การรู้จำรูปแบบอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษแบบออน-ไลน์

HANDWRITTEN PRINTED BLOCK-ENGLISH CHARACTERS ON-LINE RECOGNITION

สุริยัน อนุวรรต

SURIYAN ANUWAK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-640-1

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การรู้จำรูปแบบอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษแบบออน-ไลน์

HANDWRITTEN PRINTED BLOCK - ENGLISH CHARACTERS ON - LINE RECOGNITION

T035176

สุริยัน อนุวรรค

SURIYAN ANUWAK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

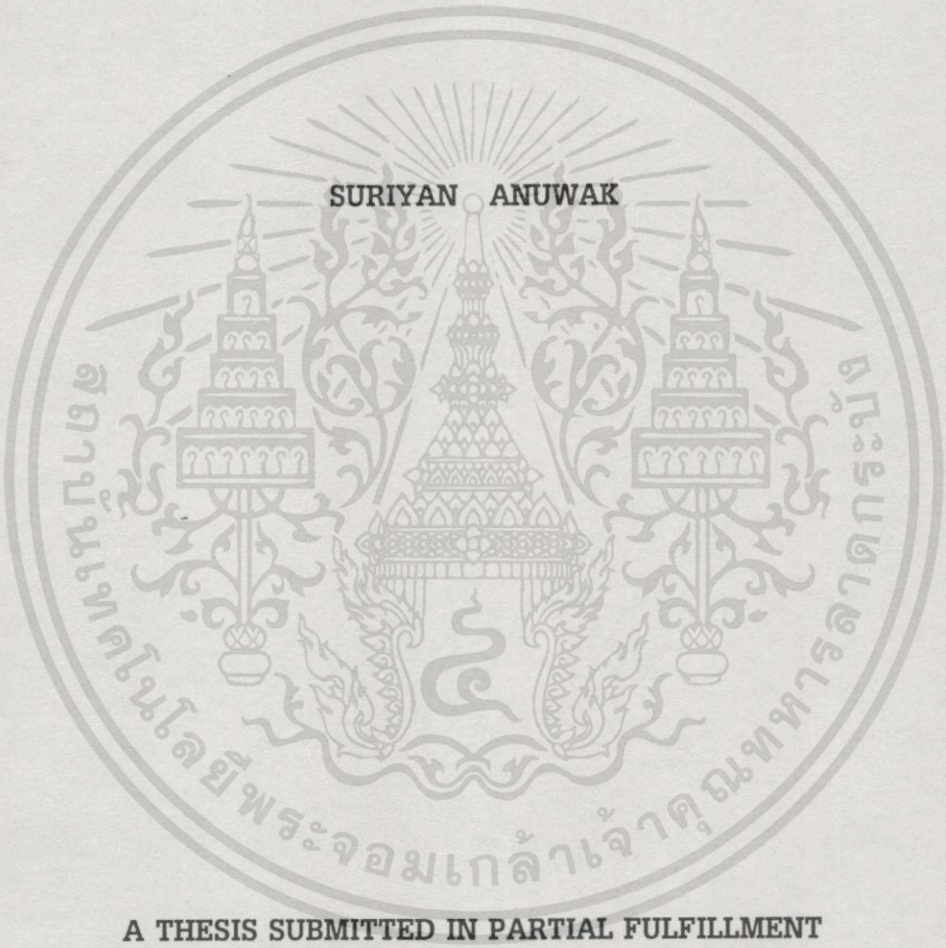
ISBN 974-622-640-1

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 35176
วัน, เดือน, ปี 23 มี.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HANDWRITTEN PRINTED BLOCK - ENGLISH CHARACTERS ON - LINE RECOGNITION

SURIYAN ANUWAK



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1999

ISBN 974-622-640-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 1999

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การรู้จำรูปแบบอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษแบบออน-ไลน์
HANDWRITTEN PRINTED BLOCK-ENGLISH CHARACTERS ON-LINE RECOGNITION

ชื่อนักศึกษา นายสุริยัน อนุวรรค

รหัสประจำตัว 35620062

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชม กิ้มปาน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.วิศิษฏ์	หิรัญกิตติ	
ดร.บุญธีร์	เครือตราชู	
ผศ.สมศักดิ์	มิตะถา	
ดร.วรวัฒน์	ลิ้มโภคา	
รศ.ดร.ชม	กิ้มปาน	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 28 ตุลาคม 2542 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ. ห้องสอบวิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตึก 12 ชั้น ชั้น 4 ห้อง (E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 29 **เดือน** ธันวาคม **พ.ศ.** 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การรู้จำรูปแบบอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษแบบออน-ไลน์
นักศึกษา	นายสุริยัน อนุวรรค
รหัสประจำตัว	35620062
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2542
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชม กิ้มปาน

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยในการออกแบบซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมไมโครคอมพิวเตอร์ให้สามารถวิเคราะห์ลักษณะลายเส้นของอักษรคัดลายมือภาษาไทยและตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษขณะที่ผู้เขียนกำลังเขียนอักษรหนึ่งตัวสิ้นสุดลง หรืออักษรบางตัวจะทราบได้ก่อนที่ผู้เขียนจะเขียนสิ้นสุดลง จากนั้นก็สามารถเก็บอักษรแต่ละตัวที่วิเคราะห์ได้เรียงต่อเนื่องกันไปลงใน Text File และแสดงผลออกมาให้ทราบทางจอภาพ กรรมวิธีในการวิเคราะห์อักษรคัดลายมือภาษาไทยและตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษ จะประกอบด้วยคุณสมบัติความสัมพันธ์ลักษณะลายเส้นระหว่างจุดที่ประกอบเป็นตัวอักษร ความต่อเนื่องของลายเส้น ทิศทางของเส้นส่วนโค้ง และเส้นตรง ลักษณะการลากเส้นและหลักไวยากรณ์ในการพิจารณาลักษณะโครงร่างที่เสนอโดย นาราซิมเฮน(Narasimhan) [5] จึงทำให้สามารถหาคุณสมบัติของแต่ละตัวอักษรเพื่อนำไปเก็บเป็นพจนานุกรมรู้จำอักษรภาษาไทย และตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษของคอมพิวเตอร์ได้ ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือสามารถควบคุมการรู้จำอักษรภาษาไทย และตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษด้วยวิธีการป้อนข้อมูลให้แก่ไมโครคอมพิวเตอร์แบบใหม่โดยใช้ปากกาอิเล็กทรอนิกส์ หรือ เมาส์ เขียนลงบนกระดาษอิเล็กทรอนิกส์แทนแป้นพิมพ์ สามารถรู้จำได้ประมาณ 87.18 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วเฉลี่ยในการรู้จำต่อหนึ่งตัวอักษร ประมาณ 5 วินาที ซึ่งเร็วที่สุดคือตัวอักษร 1 และช้าที่สุดคือตัวอักษร B เมื่อใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ PC/AT 32 บิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Handwritten Printed Block-English Characters On-Line Recognition
Student	Mr.Suriyan Anuwak
Student ID.	35620062
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	1999
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chom Kimpan

ABSTRACT

This thesis shown a research work of designing computer software for controlled microcomputer to be able analytical the description line of Handwritten Thai Characters and Printed Block English Characters. While a stroking of one characters is completely stroke or before a stroke is completely stroke, Recognized will keep characters into text file with respectively and shown on. The method of analytical Handwritten Thai Characters and Printed Block English Characters is composite of properties description for relationship between points of character, trace, angle of line, direction of curve and straight lines, connection trial and syntactic description of the grammar proposed by Narasimhan[7]. They can properties of each characters to find in order to stored Thai Characters and Printed Block English Characters Recognition dictionary of computer. Useful of this thesis is cover of thai characters and printed block english characters recognition with new method for data entry to microcomputer by stylus pen or mouse written on tablet instead of keyboard. It can recognition to 87.18 percent and average speed one character to 5 Seconds. Which quickly character is 1 and slowly it is B by use to computer PC/AT 32bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รศ.ดร. ชม กิ้มปาน ซึ่งท่านได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในกาวิจัย พร้อมกับให้กำลังใจในการทำวิจัยนี้มาด้วยดีตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้ช่วยพิจารณาให้คำแนะนำ ตรวจทาน แก้ไข และอนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ได้สนับสนุนและคอยให้กำลังใจและช่วยเหลือ แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สุริยัน อนุวรรค

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัยสาขานี้ 1

1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา 2

1.3 แนวทางของวิทยานิพนธ์ 3

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 4

บทที่ 2 ลักษณะของข้อมูล 5

2.1 ลักษณะของข้อมูล 5

2.2 การสร้างกรอบพื้นฐาน 6

บทที่ 3 ระบบการรู้จำสำหรับอักษรคัดลายมือ 9

3.1 การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น 9

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำอักษรคัดลายมือ 16

3.3 ความรู้สำหรับการรู้จำอักษรคัดลายมือ 30

3.4 ขบวนการสำหรับการรู้จำอักษรคัดลายมือ 64

3.5 กรรมวิธีการเขียนอักษรคัดลายมือ 71

บทที่ 4 การแบ่งกลุ่มอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ 75

4.1 การจำแนกกลุ่มอักษรคัดลายมือ 75

4.2 แผนภูมิสำหรับการแยกแยะอักษรคัดลายมือ 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 การแบ่งกลุ่มอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ 81
5.1 การจำแนกกลุ่มอักษรคัดลายมือ 81
5.2 แผนภูมิสำหรับการแยกแยะอักษรคัดลายมือ 82

บทที่ 6 การแบ่งกลุ่มอักษรคัดลายมือภาษาไทย 88
6.1 การจำแนกกลุ่มอักษรคัดลายมือ 88
6.2 แผนภูมิสำหรับการแยกแยะอักษรคัดลายมือ 89

บทที่ 7 ผลการทดลอง 93
7.1 ผลการทดลองอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ 93
7.2 ผลการทดลองอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ 98
7.3 ผลการทดลองอักษรคัดลายมือตัวเลขอารบิค 105
7.4 ผลการทดลองอักษรคัดลายมือภาษาไทย 111

บทที่ 8 บทสรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ 120
8.1 สรุปผลการวิจัย 120
8.2 ข้อเสนอแนะ 121

บรรณานุกรม 123

ภาคผนวก 124
ภาคผนวก ก. ผลการทดลองอักษรคัดลายมือภาษาไทย และตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษ 125
ภาคผนวก ข. บทความทางวิชาการ 146
ภาคผนวก ค. รหัสแอสกี้ตัวอักษรภาษาไทยรหัสเกษตร 156

ประวัติผู้เขียน 158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 แสดงข้อมูล x_t ของเส้นโค้งในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา 12

3.2 แสดงข้อมูล y_t ของเส้นโค้งในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา 13

3.3 แสดงข้อมูล x_t ของเส้นของเส้นตรงในลักษณะแนวเฉียงซ้าย 13

3.4 แสดงข้อมูล y_t ของเส้นของเส้นตรงในลักษณะแนวเฉียงซ้าย 14

3.5 แสดงข้อมูลเส้นโค้งในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา 19

3.6 แสดงข้อมูลเส้นตรงในลักษณะแนวเฉียงซ้ายที่มีการปรับโค้ง 22

3.7 แสดงข้อมูลเส้นโค้งในลักษณะทวนเข็มนาฬิกาที่มีการปรับโค้ง 25

3.8 แสดงสัญลักษณ์ของเส้นตรงในลักษณะแนวตั้ง, นอน,เฉียงขวา และเฉียงซ้าย 26

3.9 แสดงสัญลักษณ์ของเส้นตรงในลักษณะมุมมะแลง และขอเกี่ยว 26

3.10 แสดงสัญลักษณ์ของเส้นโค้งในลักษณะทวน และตามเข็มนาฬิกา 26

7.1 แสดงผลการวิเคราะห์อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ 93

7.2 แสดงผลการวิเคราะห์อักษรตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ 98

7.3 แสดงผลการวิเคราะห์อักษรตัวเลขอราบิค 105

7.4 แสดงผลการวิเคราะห์อักษรภาษาไทย 111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงลักษณะข้อมูลกระดาษอิเล็กทรอนิกส์ 5

2.2 แสดงกรอบพื้นฐานอักษรคัดลายมือภาษาไทย 7

2.3 แสดงกรอบพื้นฐานอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ และตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ 7

3.1 แสดงระบบการรู้จำอักษรคัดลายมือ 9

3.2 แสดงการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น 10

3.3 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำอักษรคัดลายมือ 17

3.4 แสดงการประมาณคุณลักษณะความโค้ง 18

3.5 แสดงการปรับโค้งด้วยเส้นตรงผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดน้อยที่สุด 22

3.6 แสดงการปรับโค้งด้วยพาราโบลาผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดน้อยที่สุด 24

3.7 การแทนสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้น และโหนดต่างๆด้วยข้อมูล 1 ไบท์ 27

3.8 พจนานุกรมของอักษรคัดลายมือ ก , b, 8 และ B ในรูปข้อมูลเลขฐาน 16 29

3.9 แสดงตัวอย่างลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นระหว่าง n_i กับ n_j ของอักษรคัดลายมือ 32

3.10 แสดงการเขียนอักษรภาษาไทย,ตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษ และตัวเลขอราบิค 71

7.1(ก) อักษร P ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1) 94

7.1(ข) อักษร P ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n1) 94

7.1(ค) อักษร P เมื่อสิ้นสุดการ 94

7.2(ก) อักษร A ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2) 95

7.2(ข) อักษร A ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ LT(n2) 95

7.2(ค) อักษร A ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ RT(n2) 95

7.2(ง) อักษร A เมื่อสิ้นสุดการเขียน 96

7.3(ก) อักษร S ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3) 96

7.3(ข) อักษร S ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n3,n7) 96

7.3(ค) อักษร S เมื่อสิ้นสุดการเขียน 97

7.4(ก) อักษร G ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด ($\underline{n3}$) 97

7.4(ข) อักษร G ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE($\underline{n3}$,$\overline{n6}$) 97

7.4(ค) อักษร G เมื่อสิ้นสุดการเขียน 98

7.5(ก) อักษร k ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1) 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

7.5(ข) อักษร k ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n2) 99

7.5(ค) อักษร k เมื่อสิ้นสุดการเขียน 99

7.6(ก) อักษร a ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1) 100

7.6(ข) อักษร a ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ DE(n1,n2) 100

7.6(ค) อักษร a ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n2) 100

7.6(ง) อักษร a เมื่อสิ้นสุดการเขียน 101

7.7(ก) อักษร g ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2) 101

7.7(ข) อักษร g ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n2,n7) 101

7.7(ค) อักษร g ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n2) 102

7.7(ง) อักษร g เมื่อสิ้นสุดการเขียน 102

7.8(ก) อักษร o ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2) 102

7.8(ข) อักษร o ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n2,n5) 103

7.8(ค) อักษร o เมื่อสิ้นสุดการเขียน 103

7.9(ก) อักษร f ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3) 103

7.9(ข) อักษร f ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n3,n2) 104

7.9(ค) อักษร f ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n2) 104

7.9(ง) อักษร f เมื่อสิ้นสุดการเขียน 104

7.10(ก) อักษรเลข 3 ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1) 105

7.10(ข) อักษรเลข 3 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ HZ(n1) 106

7.10(ค) อักษรเลข 3 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ ST(n3,n7) 106

7.10(ง) อักษรเลข 3 เมื่อสิ้นสุดการเขียน 106

7.11(ก) อักษรเลข 8 ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2) 107

7.11(ข) อักษรเลข 8 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n2,n7) 107

7.11(ค) อักษรเลข 8 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ DE(n7,n5) 107

7.11(ง) อักษรเลข 8 เมื่อสิ้นสุดการเขียน 108

7.12(ก) อักษรเลข 0 ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2) 108

7.12(ข) อักษรเลข 0 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n2,n5) 108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

7.12(ค) อักษรเลข 0 เมื่อสิ้นสุดการเขียน 109

7.13(ก) อักษรเลข 6 ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3) 109

7.13(ข) อักษรเลข 6 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n2,n4) 109

7.13(ค) อักษรเลข 6 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n4,n7) 110

7.13(ง) อักษรเลข 6 เมื่อสิ้นสุดการเขียน 110

7.14(ก) อักษรเลข 1 ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n7) 110

7.14(ข) อักษรเลข 1 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ ST(n7,n3) 111

7.14(ค) อักษรเลข 1 เมื่อสิ้นสุดการเขียน 111

7.15(ก) อักษร น ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1) 112

7.15(ข) อักษร น ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ DE(n9,n6) 112

7.15(ค) อักษร น เมื่อสิ้นสุดการเขียน 113

7.16(ก) อักษร ข ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2) 113

7.16(ข) อักษร ข ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n2) 113

7.16(ค) อักษร ข ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ ST(n5,n6) 114

7.16(ง) อักษร ข เมื่อสิ้นสุดการเขียน 114

7.17(ก) อักษร ก ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n4) 114

7.17(ข) อักษร ก ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n4) 115

7.17(ค) อักษร ก ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ DE(n1,n3) 115

7.17(ง) อักษร ก เมื่อสิ้นสุดการเขียน 115

7.18(ก) อักษร ร ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n6) 116

7.18(ข) อักษร ร ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n9,n7) 116

7.18(ค) อักษร ร เมื่อสิ้นสุดการเขียน 116

7.19(ก) อักษร พ ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n7) 117

7.19(ข) อักษร พ ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ ST(n7,n4) 117

7.19(ค) อักษร พ ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ WUP(n4,n6) 117

7.19(ง) อักษร พ เมื่อสิ้นสุดการเขียน 118

7.20(ก) อักษร จ ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n8) 118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

7.20(ข) อักษร จ ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ DE(n8,n8) 118

7.20(ค) อักษร จ ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ ST(n8,n6) 119

7.20(ง) อักษร จ เมื่อสิ้นสุดการเขียน 119

ก 1. แสดงผลการทดลองอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษขณะลากเส้น 126

ก 2. แสดงผลการทดลองอักษรตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษขณะลากเส้น 132

ก 3. แสดงผลการทดลองอักษรภาษาไทยขณะลากเส้น 139

ก 4. แสดงผลการทดลองตัวเลขอราบิคขณะลากเส้น 143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.1 ผังงานแสดงการทำงานของการรู้จำอักษรคัดลายมือ 64

3.2 ผังงานแสดงการดีเทคโหนด และกำหนดค่ารหัสต่างๆ 65

3.3 ผังงานแสดงการพิจารณาเส้นตรง และเส้นโค้ง 66

3.4 ผังงานแสดงการกำหนดค่ารหัสลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้น 67

3.5 ผังงานแสดงการค้นหาโหนดแบบลิเนียร์ 68

3.6 ผังงานแสดงการค้นหาลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นแบบลิเนียร์ 69

3 7 ผังงานแสดงผลการรู้จำอักษรคัดลายมือ 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.1 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1) 77
4.2 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2) 77
4.3 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3) 77
4.4 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3) 78
4.5 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2) 78
4.6 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n7) 78
4.7 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 1 79
4.8 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 2 79
4.9 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 3 80
4.10 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 4 80
4.11 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 5 80
4.12 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 6 80
5.1 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1) 83
5.2 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1) 83
5.3 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2) 83
5.4 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2) 84
5.5 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3) 84
5.6 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3) 84
5.7 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n7) 85
5.8 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 1 85
5.9 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 2 85
5.10 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 3 86
5.11 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 4 86
5.12 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 5 86
5.13 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 6 87
5.14 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 7 87
6.1 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1) 89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

6.2 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2) 89

6.3 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n4) 89

6.4 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n6) 90

6.5 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n7) 90

6.6 แผนภูมิแสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n8) 90

6.7 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 1 91

6.8 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 2 91

6.9 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 3 91

6.10 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 4 92

6.11 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 5 92

6.12 แผนภูมิแสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 6 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัยสาขานี้

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญในชีวิตประจำวันมากขึ้น เทคโนโลยีด้านนี้ได้มีการแข่งขันและพัฒนาไปอย่างรวดเร็วทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ตามสภาพความต้องการ และแข่งขันในสังคม ทำให้การพัฒนาทางคอมพิวเตอร์มีแนวโน้ม ที่จะอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ในการติดต่อ ระหว่างคอมพิวเตอร์ และผู้ใช้ ไม่ว่าจะเป็นการป้อนข้อมูลเข้า หรือนำผลลัพธ์ออกจากคอมพิวเตอร์ ให้ใกล้เคียงกับประสาทสัมผัสของมนุษย์โดยรวมไปถึงการพัฒนาให้คอมพิวเตอร์สามารถรู้จำรู้แบบอักษรตัวพิมพ์ และรูปแบบอักษรลายมือเขียนเป็นต้นด้วยการป้อนข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ได้หลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการป้อนข้อมูลจากแป้นพิมพ์ ซึ่งไม่สะดวกสำหรับบุคคลที่ไม่ชำนาญพอ จะทำให้เสียเวลาส่วนใหญ่ ในการค้นหาอักษรจากแป้นพิมพ์ จึงได้มีการคิดวิธีการป้อนข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ โดยผ่านสแกนเนอร์ เครื่องอ่านอักษรด้วยแสง และกระดาษอีเล็กทรอนิกส์พร้อมกับปากกา หรือเมาส์ แทนแป้นพิมพ์เพียงแต่ผู้ใช้เขียนหนังสือได้ก็สามารถป้อนข้อมูลได้โดยง่าย และยังประยุกต์ ใช้ได้กับทุกอักษร โดยปกติแล้วแป้นพิมพ์ที่ใช้มีจำนวนจำกัดไม่เพียงพอกับตัวอักษร ถึงแม้จะทำแป้นพิมพ์ให้มีมากเท่ากับตัวอักษรก็ตามแต่ก็ยังเกิดปัญหาต่อผู้ใช้ที่ไม่สามารถจำทำแป้นพิมพ์ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนในการนำข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ยิ่งสามารถนำข้อมูลได้เร็ว และมีความถูกต้องมากเท่าใด ก็จะมีผลต่อประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์เท่านั้น จึงได้มีแนวโน้มพัฒนาระบบการรู้จำอักษรคัดลายมือภาษาไทย อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ และอักษรตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษขึ้นเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถรับรู้ข้อมูลได้ถูกต้องยิ่งขึ้น สามารถนำใช้งานได้จริงในชีวิตประจำวัน โดยการนำข้อมูลเหล่านี้เข้าสู่คอมพิวเตอร์ และสามารถเก็บแฟ้มข้อมูล ในต่างประเทศได้มีการทำวิจัยกันอย่างกว้างขวาง จากผลงานวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์ลงในวารสารนานาชาติ ซึ่งมีออกมาอย่างมากมาย ทั้งการรู้จำรูปแบบอักษรตัวพิมพ์ (Printed Characters) และอักษรลายมือเขียน (Hand-Writing Characters) แต่ส่วนมากแล้วจะเป็นการรู้จำอักษรตัวพิมพ์เสียส่วนใหญ่

งานวิจัยนี้จะเน้นเฉพาะการพัฒนาระบบออนไลน์ สำหรับการรู้จำอักษรคัดลายมือภาษาไทย และอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ อักษรตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ ที่มีกฎเกณฑ์ในการเขียนแน่นอนตายตัว ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเขียนผ่าน กระดาษอิเล็กทรอนิกส์ (Tablet) และปากกา (Stylus) หรือเมาส์ (Mouse) โดยคอมพิวเตอร์จะทำการวิเคราะห์ข้อมูล ทีละหนึ่งตัวอักษรที่ส่งเข้ามา และแสดงผลออกทางจอภาพ ก่อนที่จะสิ้นสุดการเขียน หรือสิ้นสุดการเขียนแล้ว โดยผู้ใช้จำเป็นต้องฝึกฝนเป็นระยะหนึ่งก่อน เพื่อให้เกิดความคุ้นเคย กับปากกาหรือเมาส์ ในการเขียนไม่สามารถกำหนดรูปแบอักษรที่แน่นอน เหมือนกับอักษรที่ได้จากแป้นพิมพ์ ถึงแม้ว่าการเขียนอักษรบุคคลคนเดียวกัน จะได้อักษรที่มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ด้วยเหตุนี้การรู้จำรูปแบบอักษรคัดลายมือ จะมีผลกระทบโดยตรงต่อความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่นยำ ดังนั้นการวิจัยจึงได้กำหนดมาตรฐานรูปแบบอักษรคัดลายมือให้ผู้เขียนใช้เป็นอักษรต้นแบบในการเขียน ซึ่งสามารถจำกัดความแตกต่างของรูปแบบอักษรคัดลายมือที่เขียนได้เป็นผลให้รู้จำขึ้น ผลกระทบการใช้รูปแบบอักษรมาตรฐานทำให้ความเร็วในการเขียนลดลง เนื่องจากความไม่คุ้นเคย และเมื่อมีการเขียนเป็นเวลานานพบว่ารูปแบบอักษรคัดลายมือที่เขียนเปลี่ยนไปจากรูปแบบอักษรมาตรฐานทำให้ต้องมีการพัฒนาระบบการรู้จำอักษรคัดลายมือ ซึ่งจะเป็นเครื่องมือสำคัญในการช่วยให้เกิดความสะดวกแก่ผู้ใช้คอมพิวเตอร์เอง

1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

ผลงานวิจัยในการวิเคราะห์ระบบการรู้จำรูปแบบอักษรลายมือเขียนภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และตัวเลขอราบิค ได้มีผู้วิจัยทำการศึกษาค้นคว้ามาหลายท่านแล้วพอที่จะยกตัวอย่าง และสรุปการทำงานพอสังเขปได้ดังนี้

1 ผลงานวิจัยของ นายวัลนพ ตันฤดี , ผศ.ดร. วีระ ริ้วพิทักษ์ [1] เรื่องระบบการรับรู้รูปแบบลายมือเขียนอักษรไทย โดยนำเสนอการแยกย่อยกลุ่มรูปแบบลายมือเขียนคร่าวๆ โดยอาศัยการตรวจสอบตามตำแหน่งจุดปลายทั้งสองออกเป็น 3 กลุ่มย่อย ซึ่งมีการกำหนดขอบเขตระดับการเขียนไว้ล่วงหน้า จากนั้นก็มาหาลักษณะเด่นของรูปแบบตามรหัสทิศทางฟรีแมนเพื่อให้ได้กลุ่มรูปแบบที่เหมาะสม การแยกย่อยกลุ่มใน 32 กลุ่มอักษร ขั้นตอนการรับรู้รูปแบบประยุกต์ทฤษฎีไดนามิคโปรแกรมมิ่งในการหาความแตกต่างระหว่างรูปแบบ และรูปแบบในกลุ่ม เมื่อได้รูปแบบอ้างอิงที่มีความแตกต่างน้อยที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้จะผ่านการตรวจสอบการจัดการผลลัพธ์ระหว่างรูปแบบในกลุ่มใกล้เคียงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับรู้รูปแบบ ผลการวิจัยตามข้อมูลโดยผู้เขียนเฉพาะบุคคลเดียว โดยเฉลี่ยสามารถรับรู้รูปแบบได้ในอัตราร้อยละ 98.50

2 ผลงานวิจัยของ นายสุขสถิต สุขใจ , รศ.ดร. ครรชิต ไมตรี[2] เรื่องการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อจดจำรูปแบบลายมือเขียนตัวเลขอราบิคแสดงข้อมูลเป็นมุมสัมบูรณ์ โดยนำเสนอวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแบคพรอพพาเกชั่น ซึ่งต้องมีข้อมูลที่จะให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ทั้งในส่วนอินพุท และเอาท์พุทที่เป็นข้อมูลคู่กัน เพื่อให้ได้จดจำรูปแบบตัวเลขอราบิคลายมือเขียนที่แสดงข้อมูลเป็นมุมสัมบูรณ์ของตัวอักษร ทำให้มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง และสามารถสอนให้รับรู้สภาพใหม่ๆได้ ผลการทดลองสามารถจดจำได้แม้ว่าตัวเลขจะมีการผิดเพี้ยนไปบ้าง

3. ผลงานวิจัยของ นายดนัยวัฒน์ กิตตินันท์ , รศ .ดร. บุญวัฒน์ อัตชู[3] เรื่องการแยกแยะแบบออนไลน์ตัวเลขอราบิคลายมือเขียน โดยนำเสนอการเปลี่ยนแปลงของรหัสทิศทางลายเส้นที่ประกอบกันเป็นตัวอักษรด้วยอาศัยจำนวนเส้น และใช้คุณสมบัติของตำแหน่งพิกัดที่ประกอบกันเป็นเส้นของตัวอักษรที่ตกในพื้นที่ต่างๆ ใช้พิกัดจุดต้น และพิกัดจุดปลายของแต่ละเส้นเป็นหลัก บางกรณีที่พิกัดยังไม่เพียงพอก็จะใช้พิกัดของจุดอื่นๆ เพื่อตรวจสอบว่าเส้นที่ลากนั้นเป็นตัวอักษรผ่านในพื้นที่ใดบ้าง จากการทดลองพบว่ามีอัตราการแยกแยะที่ดีพอสมควรสูงกว่าร้อยละ 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลงานวิจัยของ นายวิทยา ตรีนิติกุล , รศ.ดร. บุญวัฒน์ อัตชู[4] เรื่องโมเดลของตัวอักษรลายมือเขียน โดยนำเสนอการแทนค่าตัวอักษรแต่ละตัวด้วยเวกเตอร์ที่ประกอบขึ้นจากเส้นตรงสั้นๆ หลายเส้นที่เชื่อมต่อกัน และจากนั้นได้วิเคราะห์ถึงขบวนการเขียนตัวอักษร และได้ตั้งเป็นสมมติฐานขึ้นมาซึ่งจากการสมมติฐานนี้ได้พิจารณาสร้างเป็นโมเดลของตัวอักษรลายมือเขียนขึ้นมา ที่แสดงได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ แล้วส่งผลลัพธ์ออกมาทางจอภาพ

5. ผลงานวิจัย XIAOLIN AND DIT-YAN YEUNG[5] เรื่อง ON-LINE HANDWRITTEN ALPHANUMERIC CHARACTER RECOGNITION USING DOMINANT POINTS IN STROKES (Pattern Recognition,Vol30 ,No1 ,pp 31-44,1997) โดยการนำเสนออาศัยลำดับสัญญาณการเขียนลำดับจุดเด่นในการลากเส้น และลำดับทิศทางการเขียนระหว่างจุดเด่นที่เรียงลำดับกันเป็นคุณลักษณะอักษรลายมือเขียนแบบออนไลน์ ข้อมูลทิศทางของจุดเด่นใช้สำหรับจำแนกชนิดล่วงหน้าโดยการหาค่าอัตราขยายสูงสุดของ band-limited warping ที่จะกำหนดความเหมือนระหว่างสองสตริง และข้อมูลตำแหน่งใช้สำหรับปรับการจำแนกชนิดโดยการหาคุณค่าต่ำสุดของ band-limited time warping เพื่อที่จะกำหนดระยะทางระหว่างสองสตริง ทั้งสองแบบอาศัยพื้นฐาน dynamic programming matching using the idea of band-limited time warping เทคนิคนี้ได้ให้ความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง และรูปร่างที่ผิดเพี้ยนไปของตัวอักษร

1.3 แนวทางของของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์การรู้จำรูปแบบอักษรคัดลายมือภาษาไทย และตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษแบบออนไลน์ โดยใช้หลักการของนาราซิมเฮน (Narasimhan's) และไวยากรณ์ปลอดบริบท(Context-Free Grammar) ในการรู้จำคุณลักษณะตามโครงร่างของอักษรคัดลายมือ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและใช้เวลาในการรู้จำไม่มาก หลักการหาโครงร่างจะพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นระหว่างโหนดต่างๆภายในกรอบพื้นฐาน ซึ่งจะกำหนดสัญลักษณ์ของรหัสแบบต่างๆ เพื่อที่จะนำรหัสเหล่านี้มาประกอบเป็นความรู้ของอักษรคัดลายมือตามหลักไวยากรณ์ปลอดบริบทที่มีกฎเกณฑ์การสร้างสตริงในภาษาที่เป็นไปได้อย่างแน่นอน เพื่อกำหนดคุณลักษณะมาตรฐานของรูปแบบอักษรคัดลายมือที่มีกฎเกณฑ์การเขียนที่แน่นอน งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการค้นหาคุณสมบัติของอักษรคัดลายมือที่จะรู้จำกับคุณสมบัติมาตรฐานของรูปแบบอักษรคัดลายมือต้นแบบด้วยวิธีการค้นหาแบบลิเนียร์ จะสามารถรู้จำอักษรคัดลายมือก่อนสิ้นสุดการเขียนหรือสิ้นสุดการเขียนแล้ว

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการนำโครงร่างมาใช้ในการวิเคราะห์อักษรคัดลายมือภาษาไทย และตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษ
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติหลักการของนาราซิมเฮน และไวยากรณ์ปลอดบริบทมาประยุกต์ใช้งาน
3. เพื่อศึกษาปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และหาแนวทางการแก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการแยกแยะอักษรคัดลายมือภาษาไทยและตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษ
5. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอักษรคัดลายมือภาษาไทย และตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษ ใน - อนาคต

1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

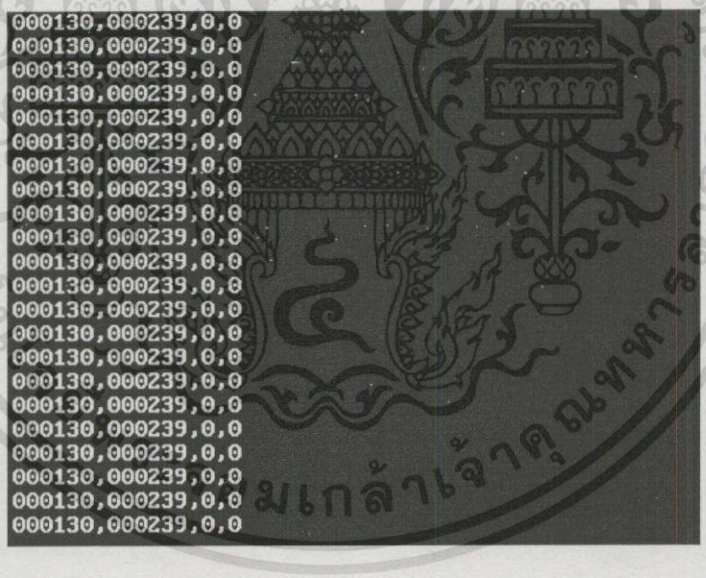
โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย 7 ส่วน คือ บทที่ 2 กล่าวถึง ลักษณะของข้อมูล , บทที่ 3 กล่าวถึงระบบการรู้จำอักษรคัดลายมือ , บทที่ 4 กล่าวถึงการรู้จำอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ , บทที่ 5 กล่าวถึงการรู้จำอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ , บทที่ 6 กล่าวถึงการรู้จำอักษรคัดลายมือภาษาไทย , บทที่7 กล่าวถึงผลการทดลองการรู้จำอักษรคัดลายมือ และบทที่ 8 กล่าวถึงสรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ลักษณะข้อมูล

2.1 ลักษณะของข้อมูล

กระดาษอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้งานคือ Summagraphics MM III 1201(MM 12*12) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากกระดาษอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในรูปพิกัด (x,y) ซึ่งเป็นค่าพิกัดจริง เนื่องจากกระดาษอิเล็กทรอนิกส์มีโหมดการทำงานเป็นแบบ Absolute Coordinates เมื่อมีการกดปากกาลงบนกระดาษอิเล็กทรอนิกส์ ก็จะมีการส่งค่าพิกัดนั้นกลับมา และถ้าเป็นเมาส์จะถือว่าตำแหน่งของเคอร์เซอร์บนจอภาพนั้นเป็นค่าฟังก์ชั่นการเคลื่อนที่ของเมาส์ โดยจะนับค่าจำนวนมิกกี้ (mickey) แล้วส่งไปให้โปรแกรมไดรเวอร์เมาส์เพื่อทำการแปลงค่าจำนวนมิกกี้ให้อยู่ในรูปพิกเซล (pixel) บนจอภาพ ซึ่งลักษณะรูปแบบของข้อมูล แสดงให้เห็นในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะข้อมูลของกระดาษอิเล็กทรอนิกส์

จากรูปสามารถแบ่งข้อมูลออกเป็นคอลัมน์ต่างๆได้ดังนี้

คอลัมน์แรก คือ ชุดค่าพิกัดของ x ซึ่งจะมีค่าพิกัดตามขนาดพื้นที่ของการเขียนในแนวแกนนอน

คอลัมน์ที่สอง คือ ชุดค่าพิกัดของ y ซึ่งจะมีค่าพิกัดตามขนาดพื้นที่ของการเขียนในแนวแกนตั้ง

คอลัมน์ที่สาม คือ ค่าที่แสดงสถานะว่าปุ่มบนปากกา กำลังถูกกดอยู่ ซึ่งแสดงสถานะ ที่ไม่เป็น " 0 "

คอลัมน์ที่สี่ คือ ค่าที่แสดงสถานะของปากกา อยู่ในขอบเขตพื้นที่ทำงาน ซึ่งแสดง สถานะที่เป็น " 0 "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การสร้างกรอบพื้นฐาน

กรอบพื้นฐานสำหรับอักษรคัดลายมือ กำหนดขึ้นมาเพื่อใช้เป็นขอบเขตเบื้องต้นของการวิเคราะห์ ในการจัดการข้อมูลที่มีการเชื่อมต่อเซตของโหนดต่างๆ กรอบนี้ได้มาจากค่าพิกัดซึ่งจะใช้ค่าในโคออดิเนต ต่างๆโดยการลากเส้นจากพิกัด x และ y ค่าน้อยที่สุด ไปยังพิกัด x มากที่สุด และ y น้อยที่สุดจากนั้นก็ลากเส้นจากพิกัด x มากที่สุด และ y น้อยที่สุด ไปยังพิกัด x และ y มากที่สุด จากนั้นก็ลากเส้นจากพิกัด x และ y มากที่สุดไปยังพิกัด x น้อยที่สุด และ y มากที่สุด และจากนั้นก็ลากเส้นจากพิกัด x น้อยที่สุด และ y มากที่สุดไปยังพิกัด x และ y น้อยที่สุด จากการลากเส้นพิกัดดังกล่าวก็จะแบ่งกรอบพื้นฐานของความกว้าง เป็น 12 ส่วน และความสูงเป็น 6 ส่วน เพื่อที่จะกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางของวงกลมเล็กให้เป็นเซตของโหนดภายในบริเวณกรอบพื้นฐานและได้กำหนดตำแหน่งของกรอบพื้นฐานที่ x_{MIN} =50 ,y_{MIN} =100, x_{MAX} =170, y_{MAX} =250 ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังภาพที่ 2.2 และภาพที่ 2.3
แบ่งความกว้างและความสูงของกรอบพื้นฐานได้จากสมการ

$$x_R = \frac{x_{MAX} - x_{MIN}}{12} \quad (2.1)$$

$$y_R = \frac{y_{MAX} - y_{MIN}}{6} \quad (2.2)$$

แทนลงในสมการ (2.1) และ(2.2) จะได้ค่า

$x_R = (170 - 50)/12 = 10$

$y_R = (250 - 100)/6 = 25$

กำหนดตำแหน่งของโหนดต่างๆในแต่ละโหนดภายใต้บริเวณกรอบพื้นฐานได้จากพิกัดศูนย์กลางดังนี้

$node_1 = (x_{MIN}+x_R),(y_{Min}+y_R)$
$= (60,125)$

$node_2 = (x_{MIN}+6*x_R),(y_{Min}+y_R)$
$= (110,125)$

$node_3 = (x_{MAN}-x_R),(y_{Min}+y_R)$
$= (160,125)$

$node_4 = (x_{MIN}+x_R),(y_{MAX}-y_R)$
$= (60,225)$

$node_5 = (x_{MIN}+6*x_R),(y_{MAX}-y_R)$
$= (110,225)$

$node_6 = (x_{MAX}-x_R),(y_{MAX}-y_R)$
$= (160,225)$

$node_7 = (x_{MIN}+x_R),(y_{Min}+3*y_R)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= (60,175)$

$node_8 = (x_{MIN}+6*x_R),(y_{Min}+3*y_R)$

$= (110,175)$

$node_9 = (x_{MAX}-x_R),(y_{Min}+3*y_R)$

$= (160,175)$

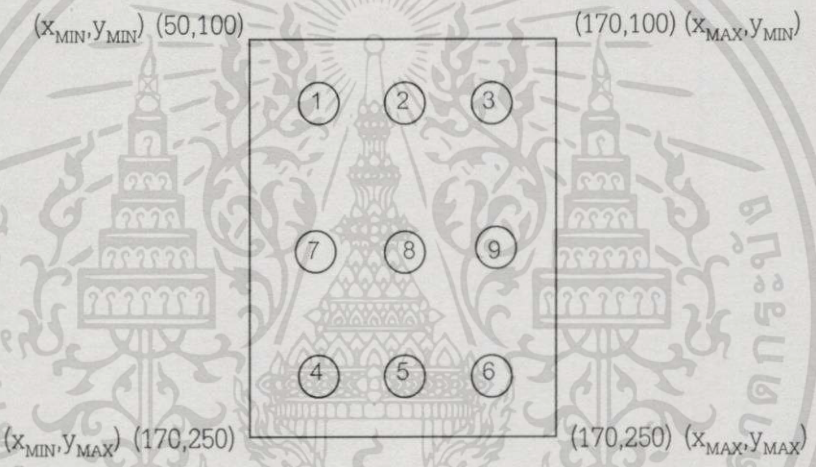
และกำหนดให้ x_R คือ ความกว้างในการกำหนดตำแหน่งของโหนด

y_R คือ ความสูงในการกำหนดตำแหน่งของโหนด

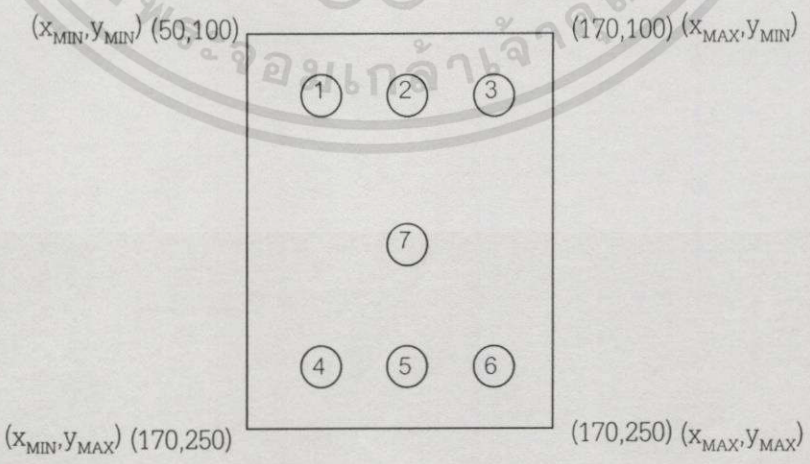
x_{MIN}, y_{MIN} คือ ค่าน้อยที่สุดในโคออดิเนต X และ Y

x_{MAX} ,y_{MAX} คือ ค่ามากที่สุดในโคออดิเนต X และ Y

$node_1$ ถึง $node_9$ คือโหนดของวงกลมแต่ละโหนดภายใต้ขอบเขตกรอบพื้นฐาน



ภาพที่ 2.2 กรอบพื้นฐานอักษรคัดลายมือภาษาไทย



ภาพที่ 2.3 กรอบพื้นฐานอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่และตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกรอบพื้นฐานอักษรคัดลายมือ สามารถพิจารณาการลากเส้นที่อยู่ในพิกัดโหนด(ni)ใดๆด้วยวิธีการดีเทคโหนดโดยการใช้สมการวงกลมคำนวณหาค่ารัศมีของพิกัด x และ y ที่เปลี่ยนแปลงตามการลากเส้น ซึ่งในแต่ละโหนด(ni) ได้กำหนดพิกัดศูนย์กลาง (h,k)ต่างกัน และมีรัศมีเท่ากัน

จากสมการวงกลม $(x-h)^2 + (y-k)^2 < r^2$

แสดงว่าพิกัด x และ y ใดๆอยู่ภายในโหนด

และสมการวงกลม $(x-h)^2 + (y-k)^2 > r^2$

แสดงว่าพิกัด x และ y ใดๆอยู่ภายนอกโหนด

โดยที่ h,k คือ ค่ากำหนดพิกัดศูนย์กลางของโหนด(ni) ใดๆ

x,y คือ ค่าพิกัดใดๆที่เปลี่ยนแปลงตามการลากเส้น

r คือ ค่ากำหนดรัศมีของโหนด(ni)ใดๆ ซึ่งเท่ากับ 8.0

ตัวอย่างเช่น ได้กำหนดค่าพิกัดศูนย์กลาง (h,k) ของโหนด(n1) เท่ากับ (60,125) เมื่อมีการลากเส้นผ่านโหนด(n1) ได้ค่าพิกัด (x,y) เท่ากับ (65,130) แทนค่าต่างๆลงในสมการวงกลม จะได้

$(65-60)^2 + (130-125)^2 < 8^2$

$(5)^2 + (5)^2 < 8^2$

$25+25 < 64$

$50 < 64$

แสดงว่าพิกัด (x,y) ขณะที่มีการลากเส้นจะอยู่ภายในโหนด(n1)

อีกตัวอย่างเช่น ได้กำหนดค่าพิกัดศูนย์กลาง (h,k) ของโหนด(n1) เท่ากับ (60,125) เมื่อมีการลากเส้นที่ไม่ผ่านโหนด(n1) ได้ค่าพิกัด (x,y) เท่ากับ (65,135) แทนค่าต่างๆลงในสมการวงกลม จะได้

$(65-60)^2 + (135-125)^2 > 8^2$

$(5)^2 + (10)^2 > 8^2$

$25+100 > 64$

$125 > 64$

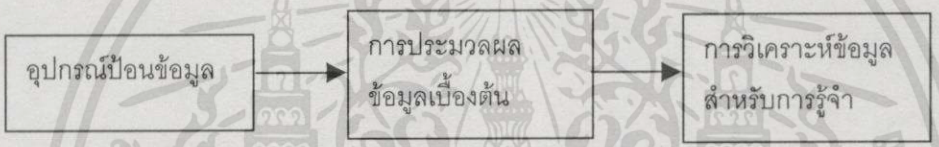
แสดงว่าพิกัด (x,y) ขณะที่มีการลากเส้นจะอยู่ภายนอกโหนด(n1)

สำหรับโหนด (n2) ,(n3) ,(n4) ,(n5) ,(n6) ,(n7) ,(n8) และ(n9) ได้กำหนดค่าพิกัดศูนย์กลาง (h,k) ต่างกัน และมีรัศมีเท่ากัน ดังนั้นการดีเทคโหนดต่างๆก็ใช้วิธีการเช่นเดียวกันกับการดีเทคโหนด (n1) ซึ่งในแต่ละโหนดนั้นมีความสัมพันธ์กันตามการสร้างฟังก์ชั่นอักษรคัดลายมือจะได้กล่าวในบทต่อไป จะเห็นว่ากรอบพื้นฐานอักษรคัดลายมือภาษาไทยตามลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นเบื้องต้นใช้ 9 โหนด จะทำให้สามารถวิเคราะห์ครอบคลุมอักษรคัดลายมือภาษาไทยที่คล้ายกันได้ เช่น บ, ป, พ และ ฟ เป็นต้น ส่วนกรอบพื้นฐานอักษรคัดลายมือภาษาอังกฤษตามลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นเบื้องต้นใช้เพียง7โหนด ก็เพียงพอสามารถวิเคราะห์ครอบคลุมอักษรคัดลายมือภาษาอังกฤษที่คล้ายกันได้ เช่น E, F, b และ p ได้หมดทุกตัวเช่นกันเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระบบการรู้จำสำหรับอักษรคัดลายมือ

ระบบการรู้จำสำหรับอักษรคัดลายมือเป็นระบบที่รับข้อมูลในรูปพิกเซล ซึ่งมาจากกระดาษอิเล็ก - ทรอนิกส์แล้วเข้าสู่การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น ทำหน้าที่เชื่อมโยงจุดพิกเซลต่างๆ ให้ออกมาเป็นลายเส้นตามลักษณะของ ข้อมูลที่ได้มา และทำการปรับปรุงข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดีขึ้น แล้วจัดเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อจัดส่งไปยัง การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำ ซึ่งทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ลายเส้นลักษณะรูปร่างของตัวอักษรคัดลายมือว่าคือตัวอักษรอะไร แล้วให้รหัสแอสกี้ออกมา เพื่อเก็บไว้ในหน่วยความจำนำไปใช้งานต่อไป ที่ถึงแม้การเขียนยังไม่เสร็จสิ้น แสดงให้เห็นดังในภาพที่ 3.1

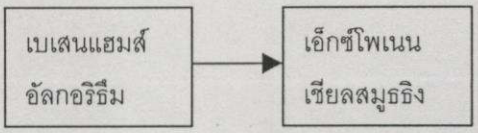


ภาพที่ 3.1 แสดงระบบการรู้จำสำหรับอักษรคัดลายมือ

3.1 การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น

ข้อมูลที่รับมาจากกระดาษอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นตัวแทนลายเส้นและพื้นเบื้องหลังของตัวอักษร แต่ยังไม่สามารถนำไปทำการวิเคราะห์ได้ทันที เนื่องจากอาจมีสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วย จึงจำเป็นต้องทำการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากข้อมูลนี้ก่อน เช่น Filtering, New signal computation, Moving average, Exponential smoothing เป็นต้น และยังมีการปรับปรุงส่วนของลายเส้นให้ได้ออกมาเป็นลายเส้นจริงๆ ด้วยเทคนิคต่างๆ สำหรับระบบการรู้จำตัวอักษรแบบออนไลน์ (on-line) นั้น ลักษณะข้อมูลเป็นจุดพิกัดต่างๆบนกระดาษอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากปากกาหรือเม้าส์ถูกเคลื่อนที่โดยการเขียน จึงจำเป็นมาเชื่อมโยงจุดพิกัดต่างๆเพื่อ ให้ได้ออกมาเป็นลายเส้นตามลักษณะข้อมูลที่ได้มา ด้วยวิธีเบเสนแฮมส์ (Bresenham's) เป็นต้น แล้วจึงนำข้อมูลไปเก็บในหน่วยความจำเพื่อให้หน่วยวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำอักษรคัดลายมือนำไปวิเคราะห์ได้ทันทีในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นทั้งเบเสนแฮมส์และเอ็กซ์โพเนนเชียลสมูลธิง ซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นประมาณ 0.04.วินาที แสดงให้เห็นดังในภาพที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แสดงการประผลข้อมูลเบื้องต้น

การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นประกอบด้วย

3.1.1 เบเสนแฮมส์ (Bresenham's Algorithms)[7]

ฟังก์ชั่นพื้นฐานของการใช้งานทางกราฟิกคือ การลากเส้นโดยการกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดสุดท้ายของคู่ลำดับเส้น การลากเส้นในแนวตั้งและแนวนอนจะไม่เป็นปัญหามากนัก แต่ถ้าต้องการลากเส้นแนวเฉียงเมื่อใด ก็จะเกิดปัญหาคือไม่มีความละเอียดมากนักในการให้เป็นเส้นเฉียง การสร้างจุดให้เกิดขึ้นบนจอภาพทำได้โดยการเปลี่ยนสีของพิกเซล ณ. ตำแหน่งที่เราต้องการให้เกิดจุด โดยระบุให้โคออร์ดิเนตของพิกเซลนั้น สีที่เปลี่ยนต้องต่างจากสีพื้นของจอภาพ เพื่อจะได้เห็นเป็นจุดเกิดขึ้น จากอัลกอริทึมของ Bresenham จะใช้อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงทางแกน X และแกน Y และจะถูกจัดการโดยวิธีการบวกและลบกัน ดังนั้นความคิดพื้นฐานที่จะเป็นการสร้างเส้นตรงบนจอภาพ ต้องอาศัยการสร้างจุดทีละจุดเพื่อให้เกิดเส้นตรงขึ้น ได้แสดงให้เห็นจากอัลกอริธึมดังนี้

```
/* อัลกอริธึม Bresenham ของการวาดเส้นโดยใช้สี */
/* คำนวณระยะห่างทั้ง 2 ทิศทาง */
begin
        x = 0
        y =0
        startx = startx_position
        starty = starty_position
        endx = endx_position
        endy = endy_position
        delta_x = endx - startx
        delta_y = endy - starty
/* คำนวณทิศทางในการเพิ่ม */
        if (delta_x > 0) increment_x = 1
        else if (delta_x == 0) increment_x = 0
        else increment_x = -1
        if (delta_y > 0) increment_y = 1
        else if (delta_y == 0) increment_y = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        else increment_y = -1
/* เปรียบเทียบระยะห่าง */
        delta_x = abs(delta_x)
        delta_y = abs(delta_y)
        if (delta_x > delta_y) distance = delta_x
        else distance = delta_y
/* วาดเส้นโดยใช้สี */
        for (i = 0, i < distance + 1, i++)
                set attribute (startx, starty, color)
                x = x + delta_x
                y = y + delta_y
                if (x > distance)
                x = x - distance
                startx = startx + increment_x
                if (y > distance)
                y = y - distance
                starty = starty + increment_y
        end loop
end begin
```

3.1.2 เอ็กโพเนเชียล สมูธธิง (Exponential Smoothing)[8]

ขณะที่ทำการลากเส้นบนพื้นผิวกระดาษอิเล็กทรอนิกส์ ข้อมูลที่รับเข้ามาอาจมีข้อมูลซ้ำกัน, เกิดการสั่น ทำให้ได้รูปร่างเซไปเซมาอันเนื่องมาจากการกดปากกา หรือการลากเม้าส์ และยกปากกา หรือปล่อยเม้าส์ ซึ่งความเร็วช้าก็ไม่เท่ากันในการลากเส้น จึงจำเป็นต้องคำนวณหาเส้นแนวโน้มโดยเทคนิคการขจัด ส่วนประกอบอนุกรมเวลาที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงที่อยู่ในอนุกรมเวลาให้หมดไปเพื่อให้เหลือแต่ค่าแนวโน้มของข้อมูล โดยแสดงให้เห็นรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่ผ่านมา จะทำให้คาดการณ์ได้ว่า ในอนาคตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลควรอยู่ในรูปแบบนั้นโดยใช้เพื้นฐานของการวิเคราะห์อนุกรมเวลา

ดังนั้นขบวนการเฉลี่ยเคลื่อนที่ เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นการกำหนดค่าสังเกต (x_i,y_i) ถึง (x_n,y_n) ในการหาข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกันในลักษณะราบเรียบขึ้น จะเห็นว่าการกำหนดค่า Smoothing Constant (α) เป็นส่วนสำคัญใน exponential smoothing ที่มีผลการตอบสนองพยากรณ์ต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นที่เกี่ยวข้องกับขนาดของ Smoothing Constant (α) โดยอาจพิจารณาจากค่าความคลาดที่ทำให้ผลบวกความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุด ตามสมการ mean square of error และ simple exponential smoothing ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$s_t = \alpha x_t + (1-\alpha)s_{t-1}$ (3.1)

$MSE = \sum e_t^2 / n$ (3.2)

$e_t = x_t - s_{t-1}$ (3.3)

s_t คือ smoothing value

α คือ smoothing constant

s_{t-1} คือ smoothing value ณ ช่วงเวลา t-1

x_t ,y_t คือ ข้อมูลสังเกต $(x_1,y_1),\ldots\ldots,(x_n,y_n)$

MSE คือ ผลบวกความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

e_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ จำนวน n ข้อมูล

ได้กำหนดให้ Smoothing Constant (α) มีค่าแตกต่างกัน 4 ค่า คือ 0.15,0.35,0.55,0.75 จากผลการทดลองข้อมูล (x_1,y_1) จนถึง (x_n,y_n) จะได้ค่า Smoothing Value ต่างๆของ x และ y ตามตารางที่ 3.1, 3.2, 3.3 และ 3.4 ซึ่งแสดงให้เห็นดังข้างล่างนี้

ตารางแสดงที่ 3.1 แสดงข้อมูล x_t ของเส้นโค้งในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา

ลำดับข้อมูลสังเกต x_t		Smoothing Value ของ x							
		0.15		0.35		0.55		0.75	
i	x_t	S_t	e_t^2	S_t	e_t^2	S_t	e_t^2	S_t	e_t^2
1	95	-	-	-	-	-	-	-	-
2	89	94.10	36.0	92.90	36	91.70	36	90.50	36
3	84	92.59	102.01	89.79	79.21	87.47	59.29	85.63	42.25
4	80	90.69	168.51	86.36	95.84	83.36	55.80	81.41	31.69
5	75	88.34	146.18	82.38	129.05	78.76	69.89	76.60	41.09
6	72	85.89	266.99	78.75	107.74	75.04	45.69	73.15	21.16
7	70	83.51	252.49	75.69	76.56	72.27	25.40	70.79	9.92
8	68	81.18	240.56	72.99	59.14	69.92	18.23	68.69	7.78
9	66	78.90	230.43	70.55	48.86	67.76	15.37	66.67	7.24
10	66	76.97	166.41	68.96	20.70	66.79	3.09	66.17	0.45
11	66	75.32	120.34	67.92	8.76	66.36	0.62	66.04	0.03
12	66	73.92	86.86	67.25	3.69	66.16	0.13	66.01	0.002
SSE =	$\sum e_t^2$		1106.8		665.55		329.51		197.6
MSE =	SSE/11		173.34		60.50		29.96		17.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูล y_t ของเส้นโค้งในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา

ลำดับข้อมูล สังเกต y_t		Smoothing Value ของ y							
		0.15		0.35		0.55		0.75	
i	y_t	S_t	e^2_t	S_t	e^2_t	S_t	e^2_t	S_t	e^2_t
1	125	-	-	-	-	-	-	-	-
2	125	125.0	0	125.0	0	125.0	0	125.0	0
3	126	125.15	1	125.35	1.2	125.55	1	125.75	1
4	127	125.43	3.42	125.93	2.72	126.35	2.10	126.69	1.56
5	129	125.96	12.74	127.00	9.42	127.81	7.02	128.42	5.34
6	130	126.57	16.32	128.05	9.0	129.01	4.79	129.61	2.49
7	132	127.38	29.48	129.43	15.60	130.66	8.94	131.40	5.71
8	135	128.53	58.06	131.38	31.02	133.05	18.84	134.10	12.96
9	137	129.79	71.74	133.35	31.58	135.22	15.60	136.28	8.41
10	138	131.03	67.40	134.98	21.62	136.75	7.73	137.57	2.96
11	139	132.22	63.52	136.38	16.16	137.99	5.06	138.64	2.04
12	140	133.39	60.53	137.65	16.0	139.09	4.04	139.65	1.85
SSE =	$\sum e^2_t$		384.21		154.12		75.12		44.32
MSE =	SSE/11		34.93		14.01		6.83		4.03

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูล x_t ของเส้นตรงในลักษณะแนวเฉียงซ้าย

ลำดับข้อมูล สังเกต x_t		Smoothing Value ของ x							
		0.15		0.35		0.55		0.75	
i	x_t	S_t	e^2_t	S_t	e^2_t	S_t	e^2_t	S_t	e^2_t
1	106	-	-	-	-	-	-	-	-
2	105	105.85	1	105.65	1	105.45	1	105.25	1
3	102	105.27	14.82	104.37	13.32	103.55	11.90	102.81	10.56
4	96	103.88	85.93	101.44	70.06	99.39	57.0	97.70	46.38
5	92	102.09	141.13	98.14	89.11	95.33	54.61	93.43	32.49
6	90	100.28	146.17	95.29	66.26	92.39	28.40	90.86	11.76
7	87	98.29	176.36	92.39	68.72	89.43	29.05	87.96	14.89
8	81	95.69	298.94	88.40	129.73	84.79	71.06	82.74	48.44
9	77	92.89	349.32	84.41	129.96	80.50	60.68	78.43	32.95
10	74	90.06	356.83	80.77	108.37	76.93	42.25	75.11	19.62
11	71	87.20	363.28	77.35	95.45	73.67	35.16	72.03	16.89
12	71	84.77	262.44	75.13	40.32	72.20	7.13	71.26	1.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

ลำดับข้อมูลสังเกต x_t		Smoothing Value ของ x							
		0.15		0.35		0.55		0.75	
i	x_t	S_t	e_t^2	S_t	e_t^2	S_t	e_t^2	S_t	e_t^2
SSE =	$\sum e_t^2$		2196.2		812.3		398.24		236.04
MSE =	SSE/11		199.7		73.85		36.20		21.46

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูล y_t ของเส้นตรงในลักษณะแนวเฉียงซ้าย

ลำดับข้อมูลสังเกต y_t		Smoothing Value ของ y							
		0.15		0.35		0.55		0.75	
i	y_t	S_t	e_t^2	S_t	e_t^2	S_t	e_t^2	S_t	e_t^2
1	120	-	-	-	-	-	-	-	-
2	121	120.15	1	120.35	1	120.55	1	120.75	1
3	124	120.73	14.82	121.63	13.32	122.44	11.90	123.19	10.56
4	128	121.82	52.85	123.86	40.58	125.50	30.91	126.79	23.14
5	133	123.49	124.99	127.06	83.54	129.63	56.25	131.44	38.56
6	136	125.37	156.50	130.19	79.92	133.13	40.58	134.86	20.79
7	139	127.42	185.78	133.27	77.61	136.36	34.46	137.97	17.14
8	144	129.90	274.89	137.03	115.13	140.56	58.37	142.49	36.36
9	148	132.62	327.61	140.86	120.34	144.65	55.35	146.62	30.36
10	152	135.53	375.58	144.76	124.09	148.69	54.02	150.60	28.94
11	156	138.59	419.02	148.69	126.34	152.71	53.44	154.66	28.51
12	157	141.36	338.93	151.60	69.06	155.07	18.40	156.42	5.48
SSE =	$\sum e_t^2$		2271.9		850.9		414.7		240.8
MSE =	SSE/11		206.54		77.35		37.69		21.89

จากตารางข้อมูลสังเกต (x_i,y_i) ที่ได้จากการทดลองของเส้นตรง และเส้นโค้งสามารถนำมาหาค่า ความราบเรียบ ของ x, y (smoothing value) และผลบวกความคาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ตามสมการ (3.1),(3.2) และ (3.3) ดังตัวอย่างนี้

พิจารณาข้อมูล x_t ของเส้นโค้งที่กำหนดให้ α =0.15 และแทนค่าในสมการ (3.1)

ที่ i = 2 ได้ S_t = 0.15*89+(1-0.15)*95

= 94.10

ที่ i = 3 ได้ S_t = 0.15*84+(1-0.15)*94.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 92.59$

ที่ i = 4 ได้ $S_t = 0.15*80+(1-0.15)*92.59$

$= 90.69$

ที่ i = 5 ได้ $S_t = 0.15*75+(1-0.15)*90.69$

$= 88.34$

ที่ i = 6 ได้ $S_t = 0.15*72+(1-0.15)*88.34$

$= 85.89$

ที่ i = 7 ได้ $S_t = 0.15*70+(1-0.15)*85.89$

$= 83.51$

ที่ i = 8 ได้ $S_t = 0.15*68+(1-0.15)*83.51$

$= 81.18$

ที่ i = 9 ได้ $S_t = 0.15*66+(1-0.15)*81.18$

$= 78.90$

ที่ i = 10 ได้ $S_t = 0.15*66+(1-0.15)*78.90$

$= 76.97$

ที่ i = 11 ได้ $S_t = 0.15*66+(1-0.15)*76.97$

$= 75.32$

ที่ i = 12 ได้ $S_t = 0.15*66+(1-0.15)*75.32$

$= 73.92$

พิจารณาข้อมูล x_t และ S_{t-1} หาค่าความคลาดเคลื่อนผลบวกกำลังสองเฉลี่ยของเส้นโค้งที่ $\alpha = 0.15$ และแทนค่าในสมการ (3.2) และ (3.3)

ที่ i = 2 ได้ $e^2_t = (89-95)^2$

$= 36$

ที่ i = 3 ได้ $e^2_t = (84-94.10)^2$

$= 102.01$

ที่ i = 4 ได้ $e^2_t = (80-92.59)^2$

$= 158.51$

ที่ i = 5 ได้ $e^2_t = (75-90.69)^2$

$= 246.18$

ที่ i = 6 ได้ $e^2_t = (72-88.34)^2$

$= 266.99$

ที่ i = 7 ได้ $e^2_t = (70-85.89)^2$

$= 252.49$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ i = 8 ได้ $e^2_t = (68-83.51)^2$

$= 240.56$

ที่ i = 9 ได้ $e^2_t = (66-81.18)^2$

$= 230.43$

ที่ i = 10 ได้ $e^2_t = (66-78.90)^2$

$= 166.41$

ที่ i = 11 ได้ $e^2_t = (66-76.97)^2$

$= 120.34$

ที่ i = 12 ได้ $e^2_t = (66-75.32)^2$

$= 86.86$

ผลบวกความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (SSE) = 36+102.01+158.51+246.18+266.99+252.49 +240.56+230.43+166.41+120.34+86.86

= 1906.78

ผลบวกความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) = 1906.78/11

= 173.34

ในการหาความราบเรียบ (S_t) และผลบวกความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของเส้นตรงและเส้นโค้งที่ α=0.35 ,α=0.55 และ α=0.75 จากข้อมูล x_t ,y_t ก็ใช้วิธีการหาค่า S_t และ MSE ในทำนองเดียวกันกับที่ α=0.15 ซึ่งจะพิจารณาใช้ α ที่มีค่าผลบวกความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด ใน วิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกค่า α=0.75 มาใช้ในการหาความราบเรียบของข้อมูลสังเกต x_t,y_t

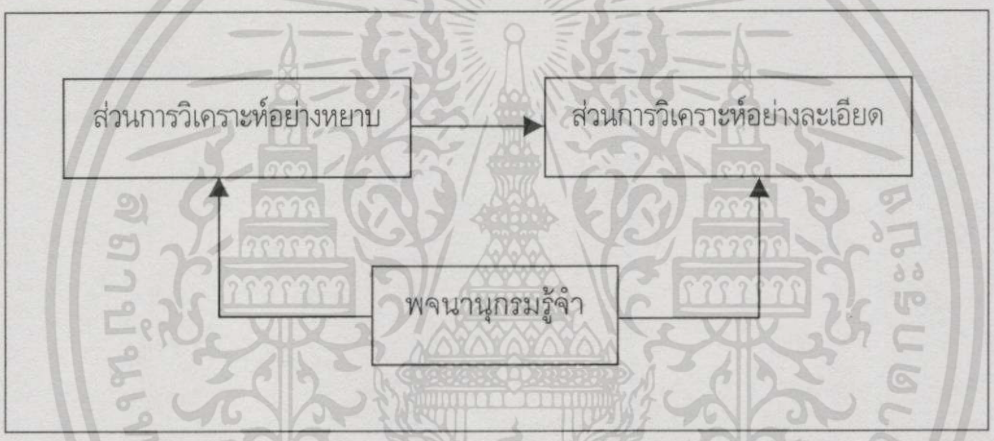
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำ

การหน่วยวิเคราะห์ข้อมูล สำหรับการรู้จำที่ใช้กันทั่วไป มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ วิธีแรกเป็นการ. วิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำโดยอาศัยทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Analysis) เช่นสมการตัดสินใจแบบเชิงเส้น (Linear Decisition Function) การวัดการกระจายแบบ ทรานสฟอร์ม (Tansform) หรือการคำณวนค่าลักษณะความต่อเนื่องของจุดภาพ (Connectivity) และโครงข่ายประสาทเทียม(Neural Network) เป็นต้นส่วนวิธีที่สอง เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำโดยอาศัยโครงร่างของตัวอักษร (Syntactic Methods) เช่น การเข้ารหัสลายเส้นแบบต่างๆ การพิจารณามุมของเส้นเป็นต้น ซึ่งวิธีนี้จะนำรหัสของอักษรคัดลายมือทุกรูปมารวมกันก็จะได้เป็นรหัสต้นแบบและอาศัยวิธีการสร้างกฎเกณฑ์หรือหลักไวยากรณ์(Pattern Grammar) มาประกอบเป็นคุณสมบัติของอักษรแต่ละตัว เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับรหัสของอักษรที่ต้องการจะรู้จำ ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกวิธีที่สองมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำ ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำโดยอาศัยโครงร่างของตัวอักษร จะประกอบด้วยส่วนของการวิเคราะห์อย่างหยาบ เพื่อให้ได้ผลออกมาเป็นกลุ่มของตัวอักษรหลายๆ กลุ่มตามการเริ่มต้นของการเขียนพื้นที่โหนด และลักษณะความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สัมพันธ์ลายเส้นระหว่างโหนดต่างๆ ในกลุ่มเดียวกัน เช่นเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด(n2) จะได้กลุ่มย่อยที่ 2 คือ O, Q, I, T, J, A, 8 และพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นระหว่างโหนดต่างๆ ในกลุ่ม LT(n2) , VT(n2) , CE(n2,n5) , CE(n2,n7) ซึ่งจะได้กลุ่มย่อยที่ 2.1 คือ A กลุ่มย่อยที่ 2.2 คือ I , T , J , กลุ่มย่อยที่ 2.3 คือ O , Q และกลุ่มย่อยที่ 2.4 คือ 8 ซึ่งจะได้เป็นลักษณะร่วมของอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ จากนั้นก็จะทำการวิเคราะห์ในแต่ละกลุ่มย่อยในลักษณะเดียวกันต่อเนื่องลงไปอีก เช่น จะได้กลุ่มย่อยที่ 2.2.1 คือ I หรือ J หรือ T , กลุ่มย่อยที่ 2.3.1 คือ O หรือ Q เป็นต้น ซึ่งถือว่าเป็นการวิเคราะห์อย่างละเอียดสำหรับอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ ส่วนอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ และอักษรคัดลายมือภาษาไทยก็ใช้การพิจารณาในทำนองเดียวกันซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะมีพจนานุกรมการรู้จำที่เก็บคุณสมบัติของอักษรคัดลายมือมาใช้ในการเปรียบเทียบ จะแสดงให้เห็นได้ดังในภาพที่ 3.3



ภาพที่3.3 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำอักษรคัดลายมือ

เทคนิคพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการรู้จำมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1. พิจารณาคุณสมบัติของความโค้ง (Curvature Methods)

3.2.2. การปรับโค้งผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดน้อยที่สุด (Least Square Curve Fitting)

3.2.3 ลักษณะความสัมพันธ์ของลายเส้น (Description of Relationship Stroking)

3.2.4. พจนานุกรมรู้จำอักษรคัดลายมือ (Dictionary)

3.2.1. พิจารณาคุณสมบัติของความโค้ง (curvature method) [9]

ในภาพที่ 3.4 แสดงให้เห็นถึงการพิจารณาหาคุณลักษณะของความโค้งโดยวิธีประมาณความโค้งสูงสุด ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจลักษณะของลายเส้นว่าเป็นเส้นตรง หรือเส้นโค้งเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ของการปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
35176

โค้งผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดน้อยที่สุด (Least Squares Curve Fitting) โดยมีขั้นตอนในการพิจารณาความโค้งดังต่อไปนี้

1. ให้ P_i เท่ากับ (x_i,y_i), $1 \leq i \leq n$ โดย P_1 เป็นตำแหน่งแรก และ P_n เป็นตำแหน่งสุดท้าย
2. เลือก P_i เป็นจุดเริ่มต้นและให้ $P_j = P_{i+2}$ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามหาเส้นตรง L ที่ต่อจากตำแหน่ง P_i และ P_j
3. ให้ระยะทาง Euclidean จากจุด $(i < k < j)$ ไปยังเส้นตรง L และให้มีค่าเท่ากับ d(i,j,k)
4. หาระยะทาง d(i,j,k) จากจุด P_k ไปยังเส้นตรง L

กำหนดให้เส้นตรง L มีสมการแบบทั่วไปคือ $Ax+By+C = 0$ (3.4)

เส้นตรงที่ผ่านจุด P_i และ P_j จะมีสมการคือ

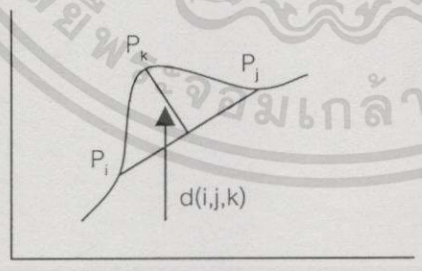
$$(y_j - y_i)x - (x_j - x_i)y + (y_i x_j - x_i y_i) = 0 \quad (3.5)$$

ให้ระยะทางจากจุด P_k ไปยังเส้นตรง L เป็นบวกเพียงอย่างเดียวมีสมการคือ

$$d(i,j,k) = \left| \frac{Ax_k + By_k + C}{\left[A^2 + B^2\right]^{\frac{1}{2}}} \right| \quad (3.6)$$

เปรียบเทียบสมการ (3.5) กับ(3.6) และนำไปแทนค่าจะได้สมการ

$$d(i,j,k) = \left| \frac{(y_j - y_i)x_k - (x_j - x_i)y_k + (y_i x_j - x_i y_j)}{\left[(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \right| \quad (3.7)$$



ภาพที่ 3.4 แสดงการประมาณคุณลักษณะความโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลเส้นโค้งในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา

ข้อมูล Smoothing		
i	x	y
1	90.50	125
2	85.63	125.75
3	81.41	126.69
4	76.60	128.42
5	73.15	129.61
6	70.79	131.40
7	68.69	134.10
8	66.67	136.28
9	66.17	137.57
10	66.04	138.64
11	66.01	139.65

จากตารางที่ 3.5 นำข้อมูลไปพิจารณาหาคุณสมบัติของความโค้งได้จากสมการ (3.7) ดังตัวอย่างนี้

ให้ x_j,y_j เป็นลำดับข้อมูลเริ่มต้นที่ i =1

x_i,y_i เป็นลำดับข้อมูลสุดท้ายที่ i =11

จาก $[(x_j-x_i)^2+(y_j-y_i)^2]^{1/2}$ $= [(90.50-66.01)^2+(125-139.65)^2]^{1/2}$

$= [599.76+214.62]^{1/2}$

$= 28.54$

(y_j-y_i) $= (125-139.65)$

$= -14.65$

(x_j-x_i) $= (90.50-66.01)$

$= 24.49$

$(y_ix_j-x_iyj)$ $= (139.65*\ 90.50 - 66.01*125)$

$= 4387.07$

ให้ x_k , y_k เป็นลำดับข้อมูลที่ i =2 ถึง i =10 และให้ d_n เป็นระยะทาง d(i,j,k)จากจุด P_k ไปยังเส้นตรง L แล้วนำไปแทนค่าลงในสมการ (3.7)

ที่ i =2 ได้ d_2 $= | [(-14.65*85.63) - (24.49*125.75)+ (4387.07)]/28.54 |$

$= 1.85$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ i = 3 ได้ d_3 = | [(-14.65*81.41) – (24.49*126.69)+ (4387.07)]/28.54 |

= 3.21

ที่ i = 4 ได้ d_4 = | [(-14.65*76.60) – (24.49*128.42)+ (4387.07)]/28.54 |

= 4.20

ที่ i = 5 ได้ d_5 = | [(-14.65*73.15) – (24.49*129.61)+ (4387.07)]/28.54 |

= 4.95

ที่ i = 6 ได้ d_6 = | [(-14.65*70.79) – (24.49*131.40)+ (4387.07)]/28.54 |

= 4.63

ที่ i =7 ได้ d_7 = | [(-14.65*68.69) – (24.49*134.10)+ (4387.07)]/28.54 |

= 3.39

ที่ i = 8 ได้ d_8 = | [(-14.65*66.67) – (24.49*136.28)+ (4387.07)]/28.54 |

= 2.56

ที่ i = 9 ได้ d_9 = | [(-14.65*66.17) – (24.49*137.57)+ (4387.07)]/28.54 |

= 1.71

ที่ i =10 ได้ d_{10} = | [(-14.65*66.04) – (24.49*138.64)+ (4387.07)]/28.54 |

= 0.85

หาระยะทางเฉลี่ย = $(d_2+d_3+d_4+d_5+d_6+d_7+d_8+d_9+d_{10})/9$

= (1.85+3.21+4.20+4.95+4.63+3.39+2.56+1.71+0.85)/9

= (27.35)/9

= 3.04

ค่าความโค้ง = ค่าระยะทางสูงสุด - ค่าระยะทางเฉลี่ย

= 4.95 – 3.04

= 1.91

ดังนั้นถ้าค่าความโค้งมากกว่า Curve threshold จะกำหนดให้เป็นเส้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การปรับโค้งผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดน้อยที่สุด

(Least Squares Curve Fitting) [10]

วิธีลีสท์สแควร์ของฟังก์ชั่นที่เราประมาณขึ้นมาเพื่อต้องการปรับโค้งให้พอเหมาะกับข้อมูล จากการทดลองแล้วนำค่าสัมประสิทธิ์จากการปรับโค้งด้วยเส้นตรงมาใช้ในการพิจารณาลักษณะของเส้นตรง และนำค่าสัมประสิทธิ์จากการปรับโค้งด้วยพาราโบลามาใช้ในการพิจารณาลักษณะของเส้นโค้ง เพื่อทำการเข้ารหัสของลายเส้นซึ่งสามารถที่จะใช้โพลิโนเมียลการหาค่าแทรกองศาที่n เป็นขั้นๆ (Piecewise Polynomail)นั้น คือ การปรับโพลิโนเมียลองศาต่ำกว่าผ่านเซตย่อยของจุดข้อมูล โดยไม่จำเป็นต้อง match กับค่าของฟังก์ชั่นจริงที่ทุกจุดของ x_i เพียงแต่ให้ค่าที่ประมาณมีค่าเบี่ยงเบน (residual) จากค่าของฟังก์ชั่นจริงน้อยที่สุดเท่านั้น หลักการของวิธีลีสท์สแควร์ ก็คือ จะเลือกค่าสัมประสิทธิ์ของโพลิโนเมียล $P(x_i)$ ที่ทำให้ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุด เพื่อทำให้ได้ค่าประมาณที่ดีที่สุด ในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้การปรับโค้งด้วยเส้นตรง, การปรับโค้งด้วยพาราโบลาดังนี้

1. การปรับโค้งด้วยเส้นตรง (least squares linear)

ในภาพที่ 3.5 และตารางที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อกำหนดข้อมูล ให้ n ชุด คือ (x_i,y_i) ;i=1,2,3,..,n เราจะประมาณฟังก์ชัน $y = F(x_i)$ ของข้อมูลในช่วงจาก x_1 ถึง x_n ด้วยโพลิโนเมียลออร์เดอร์ 1 ได้จากสมการคือ

$$F(x_i) = k_o+k_1x_i \tag{3.8}$$

เนื่องจากความผิดพลาดหรือค่าเบี่ยงเบนเป็นผลต่างระหว่างค่าของ y_i ที่เป็นค่าสังเกตกับค่าที่เกิดจากการคำนวณของโพลิโนเมียลองศาที่ 1 ดังนั้นผลบวกของค่าเบี่ยงเบนกำลังสองหาได้จากสมการ

$$e = \sum_{i=1}^{n}\left[y_i - F(x_i)\right]^2 \tag{3.9}$$

หาค่า k_oและ k_1 ที่ทำให้ $e(k_0,k_1)$ มีค่าน้อยที่สุดได้ โดยการเดอริเวทีฟย่อยของ $e(k_0,k_1)$ เทียบกับพารามิเตอร์แต่ละตัวให้เท่ากับศูนย์ดังนี้

$$\frac{\partial e}{\partial k_0} = -2\sum_{i=1}^{n}\left[y_i - (k_0 + k_1x_i)\right] = 0 \tag{3.10}$$

$$\frac{\partial e}{\partial k_1} = -2\sum_{i=1}^{n}x_i\left[y_i - (k_0 + k_1x_i)\right] = 0 \tag{3.11}$$

เมื่อหาผลบวกของค่าเบี่ยงเบนกำลังสองแล้ว ให้จัดเทอมใหม่จะได้สมการทั้งสองคือ

$$nk_0 + k_1\sum_{i=1}^{n}x_i = \sum_{i=1}^{n}y_i \tag{3.12}$$

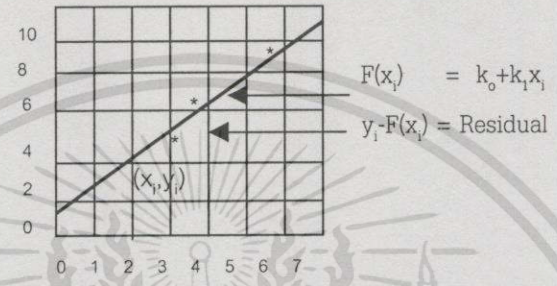
$$k_0\sum_{i=1}^{n}x_i + k_1\sum_{i=1}^{n}x_i^{\,2} = \sum_{i=1}^{n}x_iy_i \tag{3.13}$$

หาค่า k_o และ k_1 ได้จากสมการ (3.12) และ(3.13) โดย Gaussian Elimination ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k_0 = \bar{y} - \bar{x}k_1 \qquad (3.14)$$

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{\left[\sum_{i=1}^{n} x_i\right]^2 - n\sum_{i=1}^{n} x_i^2} \qquad (3.15)$$



ภาพที่ 3.5 แสดงการปรับโค้งด้วยเส้นตรงผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดน้อยที่สุด

ตารางที่ 3.6 แสดงข้อมูลเส้นตรงในลักษณะแนวเฉียงซ้ายที่มีการปรับโค้ง

$F(x)=228.5618-1.0320x_i$

ข้อมูล Smooth (x_i,y_i)			
i	x	y	F(x)
1	105.25	120.75	119.9
2	102.81	123.19	122.5
3	97.70	126.79	127.7
4	93.43	131.44	132.1
5	90.86	134.86	134.8
6	87.96	137.97	137.8
7	82.74	142.49	143.2
8	78.43	146.62	147.6
9	75.11	150.60	151.0
10	72.03	154.66	154.2
11	71.26	156.42	155.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การปรับโค้งด้วยพาราโบลา (Least Square non-linear)

ในภาพที่ 3.6 และตารางที่3.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อกำหนดข้อมูลให้ n ชุด คือ (x_i,y_i) ;i=1,2,3,...n เราจะประมาณฟังก์ชั่น $y = F(x_i)$ ด้วยโพลิโนเมียลออร์เดอร์ 2 ได้จากสมการ

$$F(x_i) = k_o+k_1x_i+k_2x_i^2 \tag{3.16}$$

เนื่องจากความผิดพลาด หรือค่าเบี่ยงเบนที่เป็นผลต่างระหว่างค่า y_i ซึ่งเป็นค่าสังเกตกับค่าที่เกิดจากการคำนวณของโพลิโนเมียลองศาที่ 2 ดังนั้นผลบวกของความเบี่ยงเบนกำลังสองหาได้จากสมการ

$$e(k_0,k_1,k_2) = \sum_{i=1}^{n}\left[y_i - F_i(x_i)\right] \tag{3.17}$$

ดังนั้นจึงสามารถหาค่าของ k_o, k_1 และ k_2 ที่ทำให้ $e(k_o,k_1,k_2)$ มีค่าน้อยที่สุดโดยการเดอริเวทีฟย่อยของ e(ko,k1,k2) เทียบกับพารามิเตอร์ในแต่ละตัวอักษรแล้วให้เท่ากับศูนย์ดังนี้

$$\frac{\partial e}{\partial k_0} = \sum_{i=1}^{n} 2(k_0 + k_1x_i + k_2x_i^2 - y_i) = 0 \tag{3.18}$$

$$\frac{\partial e}{\partial k_1} = \sum_{i=1}^{n} 2x_i(k_0 + k_1x_i + k_2x_i^2 - y_i) = 0 \tag{3.19}$$

$$\frac{\partial e}{\partial k_2} = \sum_{i=1}^{n} 2x_i^2(k_0 + k_1x_i + k_2x_i^2 - y_i) = 0 \tag{3.20}$$

เมื่อหาผลบวกของค่าเบี่ยงเบนกำลังสองแล้ว ให้จัดเทอมเสียใหม่จะได้สมการทั้งสามคือ

$$k_0n + k_1\sum_{i=1}^{n}x_i + k_2\sum_{i=1}^{n}x_i^2 = \sum_{i=1}^{n}y_i \tag{3.21}$$

$$k_0\sum_{i=1}^{n}x_i + k_1\sum_{i=1}^{n}x_i^2 + k_2\sum_{i=1}^{n}x_i^3 = \sum_{i=1}^{n}x_iy_i \tag{3.22}$$

$$k_0\sum_{i=1}^{n}x_i^2 + k_1\sum_{i=1}^{n}x_i^3 + k_2\sum_{i=1}^{n}x_i^4 = \sum_{i=1}^{n}x_i^2y_i \tag{3.23}$$

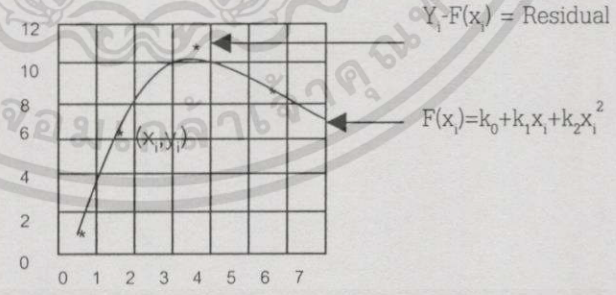
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า k_0, k_1 และk_2 ได้จากการแก้สมการ (3.21),(3.22) และ (3.23) โดย Gaussian Elimination ดังนี้

$$k_0 = (\bar{y}_i - \bar{x}_i k_1) - \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 k_2}{n} \qquad (3.24)$$

$$k_1 = \frac{(\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \bar{y}_i) - k_2(\sum_{i=1}^{n} x_i^3 - \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \bar{x}_i)}{\sum_{i=2}^{n} x_i^2 - \sum_{i=1}^{n} x_i \bar{x}_i} \qquad (3.25)$$

$$k_2 = \frac{(\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \sum_{i=1}^{n} x_i \bar{x}_i)(\sum_{i=1}^{n} x_i^2 y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \bar{y}_i) - (\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \bar{y}_i)(\sum_{i=1}^{n} x_i^3 - \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \bar{x}_i)}{(\sum_{i=1}^{n} x_i^4 - \frac{(\sum_{i=1}^{n} x_i^2)^2}{n})(\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \sum_{i=1}^{n} x_i \bar{x}_i) - (\sum_{i=1}^{n} x_i^3 - \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \bar{x}_i)^2} \qquad (3.26)$$



ภาพที่ 3.6 แสดงการปรับโค้งด้วยพาราโบลาผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 แสดงข้อมูลเส้นโค้งในลักษณะทวนเข็มนาฬิกาที่มีการปรับโค้ง

$F(x)=359.0652-5.421805x_i+0.03139387x_i^2$

ข้อมูล Smooth (x_i,y_i)			
i	x	y	F(x)
1	90.50	125	125.5
2	85.63	125.75	124.9
3	81.41	126.69	125.8
4	76.60	128.42	128.0
5	73.15	129.61	130.6
6	70.79	131.40	132.6
7	68.69	134.10	134.9
8	66.67	136.28	137.1
9	66.17	137.57	137.8
10	66.04	138.64	137.9
11	66.01	139.65	138.0

3.2.3 ลักษณะความสัมพันธ์ของลายเส้น

จากการประมาณคุณลักษณะความโค้ง และการปรับโค้งผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดน้อยที่สุดที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น สามารถนำมาใช้เป็นลักษณะความสัมพันธ์ของลายเส้น เพื่อจะนำมาแทนด้วยสัญลักษณ์ลักษณะลายเส้นต่างๆ ในการประกอบอักษรคัดลายมือ และจะแทนด้วยข้อมูลฐาน 16 เก็บไว้ในพจนานุกรมต่อไป ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาลายเส้นเพื่อตัดสินใจว่าเป็นเส้นตรง หรือเส้นโค้ง จากนั้นก็จะใช้สมการเส้นตรงผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดน้อยที่สุด เพื่อตัดสินใจลักษณะของเส้นตรงด้วยเครื่องหมายสัมประสิทธิ์ k_0 และ k_1 ว่ามีลักษณะความแตกต่างอย่างไร โดยมีระยะตำแหน่ง x ,y และค่าพิกัดศูนย์กลางกับค่ารัศมีของโหนด (ni)ใดๆ คือ h ,k และ r ในการกำหนดสัญลักษณ์ลายเส้นตรง และจะใช้สมการเส้นโค้งผลบวกกำลังสองน้อยที่สุด เพื่อตัดสินใจว่าลักษณะเส้นโค้งด้วยเครื่องหมายสัมประสิทธิ์ k_0 ,k_1 และ k_2 ว่ามีลักษณะความแตกต่างอย่างไร โดยจะแทนความแตกต่างลักษณะความสัมพันธ์ของเส้นตรง และเส้นโค้งด้วยสัญลักษณ์ต่างๆตามตารางข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 แสดงสัญลักษณ์ของเส้นตรงในลักษณะแนวตั้ง,นอน,เฉียงขวา และเฉียงซ้าย

สัมประสิทธิ์เส้นตรง		ระยะตำแหน่ง x และ y				สัญลักษณ์ลายเส้นตรง
k_0	k_1	ตำแหน่งเริ่มต้น		ตำแหน่งสุดท้าย		
$k_0<0$ or $k_0>0$	$65^\circ<k_1<115^\circ$	-	-	-	y>185	VT
$k_0<0$ or $k_0>0$	$245^\circ<k_1<295^\circ$	-	-	-	y<165	VT
$k_0<0$ or $k_0>0$	$335^\circ<k_1<25^\circ$	-	-	x>120	-	HZ
$k_0<0$ or $k_0>0$	$25^\circ<k_1<65^\circ$	-	-	x>150	y>185	RT
$k_0<0$ or $k_0>0$	$115^\circ<k_1<155^\circ$	-	-	x<70	y>185	LT
$k_0<0$ or $k_0>0$	$65^\circ<k_1<115^\circ$ $245^\circ<k_1<295^\circ$	h-r<x<h+r	k-r<y<k+r	h-r<x<h+r	k-r<y<k+r	ST
$k_0<0$ or $k_0>0$	$335^\circ<k_1<25^\circ$	h-r<x<h+r	k-r<y<k+r	h-r<x<h+r	k-r<y<k+r	ST
$k_0<0$ or $k_0>0$	$25^\circ<k_1<65^\circ$	h-r<x<h+r	k-r<y<k+r	h-r<x<h+r	k-r<y<k+r	ST
$k_0<0$ or $k_0>0$	$115^\circ<k_1<155^\circ$	h-r<x<h+r	k-r<y<k+r	h-r<x<h+r	k-r<y<k+r	ST

ตารางที่ 3.9 แสดงสัญลักษณ์ของเส้นตรงในลักษณะมุมมะแลง และขอเกี่ยว

สัมประสิทธิ์เส้นตรง			ผลคูณของ slope	สัญลักษณ์ลายเส้นตรง
slope	k_0	k_1		
$115^\circ<slope<155^\circ$	$k_0<0$ or $k_0>0$	$25^\circ<k_1<65^\circ$	$slope*k_1<0$	WLT
$295^\circ<slope<335^\circ$	$k_0<0$ or $k_0>0$	$25^\circ<k_1<65^\circ$	$slope*k_1<0$	WUP
$25^\circ<slope<65^\circ$	$k_0<0$ or $k_0>0$	$295^\circ<k_1<335^\circ$	$slope*k_1<0$	WDN
$335^\circ<slope<25^\circ$	$k_0<0$ or $k_0>0$	$65^\circ<k_1<115^\circ$	$slope*k_1<0$	HK

ตารางที่ 3.10 แสดงสัญลักษณ์ของเส้นโค้งในลักษณะทวน และตามเข็มนาฬิกา

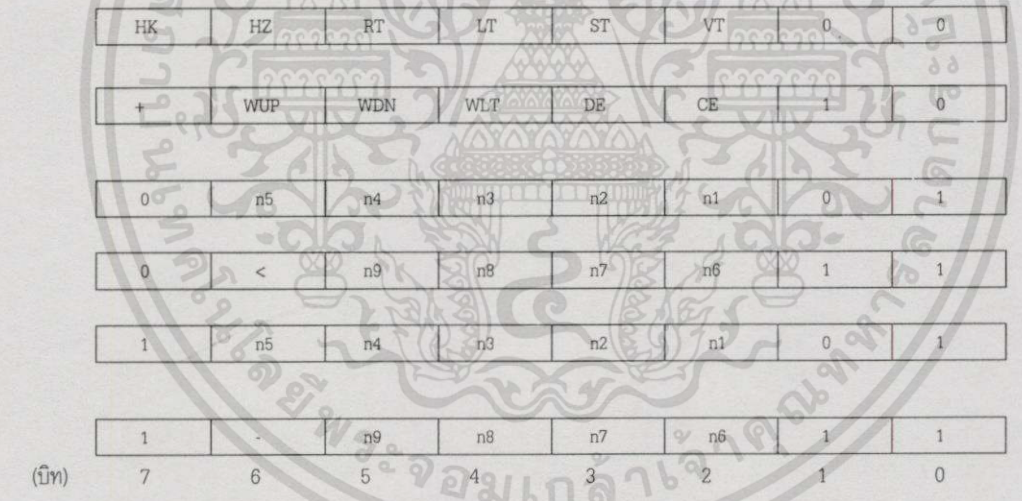
สัมประสิทธิ์เส้นโค้ง			ทิศทางการเปลี่ยนแปลงตามแนวแกน x และ y		สัญลักษณ์ลายเส้นโค้ง
k_0	k_1	k_2	x	y	
$k_0<0$ or $k_0>0$	$k_1>0$	$k_2<0$	x>0	y>0	CE
$k_0<0$ or $k_0>0$	$k_1>0$	$k_2<0$	x>0	y<0	CE
$k_0<0$ or $k_0>0$	$k_1<0$	$k_2>0$	x<0	y<0	CE
$k_0<0$ or $k_0>0$	$k_1<0$	$k_2>0$	x<0	y>0	CE
$k_0<0$ or $k_0>0$	$k_1<0$	$k_2>0$	x>0	y>0	DE
$k_0<0$ or $k_0>0$	$k_1<0$	$k_2>0$	x>0	y<0	DE
$k_0<0$ or $k_0>0$	$k_1>0$	$k_2<0$	x<0	y<0	DE
$k_0<0$ or $k_0>0$	$k_1>0$	$k_2<0$	x<0	y>0	DE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4. พจนานุกรมรู้จำอักษรคัดลายมือ

พจนานุกรมเป็นส่วนหนึ่งของระบบการรู้จำอักษรคัดลายมือ เพราะใช้เก็บคุณสมบัติของรูปแบบอักษรคัดลายมือภาษาไทย ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็ก และตัวเลขอราบิคแต่ละตัวตามลักษณะโครงสร้างแบบอาเรย์ไว้เป็นมาตรฐาน เพื่อความรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูล และการค้นหา เนื่องจากเป็นระบบการรู้จำอักษรคัดลายมือแบบออนไลน์ โดยระบบรู้จำอักษรคัดลายมือสามารถนำคุณสมบัติที่ได้รับจากการป้อนข้อมูลอินพุทมาเปรียบเทียบกัน เพื่อให้วิเคราะห์ได้ว่าเป็นตัวอักษรอะไร การสร้างพจนานุกรมต้องอาศัยการวิเคราะห์ที่สามารถแยกความแตกต่างของอักษรคัดลายมือแต่ละตัวไว้เป็นมาตรฐานนำมาเก็บเป็นไฟล์ต่างหาก โดยแยกออกจากส่วนของโปรแกรม เพื่อความสะดวกในการพัฒนาวิทยานิพนธ์ หากมีการปรับปรุงแก้ไขส่วนของโปรแกรมก็สามารถทำได้โดยไม่ต้องมีผลกระทบต่อพจนานุกรมรู้อักษรคัดลายมือ พจนานุกรมรู้จำอักษรคัดลายมือภาษาไทย ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็ก และตัวเลขอราบิคที่สร้างขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้ข้อมูลเลขฐาน 16 เก็บคุณสมบัติของอักษรคัดลายมือเพื่อประหยัดเนื้อที่ในหน่วยความจำ

การสร้างพจนานุกรมรู้จำอักษรคัดลายมือ จะกำหนดเงื่อนไขแทนสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้น และโหนดต่างๆด้วยข้อมูลเลขฐาน 16 ขนาด 1 ไบท์ ซึ่งแสดงให้เห็นในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แสดงการแทนสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้น และโหนดต่างๆด้วยข้อมูล 1 ไบท์

1 แทนสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นคือVT , ST , LT , RT , HZ , HK , CE , DE, WLT , WDN,WUP และ สัญลักษณ์แสดงการเชื่อมต่อ(+) โดยให้

บิท 0 เป็น '0' หมายถึง แทนสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้น

ถ้า บิท 1 เป็น '0' และให้แต่ละบิทถูกแทนด้วย HK, HZ, RT, LT, ST ,VT

เงื่อนไข บิทใดถูกเซตเป็น '1' ส่วนบิทอื่นที่เหลือ เป็น '0' ก็จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 ที่แทนสัญลักษณ์ความสัมพันธ์ลายเส้นของบิทที่เป็น '1' เช่น บิท 2 ถูกแทนด้วย VTเซตเป็น'1' บิทอื่นที่เหลือ เป็น '0' จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 เป็น 04h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	0	0	0	0	1	0	0

ถ้า บิท 1 เป็น '1' และให้แต่ละบิทถูกแทนด้วย WUP, WDN, WLT, DE ,CE ,เครื่องหมาย (+)

เงื่อนไข บิทใดถูกเซตเป็น '1' ส่วนบิทอื่นที่เหลือ เป็น'0' ก็จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 ที่แทนสัญลักษณ์ความสัมพันธ์ลายเส้นของบิทที่เป็น '1' เช่น บิท 2 ถูกแทนด้วย CE เซตเป็น '1' บิทอื่นที่เหลือเป็น '0' จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 เป็น 06h

0	0	0	0	0	1	1	0

2. แทนสัญลักษณ์ของโหนด (n_i) คือ n1 ,n2, n3, n4 ,n5 ,n6 ,n7, n8 ,n9,$\underline{n1}$,$\underline{n2}$,$\underline{n3}$, $\overline{n4}$,$\overline{n5}$,$\overline{n6}$,$\overline{n7}$,$\overline{n8}$,$\overline{n9}$,$\underline{n7}$,$\underline{n8}$,$\underline{n9}$ และ สัญลักษณ์แสดงส่วนของความยาว (<)

บิท 0 เป็น'1' หมายถึง แทนสัญลักษณ์ของโหนด (n_i) , เครื่องหมาย (<)

ถ้า บิท 1 เป็น '0' , บิท 7เป็น '0' และให้แต่ละบิทถูกแทนด้วย n5 , n4 , n3 ,n2 , n1

เงื่อนไข บิทใดถูกเซตเป็น '1' ส่วนบิทอื่นที่เหลือเป็น'0' ก็จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 ที่แทนสัญลักษณ์ลักษณะของโหนดบิทที่เป็น '1' เช่น บิท 2 ถูกแทนด้วย n1 เซตเป็น '1' บิทอื่นที่เหลือเป็น '0' จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 เป็น 05h

0	0	0	0	0	1	0	1

ถ้า บิท 1 เป็น '1' , บิท 7เป็น'0' และให้แต่ละบิทถูกแทนด้วย n9, n8,n7,n6 , เครื่องหมาย (<)

เงื่อนไข บิทใดถูกเซตเป็น '1'ส่วนบิทอื่นที่เหลือเป็น '0' ก็จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 ที่แทนสัญลักษณ์ของโหนดบิทที่เป็น '1' เช่น บิท 2 ถูกแทนด้วย n6 เซตเป็น '1'บิทอื่นที่เหลือเป็น '0'จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 เป็น 07h

0	0	0	0	0	1	1	1

ถ้า บิท 1 เป็น '0' , บิท 7เป็น '1' และให้แต่ละบิทถูกแทนด้วย $\overline{n5}$,$\overline{n4}$

เงื่อนไข บิทใดถูกเซตเป็น '1'ส่วนบิทอื่นที่เหลือเป็น '0'ก็จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 ที่แทนสัญลักษณ์ของโหนดบิทที่เป็น '1'เช่น บิท 6 ถูกแทนด้วย $\overline{n5}$ เซตเป็น '1'บิทอื่นที่เหลือเป็น'0' จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 เป็น C1h

1	1	0	0	0	0	0	1

ถ้า บิท 1 เป็น '0' ,บิท 7เป็น '1' และให้แต่ละบิทถูกแทนด้วย $\underline{n3}$, $\underline{n2}$, $\underline{n1}$

เงื่อนไข บิทใดถูกเซตเป็น '0' ส่วนบิทอื่นที่เหลือ เป็น'1' ก็จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 ที่แทนสัญลักษณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโหนดบิทที่เป็น'0'เช่น บิท2ถูกแทนด้วย$\underline{n}$1เซตเป็น'0'บิทอื่นเหลือเป็น'1'จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 เป็น F9h

1	1	1	1	1	0	0	1

ถ้า บิท 1 เป็น '1' , บิท 7 เป็น'1' และให้แต่ละบิทถูกแทนด้วย $\overline{n}$9 ,$\overline{n}$8,$\overline{n}$7 , $\overline{n}$6

เงื่อนไข บิทใดถูกเซตเป็น '1' ส่วนบิทอื่นที่เหลือเป็น'0' ก็จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16ที่แทนสัญลักษณ์ของโหนดบิทที่เป็น '1'เช่น บิท 5 ถูกแทนด้วย $\overline{n}$9 เซตเป็น '1' บิทอื่นที่เหลือเป็น'0'จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 เป็น A3h

1	0	1	0	0	0	1	1

ถ้า บิท 1 เป็น '1' , บิท 7เป็น'1' และให้แต่ละบิทถูกแทนด้วย $\underline{n}$9 ,$\underline{n}$8 ,$\underline{n}$7

เงื่อนไข บิทใดถูกเซตเป็น '0'ส่วนบิทอื่นที่เหลือเป็น '1'ก็จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16ที่แทนสัญลักษณ์ของโหนดบิทที่เป็น '0' เช่น บิท 5 ถูกแทนด้วย $\underline{n}$7เซตเป็น '0'บิทอื่นที่เหลือเป็น'1'จะได้ข้อมูลเลขฐาน 16 เป็น F7h

1	1	1	1	0	1	1	1

ในพจนานุกรมรู้จำอักษรคัดลายมือมีไบท์บอกสถานะตัวอักษรที่กำลังถูกเขียนอยู่ หรือไม่ใช่ตัวอักษรที่เขียนอยู่ในตำแหน่งอาเรย์สุดท้าย และให้ไบท์ที่สิ้นสุดการแทนข้อมูลเลขฐาน 16 มีค่าเป็น 0FFh ถ้าอักษรคัดลายมือนั้นถูกเขียนอยู่ให้ไบท์บอกสถานะมีค่าเป็น 0h แต่ถ้าอักษรคัดลายนั้นไม่ได้ถูกเขียน ให้ไบท์บอกสถานะมีค่าเป็น 0EEh ปกติไบท์บอกสถานะกำหนดให้มีค่าเป็น 0h ซึ่งแสดงให้เห็นในภาพที่ 3.8

04	21	82	0A	F9	ED	82	04	ED	FF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

04	09	82	0A	0B	41	FF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

06	09	0B	82	0A	0B	41	82	0A	41	0B	82	06	0B	09	FF	0	0

04	05	82	0A	05	0B	82	0A	0B	21	FF	0	0	0	0

ภาพที่ 3.8 แสดงพจนานุกรมของอักษรคัดลายมือ n , b , 8 และ B ในรูปข้อมูลเลขฐาน 16

ความหมายของสัญลักษณ์

\+ หมายถึง แทนการเชื่อมต่อ (concatenation)

< หมายถึง แทนส่วนของความยาว (segment length)

$\overline{n}$, $\underline{n}$ หมายถึง เหนือกว่าโหนดเล็กน้อย, ต่ำกว่าโหนดเล็กน้อย (slightly above,slightly below)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ความรู้สำหรับการรู้จำอักษรคัดลายมือ

แต่ละรูปแบบข้อมูลของตัวอักษรที่ แสดงให้เห็นนั้นเป็นลักษณะรูปแบบในเทอมรูปแบบย่อย ซึ่งแต่ละเทอมรูปแบบย่อยก็เป็นลักษณะในเทอมของรูปแบบย่อยอีกครั้ง โดยเฉพาะรูปแบบที่สร้างขึ้นด้วยการประกอบรูปแบบย่อยในแนวทางต่างกันตามหลักไวยากรณ์ ในขณะที่วลีและประโยคถูกสร้างขึ้นด้วยการต่อคำและคำถูกสร้างขึ้นโดยการต่อของตัวอักษร ซึ่งเรียกว่า รูปแบบเบื้องต้น(pattern primitives) และมีตัวดำเนินการประกอบในแต่ละตัวภายใต้รูปแบบที่ถูกกำหนดชื่อไว้แล้วถ้าเราเลือกการต่อกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นเพียงความสัมพันธ์ที่ใช้ในรูปแบบลักษณะเบื้องต้นเช่นถ้ามีสตริงaaabbcccdddก็จะใช้สัญลักษณ์ concatenation (+) แทนการเรียงต่อเนื่องไปเรื่อยๆจะได้สำหรับการต่อโดยมีรูปแบบ a+a+a+b+b+c+c+c+d+d ตามลำดับ ซึ่งเป็นรูปแบบเบื้องต้นที่คล้ายกันจากแนวทางนี้จึงอาศัยวิธีการหาโครงร่าง (SyntacticMethods) เพื่อที่จะให้ได้ความรู้ของรูปแบบเบื้องตามภาษารูปนัย (Formal languges) ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังนี้

3.3.1 หลักการของนาราซิมเฮน [6]

นาราซิมเฮนได้เสนอหลักการไวยากรณ์ในการสร้างตัวแปลภาษาอักษรขึ้นซึ่งถูกนิยามด้วย

$G = (V_T, Y, R, P, T)$

โดยกำหนดให้

G หมายถึง ไวยากรณ์

V_T หมายถึง ลักษณะเบื้องต้นของเซต

Y หมายถึง ลักษณะเฉพาะของเซต

R หมายถึง ความสัมพันธ์ของเซต

P หมายถึง หลักเกณฑ์การประกอบของเซต

T หมายถึง การเปลี่ยนรูปของเซต

การสร้างลักษณะเบื้องต้นของเซตด้วย V_T และ Y จะถูกกำหนดอย่างเหมาะสมถ้าให้โหนด ni และ nj เป็นลักษณะเฉพาะของเซต และให้ $r \in R$ เป็นความสัมพันธ์ทวิภาคที่ถูกจำกัดเซตย่อยบางเซตด้วยค่าลักษณะเฉพาะของเซต โหนด ni และ nj ซึ่ง r(ni,nj) เป็นรูปแบบ A ที่ประกอบด้วยลักษณะเฉพาะของเซตโหนด ni และ nj โดยที่มีความสัมพันธ์ ด้วย r เมื่อ

$A \rightarrow r(ni,nj)$

โดยที่ A หมายถึง รูปแบบหรือลักษณะเบื้องต้นอย่างใดอย่างหนึ่ง

เช่น อักษร $C \rightarrow CE(n3,n6)$ เป็นต้น

จากภาพที่ 3.9 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นระหว่าง ni กับ nj ของอักษรคัดลายมือชนิดต่างๆและกรอบพื้นฐานของขอบเขตลักษณะเบื้องต้นโดยบริเวณเซตของการต่อโหนด สามารถพิจารณาที่โค้งนูน และขนาดของขอบเซต คือจำนวนโหนดที่อยู่ในกรอบพื้นฐาน อย่างน้อยที่สุด 1 โหนด โดยปกติแล้วจะมากกว่า ในภาพที่ 2.2 และ 2.3 ได้กำหนดชื่อโหนดด้วย โหนด1(n1), โหนด2 (n2), โหนด3(n3), โหนด4(n4), โหนด5(n5), โหนด6(n6), โหนด7(n7), โหนด8(n8) และโหนด9(n9) สำหรับกรอบพื้นฐานอักษรคัดลายมือภาษาไทยและโหนด1(n1), โหนด2(n2), โหนด3(n3), โหนด4(n4), โหนด5(n5), โหนด6(n6),โหนด7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(n7) สำหรับกรอบพื้นฐานอักษรคัดลายมือภาษาอังกฤษ และตัวเลขอราบิคสามารถที่จะกำหนดความสัมพันธ์ของprimitiveในแต่ละส่วนของลายเส้นที่บริเวณแตกต่างกันซึ่งได้สรุปและอธิบายด้วยภาพประกอบดังนี้

VT (ni) หมายถึง เส้นตรงที่ลากผ่าน ni ในแนวตั้ง

HZ (ni) หมายถึงเส้นตรงที่ลากผ่าน ni ในแนวนอน

RT (ni) , $i \neq 7$ หมายถึง เส้นตรงที่ลากผ่าน ni ไปยังขอบขวาสุดของกรอบในแนวเฉียง

LT (ni) , $i \neq 7$ หมายถึง เส้นตรงที่ลากผ่าน ni ไปยังขอบซ้ายสุดของกรอบในแนวเฉียง

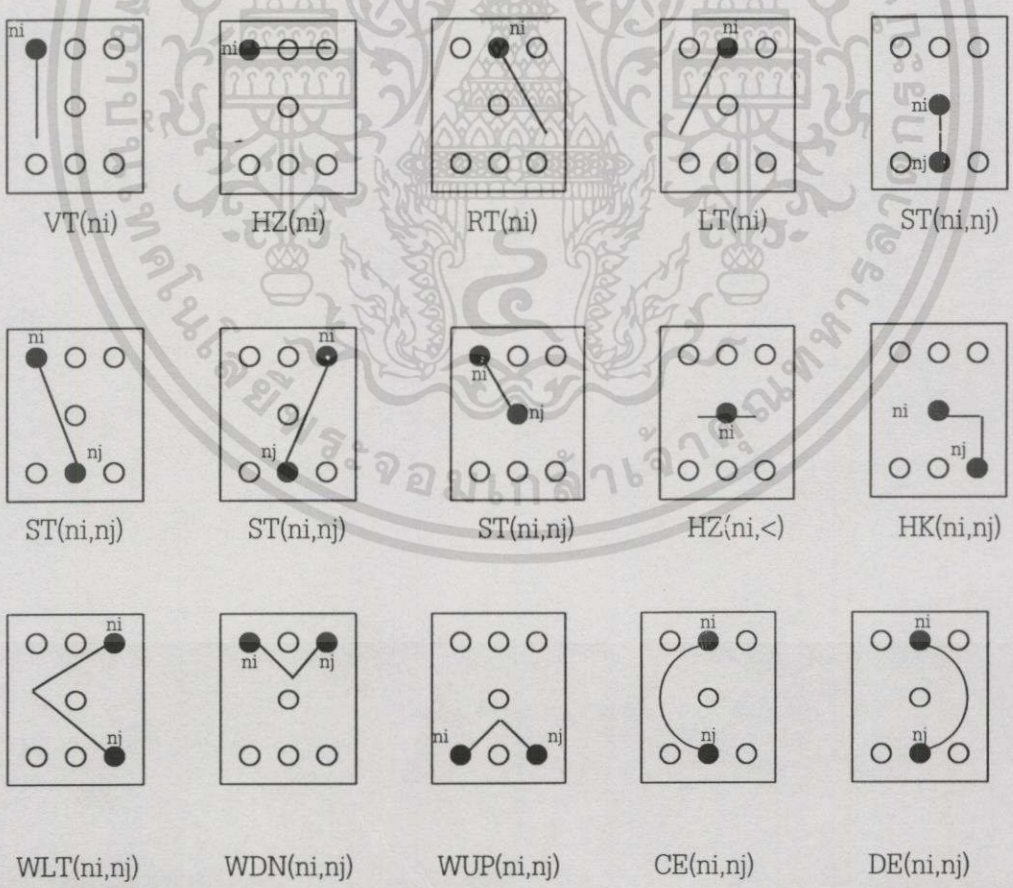
ST (ni,nj) หมายถึง เส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่าง ni กับ njในแนวเฉียงหรือ เส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่าง ni กับ nj ในแนวตั้งด้านบน หรือในแนวตั้งด้านล่างของกรอบ

CE (ni, nj) หมายถึง เส้นโค้งที่ลากผ่าน ni กับ nj ในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา

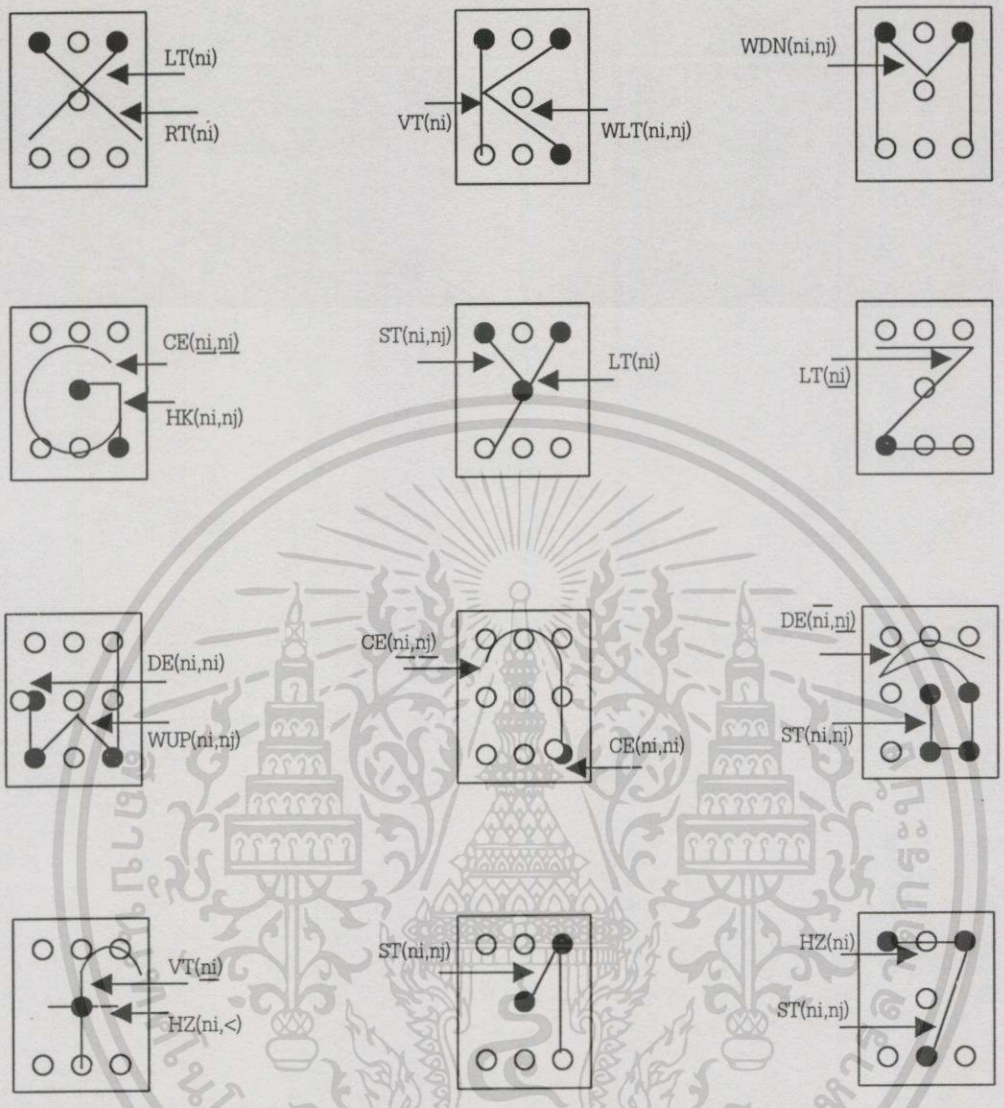
DE (ni, nj) หมายถึง เส้นโค้งที่ลากผ่าน ni กับ nj ในลักษณะตามเข็มนาฬิกา

Wα (ni, nj) α = LT, RT, UP, DN หมายถึง เส้นตรงที่ลากผ่าน n_i กับ n_j ด้านซ้าย, ด้านขวา, คว่ำ, และหงายในลักษณะมุมมะแลง

HK หมายถึง เส้นตรงที่ลากผ่าน ni กับ nj ในแนวตั้งฉากขอเกี่ยว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 แสดงตัวอย่างลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นระหว่าง ni กับ nj ของอักษรคัดลายมือ

3.3.2 ไวยากรณ์ปลอดบริบท [12]

การศึกษาภาษารูปนัยในปัจจุบันสืบเนื่องมาจากแนวความคิดของนักภาษาศาสตร์ชาวอเมริกัน Noamchomsky ในปี 1950 เกี่ยวกับการใช้กฎเกณฑ์เชิงคณิตศาสตร์กับโครงสร้างของภาษาธรรมชาติ จึงเกิดไวยากรณ์ ซึ่งสร้างประโยคที่ถูกต้องตามกฎเกณฑ์ของแต่ละภาษาโดยไม่ต้องคำนึงถึงเนื้อหาของประโยคเรียกว่าไวยากรณ์ปลอดบริบท ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นตามไวยากรณ์ของ Chomsky

ไวยากรณ์ปลอดบริบท เป็นไวยากรณ์ที่ใช้ประโยชน์มาก เพราะมีกฎการสร้างที่ชัดเจนแน่นอนอันเนื่องมาจากความจริงที่ว่า ข้างซ้ายของแต่ละกฎการสร้างเป็นคำรอ (Nonterminal) ที่แน่นอนเพียงคำ 1 คำเท่านั้น การสร้างสตริงโดย แต่ละกฎจึงเป็นไปได้อย่างแน่นอนไม่กำกวม สตริงที่ก่อกำเนิดจากไวยากรณ์ปลอดบริบทนี้คือ ภาษาโปรแกรม นิยามไวยากรณ์ G ของภาษาโปรแกรมใดๆ มีองค์ประกอบสำคัญคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$G = (V_T, V_n, P, S)$

โดยกำหนดให้

V_T เท่ากับเซตของคำยุติ(Terminal)ซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่อกันอย่างเหมาะสมของสตริงอักษร a,b,c,.....

V_n เท่ากับเซตของคำรอยุติ (Nonterminal) เป็นคำที่ต้องแทนที่โดยคำยุติจากV_Tอันโอกาสอันสมควร

S เท่ากับคำรอยุติที่แน่นอน 1 คำ ที่เลือกสรรจาก V_n หรือใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการใช้กฎแทนที่ หรือกฎการสร้างต่อไป

P เท่ากับเซตของกฎการสร้างสตริงในภาษามักเขียนในรูป $A \rightarrow \beta$

Λ เท่ากับ สตริงว่างเปล่า

จากความจริงที่ว่าเราสามารถแทน A ด้วย β โดยไม่คำนึงถึงว่า A จะอยู่ที่ใด ซึ่ง A เป็นสตริงของอักษรใน $V_T \cup A$ ที่มีอักษรใน A อย่างน้อย 1 ตัว และ $\beta \in (V_T \cup A)$ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าภาษาไวยากรณ์ G ก็คือ $L(G) = \{ \beta / \beta \in V_T^* \text{ และ } S \overset{*}{\rightarrow} \beta \}$ เมื่อ S คือสัญลักษณ์เริ่มต้นของไวยากรณ์ G โดยทั่วไปแล้วมักใช้อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่แทนสัญลักษณ์คำรอยุติ และใช้อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กแทนสัญลักษณ์คำยุติ หรือพิจารณาในรูป

One nonterminal→ Finite String of terminal and/or nonterminal โดยที่สตริงของเทอร์มินอลและนอนเทอร์มินอลประกอบด้วยเพียงเทอร์มินอล หรือนอนเทอร์มินอลอย่างหนึ่งอย่างใด หรือรวมเทอร์มินอล และนอนเทอร์มินอลเข้าด้วยกัน ถ้าหากเราพิจารณาไวยากรณ์ของอักษร Z แล้ว$G = (V_T, V_n, P, S)$ โดยที่ $V_n = \{ S, A, B, C \}$,$V_T = \{a, d\}$ และมีกฎการสร้าง $P = \{S \rightarrow A, S \rightarrow a+A, A \rightarrow B, B \rightarrow d+B, B \rightarrow C, C \rightarrow a+C, C \rightarrow \Lambda\}$ ดังนั้น ไวยากรณ์ (G) ที่ประกอบด้วยสตริงของตัวอักษรต่างๆ มีขั้นตอนการผลิตดังนี้

$S \Rightarrow A$

$S \Rightarrow a+A$

$S \Rightarrow a+a+A$

$S \Rightarrow a+a+B$

$S \Rightarrow a+a+d+B$

$S \Rightarrow a+a+d+d+B$

$S \Rightarrow a+a+d+d+C$

$S \Rightarrow a+a+d+d+a+C$

$S \Rightarrow a+a+d+d+a+a+C \Rightarrow a+a+d+d+a+a$

โดยที่สัญลักษณ์ + แทนการเชื่อมต่อ

จะเห็นได้ว่าสตริงโดยทั่วไปในไวยากรณ์ (G) จะมีลักษณะเป็นสตริงของ a เรียงต่อด้วยสตริงของ d ที่มีความยาวเท่ากัน ดังนั้น Context Free Grammar จึงหมายถึงการแทนที่สัญลักษณ์รอยุติแต่ละครั้งทำได้โดยอิสระไม่ขึ้นกับส่วนอื่นของสตริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การสร้างความรู้อักษรคัดลายมือ

ในไวยากรณ์(G)ของภาษาโปรแกรมที่ให้แก่องค์ประกอบของภาษานำมาเชื่อมต่อกันโดยอาศัยสัญลักษณ์ของลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นเบื้องต้นตามหลักการของนาราซิมเฮน ที่สามารถนำมาประกอบสร้างความรู้อักษรคัดลายมือ ซึ่งกำหนดให้มีการแทนทิศทางของเส้นตรง,เส้นโค้ง, การเชื่อมต่อกันและ สตริงว่างเปล่าด้วยสัญลักษณ์เครื่องหมายสตริงต่างๆ จะแสดงให้เห็นตามตัวอย่างดังนี้

กำหนด Notation ดังนี้

Λ : สตริงว่างเปล่า

\+ : การเชื่อมต่อ

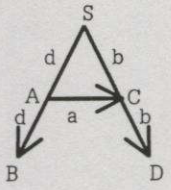
→ : ข้อกำหนด

⇒ : การแทนที่

| : หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการสร้างความรู้อักษรคัดลายมือ



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C,D}, V_T={ a,b,d } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→d+A | d , A→B+S , B→d+B | d , S→C , C→b+C | b , C→D , D→b+D | b , D→A, A→C ,C→a+C | a }

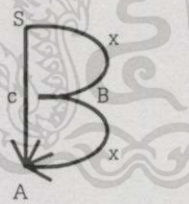
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒d+A⇒d+B+S⇒d+d+C⇒d+d+b+C⇒d+d+b+D⇒d+d+b+b+D⇒d+d+b+b+A⇒d+d+b+b+C⇒d+d+b+b+a+C⇒d+d+b+b+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→A , d+d→LT(n2) , b+b→RT(n2) , a+a→HZ(n7,<)

A⇒LT(n2)+RT(n2)+HZ(n7,<)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ c,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A+S , A→c+A | c , S→B , B→x+B | x , B→A , A→x+A | x }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

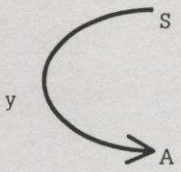
S⇒A+S⇒c+A+S⇒c+c+S⇒c+c+B⇒c+c+x+B⇒c+c+x+x+B⇒c+c+x+x+A⇒c+c+x+x+x+A⇒c+c+x+x+x+x

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→B , c+c→VT(n2) x+x→DE(n2,n7) , x+x→DE(n7,n4)

B⇒VT(n1)+DE(n1,n7)+DE(n7,n4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A}, V_T={ y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→y+A | y , A→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒y+A⇒y+y+A⇒y+y

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→C , y+y→CE(n3,n6)

C⇒CE(n3,n6)

ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A}, V_T={ c,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A | c , A→x+A | x }

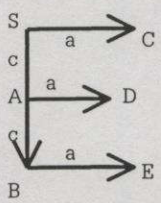
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+x+A⇒c+c+x+x

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→D , c+c→VT(n1) , x+x→DE(n1,n4)

D⇒VT(n1)+DE(n1,n4)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C,D,E}, V_T={ a,c } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A | c , A→B+S , B→c+B | c , S→C , C→a+C ,C→A , A→D , D→a+D , D→B , B→E , E→a+E | Λ }

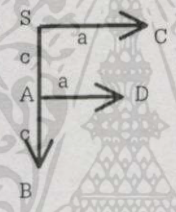
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+B+S⇒c+c+S⇒c+c+C⇒c+c+a+C⇒c+c+a+a+C⇒c+c+a+a+A⇒c+c+a+a+D⇒c+c+a+a+a+D⇒c+c+a+a+a+a+D⇒c+c+a+a+a+a+B⇒c+c+a+a+a+a+E⇒c+c+a+a+a+a+a+E⇒c+c+a+a+a+a+a+a+E⇒c+c+a+a+a+a+a+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→E , c+c→VT(n1) , a+a→HZ(n1) , a+a→HZ(n7,<) , a+a→HZ(n4)

E⇒VT(n1)+HZ(n1)+HZ(n7,<)+HZ(n4)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C,D}, V_T={ a,c } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→c+A | c , A→B+S , B→c+B | c , S→C , C→a+C ,C→A , A→D ,D→a+D,D→Λ }

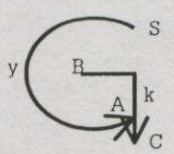
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+B+S⇒c+c+S⇒c+c+C⇒c+c+a+C⇒c+c+a+a+C⇒c+c+a+a+A⇒c+c+a+a+D⇒c+c+a+a+a+D⇒c+c+a+a+a+a+D⇒c+c+a+a+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→F , c+c→VT(n1) , a+a→HZ(n1) , a+a→HZ(n7,<)

F⇒VT(n1)+HZ(n1)+HZ(n7,<)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ k,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→y+A , A→B, B→k+C , C→Λ }

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

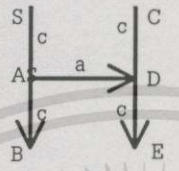
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒y+A⇒y+y+A⇒y+y+B⇒y+y+k+C⇒y+y+k

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→G , y+y→CE($\underline{n3}$,$\overline{n6}$) , k→HK(n7,n6)

G⇒CE($\underline{n3}$,$\overline{n6}$)+HK(n7,n6)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C,D,E}, V_T={ a,c } โดยมีกฎการสร้าง P={ S→A, A→c+A ,A→B ,B→c+B , B→C ,C→D , D→c+D , D→E , E→c+E , E→A , A→D , D→a+D | a }

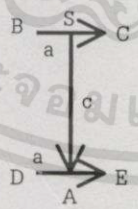
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+B⇒c+c+B⇒c+c+C⇒c+c+D⇒c+c+c+D⇒c+c+c+E⇒c+c+c+c+E⇒c+c+c+c+A⇒c+c+c+c+D⇒c+c+c+c+a+D⇒c+c+c+c+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→H , c+c→VT(n1) , c+c→VT(n3) , a+a→HZ(n7)

H⇒VT(n1)+VT(n3)+HZ(n7)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C,D,E}, V_T={ a,c } โดยมีกฎการสร้าง P={ S→A , A→c+A , A→B , B→C ,C→a+C | a, C→D , D→E , E→a+E , E→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

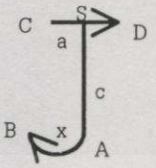
S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+B⇒c+c+C⇒c+c+a+C⇒c+c+c+a+a+C⇒c+c+a+a+D⇒c+c+a+a+E⇒c+c+a+a+a+E⇒c+c+a+a+a+a+E⇒c+c+a+a+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S→I, c+c→VT(n2) , a+a→HZ(n2,<) , a+a→HZ(n5,<)

I⇒VT(n2)+HZ(n2,<)+HZ(n5,<)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C,D}, V_T={ a,c,x} โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A , A→B , B→x+B , B→C ,C→D , D→a+D , D→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

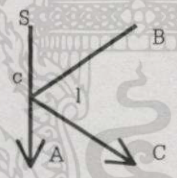
S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+B⇒c+c+x+B⇒c+c+x+x+B⇒c+c+x+x+C⇒c+c+x+x+D⇒

c+c+x+x+a+D⇒c+c+x+x+a+a+D⇒c+c+x+x+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→J, c+c→VT(n2) , x+x→DE($\overline{n5}$,$\overline{n4}$) , a+a→HZ(n2,<)

J⇒VT(n2)+DE($\overline{n5}$,$\overline{n4}$)+HZ(n2,<)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,l } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A , A→B , B→l+C ,C→Λ }

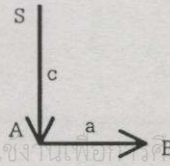
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+B⇒c+c+l+C⇒c+c+l

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→K, c+c→VT(n1) , l→WLT(n3,n6)

K⇒VT(n1)+WLT(n3,n6)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ a,c } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A , A→B , B→a+B ,B→Λ }

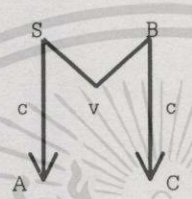
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+B⇒c+c+a+B⇒c+c+a+a+B⇒c+c+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→L, c+c→VT(n1) , a+a→HZ(n4)

L⇒VT(n1)+HZ(n4)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,v } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A+S , A→c+A | c, S→v+B , B→C ,C→c+C , C→Λ }

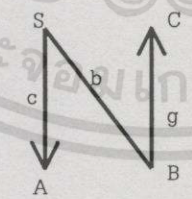
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A+S⇒c+A+S⇒c+c+S⇒c+c+v+B⇒c+c+v+C⇒c+c+v+c+C⇒c+c+v+c+c+C⇒c+c+v+c+c

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→M, c+c→VT(n1) , v→WDN(n1,n3) , c+c→VT(n3)

M⇒VT(n1)+WDN(n1,n3)+VT(n3)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,b,g } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A+S , A→c+A | c, S→B , B→b+B , B→C ,C→g+C , C→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A+S⇒c+A+S⇒c+c+S⇒c+c+B⇒c+c+b+B⇒c+c+b+b+B⇒c+c+b+b+C⇒c+c+b+b+g+C⇒

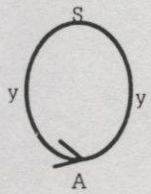
c+c+b+b+g+g+C⇒c+c+b+b+g+g

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S→N, c+c→VT(n1) , b+b→RT(n1) , g+g→VT(n6)

N⇒VT(n1)+RT(n1)+VT(n6)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A}, V_T={ y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→y+A , A→y+S | y }

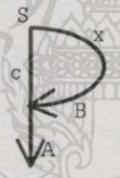
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒y+A⇒y+y+S⇒y+y+y+A⇒y+y+y+y

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→O, y+y→CE(n2,n5) , y+y→CE(n5,n2)

O⇒CE(n2,n5)+CE(n5,n2)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ c,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A+S , A→c+A | c , S→B , B→x+B | x }

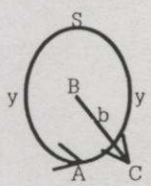
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A+S⇒c+A+S⇒c+c+S⇒c+c+B⇒c+c+x+B⇒c+c+x+x

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→P, c+c→VT(n1) , x+x→DE(n1,n7)

P⇒VT(n1)+DE(n1,n7)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ b,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→y+A , A→y+S | y ,S→B , B→C , C→b+C , C→Λ}

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

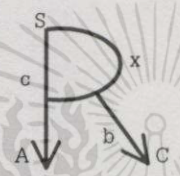
S⇒y+A⇒y+y+S⇒y+y+y+A⇒y+y+y+y+S⇒y+y+y+y+B⇒y+y+y+y+C⇒y+y+y+y+b+C⇒

y+y+y+y+b+b+C⇒y+y+y+y+b+b

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→Q, y+y→CE(n2,n5) , y+y→CE(n5,n2) ,b+b→ST(n7,n6)

Q⇒CE(n2,n5)+CE(n5,n2)+ST(n7,n6)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,b,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A+S , A→c+A | c , S→B , B→x+B | x , B→C , C→b+C , C→Λ}

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

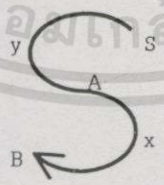
S⇒A+S⇒c+A+S⇒c+c+S⇒c+c+B⇒c+c+x+B⇒c+c+x+x+B⇒c+c+x+x+C⇒c+c+x+x+b+C⇒

c+c+x+x+b+b+C⇒c+c+x+x+b+b

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→R, c+c→VT(n1) , x+x→DE(n1,n7) , b+b→ST(n7,n6)

R⇒VT(n1)+DE(n1,n7)+ST(n7,n6)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ x,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→y+A , A→B , B→x+B , B→Λ}

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

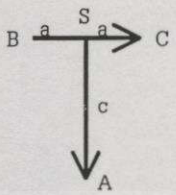
S⇒A⇒y+A⇒y+y+A⇒y+y+B⇒y+y+x+B⇒y+y+x+x+B⇒y+y+x+x

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S→S, y+y→CE(n3,n7) , x+x→DE(n7,n4)

S⇒CE(n3,n7)+DE(n7,n4)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ a,c } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A , A→B , B→C ,C→a+C , C→Λ }

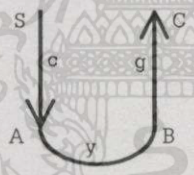
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+B⇒c+c+C⇒c+c+a+C⇒c+c+a+a+C⇒c+c+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→T, c+c→VT(n2) , a+a→HZ(n2)

T⇒VT(n2)+HZ(n2)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,g,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A , A→B , B→y+B , B→C ,C→g+C , C→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

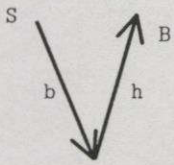
S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+B⇒c+c+y+B⇒c+c+y+y+B⇒c+c+y+y+C⇒c+c+y+y+g+C⇒

c+c+y+y+g+g+C⇒c+c+y+y+g+g

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→U, c+c→VT(n1) , y+y→CE(n4,n6) , g+g→VT(n6)

U⇒VT(n1)+CE(n4,n6)+VT(n6)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ b,h } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→b+A , A→B ,B→h+B , B→Λ }

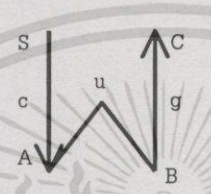
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒b+A⇒b+b+A⇒b+b+B⇒b+b+h+B⇒b+b+h+h+B⇒b+b+h+h

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→V, b+b→ST(n1,n5) , h+h→ST(n5,n3)

V⇒ST(n1,n5)+ST(n5,n3)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,g,u } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A , A→u+B ,B→C, C→g+C , C→Λ }

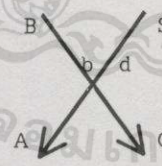
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+u+B⇒c+c+u+C⇒c+c+u+g+C⇒c+c+u+g+g+C⇒c+c+u+g+g

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→W, c+c→VT(n1) , u→WUP(n4,n6) , g+g→VT(n6)

W⇒VT(n1)+WUP(n4,n6)+VT(n6)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ b,d } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→d+A , A→B ,B→C, C→b+C , C→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

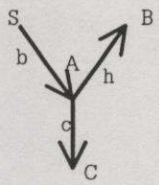
S⇒A⇒d+A⇒d+d+A⇒d+d+B⇒d+d+C⇒d+d+b+C⇒d+d+b+b+C⇒d+d+b+b

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→X, d+d→LT(n3) , b+b→RT(n1)

X⇒LT(n3)+RT(n1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ b,c,h } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→b+A , A→B ,B→h+B , B→A , A→C, C→c+C , C→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

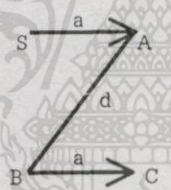
S⇒A⇒b+A⇒b+b+A⇒b+b+B⇒b+b+h+B⇒b+b+h+h+B⇒b+b+h+h+A⇒b+b+h+h+C⇒

b+b+h+h+c+C⇒b+b+h+h+c+c+C⇒b+b+h+h+c+c

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→Y, b+b→ST(n1,n7) , h+h→ST(n7,n3) , c+c→ST(n7,n5)

Y⇒ST(n1,n7)+ST(n7,n3)+ST(n7,n5)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ a,d } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→a+A , A→B ,B→d+B , B→C, C→a+C , C→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

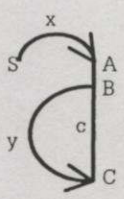
S⇒A⇒a+A⇒a+a+A⇒a+a+B⇒a+a+d+B⇒a+a+d+d+B⇒a+a+d+d+C⇒a+a+d+d+a+C⇒

a+a+d+d+a+a+C⇒a+a+d+d+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→Z, a+a→HZ(n1) , d+d→LT(n3) , a+a→HZ(n4)

Z⇒HZ(n1)+LT(n3)+HZ(n4)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวยากรณ์ $G = (V_T, V_N, P, S)$ โดยที่ $V_N = \{ S, A, B, C \}$, $V_T = \{ c, x, y \}$ โดยมีกฎการสร้าง

$P = \{ S \rightarrow A , A \rightarrow x+A , A \rightarrow c+B , B \rightarrow C , C \rightarrow c+C \mid c , C \rightarrow y+C \mid y \}$

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

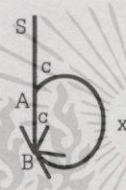
$S \Rightarrow A \Rightarrow x+A \Rightarrow x+x+A \Rightarrow x+x+c+B \Rightarrow x+x+c+C \Rightarrow x+x+c+c+C \Rightarrow x+x+c+c+y+C \Rightarrow$

$x+x+c+c+y+y+C \Rightarrow x+x+c+c+y+y$

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

$S \rightarrow a$, $x+x \rightarrow DE(\underline{n1}, \underline{n2})$, $c+c \rightarrow VT(\underline{n2})$, $y+y \rightarrow CE(\overline{n7}, n5)$

$a \Rightarrow DE(\underline{n1}, \underline{n2}) + VT(\underline{n2}) + CE(\overline{n7}, n5)$



ไวยากรณ์ $G = (V_T, V_N, P, S)$ โดยที่ $V_N = \{ S, A, B \}$, $V_T = \{ c, x \}$ โดยมีกฎการสร้าง

$P = \{ S \rightarrow A , A \rightarrow c+A , A \rightarrow B , B \rightarrow c+B \mid c , B \rightarrow x+B \mid x \}$

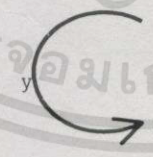
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

$S \Rightarrow A \Rightarrow c+A \Rightarrow c+B \Rightarrow c+c+B \Rightarrow c+c+x+B \Rightarrow c+c+x+x$

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

$S \rightarrow b$, $c+c \rightarrow VT(n2)$, $x+x \rightarrow DE(n7, n5)$

$b \Rightarrow VT(n2) + DE(n7, n5)$



ไวยากรณ์ $G = (V_T, V_N, P, S)$ โดยที่ $V_N = \{ S, A \}$, $V_T = \{ y \}$ โดยมีกฎการสร้าง

$P = \{ S \rightarrow A , A \rightarrow y+A , A \rightarrow \Lambda \}$

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

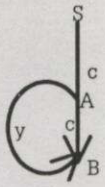
$S \Rightarrow A \Rightarrow y+A \Rightarrow y+y+A \Rightarrow y+y$

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

$S \rightarrow c$, $y+y \rightarrow CE(\underline{n3}, \overline{n6})$

$c \Rightarrow CE(\underline{n3}, \overline{n6})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ c,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A , A→B , B→c+B | c , B→y+B | y }

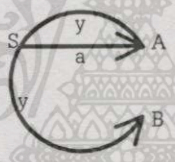
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+B⇒c+c+B⇒c+c+y+B⇒c+c+y+y

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→d, c+c→VT(n2) , y+y→CE(n7,n5)

d⇒VT(n2)+CE(n7,n5)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ a,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→a+A , A→y+S , S→B , B→y+B , B→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

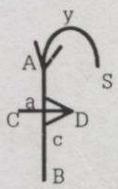
S⇒A⇒a+A⇒a+a+A⇒a+a+y+S⇒a+a+y+A⇒a+a+y+y+S⇒a+a+y+y+B⇒a+a+y+y+y+B⇒

a+a+y+y+y+y+B⇒a+a+y+y+y+y

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→e, a+a→HZ(n1) , y+y→CE(n3,n1) , y+y→CE(n1,n6)

e⇒HZ(n1)+CE(n3,n1)+CE(n1,n6)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวยากรณ์ $G = (V_T, V_N, P, S)$ โดยที่ V_N ={ S,A,B,C,D}, V_T={ a,c,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→y+A , A→B , B→c+B , B→C , C→D , D→a+D , D→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

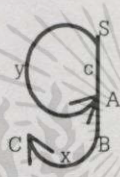
S⇒A⇒y+A⇒y+y+A⇒y+y+B⇒y+y+c+B⇒y+y+c+c+B⇒y+y+c+c+C⇒y+y+c+c+D⇒

y+y+c+c+a+D⇒y+y+c+c+a+a+D⇒y+y+c+c+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→f, y+y→CE(n3,n2) , c+c→VT(n2) , a+a→HZ(n7,<)

f⇒CE(n3,n2)+VT(n2)+HZ(n7,<)



ไวยากรณ์ $G = (V_T, V_N, P, S)$ โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,x,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→y+A , A→c+A , A→B , B→c+B , B→C , C→x+C , C→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

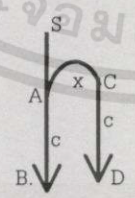
S⇒A⇒y+A⇒y+y+A⇒y+y+c+A⇒y+y+c+B⇒y+y+c+c+B⇒y+y+c+c+C⇒y+y+c+c+x+C⇒

y+y+c+c+x+x+C⇒y+y+c+c+x+x

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→g, y+y→CE(n2,n7) , c+c→VT(n2) , x+x→DE($\overline{n5}$,$\overline{n4}$)

g⇒CE(n2,n7)+VT(n2)+DE($\overline{n5}$,$\overline{n4}$)



ไวยากรณ์ $G = (V_T, V_N, P, S)$ โดยที่ V_N ={ S,A,B,C,D}, V_T={ c,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A , A→B , B→c+B , B→A , A→C , C→x+C , C→D , D→c+D , D→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+B⇒c+c+B⇒c+c+A⇒c+c+C⇒c+c+x+C⇒c+c+x+x+C⇒c+c+x+x+D⇒

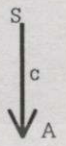
c+c+x+x+c+D⇒c+c+x+x+c+c+D⇒c+c+x+x+c+c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

$S \rightarrow h$, $c+c \rightarrow VT(\underline{n2})$, $x+x \rightarrow DE(\overline{n7},\underline{n3})$ $c+c \rightarrow VT(\underline{n3})$

$h \Rightarrow VT(\underline{n2})+DE(\overline{n7},\underline{n3})+VT(\underline{n3})$



ไวยากรณ์ $G = (V_T,V_N,P,S)$ โดยที่ $V_N =\{ S,A\}$, $V_T=\{ c,x \}$ โดยมีกฎการสร้าง

$P=\{ S \rightarrow A , A \rightarrow c+A , A \rightarrow \Lambda \}$

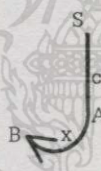
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

$S \Rightarrow A \Rightarrow c+A \Rightarrow c+c+A \Rightarrow c+c$

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

$S \rightarrow i$, $c+c \rightarrow VT(\underline{n2})$

$i \Rightarrow VT(\underline{n2})$



ไวยากรณ์ $G = (V_T,V_N,P,S)$ โดยที่ $V_N =\{ S,A,B\}$, $V_T=\{ c,x \}$ โดยมีกฎการสร้าง

$P=\{ S \rightarrow A , A \rightarrow c+A , A \rightarrow B , B \rightarrow x+B , B \rightarrow \Lambda \}$

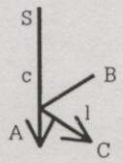
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

$S \Rightarrow A \Rightarrow c+A \Rightarrow c+c+A \Rightarrow c+c+B \Rightarrow c+c+x+B \Rightarrow c+c+x+x+B \Rightarrow c+c+x+x$

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

$S \rightarrow j$, $c+c \rightarrow VT(\underline{n2})$, $x+x \rightarrow DE(\overline{n5},n4)$

$j \Rightarrow VT(\underline{n2})+DE(\overline{n5},n4)$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,l } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A , A→B , B→l+C , C→Λ }

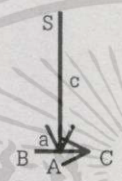
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+B⇒c+c+l+C⇒c+c+l

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→k, c+c→VT(n1) , l→WLT(n7,n5)

k⇒VT(n1)+WLT(n7,n5)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ a,c } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A , A→B , B→C , C→ a+C, C→Λ }

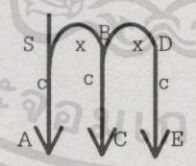
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+B⇒c+c+C⇒c+c+a+C⇒c+c+a+a+C⇒c+c+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→l, c+c→VT(n2) , a+a→HZ(n5,<)

l⇒VT(n2)+HZ(n5,<)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C,D,E}, V_T={ c,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A+S , A→c+A | c , S→B , B→x+B , B→C ,C→c+C , C→B , B→D , D→x+D , D→E ,

E→c+E , E→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A+S⇒c+A+S⇒c+c+S⇒c+c+B⇒c+c+x+B⇒c+c+x+x+B⇒c+c+x+x+C⇒c+c+x+x+c+C⇒

c+c+x+x+c+c+C⇒c+c+x+x+c+c+B⇒c+c+x+x+c+c+D⇒c+c+x+x+c+c+x+D⇒

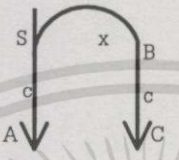
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c+c+x+x+c+c+x+x+D⇒c+c+x+x+c+c+x+x+E⇒c+c+x+x+c+c+x+x+c+E⇒
c+c+x+x+c+c+x+x+c+c+E⇒c+c+x+x+c+c+x+x+c+c

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→m, c+c→VT(n1), x+x→DE(n1,n2) , c+c→VT(n2) , x+x→DE(n2,n3) , c+c→VT(n3)

m⇒VT(n1)+DE(n1,n2)+VT(n2)+DE(n2,n3)+VT(n3)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A+S , A→c+A | c , S→B , B→x+B , B→C ,C→c+C , C→Λ }

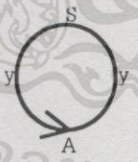
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A+S⇒c+A+S⇒c+c+S⇒c+c+B⇒c+c+x+B⇒c+c+x+x+B⇒c+c+x+x+C⇒c+c+x+x+c+C⇒
c+c+x+x+c+c+C⇒c+c+x+x+c+c

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→n, c+c→VT(n1), x+x→DE(n1,n3) ,c+c→VT(n3)

n⇒VT(n1)+DE(n1,n3)+VT(n3)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A}, V_T={ y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→y+A , A→y+S | y }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

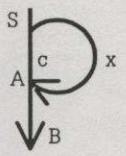
S⇒y+A⇒y+y+S⇒y+y+y+A⇒y+y+y+y

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→o , y+y→CE(n2,$\overline{n5}$) , y+y→CE($\overline{n5}$,n2)

o⇒CE(n2.$\overline{n5}$)+CE($\overline{n5}$,n2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ c,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A | c , A→B+S , B→c+B | c , A→x+A | x }

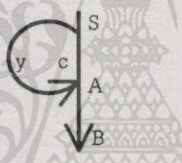
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+B+S⇒c+c+S⇒c+c+A⇒c+c+x+A⇒c+c+x+x

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→p , c+c→VTn2) , x+x→DE(n2,n7)

p⇒VT(n2)+DE(n2,n7)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ c,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A , A→c+A | c , A→B+S , B→c+B | c , A→y+A | y }

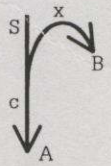
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+B+S⇒c+c+S⇒c+c+A⇒c+c+y+A⇒c+c+y+y

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→q . c+c→VTn2) , y+y→CE(n2,n7)

q⇒VT(n2)+CE(n2,n7)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ c,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A+S , A→c+A | c , S→B, B→x+B B→Λ}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

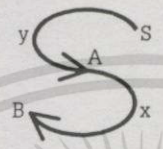
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A+S⇒c+A+S⇒c+c+S⇒c+c+B⇒c+c+x+B⇒c+c+x+x+B⇒c+c+x+x

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→r , c+c→VTn2) , x+x→DE(n2,n3)

r⇒VT(n2)+DE(n2,n3)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ x,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→y+A , A→B, B→x+B , B→Λ}

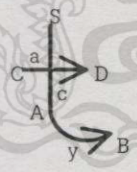
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒y+A⇒y+y+A⇒y+y+B⇒y+y+x+B⇒y+y+x+x+B⇒y+y+x+x

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→s , y+y→CE(n3,n7), x+x→DE(n7,$\overline{n4}$)

s⇒CE(n3,n7)+DE(n7,$\overline{n4}$)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C,D}, V_T={ a,c,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→c+A , A→B, B→y+B , B→C , C→D , D→a+D , D→Λ}

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+B⇒c+c+y+B⇒c+c+y+y+B⇒c+c+y+y+C⇒c+c+y+y+D⇒

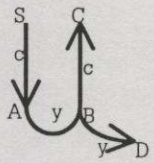
c+c+y+y+a+D⇒c+c+y+y+a+a+D⇒c+c+y+y+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→t , c+c→VT(n2) , y+y→CE($\overline{n5}$,n6), a+a→HZ(n7,<)

t⇒VT(n2)+CE($\overline{n5}$,n6)+HZ(n7,<)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C,D}, V_T={ c,g,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→c+A , A→B, B→y+B ,B→C , C→g+C , C→B , B→D , D→y+D , D→Λ}

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+B⇒c+c+y+B⇒c+c+y+y+B⇒c+c+y+y+C⇒c+c+y+y+g+C⇒

c+c+y+y+g+g+C⇒c+c+y+y+g+g+B⇒c+c+y+y+g+g+D⇒c+c+y+y+g+g+y+D⇒

c+c+y+y+g+g+y+y+D⇒c+c+y+y+g+g+y+y

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→u , c+c→VT($\underline{n}$1) , y+y→CE($\overline{n4}$,$\overline{n5}$), g+g→VT($\overline{n5}$) , y+y→CE($\overline{n5}$,n6)

u⇒VT($\underline{n}$1)+CE($\overline{n4}$,$\overline{n5}$)+(VT($\overline{n5}$)+CE($\overline{n5}$,n6)

ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ b,h } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→b+A , A→B, B→h+B , B→Λ}

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

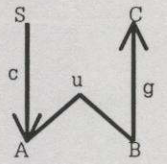
S⇒A⇒b+A⇒b+b+A⇒b+b+B⇒b+b+h+B⇒b+b+h+h+B⇒b+b+h+h

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→v , $\underline{c}$+c→ST($\underline{n}$1,n5) , h+h→ST(n5,$\underline{n}$3)

v⇒ST($\underline{n}$1,n5)+ST(n5,$\underline{n}$3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,g,u } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→c+A , A→u+B , B→C , C→g+C ,C→Λ}

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒c+A⇒c+c+A⇒c+c+u+B⇒c+c+u+C⇒c+c+u+g+C⇒c+c+u+g+g+C⇒c+c+u+g+g

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→w, c+c→VT(n1) , u→WUP(n4,n6) , g+g→VT(n6)

w⇒VT(n1,n5)+WUP(n4,n6)+VT(n6)

ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ b,d } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→d+A , A→B , B→C , C→b+C ,C→Λ}

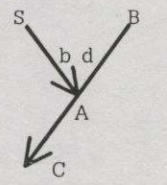
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒d+A⇒d+d+A⇒d+d+B⇒d+d+C⇒d+d+b+C⇒d+d+b+b+C⇒d+d+b+b

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→x, d+d→LT(n3) , b+b→RT(n1)

x⇒LT(n3)+RT(n1)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ b,d } โดยมีกฎการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P={ S→A, A→b+A , A→B , B→C , C→d+C ,C→Λ}

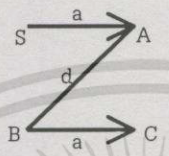
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒b+A⇒b+b+A⇒b+b+B⇒b+b+C⇒b+b+d+C⇒b+b+d+d+C⇒b+b+d+d

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→y, b+b→ST(n1,n7) , d+d→LT(n3)

y⇒ST(n1,n7)+LT(n3)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ a,d } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→a+A , A→B , B→d+B , B→C , C→a+C ,C→Λ}

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒a+A⇒a+a+A⇒a+a+B⇒a+a+d+B⇒a+a+d+d+B⇒a+a+d+d+C⇒a+a+d+d+a+C⇒

a+a+d+d+a+a+C⇒a+a+d+d+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→z, a+a→HZ(n1) , d+d→ LT(n3) , a+a→HZ(n4)

z⇒HZ(n1)+LT(n3)+HZ(n4)

ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→y+A , A→y+S | y S→B , B→C , C→c+C , C→Λ}

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒y+A⇒y+y+S⇒y+y+y+A⇒y+y+y+y+S⇒y+y+y+y+B⇒y+y+y+y+C⇒y+y+y+y+c+C⇒

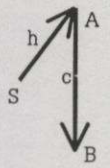
y+y+y+y+c+c+C⇒y+y+y+y+c+c

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→0 , y+y→CE(n2,$\overline{n5}$) , y+y→CE($\overline{n5}$,n2) , c+c→VT(n2)

0⇒CE(n2.$\overline{n5}$)+CE($\overline{n5}$,n2)+VT(n2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ h,c } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→h+A , A→B , B→c+B ,B→Λ}

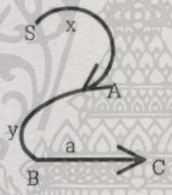
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒h+A⇒h+h+A⇒h+h+B⇒h+h+c+B⇒h+h+c+c+B⇒h+h+c+c

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→1, h+h→ST(n7,n3) , c+c→VT(n3)

1⇒ST(n7,n3)+VT(n3)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ a,x,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→x+A , A→B , B→y+B , B→C , C→a+C , C→Λ}

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

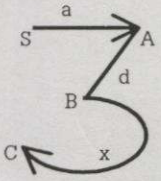
S⇒A⇒x+A⇒x+x+A⇒x+x+B⇒x+x+y+B⇒x+x+y+y+B⇒x+x+y+y+C⇒x+x+y+y+a+C⇒

x+x+y+y+a+a+C⇒x+x+y+y+a+a

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→2, x+x→DE(n1,n7) , y+y→CE(n7,n4) , a+a→HZ(n4)

2⇒DE(n1,n7)+CE(n7,n4)+HZ(n4)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวยากรณ์ $G = (V_T, V_N, P, S)$ โดยที่ $V_N = \{ S, A, B, C \}$, $V_T = \{ a, d, x \}$ โดยมีกฎการสร้าง

$P = \{ S \rightarrow A,\ A \rightarrow a+A,\ A \rightarrow B,\ B \rightarrow d+B,\ B \rightarrow C,\ C \rightarrow x+C,\ C \rightarrow \Lambda \}$

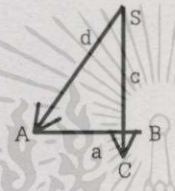
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

$S \Rightarrow A \Rightarrow a+A \Rightarrow a+a+A \Rightarrow a+a+B \Rightarrow a+a+d+B \Rightarrow a+a+d+d+B \Rightarrow a+a+d+d+C \Rightarrow a+a+d+d+x+C \Rightarrow$
$a+a+d+d+x+x+C \Rightarrow a+a+d+d+x+x$

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

$S \rightarrow 3,\ a+a \rightarrow HZ(n1),\ d+d \rightarrow ST(n3,n7),\ x+x \rightarrow DE(n7,n4)$

$3 \Rightarrow HZ(n1)+ST(n3,n7)+DE(n7,n4)$



ไวยากรณ์ $G = (V_T, V_N, P, S)$ โดยที่ $V_N = \{ S, A, B, C \}$, $V_T = \{ a, d, x \}$ โดยมีกฎการสร้าง

$P = \{ S \rightarrow A,\ A \rightarrow d+A,\ A \rightarrow B+S,\ B \rightarrow a+B \mid a,\ S \rightarrow C,\ C \rightarrow c+C,\ C \rightarrow \Lambda \}$

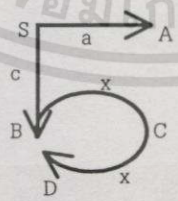
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

$S \Rightarrow A \Rightarrow d+A \Rightarrow d+d+A \Rightarrow d+d+B+S \Rightarrow d+d+a+B+S \Rightarrow d+d+a+a+S \Rightarrow d+d+a+a+C \Rightarrow$
$d+d+a+a+c+C \Rightarrow d+d+a+a+c+c+C \Rightarrow d+d+a+a+c+c$

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

$S \rightarrow 4,\ d+d \rightarrow LT(n3),\ a+a \rightarrow HZ(\overline{n4}),\ c+c \rightarrow VT(n3)$

$4 \Rightarrow LT(n3)+HZ(\overline{n4})+VT(n3)$



ไวยากรณ์ $G = (V_T, V_N, P, S)$ โดยที่ $V_N = \{ S, A, B, C, D \}$, $V_T = \{ a, c, x \}$ โดยมีกฎการสร้าง

$P = \{ S \rightarrow A+S,\ A \rightarrow a+A \mid a,\ S \rightarrow B,\ B \rightarrow c+B,\ B \rightarrow C,\ C \rightarrow x+C,\ C \rightarrow D,\ D \rightarrow x+D,\ D \rightarrow \Lambda \}$

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

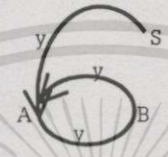
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S⇒A+S⇒a+A+S⇒a+a+S⇒a+a+B⇒a+a+c+B⇒a+a+c+c+B⇒a+a+c+c+C⇒a+a+c+c+x+C⇒
a+a+c+c+x+x+C⇒a+a+c+c+x+x+D⇒a+a+c+c+x+x+x+D⇒a+a+c+c+x+x+x+x+D⇒
a+a+c+c+x+x+x+x

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→5, a+a→HZ(n1) , c+c→VT(n1) , x+x→DE($\overline{n4}$,n7) , x+x→DE(n7,n4)

5⇒HZ(n1)+VT(n1)+DE($\overline{n4}$,n7)+DE(n7,n4)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ y } โดยมีกฎการสร้าง
P={ S→A, A→y+A | y , A→B , B→y+B | y , B→A }

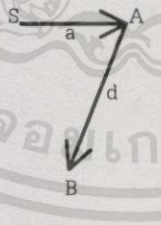
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒A⇒y+A⇒y+y+A⇒y+y+B⇒y+y+y+B⇒y+y+y+y+B⇒y+y+y+y+A⇒y+y+y+y+y+A⇒
y+y+y+y+y+y

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→6, y+y→CE($\underline{n3}$,$\overline{n4}$) , y+y→CE($\overline{n4}$,n7) , y+y→CE(n7,$\overline{n4}$)

6⇒CE($\underline{n3}$,$\overline{n4}$)+CE($\overline{n4}$,n7)+CE(n7,$\overline{n4}$)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ a,d} โดยมีกฎการสร้าง
P={ S→A, A→a+A , A→B , B→d+B , B→Λ}

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

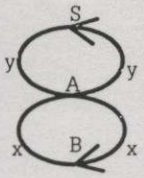
S⇒A⇒a+A⇒a+a+A⇒a+a+B⇒a+a+d+B⇒a+a+d+d+B⇒a+a+d+d

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→7, a+a→HZ(n1) , d+d→ST(n3,n5)

7⇒HZ(n1)+ST(n3,n5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ x,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→y+A | y, A→B , B→x+B , B→A+S , A→x+A }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

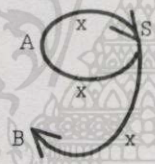
S⇒A⇒y+A⇒y+y+A⇒y+y+B⇒y+y+x+B⇒y+y+x+x+B⇒y+y+x+x+A+S⇒y+y+x+x+x+A+S⇒

y+y+x+x+x+x+A+S⇒y+y+x+x+x+x+y+S⇒y+y+x+x+x+y+A⇒y+y+x+x+x+y+y

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→8, y+y→CE(n2,n7) , x+x→DE(n7,n5) , x+x→DE(n5,n7) , y+y→CE(n7,n2)

8⇒CE(n2,n7)+DE(n7,n5)+DE(n5,n7)+CE(n7,n2)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→x+A, A→x+S | x , S→B , B→x+B , B→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

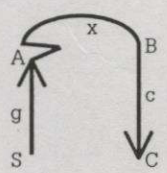
S⇒x+A⇒x+x+S⇒x+x+x+A⇒x+x+x+x+S⇒x+x+x+x+B⇒x+x+x+x+x+B⇒x+x+x+x+x+x+B⇒

x+x+x+x+x+x

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→9, x+x→DE($\underline{n3}$,n7) , x+x→DE(n7,$\underline{n3}$) , x+x→DE($\underline{n3}$,$\overline{n4}$)

9⇒DE($\underline{n3}$,n7)+DE(n7,$\underline{n3}$)+DE($\underline{n3}$,$\overline{n4}$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,g,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→A, A→g+A , A→B , B→x+B , B→C , C→c+C , C→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

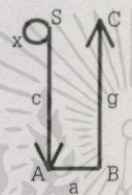
S⇒A⇒g+A⇒g+g+A⇒g+g+B⇒g+g+x+B⇒g+g+x+x+B⇒g+g+x+x+C⇒g+g+x+x+c+C⇒

g+g+x+x+c+c+C⇒g+g+x+x+c+c

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→ก, g+g→VT(n4) , x+x→DE(n1,n3) , c+c→VT(n3)

ก⇒VT(n4)+DE(n1,n3)+VT(n3)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ a,c,g,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→x+S , S→A , A→c+A , A→B , B→a+B , B→C , C→g+C , C→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒x+S⇒x+x+S⇒x+x+A⇒x+x+c+A⇒x+x+c+c+A⇒x+x+c+c+B⇒x+x+c+c+a+B⇒

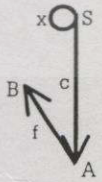
x+x+c+c+a+a+B⇒x+x+c+c+a+a+C⇒x+x+c+c+a+a+g+C⇒x+x+c+c+a+a+g+g+C⇒

x+x+c+c+a+a+g+g

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→ข, x+x→DE(n2,n2) , c+c→VT(n2) , a+a→ST(n5,n6) , g+g→VT(n6)

ข⇒DE(n2,n2)+VT(n2)+ST(n5,n6)+VT(n6)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B}, V_T={ c,f,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→x+S , S→A , A→c+A , A→B , B→f+B , B→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

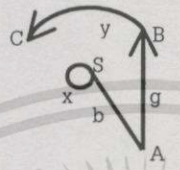
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S⇒x+S⇒x+x+S⇒x+x+A⇒x+x+c+A⇒x+x+c+c+A⇒x+x+c+c+B⇒x+x+c+c+f+B⇒
x+x+c+c+f+f+B⇒x+x+c+c+f+f

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→ง, x+x→DE(n2,n2) , c+c→VT(n2) , f+f→ST(n5,n7)

ง⇒DE(n2,n2)+VT(n2)+ST(n5,n7)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ b,g,x,y } โดยมีกฎการสร้าง
P={ S→x+S , S→A , A→b+A , A→B , B→g+B , B→C , C→y+C , C→Λ }

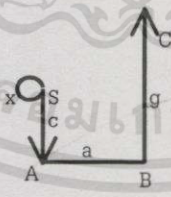
ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒x+S⇒x+x+S⇒x+x+A⇒x+x+b+A⇒x+x+b+b+A⇒x+x+b+b+B⇒x+x+b+b+g+B⇒
x+x+b+b+g+g+B⇒x+x+b+b+g+g+B⇒x+x+b+b+g+g+C⇒x+x+b+b+g+g+y+C⇒
x+x+b+b+g+g+y+y+C⇒x+x+b+b+g+g+y+y

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→จ, x+x→DE(n8,n8) , b+b→ST(n8,n2) , g+g→VT(n6) , y+y→CE(n3,n1)

จ⇒DE(8n,n8)+ST(n8,n6)+VT(n6)+CE(n3,n1)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ a,c,g,x } โดยมีกฎการสร้าง
P={ S→x+S , S→A , A→c+A , A→B , B→a+B ,B→C , C→g+C , C→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

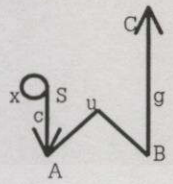
S⇒x+S⇒x+x+S⇒x+x+A⇒x+x+c+A⇒x+x+c+c+A⇒x+x+c+c+B⇒x+x+c+c+a+B⇒
x+x+c+c+a+a+B⇒x+x+c+c+a+a+C⇒x+x+c+c+a+a+g+C⇒x+x+c+c+a+a+g+g+C⇒
x+x+c+c+a+a+g+g

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S→ป, x+x→DE(n7,n7) , c+c→ST(n7,n4) , a+a→HZ(n4) , g+g→VT(n6)

ป⇒DE(n7,n7)+ST(n7,n4)+HZ(n4)+VT(n6)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ c,g,u,x } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→x+S , S→A , A→c+A , A→u+B , B→C , C→g+C , C→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

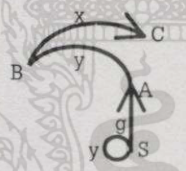
S⇒x+S⇒x+x+S⇒x+x+A⇒x+x+c+A⇒x+x+c+c+A⇒x+x+c+c+u+B⇒x+x+c+c+u+C⇒

x+x+c+c+u+g+C⇒x+x+c+c+u+g+g+C⇒x+x+c+c+u+g+g

แทนสตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→ฟ, x+x→DE(n7,n7) , c+c→ST(n7,n4) , u→WUP(n4,n6) , g+g→VT(n6)

ฟ⇒DE(n7,n7)+ST(n7,n4)+WUP(n4,n6)+VT(n6)



ไวยากรณ์ G = (V_T,V_N,P,S) โดยที่ V_N ={ S,A,B,C}, V_T={ g,x,y } โดยมีกฎการสร้าง

P={ S→y+S , S→A , A→g+A , A→B , B→y+B ,B→C , C→x+C , C→Λ }

ดังนั้นไวยากรณ์ (G)

S⇒y+S⇒y+y+S⇒y+y+A⇒y+y+g+A⇒y+y+g+g+A⇒y+y+g+g+B⇒y+y+g+g+y+B⇒

y+y+g+g+y+y+B⇒y+y+g+g+y+y+C⇒y+y+g+g+y+y+x+C⇒y+y+g+g+y+y+x+x+C⇒

y+y+g+g+y+y+x+x

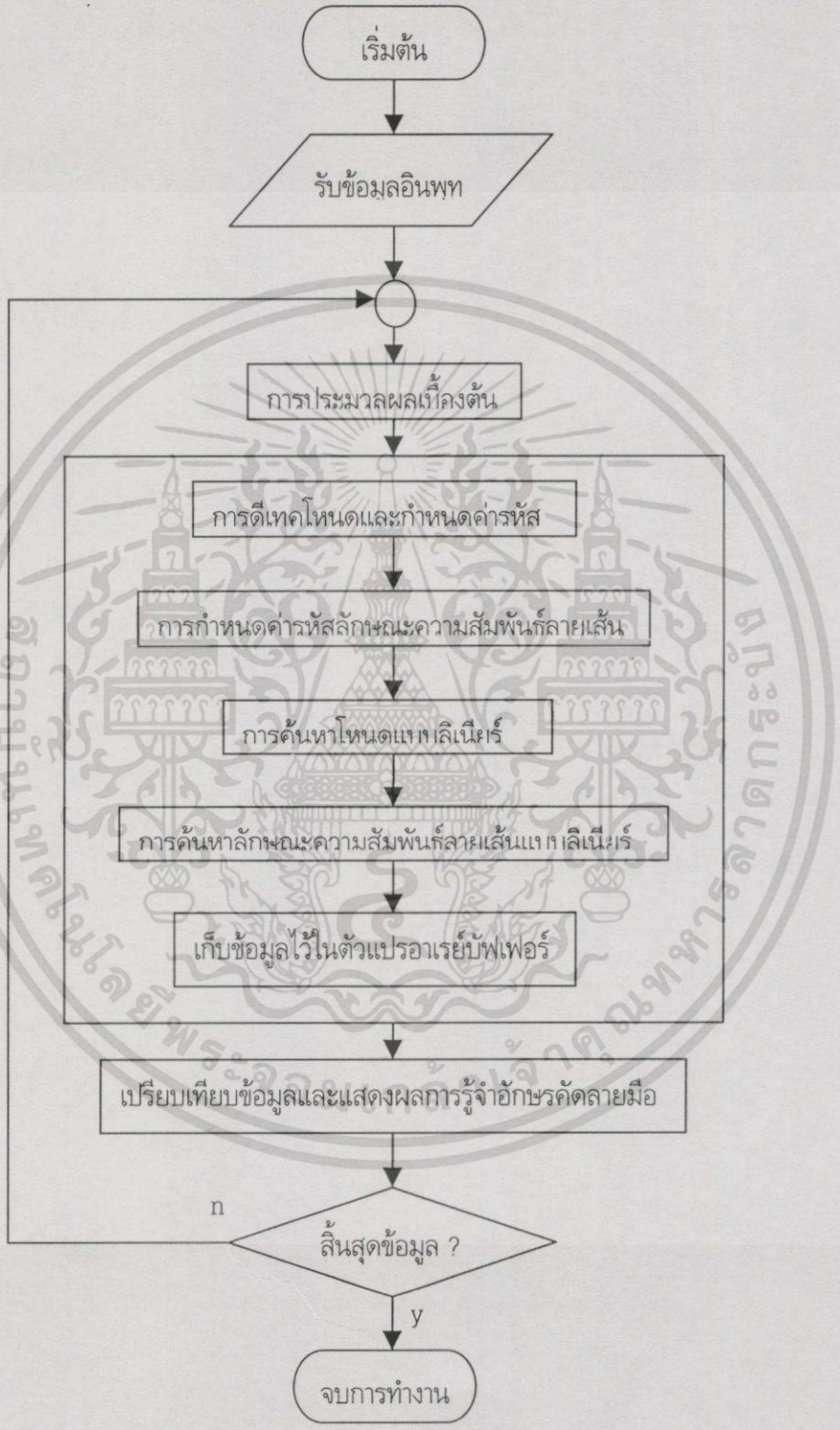
แทนลตริงต่างๆด้วยสัญลักษณ์ลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นตามลำดับดังนี้

S→ร, y+y→CE(n6,n6) , g+g→ST(n6,n9) , y+y→CE(n9,$\overline{n7}$) , x+x→DE($\overline{n7}$,$\underline{n3}$)

ร⇒CE(n6,n6)+ST(n6,n9)+CE(n9,$\overline{n7}$)+DE($\overline{n7}$,$\underline{n3}$)

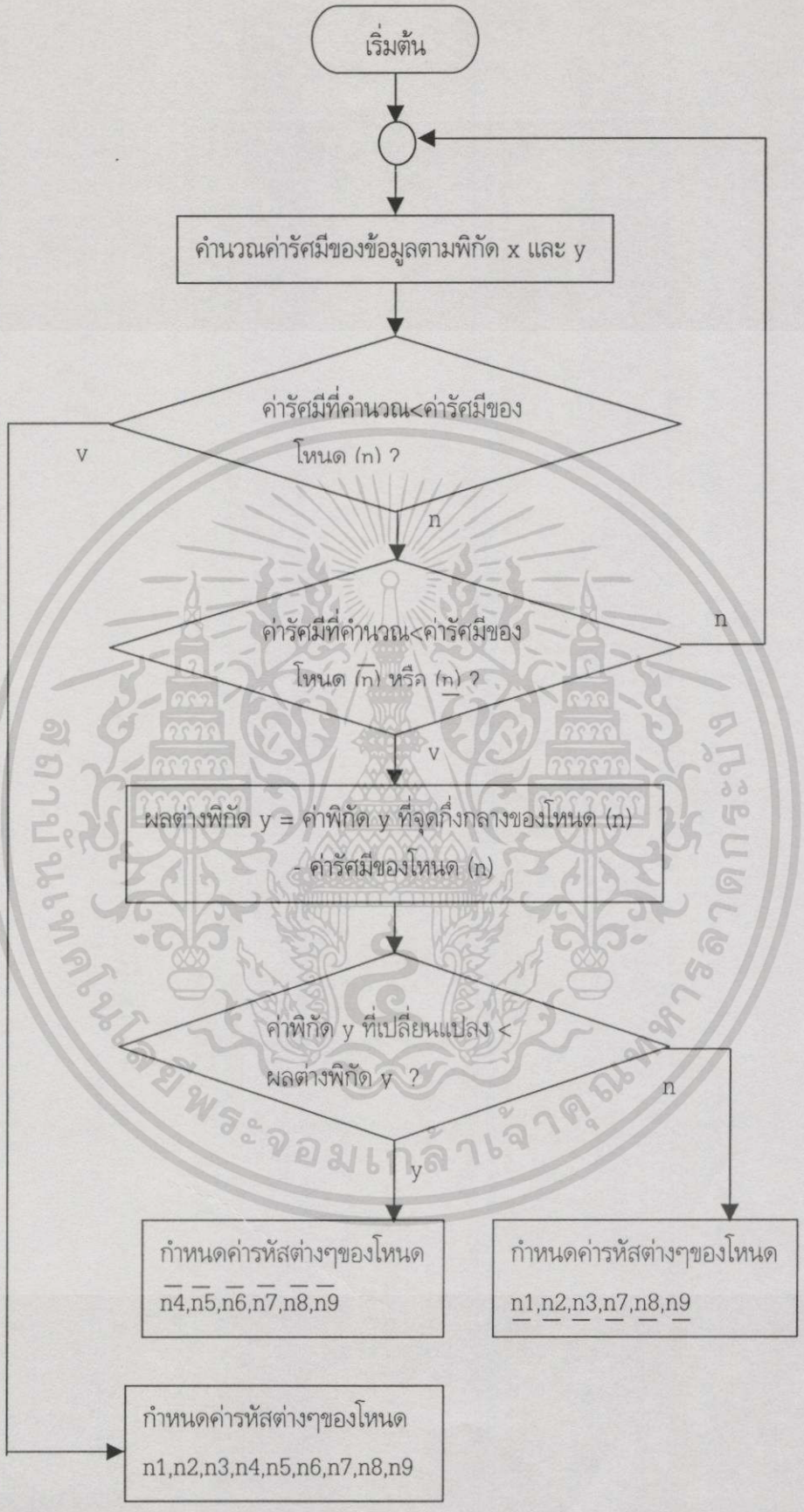
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขบวนการสำหรับการรู้จำอักษรคัดลายมือ



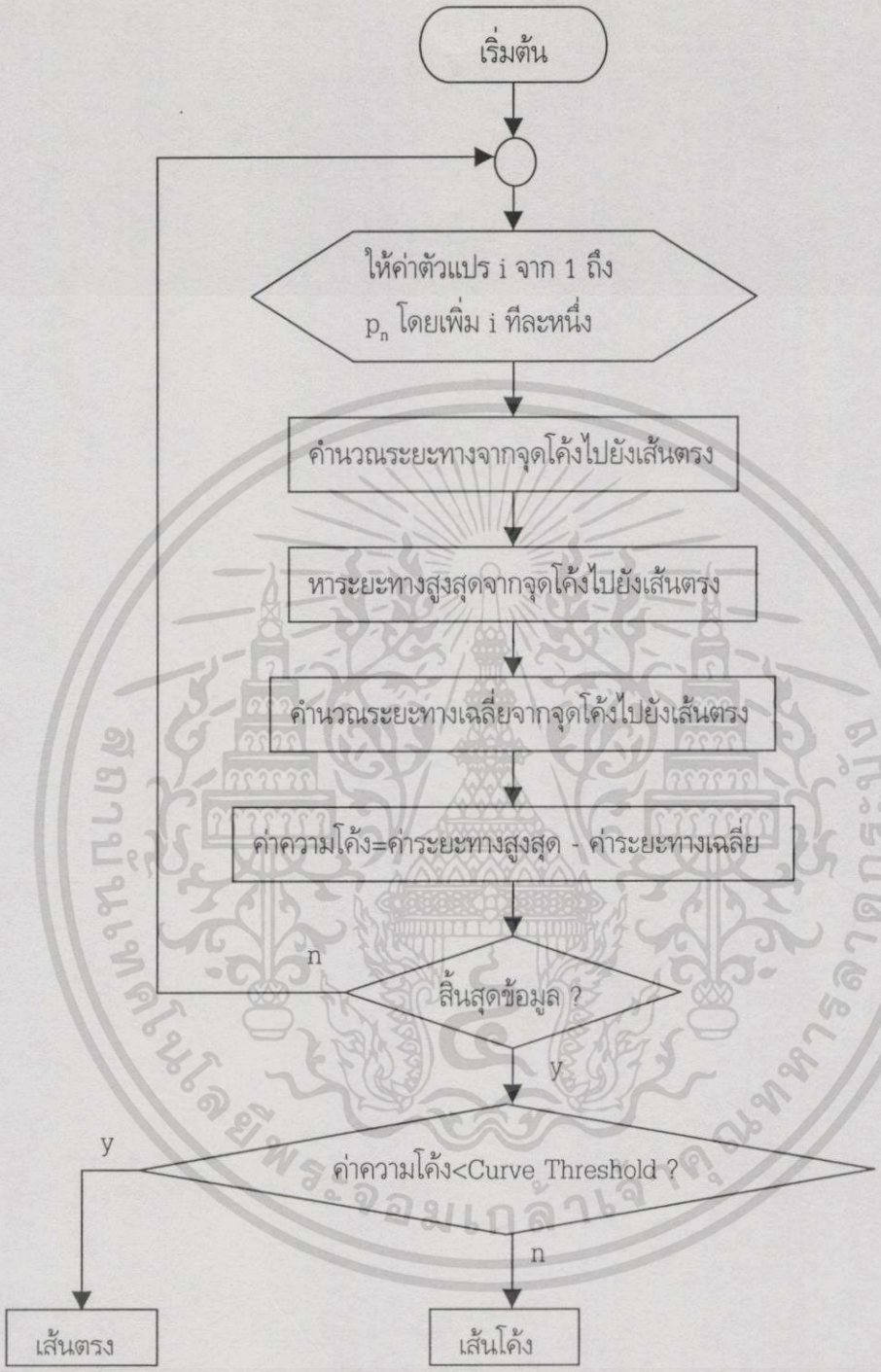
ผังงานที่ 3.1 แสดงการทำงานของการรู้จำอักษรคัดลายมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



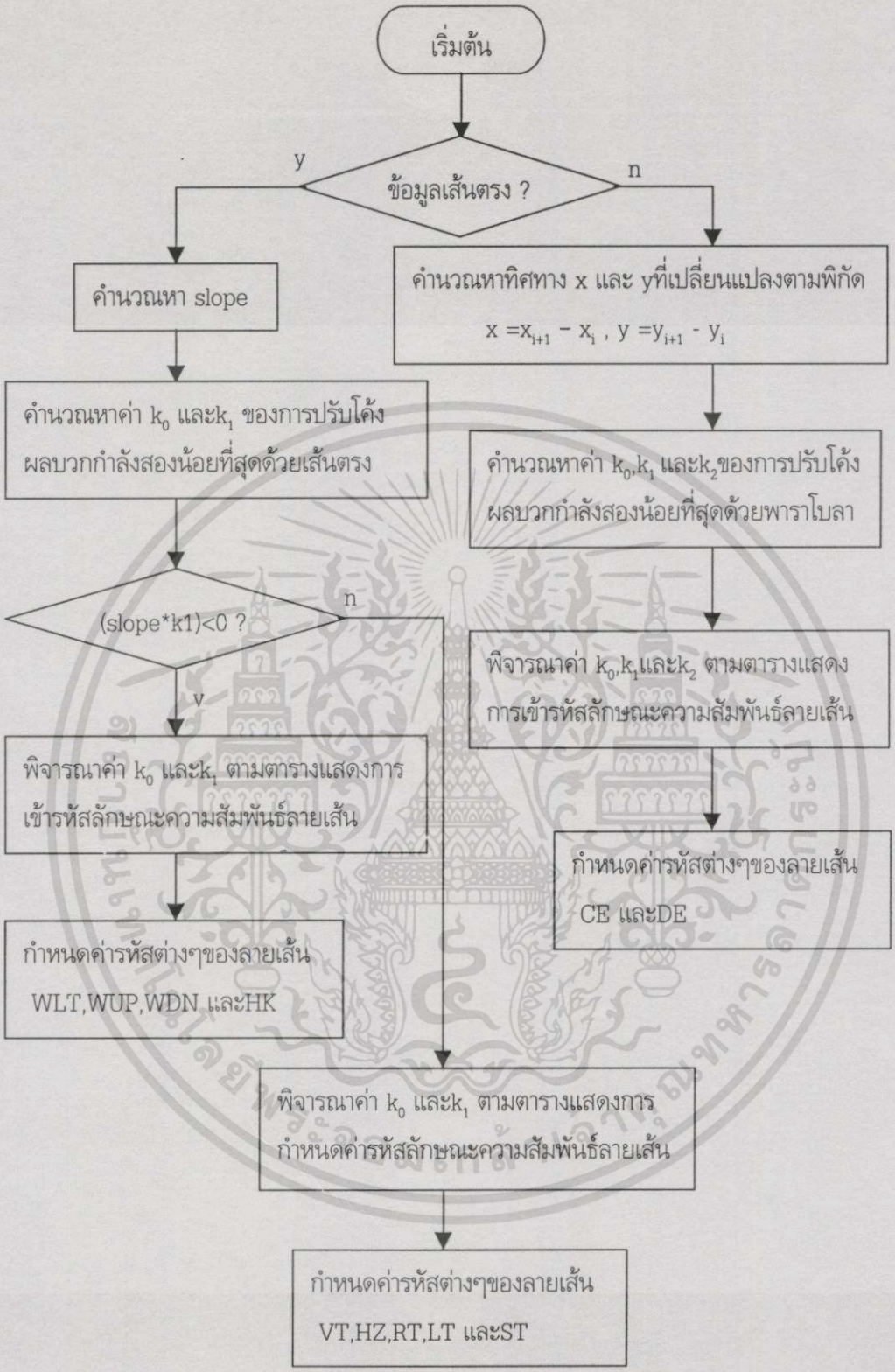
ผังงานที่ 3.2 แสดงการดีเทคโหนด และกำหนดค่ารหัสต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



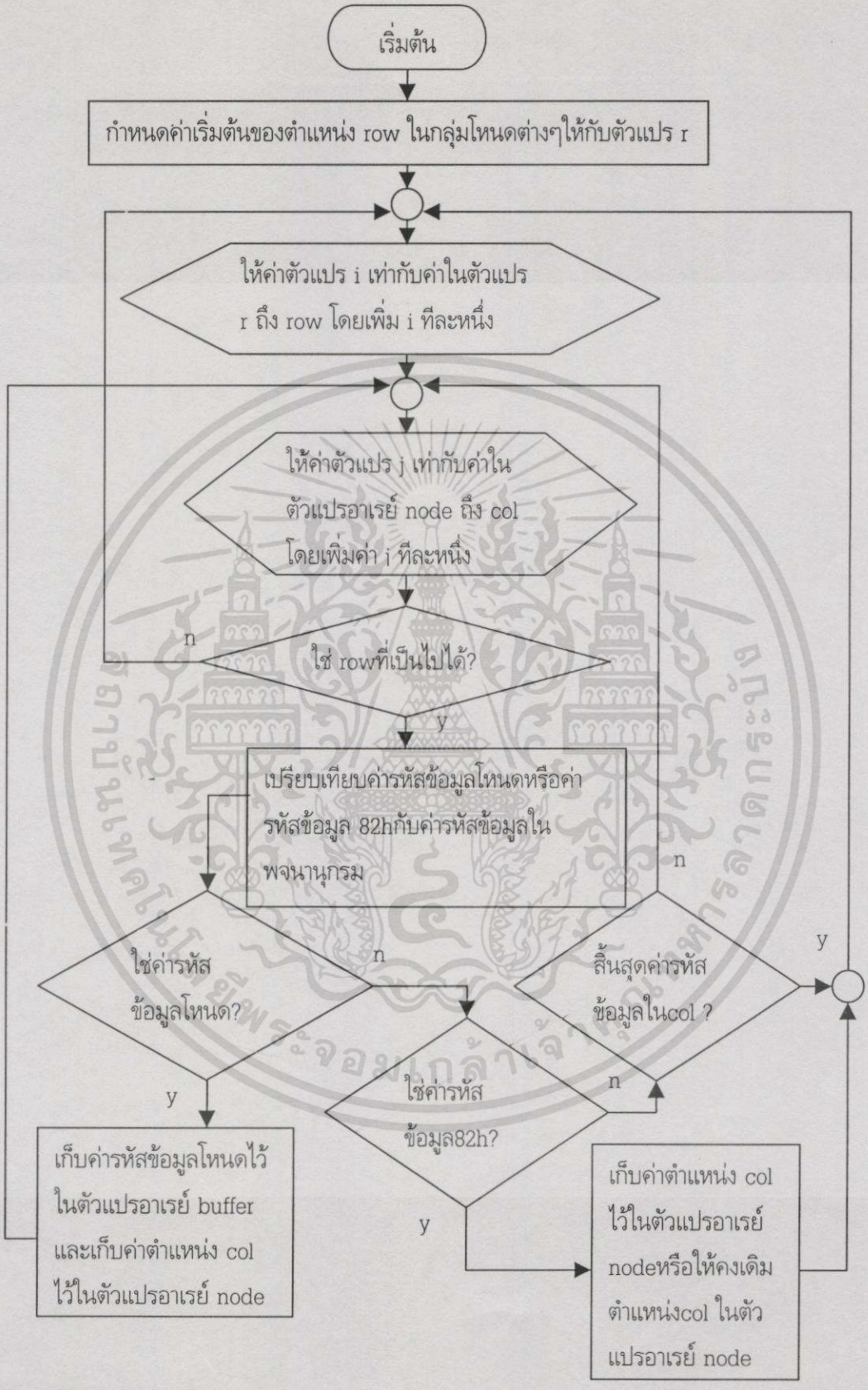
ผังงานที่ 3.3 แสดงการพิจารณาเส้นตรง และเส้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



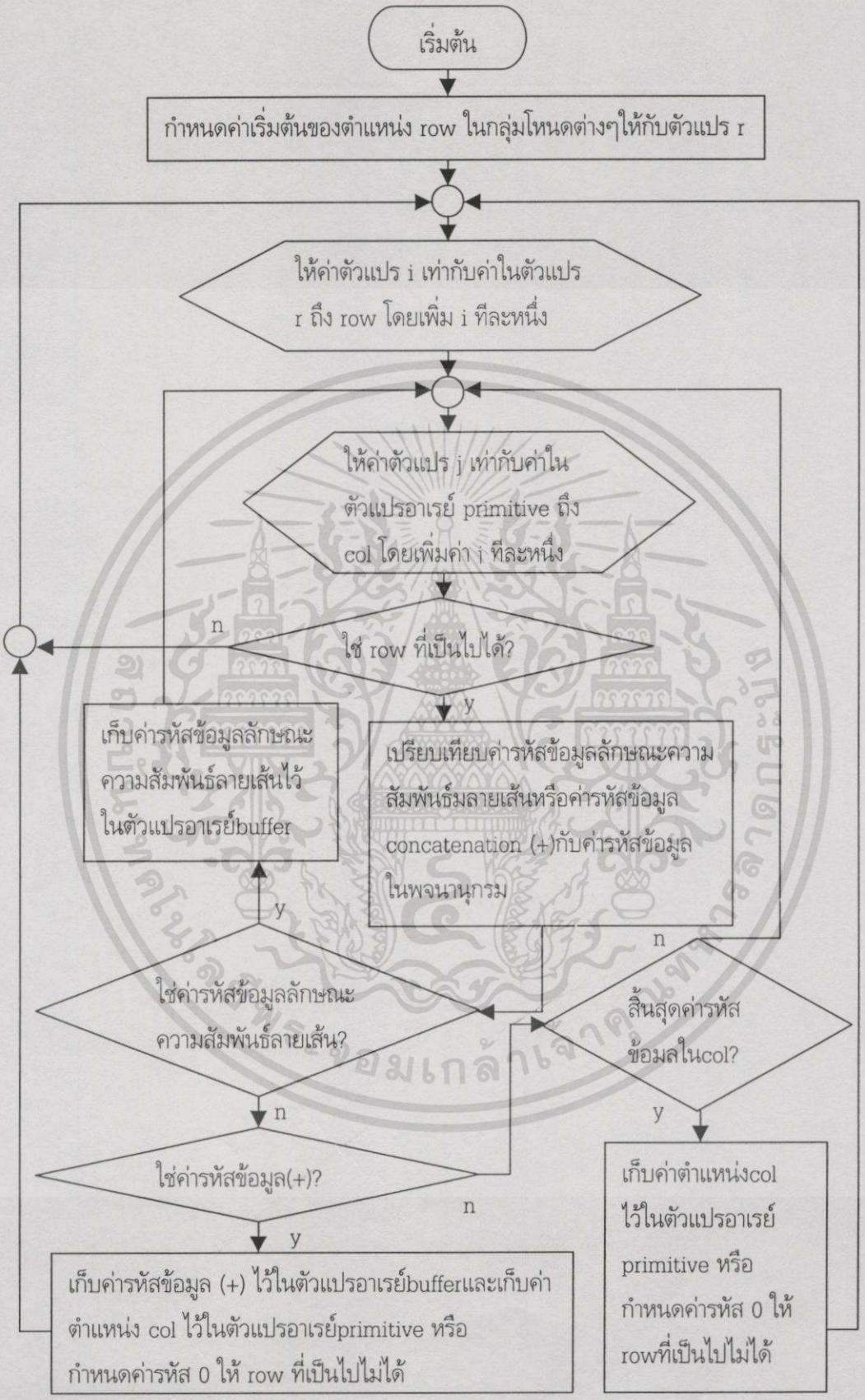
ผังงานที่ 3.4 แสดงการกำหนดค่ารหัสลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



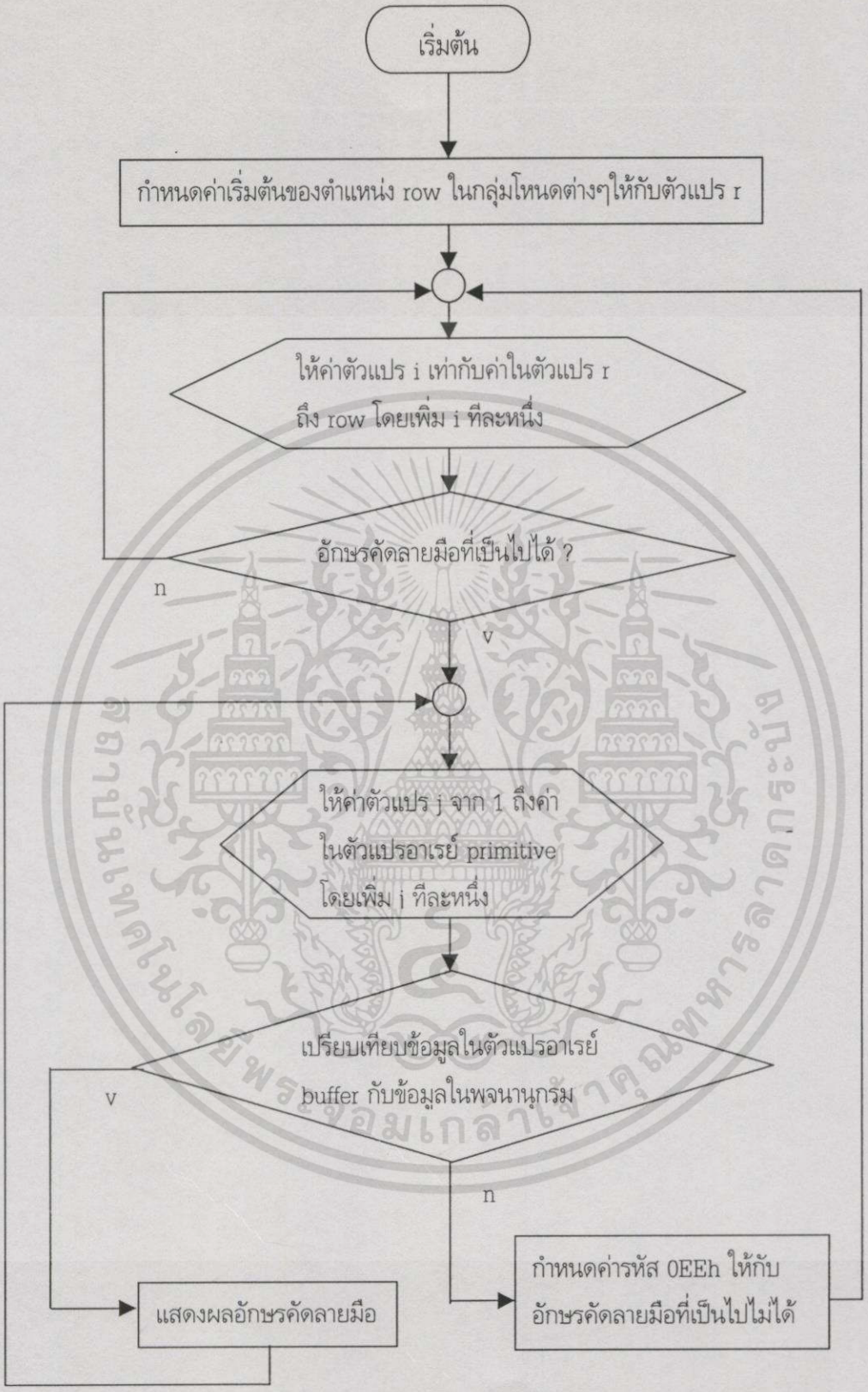
ผังงานที่ 3.5 แสดงการค้นหาโหนดแบบลิเนียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผังงานที่ 3.6 แสดงการค้นหาลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นแบบลิเนียร์

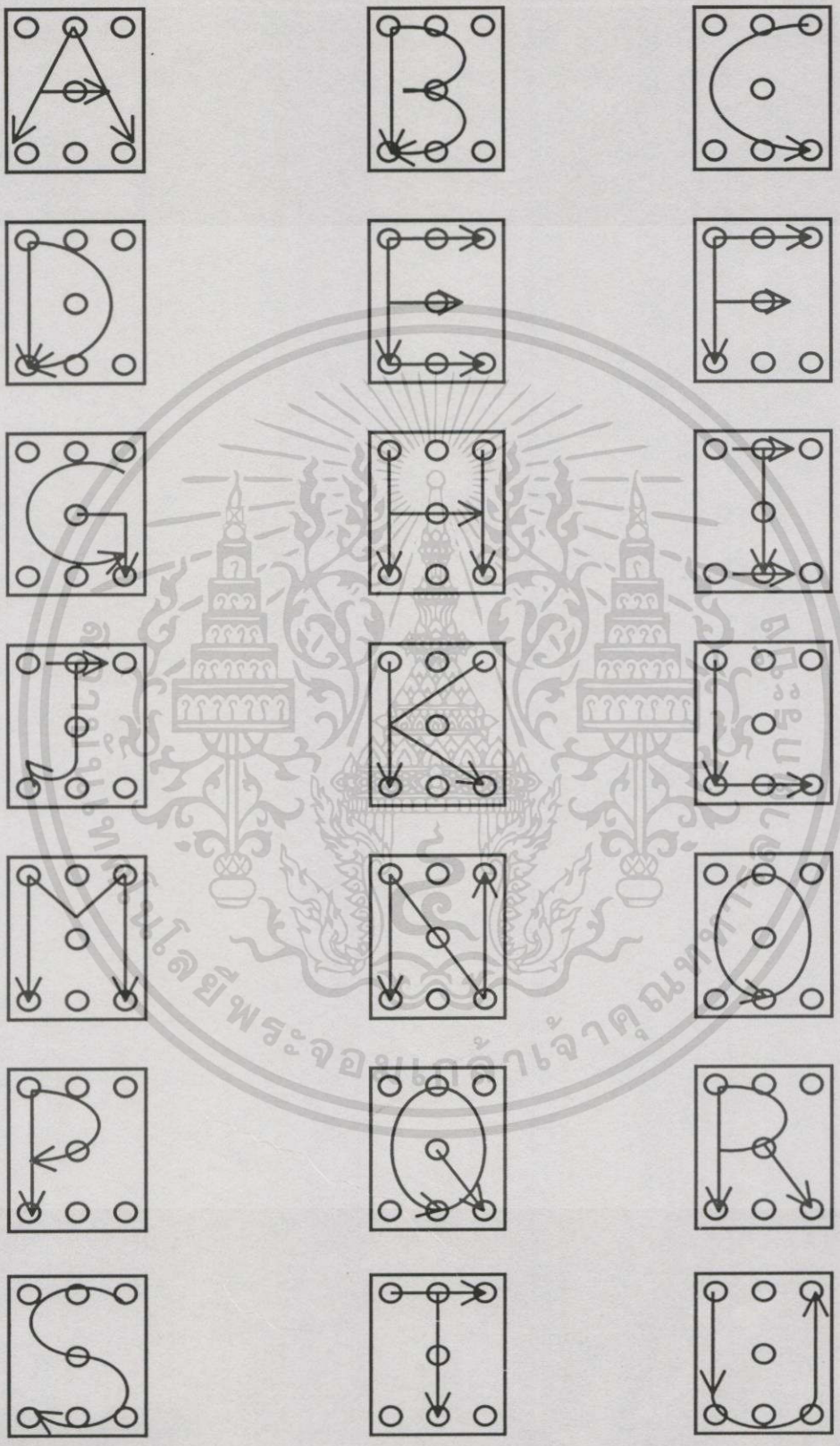
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผังงานที่ 3.7 แสดงผลการรู้จำอักษรคัดลายมือ

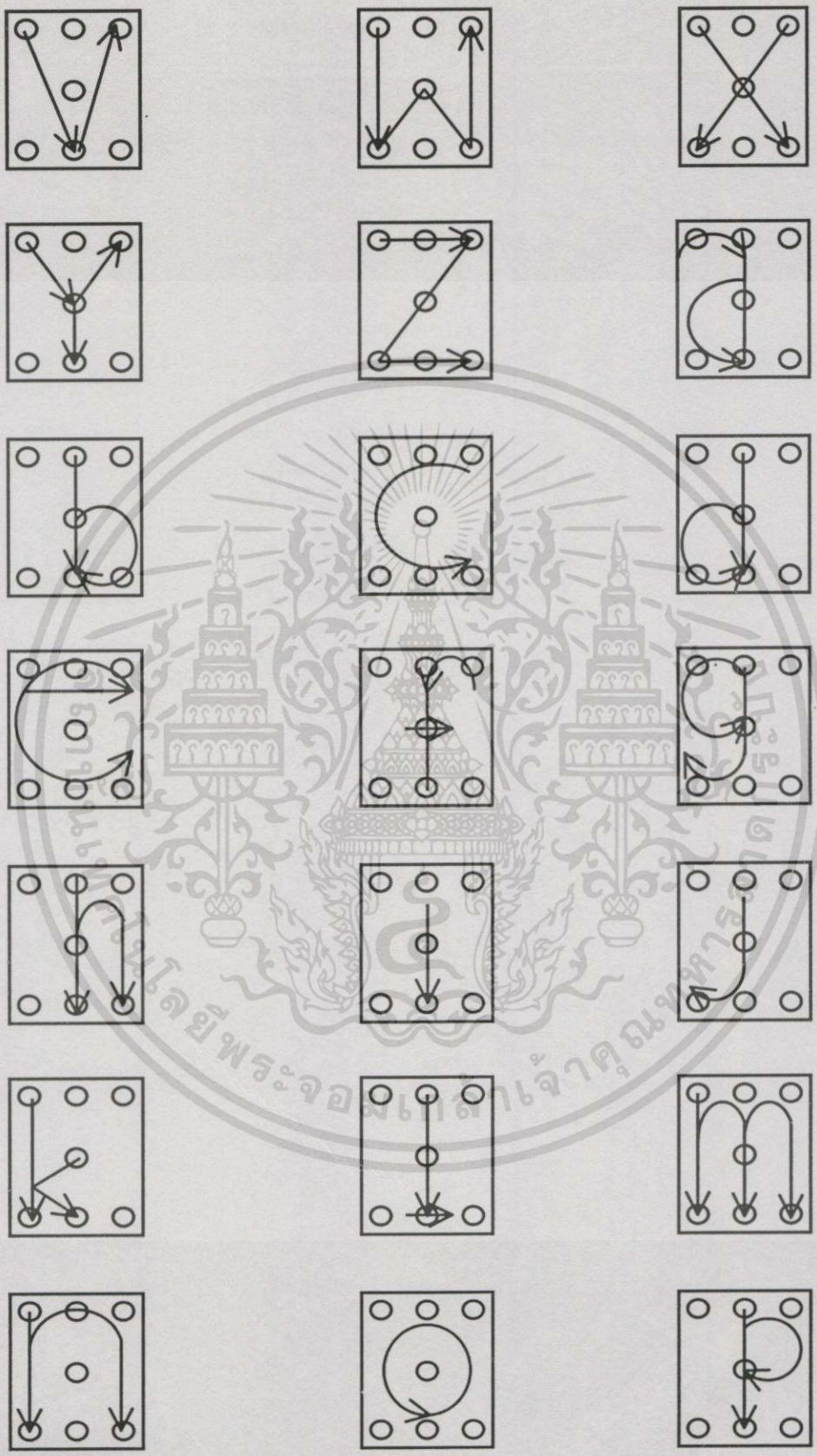
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 กรรมวิธีการเขียนอักษรคัดลายมือ



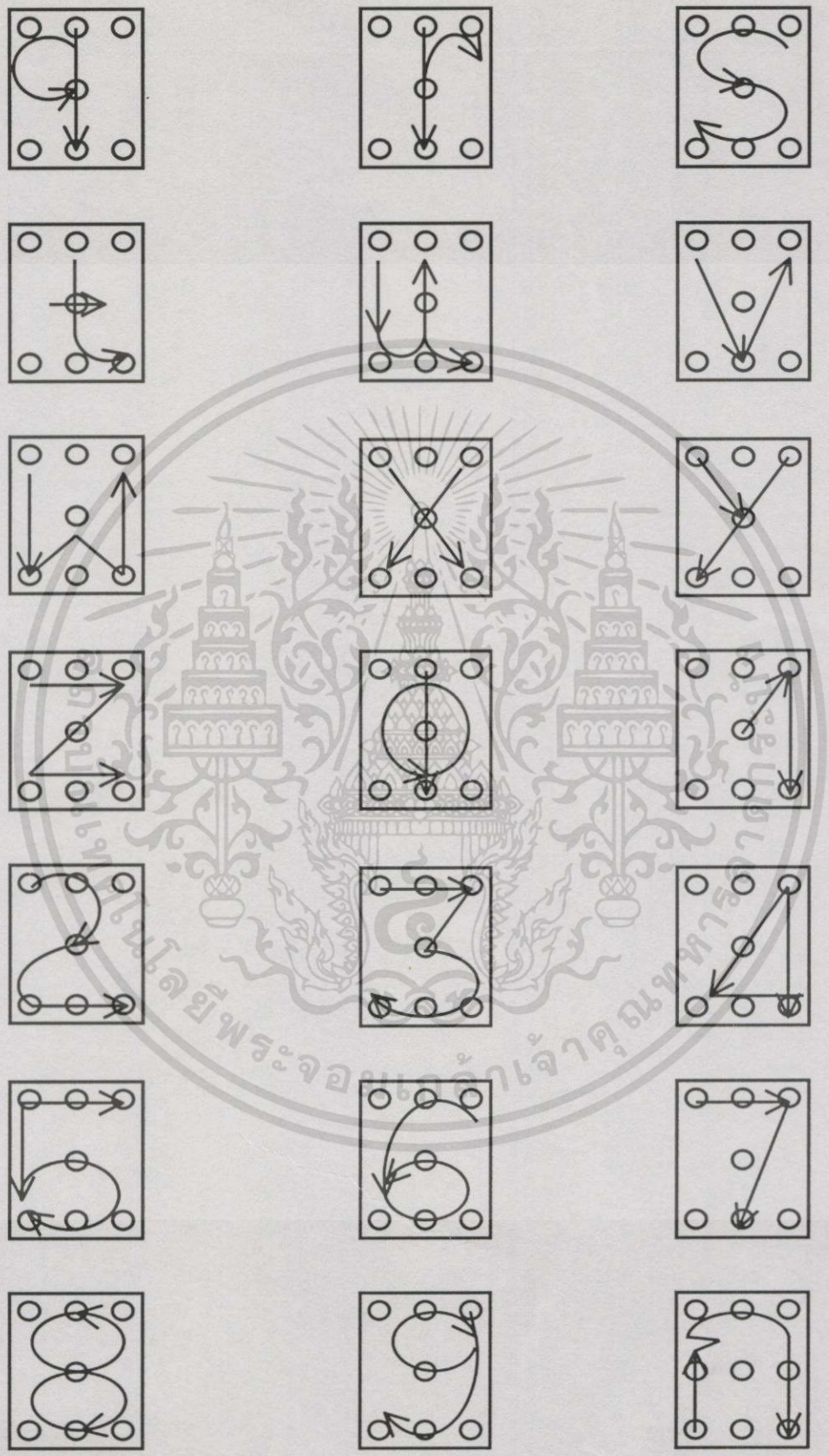
ภาพที่ 3.10 แสดงการเขียนอักษรภาษาไทย ,ตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษและตัวเลขอราบิคอย่างมีกฎเกณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



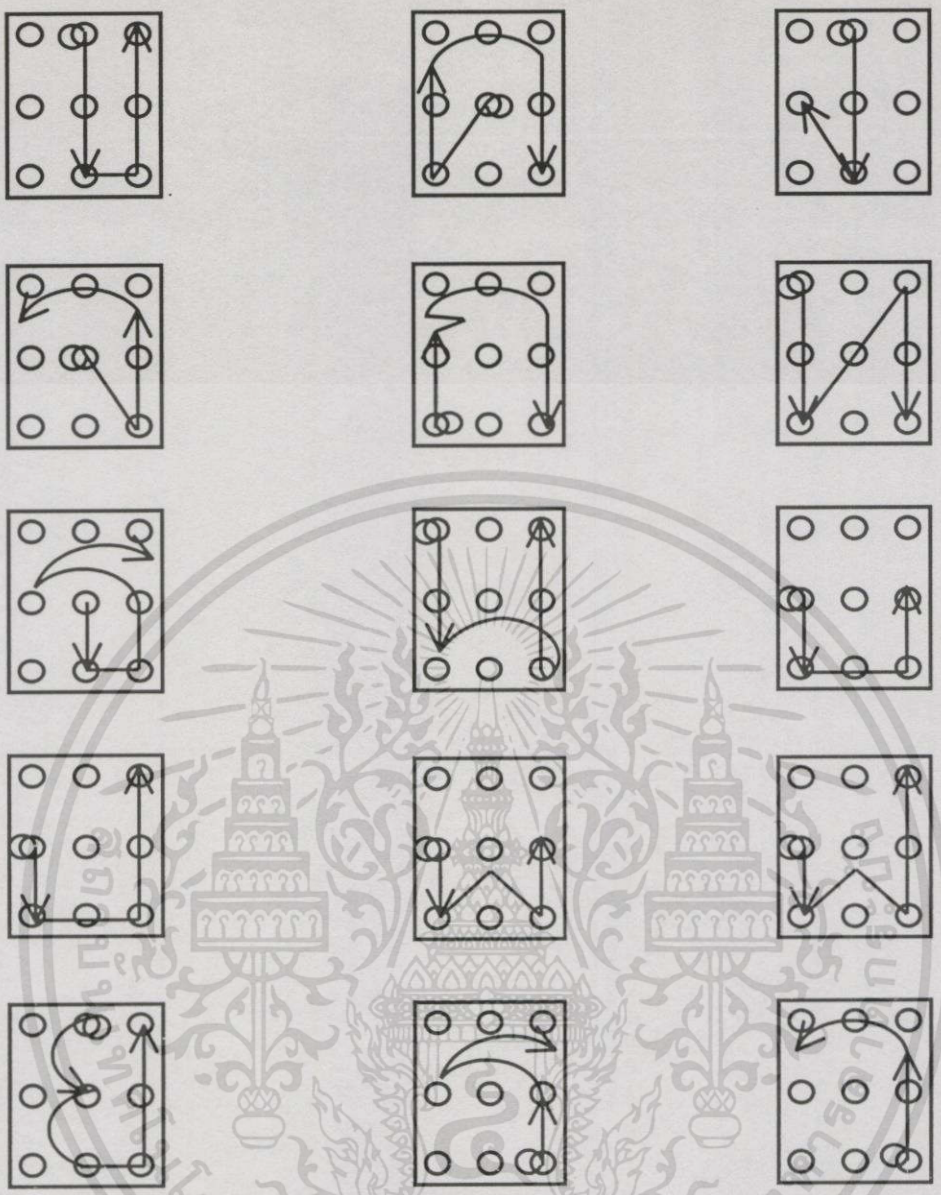
ภาพที่ 3.10 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การแบ่งกลุ่มอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ

4.1 การจำแนกกลุ่มอักษรคัดลายมือ

จากหลักการของนาราซิมเฮน และการสร้างความรู้สำหรับอักษรคัดลายมือที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่3 สามารถนำความรู้ของอักษรคัดลายมือมาเก็บเป็นพจนานุกรมในลักษณะอาเรย์แบบต่อเนื่องโดยจัดแบ่งออกเป็นกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนดเดียวกัน และกลุ่มลักษณะความสัมพันธ์ของลายเส้นที่เหมือนกัน แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงกลุ่มของอักษรคัดลายมือ

'1' $\longrightarrow$ ST(n7,n3) + VT(n3)
'0' $\longrightarrow$ CE($\underline{n2}$,$\overline{n5}$) + CE($\overline{n5}$,$\underline{n2}$) + VT(n2)
'V' $\longrightarrow$ ST(n1,n5) + ST(n5,n3)
'Y' $\longrightarrow$ ST(n1,n7) + ST(n7,n3) + ST(n7,n5)
'M' $\longrightarrow$ VT(n1) + WDN(n1,n3) + VT(n3)
'K' $\longrightarrow$ VT(n1) + WLT(n3,n6)
'E' $\longrightarrow$ VT(n1) + HZ(n1) + HZ(n7,<) + HZ(n4)
'F' $\longrightarrow$ VT(n1) + HZ(n1) + HZ(n7,<)
'L' $\longrightarrow$ VT(n1) + HZ(n4)
'B' $\longrightarrow$ VT(n1) + DE(n1,n7) + DE(n7,n4)
'D' $\longrightarrow$ VT(n1) + DE(n1,n4)
'P' $\longrightarrow$ VT(n1) + DE(n1,n7)
'R' $\longrightarrow$ VT(n1) + DE(n1,n7) + ST(n7,n6)
'H' $\longrightarrow$ VT(n1) + VT(n3) + HZ(n7)
'N' $\longrightarrow$ VT(n1) + RT(n1) + VT(n6)
'U' $\longrightarrow$ VT(n1) + CE(n4,n6) + VT(n6)
'W' $\longrightarrow$ VT(n1) + WUP(n4,n6) + VT(n6)
'Z' $\longrightarrow$ HZ(n1) + LT(n3) + HZ(n4)
'5' $\longrightarrow$ HZ(n1) + VT(n1) + DE($\overline{n4}$,n7) + DE(n7,n4)
'3' $\longrightarrow$ HZ(n1) + ST(n3,n7) + DE(n7,n4)

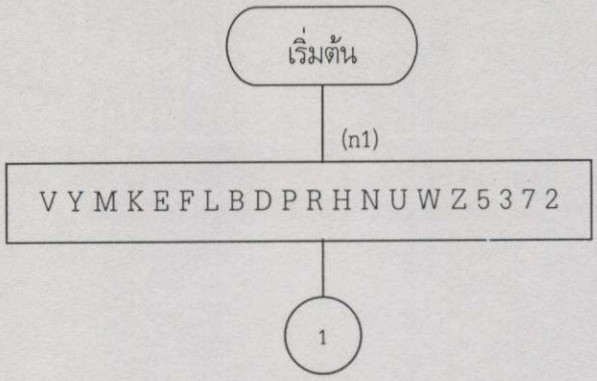
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

'7' → HZ(n1) + ST(n3,n5)
'2' → DE(n1,n7) + CE(n7,n4) + HZ(n4)
'O' → CE(n2,n5) + CE(n5,n2)
'Q' → CE(n2,n5) + CE(n5,n2) + ST(n7,n6)
'I' → VT(n2) + HZ(n2,<) + HZ(n5,<)
'T'→ VT(n2) + HZ(n2)
'J' → VT(n2) + DE($\overline{n5}$,$\overline{n4}$) + HZ(n2,<)
'A' → LT(n2) + RT(n2) + HZ(n7,<)
'8' → CE(n2,n7) + DE(n7,n5) + DE(n5,n7) + CE(n7,n2)
'C' → CE(n3,n6)
'S' → CE(n3,n7) + DE(n7,n4)
'X' → LT(n3) + RT(n1)
'4' → LT(n3) + HZ($\overline{n4}$) + VT(n3)
'G' → CE($\underline{n3}$,$\overline{n6}$) + HK(n7,n6)
'9' → DE($\underline{n3}$,n7) + DE(n7,$\underline{n3}$) + DE($\underline{n3}$,$\overline{n4}$)
'6' → CE($\underline{n3}$,$\overline{n4}$) + CE($\overline{n4}$,n7) + CE(n7,$\overline{n4}$)

4.2 แผนภูมิสำหรับการแยกแยะอักษรคัดลายมือ

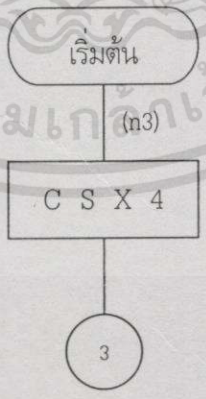
จากการแบ่งกลุ่มของอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด(n2) ดังในแผนภูมิที่ 4.2 จะได้อักษร O,Q,I,T,J,A,8 และสามารถแยกแยะอักษรคัดลายมือโดยการพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นระหว่างโหนดต่างๆดังในแผนภูมิที่ 4.8 คือ LT(n2),VT(n2),CE(n2,n5) และ CE(n2,n7) จะได้กลุ่มย่อยที่ 2.1 คือ A , กลุ่มย่อยที่ 2.2 คือ I,T,J , กลุ่มย่อยที่2.3 คือ O,Q และกลุ่มย่อยที่ 2.4 คือ 8 จากนั้นก็จะแยกแยะในแต่ละกลุ่มย่อยในลักษณะเดียวกันต่อเนื่องลงไปอีกจะได้ กลุ่มย่อยที่ 2..2.1 คือ I หรือ T หรือ J อักษรตัวใดตัวหนึ่ง และกลุ่มย่อยที่ 2.3.1 คือ O หรือ Q อักษรตัวใดตัวหนึ่งเป็นต้น ส่วนการแยกแยะกลุ่มอักษรคัดลายมือในแผนภูมิที่ 4.1 ถึง 4.12 ก็พิจารณาในทำนองเดียวกันกับกลุ่มอักษรคัดลายมือในแผนภูมิที่4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



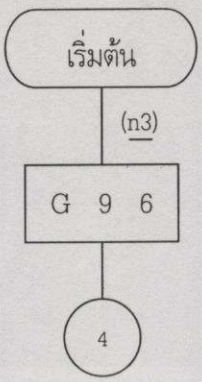
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1)

แผนภูมิที่ 4.2 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2)

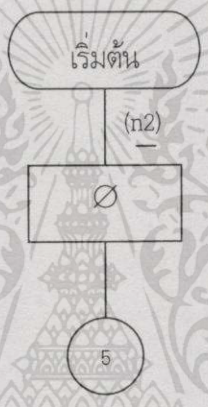


แผนภูมิที่ 4.3 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3)

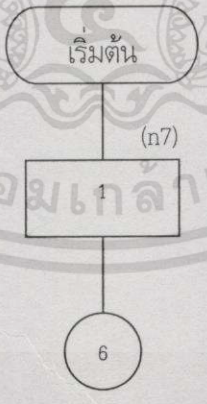
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด(n3)

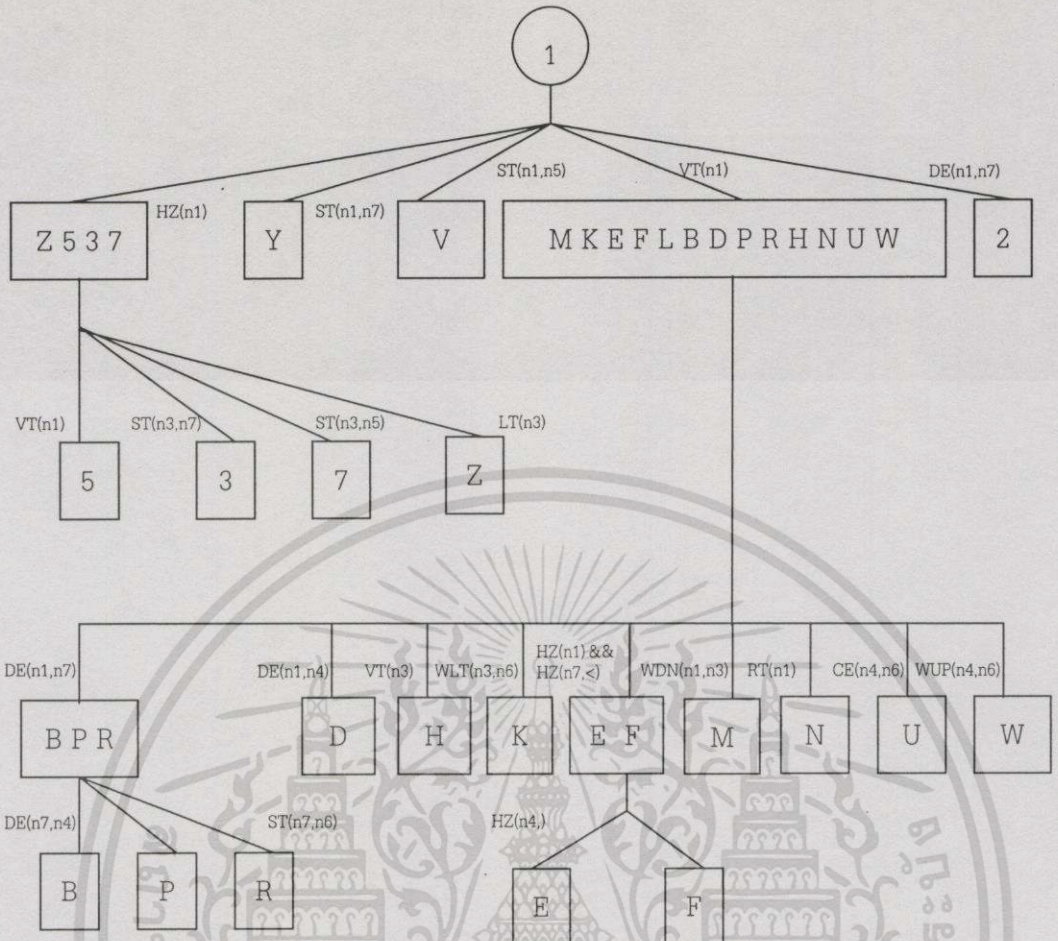


แผนภูมิที่ 4.5 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2)

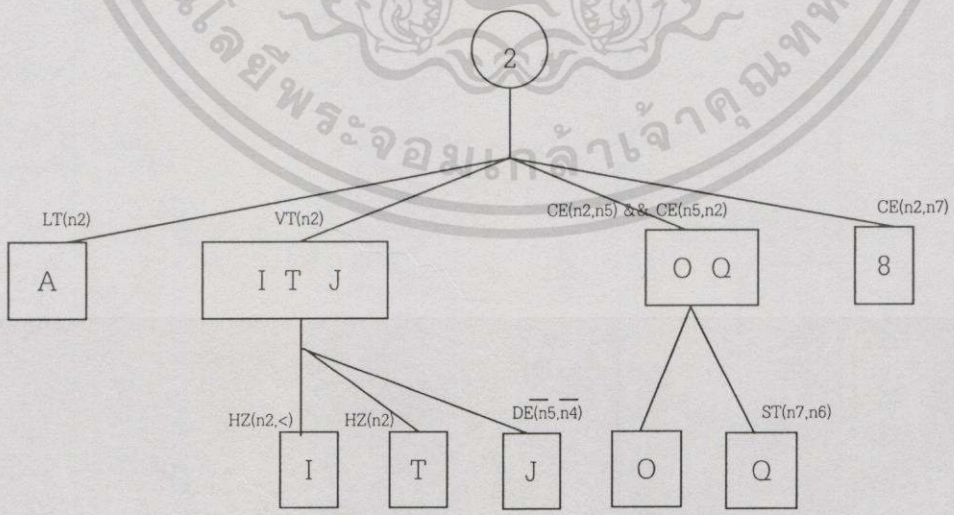


แผนภูมิที่ 4.6 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

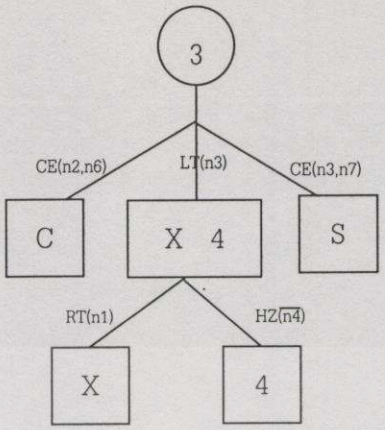


แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 1

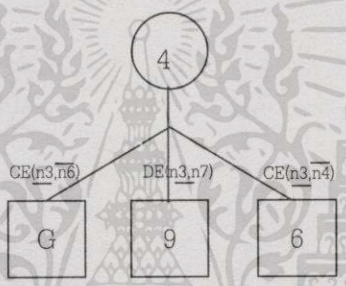


แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 2

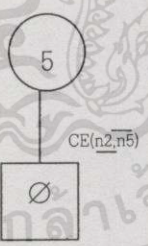
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



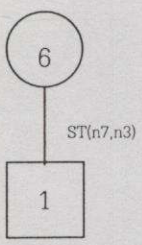
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 3



- **แผนภูมิที่ 4.10** แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 4



แผนภูมิที่ 4.11 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 5



แผนภูมิที่ 4.12 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การแบ่งกลุ่มอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ

5.1 การจำแนกกลุ่มอักษรคัดลายมือ

จากหลักการของนาราซิมเฮน และการสร้างความรู้สำหรับอักษรคัดลายมือที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่3 สามารถนำความรู้ของอักษรคัดลายมือมาเก็บเป็นพจนานุกรมในลักษณะอาเรย์แบบต่อเนื่องโดยจัดแบ่งออกเป็นกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนดเดียวกัน และกลุ่มลักษณะความสัมพันธ์ของลายเส้นที่เหมือนกัน แสดงให้เห็นในตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือ

'1' $\longrightarrow$ ST(n7,n3) + VT(n3)
'4' $\longrightarrow$ LT(n3) + HZ($\overline{n4}$) + VT(n3)
'y' $\longrightarrow$ ST(n1,n7) + LT(n3)
'k' $\longrightarrow$ VT(n1) + WLT(n7,n5)
'm' $\longrightarrow$ VT(n1) + DE($\underline{n1}$,$\underline{n2}$) + VT($\underline{n2}$) + DE($\underline{n2}$,$\underline{n3}$) +VT($\underline{n3}$)
'n' $\longrightarrow$ VT(n1) + DE($\underline{n1}$,$\underline{n3}$) + VT($\underline{n3}$)
'5' $\longrightarrow$ HZ(n1) + VT(n1) + DE($\overline{n4}$,n7) + DE(n7,n4)
'3' $\longrightarrow$ HZ(n1) + ST(n3,n7) + DE(n7,n4)
'7' $\longrightarrow$ HZ(n1) + ST(n3,n5)
'2' $\longrightarrow$ DE(n1,n7) + CE(n7,n4) + HZ(n4)
'w' $\longrightarrow$ VT($\underline{n1}$) + WUP(n4,n6) + VT(n6)
'v' $\longrightarrow$ ST($\underline{n1}$,n5) + ST(n5,$\underline{n3}$)
'a' $\longrightarrow$ DE($\underline{n1}$,$\underline{n2}$) + VT($\underline{n2}$) + CE($\overline{n7}$,n5)
'e' $\longrightarrow$ HZ($\underline{n1}$) + CE($\underline{n3}$,$\underline{n1}$) + CE($\underline{n1}$,$\overline{n6}$)
z' $\longrightarrow$ HZ($\underline{n1}$) + LT($\underline{n3}$) + HZ(n4)
'u' $\longrightarrow$ VT($\underline{n1}$) + CE($\overline{n4}$,$\overline{n5}$) + VT($\overline{n5}$) + CE($\overline{n5}$,n6)
'd' $\longrightarrow$ VT(n2) + CE(n7,n5)
'q' $\longrightarrow$ VT(n2) + CE($\underline{n2}$,n7)
'b' $\longrightarrow$ VT(n2) + DE(n7,n5)
'h' $\longrightarrow$ VT(n2) + DE($\overline{n7}$,$\underline{n3}$) + VT($\underline{n3}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

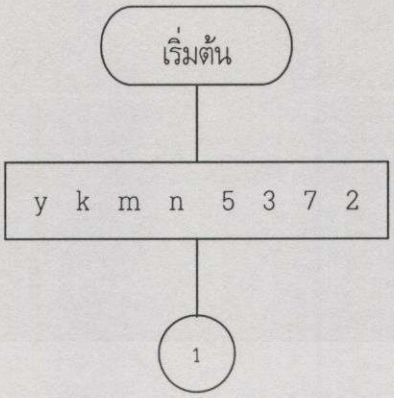
ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

'p' → VT(n2) + DE(n2,n7)
'r' → VT(n2) + DE(n2,n3)
'l' → VT(n2) + HZ(n5,<)
'g' → CE(n2,n7) + VT(n2) +DE($\overline{n5}$,$\overline{n4}$)
'8' → CE(n2,n7) + DE(n7,n5) + DE(n5,n7) + CE(n7,n2)
'i' → VT(n2)
t' → VT(n2) + CE($\overline{n5}$,n6) + HZ(n7,<)
'j' → VT(n2) + DE($\overline{n5}$,n4)
'o' → CE(n2,$\overline{n5}$) + CE($\overline{n5}$,n2)
'0' → CE(n2,$\overline{n5}$) + CE($\overline{n5}$,n2) + VT(n2)
'c' → CE(n3,$\overline{n6}$)
'f' → CE(n3,n2) + VT(n2) + HZ(n7,<)
's' → CE(n3,n7) + DE(n7,$\overline{n4}$)
'x' → LT(n3) + RT(n1)
'9' → DE(n3,n7) + DE(n7,n3) + DE(n3,$\overline{n4}$)
'6' → CE(n3,$\overline{n4}$) + CE($\overline{n4}$,n7) + CE(n7,$\overline{n4}$)

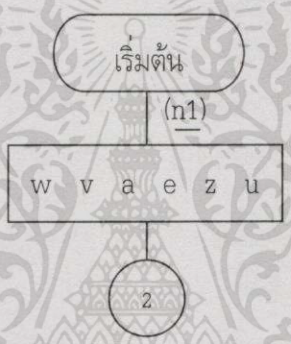
5.2 แผนภูมิสำหรับการแยกแยะอักษรคัดลายมือ

จากการแบ่งกลุ่มของอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด(n2) ดังในแผนภูมิที่ 5.4 จะได้อักษร i,t,j,o,0 และสามารถแยกแยะอักษรคัดลายมือโดยการพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นระหว่างโหนดต่างๆดังในแผนภูมิที่ 5.11 คือ VT(n2) และCE(n2,$\overline{n5}$) จะได้กลุ่มย่อยที่ 4.1 คือ i,t,j และกลุ่มย่อยที่ 4.2 คือ o,0 จากนั้นก็จะแยกแยะในแต่ละกลุ่มย่อยในลักษณะเดียวกันต่อเนื่องลงไปอีกจะได้ กลุ่มย่อยที่ 4.1.1 คือ i หรือ t หรือ j อักษรตัวใดตัวหนึ่ง และกลุ่มย่อยที่ 4.2.1 คือ o หรือ 0 อักษรตัวใดตัวหนึ่ง เป็นต้น ส่วนการแยกแยะกลุ่มอักษรคัดลายมือในแผนภูมิที่ 5.1 ถึง 5.14 ก็พิจารณาในทำนองเดียวกันกับกลุ่มอักษรคัดลายมือในแผนภูมิที่ 5.4

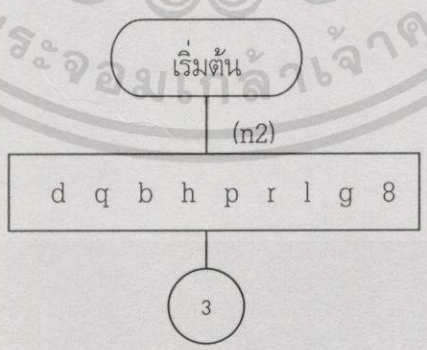
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภูมิที่ 5.1 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด(n1)

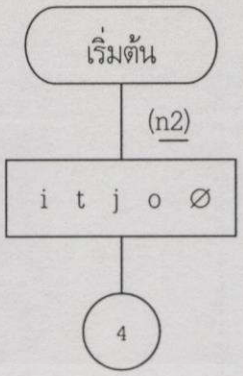


แผนภูมิที่ 5.2 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1)

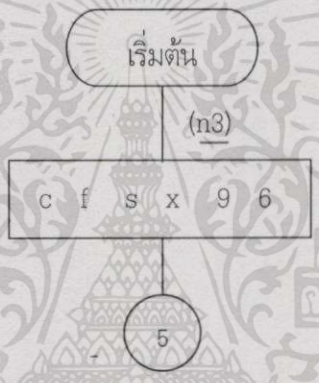


แผนภูมิที่ 5.3 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2)

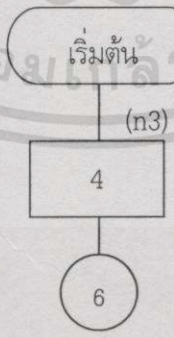
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภูมิที่ 5.4 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2)

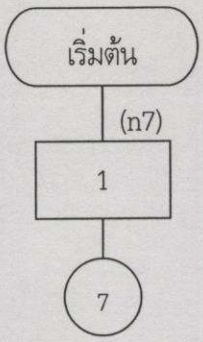


แผนภูมิที่ 5.5 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3)

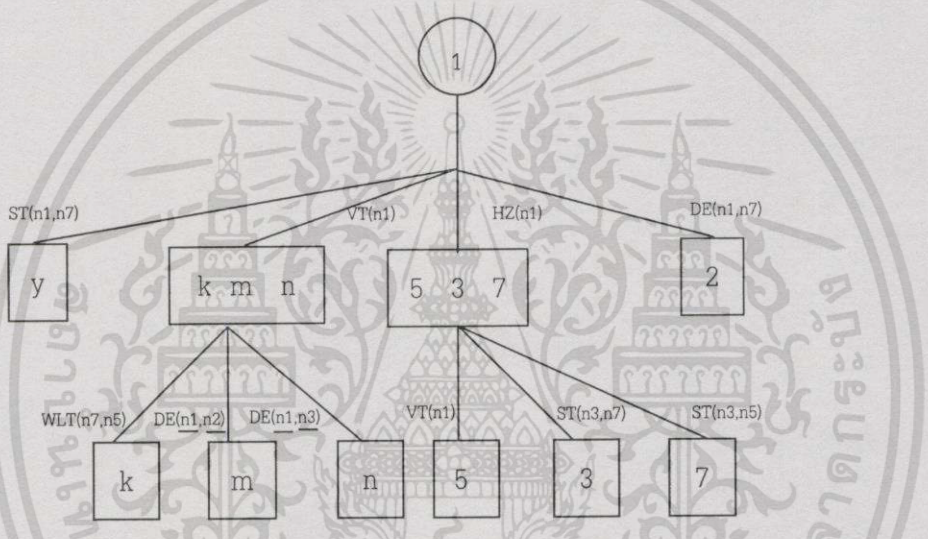


แผนภูมิที่ 5.6 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3)

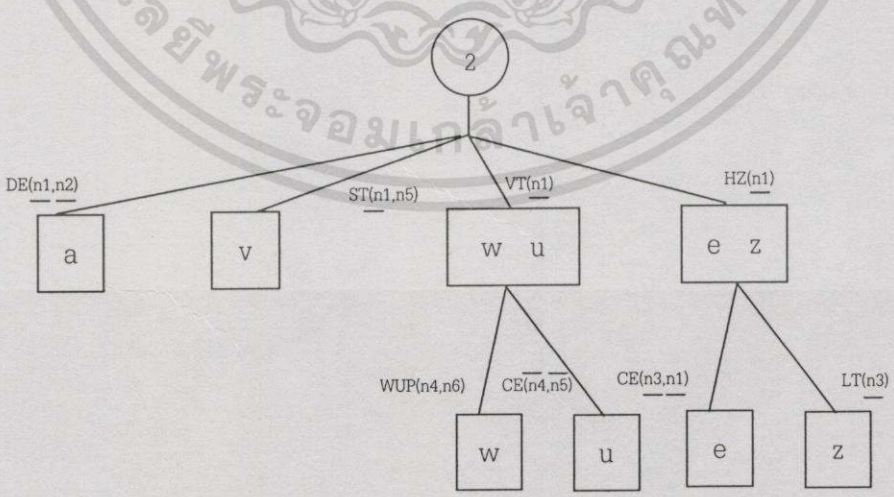
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภูมิที่ 5.7 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n7)

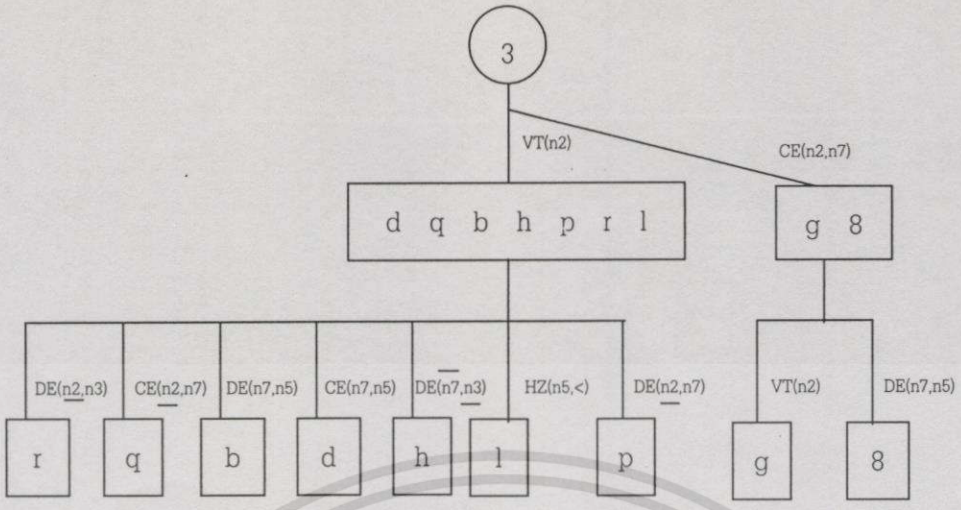


แผนภูมิที่ 5.8 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 1

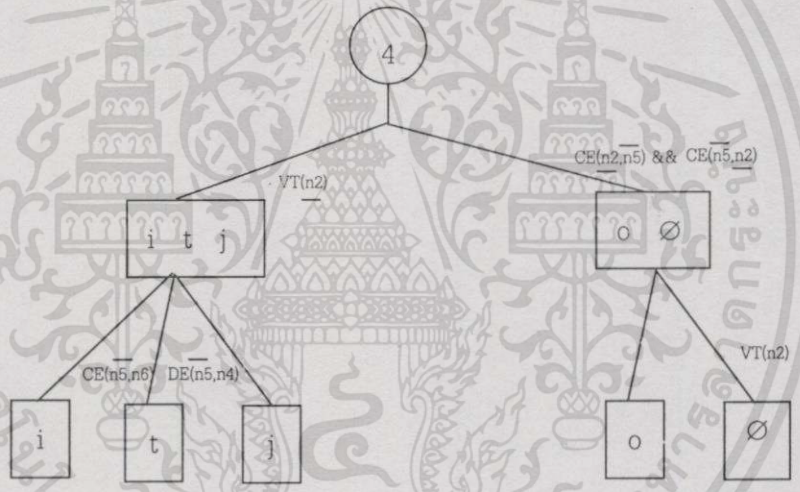


แผนภูมิที่ 5.9 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 2

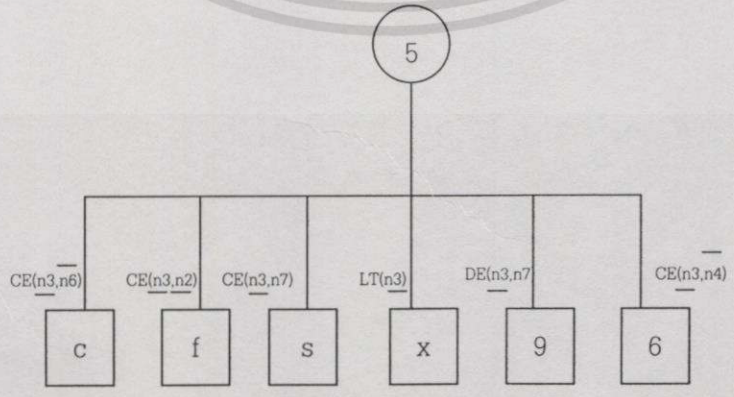
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภูมิที่ 5.10 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 3

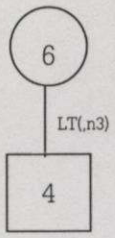


แผนภูมิที่ 5.11 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 4



แผนภูมิที่ 5.12 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภูมิที่ 5.13 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 6

แผนภูมิที่ 5.14 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การรู้จำอักษรคัดลายมือภาษาไทย

6.1 การจำแนกกลุ่มอักษรคัดลายมือ

จากหลักการของนาราซิมเฮน และการสร้างความรู้สำหรับอักษรคัดลายมือที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่3 สามารถนำความรู้ของอักษรคัดลายมือมาเก็บเป็นพจนานุกรมในลักษณะอาเรย์แบบต่อเนื่อง โดยจัดแบ่งออกเป็นกลุ่มอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนดเดียวกัน และกลุ่มลักษณะความสัมพันธ์ของลายเส้นที่เหมือนกัน แสดงให้เห็นในตารางที่ 6.1 ดังนี้

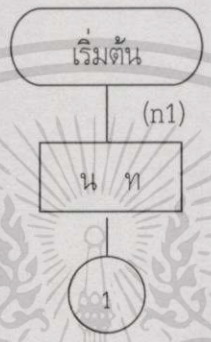
ตารางที่ 6.1 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือ

'น' → DE(n1,n1) + VT(n1) + DE(n4,n9) + DE(n9,n6) + VT(n6)
'ท' → DE(n1,n1) + VT(n1) +LT(n4) +VT(n3)
'ย' → CE(n2,n2) + CE(n2,n8) + CE(n8,n5) + ST(n5,n6) +VT(n6)
'ข' → DE(n2,n2) + VT(n2) + ST(n5,n6) + VT(n6)
'ง' → DE(n2,n2) + VT(n2) + ST(n5,n7)
'ถ' → DE(n4,n4) + VT(n4) + DE(n1,n3) + VT(n3)
'ก' → VT(n4) + DE(n1,n3) + VT(n3)
'ว' → CE(n6,n6) + VT(n6) + CE(n3,n1)
'ร' → CE(n6,n6) + ST(n6,n9) + CE(n9,n7) + DE(n7,n3)
'ฟ' → DE(n7,n7) + ST(n7,n4) +WUP(n4,n6) + VT(n6)
'พ' → DE(n7,n7) + ST(n7,n4) +WUP(n4,n6) + ST(n6,n9)
'ป' → DE(n7,n7) + ST(n7,n4) + HZ(n4) + VT(n6)
'บ' → DE(n7,n7) + ST(n7,n4) + HZ(n4) + ST(n6,n9)
'ธ' → ST(n8,n5) + ST(n5,n6) + ST(n6,n9) + CE(n9,n7) + DE(n7,n3)
'จ' → DE(n8,n8) + ST(n8,n6) + VT(n6) + CE(n3,n1)
'ค' → CE(n8,n8) + ST(n8,n4) + VT(n4) + DE(n1,n3) + VT(n3)

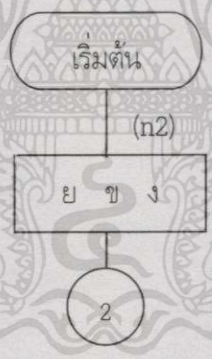
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 แผนภูมิสำหรับการแยกแยะอักษรคัดลายมือ

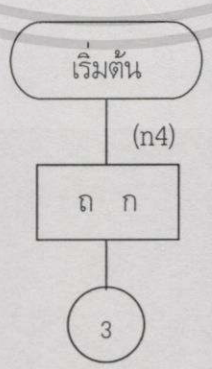
จากการแบ่งกลุ่มของอักษรคัดลายมือที่เริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด(n2) ดังในแผนภูมิที่ 6.2 จะได้อักษร ย,ข,ง และสามารถแยกแยะอักษรคัดลายมือโดยการพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นระหว่างโหนดต่างๆดังในแผนภูมิที่ 6.8 คือ DE(n2,n2) && VT(n2) และ CE(n2,n2) จะได้กลุ่มย่อยที่ 2.1 คือ ข , ง และกลุ่มย่อยที่ 2.2 คือ ย จากนั้นก็จะแยกแยะในแต่ละกลุ่มย่อยในลักษณะเดียวกันต่อเนื่องลงไปอีกจะได้กลุ่มย่อยที่ 2.1.1คือ ข หรือ ง อักษรตัวใดตัวหนึ่งเป็นต้น ส่วนการแยกแยะกลุ่มอักษรคัดลายมือในแผนภูมิที่ 6.1 ถึง 6.12 ก็พิจารณาในทำนองเดียวกันกับกลุ่มอักษรคัดลายมือในแผนภูมิที่ 6.2



แผนภูมิที่ 6.1 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1)

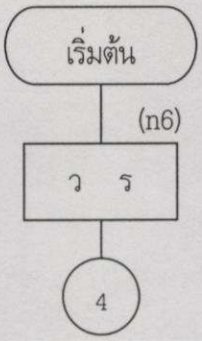


แผนภูมิที่ 6.2 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2)

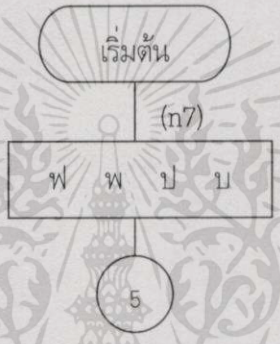


แผนภูมิที่ 6.3 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



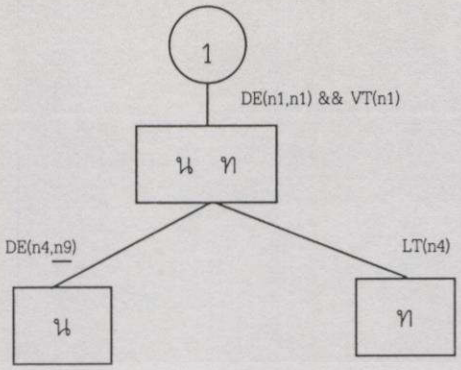
แผนภูมิที่ 6.4 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n6)



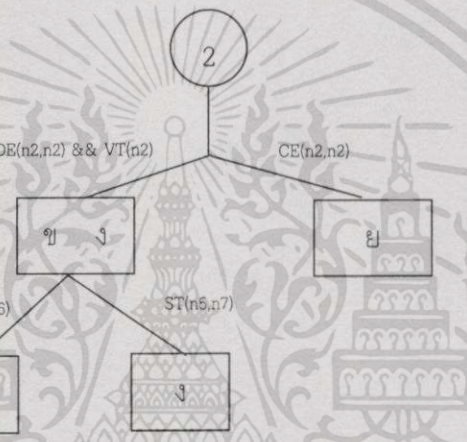
แผนภูมิที่ 6.5 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n7)

แผนภูมิที่ 6.6 แสดงกลุ่มอักษรคัดลายมือเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n8)

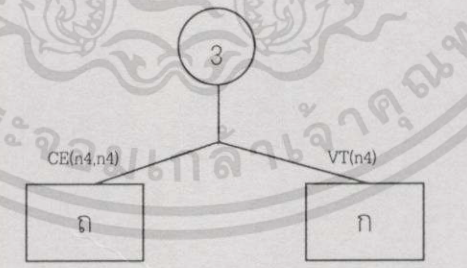
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภูมิที่ 6.7 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 1

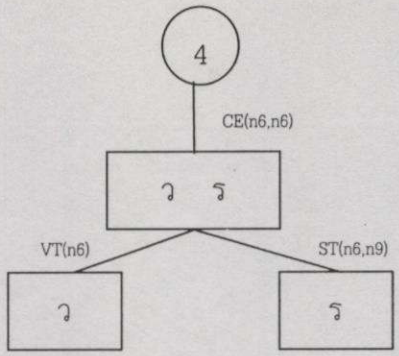


แผนภูมิที่ 6.8 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือลุ่มย่อยที่ 2

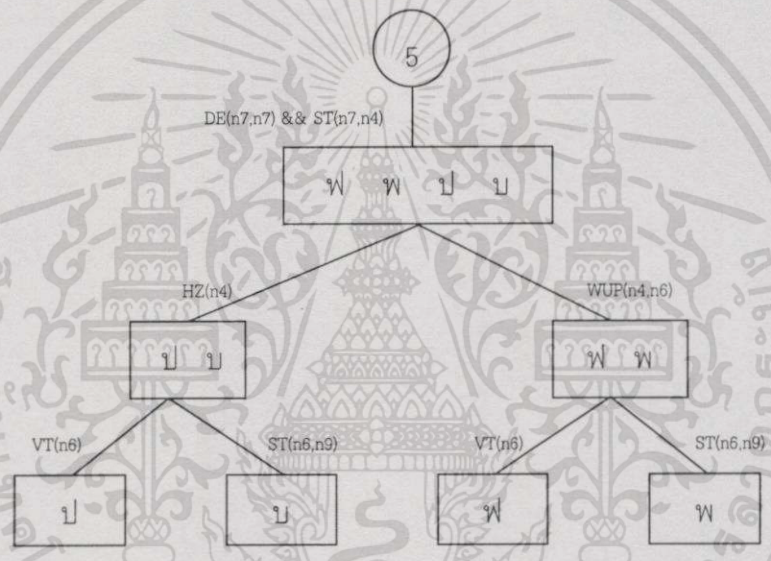


แผนภูมิที่ 6.9 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือลุ่มย่อยที่ 3

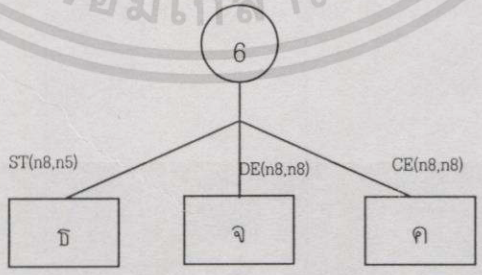
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภูมิที่ 6.10 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 4



แผนภูมิที่ 6.11 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 5



แผนภูมิที่ 6.12 แสดงการแยกแยะอักษรคัดลายมือกลุ่มย่อยที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาทฤษฎีและกรรมวิธีในการวิเคราะห์การรู้จำอักษรคัดลายมือโดยพิจารณาการเริ่มต้นของการเขียนพื้นที่โหนด (n) และลักษณะความสัมพันธ์ของลายเส้นระหว่างโหนดต่างๆ ในกลุ่มเดียวกันของอักษรคัดลายมือภาษาไทย, ตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ, ตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ และตัวเลขอราบิค ปรากฏว่าปัจจัยความถูกต้องขึ้นอยู่กับความเปลี่ยนแปลง ความไม่แน่นอน ความไม่คงที่ และความเร็วของอักษรคัดลายมือแต่ละบุคคล ซึ่งต้องเขียนให้ถูกตามกรรมวิธีการเขียนอย่างมีกฎเกณฑ์แน่นอน โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระบบการรู้จำอักษรคัดลายมือนี้ เขียนด้วยโปรแกรมภาษาซี เวอร์ชั่น 2.0 รันด้วยดอสบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ PC/AT ขนาด 32 บิท CPU 80486DX-33

ทำการป้อนด้วยการเขียนอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ 26 ตัว, ตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ 26 ตัว,ภาษาไทย 16 ตัว และตัวเลขอราบิค 10 ตัวซึ่งผลจากการทดลองอักษรคัดลายมือจำนวน 5 ลายมือๆละ 5 ครั้งได้จำนวนอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษทั้งหมด 650 ตัว,ตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษทั้งหมด 650 ตัว,ภาษาไทยทั้งหมด 400 ตัวและตัวเลขอราบิคทั้งหมด 250 ตัว จะทดสอบการวิเคราะห์อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้ ซึ่งผลการทดสอบอักษรคัดลายมือจะประกอบด้วยผลการทดลองดังนี้

7.1 ผลการทดลองอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ

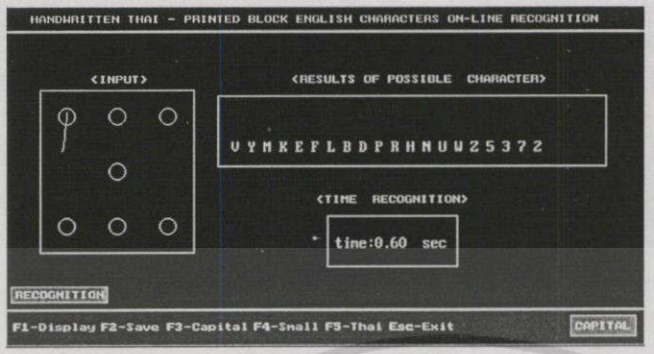
ตารางที่ 7.1 แสดงผลการวิเคราะห์

ชื่อผู้คัดลายมือ	จำนวนตัวอักษร		เปอร์เซนต์ของกลุ่มตัวอักษร		เวลาเฉลี่ยของกลุ่มตัวอักษร (วินาที)	
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
สุรเดช อรุณทอง อายุ 50 ปี	120	10	92.31	7.69	3.87	3.92
สุริยัน อนุวรรค อายุ 40 ปี	125	5	96.15	3.85	3.17	3.84
ทนงศักดิ์ เกิดนุ่น อายุ 30 ปี	125	5	96.15	3.85	2.91	3.67
ประทุม กุวลัยรัตน์ อายุ 30 ปี	120	10	92.31	7.69	2.85	3.24
รสริน วัฒนาประสบ อายุ 28 ปี	120	10	92.31	7.69	2.79	3.23

ชื่อผู้คัดลายมือ	อักษรที่วิเคราะห์ถูกต้อง	อักษรที่วิเคราะห์ไม่ถูกต้อง
สุรเดช อรุณทอง อายุ 50 ปี	A B C D E F G H I K L M N O P Q R S T V W X Y Z	J U
สุริยัน อนุวรรค อายุ 40 ปี	A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T V W X Y Z	U
ทนงศักดิ์ เกิดนุ่น อายุ 30 ปี	A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T V W X Y Z	U
ประทุม กุวลัยรัตน์ อายุ 30 ปี	A B C D E F G H I K L M N O P Q R S T V W X Y Z	J U
รสริน วัฒนาประสบ อายุ 28 ปี	A B C D E F G H I K L M N O P Q R S T V W X Y Z	J U

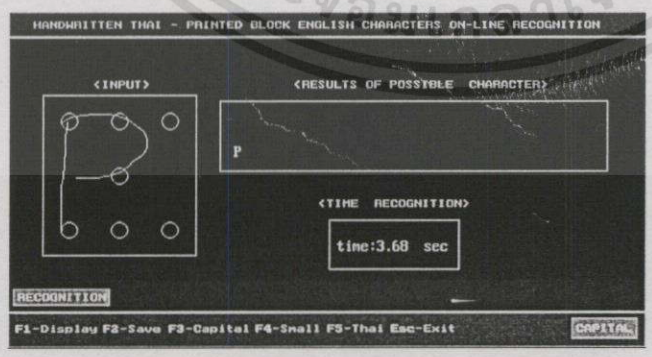
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองป้อนการเขียนอักษรคัดลายมือด้วยปากกา



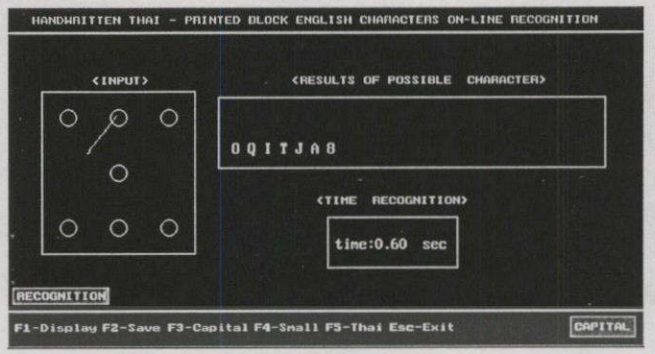
ภาพที่ 7.1(ก) อักษร P ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: V Y M K E F L B D P R H N U W Z 5 3 7 2

ภาพที่ 7.1(ข) อักษร P ขณะที่มีความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n1)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ : M K E F L B D P R H N U W

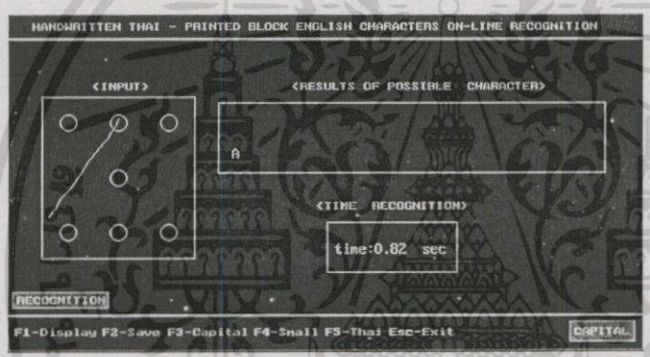


ภาพที่ 7.1(ค) อักษร P เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: P

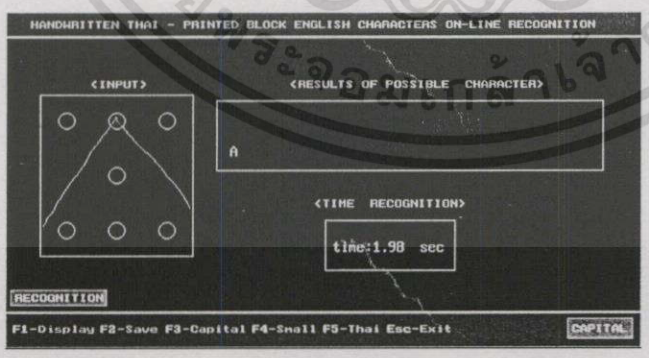
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.2(ก) อักษร A ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: O Q I T J A 8

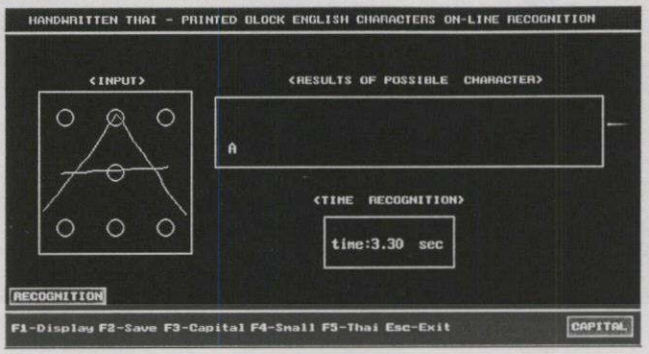


ภาพที่ 7.2(ข) อักษร A ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ LT(n2)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: A

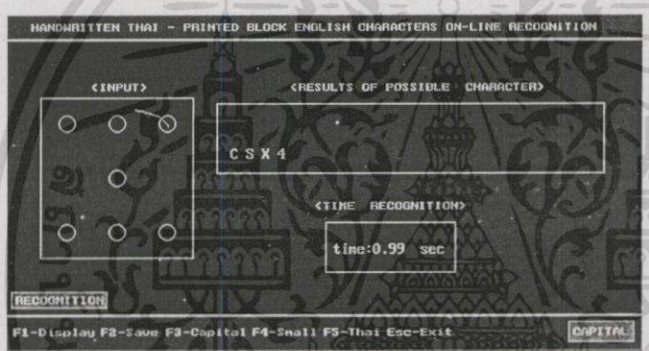


ภาพที่ 7.2(ค) อักษร A ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ RT(n2)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: A

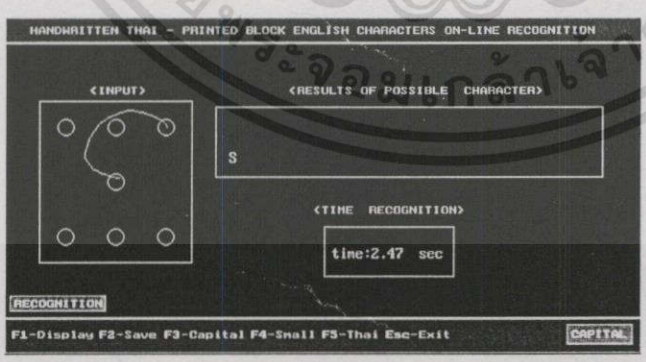
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.2(ง) อักษร A เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: A

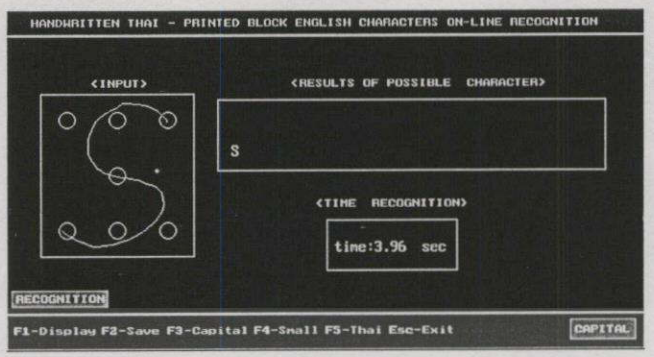


ภาพที่ 7.3(ก) อักษร S ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: C S X 4

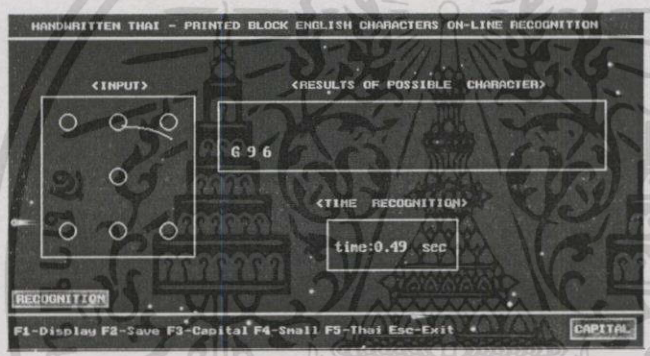


ภาพที่ 7.3(ข) อักษร S ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n3,n7)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: S

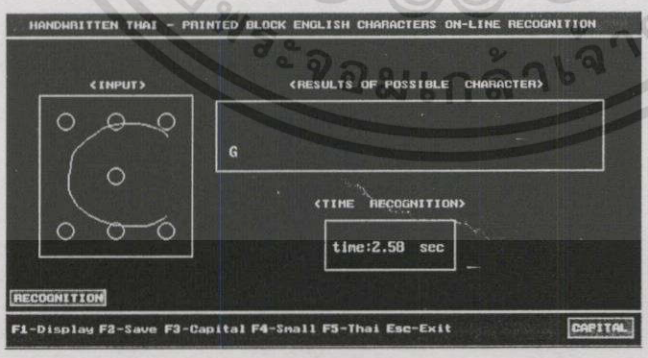
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.3(ค) อักษร S เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: S

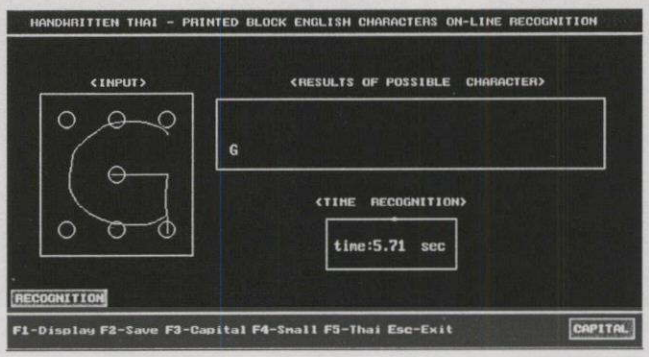


ภาพที่ 7.4(ก) อักษร G ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: G 9 6



ภาพที่ 7.4(ข) อักษร G ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n3,n6)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.4(ค) อักษร G เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: G

7.2 ผลการทดลองอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ

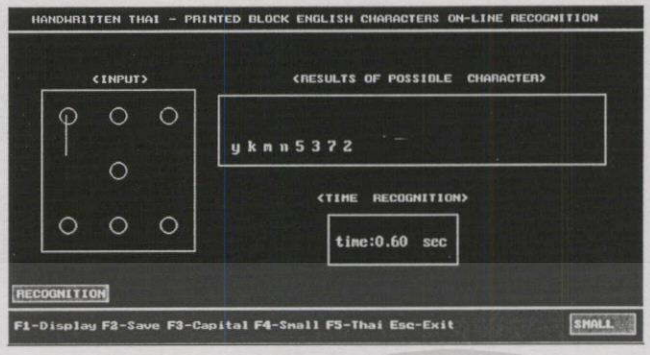
ตารางที่ 7.2 แสดงผลการวิเคราะห์

ชื่อผู้คัดลายมือ	จำนวนตัวอักษร		เปอร์เซนต์ของกลุ่มตัวอักษร		เวลาเฉลี่ยของกลุ่มตัวอักษร (วินาที)	
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
สุรเดช อรุณทอง อายุ 50 ปี	115	15	88.46	11.54	2.80	3.05
สุริยัน อนุวรรค อายุ 40 ปี	125	5	96.15	3.85	2.56	3.14
ทนงศักดิ์ เกิดนุ่น อายุ 30 ปี	115	15	88.46	11.54	2.42	2.70
ประทุม กุวลัยรัตน์ อายุ 30 ปี	120	10	92.31	7.69	2.37	2.59
รสริน วัฒนาประสบ อายุ 28 ปี	115	15	88.46	11.54	2.29	2.52

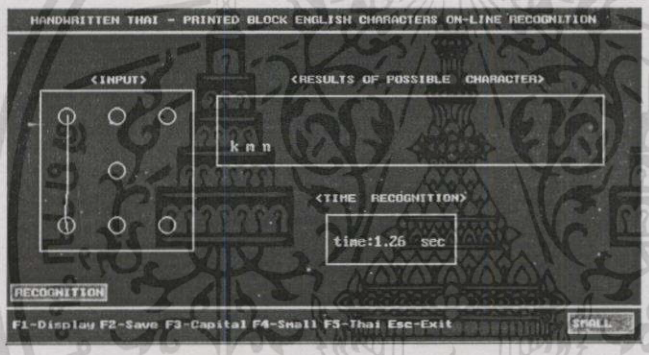
ชื่อผู้คัดลายมือ	อักษรที่วิเคราะห์ถูกต้อง	อักษรที่วิเคราะห์ไม่ถูกต้อง
สุรเดช อรุณทอง อายุ 50 ปี	a b c d e f g h i k l m n o p q r s v w x y z	j t u
สุริยัน อนุวรรค อายุ 40 ปี	a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t v w x y z	u
ทนงศักดิ์ เกิดนุ่น อายุ 30 ปี	a b c d e f g h i k l m n o p q r s v w x y z	j t u
ประทุม กุวลัยรัตน์ อายุ 30 ปี	a b c d e f g h i j k l m n o p q r s v w x y z	t u
รสริน วัฒนาประสบ อายุ 28 ปี	a b c d e f g h i k l m n o p q r s v w x y z	j t u

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

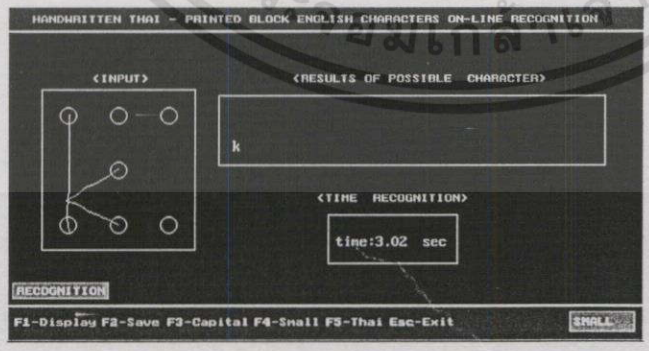
ทดลองป้อนการเขียนอักษรคัดลายมือปากกา



ภาพที่ 7.5(ก) อักษร k ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: y k m n 5 3 7 2

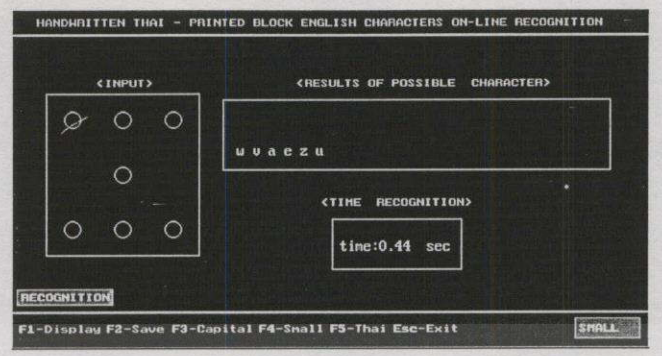


ภาพที่ 7.5(ข) อักษร k ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n1)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: k m n

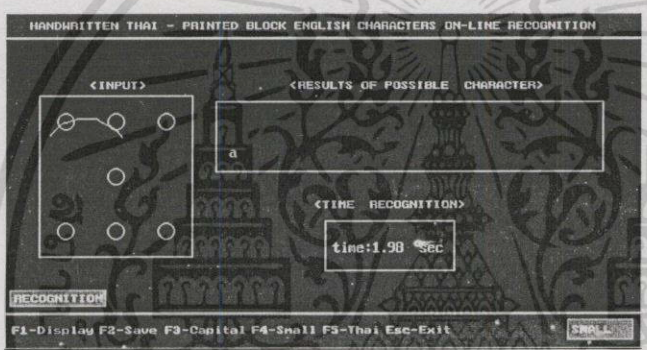


ภาพที่ 7.5(ค) อักษร k เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: k

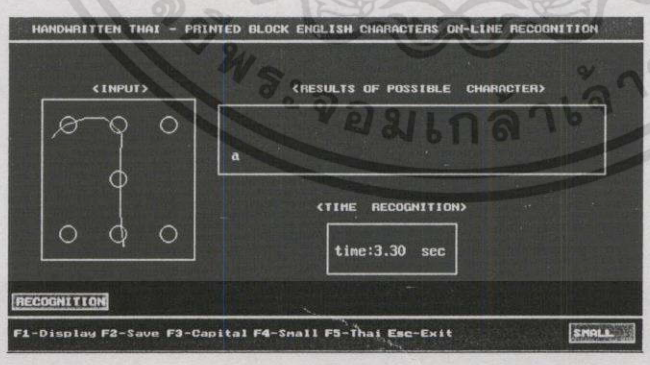
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.6(ก) อักษร a ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: w v a e z u

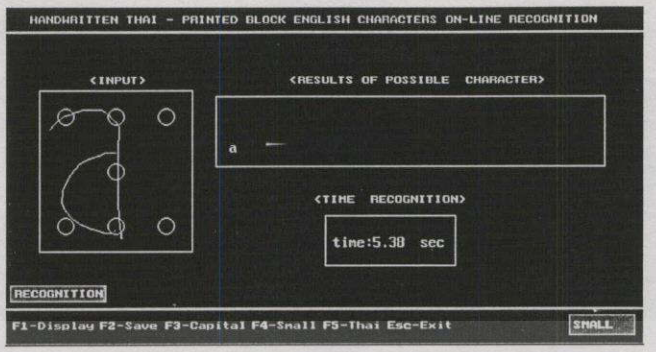


ภาพที่ 7.6(ข) อักษร a ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ DE(n1,n2)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: a

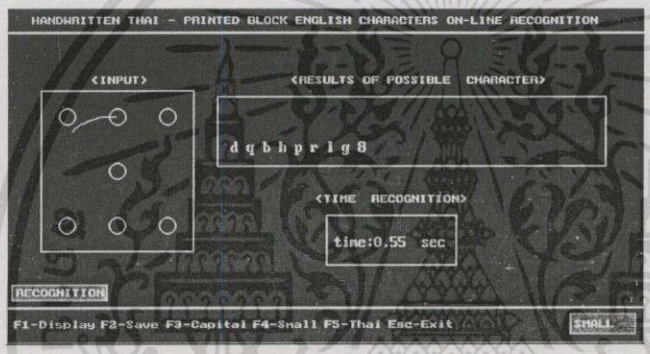


ภาพที่ 7.6(ค) อักษร a ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n2)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: a

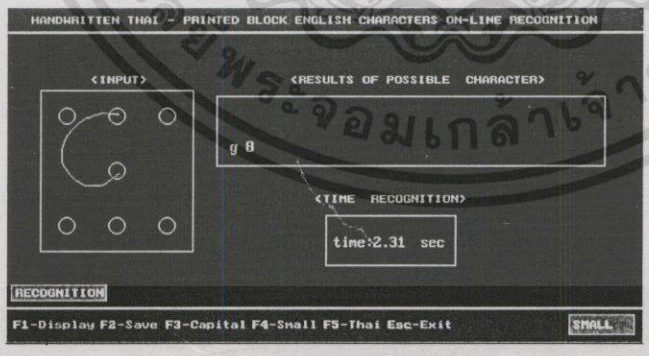
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.6(ง) อักษร a เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: a

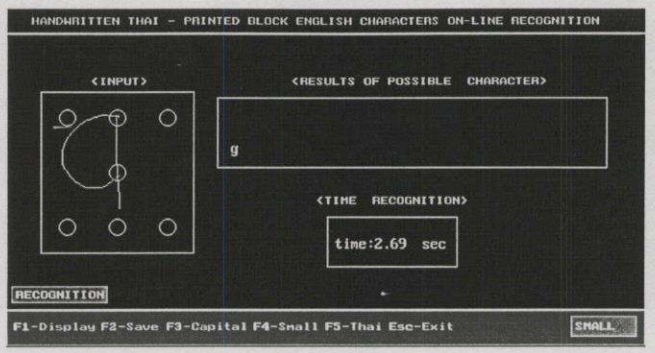


ภาพที่ 7.7(ก) อักษร g ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2)
อักษรที่เป็นไปได้คือ: d q b h p r l g 8

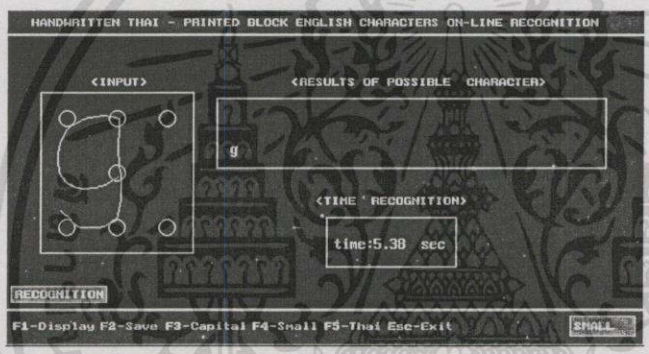


ภาพที่ 7.7(ข) อักษร g ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n2,n7)
อักษรที่เป็นไปได้คือ: g 8

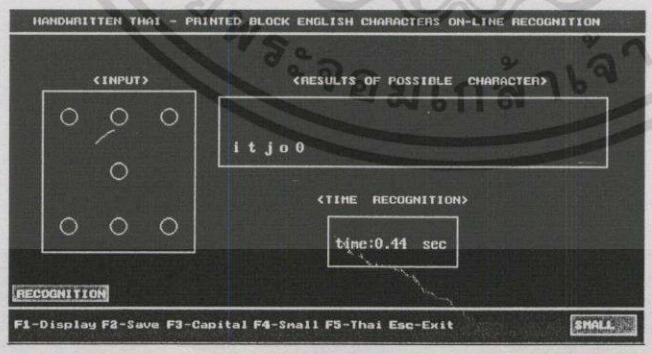
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.7(ค) อักษร g ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n2)
อักษรที่เป็นไปได้คือ: g

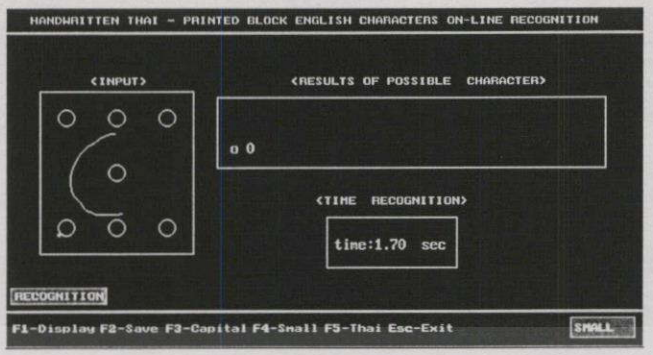


ภาพที่ 7.7(ง) อักษร g เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรที่เป็นไปได้คือ: g

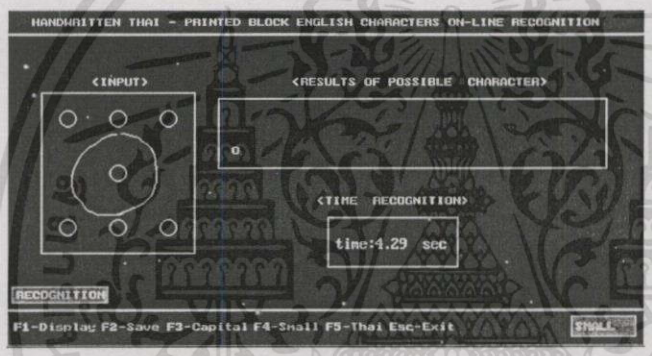


ภาพที่ 7.8(ก) อักษร o ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: i t j o 0

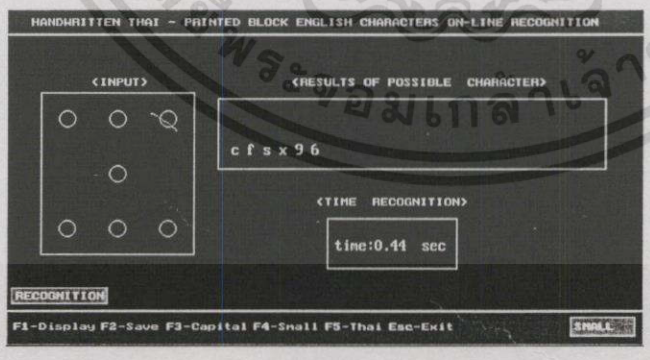
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.8(ข) อักษร o ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n2,n5)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: o 0

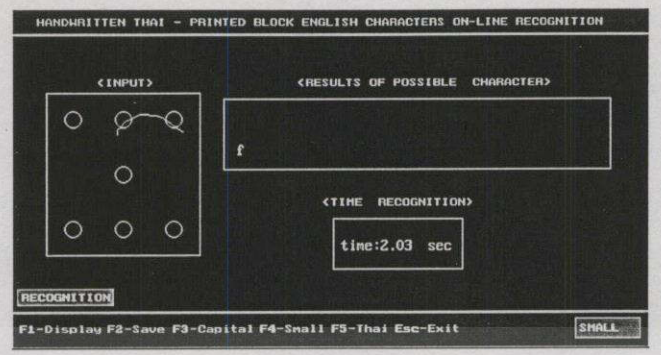


ภาพที่ 7.8(ค) อักษร o เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: o

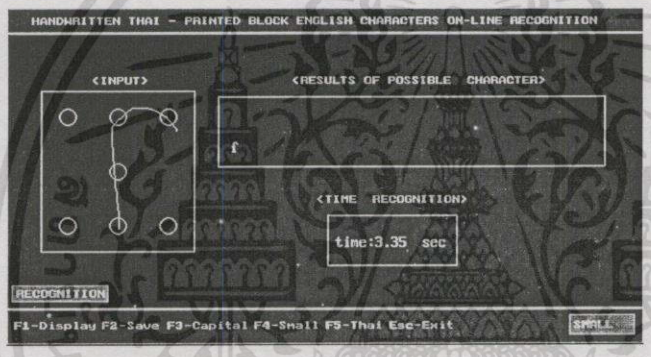


ภาพที่ 7.9(ก) อักษร f ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n3)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: c f s x 9 6

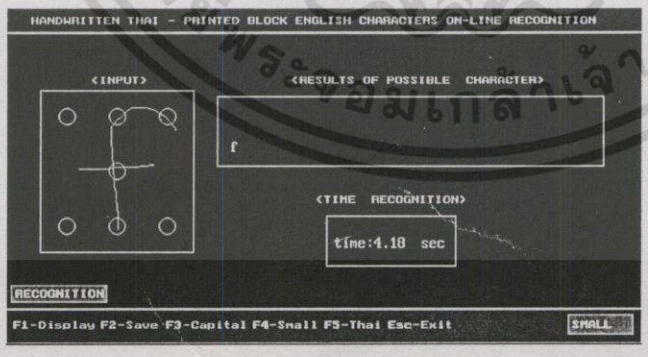
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.9(ข) อักษร f ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n3,n2)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: f



ภาพที่ 7.9(ค) อักษร f ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n2)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: f



ภาพที่ 7.9(ง) อักษร f เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: f

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

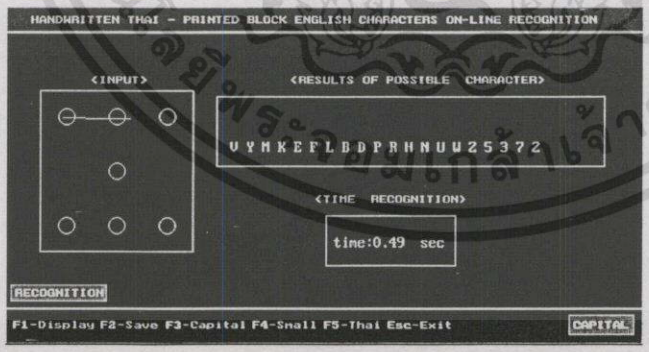
7.3 ผลการทดลองอักษรคัดลายมือตัวเลขอราบิค

ตารางที่ 7.3 แสดงผลการวิเคราะห์

ชื่อผู้คัดลายมือ	จำนวนตัวอักษร		เปอร์เซนต์ของกลุ่มตัวอักษร		เวลาเฉลี่ยของกลุ่มตัวอักษร (วินาที)	
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
สุรเดช อรุณทอง อายุ 50 ปี	45	5	90.0	10.0	2.22	1.82
สุริยัน อนุวรรค อายุ 40 ปี	45	5	90.0	10.0	2.09	2.27
ทนงศักดิ์ เกิดนุ่น อายุ 30 ปี	45	5	90.0	10.0	2.03	1.81
ประทุม กุวลัยรัตน์ อายุ 30 ปี	45	5	90.0	10.0	2.05	1.71
รสริน วัฒนาประสบ อายุ 28 ปี	45	5	90.0	10.0	1.98	1.47

ชื่อผู้คัดลายมือ	อักษรที่วิเคราะห์ถูกต้อง	อักษรที่วิเคราะห์ไม่ถูกต้อง
สุรเดช อรุณทอง อายุ 50 ปี	0 1 2 3 4 5 6 7 8	9
สุริยัน อนุวรรค อายุ 40 ปี	0 1 2 3 4 5 6 7 8	9
ทนงศักดิ์ เกิดนุ่น อายุ 30 ปี	0 1 2 3 5 6 7 8 9	4
ประทุม กุวลัยรัตน์ อายุ 30 ปี	0 1 2 3 4 5 6 7 8	9
รสริน วัฒนาประสบ อายุ 28 ปี	0 1 2 3 4 5 6 7 8	9

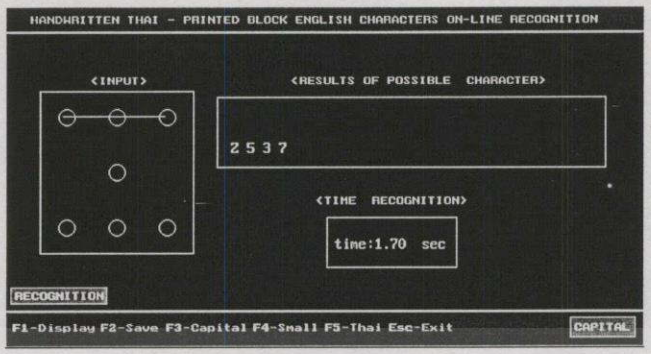
ทดลองป้อนการเขียนอักษรคัดลายมือด้วยปากกา



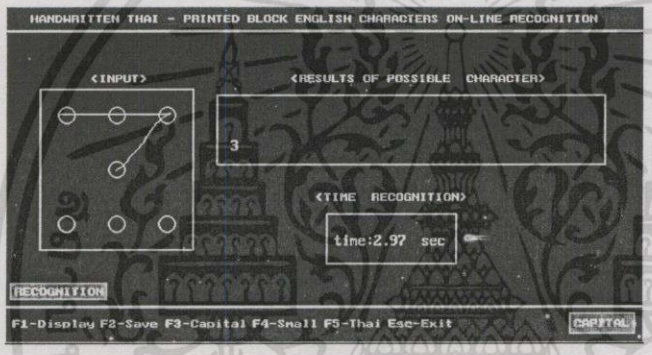
ภาพที่ 7.10(ก) อักษรเลข 3 ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1)

อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ : V Y M K E F L B D P R H N U W Z 5 3 7 2

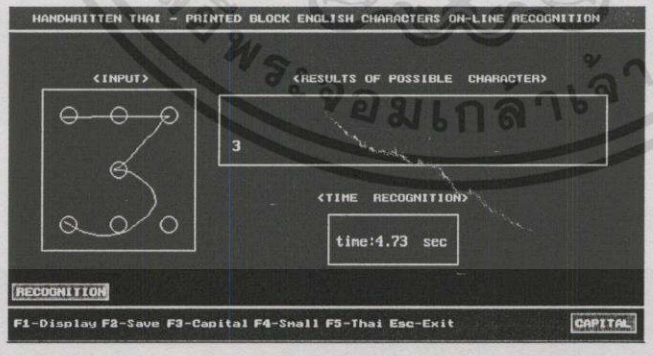
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.10(ข) อักษรเลข 3 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ HZ(n1)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: Z 5 3 7

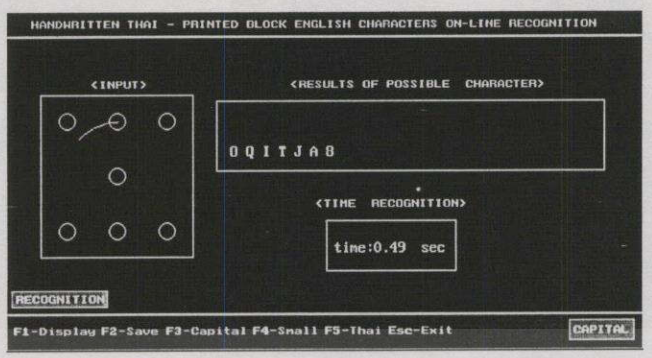


ภาพที่ 7.10(ค) อักษรเลข 3 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ ST(n3,n7)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: 3

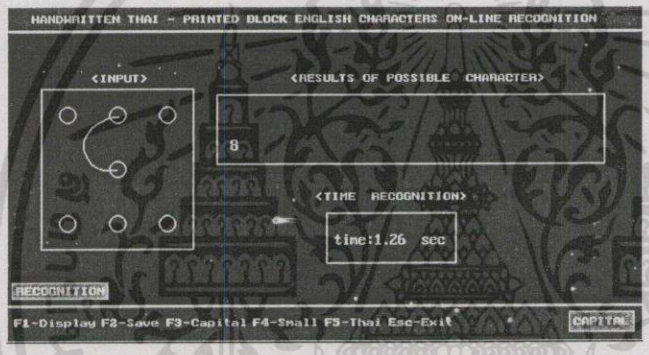


ภาพที่ 7.10(ง) อักษรเลข 3 เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: 3

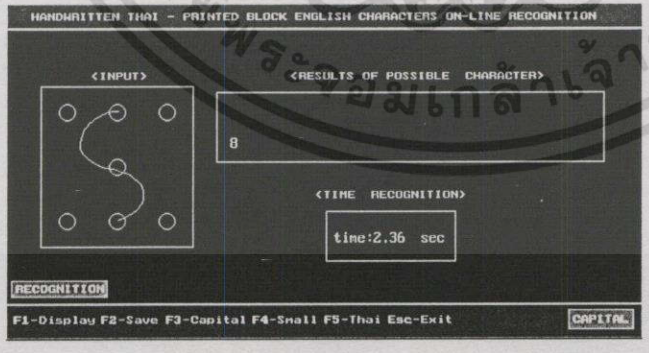
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.11(ก) อักษรเลข 8 ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: O Q I T J A 8

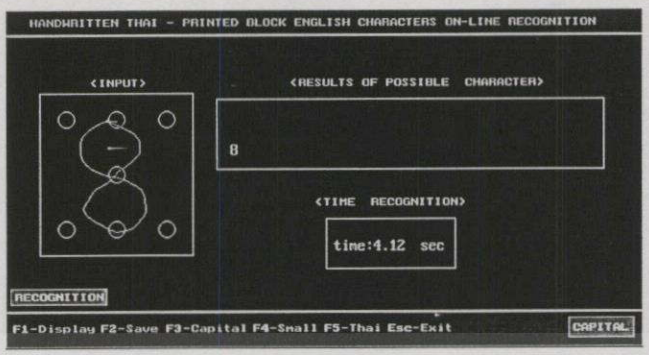


ภาพที่ 7.11(ข) อักษรเลข 8 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n2,n7)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: 8



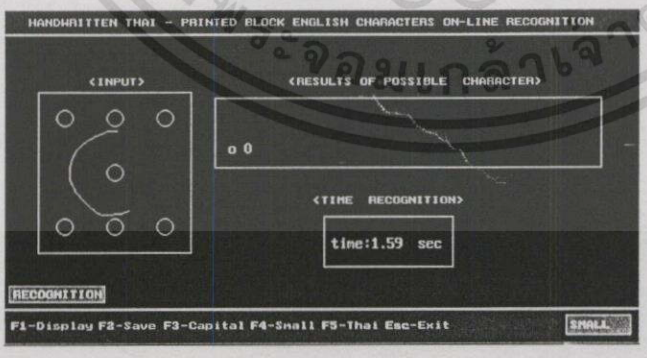
ภาพที่ 7.11(ค) อักษรเลข 8 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ DE(n7,n5)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



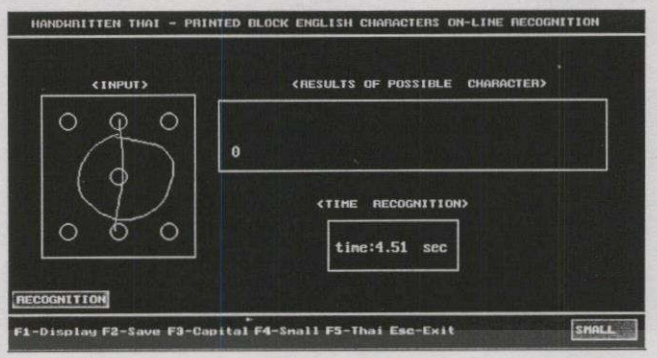
ภาพที่ 7.11(ง) อักษรเลข 8 เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: 8

ภาพที่ 7.12(ก) อักษรเลข 0 ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: i t j o 0

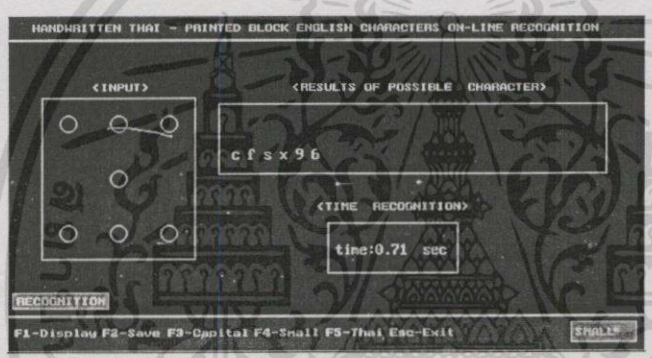


ภาพที่ 7.12(ข) อักษรเลข 0 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n2,n5)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: o 0

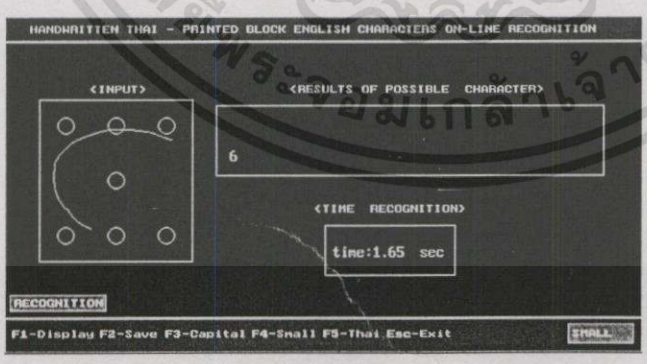
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.12(ค) อักษรเลข 0 เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: 0

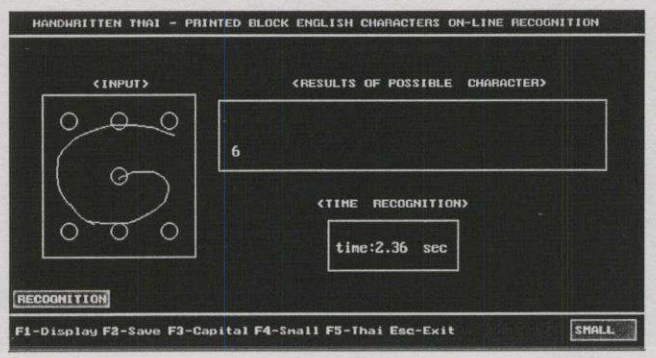


ภาพที่ 7.13(ก) อักษรเลข 6 ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด ($\underline{n3}$)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: c f s x 9 6

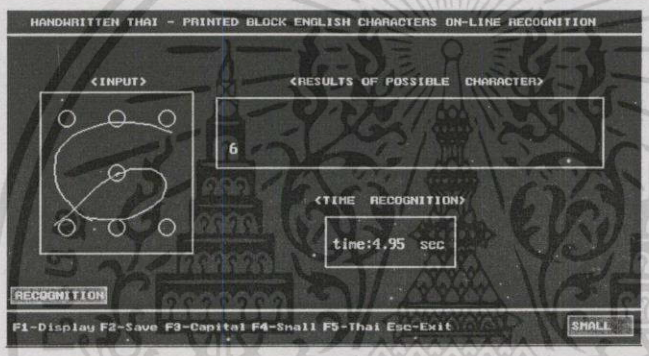


ภาพที่ 7.13(ข) อักษรเลข 6 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE($\underline{n3}$,$\overline{n4}$)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ : 6

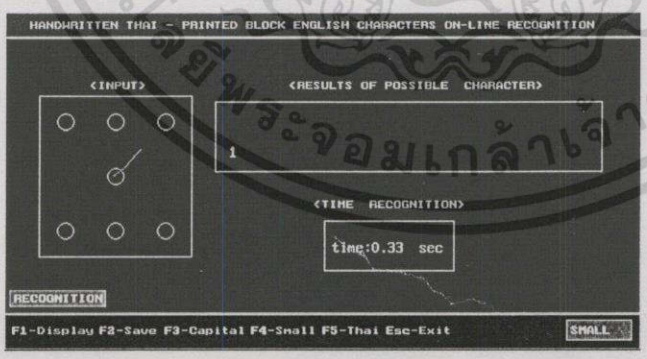
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.13(ค) อักษรเลข 6 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE($\overline{n4}$,n7)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: 6

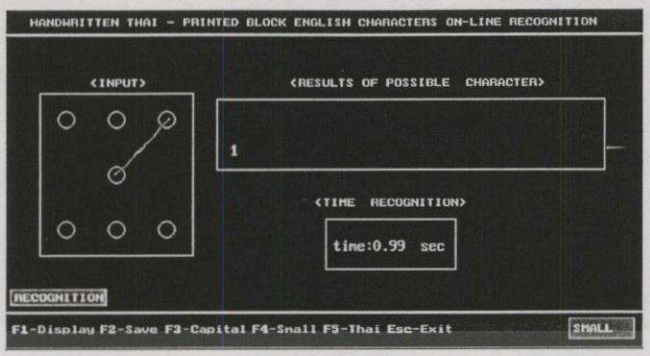


ภาพที่ 7.13(ง) อักษรเลข 6 เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ : 6

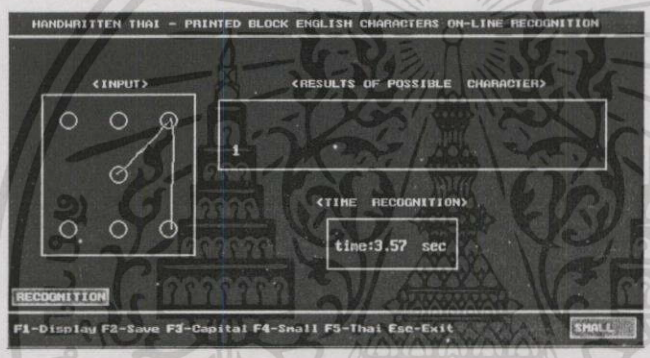


ภาพที่ 7.14(ก) อักษรเลข 1 ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n7)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.14(ข) อักษรเลข 1 ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ ST(n7,n3)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: 1



ภาพที่ 7.14(ค) อักษรเลข 1 เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: 1

7.4 ผลการทดลองอักษรคัดลายมือภาษาไทย

ตารางที่ 7.4 แสดงผลการวิเคราะห์

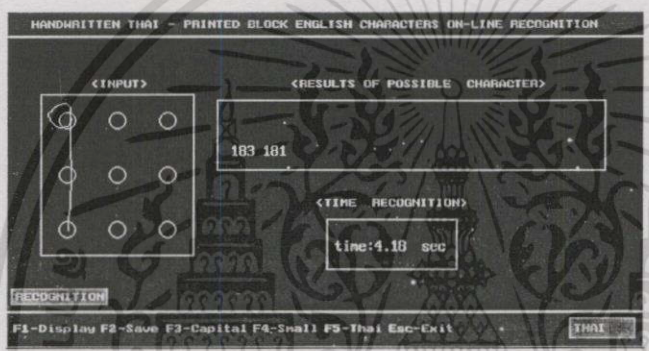
ชื่อผู้คัดลายมือ	จำนวนตัวอักษร		เปอร์เซนต์ของกลุ่มตัวอักษร		เวลาเฉลี่ยของกลุ่มตัวอักษร (วินาที)	
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
สุรเดช อรุณทอง อายุ 50 ปี	50	30	62.50	37.50	4.57	7.02
สุริยัน อนุวรรค อายุ 40 ปี	60	20	75.0	25.0	4.21	7.07
ทนงศักดิ์ เกิดนุ่น อายุ 30 ปี	55	25	68.75	31.25	3.81	7.0
ประทุม กุวลัยรัตน์ อายุ 30 ปี	55	25	68.75	31.25	3.89	6.08
รสริน วัฒนาประสบ อายุ 28 ปี	55	25	68.75	31.25	3.93	7.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

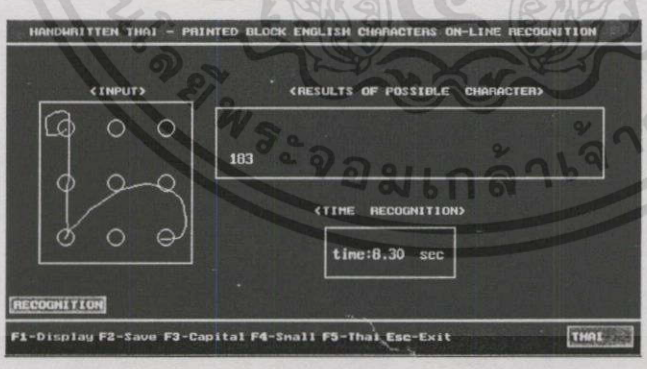
ตารางที่ 7.4 (ต่อ)

ชื่อผู้คัดลายมือ	อักษรที่วิเคราะห์ถูกต้อง	อักษรที่วิเคราะห์ไม่ถูกต้อง
สุรเดช อรุณทอง อายุ 50 ปี	ก ข ง จ ถ ธ น ย ร ว	ค ท บ ป พ ฟ
สุริยัน อนุวรรค อายุ 40 ปี	ก ข ค ง จ ถ ท ธ น ย ร ว	บ ป พ ฟ
ทนงศักดิ์ เกิดนุ่น อายุ 30 ปี	ก ข ค ง จ ถ ธ น ย ร ว	ท บ ป พ ฟ
ประทุม กุวลัยรัตน์ อายุ 30 ปี	ก ข ง จ ถ ท ธ น ย ร ว	ค บ ป พ ฟ
รสริน วัฒนาประสบ อายุ 28 ปี	ก ข ค ง จ ถ ธ น ย ร ว	ท บ ป พ ฟ

ทดลองป้อนการเขียนอักษรคัดลายมือด้วยปากกา

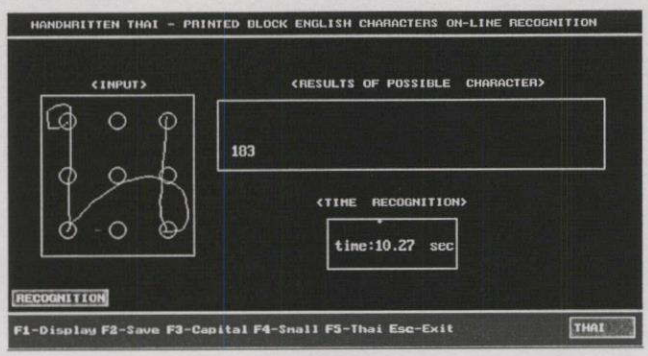


ภาพที่ 7.15(ก) อักษร น ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n1)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: น ท

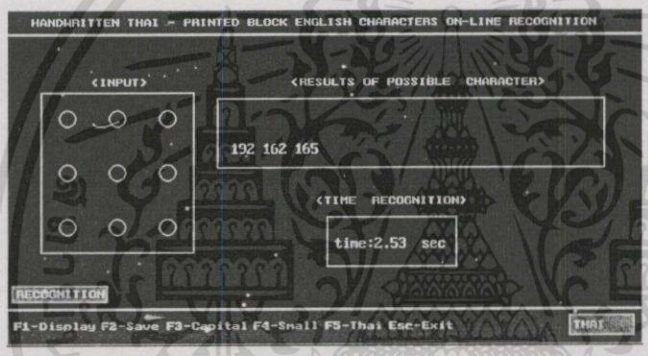


ภาพที่ 7.15(ข) อักษร น ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ DE(n9,n6)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: น

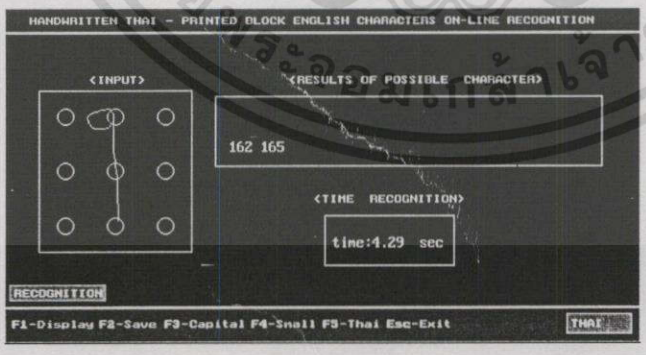
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.15(ค) อักษร น เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: น

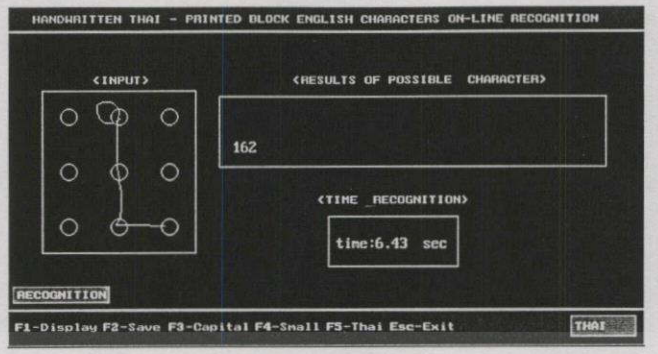


ภาพที่ 7.16(ก) อักษร ข ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n2)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ย ข ง

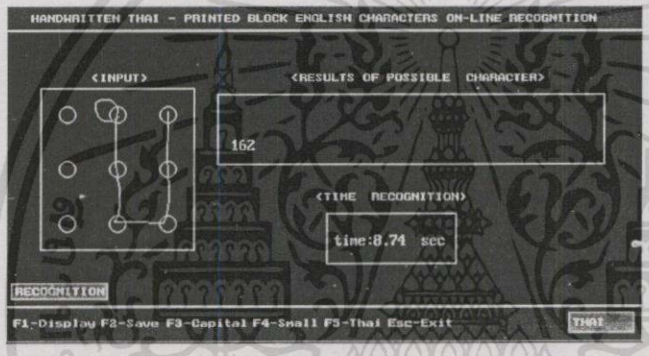


ภาพที่ 7.16(ข) อักษร ข ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n2)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ข ง

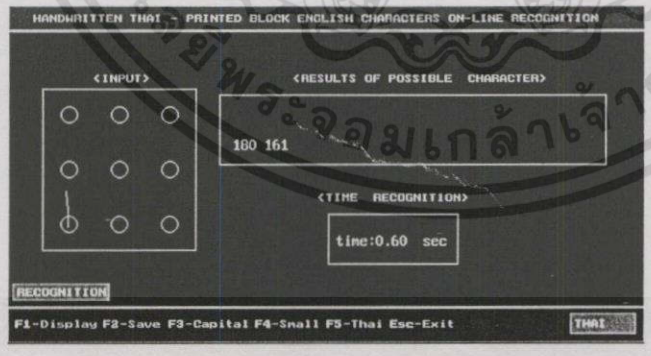
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.16(ค) อักษร ข ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ ST(n5,n6)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ข

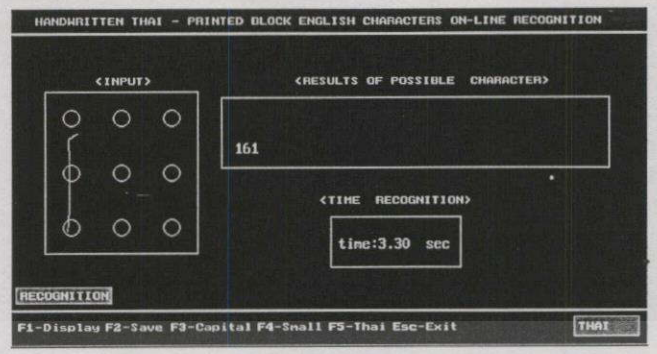


ภาพที่ 7.16(ง) อักษร ข เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ข

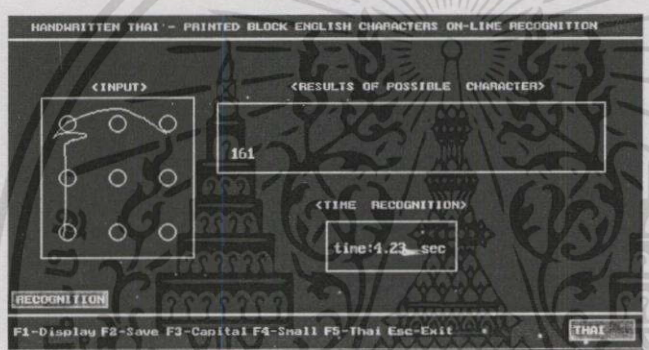


ภาพที่ 7.17(ก) อักษร ก ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n4)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ถ ก

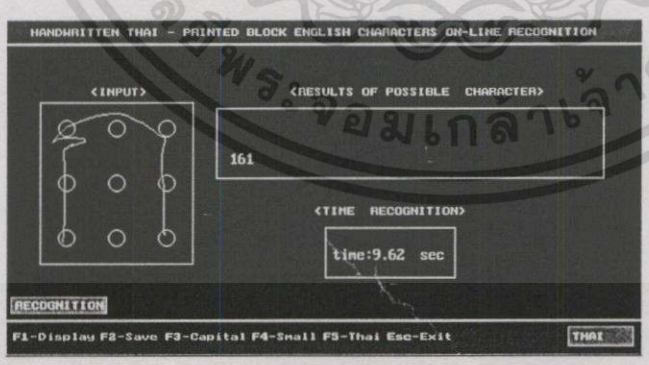
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.17(ข) อักษร ก ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ VT(n4)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ก

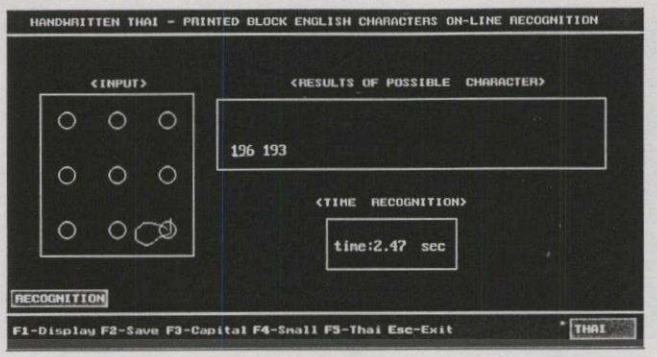


ภาพที่ 7.17(ค) อักษร ก ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ DE(n1,n3)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ก



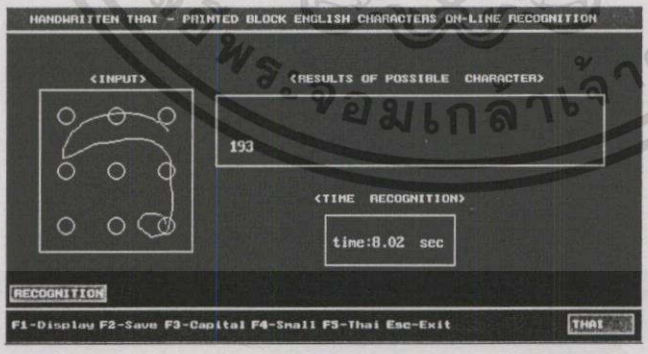
ภาพที่ 7.17(ง) อักษร ก เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



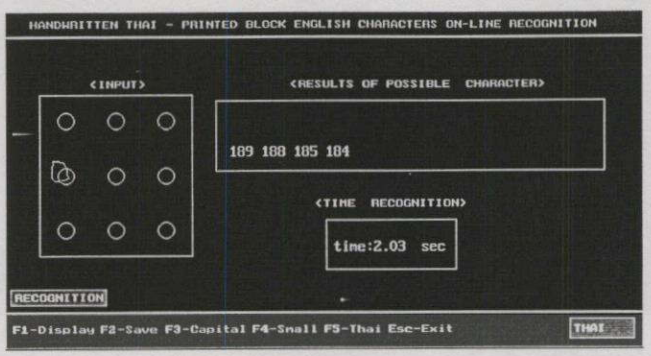
ภาพที่ 7.18(ก) อักษร ร ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n6)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ว ร

ภาพที่ 7.18(ข) อักษร ร ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ CE(n9,n7)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ร

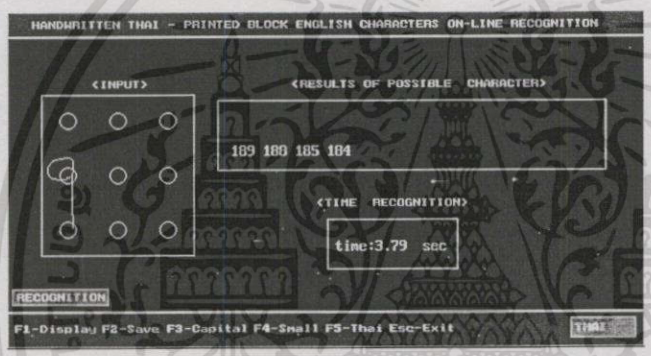


ภาพที่ 7.18(ค) อักษร ร เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ร

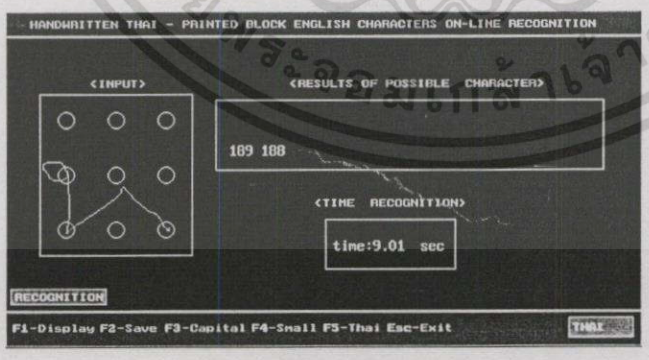
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.19(ก) อักษร พ ขณะเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โหนด (n7)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ฟ พ ป บ

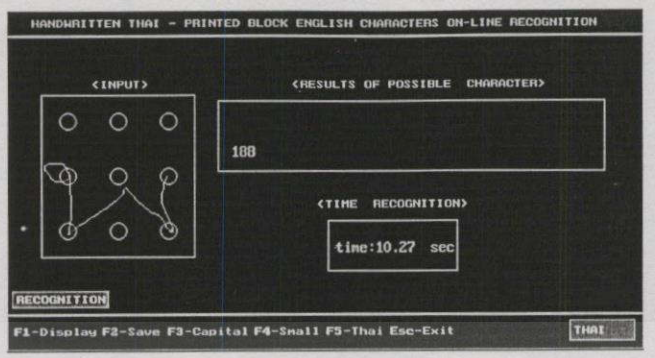


ภาพที่ 7.19(ข) อักษร พ ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ ST(n7,n4)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ฟ พ ป บ

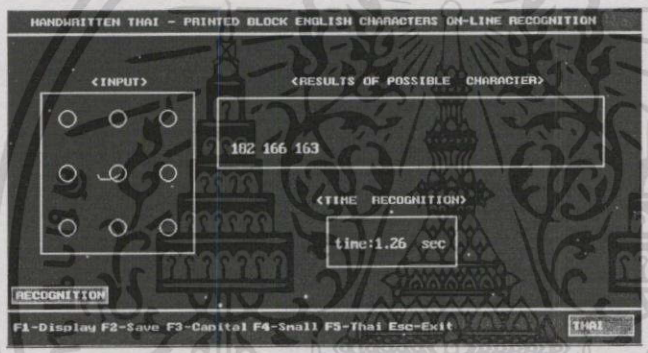


ภาพที่ 7.19(ค) อักษร พ ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ WUP(n4,n6)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ฟ พ

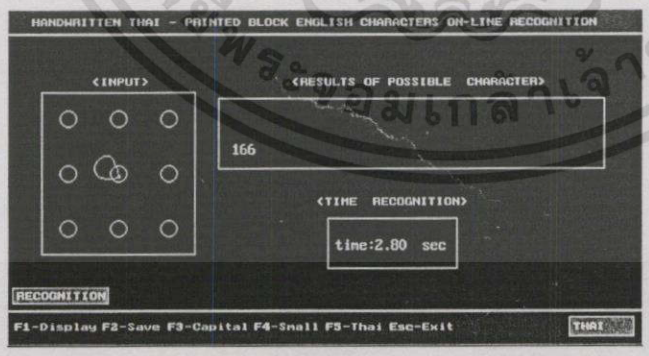
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.19(ง) อักษร พ เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: พ

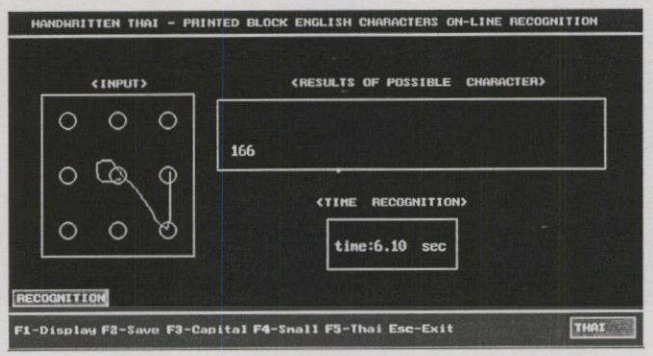


ภาพที่ 7.20(ก) อักษร จ ขณะเริ่มต้นการเขียนที่โหนด (n8)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: ธ จ ค

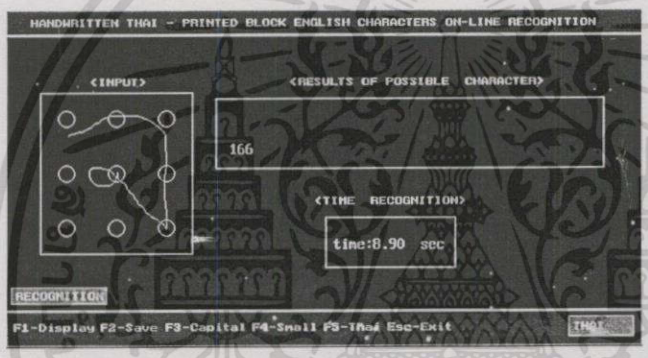


ภาพที่ 7.20(ข) อักษร จ ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ DE(n8,n8)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.20(ค) อักษร จ ขณะที่มีลักษณะความสัมพันธ์ลายเส้นของ ST(n8,n6)
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: จ



ภาพที่ 7.20(ง) อักษร จ เมื่อสิ้นสุดการเขียน
อักษรคัดลายมือที่เป็นไปได้คือ: จ

ในการทดลองการรู้จำอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษจากทั้งหมด 650 ตัวอักษร ถูกต้องทั้งหมด 610 ตัวอักษร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 93.84 % , ตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษจากทั้งหมด 650 ตัวอักษร ถูกต้อง 590 ตัวอักษร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 90.76 % , ตัวเลขอราบิคจากทั้งหมด 250 ตัวอักษร ถูกต้อง 225 ตัวอักษร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 90.00% และอักษรภาษาไทยเฉพาะบางตัวอักษรเท่านั้นจากทั้งหมด 400 ตัวอักษร ถูกต้อง 68.75% ดังนั้นผลการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถรู้จำอักษรคัดลายมือจากตัวอักษรทั้งหมดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง 87.18%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

บทสรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลงานวิจัย

ผลการทดลองการรู้จำอักษรคัดลายมือภาษาไทย และตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษจากผู้คัดลายมือ 5 ลายมือๆละ 5 ครั้งจากจำนวนอักษรทั้งหมด 1,950 ตัวอักษรให้ผลการรู้จำถูกต้อง 87.18% สำหรับความเร็วที่ใช้ในการเขียนเพื่อรู้จำตัวอักษรจะใช้เวลเฉลี่ยประมาณ 5 วินาที ความผิดพลาดในการวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เพราะขียนผิดจากลักษณะทั่วไป เช่น ไม่ถูกต้องกฎเกณฑ์ตามกรรมวิธีในการเขียน, และอักษรคัดลายมือขณะที่เขียนขาดหายของลายเส้นหรือเลยโหนดที่กำหนดต้องลากเส้นผ่านหรือยังไม่ถึงโหนดนั้นๆ เป็นต้น ส่วนความเร็วในการวิเคราะห์อักษรคัดลายมือนั้น อักษรแต่ละตัวจะวิเคราะห์เร็วช้าไม่เท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอักษรคัดลายมือนั้นอยู่ในกลุ่มที่ต้องมีการวิเคราะห์มากหรือน้อย และมีความแตกต่างลักษณะความสัมพันธ์ของลายเส้นระหว่างโหนดมากหรือน้อย ถ้ามีความแตกต่างกันมากก็จะทำให้ระบบการรู้จำวิเคราะห์ได้รวดเร็วจากการทดลองพบว่า อักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษสามารถจำรู้จำก่อนสิ้นสุดการเขียนได้แก่ A, G ,H ,I ,J ,M ,N ,S ,T ,U ,V ,W ,X ,Y ,Z และสิ้นสุดการเขียนแล้วได้แก่ B ,C, D ,E ,F ,K ,L O, P ,Q , R , ตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษสามารถรู้จำก่อนสิ้นสุดการเขียนได้แก่ a, e , f , g , h ,m ,n ,s ,t ,u , v ,w ,x ,y ,z และสิ้นสุดการเขียนแล้วได้แก่ b ,c ,d ,i ,j ,k ,l ,o ,p ,q ,r ,อักษรภาษาไทยสามารถรู้จำก่อนสิ้นสุดการเขียนได้แก่ ก, ข, ค, จ, ถ, ท, ธ, น ,ย ,ร, ว และสิ้นสุดการเขียนแล้วได้แก่ ง ,บ ป , พ, ฟ , ตัวเลขอราบิคสามารถรู้จำก่อนสิ้นสุดการเขียนได้แก่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 ,9 และสิ้นสุดการเขียนแล้วได้แก่ 0,7 ในการคัดลายมือจำเป็นที่ต้องกำหนดกฎเกณฑ์หรือข้อจำกัดในการเขียนบางประการคือ

1. การเขียนอักษรคัดลายมือไม่ควรเขียนหวัดจนเกินไปจนทำให้การควบคุมปากกาเกิดผิดพลาด
2. การเขียนอักษรคัดลายมือทีละตัวในกรณีของอักษรคัดลายมือที่มีลักษณะลายเส้นไม่ต่อเนื่องให้เขียนโดยคั่นด้วยการยกปล่อยปุ่มปากกา
3. การเขียนหัวของอักษรคัดลายมือภาษาไทยควรเขียนให้มีหัวชัดเจน และลักษณะหัวของอักษรคัดลายมือภาษาไทยไม่จำเป็นต้องบรรจบพอดีอาจขาดหรือเกินได้บ้าง
4. ไม่ควรเขียนเร็วหรือช้าจนเกินไปอัตราเร็วในการเขียนควรอยู่ประมาณ 5~8 วินาทีต่อตัวอักษร เนื่องจากข้อมูลของอักษรคัดลายมืออยู่ในรูปจุดพิกัดตำแหน่ง หากเขียนเร็วเกินไปจุดพิกัดที่ได้จะอยู่ห่างจนไม่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้
5. การเขียนอักษรคัดลายมือเหมือนกับการเขียนตัวบรรจงด้วยความระมัดระวังควรเขียนให้ถูกต้องตามกรรมวิธีในการเขียน

หลักการแยกแยะอักษรคัดลายมือออกเป็นกลุ่มย่อยๆที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่าอักษรคัดลายมือแต่ละตัวจะมีทั้งลักษณะร่วมที่เหมือนกัน และที่แตกต่างกัน เมื่อนำอักษรคัดลายมือที่มีลักษณะร่วมที่เหมือนกันมาจัดรวมกลุ่มเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถแยกแยะออกเป็นกลุ่มย่อยๆต่อไปได้อีกตามลักษณะความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของลายเส้นระหว่างโหนดในแต่ละกลุ่มจนถึง ขั้นสุดท้ายก็จะสามารถแยกแยะอักษรแต่ละตัวออกมาได้ และเห็นว่าอักษรคัดลายมือแต่ละตัวดูเหมือนจะประกอบด้วยลักษณะความสัมพันธ์ของลายเส้นระหว่างโหนดที่แตกต่างกันไป ในการเขียนแต่ละครั้งจะรวมไปถึงเวลาขั้นตอนการวิเคราะห์อักษรคัดลายมือแต่ละตัวด้วย ดังนั้นในงานวิจัยการรู้จำอักษรคัดลายมือควรคำนึงถึงความเป็นไปได้ในลักษณะดังกล่าว

ข้อดีของงานวิจัยพบว่า

1 สามารถแยกแยะอักษรคัดลายมือที่ลักษณะใกล้เคียงได้
2 เมื่อเขียนอักษรคัดลายมือผิดพลาดก็สามารถเขียนใหม่ได้
3 ช่วยในการฝึกเขียนอักษรคัดลายมือตัวบรรจง
4 สามารถรู้จำอักษรคัดลายมือก่อนสิ้นสุดการเขียนหรือเมื่อสิ้นสุดการเขียนแล้ว

ข้อเสียของงานวิจัยพบว่า

1 สามารถวิเคราะห์อักษรคัดลายมือได้ทีละหนึ่งตัวอักษร
2 การเขียนหัวอักษรคัดลายมือภาษาไทยหลายๆรอบทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดได้ง่าย
3 อักษรคัดลายมือที่มีขนาดใหญ่การวิเคราะห์จะช้าลง
4 สามารถเขียนอักษรคัดลายมือได้เพียงขนาดเดียวทำให้ไม่สามารถเขียนขนาดใหญ่หรือเล็กได้
5 ทำให้สิ้นเปลืองหน่วยความจำมาก
6 การเขียนอักษรคัดลายมือต้องอยู่ภายใต้กฎเกณฑ์ที่แน่นอน
7 การเขียนอักษรคัดลายมือไม่ยืดหยุ่นที่จะให้เขียนได้หลายรูปแบบ
8 การเขียนอักษรคัดลายมือมีการกำหนดโหนดคงที่ทำให้การเขียนไม่สะดวก
9 กฎความรู้ยังไม่ครอบคลุมถึงการเขียนทั้งหมดโดยเฉพาะอักษรที่คล้ายกัน

8.2 ข้อเสนอแนะ

จากข้อสรุปจะเห็นว่าวิทยานิพนธ์นี้จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาต่อไป ซึ่งการพัฒนานี้ควรให้อักษรคัดลายมือมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยการปรับปรุงส่วนต่างๆดังนี้

1 พัฒนาระบบการรู้จำอักษรคัดลายมือให้มีการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำโดยการปรับปรุงกรรมวิธีในการวิเคราะห์หรือเปลี่ยนอัลกอริธึมใหม่เพื่อให้ประสิทธิภาพทำงานได้เร็วขึ้น
2 ควรมีระบบย่อยแบบออฟไลน์ในระบบการรู้จำอักษรคัดลายมือเพื่อช่วยในการสนับสนุนระบบการรู้จำอักษรคัดลายมือแบบออนไลน์ ซึ่งในกรณีที่ป้อนข้อมูลอักษรคัดลายมือผิดวิธี แต่เมื่อการเขียนสิ้นสุดลงก็สามารถรู้จำอักษรคัดลายมือตัวนั้นได้ ซึ่งการวิเคราะห์โดยระบบรู้จำอักษรคัดลายมือแบบออนไลน์ไม่สามารถวิเคราะห์ได้
3 ลดข้อยุ่งยากในการเขียนอักษรคัดลายมือโดยการพัฒนาลดจำนวนโหนดลง และมีลักษณะในการเขียนอักษรคัดลายมืออย่างอิสระ
4 พัฒนาอักษรคัดลายมือตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ,ตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษ,ภาษาไทย และตัวเลขอราบิคให้มีระบบการรู้จำอักษรคัดลายมือที่เป็นโมเดลรวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 ใช้ความรู้ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ และโครงข่ายเทียมมาวิเคราะห์ระบบการรู้จำอักษรคัดลายมือที่เป็นโมเดลรวมกัน และใช้วิธีการป้อนข้อมูลโดยไม่ต้องมีจำนวนโหนดมาช่วยในการแก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. วัลนพ ตันฤดี. ระบบการรับรู้รูปแบบลายมือเขียนอักษรไทย. : วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพ. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2533
2. สุขสถิต สุขใจ. การใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อจดจำรูปแบบลายมือเขียนตัวเลขอราบิคแสดงข้อมูลสัมบูรณ์. : วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพ. บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2540
3. ดนัยวัฒน์ กิตตินันท์ , รศ. ดร. บุญวัฒน์ อัตชู. การแยกแยะแบบออนไลน์ตัวเลขอราบิคลายมือเขียน การประชุมทางวิชาการสถิติประยุกต์ครั้งที่ 7 ณ . โรงแรมบางกอกพาเลส 19-20 พฤษภาคม 2531
4. วิทยา ตรีนิติกุล , รศ.ดร. บุญวัฒน์ อัตชู. โมเดลของตัวอักษรลายมือเขียน การประชุมทางวิชาการสถิติประยุกต์ครั้งที่ 7 ณ. โรงรมบางกอกพาเลส 19-20 พฤษภาคม 2531
5. XIAOLIN LI AND DIT-YAN YEUNG. On-line Handwritten Alphanumeric Character Recognition Using Dominant Points in Strokes. Pattern Recognition, Vol.30,No1, pp 31-44 1997
6. K.S.FU. Syntactic Methods in Pattern Recognition. School of Electrical Engineer Engineering Purdue University West Lafayette ,Indiana.
7. Steven Harrington. Computer Graphics A Programming A pproach McGraw-Hill Internatinal Editions Computer Science Series.

   Vincent Kassab. echnical C Programming Prentice Hall, Englewood Cliff, New Jersey.
8. Douglas C. Montgomery, Lynwood A. John.Don, John S.Gardiner. Forcasting & Time Series Analysis. McGraw-Hill International Edits Industrial Engineering Series.
9. C.C.CHANG, S.M.HWANG and D.J BUEHRER. A Shape Recognition Scheme Based On Relative Distance of Feature Point From The Centroid. Pattern Recognition Vol. 24,No 11 ,pp 1053-1063 ,1991
10. Steven C. chapra, Raymond P. canale. Numerical Methods for Engineers Second Edition . McGraw-Hill International Edtions Applied Mathematic Series
11. Schaum's Outline Series . , Theory and Problems of Data Structures
12. Daniel I.A.Cohen Introduction to Computer Theory Hunter College City University Of New York.
13. Steve Oualline. Practical C Programming. O'Reilly & Associates,Inc.

    M.Tim Grady. Priviples and Practies. McGraw-Hill Internation Editions Computer Science Series.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

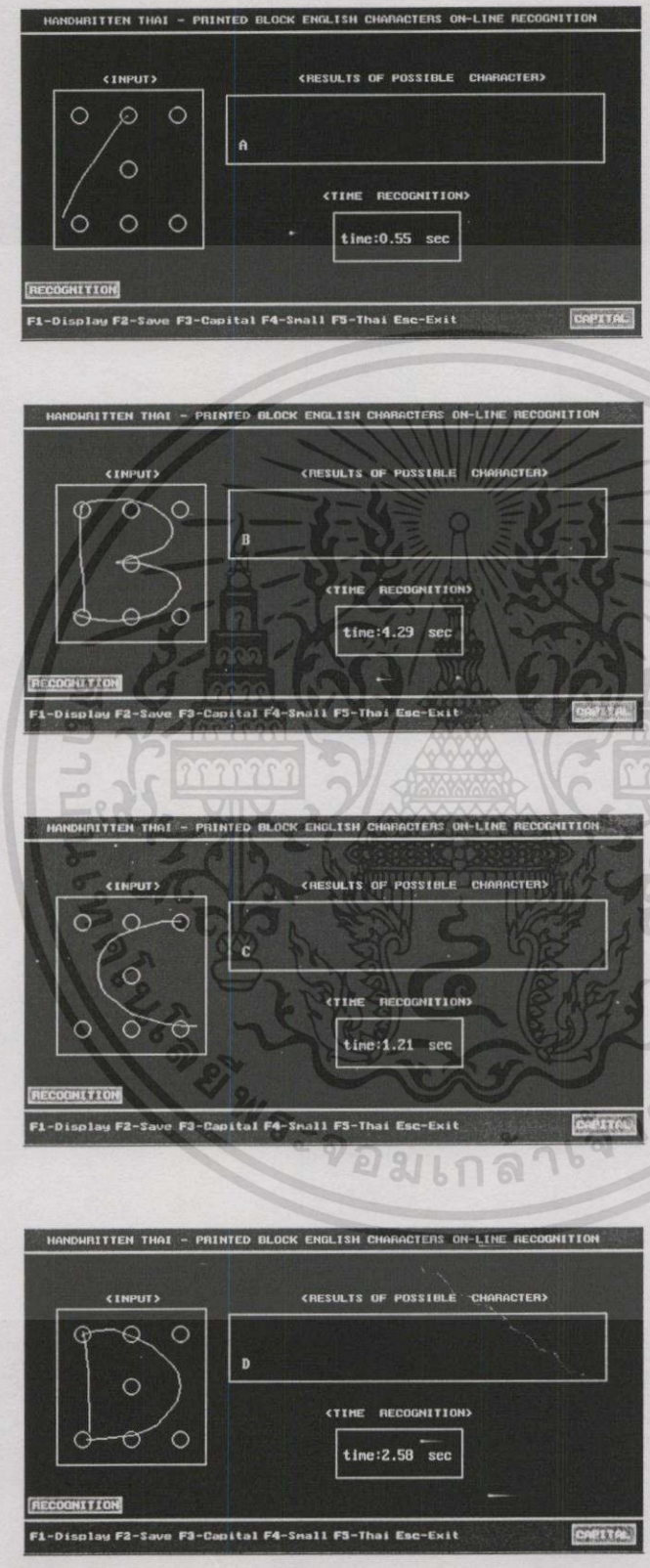
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ผลการทดลองอักษรคัดลายมือภาษาไทย และตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษ

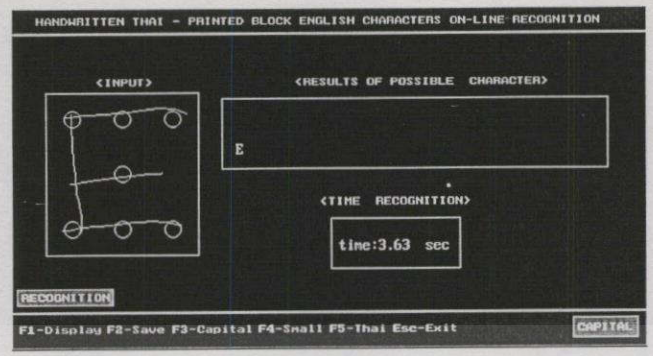
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

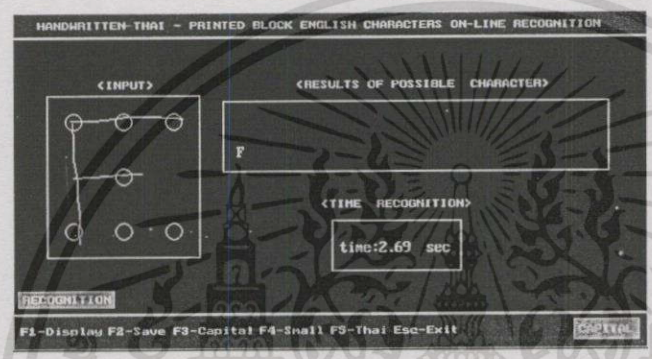
ผลการทดลองอักษรคัดลายมือ

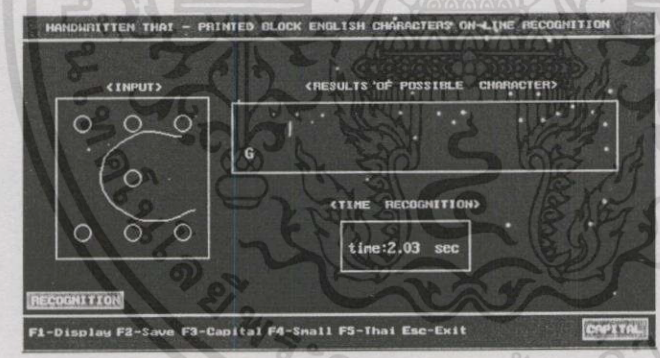


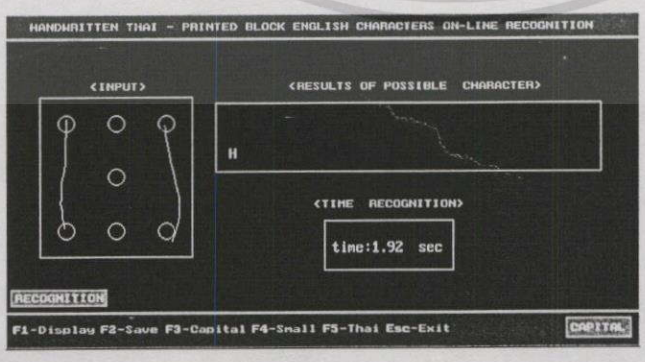
ภาพที่ ก 1. แสดงผลการทดลองอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษขณะลากเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



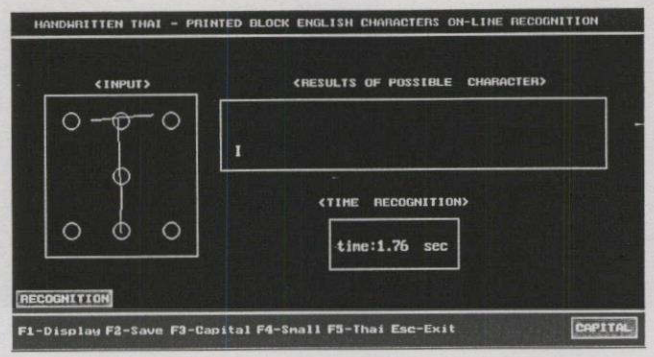


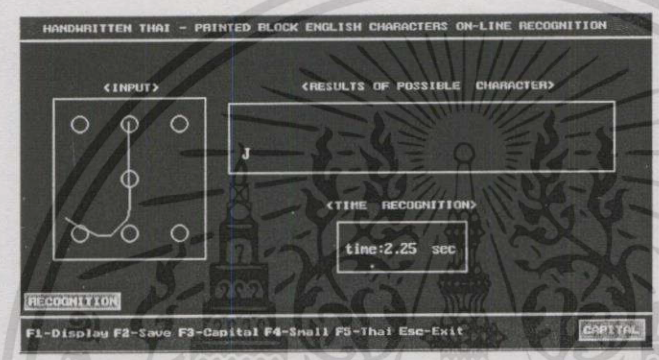


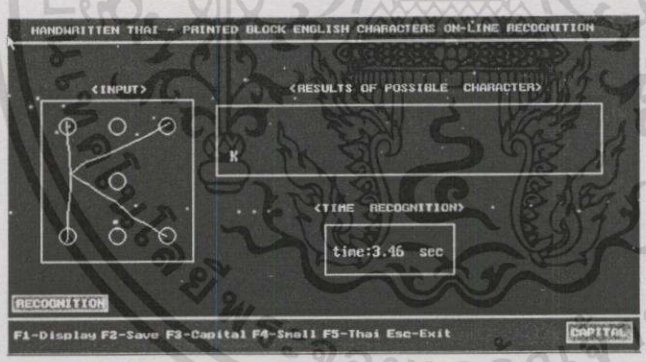


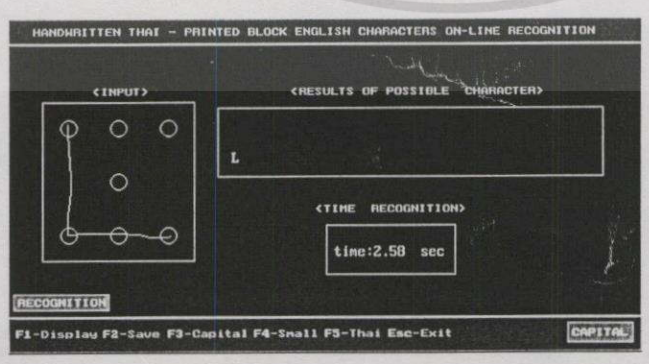
ภาพที่ ก 1. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



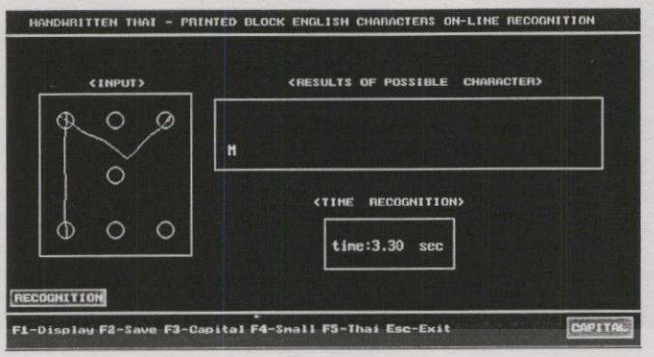


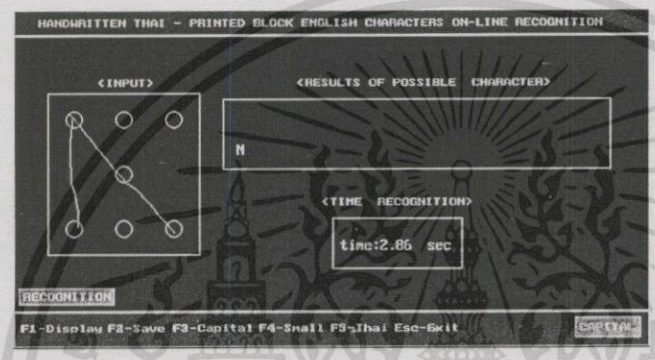


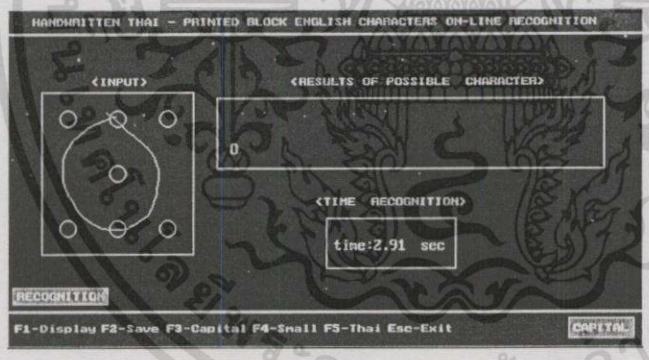


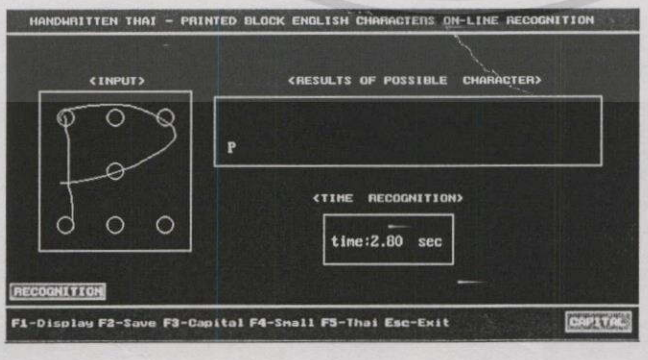
ภาพที่ ก 1. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



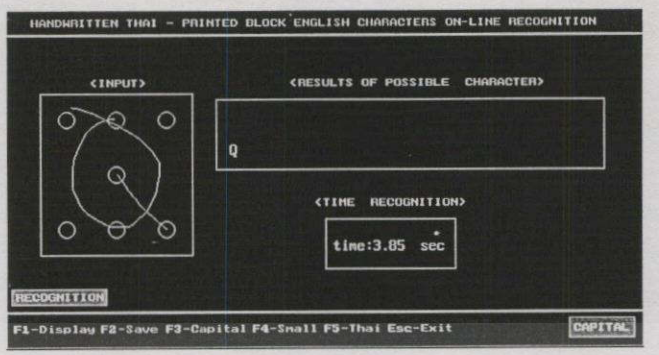


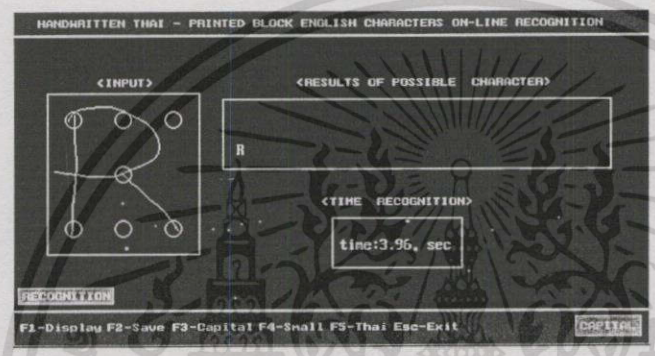


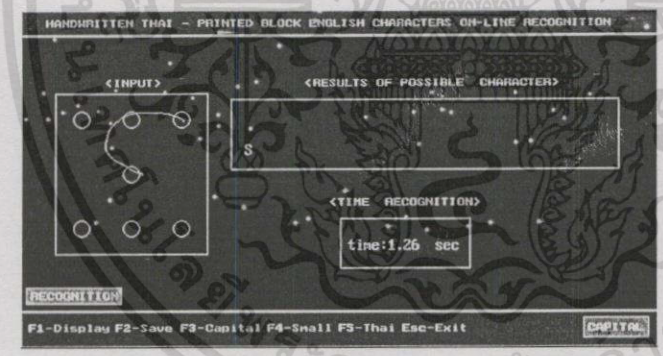


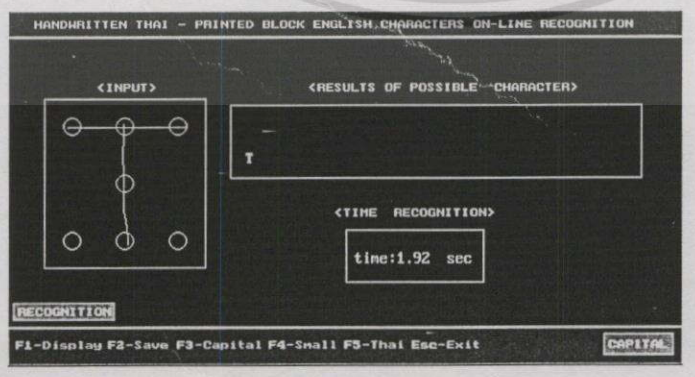
ภาพที่ ก 1. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



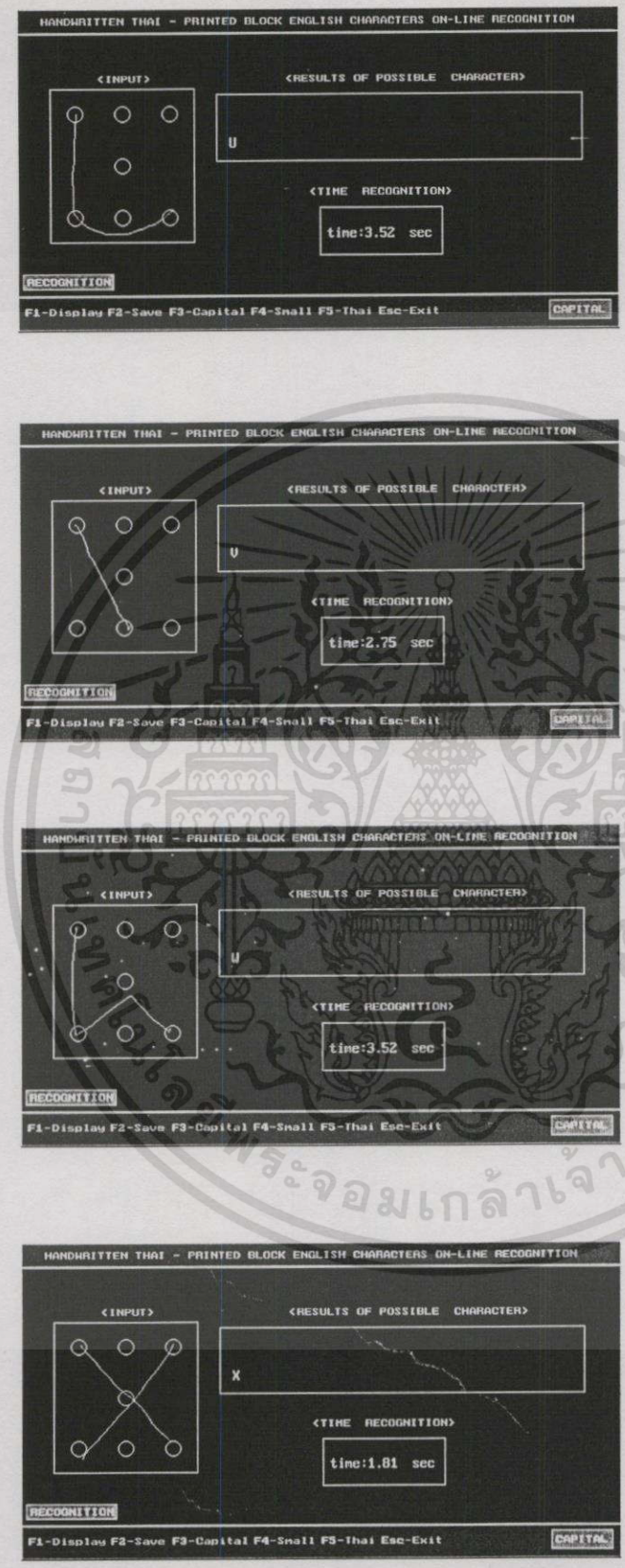






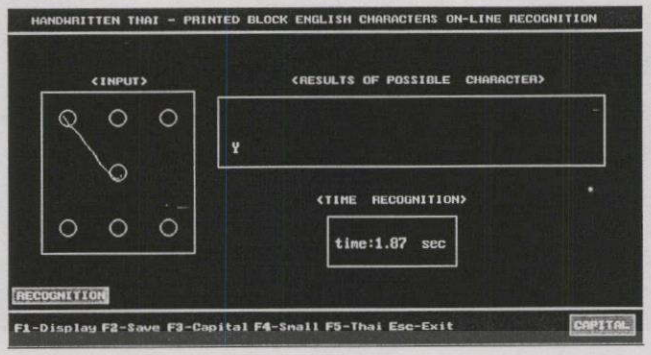
ภาพที่ ก 1. (ต่อ)

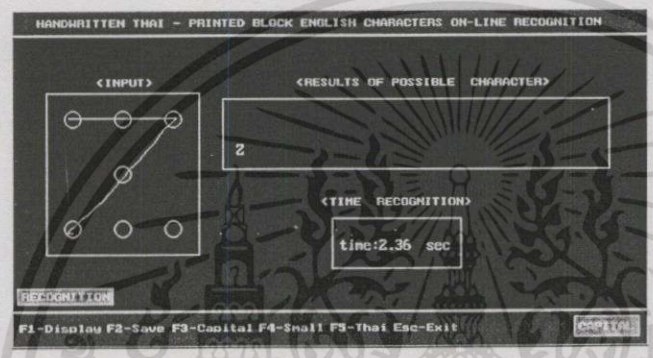
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

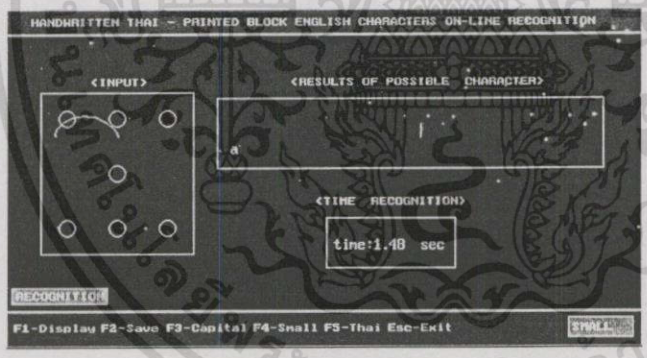


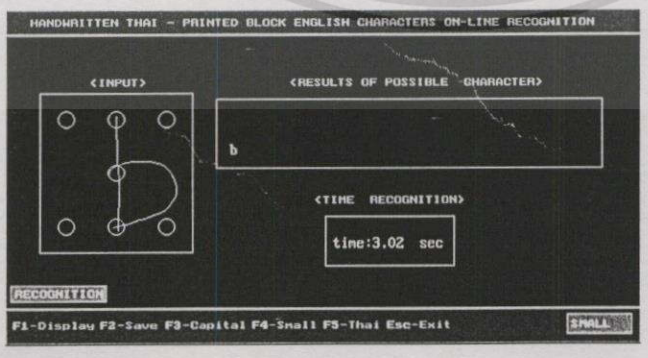
ภาพที่ ก 1. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



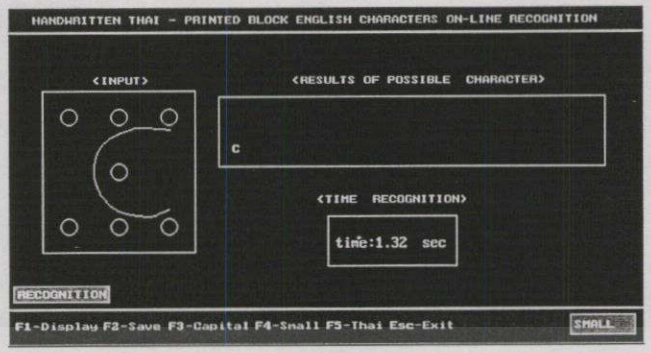


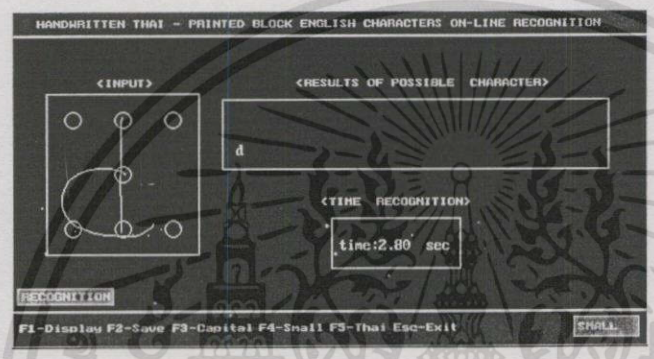


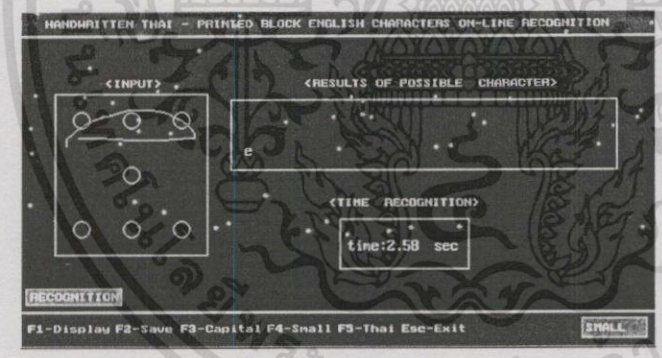


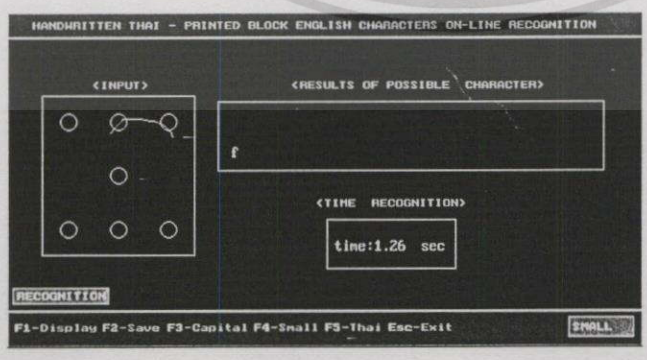
ภาพที่ ก 2. แสดงผลการทดลองอักษรตัวพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษขณะลากเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



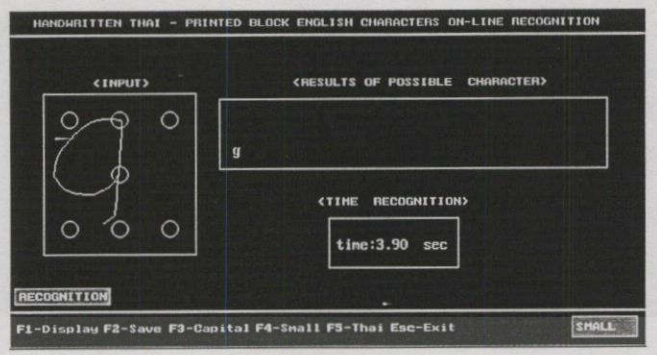


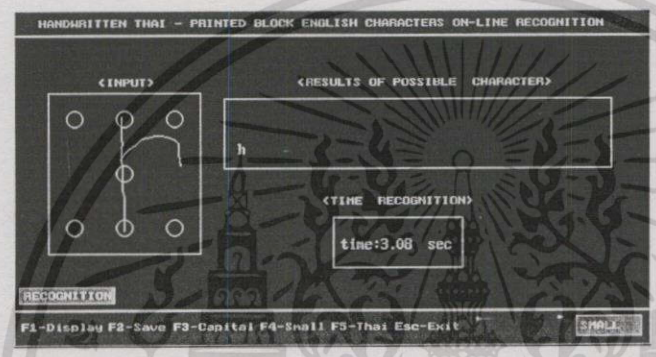


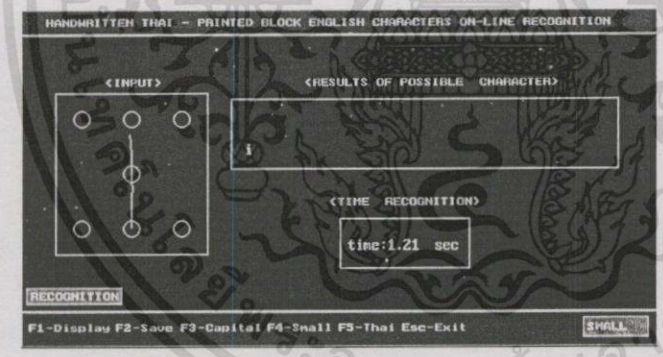


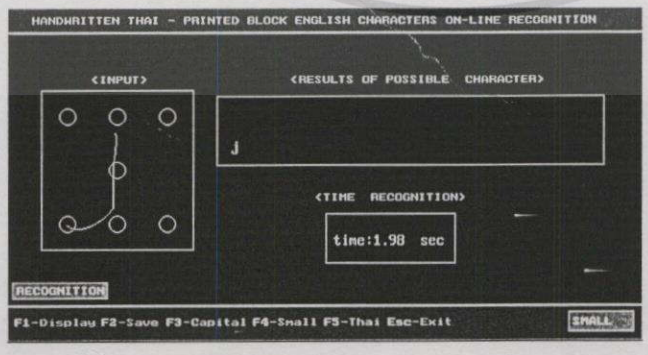
ภาพที่ ก 2. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



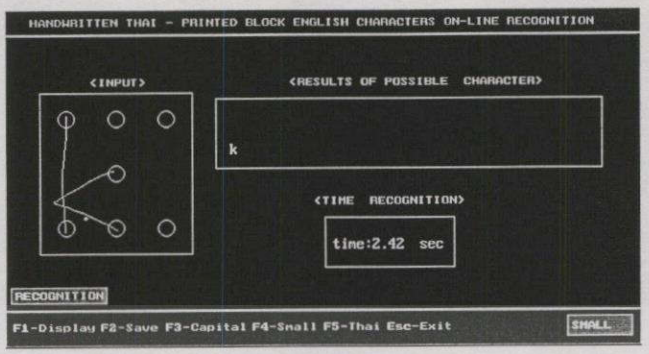


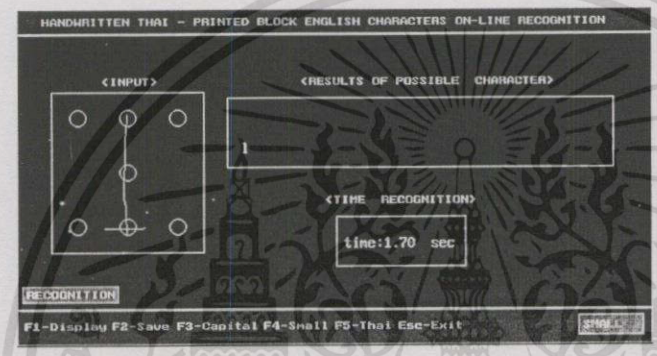


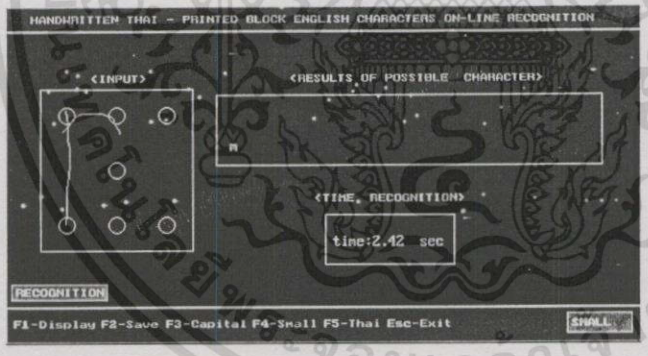


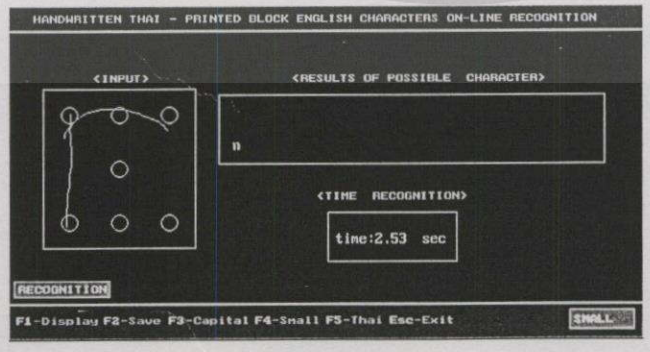
ภาพที่ ก 2. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



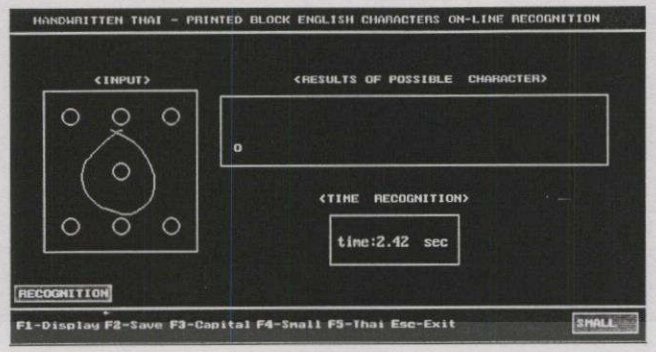


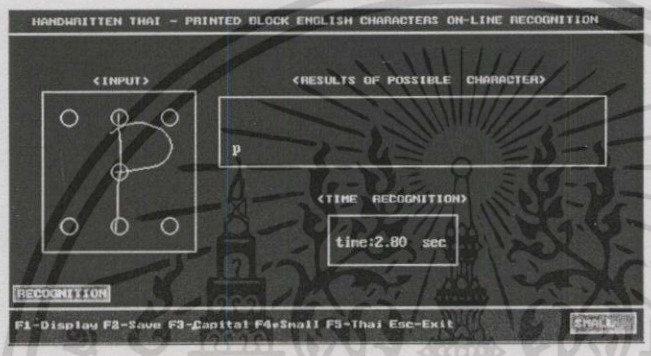


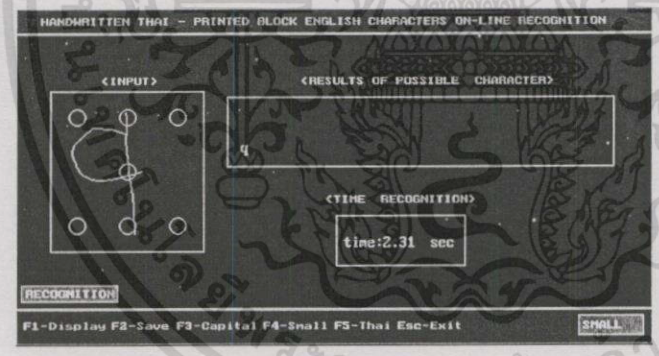


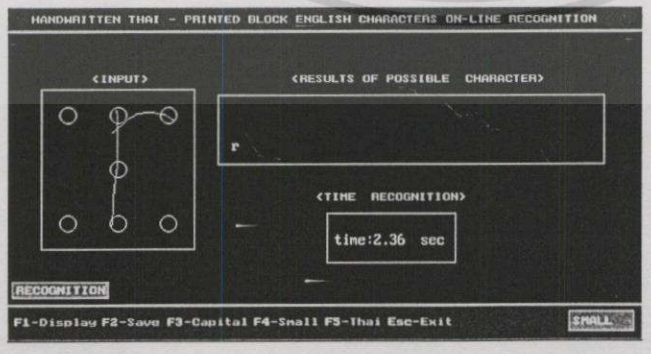
ภาพที่ ก 2. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



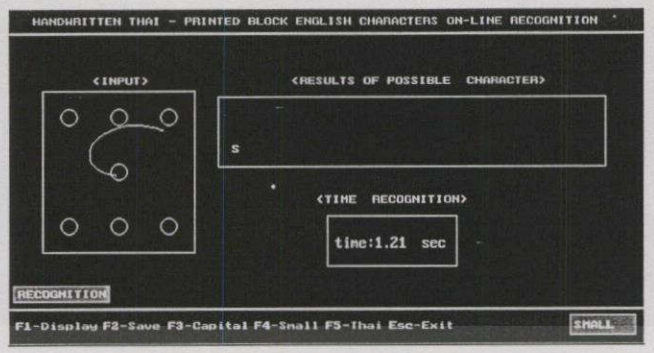


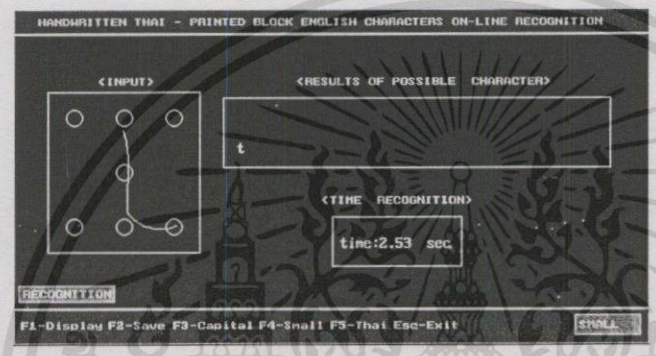


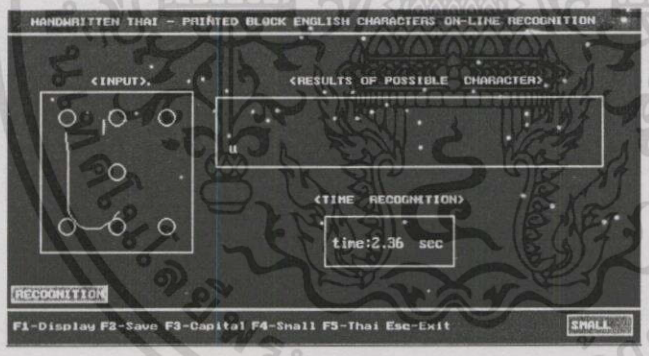


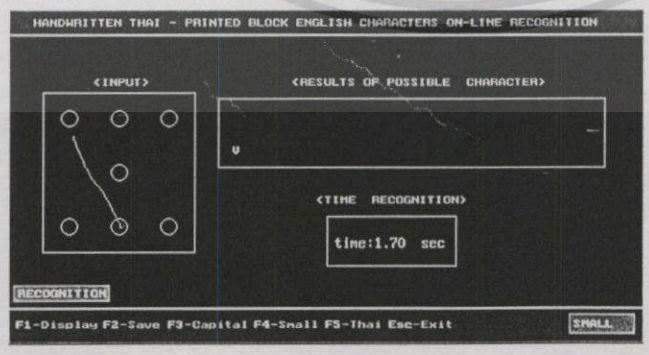
ภาพที่ ก 2. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



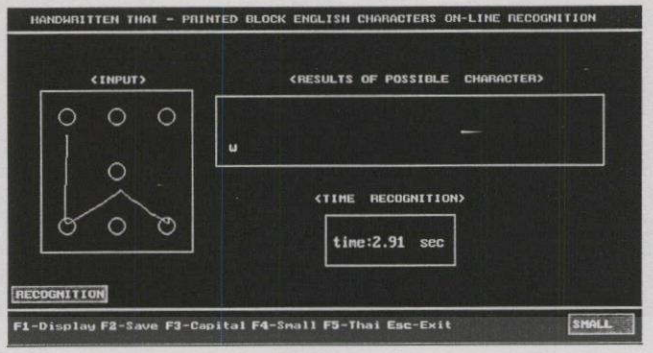


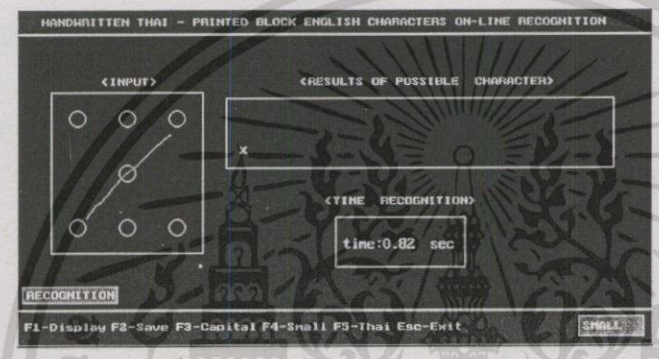


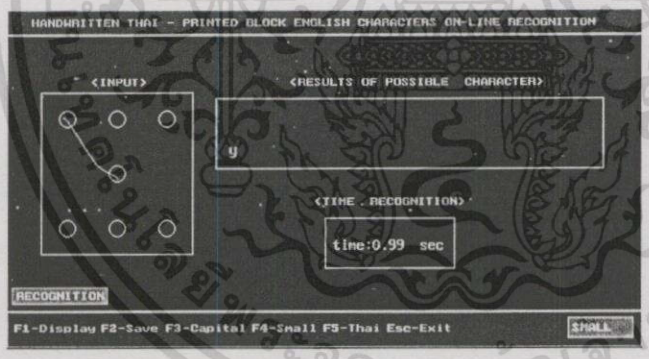


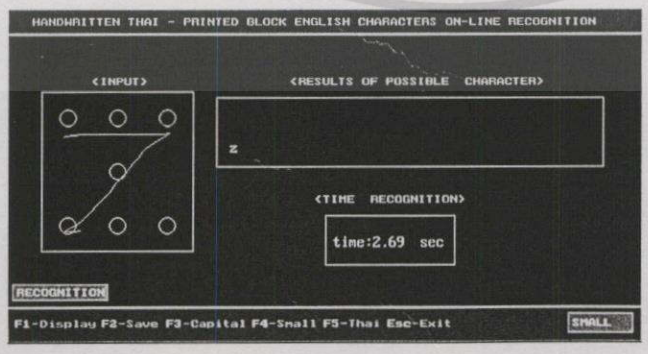
ภาพที่ ก 2. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





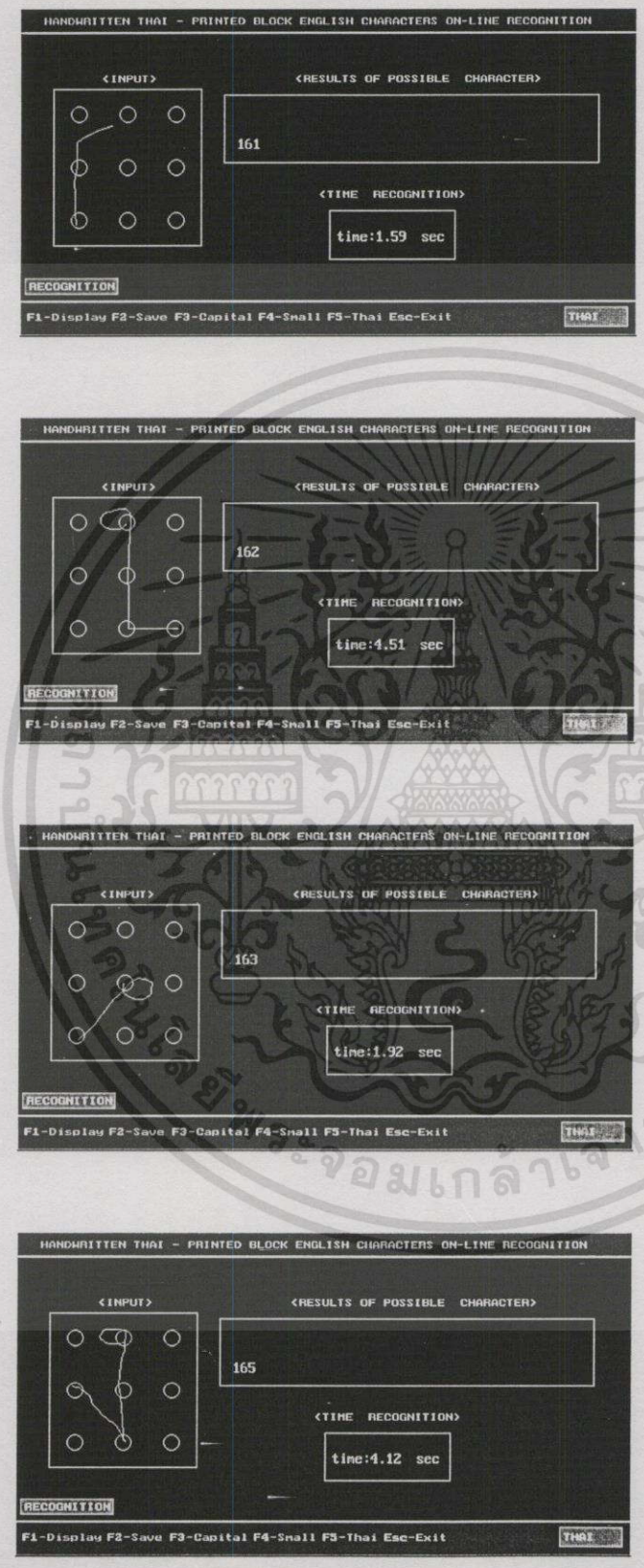




ภาพที่ ก 2. (ต่อ)

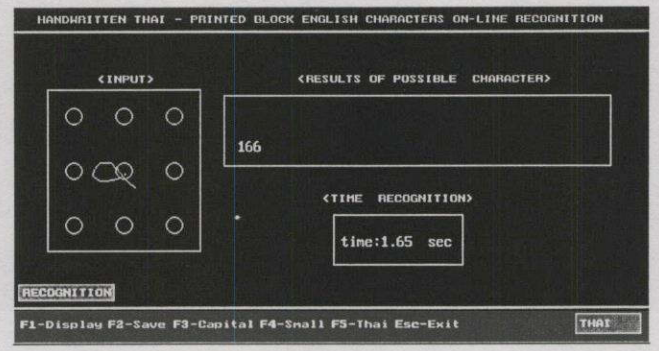
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

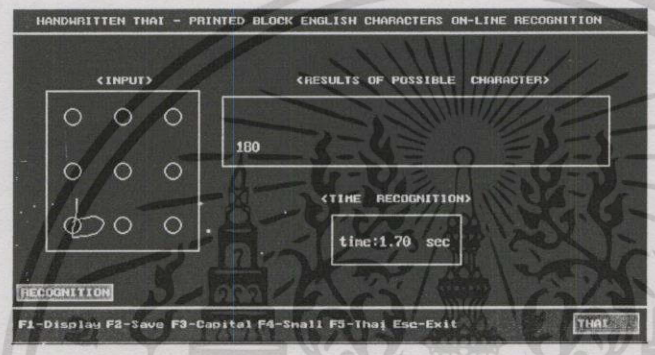
ผลการทดลองอักษรคัดลายมือ

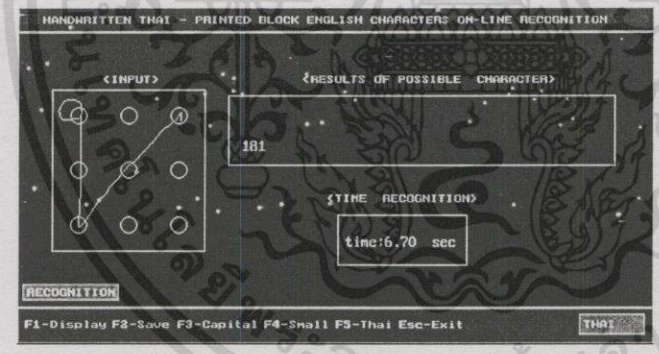


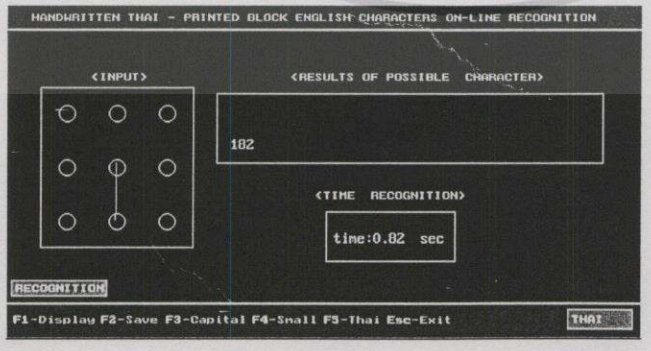
ภาพที่ ก 3. แสดงผลการทดลองอักษรภาษาไทยขณะลากเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



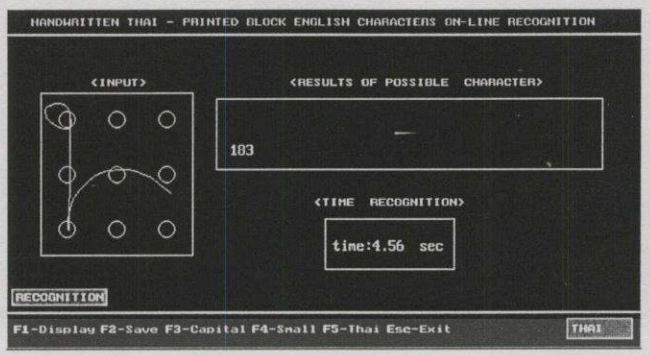


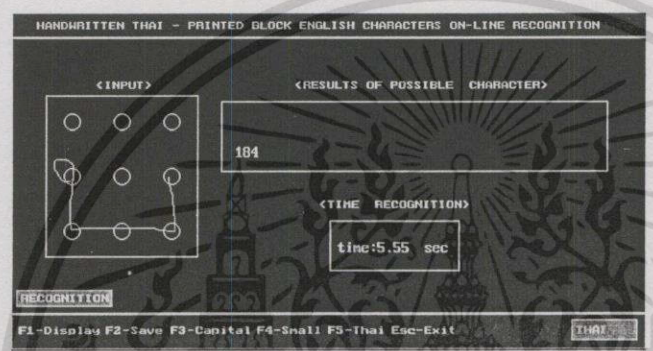


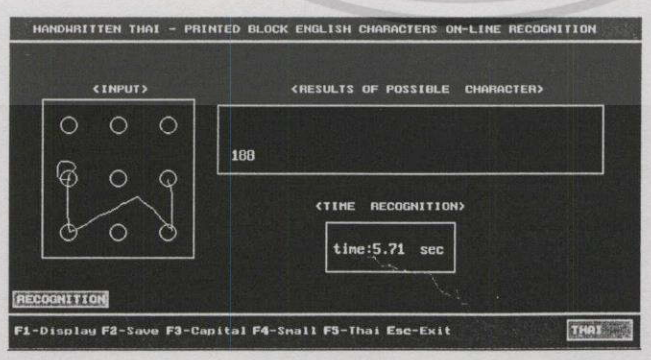


ภาพที่ ก 3. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

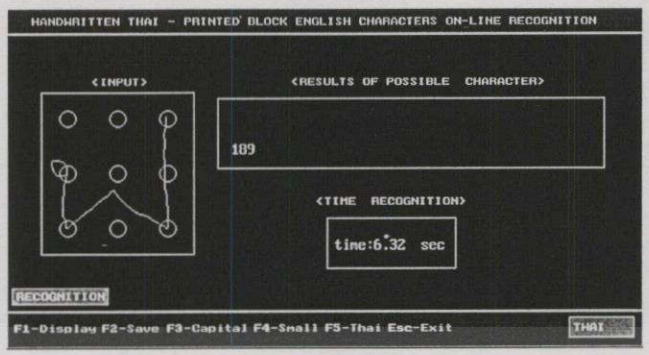


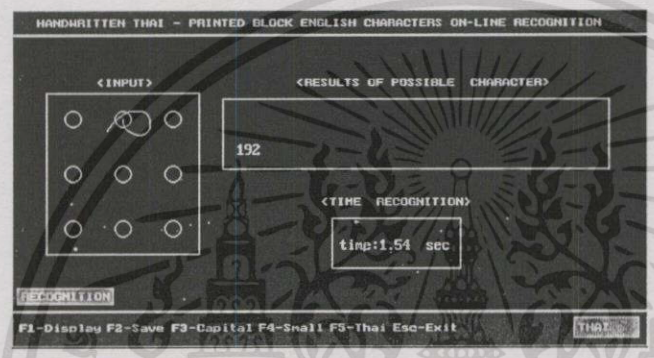


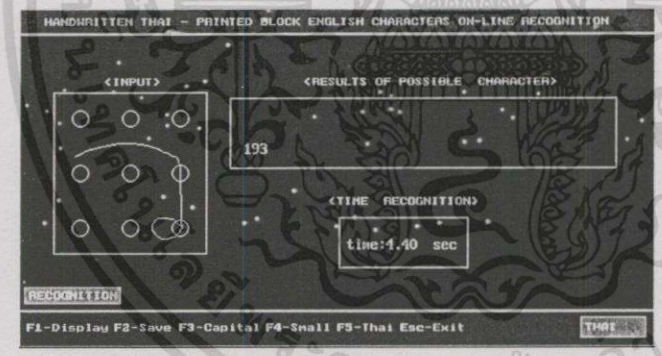


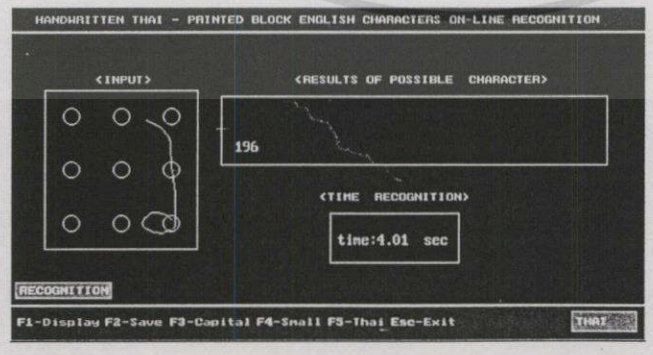
ภาพที่ ก 3. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



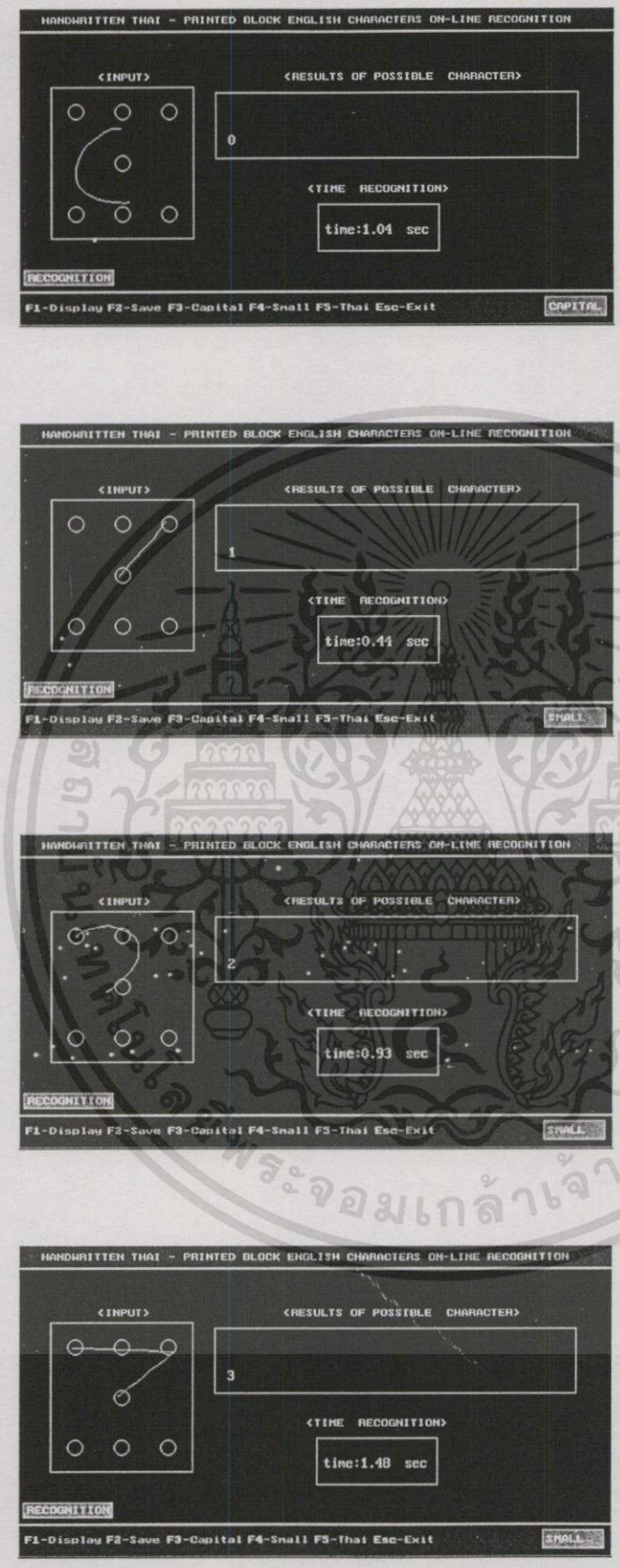






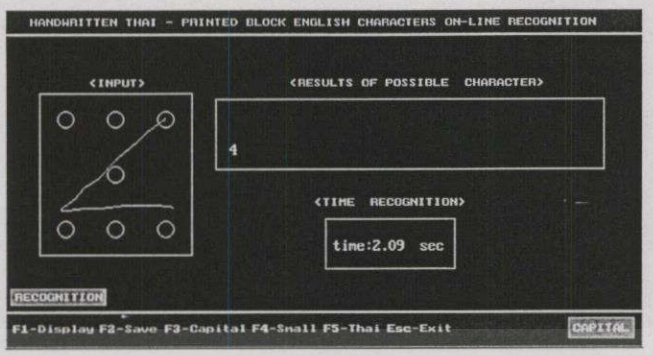
ภาพที่ ก 3. (ต่อ)

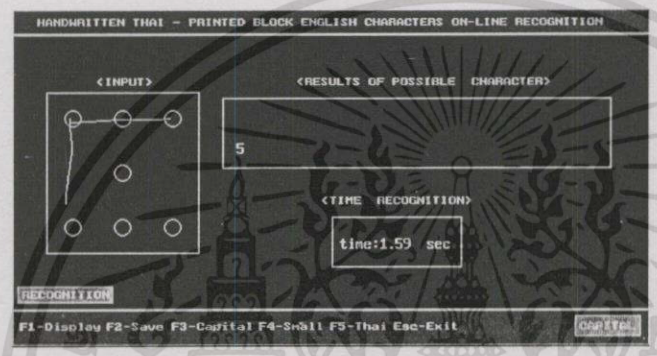
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

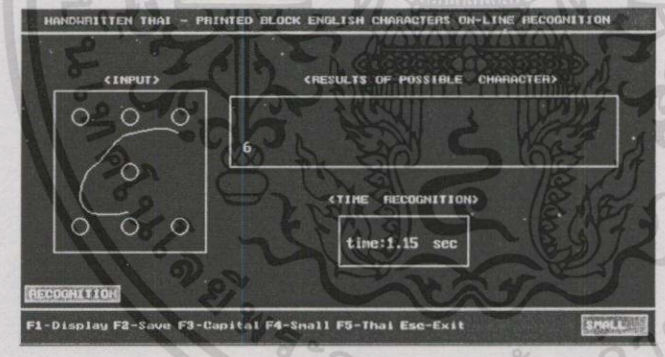


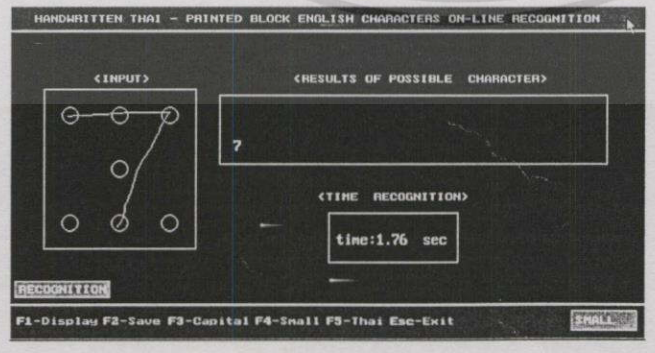
ภาพที่ ก 4. แสดงผลทดลองตัวเลขอราบิคขณะลากเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



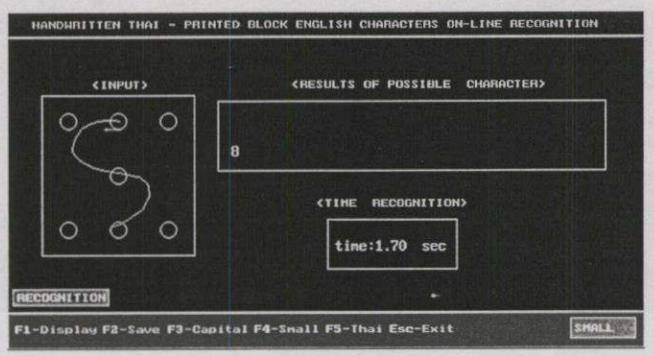


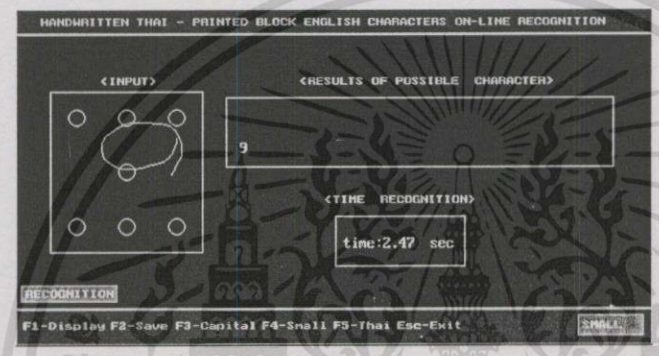




ภาพที่ ก 4. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ภาพที่ ก 4. (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรู้จำรูปแบบอักษรตัวเลขอราบิคด้วยวิธีซินแทกติก

Syntactic Pattern Recognition of Arabic Numeric Characters

รศ.ดร. ชม กิ้มปาน สุริยัน อนุวรรค และทนงศักดิ์ เกิดนุ่น
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
4 หมู่ที่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทร. (02) 5749133, (034) 270183

บทคัดย่อ

บทความวิจัยการรู้จำ รูปแบบอักษรตัวเลขอราบิคด้วยวิธีซินแทกติก[1] ในการรู้จำได้แบ่งขั้นตอนย่อยๆ โดยวิเคราะห์ถึงลักษณะเฉพาะต่างๆ คือ ความต่อเนื่องลายเส้น, ลักษณะลากเส้นและวิธีการซินแทกติกโดย Narasimhn [2] ซึ่งพิจารณาสโลบของเส้น, ทิศทางของเส้นตรงและเส้นโค้งเป็นต้น บทความวิจัยนี้เป็นการรู้จำรูปแบบอักษรตัวเลขอราบิคแบบ " ออน-ไลน์ " ที่ได้รับข้อมูลจากกระดานดิเล็กทรอนิคส์โดยวิเคราะห์โครงร่างตัวอักษรและอักษรบางตัวจะทราบได้ก่อนที่ผู้เขียนกำลังเขียนอยู่จนสิ้นสุดหนึ่งตัวอักษร

Abstract

This paper present the Syntactic Pattern Recognition of Arabic numeric characters. [1] The analytical procedure is seperated to steps that analyze each specific Characteristic sush as trace, connection trail and Syntatic method by narasimhan while is considered slope of line, direction of straight and curve . This paper present an on-line Pattern Recognition of Arabic numeric characters. Data is obtained From the tablet by syntactic analysis. Before a drawing line of one character is completly drawn and some characters will known.

1.บทนำ

บทความนี้จะวิจัยการรู้จำรูปแบบอักษรตัวเลขอราบิคด้วยวิธีซินแทคติก ซึ่งปัจจุบันมีทั้งแบบ ตัวพิมพ์อักษรตัวเลขอราบิคที่มีรูปแบบแน่นอน และลายมือเขียนอักษรตัวเลขอราบิคที่มีรูปแบบไม่แน่นอน แต่ที่ยังมีคุณสมบัติเฉพาะของอักษรแต่ละตัว เราสามารถนำมาวิเคราะห์อย่างหยาบๆ ก่อน โดยอาศัยโครงสร้างแบบต้นไม้ เพื่อจัดกลุ่มตัวอักษร ออกเป็นหลายกลุ่มเช่น กลุ่มเริ่มต้นจากพื้นที่ โนด n1 ดังรูปที่ 4(ก) คือ 2,3,4,5,7 กลุ่มเริ่มต้นจากพื้นที่โนด n2 ดังรูปที่4(ข) คือ 0,8 กลุ่มเริ่มต้นจากพื้นที่ โนด n3 ดังรูปที่ 4(ค) คือ 6,9 และกลุ่มเริ่มต้นจากพื้นที่โนด n7 ดังรูปที่ 4(ง) คือ 1 หลังจากนั้นก็จะวิเคราะห์อย่างละเอียดต่อไปอีกเพื่อให้ได้อักษรแต่ละตัว บทความนี้ได้เสนอขั้นตอนการรู้จำรูปแบบอักษรตัวเลขอราบิคดังนี้คือ

(1) ความต่อเนื่องของลายเส้นและลักษณะการลากเส้น

(2) หลักการของนาราซิมเฮน (Narasimhan)

(3) การเข้ารหัสคุณสมบัติเฉพาะของอักษรต่างๆ เพื่อเก็บเป็นพจนานุกรม

(4) โครงสร้างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อย

2. อัลกอริธึมการรู้จำรูปแบบตัวอักษร

2.1 ความต่อเนื่องลายเส้นและลักษณะลากเส้น จะเห็นว่าการเขียนอักษรตัวเลขอราบิค มี 2 ลักษณะด้วยกันคือ ลักษณะที่มีความต่อเนื่องของลายเส้น ซึ่งหมายถึงอักษรที่มีการเขียนติดต่อกันจนสิ้นสุดหนึ่งตัวอักษร เช่น1,2,3,8 เป็นต้นและลักษณะที่ไม่ต่อเนื่องของลายเส้น ซึ่งหมายถึงอักษรที่มีการเขียนที่ไม่ต่อเนื่องกันจนสิ้นสุดหนึ่งตัวอักษร ϕ ,4 เป็นต้น

ส่วนลักษณะการลากเส้นจะพิจารณาถึงข้อมูลที่เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งที่มาทำการปรับโค้งให้พอเหมาะ และพิจารณาว่าเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งลักษณะใดโดยใช้ทฤษฎีลีสท์สแควร์เคิพร์ฟิตติ้ง (Least Squares Curve Fitting) ผลจากการพิจารณาลักษณะลากเส้นเราสามารถนำมากำหนดคุณสมบัติความสัมพันธ์ลักษณะลายเส้นลักษณะโนดต่างๆ ตามหลักไวยกรณ์ที่เสนอโดย Narasimhan [2] ได้

ลีสท์สแควร์เคิพร์ฟิตติ้ง (Least Squares Curve Fitting) เป็นการประมาณค่าในการคำนวณเชิงตัวเลขแบบกำลังสองน้อยที่สุด [3] F(x) เป็นโค้งที่เหมาะสม เขียน F(x) ให้อยู่ในรูปของโพลิโนเมียลที่มีองศาที่ m คือ

$$F(x) = K_0 + K_1 xi + K_2 xi^2 + \ldots + K_m xi^m \qquad (1)$$

xi คือฟังก์ชั่นมูลฐาน(basic Function) เป็นอิสระต่อกัน

K_m คือ พารามิเตอร์ที่ต้องการทราบค่า

เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนเป็นผลต่างระหว่างค่าของ y ที่กำหนดขึ้นหรือค่าที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่เกิดจากการคำนวณของโพลิโนเมียลองศาที่ m

$$e(xi) = F(xi) - f(xi); (i = 0,1,\ldots n) \qquad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้จะเลือกการเบี่ยงเบนกำลังสองของผลต่างๆ ระหว่าง F(x) และ f(x) ณ. จุดต่างๆ มีค่าน้อยที่สุด โดยต้องเลือก $K_0, K_1, \ldots K_m$ เพื่อทำให้ผลบวกของความผิดพลาดกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด ดังนั้น

$$E = \sum_{i=1}^{n} [K_0 + K_1 xi + K_2 xi^2 + ..+K_m xi^m - f(xi)]^2 \qquad (3)$$

$$\frac{\partial E}{\partial Km} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial}{\partial Km} [K_0 + K_1 xi + K_2 xi^2 + ..+K_m xi^m - f(xi)]^2$$

ฉะนั้นระบบสมการโพลิโนเมียลสำหรับองศาที่ m

$$nK_0 + K_1 \sum xi + K_2 \sum xi^2 + ...+K_m \sum xi^m = \sum yi$$

$$K_0 \sum xi + K_1 \sum xi^2 + K_2 \sum xi^3 + ...+K_m \sum xi^m = \sum xiyi$$

$$K_0 \sum xi^m + K_1 \sum xi^{m+1} + K_2 \sum xi^{m+2} + ...+K_m \sum xi^{m+n} = \sum xi^m yi \qquad (4)$$

จากสมการ (4) สัมประสิทธิที่หามาได้เขียนในรูป F (x) ของโพลิโนเมี่ยลดังนี้

$F(x) = K_0 + K_1 x$ สำหรับสมการเชิงเส้น และ

$F(x) = K_0 + K_1 + K_2 x^2$ สำหรับสมการไม่เป็นเชิงเส้น

2.2 หลักการของนาราซิมเฮน [2] (Narasimham) ได้เสนอหลักการในการพิจารณาโครงร่างของตัวอักษรซึ่งนิยามไว้ว่า

$$G = (VT, Y, R, P, T)$$

โดยที่ VT คือลักษณะเบื้องต้นของเซต

Y คือลักษณะเฉพาะของเซต

R คือความสัมพันธ์ของเซต

P คือกฎเกณฑ์ส่วนประกอบของเซต

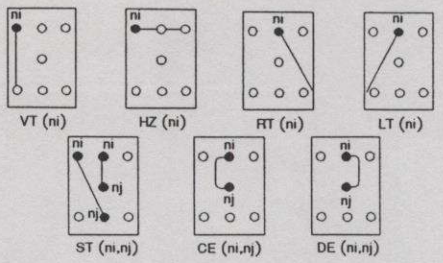
T คือทรานสฟอร์มเมชั่นของเซต

VT และ Y จะกำหนดคุณสมบัติเบื้องต้นด้วยกัน ให้ n1, n2 เป็นลักษณะเบื้องต้นของ $r \in R$ เป็นความสัมพันธ์แบบทวิภาค ให้คลุมเซตบางส่วนของ n1 และ n2 r(n1, n2) จำกัดความด้วยรูปแบบย่อย ส่วนประกอบ A คือลักษณะเบื้องต้นของ n1, n2 และมีคุณสมบัติสัมพันธ์ด้วย r เมื่อ

$$A \rightarrow r\,(n1, n2)$$

กรอบพื้นฐานและขอบเขตเบื้องต้นแสดงในรูปที่ 1 ขอบเขตการต่อโนดของเซต สามารถพิจารณาจากบริเวณใกล้เคียงที่เป็นวงกลมขนาดของขอบเขตเป็นจำนวนโนดภายในกรอบพื้นฐาน โดยปกติแล้วจะมากกว่า 1 โนด ในรูปที่ 1 จะมีโนด n1, n2, n3, n4, n5, n6, n7 ซึ่งต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ด้วย r โดยภาพประกอบ

กรอบรูปพื้นฐานและคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่าง โนด



รูปที่ 1 แสดงถึงกรอบพื้นฐาน (Basic Frame)

จากหลักการของ Narasimhan และ Least Squares Curve Fitting นำมาสรุป กำหนดเป็นคุณสมบัติเฉพาะของลักษณะแต่ละตัวตามการประกอบอักษรตัวเลขอราบิค แสดงให้เห็นในรูปที่ 2 พร้อมกับแสดงเครื่องหมาย

\+ หมายถึง Concatenation และ Sequence Control

n หมายถึง Slightly above ni หรือ nj

n หมายถึง Slightly below ni หรือ nj

< หมายถึง Segment lenght

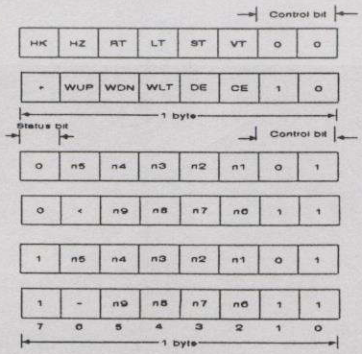
‘ ’ หมายถึง Character name identifier

‘0’ => CE (n2, n5) + CE (n5, n2) + VT (n2)
‘1’ => ST (n7, n3) + VT (n3)
‘2’ => DE (n1, n7) + CE (n7, n4) +HZ (n4)
‘3 => HZ (n1) + ST (n3, n7) + DE (n7, n4)
‘4’ => VT (n1) + HZ (n4) + ST (n7, n5)
‘5’ => HZ (n1) + VT (n1) + DE (n4, n7) + DE (n7, n4)
‘6’ => CE (n3, n4) +CE (n4, n7) + CE (n7, n4)
‘7’ => HZ (n1) + ST (n3, n5)
‘8’ => CE (n2, n7) + DE (n7, n5) + DE (n5, n7) + CE (n7, n2)
‘9’ => DE (n3, n7) + DE (n7, n3) + DE (n3, n4)

รูปที่ 2 การประกอบอักษรตัวเลขอราบิค

2.3 การเข้ารหัสคุณสมบัติเฉพาะของอักษรต่างๆ

เพื่อเก็บเป็นพจนานุกรม เราสามารถเข้ารหัสเป็นข้อมูลฐาน 16 โดยใช้ข้อมูลขนาด 1 ไบท์ สำหรับอักษรตัวเลขอราบิค ซึ่งแต่ละบิตจะแสดงคุณสมบัติต่างๆ แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะข้อมูลในพจนานุกรมรู้จำอักษรตัวเลขอราบิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control bit กำหนด Primitive และ Node ต่างๆ

ถ้า bit '0' = 0 ให้มีสถานะเป็น Primitive

bit '0' = 1 ให้มีสถานะเป็น node และ Segment lenght

Status bit กำหนดสภาวะของโนด ให้เป็น Normal node, Slightly above node และ Slightly below node

ถ้า bit '7' = 0 ให้มีสภาวะเป็นNormal node (ni)

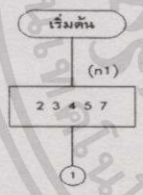
bit '7' = 1 ให้มีสภาวะเป็น Slightly above node หรือ Slightly below node

กรณี bit '7' = 1 ยกเว้น bit '0', '1'

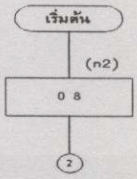
ถ้า bit ใด = '1' bit อื่น = '0' ให้มีสภาวะเป็น Slightly above node (ni)

bit ใด = '0' bit อื่น = '1' ให้มีสถานภาวะเป็น Slightly below node (ni)

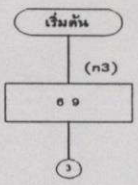
2.4 โครงสร้างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อย [4] เราได้แบ่งกลุ่มอักษรลายมือเขียนอักษรตัวเลขอราบิคออกเป็นกลุ่มหยาบ ๆ ซึ่งมีจุดเริ่มต้นที่โนดต่างกันดังนี้ กลุ่มอักษรที่เริ่มต้นการเขียนจากพื้นที่โนด n1, n2 , n3 และ n7 ดังในรูปที่4 (ก) ,4(ข),4(ค),4(ง) จากนั้นจะวิเคราะห์เพื่อแยกย่อยให้ได้ลักษณะอักษรตัวใดตัวหนึ่งในแต่ละกลุ่มต่อไปอีก ดังในรูปที่ 5(ก) ,5(ข),5(ค)5(ง) ซึ่งถือว่าเป็นการวิเคราะห์อย่างละเอียด ซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะมีพจนานุกรมการรู้จำ อักษรตัวเลขอราบิคมาเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ทั้งในส่วนของการวิเคราะห์อย่างหยาบและอย่างละเอียด



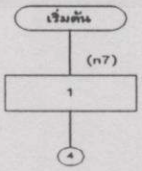
รูปที่ 4(ก) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรตัวเลขอราบิคเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โนด (n1)



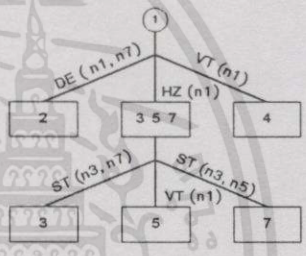
รูปที่ 4(ข) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรตัวเลขอราบิคเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โนด (n2)



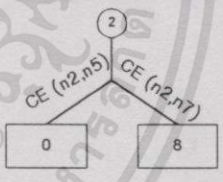
รูปที่ 4(ค) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรตัวเลขอราบิคเริ่มต้นการเขียนพื้นที่โนด (n3)



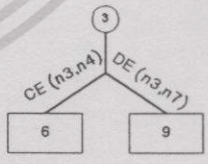
รูปที่ 4(ง) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับอักษรตัวเลขอราบิคเริ่ม ต้นการเขียนพื้นที่โนด (n7)



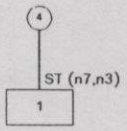
รูปที่ 5(ก) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์ตัวอักษรกลุ่มย่อยที่ 1



รูปที่ 5(ข) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์ตัวอักษรกลุ่มย่อยที่ 2



รูปที่ 5(ค) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์ตัวอักษรกลุ่มย่อยที่ 3

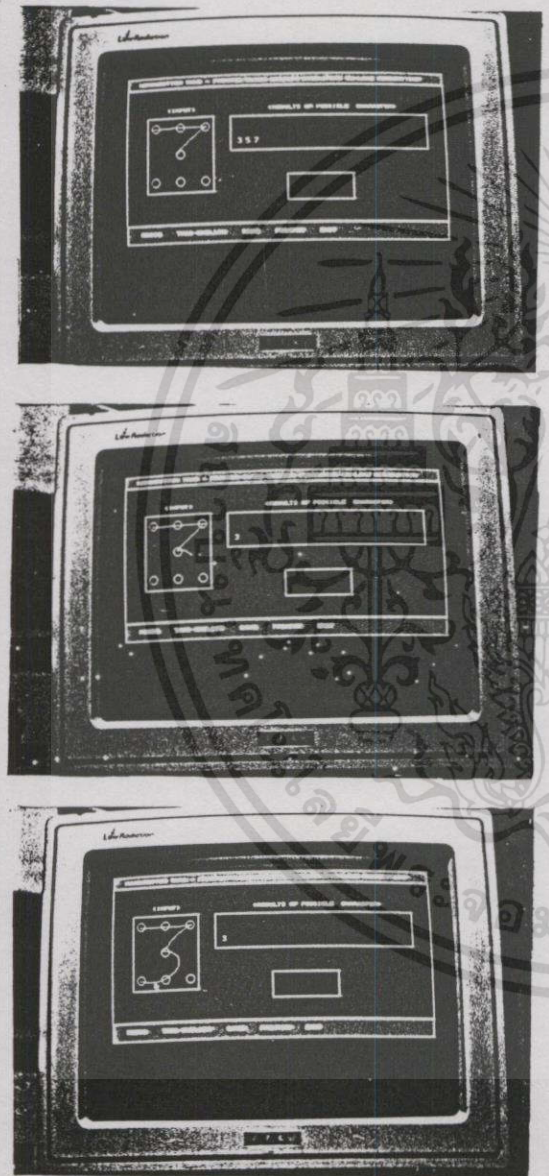


รูปที่ 5(ง) โครงร่างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์ตัวอักษรกลุ่มย่อยที่ 4

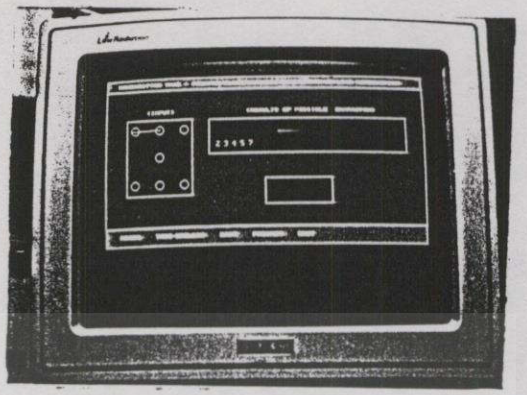
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการทดลอง

จากอัลกอริธึมการรู้จำรูปแบบอักษรตัวเลขอราบิค ที่กล่าวมาแล้วจึงใช้ Turbo C Version 2.0 ทำการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์การรู้จำอักษรตัวเลขอราบิคแบบออน-ไลน์ทำการทดลองโดยใช้ Mouse เขียนบน Digitizer ที่เชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ 32 bit (CPU 80486 DX-33) ผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอักษรแต่ละตัวจะมีการเริ่มต้นการเขียนที่โนดร่วมกันของแต่ละโนดและลักษณะคุณสมบัติความสัมพันธ์ของลายเส้นที่เหมือนกันและที่ต่างกันดังรูปที่ 6(ก)และ6(ข)



รูปที่ 6(ก) ลักษณะคุณสมบัติความสัมพันธ์ของลายเส้นที่ต่างกันของอักษรตัวเลข 3



รูปที่ 6(ข) การป้อนข้อมูลอักษรตัวเลขเริ่มต้นพื้นที่โนด (n1)

4.สรุปและวิจารณ์

ผลการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งไม่ควรเขียนเร็วหรือหวัดเกินไป และอัตราความเร็วเฉลี่ยในการเขียน 2 ถึง 4 วินาที ต่อหนึ่งตัวอักษร ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทดลอง มักจะเกิดจากเขียนเร็วเกินไปทำให้การควบคุมเคอร์เซอร์เกิดผิดพลาด หรือเขียนออกมาผิดวิธีทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาด ดังนั้นการเขียนอักษรตัวเลขอราบิคเพื่อให้รู้จำมีความผิดพลาดน้อยลงคือการเขียนด้วยความระมัดระวังตามกรรมวิธีการเขียนเหมือนการเขียนอักษรตัวบรรจง

เอกสารอ้างอิง

[1] K.S FU Syntactic Methodes in Pattern Recognition School of Electrical Engineering Purdue University West Lafayette Indian (Appendix & Syntactic Description of Hand-Printed Fortran Characters)

[2] R. Narasimhan on the description and recognition of Classes of pictures Automatic Interpretation and Classificaation of Image (A.Grasselli.ed) Academic press, New York 1969

[3] Steven e.chapra, Raymond P.Canale Numerical methods for Engineers "The University of Colorado and Michigan"

[4] Aaron M.Tenenbaum, Yedidyah Langsam, Moshe J.Augenstein Data Structures Using C

[5] รศ.ดร. ชม กิ้มปาน, สุริยัน อนุวรรค, การรู้จำอักษรลายมือเขียนตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษด้วยการพิจารณาลักษณะโครงสร้าง ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 16

[6] รศ.ดร. ชม กิ้มปาน, สุริยัน อนุวรรค, การรู้จำอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษแบบวิเคราะห์โครงสร้าง, วิศวกรรมสาร ปีที่ 46 เล่มที่ 2 กุมภาพันธ์ 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรู้จำอักษรลายมือเขียนตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ ด้วยการพิจารณาลักษณะโครงสร้าง
Syntactic Description of Capital English-Handwritten Characters Recognition

สุริยัน อนุวรรค *

รศ.ดร.ชม กิ้มปาน **

บทคัดย่อ - บทความวิจัยนี้ การรู้จำอักษรลายมือเขียนตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ ด้วยการพิจารณาลักษณะโครงสร้างขณะที่ลากเส้นโดยการออกแบบซอฟแว์รคอมพิวเตอร์ควบคุมไมโครคอมพิวเตอร์16 บิทให้สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติความสัมพันธ์ลักษณะลายเส้นระหว่างจุดที่ ประกอบเป็นตัวอักษรโดยอาศัยหลักการ ความต่อเนื่องของลายเส้น ลักษณะการลากเส้นและหลักไวยกรณ์ในการพิจารณาลักษณะโครงสร้าง ที่เสนอโดย Narasimhan[1] เมื่อขณะที่ผู้เขียนกำลังเขียนอยู่จนสิ้นสุด 1 ตัวอักษร คอมพิวเตอร์จะนำผลการวิเคราะห์ ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในหน่วยความจำ แล้วแสดงผลออกมาให้ทราบทางจอแสดงผล การรู้จำในบทความนี้สามารถวิเคราะห์กับอักษรลายมือเขียนตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษเท่านั้น ข้อมูลนำมาจากการเขียนลงบนกระดาษอิเล็กทรอนิกส์ด้วยปากกาอิเล็กทรอนิกส์ ที่เชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์

Abstract - This paper present the Syntatic Description of Capital English-Handwritten Characters Recognition by designing computer software for automatically controlled a 16 bits microcomputer to be able analytical properties the description for relationship drawning line between points of characters with the principle of trace , connection trail and syntatic description of the grammar proposed by Narasimhan[1] while a drawing line of one character is completly drawn or some part of a character . the result of analysis to compare with a data in memmory of computer and shown on sreen.This paper presents the recognition to be able analysis only Capital English-Characters. Data is obtained from the tablet by written stylus pen as interface to the microcomputer.

1. บทนำ

ในบทความนี้ จะวิจัยการรู้จำอักษรลายมือเขียนตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษด้วยการพิจารณาลักษณะโครงสร้างขณะที่ลากเส้น โดยทำการวิเคราะห์ถึงความต่อเนื่องของลายเส้น ลักษณะการลากเส้น และหลักไวยกรณ์ในการพิจารณาลักษณะโครงสร้าง ที่เสนอโดย Narasimhan[1] จะทำการวิเคราะห์อย่างหยาบๆก่อน เพื่อให้ได้ลักษณะร่วมของตัวอักษร ในส่วนนี้จะวิเคราะห์ให้ได้ตัวอักษรออกมาเป็นกลุ่มๆหลายกลุ่มเช่น กลุ่มที่เริ่มต้นจากจุด n1 ตามรูปที่ D.5(a)ได้แก่อักษร B, D, E, F, H, K, L, M, N, P, R, U, V, W, X, Y, Z กลุ่มที่เริ่มต้นจากจุด n2 ตามรูปที่ D.5(b)ได้แก่อักษร A, I, J, O, Q, T และกลุ่มที่เริ่มต้นจากจุด n3 ตามรูปที่ D.5(c)ได้แก่อักษร C, G, S, X เมื่อวิเคราะห์ได้ออกมาเป็นกลุ่มหยาบๆแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ต่อไปเพื่อแยกย่อยลงไปให้ได้ถึงลักษณะตัวอักษรตัวหนึ่งตัวใด นั่นได้ว่าเป็นการวิเคราะห์อย่างละเอียด โดยมีรูปแบบเบื้องต้นที่เก็บลักษณะรูปร่างของตัวอักษรแต่ละตัว ไว้เป็นมาตรฐานมาเปรียบเทียบทั้งในส่วนของการวิเคราะห์อย่างหยาบและอย่างละเอียด ในบทความนี้จะมีขั้นตอนเสนอวิธีการรู้จำอักษรลายมือเขียนตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ ดังนี้คือ

(1). ความต่อเนื่องของลายเส้น

(2). ลักษณะการลากเส้น

(3). หลักไวยกรณ์ในการพิจารณาลักษณะโครงสร้าง

(4). การสร้างรูปแบบเบื้องต้นที่เก็บลักษณะรูปร่างของตัวอักษรต่างๆ

(5). โครงสร้างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อย

(6). ลักษณะเฉพาะสำหรับลายมือเขียน

2. วิธีการรู้จำรูปแบบตัวอักษร

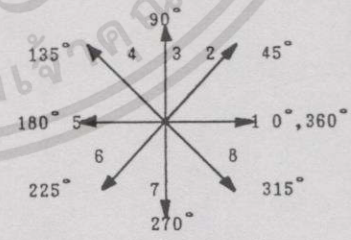
2.1 ความต่อเนื่องของลายเส้น อักษรในภาษาอังกฤษสามารถแบ่งตามลักษณะในการเขียนได้ 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

2.1.1 ตัวอักษรที่มีการลากเส้นติดต่อกันไปจนเสร็จหนึ่งตัวอักษรเช่น C, L, O, S, Vเป็นต้นลักษณะเช่นนี้เรียกว่า มีความต่อเนื่องของลายเส้น

2.1.2 ตัวอักษรที่มีการลากเส้นไม่ติดต่อกัน ในการเขียนหนึ่งตัวอักษร เช่น D, E, H, M, Yเป็นต้น ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า มีความไม่ต่อเนื่องของลายเส้น

ในการตรวจสอบความต่อเนื่องของลายเส้น ทำได้ด้วยการตรวจสอบการยกปากกาในการเขียนต่อหนึ่งตัวอักษรแล้วเสร็จ ถ้ามีการยกปากกามากกว่าในการเขียนต่อหนึ่งตัวอักษรแล้วเสร็จ แสดงว่ามีความไม่ต่อเนื่องของลายเส้น

2.2 ลักษณะการลากเส้น ทำการแบ่งทิศทางของการลากเส้นไว้ 8 ทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ D.1



รูป D.1 แสดงทิศทางและค่าของมุม

การพิจารณาทิศทางการลากเส้นนั้นดูจากจุดที่ติดกัน หรือจุดที่ห่างออกไปดังนี้ ทิศทางหมายเลข 1,3,5,7 มีค่าอยู่ในช่วง $\pm$ 20 องศา ส่วนทิศทางหมายเลข 2,4,6,8 มีค่าอยู่ในช่วง $\pm$ 25 องศา ซึ่งในการวิเคราะห์จะวิเคราะห์ ตามทิศทางการลากเส้นในแต่ละจุดของตัวอักษร โดยจะพิจารณาค่าความชันของลักษณะลายเส้นในแต่ละทิศทาง แล้วจึงนำมาคำนวณหาค่ามุมจากสมการ(1) ก็จะได้ทิศทางตามค่ามุมนั้น ดังแสดงในรูป D.1

$$\tan\theta = (y_{i+1} - y_i)/(x_{i+1} - x_i)$$

$$\theta = \tan^{-1}(y_{i+1} - y_i)/(x_{i+1} - x_i) \quad \ldots\ldots(1)$$

เมื่อ i เป็นลำดับของข้อมูลตัวที่ i=0,1.....,n

---

* นักศึกษาปริญญาโท ภาควิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

** อาจารย์ที่ปรึกษา, ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ และรองศาสตราจารย์ ภาค วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการหาทิศทางตามค่ามุมเราสามารถนำมา กำหนดคุณสมบัติความสัมพันธ์ลักษณะลายเส้นระหว่างจุดต่างๆ ตามหลักไวยกรณ์ที่เสนอโดย Narasimhan[1] ได้.

2.3 หลักไวยกรณ์ในการพิจารณาลักษณะโครงสร้าง

Narasimhan[1] ได้เสนอหลักไวยกรณ์ในการพิจารณาลักษณะโครงสร้างของตัวอักษร ซึ่งถูกนิยามไว้ว่า

G = (VT,Y,R,P,T)

เมื่อ VT คือ ลักษณะเบื้องต้นของเชด

Y คือ ลักษณะเฉพาะของเชด

R คือ ความสัมพันธ์ของเชด

P คือ ส่วนประกอบจากกฎเกณฑ์ของเชด

T คือ การแปลงรูปของเชด

ในการกำหนดคุณสมบัติ VT และ Y พร้อมกัน ก่อให้เกิดเป็นลักษณะเบื้องต้นเกี่ยวกับการกำหนดคุณสมบัติให้ a_1 และ a_2 เป็นลักษณะเบื้องต้น และให้ $r \in R$ เป็นนิยามความสัมพันธ์แบบทวิภาคให้คลุมเชดบางส่วนของค่าลักษณะเฉพาะ a_1และ a_2 เป็นนิยามรูปแบบย่อย $r(a_1,a_2)$ ที่ประกอบด้วย a_1 และ a_2เป็นลักษณะเบื้องต้น และกำหนดคุณสมบัติความสัมพันธ์เมื่อ

A --> $r(a_1,a_2)$

คือ ส่วนประกอบจากกฎเกณฑ์ของเชด โดยทั่วไปแล้วสมมุติว่าส่วนประกอบจากกฎเกณฑ์ในรูปเป็น

A_3 --> $r(A_1,A_2)$; $r \in R$

เมื่อ A_1,A_2 เป็นรูปแบบย่อยหรือรูปแบบเบื้องต้นอย่างหนึ่งอย่างใด ขอบเชดเบื้องต้นกับการกรอบพื้นฐาน แสดงในรูปที่ D.2 ขอบเชดเป็นจุดต่อของเชด และสามารถพิจารณาบริเวณใกล้เคียงจากวงกลมได้ขนาดของขอบเชด คือจำนวนจุดภายในกรอบพื้นฐานนั้น โดยปกติแล้วจะมากกว่า 1 จุด ในรูปที่ D.2 จุดจะบอกโดยชื่อ n1,n2,n3,n4,n5,n6,n7, n8,n9 ซึ่งต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ ด้วยการสรุปอย่างสั้นๆ หรือแสดงโดยภาพประกอบ

(1) VT(ni) หมายถึง เส้นที่ลากผ่าน ni ในแนวดิ่ง

(2) HZ(ni) หมายถึง เส้นที่ลากผ่าน ni ในแนวนอน

(3) RT(ni) หมายถึง เส้นที่ลากผ่าน niไปยัง njขวาสุดของขอบตรงข้าม

(4) LT(ni) หมายถึง เส้นที่ลากผ่าน niไปยัง njซ้ายสุดของขอบตรงข้าม

(5) ST(ni,nj) หมายถึง เส้นที่เชื่อมต่อ ni กับ nj

(6) CE(ni,nj) หมายถึง เส้นที่ลากผ่าน niไปยัง nj ในลักษณะเส้นโค้งตัว C

(7) DE(ni,nj) หมายถึง เส้นที่ลากผ่าน ni ไปยัง njในลักษณะเส้นโค้งตัว D

(8) Wα(ni,nj,n) หมายถึง เส้นที่เชื่อมต่อ ni ไปยัง nj โดยมี n เป็นตัวร่วม

เมื่อ α = LT หมายถึง เส้นที่เชื่อมต่ออยู่ด้านซ้าย

α = WDN หมายถึง เส้นที่เชื่อมต่ออยู่ด้านล่าง

(9) HK(n) หมายถึง เส้นที่เกี่ยวติดกันบน n

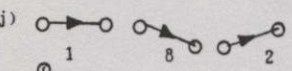
การกำหนดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างจุด [2]

VT(ni)

HZ(ni)

RT(ni)

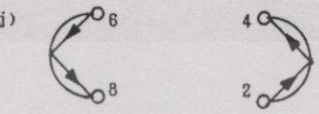
LT(ni)

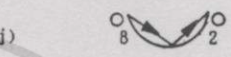
ST(ni,nj) 

ST(ni,$\bar{n}$j)

ST($\bar{n}$i,nj)

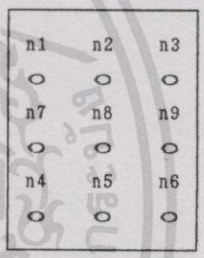
HK(ni)

CE(ni,nj) 

CE($\bar{n}$i,$\bar{n}$j) 

DE(ni,nj)

ในส่วนของหมายเลข 1,2,3,4,6,7,8 แสดงถึงลักษณะของทิศทางใน 8 ทิศทาง



รูปที่ D.2 แสดงกรอบพื้นฐาน

ส่วนประกอบจากกฎเกณฑ์ที่สมบูรณ์สำหรับตัวอักษรต่างๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ D.3 พร้อมกับแสดงถึงการใช้เครื่องหมายดังนี้

+ หมายถึง ลำดับการเขียน

$\bar{n}$ หมายถึง เหนือ n เล็กน้อย

$\underline{n}$ หมายถึง ใต้ n เล็กน้อย

< หมายถึง น้อยกว่าส่วนความยาวที่อ้างถึง

'' หมายถึง บอกชื่อตัวอักษร

'A' --> LT(n2,n7)+RT(n2,n9)+ST(n7+n9)

'B' --> VT(n1,n7)+DE(n1,n7)+DE(n7,n4)

'C' --> CE($\underline{n}$3,$\bar{n}$6)

'D' --> VT(n1)+DE(n1,n4)

'E' --> VT(n1,n7)+HZ(n1)+HZ(n7,<)+HZ(n4)

'F' --> VT(n1,n7)+HZ(n1)+HZ(n7,<)

'G' --> CE($\underline{n}$3,$\bar{n}$6)+HK($\bar{n}$6)

'H' --> VT(n1,n7)+VT(n3,n9)+ST(n7,n9)

'I' --> VT(n2)+HZ(n2,<)+HZ(n5,<)

'J' --> ST(n2,n8)+DE(n8,$\bar{n}$4)+HZ(n2,<)

'K' --> VT(n1,n7)+WLT(n3,n6,n7)

'L' --> VT(n1)+HZ(n4)

'M' --> VT(n1)+WDN(n1,n3)+VT(n3)

'N' --> VT(n1)+RT(n1)+VT(n6)

'O' --> CE(n2,n5)+CE(n5,n2)

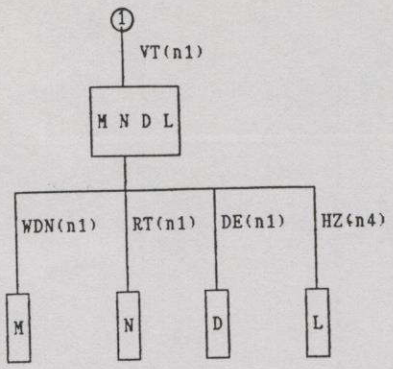
'P' --> VT(n1,n7)+DE(n1,n7)

'Q' --> CE(n2,n5)+CE(n5,n2)+ST(n8,n6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

'R' --> VT(n1,n7)+DE(n1,n7)+ST(n7,n6)
'S' --> CE(n3,n8)+DE(n8,n̄4)
'T' --> VT(n2)+HZ(n2)
'U' --> ST(n1,n̄4)+CE(n̄4,n̄6)+ST(n̄6,n3)
'V' --> ST(n1,n5)+ST(n5,n3)
'W' --> WDN(n1,n2)+WDN(n2,n3)
'X' --> LT(n3)+RT(n1)
'Y' --> WDN(n1,n3,n8)+ST(n8,n5)
'Z' --> HZ(n1)+LT(n3)+HZ(n4)

รูปที่ D.3 แสดงส่วนประกอบจากกฎเกณฑ์สำหรับตัวอักษร



2.4 การสร้างรูปแบบเบื้องต้นที่เก็บลักษณะรูปร่างของตัวอักษรต่างๆ จากคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างจุดภายในกรอบพื้นฐาน เราสามารถสร้างรูปแบบเบื้องต้นอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษได้ โดยใช้ข้อมูลขนาด 1 ไบท์ ซึ่งแต่ละ บิทจะแทนคุณสมบัติ ดังในรูปที่ D.4

ให้ บิท 0 เป็น control bit ในการกำหนดสถานะ

เมื่อเป็น '0'

7	6	5	4	3	2	1	0
1	1	HZ	RT	LT	ST	VT	0

เมื่อเป็น '1'

7	6	5	4	3	2	1	0
1	1	HK	WDN	WLT	DE	CE	1

เนื่องจากจุดภายในกรอบพื้นฐานที่ใช้ในการเขียนมี จำนวน 9 จุด และเครื่องหมายที่ใช้มีอยู่ 4 ตัว จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลขนาด 1 ไบท์ แทนจุดแต่ละจุดและเครื่องหมายต่างๆดังนี้

ให้ บิท 0 เป็น control bit ในการกำหนดสถานะ

เมื่อเป็น '0'

7	6	5	4	3	2	1	0
Sl	Sb	n9	n7	n5	n3	n1	0

เมื่อเป็น '1'

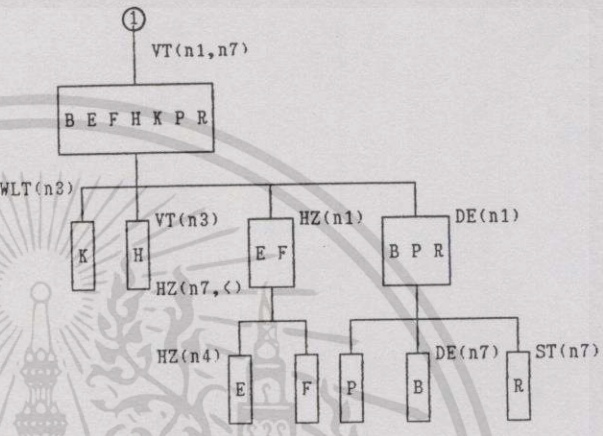
7	6	5	4	3	2	1	0
-	Sc	Sa	n8	n6	n4	n2	1

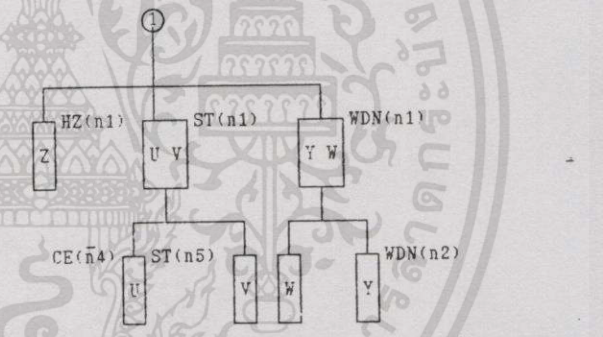
กำหนดแทนเครื่องหมายที่ใช้ดังนี้

\+ แทนด้วย สัญลักษณ์ Sc
n̄ แทนด้วย สัญลักษณ์ Sa
n̲ แทนด้วย สัญลักษณ์ Sb
< แทนด้วย สัญลักษณ์ Sl

รูปที่ D.4 คุณสมบัติลักษณะของข้อมูลในรูปแบบเบื้องต้น

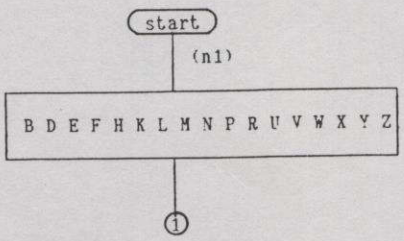
จากกรรมวิธีดังกล่าว เราจึงสร้างรูปแบบเบื้องต้นในการเก็บลักษณะรูปร่างของตัวอักษรต่างๆ โดยแปลงข้อมูลในรูปที่ D.3 ให้ได้ข้อมูลเป็นเลขฐาน 16 แล้วจากนั้นนำไปเก็บไว้ในอาเรย์ในหน่วยความจำ และพร้อมกับเก็บค่าคงที่ของตัวอักษร A ถึง Z นั้นด้วย

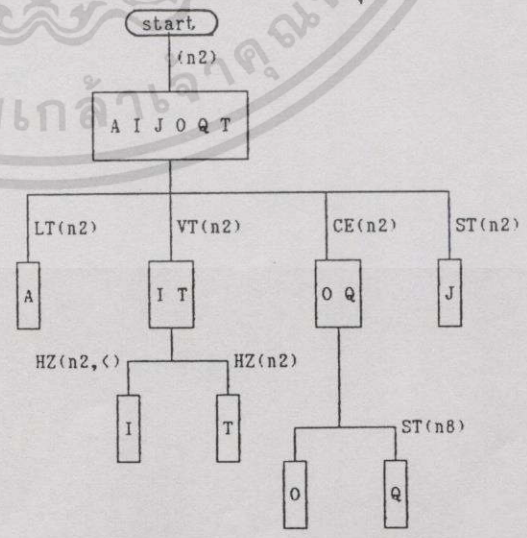




รูปที่ D.5(a) โครงสร้างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่เริ่มต้นการเขียนที่จุด n1

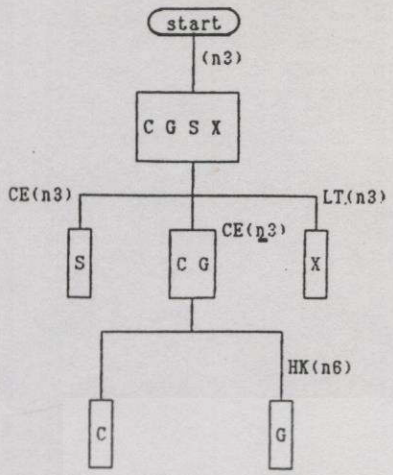
2.5 โครงสร้างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อย เราสามารถแบ่งกลุ่มอักษรลายมือเขียนตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษได้ โดยเริ่มต้นการเขียนที่จุดต่างกันดังนี้ คือ กลุ่มเริ่มต้นการเขียนที่จุด n1กลุ่มเริ่มต้นการเขียนที่จุด n2 และกลุ่มเริ่มต้นการเขียนที่จุด n3 ดังแสดงในรูปที่ D.5(a) D.5(b)และ D.5(c)





รูปที่ D.5(b) โครงสร้างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่เริ่มต้นการเขียนที่จุด n2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ D.5(c)โครงสร้างแบบต้นไม้สำหรับการวิเคราะห์อักษรกลุ่มย่อยที่เริ่มต้นการเขียนที่จุด n3

2.6 ลักษณะเฉพาะสำหรับลายมือเขียน ในการรู้จำอักษรลายมือเขียนตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษจะต้องมีกฎเกณฑ์ในการเขียนที่แน่นอน เพื่อที่จะให้ไมโครคอมพิวเตอร์สามารถวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็ว ดังในรูปที่ D.6

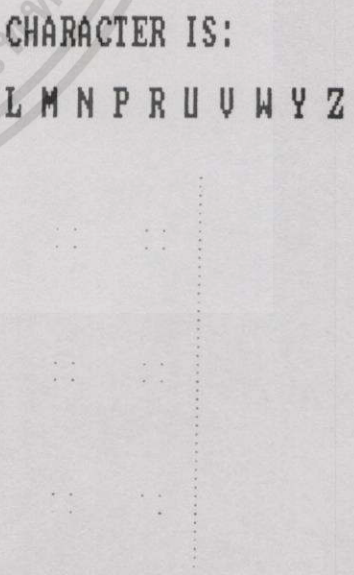
อักษร	ความต่อเนื่อง	เริ่มต้นหรือผ่านจุด n1	จำนวนครั้งที่เขียน	ทิศทางการเขียนและลักษณะเบื้องต้น
A	ไม่ต่อ	2,2,7	3	
B	ไม่ต่อ	1,1,7	2	
C	ต่อ	3	1	
D	ไม่ต่อ	1,1	2	
E	ไม่ต่อ	1,1,7,4	4	
F	ไม่ต่อ	1,1,7	3	
G	ไม่ต่อ	3,6	2	
H	ไม่ต่อ	1,3,7	3	
I	ไม่ต่อ	2,2,5	3	
J	ไม่ต่อ	2,8,2	2	
K	ไม่ต่อ	1,3	2	
L	ต่อ	1,4	1	
M	ไม่ต่อ	1,1,3	2	
N	ไม่ต่อ	1,1,6	2	
O	ต่อ	2,5	1	
P	ไม่ต่อ	1,1	2	
Q	ไม่ต่อ	2,5,8	2	
R	ไม่ต่อ	1,1,7	3	
S	ต่อ	3,8	1	
T	ไม่ต่อ	2,2	2	
U	ต่อ	1,4,6	1	
V	ต่อ	1,5	1	
W	ต่อ	1,2	1	
X	ไม่ต่อ	3,1	2	
Y	ไม่ต่อ	1,8	2	
Z	ต่อ	1,3,4	1	

รูปที่ D.6 แสดงลักษณะเฉพาะสำหรับลายมือเขียน

3. ผลการทดลอง

จากวิธีรู้จำรูปแบบตัวอักษร และการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวข้างต้น จึงได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การรู้จำอักษรลายมือเขียนตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ โดยใช้ Turbo C version 2.0 และทำการทดลองบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิท(cpu 80286)โดยการป้อนข้อมูลด้วยการเขียนซึ่งผลทดลองในรูปที่ D.7 แสดงถึงการรู้จำอักษรลายมือเขียนตัว H,ในรูปที่ D.7(a)เป็นกรอบพื้นฐาน ในขณะที่ยังไม่มีการป้อนข้อมูล ,ในรูปที่ D.7(b) แสดงถึงตัวอักษร กลุ่มที่เริ่มต้นป้อนข้อมูลที่จุด n1,ในรูปที่ D.7(c)แสดงถึงตัวอักษร กลุ่มที่มีคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่ประกอบเป็นตัวอักษรเหมือนกัน คือ VT(n1),ในรูปที่ D.7(d) และในรูปที่ D.7(e) แสดงถึงอักษรตัว M ที่มีคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่ประกอบเป็นตัวอักษรแตกต่างออกไปคือ WDN(n1,n3)ในขณะที่กำลังเขียนอยู่และสิ้นสุด 1 ตัวอักษร

รูปที่ D.7(a)

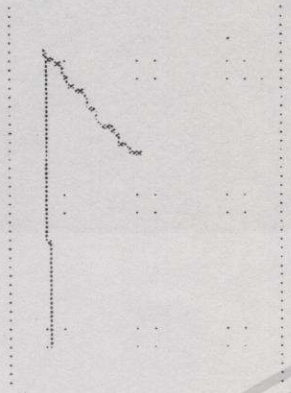


รูปที่ D.7(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POSSIBLE OF CHARACTER IS:

M N D L



รูปที่ D.7(c)

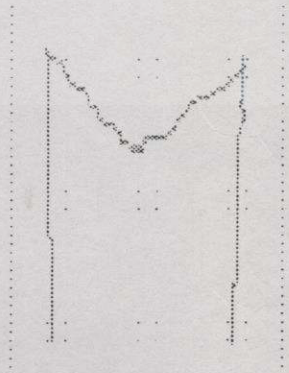
POSSIBLE OF CHARACTER IS:

M

รูปที่ D.7(d)

POSSIBLE OF CHARACTER IS:

M



รูปที่ D.7(e)

รูปที่ D.7 แสดงถึง การรู้จำอักษรลายมือเขียนตัว M

4. สรุปและวิจารณ์

ผลการทดลองจะถูกต้อง 100% เมื่อความเร็วที่ใช้ในการเขียนเฉลี่ยประมาณ 2 ถึง 5 วินาทีต่อหนึ่งตัวอักษร ตัวอักษรแต่ละตัวจะวิเคราะห์ช้าเร็วไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความสัมพันธ์ลักษณะลายเส้นที่ประกอบเป็นตัวอักษร และวิธีการเขียนในลักษณะเฉพาะสำหรับลายมือเขียน ถ้าเขียนเร็วเกินไป หรือผิดวิธีจะทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดไปได้ ดังนั้นการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบการรู้จำอักษรลายมือเขียนตัวพิมพ์ใหญ่ภาษาอังกฤษ ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นควรคำนึงถึงความเป็นไปได้ในลักษณะดังกล่าวด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

[1] R.Narasimhan,on the description and recognition of Classes of pictures Automatic Interpretation and Classification of Images (A.Grasselli,ed) Academic Press,New York 1969

[2] K.S.FU Syntatic Methodes in Pattern Recognition School of Electrical Engineering Purdue University West Lafayette,Indian (Appendix D Syntatic Description of Hand-Printed Fortran Characters)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค .

รหัสแอสกี้ตัวอักษรภาษาไทย รหัส ม. เกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายสุริยัน อนุวรรค เกิดเมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน 2502 ที่จังหวัดสงขลา ประเทศไทย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2529 อาชีพปัจจุบัน วิศวกร ระดับ 7 ทำหน้าที่ หัวหน้าแผกมาตรฐานคุณภาพบริการ สังกัดกองชุมสาย ส่วนอุปกรณ์บริการพื้นฐาน ฝ่ายควบคุมโครงข่ายโครงการภูมิภาค องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้