การแยกตัวอักษรจากลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ

นางสาวกรรณทิพย์ กิรติรัตนพฤกษ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974–03–0412–5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SEGMENTATION OF HANDWRITTEN THAI WORDS

Miss Kantip Kiratiratanaphrug

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
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974–03–0412–5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกตัวอักษรจากลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ
โดย	นางสาวกรรณทิพย์ กิรติรัตนพฤกษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุดาพร ลักษณียนาวิน)

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

……กรรมการ
(ดร. จุฬารัตน์ ตันประเสริฐ)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรรณทิพย์ กิรติรัตนพฤกษ์ : การแยกตัวอักษรจากลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ. (SEGMENTATION OF HANDWRITTEN THAI WORDS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล, 102 หน้า. ISBN 974–03–0412–5.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างกระบวนการตัดแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย โดยใช้วิธีการแยกตัวอักษรด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงภาพ (Image Based or Dissection) ร่วมกับความรู้ฮิวริสติคซึ่งได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างตัวอักษรภาษาไทย มาใช้ในการตรวจสอบบริเวณการติดกันของตัวอักษร เพื่อหาแนวทางการแยกการติดกันของตัวอักษร (Segmentation Path) ที่เหมาะสม

ผลการทดสอบกระทำบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลางเป็นเพนเทียมความเร็ว 733 เมกะเฮิรตซ์ และมีหน่วยความจำแรม 128 เมกะไบต์ ฐานข้อมูลภาพคำที่ใช้ทดสอบจำนวน 1,539 คำ ประกอบด้วยตัวอักษรจำนวน 12,117 ตัว แบ่งออกเป็น ข้อมูลภาพคำที่มีแต่ตัวอักษรเดี่ยวจำนวน 191 คำ ข้อมูลภาพคำที่มีเฉพาะการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับจำนวน 846 คำ ข้อมูลภาพคำที่มีเฉพาะการติดกันของตัวอักษรต่างระดับจำนวน 277 คำ และข้อมูลภาพคำที่มีการติดกันของตัวอักษรทั้งในแนวระดับและต่างระดับจำนวน 225 คำ อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกร้อยละ 84.71

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2544

407 05315 21 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: HANDWRITTEN SEGMENTATION / THAI CHARACTER / DISSECTION / HEURISTIC KNOWLEDGE

KANTIP KIRATIRATANAPHRUG : SEGMENTATION OF HANDWRITTEN THAI WORDS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMCHAI JITAPANKUL, Dr.Ing.

102 pp. ISBN 974-03-0412-5.

The objective of this thesis is to propose a method of image based, segmentation of Thai handwritten word. The segmentation algorithms proposed in this thesis are formed using heuristically analysis of Thai character to identify the patterns of Thai character connection.

The experiment was conducted on a microcomputer with Pentium III 733 MHz and 128 Mbytes RAM. Database of 1,539 Thai handwritten word images, composed of 12,117 characters, was tested to verify the proposed segmentation scheme. The database can be separated to 191 word images which all the characters are single characters, 846 word images in which only internal character connections are located, 277 word images in which only external character connections are included, and 225 word images in which both internal character connections and external character connections are located. Correct segmented character rate is 84.71 %.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering Student's signature

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature

Academic year 2001

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ รศ.ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดช่วงเวลาในการทำวิจัย ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล สถานที่ทำการวิจัย รวมถึงเพื่อนพี่น้องนิสิตห้องปฏิบัติการ ที่มีส่วนช่วยเหลือและให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำ และกำลังใจตลอดระยะเวลาการทำวิจัยอย่างดียิ่ง

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา, มารดา รวมทั้งพี่น้อง ซึ่งได้ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ปัญหาการติดกันของตัวอักษรในโครงสร้างภาษาไทย..... 2

1.3 ฐานข้อมูลคำลายมือเขียนที่ใช้ในการวิเคราะห์การแยกตัวอักษร..... 2

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.5 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... 3

1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 3

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

2 หลักการทฤษฎี และขั้นตอนวิธีการที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 ประเภทวิธีการแยกตัวอักษร..... 4

2.1.1 การแยกตัวอักษรด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงภาพ 5

2.1.2 การแยกตัวอักษรโดยอ้างอิงกับระบบรู้จำ..... 11

2.1.3 การแยกตัวอักษรด้วยองค์รวม..... 11

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12

2.3 โครงสร้างไวยากรณ์ภาษาไทย 16

2.4 กระบวนการที่เกี่ยวข้องสำหรับการตัดแยกตัวอักษร..... 16

2.4.1 การประมวลภาพเบื้องต้น 16

2.4.1.1 การกำจัดสัญญาณรบกวน..... 16

2.4.1.2 การทำขอบภาพให้เรียบ 16

2.4.1.3 การปรับแก้ความเอียง 17

2.4.2 การตรวจเส้นบรรทัด..... 18

2.4.3 การแยกส่วนภาพ..... 19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่			หน้า
	2.4.4	การทำโครงร่างบาง ..……..	21
	2.4.5	ระเบียบวิธี Drop Falling ..……..	22
	2.4.6	การวัดปริมาณการซ้อนทับกันของภาพ……	25
	2.4.7	การตรวจสอบเส้นตรง……..……	26
	2.4.8	การตรวจสอบลายเส้นรอบจุดภาพ……..	28
3	กระบวนการแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ…….		29
	3.1	ลักษณะการติดกันของตัวอักษรภาษาไทย……	30
	3.2	ความรู้ฮิวริสติคด้านโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทย……...	31
	3.2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างฮิวริสติคกับบริเวณการติดกันของตัวอักษร…...……...…….	35
	3.2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างฮิวริสติคกับบริเวณขอบเขตของตัวอักษร ….....……	37
	3.3	การประมวลผลเบื้องต้น.....……	38
	3.3.1	การกำจัดสัญญาณรบกวน.....…….	38
	3.3.2	การทำขอบภาพให้เรียบ ……..	39
	3.3.3	การปรับแก้ความเอียง……..……	39
	3.4	การตรวจเส้นบรรทัด.....…….……	42
	3.5	การแยกตัวอักษรที่ติดกันภายในระดับ.....……	43
	3.5.1	การระบุบริเวณที่คาดว่าจะเกิดการติดกันของตัวอักษร ……...	47
	3.5.2	การระบุตำแหน่งที่จะทำการตัดแยกในขั้นต้น …….	48
	3.5.3	การคัดเลือกตำแหน่งที่จะทำการตัดแยก …...……..……..	50
	3.5.4	กำหนดแนวการตัดแยก …...…….……	54
	3.5.5	การตัดสินใจความน่าเชื่อถือของแนวการตัดแยก…….….	57
	3.6	การแยกตัวอักษรที่ติดกันต่างระดับ……	59
	3.6.1	กรณีการติดกันที่บริเวณเหนือเส้นบรรทัดบน ……..….	59
	3.6.2	กรณีการติดกันที่บริเวณใต้แนวเส้นบรรทัดล่าง ……. ……	62
4	ขั้นตอนการทดลอง ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง……		64
	4.1	เครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบ……	64

สารบัญ (ต่อ)

บทที่			หน้า
	4.2	แหล่งที่มาของข้อมูลและการเก็บข้อมูล…….……..	64
	4.3	การทดสอบและการวัดผลการแยกตัวอักษร ……	68
		4.3.1 การประเมินอัตราการตัดแยกตัวอักษร……..…….	68
		4.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรในแนวระดับ …..…….	69
		4.3.2.1 ผลการทดสอบแนวการตัดแยกการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับ ……...	70
		4.3.2.2 การพิจารณาความถูกต้องของตัวอักษรในแนวระดับ ที่ผ่านกระบวนการตัดแยกแล้ว ……..	72
		4.3.2.3 การพิจารณาความถูกต้องของตัวอักษรในแนวระดับ ที่ผ่านกระบวนการตัดแยกแล้ว โดยพิจารณาเฉพาะส่วนภาพที่ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวอยู่เลย ……	75
		4.3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรต่างระดับ..	78
		4.3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรโดยรวม….	80
	4.4	การวิเคราะห์สาเหตุของการตัดเกิน……..	85
	4.5	การวิเคราะห์สาเหตุการไม่สามารถระบุแนวการตัดแยกในตำแหน่งที่มีการติดกันของตัวอักษร…..……..	88
5	สรุปและข้อเสนอแนะ ……...		89
	5.1	บทสรุป…….	89
	5.2	ข้อเสนอแนะสำหรับงานในอนาคต……...	90
รายการอ้างอิง……..……			92
ภาคผนวก…….……..			96
	ภาคผนวก ก……...		97
	ภาคผนวก ข……...		101
ประวัติผู้เขียน ……..……			102

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.1	รายชื่อคำที่ใช้เป็นฐานข้อมูล……	65
ตารางที่ 4.2	ฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบการพิจารณาความถูกต้องของตัวอักษรในแนวระดับ ที่ผ่านกระบวนการตัดแยกแล้ว……..	67
ตารางที่ 4.3	ฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบการพิจารณาความถูกต้องของตัวอักษรในแนวระดับ ที่ผ่านกระบวนการตัดแยกแล้ว โดยพิจารณาเฉพาะส่วนภาพที่ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวอยู่เลย…….....	67
ตารางที่ 4.4	ฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรต่างระดับ…….....	67
ตารางที่ 4.5	ฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรโดยรวม	68
ตารางที่ 4.6	ผลการนับจำนวนแนวการตัดแยก และจำนวนตัวอักษรที่ผิดพลาดสำหรับฐานข้อมูลตัวอักษรในแนวระดับ……	70
ตารางที่ 4.7	อัตราการตัดเกิน และอัตราความถูกต้องของแนวตัดแยก สำหรับฐานข้อมูลตัวอักษรในแนวระดับ……..	70
ตารางที่ 4.8	จำนวนคำในแต่ละประเภทการติดกันของฐานตัวอักษรในแนวระดับ……	72
ตารางที่ 4.9	จำนวนตัวอักษรจริงทั้งหมด จำนวนอักษรที่สามารถอ่านได้ถูกต้องจากกระบวนการตัดแยกในงานวิจัยนี้ และ อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก ของข้อมูลภาพในแนวระดับที่มีลักษณะการติดกันของตัวอักษรภายในคำรูปแบบต่างๆ……	73
ตารางที่ 4.10	อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก ของข้อมูลส่วนภาพที่เกิดจากตัวอักษรติดกันในแนวระดับ โดยไม่มีตัวอักษรเดี่ยวอยู่เลย……	75
ตารางที่ 4.11	ผลการวัดปริมาณทางกายภาพของข้อมูลส่วนภาพที่มีการติดกันของตัวอักษรที่อยู่ต่างระดับกัน……..	79
ตารางที่ 4.12	อัตราการตัดเกิน และอัตราความถูกต้องของแนวตัดแยกของข้อมูลส่วนภาพที่มีการติดกันของตัวอักษรที่อยู่ต่างระดับกัน…….	79
ตารางที่ 4.13	จำนวนคำในแต่ละประเภทการติดกันของตัวอักษร……..	80

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.14 จำนวนตัวอักษรจริงทั้งหมด จำนวนอักษรที่สามารถอ่านได้ถูกต้องจากกระบวนการตัดแยกในงานวิจัยนี้ และ อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกของข้อมูลภาพที่มีลักษณะการติดกันของตัวอักษรภายในคำรูปแบบต่างๆ..... 82

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	ลำดับขั้นประเภทวิธีการแยกตัวอักษร…..…….	5
รูปที่ 2.2	ตัวอย่างจุดภาพที่ฉายลงบนแกนแนวตั้งและเส้นระดับบรรทัด…….	6
รูปที่ 2.3	ตัวอย่างบริเวณลายเส้นที่มีลักษณะเว้าหรือนูน ของตัวอักษร…….	7
รูปที่ 2.4	ตัวอย่างกรอบภาพและพิกัดที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งกรอบภาพ …….	7
รูปที่ 2.5	ตัวอย่างการทำ Single Run Stretch ……...……	7
รูปที่ 2.6	ตัวอย่างทิศทางการกวาดจุดภาพบนคอนทัวร์ ……...	8
รูปที่ 2.7	ตัวอย่างการแยกส่วนภาพด้วยการกระจายบริเวณ……..	9
รูปที่ 2.8	ตัวอย่างของ Grapheme …….	10
รูปที่ 2.9	แบบรูปหน้าต่าง 16 แบบ ในการขอบภาพให้เรียบ……..……..	17
รูปที่ 2.10	ตัวอย่างการแยกส่วนภาพ ……..……	20
รูปที่ 2.11	ตัวอย่างการทำโครงร่างบาง……..…….	21
รูปที่ 2.12	แบบรูปการทำโครงร่างบาง……..……...…..	22
รูปที่ 2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและทิศทางการตรวจเลื่อนจุดภาพสำหรับระเบียบวิธี Drop Falling ที่มีรูปแบบการทำงานเป็น บน-ซ้าย……..….	23
รูปที่ 2.14	ตัวอย่างเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดภาพ……..……	24
รูปที่ 2.15	ตัวอย่างการพลิกกลับรูปภาพของระเบียบวิธี Drop Falling จากรูปแบบ บน-ซ้าย ไปเป็นรูปแบบ บน-ขวา.……	25
รูปที่ 2.16	ตัวอย่างปริมาณการซ้อนทับของภาพ……..……..	26
รูปที่ 2.17	ตัวอย่างการตรวจสอบความเป็นเส้นตรง……..…….	27
รูปที่ 2.18	ตัวอย่างการตรวจลายเส้นรอบจุดภาพ ……..……	28
รูปที่ 3.1	แผนผังการทำงานของกระบวนการแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ…..…….	29
รูปที่ 3.2	ตัวอย่างภาพตัวอักษรภายในระดับเดียวกันติดกัน…..……	30
รูปที่ 3.3	ตัวอย่างภาพตัวอักษรที่อยู่ต่างระดับติดกัน…..……..	31
รูปที่ 3.4	แผนภาพต้นไม้ของการจำแนกโครงสร้างกลุ่มตัวอักษรภาษาไทย…..……..	33
รูปที่ 3.5	โครงสร้างลายเส้นทางด้านหลังของตัวอักษรที่จำแนกได้ จากจำนวนตัวอักษรภาษาไทย ซึ่งประกอบด้วย แบบด้านหลังเรียบ แบบมีหัวทางด้านหลัง และแบบมีจุดปลายทางด้านหลัง…..…….	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.6 โครงสร้างลายเส้นทางด้านหน้าของตัวอักษรที่จำแนกได้ จากจำนวนตัวอักษรภาษาไทย ซึ่งประกอบด้วย แบบมีรอยหยักทางด้านหน้า แบบมีหัวทางด้านหน้า แบบมีความโค้งทางด้านหน้า แบบมีจุดปลายทางด้านหน้า แบบด้านหน้าเรียบ…..……. 35

รูปที่ 3.7 การจำลองรูปแบบลายเส้นทางด้านหน้าและรูปแบบลายเส้นทางด้านหลังของตัวอักษร เมื่อเกิดการติดกัน โดยแสดงรูปแบบการติดกันที่สามารถเกิดขึ้นได้…..……... 36

รูปที่ 3.8 ลักษณะของแนวตัดแยกในแต่ละรูปแบบการติดกันที่จำลองขึ้น เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแนวลายเส้นรอบข้างกับตำแหน่งรอยต่อจุดภาพ ณ บริเวณแนวตัดแยก …..…….. 36

รูปที่ 3.9 ตำแหน่งรอยต่อจุดภาพ ณ บริเวณแนวตัดแยก (บริเวณที่ลายเส้นติดกัน)…..……. 36

รูปที่ 3.10 ตัวอย่างภาพตัวอักษรที่มีลายเส้นปิดทางด้านบน และ ลายเส้นปิดทางด้านล่าง……. ……. ……. ……. ……. ……. ……. ……. ……. ……. ……. 37

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการกำจัดสัญญาณรบกวน…..…….. 39

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการปรับแก้ความเอียงของตัวอักษร…..……...….. 41

รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการหาเส้นบรรทัด…..…….. 42

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างผลกระทบของแนวเส้นต่อภาพตัวอักษรที่ตัดแยกได้…… 43

รูปที่ 3.15 ภาพประกอบสมมุติฐานที่ 1 แสดงการเกิดจุดแยก…..…….. 44

รูปที่ 3.16 ภาพประกอบสมมุติฐานที่ 2 แสดงลายเส้นสองเส้นมาเชื่อมติดกัน (สีดำ) และการเปลี่ยนแปลงระยะความหนาของแนวเส้น ซึ่งมีลักษณะแคบเล็กลง หรือ คอดเข้า…..……..……..……..……..…… 44

รูปที่ 3.17 ภาพประกอบลักษณะคอดเข้าที่เกิดขึ้นภายในตัวอักษร …..…….. 45

รูปที่ 3.18 ขั้นตอนของกรรมวิธีในการแยกตัวอักษรที่ติดกันภายในระดับ…..……... 46

รูปที่ 3.19 ตัวอย่างหน้าต่าง 3x3 ที่แสดงบริเวณจุดแยก…..…… 47

รูปที่ 3.20 ตัวอย่างการระบุบริเวณที่คาดว่าจะเกิดการติดกันของตัวอักษร…..……... 48

รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งที่จะทำการตัดแยกในขั้นต้น…..…… 50

รูปที่ 3.22 การติดกันของตัวอักษรในคำ ทำให้ไม่สามารถใช้กรอบความกว้างของส่วนภาพมาเฉลี่ยได้……..... 51

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.23	การประเมินความกว้างของสระ เ ด้วยค่าความหนาปากกาเฉลี่ย……....	52
รูปที่ 3.24	ลายมือเขียนที่มีลำดับการเขียนตัวอักษรที่ไม่เป็นระเบียบ……..	52
รูปที่ 3.25	ตัวอย่างการคัดเลือกจุดต่ำสุดออก เนื่องจากตำแหน่งจุดภาพ เลื่อนไปตกอยู่ภายในตัวอักษรซึ่งไม่ใช่บริเวณการติดกันจริง……...	53
รูปที่ 3.26	ตัวอย่างการคัดเลือกจุดต่ำสุดออก เนื่องจากจุดนั้นอยู่ภายในบริเวณ ที่ถูกคลอบคลุมด้วยลายเส้นปิด…..……...	54
รูปที่ 3.27	ตัวอย่างการคัดเลือกจุดต่ำสุดออก เนื่องจากจุดนั้นอยู่บนลายเส้นเรียบ…….	54
รูปที่ 3.28	ตัวอย่างการพิจารณาเงื่อนไขการตรวจรูปแบบและการหาแนวตัดแยกสำหรับลายเส้นส่วนโค้งขวาติดกับลายเส้นส่วนโค้งซ้าย…..……	55
รูปที่ 3.29	ตัวอย่างการพิจารณาเงื่อนไขการตรวจรูปแบบและการหาแนวตัดแยกสำหรับลายเส้นส่วนโค้งติดกับลายเส้นโค้งทแยง…..……	56
รูปที่ 3.30	ตัวอย่างการพิจารณาเงื่อนไขการตรวจรูปแบบและการหาแนวตัดแยกสำหรับลายเส้นแนวดิ่งติดกับลายเส้นลักษณะใดลักษณะหนึ่ง…..……	57
รูปที่ 3.31	ส่วนภาพที่มีหัวอยู่ด้านบนของส่วนภาพ และทางด้านขวาของหัวมีเส้นตรงในแนวดิ่ง.…….…….…….…….……	58
รูปที่ 3.32	ส่วนภาพเป็นเพียงเส้นตรง…….…….…….……	59
รูปที่ 3.33	แนวการตัดแยกที่ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพหลักออกเป็น 2 ส่วนภาพได้…....	59
รูปที่ 3.34	รูปแบบการติดกันที่บริเวณเหนือเส้นบรรทัดบน…..…….	60
รูปที่ 3.35	ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรระดับกลาง ที่มีการติดกับสระหรือวรรณยุกต์ในแนวเส้นบรรทัด…….…… ….. ….. ….. ….. .	61
รูปที่ 3.36	ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรระดับกลาง ที่มีการติดกันเนื่องจากลายเส้นเขียนแบบต่อเนื่อง…..…. …….…….……	61
รูปที่ 3.37	ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรระดับกลาง ที่มีการติดกันจากปลายหางตัวอักษรพาดติดกับสระ……. …….…….……	62
รูปที่ 3.38	รูปแบบการติดกันที่บริเวณใต้เส้นบรรทัดล่าง…..……	62
รูปที่ 3.39	ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรระดับกลางที่มีการติดกันที่บริเวณใต้แนวเส้นบรรทัดล่าง…..…….. ……... ……... ……... ……... ……... ……... ….	63
รูปที่ 4.1	ตัวอย่างรูปกระดาษสำหรับเก็บฐานข้อมูล…..……...	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2 กราฟอัตราการตัดเกินและอัตราความถูกต้องของแนวตัดแยก ของตัวอักษรในแนวระดับ..... 71

รูปที่ 4.3 แผนภูมิร้อยละของจำนวนคำที่มีการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับภายในคำ และไม่มีการติดกันของตัวอักษรภายในแนวระดับภายในคำ..... 72

รูปที่ 4.4 แผนภูมิร้อยละของจำนวนคำที่มีการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับภายในคำ ประเภทต่าง..... 73

รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกของการแยกตัวอักษรในคำแยกตามประเภทการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับภายในคำ..... 74

รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก ของข้อมูลส่วนภาพที่เกิดจากตัวอักษรติดกันในแนวระดับ โดยไม่มีตัวอักษรเดี่ยวอยู่เลย..... 76

รูปที่ 4.7 แผนภูมิร้อยละของจำนวนข้อมูลภาพคำที่มีการติดกันของตัวอักษร และไม่มีการติดกันของตัวอักษรภายในคำ..... 81

รูปที่ 4.8 แผนภูมิร้อยละของจำนวนข้อมูลภาพคำที่ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลยและจำนวนข้อมูลภาพคำที่มีตัวอักษรติดกันแต่ยังคงมีตัวอักษรเดี่ยวอยู่..... 81

รูปที่ 4.9 แผนภูมิร้อยละของจำนวนข้อมูลภาพคำที่มีการติดกันของตัวอักษรในรูปแบบต่างๆ 82

รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกของการแยกตัวอักษรในคำ แยกตามประเภทการติดกันของตัวอักษรภายในคำ... 83

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างที่ลายเส้นภาพมีขอบภาพไม่เรียบ..... 85

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างที่ลายเส้นภาพมีการซึมของหมึก..... 85

รูปที่ 4.13 ตัวอย่างที่ลายเส้นภาพมีกิ่งขนาดยาวไม่สามารถกำจัดได้..... 86

รูปที่ 4.14 ตัวอย่างระยะการร่นของจุดแยกจากกระบวนการทำโครงร่างบาง..... 86

รูปที่ 4.15 ตัวอย่างความกำกวมของตัวอักษร กรณีตัดแยกเกิน..... 87

รูปที่ 4.16 ตัวอย่าง ธา ที่ลายเส้นการติดกันอย่างต่อเนื่อง..... 88

รูปที่ 4.17 ตัวอย่างความกำกวมของตัวอักษร กรณีที่ไม่ถูกตัดแยก..... 88

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการดำเนินธุรกิจหลายอย่างได้นำระบบการควบคุมจัดการด้วยคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย เนื่องจากคอมพิวเตอร์นั้นเป็นเครื่องจักรกลที่มีความสามารถหลายอย่างทั้งด้านการคำนวณความเร็วในการประมวลผลและยังมีความถูกต้องแม่นยำสูง แต่จะอย่างไรคอมพิวเตอร์ไม่สามารถสั่งงานตัวเองได้จำเป็นต้องรับคำสั่งจากมนุษย์ ปัจจุบันจึงได้พยายามคิดค้นวิธีการเพื่อทำให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการเรียนรู้ ระบบ OCR ก็เป็นด้านหนึ่งในการสร้างความสามารถการเรียนรู้ให้แก่คอมพิวเตอร์ด้านการอ่าน อาศัยกระบวนการแปลงภาพตัวอักษรให้อยู่ในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการประมวลผล (เช่น รหัส ASCII) หรือทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรู้จำภาพตัวอักษรได้ว่าเป็นตัวอักษรใด

ในต่างประเทศงานวิจัยด้านการรู้จำตัวอักษรได้รับความสนใจต่อเนื่องมายาวนานกว่า 40 ปี (Tappert, Suen and Wakahara, 1990) มีการวิจัยพัฒนาขยายรูปแบบตัวอักษรในลักษณะต่าง ๆ ตั้งแต่ ตัวเลข ตัวพิมพ์ ลายมือเขียน ลายมือชื่อ และ ขนาดภาพตัวอักษรที่นำมาวิเคราะห์จากตัวอักษรเดี่ยวมาเป็นคำและประโยคอีกด้วย โดยเฉพาะภาษาอังกฤษมีความก้าวหน้าไปมาก ผลงานได้ตีพิมพ์เผยแพร่ทั้งด้านความรู้และเทคนิคการแก้ปัญหามากมายจนมีประสิทธิภาพเพียงพอแก่การใช้งานได้จริง เท่าที่ผ่านมาความรู้นี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานหลากหลาย ตัวอย่างเช่นการจัดเก็บเอกสารในรูปแบบแฟ้มอิเล็กทรอนิกส์ การคัดแยกจดหมายจากรหัสไปรษณีย์ (Zip Code) ชื่อที่อยู่ (Address) ระบบการอ่านจำนวนเงินบนเช็ค การจำหน่ายตั๋วเครื่องบินแบบอัตโนมัติ ด้านงานธนาคารใช้ตรวจสอบความถูกต้องของลายมือชื่อ และยังมีการจัดทำเป็นซอฟท์แวร์แพคเกต (Software Package) ติดตั้งบนอุปกรณ์อำนวยความสะดวก ยกตัวอย่างเช่น คอมพิวเตอร์มือถือ อุปกรณ์แปลภาษา (Machine Translator) เป็นต้น ตามที่ได้กล่าวมาคาดว่าความรู้ด้านการรู้จำตัวอักษรจะถูกพัฒนาขึ้นในอีกหลายลักษณะเพื่อใช้กับงานต่าง ๆ ต่อไปในอนาคตมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นด้วย

สำหรับประเทศไทยงานวิจัยด้านการรู้จำตัวอักษรได้รับความสนใจกันพอควรทั้งรูปแบบที่เป็นตัวพิมพ์และลายมือเขียน กรณีที่เป็นลายมือเขียน (Airphaiboon, Sangworsil and Kondo) ; (Choruengwiwat and Jitapunkul, 1998) ; (Phokharatkul and Kimpan, 1998) ได้นำเสนอแนวคิดกรรมวิธี ที่นำมาใช้เพื่อรู้จำตัวอักษรกับภาพตัวอักษรที่เป็นตัวเดี่ยวและแบบสายอักขระ (String) รวมถึงการวิเคราะห์ประเด็นการแก้ปัญหารูปแบบตัวอักษร ซึ่งมีลักษณะการเขียนที่ค่อนข้างหลากหลาย สำหรับการรู้จำรูปแบบสายอักขระเป็นการพัฒนาระบบการรู้จำตัวอักษรให้ก้าวหน้าไปอีก

ขั้น ตัวอักษรเมื่อถูกเขียนรวมกันเป็นสายอักขระซึ่งจะเป็นขนาดคำหรือขนาดประโยค จะพบว่าในการส่งไปรู้จำจะมีความยุ่งยากกว่าที่เป็นตัวอักษรเดี่ยว เนื่องจากปัญหาการเขียนที่เป็นสายอักขระตัวอักษรอาจมีการติดกันหรือซ้อนทับกันเกิดขึ้น ดังนั้นขั้นตอนที่เพิ่มเข้ามาในระบบคือส่วนการแยกตัวอักษร (Segmentation) เหตุผลดังกล่าวเป็นที่มาของงานวิจัย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการวิเคราะห์แยกภาพตัวอักษรที่เขียนในรูปแบบคำ การแยกภาพตัวอักษรเป็นการนำภาพตัวอักษรทั้งที่ติดกัน (Connected Character) และไม่ติดกัน (Single Character) มาตรวจว่าจำนวนส่วนภาพตัวอักษรภายในคำนั้นมีตัวอักษรที่เขียนติดกันหรือไม่ โดยการค้นหาตำแหน่งเพื่อระบุบริเวณการติดกันพร้อมกับหาแนวทางการตัดแยก (Segment Path) ณ บริเวณการติดกันของเนื้อภาพตัวอักษรแยกออกมาเป็นภาพตัวอักษรที่สมบูรณ์ที่สามารถส่งต่อให้กับระบบรู้จำตัวอักษรเพื่อทำการรู้จำภาพตัวอักษรเหล่านั้นต่อไปได้

ปัญหาการติดกันของตัวอักษรในโครงสร้างภาษาไทย

ปัญหาการติดกันของตัวอักษรเป็นปัญหาทางโครงสร้างของภาษา (Structure Language) ภาษาไทยประกอบด้วย พยัญชนะ สระ และ วรรณยุกต์ โครงสร้างไวยากรณ์สำหรับภาษาไทยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ บน กลาง และ ล่าง แตกต่างจากภาษาส่วนใหญ่ซึ่งมีเพียงระดับเดียว ยกตัวอย่าง เช่น ภาษาอังกฤษ ภาษาฝรั่งเศส ภาษาจีนและภาษาญี่ปุ่น (Mori, Suen and Yamamoto,1992) ดังนั้นวิธีการที่นำมาใช้จำเป็นจะต้องปรับเปลี่ยนให้มีความสอดคล้องเหมาะสม

การวิเคราะห์แก้ปัญหาเป็นไปตามลักษณะการติดกันที่พบเป็นแบบลายเส้นติดกัน (Touching) และสามารถแบ่งออกเป็นการติดกันระหว่างตัวอักษรภายในระดับเดียวกันและต่างระดับกัน สำหรับจำนวนตัวอักษรที่ติดกัน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการแก้ปัญหาการติดกันของตัวอักษรซึ่งเกิดขึ้นครั้งละ 2-3 ตัวอักษรต่อการติดกันหนึ่งครั้งในแต่ละภาพตัวอักษรที่วิเคราะห์

ฐานข้อมูลคำลายมือเขียนที่ใช้ในการวิเคราะห์การแยกตัวอักษร

1. ฐานข้อมูลของตัวอักษรที่นำมาวิเคราะห์พิจารณาจากการนับตัวอักษรที่พบว่ามีการติดกันเท่านั้นโดยเกิดขึ้นครั้งละ 2-3-ตัวอักษรต่อการติดกันหนึ่งครั้ง ซึ่งไม่รวมถึงตัวอักษรที่เป็นตัวเดี่ยว
2. ลักษณะภาพตัวอักษรที่เก็บเป็นฐานข้อมูลต้องสามารถตัดแยกเป็นตัวอักษรด้วยมือได้ (Hand Segment) โดยตัวอักษรที่ตัดแยกมาได้สามารถอ่านออกว่าเป็นตัวอักษรตัวใด (Human Reader) โดยผู้ทำวิจัยจะเป็นคนระบุลักษณะของตัวอักษรที่เก็บเป็นฐานข้อมูลเอง
3. จำนวนของฐานข้อมูลของคำที่นำมาทดสอบ ไม่ต่ำกว่า 1,000 คำ ที่มีตัวอักษรติดกัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากรรมวิธีและกระบวนการที่ใช้ในการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนที่เป็นคำ
2. เพื่อพัฒนาวิธีการแยกตัวอักษรภาษาไทยที่เป็นคำด้วยองค์ประกอบที่ใช้ในการแยกตัวอักษร
3. เขียนโปรแกรมทดสอบวิธีการแยกตัวอักษร

เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. สามารถแยกตัวอักษรจากลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำได้
2. มีอัตราความถูกต้องในการแยกตัวอักษร โดยพิจารณาแบ่งตามจำนวนตัวอักษรที่ติดกันในหนึ่งคำได้ดังนี้

    2.1 กรณีที่ติดกันเฉพาะแนวระดับ

        2.1.1 เมื่อมีจำนวนตัวอักษรติดกัน 2-ตัว อัตราความถูกต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85

        2.1.2 เมื่อมีจำนวนตัวอักษรติดกัน 3-ตัว อัตราความถูกต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 75

    2.2 กรณีที่ติดกันในแนวระดับและแนวดิ่ง จะมีอัตราความถูกต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกตัวอักษรเพื่อหากรรมวิธีที่เหมาะสม
2. ศึกษาลักษณะลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ
3. พัฒนาโปรแกรมฐานข้อมูลลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ
4. เขียนโปรแกรมทดสอบวิธีการต่างๆ ที่ใช้แยกตัวอักษร
5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ
6. สรุปและรวบรวมผลการวิจัยทั้งหมด พร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบลักษณะปัญหาการติดกันของตัวอักษรในภาษาไทย และสามารถหากรรมวิธีการเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการติดกันของตัวอักษร
2. เป็นพื้นฐานในการเริ่มต้นการพัฒนาระบบการรู้จำจากที่เป็นอักษรเดี่ยวไปสู่รูปแบบคำหรือสายอักขระ ซึ่งมีลักษณะการเขียนที่เสมือนจริงมากขึ้นไปอีกระดับหนึ่ง

บทที่ 2

หลักการทฤษฎี และขั้นตอนวิธีการที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงหลักการ ทฤษฎี และขั้นตอนวิธีการ ที่นำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ โดยจะเสนอหัวข้อเรียงตามลำดับดังนี้ ประเภทวิธีการแยกตัวอักษร เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกตัวอักษร โครงสร้างไวยากรณ์ภาษาไทย และกระบวนการที่เกี่ยวข้องสำหรับการตัดแยกตัวอักษรที่ใช้อ้างอิงในงานวิจัยนี้

2.1 ประเภทวิธีการแยกตัวอักษร

งานวิจัยของ Casey และ Lecolinet (1995) จัดประเภทวิธีการแยกตัวอักษร (Segmentation Method) ออกเป็น 3 ประเภท ดังรูปที่ 2.1

1. การแยกตัวอักษรด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงภาพ (Image Based หรือ Dissection)

ใช้การประมวลผลโดยตรงจากข้อมูลภาพตัวอักษร โดยปราศจากการตรวจสอบภาพที่ตัดแยกได้ในภายหลัง อาศัยการคำนวณที่ไม่ยุ่งยาก ผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาใช้ประกอบการพิจารณาร่วมกับข้อกำหนดหรือเงื่อนไขในการตัดสินใจเพื่อเลือกเส้นทางการแยกที่เหมาะสม แต่หากข้อมูลภาพที่นำมาวิเคราะห์มีความหลากหลาย จะทำให้การตัดสินใจหาเส้นทางการแยกทำได้ยาก ข้อดีของวิธีการนี้คือเป็นวิธีที่ง่ายและสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว ข้อจำกัดของวิธีการนี้คือต้องพิจารณาจำนวนรูปแบบจำนวนมาก เพื่อให้สามารถครอบคลุมรูปแบบการติดกันของการเขียนทั้งหมด เนื่องจากตัวอักษรลายมือเขียนมีรูปแบบที่หลากหลายและซับซ้อน โดยจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.1.1 ต่อไป

2. การแยกตัวอักษรโดยอ้างอิงกับระบบการรู้จำ (Recognition Based)

ใช้ระบบค้นหาข้อมูลโดยนำคณิตศาสตร์ทางสถิติซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญของระบบเข้ามาช่วยเพื่อหลีกเลี่ยงการพิจารณาด้วยกฎเกณฑ์ หรือเป็นการใช้ระบบการเข้าคู่ต้นแบบ (Template Matching) โดยอาศัยรูปแบบจำลองของ ความน่าจะเป็น ทฤษฎีการประมาณค่า และการตัดสินใจ ประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ใช้ จะขึ้นอยู่กับจำนวนของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในแบบจำลองทางสถิติ ซึ่งจำเป็นต้องมีจำนวนมาก เพื่อให้ครอบคลุมความหลากหลายของรูปแบบการเขียน

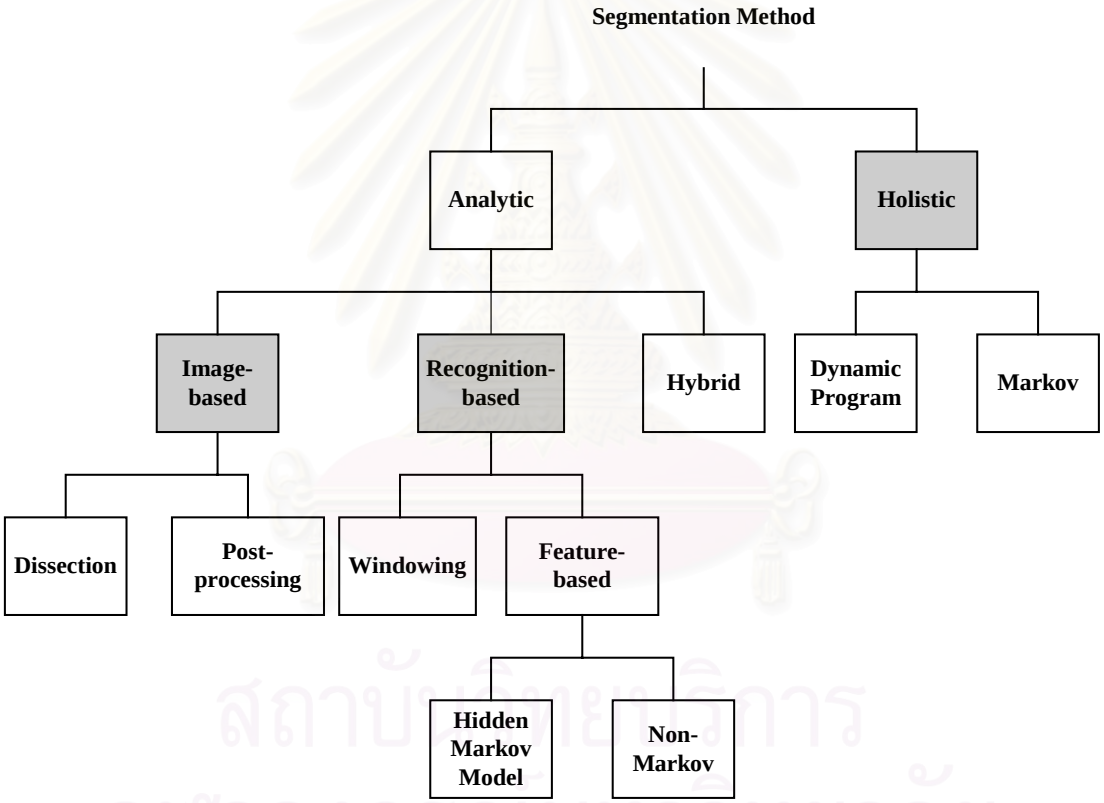
การคำนวณทางสถิติเพื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์กับชุดข้อมูลของระบบ เป็นลักษณะการทำงานร่วมกันระหว่างส่วนการแยกตัวอักษรกับระบบการรู้จำ เนื่องจากตัวอักษรที่ตัดแยกมาได้นั้นจะเป็นผลลัพธ์ที่ผ่านการยอมรับจากกระบวนการรู้จำมาเรียบร้อย แนว

ทางนี้สามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า Segmentation-free โดยจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.1.2 ต่อไป

3. การแยกตัวอักษรด้วยองค์รวม (Holistic Based)

อาศัยระบบการรู้จำเข้ามาช่วยเพื่อหลีกเลี่ยงการแยกจากภาพตัวอักษรโดยตรง เช่นเดียวกับการแยกโดยอ้างอิงกับระบบการรู้จำ แต่จะต่างกันตรงหน่วยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ในระบบการรู้จำ จากที่เป็นตัวอักษรขยายเพิ่มเป็นการวิเคราะห์ภาพตัวอักษรทั้งคำแทน โดยจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.1.3 ต่อไป

สำหรับงานวิจัยนี้ เสนอวิธีการแยกตัวอักษรด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงภาพ ดังนั้นจะเสนอรายละเอียดของวิธีการนี้เป็นสำคัญ



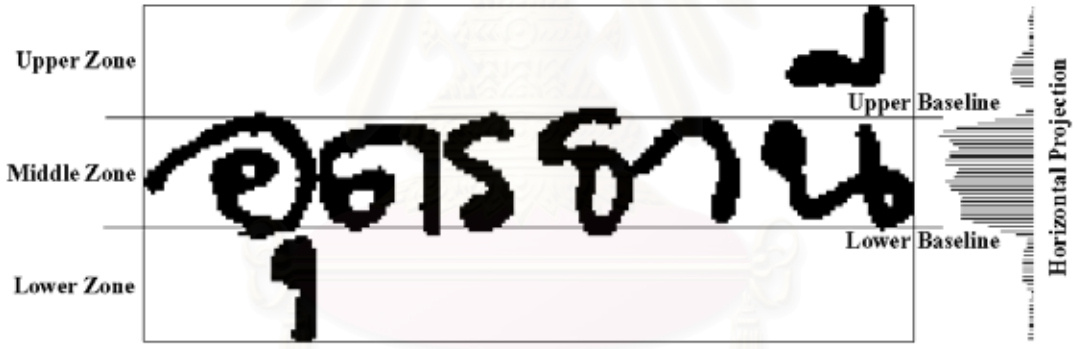
รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นประเภทวิธีการแยกตัวอักษร (Hierarchical Of Segmentation Method)

2.1.1 การแยกตัวอักษรด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงภาพ

การแยกตัวอักษรด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงภาพ แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

ลักษณะที่ 1 การแยกตัวอักษรด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงภาพเพียงอย่างเดียว วิธีการลักษณะนี้บางครั้งถูกเรียกว่า Dissection วิธีการที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่

- การฉายจุดภาพลงบนแกนแนวตั้งหรือแนวนอน (Horizontal/Vertical Projection) (Casey and Lecolinet, 1995) การฉายจุดภาพเป็นฮิสโตแกรมที่ใช้วัดความหนาแน่นของจุดภาพลงบนแกนอ้างอิง ในการแยกตัวอักษรที่เป็นตัวพิมพ์จะใช้วิธีการนี้ค่อนข้างมาก โดยอาศัยการค้นหาช่องว่าง (White Space) ที่เกิดขึ้นระหว่างตัวอักษร แล้วตัดแยก ณ ตำแหน่งบริเวณที่พบว่าค่าความหนาแน่นต่ำกว่าค่าระดับการตัดสินใจ และยังใช้เพื่อหาค่าเฉลี่ยความกว้างของตัวอักษร (Pitch Character Size Estimation) สำหรับลายมือเขียน การหาบริเวณการติดกันของตัวอักษรด้วยวิธีนี้จะค่อนข้างลำบาก เนื่องจากลักษณะลายเส้นตัวอักษรไม่สม่ำเสมอและไม่ตั้งตรงเหมือนกับตัวพิมพ์ แต่สามารถนำมาใช้คำนวณหาแนวเส้นบรรทัด (Baseline Detection) รวมถึงใช้ประเมินความกว้างหรือความสูงของตัวอักษรในเบื้องต้นได้ ดังรูปที่ 2.2

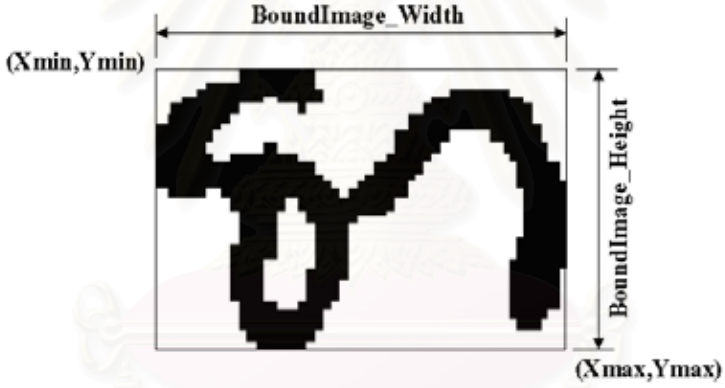


รูปที่ 2.2 ตัวอย่างจุดภาพที่ฉายลงบนแกนแนวตั้งและเส้นระดับบรรทัด

- การวัดขอบภาพ (Profile Analysis) (Min-Chul Jung, Yong-Chul Shin and Srihari, 1999) เป็นการวัดค่าระยะจากกรอบภาพไปยังจุดภาพหรือระยะระหว่างขอบพื้นหลังไปยังตัวข้อมูล อยู่ในรูปของฮิสโตแกรมที่มีลักษณะหันขึ้นหันลงเหมือนหุบเขา (Face-up/down Valley) ในการแยกตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เป็นตัวเขียนแบบติดกันไป (Cursive Script) (Xiao and Leedham,1999) วิธีการนี้ถูกนำมาใช้คำนวณหาจุดเว้าหรือนูน (Concave/ Convex Point) ที่ขอบภาพทางด้านล่าง ซึ่งเป็นบริเวณที่ลายเส้นของตัวอักษรติดกัน เนื่องจากเขียนลากลายเส้นไปทางขวาตลอด ลายเส้นลักษณะเว้าที่คั่นอยู่ระหว่างตัวอักษรจะใช้เป็นเส้นทางการตัดแยก ดังรูปที่ 2.3

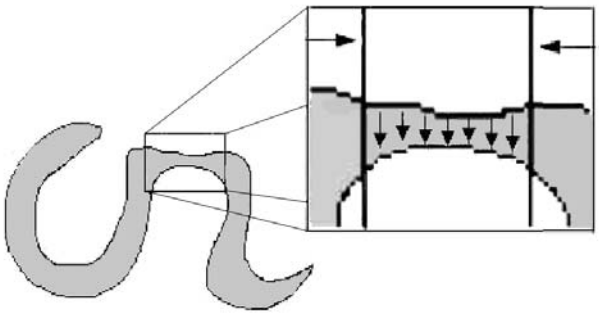
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างบริเวณลายเส้นที่มีลักษณะเว้าหรือนูน ของตัวอักษร

- การทำเครื่องหมายลงบนพื้นที่ภาพ (Landmark) (Casey and Lecolinet, 1995) เป็นการระบุตำแหน่งลงไปยังส่วนภาพที่สนใจ แล้วเลือกเฉพาะบริเวณส่วนภาพดังกล่าวขึ้นมาพิจารณาแทนที่จะพิจารณาจากพื้นที่ภาพทั้งหมด ในการเลือกบริเวณสามารถใช้ขนาดและตำแหน่งของกรอบภาพ (Bounding Box) เป็นตัวกำหนดบริเวณ ดังรูปที่ 2.4



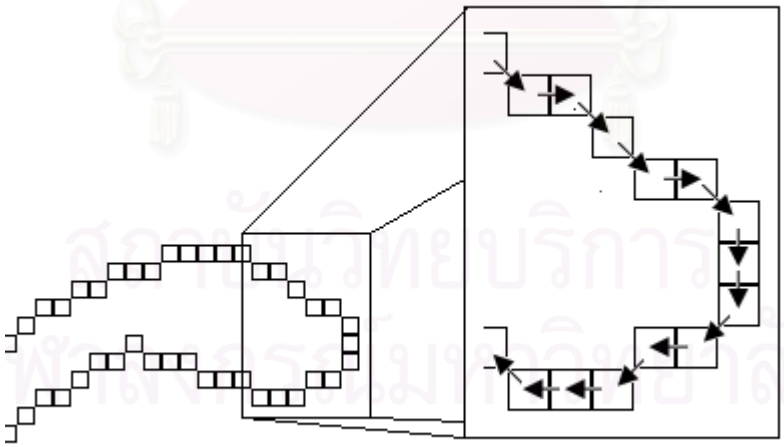
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างกรอบภาพและพิกัดที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งกรอบภาพ

- Single Run Stretch (Houle and Shridhar, 1997) เป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงระดับการเปลี่ยนแปลงความหนาบางของลายเส้นปากกาในช่วงแคบๆ ด้วยวิธีการตรวจเลื่อนจุดภาพไปตามระยะความหนาของลายเส้นในแนวตั้ง (Vertical Run) โดยจะทำการกวาดจุดภาพต่อเนื่องไปครั้งละเส้น และเรียงถัดไปครั้งละหนึ่งหน่วยตามแกนแนวนอน เพื่อบันทึกข้อมูลความหนาของลายเส้น ดังรูปที่ 2.5 วิธี Single Run Stretch นี้ ถูกนำมาใช้แยกบริเวณควบกล้ำของตัวอักษรภาษาอังกฤษ เนื่องจากลายเส้นเชื่อมบริเวณดังกล่าวจะมีขนาดค่อนข้างสั้น เช่น or และ on เส้นที่มีความหนาที่น้อยที่สุดจะใช้เป็นแนวตัดแยก



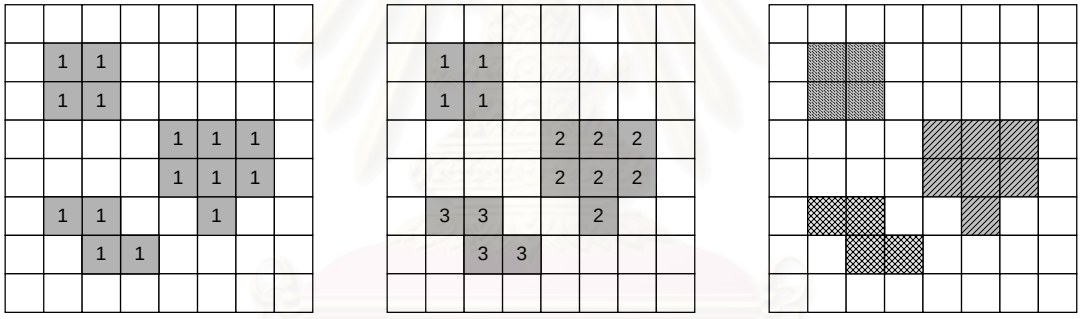
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการทำ Single Run Stretch

- การกวาดคอนทัวร์ (Contour Tracing) (Xia F., 1994) เป็นการตรวจหาลายเส้นที่ขอบภาพข้อมูล โดยการตรวจเลื่อนจุดภาพวนไปในทิศทางเดียวกันจนครบรอบ ข้อมูลคอนทัวร์แสดงให้ทราบถึงตำแหน่งและทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพที่พิจารณากับจุดภาพที่อยู่ข้างเคียง จากความสัมพันธ์ดังกล่าว หากเราตัดแยกคอนทัวร์ออกเป็นส่วน ๆ แต่ละส่วนคอนทัวร์ที่ตัดแยกได้ซึ่งแทนข้อมูลของลำดับจุดภาพที่เรียงต่อกันเป็นลายเส้น มาวิเคราะห์รูปร่างว่าเอียงลาด ตั้งตรง และมีส่วนโค้งเว้าได้ โดยในงานวิจัยการแยกการติดกันของตัวเลขอารบิค นำคอนทัวร์ที่ได้มาแปลงให้อยู่ในรูปฮิสโตแกรมความชัน ต่อจากนั้นนำฮิสโตแกรมมาระบุขอบเขตบริเวณที่ติดกันของตัวอักษรอีกครั้งหนึ่ง แล้วส่งขอบเขตดังกล่าวไปหาเส้นทางการตัดแยกต่อไป ลักษณะการตรวจเลื่อนจุดภาพคอนทัวร์ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างทิศทางการกวาดจุดภาพบนคอนทัวร์

- การแยกส่วนภาพ (Extraction of Connected Components) (Casey and Lecolinet, 1995) หน้าที่ของการแยกส่วนภาพ คือ แยกกลุ่มภาพใดๆ ที่วางรวมอยู่ภายในพื้นที่บริเวณเดียวกันให้แยกออกจากกันได้ ลักษณะการใช้งาน มีดังนี้ ใช้แยกส่วนภาพตัวอักษรที่ประกอบอยู่ในคำได้ ใช้แยกจุดภาพหรือกลุ่มจุดภาพที่ไม่ต้องการออกจากภาพได้ ใช้ตรวจสอบช่องหรือโพรงที่พบในภาพได้ ใช้คำนวณจำนวน ขนาด และตำแหน่งของภาพตัวอักษรได้ สำหรับเครื่องมือการแยกส่วนภาพ ได้แก่ Morphological Operators ซึ่งจะใช้องค์ประกอบของรูปร่างภาพที่กำหนดไว้ต่าง ๆ กัน เช่น การแยกด้วยขอบภาพ (Boundary Extraction) (Gonzalez and Woods, 1992) การแยกด้วยการเติมบริเวณ (Region Filling) และการแยกด้วยการกระจายบริเวณ (Region Growing) เป็นต้น สำหรับหลักการทำงาน วิธีการแยกด้วยขอบภาพอาศัยการกัดเซาะ (Erosion) หรือการขยายจุดภาพ (Dilation) ณ บริเวณขอบของภาพ ส่วนวิธีการแยกด้วยการกระจายบริเวณอาศัยการประมวลผลบนกลุ่มของจุดภาพ โดยตรวจสอบจุดภาพพร้อมกำหนดค่าจุดภาพที่พิจารณาและค่าจุดภาพข้างเคียงที่อยู่ติดกัน ให้มีค่าเหมือนกันจนครบทั้งกลุ่มจุดภาพ สำหรับเกณฑ์การกำหนดค่า จะกำหนดให้แตกต่างกันไปตามจำนวนของกลุ่มจุดภาพข้อมูลที่มีอยู่บนพื้นที่ภาพ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการแยกส่วนภาพด้วยการกระจายบริเวณ
(ก) ก่อนทำการแยกบริเวณ
(ข) และ (ค) หลังทำการแยกบริเวณ

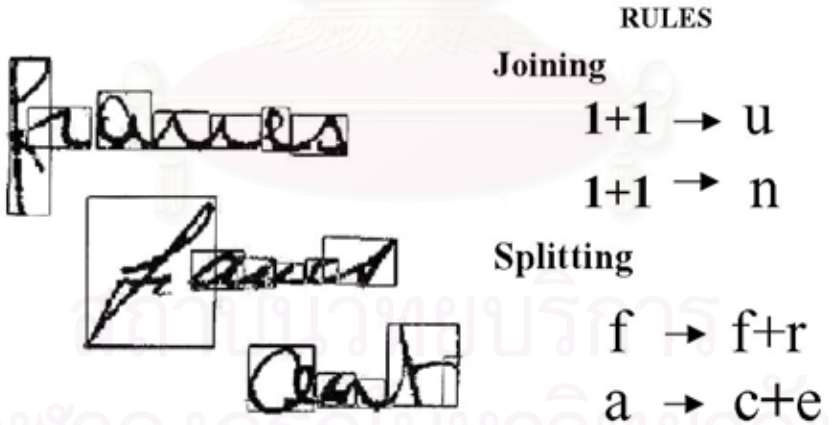
ลักษณะที่ 2 การแยกตัวอักษรด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงภาพร่วมกับ Context Post-processing: Grapheme

จากงานวิจัยของ Casey และ Lecolinet (1995) กล่าวถึงประเด็น ผลลัพธ์จากการตัดแยกภาพผิดพลาด ที่ให้ภาพเพียงบางส่วนของตัวอักษร อาจมีความหมายหรือไม่ก็ได้ ส่วนภาพที่ตัดผิดพลาดเมื่อสังเกตจะพบว่ามีรูปร่างเหมือนๆ กัน จากความเหมือนกันนี้ จะนำมาใช้แก้ปัญหาการตัดผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยการนำส่วนภาพที่ตรวจพบว่ามีการตัดผิดลักษณะซ้ำๆ กัน มาสร้างเป็นชุด

เปรียบเทียบ ต่อจากนั้นนำชุดเปรียบเทียบมาเทียบหาความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับภาพตัวอักษรที่สมบูรณ์ต่อไป ส่วนภาพที่ตัดผิดซ้ำๆ นี้ถูกเรียกว่า Grapheme หรือ Pseu-do Character หนึ่ง Grapheme อาจแทนภาพตัวอักษรได้มากกว่าหนึ่งภาพตัวอักษรและในทางตรงกันข้ามภาพตัวอักษรหนึ่งภาพสามารถแทนได้ด้วยหลาย Grapheme เช่นกัน ดังรูปที่ 2.8

จากการแก้ปัญหาดังกล่าวอาศัยหลักการสังเกตรูปร่างของตัวอักษร (Visual Observative) ที่พบว่าเกิดการตัดผิดออกมาแบบซ้ำๆ เมื่อมองย้อนกลับไปสามารถอธิบายสาเหตุที่เกิดขึ้นนี้ ได้ว่าตัวอักษรกลุ่มนั้น มีลักษณะโครงสร้างเด่นแตกต่างจากตัวอักษรอื่น ซึ่งเป็นปัจจัยให้มีโอกาสตัดผิดได้บ่อย จากเหตุปัจจัยดังกล่าวนำมาสู่องค์ความรู้ฮิวริสติค (Heuristics) ที่ว่าด้วย คุณสมบัติรูปทรงเรขาคณิต (Geometrical Feature) และวิชาที่ว่าด้วยการสำรวจสภาพภูมิศาสตร์ (Topology Feature)

สำหรับการแยกตัวอักษร ฮิวริสติคจะนำมาใช้ในการพิจารณาโครงสร้างตัวอักษร โดยการจัดกลุ่มและจำแนกรูปร่าง เพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์รูปแบบการติดกัน หลักการพิจารณาจะต้องให้ครอบคลุม จำนวน ลักษณะโครงสร้าง ของตัวอักษรที่มีอยู่ให้ได้มากที่สุด วิเคราะห์และรวบรวมลักษณะปัญหาที่พบ แล้วสร้างเป็นกฎเกณฑ์ให้สัมพันธ์กับปัญหาที่มีอยู่ เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจเส้นทางการแยกบริเวณการติดกันของตัวอักษร สำหรับปัญหาความยุ่งยากจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อจำนวนกฎเกณฑ์ที่ใช้อธิบายลักษณะการติดกันของตัวอักษรมีจำนวนมากเกินไป เพราะจะยิ่งทำให้เกิดความกำกวมในการตัดสินใจมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างของ Grapheme

2.1.2 การแยกตัวอักษรโดยอ้างอิงกับระบบรู้จำ

การแยกตัวอักษรโดยอ้างอิงกับระบบรู้จำ (Casey and Lecolinet, 1995) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

ลักษณะที่ 1 วิธีแยกตัวอักษรด้วยการตรวจเลื่อนหน้าต่าง (Windowing) เหมาะสำหรับลายมือที่รูปแบบค่อนข้างชัดเจน (Explicity Image) เริ่มจากการตรวจเลื่อนหน้าต่างไปตามตัวอักษรเพื่อหาลำดับตำแหน่งจุดตัดเบื้องต้น ในระหว่างที่ตรวจเลื่อนหน้าต่างจะมีการปรับขนาดและตำแหน่งให้พอดีกับตัวอักษร จากขั้นตอนดังกล่าวจะนำไปใช้เพื่อประเมินหาจุดตัดที่แท้จริง ต่อจากนั้นนำข้อมูลจำนวนครั้งและลำดับจุดตัดที่ได้ ส่งต่อให้กับระบบรู้จำตัวอักษรเพื่อนำไปใช้ในการรู้จำ ซึ่งถ้าข้อมูลนั้นมีการยอมรับจากระบบรู้จำว่าถูกต้อง แล้วจึงส่งข้อมูลลำดับจุดตัดนั้น กลับมาเพื่อตัดแยกบริเวณการติดกันของตัวอักษร แต่อย่างไรก็ดีวิธีการนี้ต้องเสียเวลาในการคำนวณมาก

ลักษณะที่ 2 วิธีแยกตัวอักษรด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ (Hidden Markov Model) วิธีนี้เหมาะสำหรับลายมือที่ไม่เป็นระเบียบมีความกำกวมซับซ้อนมาก (Implicity Image) แบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟมีระบบทำงานโดยการรู้จำหนึ่งตัวอักษรต่อหนึ่งสถานะเรียงตามลำดับ แล้วให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบที่เป็นคำ แบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟจะสร้างสถานะ (State) ขึ้นสำหรับแต่ละตัวอักษร ประกอบกับค่าเริ่มต้นของสถานะ พารามิเตอร์ประจำแต่ละสถานะ พารามิเตอร์ที่ใช้เปลี่ยนสถานะ และใช้ค่าสถิติในการติดสินใจ คำนวณหาเส้นทางตัดแยกที่สั้นที่สุดจากระเบียบวิธี Viterbi โดยพิจารณาการกระจายตัวของช่วงเวลาจากแบบจำลองช่วงเวลา (Duration Model) เทียบกับตัวอักษร ซึ่งจะเห็นว่าระบบสามารถแยกตัวอักษรได้ด้วยกระบวนการภายในของระบบเอง โดยไม่ต้องอาศัยข้อกำหนดมาพิจารณาเพื่อแยกตัวอักษรแล้วยังสามารถนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปตรวจสอบความถูกต้องด้วยกระบวนการภายหลัง (Post-processing) ได้ทันที

2.1.3 การแยกตัวอักษรด้วยองค์รวม

การแยกตัวอักษรด้วยองค์รวมอาศัยการพิจารณาคุณลักษณะของคำโดยรวม (Word Global Features) และจัดบันทึกข้อมูลในรูปค่าทางสถิติ ในการรู้จำ ระบบจะจำแนกรายละเอียดของคำทั้งคำและนำกระบวนการภายหลัง (Post-processing) เข้ามาช่วยเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของคำด้วย ลักษณะเด่นของระบบนี้คือมีการเรียนรู้โดยอัตโนมัติ (Autometic Learning System) และไม่จำเป็นต้องออกแบบโครงสร้างโปรแกรมใหม่เมื่อมีชุดข้อมูลใหม่เพิ่มเข้ามา สำหรับข้อจำกัดของระบบ ชุดข้อมูลจะต้องมีขนาดเล็ก และต้องพัฒนาส่วนของการหาคุณลักษณะของคำให้ครอบคลุมจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่นำมาใช้ โดยส่วนใหญ่วิธีการลักษณะนี้ จะถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านการตรวจสอบความถูกต้องในคำศัพท์เฉพาะจำนวนหนึ่ง เช่น คำศัพท์บอกจำนวน ชื่อจำนวนเงินบนเช็ค เนื่องเพราะจำนวนคำศัพท์ที่ใช้ในระบบจะมีขนาดที่จำกัด

วิธีการนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้กับตัวอักษรภาษาอังกฤษ ที่มีการแบ่งแยกคำแต่ละคำด้วยช่องว่างระหว่างคำ ซึ่งไม่มีในภาษาไทย ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่สามารถนำมาใช้กับภาษาไทยได้ นอกจากนั้นวิธีการนี้ยังเป็นการวิเคราะห์คำโดยรวม จึงไม่สามารถหาจุดตัดแยกของตัวอักษรที่แน่นอนได้ ทำให้ตัดแยกตัวอักษรได้ไม่ดี

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับการแยกตัวอักษรภาษาไทย มีดังต่อไปนี้

จรรยา เกียรติศิริอนันต์ และ บุญธีร์ เครือตราชู (2541) ได้นำเสนอการแยกตัวอักษรภาษาไทยแบบตัวพิมพ์ด้วยเส้นทางการแยกที่สั้นที่สุด (Shortest Path) ข้อมูลที่นำมาพิจารณาในระบบเป็นภาพการติดของตัวอักษรที่ติดกันครั้งละ 2 ตัวอักษร เช่น นม ยท วิธีการแยกจะทำการกำหนดตารางค่า cost ในแต่ละเส้นทางเดินของจุดภาพ การระบุค่า cost ขึ้นกับทิศทางระหว่างจุดภาพว่าเดินในแนวตั้งหรือเฉียงด้วยค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน สำหรับเส้นทางเดินจะใช้หน้าต่างตรวจเลื่อนจุดภาพจากบนลงล่างเมื่อพบแถวที่มีจุดภาพ จะบันทึกค่าทิศทางที่ตรวจเลื่อนได้ตามค่าน้ำหนักที่กำหนดไว้ก่อนหน้า และเพิ่มการทำนายล่วงหน้าถัดไปอีก 1 แถว เพื่อช่วยในการตัดสินใจให้เลือกตำแหน่งทางเดินมีความถูกต้องมากขึ้น จากนั้นคำนวณผลรวมของทางเดินที่ให้ค่า cost ต่ำสุดและเลือกเป็นเส้นทางการแยกตัวอักษร จากตัวอย่างทดลอง 383 ตัวอย่าง ได้อัตราการแยกตัวอักษรร้อยละ 76.24

Lohakan, Airphaiboon และ Sangworasil ได้นำเสนอการแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ ข้อมูลที่นำมาพิจารณาเป็นคำที่เขียนแบบตัวอักษรไม่ติดกัน (Non-cursive Script) งานวิจัยนี้ไม่ได้หมายถึงการแยกตัวอักษรเนื่องจากปัญหาการเขียนติดกัน แต่เป็นการแยกตัวอักษรด้วยการระบุประเภทชนิดของภาพตัวอักษรว่าเป็น วรรณยุกต์ สระ หรือ พยัญชนะ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของตำแหน่งการวางตัวของภาพตัวอักษร กำหนดโครงสร้างไวยากรณ์ภาษาแบ่งออกเป็น 4 ระดับ วรรณยุกต์อยู่ระดับที่ 1 สระบางตัวอยู่ระดับที่ 2 หรือ 4 ส่วนระดับที่ 3 เป็นพยัญชนะและสระบางตัว ระบบประกอบด้วยขั้นตอนการหาเส้นบรรทัด (Word Line Separation) เพื่อใช้แยกบริเวณตัวอักษรออกจากกัน พร้อมกับเสนอวิธีการแก้ปัญหาเอียงของตัวอักษร (Slant Normalization) การหาเส้นระดับใช้วิธีฉายจุดภาพลงบนแกนแนวตั้ง และคำนวณเส้นบรรทัดบนและล่างจากค่าระดับการตัดสินใจ ซึ่งได้จากผลการทดลอง สำหรับวิธีปรับแก้เอียงของตัวอักษรใช้การลบลายเส้นตัวอักษรในแนวระดับออกให้เหลือเพียงลายเส้นในแนวดิ่ง จากนั้นวัดความเอียงของลายเส้นที่เหลือ คำนวณค่ามุมเฉลี่ยจากทุกลายเส้นจะนำมาปรับแก้การเอียงของตัวอักษร สำหรับขั้นตอนการแยกตัวอักษร ใช้วิธีกวาดคอนทัวร์ (Contour Tracing) บนพยัญชนะพร้อมกับบันทึกค่าพิกัดที่จุดรอยต่อภาพไว้ในกรณีที่ถูกตัดเมื่อโครงสร้างตัวอักษรสูงเกินจากเส้นบรรทัด เช่น โ ใ ไ อาศัยไวยากรณ์ภาษามากำกับตำแหน่งการวางตัวของภาพตัวอักษร ซึ่งพิจารณาแยกตาม

บริเวณตัวอักษร ทำการวัดช่องว่างของแต่ละกรอบภาพตัวอักษรเทียบกับเส้นบรรทัดเพื่อระบุชนิดของตัวอักษร จากตัวอย่างคำทดลอง 100 คำ ได้อัตราการแยกตัวอักษรร้อยละ 98.0

วิชา พานิช (2539) ได้นำเสนอการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยแบบตัวพิมพ์โดยใช้ลักษณะบ่งความต่าง ข้อมูลที่นำมาพิจารณาในระบบเป็นกระดาษเอกสาร ระบบกล่าวถึงส่วนแยกตัวอักษรที่ติดกันโดยอาศัยการแบ่งกลุ่มภาพตัวอักษรแยกตามประเภทลักษณะการติดกัน จากการส่งภาพตัวอักษรไปรู้จำด้วยการตรวจสอบเกาะและเส้นบรรทัด ถ้าส่วนการรู้จำไม่สามารถจำแนกได้ว่าเป็นภาพตัวอักษรใดจะส่งภาพย้อนกลับมายังส่วนการแยกตัวอักษร โดยตรวจสอบภาพการติดกันจากรูปร่างตัวอักษรซึ่งมีลักษณะผิดรูปไปจากแบบรูปลักษณะการติดกันที่ได้รวบรวมและสรุปไว้เป็นกลุ่มย่อยก่อนหน้า การทำงานประกอบด้วยวิธีตรวจสอบกลุ่มของจุดภาพว่าเป็นอักษรที่ติดกันหรือไม่และเป็นกลุ่มใด จากนั้นแยกออกตามวิธีการของแต่ละกลุ่ม เครื่องมือที่นำมาใช้ในการตรวจสอบหาจุดตัดได้แก่ การวัดขอบภาพ (Profile Analysis) อัตราส่วนของภาพ (Aspect Ratio) การฉายจุดภาพบนแกนแนวนอน แต่จากการฉายจุดภาพพบว่าไม่สามารถหาตำแหน่งจุดตัดได้ถูกต้องเนื่องจากความหนาแน่นของจุดภาพนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน จึงได้ปรับปรุงเพิ่มเติม ตามวิธีของ Kahan และ Pavlidis (1987) ซึ่งกล่าวว่า "จุดเชื่อมของอักษร 2 ตัว จะมีค่าการฉายจุดภาพบนแกนแนวนอนเปลี่ยนแปลงแบบ Sharp Minimum" และเสนอให้ใช้อัตราส่วนระหว่างอนุพันธ์ลำดับที่ 2 ของค่าการฉายจุดภาพบนแกนแนวนอน ร่วมเป็นสมการเงื่อนไขในการหาจุดตัด ในงานวิจัยนี้ไม่ได้กล่าวถึงอัตราการแยกตัวอักษร แต่ทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่อัตราความถูกต้องของตัวอักษร เนื่องจากผลลัพท์ที่ได้จากการแยกตัวอักษรมีผลต่ออัตราความถูกต้องของตัวอักษรน้อยมาก เว้นแต่ในกรณีที่ขนาดของตัวอักษรที่ทดสอบมีขนาดเล็กมาก ซึ่งได้กล่าวไว้เพียงว่าผลจากการแยกตัวอักษร เป็นสาเหตุให้เกิดความผิดพลาดที่ทำให้ลักษณะบ่งความต่างบางอย่างหายไป

Chaiyakhet และ Chamnongthai (1999) ได้นำเสนอการแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยโดยการแกะรอยเส้น ข้อมูลที่นำมาพิจารณาเป็นคำ เสนอวิธีการแกะรอยเส้นตามคุณสมบัติโครงสร้างส่วนใหญ่ของตัวอักษรไทยที่ประกอบด้วย 1 สโตรก (Stroke) วิธีการดังนี้ นำภาพต้นแบบมาประมวลผลให้อยู่ในรูปโครงร่างบาง จากนั้นทำการแกะรอยเส้นจากจุดปลายด้านหนึ่งไปยังจุดปลายอีกด้านหนึ่งของสโตรก รอยเส้นที่แกะได้ประเมินเทียบเท่ากับ 1 ตัวอักษร กรณีที่ตัวอักษรเขียนเส้นทับกันจะพบว่ามีจุดแยกเกิดขึ้น วัดค่ามุมของแต่ละลายเส้นรอบจุดแยกและจับคู่ลายเส้น คู่ที่ให้ค่ามุมผลต่างที่น้อยที่สุดจะถูกตัดสินใจให้เป็นลายเส้นเดียวกัน นำลายเส้นที่แยกได้มาสร้างภาพตัวอักษรที่สมบูรณ์กลับคืน การสร้างภาพใช้จุดเริ่มต้นและทิศทางการลากตามรอยเส้นที่แกะมาได้ โดยสร้างเป็นโครงร่างภาพและเติมเนื้อภาพให้กับโครงร่างดังกล่าว จากตัวอย่างคำทดลอง 100 ตัวอย่าง ได้อัตราการแยกตัวอักษรร้อยละ 98.5

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับการแยกตัวอักษรของต่างประเทศที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

Xiao และ Leedham (1999) ได้นำสนอการแยกตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เขียนแบบติดกันไป แนวคิดอาศัยพื้นฐานความรู้จากลักษณะการเขียน ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลโครงสร้างของเนินตัวอักษร (Prominent Character) ร่วมกับการสร้างกฎเกณฑ์เพื่อนิยามรายละเอียดของพื้นหลังภาพตัวอักษร (Background Region) ขั้นตอนการแยกตัวอักษรแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการแยกภาพตัวอักษรที่ติดกัน (Connected Component) ออกเป็นส่วนย่อย โดยพิจารณาจากการหันขึ้นหันลงของเนินตัวอักษร (Face up/down) ส่วนที่สองใช้สำหรับตรวจสอบการแยกเกิน (Over Split) ซึ่งมีหน้าที่รวมภาพที่แยกได้จากส่วนแรกที่ตรวจพบว่าไม่ใช่ตัวอักษรกลับคืน (Merge) โดยพิจารณาจากองค์ความรู้ของโครงสร้างตัวอักษร สรุปได้ว่าแนวคิดดังกล่าวอาศัยเทคนิคการประมวลผลวิเคราะห์เชิงภาพร่วมกับกฎเกณฑ์ที่นิยามขึ้นจากความรู้ฮิวริสติค โดยกฎเกณฑ์ดังกล่าวถูกนำมาใช้เพื่อบอกถึงความเป็นไปได้ของลักษณะการติดกัน และใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการแยกตัวอักษร ทดสอบฐานข้อมูลแบบคำจำนวน 540 คำ ประกอบด้วยตัวอักษร 2,345 ตัว ได้อัตราการแยกตัวอักษรร้อยละ79.8

Congedo, Dimauro, Impedovo และ Pirlo (1995) ได้นำเสนอการแยกตัวเลขลายมือเขียนที่เป็นสายอักขระของรหัสไปรษณีย์ เสนอระเบียบวิธีการแยกตัวอักษรที่เรียงติดกันเป็นแถว (Contiguous Row Partition) ที่เรียกว่า ระเบียบวิธี Drop Falling โดยอาศัยวิธีการกัดเซาะจุดภาพ (Seeping) ระเบียบวิธีการแยกนี้จะใช้ตำแหน่งจุดภาพข้อมูลและจุดภาพข้างเคียงมาสร้างเป็นหน้าต่างเพื่อกวาดหาแนวกัดเซาะแยกภาพออกจากกัน จุดเริ่มต้นการกัดเซาะจะเริ่มจากขอบแต่ละด้านของภาพตัวอักษร ผลลัพธ์ภาพตัวอักษรที่แยกได้จะถูกส่งเข้าสู่ส่วนการรู้จำ เพื่อตัดสินใจว่าภาพที่ตัดแยกมาได้จากขอบภาพด้านนั้นเป็นตัวอักษรที่สมบูรณ์หรือไม่ ถ้าส่วนการรู้จำไม่สามารถจำแนกได้ถูกต้อง ภาพตัวอักษรนั้นจะถูกส่งย้อนกลับไปพิจารณาหาเส้นทางการแยกอีกครั้ง อัตราความถูกต้องแบ่งเป็นสองกรณี ขอบด้านบนวิ่งกัดเซาะลงล่างและขอบด้านล่างวิ่งกัดเซาะขึ้นบน ได้อัตราการแยกตัวอักษรร้อยละ 87 และ 63 ตามลำดับ

และในงานวิจัยนี้ได้นำระเบียบวิธีการแยกตัวอักษร Drop Falling มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแยกตัวอักษรด้วย จะกล่าวรายละเอียดของระเบียบวิธีและหลักการทำงานในส่วนท้าย

Ke Han และ Sethi (1995) ได้นำเสนอการตัดแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาอังกฤษที่เขียนแบบติดกันไป (Cursive Script) โดยอาศัยความรู้พื้นฐานทางด้าน Heuristic Rule ซึ่งเป็นกฎเกณฑ์เพื่อบอกความสัมพันธ์ของลักษณะของคำเชิงเรขาคณิต (Geometric Feature) และ คุณลักษณะสำคัญทางภูมิศาสตร์ (Topology Feature) ซึ่งนำมาพิจารณากับตัวอักษรภาษาอังกฤษ ตัดแยกตัวอักษรโดยพิจารณาจากคุณลักษณะความแตกต่างของรูปร่างของตัวอักษร ทดสอบบนฐานข้อมูลคำที่ตัดแยกมา

จากหน้าซองจดหมาย จำนวน 50 ซอง ประกอบด้วยตัวอักษร 1,119 ตัว ได้อัตราการแยกตัวอักษร ร้อยละ 85.7

Eastwood, Jenning และ Harvey (1997) ได้นำเสนอการตัดแยกตัวอักษรลายมือเขียนเป็นคำด้วยนิวรอลเน็ตเวิร์ก การตัดแยกหาจุดที่เหมาะสมหรือตำแหน่งภายในคำที่จะให้ได้ออกเป็นตัวอักษร หรือที่เรียกว่า “Dissection” จากเวคเตอร์คุณลักษณะสำคัญ (Feature Vector) ที่ได้จะนำมาหาพื้นที่ย่อยๆ แปลงไปเป็นหน้าต่างฝึกฝน (Training Window) เพื่อใช้ฝึกฝนระบบนิวรอลเน็ตเวิร์กเพื่อสร้างแนวการตัดแยกเบื้องต้น (Pre-segment Path) ของคำได้ โดยเวคเตอร์คุณลักษณะสำคัญ ได้แก่ ฮิสโตแกรมลายเส้นของจุดตัด ความหนาแน่นของจำนวนจุดภาพ บริเวณกลางของตัวอักษร ซึ่งจะใช้พิจารณาเมื่อส่วนตัวอักษรระดับบน (Ascender) หรือระดับล่าง (Descender) มีการซ้อนทับกัน โดยใช้ระเบียบวิธี Heuristic Segment ผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับ Heuristic Dissection ในการฝึกฝนจะทำในทุกๆ จุดตัด ความแตกต่างของจำนวน offset จะเป็นตัวบ่งบอกว่าจุดตัดนั้นถูกต้องหรือไม่ ในกระบวนการหาคุณลักษณะสำคัญ จะถูกพิจารณาด้วยว่าเหมาะสมที่จะนำมาฝึกฝนแก่ระบบหรือไม่ โดยต้องผ่านขั้นตอนการตัดแยกด้วยมือ (Hand Segment) ซึ่งจะเห็นได้ว่าสามารถกำหนดข้อมูลในการฝึกฝนระบบได้ด้วย

Kimura, Kayahara, Miyake, และ Shridhar (1997) ได้นำเสนอการรู้จำการตัดแยกตัวอักษรลายมือเขียนด้วยการคำนวณสถิติร่วมกับนิวรอลเน็ตเวิร์กและมนุษย์ (Human) ในส่วนเชิงสถิติใช้คำนวณค่า Likelihood ด้วย Quardratic Discriminant Functuion ซึ่งไม่ไวต่อค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นและไม่ต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก ส่วนนิวรอลเน็ตเวิร์กใช้ Multilayer Percepton ร่วมกับ Back Propagation (Input Node 64-Hidden Node 100-Output Node 52) วิธีการคือตัวอักษรจะถูกตัดแยกโดยใช้ระเบียบวิธี Lexicon Word Matching เพื่อหาแนวการตัดเบื้องต้น โดยตัดแยกที่จุดต่ำสุด (Valley Point) จากนั้นแยกออกเป็นตัวด้วยการตัดในแนวตั้ง โดยในบางกลุ่มอักษรที่ติดกันอยู่จะหาแบบเปรียบ (Primitive) ซึ่งเป็นลักษณะกรอบภาพย่อย จากนั้น Lexicon Word จะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาตัวอักษรที่ถูกต้อง โดยคำนวณค่าเฉลี่ย Likelihood ที่มากที่สุด ผลที่ได้จากทั้ง 3 ส่วนนำมาเปรียบเทียบได้อัตราการแยกตัวอักษรร้อยละ 77 สำหรับวิธีทางสถิติ ร้อยละ80 สำหรับนิวรอลเน็ตเวอร์ค และร้อยละ 81 สำหรับมนุษย์

2.3 โครงสร้างไวยากรณ์ภาษาไทย

ตัวอักษรภาษาไทยประกอบด้วย

ก ข ค ฆ ง จ ฉ ช ซ ฌ ญ ฏ ฏ ฐ ฑ ฒ ณ ด ต ถ ท ธ
น บ ป ผ ฝ พ ฟ ภ ม ย ร ล ว ส ศ ษ ห ฬ อ ฮ ฤ ฦ

ะ า ิ ี ึ ื ุ ู เ ๋ ไ ๅ ๆ

๐ ๑ ๒ ๓ ๔ ๕ ๖ ๗ ๘ ๙

สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดระดับโครงสร้างไวยากรณ์ของอักษรภาษาไทย ออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1. ระดับบน (Upper Zone) ประกอบด้วยอักษร สระและวรรณยุกต์
2. ระดับกลาง (Middle Zone) ประกอบด้วยอักษร พยัญชนะและสระ
3. ระดับล่าง (Lower Zone) ประกอบด้วยอักษร สระ

2.4 กระบวนการที่เกี่ยวข้องสำหรับการตัดแยกตัวอักษร

2.4.1 การประมวลภาพเบื้องต้น

การประมวลภาพเบื้องต้น (Pre-processing) เป็นกระบวนการจัดการเตรียมภาพตัวอักษร ที่ได้จากการสแกน เพื่อปรับปรุงคุณภาพข้อมูลให้มีความเหมาะสม แบ่งเป็นขั้นตอน 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction)
2. การทำขอบภาพให้เรียบ (Edge Smoothing)
3. การปรับแก้ความเอียง (Slant Correction)

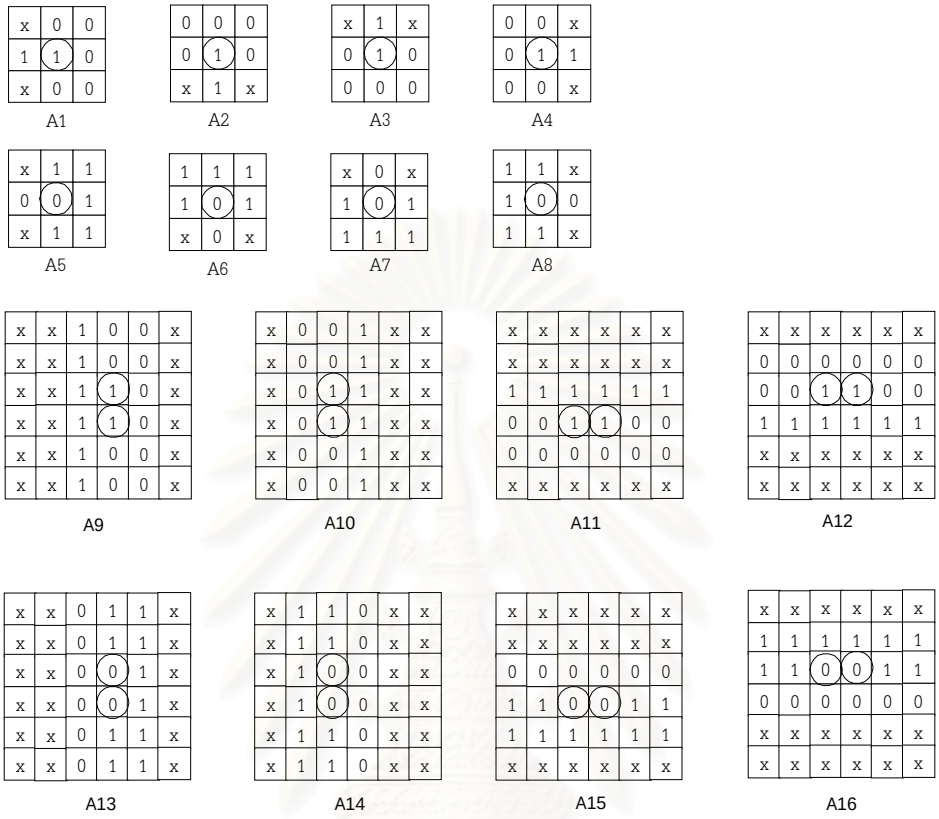
2.4.1.1 การกำจัดสัญญาณรบกวน

การกำจัดสัญญาณรบกวนเป็นกรรมวิธีในการกำจัดจุดภาพที่ไม่ต้องการออกจากภาพตัวอักษร ซึ่งเกิดจากกระดาษที่ใช้บันทึกข้อมูล เครื่องสแกนเนอร์ ผู้กรอกลายมือ จากงานวิจัยของ ยุทธนา บัวเสน (2540) ได้นำเสนอการใช้หน้าต่างขนาด 3x3 ตรวจสอบจุดภาพเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแบบซอล์ท แอน เปปเปอร์ (Salt and Pepper) ซึ่งเป็นจุดภาพแบบ จุดเดี่ยว และ รูเดี่ยว โดยใช้หน้าต่างตรวจเลื่อนไปทีละหนึ่งจุดภาพ

2.4.1.2 การปรับขอบภาพให้เรียบ

การปรับขอบภาพเป็นกรรมวิธีในการปรับแก้ขอบภาพให้มีความเรียบมากขึ้น จากงานวิจัยของ Phokharatkul และ Kimpan (2000) ได้นำเสนอการพิจารณาสายโซ่รหัส (Chain Code) เพื่อแก้ไขความเรียบของขอบแบบที่เป็น 2 จุดภาพติดกัน สำหรับงานวิจัยนี้ไม่มีการใช้สายโซ่รหัส แต่ปรับมาเป็นการใช้หน้าต่าง 16 แบบ ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งมีกระบวนการทำงานที่ง่ายกว่าและให้ผลการทำงาน

เหมือนวิธีการสายโซ่รหัสทุกประการ (อิทธิพันธ์ เมธเศรษฐ, 2543) วิธีการทำโดยนำหน้าต่างทั้ง 16 แบบ มาตรวจเลื่อนไปตามจุดภาพเพื่อปรับขอบภาพครบทั้งภาพข้อมูล



รูปที่ 2.9 แบบรูปหน้าต่าง 16 แบบ ในการขอบภาพให้เรียบ

2.4.1.3 การปรับแก้ความเอียงของตัวอักษร

การปรับแก้ความเอียงเป็นการแก้ไขภาพตัวอักษรที่เอียงตัวไปจากเส้นแนวดิ่งให้กลับมาอยู่ในแนวปรกติ จากงานวิจัยของ Bozinovic และ Srihari (1989) เสนอไว้ 2 วิธี คือ ระเบียบวิธี Canny Edge และวิธีการลบจุดภาพที่ติดกันในแนวนอน การใช้ระเบียบวิธี Canny Edge เป็นการหาคอนทัวร์ของภาพแล้วแปลงให้อยู่ในรูป Chain Code Contour เพื่อหาค่าเฉลี่ยของอักษรที่เอียงแล้วปรับแก้ให้ตรงขึ้น วิธีนี้ต้องอาศัยความสมบูรณ์ของคอนทัวร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพไม่ดี เมื่อนำมาใช้กับฐานข้อมูลที่เป็นลายมือเขียน ในกรณีที่ลายเส้นการเขียนบางมากเป็นผลให้คอนทัวร์ที่ได้ไม่สมบูรณ์ สำหรับวิธีการลบจุดภาพที่ติดกันในแนวนอน เริ่มจากการลบเส้นแนวนอนของจุดภาพนั้นออกจนกระทั่งเหลือเพียงเส้นในแนวดิ่งที่เอียงออกจากแกนแนวตั้ง จากนั้นหามุมของเส้นที่เอียงเทียบกับแกนอ้างอิงในแนวดิ่ง จากนั้นเฉลี่ยมุมที่ได้เพื่อปรับแก้ความเอียง การปรับแก้ความเอียงของตัวอักษรมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. สแกนภาพข้อมูลในแนวนอนครั้งละบรรทัดและเก็บค่าจำนวนความหนาของจุดภาพที่พบบนเส้นบรรทัดนั้นๆ ถ้าพบว่าความหนาของเส้นบรรทัดใด เกินจากค่าระดับการตัดสินใจจะทำการลบจุดภาพบนเส้นบรรทัดนั้นออก ทำการสแกนและลบจุดภาพดังกล่าวไปครั้งละบรรทัดตลอดทั้งภาพข้อมูล สำหรับค่าระดับการตัดสินใจคำนวณจากความหนาเฉลี่ยของลายเส้นตลอดทั้งภาพ (Average Thickness Line - ATL) โดยกำหนดค่าระดับการตัดสินใจดังสมการ

$$\text{Threshold} \geq 1.8 \times \text{ATL} \tag{2.1}$$

2. ลบบริเวณลายเส้นภาพข้อมูลขนาดเล็กออก
3. จากขั้นตอนที่ 2 ภาพข้อมูลจะเหลือเพียงลายเส้นที่วางตัวในแนวดิ่ง วัดขนาดกรอบภาพของลายเส้นที่เหลือทั้งหมด คำนวณมุมเทียบจากกรอบภาพแล้วนำมาหาค่ามุมเฉลี่ยเพื่อใช้เอียงภาพข้อมูลกลับคืน เทียบกับแกนอ้างอิงในแนวดิ่ง
4. หมุนภาพข้อมูลกลับด้วยค่ามุมเฉลี่ยที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 3 สามารถคำนวณระยะจุดภาพใหม่ได้จากสมการ ดังนี้

$$x' = x - y \cdot \tan\theta \tag{2.2}$$

$$y' = y \tag{2.3}$$

2.4.2 การตรวจเส้นบรรทัด

การตรวจเส้นบรรทัด (Line Detection) เป็นกรรมวิธีการแบ่งบริเวณภาพการพิจารณาแยกออกเป็น 3 บริเวณ ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.3 ดังนั้นเส้นบรรทัดจะประกอบด้วย 2 เส้น คือ เส้นบรรทัดบนและเส้นบรรทัดล่าง สำหรับการแยกตัวอักษรขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่มีความสำคัญมาก เพราะเส้นบรรทัดที่คำนวณได้จะถูกนำมาใช้เพื่อประเมินขนาดภาพตัวอักษรและช่วยในการกำหนดค่าระดับการตัดสินใจต่างๆ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

จากงานวิจัยของ Zhao, Su, และ Xia (1997) เสนอวิธีการตรวจเส้นบรรทัด ด้วยวิธีการฉายจุดภาพลงบนแกนแนวตั้ง (Y-axis) เริ่มจากการคำนวณค่าพิกัดบนแกน y ที่ให้ความหนาแน่นของจุดภาพที่มากที่สุด ($y_{P_{max}}$) จากค่าพิกัด y ที่ได้นั้นนำมาตรวจเส้นบรรทัดบน โดยการวัดความหนาแน่นของจุดภาพ การตรวจเส้นบรรทัดบนจะตรวจความหนาแน่นของจุดภาพ เริ่มจากพิกัด $y_{P_{max}}$ เลื่อนขึ้นไปครั้งละบรรทัด จนกระทั่งพบเส้นบรรทัดที่มีค่าความหนาแน่นของจุดภาพไม่เกินค่าระดับการตัดสินใจที่กำหนดไว้ ดังสมการที่ 2.6 เช่นเดียวกัน สำหรับการตรวจเส้นบรรทัดล่าง จะตรวจความหนาแน่นของจุดภาพ เริ่มจากพิกัด $y_{P_{max}}$ เลื่อนลงไปครั้งละบรรทัด จนกระทั่งพบเส้นบรรทัดที่มีค่าความหนาแน่นของจุดภาพไม่เกินค่าระดับการตัดสินใจที่กำหนดไว้ ดังสมการที่ 2.7

เส้นบรรทัดบนโดยการวัดความหนาแน่นของจุดภาพ ด้วยการตรวจจุดภาพเลื่อนขึ้นและเส้นบรรทัดล่างโดยการวัดความหนาแน่นของจุดภาพ ด้วยการตรวจจุดภาพเลื่อนลง ซึ่งค่าความหนาแน่นของจุดภาพนั้นจะมีค่าไม่เกินค่าระดับการตัดสินใจที่กำหนดไว้ ดังสมการ

$$P_{max} = \max_{y} P_h(y) \tag{2.4}$$

$$y_{P_{max}} = \max_{y} y \in \{y \mid P_h(y) = P_{max}\} \tag{2.5}$$

$$y_{upper_baseline} = \min_{y} y \in \{y \mid P_h(y) \le \frac{1}{4}P_{max}, 0 < y \le y_{P_{max}}\} \tag{2.6}$$

$$y_{lower_baseline} = \max_{y} y \in \{y \mid P_h(y) \le \frac{1}{3}P_{max}, y_{P_{max}} < y < y_{max}\} \tag{2.7}$$

เมื่อ $P_h(y)$ คือ ความหนาแน่นของจุดภาพที่พิกัด y ใดๆ

P_{max} คือ ความหนาแน่นของจุดภาพที่มากที่สุด

$y_{P_{max}}$ คือ ค่าพิกัดบนแกนแนวตั้ง ที่ให้ค่าความหนาแน่นของจุดภาพที่มากที่สุด

จากงานวิจัยของ วิชา พานิช (2539) เสนอวิธีการตรวจเส้นบรรทัดของประโยค ด้วยวิธีการฉายจุดภาพลงบนแกนแนวตั้ง (Horizontal Projection) เริ่มจากการคำนวณค่า $y_{P_{max}}$ เช่นกัน สำหรับการตรวจเส้นบรรทัดใช้การลากเส้นตรงตัดฮิสโตแกรมการฉายจุดภาพที่ได้ แล้วบันทึกช่วงกว้างที่สูงกว่า P_{max} / N โดย N แทนค่าพิกัดการตัดช่วงกว้างของฮิสโตแกรมการฉายจุดภาพ โดยค่า N ใดที่ให้ความกว้างคงที่จะตัดสินใจเป็นเส้นระดับบรรทัด โดยค่าพิกัด y ที่ขอบด้านบนแทนเส้นบรรทัดบนและค่าพิกัด y ที่ขอบด้านล่างแทนเส้นบรรทัดล่างตามลำดับ

2.4.3 การแยกส่วนภาพ

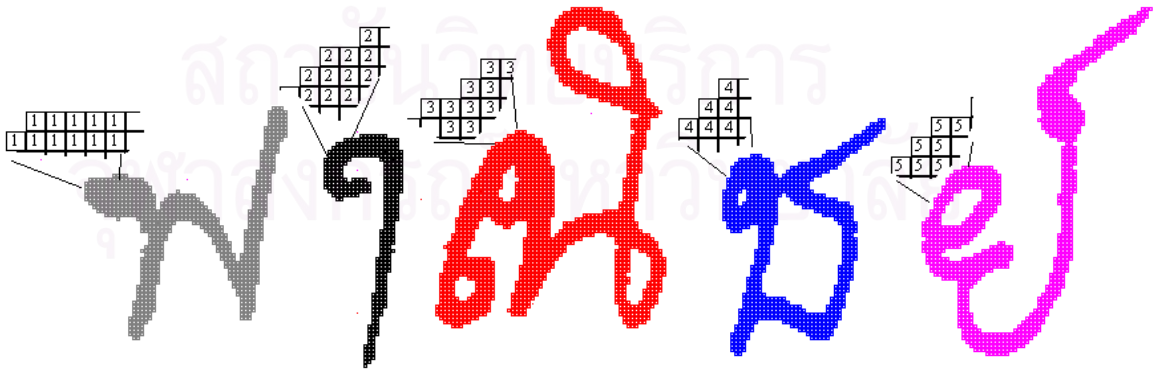
การแยกส่วนภาพเป็นกรรมวิธีในการแยกภาพข้อมูลที่ต้องการพิจารณาออกจากภาพข้อมูลส่วนอื่นๆ ดังที่ได้กล่าวไว้บ้างแล้ว ในหัวข้อ 2.1.1 โดยนำมาใช้ในการประมวลผลเพื่อแยกภาพข้อมูลใดๆ ซึ่งวางรวมอยู่ภายในพื้นที่การพิจารณาเดียวกัน จากงานวิจัยของ Zhao, Su, และ Xia (1997) ได้นำเสนอวิธีการแยกส่วนภาพด้วยการทำคอนทัวร์รอบส่วนภาพข้อมูลและบันทึกตำแหน่งคอนทัวร์ เพื่อใช้แยกภาพข้อมูลออกจากกัน จากวิธีการตรวจคอนทัวร์ของ ประเสริฐ ฉอเรืองวิวัฒน์ (2540) ใช้ Kirsch Edge Detection ที่นำมาใช้เพื่อเน้นขอบภาพตัวอักษร ในงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการตรวจคอนทัวร์ด้วย Kirsch Edge Detection มาทดสอบกับฐานข้อมูลภาพตัวอักษรพบว่าบางส่วนของคอนทัวร์มีการติดกันของแนวเส้นคอนทัวร์ เนื่องจากความหนาลายเส้นภาพข้อมูลบางส่วนมีความกว้างเพียง 2 จุดภาพ ทำให้ส่วนภาพที่แยกได้ไม่สมบูรณ์ ในงานวิจัยนี้เสนอการแยกส่วนภาพด้วยการสร้างความแตกต่างในแต่ละส่วนภาพข้อมูลที่ตรวจพบ โดยใช้ตัวเลขกำกับลงบนแต่ละส่วนภาพข้อมูล ให้เกิดความแตกต่างซึ่งกันและกัน มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

กำหนดให้ B(P) คือ ค่าไบนารีของจุดภาพ P เมื่อ P = 1 แทนจุดภาพข้อมูล และ P = 0 แทนพื้นหลังของภาพข้อมูล และกำหนดให้ n = 1,2,3,… ซึ่งเป็นตัวเลขที่ใช้กำกับจุดภาพ โดยเงื่อนไขเริ่มต้น n = 1

1. ตรวจจุดภาพข้อมูลเริ่มต้น (P=1) โดยเริ่มจากกรอบมุมซ้ายบนไปยังกรอบมุมขวาล่าง จนกระทั่งพบจุดภาพแรก
2. แทนจุดภาพที่พบในขั้นตอนที่ 1 ด้วยตัวเลขที่ต่างจากตัวเลขเดิม กำหนดให้เป็น n = n+1
3. ทำการเปลี่ยนจุดภาพข้างเคียงทั้งหมด ด้วยค่า n ที่ใช้ในขั้นตอนที่ 2 การเปลี่ยนจุดภาพข้างเคียงจะใช้หน้าต่างขนาด 3x3 ตรวจเลื่อนจุดภาพข้อมูลที่อยู่ติดกัน
4. กลับไปเริ่มทำขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 ใหม่จนกว่าจะครบทั้งบริเวณพื้นที่ภาพที่สนใจ

เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนดังกล่าวส่วนภาพข้อมูลจะมีความแตกต่างซึ่งกันและกัน โดยมีค่าเริ่มต้นจาก 1 และเพิ่มขึ้นเป็น 2, 3, 4 ตามจำนวนส่วนภาพที่พบบนพื้นที่ภาพข้อมูลทั้งหมด ดังนั้นเมื่อต้องการแยกส่วนภาพข้อมูลใด สามารถนำส่วนภาพข้อมูลนั้นออกมาประมวลผลได้ จากค่าตัวเลขอ้างอิงซึ่งกำกับในแต่ละส่วนภาพข้อมูล

(ก) ภาพต้นแบบ ค่า 1 แทนจุดภาพข้อมูลที่เห็นเป็นสีดำ และค่า 0 แทนจุดภาพพื้นหลัง



(ข) ค่าตัวเลขอ้างอิงของจุดภาพซึ่งกำกับในแต่ละส่วนภาพข้อมูล เมื่อผ่านการแยกส่วนภาพ (หรือแทนด้วยระดับสีที่กำกับในแต่ละส่วนภาพข้อมูล เพื่อให้เกิดความแตกต่างซึ่งกันและกัน)

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการแยกส่วนภาพ

2.4.4 กรรมวิธีการทำโครงร่างบาง

การทำโครงร่างบางเป็นกรรมวิธีการแปลงข้อมูลภาพต้นแบบเหลือเพียงโครงร่างภาพ ที่มีความหนาเพียง 1 จุดภาพ ดังรูปที่ 2.11 ผลลัพธ์ของการทำโครงร่างบางที่ดีควรมีความต่อเนื่องของลายเส้นโครงร่าง และสามารถเป็นตัวแทนของภาพต้นแบบได้เป็นอย่างดี ตามที่ได้กล่าวไว้ในงานของยุทธนา บัวเสน (2540) ภาพที่ผ่านกรรมวิธีการทำโครงร่างบางจะได้คุณลักษณะของจุดต่อในภาพ ซึ่งประกอบด้วย

- จุดปลาย คือจุดที่มีผลรวมของจุดรอบข้างเท่ากับหนึ่ง
- จุดต่อเนื่อง คือจุดที่มีผลรวมของจุดรอบข้างเท่ากับสอง
- จุดแยกสามและสี่ คือจุดที่มีผลรวมของจุดรอบข้างเท่ากับสามและสี่ตามลำดับ

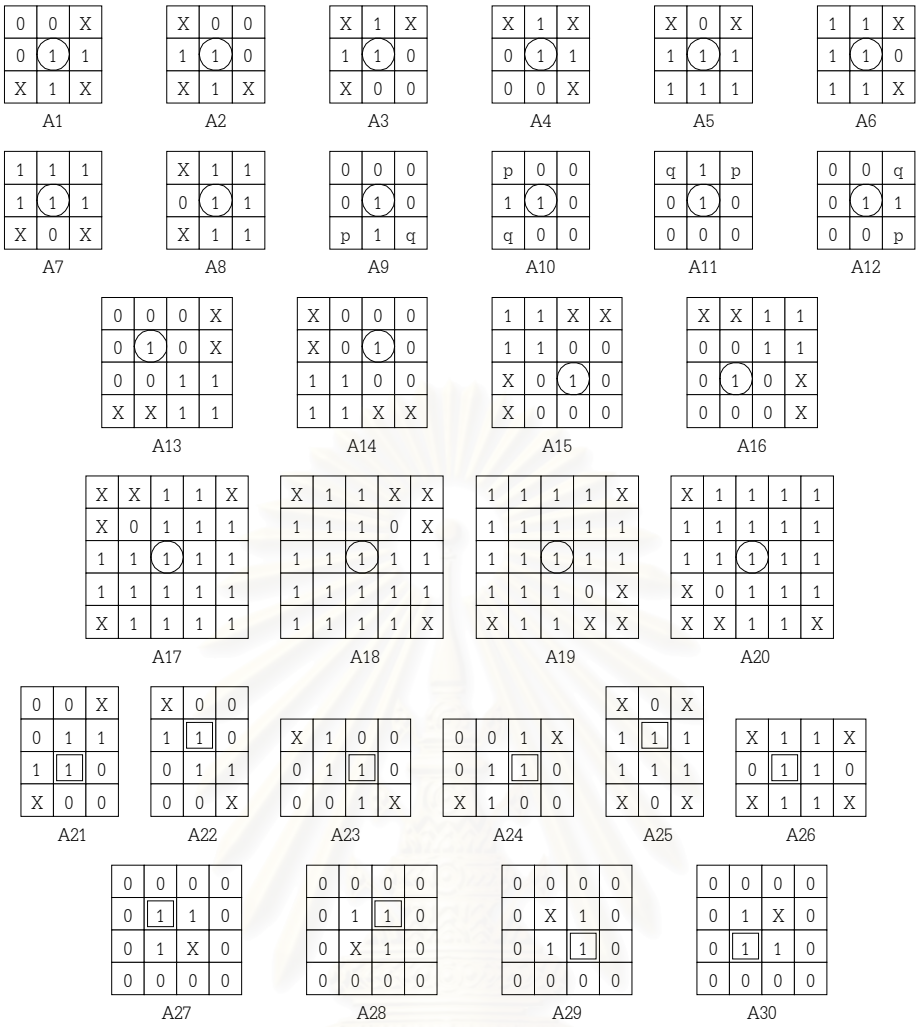
เนื่องจากการทำโครงร่างบางมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้กรรมวิธีการทำโครงร่างด้วย One-Pass Parallel Thinning ของ Jang และ Chin (1992) เพราะให้รายละเอียดคุณลักษณะของจุดต่อภาพได้ดีเพียงพอ

กรรมวิธี One-Pass Parallel Thinning มีหน้ากาก (Mask) ที่ใช้ในการทำโครงร่างบางทั้งหมด 30 รูปแบบ ซึ่งหน้ากาก A1 ถึง A20 เป็นแบบรูปการทำโครงร่างบาง ในขณะที่ A21 ถึง A30 เป็นแบบรูปการเรียกกลับคืน (Restoring) p และ q เป็นตัวดำเนินการทางตรรกศาสตร์: p or q = 1 และ X เป็นค่าที่ไม่สนใจ ดังรูปที่ 2.12 การทำโครงร่างบางมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. จุดภาพจะถูกทำการตรวจสอบตามแบบรูปการทำโครงร่างบาง (Template) ทั้งหมด
2. หากจุดภาพที่ถูกตรวจอยู่ในแบบรูป A1 ถึง A20 จะถูกลบจุดภาพ ในขณะที่จุดภาพอยู่ในอยู่แบบ A21 ถึง A30 จะถูกกู้กลับคืนมา

(ก) ภาพต้นแบบ (ข) ภาพที่ผ่านการทำโครงร่างบาง

รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการทำโครงร่างบาง



รูปที่ 2.12 แบบรูปการทำโครงร่างบาง

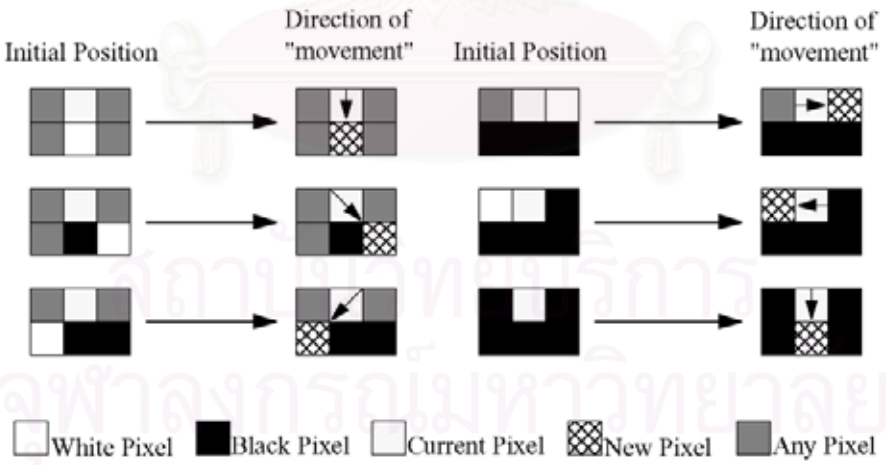
2.4.5 ระเบียบวิธี Drop Falling

ระเบียบวิธี Drop Falling เป็นเทคนิคที่ประกอบขึ้นใช้สำหรับการแยกตัวอักษรที่ถูกจำแนกอยู่ใน Nonrecognition-based Segmentation ซึ่งมีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน รวมทั้ง ระเบียบวิธี Min-Max, Hit and Defect และคุณลักษณะทางโครงสร้าง (Structure Feature) ที่ได้กล่าวไว้ในงานวิจัยของ Salman Amin Khan (1998)

จากเดิมระเบียบวิธี Drop Falling ถูกนำมาใช้ในการแยกตัวเลขแบบติดกัน 2 ตัว (Two Connected) และประยุกต์ใช้กับตัวเลขที่เรียงติดกันเป็นแถว (Contiguous Row Partition) โดยทำงานร่วมกับระบบการรู้จำ ซึ่งมีหน้าที่ในการตรวจสอบผลลัพธ์ภาพที่ตัดแยกได้ เพื่อยืนยันความถูกต้องของเส้นทางการแยกภาพนั้น หากระบบรู้จำปฏิเสธหรือไม่สามารถรู้จำภาพได้ จะส่งข้อมูลภาพย้อนกลับมายังกระบวนการแยกตัวอักษรอีกครั้งเพื่อตรวจเส้นทางการแยกใหม่

ในงานวิจัยนี้ได้นำระเบียบวิธี Drop Falling มาทดสอบกับฐานข้อมูล พบว่ามีเส้นทางการตัดแยกที่ไม่ถูกต้อง เนื่องจากระเบียบวิธีการนี้พิจารณาลักษณะการกัดเซาะ (Seeping) ของขอบภาพ เมื่อตำแหน่งเริ่มต้นอยู่ห่างจากบริเวณที่มีการติดกันจริงมาก ทำให้มีโอกาสที่จะพบการกัดเซาะในบริเวณขอบภาพที่ไม่เรียบก่อนถึงจุดที่ติดกันจริง นอกจากนี้ตัวอักษรภาษาไทยหลายตัวประกอบด้วยลายเส้นที่มีลักษณะการกัดเซาะของขอบภาพอยู่แล้ว เช่น ต พ ห เป็นต้น ทำให้เกิดการตัดแยกภายในตัวอักษร จะเห็นได้ว่าความถูกต้องของระเบียบวิธีนี้ขึ้นกับจุดเริ่มต้นของการค้นหา หากจุดเริ่มต้นของการค้นหาอยู่ใกล้บริเวณที่มีการติดกันจริง จะทำให้สามารถตัดแยกได้อย่างถูกต้อง

สำหรับหลักการทำงานของระเบียบวิธี Drop Falling คือการตรวจเส้นทางการตัดแยกภาพจากเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดภาพด้วยการจำลองลักษณะการตก (Falling) หรือกลิ้ง (Rolling) ไปบนส่วนประกอบภาพที่ติดกัน การทำงานมี 4 รูปแบบ ประกอบด้วย บน-ซ้าย (Top-Left หรือ Left Descending) , บน-ขวา (Top-Right หรือ Right Descending) , ล่าง-ซ้าย (Bottom-Left หรือ Left Ascending) และ ล่าง-ขวา (Bottom-Right หรือ Right Ascending) ซึ่งจะแตกต่างกันในส่วนของตำแหน่งจุดภาพเริ่มต้นและทิศทางของการตก โดยในการเคลื่อนที่ของจุดภาพ จะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งจุดภาพปัจจุบัน (Current Pixel) เป็นจุดภาพอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบหาทิศทางในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งจุดภาพถัดไป (Next Pixel) สำหรับหลักการเลือกใช้ว่าจะเป็นรูปแบบการทำงาน จะพิจารณาจากผลลัพธ์ที่ได้จากระบบรู้จำ โดยจะเปลี่ยนไปใช้รูปแบบถัดไปเมื่อภาพที่ตัดแยกได้ไม่ถูกยอมรับจากระบบรู้จำ



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและทิศทางการตรวจเลื่อนจุดภาพสำหรับระเบียบวิธี Drop Falling ที่มีรูปแบบการทำงานเป็น บน-ซ้าย

วิธีการตรวจเส้นทางของระเบียบวิธี Drop Falling ที่มีรูปแบบการทำงานเป็น บน–ซ้าย เริ่มจากการตรวจจุดภาพเริ่มต้น โดยเริ่มสแกนจุดภาพจากกรอบภาพด้านบน-ซ้าย ไปครั้งละแถวจนกระทั่งพบจุดภาพดำที่อยู่บริเวณขอบของภาพ โดยมีตำแหน่งจุดภาพทางขวาเป็นช่องว่าง จุดภาพนี้จะถูกใช้เป็นจุดภาพเริ่มต้นสำหรับเส้นทางการตก สำหรับทิศทางและตำแหน่งการเคลื่อนที่ของจุดภาพเป็นไปตามรูปแบบที่กำหนด โดยจะเคลื่อนที่ชิดทางด้านซ้ายของช่องว่างเป็นหลัก โดยจะทำการตรวจเลื่อนจุดภาพต่อเนื่องไปตามรูปแบบดังกล่าวจนกระทั่งสุดกรอบภาพด้านล่าง

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดภาพ

วิธีการตรวจเส้นทางของรูปแบบการทำงานที่เหลืออีก 3 แบบ ดังนี้ รูปแบบ บน–ขวา จะทำการตรวจจุดภาพเริ่มต้นโดยเริ่มสแกนจุดภาพจากกรอบภาพด้านบนเช่นเดิมแต่จะย้ายจากทางซ้ายมาเป็นทางขวาแทน การเคลื่อนของจุดภาพให้ชิดทางด้านขวาของช่องว่างแทน สำหรับ รูปแบบ ล่าง–ซ้าย จะทำการตรวจจุดภาพเริ่มต้น โดยเริ่มสแกนจุดภาพจากกรอบภาพด้านล่าง-ซ้ายแทน การเคลื่อนของจุดภาพให้ชิดทางด้านซ้ายของช่องว่างแทน และสำหรับ รูปแบบ ล่าง–ขวา จะทำการตรวจจุดภาพเริ่มต้น โดยเริ่มสแกนจุดภาพจากกรอบภาพด้านล่าง-ขวา การเคลื่อนของจุดภาพให้ชิดทางด้านขวาของช่องว่างแทน

จากวิธีการในแต่ละรูปแบบที่ได้กล่าว จะใช้หลักการเคลื่อนที่จุดภาพแบบเดียวกัน หากแต่จะเริ่มที่มุมอ้างอิงแตกต่างกัน ดังนั้นหากจะนำชุดความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและทิศทางการตรวจเลื่อนจุดภาพของรูปแบบ บน–ซ้าย มา

ปรับ จะทำโดยการพลิกกลับ (Flip) ภาพข้อมูลแทน โดยจากรูปแบบ บน–ซ้าย ซึ่งอ้างอิงกับกรอบภาพที่มุมทางบน-ซ้าย ดังนั้นในกรณีของรูปแบบ บน–ขวา เราจะทำการกลับภาพจากทางขวามาทางซ้ายแทน และสำหรับรูปแบบ ล่าง–ขวา ก็จะกลับภาพจากล่างขึ้นบนและพลิกจากขวามาซ้ายแทน เป็นต้น สำหรับเส้นทางการเคลื่อนที่ของจุดภาพที่ได้จะถูกนำมาแปลงกลับคืนเพื่อให้พิกัดของจุดภาพอิงตามภาพปรกติ

การแปลงเส้นทางการเคลื่อนที่จุดภาพกลับคืนของ รูปแบบ บน–ขวา ดังสมการ

$$P_x^i = w - Pinv_x^i \tag{2.8}$$

$$P_y^i = Pinv_y^i \tag{2.9}$$

การแปลงเส้นทางการเคลื่อนที่จุดภาพกลับคืนของ รูปแบบ ล่าง–ซ้าย ดังสมการ

$$P_x^i = Pinv_x^i \tag{2.10}$$

$$P_y^i = h - Pinv_y^i \tag{2.11}$$

การแปลงเส้นทางการเคลื่อนที่จุดภาพกลับคืนของ รูปแบบ ล่าง–ขวา ดังสมการ

$$P_x^i = w - Pinv_x^i \tag{2.12}$$

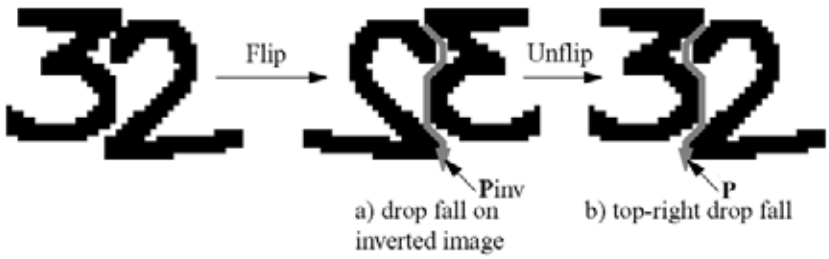
$$P_y^i = h - Pinv_y^i \tag{2.13}$$

เมื่อ $i = 1,2,...,n$ โดยที่ n คือ ความยาวของเส้นทาง $Pinv$

$Pinv_x$ แทน เวกเตอร์ของพิกัดบนแกนแนวนอน

$Pinv_y$ แทน เวกเตอร์ของพิกัดบนแกนแนวตั้ง

w และ h แทนความกว้างและความสูงของภาพ



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการพลิกกลับรูปภาพของระเบียบวิธี Drop Falling
จากรูปแบบ บน-ซ้าย ไปเป็นรูปแบบ บน-ขวา

2.4.6 การวัดปริมาณการซ้อนทับกันของภาพ (Overlapping)

การวัดปริมาณการซ้อนทับกันของภาพ จะนำไปใช้คำนวณขนาดภาพที่ตัดแยกได้ เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของขนาดตัวอักษร

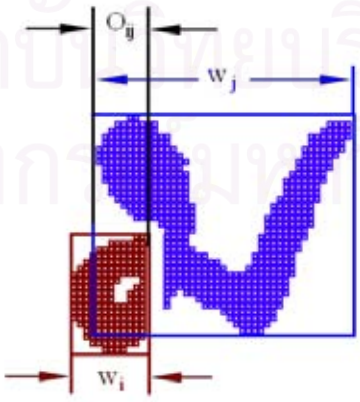
ปริมาณการซ้อนทับกันของภาพ i บนภาพ j ($O_{p_{ij}}$) กำหนดโดย อัตราส่วนความกว้างของภาพ i ที่ซ้อนทับกับภาพ j ต่อความกว้างของภาพ i ซึ่งสามารถเขียนในรูปร้อยละ ดังสมการ

$$O_{p_{ij}} = 100 \times (O_{ij} / w_i) \qquad (2.14)$$

เมื่อ O_{ij} คือ ความกว้างของภาพ i ที่ซ้อนทับกับภาพ j

w_i คือ ความกว้างของภาพ i

ค่าดังกล่าวจะใช้บอกปริมาณการซ้อนทับกันของส่วนภาพใดๆ ที่นำมาวิเคราะห์ นอกจากนั้นยังนำมาใช้เพื่อตรวจสอบส่วนภาพที่ตัดแยกมาได้ ว่ามีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะประเมินให้เป็นตัวอักษรได้หรือไม่ โดยปริมาณการซ้อนทับกันที่คำนวณได้จะนำมาใช้ตัดสินใจในการแยกหรือรวมส่วนภาพดังกล่าวต่อไป (Split and Merge Component)



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างปริมาณการซ้อนทับของภาพ

2.4.7 การตรวจสอบเส้นตรง

ในการพิจารณารูปร่างของเส้นใดเส้นหนึ่ง ว่ามีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือไม่ จะใช้การตรวจสอบเส้นตรง (Straight Line Detection) การตรวจสอบเส้นตรงทำโดยการสุ่มจุดภาพบนเส้นขึ้นมาจำนวนหนึ่ง จากจำนวนจุดภาพที่สุ่มมานี้จะนำไปแทนในรูปเวกเตอร์ แล้ววัดค่ามุมระหว่างเวกเตอร์ หากค่ามุมที่วัดได้จากคู่เวกเตอร์มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียง 180 องศา สามารถสรุปได้ว่าเส้นดังกล่าวมีลักษณะเป็นเส้นตรง

วิธีการตรวจสอบมีรายละเอียดดังนี้ กำหนดความยาวของเส้นเท่ากับ L คำนวณจุดกึ่งกลางของเส้น โดยใช้จุดดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นของเวกเตอร์ ต่อจากนั้นแบ่งเส้นออกเป็นจำนวน 2n ส่วนเท่าๆ กัน เมื่อ n แทนจำนวนมุมเพื่อใช้ในการตรวจสอบเส้นตรง คำนวณเวกเตอร์และขนาดของเวกเตอร์จากเส้นที่แบ่ง โดยทิศทางของเวกเตอร์ให้วัดจากจุดกึ่งกลางไปยังจุดปลายของเส้นในแต่ละด้าน จากนั้นจึงคำนวณค่ามุมระหว่างแต่ละคู่เวกเตอร์ต่างๆ วิธีการคำนวณเวกเตอร์ ขนาดของเวกเตอร์ และมุมของคู่เวกเตอร์ ดังสมการ

$$\vec{V} = (x_v - x_c) + (y_v - y_c) \tag{2.15}$$

$$|\vec{V}| = \sqrt{(x_v - x_c)^2 + (y_v - y_c)^2} \tag{2.16}$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\vec{A}.\vec{B}}{|\vec{A}|.|\vec{B}|}\right) \tag{2.17}$$

เมื่อ x_c , y_c แทน พิกัดที่จุดกึ่งกลางเส้น

x_v , y_v แทน พิกัดที่จุดปลายของเส้น

$\vec{V}$ แทน รูปเวกเตอร์ใด ๆ

$\vec{A}$, $\vec{B}$ แทน เวกเตอร์ที่วัดจากจุดกึ่งกลางไปยังจุดปลายของเส้นในแต่ละด้าน

θ คือ มุมระหว่างเวกเตอร์

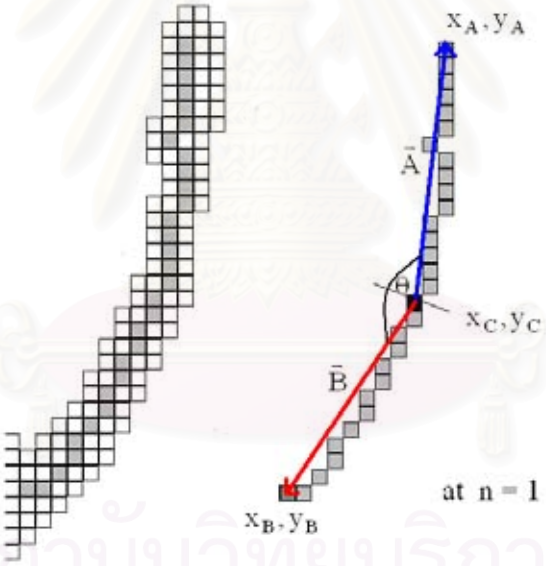
ในการกำหนดค่า n จะขึ้นกับความยาวของเส้นที่ทำการพิจารณา เพราะการตรวจสอบเส้นที่มีความยาวมาก เพื่อให้ทราบข้อมูลของรูปร่างเส้นได้มากพอ จำเป็นที่จะต้องสุ่มจุดบนเส้นขึ้นมาในจำนวนที่มากด้วย โดยค่า θ ทั้งหมดที่

คำนวณได้จากคู่เวกเตอร์ หากมีค่าใกล้เคียงกับ 180 องศา เราสามารถสรุปได้ว่ารูปร่างของเส้นดังกล่าวมีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$180 - \theta_i \leq \beta \qquad \text{เมื่อ } i=1,...,n \tag{2.18}$$

เมื่อ β แทน มุมการยอมรับความเป็นเส้นตรง

ตามที่ได้บรรยายวิธีการตรวจสอบเส้นตรงไว้แล้วข้างต้น ข้อมูลที่ต้องการทราบอีกอย่างหนึ่งของเส้นตรงคือ ลักษณะการวางตัวของเส้นว่าเอียงทำมุมกับแกนแนวตั้งเท่าใด เราจะตรวจสอบด้วยการคำนวณเวกเตอร์เช่นเดียวกัน โดยวัดจากตำแหน่งจุดปลายด้านหนึ่งไปยังจุดปลายอีกด้านหนึ่งของเส้นตรง โดยใช้สมการในการคำนวณเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการตรวจสอบความเป็นเส้นตรง

2.4.8 การตรวจสอบลายเส้นรอบจุดภาพ (Characteristic Line Detection)

การที่จะทราบว่าจุดภาพที่พิจารณาเป็นจุดเว้าหรือนูน เราต้องทราบถึงลักษณะลายเส้นที่สัมพันธ์อยู่รอบจุดภาพนั้น ซึ่งจะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของลายเส้นรอบๆ มาเปรียบเทียบ โดยเมื่อลายเส้นที่อยู่รอบมีการเปลี่ยนแปลงแบบเพิ่มขึ้นแสดงว่าจุดภาพที่พิจารณาเป็นจุดเว้า ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงแบบลดลงแสดงว่าจุดภาพที่พิจารณานั้นเป็นจุดนูน

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของลายเส้นจะพิจารณาจากการตรวจเลื่อนลำดับจุดภาพบนลายเส้นว่าอยู่ในที่ตำแหน่งสูงกว่าหรือต่ำกว่าเมื่อเทียบกับจุดภาพที่อยู่ข้างเคียง จากตำแหน่งจุดภาพที่พิจารณาซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดอ้างอิงในการกำหนดขอบเขตบริเวณลายเส้นรอบข้างที่จะนำมาตรวจตรวจสอบลายเส้นโดยใช้ลำดับจุดภาพที่ขอบของลายเส้น จากนั้นตรวจเลื่อนจุดภาพต่อเนื่องไปครั้งละหนึ่งจุดภาพตามลำดับ ซึ่งทำคล้ายกับ Single Run Stretch พร้อมกับเปรียบเทียบตำแหน่งจุดภาพ โดยจะพิจารณาแยกตามแกนของภาพ ลำดับจุดภาพที่ขอบของลายเส้นและทิศทางการตรวจเลื่อนจุดภาพตามแกนแนวนอนไปทางขวาดังรูปที่ 2.18

ตัวอย่าง กรณีลายเส้นมีค่าการเปลี่ยนแปลง (N) แบบเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเทียบกับแกนแนวนอน ไปทางขวา สามารถเขียนในรูปร้อยละ ดังสมการ

$$N = 100 \times \left(\frac{\sum_{i=x_{ref}}^{x_{right}} (y_{i+1} - y_i)}{x_{right} - x_{ref}}\right) \quad , y_{i+1} \geq y_i \tag{2.19}$$

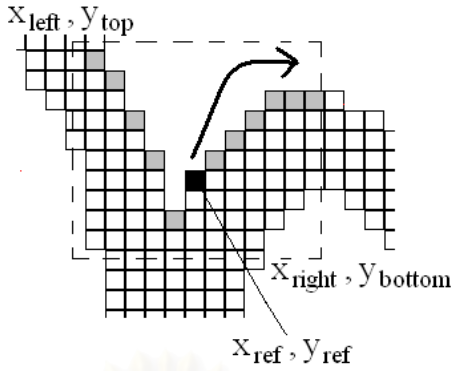
เมื่อ x_{ref} , y_{ref} แทน ตำแหน่งจุดภาพที่ต้องการพิจารณาว่าเป็นจุดเว้าหรือจุดนูน

x_{left} , y_{top} แทน ตำแหน่งจุดภาพที่กรอบภาพด้านบนซ้าย

x_{right} , y_{bottom} แทน ตำแหน่งจุดภาพที่กรอบภาพด้านล่างขวา

i แทน ค่าพิกัดบนแกนแนวนอน (x-axis)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการตรวจลายเส้นรอบจุดภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

กระบวนการแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ

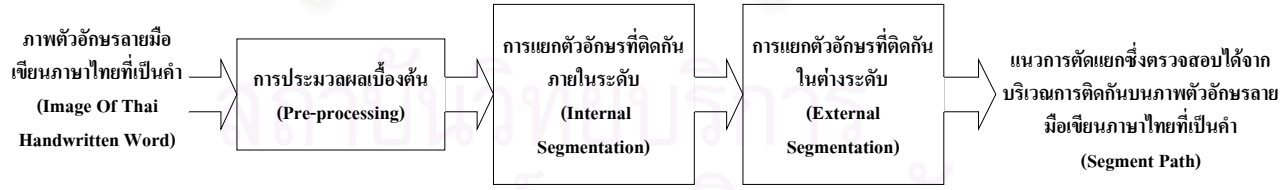
งานวิจัยนี้ เสนอกระบวนการแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงภาพ (Image Based or Dissection) ร่วมกับความรู้ฮิวริสติค (Heuristic Knowledge)โดยความรู้ฮิวริสติคถูกนำมาใช้จำแนกโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทย เพื่อวิเคราะห์หาบริเวณติดกันของตัวอักษร และบริเวณขอบเขตของโครงสร้างตัวอักษร แล้วนำมาสร้างกฎเกณฑ์การตัดสินใจ เลือกแนวทางการแยกการติดกันของตัวอักษรที่เหมาะสม (Segment Path)

กระบวนการแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. การประมวลผลเบื้องต้น (Pre-processing) เป็นขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของภาพข้อมูลให้มีความเหมาะสม ก่อนที่จะนำไปประมวลผลในขั้นตอนอื่นต่อไป

2. การแยกตัวอักษรที่ติดกันภายในระดับ (Internal Segmentation) เป็นขั้นตอนการแยกตัวอักษรที่ติดกันในระดับกลาง ด้วยการตัดแยกในแนวตั้ง เพื่อแยกตัวอักษรด้านซ้ายและด้านขวาออกจากกัน (ซ้าย-ขวา)

3. การแยกตัวอักษรที่ติดกันต่างระดับ (External Segmentation) เป็นขั้นตอนการแยกตัวอักษรที่ติดกันต่างระดับ ซึ่งเกิดจาก ตัวอักษรระดับบนติดอยู่กับตัวอักษรระดับกลาง หรือ ตัวอักษรระดับล่างติดอยู่กับตัวอักษรระดับกลาง ด้วยการตัดแยกในแนวนอน เพื่อแยกตัวอักษรด้านบนหรือด้านล่างออกจากตัวอักษรระดับกลาง (บน-ล่าง)



รูป 3.1 แผนผังการทำงานของกระบวนการแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ

3.1 ลักษณะการติดกันของตัวอักษรภาษาไทย

ทำการวิเคราะห์ลักษณะการติดกันของตัวอักษรจากกลุ่มตัวอย่างภาพคำ เก็บข้อมูลจากผู้เขียนจำนวน 25 คน และชุดคำศัพท์ 24 คำ พบว่าลักษณะการติดกันของตัวอักษร มีสาเหตุดังนี้

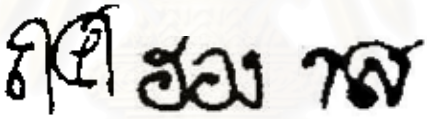
ประการที่ 1 ตัวอักษรในระดับเดียวกันติดกัน

สาเหตุเกิดจากลายเส้นด้านหน้าของตัวอักษรตัวหลังล้ำเข้ามาติดกับลายเส้นด้านหลังของตัวอักษรตัวหน้า ประเภทลายเส้น ดังรูปที่ 3.2

(ก) เส้นรอยหยัก

(ข) หัว

(ค) เส้นปลายหาง



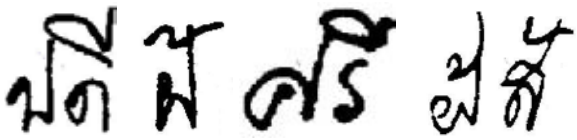
(ง) เส้นโค้ง

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างภาพตัวอักษรในระดับเดียวกันติดกัน

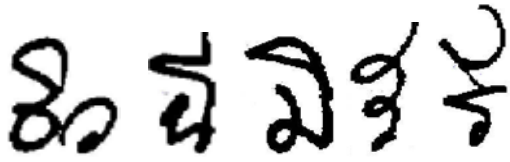
ประการที่ 2 ตัวอักษรที่อยู่ต่างระดับติดกัน แบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

- กรณีการติดกันบริเวณแนวเส้นบรรทัดด้านบน เกิดขึ้นเนื่องจากตัวอักษรประเภทที่มีหาง เช่น ส ช ป ซึ่งหางยาวสูงตรงหรือเฉียงเลยแนวเส้นบรรทัดบนขึ้นไปมาก บางครั้งทำให้ลากหางยาวขึ้นไปติดกับสระระดับบนที่อยู่เหนือหรือเยื้องออกไปทางขวา อีกทั้งยังเกิดจากการเขียนแบบติดกันไป ซึ่งพบได้บ่อยในกรณี ิ ิ ี ี เป็นต้น ดังในรูปที่ 3.3 ก) และ ข)

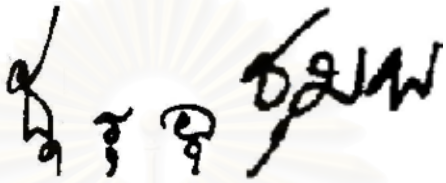
- กรณีการติดกันที่บริเวณใต้แนวเส้นบรรทัดล่าง เกิดจากการเขียนสระอุ อู ติดกับพยัญชนะ ดังในรูปที่ 3.3 ค)



(ก) เส้นติดกันจากตัวอักษรประเภทที่มีหางยาว



(ข) เส้นติดกันจากการเขียนแบบติดกันไป



(ค) เส้นติดกันจากสระอุ อู

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างภาพอักษรที่อยู่ต่างระดับติดกัน

3.2 ความรู้ฮิวริสติคด้านโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทย (Heuristic Knowledge with THAI Structure)

ตามที่ได้กล่าวถึงฮิวริสติคบ้างแล้วในบทที่ 2 ความรู้ฮิวริสติคเป็นความรู้ที่ว่าด้วยเรื่องเกี่ยวกับโครงสร้างข้อมูล (Structure Information) ซึ่งกล่าวถึงคุณลักษณะ 2 ลักษณะ คือ ลักษณะทางเรขาคณิต (Geometric Feature) และ ลักษณะทางสภาพภูมิศาสตร์ (Topologic Feature) เมื่อนำมาใช้วิเคราะห์กับโครงสร้างตัวอักษร ลักษณะทางเรขาคณิตจะเปรียบได้กับรูปร่างลายเส้นตัวอักษร ได้แก่ เส้นโค้ง เส้นตั้ง เส้นนอน เป็นต้น ในขณะที่ลักษณะทางสภาพภูมิศาสตร์จะเป็นข้อมูลที่บอกให้ทราบถึงตำแหน่งการวางตัวของรูปร่างลายเส้นตัวอักษรดังกล่าว โดยคุณลักษณะทั้งสองไม่ได้มีการจำกัดชนิดรูปร่างลายเส้นที่แน่นอนตายตัว หากแต่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างข้อมูลตัวอักษรในแต่ละภาษาที่นำมาวิเคราะห์ว่ามีลักษณะเด่นเป็นอย่างไร

ฮิวริสติคอาศัยการสังเกตรูปร่างตัวอักษร ทำการจัดกลุ่ม จำแนกรูปร่าง ออกมา เพื่อให้ครอบคลุมทั้งลักษณะโครงสร้างของตัวอักษรและจำนวนตัวอักษรในภาษานั้นๆ ซึ่งเป็นการใช้ลักษณะเด่นมาแบ่งกลุ่มตัวอักษร โดยพิจารณาจากสิ่งที่เกิดร่วมกัน (Intersection) ซึ่งจะได้กลุ่มเล็กออกมาก่อน จากนั้นจึงค่อยมาพิจารณาลักษณะพิเศษเฉพาะตัวอักษร มาใช้จำแนกอีกครั้งหนึ่ง

การนำฮิวริสติคมาวิเคราะห์ร่วมกับลักษณะการติดกันในหัวข้อที่ 3.1 จากโครงสร้างภาษาไทย 44 ตัวอักษร หากใช้คุณลักษณะทั้งสอง นั่นหมายถึงเป็นการนำโครงสร้างตัวอักษรมาเปรียบเทียบกับข้อมูลตัวอักษรที่ต้องการหาบริเวณการติดกันของตัวอักษรโดยตรง ด้วยการระบุบริเวณขอบเขตของตัวอักษรให้ได้มากที่สุด เพื่อให้บริเวณส่วนที่เหลือจะได้เป็นบริเวณการติดกันของ

ตัวอักษร แต่พบว่าในการที่จะกำหนดความชัดเจนของโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทยจำนวน 44 ตัว อักษรนั้น มีปริมาณค่อนข้างมาก และทำได้ยาก จึงลองวิเคราะห์ในทางกลับกัน โดยเลือกพิจารณาลายเส้นบริเวณการติดกันของตัวอักษรเป็นคุณลักษณะหลัก (ลายเส้นทางด้านหน้าและด้านหลังของตัวอักษร) และ พิจารณาลายเส้นบริเวณขอบเขตของตัวอักษรเป็นคุณลักษณะรองแทน ซึ่งพบว่าโครงสร้างลายเส้นส่วนใหญ่ของตัวอักษรภาษาไทย มีลักษณะเป็นลายเส้นเรียบจำนวนมาก ที่เป็นส่วนร่วมกันของตัวอักษร จึงใช้คุณลักษณะดังกล่าวมาจำแนกประเภทลายเส้นตัวอักษรเป็นอันดับแรก

โครงสร้างต้นไม้นำมาใช้จำแนกตัวอักษรออกเป็นกลุ่มย่อย เริ่มจากการแบ่งกลุ่มตัวอักษรอย่างหยาบๆ จากลักษณะลายเส้นเรียบตามที่กล่าวไว้ จากนั้นจึงวิเคราะห์เพื่อแยกย่อย ให้ได้ลักษณะตัวอักษรตัวใดตัวหนึ่งในแต่ละกลุ่มต่อไปอีก ซึ่งถือว่าเป็นการวิเคราะห์อย่างละเอียด โดยอาศัยคุณสมบัติของรูปร่างเช่นเดิม และพิจารณาแพร่กระจายออกไป

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำฮิวริสติคมาจัดจำแนกโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทย เพื่อนำไปวิเคราะห์หาลักษณะการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับและประเมินบริเวณขอบเขตของตัวอักษร การจำแนกโครงสร้างตัวอักษรจะจัดกลุ่มตามลักษณะโครงสร้างเส้นทางด้านหน้าและด้านหลังของตัวอักษร เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการติดกัน โดยแบ่งประเภทของลายเส้น ตามลักษณะ รอยหยัก ความโค้ง หัว จุดปลาย และเส้นตั้ง ดังรูปที่ 3.4

พิจารณาโครงสร้างลายเส้นด้านหลังของตัวอักษร แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม

กลุ่ม 1 แบบด้านหลังเรียบ มีจำนวน 30 ตัว ประกอบด้วย

ก ข ค ฆ ง จ ฌ ญ ฎ ฏ ฑ ฒ ด ต ถ ท บ ป ผ ฝ พ ฟ ภ ม ย ล ว ฬ อ า

กลุ่ม 2 แบบมีหัวทางด้านหลัง มีจำนวน 7 ตัว ประกอบด้วย

ฉ ณ น เ ไ ใ โ

กลุ่ม 3 แบบมีจุดปลายทางด้านหลัง มีจำนวน 10 ตัว ประกอบด้วย

ช ซ ฐ ธ ร ส ศ ษ ห ฮ

พิจารณาโครงสร้างลายเส้นด้านหน้าของตัวอักษร แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม

กลุ่ม 1 แบบมีรอยหยักทางด้านหน้า มีจำนวน 10 ตัว ประกอบด้วย

ก ฌ ญ ฎ ฏ ณ ถ ธ ภ ร

กลุ่ม 2 แบบมีหัวทางด้านหน้า มีจำนวน 18 ตัว ประกอบด้วย

ข ฆ ช ซ ฎ ฏ ฑ ท น บ ป พ ฟ ภ ม ษ ห ฬ

กลุ่ม 3 แบบมีความโค้งทางด้านหน้า มีจำนวน 5 ตัว ประกอบด้วย

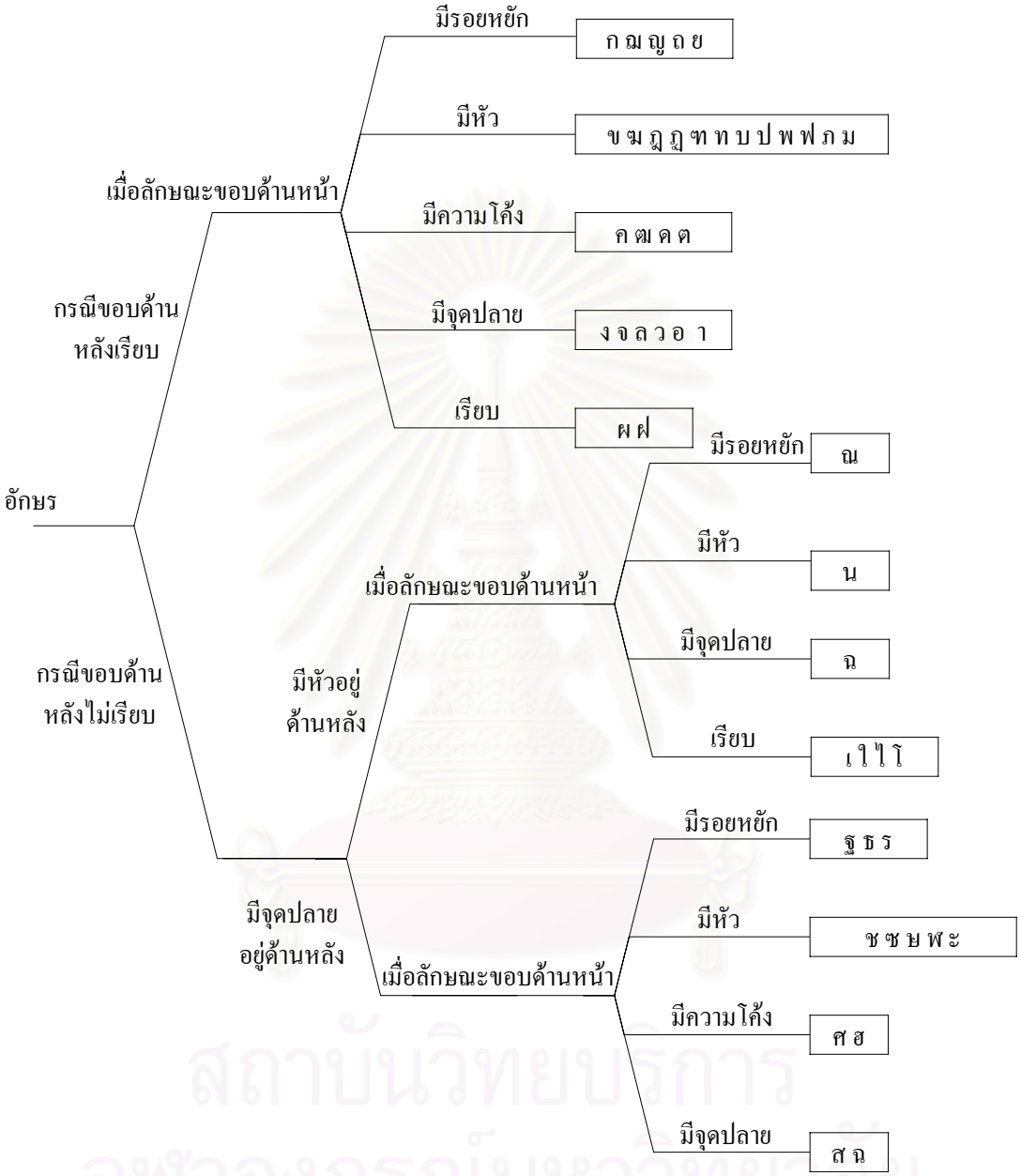
ค ฒ ด ต ศ

กลุ่ม 4 แบบมีจุดปลายทางด้านหน้า มีจำนวน 7 ตัว ประกอบด้วย

ง จ ฉ ล ว ส อ

กลุ่ม 5 แบบด้านหน้าเรียบ มีจำนวน 4 ตัว ประกอบด้วย

เ ไ ไ โ



รูปที่ 3.4 แผนภาพต้นไม้ของการจำแนกโครงสร้างกลุ่มตัวอักษรภาษาไทย

สำหรับการนำความรู้ฮิวริสติคมาจัดจำแนกโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทย เพื่อนำไปวิเคราะห์หาลักษณะการติดกันของตัวอักษรที่มีการติดกันแบบต่างระดับ การจำแนกโครงสร้างตัวอักษรจะจัดกลุ่มตามลักษณะโครงสร้างเส้นทางด้านบนและด้านล่างของตัวอักษรซึ่งเป็นลายเส้นบริเวณที่มีการติดกันเกิดขึ้น โดยลองทำการจำแนกโครงสร้างตัวอักษรจากความสูงของตัวอักษร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เป็นอันดับแรก เนื่องจากต้องคำนึงถึงลักษณะการติดกันของลายเส้น ในกรณีที่ตัวอักษรมีความสูงปรกติ (เช่น ก ข ค) ติดกับสระที่อยู่ระดับบน จะมีรูปแบบลายเส้นการติดกันที่แตกต่างจากตัวอักษรที่มีความสูงเกินกว่าปรกติ (เช่น ช ป) ติดกัน (ที่ไม่ได้กล่าวถึงการติดกันกับสระที่อยู่ระดับล่าง เนื่องจากมีเพียงสระ ุ ู รวมทั้งปริมาณการติดกันที่ด้านล่างนั้น มีค่อนข้างน้อย เพราะลายเส้นตัวอักษรระดับกลางโดยส่วนใหญ่จะสูงเกินจากระดับความสูงปรกติของตัวอักษรไปทางด้านบนมากกว่าด้านล่างอีกด้วย) จากนั้นพิจารณาความเรียบของลายเส้นตัวอักษรเป็นอันดับถัดไป เนื่องจากเป็นสายเส้นที่มีลักษณะร่วมกันในหลายตัวอักษร

พิจารณาความสูงของตัวอักษรด้วยระดับการวางตัวของโครงสร้างตัวอักษร ดังนี้

ตัวอักษรพยัญชนะ ที่มีการวางตัวระดับกลาง เท่านั้น ได้แก่

ก ข ค ฆ ง จ ฉ ฌ ญ ฎ ฏ ฑ ฒ ณ ด ต ถ ท ธ น บ ผ พ ภ ม ย ร ล ว ษ ห อ

(เฉพาะ ญ ฎ ฏ ไม่มีคำใดที่ผสมตัวอักษรไว้ทางด้านล่าง จึงจัดให้อยู่ในระดับกลาง)

ตัวอักษรพยัญชนะ ที่มีการวางตัวระดับกลาง-บน ได้แก่

ช ซ ป ฝ ฟ ศ ฬ ฮ ฐ

(เฉพาะ ฐ ไม่มีคำใดที่ผสมตัวอักษรไว้ทางด้านล่าง เช่นกัน จึงจัดให้อยู่ในระดับกลาง-บน)

สำหรับตัวอักษรสระที่มีการวางตัวระดับบน ได้แก่

ิ ี ึ ื ่ ้ ๊ ๋ ็ ์ ั

(เฉพาะ ไ ใ โ ต้องคำนึงถึงเนื่องจากมีลายเส้นอยู่ในระดับบน อาจมีการติดกันเกิดขึ้นได้)

และตัวอักษรสระที่มีการวางตัวระดับล่าง ประกอบด้วย ุ ู เท่านั้น

จากนั้นจำแนกลายเส้นเรียบทางด้านบน/ล่าง ของตัวอักษรพยัญชนะที่มีการวางตัวระดับกลาง ได้ดังนี้

ลายเส้นเรียบอยู่ด้านบน ได้แก่ ก ค จ ฉ ฌ ญ ฎ ฏ ณ ด ถ ธ ภ ร ล ว อ

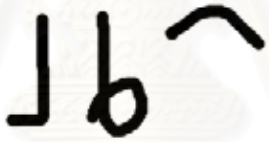
ลายเส้นเรียบอยู่ด้านล่าง ได้แก่ ธ บ ย ษ อ

นอกจากที่ได้ลองจำแนกข้างต้นนี้ ยังต้องจำแนกลายเส้นลักษณะอื่นของตัวอักษรพยัญชนะที่มีการวางตัวระดับกลาง-บน และจำแนกลายเส้นของตัวอักษรสระอีก ตามที่ได้แสดงการจำแนกไว้อย่างละเอียด เพื่อต้องการให้ทราบว่าถึงแม้จะทำการจัดกลุ่มประเภทลายเส้นตัวอักษรได้ แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงไม่สามารถกำหนดรูปแบบการติดกันของลายเส้นตัวอักษรได้ดังเช่นกับลักษณะการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับ (อธิบายในหัวข้อถัดไป) จะเห็นว่ากลุ่มที่จำแนกได้มีเป็นจำนวนมาก รวมทั้งระดับลายเส้นตัวอักษรพยัญชนะที่มีถึงสองระดับและลายเส้นของสระ เมื่อรวมกันจะมี

ความหลากหลายที่มากด้วยเช่นกัน จึงพบว่าการจำแนกโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทยด้วยวิธีนี้ ไม่เหมาะสม ที่จะนำไปวิเคราะห์หาลักษณะการติดกันของตัวอักษรแบบต่างระดับได้ ในงานวิจัยนี้จึงต้องแก้ปัญหาลักษณะการติดกันของตัวอักษรแบบต่างระดับ ด้วยวิธีการกำหนดรูปแบบการติดกันแทน โดยเลือกรูปแบบการติดกันที่พบว่าเกิดขึ้นบ่อยเท่านั้น ซึ่งจะแสดงรายละเอียดอีกครั้งไว้ในหัวข้อที่ 3.6

3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างฮิวริสติคกับบริเวณติดกันของตัวอักษร (Heuristic Knowledge with Connected Character)

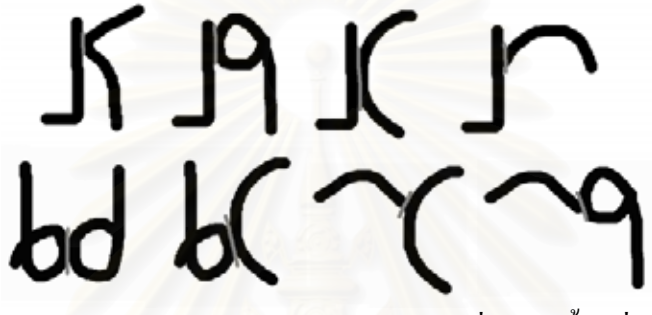
จากการจำแนกกลุ่มของลายเส้นด้านหน้าและกลุ่มของลายเส้นด้านหลัง จะทำให้ทราบถึงโครงสร้างลายเส้น ณ บริเวณติดกันของตัวอักษรได้ ดังนั้นในส่วนด้านล่างนี้จะเป็นการจำลองรูปแบบลายเส้นทางด้านหน้าและรูปแบบลายเส้นทางด้านหลังของตัวอักษร เพื่อพิจารณาโครงสร้างลายเส้น ณ บริเวณติดกันของตัวอักษร ที่สามารถเกิดขึ้นได้จากการติดกันของแต่ละคู่ตัวอักษรที่มีในภาษาไทย โดยลายเส้นที่จำลองขึ้นมานี้จะให้มีลักษณะใกล้เคียงกับลายเส้นตามโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทยที่มีรูปแบบมาตรฐาน ดังรูปที่ 3.5 ถึงรูปที่ 3.9



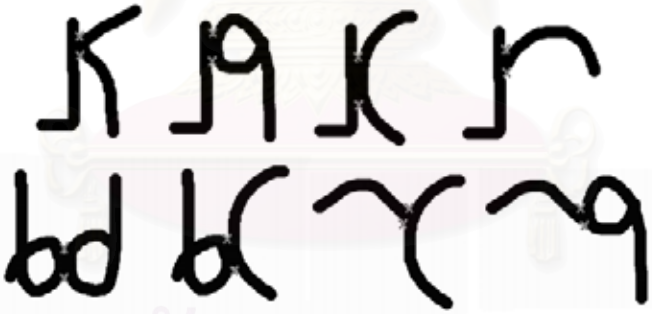
รูปที่ 3.5 โครงสร้างลายเส้นทางด้านหลังของตัวอักษรที่จำแนกได้ จากจำนวนตัวอักษรภาษาไทย ซึ่งประกอบด้วย แบบด้านหลังเรียบ แบบมีหัวทางด้านหลัง และแบบมีจุดปลายทางด้านหลัง

รูปที่ 3.6 โครงสร้างลายเส้นทางด้านหน้าของตัวอักษรที่จำแนกได้ จากจำนวนตัวอักษรภาษาไทย ซึ่งประกอบด้วย แบบมีรอยหยักทางด้านหน้า แบบมีหัวทางด้านหน้า แบบมีความโค้งทางด้านหน้า แบบมีจุดปลายทางด้านหน้า แบบด้านหน้าเรียบ

รูปที่ 3.7 การจำลองรูปแบบลายเส้นทางด้านหน้าและรูปแบบลายเส้นทางด้านหลังของตัวอักษร เมื่อเกิดการติดกัน โดยแสดงรูปแบบการติดกันที่สามารถเกิดขึ้นได้



รูปที่ 3.8 ลักษณะของแนวตัดแยกในแต่ละรูปแบบการติดกันที่จำลองขึ้น เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแนวลายเส้นรอบข้างกับตำแหน่งรอยต่อจุดภาพ ณ บริเวณแนวตัดแยก (รูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งรอยต่อจุดภาพ ณ บริเวณแนวตัดแยก (บริเวณที่ลายเส้นติดกัน)

จากรูปที่ 3.7 แสดงการจำลองรูปแบบลายเส้นของลักษณะการติดกันของตัวอักษร เมื่อนำลายเส้นการติดกันเหล่านั้นมาพิจารณา สามารถหาแนวการแยกลายเส้นที่ติดกันได้ ดังรูปที่ 3.8 จากรูปที่ 3.8 และ 3.9 หากลองสังเกตที่ตำแหน่งรอยต่อจุดภาพ โดยเชื่อมโยงเข้ากับลายเส้นที่อยู่โดยรอบ พบว่ารูปแบบการติดกันหลายรูปแบบมีลายเส้นที่ขอบด้านบนและขอบด้านล่างคล้ายคลึงกัน กำหนดให้ตำแหน่งรอยต่อจุดภาพแทนข้อมูลปลายแต่ละด้านของแนวการตัดแยก จะเห็นว่าตำแหน่งรอยต่อที่ปลายด้านบน (ซึ่งอยู่บริเวณลายเส้นขอบทางด้านบน) จะอยู่ที่ช่องว่างที่ต่ำที่สุดของลายเส้น และ/หรือ ตำแหน่งรอยต่อที่ปลายด้านล่าง (ซึ่งอยู่บริเวณลายเส้นขอบทางด้านล่าง) จะอยู่ที่ช่องว่างที่สูงที่สุดของลายเส้น

ตามที่กล่าวมาข้างต้น หากลองมองย้อนกลับไปเริ่มต้นใหม่ที่การจำลองรูปแบบการติดกัน ซึ่งได้ทำการจำลองจากตัวอักษรต่างตัวกันและต่างแบบการติดกัน ที่พิจารณาได้จากการจำแนกความแตกต่างของกลุ่มลายเส้นด้านหน้าและด้านหลังของโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทยที่ครบทุกตัว แสดงให้เห็นว่าจากการจำลองรูปแบบการติดกันนี้ สามารถครอบคลุมรูปแบบ ณ บริเวณการติดกันของตัวอักษรที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด

งานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองการติดกันตามแนวคิดที่นำเสนอมานี้ เพื่อหาบริเวณติดกันของตัวอักษรและแนวการตัดแยกการติดกันของตัวอักษร ในการตรวจสอบลายเส้นตัวอักษร ทำได้โดยการอาศัยตำแหน่งรอยต่อจุดภาพที่ให้ข้อมูลช่องว่างตามที่กล่าวนำมาเป็นจุดอ้างอิงบริเวณติดกันของตัวอักษร หรือ ใช้ระบุบริเวณลายเส้นที่คาดว่าจะมีความเป็นไปได้ของการติดกันของตัวอักษรแทนการตรวจสอบจากปริมาณลายเส้นทั้งหมดที่มีในพื้นที่ภาพตัวอักษร สำหรับการตรวจสอบลายเส้นการติดกันของตัวอักษร ทำโดยการกำหนดกรอบขอบเขตให้กับบริเวณลายเส้นที่อยู่รอบจุดอ้างอิงที่ได้จากการระบุบริเวณไว้แล้ว จากนั้นนำลายเส้นภายในกรอบไปตรวจสอบ เพื่อเปรียบเทียบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกันกับแบบจำลองการติดกันที่เสนอไว้หรือไม่ เมื่อทราบรูปแบบการติดกันจะทำให้ทราบแนวทางการตัดแยกของรูปแบบการติดกันนั้นได้

3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฮิวริสติคกับบริเวณขอบเขตของตัวอักษร (Heuristic Knowledge with Hypothesis of Character Boundary)

จากการสังเกตุโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทยประเภทที่มีเส้นปิดทางด้านบนหรือล่าง จะพบว่าโครงสร้างเส้นปิด สามารถนำมาลดปริมาณพื้นที่ภาพที่ใช้ในการพิจารณาบริเวณติดกันของตัวอักษรได้ จากรูปที่ 3.10 จะเห็นได้จากแนวการวางตัวของลายเส้นปิดจะครอบคลุมโครงสร้างลายเส้นบางส่วนของตัวอักษร ซึ่งลายเส้นที่อยู่ภายในขอบเขตของแนวเส้นปิดดังกล่าวจะไม่ถูกนำมาตรวจสอบการติดกันของตัวอักษร

กลุ่มตัวอักษรที่มีลายเส้นปิดด้านบนหรือล่าง มีจำนวน 22 ตัว ประกอบด้วย

ก ค จ ฉ ฎ ฏ ด ต ถ ธ บ ป ผ ฝ ภ ย ร ล ว อ ฮ า

รูปที่ 3.10 ตัวอย่างภาพตัวอักษรที่มีลายเส้นปิดทางด้านบน และ ลายเส้นปิดทางด้านล่าง

3.3 การประมวลผลเบื้องต้น

3.3.1 การกำจัดสัญญาณรบกวน

จากการทดลองใช้กรรมวิธีกำจัดสัญญาณรบกวน ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.4.1.1 กับฐานข้อมูลภาพตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ พบว่าไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้หมด เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนที่เป็นกลุ่มก้อนจำนวนมาก

งานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยการนับจำนวนจุดภาพในแต่ละส่วนประกอบภาพข้อมูลที่พบบนภาพ โดยส่วนประกอบใดมีจำนวนจุดภาพต่ำกว่าค่าระดับการตัดสินใจ ส่วนประกอบนั้นจะถูกลบออกไป จากการทดลองพบว่าค่าระดับการตัดสินใจสามารถกำหนดได้ง่าย เนื่องจากจำนวนจุดภาพที่นับได้จากขนาดสัญญาณรบกวนที่เป็นกลุ่มก้อนเมื่อเทียบกับส่วนประกอบภาพข้อมูลที่เป็นตัวอักษร จะมีขนาดของจำนวนจุดภาพที่แตกต่างกันมาก ดังรูปที่ 3.11 ก) และ ค) สำหรับค่าระดับการตัดสินใจ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

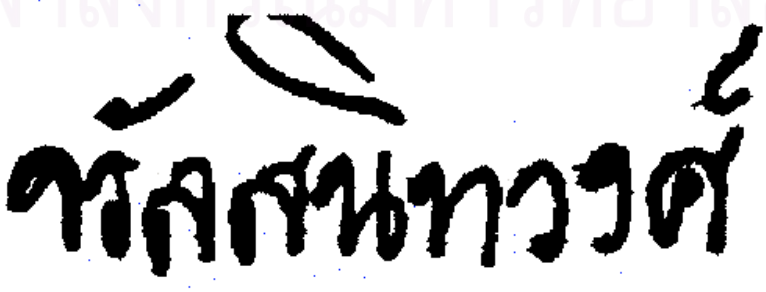
$$\text{Threshold} = \frac{0.05}{100} \times \sum \text{B(P)} \qquad ;\text{P} = 1 \tag{3.1}$$

เมื่อ B(P) คือ ค่าไบนารีของจุดภาพ

P = 1 แทนจุดภาพข้อมูล และ P = 0 แทนพื้นหลังของภาพ

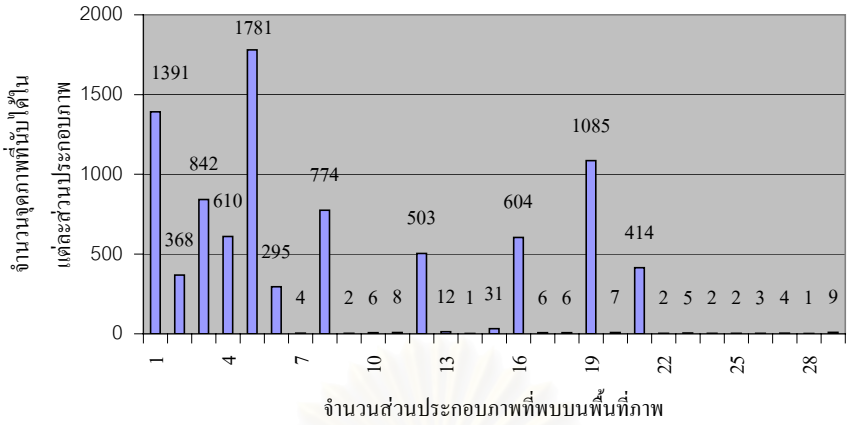
$\sum$ B(P) แทนจำนวนของจุดภาพข้อมูลทั้งหมด

(ก) ก่อนกำจัดสัญญาณรบกวน



(ข) หลังกำจัดสัญญาณรบกวน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ค) จำนวนจุดภาพที่นับได้ในแต่ละส่วนประกอบภาพในรูป ก)

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการกำจัดสัญญาณรบกวน

3.3.2 การทำขอบภาพให้เรียบ

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการทำขอบภาพให้เรียบ ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.4.1.2

3.3.3 การปรับแก้ความเอียง

จากการทดลองใช้กระบวนการปรับแก้ความเอียง ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.4.1.3 กับฐานข้อมูลภาพตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ภาพข้อมูลหายไปเป็นจำนวนมาก จึงไม่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้ และในกรณีที่ภาพข้อมูลสามารถนำไปประมวลผลต่อได้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการหมุนภาพกลับไม่อยู่ในแนวปรกติ (แนวดิ่ง) ที่ถูกต้องเช่นกัน จากการวิเคราะห์พบว่ามีสาเหตุมาจากความแตกต่างระหว่างโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทย และโครงสร้างตัวอักษรภาษาอังกฤษ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. สาเหตุภาพข้อมูลหายไปมากเกิดจาก ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เขียนแบบต่อเนื่องลักษณะลายเส้นจะเรียงตัวจากซ้ายไปขวาตลอด ดังนั้นบริเวณระดับกลางของภาพจะมีลายเส้นในแนวดิ่งเป็นส่วนใหญ่ สำหรับลายเส้นในแนวนอนจะอยู่ใกล้บริเวณเส้นบรรทัดบนและเส้นบรรทัดล่างเท่านั้น แต่ตัวอักษรภาษาไทย ปัญหาจะเกิดจากหัวของตัวอักษร ลักษณะการเขียนหัวทึบจะทำให้ลายเส้นมีความหนามาก รวมทั้งตำแหน่งหัวมีหลายระดับ ดังนั้นเมื่อสแกนภาพข้อมูลในแต่ละบรรทัดจะพบลายเส้นที่มีความหนาซึ่งมากกว่าค่าระดับการตัดสิน ในหลายบรรทัด

2. สาเหตุการหมุนภาพกลับไม่ถูกต้องเกิดจากโครงสร้างของตัวอักษร เนื่องจากตัวอักษรภาษาไทยมีเส้นโค้งทั้งซ้ายและขวา ซึ่งทำให้การคำนวณมุมที่ใช้หมุนภาพไม่ถูกต้อง ผลลัพธ์ภาพที่ปรับแก้เอียง พบว่าตัวอักษรยังเอียงล้ำไปทางด้านหน้าเมื่อเทียบจากแนวปรกติ

จากสาเหตุดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงปรับปรุงในส่วนการประมวลผล จากวิธีการเดิมที่ตรวจจากภาพข้อมูลทั้งหมดเปลี่ยนเป็นตรวจทีละส่วนภาพแทน และพิจารณาเฉพาะบริเวณภาพตัวอักษรระดับกลางเท่านั้น เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากเส้นโค้งของภาพตัวอักษรระดับบนและล่าง รวมทั้งภาพที่อยู่ระดับบนและล่างมีจำนวนจุดภาพข้อมูลน้อยกว่าเมื่อเทียบกัน ซึ่งเมื่อทำการทดสอบกับภาพข้อมูลแล้วพบว่าการปรับปรุงดังกล่าวสามารถปรับแก้เอียงภาพข้อมูลตัวอักษรที่เขียนเอียงได้เป็นอย่างดี

สำหรับวิธีการคำนวณมุมเพื่อหมุนภาพกลับ จากเดิมที่ใช้กรอบภาพจะเปลี่ยนเป็นคำนวณจากสายรหัสลูกโซ่บนโครงร่างบางของลายเส้นภาพที่เหลือแทน เนื่องจากในกรณีที่ลายเส้นของโครงร่างบางเส้นใดตรวจพบว่าไม่ใช่เส้นตรง ลายเส้นของโครงร่างบางเส้นนั้นจะถูกลบออกไป เพื่อให้ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการคำนวณมุมหมุนภาพมีเฉพาะลายเส้นตรงเท่านั้น จากการปรับปรุงตามที่กล่าวมาส่งผลให้ค่าระดับการตัดสินใจมีการเปลี่ยนแปลงตามด้วย โดยค่าระดับการตัดสินใจจะใช้ค่าความหนาปากกาเฉลี่ย (Average Thickness Pen, ATP) ที่คำนวณได้จากแต่ละส่วนภาพ ทำให้การลบจุดภาพบนเส้นบรรทัดถูกจำกัดอยู่ภายในกรอบของแต่ละส่วนภาพที่พิจารณาอยู่เท่านั้น

วิธีการคำนวณค่าความหนาปากกาเฉลี่ย ดังนี้

1. วัดกรอบของส่วนภาพที่ต้องการพิจารณา กำหนดให้กว้างกรอบเท่ากับ w และกำหนดค่าความหนาลายเส้นเท่ากับ L ทำการสแกนเก็บค่าความหนาของ L ตั้งแต่ $1<L<w/3$ โดยนับจำนวนครั้งของความหนาในแต่ละ L ที่พบจากการสแกนในแต่ละบรรทัดภายในกรอบภาพนั้น

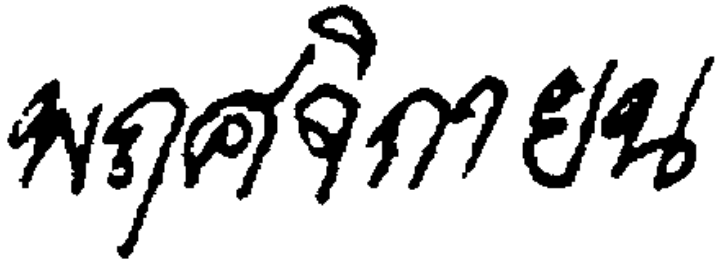
2. ค่าความหนาเฉลี่ยคำนวณได้จากผลรวม 3 อันดับติดกันของจำนวนครั้งที่มากที่สุดของความหนาลายเส้น นำค่า L ของ 3 อันดับมาเฉลี่ยเป็นค่าความหนาปากกาเฉลี่ย ซึ่งจะนำไปใช้กำหนดค่าระดับการตัดสินใจในการลบลายเส้นภาพ คำนวณดังสมการ

$$\text{Max} = n(L_0) + n(L_1) + n(L_2) \tag{3.2}$$

$$\text{ATP} = \frac{(L_0 + L_1 + L_2)}{3} = L_1 \tag{3.3}$$

$$\text{Threshold} = 1.8 \times \text{ATP} \tag{3.4}$$

นอกจากนี้ ค่าความหนาปากกาเฉลี่ยยังถูกนำไปใช้พิจารณาประกอบในการกำหนดค่าระดับการตัดสินใจแนวการแยกการติดกันของตัวอักษร ในขั้นตอนการแยกตัวอักษรและการวิเคราะห์ขนาดลายเส้นบริเวณติดกันอีกด้วย

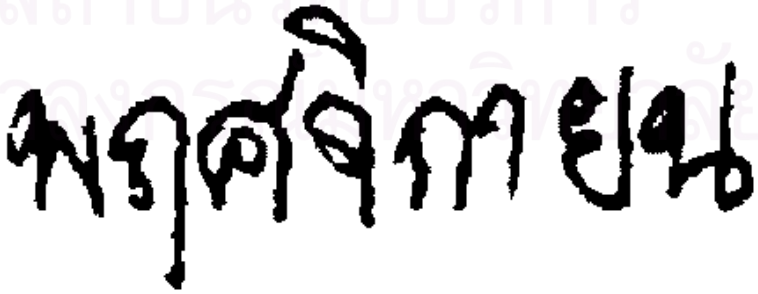


ก) ก่อนปรับแก้เอียง

ข) ลายเส้นที่เหลือจากการลบเส้นบรรทัด

ค) ลายเส้นของโครงร่างบางที่ใช้คำนวณมุม

ง) หลังปรับแก้เอียง



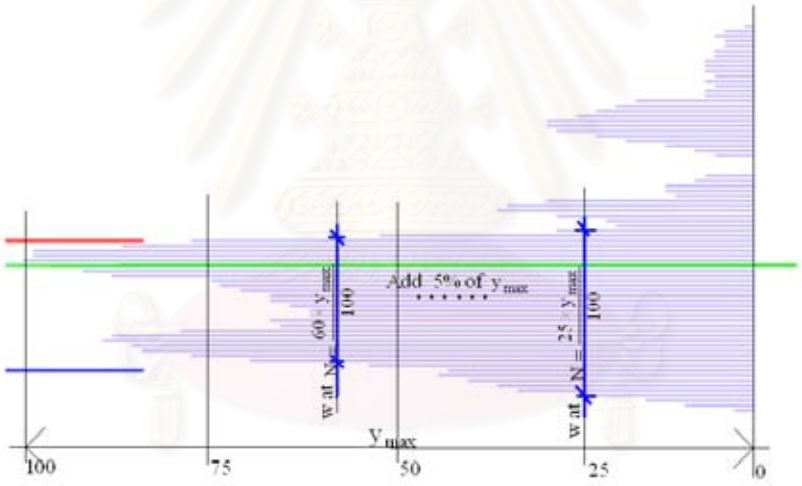
จ) หลังปรับแก้เอียงและปรับขอบภาพให้เรียบ

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการปรับแก้ความเอียงของภาพตัวอักษร

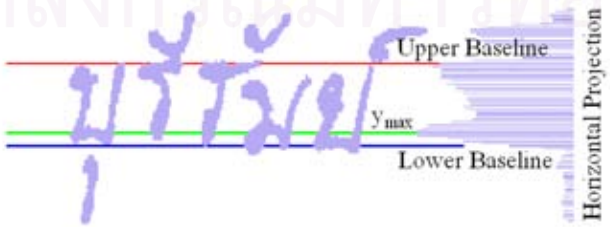
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การตรวจเส้นบรรทัด

จากการทดลองใช้กรรมวิธีการตรวจเส้นบรรทัดของ Bin Zhao, Hui Su และ Shaowei Xia, (1997) ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.4.2 เมื่อทดลองปรับค่าระดับการตัดสินใจ แล้วทดสอบกับฐานข้อมูลภาพตัวอักษร พบว่าตัวอย่างภาพข้อมูลที่มีตัวอักษรบริเวณระดับบนหลายตัว ทำให้ความหนาแน่นจุดภาพบริเวณดังกล่าวมีค่าสูง เป็นสาเหตุให้เส้นบรรทัดที่คำนวณได้เลื่อนสูงขึ้นไปจากแนวเส้นบรรทัดจริง ในงานวิจัยนี้จึงนำวิธีการของวิชา พานิช (2536) จากเดิมที่ใช้กับประโยค เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับคำ ซึ่งมีจำนวนตัวอักษรน้อยกว่ามาก ทำให้ความหนาแน่นของจุดภาพมีจำนวนน้อยตามไปด้วย จึงทำการปรับส่วนการพิจารณาช่วงกว้าง (w) โดยยังใช้การลากเส้นตรงตัดฮิสโตแกรมการฉายจุดภาพเช่นเดิม แต่จะพิจารณาช่วงกว้างที่ N ใดๆ ของค่า y_{max} ให้ขยายขึ้น ด้วยการเพิ่มค่า N เริ่มจาก 25 % เพิ่มขึ้นไปครั้งละ 5 % จนถึง 60 % ของ y_{max} แล้วพิจารณาค่าผลต่างของแต่ละช่วงความกว้างเทียบกับช่วงกว้างอื่นที่เหลือ เพื่อหาช่วงที่ให้ค่าความหนาแน่นจุดภาพข้อมูลคงที่มากที่สุด โดยค่าช่วงความกว้างใดมีผลต่างของความกว้างที่น้อยที่สุด จะถูกเลือกเป็นเส้นบรรทัด จากการกำหนด N ระหว่าง 25 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าลดความผิดพลาดปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี



(ก) การลากเส้นตรงตัดฮิสโตแกรมการฉายจุดภาพ และ เก็บตำแหน่งช่วงกว้าง โดยเพิ่มค่า N เริ่มจาก 25 % เพิ่มขึ้นไปทีละ 5 % จนถึง 60 % ของ y_{max}



(ข) ผลลัพธ์เส้นบรรทัดที่ได้จากการลากเส้นตรงตัดฮิสโตแกรม

รูปที่ 3.13 ภาพตัวอย่างการตรวจเส้นบรรทัด

3.5 การแยกตัวอักษรที่ติดกันภายในระดับ (Internal Segmentation)

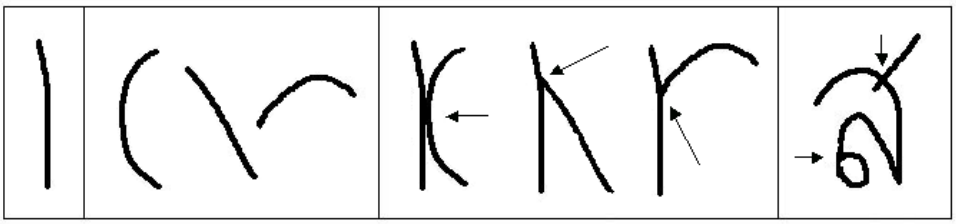
จากปัญหาประการที่ 1 ในหัวข้อที่ 3.1 ลักษณะการติดกันของตัวอักษรอยู่ในแนวนอนซึ่งเกิดขึ้นที่ระดับโครงสร้างไวยากรณ์ภาษาไทยระดับกลาง จากรูปแบบลายมือเขียน ซึ่งลายเส้นมีลักษณะไม่คงที่ ดังนั้นในการแก้ปัญหาจึงไม่สามารถทำการตัดแยกภาพตัวอักษรในแนวตั้งเพียงอย่างเดียวได้ (Nicchiotti and Scagliola, 2000) ดังเช่น รูปแบบตัวพิมพ์ เนื่องจากลักษณะการติดกันของลายเส้นบางลักษณะมีการเหลื่อมล้ำกันขณะที่เขียน ทำให้การแยกตัวอักษรที่มีการติดกันให้ออกจากกัน จำเป็นจะต้องคำนึงถึงความเอียงของแนวเส้นที่ตัดแยกด้วย (Path Segment) เพื่อให้ภาพตัวอักษรที่ตัดแยกได้ มีความผิดเพี้ยนหรือเสียโครงสร้างของตัวอักษรให้น้อยที่สุด รวมถึงผลลัพธ์ของแนวเส้นที่ตัดแยกจะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อภาพตัวอักษรที่อยู่บริเวณอื่นด้วย ดังรูปที่ 3.14 เพราะฉะนั้นเพื่อลดผลกระทบตามที่กล่าว ในการหาแนวการตัดแยกจึงจำเป็นจะต้องมีการกำหนดกรอบลงบนพื้นที่ภาพเข้ามาช่วย เพื่อระบุตำแหน่งของบริเวณการตัดแยกให้แคบลง แล้วจึงวิเคราะห์ลายเส้นจากจุดภาพภายในบริเวณกรอบที่กำหนดแทน

(ก) แนวการตัดแบบตัดตรง (ข) แนวการตัดแบบตัดเอียง

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างผลกระทบของแนวเส้นต่อภาพตัวอักษรที่ตัดแยกได้

สำหรับการประเมินหาบริเวณติดกันของภาพตัวอักษร จะทราบได้อย่างไรว่าบริเวณใดในพื้นที่ภาพที่ควรจะพิจารณา และควรพิจารณาอะไรในพื้นที่ภาพนั้น ซึ่งต้องเน้นว่าเป็นข้อมูลโครงสร้างการติดกันที่สามารถหาได้ง่าย ดังนั้นในการประเมินหาบริเวณติดกันของภาพตัวอักษรจะพิจารณาจากการตั้งสมมุติฐานโครงสร้างลายเส้นลักษณะใดๆ มีใจความดังนี้

สมมุติฐานที่ 1 ถ้ามีลายเส้นลักษณะใดลักษณะหนึ่งจำนวนหนึ่งเส้น กำหนดให้เป็นเส้นอ้างอิง และมีลายเส้นลักษณะใดลักษณะหนึ่งอีกหนึ่งเส้น มาเชื่อมติดอยู่กับเส้นอ้างอิงด้วยรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง พบว่าการติดกันของลายเส้นทั้งสอง ทำให้เกิดจุดแยกขึ้น ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ภาพประกอบสมมุติฐานที่ 1 แสดงการเกิดจุดแยก

จากสมมุติฐานที่ 1 เมื่อนำมาวิเคราะห์เชื่อมโยงกับปัญหาลายเส้นติดกันของตัวอักษร จะพบว่าข้อมูลของตำแหน่งจุดแยก (Junction Point) ที่ตรวจพบบนภาพ จะทำให้ทราบถึงบริเวณติดกันของตัวอักษรได้จริง สมมุติฐานนี้จึงนำไปใช้หาบริเวณติดกันของตัวอักษรได้

อีกประเด็นที่ได้จากสมมุติฐานที่ 1 เมื่อนำมาทดสอบข้อมูลภาพตัวอักษร จะพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นตามมา อันเนื่องมาจากโครงสร้างของตัวอักษรภาษาไทย ที่มีจุดแยกอยู่ก่อนแล้วจากลายเส้นสโตรกและหัวของตัวอักษร เช่น ตัวอักษรบางตัวมีการเขียนลากลายเส้นจำนวน 1 สโตรก ถึง 2 สโตรก ตัวอย่างตัวอักษรที่เขียน 1 สโตรก ได้แก่ ก ข ค ง จ เป็นต้น และ ตัวอย่างตัวอักษรที่เขียน 2 สโตรก ได้แก่ ส ษ เป็นต้น และในการเขียนตัวอักษรบางตัวมีการลากลายเส้นแบบวกกลับมาติดในภายหลัง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดจุดแยกเพิ่มขึ้นด้วย ได้แก่ ซ ช เป็นต้น เพราะฉะนั้นจำนวนจุดแยกที่ตรวจพบได้จากภาพข้อมูล จะประกอบด้วย จุดแยกที่เกิดจากลายเส้นติดกัน และ จุดแยกที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างตัวอักษรเอง ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องตรวจสอบจุดแยก เพื่อระบุให้ได้ว่าตำแหน่งของจุดแยกใดที่อ้างอิงกับบริเวณลายเส้นติดกันของตัวอักษรจริง

สมมุติฐานที่ 2 จากลายเส้นลักษณะใดลักษณะหนึ่งสองเส้นมาเชื่อมติดกัน ตำแหน่งรอยต่อของเส้นทั้งสองจะให้มุมที่แคบหรือกว้างนั้น ขึ้นอยู่กับแนวการวางตัวของเส้น เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความหนาของแนวเส้น ณ บริเวณมุมรอยต่อ จะพบว่าความหนาของแนวเส้นมีลักษณะเปลี่ยนแปลงแบบคอดเข้าหรือแคบเล็กลง เทียบกับแนวเส้นที่อยู่รอบข้าง ดังรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 ภาพประกอบสมมุติฐานที่ 2 แสดงลายเส้นสองเส้นมาเชื่อมติดกัน (สีดำ) และการเปลี่ยนแปลงระยะความหนาของแนวเส้น ซึ่งมีลักษณะแคบเล็กลง หรือ คอดเข้า

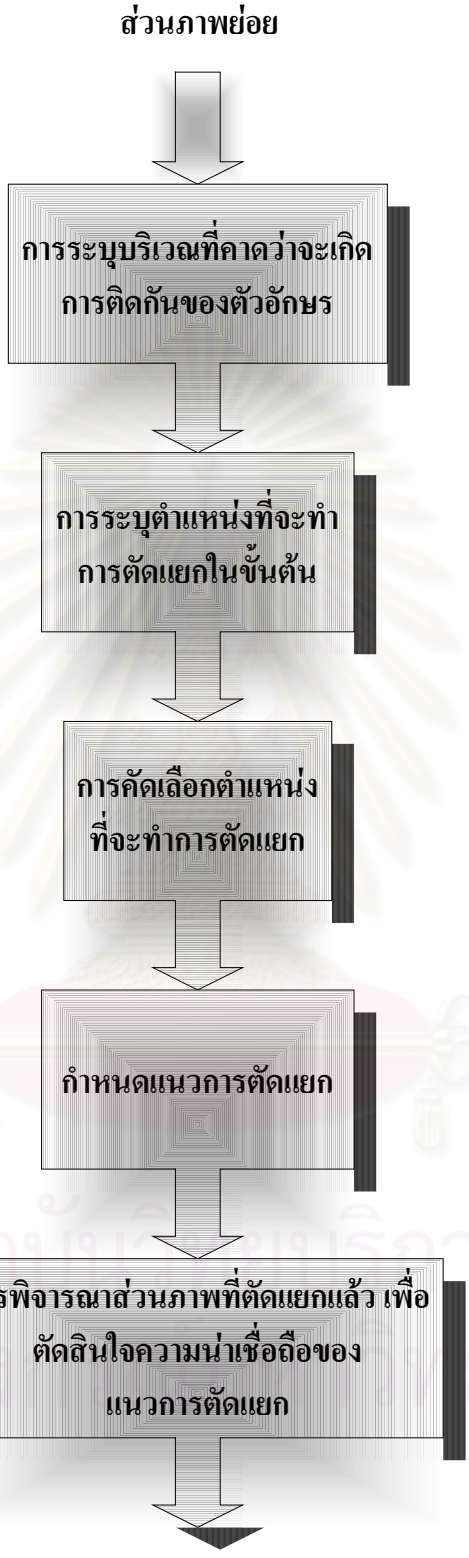
จากสมมุติฐานที่ 2 เมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับบริเวณลายเส้นที่ติดกันของตัวอักษรตามลักษณะการติดกันของตัวอักษรในหัวข้อ 3.1 ซึ่งเกิดจาก เส้นรอยหยัก หัว ปลายหางและเส้นโค้ง จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามสมมุติฐานจริง ดังนั้นลักษณะการคอดเข้าหรือแคบเล็กลง จะเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญในการใช้หาแนวทางการตัดแยกตัวอักษรได้

แต่จะอย่างไรก็ตาม ในการตัดสินใจเลือกแนวการตัดแยกด้วยคุณสมบัตินี้เพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทยบางตัว เช่น พ น ม พบว่าลายเส้นมีลักษณะคอดเข้าหรือแคบเล็กลงตามสมมุติฐานด้วยเช่นกัน ดังรูปที่ 3.17 ทำให้เกิดความกำกวมขึ้นระหว่างแนวการตัดแยกภายในบริเวณติดกันของตัวอักษรกับภายในโครงสร้างของตัวอักษรเอง ความกำกวมที่เกิดขึ้นในการตัดสินใจมีผลต่อแนวการแยกที่หาได้ ซึ่งอาจเกินจากจำนวนบริเวณติดกันจริงของตัวอักษร หรือที่เรียกว่าการแยกเกิน (Over Segmentation) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบลักษณะของส่วนภาพเพิ่มเติม เพื่อตัดสินใจความน่าเชื่อถือของแนวตัดแยกว่าได้จากบริเวณติดกันจริงของตัวอักษรหรือไม่

รูปที่ 3.17 ภาพประกอบลักษณะคอดเข้าที่เกิดขึ้นภายในตัวอักษร

จากสมมุติฐานที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้ได้แบ่งกรรมวิธีในการแยกตัวอักษรที่ติดกันภายในระดับ ออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่

1. การระบุบริเวณที่คาดว่าจะเกิดการติดกันของตัวอักษร
2. การระบุตำแหน่งที่จะทำการตัดแยกในขั้นต้น
3. การคัดเลือกตำแหน่งที่จะทำการตัดแยก
4. กำหนดแนวการตัดแยก
5. การพิจารณาส่วนภาพที่ตัดแยกแล้ว เพื่อตัดสินใจความน่าเชื่อถือของแนวการตัดแยก



รูปที่ 3.18 ขั้นตอนของกรรมวิธีการแยกตัวอักษรที่ติดกันภายในระดับ

3.5.1 การระบุบริเวณที่คาดว่าจะเกิดการติดกันของตัวอักษร

เป็นการหาตำแหน่งเบื้องต้นด้วยการทำเครื่องหมายลงบนภาพในตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็นบริเวณติดกันของตัวอักษร โดยอาศัยจุดแยกที่พบบนพื้นที่ภาพมาใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วตามสมมุติฐานที่ 1 จากจุดแยกอ้างอิงที่ได้จะถูกนำมาเป็นจุดเริ่มต้นของการตรวจหาตำแหน่งแนวการตัดแยกจริงต่อไป สำหรับขั้นตอนการตรวจหาจุดแยก มีดังนี้

1. เริ่มจากการการแปลงภาพข้อมูล ให้อยู่ในรูปแบบโครงร่างบาง
2. ตรวจหาจุดแยก ด้วยการเลื่อนหน้าต่างขนาด 3x3 โดยเริ่มจากตำแหน่งกรอบภาพที่มุมบนซ้าย จากบนลงล่าง และซ้ายไปขวา ตามลำดับ จนกระทั่งสิ้นสุดกรอบภาพที่มุมล่างขวา

เงื่อนไขการตัดสินใจว่าจุดภาพที่ถูกตรวจสอบจุดภาพใดเป็นจุดแยก จะพิจารณาจากผลรวมของจุดภาพรอบข้าง ดังสมการที่ 3.5

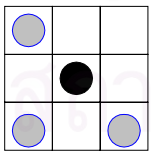
$B_1(P)$	$B_2(P)$	$B_3(P)$
$B_8(P)$	x	$B_4(P)$
$B_7(P)$	$B_6(P)$	$B_5(P)$

$$\sum_{i=1}^{8} B_i(P) \geq 3 \quad , P = 1 \tag{3.5}$$

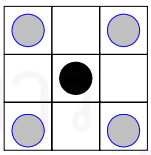
เมื่อ B(P) แทน ค่าไบนารีของจุดภาพ

กำหนดให้ P=1 แทนจุดภาพข้อมูล (สีดำ) และ P=0 แทนจุดภาพพื้นหลัง(สีขาว)

i แทน ตำแหน่งจุดภาพรอบข้าง



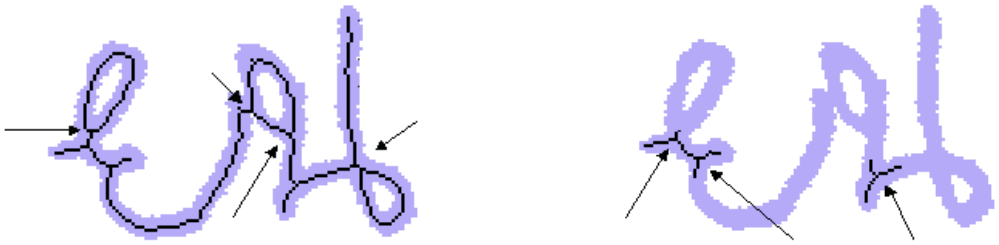
(ก) ผลรวมจุดรอบข้างเท่ากับ 3



(ก) ผลรวมจุดรอบข้างเท่ากับ 4

รูปที่ 3.19 ตัวอย่างหน้าต่าง 3x3 ที่แสดงบริเวณจุดแยก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) จุดแยกที่คาดว่าจะเกิดการติดกันของตัวอักษร

ข) จุดแยกที่ตรวจสอบได้ว่าเป็นจุดแยกเทียม

รูปที่ 3.20 ตัวอย่างการระบุบริเวณที่คาดว่าจะเกิดการติดกันของตัวอักษร

3.5.2 การระบุตำแหน่งที่จะทำการตัดแยกในขั้นต้น

เป็นการหาตำแหน่งแนวการตัดแยกในเบื้องต้น ซึ่งประเมินจากรอยต่อจุดภาพที่พบว่ามีลักษณะเป็นจุดต่ำสุดหรือเป็นจุดสูงสุด (กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1) เมื่อเทียบกับลายเส้นรอบข้าง สำหรับการระบุตำแหน่งจะเริ่มต้นจากการหาตำแหน่งจุดภาพที่ขอบลายเส้นโดยรอบของจุดแยกที่คาดว่าจะเกิดการติดกันของตัวอักษร (จากขั้นตอนที่ 3.5.1) ในการเลื่อนตามขอบลายเส้น เพื่อตรวจสอบหาจุดลักษณะดังกล่าว

การหาตำแหน่งจุดภาพที่ขอบลายเส้นโดยรอบ ใช้การสุ่มจุดภาพในทิศทาง 8 ทิศทาง เพื่อให้ครอบคลุมขอบลายเส้นบริเวณที่มีการติดกันให้ได้โดยรอบ จากกนั้นในการเลื่อนตามขอบลายเส้นจะใช้ระเบียบวิธี Drop Falling ที่เสนอไว้แล้วในหัวข้อ 2.4.5 แต่จะมีการหยุดเงื่อนไขการทำงานบางส่วน

แต่เดิมระเบียบวิธี Drop Falling จะตัดแยกภาพด้วยการจำลองลักษณะการตกไปบนส่วนประกอบภาพที่ติดกัน ตามทิศทางที่กำหนด เมื่อนำมาทดสอบกับฐานข้อมูลลายมือเขียนพบว่าลักษณะการตกดังกล่าว ทำให้ภาพที่แยกได้จากผลลัพธ์แนวเส้นทางการตกผิดไปจากโครงสร้างตัวอักษร ทั้งแบบที่เนื้อภาพขาดหายไปบางส่วน และแบบที่ได้เนื้อภาพเกินขึ้นจากส่วนภาพตัวอักษรที่อยู่ข้างเคียง จากการวิเคราะห์ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นพบว่าสาเหตุหลัก มาจากโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทยมีลายเส้นแตกต่างกว่าโครงสร้างตัวเลขอารบิค จะสังเกตได้ว่าตัวเลขอารบิค โดยส่วนใหญ่มีลายเส้นปิดในแนวนอน (2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 0) ทำให้แนวการตกนั้นเลื่อนไปตามช่องว่าง (ร่อง) ที่เกิดจากการติดกันของตัวเลขได้ถูกต้อง ดังนั้นในการนำมาใช้กับตัวอักษรภาษาไทย มีการหยุดเงื่อนไขการทำงานบางส่วน รายละเอียดแสดงในขั้นตอนที่ 3 ที่จะกล่าวต่อไป

ขั้นตอนการระบุตำแหน่งที่จะทำการตัดแยก รายละเอียดมีดังนี้

1. เริ่มจากการกำหนดขอบเขตพื้นที่ภาพ ในการกำหนดขอบเขตพื้นที่ภาพจะพิจารณาจากความหนาของลายเส้นที่ติดกัน ซึ่งสามารถประเมินขนาดของลายเส้นได้ด้วยระยะความหนาเฉลี่ยปากกา (Average Thickness Pen, ATP) ในหัวข้อที่ 3.3.3 ดัง สมการ 3.6

$$d_{bound} = 2 \times ATP \tag{3.6}$$

เมื่อ d_{bound} คือ ระยะของกรอบภาพ โดยใช้ตำแหน่งจุดแยกอ้างอิงเป็นศูนย์กลาง

ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตพื้นที่ภาพแสดงดังรูปที่ 3.21 (ก)

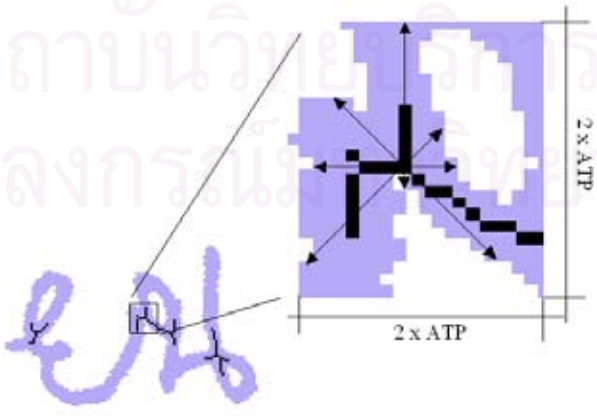
2. หาตำแหน่งจุดภาพที่ขอบลายเส้น โดยสุ่มจุดภาพออกไปในทิศทาง 8 ทิศทาง เทียบจากจุดแยกอ้างอิงเป็นศูนย์กลาง ทิศทางระหว่างจุดที่กระทำกันเป็นไปตามเวคเตอร์ ฟรีแมน โดยจุดภาพเหล่านั้นต้องอยู่ในขอบเขตพื้นที่ภาพที่หาได้ในขั้นตอนที่ 1 ตัวอย่างผลลัพธ์ของขั้นตอนที่ 2 ที่เป็นจุดภาพที่ขอบลายเส้นแสดงดังรูปที่ 3.21 (ข)

3. จากจุดภาพที่สุ่มได้ในขั้นตอนที่ 2 จุดภาพเหล่านั้นจะถูกนำมาตรวจหาจุดสูงสุด หรือจุดต่ำสุด โดยเลื่อนจุดภาพเหล่านั้นตามระเบียบวิธี Drop Falling ใน 4 รูปแบบ ได้แก่ ทิศทางบน-ซ้าย ทิศทางบน-ขวา ทิศทางล่าง-ซ้าย และทิศทางล่าง-ขวา

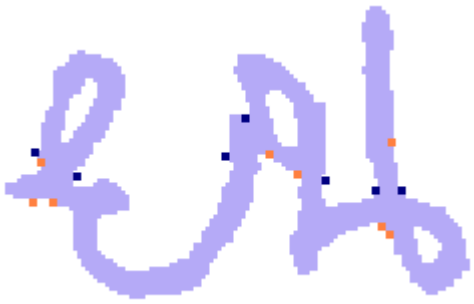
เงื่อนไขการตัดสินใจว่าจุดภาพที่ถูกตรวจสอบเป็นจุดสูงสุดหรือต่ำสุด พิจารณาโดยเริ่มเลื่อนจุดภาพจนกระทั่งพบจุดที่ไม่สามารถจะเลื่อนต่อไปได้ (ได้แก่บริเวณที่เป็นร่อง) เมื่อเลื่อนจุดภาพไปจนถึงบริเวณดังกล่าวจะหยุดการเลื่อน และพิจารณาว่าจุดนั้นเป็นจุดสูงสุดหรือต่ำสุด โดยถ้าตำแหน่งจุดภาพอยู่ด้านบนของลายเส้นจะเป็นจุดสูงสุด มิฉะนั้นจะพิจารณาเป็นจุดต่ำสุด

ในกรณีที่เลื่อนจุดภาพแล้วไม่พบบริเวณร่อง ตัวอย่างเช่นกรณีที่เลื่อนไปแล้วสุดขอบภาพอีกด้านหนึ่ง จุดภาพนั้นจะไม่ถูกนำมาพิจารณา

ตัวอย่างผลลัพธ์ของกระบวนการในขั้นตอนที่ 3 แสดงดังรูปที่ 3.21 (ค)



(ก) ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตพื้นที่ภาพ



(ข) ตัวอย่างจุดภาพที่ขอบลายเส้น

(ค) ผลลัพท์การตรวจหาจุดสูงสุดหรือจุดต่ำสุด

รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งที่จะทำการตัดแยกในขั้นต้น
(จุดภาพสีอ่อนแทนจุดสูงสุด และจุดภาพสีเข้มแทนจุดต่ำสุด)

3.5.3 การคัดเลือกตำแหน่งที่จะทำการตัดแยก

จากจุดสูงสุด และจุดต่ำสุดที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.52 ในขั้นตอนนี้จะตรวจสอบความเหมาะสมในเบื้องต้นของตำแหน่งดังกล่าว ว่าเป็นแนวติดกันของตัวอักษรหรือไม่ จากลักษณะการติดกันของตัวอักษรที่อยู่ในแนวนอน เมื่อทำการตัดแยก ภาพตัวอักษรที่ตัดแยกได้ ควรจะแยกออกจากกันในลักษณะซ้าย-ขวา ดังนั้นเมื่อนำตำแหน่งจุดต่ำสุดหรือจุดสูงสุดมาใช้ทำการตัดแยกตัวอักษร ส่วนภาพที่ตัดแยกได้นั้น ควรแยกออกจากกันในลักษณะซ้าย-ขวา ตามที่กล่าว สำหรับการตัดแยกในขั้นตอนนี้ จะสร้างแนวตัดแยกในแนวดิ่งจากตำแหน่งจุดสูงสุด เพื่อแยกส่วนภาพออกจากกัน จากนั้นทำการตรวจแยกลักษณะซ้าย-ขวา ไปทีละตำแหน่ง สำหรับจุดต่ำสุดก็ทำเช่นเดียวกัน

สำหรับการตรวจแยกลักษณะซ้าย-ขวา สามารถตรวจสอบได้จากการซ้อนทับกันของพื้นที่ส่วนภาพ ดังที่ได้แสดงในหัวข้อ 2.4.6 หากการซ้อนทับกันระหว่างภาพเกิดขึ้นน้อย บ่งบอกได้ว่าส่วนภาพที่เปรียบเทียบกันมีความเป็นไปได้ที่จะแยกออกจากกันในลักษณะซ้าย-ขวามาก

นอกจากนี้การตรวจสอบแนวติดกันของตัวอักษรของจุดสูงสุดและจุดต่ำสุด ยังพิจารณาจากรูปร่างทางกายภาพของส่วนภาพที่ได้จากแนวการตัดดังกล่าว

เงื่อนไขในการพิจารณาว่าจุดสูงสุด หรือจุดต่ำสุดใด ทำให้เกิดแนวการตัดแยกที่ไม่ถูกต้อง มีดังนี้

1. ขนาดความกว้างของส่วนภาพที่ตัดได้น้อยกว่าค่าที่กำหนด

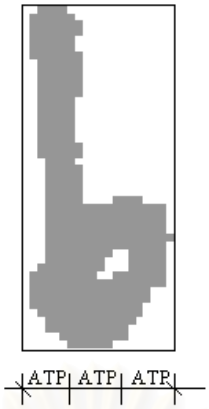
เป็นการพิจารณาความกว้างเฉลี่ยของตัวอักษรที่เป็นไปได้ ซึ่งเราไม่สามารถกำหนดจากค่าเฉลี่ยความกว้างของตัวอักษร (Average Width Character) ทั้งหมดที่พบในคำได้ เนื่องจากการติดกันของตัวอักษร ทำให้ค่าเฉลี่ยที่ได้ไม่ถูกต้อง ดังรูปที่ 3.22 จึงกำหนดระยะความกว้างจากค่าความหนาเฉลี่ยปากกาแทน โดยใช้หลักการเลือกคัดออก เมื่อส่วนภาพมีขนาดเล็กเกินไป ดังสมการ 3.7

$$\text{bound Im age_width} \leq K \times ATP \tag{3.7}$$

เมื่อ K คือ ค่าการยอมรับความกว้างเฉลี่ยของตัวอักษรที่เป็นไปได้

โดย K จะแปรผกผันกับบริเวณการติดกันที่ใช้ตรวจสอบแนวตัดแยก ถ้ากำหนดค่านี้มาก หมายถึง ตำแหน่งจุดภาพที่จะทำการตัดแยกจะถูกยกเลิกมาก เพราะฉะนั้นบริเวณลายเส้นติดกันจะมีจำนวนลดลง ในทางตรงกันข้าม ถ้ากำหนดค่านี้น้อย หมายถึง บริเวณลายเส้นติดกันจะมีจำนวนมาก ทำให้จำนวนแนวตัดแยกมากกว่าบริเวณการติดกันจริงได้ ในที่นี้กำหนด K เท่ากับ 3 ซึ่งได้จากการประเมินความกว้างของโครงสร้างพยัญชนะระดับกลาง จะเห็นว่าสระ เ มีความกว้างที่น้อยที่สุด เพราะฉะนั้นส่วนภาพที่ตัดแยกได้ไม่ควรมีขนาดความกว้างที่น้อยกว่าสระ เ ดังรูปที่ 3.23

รูปที่ 3.22 การติดกันของตัวอักษรในคำ ทำให้ไม่สามารถใช้กรอบความกว้างของส่วนภาพมาเฉลี่ยได้



รูปที่ 3.23 การประเมินความกว้างของสระ เ ด้วยค่าความหนาปากกาเฉลี่ย

2. ขนาดความสูงของส่วนภาพที่ตัดได้น้อยกว่าค่าที่กำหนด

เป็นการพิจารณาความสูงของกรอบภาพตัวอักษรที่เป็นไปได้ พิจารณาจากความสูงเฉลี่ยของตัวอักษร จากการสังเกตระดับความสูงของตัวอักษรในคำโดยทั่วๆ ไป จะมีขนาดใกล้เคียงและไม่น้อยกว่าระยะความสูงของเส้นบรรทัด ดังนั้นจึงประเมินความสูงของส่วนภาพจากความสูงของเส้นบรรทัด กำหนดระยะ ดังสมการ

$$\text{bound Im age_height} \leq K\% \times d_{baseline} \tag{3.8}$$

เมื่อ $d_{baseline}$ คือ ระยะผลต่างระหว่างเส้นบรรทัดบนกับเส้นบรรทัดล่าง

K คือ ค่าการยอมรับความสูงของส่วนภาพตัวอักษรที่เป็นไปได้

โดยกำหนด K เท่ากับ 60 ซึ่งน้อยกว่าความสูงของเส้นบรรทัดจริง เพื่อยอมรับขนาดความสูงของลายมือเขียนที่มีลำดับการเขียนตัวอักษรที่ไม่เป็นระเบียบ ดังรูปที่ 3.24

รูปที่ 3.24 ลายมือเขียนที่มีลำดับการเขียนตัวอักษรที่ไม่เป็นระเบียบ

3. ปริมาณการซ้อนทับกันของส่วนภาพที่ตัดได้กับส่วนภาพเดิมมากเกินกว่าค่าที่กำหนด

เป็นการเปรียบเทียบขนาดความกว้างที่ซ้อนทับกันของกรอบภาพตัวอักษรที่เป็นไปได้ (i) กับกรอบภาพตัวอักษรเดิมก่อนที่จะทำการตัดแยก (j) โดยคิดเทียบกับขนาดความกว้างของกรอบภาพตัวอักษรที่เป็นไปได้

$$O_{ij} \geq K \times w_i \quad (3.9)$$

เมื่อ O_{ij} คือ ความกว้างที่ซ้อนทับกันระหว่างกรอบภาพ i กับ j

w_i คือ ความกว้างของกรอบภาพ i

K คือ ค่าการยอมรับการซ้อนทับกันของส่วนภาพ

จากขั้นตอนการทำงานที่ 3.5.2 ของส่วนระเบียบวิธี Drop Falling ที่นำมาใช้ พบว่าโครงสร้างตัวอักษรบางประเภท เช่น ค ด ต ล ส เป็นต้น มีตำแหน่งจุดภาพเลื่อนไปตกอยู่ภายในตัวอักษร ซึ่งไม่ใช่บริเวณการติดกันจริง ดังนั้นสามารถเลือกคัดออกตำแหน่งจุดภาพลักษณะนี้ได้โดยปริมาณการซ้อนทับกันของส่วนภาพ ดังรูปที่ 3.25 และการพิจารณาลักษณะนี้ยังไม่ส่งผลกระทบต่อบริเวณการติดกันของตัวอักษรด้วย เนื่องจากบริเวณลายเส้นการติดกันและโครงสร้างโดยรวมของตัวอักษร มีลักษณะการติดกันของตัวอักษรที่แยกออกจากกันในลักษณะซ้าย-ขวามาก ทำให้ปริมาณการซ้อนทับกันของการติดกันของตัวอักษรจะมีน้อยมาก จากรูปที่ 3.25 ส่วนภาพที่ตัดแยกได้ (สีดำ) จะเห็นว่ามีการซ้อนทับกับส่วนภาพเดิมสมบูรณ์ชัดเจน (หรือ O_{ij} เท่ากับ 100) ดังนั้นจึงกำหนดค่า K เท่ากับ 40 ซึ่งสามารถครอบคลุมปัญหาดังกล่าวได้เพียงพอ

ก) ตำแหน่งจุดภาพเลื่อนไปตกอยู่ภายในตัวอักษร

ข) การซ้อนทับกันของส่วนภาพที่ตัดแยกได้

รูปที่ 3.25 ตัวอย่างการคัดเลือกจุดต่ำสุดออก เนื่องจากตำแหน่งจุดภาพเลื่อนไปตกอยู่ภายในตัวอักษรซึ่งไม่ใช่บริเวณการติดกันจริง

4. จุดสูงสุดหรือจุดต่ำสุดนั้นอยู่ภายในบริเวณที่ถูกคลอบคลุมด้วยลายเส้นปิด ดังที่แสดงในหัวข้อที่ 3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฮิวริสติคกับบริเวณขอบเขตของตัวอักษร

รูปที่ 3.26 ตัวอย่างการคัดเลือกจุดต่ำสุดออก เนื่องจากจุดนั้นอยู่ภายในบริเวณที่ถูกคลอบคลุมด้วยลายเส้นปิด

5. จุดสูงสุดหรือจุดต่ำสุดนั้นอยู่บนลายเส้นเรียบ ดังที่แสดงในหัวข้อที่ 3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฮิวริสติคกับบริเวณขอบเขตของตัวอักษร ดังรูปที่ 3.27

รูปที่ 3.27 ตัวอย่างการคัดเลือกจุดต่ำสุดออก เนื่องจากจุดนั้นอยู่บนลายเส้นเรียบ

3.5.4 กำหนดแนวการตัดแยก

วิธีการหาแนวตัดแยกการติดกันของตัวอักษร อาศัยการกำหนดเงื่อนไขตามรูปแบบการติดกันของลายเส้นที่สามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งได้แสดงไว้ในหัวข้อ 3.2.1 โดยเมื่อลายเส้นของภาพตัวอักษรที่ตรวจ มีลักษณะตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดจึงจะนำไปหาแนวตัดแยก

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับแนวการตัด คือ ระยะและความเอียงของแนวซึ่งจะมีผลกระทบโดยตรงกับส่วนภาพตัวอักษรที่ตัดแยกมาได้ ซึ่งได้แสดงไว้แล้วในหัวข้อ 3.4 รูปที่ 3.13 ดังนั้นจากที่ได้ทำการทดสอบภาพตัวอักษรบางส่วน พบว่ายังคงเกิดความกำกวมอยู่ ระหว่างค่าระยะซึ่งอาจแปรผันตรงหรือแปรผกผันกับความเอียงของแนวการตัดแยกทำให้กำหนดได้ยาก แต่จากผลลัพธ์ภาพที่ได้โดยส่วนใหญ่ พบว่าเมื่อเทียบความเอียงกับระยะของแนวการตัดแยก ความเอียงจะมีผลกระทบน้อยกว่า เพราะฉะนั้นจะกำหนดค่าการยอมรับความเอียงของแนวการตัดแยกให้เป็นขอบเขตแทน โดยกำหนดให้เอียงได้ไม่เกิน 30 องศา จากแนวแกนดิ่ง

หลักการทำงาน เริ่มจากการกำหนดกรอบบริเวณขอบเขตภาพที่จะทำการตรวจสอบขึ้นมาก่อน โดยขอบเขตที่จะนำมาพิจารณาจะอยู่ในกรอบภาพขนาด 3 ATP คูณ 3 ATP และมีจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดที่ได้จากหัวข้อ 3.5.3 เป็นจุดศูนย์กลาง จากนั้นนำลายเส้นภายในกรอบภาพมาตรวจสอบ ด้วยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าพิกัด x (แนวนอน) และ y (แนวตั้ง) ของจุดภาพบนลายเส้นว่าตรงตามรูปแบบใด แล้วจึงทำการตัดแยกไปตามรูปแบบการติดกันลักษณะนั้น โดยแนวการตัดแยกจะได้จากตำแหน่งของจุดภาพที่ขอบลายเส้นด้านบนและขอบลายเส้นด้านล่าง ณ รอยที่ติดกัน สำหรับวิธีการพิจารณาเงื่อนไขการตรวจรูปแบบและการหาแนวตัดแยก เป็นดังนี้

รูปแบบที่ 1 ลายเส้นส่วนโค้งขวาติดกับลายเส้นส่วนโค้งซ้าย

จากลักษณะลายเส้นส่วนโค้งขวาติดกับลายเส้นส่วนโค้งซ้าย เมื่อพิจารณาลายเส้นที่อยู่ทางด้านบนและล่างจะพบว่ามีการคอดเข้าเกิดขึ้น ดังแสดงในหัวข้อ 3.2.1 รูปที่ 3.7 ดังนั้นแนวการตัดแยกของรูปแบบการติดกัน จะหาได้จากตำแหน่งจุดต่ำสุดและนูนของลายเส้นในแต่ละด้าน แล้วนำไปกำหนดเป็นแนวการตัดแยกภาพ สำหรับเงื่อนไขการตรวจสอบรูปแบบการติดกัน จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดรอบตำแหน่งของจุดภาพทั้งสอง ดังนี้

- ลายเส้นที่อยู่ทางด้านบน-ซ้าย ของจุดต่ำสุด มีการเปลี่ยนแปลงพิกัด y แบบลดลง เมื่อ x ลดลง
- ลายเส้นที่อยู่ทางด้านบน-ขวา ของจุดต่ำสุด มีการเปลี่ยนแปลงพิกัด y แบบลดลง เมื่อ x เพิ่มขึ้น
- ลายเส้นที่อยู่ทางด้านล่าง-ซ้าย ของจุดสูงสุด มีการเปลี่ยนแปลงพิกัด y แบบเพิ่มขึ้น เมื่อ x ลดลง
- ลายเส้นที่อยู่ทางด้านล่าง-ขวา ของจุดสูงสุด มีการเปลี่ยนแปลงพิกัด y แบบเพิ่มขึ้น เมื่อ x เพิ่มขึ้น

รูปที่ 3.28 ตัวอย่างการพิจารณาเงื่อนไขการตรวจรูปแบบและการหาแนวตัดแยก
สำหรับลายเส้นส่วนโค้งขวาติดกับลายเส้นส่วนโค้งซ้าย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบที่ 2 ลายเส้นส่วนโค้งติดกับลายเส้นโค้งทแยง

จากลักษณะลายเส้นส่วนโค้งติดกับลายเส้นโค้งทแยง รูปแบบการติดกันที่สามารถเกิดขึ้นได้ ดังแสดงในหัวข้อ 3.2.1 สามารถเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ ตัวอย่างเช่น ลายเส้นส่วนโค้งขวาติดกับลายเส้นโค้งทแยงขวา หรือ ลายเส้นโค้งทแยงซ้ายติดกับลายเส้นโค้งซ้าย เป็นต้น จากตัวอย่างจะเห็นว่ามีรูปแบบการติดกันแบบเดียวกัน แต่แตกต่างกันในส่วนการวางตัวของลายเส้น ซึ่งมีการพลิกซ้ายขวาสลับกันไป เพราะฉะนั้นเงื่อนไขในการตรวจสอบรูปแบบการติดกัน จะมีลักษณะเดียวกันดังนี้

กรณีลายเส้นส่วนโค้งขวาติดกับลายเส้นโค้งทแยงขวา จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดที่อยู่รอบตำแหน่งของจุดภาพ ดังนี้

- ลายเส้นที่อยู่ด้านบน-ซ้าย ของจุดต่ำสุด มีการเปลี่ยนแปลงพิกัด y แบบลดลง เมื่อ x ลดลง
- ลายเส้นที่อยู่ด้านบน-ขวา ของจุดต่ำสุด มีการเปลี่ยนแปลงพิกัด y แบบลดลง เมื่อ x เพิ่มขึ้น
- ลายเส้นที่อยู่ด้านล่าง ของกรอบบริเวณขอบเขตภาพ มีการเปลี่ยนแปลงพิกัด y แบบลดลง เมื่อ x เพิ่มขึ้น

สำหรับแนวการตัดแยก เนื่องจากปลายด้านหนึ่งจะได้จากตำแหน่งจุดต่ำสุดที่อยู่ที่ขอบลายเส้นด้านบน เพราะฉะนั้นตำแหน่งจุดภาพที่ปลายอีกด้านหนึ่งจะพิจารณาที่ขอบลายเส้นด้านล่าง เกณฑ์ในการเลือกจะพิจารณาจากค่าตำแหน่งคู่ลำดับจุดภาพที่ให้ระยะทางที่สั้นที่สุด โดยวัดเทียบจากจุดต่ำสุด ดังสมการ

$$d = \min \left(\sqrt{(x_{lowest_point} - x_i)^2 + (y_{lowest_point} - y_i)^2} \right) \quad (3.10)$$

เมื่อ x_i, y_i แทนคู่ลำดับจุดภาพที่ขอบลายเส้นด้านล่าง โดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา

รูปที่ 3.29 ตัวอย่างการพิจารณาเงื่อนไขการตรวจรูปแบบและการหาแนวตัดแยก
สำหรับลายเส้นส่วนโค้งติดกับลายเส้นโค้งทแยง

รูปแบบที่ 3 ลายเส้นแนวดิ่งติดกับลายเส้นลักษณะใดลักษณะหนึ่ง

การที่มีลายเส้นแนวดิ่งในบริเวณติดกัน รูปแบบนี้สามารถตรวจสอบได้ง่าย เนื่องจากเส้นแนวดิ่งจะคงที่และตรวจสอบได้ง่ายเมื่อเทียบกับลายเส้นลักษณะอื่น รวมทั้งแนวการตัดแยกนั้นเป็นการตัดในแนวตั้ง โดยตำแหน่งจะอยู่เลื่อนถัดไปทางด้านหลังของเส้นตรงดังกล่าว

การตรวจสอบเส้นแนวดิ่งจะพิจารณาจากความตรงของเส้น และมุมที่เส้นกระทำกับแกนในแนวตั้ง ขั้นตอนเริ่มจากการแปลงลายเส้นภาพตัวอักษรให้อยู่ในรูปโครงร่างบาง แล้วนำลายเส้นที่แยกได้มาตรวจสอบความตรงของเส้นค่ามุมเวกเตอร์ ตามวิธีการในหัวข้อ 2.4.7 โดยกำหนดให้จำนวนมุมที่ใช้ตรวจสอบ (n) และมุมการยอมรับ (β) ดังนี้

$$n = 2 \text{ และ } \beta \leq 20 \tag{3.11}$$

และค่ามุมที่เส้นกระทำกับแกนแนวตั้ง กำหนดให้เอียงไม่เกิน 15 องศา รวมทั้งกำหนดเงื่อนไขการตรวจระยะความสูงของเส้นด้วย จากรูปแบบการติดกันที่เกิดจากตัวอักษรประเภทขอบหลังเป็นเส้นตรง ดังนั้นขนาดของลายเส้นที่ตรวจควรเทียบเท่ากับความสูงเฉลี่ยของตัวอักษร ดังนี้

$$L_h \geq \frac{(75 \times d_{baseline})}{100} \tag{3.12}$$

เมื่อ $d_{baseline}$ คือ ระยะผลต่างระหว่างเส้นบรรทัดบนกับเส้นบรรทัดล่าง

รูปที่ 3.30 ตัวอย่างการพิจารณาเงื่อนไขการตรวจรูปแบบและการหาแนวตัดแยก
สำหรับลายเส้นแนวดิ่งติดกับลายเส้นลักษณะใดลักษณะหนึ่ง

3.5.5 การตัดสินใจความน่าเชื่อถือของแนวการตัดแยก

วิธีการหาแนวการตัดแยกตัวอักษรที่ติดกันภายในระดับ ตามกระบวนการทำงานที่ได้เสนอมาแล้วข้างต้น เมื่อนำมาทดสอบกับฐานข้อมูลภาพคำแล้วพบว่ามีแนวเส้นที่ตัดแยกได้จากกระบวนการนอกเหนือแนวติดกันจริง หรือที่เรียกว่า Over Segmentation จำนวนค่อนข้างมาก

เนื่องจากแนวคิดที่นำมาใช้แยกตัวอักษร พิจารณาจากบริเวณที่ขอบลายเส้นด้านหน้าและด้านหลังของตัวอักษร ซึ่งเป็นเพียงโครงสร้างส่วนหนึ่งของตัวอักษรเท่านั้น จะเห็นได้ว่าตามลักษณะวิเคราะห์การติดกันที่สามารถเกิดขึ้นได้ หากมีการกำกวมขึ้นกับโครงสร้างภายในตัวอักษรเอง หรือโครงสร้างของตัวอักษรที่ลายเส้นมีรูปแบบใกล้เคียงกับเงื่อนไขที่ใช้กำหนดรูปแบบการการติดกันที่สามารถเกิดขึ้นได้ ย่อมเป็นสาเหตุให้การตัดแยกไปตัดที่บริเวณภายในโครงสร้างตัวอักษรเอง เพราะฉะนั้นการแก้ปัญหาสามารถทำได้โดยการเพิ่มส่วนการตรวจสอบลักษณะภาพที่ตัดแยกได้ เพื่อช่วยลดปัญหาการตัดแยกเกินดังกล่าว

สำหรับรูปแบบที่จะนำมาใช้ตรวจสอบลักษณะภาพที่ตัดแยกได้ เราจะพิจารณาเฉพาะส่วนภาพที่มีการตัดแยกผิดพลาดในลักษณะซ้ำเป็นหลัก จากนั้นทำการแยกคืนและรวมกลับ (Split and Merge) โดยจะพิจารณาจากผลลัพธ์แนวการตัดแยกที่ได้ มาตัดแยกภาพ (Split) จากนั้นนำส่วนภาพที่ตัดแยกได้ไปตรวจลักษณะ เมื่อตรวจแล้วพบว่ามีอยู่ในรูปแบบที่เรากำหนดไว้ แสดงว่าภาพดังกล่าวเป็นเพียงส่วนใดส่วนหนึ่งของโครงสร้างตัวอักษรไม่ใช่ตัวอักษรที่สมบูรณ์ จึงทำการรวมภาพกลับคืน (Merge) ส่วนภาพเดิม หรือเป็นการยกเลิกแนวการตัดนั้น ๆ ออกไปนั่นเอง สำหรับองค์ประกอบพื้นฐานที่เรานำมาใช้ตรวจสอบรูปแบบภาพ ได้แก่ ขนาดของหัว เวกเตอร์ทิศทาง ลักษณะเส้นตรง และ ขนาดพื้นที่ว่างเป็นต้น

รูปแบบของส่วนภาพที่ไม่ใช่ตัวอักษรที่ถูกนำมาตรวจสอบเพื่อทำการแยกคืนและรวมกลับได้แก่

รูปแบบที่ 1 มีหัวอยู่ด้านบนของส่วนภาพ และทางด้านขวาของหัวมีเส้นตรงในแนวดิ่ง รูปแบบที่ 1 นี้มักเกิดจากการตัดแยกเกินบริเวณส่วนหน้าของตัวอักษร เช่น น ท พ ห ฟ เป็นต้น

รูปที่ 3.31 ส่วนภาพที่มีแหวนอยู่ด้านบนของส่วนภาพ และทางด้านขวาของหัวมีเส้นตรงในแนวดิ่ง

รูปแบบที่ 2 ส่วนภาพเป็นเพียงเส้นตรง มักเกิดจากการตัดแยกเกินบริเวณส่วนหลังของตัวอักษร เช่น พ ม ผ ป เป็นต้น

รูป 3.32 ส่วนภาพเป็นเพียงเส้นตรง

นอกจากการตรวจสอบรูปแบบของส่วนภาพที่ได้จากแนวการตัดแยกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของแนวการตัดแยกแล้ว ยังมีการพิจารณาลักษณะแนวการตัดแยกว่าทำให้เกิดการแบ่งส่วนภาพหลักออกเป็น 2 ส่วนภาพได้หรือไม่ด้วย ถ้าหากแนวการตัดแยกที่นำมาพิจารณาไม่ทำให้เกิดการแบ่งส่วนภาพหลักออกเป็น 2 ส่วนภาพได้ จะพิจารณาว่าแนวการตัดแยกนั้นไม่ถูกต้อง และยกเลิกแนวการตัดแยกนั้นไป

รูปที่ 3.33 แนวการตัดแยกที่ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพหลักออกเป็น 2 ส่วนภาพได้

3.6 การแยกตัวอักษรที่ติดกันต่างระดับ (External Segmentation)

จากปัญหาประการที่ 2 ในหัวข้อที่ 3.1 ลักษณะการติดกันของตัวอักษรอยู่ในแนวตั้งซึ่งเกิดขึ้นที่เหนือเส้นบรรทัดบนและใต้เส้นบรรทัดล่าง โดยแยกการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.6.1 กรณีการติดกันที่บริเวณเหนือเส้นบรรทัดบน

จากจำนวนตัวอักษรทั้งหมด เมื่อพิจารณาโครงสร้างภาษาไทยเฉพาะที่ลายเส้นมีการวางตัวอยู่ในพื้นที่ระดับบน มีจำนวนตัวอักษร 23 ตัวอักษร ประกอบไปด้วย

ช ซ ฐ ป ฝ ฟ ส ศ พ ฮ

ิ ี ึ ่ ้ ๊ ๋ ็ ์ ๆ ๗

จากจำนวนตัวอักษรที่ปรากฏจะเห็นได้ว่าลายเส้นของตัวอักษรมีรูปแบบที่แตกต่างกัน รวมถึงลักษณะการติดกันของลายเส้นที่สามารถเกิดขึ้นได้นั้น มีตำแหน่งการติดกันที่หลากหลาย จึงทำให้ไม่สามารถระบุจำนวนรูปแบบได้ทั้งหมด ดังนั้นในส่วนนี้จะเสนอแก้ตามรูปแบบที่เกิดขึ้นบ่อย ประกอบด้วย

- ติดกับสระ หรือ วรรณยุกต์ในแนวเส้นบรรทัด
- ลายเส้นเขียนแบบต่อเนื่อง
- ปลายหางพาดติดกับสระ

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.34 รูปแบบการติดกันที่บริเวณเหนือเส้นบรรทัดบน

การแยกตัวอักษรที่ติดกันต่างระดับการติดกันด้านบนนั้นลายเส้นมีการเอียงซ้อนกัน ถ้าจะตัดให้ได้ผลดีจะต้องตัดโดยมีความเอียงเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่จากการทดสอบด้วยการตัดในแนวระดับ พบว่าผลของตัวอักษรที่ถูกตัดสูญเสียข้อมูลโครงสร้างตัวอักษรไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับตัวอักษรสมบูรณ์ จึงยอมให้แนวการตัดแยกตัวอักษรกรณีที่ติดกันต่างระดับนี้ ให้ตัดแยกในแนวระดับเพียงอย่างเดียวได้

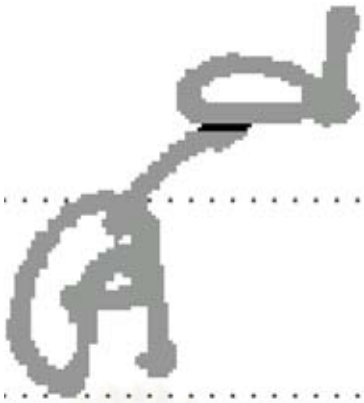
สำหรับการติดกันกับสระหรือวรรณยุกต์ในแนวเส้นบรรทัด ส่วนมากเกิดจากโครงสร้างตัวอักษรระดับกลางประเภทที่มีลายเส้นปิดด้านบน ทำให้ในการประกอบคำที่ต้องมีสระหรือวรรณยุกต์มาผสมอยู่ จะมีโอกาสเกิดการติดกันของลายเส้นได้ง่าย (ตัวอักษรประเภทลายเส้นปิดด้านบน แสดงในหัวข้อที่ 3.2.2) เมื่อพิจารณารูปแบบการติดกันนี้ พบว่าบริเวณลายเส้นที่ติดกันจะมีลักษณะคอดเข้า เพราะฉะนั้นตัดสินใจเลือกแนวตัดแยกที่ระยะที่แคบที่สุด

รูปที่ 3.35 ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรระดับกลาง
ที่มีการติดกับสระหรือวรรณยุกต์ในแนวเส้นบรรทัด

สำหรับการติดกันเนื่องจากลายเส้นเขียนแบบต่อเนื่อง เมื่อนำรูปแบบการติดกันมาพิจารณาจะพบว่าโครงสร้างการติดกันลักษณะนี้ มีการหักมุม ณ ตำแหน่งการตวัดเส้นในขณะที่เริ่มต้นเขียนสระ จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นช่องว่างทางขวาที่อยู่ลึกที่สุด เพราะฉะนั้นตัดสินใจเลือกช่องว่างทางขวาที่อยู่ลึกที่สุดเป็นแนวตัดแยก

รูปที่ 3.36 ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรระดับกลาง
ที่มีการติดกันเนื่องจากลายเส้นเขียนแบบต่อเนื่อง

สำหรับการติดกันจากปลายหางตัวอักษรพาดติดกับสระ เกิดจากปลายของหางไปทับหรือเชื่อมติดกับสระที่อยู่เหนือถัดขึ้นไป เมื่อนำรูปแบบมาพิจารณาจะพบว่าลักษณะเด่นของโครงสร้างการติดกันลักษณะนี้ คือ ลายเส้น (หาง) ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงในแนวดิ่ง โดยสามารถตรวจได้จากเส้นตรงที่วางทอดตัวอยู่ในแนวดิ่งหรือเอียงออกจากแนวดิ่งไปเล็กน้อย โดยมีบริเวณการวางตัวของลายเส้นอยู่เหนือเส้นระดับบรรทัดบน และตำแหน่งการติดกันจะพบที่ปลายหางของลายเส้น ตรวจสอบลายเส้นดังกล่าวได้ จะตัดสินใจเลือกแนวตัดแยกจากตำแหน่งที่ปลายหางของเส้นดังกล่าว



รูปที่ 3.37 ตัวอย่างตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรระดับกลาง
ที่มีการติดกันจากปลายหางตัวอักษรพาดติดกับสระ

3.6.2. กรณีการติดกันที่บริเวณใต้แนวเส้นบรรทัดล่าง

จากจำนวนตัวอักษรทั้งหมด พิจารณาโครงสร้างภาษาไทยเฉพาะที่ลายเส้นมีการวางตัวอยู่ในพื้นที่ระดับล่าง มีจำนวนตัวอักษร 6 ตัวอักษร ประกอบไปด้วย

ญ ฎ ฏ ฐ ุ ู

และสำหรับพยัญชนะที่เหลือ ประกอบไปด้วย

ก ข ค ฆ ง จ ฉ ช ซ ฌ ฑ ฒ ณ ด ต ถ ท ธ น

บ ป ผ ฝ พ ฟ ภ ม ย ร ล ว ส ศ ษ ห ฬ อ ฮ

สำหรับพยัญชนะ ญ ฎ ฏ ฐ ไม่ต้องนำมาพิจารณาเนื่องจากในภาษาไทยไม่มีโครงสร้างคำใดที่เขียนตัวอักษรดังกล่าวผสมกับ สระ ุ ู เพราะฉะนั้นรูปแบบการติดกันจะเกิดจากลายเส้นด้านล่างของพยัญชนะที่เหลือซึ่งมีลักษณะที่เป็น เส้นแนวนอน เส้นตั้ง และหัว มาติดกับสระ ุ ู ดังรูปที่ 3.38

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.38 รูปแบบการติดกันที่บริเวณใต้เส้นบรรทัดล่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การติดกันที่บริเวณใต้แนวเส้นบรรทัดล่าง เมื่อนำรูปแบบการติดกันมาพิจารณา พบว่ารูปแบบการติดกันทั้ง 3 รูปแบบ สามารถพิจารณาได้จากความหนาบางของลายเส้น ด้วยการฉายจุดภาพลงบนแกนในแนวดิ่ง และตัดสินใจเลือกแนวการตัดแยกจากค่าพิกัดในแนวแกนดิ่งที่มีค่าน้อยและใกล้กับเส้นบรรทัดล่างมากที่สุด

รูปที่ 3.39 ตัวอย่างการตัดแยกตัวอักษรระดับกลางที่มีการติดกันที่บริเวณใต้แนวเส้นบรรทัดล่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ขั้นตอนการทดลอง ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการประเมินประสิทธิภาพของระบบการตัดแยกตัวอักษรในงานวิจัยนี้ ทั้งในส่วนของวิธีการทดลอง ผลการทดลอง รวมทั้งการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

4.1 เครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบ

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ใช้หน่วยประมวลผลกลางรุ่น Pentium III ความเร็ว 733 เมกกะเฮิร์ท(MHz) หน่วยความจำหลัก 128 เมกกะไบต์(MBytes)
2. โปรแกรมการแยกตัวอักษรที่เป็นคำที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรม ซี++ ของบริษัทไมโครซอฟท์ ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดว์ 2000

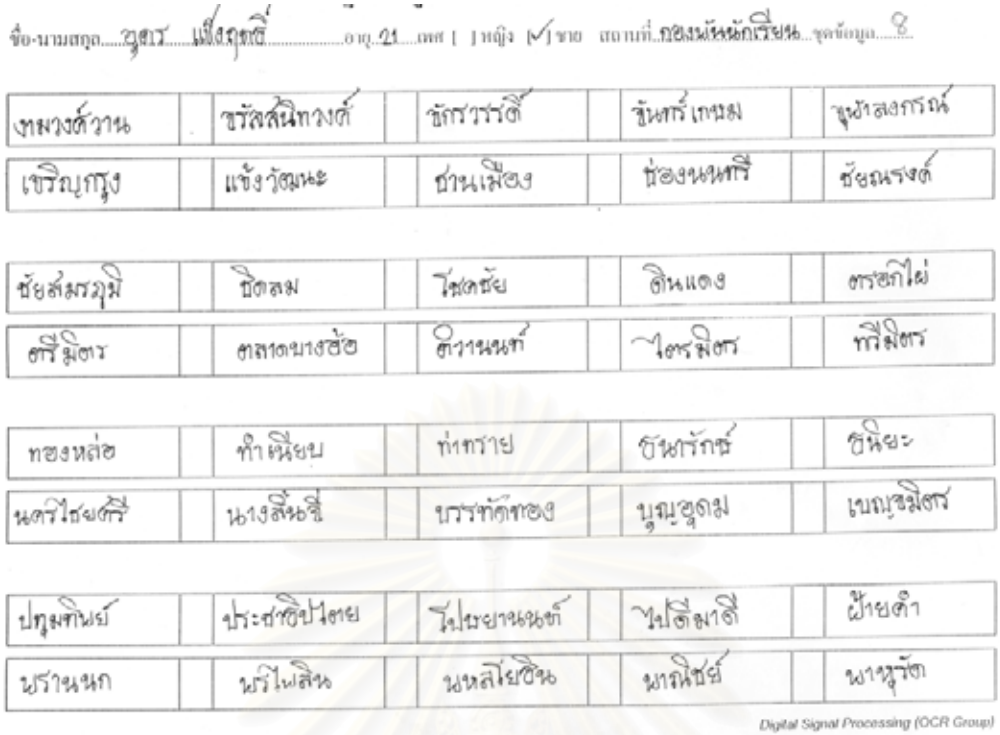
4.2 แหล่งที่มาของข้อมูลและการเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ทดสอบเป็นตัวอักษรภาษาไทย ที่เขียนในรูปแบบคำ เก็บข้อมูลจากผู้เขียนจำนวน 90 คน อายุในช่วง 18-25 ปี ด้วยการให้เขียนกรอกลงในกระดาษที่เตรียมไว้ ซึ่งกำหนดบริเวณที่ใช้เขียนเป็นช่องขนาดพอคำ โดยให้เขียนจำนวนคำศัพท์ 40 คำต่อคน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และเขียนด้วยปากกาหมึกดำ สำหรับรายชื่อคำศัพท์ที่นำมาใช้เป็นฐานข้อมูล มีจำนวนคำศัพท์ทั้งหมด 156 คำ ในแต่ละคำมีความยาวของจำนวนตัวอักษรอยู่ในช่วงตั้งแต่ 3 ตัวอักษร ถึง 15 ตัวอักษร โดยคำศัพท์ที่นำมาใช้เป็นฐานข้อมูล ได้แก่ ชื่อจังหวัดในประเทศไทย 76 จังหวัด ชื่อถนน ชื่อสถานที่ในกรุงเทพมหานคร ชื่อวัน และเดือน แสดงในตารางที่ 4.1

สำหรับภาพข้อมูลคำที่นำมาใช้ทดสอบกับโปรแกรมการแยกตัวอักษรที่เป็นคำ ได้จากการนำกระดาษข้อมูลภาพคำที่เก็บ มาสแกนที่ความละเอียด 300x300 จุดภาพต่อความยาว 1 นิ้ว (dpi) เป็นแบบ Gray Scale ระดับสี 256 ระดับ แล้วแปลงให้เป็นแบบไบนารี่ ระดับสี 2 ระดับ คือ สีขาว กับ สีดำ โดยจุดภาพสีดำแทนข้อมูล มีค่าเท่ากับหนึ่ง และจุดภาพสีขาวแทนพื้นหลัง มีค่าเท่ากับศูนย์ และขนาดภาพคำที่ใช้ในการประมวลผล เท่ากับ 510x150 จุดภาพ

ตารางที่ 4.1 รายชื่อคำที่ใช้เป็นฐานข้อมูล

ตรัง	สตูล	ชุมพร	กรุงเทพมหานคร	สมุทรสงคราม
สมุทรสาคร	สมุทรปราการ	ร้อยเอ็ด	พิจิตร	ลำพูน
กระบี่	นครปฐม	แม่ฮ่องสอน	ฉะเชิงเทรา	นราธิวาส
นครสวรรค์	สระแก้ว	ลำปาง	ยโสธร	ชัยนาท
นนทบุรี	ลพบุรี	อุทัยธานี	จันทบุรี	พัทลุง
ปทุมธานี	ภูเก็ต	หนองบัวลำภู	อุดรธานี	ชลบุรี
อุตรดิตถ์	กาญจนบุรี	อำนาจเจริญ	เพชรบูรณ์	สุรินทร์
ราชบุรี	สระบุรี	สุพรรณบุรี	เชียงราย	นครราชสีมา
เพชรบุรี	อุบลราชธานี	สุโขทัย	พิษณุโลก	ชัยภูมิ
ปราจีนบุรี	อุบลราชธานี	สุราษฎร์ธานี	ปัตตานี	นครศรีธรรมราช
สิงห์บุรี	เชียงใหม่	กาฬสินธุ์	บุรีรัมย์	ประจวบคีรีขันธ์
เลย	ตาก	ตราด	นครนายก	นครพนม
หนองบัวลำภู	มหาสารคาม	สกลนคร	สงขลา	พะเยา
ระนอง	ระยอง	ยะลา	น่าน	อ่างทอง
ขอนแก่น	แพร่	พังงา	กำแพงเพชร	อยุธยา
มุกดาหาร	ยานนาวา	สัมพันธวงศ์	ห้วยขวาง	เอราวัณ
งามวงศ์วาน	จรัลสนิทวงศ์	จักรวรรดิ์	จันทร์เกษม	จุฬาลงกรณ์
เจริญกรุง	แจ้งวัฒนะ	พระนคร	ช่องนนทรี	ชัยณรงค์
ชัยสมรภูมิ	ชิดลม	โชคชัย	ดินแดง	ตรอกไผ่
ตรีมิตร	ตลาดบางอ้อ	ติวานนท์	ไตรมิตร	ทวีมิตร
ทองหล่อ	ทำเนียบ	ท่าทราย	ธนารักษ์	ธนิยะ
นครไชยศรี	นางลิ้นจี่	บรรทัดทอง	บุญอุดม	เบญจมิตร
ปทุมทิพย์	ประชาธิปไตย	โปษยานนท์	ไปดีมาดี	ฝ้ายคำ
พรานนก	พรไพลิน	พหลโยธิน	พาณิชย์	พาหุรัด
เพชรเกษม	เภสัชไทย	มหาดไทย	มิตรบำรุง	ไมตรีจิตร
ราชดำริ	รามคำแหง	ร่วมเจริญ	รัตนาธิเบศร์	โรงเต้าหู้
วัชรพล	วชิระ	วัดกำแพง	คลองสาน	ดุสิต
ธนบุรี	บางกอกน้อย	ปทุมวัน	พญาไท	รามอินทรา
จันทร์	อังคาร	พฤหัสบดี	อาทิตย์	มกราคม
กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน
กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน
ธันวาคม				



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างรูปกระดาษสำหรับเก็บฐานข้อมูล

จากผู้เขียนจำนวน 90 คน พบว่าข้อมูลลายมือเขียนบางส่วนไม่สามารถนำมาใช้ทดสอบได้ เนื่องจากสาเหตุปัจจัยหลายอย่าง เช่น ตัวอักษรที่เขียนตัวเล็กมากทำให้ข้อมูลโครงสร้างลายเส้นของตัวอักษรมีน้อยมาก ตัวอักษรที่เขียนลายมือเขียนหวัดมาก ซึ่งมีหลายกรณี เช่น นิสัยการเขียนที่ไม่แน่นอนโดยในแต่ละตัวอักษรของคำหนึ่งคำจะเขียนในรูปแบบต่างๆ กัน นิสัยการเขียนลายเส้นโยงตวัดข้ามกันไปมาระหว่างตัวอักษร เป็นต้น ซึ่งข้อมูลลักษณะดังกล่าวจึงถูกคัดออก

สำหรับข้อมูลลายมือเขียนที่นำมาใช้ทดสอบการแยกตัวอักษร ประกอบด้วย ผู้เขียนจำนวน 60 คน รวมเป็นจำนวนคำศัพท์ในฐานข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ 2,400 คำ โดยฐานข้อมูลนี้จะสุ่มจำนวนคำขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษร ซึ่งจำนวนข้อมูลที่ใช้ในแต่ละการทดสอบจะอ้างอิงตามชื่อกลุ่มที่กำหนดไว้ด้านล่าง โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ใช้ทดสอบแนวการตัดแยกการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับ โดยแบ่งออกเป็น

กลุ่มที่ 1.1 กลุ่มที่ใช้พิจารณาแนวการตัดแยกการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับ

ฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบได้มาจากการเลือกจำนวนคำจากฐานข้อมูลทั้งหมดอย่างสุ่ม เป็นจำนวน 698 คำ ประกอบด้วยจำนวนตัวอักษร 4,590 ตัว และจำนวนตำแหน่งของการติดกันของตัวอักษร 828 ตำแหน่ง

กลุ่มที่ 1.2 กลุ่มที่ใช้พิจารณาความถูกต้องของตัวอักษรในแนวระดับ ที่ผ่านกระบวนการตัดแยกแล้ว

ฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบได้มาจากการเลือกจำนวนคำจากฐานข้อมูลทั้งหมดอย่างสุ่ม เป็นจำนวน 1,087 คำ ประกอบด้วยจำนวนตัวอักษร 7,142 ตัว โดยฐานข้อมูลนี้ประกอบด้วยข้อมูลภาพคำที่มีทั้งตัวอักษรเดี่ยว ตัวอักษรที่มีการเชื่อมติดกัน อยู่รวมกัน สามารถแจกแจงได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบการพิจารณา
ความถูกต้องของตัวอักษรในแนวระดับ ที่ผ่านกระบวนการตัดแยกแล้ว

	จำนวนคำ	จำนวนตัวอักษร	จำนวนตัวอักษรเดี่ยว
ข้อมูลภาพทั้งหมด	1087	7142	4733
ข้อมูลภาพคำมีแต่ตัวอักษรเดี่ยว	285	1619	1619
ข้อมูลภาพคำมีตัวอักษรเดี่ยว และมีตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกัน 1 ตำแหน่ง	467	3012	2086
ข้อมูลภาพคำมีตัวอักษรเดี่ยว และมีตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกันมากกว่า 1 ตำแหน่ง	308	2368	1028
ข้อมูลภาพคำไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลย	27	143	0

กลุ่มที่ 1.3 กลุ่มที่ใช้พิจารณาความถูกต้องของตัวอักษรในแนวระดับ ที่ผ่านกระบวนการตัดแยกแล้ว โดยพิจารณาเฉพาะส่วนภาพที่ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวอยู่เลย ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบการพิจารณาความถูกต้องของตัวอักษรในแนวระดับ ที่ผ่านกระบวนการตัดแยกแล้ว โดยพิจารณาเฉพาะส่วนภาพที่ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวอยู่เลย

	จำนวน (ส่วนภาพ)	จำนวนตัวอักษร
ส่วนภาพที่มี 2 ตัวอักษร	971	1362
ส่วนภาพที่มี 3 ตัวอักษร	503	1509

กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรต่างระดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรต่างระดับ

	จำนวนตัวอักษร	จำนวนแนว การติดกัน
ส่วนภาพที่เป็นการติดกันของตัวอักษรในระดับบนกับระดับกลาง	836	418
ส่วนภาพที่เป็นการติดกันของตัวอักษรในระดับล่างกับระดับกลาง	328	164

กลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรโดยรวม

ฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบได้มาจากการเลือกจำนวนคำจากฐานข้อมูลทั้งหมดอย่างสุ่ม เป็นจำนวน 1,539 คำ ประกอบด้วยจำนวนตัวอักษร 12,117 ตัว โดยฐานข้อมูลนี้ประกอบด้วยข้อมูลภาพคำที่มีทั้งตัวอักษรเดี่ยว ตัวอักษรที่มีการเชื่อมติดกัน อยู่รวมกัน สามารถแจกแจงได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรโดยรวม

	จำนวนคำ	จำนวนตัวอักษร	จำนวนตัวอักษรเดี่ยว
ข้อมูลภาพทั้งหมด	1539	12117	7774
ข้อมูลภาพคำมีแต่ตัวอักษรเดี่ยว	191	1346	1346
ข้อมูลภาพคำที่มีเฉพาะการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับ	846	6732	4217
ข้อมูลภาพคำที่มีเฉพาะการติดกันของตัวอักษรต่างระดับ	277	1666	1136
ข้อมูลภาพคำที่มีการติดกันของตัวอักษรทั้งในแนวระดับและต่างระดับ	225	2373	1075
ข้อมูลภาพคำไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลย	19	108	0
ข้อมูลภาพคำที่มีตัวอักษรติดกันแต่ยังคงมีตัวอักษรเดี่ยวอยู่	1329	10663	6428

4.3 การทดสอบและการวัดผลการแยกตัวอักษร

4.3.1 การประเมินอัตราการตัดแยกตัวอักษร

การตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการตัดแยกตัวอักษรของงานวิจัยนี้ ใช้เกณฑ์การนับต่าง ๆ ดังนี้

1. อัตราการตัดเกิน (Over Segment Rate) คือ ร้อยละของอัตราส่วนระหว่าง จำนวนตัวอักษรที่ผิดพลาดเนื่องจากการตัดเกิน ทั้งตัวอักษรเดี่ยว และตัวอักษรที่ติดกัน ต่อจำนวนตัวอักษรทั้งหมด สามารถแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\text{อัตราการตัดเกิน} = \frac{\text{จำนวนตัวอักษรที่ผิดพลาดเนื่องจากการตัดเกิน}}{\text{จำนวนตัวอักษรทั้งหมด}} \times 100 \qquad (4.1)$$

2. อัตราความถูกต้องของแนวตัดแยก (Correct Segment Path Rate) คือ ร้อยละของอัตราส่วนระหว่างจำนวนแนวทางการตัดแยกที่ถูกต้องที่ถูกตรวจพบจากกระบวนการ ต่อ

จำนวนแนวทางการตัดแยกของตัวอักษรที่ติดกันจริงทั้งหมด สามารถแสดงดังสมการต่อไปนี้

อัตราความถูกต้องของแนวตัดแยก

$$= \frac{\text{จำนวนแนวการตัดแยกที่ถูกต้องที่ถูกตรวจพบจากกระบวนการ}}{\text{จำนวนแนวการตัดแยกจริงทั้งหมด}} \times 100 \quad (4.2)$$

3. อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก (Correct Segmented Character Rate) คือ ร้อยละของอัตราส่วนระหว่างจำนวนอักษรที่สามารถอ่านได้ถูกต้อง ต่อจำนวนตัวอักษรจริงทั้งหมด อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกจะสามารถแสดงให้เห็นถึงภาพรวมของระบบการตัดแยกทั้งหมด ที่รวมผลของการตัดเกิน และความถูกต้องของแนวตัดแยกเอาไว้ด้วยกัน สามารถแสดงดังสมการต่อไปนี้

อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก

$$= \frac{\text{จำนวนตัวอักษรที่สามารถอ่านได้ถูกต้อง}}{\text{จำนวนตัวอักษรจริงทั้งหมด}} \times 100 \quad (4.3)$$

4.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรในแนวระดับ

การตัดแยกตัวอักษรในแนวระดับเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญที่สุดในกระบวนการตัดแยกตัวอักษรทั้งหมด ทั้งนี้เพราะว่าตัวอักษรในแนวระดับมีจำนวนมาก และมีรูปแบบการติดกันที่ซับซ้อน ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ในกระบวนการตัดแยกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ การมีแนวตัดแยกเกิน และการที่แนวการตัดแยกไม่ครบถ้วน การทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรในแนวระดับของงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดสอบ ได้แก่

การทดสอบที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพของการหาแนวตัดแยกของตัวอักษรในแนวระดับ

เป็นการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของหาแนวตัดแยกของตัวอักษรในแนวระดับ ด้วยกระบวนการตัดแยกที่จำลองขึ้นตามความรู้ฮิวริสติคที่นำมาใช้ร่วมกับลักษณะโครงสร้างของตัวอักษรภาษาไทยตามที่ได้เสนอไว้ เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการคำนึงถึงโครงสร้างส่วนภาพย่อยที่ตัดออกมาได้ ในการทดสอบที่ 1 นี้จะพิจารณา อัตราการตัดเกิน และ อัตราความถูกต้องของแนวตัดแยก

การทดสอบที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งแนวการตัดแยกที่ถูกต้องของตัวอักษรในแนวระดับ โดยใช้การวิเคราะห์รูปแบบของส่วนภาพที่ตัดแยกได้

เป็นการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งแนวการตัดแยกที่ถูกต้องหลังจากที่ได้ทำการแก้ไขสาเหตุปัญหาการตัดแยกเกินด้วยการรวมภาพกลับคืน โดยจะเพิ่มส่วนการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแนวตัดแยก ด้วยการนำส่วนภาพที่ตัดแยกได้มาตรวจสอบโครงสร้างลายเส้นโดยรวม เทียบกับรูปแบบที่กำหนดซึ่งพบว่ามีการตัดแยกเกินเกิดขึ้นบ่อยๆ อีกครั้งหนึ่ง ถ้ามี

ลักษณะตรงตามรูปแบบดังกล่าวจะพิจารณาว่าแนวการตัดแยกนั้นเป็นแนวการแยกที่ผิด ในการทดสอบที่ 2 นี่จะพิจารณา อัตราการตัดเกิน และ อัตราความถูกต้องของแนวตัดแยก

การทดสอบที่ 3 ทดสอบกระบวนการตัดแยกตัวอักษรในแนวระดับ โดยรวม

เป็นการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพการแยกตัวอักษร ที่ติดกันในแนวระดับ โดยกระบวนการตัดแยกได้รวมการตรวจสอบส่วนภาพ (ดังเช่นการทดสอบที่ 2) ไว้ในกระบวนการตัดแยกด้วย ในการทดสอบที่ 3 นี้จะพิจารณาอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก

4.3.2.1 ผลการทดสอบแนวการตัดแยกการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับ

เป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างการทดสอบที่ 1 กับ การทดสอบที่ 2 เพื่อพิจารณาแนวทางการตัดแยกที่ถูกระบุจากกระบวนการตัดแยกในงานวิจัยนี้ ทั้งในส่วนแนวการตัดแยกที่ถูกต้อง และแนวการตัดแยกเกิน โดยฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบได้จากกลุ่มที่ 1.1 ในหัวข้อที่ 4.2 เป็นจำนวน 698 คำ ประกอบด้วยจำนวนตัวอักษร 4,590 ตัว และจำนวนตำแหน่งของการติดกันของตัวอักษร 828 ตำแหน่ง โดยผลจากการวัดการตัดเกินและความถูกต้องของแนวตัดแยกที่ตรวจสอบได้ แสดงดังตารางที่ 4.6

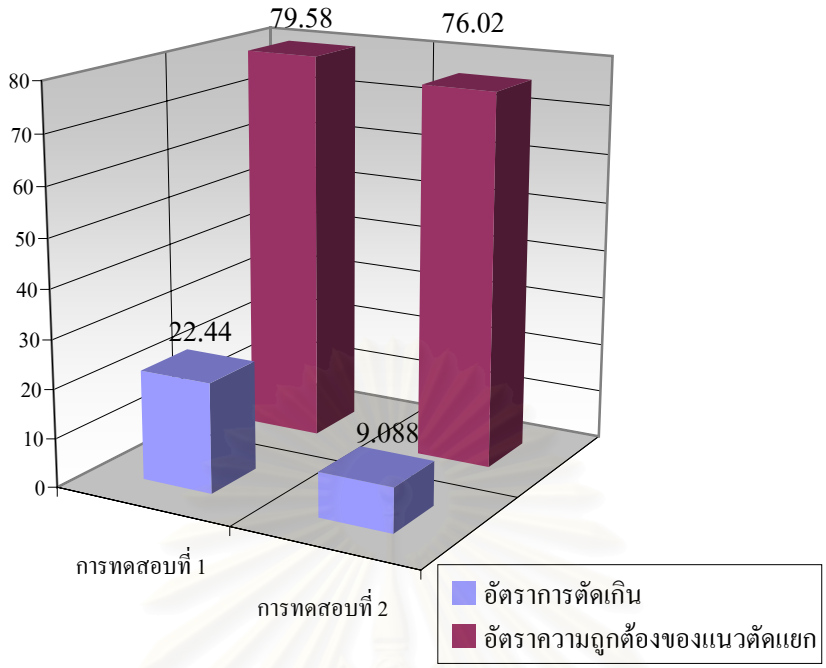
ตารางที่ 4.6 ผลการนับจำนวนแนวการตัดแยก
และจำนวนตัวอักษรที่ผิดพลาดสำหรับฐานข้อมูลตัวอักษรในแนวระดับ

	การทดสอบที่ 1	การทดสอบที่ 2
จำนวนตัวอักษรที่ผิดพลาด เนื่องจากการตัดเกิน	1030	417
จำนวนแนวทางการตัดแยกที่ถูกต้องที่ถูกตรวจพบจากกระบวนการ	659	631

อัตราการตัดเกิน และ อัตราความถูกต้องของแนวตัดแยก ของการทดสอบที่ 1 และการทดสอบที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 อัตราการตัดเกิน และ
อัตราความถูกต้องของแนวตัดแยก สำหรับฐานข้อมูลตัวอักษรในแนวระดับ

	การทดสอบที่ 1	การทดสอบที่ 2
อัตราการตัดเกิน	$\frac{1030}{4590}\times 100 = 22.44\%$	$\frac{417}{4590}\times 100 = 9.08\%$
อัตราความถูกต้องของแนวตัดแยก	$\frac{659}{828}\times 100 = 79.58\%$	$\frac{631}{828}\times 100 = 76.02\%$



รูปที่ 4.2 กราฟอัตราการตัดเกินและอัตราความถูกต้องของแนวตัดแยกของตัวอักษรในแนวระดับ

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่า อัตราการตัดเกินจากการทดสอบที่ 2 ต่ำกว่า การทดสอบที่ 1 โดยลดลงจาก 22.44 เป็น 9.08 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าการทดสอบที่ 1 มีการตัดแยกเกินค่อนข้างสูง ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมาจากความกำกวมกันระหว่างลายเส้นในบริเวณการติดกันจริงกับลายเส้นในส่วนพื้นที่ภาพอื่น เนื่องจากในขั้นตอนการตัดแยกใช้การกำหนดขอบเขตพื้นที่ภาพ ซึ่งมีปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ภาพทั้งหมด ทำให้ลายเส้นที่พิจารณาอาจไปคล้ายกับแบบจำลองลายเส้นการติดกัน ทำให้ตัดสินใจตัดแยก ดังที่จะได้อธิบายต่อไปในตอนท้ายของบทนี้ เมื่อทำการแก้ไขด้วยการเพิ่มส่วนการตรวจสอบส่วนภาพที่ตัดแยกได้ ว่าเป็นส่วนภาพที่ดีหรือไม่ และนำไปตัดสินใจยกเลิกเส้นทางการตัดแยกที่ทำให้ได้ส่วนภาพที่ไม่ดีเหล่านั้น ตามการทดสอบที่ 2 ทำให้อัตราการตัดเกินลดลง ถึง 13.36 เปอร์เซ็นต์ แต่การตัดสินใจเพื่อยกเลิกแนวการตัดแยกดังการทดสอบที่ 2 ส่งผลให้อัตราการความถูกต้องของแนวตัดแยกลดลง เนื่องมาจากแนวการแยกที่ถูกต้องถูกยกเลิกไปบางส่วน อย่างไรก็ดีอัตราความถูกต้องของแนวตัดแยกในการทดสอบที่ 2 ลดลงจากของการทดสอบที่ 1 เพียง 3.56 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น

สำหรับอัตราการความถูกต้องของแนวตัดแยกที่ลดลง 3.56 เปอร์เซ็นต์นี้ เป็นผลมาจากส่วนภาพที่ตัดแยกมาได้ เมื่อนำไปตรวจสอบรูปแบบแล้วพบว่ามีลักษณะไปคล้ายกับส่วนภาพที่ไม่ใช่ตัวอักษร ตามที่ได้เสนอไว้ในหัวข้อที่ 3.5.5 ซึ่งโดยส่วนใหญ่พบว่าเกิดจากสระ เ แ โ ไ ใ ที่เขียนค่อนข้างหวัด ทำให้ส่วนหัวของสระดังกล่าวหายไป ดังนั้นถึงแม้ว่าจะตัดแยกสระดังกล่าวออกมาได้ถูกต้องจากกระบวนการแยกตัวอักษร แต่เมื่อนำส่วนภาพดังกล่าวไปตรวจสอบจะมีลักษณะเป็นเพียงเส้นตรง จึงถูกระบุว่าไม่ใช่ตัวอักษร จึงทำการยกเลิกแนวการตัดแยกนั้นออกหรือรวมส่วนภาพ

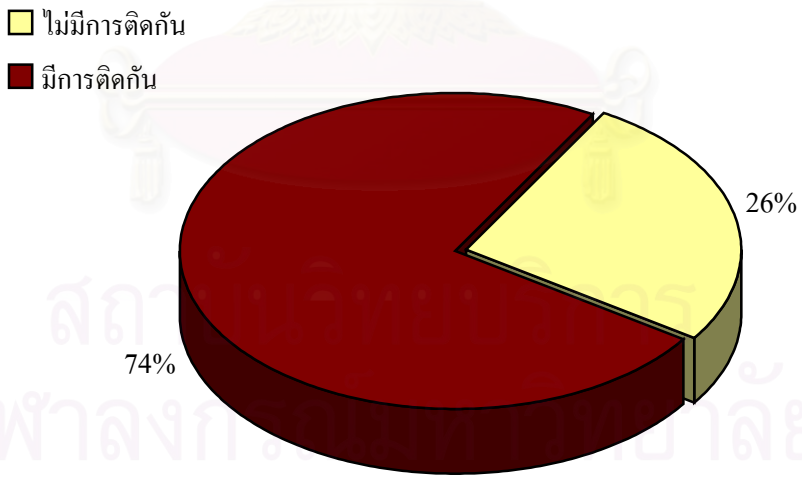
นั้นกลับคืนส่วนภาพเดิม จะเห็นได้ว่ารอยตัดแยกที่ตัดได้หายไปด้วย จึงส่งผลให้อัตราความถูกต้องของแนวตัดแยกลดลงจากเดิมบ้าง

4.3.2.2 การพิจารณาความถูกต้องของตัวอักษรในแนวระดับ ที่ผ่านกระบวนการตัดแยกแล้ว

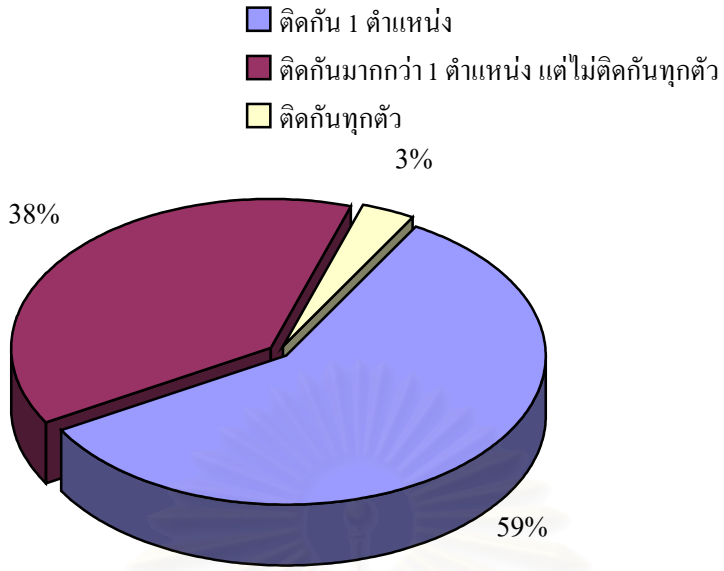
เป็นการพิจารณาผลลัพธ์ของกระบวนการตัดแยก ซึ่งได้เป็นตัวอักษรก่อนนำไปสู่กระบวนการรู้จำ โดยพิจารณาการทดสอบที่ 3 ในฐานข้อมูลที่เป็นคำ โดยฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบได้จากกลุ่มที่ 1.2 ในหัวข้อที่ 4.2 เป็นจำนวน 1,087 คำ ประกอบด้วยจำนวนตัวอักษร 7,142 ตัว โดยฐานข้อมูลเหล่านั้นประกอบด้วยข้อมูลภาพคำที่มีทั้งตัวอักษรเดี่ยว ตัวอักษรที่มีการเชื่อมติดกัน อยู่รวมกัน สามารถแจกแจงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.8 จำนวนคำในแต่ละประเภทการติดกันของฐานตัวอักษรในแนวระดับ

	จำนวนคำ
ข้อมูลภาพทั้งหมด	1087
ข้อมูลภาพคำมีแต่ตัวอักษรเดี่ยว	285
ข้อมูลภาพคำมีตัวอักษรเดี่ยว และมีตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกัน 1 ตำแหน่ง	467
ข้อมูลภาพคำมีตัวอักษรเดี่ยว และมีตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกันมากกว่า 1 ตำแหน่ง	308
ข้อมูลภาพคำไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลย	27



รูปที่ 4.3 แผนภูมิร้อยละของจำนวนคำที่มีการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับภายในคำ และไม่มีการติดกันของตัวอักษรภายในแนวระดับภายในคำ



รูปที่ 4.4 แผนภูมิร้อยละของจำนวนคำที่มีการติดกันของตัวอักษร
ในแนวระดับภายในคำประเภทต่างๆ

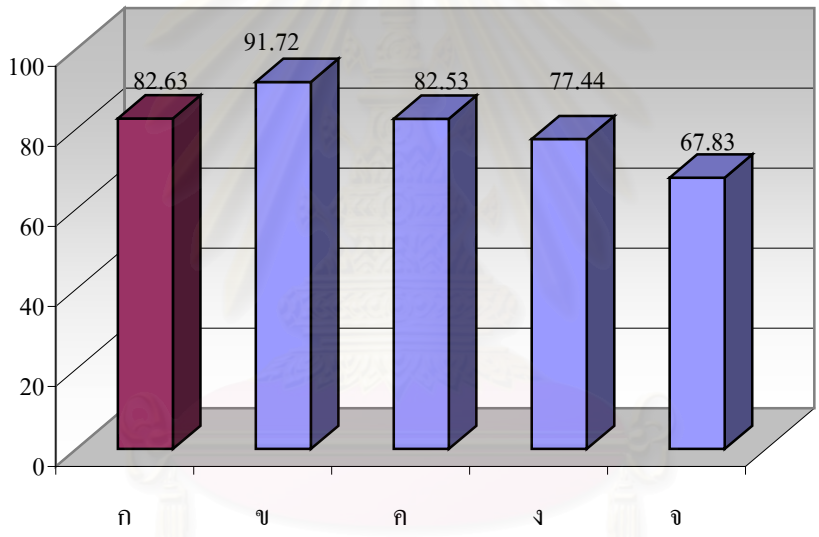
จากรูปที่ 4.3 จะพบว่าลักษณะของการเขียนเป็นคำในภาษาไทย จะมีการติดกันของตัวอักษรภายในคำเป็นส่วนมาก (74%) เมื่อเทียบกับคำที่เขียนเป็นอักษรเดี่ยว (26%) และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.4 จะพบว่าการติดกันของตัวอักษรในคำ มักจะอยู่ร่วมกับตัวอักษรเดี่ยว ดังจะเห็นได้จากร้อยละของจำนวนคำที่ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลย ซึ่งพบว่ามีเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ ของคำที่มีการติดกันของตัวอักษร เท่านั้น

เมื่อพิจารณาอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก ดังสมการ (4.3) สามารถแจกแจงอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกตามลักษณะการติดกันของตัวอักษรภายในคำ ได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 จำนวนตัวอักษรจริงทั้งหมด จำนวนอักษรที่สามารถอ่านได้ถูกต้องจากกระบวนการตัดแยกในงานวิจัยนี้ และ อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก ของข้อมูลภาพในแนวระดับที่มีลักษณะการติดกันของตัวอักษรภายในคำรูปแบบต่างๆ

	จำนวนตัวอักษร	จำนวนอักษรที่สามารถอ่านได้ถูกต้องจากกระบวนการตัดแยกในงานวิจัยนี้	อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก
ข้อมูลภาพทั้งหมด	7142	5902	$\frac{5902}{7142}\times 100 = 82.63\%$

ข้อมูลภาพคำมีแต่ตัวอักษรเดี่ยว	1619	1485	$\frac{1485}{1619} \times 100 = 91.72\%$
ข้อมูลภาพคำมีตัวอักษรเดี่ยวและมีตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกัน 1 ตำแหน่ง	3012	2486	$\frac{2486}{3012} \times 100 = 82.53\%$
ข้อมูลภาพคำมีตัวอักษรเดี่ยวและมีตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกันมากกว่า 1 ตำแหน่ง	2368	1834	$\frac{1834}{2368} \times 100 = 77.44\%$
ข้อมูลภาพคำไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลย	143	97	$\frac{97}{143} \times 100 = 67.83\%$



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกของการแยกตัวอักษรในคำแยกตามประเภทการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับภายในคำ

ก. ข้อมูลภาพทั้งหมด (5902 / 7142)

ข. ข้อมูลภาพคำมีแต่ตัวอักษรเดี่ยว (1485 / 1619)

ค. ข้อมูลภาพคำมีตัวอักษรเดี่ยว และมีตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกัน 1 ตำแหน่ง (2486 / 3012)

ง. ข้อมูลภาพคำมีตัวอักษรเดี่ยว และมีตำแหน่งที่ตัวอักษรติดกัน มากกว่า 1 ตำแหน่ง (1834 / 2368)

จ. ข้อมูลภาพคำไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลย (97 / 143)

จากรูปที่ 4.5 พบว่าในกรณีที่ภายในข้อมูลภาพคำมีแต่อักษรเดี่ยว โดยไม่มีตัวอักษรติดกันเลยพบว่าอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก จะต่ำกว่าอัตราตัวอักษรเดี่ยว ทั้งนี้เป็นเพราะเกิดการตัดเกิน ในตัวอักษรเดี่ยวบางตัว จากการทดสอบที่สองในตารางที่ 4.3 พบว่าอัตราการตัดเกินเท่ากับ 9.08 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะมีอัตราที่ถูกต้องหรือไม่ตัดเกินเท่ากับ 90.92 เปอร์เซ็นต์ (ได้จาก 100 – 9.08 = 90.92) ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกในคำที่มีแต่ตัวอักษรเดี่ยว คือ 91.72 เปอร์เซ็นต์ การที่อัตราความถูกต้องเพิ่มขึ้นเล็กน้อยนี่เป็นเพราะว่าอัตราการตัดเกินมักไปเกินกับส่วนภาพของตัวอักษรที่มีการติดกันมากกว่าส่วนภาพของตัวอักษรที่เป็นตัวอักษรเดี่ยว

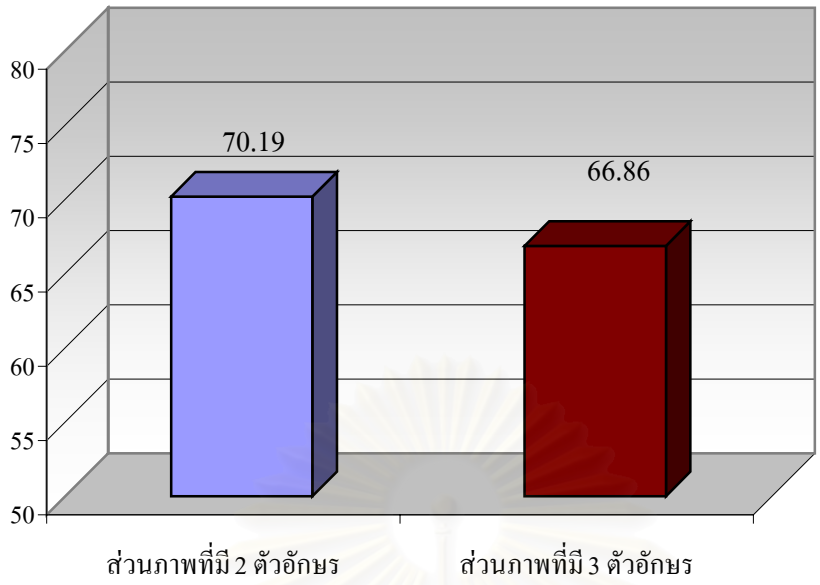
4.3.2.3 การพิจารณาความถูกต้องของตัวอักษรในแนวระดับ ที่ผ่านกระบวนการตัดแยกแล้ว โดยพิจารณาเฉพาะส่วนภาพที่ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวอยู่เลย

การทดลองในส่วนนี้จะพิจารณาการทดสอบที่ 3 เฉพาะกับฐานข้อมูล ส่วนภาพของตัวอักษรในแนวระดับที่เป็นส่วนภาพของตัวอักษรที่ติดกัน โดยไม่มีตัวอักษรเดี่ยวอยู่เลย เท่านั้น ในการทดลองนี้ได้แยกพิจารณาส่วนภาพออกเป็นส่วนภาพที่มีตัวอักษร 2 ตัว (มีแนวการติดกัน 1 แนว) และส่วนภาพที่มีตัวอักษร 3 ตัว (มีแนวการติดกัน 2 แนว) ทั้งนี้เพราะว่าส่วนภาพทั้งสองลักษณะเป็นส่วนภาพที่พบบ่อยในฐานข้อมูลภาพ ส่วนภาพที่มีจำนวนตัวอักษรที่ติดกันมากกว่านี้พบได้น้อยมากในฐานข้อมูล

โดยฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบได้จากกลุ่มที่ 1.3 ในหัวข้อที่ 4.2 และอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก
ของข้อมูลส่วนภาพที่เกิดจากตัวอักษรติดกันในแนวระดับ โดยไม่มีตัวอักษรเดี่ยวอยู่เลย

	จำนวน (ส่วนภาพ)	จำนวน ตัวอักษร	จำนวนอักษรที่สามารถอ่านได้ถูกต้องจากกระบวนการตัดแยกในงานวิจัยนี้	อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก
ส่วนภาพที่มี 2 ตัวอักษร	971	1362	956	$\frac{956}{1362} \times 100 = 70.19\%$
ส่วนภาพที่มี 3 ตัวอักษร	503	1509	1009	$\frac{1009}{1509} \times 100 = 66.86\%$



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก ของข้อมูลส่วนภาพที่เกิดจากตัวอักษรติดกันในแนวระดับ โดยไม่มีตัวอักษรเดี่ยวอยู่เลย

จากตารางที่ 4.10 พบว่าอัตราการตัดแยกของส่วนภาพที่ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวอยู่เลย ที่มีตัวอักษร 2 ตัว มีค่าสูงกว่าส่วนภาพที่มีตัวอักษร 3 ตัว ทั้งนี้สามารถพิจารณาได้คร่าว ๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้ ในกรณีที่มีตัวอักษรติดกัน 3 ตัว ถ้าหากสามารถระบุแนวการตัดแยกได้ถูกต้องเพียง 1 แนว จะได้ตัวอักษรที่ถูกต้องเพียง 1 ตัว แต่ในกรณีที่มีตัวอักษรติดกัน 2 ตัว การระบุแนวการตัดแยกได้ถูกต้อง 1 แนวจะทำให้ได้ตัวอักษรที่ถูกต้อง 2 ตัว

กำหนด x เป็นค่าความน่าจะเป็นที่จะระบุแนวการตัดแยกได้ถูกต้อง

y เป็นค่าความน่าจะเป็นที่จะมีการตัดแยกเกินในตัวอักษร 1 ตัว

โดย $0 \le x, y \le 1$

กรณี ตัวอักษรติดกัน 2 ตัว

ความน่าจะเป็นที่จะทำให้ได้ตัวอักษรถูกต้อง 2 ตัว หรือ ได้ตัวอักษรถูกต้อง 100 % เท่ากับ

$$x(1-y)^2 \tag{4.4}$$

ความน่าจะเป็นที่จะทำให้ได้ตัวอักษรถูกต้อง 1 ตัว หรือ ได้ตัวอักษรถูกต้อง 50 % เท่ากับ

$$2xy(1-y) \tag{4.5}$$

ความน่าจะเป็นที่จะทำให้ได้ตัวอักษรถูกต้อง 0 ตัว หรือ ได้ตัวอักษรถูกต้อง 0 % เท่ากับ

$$(1-x)+xy^2 \tag{4.6}$$

เพราะฉะนั้นในกรณีตัวอักษรติดกัน 2 ตัว จะได้อัตราความถูกต้องของตัวอักษร เท่ากับ

$$100x(1-y)^2+100xy(1-y)=100x-100xy \tag{4.7}$$

กรณี ตัวอักษรติดกัน 3 ตัว

ความน่าจะเป็นที่จะทำให้ได้ตัวอักษรถูกต้อง 3 ตัว หรือ ได้ตัวอักษรถูกต้อง 100 % เท่ากับ

$$x^2(1-y)^3 \tag{4.8}$$

ความน่าจะเป็นที่จะทำให้ได้ตัวอักษรถูกต้อง 2 ตัว หรือ ได้ตัวอักษรถูกต้อง 66.66 % เท่ากับ

$$3x^2y(1-y)^2 \tag{4.9}$$

ความน่าจะเป็นที่จะทำให้ได้ตัวอักษรถูกต้อง 1 ตัว หรือ ได้ตัวอักษรถูกต้อง 33.33 % เท่ากับ

$$(2x(1-x)(1-y))+(3x^2y^2(1-y)) \tag{4.10}$$

ความน่าจะเป็นที่จะทำให้ได้ตัวอักษรถูกต้อง 0 ตัว หรือ ได้ตัวอักษรถูกต้อง 0 % เท่ากับ

$$(1-x)^2+2xy(1-x)+x^2y^3 \tag{4.11}$$

เพราะฉะนั้นในกรณีตัวอักษรติดกัน 3 ตัว จะได้อัตราความถูกต้องของตัวอักษร เท่ากับ

$$\begin{aligned}&100x^2(1-y)^3+200x^2y(1-y)^2+66.66x(1-x)(1-y)+100x^2y^2(1-y)\\&=-\frac{100}{3}x^2y+\frac{100}{3}x^2+\frac{200}{3}x-\frac{200}{3}xy\end{aligned} \tag{4.12}$$

จากตารางที่ 4.7 ถ้าพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่จะระบุแนวการตัดแยกได้ถูกต้อง จากอัตราความถูกต้องของแนวตัดแยก และพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีการตัดแยกเกินในตัวอักษร 1 ตัว จากอัตราการตัดเกิน จะได้ x =0.76 และ y =0.09 เมื่อแทนค่าทั้งสองลงไปในสมการ (4.7) จะได้ค่าอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ตัดแยกได้จากตัวอักษรที่ติดกัน 2 ตัว เท่ากับ 69.16 และเมื่อแทนค่าลงในสมการ (4.12) จะได้ค่าอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ตัดแยกได้จากตัวอักษรที่ติดกัน 3 ตัว เท่ากับ 63.62 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

สมมุติฐาน อัตราความถูกต้องของตัวอักษรของการตัดแยกตัวอักษรที่ติดกัน 2 ตัว มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอัตราความถูกต้องของตัวอักษรของการตัดแยกตัวอักษรที่ติดกัน 3 ตัว

พิสูจน์

จากสมการ (4.7) กำหนดให้

$A = 100x - 100xy$

เป็นอัตราการความถูกต้องของตัวอักษรของการตัดแยกตัวอักษรที่ติดกัน 2 ตัว

จากสมการ (4.12) กำหนดให้

$$B = -\frac{100}{3}x^2y + \frac{100}{3}x^2 + \frac{200}{3}x - \frac{200}{3}xy$$

เป็นอัตราการความถูกต้องของตัวอักษรของการตัดแยกตัวอักษรที่ติดกัน 2 ตัว

$$\begin{aligned} A - B &= \frac{100}{3}x + \frac{100}{3}x^2y - \frac{100}{3}xy - \frac{100}{3}x^2 \\ &= \frac{100}{3}x(1-y) - \frac{100}{3}x^2(1-y) \\ &= \frac{100}{3}x(1-y)(1-x) \end{aligned} \qquad (4.13)$$

เนื่องจาก $0 \le x, y \le 1$

ดังนั้น $\frac{100}{3}x(1-y)(1-x) \ge 0$

จึงสามารถสรุปได้ว่า $A \ge B$ หรืออัตราความถูกต้องของตัวอักษรของการตัดแยกตัวอักษรที่ติดกัน 2 ตัว มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอัตราความถูกต้องของตัวอักษรของการตัดแยกตัวอักษรที่ติดกัน 3 ตัว จริงดังสมมุติฐาน

4.3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรต่างระดับ

การทดลองในหัวข้อนี้จะพิจารณาการติดกันของตัวอักษรต่างระดับ ได้แก่การติดกันระหว่างตัวอักษรในระดับบน กับตัวอักษรในระดับกลาง และการติดกันระหว่างตัวอักษรในระดับล่าง กับตัวอักษรในระดับกลาง

ฐานข้อมูลส่วนภาพที่มีการติดกันของตัวอักษรต่างระดับ โดยฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบได้จากกลุ่มที่ 2 ในหัวข้อที่ 4.2 ดังมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.11 ผลการวัดปริมาณทางกายภาพของ
ข้อมูลส่วนภาพที่มีการติดกันของตัวอักษรที่อยู่ต่างระดับกัน

	จำนวนตัวอักษร	จำนวนแนวการติดกัน	จำนวนตัวอักษรที่ผิดพลาดเนื่องจากการตัดเกิน	จำนวนแนวทางการตัดแยกที่ถูกต้องที่ถูกตรวจพบจากกระบวนการ
ส่วนภาพที่เป็นการติดกันของตัวอักษรในระดับบนกับระดับกลาง	836	418	31	355
ส่วนภาพที่เป็นการติดกันของตัวอักษรในระดับล่างกับระดับกลาง	328	164	3	157

ตารางที่ 4.12 อัตราการตัดเกิน และอัตราความถูกต้องของแนวตัดแยก
ของข้อมูลส่วนภาพที่มีการติดกันของตัวอักษรที่อยู่ต่างระดับกัน

	อัตราการตัดเกิน	อัตราความถูกต้องของแนวตัดแยก
ส่วนภาพที่เป็นการติดกันของตัวอักษรในระดับบนกับระดับกลาง	$\frac{31}{836}\times 100 = 3.70\%$	$\frac{355}{418}\times 100 = 84.92\%$
ส่วนภาพที่เป็นการติดกันของตัวอักษรในระดับล่างกับระดับกลาง	$\frac{3}{328}\times 100 = 0.01\%$	$\frac{157}{164}\times 100 = 95.73\%$

จากตารางที่ 4.12 เมื่อนำอัตราการตัดเกิน และอัตราความถูกต้องของแนวตัดแยกของตัวอักษรที่ติดกันต่างระดับไปเปรียบเทียบกับของตัวอักษรที่ติดกันในแนวระดับ ดังตารางที่ 4.7 พบว่าอัตราการตัดเกินของตัวอักษรที่ติดกันต่างระดับมีค่าน้อยกว่าอัตราการตัดเกินของตัวอักษรที่ติดกันในแนวระดับอย่างมาก รวมทั้งอัตราความถูกต้องของแนวตัดแยกของตัวอักษรที่ติดกันต่างระดับก็มีค่ามากกว่าอัตราความถูกต้องของแนวการตัดแยกของตัวอักษรที่ติดกันในแนวระดับเป็นอย่างมากเช่นกัน ทั้งนี้เป็นเพราะการติดกันของตัวอักษรต่างระดับมีความซับซ้อนต่ำกว่าการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับ

อย่างไรก็ดีในการทดลองนี้ยังไม่ได้รวมถึงผลของการตัดแยกเกินในตัวอักษรเดี่ยวบางตัว เช่น พ โ ไ ฏ เป็นต้น แต่จากการสังเกตอย่างคร่าว ๆ พบว่าการตัดเกินในตัวอักษรเดี่ยวเหล่านั้น มีค่าไม่มากเช่นกัน

ตามที่อัตราความถูกต้องของแนวตัดแยกของตัวอักษรที่ติดกันต่างระดับค่ามากกว่าอัตราความถูกต้องของแนวการตัดแยกของตัวอักษรที่ติดกันในแนวระดับเป็นอย่างมาก หากลองพิจารณาเปรียบเทียบในแง่ของจำนวนตัวอักษรและบริเวณพื้นที่การพิจารณาการติดกันของแต่ละแบบ จะเห็นได้ว่าตัวอักษรที่ติดกันต่างระดับนั้น มีความชัดเจนว่าเป็นตัวอักษร 2 ติดกัน และตำแหน่งการติดกันสามารถประเมินได้จากบริเวณพื้นที่ของตัวอักษรระดับกลางที่ตรวจพบว่ามีการติดกันกับตัวอักษรระดับบน/ล่างที่เป็นของตัวอักษรระดับกลางตัวนั้น ดังนั้นในการวิเคราะห์หาแนวการติดกันจึงทำได้ง่าย ในขณะที่อักษรที่ติดกันในแนวระดับ จะไม่สามารถทราบได้เลยว่าเป็น ตัวอักษรเดี่ยว ตัวอักษร 2 ตัวติดกัน ตัวอักษร 3 ตัวติดกัน หรือตัวอักษรมีการติดกันมากกว่านั้น รวมทั้งบริเวณพื้นที่พิจารณาการติดกันจะก็มีขนาดที่มากกว่าเนื่องจากเป็นบริเวณระดับกลางทั้งหมด ดังนั้นในการระบุบริเวณการติดกันจึงทำได้ยากกว่า และในอีกแง่หนึ่ง ตามที่ได้สังเกตพบว่าการติดกันต่างระดับส่วนใหญ่หากทราบเส้นบรรทัดจะสามารถหาแนวแยกได้ ในขณะที่การติดกันในแนวระดับไม่สามารถนำเส้นบรรทัดมาเป็นตัวระบุแนวการติดกันได้ ทำให้ยากกว่าเมื่อเทียบกับการแยกการติดกันในต่างระดับ ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในงานวิจัยทั้งส่วนของแนวคิดทฤษฎี ขั้นตอนการแยกตัวอักษร และขั้นตอนการทดสอบ จะค่อนข้างเน้นการแยกการติดกันในแนวระดับเป็นสำคัญ

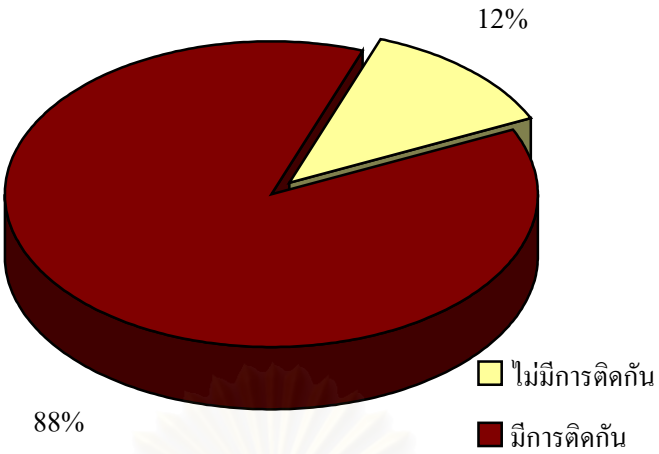
4.3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรโดยรวม

จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.3.2 และ หัวข้อที่ 4.3.3 ซึ่งเป็นการแยกทดลองกรณีการติดกันในแนวระดับ และกรณีการติดกันต่างระดับ ตามลำดับ การทดลองในหัวข้อนี้ จะเป็นการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพทั้งหมดโดยรวม

โดยฐานข้อมูลที่นำมาทดสอบได้จากกลุ่มที่ 3 ในหัวข้อที่ 4.2 เป็นจำนวน 1,539 คำ ประกอบด้วยจำนวนตัวอักษร 12,117 ตัว โดยฐานข้อมูลเหล่านั้นประกอบด้วยข้อมูลภาพคำที่มีทั้งตัวอักษรเดี่ยว ตัวอักษรที่มีการเชื่อมติดกันในแนวระดับ แล้วเชื่อมติดกันต่างระดับ อยู่รวมกัน สามารถแจกแจงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.13 จำนวนคำในแต่ละประเภทการติดกันของตัวอักษร

	จำนวนคำ
ข้อมูลภาพทั้งหมด	1539
ข้อมูลภาพคำมีแต่ตัวอักษรเดี่ยว	191
ข้อมูลภาพคำที่มีเฉพาะการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับ	846
ข้อมูลภาพคำที่มีเฉพาะการติดกันของตัวอักษรต่างระดับ	277
ข้อมูลภาพคำที่มีการติดกันของตัวอักษรทั้งในแนวระดับและต่างระดับ	225
ข้อมูลภาพคำไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลย	19
ข้อมูลภาพคำที่มีตัวอักษรติดกันแต่ยังคงมีตัวอักษรเดี่ยวอยู่	1329

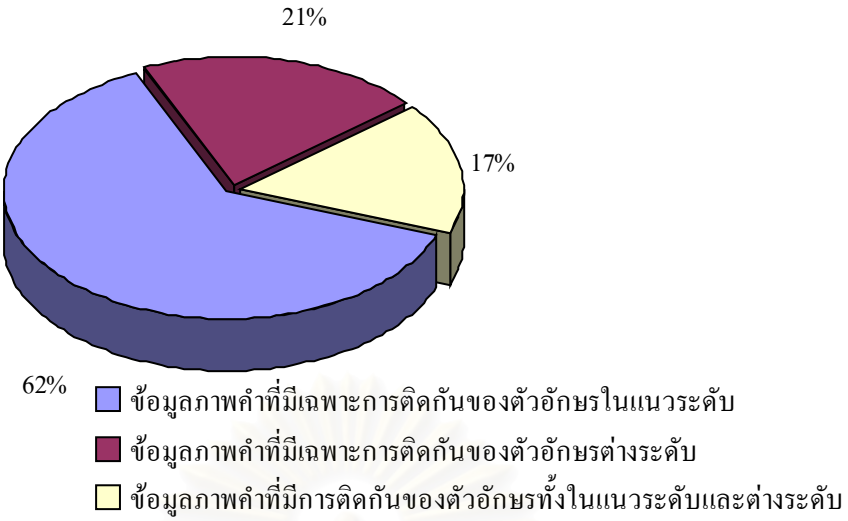


รูปที่ 4.7 แผนภูมิร้อยละของจำนวนข้อมูลภาพคำที่มีการติดกันของตัวอักษร
และไม่มีการติดกันของตัวอักษรภายในคำ

จากรูปที่ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนข้อมูลภาพคำที่มีการติดกันโดยพิจารณาเฉพาะตัวอักษรในแนวระดับ พบว่าอัตราส่วนของจำนวนข้อมูลภาพคำที่ไม่มีการติดกันของตัวอักษรภายในคำเลยมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะตัวอักษรมีการติดกันด้านบนและล่างเพิ่มขึ้นมาด้วย

รูปที่ 4.8 แผนภูมิร้อยละของจำนวนข้อมูลภาพคำที่ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลย
และจำนวนข้อมูลภาพคำที่มีตัวอักษรติดกันแต่ยังคงมีตัวอักษรเดี่ยวอยู่

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนข้อมูลภาพคำที่มีการติดกันโดยพิจารณาเฉพาะตัวอักษรในแนวระดับ พบว่าอัตราส่วนของจำนวนข้อมูลภาพคำที่ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลยมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะมีตัวอักษรในระดับบนและล่างที่เป็นอักษรเดี่ยวเพิ่มมาด้วย



รูปที่ 4.9 แผนภูมิร้อยละของจำนวนข้อมูลภาพคำที่มีการติดกันของตัวอักษรในรูปแบบต่างๆ

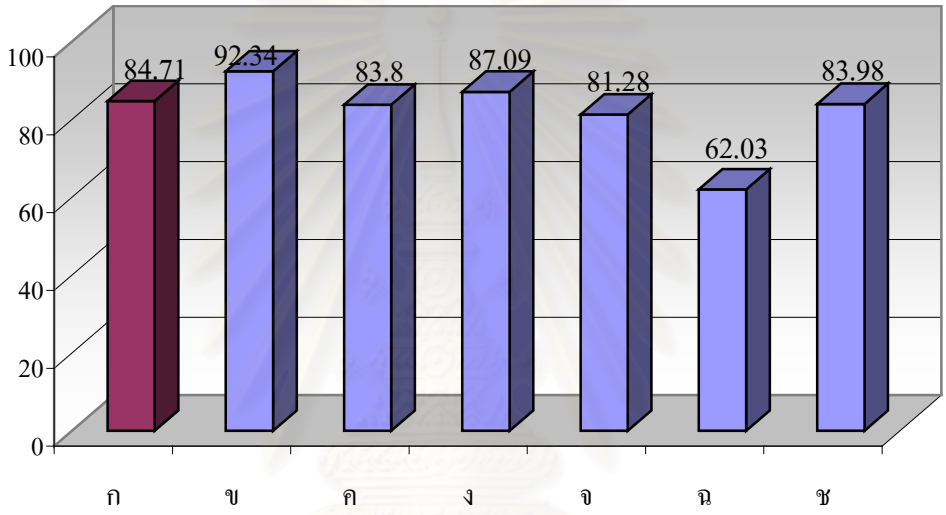
จากรูปที่ 4.9 พบว่าข้อมูลภาพคำที่มีติดกันต่างระดับ มีค่าน้อยกว่าข้อมูลภาพคำที่มีการติดกันในแนวระดับ อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการตัดแยกข้อมูลภาพตัวอักษรในแนวระดับมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพโดยรวมมากกว่าประสิทธิภาพในการตัดแยกข้อมูลภาพตัวอักษรต่างระดับ

เมื่อพิจารณาอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก สามารถแจกแจงอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกตามลักษณะการติดกันของตัวอักษรภายในคำ ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.14 จำนวนตัวอักษรจริงทั้งหมด จำนวนอักษรที่สามารถอ่านได้ถูกต้องจากกระบวนการตัดแยกในงานวิจัยนี้ และ อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกของข้อมูลภาพที่มีลักษณะการติดกันของตัวอักษรภายในคำรูปแบบต่างๆ

	จำนวนตัวอักษร	จำนวนอักษรที่สามารถอ่านได้ถูกต้องจากกระบวนการตัดแยกในงานวิจัยนี้	อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยก
ข้อมูลภาพทั้งหมด	12117	10265	$\frac{10265}{12117}\times 100 = 84.71\%$
ข้อมูลภาพคำมีแต่ตัวอักษรเดี่ยว	1346	1243	$\frac{1243}{1346}\times 100 = 92.34\%$
ข้อมูลภาพคำที่มีเฉพาะการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับ	6732	5642	$\frac{5642}{6732}\times 100 = 83.80\%$
ข้อมูลภาพคำที่มีเฉพาะการ - ติดกันของตัวอักษรต่างระดับ	1666	1451	$\frac{1451}{1666}\times 100 = 87.09\%$

ข้อมูลภาพคำที่มีการติดกันของตัวอักษรทั้งในแนวระดับและต่างระดับ	2373	1929	$\frac{1929}{2373}\times 100 = 81.28\%$
ข้อมูลภาพคำไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลย	108	67	$\frac{67}{108}\times 100 = 62.03\%$
ข้อมูลภาพคำที่มีตัวอักษรติดกันแต่ยังคงมีตัวอักษรเดี่ยวอยู่	10663	8955	$\frac{8955}{10663}\times 100 = 83.98\%$



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกของการแยกตัวอักษรในคำ แยกตามประเภทการติดกันของตัวอักษรภายในคำ

ก. ข้อมูลภาพทั้งหมด (10265 / 12117)

ข. ข้อมูลภาพคำมีแต่ตัวอักษรเดี่ยว (1243 / 1346)

ค. ข้อมูลภาพคำที่มีเฉพาะการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับ (5642 / 6732)

ง. ข้อมูลภาพคำที่มีเฉพาะการติดกันของตัวอักษรต่างระดับ (1451 / 1666)

จ. ข้อมูลภาพคำที่มีการติดกันของตัวอักษรทั้งในแนวระดับและต่างระดับ (1929 / 2373)

ฉ. ข้อมูลภาพคำไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลย (67 / 108)

ช. ข้อมูลภาพคำที่มีตัวอักษรติดกันแต่ยังคงมีตัวอักษรเดี่ยวอยู่ (8955 / 10663)

จากตารางที่ 4.14 และ รูปที่ 4.10 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรณีที่พิจารณาเฉพาะตัวอักษรในแนวระดับเท่านั้น (ดังในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.5) พบว่าอัตราความถูกต้องของตัวอักษรมีค่าใกล้เคียงกัน แต่อัตราความถูกต้องของตัวอักษรในกรณีที่พิจารณาตัวอักษรในทุกระดับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะว่าอัตราการตัดแยกตัวอักษรต่างระดับมีค่าค่อนข้างสูง และอัตราการตัดเกินมีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการตัดแยกตัวอักษร และอัตราการตัดเกินของตัวอักษรในแนวระดับ ซึ่งผลดังกล่าวสามารถเห็นได้ชัดเจนจากอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกในกรณีข้อมูลภาพคำที่มีเฉพาะการติดกันของตัวอักษรในแนวระดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกในกรณีข้อมูลภาพคำที่มีเฉพาะการติดกันของตัวอักษรต่างระดับอย่างเห็นได้ชัด

จากตารางที่ 4.14 อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากการตัดแยกของกลุ่มข้อมูลภาพที่มีแต่ตัวอักษรเดี่ยวมีค่าสูงที่สุด ในขณะที่กลุ่มข้อมูลภาพที่ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลยมีอัตราความถูกต้องต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะในกรณีที่ข้อมูลภาพมีแต่ตัวอักษรเดี่ยว ความผิดพลาดของการแยกตัวอักษรเกิดเนื่องมาจากการตัดเกินเท่านั้น แต่ในกรณีที่มีตัวอักษรติดกันภายในคำความผิดพลาดของการแยกตัวอักษรเกิดเนื่องมากจากการตัดเกิน และการที่กระบวนไม่สามารถระบุตำแหน่งการตัดแยกที่ถูกต้องออกมาได้ นอกจากนี้ฐานข้อมูลของกลุ่มข้อมูลภาพที่ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลยมีความซับซ้อนสูง เนื่องจากฐานข้อมูลดังกล่าวมักได้มาจากผู้เขียนที่เขียนหวัดอย่างมาก จนตัวอักษรติดกันทั้งหมดทั้งคำ

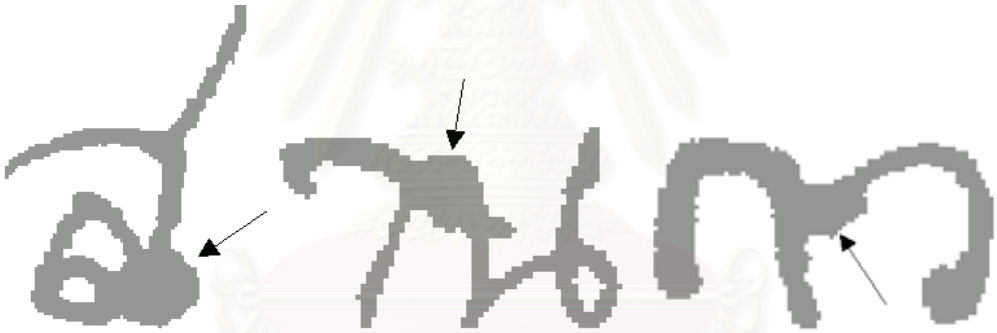
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การวิเคราะห์สาเหตุของการตัดเกิน

จากการทดสอบกระบวนการตัดแยกตัวอักษรของงานวิจัยนี้ พบว่าสาเหตุของการตัดแยกเกินที่เกิดขึ้น มีดังต่อไปนี้

สาเหตุที่ 1 เกิดจากขอบภาพไม่เรียบ เนื่องจากปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน และขบวนการทำให้ขอบภาพเรียบไม่สามารถทำให้ขอบภาพเรียบได้โดยสมบูรณ์ ฐานข้อมูลบางส่วนเขียนลายเส้นภาพมีการซึมของหมึก

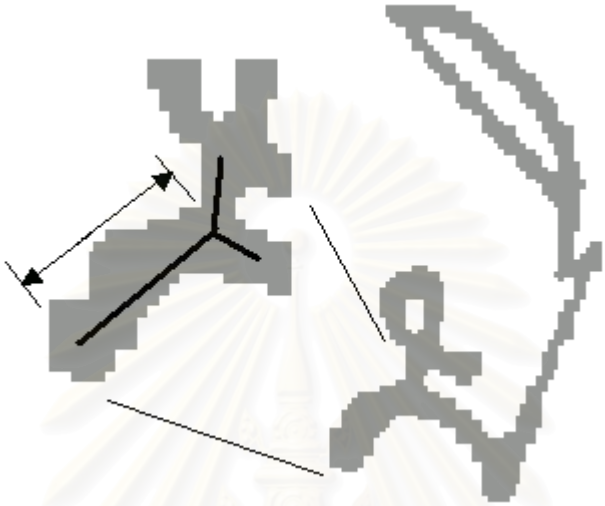
รูปที่ 4.11 ภาพข้อมูลตัวอย่างที่ลายเส้นภาพมีขอบภาพไม่เรียบ



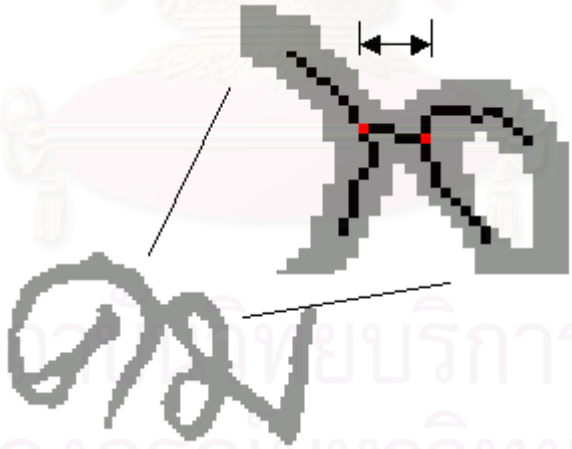
รูปที่ 4.12 ภาพข้อมูลตัวอย่างที่ลายเส้นภาพมีการซึมของหมึก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาเหตุที่ 2 เกิดจากกระบวนการทำโครงร่างบาง ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากเส้นกิ่งที่ได้จากการทำโครงร่างบางมีขนาดยาวเมื่อเทียบกับโครงสร้างตัวอักษร ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้ รวมถึงระยะการร่นของจุดแยกจากการทำโครงร่างบาง ที่เป็นผลให้ตำแหน่งการระบุบริเวณการติดกันของตัวอักษรเลื่อนไปจากลายเส้นการติดกันของตัวอักษรจริง



รูปที่ 4.13 ภาพข้อมูลตัวอย่างที่ลายเส้นภาพมีกิ่งขนาดยาวไม่สามารถกำจัดได้



รูปที่ 4.14 ภาพข้อมูลตัวอย่างระยะการร่นของจุดแยกจากกระบวนการทำโครงร่างบาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาเหตุที่ 3 เกิดจากความกำกวมของรูปแบบตัวอักษร ได้แก่ เป็นภาพตัวอักษรตัวเดี่ยว แต่สามารถอ่านได้เป็นคู่ตัวอักษรที่เขียนติดกัน เช่น ต -> อา เป็นต้น

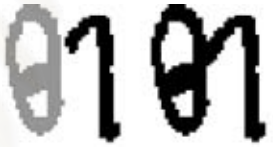
เป็น ณ ที่ตัดเกิน แต่ไปคล้ายกับ ถ + เ

เป็น ท ที่ตัดเกิน แต่ไปคล้ายกับ ว+ า

เป็น รณ ติดกัน ที่ตัดเกิน 1 ตำแหน่ง แต่ไปคล้ายกับ ภ+ณ

เป็น จน (จันทร์) ติดกัน ที่ตัดเกิน 1 ตำแหน่ง แต่ได้ภาพส่วนหลังไปคล้ายกับ ต+เ

เป็น ยนา ติดกัน ที่ตัดเกิน 1 ตำแหน่ง แต่มองได้ว่าเป็น ย+า+ถ



เป็น ต ที่ถูกตัดเกิน แต่มองได้เป็น อ+า

เป็น ณ์ ติดกัน ที่ตัดเกิน แต่ไปคล้ายกับ ก + โ

เป็น ม ที่ถูกตัดเกิน แต่ไปคล้ายกับ ว+ง

รูปที่ 4.15 ภาพข้อมูลตัวอย่างความกำกวมของตัวอักษร กรณีตัดแยกเกิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การวิเคราะห์สาเหตุการไม่สามารถระบุแนวการตัดแยกในตำแหน่งที่มีการติดกันของตัวอักษร

จากการทดสอบกระบวนการตัดแยกตัวอักษรของงานวิจัยนี้ พบว่าสาเหตุของการไม่สามารถระบุแนวการตัดแยกในตำแหน่งที่มีการติดกันของตัวอักษร มีดังต่อไปนี้

สาเหตุที่ 1 เกิดจากเส้นต่อเนื่องกันไม่เกิดจุดแยก ซึ่งมักเกิดกับตัวอักษรประเภทที่จุดปลายมาติดกัน

รูปที่ 4.16 ภาพข้อมูลตัวอย่าง ธา ที่ลายเส้นการติดกันอย่างต่อเนื่อง

สาเหตุที่ 2 เกิดจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ยังไม่เหมาะสม เนื่องจากค่าการตัดสินใจ ที่ใช้สำหรับตรวจสอบบริเวณการติดกันของตัวอักษร จะพิจารณาจาก ระดับบรรทัด และ ความหนาปากกาเฉลี่ย เป็นสำคัญ หากภาพข้อมูลที่นำมาพิจารณามีแนวระดับตัวอักษรความสูงต่ำที่ต่างกัน หรือขนาดลายเส้น มีความหนาที่ไม่คงที่ จะทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดบริเวณลายเส้นภาพอาจคลาดเคลื่อนไป

สาเหตุที่ 3 เกิดจากความกำกวมของรูปแบบตัวอักษร เช่นเดียวกัน

เป็น าง ติดกัน ที่ไม่ตัด แต่มองได้ว่าเป็น บ หรือ ษ เป็น ยเ ติดกัน ที่ไม่ตัด แต่มองได้ว่าเป็น ท หรือ ห

รูปที่ 4.17 ภาพข้อมูลตัวอย่างความกำกวมของตัวอักษร กรณีที่ไม่ถูกตัดแยก

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีการแยกตัวอักษรภาษาไทยบนข้อมูลตัวอักษรที่เป็นลายมือเขียนรูปแบบคำ เพื่อเป็นพื้นฐานการเริ่มต้นการพัฒนาระบบการรู้จำตัวอักษร (Character Recognition System) จากที่เป็นอักษรเดี่ยวไปสู่รูปแบบคำหรือสายอักขระ ให้มีลักษณะการเขียนที่เสมือนจริงมากขึ้นไปอีกระดับหนึ่ง เนื่องจากในความเป็นจริงการเขียนตัวอักษรไม่ได้เขียนเพียงตัวอักษรใดตัวอักษรหนึ่งเพียงตัวเดียวเดี่ยวๆ แต่จะเขียนรวมกันเป็นสายอักขระที่อาจอยู่ในรูปแบบที่เป็นคำหรือเป็นประโยคที่มีความหมาย ซึ่งพบว่าตัวอักษรที่เขียนรวมกันเป็นสายอักขระนี้ ในการส่งแต่ละตัวอักษรไปทำการรู้จำในทันที จะมีความยุ่งยาก เนื่องจากการเขียนที่เป็นสายอักขระตัวอักษรอาจมีการติดกันกับตัวอักษรที่อยู่ข้างเคียงขึ้นได้ จากลักษณะดังกล่าวจึงนำมาสู่วิธีการแยกตัวอักษรจากลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ ซึ่งเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการแยกตัวอักษรด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงภาพ (Image Based or Dissection) ร่วมกับความรู้ฮิวริสติคซึ่งได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างตัวอักษรภาษาไทย ซึ่งได้จากการสังเกตรูปร่างตัวอักษร ทำการจัดกลุ่ม จำแนกรูปร่าง ให้ครอบคลุมทั้งลักษณะโครงสร้างของตัวอักษรและจำนวนตัวอักษรทั้งหมดในภาษาไทย โดยผลการจำแนกรูปร่างตัวอักษรนำมาสู่การจำลองรูปแบบลายเส้นการติดกัน ซึ่งนำมาใช้ในการตรวจสอบบริเวณการติดกันของตัวอักษร และการกำหนดรูปแบบเงื่อนไขเพื่อหาแนวการแยกการติดกันของตัวอักษรที่เหมาะสม

การแยกตัวอักษรภาษาไทยที่เขียนเป็นคำที่เสนอในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย

1. ส่วนการประมวลผลในเบื้องต้น
2. แนวคิดฮิวริสติคกับโครงสร้างตัวอักษรภาษาไทย
   - ความสัมพันธ์ระหว่างฮิวริสติคกับบริเวณการติดกันของตัวอักษร
   - ความสัมพันธ์ระหว่างฮิวริสติคกับบริเวณขอบเขตของตัวอักษร
3. กระบวนการตัดแยก

จากการทดสอบกระบวนการตัดแยกโดยใช้วิธีการแยกตัวอักษรตามที่ได้เสนอในงานวิจัยนี้ ได้อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ได้จากกระบวนการตัดแยก โดยรวม 84.71 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ได้อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่สูงที่สุดในประเภทภาพข้อมูลตัวอักษรภายในคำ มีแต่ตัวอักษรเดี่ยวเท่ากับ 92.34 เปอร์เซ็นต์ และได้อัตราความถูกต้องของตัวอักษรที่ต่ำที่สุดในประเภทภาพข้อมูลตัวอักษรภายในคำ ไม่มีตัวอักษรเดี่ยวเลยเท่ากับ 62.03 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าฐานข้อมูลที่ใช้มีความหลากหลาย และเป็นลายมือเขียนภาษาไทยที่มีทั้งตัวอักษรเดี่ยว ตัวอักษรที่มีการติดกัน

ในแนวระดับ และตัวอักษรที่มีการติดกันต่างระดับ ผลการทดสอบดังกล่าวสามารถยืนยันถึงประสิทธิภาพของแนวคิดที่นำความรู้ฮิวริสติคและการวิเคราะห์โครงสร้างตัวอักษรภาษาไทย มาใช้ในการการแยกตัวอักษรภาษาไทยที่เขียนเป็นคำ ได้เป็นอย่างดี การวิเคราะห์ลักษณะการติดกันของตัวอักษรในฐานข้อมูลแสดงให้เห็นถึงธรรมชาติของการเขียนภาษาไทยที่มักจะมีการติดกันของตัวอักษรภายในคำบ้าง แต่จะไม่ติดกันทั้งหมด จะมีตัวอักษรเดี่ยวภายในคำเป็นจำนวนมากเช่นกัน ในการทดสอบได้วิเคราะห์ถึงปัญหาการตัดแยกเกิน โดยแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้วิธีการตรวจสอบส่วนภาพที่ได้จากการตัดแยก การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีดังกล่าวสามารถลดอัตราการตัดแยกเกินได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

จุดเด่นของกระบวนการตัดแยกในงานวิจัยนี้

1. นำความรู้ฮิวริสติคมาช่วยวิเคราะห์ และกำหนดรูปแบบการติดกัน
2. การหาจุดแยกซึ่งเป็นบริเวณที่คาดว่าจะมีการติดกันของตัวอักษรก่อน ช่วยลดพื้นที่ภาพ ซึ่งส่งผลให้กระบวนการแยกทำงานได้เร็วขึ้น เนื่องจากตรวจสอบพื้นที่ภาพน้อยลง รวมถึงการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ในการประมวลผลทำได้รวดเร็ว
3. พัฒนาปรับปรุงเพิ่มเติมได้ง่าย

จากที่ได้รวมรวมงานวิจัยการแยกตัวอักษรที่เป็นลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ ซึ่งยังไม่เคยมีมาก่อน หรือที่มีก็จำมีการกำหนดขอบเขตรูปแบบการติดกันที่แน่นอน และระบุจำนวนตัวอักษรที่ติดกัน และสำหรับเทคนิคที่มีใช้ในภาษาอื่น เช่น ภาษาอังกฤษ ภาษาจีน ซึ่งมีไวยกรณ์การเขียน โครงสร้างตัวอักษร และลายเส้นการเขียนตัวอักษร ก็แตกต่างกัน ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ทดสอบกับภาษาไทยได้ในทันที จึงได้คิดค้นวิจัยใหม่ตามแนวคิดวิธี รวมทั้งนำเครื่องมือและองค์ความรู้ที่มีมาประยุกต์ให้เข้ากับกระบวนการการแยกตัวอักษรที่ได้เสนอในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ดีกระบวนการตัดแยกในงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถตัดแยกคำออกมาจากกันได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เป็นเพราะข้อจำกัดต่าง งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ถึงปัญหาข้อจำกัดต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้พิจารณาเพื่อพัฒนาวิธีการตัดแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยต่อไปในอนาคต เพื่อให้ได้ระบบการตัดแยกลายมือเขียนภาษาไทยที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานในอนาคต

1. เพิ่มวิธีการเพิ่มเนื้อภาพกลับคืนในบริเวณลายเส้นที่ถูกตัดหายไป ซึ่งเทคนิคลักษณะนี้ได้มีงานวิจัยกันมาแล้วในการแยกตัวเลขที่มีการติดกัน โดย Hu, Yu และ Yan (1998)

2. การพัฒนาระบบการแยกตัวอักษรที่จะทำงานร่วมกับระบบรู้จำ เพื่อที่จะสามารถนำระบบรู้จำมาช่วยในการยืนยันส่วนภาพที่ตัดแยกได้ รวมทั้งในกรณีที่มีแนวการตัดแยกหลายทิศทางในบริเวณใกล้กัน การใช้รู้จำเข้ามาร่วมด้วยจะสามารถช่วยให้ระบุทิศทางของแนวการตัดแยกที่ถูกต้องได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ผลจากการรู้จำมาตรวจสอบประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษร

แทนการพิจารณาประสิทธิภาพของการตัดแยกตัวอักษรจากตามนุษย์ ซึ่งมักเกิดความผิดพลาด เนื่องมาจากความอ่อนล้าในการตรวจสอบข้อมูลที่มีจำนวนมาก ความรู้สึกลำเอียง และความผิดพลาดจากความไม่ละเอียดรอบคอบ

3. เพิ่มการตรวจสอบไวยากรณ์ (Grammar) และโครงสร้างทางภาษา (Language Model) เข้าไว้ในการพิจารณาเพื่อช่วยลดปัญหาความกำกวมของตัวอักษร และในบางคำที่มีความกำกวม เช่น อ + า กับ ต ในระบบการรู้จำแบบเป็นคำ น่าจะรวมความรู้ดังกล่าว เข้าไว้เพื่อช่วยในการตัดสินใจตัวอักษรที่แท้จริง

4. เพิ่มส่วนกระบวนการก่อนหน้า โดยการปรับขนาดภาพ (Normalize) เป็นการปรับความสูงของตัวอักษรในคำให้มีความสม่ำเสมอ เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลที่จะนำมาพิจารณา เนื่องจากปัญหาที่แนวการเขียนไม่สม่ำเสมอ ออกนอกแนวเส้นบรรทัด ทำให้ในการวิเคราะห์การตัดแยกทำได้ลำบาก การปรับขนาดภาพทำหน้าที่ช่วยปรับระดับให้อยู่ในระดับเดียวกัน อีกทั้งยังช่วยให้วิเคราะห์ตำแหน่งการติดกันทำงานได้ดีขึ้นด้วย อย่างไรก็ดี การทำการปรับขนาดภาพเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนสูง และทำได้ยาก

5. ควรพัฒนาระบบการรู้จำตัวอักษรที่มีความทนทานต่อความผิดพลาดของการตัดแยก เช่น อาจมีเส้นเกินมา หรือหัวของตัวอักษรหายไปบางส่วน เป็นต้น

6. จากการวิเคราะห์ผลการตัดแยกในงานวิจัยนี้ พบว่าความผิดพลาดจำนวนมากเกิดมาจากสาเหตุที่ขอบภาพไม่เรียบ และการเกิดเส้นแยกย่อยในกระบวนการทำโครงร่างบาง ดังนั้นจึงควรพัฒนากระบวนการปรับขอบภาพให้เรียบ และกระบวนการทำโครงร่างบาง ต่อไปในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จรรยา เกียรติศิริอนันต์ และ บุญธีร์ เครือตราชู. การแยกตัวอักษรภาษาไทยที่ติดกันโดยวิธี Shortest Path. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21, 2541.

ประเสริฐ ฉอเรืองวิวัฒน์. การรู้จำตัวอักษรเขียนภาษาไทยโดยความแตกต่างของคุณลักษณะที่วิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงสายลำดับการลากผ่าน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ยุทธนา บัวเสน. การศึกษากรรมวิธีในการประมวลภาพตัวอักษรสำหรับใช้ในระบบรู้จำตัวอักษรเขียนภาษาไทย. โครงงานปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

วิชา พานิช. ระบบรู้จำอักษรภาษาไทยโดยใช้ลักษณะบ่งความต่างของอักษร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

สุดาพร ลักษณียนาวิน. สิบสองทศวรรษลายมือเขียนภาษาไทย. ตีพิมพ์ใน กรมศิลปากร, 2538. การอนุรักษ์ด้านภาษาและวรรณกรรมไทย. สูจิบัตรพิธีมอบรางวัลแก่ผู้ชนะการประกวดในการจัดกิจกรรมปีอนุรักษ์มรดกไทย ประจำปีพุทธศักราช 2537. กองวรรคดีและประวัติศาสตร์ กรมศิลปากร 177 หน้า โรงพิมพ์มิตรสยาม กรุงเทพฯ. หน้า 155-177. ISBN 974-419-051-5. บทความเสนอในการประชุมทางวิชาการเนื่องในวโรกาสสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯทรงมีพระชนมายุ ครบ 36 พรรษา เรื่อง หลากรสภาษา ลีลาวรรณคดี. คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 24-25 มิถุนายน 2534.

อิทธิพันธ์ เมธเศรษฐ. การรู้จำตัวอักษรเขียนภาษาไทยที่เป็นคำแบบออฟไลน์โดยใช้หลักเกณฑ์ทางฟัซซีร่วมกับคุณลักษณะบ่งความต่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ภาษาอังกฤษ

Airphaiboon, S., Sangworsil, M., and Kondo, S., "Off-line Handwritten Thai Characters from Word Script", Proceeding of the 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition Vol 2 (Oct 1994): 445-449.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

Bin Zhao, Hui Su and Shaowei Xia, "A new Method for Segmenting Unconstrained Handwritten Numeral String", Proceedings of the Fourth International Conference on Document Analysis and Recognition Vol 2 (August 1997): 524-527.

Blumenstein, M., and Verma, B., "A Neural Based Segmentation and Recognition Technique for Handwritten Words", Proceeding of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks Vol 3 (May 1998): 1738-1742.

Bozinovic, R.M., Srihari, S.N., "Off-line Cursive Script Word Recognition", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol 11 (January 1989): 68-83.

Casey, R. G., and Lecolinet, E., "A Survey of Methods and Strategies in Character Segmentation", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol 18 (July 1996): 690-706.

Chaiyakhet, S., and Chamnongthai, K., "Off-line Handwritten Thai Character Segmentation", 22th Electrical Engineering Conference (EECON) (1999): 485-488.

Choruengwiwat, P., Jitapunkul, P., Wuttisittikulkij, L. and Seehapan, P., "Distinctive Feature Analysis for Thai Handwritten Character Recognition Based on Modified Stroke Changing Sequence", IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS) (November 1998): 543-546.

Congedo, G., Dimauro, G., Impedovo, S., and Pirlo, G., "Segmentation of Numeric Strings", Proceedings of the Third International Conference on Document Analysis and Recognition Vol 2 (Aug 1995): 1038-1041.

Eastwood, B., Jenning, A., and Harvey, A., "Neural Network Based Segmentation of Handwritten Words", Sixth International Conference on Image Processing and Its Applications Vol 2 (July 1997): 750-755.

Gonzalez, R. C., and Woods, R. C., Digital Image Processing. New York: Addison-Wesley, 1992.

Houle, G., and Shridhar, M., "Handwritten Word Recognition with OCR-based Segmenter", Proceeding of Workshop on Document Image Analysis (DIA) (June 1997): 51-58.

Hu, J., Yu, D., and Yan, H., "Algorithms for Partitioning Path Construction of Handwritten Numeral Strings", Proceedings of the Fourteenth International Conference on Pattern Recognition Vol 1 (1998): 372-374.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

Jang, B. K., Chin, R. T., "One-Pass Parallel Thinning: Analysis Properties, and Quantitative Evaluation", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol 14 (November 1992): 1129-1140.

Ke Han and Sethi, I.K., "Off-line Cursive Handwriting Segmentation", Proceeding of the Third International Conference on Document Analysis and Recognition Vol 2 (August 1995): 894-897.

Kimura, F., Kayahara, N., Miyake, Y., and Shridhar, M.," Machine and Human Recognition of Segmented Characters from Handwritten Words", Proceedings of the Fourth International Conference on Document Analysis and Recognition Vol 2 (1997): 866-869.

Lohakan, M., Airphaiboon, S., and Sangworasil, M., "Single-Character Segmentation for Handprinted Thai Word", Proceedings of the Fifth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR) (September 1999): 661-664.

Min-Chul Jung, Yong-Chul Shin, Srihari, S.N., "Machine Printed Character Segmentation Method Using Side Profiles", IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) Vol 6 (1999): 863-867.

Mohamed, M., and Gader, P., "Handwritten Word Recognition Using Segmentation-Free Hidden Markov Modeling and Segmentation-Based Dynamic Programming Techniques", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol 18 (May 1996): 548-554.

Mori, S., Suen, C. Y., Yamamoto, K., " Historical Review of OCR Research and Development", Proceedings of the IEEE Vol 80 (July 1992): 1029-1058.

Nicchiotti, G. and Scagliola, C., "A Simple and Effective Cursive Word Segmentation Method", Proceeding of the Seventh International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (September 2000): 499-504.

Phokharatkul, P. and Kimpan C., "Recognition of Handprinted Thai Characters Using the Cavity Features of Character Based on Neural Network", IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS) (November 1998): 149-152.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

Salman Amin Khan, "Character Segmentation Heuristics for Check Amount Verification", Master's of Thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, 1998.

Senior, A. W., and Robinson, A. J., "An Off-line Cursive Handwriting Recognition System", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol 20 (March 1998): 309-321.

Tappert, C. C., Suen, C.Y., and Wakahara, T., "The State of the Art in Online Handwriting Recognition", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol 12 (August 1990): 787-808.

Xia, F., "Knowledge-based Sub-pattern Segmentation: Decompositions of Chinese Characters" , IEEE International Conference Image Processing (ICIP) Vol 1 (1994): 179-182.

Xiao, X., and Leedham, G., "Cursive Script Segmentation Incorporating Knowledge of Writing", Proceedings of the Fifth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR) (September 1999): 535-538.

Yang He, Mou-Yen Chen and Kundu, A., "Off-Line Handwritten Word Recognition Using HMM with Adaptive Length Viterbi Algorithm", Proceeding of the 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition Vol 2 (1994): 460-462.

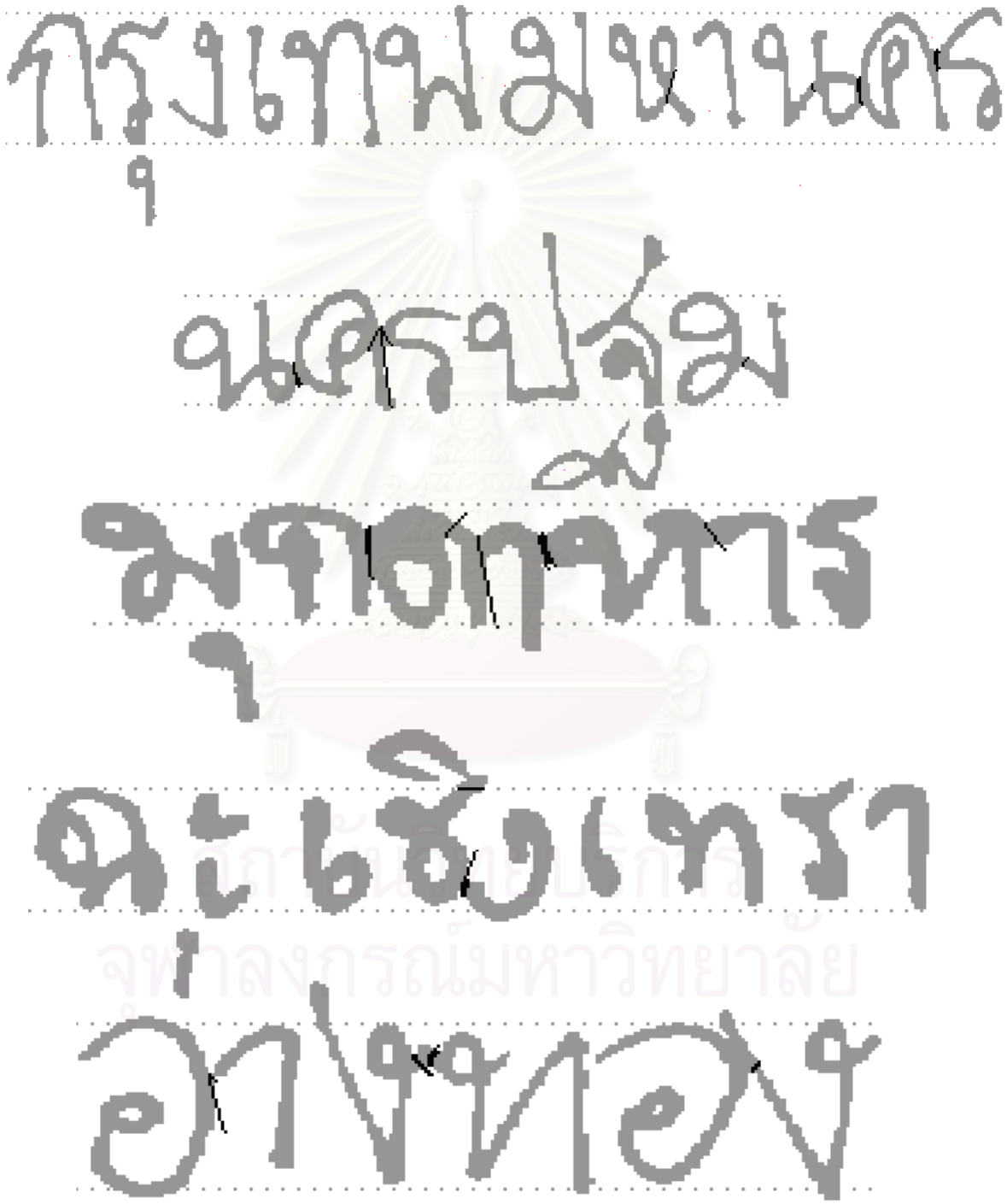
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

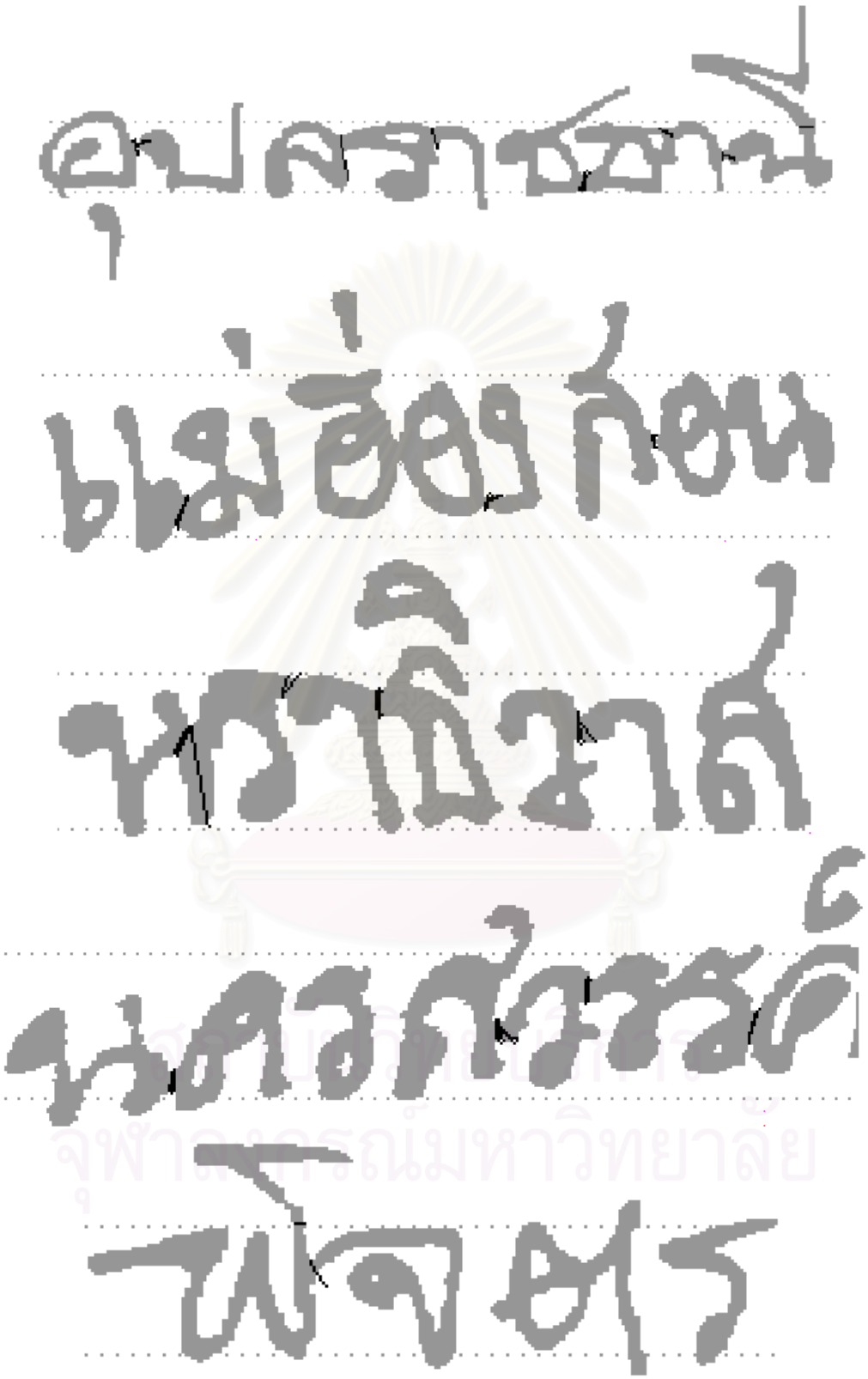
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

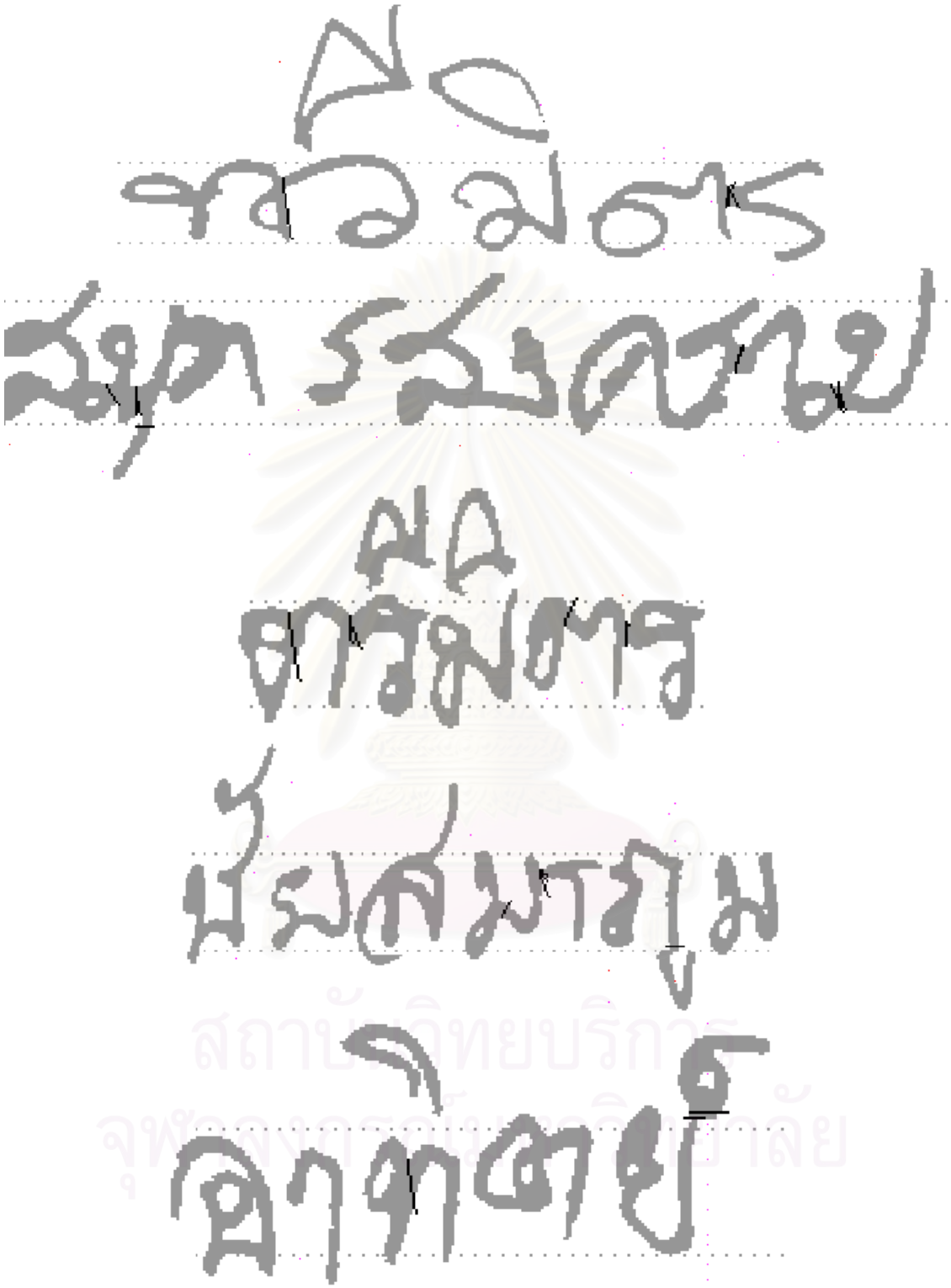
ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการแยกตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยที่เป็นคำ





สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

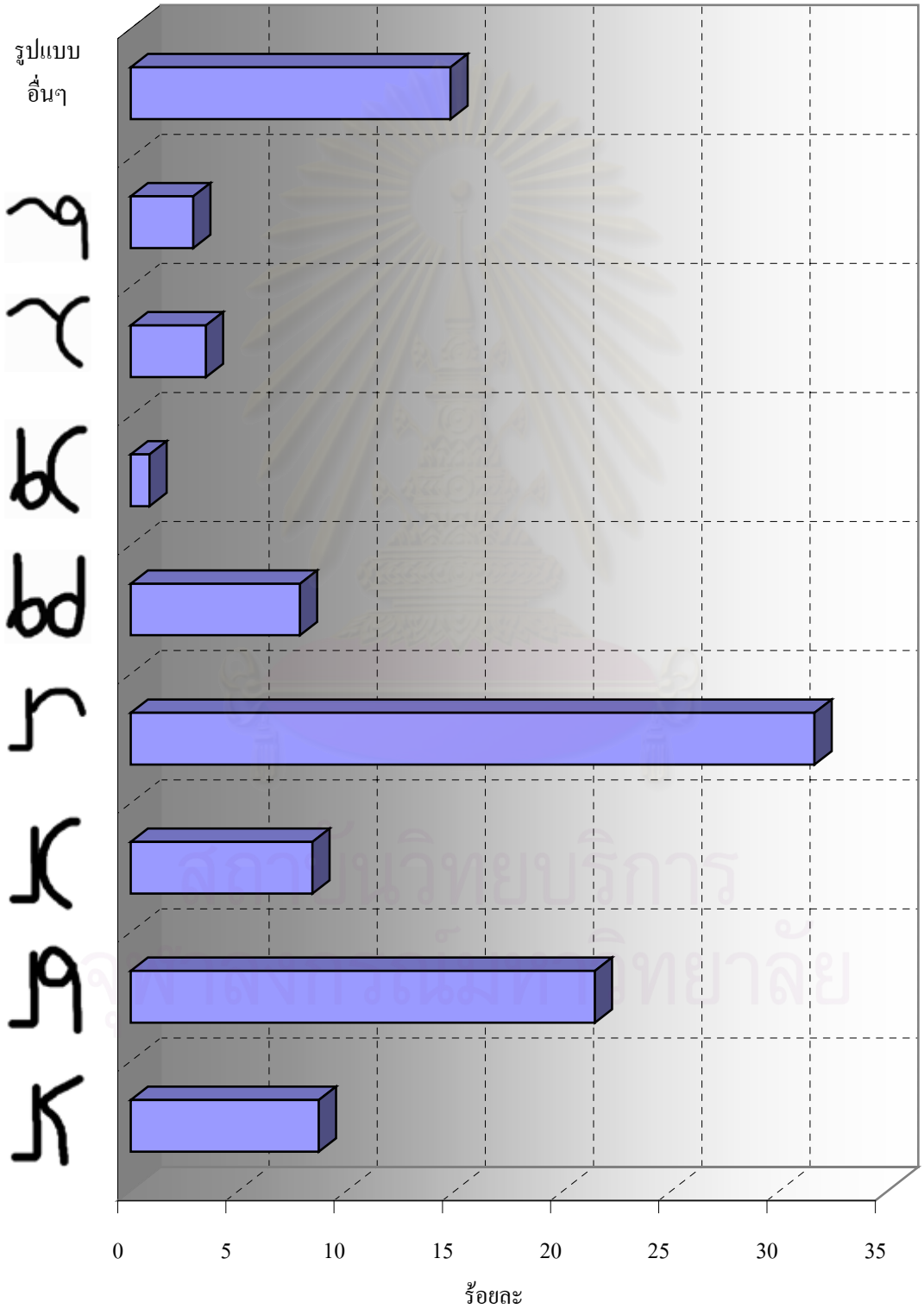


ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ความถี่ของแบบจำลองลายเส้นทางด้านหน้าและลายเส้นทางด้านหลังของตัวอักษร ตามรูปแบบการติดกันที่สามารถเกิดขึ้นได้ ในหัวข้อที่ 3.2.1 โดยการสมมุติฐานตัวอักษรให้ติดกัน ซึ่งพิจารณาจากจำนวนรายชื่อคำที่ใช้เป็นฐานข้อมูล 156 คำ ในตารางที่ 4.1



ประวัติผู้เขียน

นางสาวกรรณทิพย์ กิรติรัตนพฤกษ์ เกิดวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2540

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย