ปีการศึกษา 2532

การรู้จำอักษรลายมือ เขียนภาษาไทยของไมโครคอมพิวเตอร์ โดยการพิจารณาลักษณะลาย เส้นชนะที่สากไป

โดย

นายสุพัฒน์ ดุลยคุปต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. ชม กิมปาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2532

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอม เกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การรู้จำอักษรลายมือ เขียนภาษาไทยของไมโครคอมพิว เตอร์โดยการพิจารณาลักษณะลาย เส้นขณะที่ลากไป

ผู้จัดทำ

นายสุพัฒน์ ดุลยคุปต์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ดร. ชน ก้ำปาน)

การรู้จำอักษรลายมือ เขียนภาษาไทยของไมโครคอมพิว เตอร์
โดยการพิจารณาลักษณะลาย เส้นขณะที่ลากไป

On-line Recognition of Handvritting Thai Characters
by Considering Sequence of Draving Line

โดย

นายสุพัฒน์ คุลยคุปต์ 28.1277

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. ชม ก๊มปาน

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมคอมพิว เตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบัน เทคโนโลยีพระจอม เกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		ก
Abstract		ข
สารบัญตารางและรูปภาพ		ค
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	วัตถุประสงค์ ความเป็นมา และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
	2.1 วัตถุประสงค์	2
	2.2 ความเป็นมาของการพัฒนาระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย	2
	2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3	อุปกรณ์ป้อนข้อมูล	5
	3.1 กระดานอิเลคทรอนิคส์	5
	3.2 หลักการทำงานและการควบคุมอุปกรณ์ป้อนข้อมูล	8
บทที่ 4	ระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียน	17
	4.1 หน่วยปรับปรุงข้อมูลเบื้องต้น	17
	4.2 หน่วยวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำ	18
	4.2.1 พจนานุกรมรู้จำตัวอักษร	19
บทที่ 5	โครงงานระยะที่หนึ่ง: เมื่อแบ่งพื้นที่ในการเขียนเป็นเก้าส่วน	21
	5.1 ทฤษฎีและการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำ	21
	5.2 ผลการทดลอง	37
	5.3 สรุปและวิจารณ์	39
บทที่ 6	โครงงานระยะที่สอง : เมื่อแบ่งพื้นที่ในการเขียนเป็นห้าส่วน	41
	6.1 ทฤษฎีและการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำ	41
	6.2 ผลการทดลอง	50
	6.3 สรุปและวิจารณ์	53
บทที่ 7	ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่จะพัฒนาต่อไป	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก 56

รหัสแอสกี้ตัวอักษรภาษาไทย รหัส ม. เกษตร

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างวิธีการเขียนตัวสระภาษาไทยที่ใช้ในงานวิจัยระยะที่หนึ่ง 59

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างวิธีการเขียนตัวสระภาษาไทยที่ใช้ในงานวิจัยระยะที่สอง 61

กิตติกรรมประกาศ 63

บรรณานุกรม 64

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรู้จำอักษรลายมือเขียนภาษาไทยของไมโครคอมพิวเตอร์ โดยการพิจารณาลักษณะลายเส้นขณะที่ลากไป

สุพัฒน์ ดุลยคุปต์
รศ. ดร. ชม กิ้มปาน อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอผลงานวิจัยในการออกแบบซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ สำหรับควบคุมไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิท ให้สามารถวิเคราะห์ลักษณะลายเส้นของตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย ขณะที่ผู้เขียนกำลังเขียนอยู่ เมื่อผู้เขียนเขียนตัวอักษร 1 ตัวสิ้นสุดลง คอมพิวเตอร์จะบอกเราว่าตัวอักษรที่เขียนสิ้นสุดลงไปนั้นคือตัวอักษรอะไร โดยการให้รหัส ASCII ของตัวอักษรนั้นไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ พร้อมกับแสดงผลออกมาให้เราทราบทางจอแสดงผล กรรมวิธีในการวิเคราะห์ลายเส้นของตัวอักษรลายมือเขียน จะอาศัยลักษณะเด่นของวิธีการเขียนอักษรภาษาไทยที่ส่วนใหญ่จะเริ่มต้นจากหัวกลมๆ ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน และการสิ้นสุดของลายเส้นในแต่ละตัวอักษรที่อยู่ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นการเดินทางของลายเส้นก็เป็นไปในทิศทางที่แตกต่างด้วย ทำให้สามารถหาคุณสมบัติที่แตกต่างกันของแต่ละตัวอักษรนำไปเก็บเป็นพจนานุกรมของการรู้จำตัวอักษร (Characters Recognition Dictionary) ของคอมพิวเตอร์ได้ ผลประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ก็คือ จะได้วิธีการป้อนข้อมูลเข้าเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แบบใหม่โดยอัตโนมัติที่ปราศจากการกดแป้นพิมพ์ (Keyboard) แต่ใช้วิธีการเขียนลงบนกระดานอิเล็คทรอนิคส์ (Tablet) หรือเขียนโดยใช้ปากกาแสง (Light pen) แทนผลของการทดลองสามารถใช้งานได้ดีผลของความถูกต้องประมาณ 98 % โดยที่ความเร็วในการเขียนต่อหนึ่งตัวอักษรไม่เร็วไปกว่าประมาณ 5 วินาที และมีกฎเกณฑ์ในการเขียนที่แน่นอนตายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

On-line Recognition of Handvritten Thai Characters by Considering Sequence of Draving Line.

Supat Dulyakupt

Dr. Chom Kimpan Advisor

1989

Abstract

This paper presents the result of our research on item "On-line Recognition of Handwrittng Thai Characters by Considering Sequence of Drawing Line". This research emphasized on designing computer software for automatically controlled an 16-bits microcomputer to be able, in real time, to analyse the drawing lines of hand writting Thai characters. As drawing line of one character is completly drawn, its ASCII code is given and shown on screen for display. The method of analysis of drawing line holds the merits of writting method of Thai characters, that is, the starting point i.e., head and ending point of writting is located in different area, also the direction of line is differed for different character. Taking all these three advantages, the feature characteristic is drawn for characters recognition dictionary.

Result of this research, a new method for inputting data is obtained with the help of the tablet or a light pen. Our implementation is proved successfully, accuracy is about 98% and time-taken of writting must not less than 5 seconds with some restricted method of writting.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตารางและรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของกระดาษอิเลคทรอนิคส์ 5

รูปที่ 3.2 รูปแบบข้อมูล 6

รูปที่ 3.3 ค่าบิทแฟลกของการกด 7

รูปที่ 3.4 โฟลชาร์ตสำหรับโปรแกรมหลักที่ใช้อ่านและควบคุมกระดาษอิเลคทรอนิคส์ 9

รูปที่ 3.5 Detail A: ส่วนของการรับและถอดรหัสข้อมูล 10

รูปที่ 3.6 Detail B: ส่วนโปรแกรมย่อยในการรับข้อมูล 12

รูปที่ 4.1 ระบบการรู้จำตัวอักษรของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 17

รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมของหน่วยปรับปรุงข้อมูลเบื้องต้น 18

รูปที่ 4.3 ไดอะแกรมสำหรับหน่วยวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำตัวอักษร 19

รูปที่ 5.1 ลักษณะหัวแตกของอักษร ต 22

รูปที่ 5.2 จุดที่เกิดหัว (ก) อยู่ด้านซ้าย (ข) อยู่ด้านขวา 22

รูปที่ 5.3 การแบ่งพื้นที่ในการเขียนตัวอักษรออกเป็น 9 ส่วนในโครงงานระยะที่หนึ่ง 23

รูปที่ 5.4 ตัวอย่างวิธีการเขียนตัวอักษรภาษาไทยที่ใช้ในงานวิจัยระยะที่หนึ่ง 24

รูปที่ 5.5 (ก) โครงร่างต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A1 25

รูปที่ 5.5 (ข) โครงร่างต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A2 26

รูปที่ 5.5 (ค) โครงร่างต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A3 26

รูปที่ 5.5 (ง) โครงร่างต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A4 27

รูปที่ 5.5 (จ) โครงร่างต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A5 27

รูปที่ 5.5 (ฉ) โครงร่างต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A6 28

รูปที่ 5.5 (ช) โครงร่างต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A7 28

รูปที่ 5.5 (ช) โครงร่างต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A8 29

รูปที่ 5.5 (ฌ) โครงร่างต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A9 29

รูปที่ 5.6 (ก) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่ 1 30

รูปที่ 5.6 (ข) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่ 2 31

รูปที่ 5.6 (ค) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่ 3 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.6 (ง) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่ 4 33
รูปที่ 5.6 (จ) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่ 5 34
รูปที่ 5.7 ลักษณะของข้อมูลในพจนานุกรมรู้จำตัวอักษรภาษาไทย 34
รูปที่ 5.8 พจนานุกรมสำหรับข้อมูลตัวอักษร ก 35
รูปที่ 5.9 พจนานุกรมสำหรับข้อมูลตัวอักษร ถ 35
รูปที่ 5.10 พจนานุกรมสำหรับข้อมูบตัวอักษร ภ 36
รูปที่ 5.11 ตัวอย่างพจนานุกรมรู้จำของตัวอักษร ก, ถ, ภ 36
รูปที่ 5.12 (ก) อักษร ถ ขณะเริ่มเขียนในพื้นที่ A7 37
รูปที่ 5.12 (ข) อักษร ถ ขณะเขียนหัวกลมซึ่งจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมอยู่ด้านซ้ายในพื้นที่ A7 37
รูปที่ 5.12 (ค) อักษร ถ ขณะเขียนผ่านพื้นที่ A1 38
รูปที่ 5.12 (ง) อักษร ถ ขณะเขียนผ่านพื้นที่ A3 38
รูปที่ 5.13 (ก) อักษร ม ขณะเริ่มเขียนในพื้นที่ A1 38
รูปที่ 5.13 (ข) อักษร ม ขณะเขียนหัวกลมซึ่งจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมอยู่ด้านขวาในพื้นที่ A1 39
รูปที่ 5.13 (ค) อักษร ม ขณะเขียนหัวกลมในพื้นที่ A7 39
รูปที่ 6.1 การแบ่งพื้นที่ในการเขียนตัวอักษรของโครงงานระยะที่สอง 41
รูปที่ 6.2 ตัวอย่างกรรมวิธีการเขียนตัวอักษรภาษาไทยที่ใช้ในการวิจัยโครงงานระยะที่สอง 42
รูปที่ 6.3 แสดงทิศทางการเดินลายเส้นของตัวอักษรภาษาไทย 44
รูปที่ 6.4 ลักษณะข้อมูลที่ใช้แสดงทิศทางในพจนานุกรมรู้จำในงานวิจัยโครงงานระยะที่สอง 44
รูปที่ 6.5 แผนภูมิสำหรับการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยในงานวิจัยระยะที่สอง 46
รูปที่ 6.6 (ก) อักษร ต ขณะเริ่มเขียนในพื้นที่ A5 50
รูปที่ 6.6 (ข) อักษร ต ขณะเขียนหัวกลมซึ่งจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมอยู่ด้านขวาของหัวกลม 50
รูปที่ 6.6 (ค) อักษร ต ขณะเขียนลายเส้นในทิศตะวันตกเฉียงใต้ 51
รูปที่ 6.6 (ง) อักษร ต ขณะเขียนลายเส้นในทิศตะวันออกเฉียงใต้ 51
รูปที่ 6.6 (จ) อักษร ต เมื่อสิ้นสุดการเขียน 51
รูปที่ 6.7 (ก) อักษร ถ ขณะเริ่มเขียนในพื้นที่ A3 52
รูปที่ 6.7 (ข) อักษร ถ ขณะเขียนหัวกลมซึ่งจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมอยู่ด้านซ้ายของหัวกลม 52
รูปที่ 6.7 (ค) อักษร ถ ขณะเขียนลายเส้นในทิศเหนือ 52
รูปที่ 6.7 (ง) อักษร ถ เมื่อสิ้นสุดการเขียน 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.1 การเขียนอักษร ว ที่ถูกวิธี 54

รูปที่ 7.2 การเขียนอักษร ว ที่ผิดวิธี 54

รูปแสดงตัวอย่างวิธีการเขียนตัวสระภาษาไทยที่ใช้ในงานวิจัยระยะที่หนึ่ง 60

รูปแสดงตัวอย่างวิธีการเขียนตัวสระภาษาไทยที่ใช้ในงานวิจัยระยะที่สอง 62

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ดังได้กล่าวไว้ในบทคัดย่อแล้วว่า ระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่พัฒนาขึ้นมานี้ เป็นระบบที่มีกฎเกณฑ์ในการเขียนที่แน่นอนตายตัว จึงเป็นความยุ่งยากในทางปฏิบัติที่จะนำระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ มาใช้งานจริงในชีวิตประจำวัน ดังนั้นในการพัฒนาระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยในปริญญานิพนธ์นี้ จึงได้พัฒนาระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยขึ้นมาสองระบบ คือ ระบบรู้จำตัวอักษรที่ได้จากการพัฒนาโครงงานระยะที่หนึ่ง และระบบรู้จำตัวอักษรที่ได้จากการพัฒนาโครงงานระยะที่สอง ซึ่งระบบรู้จำตัวอักษรที่ได้จากการพัฒนาโครงงานระยะที่หนึ่ง เป็นระบบที่มีกฎเกณฑ์ในการเขียนที่ยุ่งยากมาก ส่วนระบบรู้จำตัวอักษรที่ได้จากการพัฒนาโครงงานโครงงานระยะที่สอง เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาปรับปรุงมาจากโครงงานระยะที่หนึ่งเพื่อลดความยุ่งยากในการเขียน และเป็นต้นแบบของการพัฒนาระบบรู้จำตัวอักษรให้สามารถนำไปใช้ได้จริงต่อไป

ดังนั้นในปริญญานิพนธ์ จึงได้แบ่งเนื้อหาดังนี้ คือ บทที่ 2 กล่าวถึงวัตถุประสงค์ของโครงงาน และความเป็นมาของระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยอย่างคร่าวๆ บทที่ 3 กล่าวถึงตัวอุปกรณ์ป้อนข้อมูล และหลักการทำงานของอุปกรณ์ป้อนข้อมูล บทที่ 4 กล่าวถึงระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนอย่างคร่าวๆ ส่วนเนื้อหาในบทที่ 5 และบทที่ 6 กล่าวถึงโครงงานที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ พร้อมผลการทดลองและบทสรุป และบทสุดท้ายคือบทที่ 7 จะเป็นข้อเสนอแนะบางประการ เพื่อการพัฒนาระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่สมบูรณ์ขึ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วัตถุประสงค์ ความเป็นมา และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัตถุประสงค์

ปัจจุบันการป้อนข้อมูลภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หรือไม่ว่าภาษาอื่นใดก็ตาม เข้าในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากมาย และการป้อนข้อมูลที่ใช้อยู่ในขณะนี้เป็นการป้อนเข้าทางอุปกรณ์อินพุทที่เรียกว่า แป้นพิมพ์(Keyboard) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการป้อนข้อมูลด้วยแป้นพิมพ์ จะทำให้เสียค่าใช้จ่าย เสียเวลาและสิ้นเปลืองแรงงานสูง แต่หากสามารถทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์รับข้อมูลได้จากอุปกรณ์อื่นที่ไม่ใช่แป้นพิมพ์ได้โดยอัตโนมัติ จะทำให้การป้อนข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์มีความสะดวกรวดเร็วขึ้น และสิ้นเปลืองแรงงานน้อยลงเป็นอันมาก อีกทั้งยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้อย่างมากมาย

อุปกรณ์ที่ปราศจากแป้นพิมพ์คีดที่เป็นตัวป้อนข้อมูลให้แก่คอมพิวเตอร์ ที่ใช้กันแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน คือ กล้องโทรทัศน์หรือวีดีโอ เครื่องตรวจกวาดสัญญาณภาพ (Image scanner) กระดานอิเลคทรอนิคส์ (Tablet) ปากกาแสง(Light Pen) เป็นต้น หรืออุปกรณ์สำเร็จรูปสำหรับอ่านตัวอักษรโดยเฉพาะได้แก่ OCR (Optical Character Reader) OMR (Optical Mark Reader) Bar Code Reader เป็นต้น

ซึ่งอุปกรณ์ป้อนข้อมูลที่ใช้ในโครงงานระบบรู้จำตัวอักษรนี้ จะใช้กระดานอิเลคทรอนิคส์ (Tablet) แทนการใช้แป้นพิมพ์

2.2 ความเป็นมาของการพัฒนาระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย

การวิจัยเกี่ยวกับการรู้จำตัวอักษรนั้นในต่างประเทศ ได้มีการทำวิจัยกันอย่างกว้างขวางและเป็นเวลานานหลายปีแล้ว ดังจะเห็นได้จากผลงานการวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ลงในวารสารนานาชาติซึ่งมีออกมาอย่างมากมาย โดยการวิจัยมีทั้งการจดจำรูปแบบตัวอักษรตัวพิมพ์ (Printed Character) และตัวอักษรตัวเขียน (Hand-writting Character) แต่ส่วนมากจะเป็นแบบตัวอักษรตัวพิมพ์เสียเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งผลที่ได้จากการจดจำตัวอักษรว่าจะได้ผลมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์และแยกแยะตัวอักษร รวมทั้งขึ้นกับลักษณะโครงสร้างของตัวอักษรในแต่ละภาษา ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละภาษาด้วย

กรรมวิธีที่ใช้ในการแยกแยะตัวอักษรที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวิเคราะห์ตัวอักษรโดยการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Analysis)

2. การวิเคราะห์โดยอาศัยโครงร่างของตัวอักษร (Syntactic Analysis)

การวิเคราะห์และแยกแยะตัวอักษร โดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์นั้น สามารถทำการวิเคราะห์ได้เร็วกว่าการวิเคราะห์โดยอาศัยโครงร่างของตัวอักษร แต่ถ้ากลุ่มของตัวอักษรมีความคล้ายคลึงกันมาก วิธีการวิเคราะห์โดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ จะแยกแยะตัวอักษรออกมาโดยมีความผิดพลาดสูง คณิตศาสตร์ที่นำมาใช้เช่น สมการการตัดสินใจแบบเชิงเส้น (Linear Decision Function) หรือการวัดการกระจายโดยใช้ K-L expansion (Karhunen-Loeve expansion) หรือการคำนวณค่าลักษณะต่อเนื่องของจุดภาพ (Connectivity) เป็นต้น

ส่วนการวิเคราะห์โดยอาศัยโครงร่างของตัวอักษรนั้น ถ้าหากว่าจำนวนของตัวอักษรที่ต้องการจดจำมีมากแล้ว เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อการจดจำก็จะมากขึ้นไปด้วย แต่ก็มีข้อดีที่ทำการวิเคราะห์ได้ผลแม่นยำสูง ตัวอย่างเช่น การเข้ารหัสลายเส้นแบบต่างๆ การพิจารณามุมของเส้น ทิศทางของเส้นส่วนโค้ง เป็นต้น

สำหรับการวิจัยให้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์รู้จำตัวอักษรภาษาไทย ก็ได้มีการทำวิจัยกันมาไม่นาน และไม่ค่อยจะแพร่หลาย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมีราคาค่อนข้างสูง

ผลงานวิจัยการรู้จำตัวอักษรภาษาไทย ที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติก็มีอยู่จำนวนน้อย

สำหรับการวิจัยการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยนั้นเท่าที่มีการวิจัย มักเป็นการวิจัยแบบวิเคราะห์รูปร่างตัวอักษรรวมๆทั้งหมด คือจะทำการวิเคราะห์รูปร่างตัวอักษรได้ก็ต่อเมื่อได้ข้อมูลที่เป็นตัวอักษร 1 ตัว หรือ 1 คำ หรือ 1 ประโยค เสียก่อน ซึ่งถือว่าเป็นการวิเคราะห์แบบ " OFF-LINE " แต่งานวิจัยที่นำเสนอในปริญญานิพนธ์นี้ เป็นการวิจัยการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยแบบ " ON-LINE " ที่ได้รับข้อมูลจากกระดาษอิเลคทรอนิคส์ แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลรูปร่างตัวอักษรตั้งแต่ได้รับข้อมูลจุด (Pixel) แรกเข้ามา อักษรบางตัวจะทราบได้ว่าเป็นตัวอักษรอะไรได้โดยผู้เขียน (ผู้ป้อนข้อมูล) ยังเขียนไม่จบสิ้นจึงเป็นการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว และให้ความถูกต้องสูง

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการสร้างระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย ทฤษฎีที่ใช้ส่วนมากเกี่ยวข้องกับทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟฟิก และทฤษฎีทางด้านคณิตศาสตร์เสียเป็นส่วนมาก ดังนี้

- การตรวจสอบหัวกลมของตัวอักษรว่าเกิดขึ้นหรือไม่ และจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมเป็นจุดด้านซ้าย หรือขวาของหัวกลมนั้น
- การทำให้ลายเส้นของตัวอักษรมีเป็นลายเส้นต่อเนื่อง เพื่อให้การวิเคราะห์การรู้จำทำการแยกแยะได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น
- การหาทิศทางการเดินของลายเส้นลายมือเขียน

เป็นต้น

ซึ่งจะขอกล่าวถึงรายละเอียดในบทที่ 5 และ บทที่ 6 ต่อไป

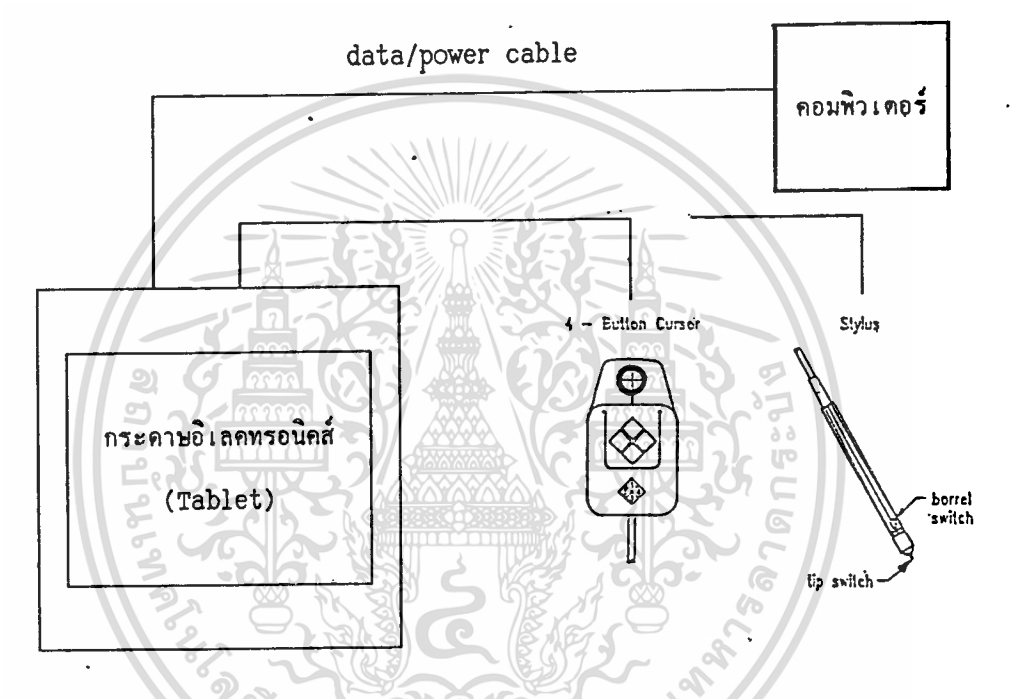
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

3.1 อุปกรณ์ป้อนข้อมูล

3.1 กระดานอิเลคทรอนิคส์

เป็นอุปกรณ์อินพุทชนิดหนึ่ง ที่มีลักษณะกายภาพภายนอกเป็นกระดานสี่เหลี่ยมแผ่นหนึ่งพร้อมกับปากกา (stylus) หรือ เคอร์เซอร์ ดังรูป 3.1



รูป 3.1 ส่วนประกอบของกระดานอิเลคทรอนิคส์

ซึ่งกระดานอิเลคทรอนิคส์จะทำการแปลงข้อมูลด้านกราฟฟิก เป็นข้อมูลด้านดิจิตอล ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ในระบบคอมพิวเตอร์ โดยมีอัตราการส่งข้อมูล (Baud rate) ระหว่าง 75 – 19,200 baud (แต่โดยทั่วไปจะกำหนดไว้ที่ 9600 baud) และ มีรูปแบบข้อมูลดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stop Bit	MSB 8	7	6	5	4	3	2	1	LSB 0	Start Bit	Transmission Sequence
1	P	PH	PR	0	Sx	Sy	Fc	Fb	Fa	0	1st byte
1	P	0	X6	X5	X4	X3	X2	X1	X0	0	2nd byte
1	P	0	X13	X12	X11	X10	X9	X8	X7	0	3rd byte
1	P	0	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	Y0	0	4th byte
1	P	0	Y13	Y12	Y11	Y10	Y9	Y8	Y7	0	5th byte

รูปที่ 3.2 รูปแบบข้อมูล

ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

LSB - บิทที่มีนัยสำคัญน้อยสุด (Least significant bit)

MSB - บิทที่มีนัยสำคัญสูงสุด (Most significant bit)

F - บิทแฟลก ที่ใช้ในการระบุว่า ปุ่มบนตัวปากกา หรือเคอร์เซอร์ กำลังถูกกดอยู่ ซึ่งมีค่าได้ต่าง ๆ กัน แล้วแต่ว่าปุ่มไหนจะถูกกด ดังรูปที่ 3.3

Sx และ Sy - บิทเครื่องหมาย สำหรับแกน x และแกน y ตามลำดับ ถ้ามีค่าเป็น 1 จะเป็นค่าบวก แต่ถ้าเป็น 0 จะเป็นค่าลบ

PR - บิทที่ใช้บอกถึงสถานะว่า ตัวเคอร์เซอร์หรือปากกาอยู่ในขอบเขตที่สามารถทำให้กระดานอิเลคทรอนิคส์ รายงานตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่. คือถ้ามีค่าเป็น 0 แสดงว่าอยู่ในขอบเขต ถ้ามีค่าเป็น 1 แสดงว่าอยู่นอกขอบเขต

PH - บิทเฟส ซึ่งถูกเซตค่าเป็น 1

P - บิทแพริตี้ ซึ่งจะมีหรือไม่มีก็ได้ โดยถ้ามีก็จะมีในทุกไบท์ของข้อมูล และเป็นแพริตี้คี่

X0 ถึง X13 - บิทที่ให้ค่าพิกัดในแนวแกน X

Y0 ถึง Y13 - บิทที่ให้ค่าพิกัดในแนวแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมี บิทเริ่มต้น (start bit) ซึ่งมีค่าเป็น 1 และบิทสิ้นสุดที่มีค่าเป็น 0 ในข้อมูลทุกไบท์ด้วย เพื่อใช้ในการแยกข้อมูลแต่ละไบท์ออกจากกัน

Stylus Buttons	Puck Buttons	Binary Output Fc	Fb	Fa
none	none	0	0	0
tip button	1	0	0	1
barrel button	2	0	1	0
tip and barrel	3	0	1	1
.....	4	1	0	0
.....	1+2	0	1	1
.....	1+3	0	1	1
.....	1+4	1	0	0
.....	2+3	0	1	1
.....	2+4	1	1	0
.....	1+2+3	0	1	1
.....	1+2+4	1	1	1
.....	2+3+4	1	1	1
.....	1+2+3+4	1	1	1

รูปที่ 3.3 ค่าบิทแฟลกของการกด

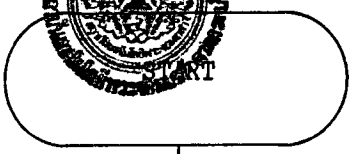
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หลักการทำงานและการควบคุมอุปกรณ์ป้อนข้อมูล

การนำกระดานอิเลคทรอนิคส์มาใช้งานในโปรแกรมโดยตรงนั้น ทำไม่ได้เนื่องจากกระดานอิเลคทรอนิคส์เป็นอุปกรณ์ภายนอก ที่คอมพิวเตอร์ไม่สามารถติดต่อได้โดยตรง จึงต้องมีส่วนของโปรแกรมไดรเวอร์ (Driver) เป็นตัวกลางในการติดต่อ โดยตัวไดรเวอร์จะทำหน้าที่ในการรับและถอดรหัสข้อมูลเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ตามที่โปรแกรมหลักต้องการ โดยในเนื้อหาที่จะกล่าวถึงนี้จะให้ข้อชี้แนะในการเขียนโปรแกรมตัวไดรเวอร์ ในรูปของโฟลชาร์ต (Flowchart) ดังรูปที่ 3.4 รูปที่ 3.5 และ รูปที่ 3.6 ตามลำดับ

หมายเหตุ การทำงานของกระดานอิเลคทรอนิคส์ มีโหมดการทำงานอยู่ 2 โหมด คือ โหมดการทำงานปกติ ซึ่งเป็นโหมดที่ถูกกำหนดให้ส่งค่าข้อมูลของจุดพิกัดกลับมาตลอดเวลา และโหมด Remote Request เป็นโหมดที่กระดานอิเลคทรอนิคส์จะให้ค่าข้อมูลก็ต่อเมื่อคอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งมาทริกเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กำหนดรูปแบบการติดต่อสื่อสาร เช่น หมายเลขพอร์ต
และ อัตราการส่งผ่านข้อมูล เป็นต้น

กำหนดลักษณะการทำงานของกระดาษอิเลคทรอนิคส์ เช่น
ความละเอียด(Resolution) และโหมดการทำงาน เป็นต้น

รับและถอดรหัสข้อมูล (Detail A)

นำข้อมูลมาใช้งานในโปรแกรมหลัก

ต้องการข้อมูลเพิ่ม ?

YES

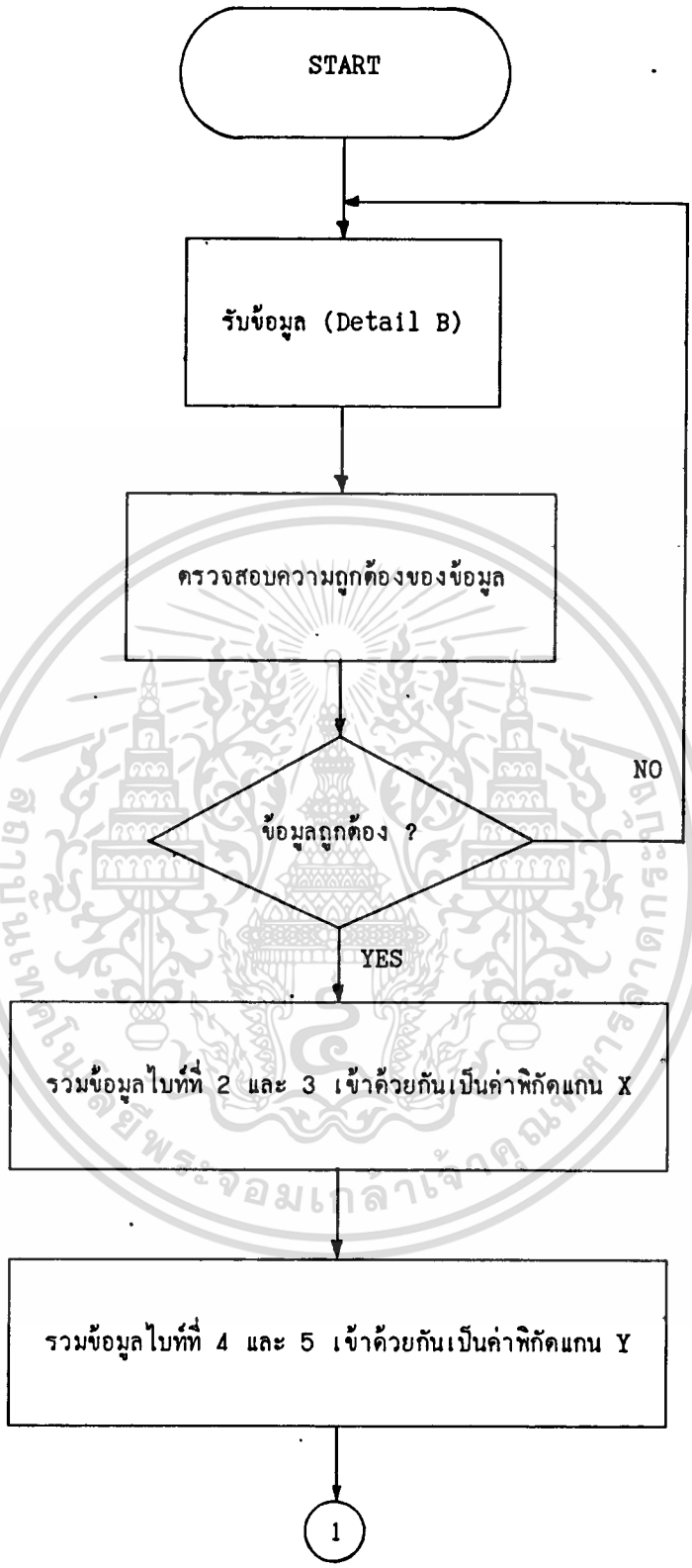
NO

STOP

รูปที่ 3.4 โฟลชาร์ตสำหรับโปรแกรมหลักที่ใช้อ่านและควบคุมกระดาษอิเลคทรอนิคส์

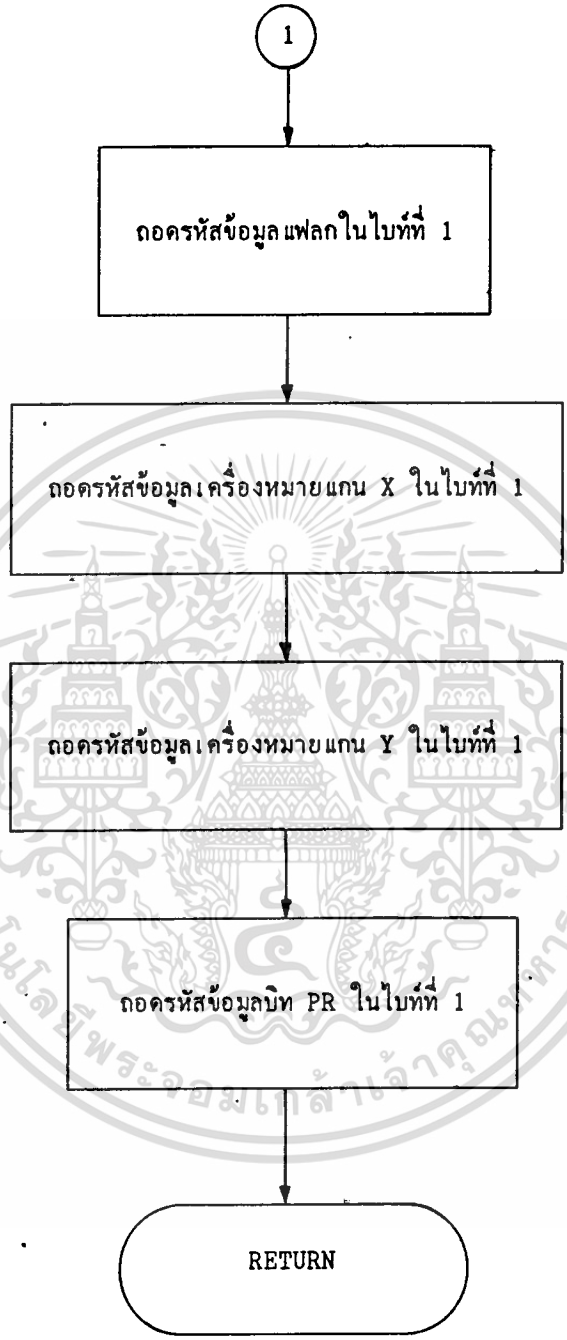
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

026873



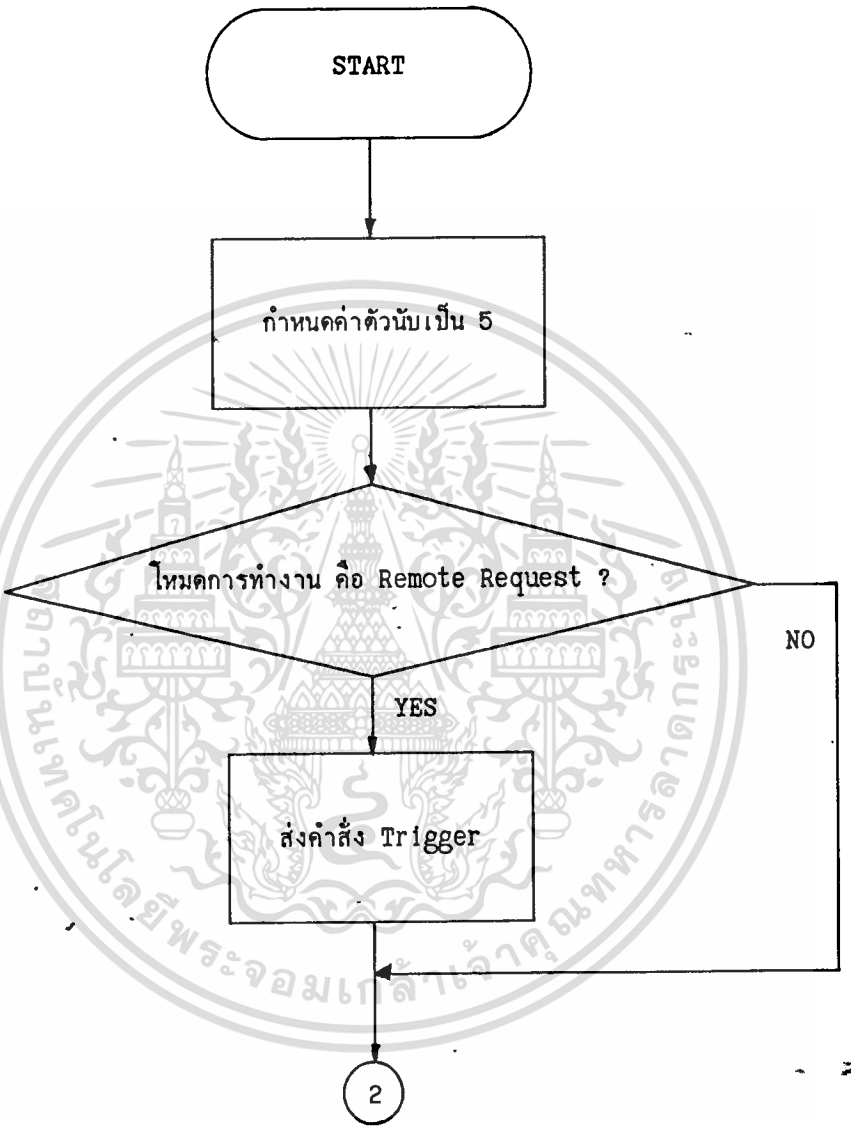
รูปที่ 3.5 Detial A : ส่วนของการรับและถอดรหัสข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



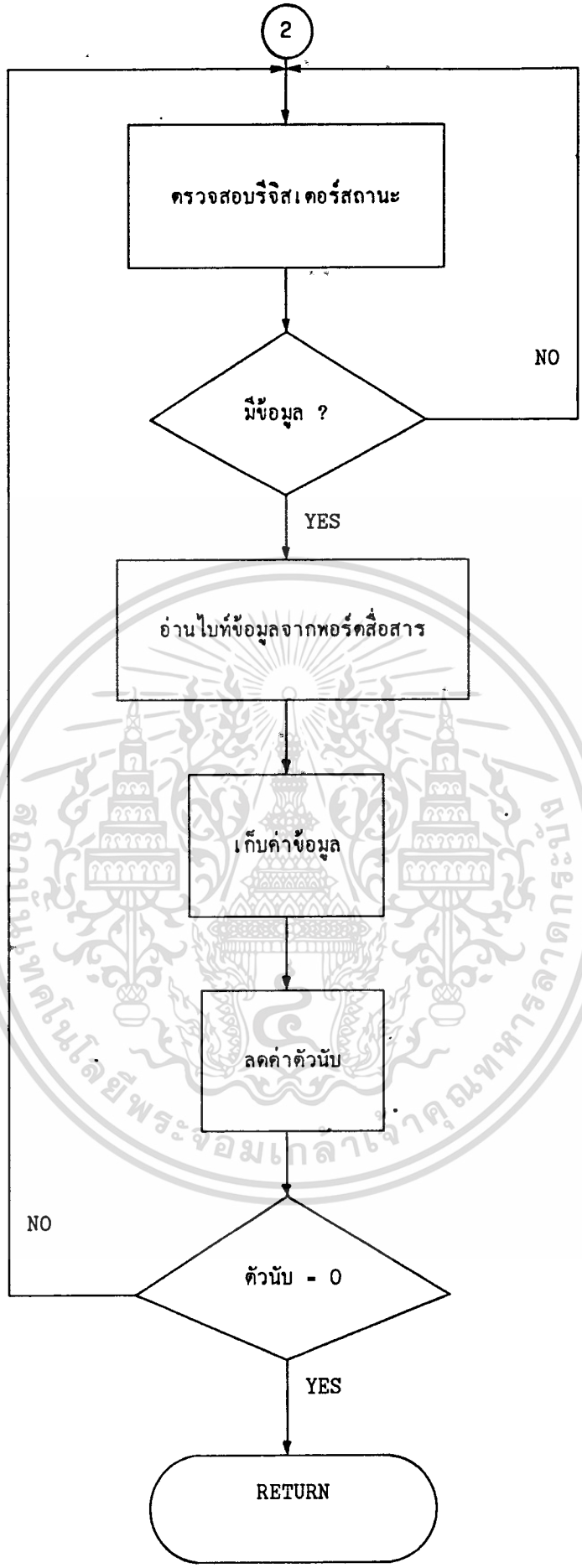
รูปที่ 3.5 Detial A : ส่วนของการรับและถอดรหัสข้อมูล (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 Detail B : ส่วนโปรแกรมย่อยในการรับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 Detail B : ส่วนโปรแกรมย่อยในการรับข้อมูล (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเนื่องจากกระดาษอิเลคทรอนิคส์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเลียนแบบการทำงานของเมาส์ ดังนั้นการทำงานทุกอย่างของเมาส์สามารถนำกระดาษอิเลคทรอนิคส์มาใช้แทนเมาส์ได้ และการควบคุมการทำงานทุกอย่างของ กระดาษอิเลคทรอนิคส์ ก็ใช้ฟังก์ชันและอินเทอร์รัปท์เหมือนกับที่ใช้ในระบบเมาส์ ดังนั้นการทำให้กระดาษอิเลคทรอนิคส์เลียนแบบการทำงานของเมาส์จึงเป็นวิธีควบคุมการทำงานของกระดาษอิเลคทรอนิคส์อีกวิธีหนึ่ง แต่ถึงแม้จะมีการใช้ระบบเมาส์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1983 ถึงกระนั้นก็ไม่มีหนังสือคู่มือประกอบการเขียนโปรแกรมในการควบคุมการทำงานของเมาส์ พิมพ์ออกมาเผยแพร่ จนกระทั่งปลายปี ค.ศ. 1989 จึงได้มีการพิมพ์เผยแพร่คู่มือประกอบการเขียนโปรแกรมการควบคุมเมาส์ ซึ่งได้เข้ามาในประเทศไทย ต้นปี ค.ศ. 1990 นี้เอง จึงเห็นควรที่จะอธิบายการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเมาส์ ว่าใช้อินเทอร์รัปท์หมายเลขอะไร และมีฟังก์ชันใดบ้าง เพื่อที่จะได้เข้าใจโปรแกรมที่เขียนขึ้นในการควบคุมกระดาษอิเลคทรอนิคส์ ในระบบรู้จำตัวอักษรในปริญญานิพนธ์นี้ เนื่องจากโครงงานใช้วิธีการควบคุมการทำงานกระดาษอิเลคทรอนิคส์โดยเลียนแบบการทำงานของเมาส์

ตัวเมาส์ในปัจจุบันมีหลายบริษัทผลิตออกมาจำหน่าย จึงอาจจะมีแตกต่างกันบ้างในความสามารถและคุณสมบัติ แต่ในที่นี้จะอ้างอิงกับระบบเมาส์ของบริษัทไมโครซอฟต์ซึ่งใช้กันแพร่หลายและเป็นมาตรฐานตัวหนึ่ง ซึ่ง กระดาษอิเลคทรอนิคส์ ของบริษัท SummaGraphics ก็เลียนแบบระบบเมาส์ของไมโครซอฟต์ เช่นกัน

ก่อนที่จะกล่าวถึงการโปรแกรมเมาส์ หรือ กระดาษอิเลคทรอนิคส์ ก็ขอกล่าวถึงเรื่องเมาส์ที่ควรจะรู้จักเล็กน้อยเพื่อจะได้เข้าใจการโปรแกรมเมาส์ดีขึ้น คือ การเคลื่อนที่ของเมาส์นั้นจะกำหนดในเทอมของ มิกกี้ (mickey) ซึ่งมาจากชื่อของตัวละครการ์ตูนที่ชื่อว่า มิกกี้เมาส์ นั้นเอง โดยปกติ การเคลื่อนที่ของเมาส์จะประมาณ 200 มิกกี้ต่อนิ้ว ซึ่งจะเห็นว่ามีความละเอียดสูงมาก แต่ในเมาส์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ในปัจจุบัน อาจจะมีความละเอียดในการเคลื่อนที่ถึง 320 หรือ 400 มิกกี้ต่อนิ้ว เมื่อตัวเมาส์เคลื่อนที่ มันก็จะนับค่าจำนวนมิกกี้ แล้วส่งไปให้ ตัวไดรเวอร์เมาส์เพื่อทำการแปลงค่าจำนวนมิกกี้ให้อยู่ในรูปพิกเซล(pixel) บนหน้าจอ ซึ่งจำนวนของมิกกี้ที่ใช้ในการเคลื่อนที่เคอร์เซอร์ไป 1 พิกเซล นี้ปกติจะกำหนดไว้ในอัตราส่วน มิกกี้:พิกเซล ดังนี้ คือ 1:1 บนแกนเอกซ์ (X-axis หรือแนวราบ) และ 2:1 บนแกนวาย (Y-axis หรือแนวดิ่ง) แต่ก็สามารถปรับค่าอัตราส่วนนี้ได้โดยใช้ฟังก์ชันในอินเทอร์รัปท์ที่จะกล่าวถึงต่อไป

ในโหมดกราฟฟิก เคอร์เซอร์ สามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งออกไป 1 พิกเซลได้ แต่ในโหมดเทกซ์ เคอร์เซอร์ มักจะเคลื่อนย้ายตำแหน่งออกไปที 1 ตัวอักษร และในคอมพิวเตอร์ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ์ดเออร์คิวสิสในโหมดเทกซ์ การเคลื่อนย้ายตัวเคอร์เซอร์จะสามารถเคลื่อนย้ายทีละ 9 พิกเซลในแนวราบ และ 14 พิกเซลในแนวดิ่ง

การโปรแกรมเมาส์นั้นจะใช้อินเทอร์รัปท์หมายเลข 33h (เลข 33 ในระบบเลขฐานสิบหก อักษร h หมายถึง ระบบเลขฐานสิบหก) และอินเทอร์รัปท์หมายเลข 10 h ซึ่งเป็นอินเทอร์รัปท์ในส่วนไบออส (BIOS) ที่ใช้ในการควบคุมจอภาพวีดีโอ

รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการอินเทอร์รัปท์ มีดังนี้

รีจิสเตอร์ AX เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการระบุหมายเลขฟังก์ชัน ว่าจะให้ทำงานอะไร และรับค่ากลับมา เป็นต้น

รีจิสเตอร์ BX เป็นรีจิสเตอร์ที่บอกสถานะของปุ่มบนตัวเมาส์ ว่าถูกกดหรือไม่ และอื่นๆ เป็นต้น

รีจิสเตอร์ CX เป็นรีจิสเตอร์ที่บอก หรือใช้ในการระบุตำแหน่งในแนวแกน X และอื่นๆ เป็นต้น

รีจิสเตอร์ DX เป็นรีจิสเตอร์ที่บอก หรือใช้ในการระบุตำแหน่งในแนวแกน Y และอื่นๆ เป็นต้น

รีจิสเตอร์ DS เป็นรีจิสเตอร์ที่เก็บส่วนข้อมูลที่ใช้ในตัวไดรเวอร์เมาส์ และอื่นๆ เป็นต้น

รีจิสเตอร์ DI เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้นับคำจำนวนมิกกี้ในแนวแกน X และอื่นๆ เป็นต้น

รีจิสเตอร์ SI เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้นับคำจำนวนมิกกี้ในแนวแกน Y และอื่นๆ เป็นต้น

การโปรแกรมเมาส์ที่ใช้ในระบบรู้จำตัวอักษรนั้น ใช้ฟังก์ชันในอินเทอร์รัปท์หมายเลข 33h เพียงอินเทอร์รัปท์เดียวเท่านั้น ซึ่งจะขอยกตัวอย่าง ดังนี้

-ฟังก์ชัน 1 เป็นการทำให้เคอร์เซอร์ปรากฏออกมาให้เห็น

ให้ค่ารีจิสเตอร์ AX เป็น 0001h เพียงค่าเดียวเท่านั้น

การส่งค่ากลับ ไม่มี

-ฟังก์ชัน 2 เป็นการทำให้เคอร์เซอร์ถูกซ่อนไม่ให้ปรากฏออกมาให้เห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ค่ารีจิสเตอร์ AX เป็น 0002h เพียงค่าเดียวเช่นกัน

การส่งค่ากลับ ไม่มี

หมายเหตุ การเรียกใช้ฟังก์ชันหมายเลข 2 เพื่อทำให้เคอร์เซอร์ถูกซ่อน ถ้ามีการเรียกใช้หลายครั้ง การทำให้เคอร์เซอร์ปรากฏออกมาให้เห็นโดยใช้ฟังก์ชันหมายเลข 1 ก็จำเป็นต้องเรียกใช้ฟังก์ชันหมายเลข 1 หลายครั้งเช่นกัน

-ฟังก์ชัน 3 อ่านค่าตำแหน่ง และสถานะของปุ่มของเมาส์

ให้ค่ารีจิสเตอร์ AX เป็น 0003h

การส่งค่ากลับ มี คือค่ารีจิสเตอร์ BX ซึ่งบอกสถานะของปุ่ม

โดย บิท 0 เป็นปุ่มซ้าย

1 เป็นปุ่มขวา

2 เป็นปุ่มกลาง

3-7 ไม่ใช้

CX เป็นรีจิสเตอร์บอกค่าตำแหน่งในแนวราบ

DX เป็นรีจิสเตอร์บอกค่าตำแหน่งในแนวดิ่ง

หมายเหตุ ถ้าบิทมีค่าเป็น 0 หมายถึงปุ่มไม่ถูกกด, ถ้าบิทมีค่าเป็น 1 หมายถึงปุ่มถูกกด

-ฟังก์ชัน 4 กำหนดตำแหน่งของเมาส์

ให้ค่ารีจิสเตอร์ AX เป็น 0004h

CX เป็น ตำแหน่งในแนวราบ

DX เป็น ตำแหน่งในแนวดิ่ง

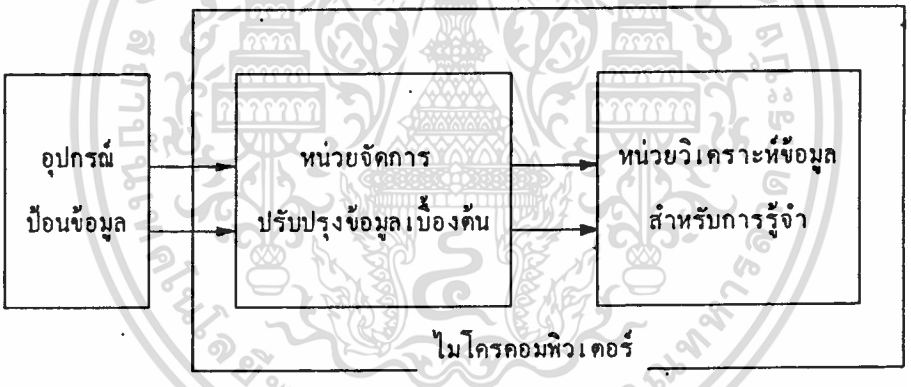
การส่งค่ากลับ ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ระบบรู้จำตัวอักษร

ระบบรู้จำตัวอักษร คือระบบที่รับสัญญาณไฟฟ้า (ข้อมูล) ที่เป็นตัวแทนลายเส้น และพื้นเบื้องหลังของตัวอักษร เข้ามาให้หน่วยจัดการปรับปรุงข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ทำการปรับปรุงข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดีที่สุด อีกทั้งยังกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆทิ้งไป แล้วทำการจัดเก็บข้อมูลที่จำเป็นเท่านั้นไว้ในหน่วยความจำ เพื่อนำไปใช้ในหน่วยต่อไป คือหน่วยวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำซึ่งก็เป็นส่วนหนึ่งของไมโครคอมพิวเตอร์ หน่วยนี้เป็นหน่วยที่ทำการวิเคราะห์ ลักษณะรูปร่างของตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยว่าคือตัวอักษรอะไรแล้วให้รหัส แอสกี้ (ASCII) ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำเพื่อนำไปใช้งานต่อไป ซึ่งสามารถแสดงได้อะแกรมได้ ดังรูป ที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ระบบการรู้จำตัวอักษรของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

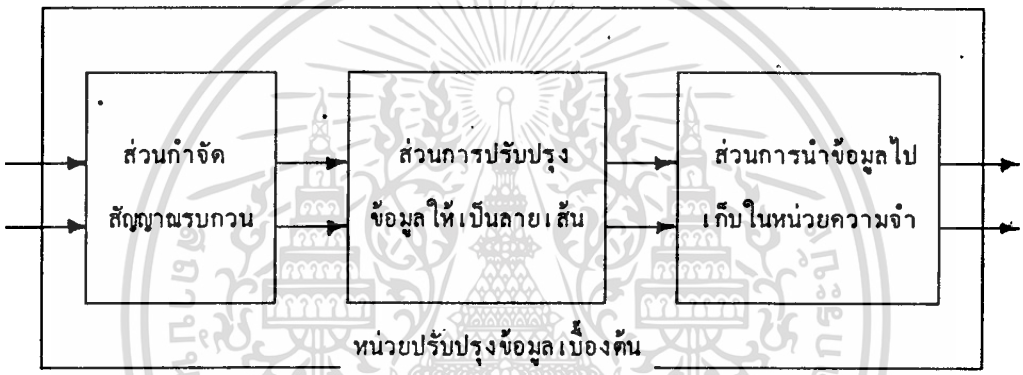
4.1 หน่วยจัดการปรับปรุงข้อมูลเบื้องต้น

หน่วยปรับปรุงข้อมูล เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่ในการปรับปรุงข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดีที่สุด ที่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้ ซึ่งในการปรับปรุงให้ได้ข้อมูลที่ดีนั้น จะต้องกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆทิ้งไป ให้เหลือเฉพาะส่วนของลายเส้นตัวอักษรกับพื้นเบื้องหลัง จากนั้นจึงปรับปรุงส่วนของลายเส้นให้ได้ออกมาเป็นลายเส้นจริงๆ ด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น ในระบบการรู้จำตัวอักษรแบบ ออฟไลน์ (OFF-LINE) จะต้องทำการธินนิ่ง (Thining) ให้ได้ข้อมูลตัวอักษรที่บางเป็นลายเส้น แล้วจึงส่งไปเก็บในหน่วยความจำ แต่ในระบบรู้จำตัวอักษรแบบ ออนไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ON-LINE) นั้น หน่วยปรับปรุงข้อมูล จะได้ลักษณะข้อมูลเป็นจุดพิกัดต่างๆบนกระดาษอิเลคทรอนิคส์ ที่เกิดจากปากกาถูกเคลื่อนที่โดยการเขียน ดังนั้นหน่วยปรับปรุงข้อมูลเบื้องต้นนี้จึงต้องทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงจุดพิกัดต่างๆ ให้ได้ออกมาเป็นลายเส้นตามลักษณะข้อมูลที่ได้มา ซึ่งการเชื่อมโยงเพื่อให้ได้ลักษณะข้อมูลเป็นลายเส้นนั้นจะกระทำครั้งละคู่พิกัด แล้วจึงนำไปเก็บในหน่วยความจำในทันที เพื่อให้หน่วยวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำตัวอักษรสามารถนำไปวิเคราะห์ได้ทันที จึงทำให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งบางครั้งก็สามารถวิเคราะห์ตัวอักษรแล้วทราบว่าเป็นอักษรอะไรได้ ถึงแม้การเขียนยังไม่เสร็จสิ้น

หน่วยปรับปรุงข้อมูลสามารถแสดงเป็นไดอะแกรมได้ ดังรูป ที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมของหน่วยปรับปรุงข้อมูลเบื้องต้น

4.2 หน่วยวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำตัวอักษร

หน่วยวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำตัวอักษร คือหน่วยที่นำข้อมูลที่ได้จากหน่วยจัดการปรับปรุงข้อมูลเบื้องต้นมาใช้ในการวิเคราะห์แยกแยะว่าลายเส้นข้อมูลที่ได้นั้น คือตัวอักษรอะไร ซึ่งวิธีการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบว่าลายเส้นข้อมูลเป็นตัวอักษรใดนั้น จะได้กล่าวถึงในรายละเอียดในบทต่อไป

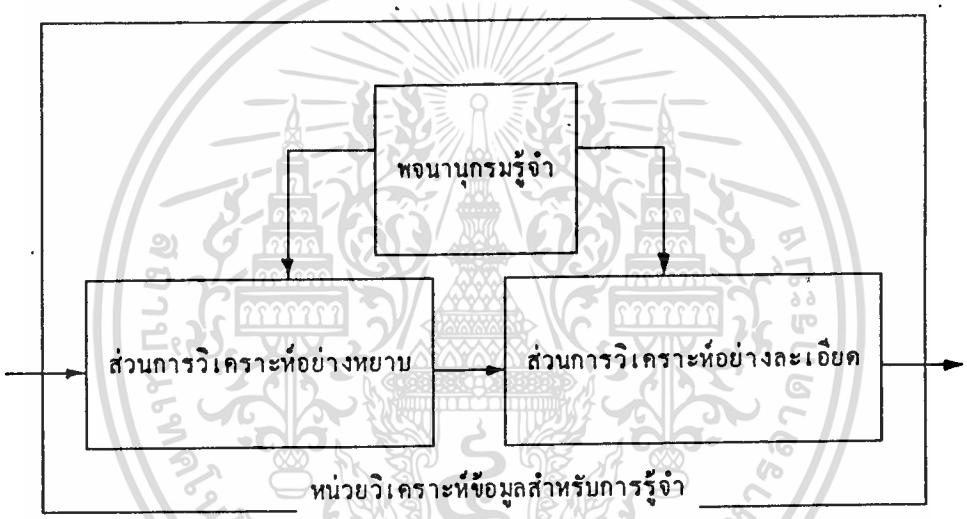
ในส่วนหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงอย่างสังเขป คือ หน่วยวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำตัวอักษร จะนำข้อมูลที่เป็นลายเส้นมาทำการวิเคราะห์ตามวิธีการที่ได้จากการพัฒนา ซึ่งการวิเคราะห์จะทำไว้หลายขั้นตอน คือ ครั้งแรกจะทำการวิเคราะห์อย่างหยาบๆ ก่อน เพื่อให้ได้ลักษณะร่วมของตัวอักษร ซึ่งในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ได้ตัวอักษรออกมาเป็นกลุ่มๆ หลายกลุ่ม เช่น กลุ่มที่เริ่มต้นการเขียนจากมีหัวกลม กับกลุ่มที่เริ่มต้นการเขียนจากไม่มีหัวกลม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวิเคราะห์ได้ออกมาเป็นกลุ่มอย่างหยาบๆ แล้ว จึงทำการวิเคราะห์ต่อไปเพื่อแยกย่อยลงไปให้ได้ลักษณะตัวอักษรตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งถือว่าเป็นการวิเคราะห์อย่างละเอียด ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ จะมีพจนานุกรมการรู้จำตัวอักษรมาเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ ทั้งในส่วนของการวิเคราะห์อย่างหยาบ และอย่างละเอียด

พจนานุกรมสำหรับการรู้จำตัวอักษรนั้น ได้รับการพัฒนาขึ้นในโครงงานเพื่อให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้องแม่นยำขึ้น ซึ่งจะขอกล่าวถึงอีกครั้งในหัวข้อต่อไป

ไดอะแกรมสำหรับหน่วยวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำตัวอักษร แสดงดังรูป ที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ไดอะแกรมสำหรับหน่วยวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำตัวอักษร

4.2.1 พจนานุกรมรู้จำตัวอักษร

เป็นส่วนหนึ่งของหน่วยวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำตัวอักษรของระบบรู้จำ ที่มีความสำคัญมาก. เพราะเป็นส่วนที่เก็บลักษณะรูปร่างของตัวอักษรแต่ละตัวไว้เป็นมาตรฐาน ซึ่งระบบรู้จำตัวอักษรสามารถนำลักษณะรูปร่างที่ได้รับจากการป้อนมาเปรียบเทียบ เพื่อการวิเคราะห์ว่าเป็นตัวอักษรอะไรได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

การสร้างพจนานุกรมรู้จำตัวอักษร จะต้องอาศัยกรรมวิธีการวิเคราะห์ที่สามารถแยกความแตกต่างของตัวอักษรแต่ละตัว ได้อย่างชัดเจนเป็นมาตรฐาน แล้วนำมาเก็บเป็นไฟล์แยกต่างหากจากส่วนของโปรแกรม ซึ่งการแยกส่วนของพจนานุกรมรู้จำตัวอักษรออกมานี้เพื่อความสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการพัฒนาโครงงาน เนื่องจากเมื่อมีการปรับปรุงแก้ไขพจนานุกรมรู้จำตัวอักษรก็สามารถที่จะทำการปรับปรุงแก้ไขได้โดยไม่มีผลกระทบต่อส่วนของโปรแกรม และในทางกลับกันเมื่อมีการปรับปรุงแก้ไขส่วนของโปรแกรม ก็สามารถทำได้โดยไม่มีผลกระทบต่อพจนานุกรมรู้จำตัวอักษรเช่นกัน

พจนานุกรมรู้จำตัวอักษรที่สร้างขึ้นในโครงงาน จะยึดถือการเรียงลำดับตามรหัสแอสกี้ภาษาไทยรหัสเกษตร ทั้งนี้เป็นเพราะ เป็นรหัสที่ใช้กันแพร่หลายทั่วไป และรหัสแอสกี้ภาษาไทยรหัสเกษตรจะมีการกล่าวถึงในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

โครงงานระยะที่หนึ่ง : เมื่อแบ่งพื้นที่ในการเขียนเป็นเก้าส่วน

ในบทนี้ จะอธิบายถึงโครงงานที่ได้พัฒนาขึ้นมา ว่าได้รับการพัฒนาอย่างไร พร้อมทั้งผลการทดลอง และข้อสรุปวิจารณ์ ดังรายละเอียดที่จะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไปนี้

-ทฤษฎีและกรรมวิธีในการวิเคราะห์การรู้จำ

-ผลการทดลอง

-สรุปและวิจารณ์

5.1 ทฤษฎีและกรรมวิธีในการวิเคราะห์การรู้จำ

จากการสังเกตรูปร่างตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย จะเห็นว่าอักษรภาษาไทยมีลักษณะเด่น ดังนี้

- อักษรภาษาไทยส่วนใหญ่มักมีหัวกลม
- การเขียนอักษรภาษาไทยหนึ่งตัว ส่วนใหญ่การเขียนมักจะแล้วเสร็จเมื่อยกปากกาหรืออุปกรณ์ในการเขียนขึ้น
- การเขียนจะเริ่มต้นจากการเขียนหัวกลมเป็นส่วนใหญ่

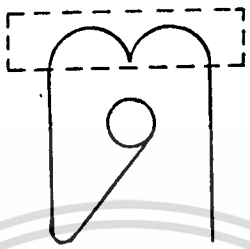
จากลักษณะเด่นที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะได้กรรมวิธีการวิเคราะห์ตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย ดังต่อไปนี้

1. จำนวนครั้งในการเขียน คือ เขียน 1 ครั้ง หรือ 2 ครั้ง เช่น อักษร ก , ข และ ม เป็นต้น จะเขียนแล้วเสร็จเพียงการเขียนใน 1 ครั้ง ส่วนอักษร ฐ , ฐ และ ส เป็นต้น เขียนแล้วเสร็จจะต้องเขียนถึง 2 ครั้ง
2. การเขียนเริ่มต้นจากการเขียนหัวกลม และการเขียนไม่มีหัวกลม เช่น อักษร ม , ฆ และ ส การเขียนจะเริ่มต้นจากหัวกลม ส่วนอักษร ก และ ช การเขียนจะเริ่มต้นจากเส้นตรง
3. กลุ่มย่อยของพวกที่มีหัวสามารถแบ่งย่อยเป็นกลุ่มที่มีหัวกลมเพียงหัวเดียว เช่น อักษร ถ และ ภ เป็นต้น และกลุ่มที่มีหัวกลมสองหัว เช่น อักษร ฆ และ ฆ เป็นต้น
4. และกลุ่มย่อยของจำนวนการเขียน สามารถแบ่งออกไปได้ว่าสองครั้งที่เขียนนั้นติดกันหรือ แยกกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แบ่งย่อยไปตามตำแหน่งการเริ่มต้น และตำแหน่งการสิ้นสุดของการเขียน ตำแหน่งการเดินทางของลายเส้น

6. แบ่งย่อยกลุ่มตัวอักษรออกตามลักษณะหัวแตก หรือชิกแชกของตัวอักษร เช่น อักษร ด และ ต จะเห็นว่าทั้งสองตัวอักษรมีความคล้ายกัน เพียงแต่ อักษร ต ตรงส่วนลายเส้นด้านบน มีลักษณะที่เรียกว่า หัวแตก ดังรูป 5.1



รูปที่ 5.1 ลักษณะหัวแตกของอักษร ต

7. แบ่งย่อยกลุ่มตัวอักษรออกตามตำแหน่งจุดที่ทำให้เกิดหัว ว่าอยู่ด้านซ้ายของพื้นที่ย่อย หรือด้านขวาของพื้นที่ย่อย เมื่อแบ่งพื้นที่ย่อยออกเป็นสองส่วน เช่น อักษร ภ จุดที่ทำให้เกิดหัวกลม จะอยู่ทางด้านซ้ายของพื้นที่ย่อย ส่วนอักษร ถ จุดที่ทำให้เกิดหัวกลม จะอยู่ทางด้านขวาของพื้นที่ย่อย ดังแสดงในรูป 5.2

รูปที่ 5.2 จุดที่เกิดหัว (ก) อยู่ด้านซ้าย (ข) อยู่ด้านขวา

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการวิเคราะห์การรู้จำ จึงได้กำหนดการเขียนตัวอักษรให้มีวิธีการเขียนที่แน่นอนตายตัว โดยการแบ่งพื้นที่ที่จะเขียนตัวอักษรลงไปออกเป็น 9 ส่วนด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.3

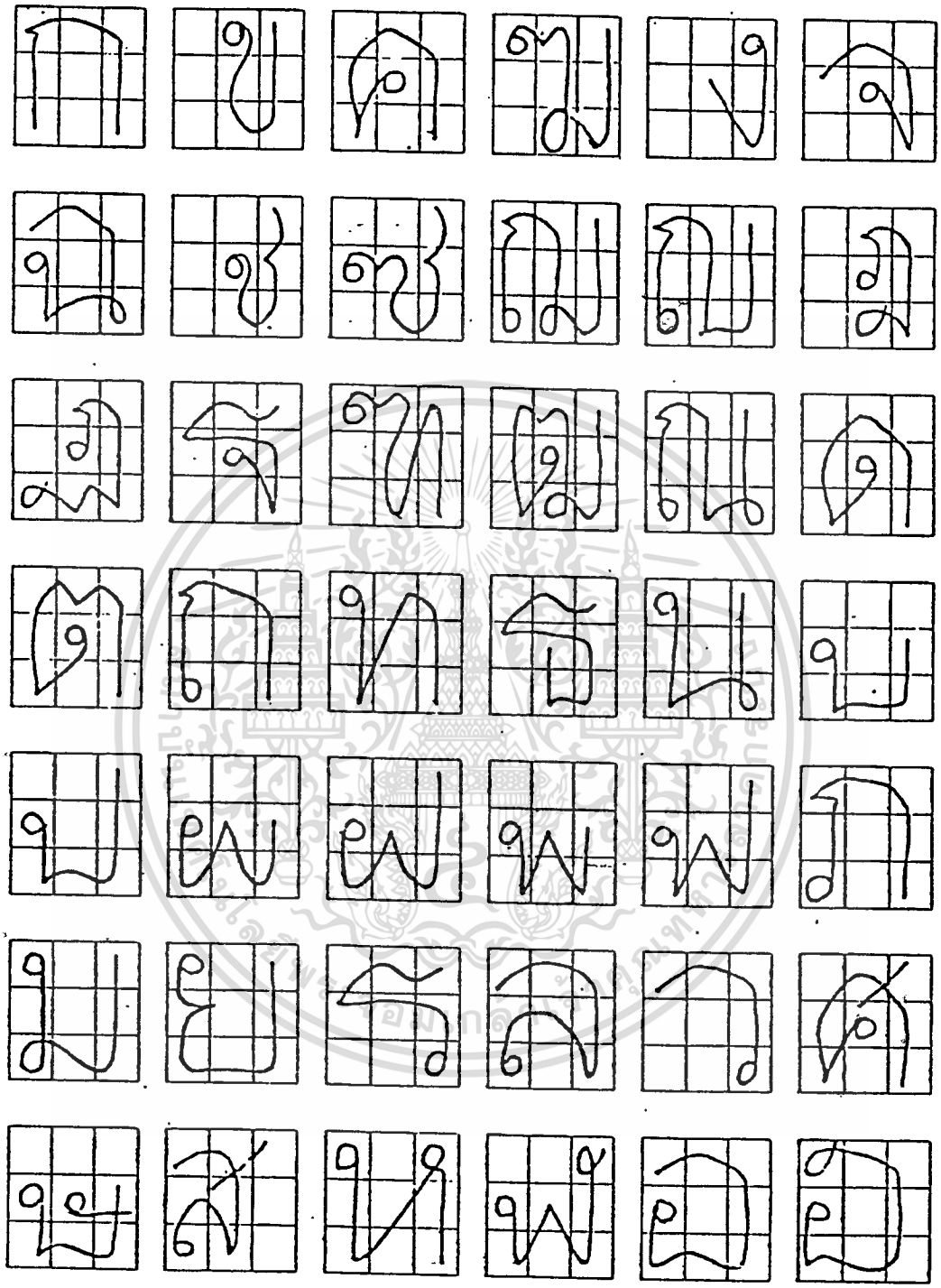
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1	A2	A3
A4	A5	A6
A7	A8	A9

รูปที่ 5.3 การแบ่งพื้นที่ในการเขียนตัวอักษรออกเป็น 9 ส่วนในโครงงานระยะที่หนึ่ง

ซึ่งจากการแบ่งพื้นที่ในการเขียน จะได้การกำหนดวิธีการเขียนลงไปในส่วนย่อย ๆ ทั้ง 9 ส่วน ตามรูปที่ 5.3 ดังตัวอย่างที่ได้แสดงใน รูปที่ 5.4 ซึ่งในการเขียนที่มีจำนวนครั้งในการเขียน 2 ครั้ง เช่น ช , ฐ และ ศ เป็นต้น จะได้กำหนดวิธีการเขียนให้การเขียนเขียนแล้วเสร็จในการเขียนเพียงครั้งเดียว และการวิเคราะห์เพื่อแยกหัวกลมว่าเป็นหัวกลมปิดที่เกิดจากจุดพิกัดทางด้านขวา หรือด้านซ้ายของหัวกลมนั้น จะไม่ทำการวิเคราะห์เมื่อหัวกลมนั้นอยู่ในพื้นที่ย่อย A3 โดยจะถือว่าหัวกลมที่เกิดในพื้นที่ A3 มีค่าเป็นเหมือนกับหัวกลมที่เกิดจากจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมปิดอยู่ทางด้านซ้ายของหัวกลม เพื่อให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างรวดเร็ว

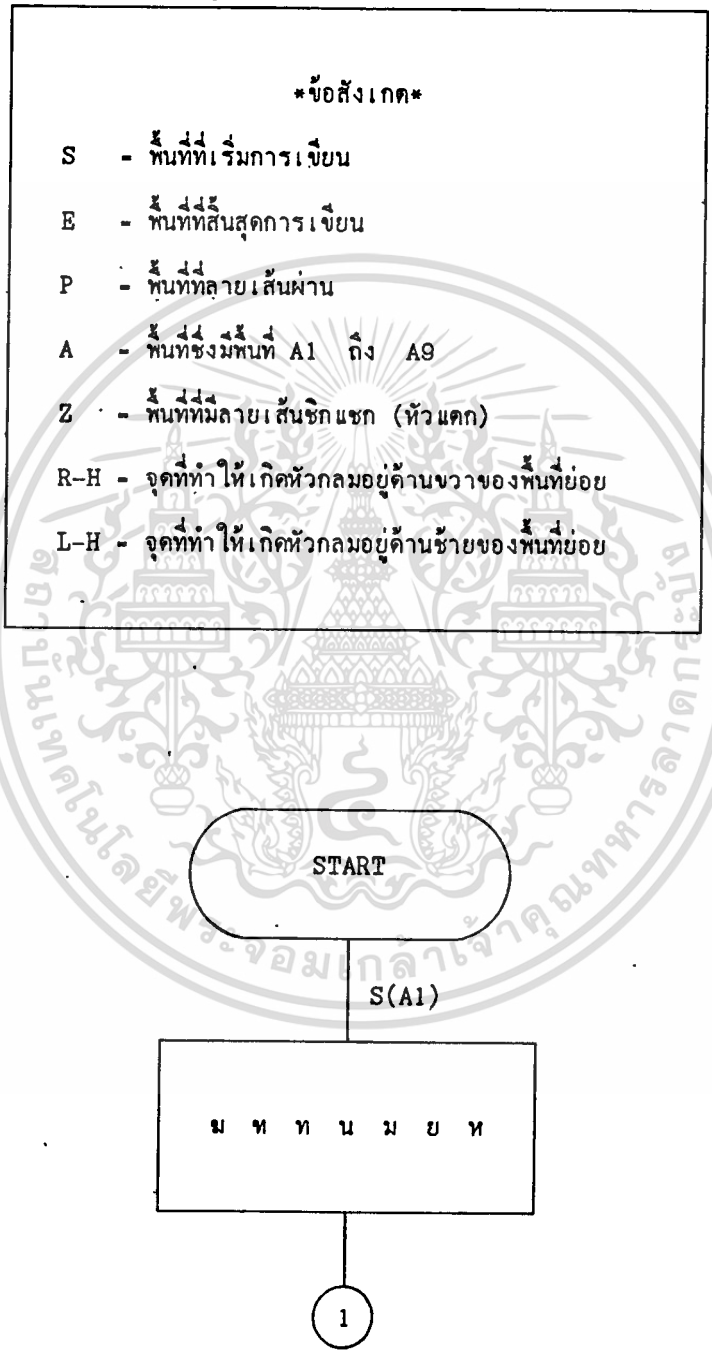
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5. 4 ตัวอย่างวิธีการเขียนตัวอักษรภาษาไทยที่ใช้ในงานวิจัยระยะที่หนึ่ง

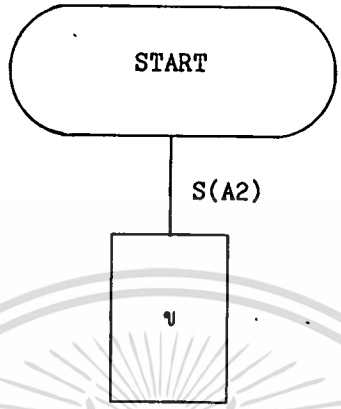
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกรรมวิธีในการเขียนตัวอักษรภาษาไทย ในรูปที่ 5.4 และกรรมวิธีในการวิเคราะห์ทั้ง 7 ข้อข้างต้น ทำให้สามารถเขียนโครงร่างแบบต้นไม้ สำหรับการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยในโครงงานระยะที่หนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 5.5 , รูปที่ 5.6

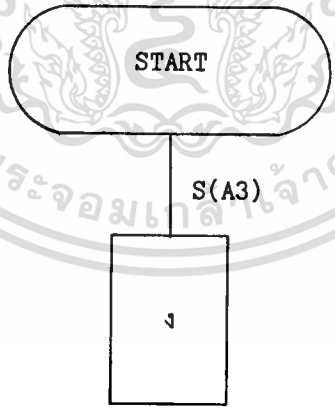


รูปที่ 5.5 (ก) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

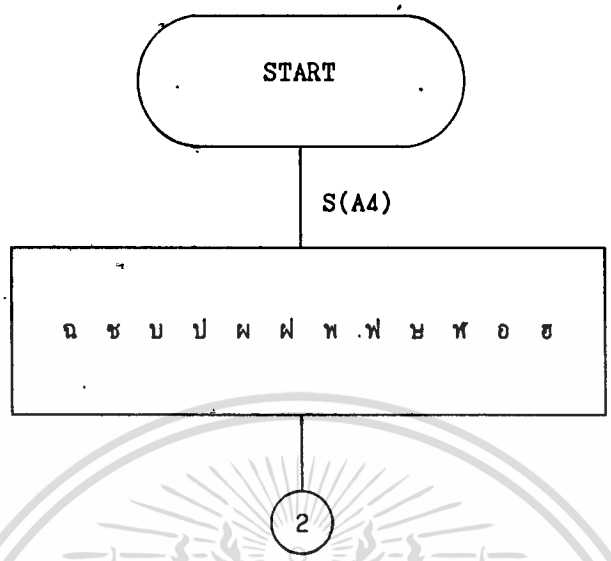


รูปที่ 5.5 (ข) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A2

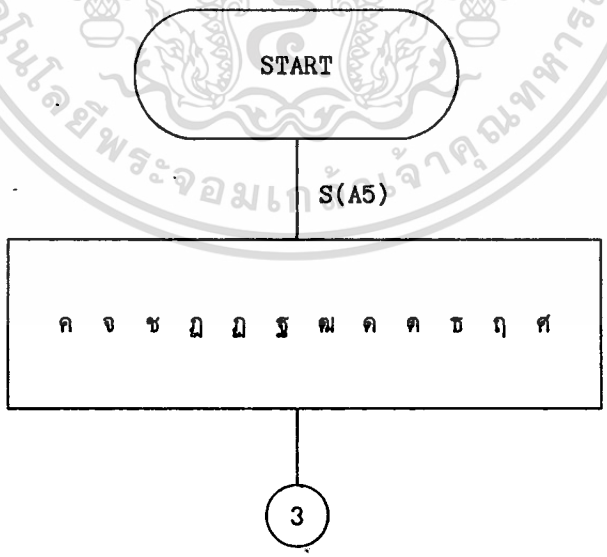


รูปที่ 5.5 (ค) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

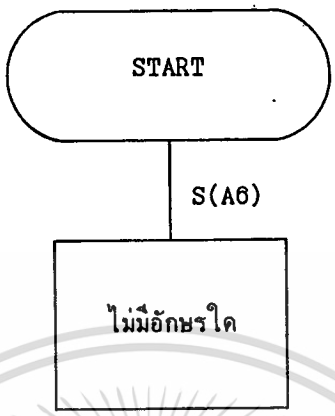


รูปที่ 5.5 (ง) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A4

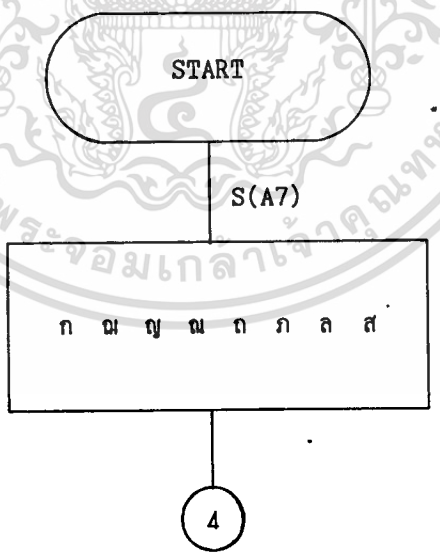


รูปที่ 5.5 (จ) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

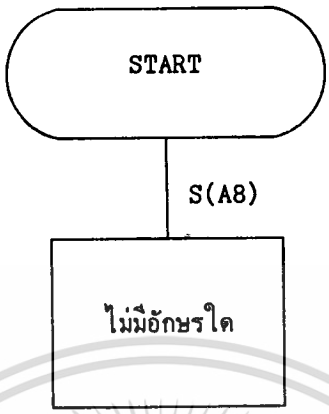


รูปที่ 5.5 (ฉ) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A6

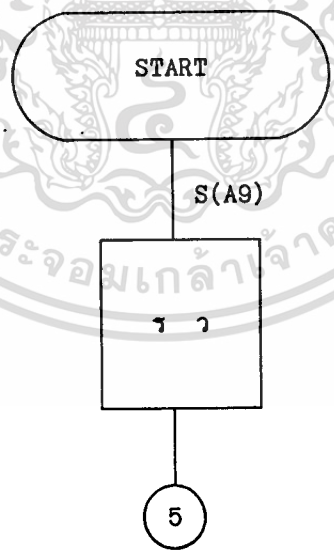


รูปที่ 5.5 (ช) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

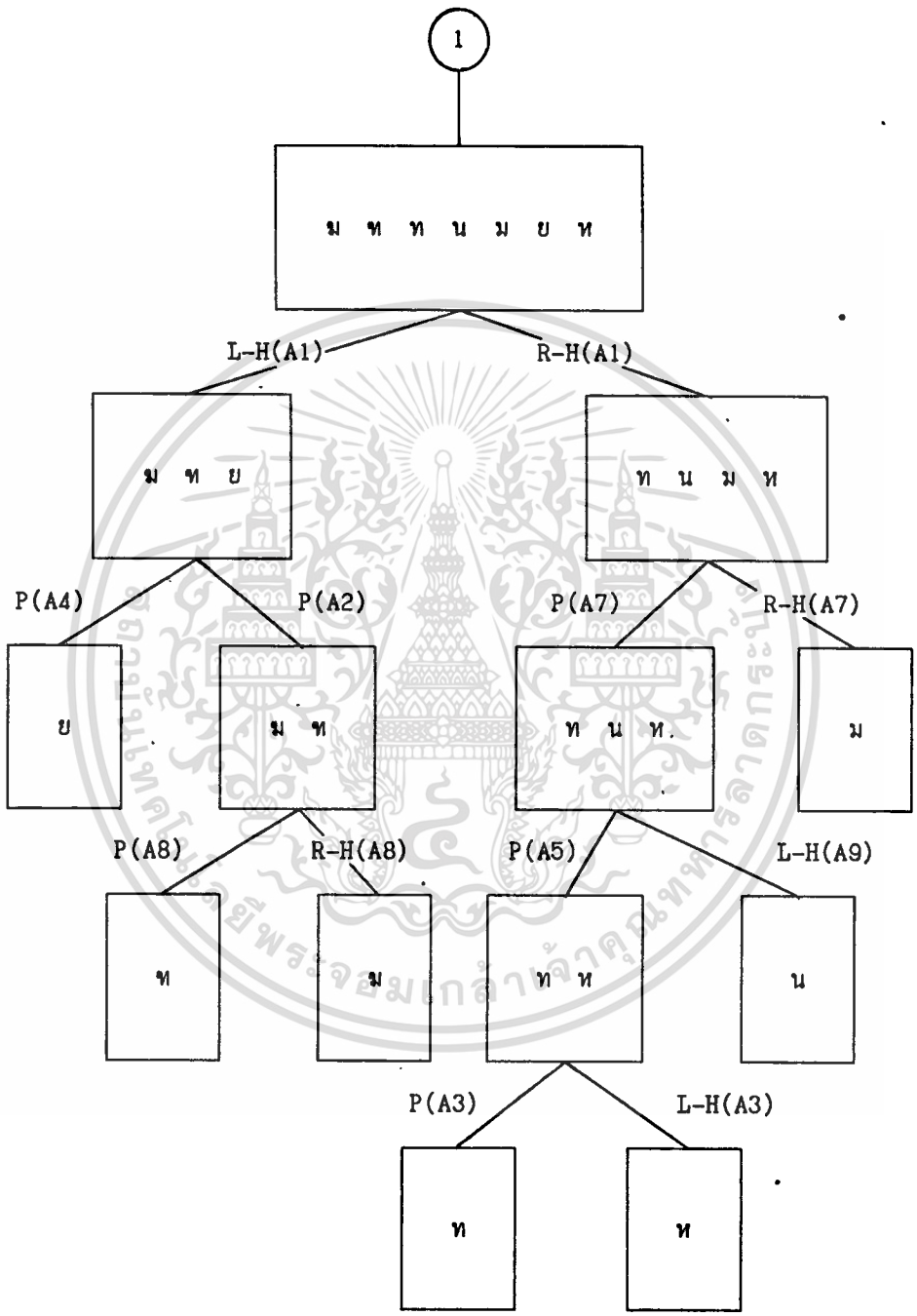


รูปที่ 5.5 (ช) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A8



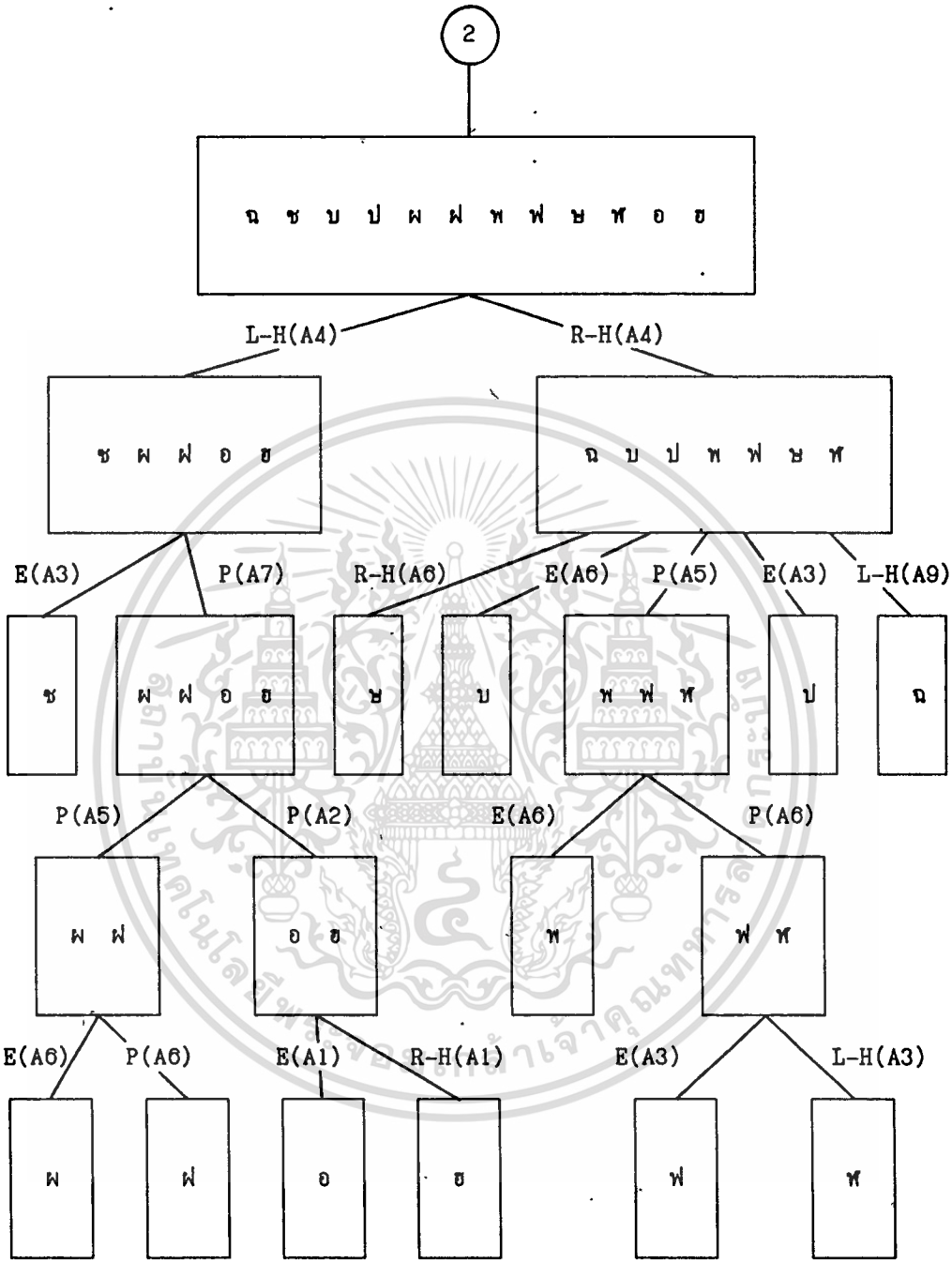
รูปที่ 5.5 (ฌ) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรที่เริ่มต้นการเขียนในพื้นที่ A9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



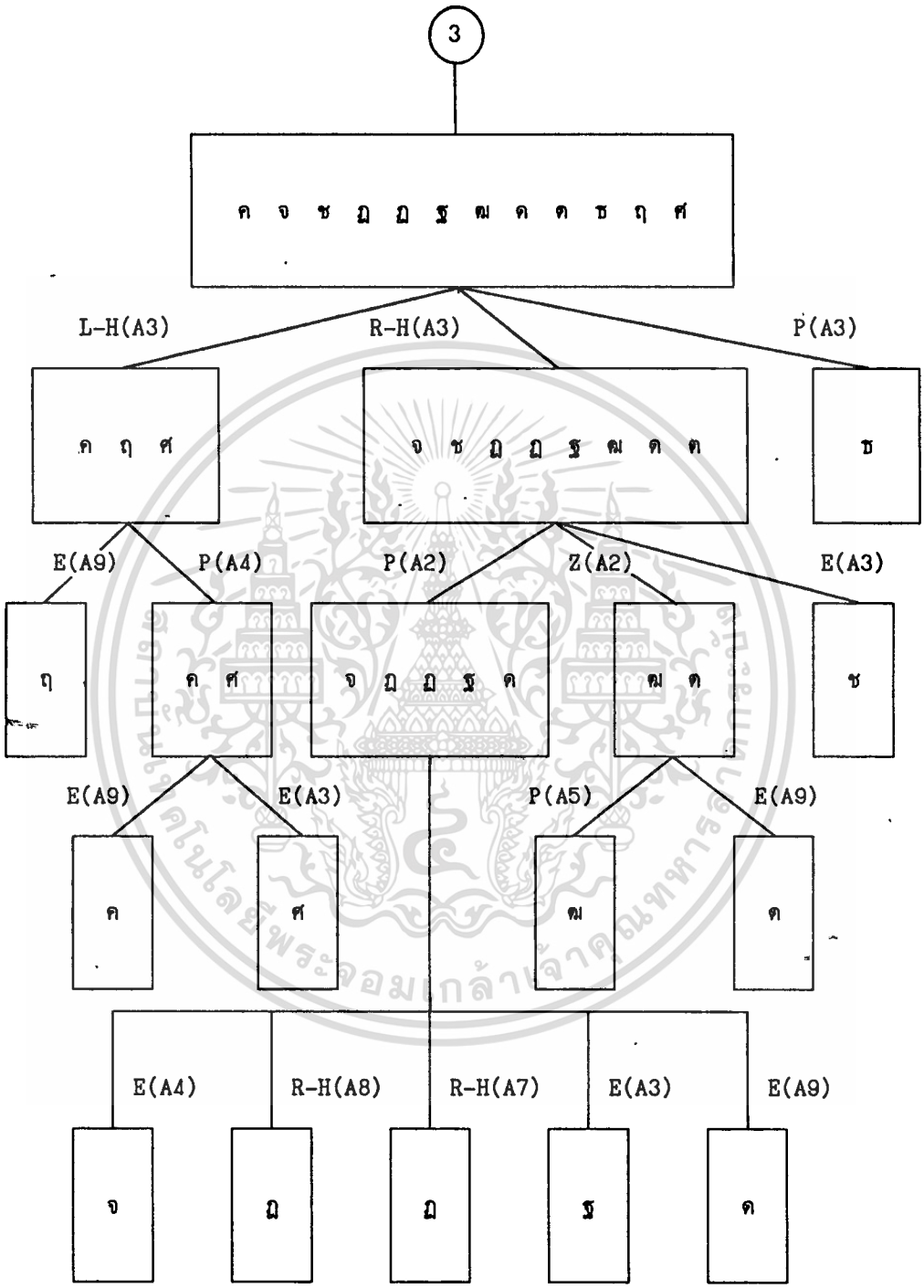
รูปที่ 5.6 (ก) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



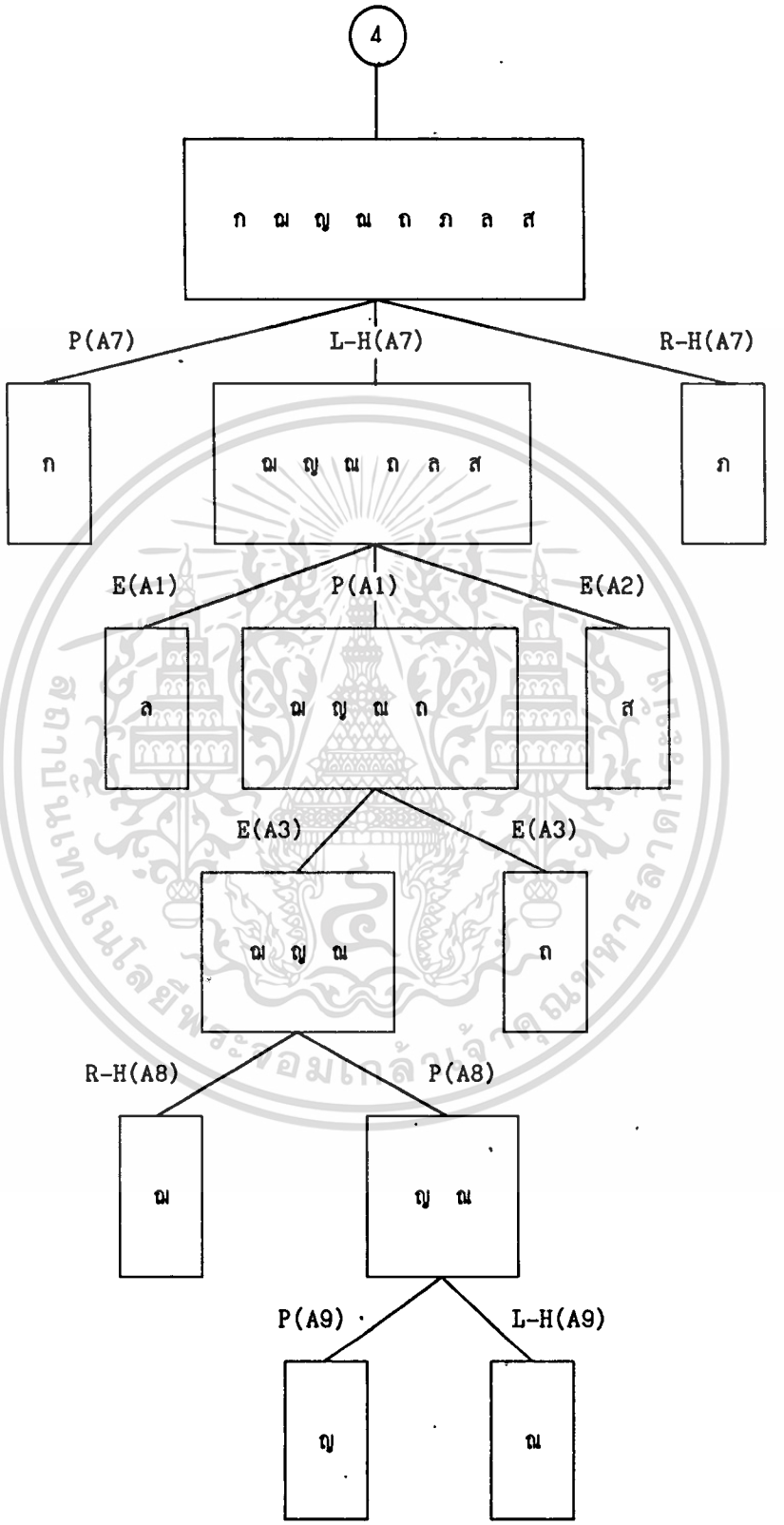
รูปที่ 5.6 (ข) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



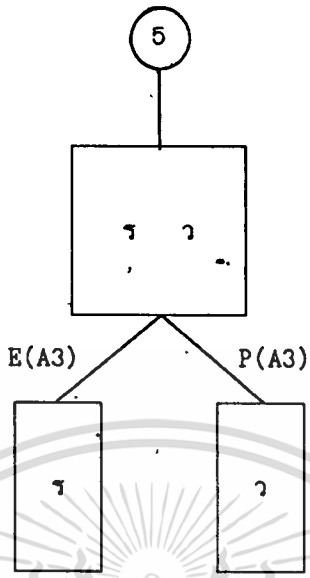
รูปที่ 5.6 (ค) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 (ง) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่ 4

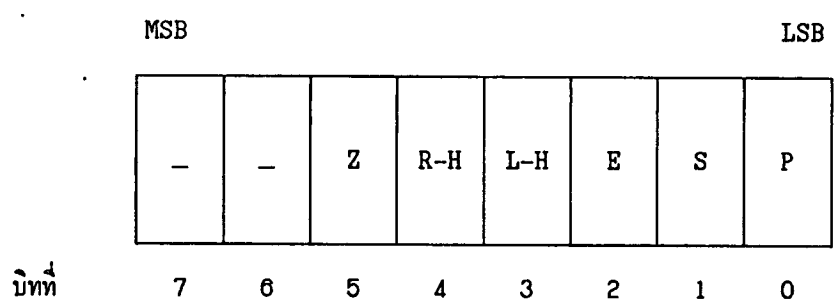
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 (จ) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่ 5

ในรูปที่ 5.5 (ก) ถึง รูปที่ 5.5 (ฌ) เป็นการวิเคราะห์การรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยอย่างหยาบ ๆ ซึ่งจะได้กลุ่มย่อยของตัวอักษรทั้งหมด 5 กลุ่ม และกลุ่มย่อยของตัวอักษรทั้ง 5 กลุ่มนี้จะถูกวิเคราะห์เพื่อการรู้จำตัวอักษรอย่างละเอียดดังแสดงในรูปที่ 5.6 (ก) ถึงรูปที่ 5.6 (จ)

และจากกรรมวิธี ทั้ง 7 ข้อ เราสามารถสร้างพจนานุกรมรู้จำตัวอักษรภาษาไทยได้ดังนี้ โดยใช้ข้อมูลขนาด 1 ไบต์ ซึ่งแต่ละบิท จะแทนคุณสมบัติที่ได้จากกรรมวิธี ทั้ง 7 ข้อ ดังแสดงในรูปที่ 5.7

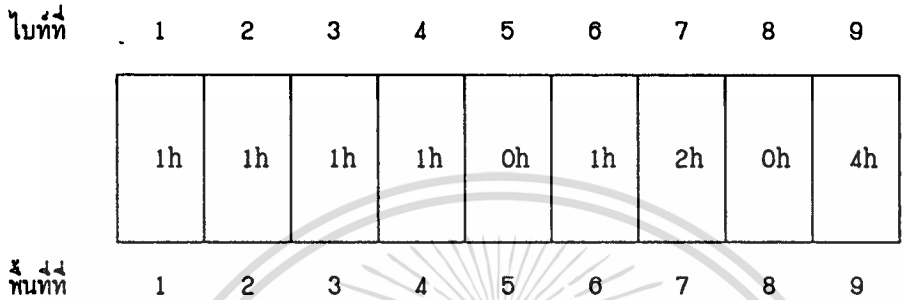


รูปที่ 5.7 ลักษณะของข้อมูลในพจนานุกรมรู้จำตัวอักษรภาษาไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

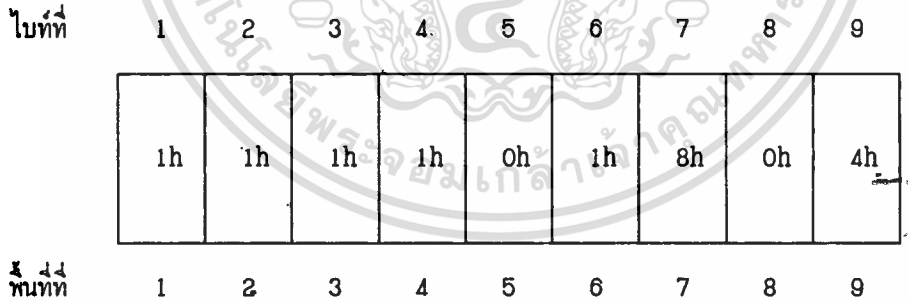
เนื่องจากการแบ่งย่อยพื้นที่ในการเขียนออกเป็น 9 ส่วน ดังนั้น จึงต้องใช้ข้อมูลขนาด 9 ไบท์ ในการเก็บลักษณะรูปร่างตัวอักษรแต่ละตัว (โดย แต่ละพื้นที่ใช้เนื้อที่ขนาด 1 ไบท์)

ตัวอย่างเช่น อักษรตัว ก จะสร้างพจนานุกรมได้ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 พจนานุกรมสำหรับข้อมูลตัวอักษร ก

หรือ อักษร ก จะสร้างพจนานุกรม ได้ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 พจนานุกรมสำหรับข้อมูลตัวอักษร ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ อักษร ภ จะสร้างพจนานุกรม ได้ดังรูปที่ 5.10

ไบท์ที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1h	1h	1h	1h	0h	1h	10h	0h	4h
พื้นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9

รูปที่ 5.10 พจนานุกรมสำหรับข้อมูลตัวอักษร ภ

และในพจนานุกรมรู้จำตัวอักษรภาษาไทย ยังมีข้อมูลขนาด 1 ไบท์ เพิ่มเข้าไปในข้อมูลของแต่ละตัวอักษร เพื่อใช้เป็นไบท์บอกสถานะตัวอักษรตัวนั้น ว่าเป็นตัวอักษรที่กำลังถูกเขียนหรือไม่

- โดยถ้าไบท์สถานะมีค่าเป็น - 0h จะหมายถึงตัวอักษรตัวนั้นถูกเขียนอยู่
- และถ้าไบท์สถานะมีค่าเป็น - 0FFh จะหมายถึงตัวอักษรตั๋วนั้นไม่ใช่ตัวที่เขียนอยู่

ซึ่งโดยปกติไบท์นี้จะถูกกำหนดค่าเป็น 0h

ดังนั้นจึงได้ตัวอย่างพจนานุกรมรู้จำของตัวอักษร ก, ถ และ ภ ดังรูปที่ 5.11

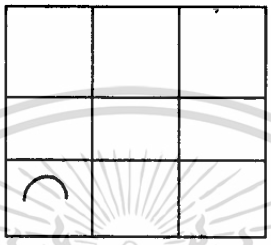
พื้นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ก	1h	1h	1h	1h	0h	1h	2h	0h	4h	0h
ถ	1h	1h	1h	1h	0h	1h	8h	0h	4h	0h
ภ	1h	1h	1h	1h	0h	1h	10h	0h	4h	0h

รูปที่ 5.11 ตัวอย่างพจนานุกรมรู้จำของตัวอักษร ก, ถ และ ภ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

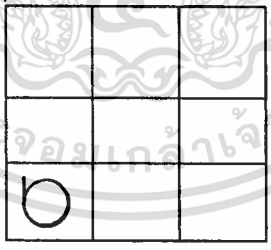
5.2 ผลการทดลอง

จากทฤษฎีและกรรมวิธีในการวิเคราะห์ในหัวข้อข้างต้น จึงได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยขึ้น และทำการทดลองโดยการป้อนด้วยการเขียน ถ ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.12 (ก) ถึง รูปที่ 5.12 (ง) และอักษร ม ดังแสดงในรูปที่ 5.13 (ก) ถึง รูปที่ 5.13 (ค)



อักษรที่เป็นไปได้คือ : ก ฌ ญ ณ ถ ภ ล ส

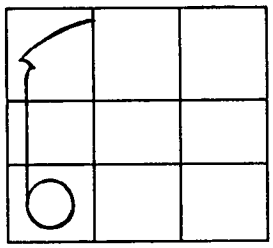
รูปที่ 5.12 (ก) อักษร ถ ขณะเริ่มเขียนในพื้นที่ A7



อักษรที่เป็นไปได้คือ : ฌ ญ ณ ถ ล ส

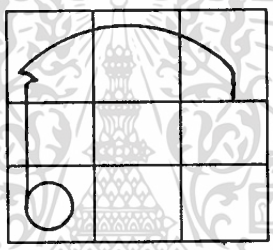
รูปที่ 5.12 (ข) อักษร ถ ขณะเขียนหัวกลมซึ่งจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมอยู่ด้านซ้ายในพื้นที่ A7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



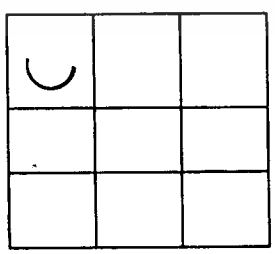
อักษรที่เป็นไปได้คือ : ฌ ญ ณ ถ

รูปที่ 5.12 (ค) อักษร ถ ขณะเขียนผ่านพื้นที่ A1



อักษรที่เป็นไปได้คือ : ถ

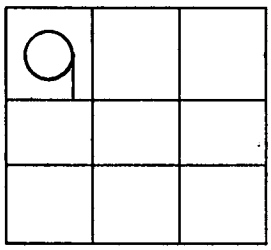
รูปที่ 5.12 (ง) อักษร ถ ขณะเขียนผ่านพื้นที่ A3



อักษรที่เป็นไปได้คือ : ม ห ท น ม ย ห

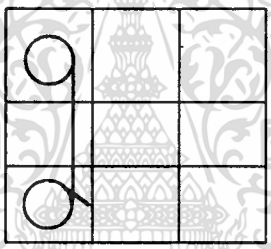
รูปที่ 5.13 (ก) อักษร ม ขณะเริ่มเขียนในพื้นที่ A1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อักษรที่เป็นไปได้คือ : ท น ม ห

รูปที่ 5.13 (ข) อักษร ม ขณะเขียนหัวกลมซึ่งจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมอยู่ด้านขวาในพื้นที่ A1



อักษรที่เป็นไปได้คือ : ม

รูปที่ 5.13 (ค) อักษร ม ขณะเขียนหัวกลมในพื้นที่ A7

จากการทดลองจะสังเกตเห็นว่าทั้งอักษร ถ และ ม การวิเคราะห์การรู้จำสามารถวิเคราะห์ออกมาได้เป็น อักษร ถ และ ม ได้โดยการเขียนยังไม่เสร็จสิ้น

5.3 สรุปและวิจารณ์

การทดลองจะได้ผลถูกต้อง 100% ถ้าความเร็วที่ใช้ในการเขียนเฉลี่ยประมาณ 3-5 วินาที และวิธีการเขียนถูกต้องตามตัวอย่างกรรมวิธีในการเขียนดังรูปที่ 5.4

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทดลอง มักจะเกิดการเขียนเร็วเกินไปทำให้การควบคุมปากกาแสง หรือเคอร์เซอร์ เกิดผิดพลาด คือเขียนออกมาผิดวิธีทำให้วิเคราะห์ผิดพลาด หรือ ตัวอัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ษรบางตัวเมื่อเขียนมักจะทำให้เกิดหัวกลมที่ไม่ต้องการขึ้น ทำให้การวิเคราะห์เกิดการผิดพลาด

ดังนั้น การเขียนตัวอักษรเพื่อให้การรู้จำตัวอักษรมีความผิดพลาดน้อยลง คือ การเขียนด้วยความระมัดระวังตามตัวอย่างกรรมวิธีในการเขียน เหมือนการเขียนตัวอักษรตัวบรรจง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

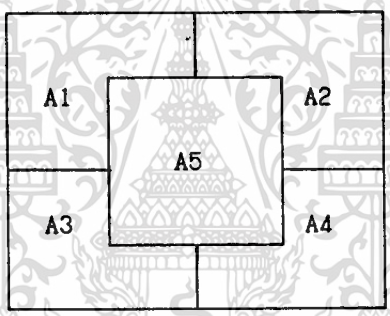
บทที่ 6

โครงงานระยะที่สอง : เมื่อแบ่งพื้นที่ในการเขียนเป็นห้าส่วน

จากโครงงานระยะที่หนึ่ง จะพบว่าระบบการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่พัฒนาขึ้นมายังไม่ดีพอ จึงได้มีการพัฒนาโครงงานระยะที่สอง ซึ่งเป็นโครงงานที่ทำการแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องที่เกิดจากโครงงานระยะที่หนึ่ง ดังรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไปนี้

6.1 ทฤษฎีและกรรมวิธีในการวิเคราะห์การรู้จำ

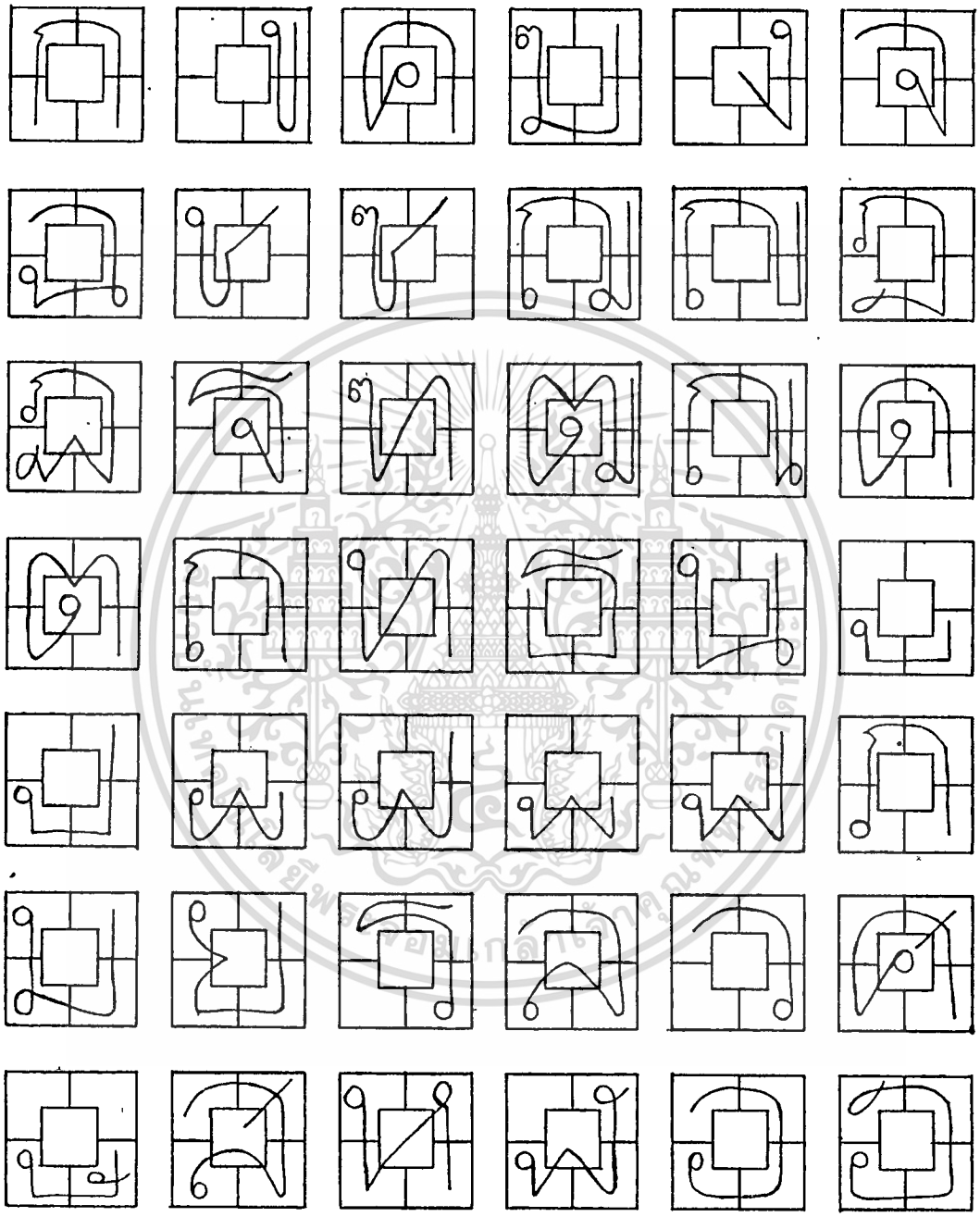
จากการที่ต้องการปรับปรุงโครงงานให้ดีขึ้น จึงได้ทำการลดจำนวนพื้นที่ย่อยที่ใช้ในการเขียนลงเหลือ 5 ส่วน ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 การแบ่งพื้นที่ในการเขียนตัวอักษรของโครงงานระยะที่สอง

และกำหนดวิธีการเขียนลงไปในส่วนย่อย ๆ ห้าส่วนตามรูปที่ 6.1 ที่แน่นอนตายตัวก็จะได้กรรมวิธีในการเขียนตัวอักษรต่าง ๆ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



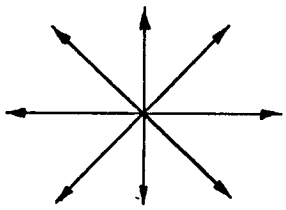
รูปที่ 6.2 ตัวอย่างกรรมวิธีในการเขียนตัวอักษรภาษาไทยในงานวิจัยระยะที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการแบ่งพื้นที่ในการเขียนออกเป็น 5 ส่วน และจากกรรมวิธีในการเขียนอักษรลายมือเขียนภาษาไทยตามในรูปที่ 6.1 และรูปที่ 6.2 ทำให้วิธีการเขียนลดความยุ่งยากลง เพราะใกล้เคียงกับลักษณะการเขียนตามแบบธรรมชาติมากขึ้น แต่ก็ทำให้กรรมวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์การรู้จำ ที่ได้พัฒนาขึ้นมาในโครงงานระยะที่หนึ่งไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ตัวอักษรทั้งหมดได้ และกรรมวิธีการวิเคราะห์บางกรรมวิธีก็ไม่สามารถนำมาใช้ในโครงงานระยะที่สอง ดังนั้นจึงได้พัฒนากรรมวิธีในโครงงานระยะที่สองขึ้นใหม่ ดังต่อไปนี้

1. จำนวนครั้งในการเขียน 1 ครั้ง หรือ 2 ครั้ง
2. เริ่มต้นการเขียนจากการเขียนหัวกลม หรือไม่มีหัวกลม
3. กลุ่มย่อยของจำนวนครั้งในการเขียน สามารถแบ่งออกไปได้ว่าสองครั้งที่เขียนนั้นติดกันหรือแยกกัน
4. กลุ่มย่อยของพวกที่มีหัว สามารถแบ่งกลุ่มที่มีหัวเดียว สองหัว
5. แบ่งย่อยออกไปตามตำแหน่งการเริ่มต้น ตำแหน่งการสิ้นสุดของการเขียน และตำแหน่งการเดินทางของลายเส้น
6. แบ่งย่อยออกไปตามตำแหน่งของจุดที่ทำให้เกิดหัวว่าอยู่ทางด้านซ้าย หรือด้านขวาของหัว ซึ่งได้เปลี่ยนวิธีการวิเคราะห์จากการแบ่งพื้นที่ในพื้นที่ย่อย แล้ววิเคราะห์ว่าจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมปิดอยู่ด้านซ้าย หรือขวาของพื้นที่ย่อยที่ถูกแบ่ง ซึ่งถ้าเขียนหัวเล็กไปอาจทำให้และหัวนั้นอยู่ในพื้นที่ที่แบ่งด้านใดด้านหนึ่งได้ ทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาด จึงได้เปลี่ยนวิธีการวิเคราะห์ ดังนี้ คือ เมื่อระบบรู้จำ สามารถตรวจพบจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมปิด ก็จะทำการตรวจสอบว่าจุดที่ตรวจพบเป็นจุดที่อยู่ทางด้านซ้ายหรือขวาของหัวกลมปิด โดยการใช้สมการเส้นตรงที่มีความชันเป็นศูนย์ ที่เริ่มจากจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมปิดนั้นไปทางซ้าย ถ้าพบขอบของหัวกลมก็แสดงว่า จุดที่ทำให้เกิดหัวกลมปิดอยู่ด้านขวา ในทางกลับกันว่า ถ้าลากเส้นตรงไปทางขวา แล้วพบขอบของหัวกลมก็แสดงว่าจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมอยู่ทางด้านซ้ายของหัวกลม
7. แบ่งย่อยไปตามลายเส้นของตัวอักษร ซึ่งแต่ละตัวอักษรก็จะประกอบขึ้นมาจากลายเส้นลักษณะต่างกันตามทิศทางทั้ง 8 ทิศ ดังรูปที่ 2

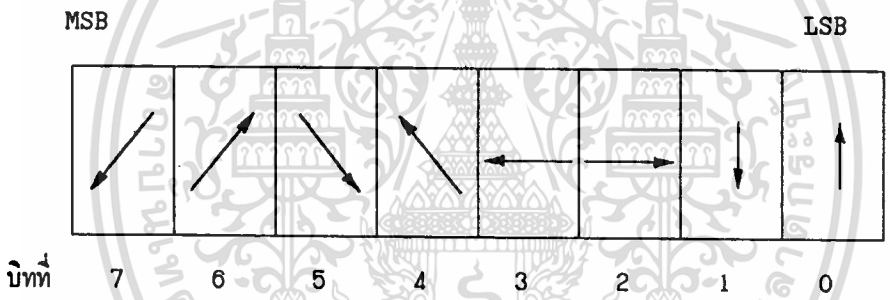
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 แสดงทิศทางการเดินลายเส้นของตัวอักษรภาษาไทย

จากวิธีการวิเคราะห์ทั้ง 7 ข้อ และตามตัวอย่างกรรมวิธีการเขียนตัวอักษรภาษาไทยในรูป 6.2 จะได้ลักษณะของพจนานุกรมรู้จำ ดังนี้

1. ลักษณะของทิศทางทั้ง 8 ทิศ โดยใช้ บิท ทั้ง 8 ของข้อมูล 1 ไบท์ แสดงถึงทิศทั้ง 8 ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 ลักษณะข้อมูลที่ใช้แสดงทิศทางในพจนานุกรมรู้จำ

เมื่อบิทไหนถูกเซตเป็น 1 ก็หมายถึง ลายเส้นมีลักษณะไปตามทิศนั้น

2. ลักษณะของหัวกลม จุดตัดที่ทำให้เกิดหัวกลมอยู่ด้านซ้ายหรือด้านขวา

ถ้าจุดตัดอยู่ด้านซ้าย จะได้รหัส - 0xF0

ถ้าจุดตัดอยู่ด้านขวา จะได้รหัส - 0x0F

3. จุดเริ่มต้นของการเขียนว่าอยู่ในพื้นที่ส่วนไหนของพื้นที่ทั้ง 5 ดังนี้

จุดเริ่มต้นอยู่ในพื้นที่ ที่ 1 - 0x11

จุดเริ่มต้นอยู่ในพื้นที่ ที่ 2 - 0x12

จุดเริ่มต้นอยู่ในพื้นที่ ที่ 3 - 0x13

จุดเริ่มต้นอยู่ในพื้นที่ ที่ 4 - 0x14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเริ่มต้นอยู่ในพื้นที่ ที่ 5 - 0x15

4. จุดสิ้นสุดของการเขียน ให้รหัส - 0xFF

และจะได้แผนภูมิสำหรับการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

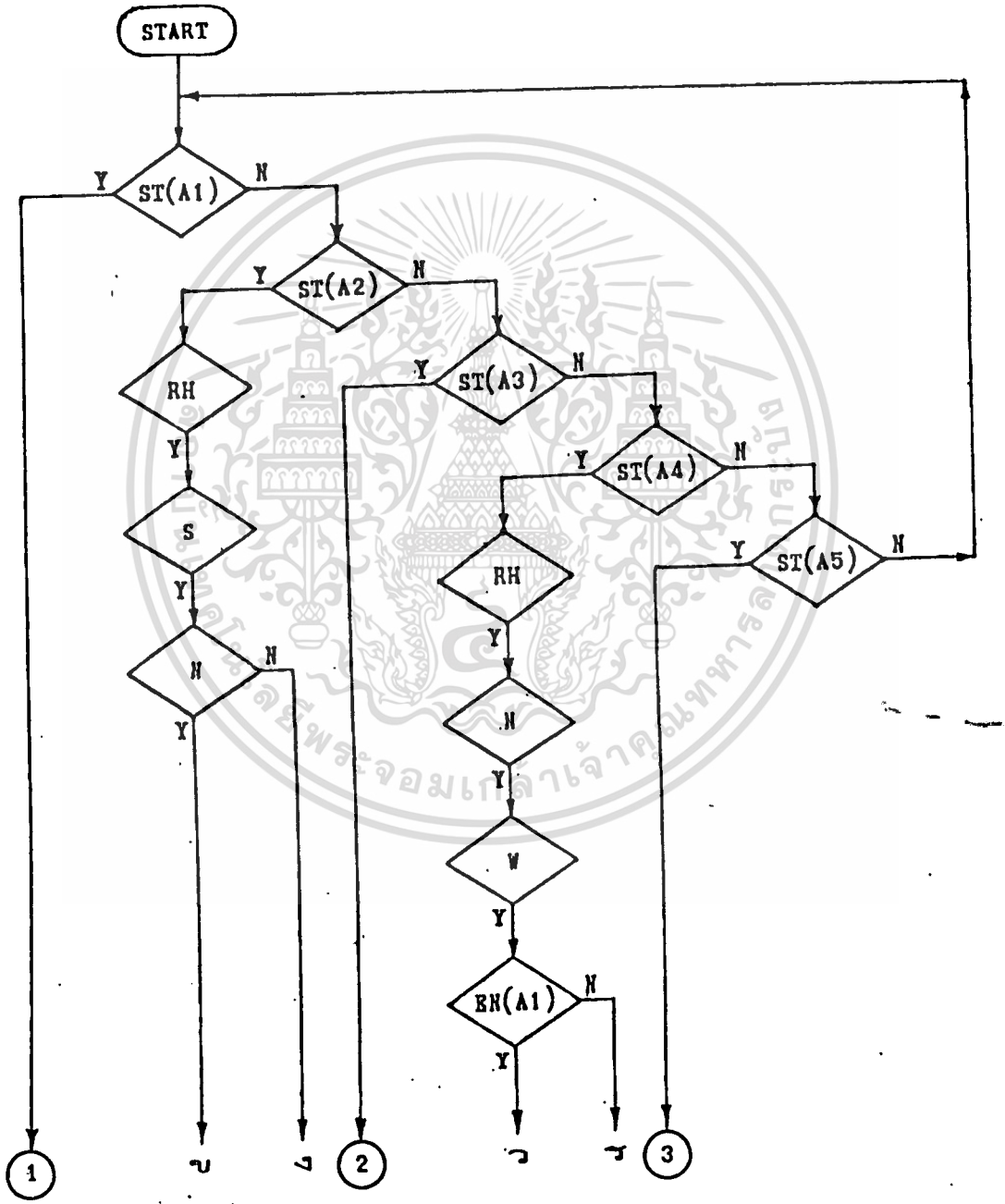
จุดเริ่มต้นอยู่ในพื้นที่ ที่ 5 - 0x15

4. จุดสิ้นสุดของการเขียน ให้รหัส - 0xFF

และจะได้แผนภูมิสำหรับการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.5

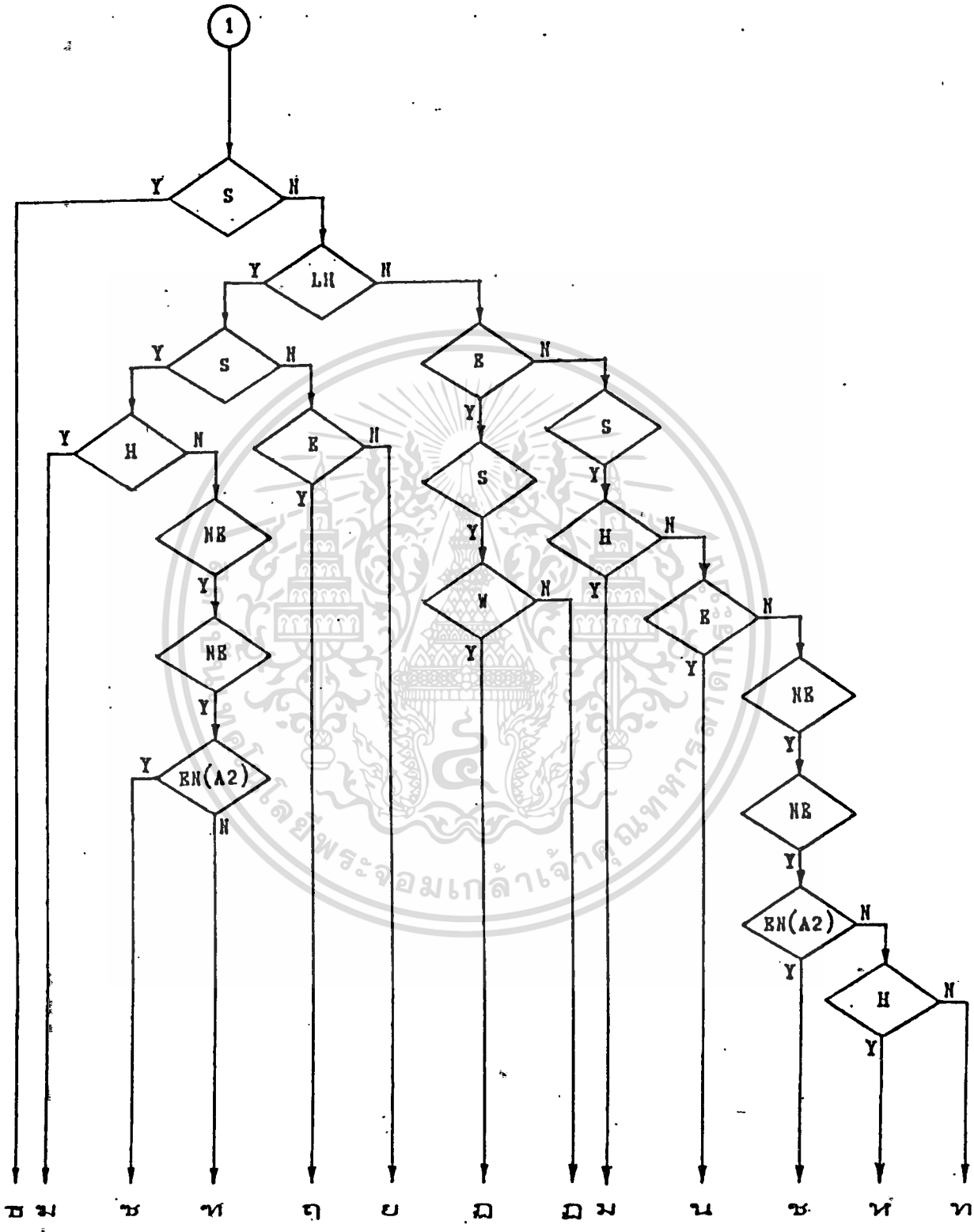
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ST = START	EN = END	SK = STROKE
H = HEAD	LH = LEFT HEAD	RH = RIGHT HEAD
N = NORTH	S = SOUTH	E = EAST
W = WEST	NW = NORTHWEST	SE = SOUTHEAST
NE = NORTHEAST	SW = SOUTHWEST	A = AREA



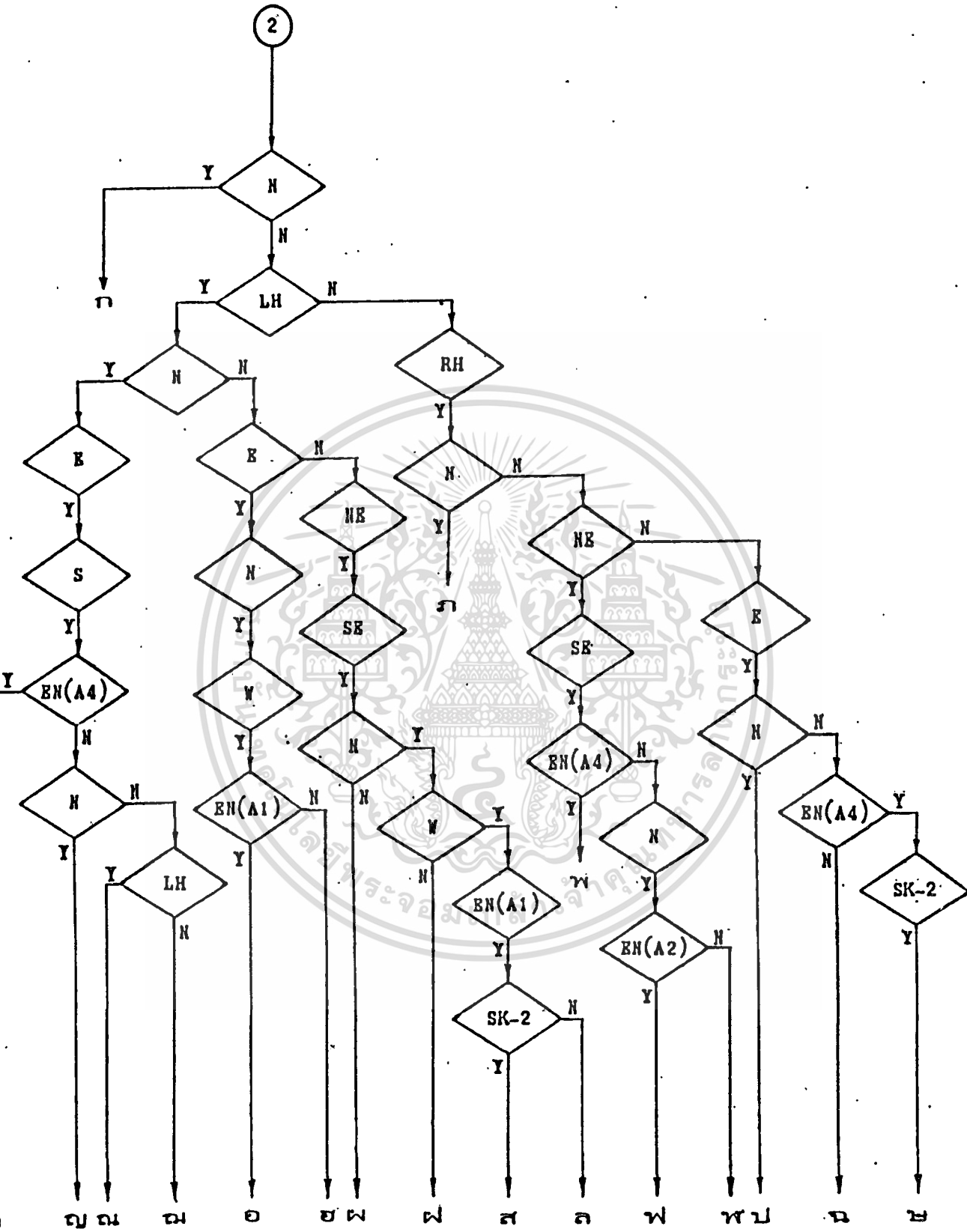
รูปที่ 6.5 แผนภูมิสำหรับการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยในงานวิจัยระยะที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



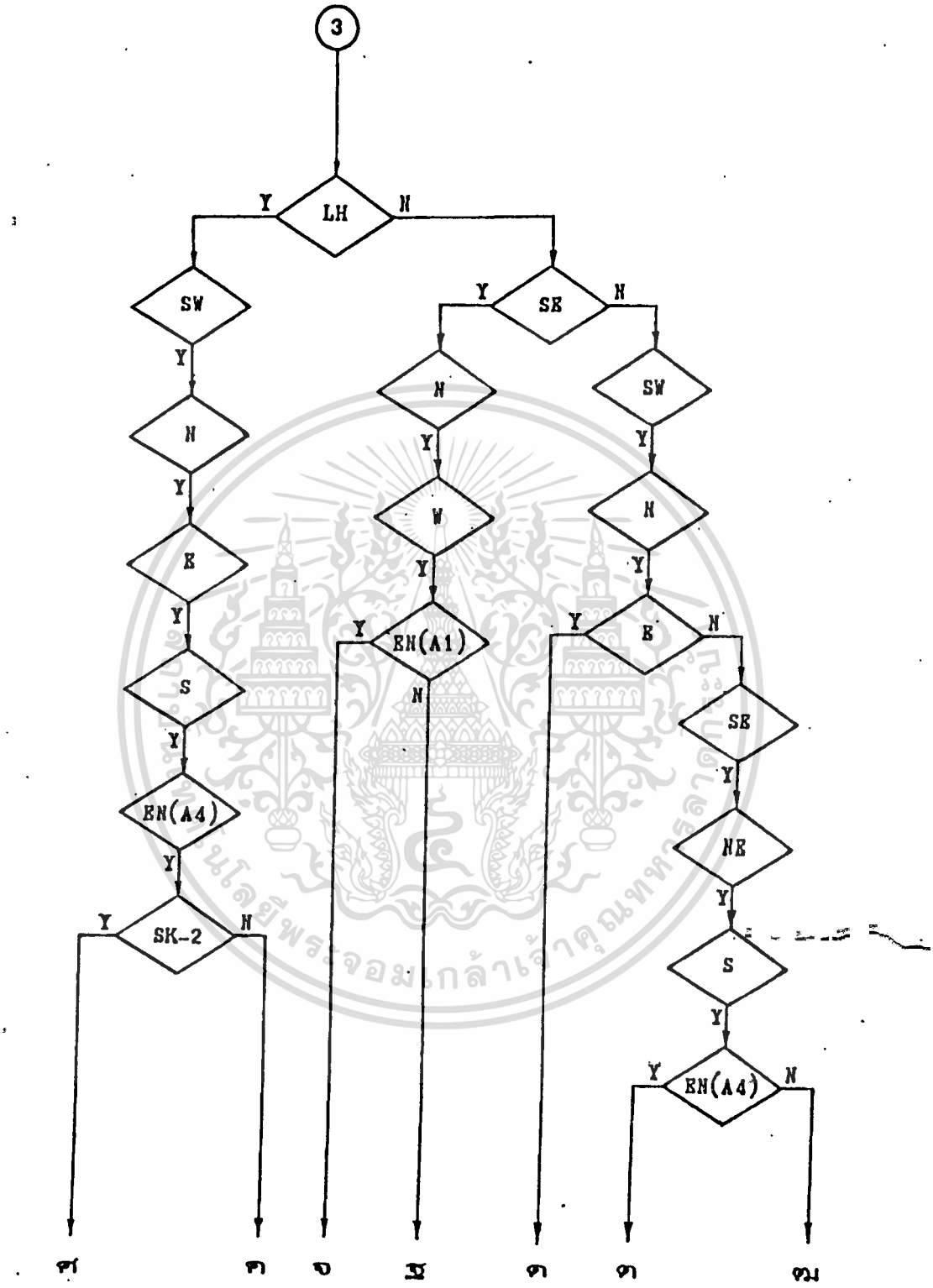
รูปที่ 6.5 แผนภูมิสำหรับการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยในงานวิจัยระยะที่สอง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 แผนภูมิสำหรับการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยในงานวิจัยระยะที่สอง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

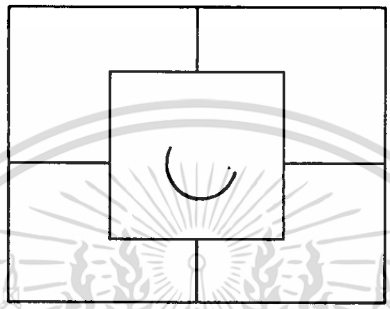


รูปที่ 6.5 แผนภูมิสำหรับการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยในงานวิจัยระยะที่สอง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

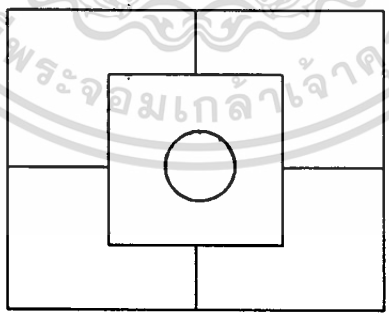
6.2 ผลการทดลอง

เมื่อนำทฤษฎีและกรรมวิธีในการวิเคราะห์มาเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ก็จะได้ระบบรู้จำ ซึ่งจากการทดลอง วิเคราะห์ตัวอักษร ต และ อักษร ถ จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.6(ก) ถึง รูปที่ 6.6(จ) และรูปที่ 6.7(ก) ถึงรูปที่ 6.7(ง)



อักษรที่เป็นไปได้คือ : ค จ ฐ ฌ ด ต ฝ

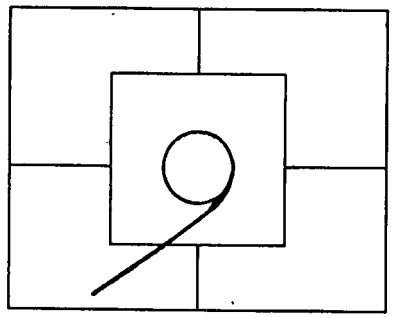
รูปที่ 6.6(ก) อักษร ต ขณะเริ่มเขียนในพื้นที่ A5



อักษรที่เป็นไปได้คือ : จ ฐ ด ต ฌ

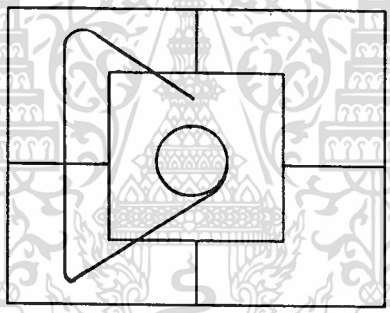
รูปที่ 6.6(ข) อักษร ต ขณะเขียนหัวกลมซึ่งจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมอยู่ด้านขวาของหัวกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



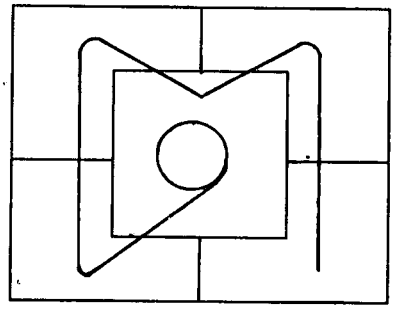
อักษรที่เป็นไปได้คือ : ด ต ฒ

รูปที่ 6.6(ค) อักษร ต ขณะเขียนลายเส้นในทิศตะวันตกเฉียงใต้



อักษรที่เป็นไปได้คือ : ต ฒ

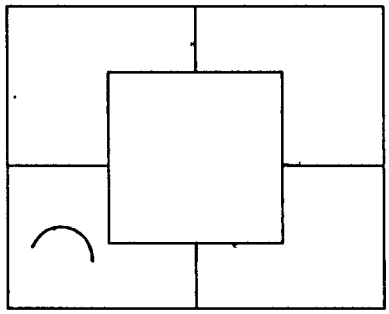
รูปที่ 6.6(ง) อักษร ต ขณะเขียนลายเส้นในทิศตะวันออกเฉียงใต้



อักษรที่เป็นไปได้คือ : ต

รูปที่ 6.6(จ) อักษร ต เมื่อสิ้นสุดการเขียน

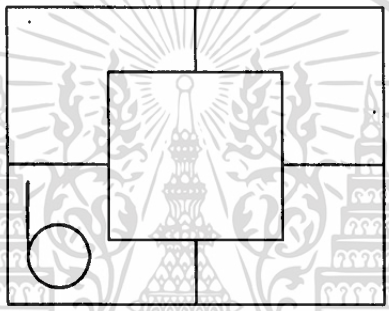
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อักษรที่เป็นไปได้คือ : ก ฉ ฌ ญ ณ ถ บ ป ผ ฝ พ ฟ ภ ล ษ

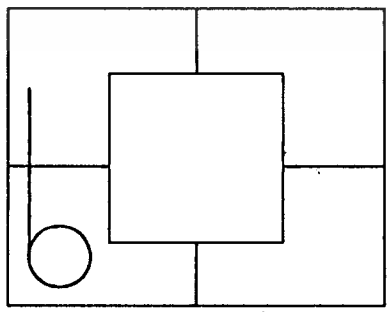
ส ห อ ฮ

รูปที่ 6.7(ก) อักษร ถ ขณะเริ่มเขียนในพื้นที่ A3



อักษรที่เป็นไปได้คือ : ฌ ญ ณ ถ ผ ฝ ล ส อ ฮ

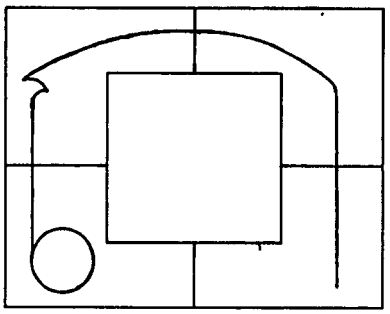
รูปที่ 6.7(ข) อักษร ถ ขณะเขียนหัวกลม ซึ่งจุดที่ทำให้เกิดหัวกลมปิดอยู่ด้านซ้ายของหัวกลม ในพื้นที่ A3



อักษรที่เป็นไปได้คือ : ฌ ญ ณ ถ

รูปที่ 6.7(ค) อักษร ถ ขณะเขียนลายเส้นในทิศเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อักษรที่เป็นไปได้คือ: ถ

รูปที่ 6.7(ง) อักษร ถ เมื่อสิ้นสุดการเขียน

จะพบว่าการทดลองได้ผลถูกต้อง ถึงแม้จะแบ่งพื้นที่ในการเขียนเพียง 5 ส่วน

6.3 สรุปและวิจารณ์

จากผลการทดลอง การรู้จำอักษรลายมือเขียนภาษาไทยจากผู้เขียน 1 คน พบว่าวิธีการรู้จำตัวอักษรที่นำเสนอ ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ให้ผลในการรู้จำตัวอักษรที่มีประสิทธิภาพสูง

สำหรับเวลาที่ใช้ในการเขียน เพื่อการรู้จำตัวอักษร จะใช้เวลาประมาณ 3 วินาที ต่อตัวอักษร ทั้งนี้เป็นเพราะต้องระมัดระวังในการเขียนให้ถูกต้องตามวิธีการเขียน

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทดลอง คือ การเขียนตัวอักษรบางครั้งอาจเกิดวงปิดที่คล้ายหัวของตัวอักษร ซึ่งมีผลทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดได้ ซึ่งป้องกันได้โดยการเขียนให้ถูกวิธี และไม่เขียนหวัดจะเกินไป

ส่วนความเร็วในการวิเคราะห์ตัวอักษรนั้น อักษรแต่ละตัวจะวิเคราะห์เร็วช้าไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอักษรตัวนั้นอยู่ในกลุ่มที่มีตัวอักษรให้วิเคราะห์มากหรือน้อย และอักษรนั้นมีลักษณะเด่นที่ปรากฏชัดหรือไม่ ซึ่งถ้ามีลักษณะเด่นก็จะทำให้ระบบรู้จำ วิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว

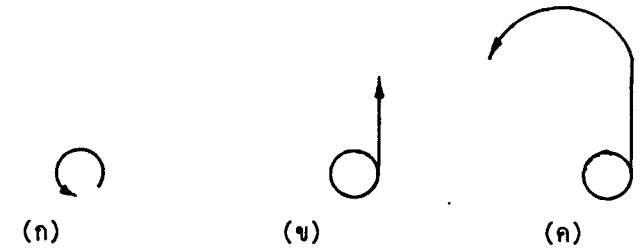
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่จะพัฒนาต่อไป

จากข้อสรุปและวิจารณ์การพัฒนาโครงงาน จะเห็นว่าโครงงานจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาต่อไป เพื่อที่จะได้โครงงานที่สมบูรณ์สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยการปรับปรุงส่วนต่างๆ ดังนี้

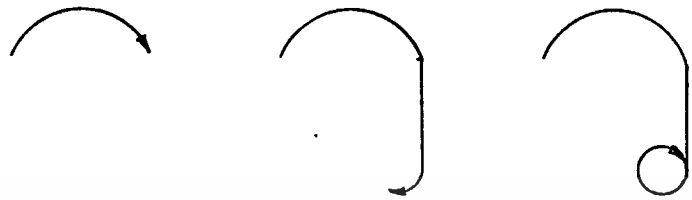
1. ลดข้อยุ่งยากในการเขียนป้อนตัวอักษร คือ การพัฒนาขั้นต่อไปควรจะลดจำนวนพื้นที่ในการเขียน จนกระทั่งไม่มีการแบ่งพื้นที่ในการเขียนต่อไป
2. พัฒนาระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย ให้มีการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำ และอีกทั้งมีความรวดเร็ว โดยการปรับปรุงกรรมวิธีในการวิเคราะห์ หรือเปลี่ยนอัลกอริทึมใหม่ หรือเปลี่ยนภาษาคอมพิวเตอร์ใหม่ เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ให้ความเร็วในการทำงานเพิ่มขึ้น และได้รหัสคำสั่งการทำงานที่ออปติไมซ์ (Optimize) ที่สุด
3. ควรมีระบบย่อยของระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย แบบออฟไลน์ ช่วยสนับสนุนระบบรู้จำตัวอักษรภาษาไทย แบบออนไลน์ ด้วย คือในบางกรณีผู้ป้อนข้อมูลอักษรลายมือเขียนภาษาไทยอาจเขียนผิดวิธี แต่เมื่อการเขียนสิ้นสุดลงอักษรตัวนั้นสามารถอ่านเข้าใจได้ จะทำให้การวิเคราะห์โดยใช้ระบบรู้จำ แบบออนไลน์ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ จะต้องใช้ระบบรู้จำแบบออฟไลน์ มาช่วย เช่น ตัวอักษร ว ซึ่งในระบบรู้จำแบบออนไลน์ การเขียนจะต้องเขียนดังแสดงในรูปที่ 7.1(ก), รูปที่ 7.1(ข) และรูปที่ 7.1(ค)



รูป 7.1 การเขียนอักษร ว ที่ถูกวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบรู้จำแบบ ออนไลน์ จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเป็นตัวอักษร ว แต่อาจมีผู้ป้อนข้อมูลบางท่าน เขียนอักษร ว ดังแสดงในรูปที่ 7.2(ก), รูปที่ 7.2 (ข) และรูปที่ 7.2(ค)



(ก) (ข) (ค)

รูป 7.2 การเขียนอักษร ว ที่ผิดวิธี

ซึ่งระบบรู้จำแบบ ออนไลน์ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ แต่ระบบรู้จำแบบออฟไลน์ สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเป็นอักษร ว

4. ใช้ความรู้ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาช่วยในการวิเคราะห์อักษรบางกลุ่มที่มีความคล้ายคลึงกันมาก เมื่อวิธีการเขียนป้อนข้อมูลไม่มีการแบ่งพื้นที่ เช่น อักษร ข และ บ ซึ่งผู้ป้อนข้อมูลอาจเขียนอักษรทั้งสองตัวมีความคล้ายคลึงกันมาก ซึ่งการใช้การวิเคราะห์ทั่วๆ ไป ไม่สามารถทำการวิเคราะห์แยกความแตกต่างออกมาได้ จึงควรที่จะนำความรู้ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ มาช่วยในการแก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

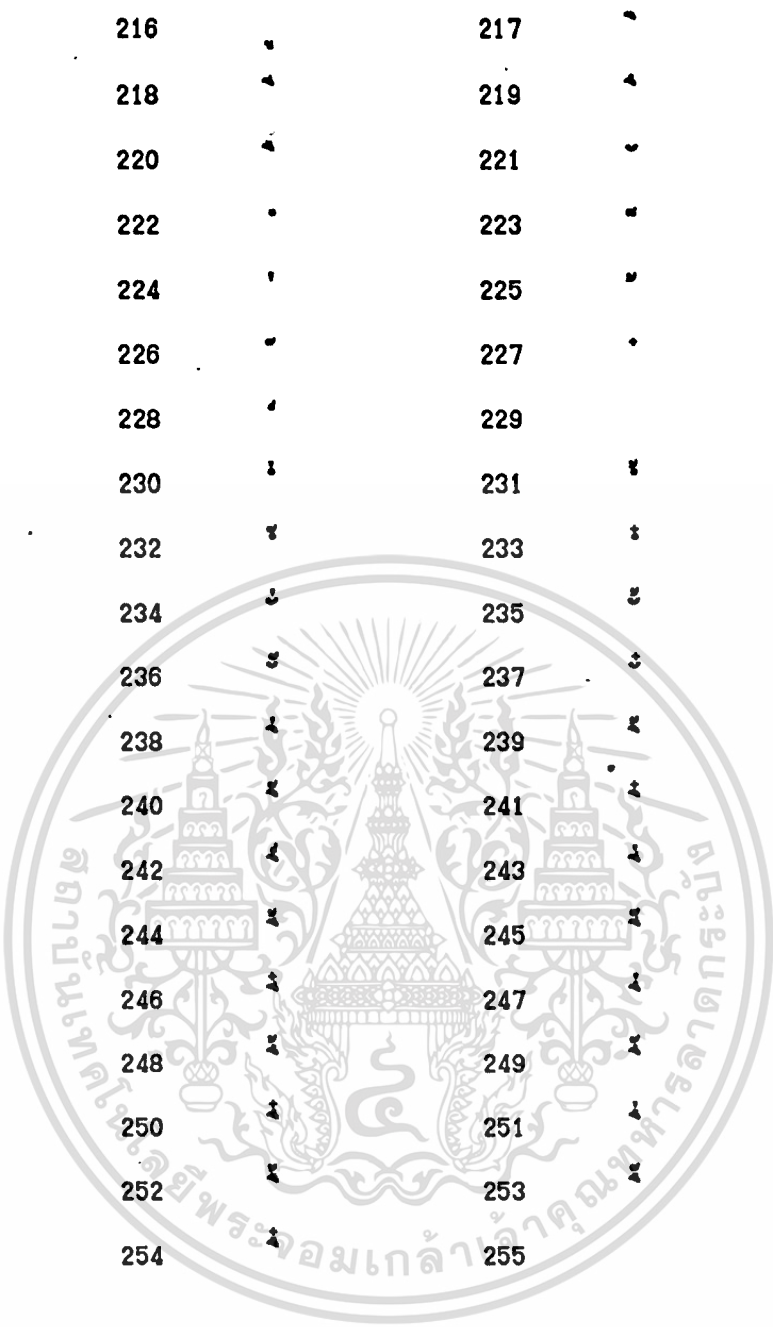
ภาคผนวก ก

รหัสแอสกี้ (ASCII) ตัวอักษรภาษาไทยรหัส ม. เกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

160		161	ก
162	ข	163	ค
164	ฆ	165	ง
166	จ	167	ฉ
168	ช	169	ซ
170	ฌ	171	ญ
172	ฎ	173	ฏ
174	ฐ	175	ฑ
176	ฒ	177	ณ
178	ด	179	ต
180	ถ	181	ท
182	ธ	183	น
184	บ	185	ป
186	ผ	187	ฝ
188	พ	189	ฟ
190	ภ	191	ม
192	ย	193	ร
194	ฤ	195	ล
196	ว	197	ศ
198	ษ	199	ส
200	ห	201	ฬ
202	อ	203	ฮ
204	ฯ	205	
206	า	207	ำ
208	เ	209	แ
210	โ	211	ใ
212	ไ	213	ๆ
214	ฯ	215	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

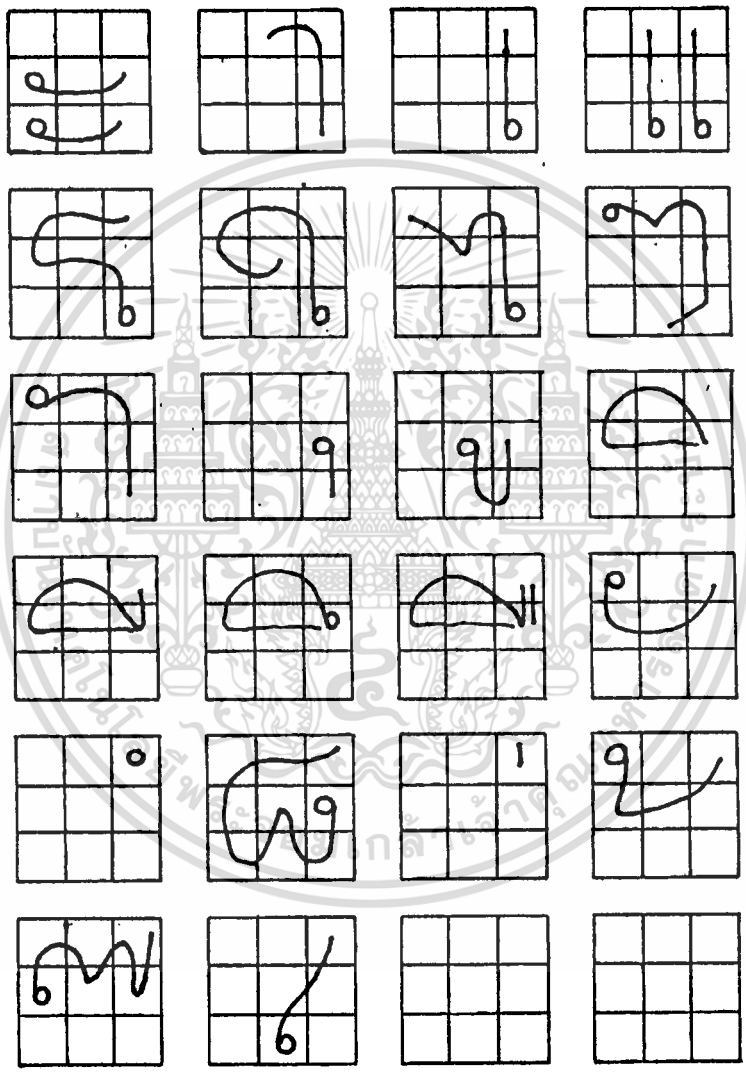


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

ตัวอย่างวิธีการเขียนตัวสระภาษาไทยที่ใช้ในงานวิจัยระยะที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

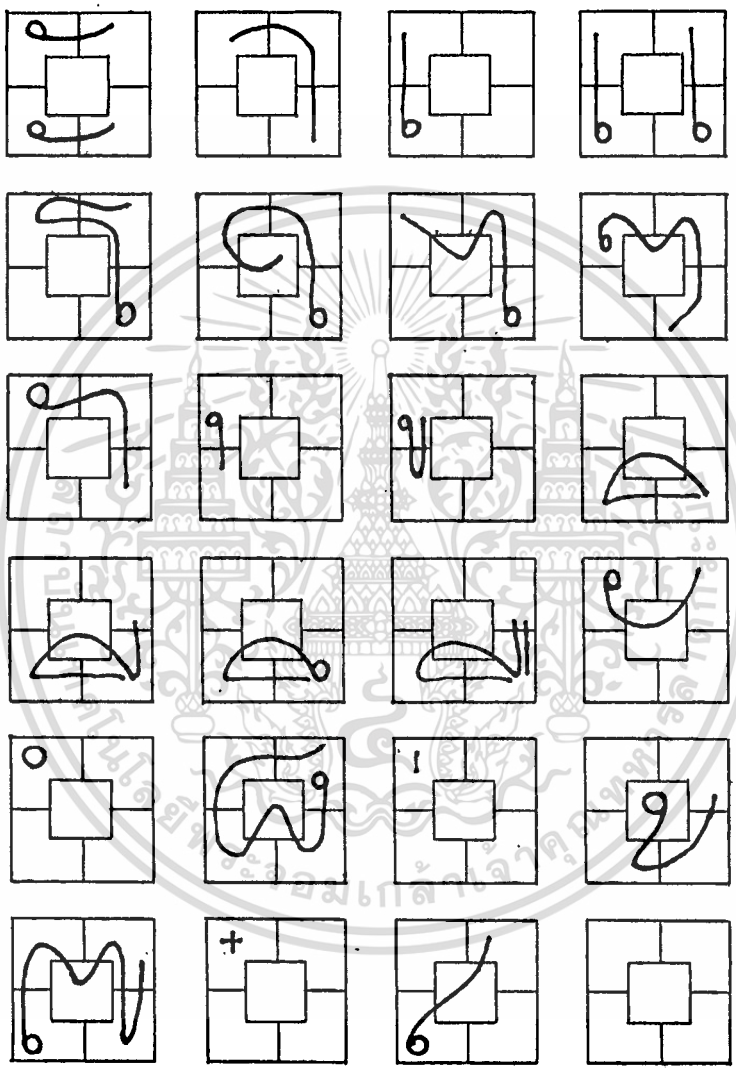


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างวิธีการ เขียนตัวสระภาษาไทยที่ใช้ในงานวิจัยระยะที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องด้วยการอนุเคราะห์ให้คำปรึกษาที่ดีจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ชม กิ้มปาน และ อาจารย์ ประสาร ตังติสานนท์ และขอขอบคุณ คุณ วิศิษฏ์ หิรัญกิตติ และ คุณชาย เกษมอมรกุล ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจจนปริญญานิพนธ์แล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์

จึงใคร่ขอขอบคุณท่านผู้ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. C. Kimpan, A. Itoh and prof. K Kawanishi, " Recognition of printed Thai Characters Using a Mathing Methods", IEE Proceeding, Vol. 130, Pt.E, No. 6, November 1983.
2. Chom Kimpan, " Printed Thai Characters Recognition Using Topological Properties Method", INT. J. Electronics, 1983, Vol.60, No. 3, 303-329.
3. C. Kimpan, A. Itoh and Prof. K. Kawanishi," Fine Classification of Printed Thai Characters Recognition Using the Karhunen-Loeve Expansion", IEE Proceeding, Vol. 134, Pt. E, No.5, September 1987.
4. S. Airphaiboon, M. Sangworasil, B. Attachoo and C. Kimpan, "Recognition of Handwritten Thai Characters Considering the Head of Character" , Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing, Proceeding Volume 1 of 2 , Page 326-330 , September 5-8 , 1989, Pan Pacific, Singapore.
5. S. Walairacht, C. Kasem-armornkul and Dr. C. Kimpan, "Handprinted Thai Characters Recognition by Feature Concentration Method" , Proceeding of the Regional Workshop on Computer Processing of Asian Languages (CPAL) , Asian Institute of Technology , Bangkok, Thailand, September 26-28 , 1989.
6. P. Hiranvanichakorn, T. Agui, and M. Nakajima, "An On-line Recognition Method of Thai Characters", The Transactions of the IECE of Japan, Vol.E 68 , No. 9, September 1985.
7. K. C. YOU and K. Fu, "A Syntactic Approach to Shape Recognition Using Attributed Grammars", IEEE Transactions on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No.6 , June 1979.

8. T. Pavlids and F. Ali, "Computer Recognition of Handwritten Numerals by Polygonal Approximations", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-5, No.6, November 1975.

9. I.E. Ashdown, "Curve Fitting with Cubic Splines", Dr. Dobb's Journal, September 1986.

10. H. Freemen, "On the Encoding of Arbitrary Geometric Configurations", IRE Trans. Electron. Comput., EC-10, No.2, 1961, pp. 260-268.

11. D. Williams and R. Crisp ,"Mouse Programming", Peronal Computer World, April 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้