการแยกโดยอาศัยลักษณะเด่นของโครงร่าง ที่สำคัญ คือ

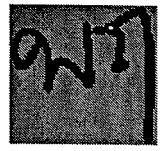
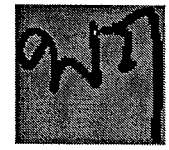
- ไม่สามารถหาตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกันได้อย่างถูกต้องเสมอไป
- ในบางครั้งไม่สามารถหาทิศทางในการตัดที่ถูกต้องได้

อาจแก้ปัญหาโดยพัฒนาวิธีการหาจุดเชื่อมต่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และ หาแนวทางในการตัดให้ถูกต้องมากขึ้น

ตัวอักษรที่ติดกัน	เลือกแนวทางในการตัดไม่ถูกต้อง	แนวทางที่ถูกต้องที่ควรเลือกในการตัด

รูป 5.2 การเลือกจุดวิกฤตมีผลต่อแนวการแยกที่ถูกต้องด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกจุดเชื่อมต่อที่ผิด	จุดเชื่อมต่อที่ควรเลือก
	

รูป 5.3 การเลือกจุดเชื่อมต่อมีผลต่อแนวการแยกที่ถูกต้องด้วย

นอกจากนี้ ยังพบปัญหาการติดกันเป็นแนวยาวของตัวอักษร ทำให้หาแนวการแยกได้ยาก และส่วนมากจะทำการแยกได้ไม่ถูกต้อง ซึ่งอีกปัญหาหนึ่งที่พบคือการติดกันมากกว่า 1 จุดในการติดกันของตัวอักษร

ตัวอักษรมีการติดกันเป็นแนวยาว			
ตัวอักษรมีการติดกันมากกว่า 1 จุด			

รูป 5.4 การติดกันของตัวอักษรที่มีผลต่อการแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Ben K. Jang and Roland T. Chin. "One-Pass Parallel Thinning : Analysis, Properties, and Quantitative Evaluation." Pattern Analysis and Machine intelligence.Vol 14 , No.11, November 1992.

[2]Dwayne Phillips. "Image processing in C." Lawrence, KS : R&D, pp.166-172,1994

[3]Haralick, Robert M., and Linda G. Shapiro. "Computer and Robot Vision, Volume I." Addison-Wesley, 1992. pp. 28-48.

[4]K.Kiratiratanaphrug,S.Kunaruttanapruk,R. Budsayaplakorn,andS.Jitapunkul, "Segmentation of Thai Handwritten Word using Heuristic Method Based on Distinctive Features", The 21st IASTED International Multi-Conference on Applied Informatics,Innsbruck, Austria, pp. 200-204,2003.

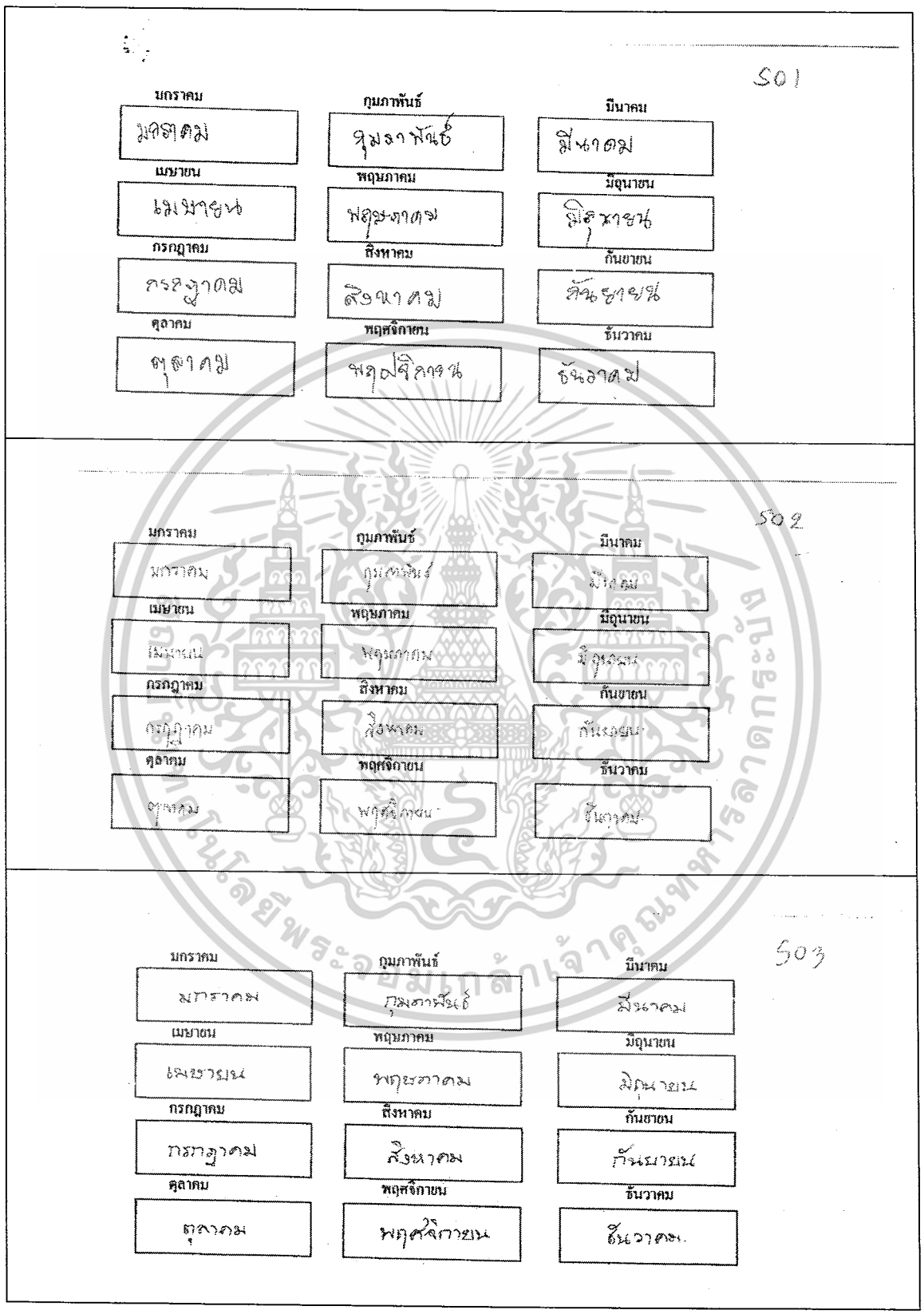
[5]Richard G. Casey. "A Survey of Methods and Strategies in Character Segmentation." Pattern Analysis and Machine intelligence.Vol 18,July 1996.

[6]Salman Amin Khan. "Character Segmentation Heuristics for Check Amount Verification." The Master Thesis at Massachusetts Institute of Technology, pp.21-31,1998.

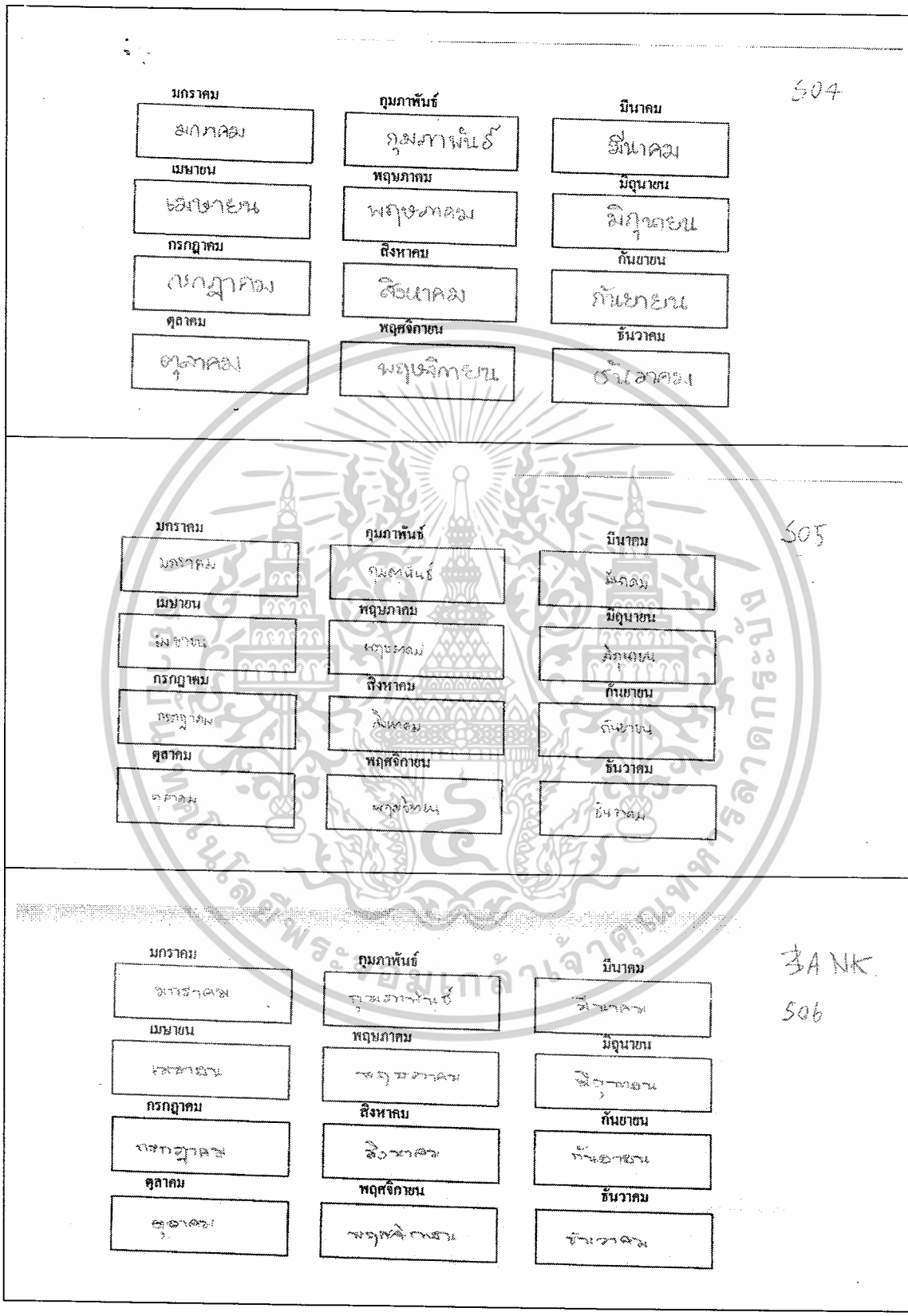
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
ตัวอย่างชุดข้อมูลที่เก็บ

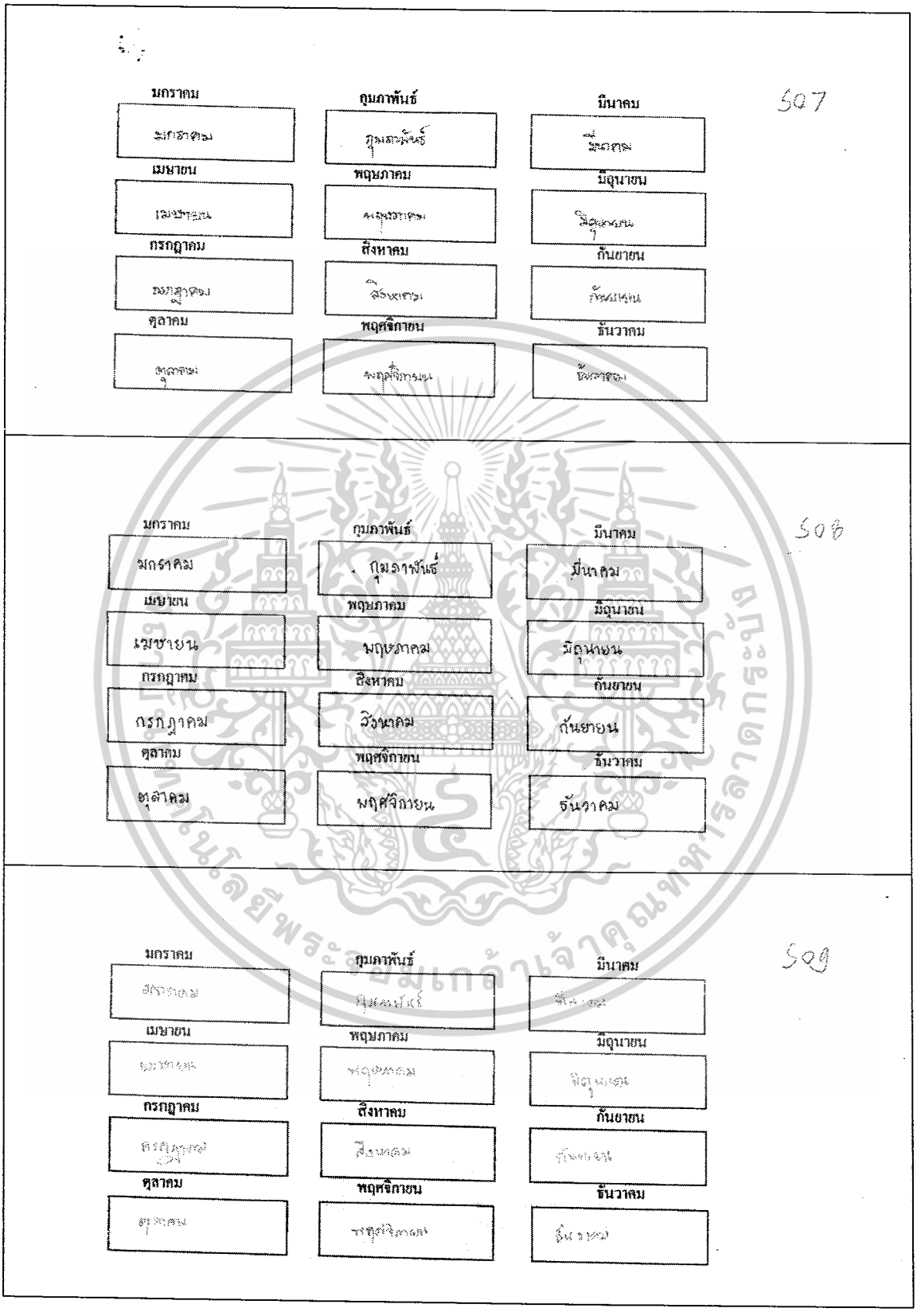
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



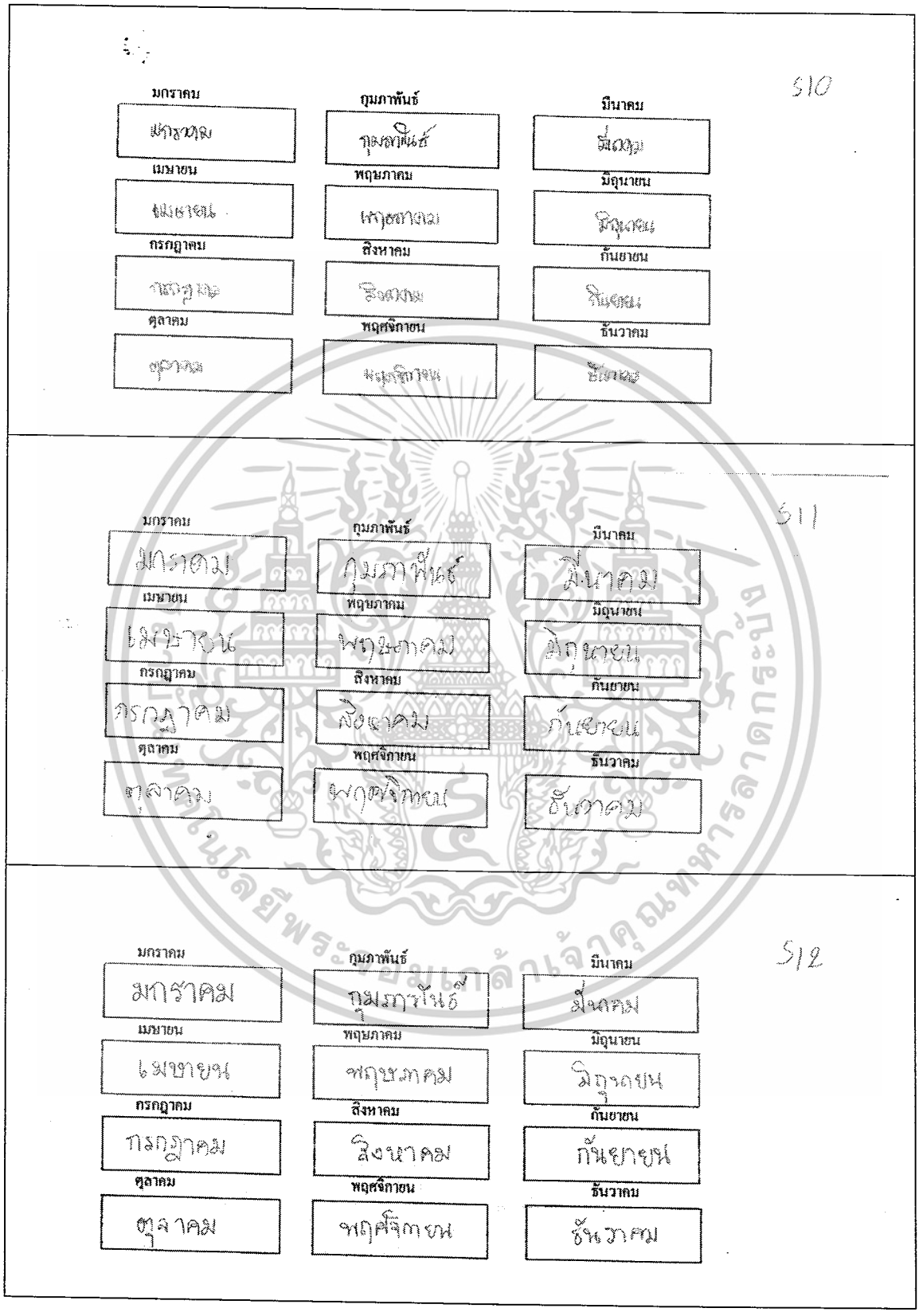
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



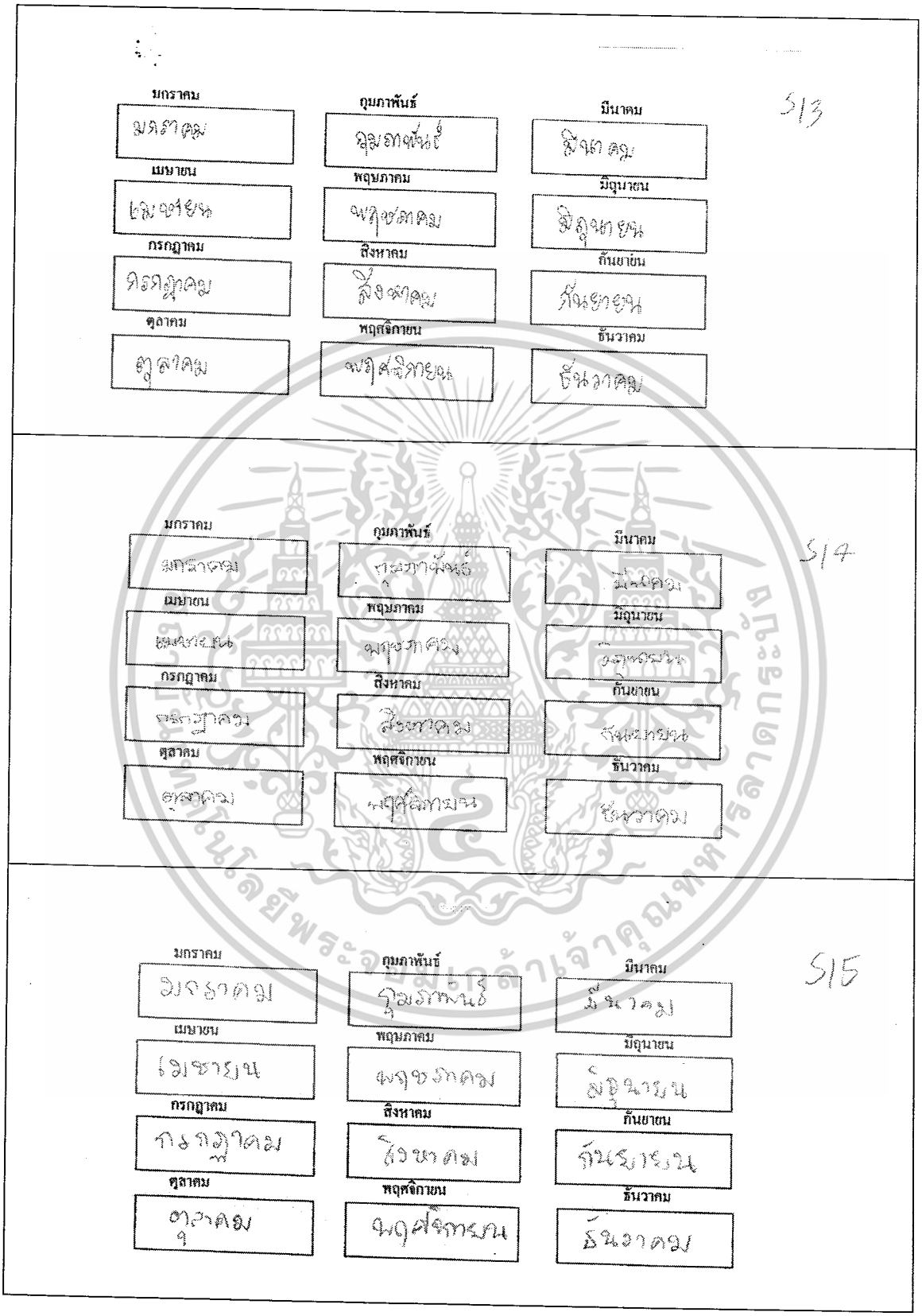
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้