

การรู้จำตัวอักษรเขียนภาษาไทยโดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะบ่งความต่าง



นายประเสริฐ ฉอเรืองวิวัฒน์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-872-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1 พ.ย. 2543

118294590

THAI HANDWRITTEN CHARACTER RECOGNITION USING EXTRACTION OF
DISTINCTIVE FEATURES



Mr. Prasert Choruengwiwat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering

Graduate School

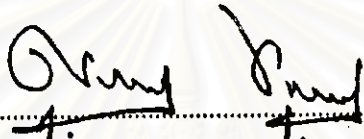
Chulalongkorn University

Academic Year 1998


ISBN 974-639-872-5


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การรู้จำตัวอักษรเขียนภาษาไทยโดยการวิเคราะห์ลักษณะแบ่งความต่าง
โดย นายประเสริฐ ฉอเรืองวิวัฒน์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสัทธาภิบาลกิจ

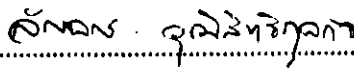
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

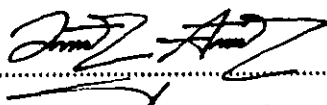

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุตาพร ลักขณีนานาวิน)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. ลัญฉกร วุฒิสัทธาภิบาลกิจ)


.....กรรมการ
(ดร. จุฬารัตน์ ตันประเสริฐ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ประเสริฐ ฉอเรืองวิวัฒน์ : การรู้จำตัวอักษรเขียนภาษาไทยโดยการวิเคราะห์ลักษณะแบ่งความต่าง (THAI HANDWRITTEN CHARACTER RECOGNITION USING EXTRACTION OF DISTINCTIVE FEATURES)
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ลัญจกร วุฒิสัทกุลกิจ, 98 หน้า. ISBN 974-639-872-5.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างวิธีการรู้จำตัวอักษรเขียนพยัญชนะไทย โดยใช้คุณลักษณะแบ่งความต่างของอักษรภาษาไทย ประกอบด้วยคุณลักษณะร่วมและคุณลักษณะเฉพาะ โดยคุณลักษณะร่วมที่ใช้ได้แก่ จำนวนเกาะ จำนวนหัว ระดับของหัว การต่อเชื่อมของหัว และการเปลี่ยนสายลำดับการลากผ่านซึ่งได้ดัดแปลงเทคนิคให้เหมาะกับตัวอักษรภาษาไทยโดยเริ่มจากตำแหน่งศูนย์กลางหัวของตัวอักษรทำการหาการเปลี่ยนสายลำดับการลากผ่านแนวราบได้แก่ด้านซ้ายและด้านขวา และแนวตั้งได้แก่ด้านบนและด้านล่างได้รหัสการเปลี่ยนสายลำดับการลากผ่านเป็น ซ้าย, บน, ขวา และ ล่าง ตามลำดับ คุณลักษณะเฉพาะที่ใช้ได้แก่ การพิจารณาคุณลักษณะจุดในบริเวณที่กำหนด อัตราส่วนความกว้างต่อความสูง และรอยหยัก

ผลการทดสอบกระทำบนไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลางเป็นเพนเทียมความเร็ว 133 เมกะเฮิร์ตซ์ และมีหน่วยความจำแรม 56 เมกะไบต์ ตัวอักษรที่ใช้รวม 6,160 ตัว ได้จาก 28 คนทั้งนี้แต่ละคนเขียนตัวอักษรพยัญชนะไทย 44 ตัว จำนวน 5 ชุด อัตราการรู้จำที่ได้ประมาณร้อยละ 95 และมีความเร็วในการประมวลผลประมาณ 350 ตัวอักษรต่อนาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ลัญจกร วุฒิสัทกุลกิจ

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

** 3970983321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: STROKE CHANGING SEQUENCE / DISTINCTIVE FEATURE / THAI HANDWRITTEN CHARACTER RECOGNITION /

PRASERT CHORUENGWIWAT : THAI HANDWRITTEN CHARACTER RECOGNITION USING EXTRACTION OF DISTINCTIVE FEATURES. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMCHAI JITAPANKUL, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ, Ph.D. 98 pp. ISBN 974-639-872-5.

The objective of this thesis is to propose a method of Thai handwritten consonant character. Global and local features are considered. For global features, they compose of number of island, a number of heads, a level of head, a position of connected line to head and modified stroke changing sequence (SCS) by obtaining stroke changing sequence occurred from center of head character in both left and right directions for horizontal scan and in both up and down directions for vertical scan. Then, modified SCS code was created by arranging SCS values in left, up, right and down, respectively. For local features, they compose of a feature point in area that specification, a ratio of character width to its height and a curly curve of head or line.

Experimental results were executed on microcomputer of Pentium 133 MHz and 56 Mbyte RAM. Total characters used were 6,160 characters taken from 28 persons, with 44 Thai consonant characters per set and 5 sets per person. The recognition rate was about 95 % and the processing time was about 350 characters per minute.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... Prut Chorungmuat
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... Somchai Jitapankul
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... Lunchakorn Wuttisititikulkij

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ และสนับสนุนเครื่องมือในการทำวิจัยมาด้วยดีตลอด อีกทั้งยังได้ผลักดันให้มีการสัมมนาร่วมภายในกลุ่มวิจัย ซึ่งส่งผลดีทำให้มีการแลกเปลี่ยนความรู้ แสดงข้อคิดเห็นในการนำมาปรับปรุงและแก้ไขงานวิจัยที่ได้ดำเนินอยู่ และขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing Research Laboratory) ที่ได้เอื้อเพื่อสนับสนุนเครื่องมือในการทำวิจัย และต้องขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาให้ผู้วิจัยผ่านทาง (Telecommunications Consortium)

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัว ซึ่งสนับสนุนการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 แนวคิดทฤษฎีและผลงานที่ผ่านมา.....	4
2.1 ทฤษฎีในการรู้จำ.....	4
2.2 งานวิจัยทางด้านตัวอักษรลายมือเขียน.....	5
2.3 งานวิจัยทางการรู้จำตัวอักษรของภาษาไทย.....	6
2.3.1 งานวิจัยทางด้านตัวอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทย.....	6
2.3.2 งานวิจัยทางด้านตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย.....	8
2.4 ข้อเสียของระบบรู้จำแต่ละแนวทาง.....	9
2.5 แนวคิดและทฤษฎีในการรู้จำ.....	10
2.6 คุณลักษณะของความต่างที่นำมาช่วยในการแบ่งกลุ่ม.....	11
2.6.1 จำนวนเกาะของตัวอักษร.....	11
2.6.2 จำนวนหัวของตัวอักษร.....	11
2.6.3 ระดับของหัวตัวอักษร.....	12
2.6.4 การเข้าหรือออกของหัวตัวอักษร.....	13
3 กระบวนการที่ใช้ในระบบรู้จำแบบรูปลายมือเขียนภาษาไทย.....	17
3.1 กระบวนการรู้จำแบบรูปลายมือเขียน.....	17
3.2 ระบบการรู้จำแบบรูปลายมือเขียน.....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1 กระบวนการก่อนหน้า.....	18
3.2.1.1 กระบวนการตรวจจับขอบเขตภาพ.....	18
3.2.1.2 กระบวนการทำโครงร่างภาพ.....	19
3.2.1.3 กระบวนการเน้นขอบภาพ.....	21
3.2.1.4 กระบวนการลบขอบด้านนอก.....	22
3.2.2 การดึงคุณลักษณะ.....	23
3.2.2.1 คุณลักษณะร่วม.....	23
3.2.2.1.1 จำนวนเกาะ.....	24
3.2.2.1.2 จำนวนหัว.....	24
3.2.2.1.3 ระดับของหัว.....	24
3.2.2.1.4 การต่อเชื่อมของหัว.....	25
3.2.2.1.5 การเปลี่ยนสายลำดับการลากผ่าน.....	25
3.2.2.2 คุณลักษณะเฉพาะ.....	28
3.2.2.2.1 การตรวจคุณลักษณะสำคัญในบริเวณที่กำหนด.....	28
3.2.2.2.2 อัตราส่วนของความกว้างต่อความสูง.....	29
3.2.2.2.3 รอยหยัก.....	29
3.2.3 การจำแนกกลุ่ม.....	31
4 ขั้นตอนการทดลองผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	34
4.1 โปรแกรมที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น.....	34
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดสอบ.....	34
4.3 แหล่งที่มาของข้อมูล.....	34
4.4 วิเคราะห์จากคุณลักษณะแบ่งความต่าง.....	35
4.4.1 วิเคราะห์จากจำนวนเกาะของตัวอักษร.....	36
4.4.2 วิเคราะห์จากจำนวนหัวของตัวอักษร.....	36
4.4.3 วิเคราะห์จากตำแหน่งระดับของหัวตัวอักษร.....	37
4.4.4 วิเคราะห์จากการต่อเชื่อมของหัวตัวอักษร.....	39
4.5 การวิเคราะห์อัตราส่วนความกว้างต่อความสูง.....	42
4.6 กระบวนการทดสอบระบบการรู้จำแบบรูปลายมือเขียน.....	42
4.7 ขั้นตอนในการวิเคราะห์และฝึกฝนระบบ.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7.1 ผลการทดสอบระบบรู้จำแบบรูปก่อนทำการวิเคราะห์และฝึกฝน.....	43
4.7.2 วิเคราะห์และฝึกฝนระบบครั้งที่ 1 โดยกลุ่มที่ 1.....	45
4.7.3 ผลการทดสอบระบบรู้จำแบบรูปโดยกลุ่มที่ 1 หลังวิเคราะห์และฝึกฝนครั้งที่ 1.....	58
4.7.4 ผลการทดสอบระบบรู้จำแบบรูปโดยกลุ่มที่ 2.....	58
4.7.5 วิเคราะห์และฝึกฝนระบบครั้งที่ 2 โดยกลุ่มที่ 2.....	61
4.7.6 ผลการทดสอบระบบรู้จำแบบรูปโดยกลุ่มที่ 2 หลังวิเคราะห์และฝึกฝนครั้งที่ 2.....	64
4.7.7 ผลการทดสอบระบบรู้จำแบบรูปโดยกลุ่มก่อนหน้าเต็ม หลังวิเคราะห์และฝึกฝนครั้งที่ 2.....	64
4.7.8 ผลการทดสอบระบบรู้จำแบบรูปโดยกลุ่มที่ 3.....	64
4.7.9 วิเคราะห์และฝึกฝนระบบครั้งที่ 3 โดยกลุ่มที่ 3.....	68
4.7.10 ผลการทดสอบระบบรู้จำแบบรูปโดยกลุ่มก่อนหน้าเต็ม หลังวิเคราะห์และฝึกฝนครั้งที่ 3.....	68
4.8 ผลการทดสอบระบบรู้จำแบบรูปในกลุ่มทดสอบระบบ.....	72
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	76
รายการอ้างอิง.....	78
ภาคผนวก.....	81
ประวัติผู้เขียน.....	98

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การจำแนกกลุ่มตัวอักษร โดยจำนวนเกาะของตัวอักษร.....	11
ตารางที่ 2.2 การจำแนกกลุ่มตัวอักษร โดยจำนวนหัวของตัวอักษร.....	12
ตารางที่ 2.3 การจำแนกกลุ่มตัวอักษร โดยระดับของหัวตัวอักษร.....	13
ตารางที่ 2.4 การจำแนกกลุ่มตัวอักษร โดยการต่อเชื่อมของหัวตัวอักษร.....	14
ตารางที่ 3.1 การเปลี่ยนสายลำดับการลากผ่านในการแยกกลุ่มตัวอักษร.....	31
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบโดยจำนวนเกาะของตัวอักษร.....	36
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบโดยจำนวนหัวของตัวอักษร.....	36
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบโดยระดับของหัวตัวอักษร.....	37
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบโดยการต่อเชื่อมของหัวตัวอักษร.....	39
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบโดยกลุ่มที่ 1 (ก่อนการแก้ไขปัญหา).....	44
ตารางที่ 4.6 การรู้จำผิดและการไม่ตัดสินใจในกลุ่มทดสอบที่ 1 ก่อนการวิเคราะห์และฝึกฝน.....	45
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบโดยกลุ่มที่ 1 หลังการแก้ไขปัญหาคั้งที่ 1.....	59
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบโดยกลุ่มที่ 2 (หลังการแก้ไขปัญหาคั้งที่ 1)	60
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบโดยกลุ่มที่ 2 หลังการแก้ไขปัญหาคั้งที่ 2.....	65
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบโดยกลุ่มที่ 1 หลังการแก้ไขปัญหาคั้งที่ 2.....	66
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบโดยกลุ่มที่ 3 (หลังการแก้ไขปัญหาคั้งที่ 2)	67
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบโดยกลุ่มที่ 1 หลังการแก้ไขปัญหาคั้งที่ 3.....	69
ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบโดยกลุ่มที่ 2 หลังการแก้ไขปัญหาคั้งที่ 3.....	70
ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบโดยกลุ่มที่ 3 หลังการแก้ไขปัญหาคั้งที่ 3.....	71
ตารางที่ 4.15 ค่าร้อยละในการทดสอบการรู้จำของตัวอย่างทดสอบจำนวนต่าง ๆ กัน.....	72
ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบระบบรู้จำโดยกลุ่มที่ 4 ถึง 10.....	74

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	คุณลักษณะพื้นฐาน.....	5
รูปที่ 2.2	การกำหนดบริเวณระดับของหัวตัวอักษร.....	12
รูปที่ 2.3	การกำหนดการต่อเชื่อมทางด้านซ้ายหรือขวาของหัวตัวอักษร.....	14
รูปที่ 2.4	การเปลี่ยนสายลำดับการลากผ่านแนวราบของตัวอักษร ก.....	16
รูปที่ 3.1	การรู้จำแบบรูปลายมือเขียน.....	17
รูปที่ 3.2	กระบวนการตรวจจับขอบภาพตัวอักษร (ก) ภาพต้นแบบ (ข) ภาพเมื่อผ่านการตรวจจับขอบภาพ.....	18
รูปที่ 3.3	กระบวนการทำโครงร่างภาพ (ก) ภาพต้นแบบ (ข) ภาพที่ผ่านการทำโครงร่างภาพ.....	19
รูปที่ 3.4	แบบรูป (Templates) การทำโครงร่างภาพ.....	20
รูปที่ 3.5	กระบวนการเน้นขอบภาพตัวอักษร (ก) ภาพต้นแบบ (ข) ภาพที่ผ่านการเน้นขอบภาพ.....	22
รูปที่ 3.6	กระบวนการลบขอบภาพด้านนอก (ก) ภาพตัวอักษรที่เน้นขอบ (ข) เมื่อขอบภาพด้านนอกที่หนึ่งถูกลบ (ค) เมื่อขอบภาพด้านนอกที่สองถูกลบ.....	22
รูปที่ 3.7	การจำแนกตัวอักษรด้วยจำนวนเกาะ (ก) หนึ่งเกาะ (ข) สองเกาะ.....	24
รูปที่ 3.8	การจำแนกตัวอักษรด้วยจำนวนหัว (ก) ไม่มีหัว (ข) หนึ่งหัว (ค) สองหัว (ง) สามหัว.....	24
รูปที่ 3.9	การจำแนกตัวอักษรด้วยระดับของหัวตัวอักษร (ก) ระดับบน (ข) ระดับกลาง (ค) ระดับล่าง.....	25
รูปที่ 3.10	การจำแนกตัวอักษรด้วยการเชื่อมต่อของหัวตัวอักษร (ก) ด้านซ้าย (ข) ด้านขวา.....	25
รูปที่ 3.11	การเปลี่ยนสายลำดับการลากผ่านแนวราบและแนวตั้ง.....	26
รูปที่ 3.12	ปัญหาของค่าการเปลี่ยนสายลำดับการลากผ่าน.....	26
รูปที่ 3.13	กระบวนการเปลี่ยนสายลำดับการลากผ่านจากหัวของตัวอักษร.....	27
รูปที่ 3.14	การเปลี่ยนสายลำดับการลากผ่านของตัวอักษร (ก) กรณีไม่มีหัว (ข) กรณีมีหนึ่งหัว (ค) กรณีมีสองหัว (ง) กรณีมีสามหัว.....	27
รูปที่ 3.15	การกำหนดบริเวณในการตรวจสอบ.....	28
รูปที่ 3.16	การตรวจจุดปลายในบริเวณที่กำหนด (ก) ล ไม่มีจุดปลายในบริเวณที่ 2 (ข) ส มีจุดปลายในบริเวณที่ 2.....	28
รูปที่ 3.17	การหาอัตราส่วนความกว้างต่อความสูง.....	29
รูปที่ 3.18	รอยหยักของตัวอักษรที่ด้านบน (ก) มีรอยหยัก ขึ้น-ลง (ข) มีรอยหยัก ขึ้น-ลง-ขึ้น-ลง.....	30
รูปที่ 3.19	รอยหยักของตัวอักษรที่ด้านล่าง (ก) มีรอยหยัก ลง-ขึ้น-ลง-ขึ้น (ข) มีรอยหยัก ลง-ขึ้น-ลง-ขึ้น-ลง-ขึ้น.....	30
รูปที่ 3.20	ลำดับขั้นการพิจารณากรรมวิธีการรู้จำแบบรูปลายมือเขียนตัวอักษรพยูงชนะไทย.....	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.1	ไดอะล็อกในการจัดเก็บและทดสอบข้อมูล.....	35
รูปที่ 4.2	ตัวอักษรที่มีจำนวนหัวมากกว่าปกติ.....	37
รูปที่ 4.3	ตัวอักษรที่มีระดับของหัวผิดจากที่กำหนด (กรณีตัวอักษร 1 หัว).....	38
รูปที่ 4.4	ตัวอักษรที่มีระดับของหัวผิดจากที่กำหนด (กรณีตัวอักษร 2 หัว).....	38
รูปที่ 4.5	กราฟการทดสอบค่า k ที่เหมาะสมในการกำหนดอัตราความกว้างต่อความสูง.....	42
รูปที่ 4.6	เงื่อนไขการตัดสินใจตัวอักษร x ปกติ.....	45
รูปที่ 4.7	การเปลี่ยนสายลำดับการลากผ่านที่ผิดพลาดของตัวอักษร x (ก) ให้ค่า SCS ลีทสทางเป็น (1,1,3,1) (ข) ให้ค่า SCS ลีทสทางเป็น (1,1,2,2).....	46
รูปที่ 4.8	การแก้ปัญหาการรู้จำผิดระหว่าง p และ x	46
รูปที่ 4.9	เงื่อนไขการตัดสินใจตัวอักษร x ปกติ.....	47
รูปที่ 4.10	การรู้จำผิดพลาดของตัวอักษร x (ก) จำนวนหัวผิด (ข) และ (ค) การต่อเชื่อมผิด.....	47
รูปที่ 4.11	การรู้จำผิดพลาดของตัวอักษร c (ก) พบจุดปลายในบริเวณที่ 2 (ข) การต่อเชื่อมผิด (ค) จำนวนหัวผิด.....	48
รูปที่ 4.12	การแก้ปัญหาการรู้จำผิดระหว่าง c และ e	49
รูปที่ 4.13	การรู้จำผิดพลาดของตัวอักษร m (ก) ตัดสินใจเป็น m (ข)-(จ) ไม่ตัดสินใจ.....	49
รูปที่ 4.14	การแก้ปัญหาการรู้จำผิดระหว่าง m และ n	50
รูปที่ 4.15	การรู้จำผิดพลาดของตัวอักษร x (ก)-(ค) การรู้จำผิด (ง)-(จ) ไม่ตัดสินใจ.....	50
รูปที่ 4.16	การรู้จำผิดพลาดของตัวอักษร z (ก) z ปกติ (ข) การรู้จำผิด (ค)-(จ) ไม่ตัดสินใจ.....	51
รูปที่ 4.17	การแก้ปัญหาการรู้จำผิดระหว่าง z และ p	52
รูปที่ 4.18	การแก้ปัญหาการรู้จำระหว่าง z และ z ที่มีสองหัว.....	53
รูปที่ 4.19	การรู้จำผิดพลาดของตัวอักษร g (ก) จำนวนหัวผิด (ข) การต่อเชื่อมหัวผิด.....	53
รูปที่ 4.20	การรู้จำผิดพลาดของตัวอักษร h (ก)-(ข) การรู้จำผิด (ค) ไม่ตัดสินใจ.....	54
รูปที่ 4.21	การรู้จำผิดพลาดของตัวอักษร m	55
รูปที่ 4.22	การแก้ปัญหาการรู้จำระหว่าง p และ b	56
รูปที่ 4.23	การแก้ปัญหาการรู้จำระหว่าง y และ m	56
รูปที่ 4.24	การรู้จำผิดพลาดของตัวอักษร v	57
รูปที่ 4.25	การรู้จำผิดพลาดของตัวอักษร e	57
รูปที่ 4.26	การรู้จำผิดพลาดของตัวอักษร t	62
รูปที่ 4.27	การแก้ปัญหาการรู้จำระหว่าง t และ p	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.28 ตัวอักษรที่รู้จำผิดเนื่องจากลักษณะการเขียน.....	63
รูปที่ 4.29 ตัวอักษรที่เกิดจำนวนหัวมากกว่าปกติ.....	68
รูปที่ 4.30 กราฟค่าร้อยละในการทดสอบตัวอย่างจำนวนต่างๆกัน.....	72



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย