

การรู้จำตัวอักษรภาษาไทยแบบออนไลน์โดยใช้แบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟและพีชชีโลจิก



นายรุจน์ บุคยพลากร

ศูนย์วิทยพัทยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

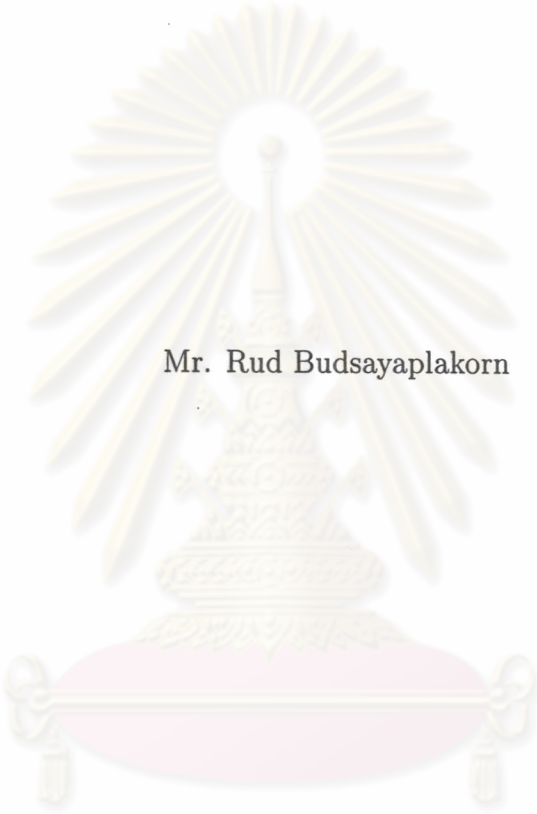
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN: 974-17-3619-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ONLINE THAI CHARACTER RECOGNITION USING HIDDEN MARKOV
MODEL AND FUZZY LOGIC



Mr. Rud Budsayaplakorn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Academic Year 2003

ISBN: 974-17-3619-3

รุจน์ บุคยพลากร : การรู้จำตัวอักษรภาษาไทยแบบออนไลน์โดยใช้แบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ และฟัซซีโลจิก. (ONLINE THAI CHARACTER RECOGNITION USING HIDDEN MARKOV MODEL AND FUZZY LOGIC) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ.วิทยากร อัครวิเศษ, 87 หน้า. ISBN: 974-17-3619-3

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีรู้จำแบบใหม่ด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟทำงานร่วมกับฟัซซีโลจิก สำหรับการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยจากคำแบบออนไลน์ ในปัจจุบันงานวิจัยทางด้านการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มเข้าสู่ 2 วิธีการหลักคือ วิธีทางสถิติ เช่น แบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ โครงข่ายประสาทเทียม เป็นต้น และ วิธีที่อยู่บนพื้นฐานของโครงสร้างและกฎ ขณะที่การรู้จำด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟประสบปัญหาเกี่ยวกับอัตราการรู้จำต่ำในกลุ่มตัวอักษรภาษาไทยที่คล้ายกัน การรู้จำด้วยฟัซซีโลจิกก็ยากที่จะตั้งกฎให้ครอบคลุมรูปแบบลายมือเขียนได้ทั้งหมด กรรมวิธีในงานวิจัยนี้จึงนำเอาข้อดีของทั้งสองแนวทางในการรู้จำมาทำงานร่วมกันเพื่อชดเชยอัตราการรู้จำต่ำในแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ และความลำบากในการตั้งกฎจำนวนมาก

ผลการทดสอบกระทำบนไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลางเป็นเพนเทียมตรีความเร็ว 733 เมกะเฮิร์ตซ์ และมีหน่วยความจำหลัก 256 เมกะไบต์ การทดสอบระบบกับตัวอักษรตัวเดียวระดับกลางของผู้เขียนอิสระได้อัตราการรู้จำเฉลี่ยร้อยละ 93.1 และการทดสอบระบบกับตัวอักษรตัวเดียวระดับบนของผู้เขียนอิสระได้อัตราการรู้จำเฉลี่ยร้อยละ 91.0 โดยใช้เวลาในการคำนวณเฉลี่ย 0.09 วินาทีต่อตัวอักษร

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา _____ 2546

ลายมือชื่อนิสิต Sw 2/w
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [Signature]
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม [Signature]

447 04950 21 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: ON-LINE CHARACTER RECOGNITION / HIDDEN MARKOV MODEL / FUZZY LOGIC / DISTINCTIVE FEATURES/ HANDWRITTEN THAI CHARACTER RECOGNITION

RUD BUDSAYAPLAKORN : ONLINE THAI CHARACTER RECOGNITION USING
HIDDEN MARKOV MODEL AND FUZZY LOGIC. THESIS ADVISOR : ASSOC.
PROF. SOMCHAI JITAPUNKUL, Dr.Ing., THESIS COADVISOR : WIDHYAKORN
ASDORNWISED, 87 pp. ISBN: 974-17-3619-3

This thesis presents a new on-line recognition method of Thai handwritten characters. Nowadays, active researches in Thai handwriting recognition are converged into two distinct methods, statistical methods (such as Hidden Markov Model (HMM), Artificial Neural Networks, etc.) and character-structure-or-rule based methods (such as Fuzzy Logic classifier). The former, HMM shows poor recognition rate due to Thai fuzzy characters. The shortcoming of the latter, Fuzzy Logic classifier is on difficulties in establishing sets of rules to cover whole handwriting styles. Our method is proposed to exploit the best of two worlds by combining the advantages of each other in order to compensate the HMM's poor recognition rate of fuzzy characters and the difficulties of constructing the rules.

The system was executed on a Pentium III processor at 733 MHz and 256 Mbytes of RAM. The experimental results showed an average recognition rate 93.2%, in a middle level character case for independent users, and 91.0% in a upper level character case for independent users. Furthermore, the average running time of our proposed method was only 0.09 seconds/character.

Department Electrical Engineering

Student's signature 

Field of study Electrical Engineering

Advisor's signature 

Academic year 2003

Coadvisor's signature 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ รศ.ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อ.วิทยากร อัครวิเศษ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดช่วงเวลาในการทำวิจัย ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณโครงการเสริมสร้างความเชื่อมโยงระหว่างภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและภาคเอกชนทางด้านการศึกษาและพัฒนา ปี พ.ศ. 2546 ที่มอบทุนสนับสนุนแก่ผู้วิจัย รวมถึงจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มอบทุนศิษย์กัณฐิและการสนับสนุนการนำเสนอผลงานทางวิชาการในต่างประเทศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล สถานที่ทำการวิจัย รวมถึงเพื่อนพี่น้องนิสิตห้องปฏิบัติการ ที่มีส่วนช่วยเหลือและให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำ และกำลังใจตลอดระยะเวลาการทำวิจัยอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา รวมทั้งพี่น้อง ซึ่งได้ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ประวัติและความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 ทฤษฎีและแนวคิด	5
2.1 กระบวนการก่อนหน้า	5
2.2 แบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ	6
2.2.1 องค์ประกอบของแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟแบบไม่ต่อเนื่อง	6
2.2.2 การใช้แบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟในการรู้จำ	7
2.2.3 แบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟแบบต่อเนื่อง	12
2.3 พืชซีโลจิก	14
2.3.1 นิยามพืชซีเซต	14
2.3.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	14
2.3.3 ตัวดำเนินการพืชซี	15
2.3.4 ตัวแปรพืชซีเชิงภาษา	15
2.3.5 การประมาณเหตุผลด้วยพืชซี	15

2.3.6	การสร้างชุดกฎทางฟัชซี	16
3	การรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์ด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟและฟัชซีโลจิก	17
3.1	การทำงานของแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟในระบบรู้จำตัวอักษร	17
3.1.1	การแบ่งส่วนของเส้น (Line Segmentation)	18
3.1.2	การสกัดคุณลักษณะสำคัญ (Feature Extraction)	19
3.1.3	แบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟกับการรู้จำตัวอักษร	20
3.2	ลักษณะบ่งความต่าง	20
3.3	การวัดทางฟัชซี	21
3.3.1	การวัดความน่าจะเป็นภายหลังของแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ	22
3.3.2	การวัดลักษณะบ่งความต่าง	23
3.4	ชุดกฎทางฟัชซี	34
4	ขั้นตอนการทดลอง ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	36
4.1	เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	36
4.2	แหล่งที่มาของข้อมูลและการเก็บข้อมูล	38
4.3	การทดสอบประสิทธิภาพของการรู้จำด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ	38
4.4	วิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพของการรู้จำด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ	40
4.5	การทดสอบประสิทธิภาพของการรู้จำด้วยระบบรู้จำที่นำเสนอ	47
4.6	วิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพของการรู้จำด้วยระบบรู้จำที่นำเสนอ	57
4.6.1	ความผิดพลาดจากการวัดค่าความน่าจะเป็นภายหลังของแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ	57
4.6.2	ความผิดพลาดจากการวัดตัวแปรฟัชซีของหัวตัวอักษร	57
4.6.3	ความผิดพลาดจากการวัดตัวแปรฟัชซีของอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของตัวอักษร	58
4.6.4	ความผิดพลาดจากการวัดตัวแปรฟัชซีของตำแหน่งจุดต้นและจุดปลายของตัวอักษร	59
4.6.5	ความผิดพลาดจากการวัดตัวแปรฟัชซีของรอยหยักของตัวอักษร	59
4.6.6	ความผิดพลาดจากการวัดตัวแปรฟัชซีของตำแหน่งของจุดตัดในตัวอักษร	60
4.6.7	ความผิดพลาดจากการวัดตัวแปรฟัชซีของจำนวนขีดด้านท้ายตัวอักษร	60

4.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบัญชีทั้งสอง	61
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	68
5.1 บทสรุป	68
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานในอนาคต	69
รายการอ้างอิง	70
ภาคผนวก	72
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	87



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญัตราง

ตารางที่ 1.1	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบรู้จำแบบรูปชนิดต่าง ๆ	2
ตารางที่ 1.2	ตัวอักษรภาษาไทยแบ่งตามระดับ	4
ตารางที่ 4.1	อัตราการรู้จำเฉลี่ยของระบบรู้จำตัวอักษรภาษาไทยด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ	39
ตารางที่ 4.2	ผลการทดสอบระบบรู้จำด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟโดยใช้ข้อมูลจากตัวอักษรและสระระดับกลางสำหรับทดสอบของกลุ่มผู้เขียนที่ใช้ในการฝึกฝนระบบ	43
ตารางที่ 4.3	ผลการทดสอบระบบรู้จำด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟโดยใช้ข้อมูลจากตัวอักษรและสระระดับกลางของกลุ่มผู้เขียนอิสระ	44
ตารางที่ 4.4	ผลการทดสอบระบบรู้จำด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟโดยใช้ข้อมูลจากสระและวรรณยุกต์ระดับบนสำหรับทดสอบของกลุ่มผู้เขียนที่ใช้ในการฝึกฝนระบบ	45
ตารางที่ 4.5	ผลการทดสอบระบบรู้จำด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟโดยใช้ข้อมูลจากสระและวรรณยุกต์ระดับบนของกลุ่มผู้เขียนอิสระ	46
ตารางที่ 4.6	ผลการทดสอบระบบรู้จำที่นำเสนอโดยใช้ข้อมูลจากสระระดับล่างสำหรับทดสอบของกลุ่มผู้เขียนที่ใช้ในการฝึกฝนระบบ	47
ตารางที่ 4.7	ผลการทดสอบระบบรู้จำที่นำเสนอโดยใช้ข้อมูลจากสระระดับล่างของกลุ่มผู้เขียนอิสระ	47
ตารางที่ 4.8	อัตราการรู้จำเฉลี่ยของระบบรู้จำตัวอักษรภาษาไทยด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟและพีชชีโลจิก	48
ตารางที่ 4.9	อัตราการรู้จำผิดพลาดภายในตัวอักษรภายในกลุ่มที่มีความแตกต่างที่ทิศทางการเขียนหัว และอัตราการรู้จำเฉลี่ยของตัวอักษรเหล่านั้น	48
ตารางที่ 4.10	อัตราการรู้จำผิดพลาดภายในตัวอักษรภายในกลุ่มที่มีความแตกต่างที่อัตราส่วนความกว้างต่อความสูง และอัตราการรู้จำเฉลี่ยของตัวอักษรเหล่านั้น	49
ตารางที่ 4.11	อัตราการรู้จำผิดพลาดภายในตัวอักษรภายในกลุ่มที่มีความแตกต่างที่ตำแหน่งจุดต้น และจุดปลายของตัวอักษร และอัตราการรู้จำเฉลี่ยของตัวอักษรเหล่านั้น	50
ตารางที่ 4.12	อัตราการรู้จำผิดพลาดภายในตัวอักษรภายในกลุ่มที่มีความแตกต่างที่รอยหยัก และอัตราการรู้จำเฉลี่ยของตัวอักษรเหล่านั้น	50

ตารางที่ 4.13	อัตราการเรียนรู้จำกัดผลภายในตัวอักษรภายในกลุ่มที่มีความแตกต่างที่ตำแหน่งจุดตัด และอัตราการเรียนรู้เฉลี่ยของตัวอักษรเหล่านั้น	52
ตารางที่ 4.14	อัตราการเรียนรู้จำกัดผลภายในตัวอักษรภายในกลุ่มที่มีความแตกต่างที่ลักษณะและจำนวนขีดด้านท้ายตัวอักษร และอัตราการเรียนรู้เฉลี่ยของตัวอักษรเหล่านั้น	52
ตารางที่ 4.15	ผลการทดสอบระบบรู้จำที่นำเสนอด้วยข้อมูลจากตัวอักษรและสระระดับกลางสำหรับทดสอบของกลุ่มผู้เขียนที่ใช้ในการฝึกฝนระบบ	53
ตารางที่ 4.16	ผลการทดสอบระบบรู้จำที่นำเสนอด้วยข้อมูลจากตัวอักษรและสระระดับกลางของกลุ่มผู้เขียนอิสระ	54
ตารางที่ 4.17	ผลการทดสอบระบบรู้จำที่นำเสนอโดยใช้ข้อมูลจากสระและวรรณยุกต์ระดับบนสำหรับทดสอบของกลุ่มผู้เขียนที่ใช้ในการฝึกฝนระบบ	55
ตารางที่ 4.18	ผลการทดสอบระบบรู้จำที่นำเสนอโดยใช้ข้อมูลจากสระและวรรณยุกต์ระดับบนของกลุ่มผู้เขียนอิสระ	56
ตารางที่ 4.19	เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบรู้จำที่นำเสนอกับระบบรู้จำด้วยแบบจำลองยึดเดนมาร์คอฟ	61

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	แผนภาพการทำงานของระบบรู้จำแบบรูป	5
รูปที่ 2.2	ตัวอย่างตัวอักษรที่มีหาง และกรอบตัวอักษรที่ไม่รวมหาง	6
รูปที่ 2.3	(ก) แผนภูมิลำดับการคำนวณตัวแปรไปข้างหน้า (ข) แผนภูมิในการสร้างการคำนวณ	9
รูปที่ 3.1	แผนภาพการทำงานของระบบรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์ด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟและพีชชีโลจิก	17
รูปที่ 3.2	มุมที่พบว่าเป็นมุมแหลม	18
รูปที่ 3.3	(ก) มุมระหว่างเส้นสัมผัสของจุดที่พิจารณากับเส้นสัมผัสของจุดแรกของเส้นย่อย θ_t (ข) มุมระหว่างเส้นที่ลากจากจุดแรกของเส้นย่อยถึงจุดที่พิจารณากับเส้นสัมผัสที่จุดแรกของเส้นย่อย θ_s	19
รูปที่ 3.4	ตัวอย่างลายมือเขียนที่ถูกแบ่งส่วนของเส้นตามข้อกำหนดต่างๆ	19
รูปที่ 3.5	คุณลักษณะของเส้นย่อย	20
รูปที่ 3.6	ภาพแท่งความถี่ P_d ของตัวอักษรที่พิจารณาจากข้อมูลฝึกฝนในกรณีที่ P_d ไม่ได้มีค่ามากที่สุด และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรพีชชี $\mu_{likelihood,i}$	22
รูปที่ 3.7	ความน่าจะเป็น $P(O (w/h))$ ของชุดข้อมูลตัวอักษรแคบ จตุรัส และกว้าง และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรพีชชีความกว้างตัวอักษร	24
รูปที่ 3.8	กราฟความน่าจะเป็นภายหลัง $P(O \theta_{cu})$ ที่ได้จากชุดข้อมูลฝึกฝน และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทั้ง 3 แบบ	25
รูปที่ 3.9	พื้นที่ย่อยแสดงตำแหน่งของตัวอักษร	26
รูปที่ 3.10	ลายมือเขียนของตัวอักษร 'ด'	28
รูปที่ 3.11	คุณลักษณะของเส้นคด	29
รูปที่ 3.12	กราฟความน่าจะเป็น $P(O \theta_c)$ ของเส้นคดที่เป็นรอยหยักบนตัวอักษร กับเส้นคดอื่นๆที่พบบนตัวอักษรในชุดฝึกฝน และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความแหลมรอยหยักในตัวอักษรที่มีรอยหยัก	31
รูปที่ 3.13	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรแสดงทิศทาง	31
รูปที่ 3.14	รูปแสดงลักษณะการเขียนสระระดับบนที่มีขีดด้านท้าย	32

รูปที่ 3.15	กราฟความถี่ของมุมเส้นย่อยของขีดท้ายตัวอักษร และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	34
รูปที่ 4.1	โปรแกรมในการจัดเก็บข้อมูล	37
รูปที่ 4.2	ตัวอย่างตัวอักษรที่เขียนเสีย ในการเก็บข้อมูล	37
รูปที่ 4.3	อัตราการรู้จำตัวอักษร 'ก' ถึง 'ฮ' ของกลุ่มผู้เขียนที่ฝึกฝนระบบเมื่อใช้จำนวน สถานะต่างๆ	38
รูปที่ 4.4	แบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้	39
รูปที่ 4.5	ตัวอย่างลายมือเขียนตัวอักษรที่แตกต่างกันที่ทิศทางการเขียนหัว	40
รูปที่ 4.6	ตัวอย่างลายมือเขียนตัวอักษรที่แตกต่างกันที่อัตราส่วนความกว้างต่อความสูง	41
รูปที่ 4.7	ตัวอย่างลายมือเขียนตัวอักษรที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งจุดต้น และจุดปลายของ ตัวอักษร	41
รูปที่ 4.8	ตัวอย่างลายมือตัวอักษรที่แตกต่างกันที่รอยหยัก	42
รูปที่ 4.9	ตัวอย่างลายมือตัวอักษรที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งจุดตัดกันของเส้น	42
รูปที่ 4.10	ตัวอย่างลายมือตัวอักษรที่แตกต่างกันที่จำนวนขีดด้านท้ายตัวอักษร	47
รูปที่ 4.11	การแบ่งส่วนหัวตัวอักษรที่ผิดพลาด	57
รูปที่ 4.12	ตัวอักษร 'ก' ที่มีเส้นจากการจรดปากกาเกินมา และไม่ถูกกำจัดออกในกระบวนการ ก่อนหน้า	58
รูปที่ 4.13	ตัวอักษร 'ข' (รูปทางซ้าย) ที่มีความกว้างใกล้เคียงหรือมากกว่า ตัวอักษร 'บ' (รูปทางขวา)	58
รูปที่ 4.14	จุดต้นของตัวอักษร 'ฒ' ที่อยู่ด้านบนสุดของตัวอักษร	59
รูปที่ 4.15	ตัวอักษร 'ฎ' ที่เขียนผิดรูปแบบทำให้หารอยหยักด้านล่างไม่พบ	59
รูปที่ 4.16	วงรอบในตัวอักษรที่แทนเส้นหัก	60
รูปที่ 4.17	การเขียนวงรอบโดยไม่ตั้งใจ และการไม่เกิดจุดตัด	60
รูปที่ 4.18	เส้นที่ไม่ถูกนับ	60
รูปที่ 4.19	การนับเส้นเกิน	61
รูปที่ 4.20	แผนภูมิเปรียบเทียบอัตราการรู้จำตัวอักษรระดับกลาง (ก-บ) ของข้อมูลตัวอักษร จากกลุ่มผู้เขียนที่ใช้ในการฝึกฝนระบบ	62
รูปที่ 4.21	แผนภูมิเปรียบเทียบอัตราการรู้จำตัวอักษรระดับกลาง (ป-อ) ของข้อมูลตัวอักษร จากกลุ่มผู้เขียนที่ใช้ในการฝึกฝนระบบ	63

รูปที่ 4.22	แผนภูมิเปรียบเทียบอัตราการรู้จำตัวอักษรระดับกลาง (ก-บ) ของข้อมูลตัวอักษร จากกลุ่มผู้เขียนอิสระ	64
รูปที่ 4.23	แผนภูมิเปรียบเทียบอัตราการรู้จำตัวอักษรระดับกลาง (ป-ไอ) ของข้อมูลตัวอักษร จากกลุ่มผู้เขียนอิสระ	65
รูปที่ 4.24	แผนภูมิเปรียบเทียบอัตราการรู้จำตัวอักษรระดับบนของข้อมูลตัวอักษรจากกลุ่ม ผู้เขียนที่ใช้ในการฝึกฝนระบบ	66
รูปที่ 4.25	แผนภูมิเปรียบเทียบอัตราการรู้จำตัวอักษรระดับบนของข้อมูลตัวอักษรจากกลุ่ม ผู้เขียนอิสระ	67



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย