

การคัดตัวอักษรไทยที่เกิดจากการเขียนต่อเนื่องแบบออนไลน์

ONLINE THAI HANDWRITING SEGMENTATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-070-023

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตัดตัวอักษรไทยที่เกิดจากการเขียนต่อเนื่องแบบออนไลน์

ONLINE THAI HANDWRITING SEGMENTATION



อนุชิน ฉัตรชินรัตน์
ANUCHIN CHATCHINARAT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **79830**
วัน,เดือน,ปี **18** ส.ย. 2551

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่สิ่งนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-070-023

ONLINE THAI HANDWRITING SEGMENTATION



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN COMPUTER ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2008

KMITL-2008-EN-M-070-023



เอกสาร **COPYRIGHT 2008** ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการ **SCHOOL OF GRADUATE STUDIES** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตัดตัวอักษรไทยที่เกิดจากการเขียนต่อเนื่องแบบออนไลน์
Online Thai Handwriting Segmentation

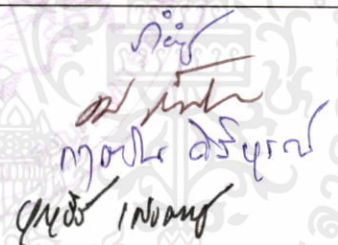
นักศึกษา นายอนุชิน ฉัตรชินรัตน์

รหัสประจำตัว 47060822

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.บุญธีร์ เครือตราชู

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.เกียรติคุณ	เจียรนัยธนะกิจ	
รศ.ดร.ชม	กิมปาน	
ผศ.กฤตวัน	ศิริบูรณ์	
รศ.ดร.บุญธีร์	เครือตราชู	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 17 ธันวาคม 2550 เวลา 11.30-13.30 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.รวีวรรณ ษินะตระกูล)

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่... 26 ...เดือน... ธันวาคม พ.ศ. 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตัดตัวอักษรไทยที่เกิดจากการเขียนต่อเนื่องแบบออนไลน์
นักศึกษา	นายอนุชิน ฉัตรชินรัตน์
รหัสประจำตัว	47060822
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2551
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.บุญฤทธิ์ เกรือตราชู

บทคัดย่อ

การรู้จำตัวลายมือเขียนเป็นงานวิจัยอีกด้านหนึ่งที่มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย แต่ยังมีข้อจำกัดของการรู้จำทำได้เฉพาะตัวอักษรเดี่ยวซึ่งในความเป็นจริงการเขียนภาษาไทย ไม่ได้มีเพียงการเขียนเป็นตัวอักษรเดี่ยวเท่านั้น แต่ยังมี การเขียนที่เป็นตัวอักษรหวัดรวมอยู่ด้วย ซึ่งเป็นการเขียนในลักษณะที่มีตัวอักษรเชื่อมติดกัน

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาจึงได้ศึกษาและวิจัยเสนอแนวทางในการแก้ปัญหา นี้ โดยการแบ่งตัวอักษรออกจากอักษรที่เขียนเชื่อมติดกันจากข้อมูลแบบออนไลน์ ให้เหลือเป็นอักษรตัวเดี่ยว เพื่อสามารถนำเข้าสู่กระบวนการรู้จำต่อไปได้ โดยใช้กระบวนการในการหาจุดตัดที่เหมาะสม ซึ่งนำเทคนิคแองน้ำ มาปรับปรุงให้เหมาะสมกับภาษาไทย โดยพบว่าตัวอักษรที่เชื่อมติดกันจะมีแองน้ำที่ เกิดขึ้นระหว่างตัวอักษรคู่ นั้นซึ่งสามารถเป็นจุดตัดได้จากบริเวณดังกล่าว การเลือกจุดตัดที่เหมาะสมจะตัดสินใจจากรูปแบบองค์ประกอบของอักษรและนำเทคนิคการรู้จำตัวอักษรมาช่วยเลือกจุดตัดที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Online Thai Handwriting Segmentation
Student	Mr. Anuchin Chatchinarat
Student ID.	47060822
Degree	Master of Engineering
Program	Computer Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Boontee Kruatrachue

ABSTRACT

The handwriting recognition has is widely studied nowadays. They have been adopted and used in the many ICT industries. However, the process of translation of the handwriting still has some limitations, especially in Thai. One of the main problem is this method can recognize online handwritten isolated character. But if a writer writes at fast speed, characters tend to connect from one letter to another.

As mentioned above, it is important to investigate how to separate the connection handwritten in order to recognize them. The researcher recommends separating the online handwritten connected character into an isolate character by developing a water-reservoir technique. This technique find area between connected characters and candidate points. We choose the best point to cut by Thai handwriting-pattern and recognition rate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปได้เสียมิได้ หากปราศจากความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ขอบกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้ให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอบกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.บุญธีร์ เครือตราชู สำหรับวิชาความรู้ที่ได้มอบให้การให้คำปรึกษา ดูแล ตลอดจนคอยให้แนวทางในการแก้ปัญหาตั้งแต่เริ่มต้นจนสามารถสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์นี้ได้

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่ได้คอยให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในหลายๆ ด้าน แก่ข้าพเจ้า

คุณความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดาที่รัก และครูบาอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้เคยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

อนุชิน ฉัตรชินรัตน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกานำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในงานวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
1.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	4
1.8 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 แนวคิดเบื้องต้นและแนวทางงานวิจัย.....	6
2.1 ประเภทของการแยกตัวอักษรตัวเขียนที่เชื่อมติดกัน.....	6
2.1.1 การแบ่งโดยอาศัยพื้นฐานจากภาพ.....	9
2.1.2 การแยกตัวอักษรโดยอาศัยหลักการรู้จำตัวอักษร.....	10
2.1.2.1 ตำแหน่งขนานหน้าต่างที่เหมาะสม (Window Position).....	11
2.1.2.2 แบบจำลองฮิดเดน มาร์คอฟ (Hidden Markov Models).....	10
2.2 ตัวอย่างงานวิจัยการแยกอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันของภาษาไทย.....	14
2.3 แนวทางการวิจัยและพัฒนาจากข้อมูลเบื้องต้น.....	15
บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
3.1 Water Reservoir Based Approach for Touching Numeral Segmentation.....	17
3.1.1 ทฤษฎีแอ่งน้ำ (Water Reservoirs).....	18

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.2 การระบุตัวเลข (Numeral classification)	18
3.1.3 การหาและแบ่งแยกส่วนตัวเลขที่ติดกัน (Touching digit segmentation).....	19
3.2 Handwriting Segmentation of Unconstrained Oriya Text.....	21
3.2.1 เส้นฐานของเอ็งน้ำ (Base-Line).....	21
3.2.2 การแบ่งระดับการเขียนของตัวเขียนภาษาอินเดีย.....	21
3.2.3 การติดและตัดในแนวเชื่อมติดด้านบน (Top touching segmentation).....	22
3.2.4 การติดและตัดในแนวเชื่อมติดตรงกลาง (Middle touching segmentation).....	23
3.2.5 การติดและตัดในแนวเชื่อมติดด้านล่าง (Bottom touching segmentation).....	23
3.3 การรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรลาวแบบออนไลน์โดยใช้ลักษณะเด่น	
ทางโครงสร้างแบบยี่ดหยุ่น.....	24
3.3.1 การหาคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรโดยแบ่งเซกเมนต์ของตัวอักษรตามทิศ	
การเขียน (ตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา).....	24
3.3.2 การหาจุดแบ่งเซกเมนต์ของตัวอักษร โดยใช้จุดเปลี่ยนทิศในการเขียน.....	25
3.3.3 คุณลักษณะเด่นของตัวอักษรที่ได้.....	26
3.3.4 การลดจำนวนเซกเมนต์ของตัวอักษร.....	26
3.3.5 กลุ่มเซกเมนต์ของตัวอักษรที่ได้.....	27
บทที่ 4 วิธีการแยกตัวอักษรเขียนไทยที่เชื่อมติดกันแบบออนไลน์.....	33
4.1 ภาพรวมของการแยกตัวอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันแบบออนไลน์สำหรับภาษาไทย.....	33
4.2 การแปลงข้อมูลออนไลน์เป็นข้ออะเรย์สองมิติ (Data Transform).....	35
4.3 การหาคุณสมบัติของข้อมูล (Feature Extraction).....	38
4.3.1 การหาพื้นที่ที่ไม่เป็นเอ็งน้ำใดๆ.....	41
4.3.2 การหาพื้นที่เอ็งน้ำบน.....	41
4.3.3 การหาพื้นที่เอ็งน้ำล่าง.....	42
4.3.4 การหาพื้นที่ปิด.....	43
4.3.5 การหาเอ็งน้ำด้านขวาเพื่อการสลิทเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ยาวไปใช้ประโยชน์.....	44
4.3.6 การหาเอ็งน้ำด้านซ้ายและตั้งถ่วงคิ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรับ.....	44
4.4 การแบ่งประเภทของข้อมูลที่ได้จากคุณสมบัติที่หามา (Component Classification).....	46

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5 การหาจุดตัด (Continuous Component Segmentation).....	51
4.5.1 แบบที่ 1 การหาจุดตัดในกลุ่มอักษรที่เชื่อมติดกันในแนวบรรทัด.....	51
4.5.2 แบบที่ 2 การหาจุดตัดอักษรที่เชื่อมติดกับสระ “โ” “ใ” “เ”.....	55
4.5.3 แบบที่ 3 การหาจุดตัดกลุ่มอักษรที่เชื่อมติดกับสระในแนวเหนือเส้นบรรทัด.....	57
4.5.4 แบบที่ 4 การหาจุดตัดกลุ่มอักษรที่เชื่อมติดกับสระในแนวใต้เส้นบรรทัด.....	59
4.5.4 แบบที่ 5 การหาจุดตัดของกลุ่มอักษรที่เชื่อมติดกันมากกว่าสองตัว.....	60
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	69
5.1 การทดลองตรวจสอบคอมพิวเตอร์เน้นที่ว่าเป็นอักษรเขียนเดี่ยวหรืออักษรเขียนต่อเนื่อง.....	69
5.2 การทดลองตัดตัวอักษรเขียนต่อเนื่องสองตัวติด.....	73
5.3 การทดลองตัดตัวอักษรเขียนต่อเนื่องมากกว่าสองตัวติด.....	76
5.4 การทดลองการรู้จำตัวอักษรแบบจำนวนแอ่งน้ำที่เกิดขึ้น.....	83
5.5 สรุปเวลาที่ใช้ในแต่ละการทดลอง.....	85
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	86
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	86
6.2 แนวทางการพัฒนา.....	87
เอกสารอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก การทดลองหาค่า TR BR CL และ CTB.....	91
ภาคผนวก ข ตัวอย่างผลการทดลองในการหาจุดตัดของอักษรเขียนต่อเนื่อง รูปแบบที่ 1.....	92
ภาคผนวก ค ตัวอย่างผลการทดลองในการหาจุดตัดของอักษรเขียนต่อเนื่อง รูปแบบที่ 2 3 และ 4.....	99
ภาคผนวก ง ผลการทดลองในการหาจุดตัดของอักษรเขียนต่อเนื่องที่เชื่อมติดกัน มากกว่าสองตัวอักษร.....	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้ภายในห้องสมุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏในเอกสารนี้ และขอสงวนสิทธิ์ในการนำข้อมูลไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก จ ผลงานวิจัยในระหว่างการศึกษาที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	112
ประวัติผู้เขียน.....	119



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงจุดเช็กเมนต์ที่ได้	29
3.2 แสดงกลุ่มเช็กเมนต์ของตัวอักษรไทยที่ได้โดยตั้งค่า Diffcode เป็น 0.8 และความยาว ของเช็กเมนต์เท่ากับ 4 %	30
3.3 แสดงตัวอย่างตัวอักษรไทยในกลุ่มเช็กเมนต์ที่ได้ตั้งค่า Diffcode เป็น 0.8 และความยาวของ เช็กเมนต์เท่ากับ 4 %	31
4.1 แสดงการเพิ่ม x และ y ทั้ง 8 รูปแบบ	36
4.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่า L R Top และ Bottom ในการเปลี่ยนแปลงค่าในอะเรย์	39
4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่า L R Top และ Bottom ในการเปลี่ยนแปลงค่า Old Bit เป็น New Bit	39
4.4 แสดงความหมายของค่าแต่ละตำแหน่งในอะเรย์	39
4.5 แสดงความหมายตัวแปร CL TR BR และ CTB	46
4.6 แสดงค่า CL TR BR และ CTB ที่หาได้จากตัวอักษรไทย	46
4.7 แสดงค่าเฉลี่ย CL TR BR และ CTB จากกลุ่มลายมือตัวอย่าง 50 คน	66
4.8 ค่าผลรวมความแตกต่างของอินพุตตามรูปที่ 4.45	68
5.1 แสดงจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ทดลอง	69
5.2 แสดงผลการทดลองระบุประเภทของคอมโพเนนท์ของตัวอักษรสระและวรรณยุกต์	70
5.3 แสดงผลการทดลองเฉพาะชุดอักษรที่เชื่อมติดกัน	70
5.4 แสดงผลการทดลองหาจุดตัดในคอมโพเนนท์แบบที่ 1 2 3 และ 4	73
5.5 แสดงผลการทดลองการตัดอักษรที่เชื่อมติดกันเฉพาะกลุ่มของคอมโพเนนท์แบบที่ 1	74
5.6 แสดงผลการทดลองการตัดอักษรที่เชื่อมติดกันของคอมโพเนนท์กลุ่มที่ 2 3 และ 4	74
5.7 แสดงผลการทดลองระบุคอมโพเนนท์ว่ามากกว่าสองตัวติดหรือไม่	77
5.8 แสดงผลการทดลองการรู้จำตัวอักษรด้วยแบบจำนวนแองน้ำที่เกิดขึ้น	83
5.9 แสดงเวลาการทำงานของการระบุประเภทของคอมโพเนนท์	85
5.10 แสดงเวลาการทำงานของการตัดตัวอักษรสองตัวที่เชื่อมติดกัน	85
5.11 แสดงเวลาการทำงานเฉลี่ยของการตัดตัวอักษรมากกว่าสองตัวเชื่อมติดกัน	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลแบบออฟไลน์.....	6
2.2 แสดงตัวอย่างข้อมูลแบบออนไลน์.....	6
2.3 ระบบการรู้จำตัวอักษรด้วยแสง.....	7
2.4 ตัวอย่างอินพุทและประสิทธิภาพของการรู้จำตัวอักษรด้วยแสง.....	8
2.5 ประเภทของการแยกตัวอักษรตัวพิมพ์และตัวเขียนที่เชื่อมติดกัน.....	8
2.6 white space and pitch.....	9
2.7 วิเคราะห์ฮิสโตแกรมในแนวตั้ง.....	9
2.8 การแยกองค์ประกอบของอักษรที่ติดกัน.....	10
2.9 วิธีตำแหน่งขนานหน้าต่างที่เหมาะสม.....	11
2.10 วิธีตำแหน่งขนานหน้าต่างที่เหมาะสมหลังจากการปรับปรุง.....	12
2.11 แบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ.....	12
2.12 The Markov model represents state-to-state transitions within a character.....	14
2.13 แสดงการหาเขตการแบ่งโดยการหาฮิสโตแกรมในแนวตั้งและแนวนอน.....	15
2.14 ตัวอักษรทั้งหมดในภาษาไทย.....	16
3.1 แผนภาพการทำงานของการทำงานที่ติดกันของตัวเลข.....	18
3.2 แอ่งน้ำบนและแอ่งน้ำล่าง.....	19
3.3 การแบ่งพื้นที่ของคอมโพเนนท์.....	20
3.4 แสดงให้เห็นจุดตัดที่เป็นไปได้.....	20
3.5 แสดงเส้นฐานของแอ่งน้ำ.....	21
3.6 แสดงพื้นที่และเส้นต่างๆ.....	21
3.7 การติดและตัดในแนวเชื่อมติดด้านบน.....	22
3.8 การติดและตัดในแนวเชื่อมติดด้านล่าง.....	23
3.9 หาจุดแบ่งเซ็กเมนต์จากจุดที่เป็นจุดเปลี่ยนทิศทางในการเขียนตามเข็มนาฬิกาหรือ ทวนเข็มนาฬิกา.....	25
3.10 แสดงจุดแบ่งเซ็กเมนต์ที่เป็นจุดเปลี่ยนทิศในการเขียนตัวอักษร.....	26
3.11 แสดงจุดเซ็กเมนต์ที่ได้จากการใช้วงเพื่อตรวจสอบความแน่นอน ไม่เกินจุดใดให้น่าไปให้ประโยชน์.....	28
3.12 แสดงเซ็กเมนต์ที่ได้ในการหาจากจุดเปลี่ยนทิศในการเขียนของเอกสารทศวรรษที่มีกรณีไปใช้ ไม่ว่า.....	29
3.13 แสดงจำนวนเซ็กเมนต์ของตัวอักษรหลังการลดจำนวนเซ็กเมนต์แล้ว.....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะเด่นที่หาได้จากการแบ่งเซ็กเมนต์โดยจุดที่มีมุมหักในการเขียนที่มากและการแบ่งเซ็กเมนต์จากจุดเปลี่ยนทิศในการเขียน	29
4.1 แสดงไดอะแกรมขั้นตอนการทำงาน	34
4.2 แผนภูมิขบวนการการปฏิบัติการ	34
4.3 แสดงลำดับจุดของตัวอักษรที่ได้ในการเขียนช้าและเร็ว	35
4.4 รูปแบบทิศทางการเขียน	35
4.5 ตัวอย่างการหาจุดเชื่อมต่อระหว่างจุดสองจุด	36
4.6 รูป ก แสดงค่ารูปข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์การเขียนอิเล็กทรอนิกส์ รูป ข แสดงการเก็บข้อมูลในรูปแบบอะเรย์สองมิติ	37
4.7 รูปพื้นที่ที่ถูกปิดล้อม	38
4.8 แสดงพื้นที่ที่หาคณสมบัติเองน้ำไม่ถูกต้อง	40
4.9 แสดงการหาพื้นที่ที่ไม่ใช่เองน้ำ	41
4.10 แสดงการหาเองน้ำบน	42
4.11 แสดงการหาเองน้ำล่าง	43
4.12 แสดงการหาพื้นที่ปิด	43
4.13 แสดงการหาเองน้ำขวา	44
4.14 แสดงการหาเองน้ำซ้าย	44
4.15 ตัวอย่างข้อมูลหลังจากหาเองน้ำต่างๆ	45
4.16 ตัวอย่างข้อมูลหลังจากหาเองน้ำต่างๆ	45
4.17 ค่า CTB ที่อาจเป็นไปได้หลายค่า	47
4.18 ปากขอบเองน้ำล่างที่อยู่ในพื้นที่ครึ่งล่างของตัวเอง	48
4.19 แสดงกลุ่มตัวอักษรติดที่มีค่า BR เท่ากับ 1	48
4.20 พื้นที่เองน้ำเหนือเส้นบรรทัด	49
4.21 พื้นที่เองน้ำใต้เส้นบรรทัด	49
4.22 แสดงขนาดของเองน้ำล่างเปรียบเทียบกับขนาดคอมโพเนนท์	50
4.23 อักษรที่เชื่อมติดกันในแนวบรรทัด เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์	51
4.24 แสดงตำแหน่งและตัวอย่างของกันเองน้ำบนของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการรับใช้	52
4.25 กันเองน้ำบนแบบเรียงเป็นเส้นตรง	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.26	แสดงการหาแก่นแ่งน้ำบนแบบเรียงเป็นเส้นตรง.....	53
4.27	ตำแหน่งแก่นแ่งน้ำของคอมโพเนนท์ “กา”.....	54
4.28	แสดงการตัดจุดต่างๆ และค่าที่ได้จากการรู้จำตัวอักษร.....	55
4.29	อักษรที่เชื่อมติดกับสระ “โ” “ใ” “เ”.....	55
4.30	แสดงการหากลุ่มจุดตัดทั้งแบบถึงจุดแยกและปากแ่งน้ำ.....	56
4.31	ตัวอย่างการตัดในรูปแบบอักษรที่เชื่อมติดกับสระ “โ” “ใ” “เ”.....	57
4.32	อักษรที่เชื่อมติดกับสระในแนวเหนือเส้นบรรทัด.....	57
4.33	แสดงการตัดที่ปากแ่งน้ำด้านล่างนั้น.....	58
4.34	แสดงจุดตัดในกรณีพื้นที่ปิดที่มีสี่แยก.....	58
4.35	แสดงจุดตัดในกรณีพื้นที่ปิดที่มีสามแยก.....	59
4.36	อักษรที่เชื่อมติดกับสระในแนวใต้เส้นบรรทัด.....	59
4.37	ตัวอย่างการตัดในกรณีเชื่อมติดได้บรรทัด.....	60
4.38	ตัวอย่างการตัดในกรณีเชื่อมติดได้บรรทัด.....	60
4.39	คอมโพเนนท์ของคำว่า “ความ” และ “สนาม”.....	61
4.40	แสดงจุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดของคอมโพเนนท์ของคำว่า “ความ”.....	62
4.41	แสดงการทำงานในหารวนหาจุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด พร้อมแสดงค่า ความเหมือนที่ได้ของ SubComponent1 SubComponent2.....	63
4.42	แสดงภาพ SubComponent1 SubComponent2 และ SubComponent3 ของคอมโพเนนท์ “ความ”.....	64
4.43	SubComponent3 ที่หาจุดตัดที่เป็นไปได้ที่เหลือ.....	64
4.44	แสดงให้เห็นกรณีที่ จุดตัด SubComponent1 มีตำแหน่งจุดตัดมากกว่า SubComponent2.....	65
4.45	แสดงให้เห็นคุณสมบัติของแ่งน้ำ.....	68
5.1	การเขียนตัวอักษรที่ส่วนหัวมีขนานใหญ่กว่าปกติ.....	71
5.2	การเขียนรอยหยักเล็กกว่าปกติ.....	71
5.3	การเขียนอักษรที่มีหางยาวมากเกินไป.....	71
5.4	การเขียนหัวของสระ “โ” และ “ใ” เป็นแ่งน้ำบนที่สูงกว่าค่าที่กำหนด.....	72
5.5	การเขียนจุดเชื่อมต่อหยักลงมาน้อยกว่าควรจะเป็น.....	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
5.6	แสดงการเขียนอักษรที่ทำให้เกิดแอ่งน้ำบนเชื่อมกับสระอาแล้ว อาจจะทำให้เกิดปัญหาหากเขียนขนานเล็กเกินไป.....	73
5.7	แสดงการหาจุดตัดที่ถูกต้องและการรู้จำตัวอักษรที่ถูกต้อง.....	75
5.8	แสดงการหาจุดตัดที่ถูกต้องแต่มีการจำรูจำตัวอักษรที่ไม่ถูกต้อง.....	75
5.9	การเขียนอักษรที่มีหางยาวมากเกินไป.....	76
5.10	แสดงการเขียน “น” โดยการลากหางไปโดยตรงทำให้ไม่เกิดแอ่งน้ำ.....	76
5.11	ทิศทางการเขียนของรูปแบบปกติและรูปแบบจากการเขียนต่อเนื่อง.....	77
5.12	ปัญหาที่เกิดขึ้นกับคอมพิวเตอร์ “การ”.....	78
5.13	ผลการทดลองตัดคำว่า “มาก”.....	79
5.14	ผลการทดลองตัดคำว่า “ทาน”.....	80
5.15	ผลการทดลองตัดคำว่า “สนาม”.....	81
5.16	ผลการทดลองตัดคำว่า “ความ”.....	82
5.17	คอมพิวเตอร์ “มาก” ที่ “า” และ “ก” มีการเขียนทับกันโดยแนบสนิท.....	83
5.18	ผลการตัดที่ไม่ถูกต้องจากปัญหาการเขียนทับกัน.....	83
5.19	แสดงตัวอย่างอักษรภาษาไทยที่มีจำนวนแอ่งน้ำเหมือนกันทุกประการ.....	84
6.1	ตัวอย่างรูปแบบที่การตัดยังไม่สามารถแยกได้.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การแยกอักษรเขียนที่เชื่อมติดกัน (Handwriting Segmentation) เป็นข้อความหรือเป็นกลุ่มของตัวอักษรตั้งแต่สองตัวขึ้นไปออกเป็นอักษรเขียนเดี่ยว เป็นขั้นตอนหนึ่งสำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านการรู้จำตัวอักษร (Character Recognition)

การแยกตัวอักษรตัวเขียนที่เชื่อมติดกันแบ่งเป็นสองประเภทตามข้อมูลที่เข้ามา ประเภทหนึ่งคือ การแยกตัวอักษรเขียนที่ติดกันแบบออฟไลน์ (Offline Handwriting Segmentation) โดยข้อมูลที่ทำการแยกจะเป็นข้อมูลประเภทรูปภาพ ประเภทที่สองคือ การแยกตัวอักษรที่เขียนเชื่อมติดกันแบบออนไลน์ (Online Handwriting Segmentation) ซึ่งข้อมูลจะได้จากการเขียนโดยปากกาอิเล็กทรอนิกส์ (Tablet pen) โดยการลากเส้นเขียนเป็นอักษรจะได้ข้อมูลเป็นลำดับของจุดพิกัดต่อเวลา ซึ่งงานวิจัยนี้สนใจการแก้ปัญหาในแบบตัวอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันที่เกิดจากข้อมูลแบบออนไลน์

ในปัจจุบันได้มีการนำระบบการรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์ไปประยุกต์ใช้ในหลายด้าน โดยเฉพาะการนำไปใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กเช่น ปาล์ม (Palm) เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา (Pocket PC) โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile phone) แต่ด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์ประเภทดังกล่าวที่มีขนาดเล็กก็เป็นเหตุให้แป้นพิมพ์ก็มีขนาดเล็กตาม จึงได้มีพัฒนาการป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอสัมผัสโดยตรง เหตุนี้เองจึงต้องนำเอาระบบรู้จำลายมือเขียนแบบออนไลน์มาประยุกต์ใช้กับเครื่องมือเหล่านี้ที่กล่าวมาในการป้อนข้อมูลเข้า

โดยทั่วไปการใช้งานจะมีข้อจำกัดที่เวลาในการป้อนลายมือเขียนทำได้ครั้งละหนึ่งตัวอักษรเท่านั้น เนื่องมาจากข้อจำกัดของการรู้จำตัวอักษร ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสะดวกยิ่งขึ้นในการป้อนข้อมูลอาจจะไม่ได้เขียนทีละตัวอักษรแต่ผู้ใช้งานอาจเขียนอักษรมากกว่าหนึ่งตัวอักษรในการเขียนต่อหนึ่งครั้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการป้อนข้อมูลและการแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น

การแยกตัวอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันแบบออนไลน์สำหรับภาษาไทยนั้นยังไม่เห็นงานวิจัยในด้านนี้ ส่วนมากจะเป็นการทำงานแบบออฟไลน์ของตัวอักษรพิมพ์หรือเป็นตัวอักษรเขียนที่มีลักษณะคล้ายอักษรพิมพ์มาก ดังเช่น [1], [2] โดยที่ทั้งสองตัวอย่างอาศัยหลักการของฮิสโตแกรมการคำนวณความถี่ของพิกัดของจุดพิกัดของเส้นเขียน ซึ่งการใช้ฮิสโตแกรมจะเหมาะสมสำหรับตัวพิมพ์เท่านั้นหากนำมาใช้กับตัวเขียนจะให้ผลลัพธ์ที่ไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากตัวเขียนมีความลาดเอียงทำให้การวิเคราะห์จากฮิสโตแกรม

รมมีความคิดเพิ่มขึ้นไป ในส่วนของการแยกตัวอักษรแบบออนไลน์ของตัวเขียนซึ่งจะพบมากในการเขียนของตัวเขียนภาษาอังกฤษ ซึ่งจะใช้หลักการของการวิเคราะห์สโตรคการเขียนและคูสโตรคการเขียนว่ามีลักษณะอย่างไร สาเหตุที่ทำให้เช่นนี้ได้เนื่องมาจากภาษาอังกฤษมีตัวเขียนที่แน่นอนจึงทำให้หาคุณสมบัติจากสโตรคการเขียนได้โดยตรงและวิเคราะห์หาจุดเชื่อมระหว่างตัวอักษรได้ง่ายกว่าภาษาไทย ซึ่งต่างจากภาษาไทยที่ไม่แบบการเขียนที่แน่นอนทำให้การวิเคราะห์สโตรคในตัวเขียนภาษาไทยทำได้ลำบาก

งานวิจัยหนึ่งเป็นของ Pal, U และ Tripathy, N ชื่อ “Handwriting segmentation of unconstrained Oriya text [3]” นำเสนอหลักการของแอ่งน้ำ (Water Reservoir) เป็นการแยกตัวอักษรเขียนภาษาอินเดียแบบข้อมูลออฟไลน์ซึ่งอาศัยหลักการของพื้นที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นเมื่ออักษรเชื่อมติดกันและนำมาวิเคราะห์หาจุดตัดที่เหมาะสมซึ่งเป็นหลักการที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาปรับปรุงเพื่อใช้กับการตัดตัวอักษรเขียนติดกันในภาษาไทยแบบข้อมูลออนไลน์

สำหรับงานวิจัยนี้นำเสนอการตัดตัวอักษรเขียนไทยติดกันแบบข้อมูลออนไลน์โดยอาศัยหลักการของแนวคิดแอ่งน้ำเพื่อจะหาจุดตัดที่น่าจะเป็นไปได้ทั้งหมดที่อาจเกิดขึ้น จากนั้นเข้าสู่รูปแบบการหาจุดตัดจากจุดตัดทั้งหมดที่หามาได้ โดยการตัดสองตัวติดจะอาศัยรูปแบบการคิดวิเคราะห์เลือกจุดตัดที่เหมาะสมที่สุด ส่วนการตัดมากกว่าสองตัวนั้นจะใช้การรู้จำตัวอักษรเข้ามาช่วยในการเลือกจุดตัดที่เหมาะสมตามลำดับ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องการหาระบบการตัดตัวอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันจากข้อมูลแบบออนไลน์โดยอัตโนมัติมีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพ สามารถนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของงานด้านการรู้จำลายมือเขียนซึ่งจะเป็นอีกช่องทางหนึ่งในการรับข้อมูล ลดข้อจำกัดที่มีในปัจจุบัน

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

จากการศึกษาลายมือตัวอย่างสังเกตได้ว่าลักษณะการติดกันส่วนมากเกิดจากอักษรสองตัวเชื่อมกัน โดยเชื่อมกันในแนวบรรทัด เหนือบรรทัดและใต้บรรทัด นอกจากนั้นจะมีการเชื่อมติดกันมากกว่าสองตัวอักษร คำในกลุ่มนี้จะเป็นกลุ่มคำที่มักจะเขียนเชื่อมกัน ยกตัวอย่างเช่น “การ” “ความ” เป็นต้น ซึ่งกลุ่มคำและรูปแบบที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นลักษณะการเกิดส่วนใหญ่ของการเขียนลายมือภาษาไทย งานวิจัยนี้ต้องการจะตัดคอมโพเน้นท์ที่เชื่อมติดกัน (อินพุทที่ต้องการตรวจสอบ) กลุ่มนี้ออกจากกันให้ได้โดยอาศัยแนวคิดแอ่งน้ำเข้ามาช่วยหาจุดตัดที่เป็นไปได้ แอ่งน้ำ

ที่เกิดขึ้นจะเกิดระหว่างอักษรที่อยู่เชื่อมติดกัน ซึ่งช่องว่างบริเวณอักษรที่อยู่เชื่อมติดกันน่าจะเป็นส่วนที่สามารถมีจุดตัดที่สามารถแยกคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมติดกันออกจากกันได้ อย่างไรก็ตามไม่สามารถสรุปจากแนวคิดดังกล่าวได้ทั้งหมด เพราะอักษรเขียนภาษาไทยบางตัวก็จะมีพื้นที่ช่องว่างอยู่ในตัวอักษรเขียนตัวมันเอง เช่น “พ” “ท” จึงไม่อาจสรุปจากแนวคิดเอน้ำได้เพียงอย่างเดียว ต้องนำกระบวนการรู้จำลายมือเขียนเข้ามาช่วยเลือกจุดตัดที่เหมาะสมประกอบ

จากสองแนวคิดที่กล่าวมาสามารถนำมาประยุกต์ในการหาจุดตัดและเลือกจุดตัดได้ในระดับตัวอักษรเขียนจำนวนหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากลายมือเขียนที่หวัดมากจนไม่สามารถอ่านออกหรือการเขียนที่ไม่สามารถอ่านออกได้โดยตรง ต้องอาศัยการพิจารณาคำนับจากอักษรที่อยู่รอบข้าง จึงจะทราบความหมายของคำที่สนใจ กลุ่มอักษรเขียนประเภทที่กล่าวมาไม่สามารถหาจุดตัดได้

1.4 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอแนวคิดวิธีการตัดตัวอักษรเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์ซึ่งประยุกต์แนวคิดมาจากการงานวิจัยการตัดตัวอักษรเขียนอินเดียแบบออฟไลน์ [3] โดยงานวิจัยดังกล่าวนำเสนอการระบุคอมพิวเตอร์ที่ว่าเป็นอักษรเขียนเดี่ยวหรือเป็นอักษรเขียนต่อเนื่อง โดยพิจารณาจากจำนวนเอน้ำและตำแหน่งของเอน้ำที่ปรากฏในคอมพิวเตอร์ที่ต้องการตรวจสอบ ซึ่งพบว่าแนวคิดที่กล่าวมาสามารถนำมาประยุกต์ให้เหมาะกับลายมือเขียนภาษาไทยแบบออนไลน์ได้ เพราะวิธีการที่เคยมีมาโดยอาศัยฮิสโตแกรมเข้ามาช่วยจะเหมาะกับตัวพิมพ์เท่านั้นแต่สำหรับลายมือเขียนที่มีความลาดเอียงจากการเขียนจะไม่สามารถใช้วิธีการฮิสโตแกรมได้ ตรงกันข้ามกับแนวคิดเอน้ำที่สามารถนำมาใช้กับตัวลายมือเขียนที่ลาดเอียง เนื่องจากจะพิจารณาหาเอน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างตัวอักษรโดยไม่ได้สนใจตำแหน่งของพิกเซลสีดำ ทำให้การเขียนตรงหรือเอียงก็ทำให้เกิดเอน้ำลักษณะเดียวกันและพื้นที่เอน้ำดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มีโอกาสเป็นจุดแบ่งระหว่างตัวอักษรคู่กัน

แต่อย่างไรก็ตาม การเขียนติดกันของภาษาไทยมีความหลากหลายในแง่ของวิธีการเขียนและจำนวนที่ตัวอักษรเขียนสามารถเชื่อมติดกันได้ ปัญหาที่ตามมาคือการที่ตัวอักษรที่เชื่อมติดกันมากกว่าสองตัวอักษรนั้นสามารถแบ่งออกได้หลายรูปแบบ แล้วจะทราบได้อย่างไรว่ารูปแบบใดเป็นที่ตัดออกมาแล้วถูกต้องมากที่สุด จึงจำเป็นต้องนำเทคนิคการรู้จำตัวอักษรเข้ามาช่วยในการตัดสินใจเลือกจุดตัดที่เหมาะสมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้สามารถตัดตัวอักษรที่เชื่อมติดกันได้ตั้งแต่สองตัวขึ้นไป โดยแบ่งเป็นกรณีสองตัวอักษรติดที่เชื่อมกันในแนวบรรทัด เหนือบรรทัดและใต้บรรทัด ในส่วนของการเชื่อมติดกันของตัวอักษรมากกว่าสองตัว สามารถทำได้ในการเขียนตัวอักษรเชื่อมติดตามแนวบรรทัด ทั้งนี้ชุดอักษรเขียนต่อเนื่องที่นำมาใช้ในการทดลอง เป็นชุดตัวอักษรเขียนต่อเนื่องที่ไม่หวัดมากจนเกินไป ไม่เขียนเชื่อมติดข้ามคำและสามารถรู้จำตัวอักษรได้

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.6.1 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย
- 1.6.2 ศึกษางานวิจัยการตัวอักษรตัวเขียนที่เชื่อมติดกันตามที่เคยมีผู้ศึกษาไว้ก่อนหน้าเพื่อดูความเป็นได้ เปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของแต่ละวิธีการเพื่อนำมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้
- 1.6.3 ตั้งสมมุติฐานงานวิจัยตามทฤษฎีและหลักการที่ได้ศึกษา รวมถึงกำหนดแนวทางในการทำงานวิจัย
- 1.6.4 พัฒนาโปรแกรมที่จำเป็นต้องใช้ในการรตัวอักษรตัวเขียนไทยที่เชื่อมติดกันตามลักษณะและวิธีการที่ได้กำหนดไว้ใน 1.6.3
- 1.6.5 เก็บข้อมูลทำและการทดลอง ประเมินผลการทดลอง วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้และสรุปงานวิจัย
- 1.6.6 เสนอแนะถึงปัญหาและแนวทางการปรับปรุงในอนาคต

1.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่

- 1.7.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ Acer Aspire 5502ZNXMi ใช้หน่วยประมวลผลกลาง CPU Intel Centrino processor ความเร็ว 1.73 GHz หน่วยความจำ 512 MB จำนวน 1 เครื่อง
- 1.7.2 ระบบปฏิบัติการ Windows XP Professional
- 1.7.3 โปรแกรม Microsoft Visual C++ 6.0
- 1.7.4 Genius WizardPen 4x3
- 1.7.5 โปรแกรม MySQL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

- บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย จุดมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของงานวิจัย ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัยและขั้นตอนของการศึกษา เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย
- บทที่ 2 แนวคิดเบื้องต้นของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและแนวทางงานวิจัย ศึกษาวิธีการตัวอักษรตัวเขียนที่เชื่อมติดกันตามที่เคยมีผู้ศึกษาไว้ก่อนหน้าเพื่อ ดูความเป็นได้ ศึกษาข้อดีและข้อด้อยของแต่ละวิธีการเพื่อนำมาวาง แนวทางการศึกษาปรับปรุง และพัฒนาโปรแกรมการตัดตัวอักษรเขียน ไทยแบบข้อมูลออนไลน์
- บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ กล่าวถึงงานวิจัยที่ได้นำมาพัฒนาเพิ่มเติมในการทำ การตัดลายมือเขียนไทย ตลอดจนงานวิจัยในเรื่องของการรู้จำตัวอักษรที่ นำมาใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้
- บทที่ 4 การตัดตัวอักษรที่เชื่อมติดกันแบบออนไลน์ กล่าวถึงขั้นตอนการทำงาน ทั้งหมดด้วยเทคนิคที่ได้นำเสนอ โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดแต่ละขั้นตอน จนได้ผลลัพธ์ที่ต้องการออกมา
- บทที่ 5 ผลการทดลอง กล่าวถึงการทดลองทั้งหมดด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอพร้อม ทั้งปัญหาที่เกิดขึ้น
- บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง กล่าวถึงภาพรวมของงานวิจัยที่ได้นำเสนอ พร้อมทั้ง ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาระบบเพื่อใช้ต่อไปในอนาคต
- ภาคผนวก แสดงรายละเอียดของผลการทดลองในงานวิจัย และผลงานวิจัยใน ระหว่างการศึกษาที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิดเบื้องต้นและแนวทางการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงประเภทของการแยกตัวอักษรพิมพ์และตัวอักษรเขียนที่เชื่อมติดกัน โดยจะกล่าวถึงแนวคิดและปัญหาของการแยกตัวอักษรที่เชื่อมติดกันจากงานวิจัยก่อนหน้าพร้อมทั้งนำตัวอย่างงานวิจัยการตัดตัวอักษรไทยที่เชื่อมติดกันมาวิเคราะห์และสรุปเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย

2.1 ประเภทของการแยกตัวอักษรตัวเขียนที่เชื่อมติดกัน

การแยกตัวอักษรตัวเขียนที่เชื่อมติดกันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามข้อมูลที่ใช้ในการตัดคือ การแยกตัวอักษรเขียนที่ติดกันแบบออฟไลน์และการแยกตัวอักษรที่เขียนเชื่อมติดกันแบบออนไลน์ โดยทั้งสองประเภทมีอัลกอริทึมและอิทธิพลที่แตกต่างกัน ในรูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลแบบออฟไลน์โดยผ่านการสแกนและในรูปที่ 2.2 แสดงข้อมูลแบบออนไลน์จากปากกาอิเล็กทรอนิกส์

ภาพที่ 2.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลแบบออฟไลน์

ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างข้อมูลแบบออนไลน์

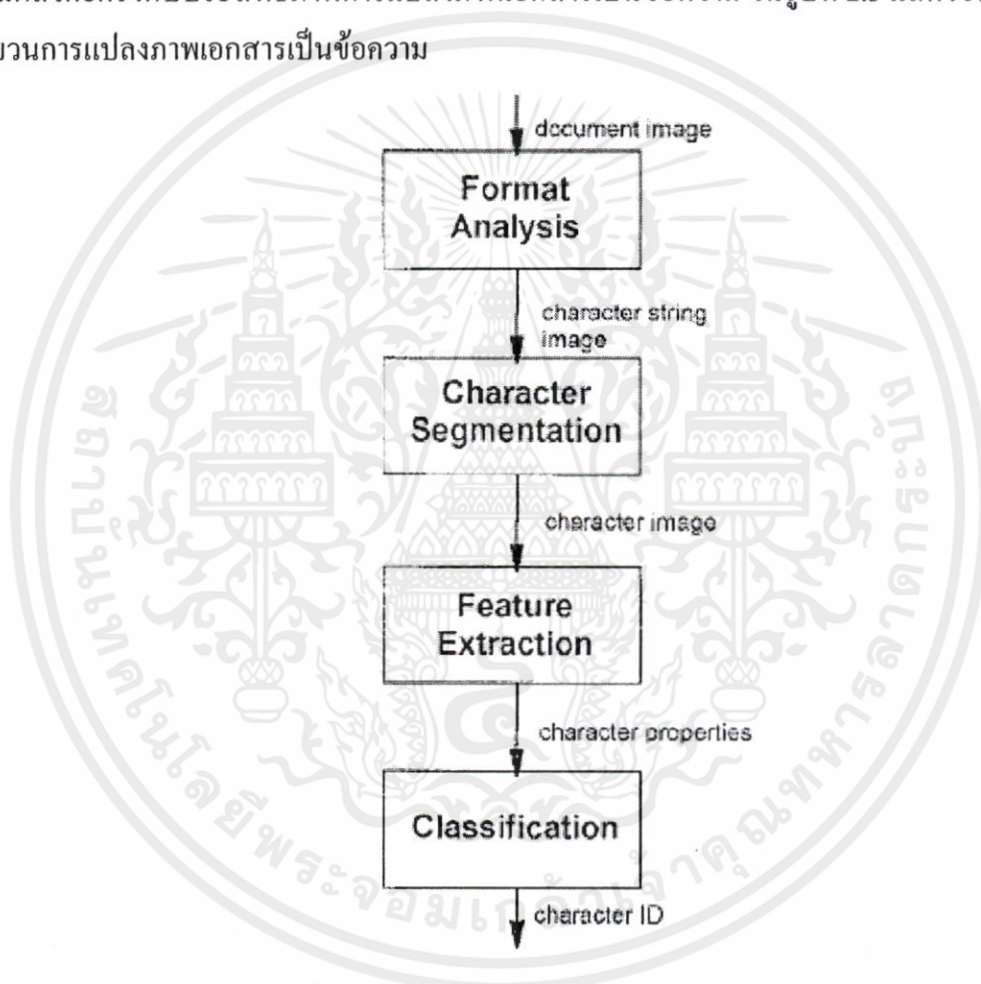
รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลแบบออฟไลน์

(109,202)(109,201)(110,200)(109,199)(109,198)(109,197)(109,196)(109,194)(109,193)(110,192)
(111,189)(111,187)(113,185)(114,183)(114,182)(115,181)(116,180)(118,178)(122,174)(125,172)
(127,169)(131,167)(134,166)(137,163)(142,156)(144,153)(145,151)(146,150)(146,148)(145,147)
(139,143)(136,142)(133,141)(128,141)(125,141)(121,141)(117,141)(116,141)(118,140)(120,139)
(122,138)(124,137)(127,136)(131,136)(136,134)(142,132)(154,127)(161,125)(169,123)(176,123)
(182,122)(187,122)(192,123)(205,128)(207,130)(210,135)(209,146)(208,149)(202,165)(198,170)
(189,184)(184,197)(183,200)(182,202)(182,203)(184,203)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างข้อมูลแบบออนไลน์

งานวิจัย [4] สรุปว่าการแยกตัวอักษรทั้งตัวพิมพ์และตัวเขียนที่เชื่อมติดกันเป็นขั้นตอนหนึ่งในระบบการรู้จำตัวอักษรด้วยแสง (Optical Character Recognition : OCR) หรือกระบวนการแปลงภาพเอกสารเป็นข้อความ โดยกระบวนการแปลงภาพเอกสารเป็นข้อความมีขั้นตอนการทำงาน 4 ขั้นตอนคือ การจัดรูปแบบอินพุท (Format Analysis) การแบ่งแยกตัวอักษรที่เข้ามาให้อยู่ในรูปแบบอักษรตัวเดียว (Character Segmentation) การหาคุณสมบัติของตัวอักษร (Feature Extraction) และการระบุว่าคอมโพเนนต์ที่เป็นตัวอักษรประเภทใดจากคุณสมบัติที่ได้มา (Classification) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าขั้นตอนการแบ่งแยกตัวอักษรที่เข้ามาให้อยู่ในรูปแบบตัวอักษรเดี่ยวมีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพการแปลงภาพเอกสารเป็นข้อความ ในรูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนกระบวนการแปลงภาพเอกสารเป็นข้อความ



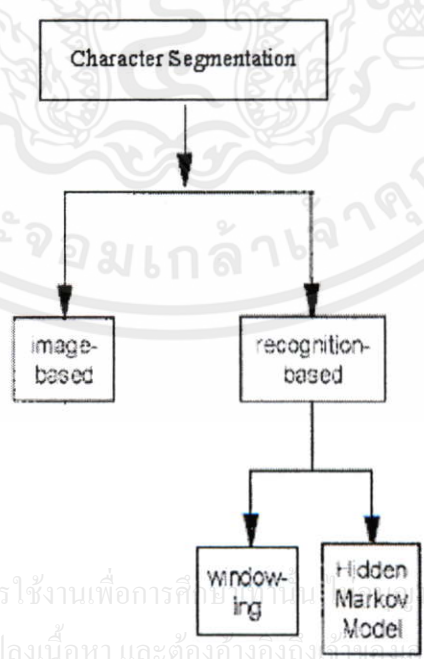
รูปที่ 2.3 ระบบการรู้จำตัวอักษรด้วยแสง

ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นมาจากอินพุทที่มีการพิมพ์ชิดติดกันมากหรือลายมือเขียนที่เขียนทับกัน ติดกัน หรือเชื่อมสัมผัสกัน จนทำให้อินพุทบางรูปแบบที่กล่าวมาไม่สามารถจะแยกออกเป็นอักษรเดี่ยวได้ เมื่อไม่สามารถแยกเป็นอักษรเดี่ยวได้ ประสิทธิภาพของการแปลงภาพเอกสารเป็นข้อความก็จะลดลง ในรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงปัญหาและประสิทธิภาพของการแปลงภาพเอกสารเป็นข้อความจากอินพุทที่มีการเชื่อมติดกันในระยะที่ต่างกัน

SCANNED IMAGE		RECOGNIZED TEXT						
	The Fabrik reader consists of a feeder, a scanner, some switches and lights, and our own custom circuit which does all the work - it adds up a half-million bytes...	to a given set of characters as a result, a scanner can switch and light, and our own custom circuit which does all the work - it adds up a half-million bytes. <table border="1"> <thead> <tr> <th>image quality</th> <th>recognition rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% joints: 74%</td> <td rowspan="3">89%</td> </tr> <tr> <td>% overlaps: 9%</td> </tr> <tr> <td>% isolated: 22%</td> </tr> </tbody> </table>	image quality	recognition rate	% joints: 74%	89%	% overlaps: 9%	% isolated: 22%
image quality	recognition rate							
% joints: 74%	89%							
% overlaps: 9%								
% isolated: 22%								
	It is near guaranteed to be able to read any documents fed in at all, except that it falls and can't make heads or tails of our CFO's handwritten scrawl.	It is near guaranteed to be able to read any document fed in at all, except that it falls and can't make heads or tails of our CFO's handwritten scrawl. <table border="1"> <thead> <tr> <th>image quality</th> <th>recognition rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% joints: 59%</td> <td rowspan="3">75%</td> </tr> <tr> <td>% overlaps: 23%</td> </tr> <tr> <td>% isolated: 18%</td> </tr> </tbody> </table>	image quality	recognition rate	% joints: 59%	75%	% overlaps: 23%	% isolated: 18%
image quality	recognition rate							
% joints: 59%	75%							
% overlaps: 23%								
% isolated: 18%								
	But our customer's wants made us train all the fonts that have ever been used (within limits) and the Navy bought three and installed one at sea on the bridge of the U.S.S. Nimitz.	But our customer's wants made us train all the fonts that have ever been used (within limits) and the Navy bought three and installed one at sea on the bridge of the U.S.S. Nimitz. <table border="1"> <thead> <tr> <th>image quality</th> <th>recognition rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% joints: 0%</td> <td rowspan="3">98.2%</td> </tr> <tr> <td>% overlaps: 0%</td> </tr> <tr> <td>% isolated: 0%</td> </tr> </tbody> </table>	image quality	recognition rate	% joints: 0%	98.2%	% overlaps: 0%	% isolated: 0%
image quality	recognition rate							
% joints: 0%	98.2%							
% overlaps: 0%								
% isolated: 0%								

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างอินพุตและประสิทธิภาพของการรู้จำตัวอักษรด้วยแสง

การแยกตัวอักษรพิมพ์และเขียนติดกันมีหลายวิธีการด้วยกัน แต่จะแบ่งออกเป็นสองประเภทหลักคือ การแบ่งโดยอาศัยพื้นฐานจากภาพ (Image-base Segmentation) และการแยกตัวอักษรโดยอาศัยหลักการรู้จำตัวอักษร (Recognition-base Segmentation) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

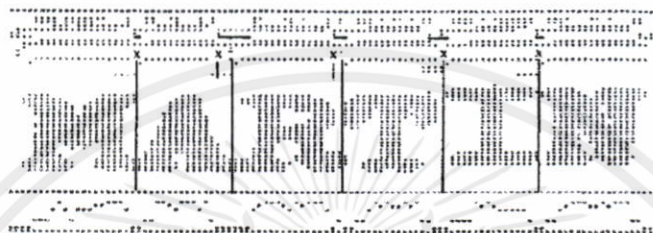


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

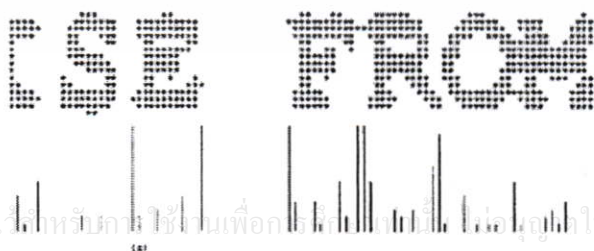
รูปที่ 2.5 ประเภทของการแยกตัวอักษรตัวพิมพ์และตัวเขียนที่เชื่อมติดกัน

2.1.1 การแบ่งโดยอาศัยพื้นฐานจากภาพ

มีอีกชื่อหนึ่งว่า “ดิสเซกชัน” (Dissection) ซึ่งมีหลักการทำงาน โดยการนำภาพอิทพุทที่เข้ามาแยกออกเป็นภาพย่อยโดยอาศัยคุณสมบัติพื้นฐานของภาพต้นแบบ (ขนาด จำนวนของพิกเซล) มาพิจารณาซึ่งมีหลายงานวิจัยที่ทำงานในลักษณะดังกล่าว โดยอาศัยการนับจำนวนพิกเซลสีดำ จะเรียกรูปแบบนี้ว่า “ฮิสโตแกรม” และประมาณหาพื้นที่ที่มีค่าสีค่าน้อยคือบริเวณที่น่าจะเป็นจุดแบ่ง ตัวอย่างเช่นงานวิจัย [5] แสดงในรูป 2.6 และงานวิจัย [6] แสดงในรูป 2.7



รูปที่ 2.6 white space and pitch

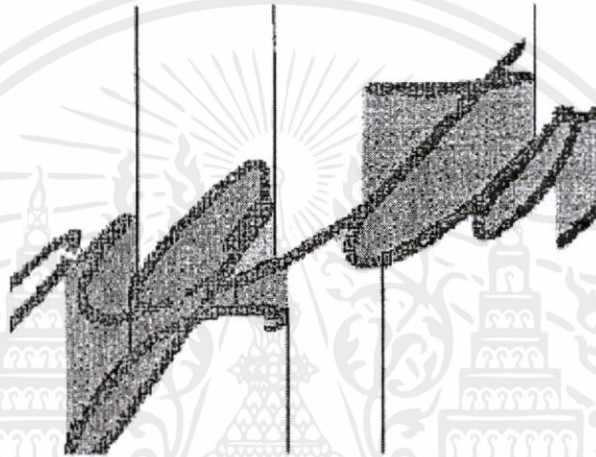


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในเท่านั้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 วิเคราะห์ฮิสโตแกรมในแนวตั้ง

สำหรับวิธีการฮีสโตรแกรมสามารถแก้ปัญหาการติดกันของอินพุทที่เป็นตัวพิมพ์เท่านั้น ส่วนการนำวิธีการฮีสโตรแกรมไปใช้กับอักษรเขียนติดกันไม่สามารถแก้ปัญหาได้เพราะตัวอักษรเขียนมีความลาดเอียงในการเขียนมากกว่าตัวอักษรพิมพ์มากจนการหาฮีสโตรแกรมไม่สามารถหาค่าสีค่ามากหรือน้อย ณ จุดใดจุดหนึ่งอย่างเด่นชัดได้ ซึ่งจะเป็นปัญหาในการประมาณหาตำแหน่งในการตัด

ด้วยเหตุดังกล่าววิธีการ [7] พยายามที่จะแก้ปัญหาที่เกิดจากการหาฮีสโตรแกรมของอักษรเขียน โดยอาศัยการสแกนหาจุดสีดำในแนวตั้งแล้วทำการสร้างภาพเงาภายใต้เส้นลายมือเขียน จากนั้นสรุปว่าสามารถแบ่งจุดตัดจากบริเวณใต้เงาที่สร้างขึ้นมา ดังในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การแยกองค์ประกอบของอักษรที่ติดกัน

ถึงวิธีการ [7] จะแก้ปัญหาการหาฮีสโตรแกรมของอักษรเขียนติดกันไปได้ แต่ก็พบปัญหาตามมาคือ การที่มีจุดตัดที่เป็นไปได้จำนวนมาก โดยมีทั้งจุดตัดที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องรวมกันแล้ว จะทราบได้อย่างไรว่าจะเลือกจุดใดเป็นจุดตัดที่เหมาะสมที่สุด

ด้วยเหตุดังกล่าวจึงมีแนวคิดนำการรู้จำมาช่วยในการเลือกจุดตัดที่เหมาะสม โดยจะทดลองดูว่าจุดที่เลือกมาเป็นจุดตัดให้ผลลัพธ์การรู้จำตัวอักษรออกมาเป็นอย่างไร หากให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจจะสรุปว่าเป็นจุดตัดที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการดังกล่าวเรียกว่า “การแยกตัวอักษรโดยอาศัยหลักการรู้จำตัวอักษร”

2.1.2 การแยกตัวอักษรโดยอาศัยหลักการรู้จำตัวอักษร

วิธีการแบ่งโดยอาศัยการรู้จำมาช่วย จะอาศัยพื้นฐานของการรู้จำเป็นตัวตัดสินใจเลือกจุดตัดที่เหมาะสม เพราะอักษรเขียนสามารถเขียนเชื่อมต่อกันได้หลายตัวอักษร ซึ่งจะเกิดจุดตัดที่เป็นไปได้หลายตำแหน่ง จากสมมุติฐานที่ว่าจุดตัดที่ถูกต้องต้องตัดออกมาแล้วได้ค่าการรู้จำตัวอักษรเหมาะสมที่สุดและไม่สนใจจุดตัดที่ให้ผลการรู้จำตัวอักษรที่ได้ผลลัพธ์ไม่ดี โดยเรียก

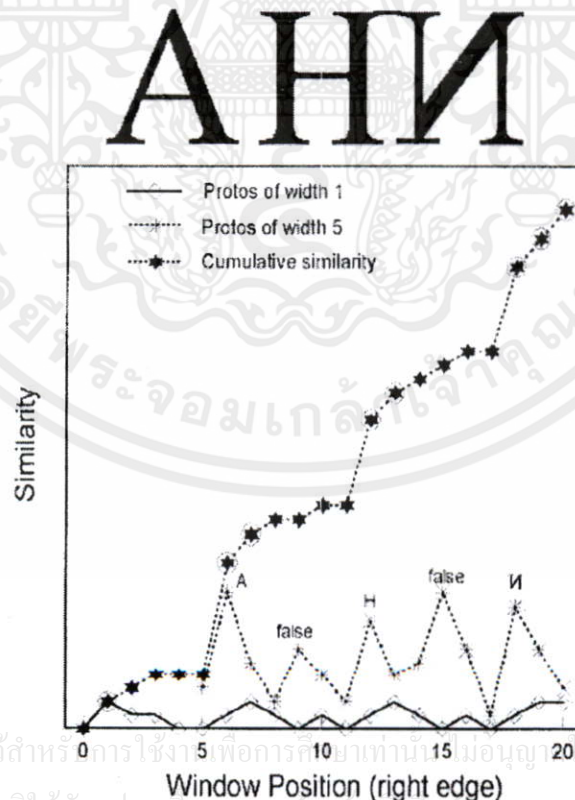
วิธีการดังกล่าวมีชื่อหนึ่งว่า “วิธีการลองตัด” (Segmentation-free) ตัวอย่างวิธีการที่อาศัยหลักการการแยกตัวอักษรโดยอาศัยหลักการรู้จำตัวอักษร เช่น Window Position และ Hidden Markov Models

2.1.2.1 ตำแหน่งขนาดหน้าต่างที่เหมาะสม (Window Position)

เป็นงานวิจัยที่คิดค้นโดย Kovalevsky เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Kovalevsky's Model [8] มีหลักการทำงานคือ สร้างขนาดหน้าต่างที่เหมาะสมที่สุดกับอินพุทที่สนใจขณะนั้น หลังจากได้หน้าต่างที่เหมาะสมที่สุดแล้วจะเลื่อนขนาดหน้าต่างดังกล่าวไปในแนวนอนเพื่อไปยังตัวอักษรตัวต่อไป โดยวิธีการตัดจากตำแหน่งขนาดหน้าต่างที่เหมาะสม แบ่งการทำงานออกเป็นสองขั้นตอนด้วยกันคือ

1. สร้างขนาดของหน้าต่าง (Generate Windowing)
2. ตรวจสอบอินพุทที่ได้จากขนาดของหน้าต่างที่เลือกว่าถูกต้องหรือไม่

จากรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นตัวอย่างการทำงาน โดยกำหนดขนาดของหน้าต่างในแนวแกน x และค่าผลรวมความเหมือนตัวอักษรในแนวแกน y โดยที่ขนาดหน้าต่างขนานเท่ากับ 5x5 พิกเซล จะได้ผลลัพธ์ความเหมือนออกมามากกว่าค่าก่อนหน้ามาก จึงเป็นไปได้ว่าจะตัดที่ตำแหน่งหน้าต่างขนาดเท่ากับ 5x5 พิกเซล และจะทำการกำหนดขนาดหน้าต่างเท่ากับ 5x5 พิกเซลไว้และเลื่อนหน้าต่างนี้ไปยังตัวต่อไป ทำให้ได้ผลลัพธ์ตัวอักษรที่เหลือนตามมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ การใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้นกรณีอื่น ๆ ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 วิธีตำแหน่งขนาดหน้าต่างที่เหมาะสม

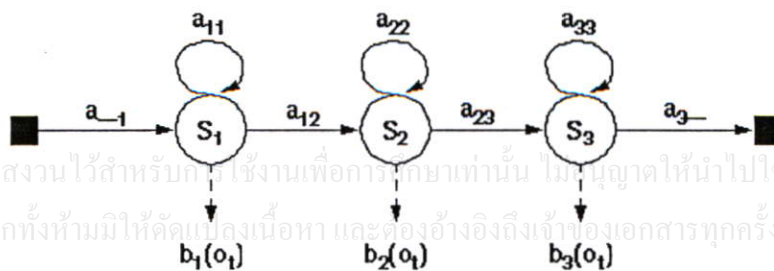
หลังจากนั้น Kovalovsky ได้ปรับปรุงการทำงานของงานวิจัยตำแหน่งหน้าต่างที่เหมาะสมใหม่โดยไม่สนใจค่าที่ตัดได้ถูกต้องก่อนหน้าในบางครั้ง และลองพยายามปรับค่าใหม่ (เปลี่ยนขนาดหน้าต่าง) เพื่อผลลัพธ์รวมที่ได้ในขั้นตอนสุดท้ายว่าควรจะตัดที่จุดใดจึงจะให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจมากที่สุด ดังในรูปที่ 2.10 จากบรรทัดแรกจะเห็นได้ว่าขนาดหน้าต่างแรกจะตัดได้ตัวอักษร “m” ส่วนที่เหลือจะรู้จำตัวอักษรไม่ได้ จึงลดขนาดหน้าต่างลงจนในที่สุดจะได้ขนาดหน้าต่างตัวแรกเป็นอักษร “r” และตัวที่เหลือจะได้อักษร “m” ซึ่งน่าจะเป็นผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด

Input Pattern	Windowed Input	Matching Prototype 1	Residue	Matching Prototype 2
mm	m	m	l	
	n	n	n	
	n	o	m	
	r	r	m	m

รูปที่ 2.10 วิธีตำแหน่งขนาดหน้าต่างที่เหมาะสมหลังการปรับปรุง

2.1.2.2 แบบจำลองฮิดเดน มาร์คอฟ (Hidden Markov Models)

เป็น โมเดลทางสถิติที่นิยมใช้อย่างหนึ่ง โดยแบบจำลองฮิดเดน มาร์คอฟใช้ได้ดีในการจำแนกรูปแบบของลำดับเหตุการณ์ต่างๆ โดยที่เรามีเพียงผลลัพธ์ที่ได้จากการสังเกตเท่านั้น แบบจำลองมีลักษณะตามรูปที่ 2.11 และแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟมีลักษณะการทำงานตามขั้นตอนดังนี้



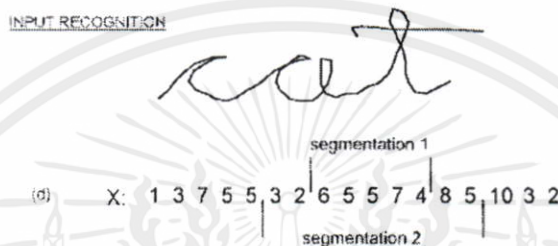
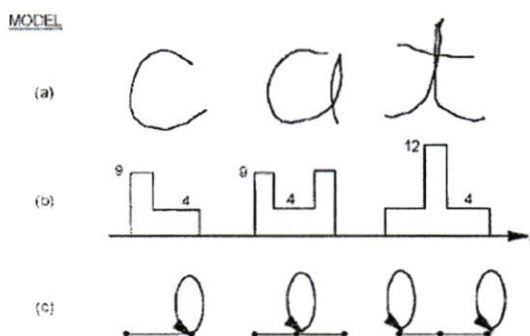
รูปที่ 2.11 แบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... ใช้งานเพื่อการ... ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีการย้ายสถานะทุกๆ ช่วงเวลาหนึ่งๆ
- จำนวนสถานะขึ้นกับจำนวนของสัญลักษณ์การสังเกต (Observation symbols) ทั้งหมด
- การเปลี่ยนสถานะจะมีความสัมพันธ์กับค่าความน่าจะเป็น โดยจะมีพารามิเตอร์เป็นอักษร A หมายถึง การกระจายของความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงสถานะ (State Transition Probability Distribution)
- แต่ละสถานะมีความสัมพันธ์กับค่าความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น ค่าความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นแทนด้วยตัวอักษร B (Observation Symbol Probability Distribution)
- เมื่อเข้าสู่สถานะอื่นๆ จะมีการกำเนิดผลลัพธ์ขึ้น (feature vector)
- ในหนึ่งโมเดลจะประกอบด้วยสถานะหลายๆ สถานะ แต่ละสถานะสามารถให้ผลลัพธ์ออกมาได้อีกจำนวนหนึ่งเท่าๆ กัน

ในงานวิจัย [9] พิจารณาหาจุดตัดที่เป็นไปได้จากการเปลี่ยนแปลงจากลำดับคุณสมบัติที่หา มาได้จากข้อมูลอินพุท หลังจากเปรียบเทียบค่าแต่ละตำแหน่ง (state) ว่าค่าคุณสมบัติที่ตำแหน่งนั้น ไปตรงกับคุณสมบัติของตัวอักษรต้นแบบ (prototype) หรือไม่ ถ้าตรงจุดนั้นอาจจะเป็นจุดตัดได้ ซึ่ง จะทำเช่นนี้ไปจนจบลำดับคุณสมบัติของอินพุทที่หามา ตัวอย่าง ในรูปที่ 2.12 โดย (a) เป็นการสร้าง โปรโตไทป์ของคำว่า “cat” ประกอบไปด้วย “c” “a” และ “t” ส่วนภาพ (b) แสดงสถานะตำแหน่ง (state) ของโปรโตไทป์ ในภาพ (c) แสดงค่าของฮิดเดน มาร์คอฟและในภาพ (d) คือลำดับค่า คุณสมบัติที่หามาได้ของคำว่า “cat” ซึ่งจะพบว่ามีค่าหลายตำแหน่งที่น่าจะเป็นจุดตัดได้ ซึ่งการที่จะ หาจุดตัดที่เหมาะสมจะต้องใช้คำศัพท์มาช่วย ดังตัวอย่างคำว่า “cat” สองตัวแรกมีคุณสมบัติที่จะเป็น “c” ได้ แต่ที่ไม่ตัดเป็น “c” ตัวที่สองแต่กลับเลือกตัดเป็น “a” แทนก็เพราะว่า ตัวอักษร “cc” ติดกันมี โอกาสน้อยกว่า (ใช้หลักการทางสถิติมาหา) “ca” ติดกัน วิธีที่ได้กล่าวมานี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ของแต่ละงานวิจัยที่จะออกแบบอย่างไรเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาที่น่าพอใจมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



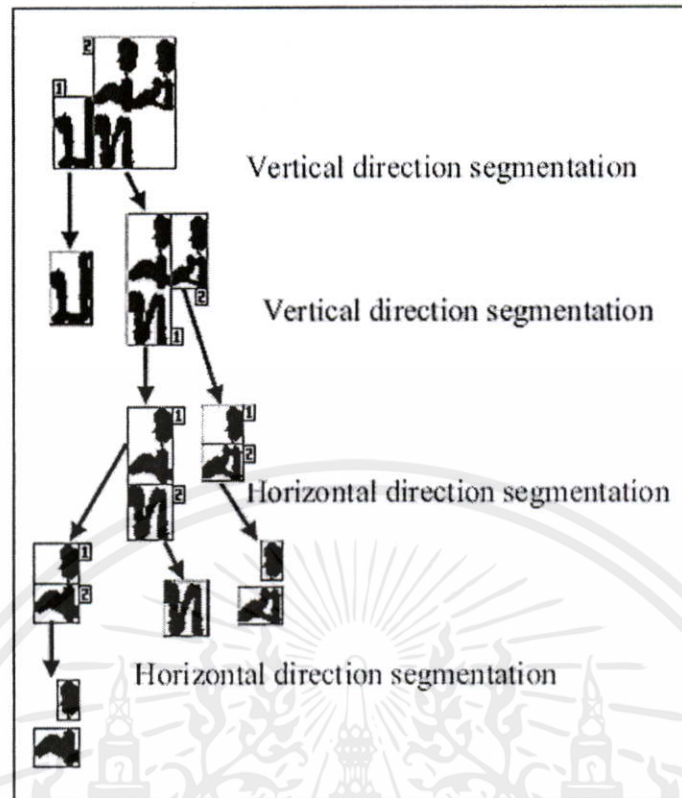
รูปที่ 2.12 แบบจำลองฮิดเดน มาร์คอฟ ประยุกต์ใช้กับการตัดตัวอักษรเขียนแบบออนไลน์

2.2 ตัวอย่างงานวิจัยการแยกอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันของภาษาไทย

สำหรับงานวิจัยของการแยกอักษรเขียนภาษาไทยที่เชื่อมติดกันของข้อมูลออนไลน์ยังไม่มี รวมถึงแบบออฟไลน์ก็จะมีเฉพาะการทำงานของตัวพิมพ์ ดังนั้นจึงขอเสนอการทำงานแบบออฟไลน์ของตัวพิมพ์ภาษาไทยของ Sarin Watcharabutsarakham ที่ชื่องานวิจัยว่า “Segmentation for Touching Thai Segmentation [1]” โดยอาศัยหลักการฮิสโตแกรมในแนวตั้งและแนวนอน โดยแบ่งเขตการเขียนออกเป็น 4 เขต จากนั้นทำการหา ฮิสโตแกรมในแนวตั้งและแนวนอน และทำการตัด ณ จุดที่อยู่ภายใต้รูปแบบที่กำหนด ในรูปที่ 2.13 แสดงการหาเขตการแบ่งโดยการหาฮิสโตแกรมในแนวตั้งและแนวนอน

อย่างที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ว่าวิธีการฮิสโตแกรมเหมาะสมสำหรับตัวอักษรที่มีลักษณะการเขียนที่คล้ายตัวพิมพ์หรือเป็นตัวพิมพ์เท่านั้น ซึ่งไม่สามารถนำวิธีการฮิสโตแกรมมาใช้ในการแก้ปัญหาอักษรเขียนภาษาไทยได้ เนื่องจากตัวเขียนมีคุณสมบัติต่างจากตัวพิมพ์มากกล่าวคือ ความเอียงและความหนาของตัวเขียนซึ่งเป็นอุปสรรคทำให้การหาค่าฮิสโตแกรมไม่สามารถบอกข้อมูลความถี่ของเส้นสีดำที่มากพอที่จะระบุว่าจะจุดใดเป็นจุดเชื่อมต่อของอักษรที่เขียนต่อเนื่องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชื่อมโยงที่เห็นได้ชัด อย่างไรก็ตาม ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงการหาเขตการแบ่งโดยการหาฮิสโตแกรมในแนวตั้งและแนวนอน

2.3 แนวทางการวิจัยและพัฒนาจากข้อมูลเบื้องต้น

ภาษาไทยประกอบไปด้วยตัวอักษร 42 ตัว สระ 15 ตัว วรรณยุกต์ 4 ตัว สัญลักษณ์พิเศษอีก 4 ตัว ดังในรูปที่ 2.14 โดยภาษาไทยจะมีแต่ตัวพิมพ์แตกต่างจากภาษาอังกฤษที่มีตัวพิมพ์และตัวเขียน ในเบื้องต้นได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัยก่อนหน้าที่มีเกี่ยวกับการตัดอักษรภาษาไทย พบว่าจะมีเฉพาะการทำงานแบบออฟไลน์เท่านั้น ต่อมาศึกษาอัลกอริทึมที่เหมาะสมเพื่อนำประยุกต์กับการตัดตัวเขียนไทยติดกันแบบออนไลน์ ซึ่งพบว่ามียัลกอริทึมหนึ่งที่มีความเป็นไปได้จากงานวิจัยชื่อว่า "Handwriting segmentation of unconstrained Oriya text[3]" เป็นการทำงานแบบออฟไลน์แต่แตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆ ตรงที่ไม่ได้ใช้ฮิสโตแกรมในการพิจารณาหาจุดตัด แต่ใช้ตำแหน่งของพื้นที่ที่เกิดเป็นช่องว่างขนาดใหญ่จากการเชื่อมติดกันของอักษรมากกว่าหนึ่งตัว โดยในงานวิจัยการตัดตัวเขียนภาษาไทยแบบข้อมูลออนไลน์ ได้นำแนวคิดเอนี่มาเป็นคุณสมบัติในการระบุจุดตัดของตัวอักษรเขียนที่เชื่อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารศึกษาลายมือเขียนภาษาไทยติดกันที่ไม่หวัดมาก จากลายมือตัวอย่าง 30 คน จำนวนการคำนวณ 2403 ชุดตัว ผลปรากฏว่าจำนวนตัวอักษรสองตัวติดกันมีจำนวน 1995 ชุดหรือคิดเป็น 83.02% จำนวนสามตัวติดกันมีจำนวน 333 ชุดหรือคิดเป็น 13.85% และมากกว่าสามตัวติดกัน 75 ชุดหรือ

คิดเป็น 3.12% จะเห็นได้ว่าการเขียนติดกันส่วนมากมาจากสองตัวติดถึง 83.02 % ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ที่มาก ในเบื้องต้นงานวิจัยนี้จะพยายามหารูปแบบการติดของตัวอักษรสองตัวติดและจุดตัดที่ถูกต้องต่อจากนั้นลองประยุกต์วิธีการที่ได้พัฒนาจากการตัดตัวเขียนไทยสองตัวติดมาตัดตัวเขียนไทยติดกันที่มากกว่าสองตัวตามลำดับ

Type	Members
Consonants	ก ข ค ฃ ง จ ฉ ช ซ ฌ ญ ฎ ฏ ฐ ฑ ฒ ณ ด ต ถ ท ธ น บ ป ผ ฝ พ ฟ ภ ม ย ร ล ว ศ ษ ส ห พ อ ฮ
Vowels	ะ ั ็ ึ ุ ึ ุ ะ ำ เ โ ใ ใ ็ ุ ฌ
Tones	่ ้ ๊ ๋ +
Special Symbols	๘ ๙ ๑ ๑

รูปที่ 2.14 ตัวอักษรทั้งหมดในภาษาไทย

หลังจากได้พิจารณาลักษณะการติดที่เกิดขึ้นแล้ว ได้กำหนดแนวทางการทำงานออกเป็นสามขั้นตอนหลักคือ

1. พิจารณาอิทธิพลที่เข้ามาว่าเป็นอักษรเดี่ยวหรืออักษรเขียนที่เชื่อมติดกัน
2. พิจารณาว่าอิทธิพลที่เป็นอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันเป็นการเชื่อมติดสองตัวหรือมากกว่าสองตัว
3. พิจารณาหาจุดตัดที่เหมาะสมในแต่ละรูปแบบ โดยได้อาศัยความรู้จำตัวอักษรมาช่วยกรณีจุดตัดเป็นไปได้หลายจุด

ในส่วนของการวัดผลการทดลองเนื่องจากไม่มีงานวิจัยในด้านนี้ทำมาก่อน ดังนั้นจึงไม่นำงานวิจัยใดมาทำการเปรียบเทียบ แต่ได้ทำการทดลองจากกลุ่มตัวอย่างจำนวนหนึ่ง แล้วทำการทดลองตัดตามวิธีการที่นำเสนอ โดยการวัดผลความถูกต้องจะถูกตรวจสอบโดยการสังเกตว่าผลที่ได้ถูกต้องหรือไม่ หลังจากนั้นสรุปผลการทดลองว่าวิธีการที่นำเสนอเหมาะสมกับรูปอินพุทแบบใดและแบบใดที่ไม่สามารถทำได้ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการศึกษางานด้านการตัดตัวอักษรเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

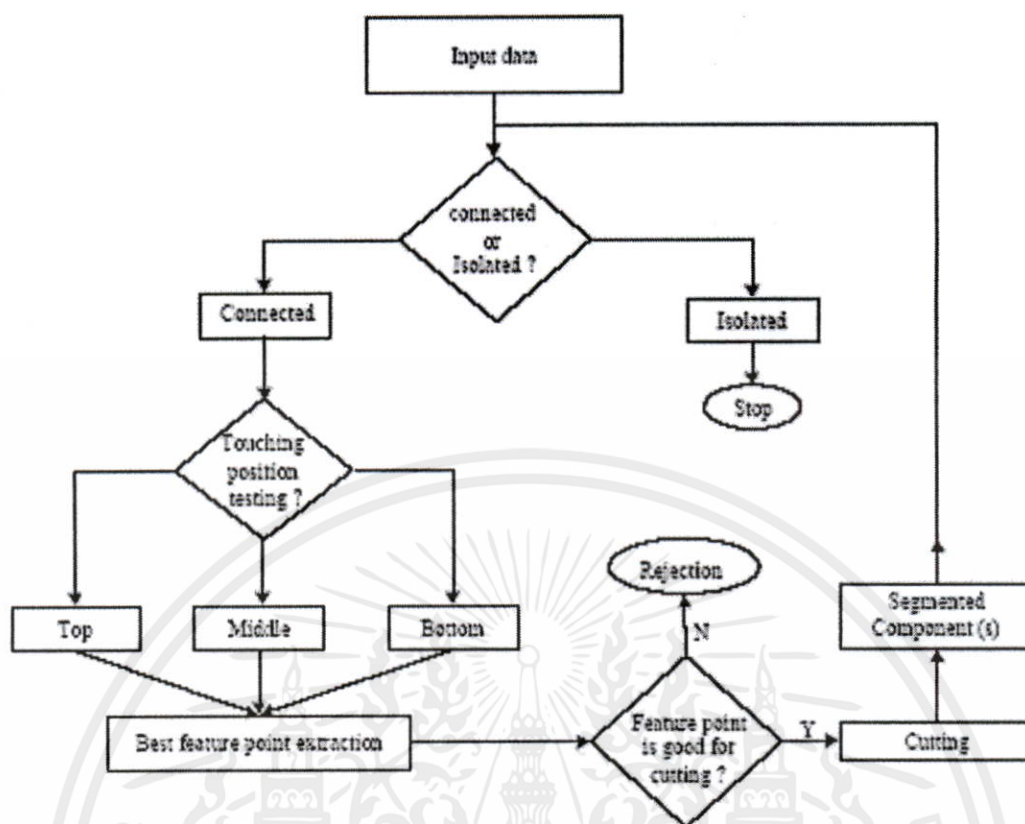
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงงานวิจัยที่ศึกษาและนำมาปรับปรุง ประยุกต์ เพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับงานวิจัย การตัดตัวอักษรไทยที่เกิดจากการเขียนต่อเนื่องแบบออนไลน์ ประกอบด้วย 3 งานวิจัย งานวิจัยแรกชื่อว่า “Water Reservoir Based Approach for Touching Numeral Segmentation [10]” กล่าวถึงการหาจุดตัดของตัวเลขอารบิกที่เชื่อมกันโดยใช้แนวคิดแอ่งน้ำมาช่วยในการหาจุดตัด งานวิจัยที่สองชื่อว่า “Handwriting segmentation of unconstrained Oriya text [3]” กล่าวถึงการประยุกต์แนวคิดแอ่งน้ำมาใช้ในการตัดตัวอักษรภาษาเขียนอินเดียแบบข้อมูลออฟไลน์ โดยพบว่าทั้งสองงานวิจัยสามารถประยุกต์ใช้กับการตัดตัวอักษรเขียนภาษาไทยได้ แต่ยังมีข้อจำกัดในการเลือกจุดตัดที่เหมาะสม จึงได้นำงานวิจัยที่สามชื่อว่า “การรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรไทยแบบออนไลน์โดยใช้ลักษณะเด่นทางโครงสร้างแบบยืดหยุ่น” [11] ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยส่วนของการรู้จำตัวอักษรไทยแบบออนไลน์ ซึ่งเป็นการรู้จำตัวอักษรโดยการดูทิศทางการเขียนเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกจุดตัดที่เหมาะสม

3.1 Water Reservoir Based Approach for Touching Numeral Segmentation

งานวิจัยนำเสนอโดย U. Pal A. Belaid และ C. Choisy ในปี ค.ศ. 2000 กล่าวถึงการแก้ปัญหาของการเชื่อมติดของตัวเลขอารบิก โดยอาศัยพื้นที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างตัวเลขที่เชื่อมติดกัน นิยามพื้นที่นี้ว่า “พื้นที่แอ่งน้ำ” (Water reservoir)

สำหรับขั้นตอนการทำงานของระบบถูกแสดงในแผนภาพการทำงานรูปที่ 3.1 โดยเริ่มต้นคอมโพเนนต์ (คอมโพเนนต์คืออิทธิพลที่ต้องการตรวจสอบ) จะถูกตรวจสอบก่อนว่าเป็นตัวเลขเดี่ยวแล้วหรือไม่หรือเป็นตัวเลขที่เชื่อมติดกัน เรียกขั้นตอนนี้ว่า “Numeral classification” ถ้าเป็นตัวเลขเดี่ยวอยู่แล้วระบบจะไม่สนใจ แต่หากหลังจากการตรวจสอบพบว่าเป็นตัวเลขที่เชื่อมติดกันจะส่งกลุ่มตัวเลขไปตรวจสอบว่ามีการเชื่อมติดกัน ณ จุดใด ขั้นตอนนี้ว่า “Touching position detection” หลังจากที่เราพบว่าคอมโพเนนต์นั้นเชื่อมติดกัน ณ จุดใดก็ส่งต่อไปยังส่วนการเลือกจุดตัดที่ดีที่สุดเรียกว่า “Feature point extraction” จะทำการวิเคราะห์ว่าควรตัดหรือไม่ หากพบคอมโพเนนต์ที่ไม่มีจุดตัดที่เหมาะสมจะถูกยกเลิกไป (Rejection) แต่ถ้าเกิดตรวจสอบแล้วว่ามีจุดที่สามารถตัดได้ตามรูปแบบที่กำหนดไว้ก็ทำการตัดและส่งผลลัพธ์ที่ได้จากการตัดวนไปตรวจสอบในขั้นตอน “Numeral classification” อีกครั้ง



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของการทำงานของการแยกส่วนที่ติดกันของตัวเลข

3.1.1 ทฤษฎีแอ่งน้ำ (Water Reservoirs)

นิยามว่าพื้นที่ที่สมมุติที่เสมือนรองรับน้ำได้จากการมองผ่านทางด้านบนและทางด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แอ่งน้ำด้านบน (Top reservoir) หมายถึงการรองรับน้ำที่เสมือนเทน้ำใส่ทางด้านบนของคอมโพเนนต์ และแอ่งน้ำด้านล่าง (Bottom reservoir) หมายถึงการรองรับน้ำเสมือนเทน้ำใส่จากทางด้านล่างของคอมโพเนนต์

3.1.2 การระบุตัวเลข (Numeral classification)

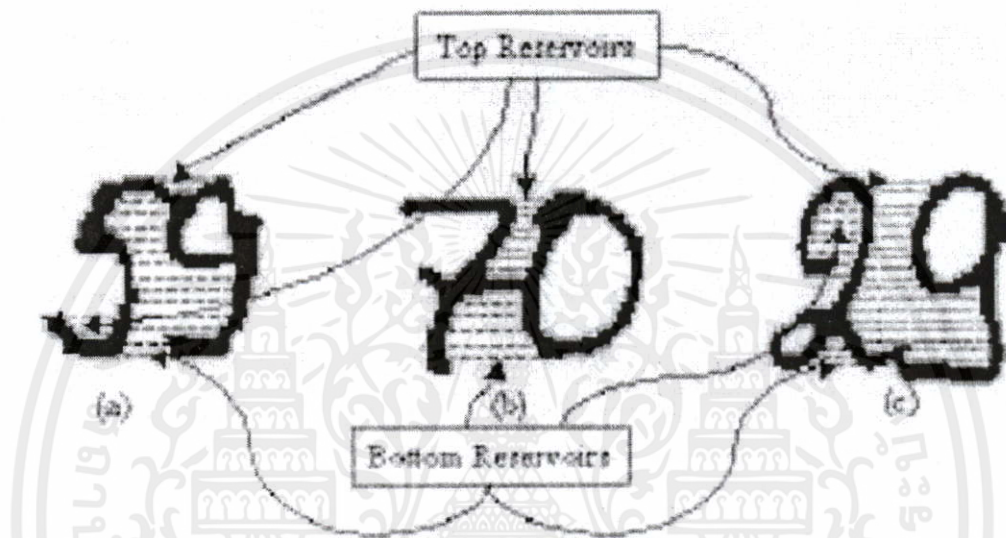
ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลที่เข้ามาว่าเป็นตัวเลขเดี่ยวหรือเป็นตัวเลขที่เชื่อมติดกัน ในงานวิจัย [12] ได้ทำการกำหนดความกว้างของตัวอักษรถูกยาวที่สุดของตัวเลขเดี่ยวที่เป็นไปได้ หากเกินค่าที่กำหนดก็ถือเป็นตัวเลขที่ติดกัน ซึ่งวิธีการดังกล่าวเหมาะสำหรับการระบุตัวเลขที่เกิดจากการพิมพ์ หากเป็นตัวเลขลายมือเขียนไม่สามารถใช้วิธีการข้างต้นได้ งานวิจัย [10] จึงได้ตั้งชื่อสังเกตลักษณะตัวเลขลายมือเขียนที่เชื่อมติดกันออกเป็นสองลักษณะคือ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะเป็นใครก็ตาม ลักษณะที่ 1 ตัวเลขสองตัวที่เชื่อมติดกันจะสร้างแอ่งน้ำที่มีขนานใหญ่ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ลักษณะที่ 2 จำนวนของแอ่งน้ำที่เกิดขึ้นจะมีมากกว่าของตัวเลขเดี่ยว

จากข้อสังเกตสองลักษณะที่กล่าวมาสามารถระบุตัวเลขเดี่ยวและตัวเลขที่เชื่อมติดกันได้ โดยอาศัยจำนวนของแอ่งน้ำที่เกิดขึ้น ตำแหน่งของแอ่งน้ำที่เกิดขึ้นและจำนวนของพื้นที่ปิดที่เกิดขึ้น ดังต่อไปนี้

แบบที่ 1 มีแอ่งน้ำมากกว่าสามจุดถือเป็นตัวติด

แบบที่ 2 มีแอ่งน้ำขนาดใหญ่กว่าค่าที่กำหนดถือเป็นตัวติด

แบบที่ 3 มีแอ่งน้ำอยู่ด้านบนและด้านล่าง ดังเช่นรูปที่ 3.2b ถือเป็นตัวติด



รูปที่ 3.2 แอ่งน้ำบนและแอ่งน้ำล่าง

3.1.3 การหาและแบ่งแยกส่วนตัวเลขที่ติดกัน (Touching digit segmentation)

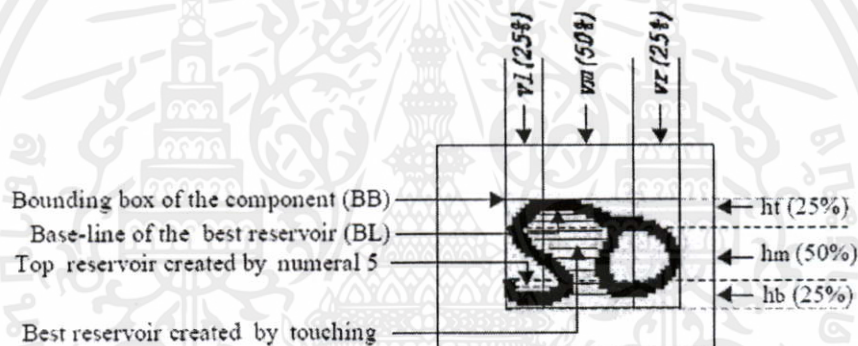
ทำการแบ่งการติดกันของตัวเลขออกเป็นสามตำแหน่งคือ บน กลาง และล่าง โดยการระบุตำแหน่งการติดจะนิยามพื้นที่ของคอมโพเนนต์ที่เข้ามาทั้งหมดเป็น BB (bounding box) คือ ขอบเขตทั้งหมดของคอมโพเนนต์ ดังในรูปที่ 3.3

จากพื้นที่ BB ที่หาได้สามารถแบ่งขอบเขตพื้นที่แนวนอนได้สามส่วนได้แก่ ขอบเขตบน เรียกว่า “ht” คิดเป็น 25% ของ BB ขอบเขตกลางเรียกว่า “hm” คิดเป็น 50% ของ BB และนับต่อจากขอบเขตบนลงมาและสุดท้ายขอบเขตล่าง “hb” คิดเป็น 25% ของพื้นที่ BB นับต่อจากขอบเขตกลางลงมา ในรูปที่ 3.3 แสดงการแบ่งขอบเขตในแนวนอน

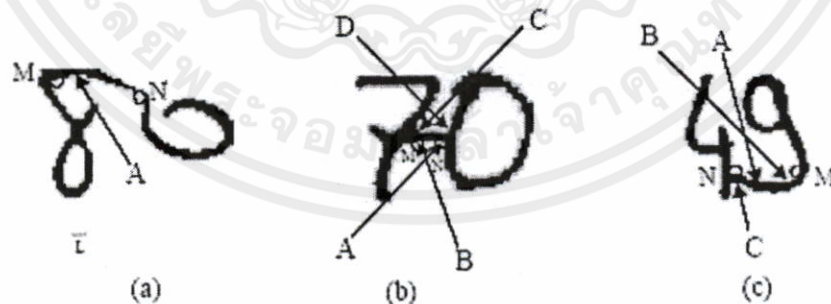
เช่นเดียวกันขอบเขตแนวตั้งจะแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ vl, vm, vr และแบ่งขนาดออกเป็น 25% 50% และ 25% ตามลำดับ นับจากซ้ายไปขวาของ BB สำหรับแอ่งน้ำที่อยู่ตรงกลางจะเรียกว่า “แอ่งน้ำที่ดีที่สุด” (best reservoir) และพื้นที่กั้นแอ่งน้ำนั้นจะเรียกว่า “เส้นฐาน” (base line) ซึ่งตำแหน่งของการเชื่อมติดจะดูจากตำแหน่งเส้นฐานอยู่ในพื้นที่ใด ถ้าอยู่ใน ht ก็หมายถึงเชื่อมติด

ด้านบนถ้าอยู่ในพื้นที่ hm ก็หมายถึงเชื่อมติดตรงกลาง และสุดท้ายถ้าอยู่ในพื้นที่ hb หมายถึงเชื่อมติดด้านล่าง โดยรูปการแบ่งพื้นที่ในแนวตั้งและเส้นฐานแสดงในรูปที่ 3.3

การหาจุดตัดกำหนดให้ L คือความยาวของเส้นฐานจากจุดซ้ายสุดไปขวาสุด ถ้า L มีค่าน้อยกว่า $2R$ (R คือค่าคงที่ความยาวที่เกิดขึ้นของจำนวนจุดดำที่เกิดขึ้นจากตัวติดได้จากการทดลอง) จะไม่ถือว่าเป็นเส้นฐาน จากนั้นนิยามจุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดเรียกว่า “feature points” ได้แก่ จุดกึ่งกลางของเส้นฐาน, จุดซ้ายสุดของเส้นฐาน, จุดขวาสุดของเส้นฐาน โดยจะเลือกจุดใดเป็นจุดตัดนั้นจะเลือกจากค่าความมั่นใจ (confidence value : CV) โดยค่า CV หาได้จากระยะทางของยูคลิด (Euclidean distance) จากจุดศูนย์กลาง (center of gravity : CG) ของคอมโพเน้นท์ไปยังจุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยกำหนดให้ F คือจุดตัดที่เป็นไปได้และค่าระยะทางยูคลิดจากทุกจุดไปยังจุด CG คือ $d_1 d_2 \dots d_f$ โดยค่า CV ของ d_i หาได้จาก $1/K$ เมื่อ $K = d_i/(d_1+d_2+\dots \dots d_f)$ รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นจุดตัดที่เป็นไปได้และจุด A คือจุดตัดที่เหมาะสมจากค่า CV



รูปที่ 3.3 การแบ่งพื้นที่ของคอมโพเน้นท์



รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นจุดตัดที่เป็นไปได้

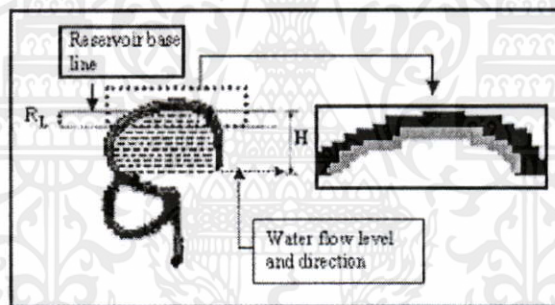
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Handwriting segmentation of unconstrained Oriya text

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์จากงานวิจัย [10] โดย N. Tripathy และ U. Pal ในปี ค.ศ. 2004 ได้นำแนวคิดเอ่งน้ำมาประยุกต์ใช้กับตัวเขียนภาษาอินเดียแบบข้อมูลออฟไลน์ โดยได้นำเสนอการหาเส้นฐานของเอ่งน้ำเข้ามาเพิ่มเติม เพื่อที่จะเป็นการหาจุดตัดที่เป็นไปได้ หลักจากนั้นได้กำหนดรูปแบบการติดและตัดตัวเขียนภาษาอินเดียออกเป็น 3 ประเภท คือ การติดและตัดในแนวเชื่อมติดด้านบน การติดและตัดในแนวเชื่อมติดตรงกลางและการติดและตัดในแนวเชื่อมติดด้านล่าง ซึ่งจะกล่าวถึงแต่ละวิธีการต่อไป

3.2.1 เส้นฐานของเอ่งน้ำ (Base-line)

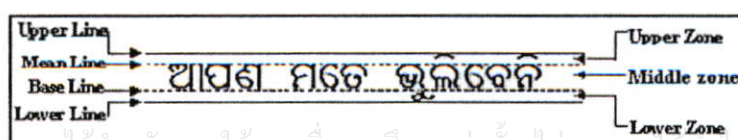
หมายถึง ขอบเขตระยะทางพิกเซลสีดำที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนลึกที่สุดของกันเอ่งน้ำ และจะต้องมีระยะทางน้อยกว่า $2 \times R_L$ เมื่อ R_L คือระยะที่กำหนดไว้ ได้จากการศึกษาระยะทางของพิกเซลสีดำที่เกิดขึ้นประจำจากการทดลอง ในรูปที่ 3.5 แสดงเส้นฐานของเอ่งน้ำที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.5 แสดงเส้นฐานของเอ่งน้ำ

3.2.2 การแบ่งระดับการเขียนของตัวเขียนภาษาอินเดีย

แบ่งออกเป็นสามพื้นที่ได้แก่ พื้นที่ด้านบน (Upper Zone) พื้นที่ตรงกลาง (Middle Zone) และพื้นที่ด้านล่าง (Bottom Zone) จากนั้นกำหนดพื้นที่การเขียนไว้สองเส้นคือ เส้นระดับ (Mean Line) และ เส้นฐาน (Base Line) รูปที่ 3.6 แสดงพื้นที่และเส้นต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก รูปที่ 3.6 แสดงพื้นที่และเส้นต่างๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

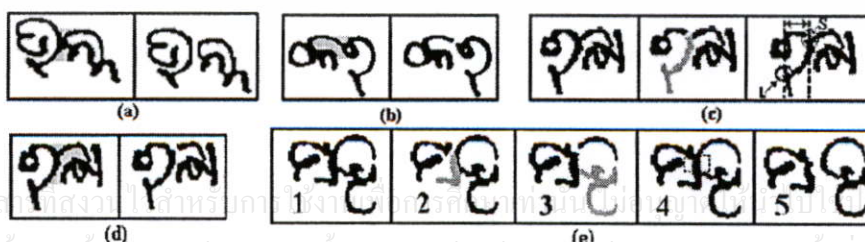
3.2.3 การติดและตัดในแนวเชื่อมติดด้านบน (Top touching segmentation)

ลักษณะการเชื่อมติดจะสังเกตจากการเกิดแอ่งน้ำบนขนาดเล็กใกล้เส้นระดับ โดยกำหนดให้จุด U_1 เป็นก้นของแอ่งน้ำบนและถ้าหากภายใต้แอ่งน้ำบนขนาดเล็กมีแอ่งน้ำล่างอยู่ จะกำหนดจุด U_2 เป็นก้นของแอ่งน้ำล่าง หลังจากที่ได้จุด U_1 และ U_2 จะทำการเชื่อมสองจุดเข้าด้วยกัน แล้วทำการตัดที่บริเวณที่ทำการเชื่อมต่อระหว่างสองจุดดังกล่าว ในรูปที่ 3.7(a) แสดงการตัดในรูปแบบแอ่งน้ำบนขนาดเล็กที่มีแอ่งน้ำล่างอยู่ภายใต้

แต่หากพบว่าภายใต้แอ่งน้ำบนขนาดเล็กนั้นไม่มีแอ่งน้ำล่างอยู่ภายใต้ จะทำการหาว่ามีแอ่งน้ำล่างภายใต้ด้านซ้ายของแอ่งน้ำบนหรือไม่ หากพบจะทำการหาจุด U_2 ของแอ่งน้ำล่าง โดยจะหาได้จากเส้นฐานของแอ่งน้ำล่างที่เกิดขึ้นซึ่งจุด U_2 จะมีได้หลายจุดแต่จะเลือกจากจุดที่อยู่ใกล้จุด U_1 มากที่สุด แล้วทำการเชื่อมจุดทั้งสองเข้าด้วยกัน จากนั้นทำการตัดเส้นที่เชื่อมจุดทั้งสอง ในรูปที่ 3.7(b) แสดงการตัดในรูปแบบแอ่งน้ำบนขนาดเล็กที่มีแอ่งน้ำล่างอยู่ภายใต้ด้านซ้าย

จากรูปที่ 3.7(c) สังเกตได้ว่าการตัดในกรณี 3.7(b) อาจจะมีผิดพลาดได้ ดังเช่นรูปที่ 3.7(c) . ในกล่องตรงกลาง ทำการตัดตามเงื่อนไข 3.7(b) ได้ผลที่ไม่ถูกต้อง จึงต้องมีเงื่อนไขเพิ่มเติม โดยกำหนดให้ L ขอบเขตซ้ายสุดของแอ่งน้ำล่าง S คือขอบเขตขวาสุดของแอ่งน้ำล่าง หากพบว่าระยะทางระหว่าง L ถึง S มีค่ามากกว่าระยะทาง $2 \times R_L$ จะไม่ทำการตัดตามเงื่อนไข 3.7(b) แต่มาสนใจตำแหน่งแอ่งน้ำที่เกิดขึ้นด้านขวามือของแอ่งน้ำบนขนาดเล็กแทน โดยกำหนดจุด U_2 คือจุดที่ใกล้จุด U_1 มากที่สุดของเส้นฐานแอ่งน้ำด้านขวามือของแอ่งน้ำบนที่เกิดขึ้น ทำการเชื่อมต่อจุด U_1 และจุด U_2 เข้าด้วยกัน จากนั้นทำการตัดเส้นที่เชื่อมจุดทั้งสอง ในรูปที่ 3.7(d) แสดงการตัดในรูปแบบแอ่งน้ำบนขนาดเล็กที่มีแอ่งน้ำล่างอยู่ซ้ายมือแต่มีขนาดความกว้างเกิน $2 \times R_L$

หากพบว่าไม่ตรงกับเงื่อนไขทั้งสามที่กล่าวมา จะสันนิษฐานได้ว่าเป็นแบบตัวอักษรเขียนซ้อนทับกันดังรูปที่ 3.7(e) ซึ่งหากทำตามเงื่อนไข 3.7(b) จะได้รูปที่ตัดผิดตามรูปที่ 3.7(e) 2 หรือทำตามเงื่อนไข 3.7(c) จะได้รูปที่ตัดผิดตามรูปที่ 3.7(e) 3 ดังนั้นจึงได้กำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติมว่า หากเส้นที่ซ้อนทับกันโดยดูจากตำแหน่งก้นแอ่งน้ำบนยาวลงไปถึงก้นแอ่งน้ำล่างมีความยาวถึง R_L แสดงว่าต้องทำการแยกเส้นที่ซ้อนทับกันออกเป็นสองส่วน ในรูปที่ 3.7(e) 5 แสดงการแยกเส้นซ้อนทับกันออกเป็นสองส่วน



รูปที่ 3.7 การติดและตัดในแนวเชื่อมติดด้านบน

3.2.4 การติดและตัดในแนวเชื่อมติดตรงกลาง (Middle touching segmentation)

สำหรับการเชื่อมติดในกรณีนี้จะทำเหมือนกับการติดและตัดในแนวเชื่อมติดด้านบน

3.2.5 การติดและตัดในแนวเชื่อมติดด้านล่าง (Bottom touching segmentation)

สำหรับการเชื่อมติดรูปแบบนี้จะเกิดขึ้นจากแอ่งน้ำบนขนาดใหญ่ โดยที่มีเส้นฐานของแอ่งน้ำอยู่ในบริเวณพื้นที่ด้านล่าง การทำการตัดจะทำการรวนทวนเข็มนาฬิกาเริ่มต้นจากขวาสุดของเส้นฐานของแอ่งน้ำ ทำการติดตามพิกเซลสีดำไปเรื่อยๆจนกว่าจะเจออุปสรรค (Obstacle) โดยอุปสรรคในที่นี้หมายถึงระยะทางที่ออกไปตามแนวอนเกินกว่า $2 \times R_L$ ถือเป็นอุปสรรคและจะทำการตัดจุดต้นของอุปสรรคดังกล่าว ในรูปที่ 3.8 การติดและตัดในแนวเชื่อมติดล่าง



รูปที่ 3.8 การติดและตัดในแนวเชื่อมติดด้านล่าง

จากการศึกษางานวิจัย [10] และ [3] พบว่าลักษณะการเชื่อมติดของภาษาอินเดียที่ทำให้เกิดแอ่งน้ำสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับภาษาไทยได้ เนื่องจากการเชื่อมติดกันของภาษาไทยก่อให้เกิดแอ่งน้ำในลักษณะเดียวกัน ซึ่งบริเวณแอ่งน้ำดังกล่าวก็คือบริเวณที่น่าจะเป็นพื้นที่ที่เชื่อมต่อระหว่างตัวอักษร สำหรับวิธีการตัดของ [3] ไม่สามารถนำมาใช้กับภาษาไทยได้ เนื่องจากตัวอักษรเขียนที่แตกต่างกัน ลักษณะการติดที่แตกต่างกัน รวมถึงภาษาไทยมีการเชื่อมติดในแนวเหนือบรรทัดและใต้บรรทัด ทำให้รูปแบบการติดของภาษาไทยมีความหลากหลายกว่า จำเป็นจะต้องศึกษารูปแบบการติดในเบื้องต้นก่อน รวมไปถึงงานวิจัย [3] ทำงานกับข้อมูลออฟไลน์ ซึ่งตัวอักษรที่เข้ามาจะทราบขนาดที่แน่นอนและเป็นลายมือของบุคคลเดียว ทำให้สามารถกำหนดค่าตัวแปรคงที่ที่เหมาะสมได้ แต่สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการทำงานของข้อมูลออนไลน์ ดังนั้นไม่สามารถทราบลักษณะการเขียนที่แน่นอนได้ เช่น อาจจะมีตัวเอียงมาก ตัวมีขนาดเล็กใหญ่ไม่เท่ากัน ทำให้วิธีการเดิมคือมีตัวแปรคงที่ไม่เหมาะสม จะต้องหาวิธีการใหม่มาแก้ปัญหาในจุดนี้ ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในบทที่ 4 และด้วยความหลากหลายของรูปแบบการติด ทำให้เป็นไปได้ว่าคอมพิวเตอร์เน้นที่ที่เชื่อมติดกัน สามารถตัดได้มากกว่าหนึ่งตำแหน่ง ดังนั้นจะต้องมีวิธีการใดๆ มาเพื่อระบุจุดตัดที่ถูกต้อง โดยงานวิจัยนี้เลือกวิธีการรู้จำตัวอักษรเข้ามาช่วย เพราะเราจะเลือกจุดตัดที่ให้ผลลัพธ์คล้ายตัวอักษร

เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้งาน การค้า
มากที่สุด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรลาวแบบออนไลน์โดยใช้ลักษณะเด่นทางโครงสร้างแบบยืดหยุ่น

การหาคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรนั้นจะใช้รหัสลูกโซ่แบบ GCC (Generalize Chain Code) ในการเข้ารหัส รหัสลูกโซ่แบบ GCC นี้ได้นำเสนอเพื่อให้มีการเข้ารหัสข้อมูลที่น้อยที่สุดและสูญเสียข้อมูลน้อยที่สุด โดยในการเข้ารหัสจะเข้ารหัสตามข้อมูลจริงที่ได้จากการเขียน โดยไม่มีการทำการ Re-sampling ใหม่เพื่อให้ได้ระยะห่างของแต่ละจุดข้อมูลที่เท่ากันก่อนการเข้ารหัส สำหรับคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรแต่ละตัวนั้นจะถูกดึงออกมาบนพื้นฐานของการแบ่งเซ็กเมนต์ (segment : เซ็กเมนต์ในงานวิจัยในหัวข้อ 3.3 หมายถึงการแบ่งส่วนประกอบของอักษรเดี่ยว) โดยใช้ทิศทางของการเขียนทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาในการแบ่งเซ็กเมนต์ แล้วหาค่าสะสมของค่าความแตกต่างของรหัสลูกโซ่แบบ GCC ค่าสะสมความยาวของตัวอักษรที่เขียนจากซ้ายไปขวา ขวามาซ้าย จากบนลงล่าง ล่างขึ้นบน และค่าความยาวของ (length) ในเซ็กเมนต์นั้นๆ ในการแยกตัวอักษรออกจากกัน จากคุณลักษณะต่างนั้นสามารถที่จะดึงเอาคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรไทยออกมาได้

การหาคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรตามบทความของ Hung Yuen [13] ได้มีการนำเสนอการหาคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรดังนี้ จุดต่างๆที่ได้จากการ Sampling ของอุปกรณ์ Tablet จะทำการเข้ารหัสลูกโซ่แบบ GCC แล้วหลังจากนั้นก็ทำการหาคุณลักษณะเด่นของตัวอักษร ในการหาคุณลักษณะของตัวอักษรนั้นจะหาโดยแบ่งตัวอักษรออกเป็นเซ็กเมนต์ซึ่งสามารถที่จะแยกตัวอักษรออกเป็นเซ็กเมนต์ที่ต่างกันได้ เมื่อแต่ละเซ็กเมนต์ มีรูปร่างของมันเอง เซ็กเมนต์สามารถที่จะแยกออกจากกันได้ด้วยวิธีการหาจุดแบ่งเซ็กเมนต์ แล้วหาค่าสะสมความแตกต่าง Diffcode ในแต่ละเซ็กเมนต์นั้น

3.4.1 การหาคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรโดยแบ่งเซ็กเมนต์ของตัวอักษรตามทิศ การเขียน (ตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา)

งานวิจัย [11] ได้ทำการหาคุณลักษณะเด่นด้วยวิธีการใหม่ โดยแบ่งตัวอักษรออกเป็นเซ็กเมนต์แต่จุดแบ่งเซ็กเมนต์ของตัวอักษรนั้นจะเป็นจุดเปลี่ยนทิศทางในการเขียนตัวอักษร ตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 3.9 ในการหาจะมีขั้นตอนดังนี้ ในการหาจุดแบ่งเซ็กเมนต์ของตัวอักษรนั้นสามารถหาได้จากค่าความแตกต่าง Diffcode โดยที่จุดแบ่งเซ็กเมนต์นี้จะเป็นจุดที่มีการเขียนตัวอักษรเป็น โครงสร้างที่มีมุมหักที่มีค่ามุนนั้นมากหรือเป็นจุดที่มีการเขียนที่ลากเส้นไปแล้วลากเส้นกลับ (จุด Retrace point) ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดที่มีค่าความแตกต่าง Diffcode ที่มีค่ามาก ค่า Diffcode นี้จะเป็นความแตกต่างของรหัสลูกโซ่ GCC สองตัวที่อยู่ติดกันที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งค่าความ

แตกต่าง Diffcode นี้สามารถหาได้ดังนี้กำหนดโดยให้ Diffcode เป็นค่าความแตกต่างของรหัสลูกโซ่แบบ GCC สามารถคำนวณหา Diffcode ดังสมการที่ 3-1

$$\text{Diffcode}_i = \text{GCC}_{i+1} - \text{GCC}_i \quad (3-1)$$



รูปที่ 3.9 หาจุดแบ่งเซ็กเมนต์จากจุดที่เป็นจุดเปลี่ยนทิศทางในการเขียนตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา

3.4.2 การหาจุดแบ่งเซ็กเมนต์ของตัวอักษรโดยใช้จุดเปลี่ยนทิศในการเขียน

จากค่า Diffcode สามารถที่จะหาจุดแบ่งเซ็กเมนต์ของตัวอักษรได้ โดยจุดแบ่งเซ็กเมนต์นี้จะเป็นจุดเปลี่ยนทิศทางการเขียนตัวอักษรตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาจุดแบ่งเซ็กเมนต์นี้กำหนดให้เป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า Diffcode ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าจากค่าบวกที่ติดกันหลายๆค่าเป็นลบที่ติดกันหลายๆค่า หรือเปลี่ยนจากลบที่ติดกันหลายๆค่าเป็นบวกที่ติดกันหลายๆค่า โดยที่ค่า Diffcode จะเป็นการอธิบายว่าเส้นโค้งของลายมือนั้นมีการวาดไปในแนวใด ตัวอย่าง ; จะมีค่า Diffcode เป็นค่าบวกทั้งหมดจนถึงจุดที่เป็นจุดเปลี่ยนแปลงทิศของการเขียนและหลังจากนั้นค่า Diffcode จะเป็นค่าลบทั้งหมด ในการสร้างเส้นโค้งขึ้นมาจากการวาดนั้น หากมีการวาดเส้นโค้งไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะทำให้รหัสลูกโซ่ GCC มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ค่าความแตกต่าง Diffcode มีค่าเป็นบวกทั้งหมด ในขณะที่การวาดไปในทิศตามเข็มนาฬิกาจะทำให้มีค่ารหัสลูกโซ่ GCC มีค่าลดลงเป็นผลให้ค่าความแตกต่าง Diffcode นั้นเป็นลบทั้งหมด สำหรับเส้นตรงนั้นจะทำให้ค่ารหัส GCC มีค่าคงที่ดังนั้นจะทำให้ค่าความแตกต่าง Diffcode มีค่าเป็น 0 ซึ่งจากจุดนี้สามารถแบ่งเซ็กเมนต์ตัวอักษรได้โดยการดูที่เครื่องหมายของค่าความแตกต่าง Diffcode ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากบวกไปลบ หรือลบไปบวกเป็นจุดแบ่งเซ็กเมนต์ของตัวอักษร โดยทั่วไปแล้วตัวอักษรลายมือเขียนตัวเดียวกันสามารถที่จะแบ่งเป็นเซ็กเมนต์ที่เหมือนกันได้โดยจุดที่เป็นจุดเปลี่ยนทิศซึ่งจะเป็นจุดที่แบ่งระหว่างสโตรกที่แตกต่างกันของตัวอักษรออกจากกัน ค่า Diffcode อยู่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีค่าคงที่เสมอๆ ซึ่งของอ่างองกงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ในแต่ละเซ็กเมนต์จะมีคุณสมบัติที่เหมือนกันดังนั้นจะรวมค่าความแตกต่าง Diffcode ในแต่ละเซ็ก

เมนต์เข้าด้วยกันจะได้ค่าสะสม Diffcode เป็น S1, S2, S3,... ซึ่งค่าเหล่านี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในการแบ่งแยกตัวอักษรต่อไป

3.4.3 คุณลักษณะเด่นของตัวอักษรที่ได้

เมื่อได้จุดแบ่งเซ็กเมนต์ของตัวอักษรแล้วก็จะทำการหาค่าสะสมของค่าความแตกต่าง Diffcode ในแต่ละเซ็กเมนต์ โดยจะได้ค่าสะสมของค่าความแตกต่าง Diffcode เป็นค่าบวกหากว่าเซ็กเมนต์นั้นเขียนไปในทิศทวนเข็มนาฬิกา และค่าสะสมของค่าความแตกต่าง Diffcode เป็นค่าลบหากว่า Segmnet นั้นเขียนไปในทิศตามเข็มนาฬิกา จากคุณลักษณะบนพื้นฐานของการหาจุดแบ่งเซ็กเมนต์ของตัวอักษร โดยใช้จุดที่เป็นจุดเปลี่ยนทิศทางการเขียนตัวอักษรเป็นจุดแบ่งเซ็กเมนต์ โดยสามารถหาจุดแบ่งนี้ได้จากค่า Diffcode ค่าสะสมของค่าความแตกต่าง Diffcode ที่ได้จะไม่ขึ้นกับการ Translate การหมุนซึ่งทำให้ได้เซ็กเมนต์ที่เหมือนกันถึงแม้ว่าจะมีขนาดที่แตกต่างหรือมีขนาดที่ไม่คงที่ ก็เช่นเดียวกันกับการทำ Scaling เพราะว่าเส้นโค้งที่มีรูปร่างที่เหมือนกันแต่มีขนาดที่แตกต่างจะให้ผลของการแบ่งเซ็กเมนต์ที่เหมือนกันดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงจุดแบ่งเซ็กเมนต์ที่เป็นจุดเปลี่ยนทิศในการเขียนตัวอักษร

3.4.4 การลดจำนวนเซ็กเมนต์ของตัวอักษร

ในการหาจุดแบ่งเซ็กเมนต์แบบนี้แล้วหาค่าสะสมค่าความแตกต่างในแต่ละเซ็กเมนต์ ซึ่งทำให้ได้คุณลักษณะเด่นของตัวอักษรและจำนวนเซ็กเมนต์ของตัวอักษร แต่ว่าคุณลักษณะเด่นและจำนวนเซ็กเมนต์ที่ได้นี้อาจจะมีเซ็กเมนต์บางเซ็กเมนต์ที่เป็นเซ็กเมนต์ที่มีค่าน้อยมากเป็นเซ็กเมนต์ที่ไม่ใช่เซ็กเมนต์จริงดังนั้นก็จะทำการกำจัดเซ็กเมนต์นี้หรือทำการลดจำนวนของเซ็กเมนต์ลง โดยการทำการลดจำนวนของเซ็กเมนต์จะทำตามเงื่อนไขดังนี้

1. จะทำการลดจำนวนของเซ็กเมนต์ลงถ้าหากว่าเซ็กเมนต์ที่กำลังพิจารณานั้นมีสะสมค่าไม่ต่ำกว่าค่าความแตกต่าง Diffcode น้อยกว่า 0.8 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จะทำการลดจำนวนของเซ็กเมนต์ ลงถ้าหากว่าเซ็กเมนต์ที่กำลังพิจารณานั้นมีความยาวของเซ็กเมนต์น้อยกว่า 4 % จากความยาวทั้งหมดของตัวอักษร

ตัวอย่างพิจารณาตัวอักษร \forall จากรูปที่ 3.11 จะได้จุดแบ่งเซ็กเมนต์คือตำแหน่งจุดที่ 13, 19, 21 ตารางที่ 3.1 จะเป็นการหาค่าสะสมค่าความแตกต่าง Diffcode ซึ่งทำให้ ได้เซ็กเมนต์สี่ เซ็กเมนต์ รูปที่ 3.12 ในนี้จะเห็นได้ว่าในเซ็กเมนต์ที่สามจะมีค่าสะสมความแตกต่างของ Diffcode น้อยกว่าค่าที่กำหนดให้เป็นเซ็กเมนต์คือน้อยกว่า 0.8 ดังนั้นจะทำการลดเซ็กเมนต์นี้ลงโดยการเอาเซ็กเมนต์นี้ไปรวมเข้ากับเซ็กเมนต์ก่อนหน้า (เซ็กเมนต์ที่สอง) หลังจากที่ได้ไปรวมกับเซ็กเมนต์ก่อนหน้าแล้วก็จะทำให้เซ็กเมนต์ที่สองและที่สี่เป็นเส้นโค้งเดียวกัน เส้นโค้งที่เขียนไปในทิศเดียวกัน ดังนั้นจะรวมเซ็กเมนต์ที่สองและเซ็กเมนต์ที่สี่เข้าด้วยกัน หลังจากรวมเข้ากันหมดแล้วก็จะได้ตัวอักษร \forall ในตอนแรกที่มีสี่เซ็กเมนต์ก็จะเหลือเพียงแค่สองเซ็กเมนต์ดัง รูปที่ 3.13 และในรูปที่ 3.14 จะเป็นการเปรียบเทียบคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรที่ได้จากการหาจุดแบ่งเซ็กเมนต์โดยจุดที่มีมุมหักในการเขียนที่มากและการแบ่งเซ็กเมนต์จากจุดเปลี่ยนทิศในการเขียน

3.4.5 กลุ่มเซ็กเมนต์ของตัวอักษรที่ได้

จากการหาคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรด้วยวิธีการแบ่งเซ็กเมนต์ตัวอักษรจากจุดเปลี่ยนทิศในการเขียนตัวอักษรและตั้งค่าในการลดจำนวนเซ็กเมนต์ดังนี้ ให้ค่าสะสมความแตกต่าง Diffcode เป็น 0.8 และให้ค่าความยาวของเซ็กเมนต์เท่า 4 % จากความยาวทั้งหมดของตัวอักษรจะได้กลุ่มของตัวอักษรที่มีจำนวนเซ็กเมนต์ดังในตารางที่ 3.2 สำหรับภาษาไทย และตัวอักษรที่อยู่ในแต่ละกลุ่มเซ็กเมนต์จะแสดงได้ดังในตารางที่ 3.3

GCC	Length	Diffcode
Ci[0] 6.000000	Leng 1.414214	Diff -1.000000
Ci[1] 5.000000	Leng 2.000000	Diff 0.311916
Ci[2] 5.311916	Leng 4.123106	Diff -0.311916
Ci[3] 5.000000	Leng 2.000000	Diff 0.000000
Ci[4] 5.000000	Leng 2.000000	Diff -1.000000
Ci[5] 4.000000	Leng 1.414214	Diff 0.000000
Ci[6] 4.000000	Leng 1.414214	Diff -1.251332
Ci[7] 2.748668	Leng 5.099020	Diff -1.158334
Ci[8] 1.590334	Leng 2.236068	Diff -0.675091
Ci[9] 8.915243	Leng 15.033297	Diff -0.915243
Ci[10] 8.000000	Leng 4.242640	Diff -0.409666
Ci[11] 7.590334	Leng 4.472136	Diff 0.228997
Ci[12] 7.819331	Leng 5.000000	Diff -0.638662
Ci[13] 7.180669	Leng 7.071068	Diff 0.070663
Ci[14] 7.251332	Leng 5.099020	Diff 0.000000
Ci[15] 7.251332	Leng 10.198039	Diff 0.000000
Ci[16] 7.251332	Leng 5.099020	Diff 0.060585
Ci[17] 7.311916	Leng 4.123106	Diff 3.572653
Ci[18] 2.884569	Leng 11.045361	Diff 0.017683
Ci[19] 2.902251	Leng 13.038404	Diff -0.082920
Ci[20] 2.819331	Leng 7.071068	Diff -0.303807
Ci[21] 2.515524	Leng 5.385165	Diff 0.343582
Ci[22] 2.859106	Leng 9.055386	Diff 0.256325
Ci[23] 3.115431	Leng 22.090721	Diff 0.294235
Ci[24] 3.409666	Leng 3.162278	Diff 0.133533
Ci[25] 3.543199	Leng 12.083046	Diff 0.572233
Ci[26] 4.115432	Leng 7.810250	Diff 0.572652
Ci[27] 4.688084	Leng 8.246211	Diff 0.452809
Ci[28] 5.140893	Leng 9.055386	Diff 0.648833
Ci[29] 5.789726	Leng 8.602325	Diff 2.029605
Ci[30] 7.819331	Leng 5.000000	Diff 0.550559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.11 แสดงจุดเช็กเมนต์ที่ได้
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงจุดเช็กเมนต์ที่ได้

Point /	0	.....	12	13	14	.....	18	19	20	21	.....	29	30
Chain Code	6.000	.....	7.819	7.181	7.251	.....	2.885	2.902	2.819	2.516	.....	5.790	7.819
Diff code	-1.00	.....	-0.64	0.071	0.000	.....	0.018	-0.08	-0.30	0.344	.....	2.030	
Cumulative Diff	-6.819331			3.721584			-0.386727			5.303807			
Segment	1			2			3			4			

หาจุดแบ่งเช็กเมนต์จากจุดเปลี่ยนทิศในการเขียน + -		
จำนวนเช็กเมนต์ก่อนลด	ค่าสะสม Diffcode	ค่าสะสม Length %
Segment 1	-6.819331	24.76813104
Segment 2	3.721584	20.93215682
Segment 3	-0.386727	9.872840611
Segment 4	5.303807	44.42687154

รูปที่ 3.12 แสดงเช็กเมนต์ที่ได้ในการหาจากจุดเปลี่ยนทิศในการเขียน

หาจุดแบ่งเช็กเมนต์จากจุดเปลี่ยนทิศในการเขียน + -		
จำนวนเช็กเมนต์หลังการลด	ค่าสะสม Diffcode	ค่าสะสม Length %
Segment 1	-6.819331	24.76813104
Segment 2	9.412118	75.23186896

รูปที่ 3.13 แสดงจำนวนเช็กเมนต์ของตัวอักษรหลังการลดจำนวนเช็กเมนต์แล้ว



รูปที่ 3.14 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะเด่นที่หาได้จากการแบ่งเช็กเมนต์โดยจุดที่มีมุมหักในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 การเขียนที่มากและการแบ่งเช็กเมนต์จากจุดเปลี่ยนทิศในการเขียน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงกลุ่มเซ็กเมนต์ของตัวอักษรไทยที่ได้โดยคั่งค่า Diffcode เป็น 0.8 และความยาวของเซ็กเมนต์เท่ากับ 4 %

จำนวน ตัวอักษร		จำนวนเซ็กเมนต์																
		S1+	S1-	S2+	S2-	S3+	S3-	S4+	S4-	S5+	S5-	S6+	S6-	S7+	S7-	S8+	S8-	S9+
118	ก	0	29	24	7	2	48	1	4	0	2	0	1	0	0	0	0	
135	ข	1	17	1	89	0	22	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	
136	ค	0	3	125	1	4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
125	ฃ	0	0	0	13	0	1	0	102	1	7	0	1	0	0	0	0	
146	ง	0	90	5	27	2	16	1	3	0	2	0	0	0	0	0	0	
147	จ	12	0	1	122	1	1	0	9	0	0	0	1	0	0	0	0	
134	ฉ	0	0	0	43	12	0	0	73	3	2	0	1	0	0	0	0	
127	ช	0	3	0	8	0	97	0	14	1	4	0	0	0	0	0	0	
129	ฌ	0	0	0	3	0	7	0	15	0	96	1	6	0	1	0	0	
139	ฎ	0	0	0	35	0	16	0	79	0	7	0	0	0	2	0	0	
14	ญ	0	0	0	11	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
122	ฎ	0	0	0	13	65	2	25	0	12	1	4	0	0	0	0	0	
113	ฏ	0	0	0	0	12	0	3	2	64	0	12	1	18	0	1	0	
14	ฐ	0	0	0	0	0	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	
91	ฑ	0	1	0	0	0	19	0	0	0	65	0	6	0	0	0	0	
123	ฒ	0	0	0	15	1	0	0	85	1	11	4	1	2	2	0	0	
120	ณ	0	7	0	0	0	29	1	1	0	80	2	0	0	0	0	0	
135	ด	0	111	4	4	0	15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
120	ต	0	7	0	0	0	95	3	6	0	7	2	0	0	0	0	0	
113	ถ	0	0	1	1	0	87	6	11	2	4	0	1	0	0	0	0	
136	ท	0	38	2	3	0	85	1	4	0	3	0	0	0	0	0	0	
124	ธ	1	0	36	2	11	23	5	8	17	10	1	6	2	1	0	1	
108	น	0	30	9	0	0	65	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
115	บ	6	0	0	65	2	13	0	20	0	5	1	2	0	1	0	0	
112	ป	3	0	2	62	3	11	0	28	1	2	0	0	0	0	0	0	
112	ผ	10	0	2	0	93	0	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	
110	ฝ	10	0	2	0	81	0	8	1	8	0	0	0	0	0	0	0	
112	พ	0	0	0	28	1	6	1	60	2	13	0	0	1	0	0	0	
112	ฟ	0	1	0	14	1	4	0	85	1	3	0	3	0	0	0	0	
118	ภ	0	0	55	0	14	0	42	1	4	1	0	0	1	0	0	0	
119	ม	0	0	0	103	2	10	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	
105	ย	43	0	2	1	39	0	0	1	19	0	0	0	0	0	0	0	
107	ร	0	0	28	0	70	0	0	2	5	0	0	0	2	0	0	0	
107	ล	0	0	0	92	4	1	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0	
100	ว	82	0	2	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	ส	1	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
116	ห	5	0	14	17	2	67	0	5	0	5	0	0	0	1	0	0	
120	ฬ	0	0	0	16	5	3	0	92	0	1	0	3	0	0	0	0	
114	อ	62	0	0	4	44	0	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	
212	ฮ	114	0	2	4	86	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างตัวอักษรไทยในกลุ่มเซ็กเมนต์ที่ได้ตั้งค่า Diffcode เป็น 0.8 และความยาวของเซ็กเมนต์เท่ากับ 4 %

		จำนวนเซ็กเมนต์												
		S1-	S2+	S2-	S3+	S3-	S4+	S4-	S5-	S6-				
ก		ก	ก			ก	ก	ก	ก					
		S1+	S1-	S2+	S2-	S3-	S4-	S5+						
ข		ข	ข	ข	ข	ข	ข	ข						
		S1-	S2+	S2-	S3+	S3-	S4+							
ค		ค	ค	ค	ค	ค								
		S2-	S4-	S5+	S5-	S6-	S3-	S4+						
ช		ช	ช	ช	ช	ช								
		S1-	S2+	S2-	S3+	S3-	S4+	S5-						
ง		ง	ง	ง	ง	ง	ง	ง						
		S1+	S2+	S2-	S3+	S3-	S4-	S6-						
จ		จ	จ	จ	จ	จ	จ	จ						
		S2-	S3+	S4-	S5+	S5-	S6-							
ฉ		ฉ	ฉ	ฉ	ฉ	ฉ	ฉ	ฉ						
		S1-	S2-	S3-	S4-	S5+	S5-	S4+						
ช		ช	ช	ช	ช	ช	ช	ช						
		S2-	S3-	S4-	S5-	S6+	S6-	S7-						
ช		ช	ช	ช	ช	ช	ช	ช						
		S2-	S3-	S4-	S5-	S7-								
ฉ		ฉ	ฉ	ฉ	ฉ	ฉ	ฉ	ฉ						
		S2-	S3+	S3-	S4+	S5+	S5-	S6+	S4-					
ฎ		ฎ	ฎ	ฎ	ฎ	ฎ	ฎ	ฎ						
		S3+	S4+	S4-	S5+	S6+	S6-	S7+	S8+					
ฎ		ฎ	ฎ	ฎ	ฎ	ฎ	ฎ	ฎ						
		S1-	S3-	S5-	S6-	S3+	S4+	S4-	S5+					
ท		ท	ท	ท	ท	ท	ท	ท						
		S2-	S3+	S4-	S5+	S5-	S6+	S6-	S7+	S7-	S9+			
ด		ด	ด	ด	ด	ด	ด	ด						
		S1-	S3-	S4+	S4-	S5-	S6+		S5+					
ด		ด	ด	ด	ด	ด	ด	ด						
		S1-	S2+	S2-	S3-	S5-	S4+	S4-	S5+					
ด		ด	ด	ด	ด	ด	ด	ด						
		S1-	S3-	S4+	S4-	S5-	S6+		S6+					
ด		ด	ด	ด	ด	ด	ด	ด						
		S2+	S2-	S3-	S4+	S4-	S5+	S5-	S6-					
ด		ด	ด	ด	ด	ด	ด	ด						
		S1-	S2+	S2-	S3-	S4+	S4-	S5-						
ท		ท	ท	ท	ท	ท	ท	ท						
		S1+	S2+	S2-	S3+	S3-	S4+	S4-	S5+	S5-	S6+	S6-	S7+	S7-
ธ		ธ	ธ	ธ	ธ	ธ	ธ	ธ	ธ	ธ	ธ	ธ	ธ	ธ
		S1-	S2+	S3-	S4+	S4-								
บ		บ	บ	บ	บ	บ	บ	บ						
		S1+	S2-	S3+	S4-	S5-	S6+	S6-	S7-					
บ		บ	บ	บ	บ	บ	บ	บ						
		S1+	S2+	S2-	S3+	S3-	S4-	S5+	S5-					
ป		ป	ป	ป	ป	ป	ป	ป						
		S1+	S2+	S3+	S4+	S5+	S3-							
ผ		ผ	ผ	ผ	ผ	ผ	ผ	ผ						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) แสดงตัวอย่างตัวอักษรไทยในกลุ่มเซ็กเมนต์ที่ได้ตั้งค่า Diffcode เป็น 0.8 และ ความยาวของเซ็กเมนต์เท่ากับ 4 %

	S1+	S2+	S3+	S4+	S4-	S5+													
ฝ																			
	S2-	S3+	S3-	S4+	S4-	S5+	S5-	S7+											
พ																			
	S1-	S2-	S3+	S3-	S4-	S5+	S5-	S6-											
ฟ																			
	S2+	S3+	S4+	S4-	S5+	S5-	S7+												
ภ																			
	S2-	S3+	S3-	S4-	S6-	S7+	S6+												
ม																			
	S1+	S2+	S2-	S3+	S4-	S5+	S4+												
ย																			
	S2+	S3+	S4-	S5+	S7+	S3-	S4+												
ร																			
	S2-	S3+	S3-	S4-	S5+		S4+												
ล																			
	S1+	S2+	S2-	S3+		S3-	S4+	S4-											
ว																			
	S1+	S2+	S2-	S3+	S3-	S4-	S5-	S7-											
ท																			
	S2-	S3+	S3-	S4-	S5-	S6-	S4+												
ฟ																			
	S1+	S2-	S3+	S4-	S5+	S7+	S4+												
อ																			
	S1+	S2+	S2-	S3+	S4+	S4-													
ฮ																			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการแยกตัวอักษรเขียนไทยที่เชื่อมติดกันแบบออนไลน์

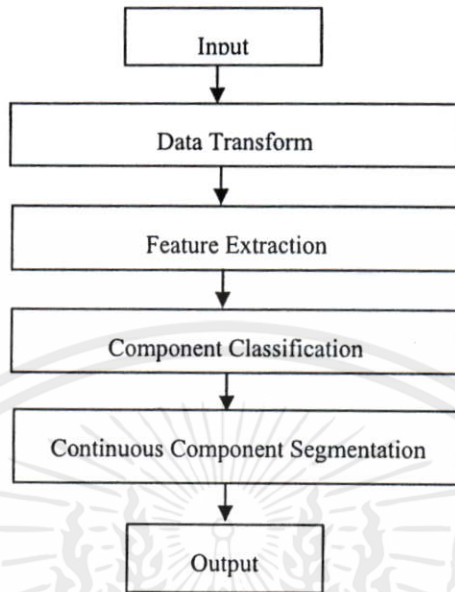
กล่าวถึงรายละเอียดวิธีการแยกตัวอักษรเขียนไทยที่เชื่อมติดกันแบบข้อมูลออนไลน์ด้วยเทคนิคการหาจุดตัดที่เป็นไปได้จากแนวคิดแอ่งน้ำ โดยพิจารณาคุณสมบัติที่ได้จากแนวคิดแอ่งน้ำมาตรวจสอบคอมพิวเตอร์เห็นว่า เป็นอักษรเดี่ยวหรือเป็นกลุ่มของตัวอักษรที่เชื่อมติดกัน ซึ่งดูจากจำนวน ขนาดและตำแหน่งของแอ่งน้ำที่เกิดขึ้น จากนั้นนำไปตรวจสอบว่ากลุ่มตัวอักษรที่เชื่อมติดกันอยู่ในแบบอักษรเขียนติดแบบใดในห้ารูปแบบที่กำหนดและแต่ละรูปแบบก็มีวิธีการหาจุดตัดที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามสำหรับบางรูปแบบของอักษรเขียนสองตัวติดและกลุ่มอักษรเขียนติดกันมากกว่าสองตัวสามารถมีจุดตัดได้หลายจุด การเลือกจุดตัดที่เหมาะสมจะพิจารณาจากการนำเทคนิคการรู้จำตัวอักษรเข้ามาช่วยในการตัดสินใจ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของการแยกตัวอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันแบบออนไลน์สำหรับภาษาไทย โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดทีละขั้นตอนดังนี้

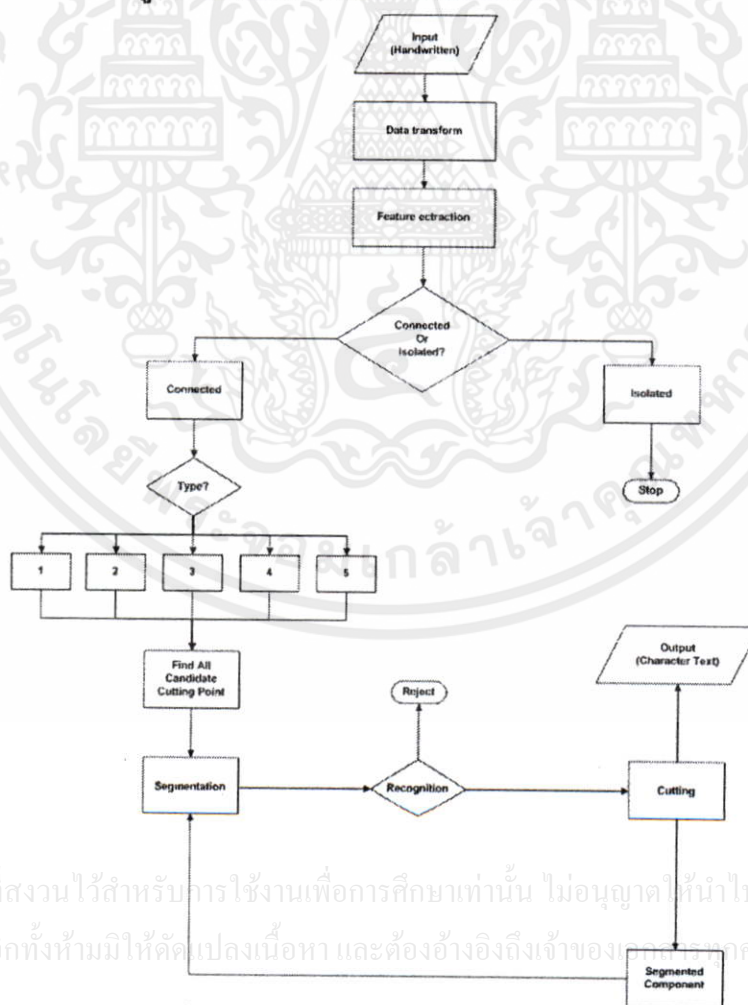
4.1 ภาพรวมของการแยกตัวอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันแบบออนไลน์สำหรับภาษาไทย

การแยกตัวอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันแบบออนไลน์สำหรับภาษาไทยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้ การแปลงข้อมูลออนไลน์เป็นข้อมูลอะเรย์สองมิติ (Data Transform) คือการเตรียมข้อมูลออนไลน์ให้อยู่ในรูปแบบอะเรย์สองมิติ เพื่อเตรียมข้อมูลอะเรย์เข้าไปสู่ขั้นตอน การหาคุณสมบัติของข้อมูล (Feature Extraction) โดยขั้นตอนดังกล่าวจะทำการหาคุณสมบัติแอ่งน้ำแบบต่างๆ หลังจากได้คุณสมบัติของคอมพิวเตอร์ที่ตรวจสอบแล้ว จะส่งเข้าสู่ขั้นตอนการแบ่งประเภทของข้อมูลที่ได้จากคุณสมบัติที่หามา (Component Classification) จะทำการพิจารณาว่าคอมพิวเตอร์ที่ได้หาคุณสมบัติมานั้นเป็นอักษรเขียนเดี่ยวหรืออักษรเขียนต่อเนื่อง หากเป็นอักษรเขียนต่อเนื่องก็จะตรวจสอบประเภทอักษรเขียนต่อเนื่องว่าอยู่ในรูปแบบใดใน 5 รูปแบบที่กำหนด รูปแบบที่ 1 กลุ่มอักษรที่เชื่อมติดกันในแนวบรรทัด รูปแบบที่ 2 กลุ่มอักษรที่เชื่อมติดกับสระ “โ” “ใ” “เ” รูปแบบที่ 3 กลุ่มอักษรที่เชื่อมติดกับสระในแนวเหนือเส้นบรรทัด รูปแบบที่ 4 กลุ่มอักษรที่เชื่อมติดกับสระในแนวใต้เส้นบรรทัดและรูปแบบที่ 5 กลุ่มอักษรที่เชื่อมติดกันมากกว่าสองตัว หลังจากทราบประเภทการเชื่อมติดแล้ว จะส่งเข้าสู่ขั้นตอน การหาจุดตัด (Continuous Component Segmentation) ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวจะพิจารณาจุดตัดที่เป็นไปได้และแยกคอมพิวเตอร์ที่เข้ามาออกเป็นอักษรเดี่ยว ซึ่งแต่ละประเภทก็จะมีวิธีการหาจุดตัดที่แตกต่างกันตามแต่ละรูปแบบการคิดไปใช้

ภาพรวมของการทำงานแสดงได้จากไดอะแกรมขั้นตอนการทำงานในรูปที่ 4.1 และในรูปที่ 4.2 แสดงแผนภูมิขบวนการปฏิบัติการ



รูปที่ 4.1 แสดงไดอะแกรมขั้นตอนการทำงาน

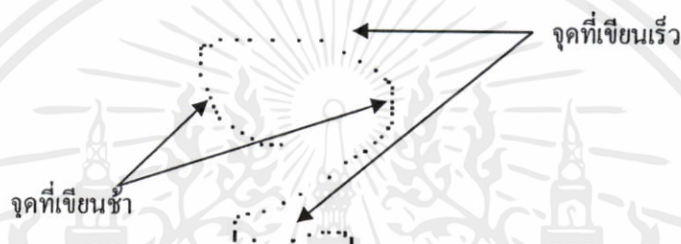


รูปที่ 4.2 แสดงแผนภูมิขบวนการปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

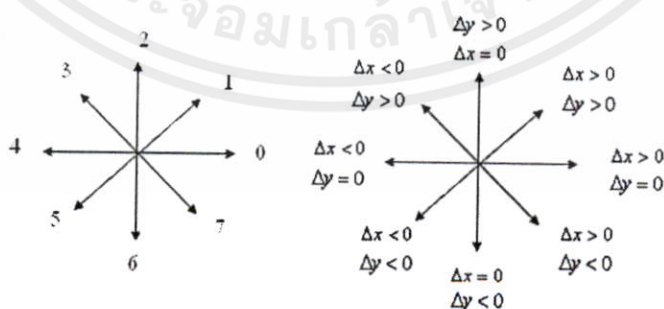
4.2 การแปลงข้อมูลออนไลน์เป็นข้อมูลอะเรย์สองมิติ (Data Transform)

การเขียนลายมือแบบออนไลน์ อินพุตที่ได้มาจากอุปกรณ์การเขียนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะมีอัตราการ Sampling ที่คงที่ตามเวลาดังนั้นลำดับจุดที่ได้จากการเขียนจะมีระยะห่างที่ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับว่าการเขียนนั้นเขียนช้าหรือเร็ว ถ้าเขียนช้าก็จะได้ลำดับจุดของตัวอักษรที่เขียนนั้นติดกัน มีระยะห่างของจุดที่ Sampling ใกล้เคียงกัน แต่ถ้าเขียนตัวอักษรนั้นเร็วก็จะได้ลำดับจุดของตัวอักษรที่เขียนนั้นห่างกันมีระยะห่างของจุดที่ Sampling ได้นั้นอยู่ห่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.3 แต่ด้วยการนำเทคนิคแองจ่ามาใช้จึงจำเป็นที่จะต้องทำการเชื่อมจุดเหล่านั้นไม่ให้เกิดการขาดช่วงของข้อมูล จึงได้นำเสนอการจัดการข้อมูลใหม่ (re-sampling) ดังนี้



รูปที่ 4.3 แสดงลำดับจุดของตัวอักษรที่ได้ในการเขียนช้าและเร็ว

โดยทำการแบ่งรูปแบบทิศทางการเขียนออกเป็น 8 รูปแบบตามรูปที่ 4.4 ก เรียกชื่อแต่รูปแบบตามทิศทางการเขียนตั้งแต่ 0 ถึง 8 โดยจะทำการหาว่าข้อมูลจุดสองจุดที่อยู่ห่างกันนั้นจะมีจุดใดเป็นจุดเชื่อมของข้อมูลสองจุดดังกล่าวบ้าง ตัวอย่างเช่น รูปที่ 4.5 กำหนดจุดสองจุดคือ S เป็นจุดเริ่มต้น E เป็นจุดปลายทาง ขั้นแรกต้องหารูปแบบทิศทางการเขียนก่อนว่าอยู่แบบใดใน 8 รูปแบบจากสมการ 4-1 และ 4-2 โดยค่าที่ได้จากสองสมการนี้สามารถระบุรูปแบบทิศทางการเขียนได้ดังรูปที่ 4.4 ข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 รูปแบบทิศทางการเขียน

$$\Delta x = \text{endP}.x - \text{startP}.x \quad (4-1)$$

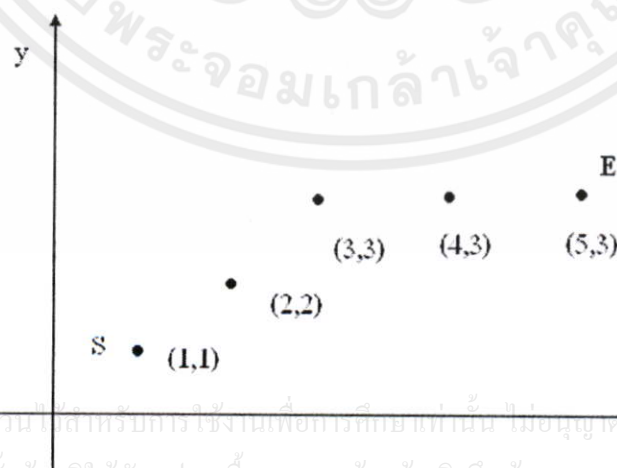
$$\Delta y = \text{endP}.y - \text{startP}.y \quad (4-2)$$

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (4-3)$$

เมื่อได้ทิศทางการเขียนเป็นแบบใดเราสามารถหาระยะห่างของจุดสองจุดนั้นได้จากสมการที่ 4-3 โดยค่า d หากมีมากกว่าหนึ่งแสดงว่าจุดสองจุดนั้นมีจุดระหว่างกัน สำหรับการหาค่าจุดระหว่างสองจุดนั้นทำได้โดยการเพิ่มค่าที่ละหนึ่งในแนวแกน x และแกน y โดยการเพิ่มจะทำตามรูปแบบทิศทางการเขียน ตัวอย่างเช่น ในแนวทิศทางที่ 1 จะเพิ่ม x หนึ่งค่า y หนึ่งค่า หรือถ้าอยู่ในแนวทิศทางที่ 3 จะเพิ่มแกน x ลบหนึ่งค่าและเพิ่มแกน y หนึ่งค่า สำหรับตารางที่ 4.1 สรุปการเพิ่ม x และ y ทั้ง 8 รูปแบบตามทิศทางการเขียน

ตารางที่ 4.1 แสดงการเพิ่ม x และ y ทั้ง 8 รูปแบบ

รูปแบบทิศทางการเขียน	การเพิ่มค่าแกน x	การเพิ่มค่าแกน y
0	+1	0
1	+1	+1
2	0	+1
3	-1	-1
4	-1	0
5	-1	-1
6	0	-1
7	+1	-1



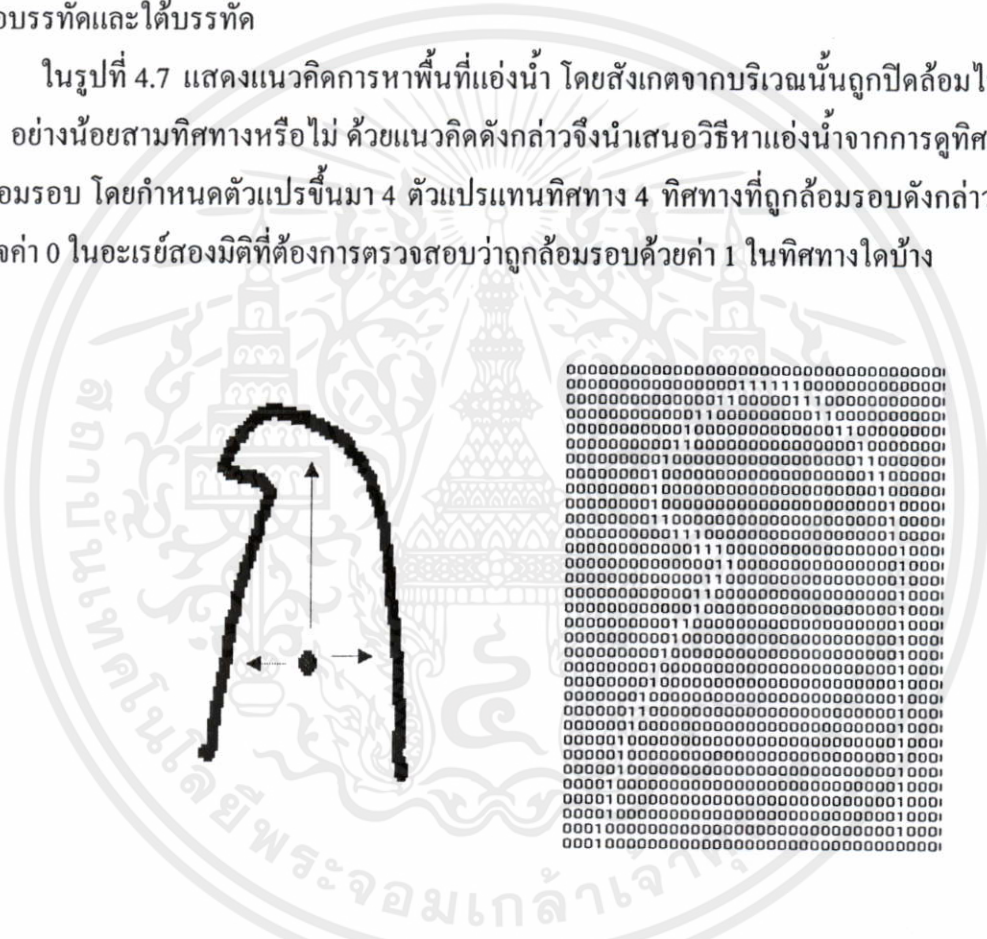
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการหาจุดเชื่อมต่อระหว่างจุดสองจุด

4.3 การหาคุณสมบัติของข้อมูล (Feature Extraction)

คุณสมบัติที่นำมาใช้ในงานวิจัยได้ประยุกต์จากคุณสมบัติของแนวคิดแอ่งน้ำ โดยหลังจากเตรียมข้อมูลอะเรย์สองมิติในขั้นตอนก่อนหน้าก็จะนำข้อมูลอะเรย์สองมิติที่ได้มาหาพื้นที่แอ่งน้ำซึ่งงานวิจัย [10] แบ่งแอ่งน้ำออกเป็นสามประเภทคือ แอ่งน้ำบน แอ่งน้ำล่างและพื้นที่ปิด อย่างไรก็ตามพบว่าแอ่งน้ำทั้งสามประเภทยังไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้กับตัวอักษรเขียนไทย เนื่องจากภาษาไทยมีการเขียนที่เชื่อมติดกันในแนวเหนือบรรทัดและใต้บรรทัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เพิ่มลักษณะแอ่งน้ำมาอีก 2 ประเภทคือ แอ่งน้ำซ้ายและแอ่งน้ำขวา เพื่อใช้แก้ปัญหาในการจัดการเชื่อมติดเหนือบรรทัดและใต้บรรทัด

ในรูปที่ 4.7 แสดงแนวคิดการหาพื้นที่แอ่งน้ำ โดยสังเกตจากบริเวณนั้นถูกปิดล้อมไปด้วยค่า 1 อย่างน้อยสามทิศทางหรือไม่ ด้วยแนวคิดดังกล่าวจึงนำเสนอวิธีหาแอ่งน้ำจากการดูทิศทางที่ถูกล้อมรอบ โดยกำหนดตัวแปรขึ้นมา 4 ตัวแปรแทนทิศทาง 4 ทิศทางที่ถูกล้อมรอบดังกล่าวแล้วสนใจค่า 0 ในอะเรย์สองมิติที่ต้องการตรวจสอบว่าถูกล้อมรอบด้วยค่า 1 ในทิศทางใดบ้าง



รูปที่ 4.7 รูปพื้นที่ที่ถูกปิดล้อม

โดยค่าทั้งสี่ตัวแปรแสดงในตารางที่ 4.2 และค่าใดจะมีค่าเป็นจริง (true) ก็ต่อเมื่อมีเงื่อนไขตามที่กำหนด ตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 4 ต่อการระบุว่าตำแหน่งที่สนใจมีคุณสมบัติของแอ่งน้ำประเภทใด และตารางที่ 4.4 แสดงความหมายของค่าแต่ละตำแหน่งในอะเรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้งาน การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงความหมายของตัวแปร L R Top และ Bottom

ตัวแปร	เงื่อนไข	มี	ไม่มี
L	ค่า 0 ในตำแหน่งที่สนใจมีค่า 1 อยู่ทางซ้ายมือ	จริง (true)	เท็จ(false)
R	ค่า 0 ในตำแหน่งที่สนใจมีค่า 1 อยู่ขวามือ	จริง (true)	เท็จ(false)
Top	ค่า 0 ในตำแหน่งที่สนใจมีค่า 1 อยู่ทางด้านบน	จริง (true)	เท็จ(false)
Bottom	ค่า 0 ในตำแหน่งที่สนใจมีค่า 1 อยู่ทางด้านล่าง	จริง (true)	เท็จ(false)

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่า L R Top และ Bottom ในการเปลี่ยนแปลงค่าในอะเรย์

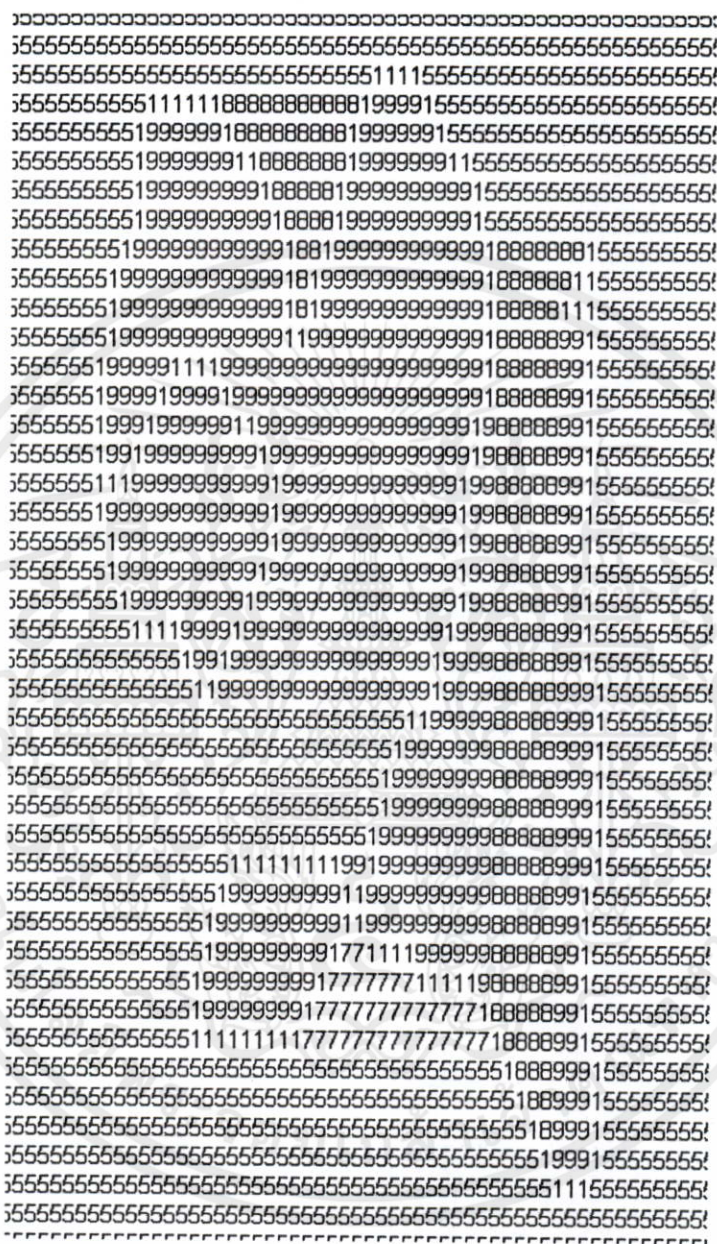
L	R	Top	Bottom	ตำแหน่งที่สนใจ	
				ค่าเก่า	ค่าใหม่
true	-	-	-	0	5
-	true	-	-	0	5
true	true	-	-	0	5
true	-	true	true	0	3
-	true	true	true	0	4
true	true	true	-	0	7
true	true	-	true	0	8
true	true	true	true	0	9

ตารางที่ 4.4 แสดงความหมายของค่าแต่ละตำแหน่งในอะเรย์

ค่าเก่า	ค่าใหม่	ความหมาย
0	5	พื้นที่ที่ไม่เป็นแอ่งน้ำใดๆ
0	8	พื้นที่ที่เป็นแอ่งน้ำบน
0	7	พื้นที่ที่เป็นแอ่งน้ำล่าง
0	3	พื้นที่ที่เป็นแอ่งน้ำขวา
0	4	พื้นที่ที่เป็นแอ่งน้ำซ้าย
0	9	พื้นที่ที่น่าจะเป็นพื้นที่ปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ การนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

จากวิธีการข้างต้นเป็นแนวคิดเบื้องต้นในการหาพื้นที่แอ่งน้ำเท่านั้น แต่ยังไม่ใช่วิธีการในการหาพื้นที่แอ่งน้ำที่เกิดขึ้นจริง เพราะจากแนวคิดข้างต้นจะมีค่าอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้องในบางตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 แสดงพื้นที่ที่หากคุณสมบัติแอ่งน้ำผิด



รูปที่ 4.8 แสดงพื้นที่ที่หากคุณสมบัติแอ่งน้ำไม่ถูกต้อง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวมาจึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งค่าที่ระบุคุณสมบัติแอ่งน้ำผิดไป โดยอาศัยหลักการแพร่ของน้ำ ซึ่งการแพร่ของน้ำจะแพร่ออกเรื่อยๆ จนกว่าจะได้มีบริเวณที่สามารถกักน้ำไว้ได้ ดังนั้นจึงอาศัยหลักการดังกล่าวมาประยุกต์โดยจะแบ่งการหาคุณสมบัติแอ่งน้ำต่างๆ ออกเป็น 6 ประเภทได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูไปงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

4.3.1 การหาพื้นที่ที่ไม่เป็นแอ่งน้ำใดๆ

- คันทาค่า 0 ในอะเรย์สองมิติ จากนั้นคันทาค่า 1 ที่อยู่ตำแหน่งทางซ้าย ขวา บนและล่าง ของค่า 0 ดังกล่าวว่าในระยะห่างที่กำหนดพบหรือไม่ ถ้าไม่พบค่า 1 อย่างน้อยสามทิศทางจะทำการเปลี่ยนค่า 0 เป็น 5
- หลังจากได้ค่า 5 ใหม่ข้างต้นแล้ว จะทำการแพร่ค่า 5 ออกทางซ้ายและขวาจนกว่าจะเจอค่า 1 ในอะเรย์หรือหมดขอบเขตของอะเรย์จะทำการหยุดแพร่
- ขั้นตอนการทำงานแสดงในรูปที่ 4.9

	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1
1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5	5	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5
0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1
1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4.9 แสดงการหาพื้นที่ที่ไม่ใช่แอ่งน้ำ

4.3.2 การหาพื้นที่แอ่งน้ำบน

- คันทาค่า 0 ในอะเรย์สองมิติ หากพบว่ามีค่า 1 ล้อมรอบอยู่สามทิศตามตำแหน่งซ้าย ขวา และล่างในขอบเขตที่กำหนดจะทำการเปลี่ยนค่า 0 เป็นค่า 8 และนำค่าตำแหน่งของค่า 8 ที่ได้ไปใส่ในคิว
- จากนั้นดึงค่าตำแหน่งออกจากคิว โดยสนใจค่าที่อยู่ซ้ายหนึ่งตำแหน่ง ขวาหนึ่งตำแหน่งและล่างหนึ่งตำแหน่ง หากค่าในตำแหน่งที่กล่าวมาไม่ใช่ค่า 1 จะนำค่าตำแหน่งดังกล่าวไปใส่ในคิว

- ทำขั้นตอนก่อนหน้าไปเรื่อยๆจนกว่าคิวจะว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู ใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- ขั้นตอนการหาพื้นที่แอ่งน้ำบนแสดงในรูปที่ 4.10

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

queue						
5	5	5	p1			5
5	1	8	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	0	1	1
1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
5	5	5	p2			5
5	1	8	8	1	1	0
1	0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	1	1
1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
5	5	5	p4,p5,p6			5
5	1	8	8	1	1	0
1	0	1	8	1	0	1
1	0	1	0	0	1	1
1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
5	5	5				5
5	1	8	8	1	1	0
1	0	1	8	1	0	1
1	0	1	8	0	1	1
1	0	1	8	1	1	0
1	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4.10 แสดงการหาแอ่งน้ำบน

4.3.3 การหาพื้นที่แอ่งน้ำล่าง

- ค้นหาค่า 0 ในอะเรย์สองมิติ หากพบว่ามีค่า 1 ล้อมรอบอยู่สามทิศตามตำแหน่ง ซ้าย ขวา และ บน ทำการเปลี่ยนค่า 0 เป็นค่า 7 และนำค่าตำแหน่งไปใส่ในคิว
- จากนั้นดึงค่าตำแหน่งออกจากคิว โดยสนใจค่าที่อยู่ซ้ายหนึ่งตำแหน่ง ขวาหนึ่งตำแหน่งและบนหนึ่งตำแหน่ง หากค่าในตำแหน่งที่กล่าวมาไม่ใช่ค่า 1 จะนำค่าตำแหน่งเหล่านั้นไปใส่ในคิว
- ทำขั้นตอนก่อนหน้าไปเรื่อยๆจนกว่าคิวจะว่าง
- ขั้นตอนการทำงานแสดงในรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	5	5	5	5	5	5	5
5	1	1	1	8	8	1	5
1	9		1	8	1	0	1
0	1	0	1	1	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

5	5	5	5	5	5	5	5
5	1	1	1	8	8	1	5
1			1	8	1	0	1
0	1	0	1	1	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

5	5	5	5	5	5	5	5
5	1	1	1	8	8	1	5
1			1	8	1	0	1
0	1	0	1	1	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4.11 แสดงการหาแอ่งน้ำล่าง

4.3.4 การหาพื้นที่ปิด

- ค้นหาค่า 0 หากพบว่ามีค่าที่อยู่ล้อมรอบทั้งสี่ทิศทางคือ ซ้าย ขวา บนและล่าง ทำการเปลี่ยนค่า 0 เป็นค่า 9
- ขั้นตอนการทำงานแสดงในรูปที่ 4.12

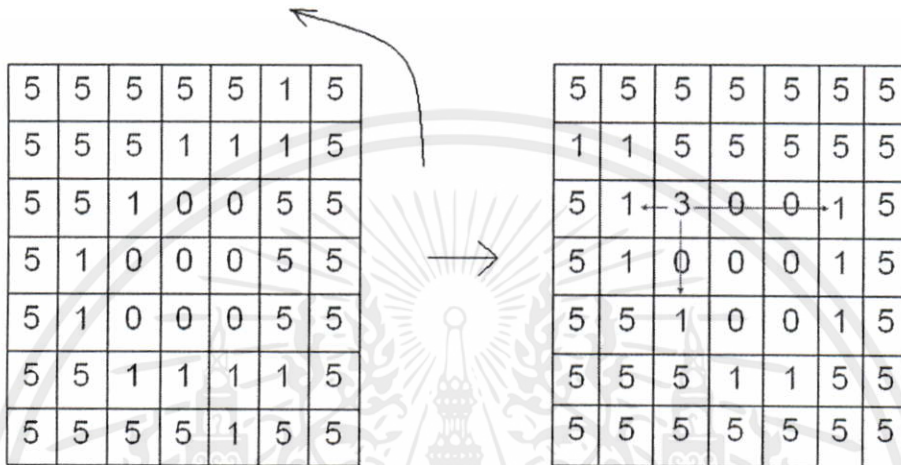
5	5	5	5	5	5	5	5		
8		1	1	1	8	8	1	5	
1				0	1	8	1	0	1
0		1	0	1	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	0	1	
0	1	0	1	0	0	0	0	1	
0	1	0	1	0	0	1	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 แสดงการหาพื้นที่ปิด

4.3.5 การหาแอ่งน้ำด้านขวา

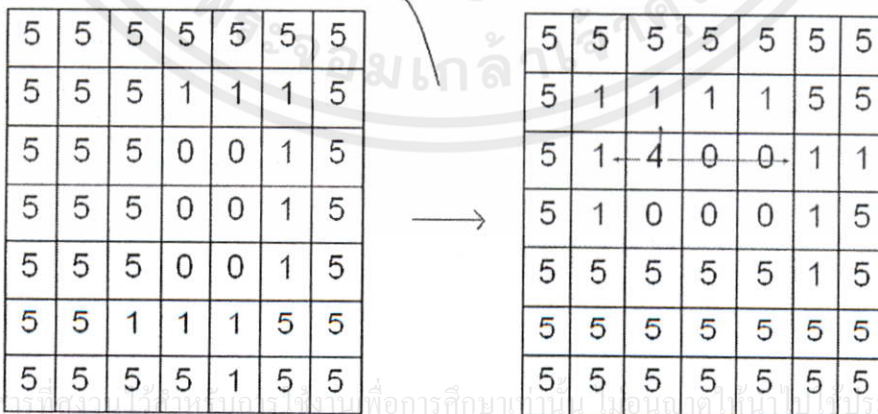
- ทำการหมุนข้อมูลอะเรย์สองมิติทวนเข็มนาฬิกาจะพบว่าการหาแอ่งน้ำด้านขวาจะเหมือนกับการหาแอ่งน้ำด้านบน
- ใช้วิธีเดียวกับการหาแอ่งน้ำด้านบนแต่เปลี่ยนจากค่า 8 เป็นค่า 3 แทน
- ขั้นตอนการทำงานแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงการหาแอ่งน้ำขวา

4.3.5 การหาแอ่งน้ำด้านซ้าย

- ทำการหมุนข้อมูลอะเรย์สองมิติทวนเข็มนาฬิกาจะพบว่าการหาแอ่งน้ำด้านซ้ายจะเหมือนกับการหาแอ่งน้ำด้านล่าง
- ใช้วิธีเดียวกับการหาแอ่งน้ำด้านล่างแต่เปลี่ยนจากค่า 7 เป็นค่า 4 แทน
- ขั้นตอนการทำงานแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงการหาแอ่งน้ำซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การแบ่งประเภทของข้อมูลที่ได้จากคุณสมบัติที่หามา (Component Classification)

หลังจากหาคุณสมบัติจากขั้นตอนที่ 4.3 แล้ว จะนำคุณสมบัติที่ได้ต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ เพื่อระบุคอมโพเนนต์ที่ที่ต้องการตรวจสอบว่าเป็นอักษรเดี่ยวหรืออักษรต่อเนื่อง โดยจะอาศัยจำนวนแอ่งน้ำ ประเภทแอ่งน้ำและตำแหน่งของแอ่งน้ำที่เกิดขึ้นทั้งหมดมาพิจารณา ซึ่งจะต่างจากวิธีการ [4] ที่อาศัยขนาดของแอ่งน้ำในการพิจารณาเพราะข้อเสียของการใช้ขนาดแอ่งน้ำคือ ลายมือเขียนของแต่ละคนจะมีขนาดที่ไม่แน่นอน การกำหนดขนาดที่เหมาะสมไม่สามารถนำไปใช้กับลายมือที่มีขนาดแตกต่างกันได้ ถึงแม้จะเขียนในขนาดบรรทัดที่เท่ากันก็ตาม

งานวิจัยนี้กำหนดค่าที่ใช้ในการตรวจสอบการแบ่งประเภทลายมือโดยใช้ค่าตัวแปร 4 ตัวแปรประกอบด้วย CL TR CR และ CTB โดยความหมายของแต่ละตัวแปรจะแสดงในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.7 แสดงค่าตัวแปร CL TR CR CTB ของตัวอักษรพิมพ์ไทย

ตารางที่ 4.5 แสดงความหมายตัวแปร CL TR BR และ CTB

ตัวแปร	ความหมาย
CL(Close Loop)	จำนวนลูปปิด
TR(Top Reservoir)	จำนวนแอ่งน้ำบน
BR(Bottom Reservoir)	จำนวนแอ่งน้ำล่าง
CTB	ผลรวมของจำนวนลูปปิดจำนวนแอ่งน้ำบนและจำนวนแอ่งน้ำล่าง

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า CL TR BR และ CTB ที่หาได้จากตัวอักษรไทย

อักษร	CL	TR	BR	CTB	อักษร	CL	TR	BR	CTB
ก	0	0	1	1	ป	1	1	0	2
ข	1	1	1	3	ผ	1	1	1	3
ค	1	0	1	2	ฝ	1	1	1	3
ฅ	1	1	2	4	พ	1	2	1	4
ง	1	1	0	2	ฟ	1	2	1	4
จ	1	1	0	2	ภ	1	0	1	2
ฉ	2	1	1	4	ม	2	1	1	4
ช	2	1	0	3	ย	1	1	0	2
ฌ	2	1	0	3	ร	1	0	0	1
ฎ	1	1	0	2	ล	1	0	1	2

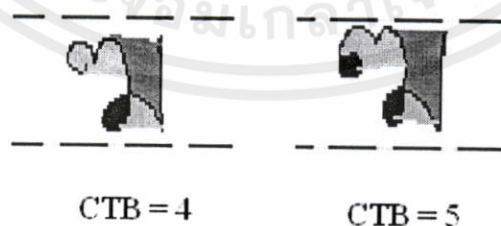
ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงค่า CL TR BR และ CTB ที่หาได้จากตัวอักษรไทย

ท	0	1	2	3	ว	1	0	1	2
ด	1	0	1	2	ศ	1	0	1	2
ต	1	0	1	2	ษ	2	1	0	3
ถ	1	0	1	2	ส	2	0	1	3
ท	1	1	1	3	ห	2	1	1	4
ธ	0	1	0	1	อ	1	1	0	2
น	2	1	1	4	ฮ	2	1	0	3
บ	1	1	0	2					

จากตารางที่ 4.6 ตัวอักษรภาษาไทยยังขาดหายไปอยู่จำนวนหนึ่ง อันได้แก่ “ญ” “ณ” “ฒ” “ฉ” “ฎ” “ฏ” และ “พ” เพราะตัวอักษรในกลุ่มดังกล่าวจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่มอักษรลายมือเขียนต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการตรวจสอบก่อนว่าคอมโพเนนต์ที่เข้ามาอยู่ในอักษรกลุ่มข้างต้นหรือไม่

จากตารางที่ 4.6 จะพบว่าค่า CTB มากสุดที่เป็นไปได้ของอักษรไทยคือ 4 ดังนั้นอาจจะสรุปขั้นต้นได้ว่าค่า CTB ที่มากกว่า 4 จะเป็นอักษรต่อเนื่อง แต่ในความเป็นจริงอาจจะไม่ถูกต้องเสมอไป เพราะว่าลายมือเขียนอาจจะมีค่าไม่เท่ากับตารางที่ 4.6 ตัวอย่างเช่นตัว “ฉ” ในรูปที่ 4.17 อาจจะเขียนในรูปแบบที่มีค่า CTB มีค่าเท่ากับ 4 หรือมีค่าเท่ากับ 5 ก็ได้

ดังนั้นเราจึงสรุปจากเงื่อนไขแรกในการระบุอักษรต่อเนื่องได้ว่า ค่า CTB ของคอมโพเนนต์ที่เข้าต้องการตรวจสอบ หากมีค่ามากกว่า 5 (ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง ภาคผนวก ก.) แสดงว่าคอมโพเนนต์เป็นอักษรเขียนต่อเนื่อง



รูปที่ 4.17 ค่า CTB ที่อาจเป็นไปได้หลายค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ค่า CTB เป็นเพียงการระบุอักษรต่อเนื่องขั้นต้นเท่านั้น ยังไม่สามารถระบุคอมโพเนนต์ที่เข้าทั้งหมดที่เข้ามาได้ ตัวอย่างเช่นคำว่า “กา” ในรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าค่า CTB เท่ากับ 3 เท่า ซึ่งเห็น

ได้ว่าค่า CTB ที่น้อยกว่า 5 ก็อาจเป็นอักษรเขียนต่อเนื่องได้ ด้วยเหตุดังกล่าวจากความสัมพัทธ์ ตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่า BR ส่วนมากจะมีค่าเท่ากับ 1 ยกเว้นเพียงสองตัวอักษรเท่านั้นคือ “ม” และ “ท” ซึ่งจะมีค่า BR เท่ากับ 2 ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้เองสามารถระบุคอมโพเน้นท์ที่เข้ามาได้อีก รูปแบบคือ BR มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2 และปากแอ่งน้ำล่างอยู่ในเขตพื้นที่ 50% ล่างของคอมโพเน้นท์ในแนวนอน (การกำหนดขนาดพื้นที่ 50 % มาจากการศึกษาลายมือตัวอย่างว่าจะมีการเขียนตัวอักษรส่วนใหญ่จะมีปากแอ่งน้ำล่างอยู่ในเขตพื้นที่ด้านล่างของแนวบรรทัดการเขียน) ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ปากขอบแอ่งน้ำล่างที่อยู่ในพื้นที่ครึ่งล่างของตัวเอง

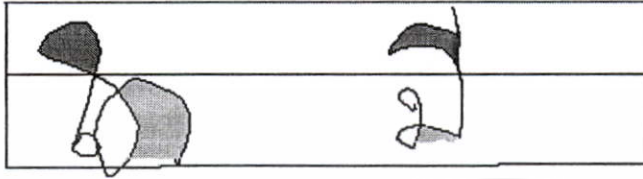
อย่างไรตามค่า BR ที่เท่ากับ 1 ก็ยังไม่ได้หมายความว่าคอมโพเน้นท์นั้นเป็นอักษรเดี่ยวเสมอเพราะว่าการเขียนลายมืออักษรเชื่อมกันก็มีโอกาสที่จะเกิดค่า BR เท่ากับ 1 ได้เช่นกัน ดังรูปที่ 4.19 แสดงกลุ่มอักษรเชื่อมกันที่เกิดค่า BR เท่ากับ 1 ซึ่งเห็นได้ว่าจะต้องมีเงื่อนไขอื่นมาช่วยในการระบุคอมโพเน้นท์กลุ่มนี้เพิ่มเติม โดยงานวิจัยนี้ได้เพิ่มเติมอีกสามคุณสมบัติขึ้นมาในการระบุคอมโพเน้นท์คือ พื้นที่แอ่งน้ำที่เกิดหนีบรรทัด พื้นที่แอ่งน้ำที่เกิดได้เส้นบรรทัดและความกว้างของแอ่งน้ำล่างเปรียบเทียบกับขนานของคอมโพเน้นท์ตัวมันเอง โดยรายละเอียดแต่ละคุณสมบัติจะกล่าวโดยละเอียดและยกตัวอย่างประกอบดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารงานวิจัยสำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.19 แสดงกลุ่มตัวอักษรติดที่มีค่า BR เท่ากับ 1

กลุ่มแรกคือการใช้พื้นที่ที่เกิดแอ่งน้ำเหนือเส้นบรรทัด โดยอาศัยว่าหากคอมโพเนนต์ที่ต้องการตรวจสอบมีค่า BR เท่ากับ 1 และมีพื้นที่แอ่งน้ำประเภทใดประเภทหนึ่งเกิดขึ้นเหนือเส้นบรรทัด แสดงว่าเป็นกลุ่มของอักษรที่เชื่อมติดกันดังตัวอย่างเช่นในรูปที่ 4.20



พื้นที่เหนือเส้นบรรทัด

พื้นที่ระหว่างเส้นบรรทัด

รูปที่ 4.20 พื้นที่แอ่งน้ำเหนือเส้นบรรทัด

กลุ่มที่สองคือการใช้พื้นที่ที่เกิดแอ่งน้ำใต้เส้นบรรทัด โดยอาศัยว่าหากคอมโพเนนต์ที่ต้องการตรวจสอบนั้นมีค่า BR เท่ากับ 1 และมีพื้นที่แอ่งน้ำประเภทใดประเภทหนึ่งเกิดขึ้นใต้เส้นบรรทัด แสดงว่าเป็นกลุ่มของอักษรที่เชื่อมติดกันดังตัวอย่างเช่นในรูปที่ 4.21

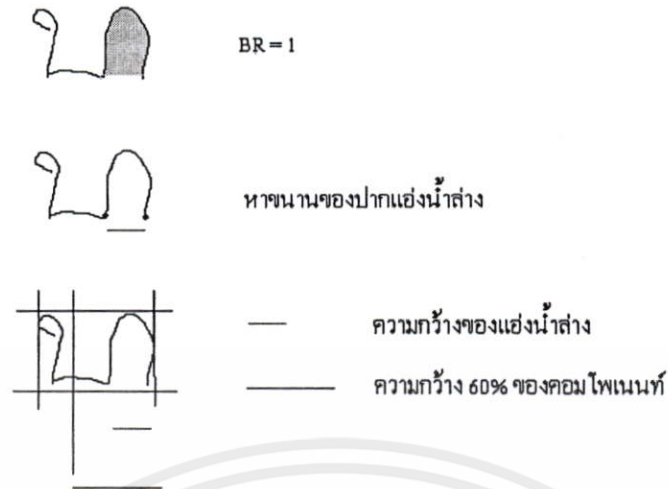


พื้นที่ระหว่างเส้นบรรทัด

พื้นที่ใต้เส้นบรรทัด

รูปที่ 4.21 พื้นที่แอ่งน้ำใต้เส้นบรรทัด

กลุ่มที่สามคือการใช้เงื่อนไขความกว้างของปากแอ่งน้ำล่างนั้นเปรียบเทียบกับขนาดความกว้างของคอมโพเนนต์มันเองโดยอาศัยว่าหากคอมโพเนนต์ที่ต้องการตรวจสอบมีค่า BR เท่ากับ 1 และมีแอ่งน้ำบนเกิดขึ้น จะวัดความกว้างของปากแอ่งน้ำล่างว่ามีขนาดมากกว่าหรือน้อยกว่า 60% เมื่อเปรียบเทียบกับความกว้างของคอมโพเนนต์มันเอง (การกำหนดขนาด 60% หาได้จากการทดลองลายมือกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คอมโพเนนต์ ซึ่งขนาด 60% ให้ผลลัพธ์ถูกต้องมากที่สุด) ซึ่งหากน้อยกว่าจะสรุปว่าคอมโพเนนต์ที่ตรวจสอบเป็นอักษรเขียนต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 4.22 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 แสดงขนาดของแ่งน้ำล่างเปรียบเทียบกับขนาดคอมโพเนนต์

จากวิธีข้างต้นที่กล่าวมาคือแนวคิดการระบุคอมโพเนนต์ที่เข้ามาว่าเป็นอักษรเดี่ยวหรือเป็นอักษรที่เชื่อมติดกัน โดยสามารถสรุปเป็นเงื่อนไขได้ดังนี้ กำหนดให้

- C คือ คอมโพเนนต์ที่ต้องการตรวจสอบ
 CBT_C คือ ผลรวมของ CL + BR + TR ของ C
 CBT_{C_inline} คือ ผลรวมของ CL + BR + TR ของ C ในแนวบรรทัด
 BR_C คือ แ่งน้ำล่างของ C
 TR_C คือ แ่งน้ำบนของ C
 T_1 คือ ปากของแ่งน้ำล่างอย่างน้อยสองแห่งอยู่ในเขต 50% ล่างของบรรทัด
 T_2 คือ มีแ่งน้ำชนิดโคซนิกหนึ่งอยู่เหนือเส้นบรรทัด
 T_3 คือ มีแ่งน้ำชนิดโคซนิกหนึ่งอยู่ใต้เส้นบรรทัด
 T_4 คือ ปากของแ่งน้ำล่างมีความกว้างน้อยกว่า 60% ของความกว้างของ C

If $CBT_C > 5$ C is Connected

Else if $(BR_C \geq 2) \ \&\& \ (T_1 == true)$ C is Connected

Else if $(CBT_{C_inline} \geq 2) \ \&\& \ ((T_2 == true) \ || \ (T_3 == true))$ C is Connected

Else if $((BR_C == 1) \ \&\& \ (height \ of \ BR_C > 60\% \ of \ line)) \ \&\& \ ((T_2 == true) \ || \ (T_3 == true))$

C is Connected

Else if $((TR_C == 1) \ \&\& \ (height \ of \ TR_C > 60\% \ of \ line)) \ \&\& \ ((T_2 == true) \ || \ (T_3 == true))$

C is Connected

Else if $((BR_C == 1) \ \&\& \ (TR_C == 1)) \ \&\& \ (T_4)$ C is Connected

Else C is Isolated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีคทั้งหมดมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การหาจุดตัด (Continuous Component Segmentation)

หลังจากที่สามารถระบุคอมโพเนนต์ที่เข้ามาได้ว่าเป็นคอมโพเนนต์ที่เป็นอักษรเขียนต่อเนื่องแล้ว จะทำการหาจุดตัดที่เหมาะสมโดยการหาจุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดของคอมโพเนนต์จากการหาบริเวณกันของแอ่งน้ำต่างๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งจำนวนที่หาอาจจะมีหลายตำแหน่ง ดังนั้นการเลือกจุดที่เหมาะสมที่จะเลือกโดยการวิเคราะห์รูปแบบการติดที่กำหนดขึ้นมา แต่ถ้าไม่ตรงกับรูปแบบที่มีแสดงว่าอักษรเขียนต่อเนื่องนั้นอาจตัดได้ถูกต้องหลายจุด ดังนั้นงานวิจัยจึงนำเสนอการเลือกจุดตัดที่เหมาะสมสำหรับกรณีมีจุดตัดที่เป็นไปได้หลายตำแหน่ง โดยนำความรู้จำตัวอักษรแบบแบ่งเซกเมนต์ของตัวอักษรตามทิศการเขียน (ตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา) มาวิเคราะห์จุดตัดที่เกิดขึ้นแต่ละตำแหน่ง โดยการทดลองตัดจุดตัดต่างๆ จุดของอักษรเขียนต่อเนื่องที่เป็นไปได้ ซึ่งจะได้คอมโพเนนต์ย่อย (คอมโพเนนต์ย่อยคือ ส่วนหนึ่งส่วนใดจากอักษรเขียนต่อเนื่องที่แยกออกมา) โดยที่คอมโพเนนต์ย่อยที่ได้ อาจเป็นอักษรเขียนเดี่ยวหรืออักษรเขียนต่อเนื่อง หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบคอมโพเนนต์ย่อยกับอักษรต้นแบบ ผลที่ได้คือค่าความเหมือนกับชุดอักษรต้นแบบ ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถนำมาช่วยในการเลือกจุดตัดที่เหมาะสม

งานวิจัยแบ่งประเภทของอักษรเขียนติดกันออกเป็นสองประเภทหลักด้วยกันคือ อักษรที่เขียนติดกันสองตัวอักษรและอักษรที่เขียนติดกันมากกว่าสองตัวอักษร โดยประเภทแรกคืออักษรเขียนติดกันสองตัวอักษรจะแยกออกเป็น 4 ประเภทย่อยด้วยกันคือ อักษรที่เชื่อมติดกันในแนวบรรทัด อักษรที่เชื่อมติดกับสระ “โ” “เ” “อ” อักษรที่เชื่อมติดกับสระในแนวเหนือเส้นบรรทัด และอักษรที่เชื่อมติดกับสระในแนวเส้นใต้บรรทัด โดยวิธีการระบุว่าคอมโพเนนต์จะอยู่ในรูปแบบใดที่กล่าวมา จะอาศัย ตำแหน่งของแอ่งน้ำที่เกิดขึ้นมาพิจารณา

4.5.1 แบบที่ 1 การหาจุดตัดในกลุ่มอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันในแนวบรรทัด คือกลุ่มของอักษรที่เขียนเชื่อมติดกันในแนวบรรทัดดังรูปที่ 4.23 แสดงตัวอย่างตัวอักษรที่เชื่อมกันในกลุ่มนี้

ก ข ค ด

ดร. ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในโอกาสที่การศึกษานี้ ไม่นานพอให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 อักษรเขียนที่เชื่อมติดกันในแนวบรรทัด

55555555518888881777777	55555555518888881777777
55555555518888811777777	55555555518888811777777
5555555551888177777777	5555555551888177777777
55555555551177777777	55555555551177777777
55555555555555555555	55555555555555555555

55555555518888881777777

55555555518888811777777

5555555555188817777777

55555555551177777777

55555555555555555555

รูปที่ 4.26 แสดงการหาค้นแ่องน้ำบนแบบเรียงเป็นเส้นตรง

สำหรับการหาค้นของแ่องน้ำล่างจะทำเช่นเดียวกับการหาค้นแ่องน้ำบน เพียงแต่จะเปลี่ยนเงื่อนไขจากค่า 1 ที่ล้อมรอบค่า 7 ที่ตำแหน่ง $(i-1, j)$ $(i, j-1)$ และ $(i, j+1)$ แทน และในรูปแบบที่สองก็จะเปลี่ยนจากค่า 1 ล้อมรอบค่า 7 ที่ตำแหน่ง $(i-1, j)$ และ $(i, j+1)$ แทน

หลังจากที่ได้กลุ่มของค้นแ่องน้ำทุกประเภทแล้ว จุดที่หามาได้ทั้งหมดคือจุดตัดที่เป็นไปได้ หลังจากนั้นจะทำการไล่ตัดทุกจุดที่เป็นไปได้ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละจุดจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการรู้จำตัวอักษร ซึ่งกระบวนการรู้จำจะคืนค่าความเหมือนออกมา $([TR]^*)$ โดยหาค่าความเหมือนมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าคุณสมบัติเหมือนกับตัวอักษรต้นแบบทุกประการ รูปที่ 4.27 แสดงตัวอย่างคอมโพเน้นท์และการหาจุดตัดของคอมโพเน้นท์ “กา” โดยมีจุดตัดที่เป็นไปได้สามจุด ซึ่งแต่ละจุดจะถูกแยกออกและให้ค่าความเหมือนดังในรูปภาพที่ 4.28

ในการตัดสินใจเลือกจุดตัดที่เหมาะสมจะเลือกจากผลรวมของค่าความเหมือนของตัวอักษรส่วนแรกและส่วนที่สองรวมกัน ค่าผลรวมที่ได้มากที่สุดจากแต่ละจุดตัดจะถูกเลือกเป็นจุดตัดที่เหมาะสม ดังในรูปที่ 4.28 จะเลือกจุดตัดในแถวที่สอง ซึ่งจะได้ตัวอักษรส่วนแรกเป็น “ก” และส่วนที่สองเป็น “ก”

หมายเหตุ *	ความหมายของ	B-1[T]#ร-19857[TR]=0.85176
	B-1	หมายถึง ชุดตัวอักษรต้นแบบ
	[T]	หมายถึง ภาษาไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการรู้จำตัวอักษรและเลขประจำตัวตัวอักษร ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำแนะนำ และตั้งข้อสงสัยเกี่ยวกับเอกสารฉบับนี้ กรุณาติดต่อ
[TR] หมายถึง ค่าความเหมือน (ค่า 1 หมายถึงเหมือนลักษณะ
ต้นแบบทุกประการ)



ลักษณะที่แยกได้	อักษรเดี่ยวส่วนแรก	อักษรเดี่ยวส่วนสอง
	 B-1[T] # ๖-19857[TR]= 0.976259	 B-1[T] # ๓-1029[TR]= 0.814851
	 B-1[T] # ๓-170[TR]= 0.816657	 B-1[T] # ๓-23476[TR]= 1.000000
	 B-1[T] # ๖-12014[TR]= 0.839330	 B-1[T] # ๖-23476[TR]= 0.774900

รูปที่ 4.28 แสดงการตัดจุดต่างๆ และค่าความเหมือนที่ได้จากการรู้จำตัวอักษร

4.5.2 แบบที่ 2 การหาจุดตัดอักษรเขียนที่เชื่อมติดกับสระ “โ” “ใ” “เ” คือกลุ่มของสระ “โ” “ใ” “เ” ที่เชื่อมติดกับอักษรเขียนในแนวบรรทัดดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 สระ “โ” “ใ” “เ” ที่เชื่อมติดกับอักษรในแนวบรรทัด

สำหรับการหาจุดตัดในกรณีนี้ที่ 4.5.2 แตกต่างจากกรณี 4.5.1 ที่จะมีการตัดออกเป็นกลุ่มของจุดคู่ลำดับเพราะคอมพิวเตอร์ในกรณีนี้จะมีจุดที่ไม่ต้องการกลุ่มหนึ่งที่ลากจากสระมายังตัวอักษร โดยเริ่มต้นจะทำการค้นหาแก่น้ำล่างที่เชื่อมกันระหว่างสระและตัวอักษร จากนั้นทำการค้นหาค่า 1 ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะเจอปากแอ่งน้ำบนหรือจุดแยก จุดแยกคือจุดที่ค่า 1 ที่สนใจมีค่า 1 ใดๆ ล้อมรอบมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ตำแหน่งขึ้นไป ตัวอย่างเช่น สมมุติให้ 1 ที่สนใจอยู่ในตำแหน่ง (i,j) ดังในรูปที่ 4.24 หากมีค่า 1 อยู่ในตำแหน่ง (i-1,j-1), (i-1,j), (i-1,j+1), (i,j-1), (i,j+1), (i+1,j-1), (i+1,j) หรือ (i+1,j+1) รวมกัน 3 ตำแหน่ง ตำแหน่ง (i,j) จะเป็นสามแยก แต่ถ้ารวมกันได้ 4 ตำแหน่ง จะถือเป็นสี่แยก หลังจากหาค่า 1 ทั้งหมดมาจะถูกเก็บไว้และนำไปลบออกจากข้อมูลตัวอักษรเขียนที่

ลักษณะที่แยกได้	อักษรเดี่ยวส่วนแรก	อักษรเดี่ยวส่วนสอง
	 B-1[T] # โ-25479[TR]=0.768762	 B-1[T] # ค-19387[TR]=0.765678

ลักษณะที่แยกได้	อักษรเดี่ยวส่วนแรก	อักษรเดี่ยวส่วนสอง
	 B-1[T] # โ-25479[TR]=0.768762	 B-1[T] # ห-8081[TR]=0.835863

รูปที่ 4.31 ตัวอย่างการตัดในรูปแบบอักษรเขียนที่เชื่อมติดกับสระ “โ” “โ” “โ”

- 4.5.3 แบบที่ 3 การหาจุดตัดกลุ่มอักษรที่เชื่อมติดกับสระในแนวเหนือเส้นบรรทัด คือ กลุ่มอักษรที่เชื่อมติดกับสระเหนือบรรทัด เช่น อี อี อี อี เป็นต้น ดังในรูปที่ 4.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรในสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.32 อักษรที่เชื่อมติดกับสระในแนวเหนือเส้นบรรทัด

ความ สนาน

รูปที่ 4.39 คอมโพเนนต์ของคำว่า “ความ” และ “สนาน”

สำหรับในการตัดกลุ่มตัวอักษรเขียนที่เชื่อมติดมากกว่าสองตัว การหาจุดตัดที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะหากเลือกจุดตัดที่ผิดก็จะตัดผิด ไปทั้งคำที่นำมาตรวจสอบ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำการรู้จำตัวอักษรมาช่วยเลือกจุดตัดที่เหมาะสมโดยให้ค่าความเหมือน (TR) มากที่สุด ซึ่งมีหลักการทำงานคือนำคอมโพเนนต์ที่ได้มาพร้อมจุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดมาทำการตัดทีละจุดแล้วทำการรู้จำแต่ละส่วนที่ถูกตัดออกมา ตัวอย่างเช่น คอมโพเนนต์ “ความ” หาจุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด 11 จุด ได้แก่ $\{P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}\}$ จากนั้นนำแต่ละจุดไปทำการแยกตัดคอมโพเนนต์หลัก (คอมโพเนนต์หลัก : คืออินพุตที่ต้องการตรวจสอบโดยยังไม่มีการตัด) จะได้ออกมาสองคอมโพเนนต์ย่อย ได้แก่ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า (คอมโพเนนต์หลักที่ถูกแยกส่วนหลังออกไป) คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง (คอมโพเนนต์หลักที่ถูกแยกส่วนหน้าออกไป) ตามลำดับ หลังจากนั้นนำ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง ไปทำการรู้จำตัวอักษร แล้วเก็บค่าความเหมือนไว้ในแต่ละจุด โดยแยกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเก็บเฉพาะค่าความเหมือนของคอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า ส่วนที่สองเก็บค่าความเหมือนของ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง ทำอย่างนี้เรื่อยๆจนกว่าจะหมดจุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด หลังจากนั้นจะได้ข้อมูลของจุดตัดแต่ละจุดพร้อมค่าความเหมือน ดังในรูปที่ 4.41 แสดงการทำงานในการหาจุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดพร้อมแสดงค่าความเหมือนที่ได้ของ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง

หลังจากได้ข้อมูลค่าความเหมือนของแต่ละจุดตัดที่เป็นไปได้ จะเลือกจุดตัดที่ดีที่สุดโดยดูจากค่าความเหมือนที่มีค่ามากที่สุดของ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า และ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง ซึ่งจะได้มาสองจุดจากสองค่าดังกล่าว ในตัวอย่างของคอมโพเนนต์ “ความ” จะได้จุดที่ดีที่สุดของคอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า คือจุด P_2 และของ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง คือจุด P_6 ตามรูปที่ 4.41 โดยจะเก็บจุดตัดทั้งสองจุดนี้ไว้ หลังจากนั้นตรวจสอบคอมโพเนนต์ที่เหลือจากการนำจุดทั้งสองไปตัดออกจาก คอมโพเนนต์หลัก จะเรียก ส่วนที่ได้หลังจากการตัดออกว่า คอมโพเนนต์ย่อยส่วนที่เหลือ โดยจะส่ง คอมโพเนนต์ย่อยส่วนที่เหลือ ไปตรวจสอบว่าเป็นอักษรเขียนเชื่อมติดหรือไม่ หากเป็นจะนำ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนที่เหลือ วนไปเป็น คอมโพเนนต์หลัก และหาจุดตัดที่เหลือต่อไปเรื่อยๆ ตามรูปที่ 4.42 แสดงภาพ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง และ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนที่เหลือ ของคอมโพเนนต์ “ความ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คตทวม

คอมโพเนนต์หลัก

จุดตัด	คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า	คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง	TR sub1	TR sub2
P ₀	จ	คตทวม	ว= 0.787519	ฒ= 0.824872
P ₁	ค	ทวม	ฐ= 0.827171	ฒ= 0.836391
P ₂	ค	ทวม	ก= 0.848303	ฒ= 0.855529
P ₃	คท	ทวม	ก= 0.798615	ฒ= 0.835984
P ₄	คค	ทวม	ก= 0.790004	ฒ= 0.828284
P ₅	คท	ทวม	ก= 0.775556	ฒ= 0.885114
P ₆	คท	ทวม	ก= 0.775925	ฒ= 0.908978
P ₇	คทท	ทวม	พ= 0.758448	ฒ= 0.874942
P ₈ *	คตทวม	จ	ก= 0.760403	ฒ= 0.638506
P ₉ *	คตทวม	จ	ก= 0.760403	ฒ= 0.638506
P ₁₀	คตทวม	จ	ก= 0.719219	ฒ= 0.705508

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.41 แสดงการทำงานในหารวนหาจุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด พร้อมแสดงค่าความเหมือนที่ได้ของ คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนหน้า คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนหลัง

คอม โฟเน้นท์หลัก	คอม โฟเน้นท์ย่อย ส่วนหน้า	คอม โฟเน้นท์ย่อย ส่วนหลัง	คอม โฟเน้นท์ย่อย ส่วนที่เหลือ
คตทว	ค	ว	ท

รูปที่ 4.42 แสดงภาพ คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนหน้า คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนหลัง และ คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนที่เหลือ ของคอม โฟเน้นท์ “ความ”

จากรูปที่ 4.42 แสดงให้เห็นว่า คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนที่เหลือ ยังคงเป็นอักษรเขียนเชื่อมติด ดังนั้นทำการวนหาจุดตัดที่เหลือคือของ คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนที่เหลือ ได้แก่ $\{P_3, P_4, P_5\}$ หลังจากทำการหาจุดตัดที่เหมาะสมของ คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนที่เหลือ จะได้ดังรูปที่ 4.43 ซึ่งแสดงค่าของ คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนที่เหลือ และจุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดพร้อมค่าความเหมือนของ คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนที่เหลือ

ท

คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนที่เหลือ เมื่อนำไปตรวจสอบใหม่จะกลายเป็น คอม โฟเน้นท์หลัก

จุดตัด	คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วน หน้า	คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนหลัง	TR sub1	TR sub2
P_3	ค	ท	ค= 0.636831	ค= 0.778874
P_4	ว	ว	ว= 9.375430	ว=0.937065
P_5	ท	ค	ว=0.864230	ง= 0.558804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.43 คอม โฟเน้นท์ย่อยส่วนที่เหลือที่หาจุดตัดที่เป็นไปได้ที่เหลือ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงสื่อใดๆและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารที่ตรงที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.43 ค่าความเหมือนของ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า และ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง มีค่ามากที่สุดที่จุด P_4 เหมือนกันหมายความว่าคอมโพเนนต์ “ความ” มีจุดตัดที่เหมาะสมครบแล้วได้แก่จุด $\{P_2, P_4, P_6\}$ อักษรที่ได้คือ “ค” “ว” “า” “ม” อย่างไรก็ตามจะมีบางกรณีจุดตัดในการวนรอบสุดท้ายไม่เท่ากัน ดังนั้นมีหลักการในการหยุดทำงานเมื่อ

- จุดตัด คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า มีค่าความเหมือนมากสุดในตำแหน่งจุดตัดเดียวกับคอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง จะเอาค่าตัวอักษรที่ได้จากทั้งสองตำแหน่ง
- จุดตัด คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า มีค่าความเหมือนในตำแหน่งจุดตัดที่มากกว่า คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง จะยึดเอาจุดตัด คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า เป็นจุดตัดที่เหมาะสมและไม่สนใจจุดตัด คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง ดังนั้นค่าตัวอักษรที่ได้ทั้งสองตัวจะมาจาก คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า

รูปที่ 4.44 แสดงให้เห็นกรณีที่ จุดตัด คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า มีค่าความเหมือนในตำแหน่งที่มากกว่าจุดตัด คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง ซึ่งเราจะเลือกเอาจุดตัด คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า เป็นตำแหน่งจุดตัดที่เหมาะสม โดยตัวอักษรที่ได้และค่าความเหมือนคือ น 0.818099 ส่วนของ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง ค่าที่ได้ดีที่สุดคือ ก 0.952639 แต่เนื่องจากตำแหน่งจุดตัด คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า มากกว่า คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง เราจึงเลือกค่าของ คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง ที่ได้จาก คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า แทนคือ ง 0.807467

จุดตัด	คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้า	คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง	TR sub1	TR sub2
P_j	จ	ก	จ= 0.675103	ค= 0.909903
P_k	ข	ค	ข= 0.777815	ค= 0.952639
P_l	ค	จ	ค= 0.777173	ข= 0.692149
P_m	ค	จ	น= 0.818099	ง= 0.807467

รูปที่ 4.44 แสดงให้เห็นกรณีที่ จุดตัดคอมโพเนนต์ย่อยส่วนหน้ามีตำแหน่งจุดตัดมากกว่า คอมโพเนนต์ย่อยส่วนหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.6 การหาจุดตัดโดยวิธีการรู้จำตัวอักษรแบบจำนวนแองน้ำที่เกิดขึ้น จะแตกต่างจากแบบที่ 1-5 โดยงานวิจัยนี้สังเกตว่าจากรายที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ย CL TR BR และ CTB จากกลุ่มลายมือตัวอย่าง 50 คน พบว่าลักษณะของแองน้ำแบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับตัวอักษรไทย มีจำนวนแองน้ำรูปแบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นไม่เท่ากัน ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะนำมาจำตัวอักษรได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองแนวคิดโดยจะทำการตัดตัวอักษรที่เชื่อมติดกันมากกว่าสองตัวเช่นเดียวกับรูปแบบที่ 1 แต่จะใช้การรู้จำตัวอักษรแบบจำนวนแองน้ำที่เกิดขึ้น แทนการใช้การรู้จำแบบคูทิศทางการเขียน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ว่าสามารถทำได้หรือไม่

ตาราง 4.7 แสดงค่าเฉลี่ย CL TR BR และ CTB จากกลุ่มลายมือตัวอย่าง 50 คน

อักษร	CL	TR	BR	CTB	อักษร	CL	TR	BR	CTB
ก	0	0.1	1.1	1.2	ป	0.8	1	0	1.8
ข	1	0.9	0.3	2.2	ผ	0.9	1.1	1	3
ค	1	0	1	2	ฝ	0.7	1.1	1	2.8
ฅ	1.4	1.1	1.9	4.4	พ	0.9	1.3	0.9	3.1
ง	0.9	1	0.1	2	ฟ	0.9	1.2	1	3.1
จ	0.6	0.1	0.9	1.6	ภ	0.9	0	1	1.9
ฉ	1.8	0.7	1.6	3.1	ม	1.9	1	0.8	3.7
ช	1.6	0.6	0.2	2.4	ย	0.8	1.1	0	1.9
ฌ	1.5	1.1	0.7	3.3	ร	1	0.1	0.1	1.2
ท	0.6	1.7	2	2.5	ล	1	0.3	1.7	3
ด	0.8	0	1	1.8	ว	0.9	0	0.8	1.7
ต	0.8	0.6	1	2.4	ศ	1.1	0.4	1	2.5
ถ	1	0	1.1	2.1	ษ	1.7	1.1	0	2.8
ท	0.8	1	1.1	2.9	ส	1	0.5	1.2	2.7
ธ	0.8	0.2	0	1	ห	1.7	1	1	3.7
น	1.2	1.1	0.8	3.1	อ	1	0.5	0.2	1.7
บ	0.7	1	0.2	1.9	ฮ	1.8	0.9	0	2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.6.1 การรู้จำตัวอักษรแบบจำนวนแอ่งน้ำที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนแรกทำการหาคุณสมบัติแอ่งน้ำของอินพุตที่ต้องการตรวจสอบ หลังจากหาคุณสมบัติแอ่งน้ำของอินพุต จะกำหนดให้

CL_{input}	หมายถึง	จำนวนลูปปิดของอินพุต
TR_{input}	หมายถึง	จำนวนแอ่งน้ำบนของอินพุต
BR_{input}	หมายถึง	จำนวนแอ่งน้ำล่างของอินพุต
CL_i	หมายถึง	จำนวนลูปปิดของตัวอักษรต้นแบบที่ i
TR_i	หมายถึง	จำนวนแอ่งน้ำบนของตัวอักษรต้นแบบที่ i
BR_i	หมายถึง	จำนวนแอ่งน้ำล่างของตัวอักษรต้นแบบที่ i
i	หมายถึง	ตัวอักษรต้นแบบ เช่น CL_n จำนวนลูปปิดของตัวอักษรต้นแบบ n จากตารางที่ 4.7 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $CL_n = 0$
Δdef_i	หมายถึง	ผลรวมค่าความแตกต่างระหว่างตัวอักษรอินพุตกับตัวอักษรต้นแบบ i

ขั้นตอนที่สองทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติแอ่งน้ำต่างที่หามาของอินพุตกับอักษรต้นแบบตามสมการที่ 4-4

$$\Delta def_i = |CL_i - CL_{input}| + |TR_i - TR_{input}| + |BR_i - BR_{input}| \quad (4-4)$$

โดยที่ค่า Δdef_i มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกับตัวอักษรต้นแบบ i น้อยและยิ่งมีค่า Δdef_i มากขึ้น หมายความว่ามีความแตกต่างกับตัวอักษรต้นแบบ i มากขึ้นตามลำดับ

จากสมการที่ 4-4 สามารถนำมาจำตัวอักษรด้วยวิธีการแอ่งน้ำที่เกิดขึ้นได้ โดยอาศัยค่า Δdef_i โดยใช้วิธีการคำนวณแบบตาราง (Table look-up) โดยใช้สมการ 4-4 กับตัวอักษรทั้งหมดในตารางที่ 4.7 ซึ่งจะสรุปได้ว่าตัวอักษรต้นแบบ i ใดที่ให้ค่า Δdef_i น้อยที่สุดแสดงว่าอินพุตเป็นอักษรตัวที่ i ดังกล่าว ตัวอย่างเช่น อินพุตดังในรูปที่ 4.45 แสดงให้เห็นว่าอินพุตมีคุณสมบัติ ดังนี้ $CL_{input} = 2$ $TR_{input} = 1$ และ $BR_{input} = 1$ หลังจากนั้นนำคุณสมบัติที่ได้เข้าสมการที่ 4-4 จะได้ค่าผลรวมความแตกต่างตามตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 แสดงให้เห็นคุณสมบัติของแอ่งน้ำ

ตารางที่ 4.8 ค่าผลรวมความแตกต่างของอินพุตตามรูปที่ 4.45

อักษรต้นแบบ	Δdef	อักษรต้นแบบ	Δdef
ก	3	ป	2.2
ข	1.8	ผ	1.2
ค	2	ฝ	1.4
ฅ	1.6	พ	1.5
ง	2	ฟ	1.3
จ	2.4	ภ	1.1
ฉ	1.1	ม	0.3
ช	1.6	ย	2.3
ฌ	0.9	ร	2.8
ฎ	3.1	ล	2.4
ด	2.2	ว	2.3
ต	1.6	ศ	1.5
ถ	2.1	ษ	1.4
ท	1.3	ส	1.7
ธ	3	ห	0.3
น	1.1	อ	2.3
บ	2.1	ฮ	1.3

จากตารางที่ 4.8 จะทำการค้นหาค่าผลรวมความแตกต่างที่น้อยที่สุดแล้วสรุปว่าอินพุตที่ตรวจจอบมีลักษณะคล้ายตัวอักษรต้นแบบตัวใด ในตัวอย่างนี้ผลรวมค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดคือ 0.3 การรู้จำตัวอักษรที่ได้คือ “ม” และ “ห”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของการตัดตัวอักษรเขียนไทยแบบข้อมูลออนไลน์ด้วยเทคนิคเอน้ำและการรู้จำตัวอักษรแบบคูทิศทาง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองคือ การทดลองตรวจสอบคอมพิวเตอร์เน้นที่ว่าเป็นอักษรเขียนเดี่ยวหรืออักษรเขียนต่อเนื่อง การทดลองตัดตัวอักษรเขียนต่อเนื่องสองตัวติดและการทดลองตัดตัวอักษรเขียนต่อเนื่องมากกว่าสองตัวติด โดยพิจารณาวัตถุประสงค์ในเรื่องความถูกต้องซึ่งจะตรวจสอบจากการสังเกตและการรู้จำตัวอักษร พร้อมทั้งอธิบายถึงลักษณะปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากแต่ละผลการทดลอง

5.1 การทดลองตรวจสอบคอมพิวเตอร์เน้นที่ว่าเป็นอักษรเขียนเดี่ยวหรืออักษรเขียนต่อเนื่อง

การทดลองตรวจสอบคอมพิวเตอร์เน้นที่ว่าเป็นอักษรเขียนเดี่ยวหรืออักษรเขียนต่อเนื่อง เป็นการทดลองเพื่อที่จะระบุคอมพิวเตอร์เน้นที่นำมาตรวจสอบว่าเป็นอักษรเดี่ยวหรืออักษรเขียนต่อเนื่อง โดยข้อมูลที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยชุดอักษร สระและวรรณยุกต์ อักษรเขียนต่อเนื่องสองตัวติดในรูปแบบที่ 1, 2, 3, 4 และชุดอักษรเขียนต่อเนื่องมากกว่าสองตัวติด สำหรับจำนวนในแต่ละชุดข้อมูลและรูปแบบของคอมพิวเตอร์เน้นที่แสดงให้เห็นในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองเฉพาะชุดอักษร สระและวรรณยุกต์ ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองเฉพาะชุดอักษรที่เชื่อมติดกัน

ตารางที่ 5.1 แสดงจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ทดลอง

รูปแบบคอมพิวเตอร์เน้นที่	อักษรเขียนเดี่ยว	อักษรเขียนต่อเนื่อง	จำนวน
ตัวอักษร	x		352
สระและวรรณยุกต์	x		144
อักษรเชื่อมติดกันรูปแบบที่ 1		x	100
อักษรเชื่อมติดกันรูปแบบที่ 2		x	50
อักษรเชื่อมติดกันรูปแบบที่ 3		x	50
อักษรเชื่อมติดกันรูปแบบที่ 4		x	50
อักษรเชื่อมติดกันมากกว่าสองตัว		x	50
รวม	496	300	796

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองระบุประเภทของคอมโพเน้นท์ของตัวอักษรสระและวรรณยุกต์

รูปแบบคอมโพเน้นท์		ผลการระบุประเภทคอมโพเน้นท์	
	จำนวน	อักษรเขียนเดี่ยว	อักษรเขียนต่อเนื่อง
ตัวอักษรเดี่ยว	352 (144)*	334 (136.88)*	18 (7.37)*
สระและวรรณยุกต์	144	139	5
รวม	496 (288)*	463 (275.88)*	23 (12.37)*
%		93.35% (95.79%)*	6.65% (4.29%)*

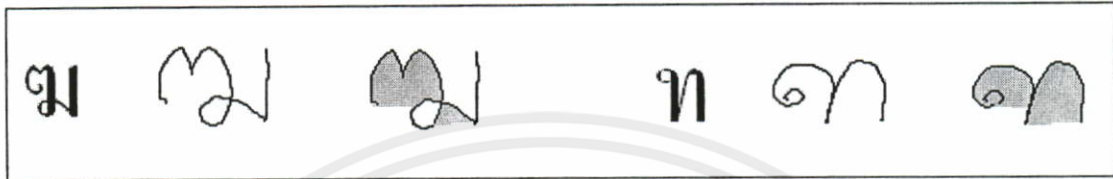
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองเฉพาะชุดอักษรที่เชื่อมติดกัน

รูปแบบคอมโพเน้นท์		ผลการระบุประเภทคอมโพเน้นท์	
	จำนวน	อักษรเขียนเดี่ยว	อักษรเขียนต่อเนื่อง
อักษรเขียนเชื่อมติดกันรูปแบบที่ 1	100 (50)*	13 (6.5)*	87 (46.5)*
อักษรเขียนเชื่อมติดกันรูปแบบที่ 2	50	3	47
อักษรเขียนเชื่อมติดกันรูปแบบที่ 3	50	3	47
อักษรเขียนเชื่อมติดกันรูปแบบที่ 4	50	2	48
อักษรเขียนเชื่อมติดกันมากกว่า สองตัว	50	-	50
รวม	300 (250)*	21 (14.5)*	279 (238.5)*
%		7% (5.8%)*	93% (95.4%)*

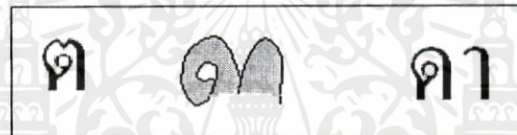
หมายเหตุ * หมายถึงการปรับค่าตามจำนวนของอินพุตเพื่อให้ข้อมูลมีความสำคัญเท่ากัน

จากตารางผลการทดลองที่ 5.2 และ 5.3 แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้สามารถระบุคอมโพเน้นท์ว่าเป็นอักษรเขียนเดี่ยวหรืออักษรเขียนต่อเนื่อง ได้ถูกต้อง 95.595% $((95.79+95.4)/2)$ แต่ก็ยังมีจำนวนคอมโพเน้นท์ที่ระบุไม่ถูกต้องอยู่ 4.405 % ซึ่งหากดูเฉพาะชุดตัวอักษรเดี่ยวในตารางที่ 5.2 พบว่า ในจำนวน 352 คอมโพเน้นท์ที่นำมาทดลองมีจำนวนที่ระบุประเภทคอมโพเน้นท์ที่ผิดอยู่ 18 คอมโพเน้นท์ ซึ่งคิดเป็น 5.11 % โดยหลังจากดูตัวอย่างของคอมโพเน้นท์ที่ระบุประเภทคอมโพเน้นท์ผิดพลาด พบว่า ปัญหาที่เกิดมาจากการที่ตัวพยัญชนะบางตัวมีการเขียนในส่วนหัวที่โตมากเกินไป ทำให้วิธีการหาของงานวิจัยนี้มองส่วนดังกล่าวเป็นแอ่งน้ำล่างขนานใหญ่ ซึ่งจะกลายเป็นการตีความหมายส่วนที่เกินมาคือพื้นที่ของตัวอักษรอีกหนึ่งตัวไป ดังเช่นรูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างของ

การเขียนตัวอักษรที่ส่วนหัวมีขนานใหญ่จนถูกระบุว่าเป็นคอมโพเนนต์แบบอักษรเขียนต่อเนื่อง และนอกจากปัญหาข้างต้นยังพบอีกปัญหาหนึ่งคือมีตัวอักษรที่มีหยักตรงกลางลึกกว่าปกติ อย่างเช่น “ต” หากมีการเขียนหยักตรงกลางลงมาลึกก็จะเกิดแอ่งน้ำล่างสองแห่งที่ปากของแอ่งน้ำล่างอยู่ในเขต 50 % ล่างของพื้นที่คอมโพเนนต์มันเอง ทำให้ถูกระบุว่าเป็นอักษรเขียนเชื่อมติดกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 การเขียนตัวอักษรที่ส่วนหัวมีขนานใหญ่กว่าปกติ



รูปที่ 5.2 การเขียนรอยหยักลึกกว่าปกติ

นอกจากปัญหาทั้งสองที่กล่าวมาแล้ว การเขียนลากหางยาวเกินความจำเป็นก็จะทำให้การระบุประเภทของคอมโพเนนต์ผิดพลาดได้ ตัวอย่างเช่น อักษร “พ” หากเขียนหางยาวไปอาจทำให้ปากของแอ่งน้ำล่างมีพื้นที่น้อยกว่า 60 % ของความยาวคอมโพเนนต์มันเอง ดังนั้นคอมโพเนนต์จะถูกระบุว่าเป็นอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันแต่ถ้าเขียนหางยาวปกติพบว่าปากแอ่งน้ำล่างจะมีความยาวมากกว่า 60% ของความยาวคอมโพเนนต์ ก็จะถูกระบุว่าเป็นอักษรเดี่ยว ดังในรูปที่ 5.3



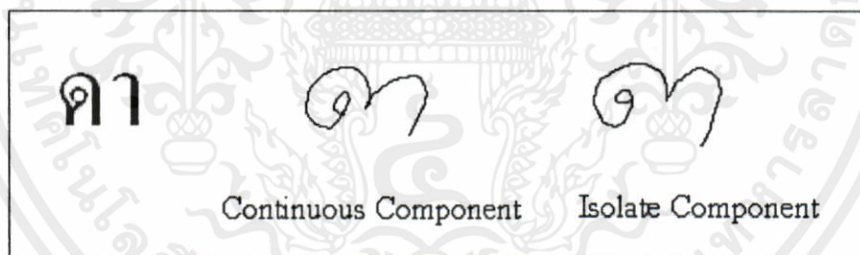
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 5.3 การเขียนอักษรที่มีหางยาวมากเกินไป

ในส่วนของสระนั้นจากการทดลองพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นมาจากสระจำพวก “โ” “ใ” และ “โ” เนื่องจากในการเขียนสระกลุ่มนี้จะเกิดแอ่งน้ำเหนือเส้นบรรทัดและหากเขียนในส่วนของหัวสระเป็นแอ่งน้ำบนแล้วมีความสูงของแอ่งน้ำส่วนนั้นเกินที่กำหนด ก็จะทำให้ถูกระบุว่าเป็นอักษรเขียนต่อเนื่องไป ตัวอย่างเช่นรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 การเขียนหัวของสระ “โ” และ “ใ” เป็นแอ่งน้ำบนที่สูงกว่าค่าที่กำหนด

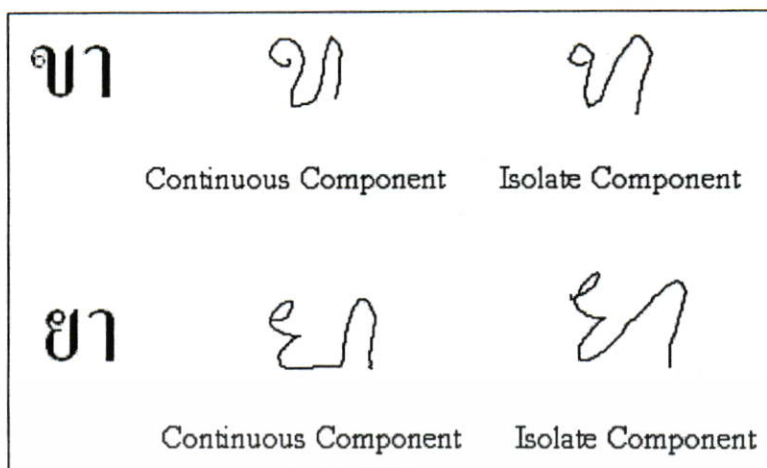
สำหรับผลการทดลองในตารางที่ 5.3 เป็นการทดลองเฉพาะในส่วนของคอมโพเนนต์อักษรเขียนต่อเนื่อง โดยจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ายังมีส่วนที่ระบุผิดอยู่จำนวน 7% ซึ่งส่วนที่ระบุผิดพลาดเกิดขึ้นตรงกันข้ามกับรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตัวอย่างเช่น หากเขียนคำว่า “คา” แต่หยักลงมาน้อยเกินไปก็จะทำให้ระบุว่าเป็นตัวอักษรเขียนเดี่ยว ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 การเขียนจุดเชื่อมต่อหยักลงมาน้อยกว่าควรจะเป็น

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นการเขียนตัวอักษรที่ทำให้เกิดแอ่งน้ำบนเชื่อมกับสระอา ก็ทำให้การระบุคอมโพเนนต์ผิดพลาดได้เช่นกัน ด้วยเหตุผลที่ว่าลักษณะคอมโพเนนต์ที่เกิดขึ้นจะไปคล้ายกับอักษรเขียนเดี่ยว “ท” ตัวอย่างเช่น คำว่า “ขา” และ “ยา” หากเขียนตัวอักษรตัวหน้ามีขนาดเล็กเกินไป จะทำให้เกิดคุณสมบัติคล้ายตัว “ท” ดังรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงการเขียนอักษรที่ทำให้เกิดแอ่งน้ำบนเชื่อมกับสระอาแล้วอาจจะทำให้เกิดปัญหาหากเขียนขนานตัวอักษรส่วนหน้าฐานเล็กเกินไป

5.2 การทดลองตัดตัวอักษรเขียนต่อเนื่องสองตัวติด

การทดลองตัดตัวอักษรเขียนต่อเนื่องสองตัวติดเป็นการทดลองการหาจุดตัดของกลุ่มของตัวอักษรเขียนสองตัวที่เชื่อมติดกัน โดยข้อมูลที่น่ามาใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยกลุ่มตัวอักษรที่เชื่อมติดกันในแบบที่ 1 2 3 และ 4 อย่างละ 50 คอมโพเนนต์ รวม 200 คอมโพเนนต์ ซึ่งทั้ง 200 คอมโพเนนต์ได้ผ่านการตรวจสอบในการทดลองที่ 5.1 แล้วว่าเป็นอักษรเขียนเชื่อมติดกัน

ผลการทดลองในตารางที่ 5.4 แสดงการหาจุดตัดของคอมโพเนนต์ทั้งหมดที่นำมาทดลอง (คอมโพเนนต์แบบที่ 1 จะเป็นกลุ่มของจุดตัดที่เป็นไปได้หลายจุด ส่วนในแบบที่ 2 3 และ 4 จะเป็นรูปแบบจุดตัดที่มีจุดตัดตายตัว) ผลการทดลองในตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดลองการตัดอักษรเขียนที่เชื่อมติดกันเฉพาะกลุ่มของคอมโพเนนต์แบบที่ 1 และผลการทดลองในตารางที่ 5.6 แสดงผลการทดลองการตัดอักษรที่เชื่อมติดกันในส่วนของคอมโพเนนต์เฉพาะกลุ่มที่ 2 3 และ 4

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดลองหาจุดตัดในคอมโพเนนต์แบบที่ 1 2 3 และ 4

คอมโพเนนต์อักษรที่เชื่อมติดกัน	มีจุดตัดที่ถูกต้อง
200	192 (96%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดลองการตัดอักษรที่เชื่อมติดกันเฉพาะกลุ่มของคอมโพเนนต์แบบที่ 1

คอมโพเนนต์ แบบที่ 1	มีจุดตัดที่ถูกต้อง	การรู้จำตัวอักษรส่วนหน้า		การรู้จำตัวอักษรส่วนหลัง	
		ถูก	ไม่ถูก	ถูก	ไม่ถูก
50	50	37	13	23	27
%	100%	74%	26%	46%	54%

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการทดลองการตัดอักษรที่เชื่อมติดกันของคอมโพเนนต์กลุ่มที่ 2 3 และ 4

รูปแบบคอมโพเนนต์	หาจุดตัดถูกต้อง		หาจุดตัดไม่ถูกต้อง	
	จำนวน	%	จำนวน	%
แบบที่ 2	45	90%	5	10%
แบบที่ 3	47	94%	3	6%
แบบที่ 4	50	100%	-	-

จากผลการทดลองตารางที่ 5.5 สังเกตได้ว่าวิธีการที่นำมาใช้ในการหาจุดตัดสามารถหาจุดตัดที่เหมาะสมได้ถึง 100% แต่หลังจากที่นำไปรู้จำตัวอักษรผลปรากฏว่ามีความถูกต้องในการรู้จำตัวอักษรน้อยมาก โดยอักษรตัวหน้าผิดไป 26% และส่วนหลังผิดไป 54% ทั้งนี้จากการสังเกตเบื้องต้นพบว่า การที่ทำการรู้จำตัวอักษรผิดเป็นผลมาจากการที่ไปตัดตัวของอักษรต้นแบบที่นำมาใช้ในการรู้จำตัวอักษรเขียนเป็นชุดตัวอักษรสำหรับอักษรเขียนเดี่ยว แต่อักษรเดี่ยวที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นอักษรเดี่ยวที่ถูกตัดมา ดังนั้นจะมีเส้นที่ไม่ต้องการเชื่อมติดมาด้วย เป็นผลให้การรู้จำตัวอักษรผิดไป เนื่องจากส่วนที่เกินจะไปทำให้เกิดทิศทางการเขียนเพิ่มตามมา

ตัวอย่างการตัดที่สมบูรณ์และรู้จำตัวอักษรเขียนแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งเป็นคอมโพเนนต์อักษรเขียนต่อเนื่องของคำว่า “คน” โดยจุดตัดที่เหมาะสมแสดงอยู่ในกรอบดังรูป ส่วนตัวอย่างการหาจุดตัดที่ถูกต้องแต่การรู้จำตัวอักษรผิดแสดงในรูปที่ 5.8 ซึ่งเป็นคอมโพเนนต์อักษรเขียนต่อเนื่องของคำว่า “อย” แต่ในส่วนของ การรู้จำตัวอักษรมีการรู้จำตัวอักษรที่ผิดไปจากที่ควรจะเป็นคือ “อ” เป็น “ว” และ “ย” เป็น “ผ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B-1[T] # ค-5998[TR]= 0.733459

๑ นบ

B-1[T] # ณ-5759[TR]= 0.781134

B-1[T] # ค-6006[TR]= 0.930594

๑ นบ

B-1[T] # ณ-5694[TR]= 0.773612

๑ นบ

B-1[T] # ท-19441[TR]= 0.858517

๑ นบ

B-1[T] # น-19586[TR]= 0.836028

B-1[T] # ท-5164[TR]= 0.836082

๑ นบ

B-1[T] # ท-14931[TR]= 0.673104

B-1[T] # ช-3320[TR]= 0.809599

๑ นบ

B-1[T] # น-19586[TR]= 0.848653

รูปที่ 5.7 แสดงการหาจุดตัดที่ถูกต้องและการรู้จำตัวอักษรที่ถูกต้อง

B-1[T] # ท-6615[TR]= 0.708808

๑ นบ

B-1[T] # ช-14787[TR]= 0.881802

B-1[T] # ย-23329[TR]= 0.887004

๑ นบ

B-1[T] # ย-11876[TR]= 0.769103

๑ นบ

B-1[T] # จ-12948[TR]= 0.846200

๑ นบ

B-1[T] # ศ-9495[TR]= 0.796384

B-1[T] # ย-23329[TR]= 0.759587

๑ นบ

B-1[T] # ศ-9668[TR]= 0.598236

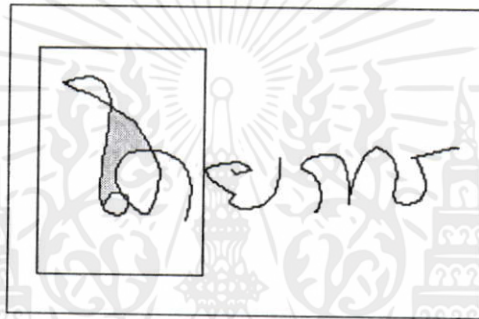
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

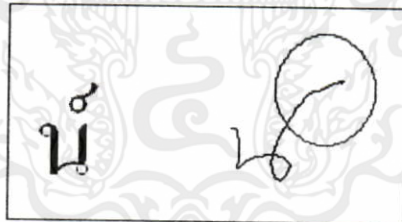
รูปที่ 5.8 แสดงการหาจุดตัดที่ถูกต้องแต่มีการจำรู้จำตัวอักษรที่ไม่ถูกต้อง

สำหรับผลการทดลองในตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่ามีการหาจุดตัดที่ไม่ถูกต้องในสองรูปแบบคือ รูปแบบที่ 2 และ 3 ซึ่งในรูปแบบที่ 2 จากตัวอย่างที่ตัดผิดพลาดพบว่าเป็นการเขียนที่ซ้อนทับกันระหว่างอักษรตัวแรกและอักษรตัวที่สอง ทำให้ไม่สามารถหาจุดตัดได้เนื่องจากไม่พบบริเวณแอ่งน้ำตามรูปแบบการตัดที่กำหนด ส่วนการหาจุดตัดที่ผิดพลาดในกรณีรูปแบบที่ 3 เกิดจากการเขียนวรรณยุกต์ เช่น การันต์ โดยการลากส่วนการันต์ไปตรงๆ ทำให้ไม่สามารถหาบริเวณที่จะเป็นจุดตัดได้

ในรูปที่ 5.9 แสดงการเขียนซ้อนทับกันทำให้ไม่สามารถหาจุดตัดที่ถูกต้อง ส่วนในรูปที่ 5.10 แสดงตัวอย่างการเขียนตัวการันต์ลากหางต่อจากตัวอักษร โดยตรงและไม่เกิดแอ่งน้ำขึ้น จึงทำให้ไม่สามารถหาจุดตัดได้



รูปที่ 5.9 การเขียน “โ” และ “ค” ซ้อนทับกันทำให้หาจุดตัดที่ผิดพลาด



รูปที่ 5.10 แสดงการเขียน “น้” โดยตรงลากหางไปโดยตรงทำให้ไม่เกิดแอ่งน้ำ

5.3 การทดลองตัดตัวอักษรเขียนต่อเนื่องมากกว่าสองตัวติด

การทดลองตัดตัวอักษรเขียนต่อเนื่องมากกว่าสองตัวติดเป็นการทดลองหาจุดตัดที่มากกว่าสองตัวอักษรเขียนเชื่อมกัน โดยจะทำการหาจุดตัดที่เป็นไปได้จากคุณสมบัติแอ่งน้ำหลังจากนั้นจะทำการตัดทีละจุดและรู้จำตัวอักษรในส่วนที่ตัดออกมาพร้อมวัดค่าความเหมือนกับตัวอักษรต้นแบบว่าจุดใดให้ค่าความเหมือนสูงสุดจะเลือกจุดดังกล่าวเป็นจุดตัดที่เหมาะสม

จากการทดลองพบว่าคอมพิวเตอร์ไม่สามารถระบุคอมพิวเตอร์นี้ได้ว่าเป็นอักษรเขียนต่อเนื่องมากกว่าสองตัวเพราะว่าคุณลักษณะที่ได้ไปเหมือนกับกลุ่มอักษรเขียนเชื่อมติดสองโดยที่มีแอ่งน้ำล่างสองแอ่งและอีกประการหนึ่งหากมองจากรูปที่ 5.12 จะเห็นได้ว่าการเขียนคำว่า “การ” นั้นมีลักษณะที่ดูได้อีกแบบคือ “กช” ด้วยเหตุนี้จึงไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าจะต้องเป็นคำว่าอะไรจึงจะถูกต้อง ส่วนผลการทดลองเลือกจุดตัดแสดงในรูปที่ 5.13 – 5.16 ซึ่งเป็นตัวอย่างการหาจุดของคอมพิวเตอร์ “มาก” “ทาน” “สนาน” และ “ความ”



รูปที่ 5.12 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับคอมพิวเตอร์ “การ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก

อ มาก

ข มาก

ค มาก

ด มาก

ด มาก

การรู้จำตัวอักษรส่วนแรก

การรู้จำอักษรส่วนหลัง

B-1[T] #จ-14931[TR]= 0.902673	B-1[T] #ภ-10938[TR]= 0.783744
B-1[T] #ค-16327[TR]= 0.928463	B-1[T] #ท-7355[TR]= 0.860630
B-1[T] #ม-881[TR]= 0.932943	B-1[T] #ท-7355[TR]= 0.848160
B-1[T] #ต-21001[TR]= 0.906316	B-1[T] #ก-881[TR]= 0.849243
B-1[T] #พ-10214[TR]= 0.846392	B-1[T] #า-23592[TR]= 0.659959

คอมโพเนนต์ที่เหลือจากการตัด

Isolated Component

คอมโพเนนต์ย่อยที่ได้ทั้งหมด

มาก

รูปที่ 5.13 ผลการทดลองตัดคำว่า "มาก"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กทบ

ค กทบ

ง กทบ

จ กทบ

ช กทบ

ซ กทบ

ด กทบ

ต กทบ

ถ กทบ

การรู้จำตัวอักษรส่วนแรก

การรู้จำตัวอักษรส่วนหลัง

B-1[T] #ก-18539[TR]= 0.721945	B-1[T] #ณ-20871[TR]= 0.782285
B-1[T] #ข-14931[TR]= 0.913133	B-1[T] #ณ-20871[TR]= 0.795783
B-1[T] #ท-22897[TR]= 0.919246	B-1[T] #ณ-20871[TR]= 0.795783
B-1[T] #ม-11411[TR]= 0.905796	B-1[T] #ณ-19331[TR]= 0.815974
B-1[T] #ม-11411[TR]= 0.745082	B-1[T] #น-800[TR]= 0.841927
B-1[T] #ณ-5434[TR]= 0.879333	B-1[T] #น-16822[TR]= 0.798220
B-1[T] #ต-6762[TR]= 0.789792	B-1[T] #จ-877[TR]= 0.837253
B-1[T] #ต-6627[TR]= 0.765504	B-1[T] #จ-12860[TR]= 0.724693

คอมโพเนนท์ที่เสี่ยงจากการตัด

Isolated Component

คอมโพเนนท์ย่อยที่ได้ทั้งหมด

จ กทบ

รูปที่ 5.14 ผลการทดลองตัดคำว่า "ทาน"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัทนาม

ล าทน
 ล าทน
 ล าทน
 ล าทน
 ล าทน
 ล าทน
 ล าทน
 ล าทน
 ล าทน
 ล าทน
 ล าทน

การรู้จำตัวอักษรส่วนแรก

การรู้จำตัวอักษรส่วนหลัง

B-1[T] # ๓-12760[TR]= 0.845174	B-1[T] # ๓-5615[TR]= 0.789996
B-1[T] # ๓-12776[TR]= 0.905648	B-1[T] # ๓-5615[TR]= 0.798796
B-1[T] # ๓-23584[TR]= 0.927528	B-1[T] # ๓-5615[TR]= 0.822031
B-1[T] # ๓-23584[TR]= 0.864090	B-1[T] # ๓-800[TR]= 0.819171
B-1[T] # ๓-23584[TR]= 0.829582	B-1[T] # ๓-7848[TR]= 0.803058
B-1[T] # ๓-23584[TR]= 0.826954	B-1[T] # ๓-7848[TR]= 0.804554
B-1[T] # ๓-23584[TR]= 0.824031	B-1[T] # ๓-800[TR]= 0.912003
B-1[T] # ๓-1378[TR]= 0.799213	B-1[T] # ๓-800[TR]= 0.871894
B-1[T] # ๓-4975[TR]= 0.797298	B-1[T] # ๓-1669[TR]= 0.741245
B-1[T] # ๓-4975[TR]= 0.759883	B-1[T] # ๓-12828[TR]= 0.571017

คอมโพเนนท์ที่เชื่อมจากการตัด

๓

Connected Component

การรู้จำตัวอักษรส่วนแรก

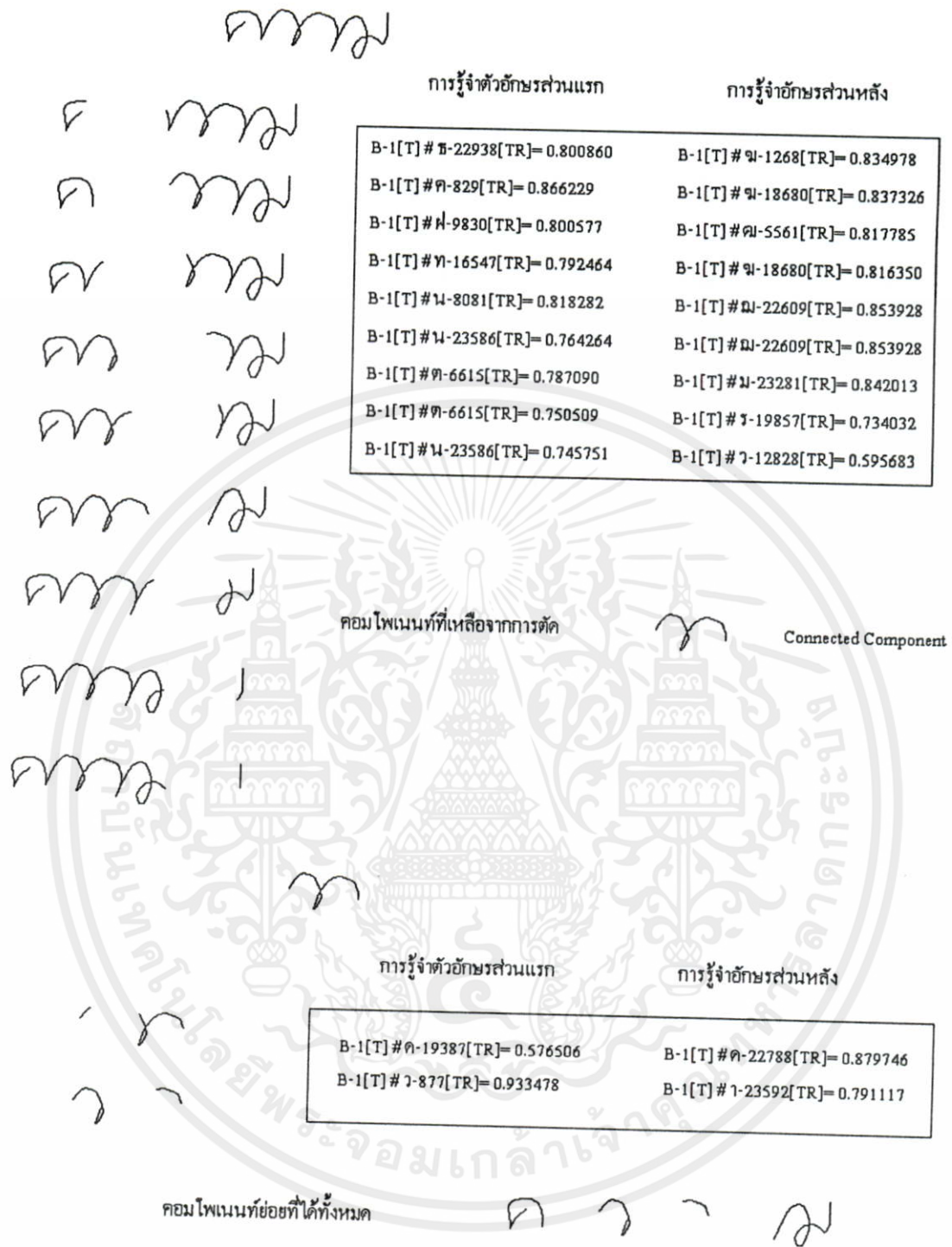
การรู้จำตัวอักษรส่วนหลัง

B-1[T] # ๓-1628[TR]= 0.602289	B-1[T] # ๓-6022[TR]= 0.920778
B-1[T] # ๓-879[TR]= 0.737503	B-1[T] # ๓-23592[TR]= 0.967861
B-1[T] # ๓-879[TR]= 0.902378	B-1[T] # ๓-23592[TR]= 0.759881

คอมโพเนนท์ย่อยที่ได้ออกมา

ล าทน) ๓

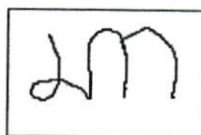
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 5.15 ผลการทดลองตัดคำว่า "สนาม" ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 ผลการทดลองตัดคำว่า "ความ"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการเขียนเส้นซ้อนทับกันแบบแนบสนิทคือการหาจุดตัดที่ไม่ถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 5.17 คอมโพเนนต์คำว่า “มาก” ระหว่าง “า” และ “ก” มีการเขียนทับกัน โดยแนบสนิททำให้ไม่เกิดแอ่งน้ำใดๆ เกิดขึ้น ทำให้การหาจุดตัดไม่สามารถทำได้ถูกต้อง ดังในรูปที่ 5.18 ผลจากการตัดคอมโพเนนต์คำว่า “มาก” ที่ผิดพลาดไป



รูปที่ 5.17 คอมโพเนนต์ “มาก” ที่ “า” และ “ก” มีการเขียนทับกันโดยแนบสนิท



รูปที่ 5.18 ผลการตัดที่ไม่ถูกต้องจากปัญหาการเขียนทับกัน

5.4 การทดลองการรู้จำตัวอักษรแบบจำนวนแอ่งน้ำที่เกิดขึ้น

การทดลองการรู้จำตัวอักษรแบบจำนวนแอ่งน้ำที่เกิดขึ้นเป็นการทดลองเพื่อดูความเป็นไปได้ในการนำการรู้จำตัวอักษรแบบดังกล่าวมาเป็นตัวช่วยตัดสินใจในการเลือกจุดตัดที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากการรู้จำแบบคูทิสทางการเขียนต้องใช้เวลาในการคำนวณหาคุณสมบัติทิศทาง การเขียน ด้วยเหตุนี้การนำคุณสมบัติแอ่งน้ำที่เคยได้หาไว้ก่อนหน้าแล้วมาทำการรู้จำแทนการรู้จำแบบคูทิสทางการเขียนจึงน่าจะได้ประสิทธิภาพในด้านของเวลาดีกว่า

ในตารางที่ 5.8 แสดงผลการทดลองการรู้จำตัวอักษรด้วยแบบจำนวนแอ่งน้ำที่เกิดขึ้น โดยเป็นการทดลองกับอักษรเขียนเดี่ยวที่ได้จากการตัดจำนวน 200 คอมโพเนนต์

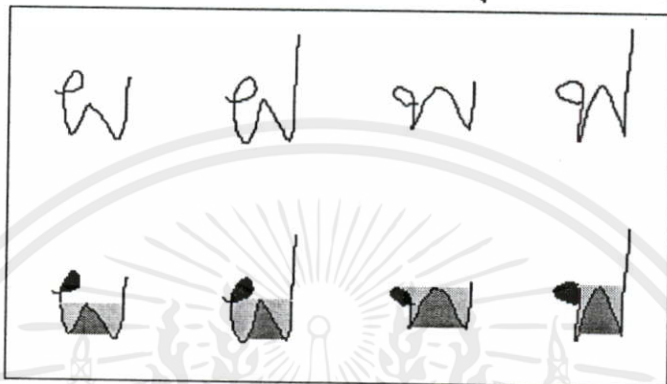
ตารางที่ 5.8 แสดงผลการทดลองการรู้จำตัวอักษรด้วยแบบจำนวนแอ่งน้ำที่เกิดขึ้น

อักษรเขียนเดี่ยว	การรู้จำตัวอักษรจำนวนแอ่งน้ำที่เกิดขึ้น	
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
200	126	74
%	63%	37%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากตารางที่ 5.8 แสดงให้เห็นว่าการรู้จำตัวอักษรแบบจำนวนแอ่งน้ำที่เกิดขึ้นยังให้ผลการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยไม่ดีเมื่อเทียบกับการรู้จำตัวอักษรแบบคูทิสทางการเขียน โดยที่การรู้จำตัวอักษรแบบจำนวนแอ่งน้ำที่เกิดขึ้นทำได้ถูกต้องเพียง 63% ส่วนการรู้จำตัวอักษรแบบคูทิส

ทางการเขียนทำได้ถึง 97.5% [11] ด้วยสาเหตุดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงเลือกการรู้จำตัวอักษรแบบคูทิสทางการเขียนมาเป็นตัวช่วยตัดสินใจในการเลือกจุดตัดที่เหมาะสมที่สุด

สาเหตุที่การรู้จำแบบคูเอ่งน้ำที่เกิดขึ้นสามารถรู้จำตัวอักษรได้เพียง 63% และไม่ถูกต้องถึง 37 มาจากการที่ตัวอักษรภาษาไทยที่ต่างกันสามารถมีจำนวนเอ่งน้ำที่เท่ากันได้พอดี ตัวอย่างเช่น ผ ฝ ฟ ฟ จะมีจำนวนเอ่งน้ำเท่ากันและเหมือนกันทุกประการ ดังในรูปที่ 5.19 ซึ่งทั้งหมดจะให้ค่า $CL = 2$, $TR = 2$ และ $BR = 1$ เหมือนกันหมด ทำให้ไม่สามารถระบุตัวอักษรได้ว่าเป็นตัวอักษรใด



รูปที่ 5.19 แสดงตัวอย่างอักษรภาษาไทยที่มีจำนวนเอ่งน้ำเหมือนกันทุกประการ

และจากตารางที่ 4.7 พบว่าวิธีการรู้จำตัวอักษรแบบจำนวนเอ่งน้ำที่เกิดขึ้นโดยอาศัยค่าเฉลี่ยของการเขียนก็อาจจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการรู้จำตัวอักษรได้ ตัวอย่างเช่น ห และ ม ซึ่งโดยทั่วไปสามารถเขียนได้สองรูปแบบ คือเขียนมีหัวตัวอักษรและไม่มี ดังรูปที่ 5.20 หลังจากนำไปหาค่าผลรวมความแตกต่าง การเขียนมีหัวและไม่มีหัวตัวอักษรก็จะให้ผลการรู้จำที่ไม่เหมือนกัน

อินพุต	คุณสมบัติเอ่งน้ำ			Δdef	การรู้จำตัวอักษร	หมายเหตุ	
	CL	TR	BR				
ม		2	1	1	0.3	ม,ห	มีส่วนถูกต้อง
ห		2	1	1	0.3	ม,ห	มีส่วนถูกต้อง
ม		1	1	2	0.6	ม	ไม่ถูกต้อง
น		1	1	2	0.6	ม	ไม่ถูกต้อง

รูปที่ 5.20 แสดงการเขียนตัวอักษรไทยที่สามารถเขียนทั้งแบบมีหัวและไม่มีหัวตัวอักษร

5.5 สรุปเวลาที่ใช้ในแต่ละการทดลอง

ตารางที่ 5.9 แสดงเวลาการทำงานของการระบุประเภทของคอมโพเนนต์

จำนวนคอมโพเนนต์	เวลาที่ใช้ (วินาที)
200	173.06
เฉลี่ยต่อหนึ่งคอมโพเนนต์	0.865

ตารางที่ 5.10 แสดงเวลาการทำงานของการตัดตัวอักษรสองตัวที่เชื่อมติดกัน

จำนวนคอมโพเนนต์	เวลาที่ใช้ (วินาที)
200	253.75
เฉลี่ยต่อหนึ่งคอมโพเนนต์	1.26875

ตารางที่ 5.11 แสดงเวลาการทำงานเฉลี่ยของการตัดตัวอักษรมากกว่าสองตัวเชื่อมติดกัน

จำนวนคอมโพเนนต์	เวลาที่ใช้ (วินาที)
40	193.78
เฉลี่ยต่อหนึ่งคอมโพเนนต์	4.8445

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองในบทที่ 5 แสดงให้เห็นว่าการตัดตัวอักษรเขียนไทยแบบข้อมูลออนไลน์ในกรณีสองตัวติดได้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่อย่างไรก็ตามการตัดตัวอักษรเขียนที่มากกว่าสองตัวยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการด้วยกัน ดังนั้นจึงมีข้อสรุปสำหรับผลการวิจัยและข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางการทำวิจัยต่อไปดังนี้

6.1 สรุปผลการวิจัย

กระบวนการในการหาจุดตัดอักษรเขียนต่อเนื่องภาษาไทยถือเป็นงานวิจัยใหม่ที่น่าสนใจ เหตุที่ว่าการรู้จำตัวอักษรในปัจจุบันนั้น สามารถรู้จำตัวอักษรได้เฉพาะอักษรเดี่ยวเท่านั้น ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยในกลุ่มของการรู้จำตัวอักษร แต่ในความเป็นจริงของการเขียนโดยทั่วไป มักจะเขียนตามความสะดวกของแต่ละบุคคล เช่น การเขียนโดยการยกปากกาน้อยครั้งที่สุด การเขียนที่ใช้ความเร็วมากกว่าปกติ ทำให้เกิดอักษรเกิดการเชื่อมติดกัน ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่กล่าวมา

วิทยานิพนธ์นี้ทำการประยุกต์แนวคิดทฤษฎีแองน้ำมาใช้กับภาษาไทย โดยการหาคุณสมบัติที่เกิดขึ้นจากทฤษฎีแองน้ำรวมกับการสังเกตลักษณะการเขียนติดภาษาไทยที่เกิดขึ้นและหาจุดตัดที่เป็นไปได้ ซึ่งพบว่าในบางรูปแบบก็มีจุดตัดที่ตายตัวบางรูปแบบก็มีจุดตัดที่หลากหลาย ในกรณีรูปแบบที่ตายตัวนั้นสามารถหาจุดตัดได้อย่างถูกต้องและเป็นที่น่าพอใจ แต่ในส่วนของการตัดในกรณีที่เป็นไปได้หลายรูปแบบนั้นพบว่าหากจะกำหนดรูปแบบจุดตัดที่ตายตัวไปเลย จะทำให้ผลการตัดไม่เป็นที่น่าพอใจ ด้วยเหตุดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงเพิ่มตัวช่วยในการเลือกจุดตัดในกรณีที่เป็นไปได้หลายจุด โดยการนำการรู้จำตัวอักษรเข้ามาช่วย ซึ่งอาศัยผลการรู้จำตัวอักษรในแต่ละจุดมาเปรียบเทียบกันแล้วเลือกค่าความเหมือนที่มากที่สุดมาเป็นตัวตัดสินใจเลือกจุดตัด ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจขึ้นในระดับหนึ่ง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่อีกประการคือความสามารถของการรู้จำตัวอักษรที่นำมาใช้ พบว่าการรู้จำตัวอักษรที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการทำงานแบบคูทิศทางการเขียนซึ่งใช้กับการเขียนแบบออนไลน์ของตัวอักษรเดี่ยว โดยการจับคู่กับตัวอักษรต้นแบบว่าใกล้เคียงค่าใดมากที่สุด แต่เนื่องด้วยผลลัพธ์ที่ได้จากการตัดอักษรเขียนต่อเนื่องหลังจากตัดมาแล้ว อักษรที่ได้นั้นจะมีเส้นที่เกิดจากการลากเชื่อมต่อติดมาด้วยทำให้บางครั้งเส้นเหล่านี้จะไปสร้างมุมการเขียนที่แตกต่างไปจากรูปแบบอักษรเดี่ยวที่ควรจะเป็น ทำให้การรู้จำตัวอักษรผิดพลาดไป เมื่อรู้จำตัวอักษรผิดพลาดก็จะมีผลต่อการตัด โดยตรงทำให้เลือกจุดตัดที่ผิด

6.2 แนวทางการพัฒนา

1. สำหรับรูปแบบการคิดในงานวิจัยนี้ยังไม่ใช้รูปแบบการคิดทั้งหมดของภาษาไทย ซึ่งยังมีการคิดบางรูปแบบที่เกิดขึ้น ดังเช่นรูปแบบในรูปที่ 6.1 ดังนั้นการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไปในอนาคตจะต้องสามารถปรับปรุงหรือหาวิธีการที่เหมาะสมใหม่ๆ มาแยกรูปแบบการคิดดังกล่าว



รูปที่ 6.1 ตัวอย่างรูปแบบที่การคิดยังไม่สามารถแยกได้

2. พัฒนาการรู้จำตัวอักษรที่เหมาะสมกับตัวเขียนต่อเนื่องภาษาไทยโดยเฉพาะหรือหาวิธีการใดที่จะสามารถตัดเส้นที่ไม่จำเป็นหลังจากการตัดตัวอักษรเขียนต่อเนื่อง เนื่องจากตัวเขียนภาษาไทยจะมีรูปแบบของเส้นที่ไม่ต้องการจำนวนหนึ่งเกิดขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้นำการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยที่เหมาะสมกับการรู้จำอักษรที่เขียนทีละตัวมาใช้ ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีจากส่วนของเส้นที่ไม่ต้องการ

3. ในความเป็นจริงของการรู้จำตัวอักษรของมนุษย์พบว่า บางครั้งก็ไม่สามารถระบุตัวอักษรที่เชื่อมกันจะตัดที่จุดใดได้ แต่มนุษย์อาศัยการพิจารณาคำบริบทรอบข้างมาช่วยตัดสินใจว่าจะตัดที่จุดใด ซึ่งวิธีการนี้เองน่าจะมาประยุกต์ใช้กับการหาจุดตัดให้ถูกต้องได้ โดยการใช้พจนานุกรมเข้ามาช่วยโดยอาศัยอักษรที่เกิดขึ้นรอบข้าง แต่การที่จะทำเช่นนี้ได้ต้องพัฒนาการรู้จำตัวอักษรสำหรับอักษรเขียนต่อเนื่องขึ้นมาก่อนเพราะหากไม่สามารถรู้จำตัวอักษรเขียนต่อเนื่องได้ถูกต้องก็ไม่สามารถจะค้นหาคำในพจนานุกรมได้ถูกต้องเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Watcharabutsarakham, S. "Segmentation for touching Thai typewrittens" TENCON 2004 IEEE Region 10 Conference, Volume A, 21-24 Nov. 2004 pp. 199 - 202 Vol. 1
- [2] Lohakan, M. Airphaiboon, S. Sangworasil, M. "Single-character Segmentation for Handprinted Thai Word " Document Analysis and Recognition, 1999. ICDAR '99. Proceedings of the Fifth International Conference, 20-22 Sept. 1999 pp. 661 - 664
- [3] Tripathy, N. Pal, U. "Handwriting segmentation of unconstrained Oriya text" Frontiers in Handwriting Recognition, 2004. IWFHR-9 2004. Ninth International Workshop, 26-29 Oct. 2004 pp. 306 - 311
- [4] Richard G. Casey, Eric Lecolinet "A Survey of Methods and Strategies in Character Segmentation" Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on Volume 18, Issue 7, Jul 1996 Page(s):690 - 706
- [5] R.L. Hoffman and J.W. McCullough, "Segmentation Methods for Recognition of Machine-Printed Characters," IBM I. Research and Development, pp. 153-65, Mar. 1971.
- [6] H.S. Baird, S. Kahan, and T. Pavlidis, "Components of an Omnifont Page Reader," Proc. Eighth Int'l Conf. Pattern Recognition, Paris, pp. 344-348, 1986
- [7] A.W. Senior and F. Fallside, "An Off-line Cursive Script Recognition System Using Recurrent Error Propagation Networks," Pre-Proc. IWFHR III, Buffalo, N.Y., p. 132, May 1993.
- [8] V.A. Kovalevsky, Character Readers and Pattern Recognition. Washington, D.C.: Spartan Books, 1968.
- [9] M. Gilloux, "Hidden Markov Models in Handwriting Recognition," Fundamentals in Handwriting Recognition, S. Impedovo, ed., NATO ASI Series F Computer and Systems Sciences, vol. 124, Springer Verlag, 1994
- [10] U.Pal A.Belaid and Ch. Choisy " Touching numeral segmentation using water reservoir concept" Pattern Recognition Letter 2003
- [11] Khampheth Bounnady. 2003. "On-Line Handwritten Laos Characters Recognition Using Flexible Structure Feature", Master Thesis of King Momgkut's Institute of Technology Ladkrabang.

- [12] H.Fujisawa, Y.Nakano and K.Kurino, "Segmentation methods for character recognition from segmentation to document structure analysis", Proceeding of the IEEE, vol.80, pp.1079 - 1092, 1992.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การทดลองหาค่า TR BR CL และ CTB

การทดลองเก็บค่าตัวแปร TR (Top reservoir) BR(Bottom reservoir) CL(Close loop) และ CTB(Close loop + Top reservoir+ Bottom reservoir) ซึ่งจะเอาค่าเหล่านี้ไปพิจารณาหารวมกับเงื่อนไขที่เกิดขึ้นเพื่อใช้พิจารณาระบุคอมพิวเตอร์ที่ว่า เป็นอักษรเขียนเดี่ยวหรืออักษรเขียนต่อเนื่องจากกลุ่มลายมือตัวอย่าง 50 คน แสดงในตารางที่ ก.1

ตาราง ก.1 แสดงค่าเฉลี่ย CL TR BR และ CTB จากกลุ่มลายมือตัวอย่าง 50 คน

อักษร	CL	TR	BR	CTB	อักษร	CL	TR	BR	CTB
ก	0	0.1	1.1	1.2	ป	0.8	1	0	1.8
ข	1	0.9	0.3	2.2	ผ	0.9	1.1	1	3
ค	1	0	1	2	ฝ	0.7	1.1	1	2.8
ฅ	1.4	1.1	1.9	4.4	พ	0.9	1.3	0.9	3.1
ง	0.9	1	0.1	2	ฟ	0.9	1.2	1	3.1
จ	0.6	0.1	0.9	1.6	ภ	0.9	0	1	1.9
ฉ	1.8	0.7	1.6	3.1	ม	1.9	1	0.8	3.7
ช	1.6	0.6	0.2	2.4	ย	0.8	1.1	0	1.9
ฌ	1.5	1.1	0.7	3.3	ร	1	0.1	0.1	1.2
ฑ	0.6	1.7	2	2.5	ล	1	0.3	1.7	3
ด	0.8	0	1	1.8	ว	0.9	0	0.8	1.7
ต	0.8	0.6	1	2.4	ศ	1.1	0.4	1	2.5
ถ	1	0	1.1	2.1	ษ	1.7	1.1	0	2.8
ท	0.8	1.0	1.1	2.9	ส	1	0.5	1.2	2.7
ธ	0.8	0.2	0	1	ห	1.7	1	1	3.7
น	1.2	1.1	0.8	3.1	อ	1	0.5	0.2	1.7
บ	0.7	1	0.2	1.9	ฮ	1.8	0.9	0	2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างผลการทดลองในการหาจุดตัดของอักษรเขียนต่อเนื่อง รูปแบบที่ 1

เนื่องจากการหาจุดตัดในรูปแบบนี้จะเป็นกลุ่มของจุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดมาพิจารณา โดยการเลือกจุดตัดที่ดีที่สุดโดยใช้จากการรู้จำตัวอักษรแบบทิศทางมาช่วยพิจารณา โดยดูจากค่าความเหมือน[TR] * ที่มากที่สุดของคอมพิวเตอร์ในส่วนแรกที่ตัดออกมา และจะทำการเลือกจุดนั้นเป็นจุดตัด

โดยการทดลองทดลองกับคอมพิวเตอร์ในกลุ่มนี้จำนวน 50 คอมพิวเตอร์ ตัวอย่างผลการทดลองแสดงในรูปที่ ข.1 – ข.10

หมายเหตุ * ความหมายของ B-1[T]#ร-19857[TR]=0.85176
B-1 หมายถึง ชุดตัวอักษรต้นแบบ
[T] หมายถึง ภาษาไทย
ร-19857 หมายถึง ตัวอักษรและเลขประจำตัวอักษร
[TR]=0.85176 หมายถึง ค่าความเหมือน (ค่า 1 หมายถึงเหมือนลักษณะต้นแบบทุกประการ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	B-1[T] # ๗-19857[TR]= 0.851766	๙ ก
	B-1[T] # ๑-19387[TR]= 0.763369	
ม	B-1[T] # ก-23589[TR]= 0.997758	ก ๗
	B-1[T] # ๗-23579[TR]= 0.762605	
	B-1[T] # ก-23589[TR]= 0.761778	ก ,
	B-1[T] # ก-11011[TR]= 0.664530	

รูปที่ ข.1

	B-1[T] # ๑-19387[TR]= 0.719466	
	B-1[T] # ท-22897[TR]= 0.750514	ค ม
ม	B-1[T] # ๑-19387[TR]= 0.809444	ก ม
	B-1[T] # ท-16595[TR]= 0.778573	
	B-1[T] # ซ-2928[TR]= 0.819190	ก ม
	B-1[T] # ๑-19387[TR]= 0.757106	
	B-1[T] # ท-16568[TR]= 0.905004	ก ๗
	B-1[T] # ๗-23579[TR]= 0.676989	
	B-1[T] # ท-16568[TR]= 0.833504	ก ,
	B-1[T] # ๗-12887[TR]= 0.501659	

รูปที่ ข.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	B-1[T] # 1-23593[TR]= 0.624531	C ๑๖
	B-1[T] # ๙-9345[TR]= 0.793718	
๑๖	B-1[T] # ๖-12948[TR]= 0.802051	๑ ๖
	B-1[T] # ๙-9758[TR]= 0.772726	
	B-1[T] # ๙-18122[TR]= 0.850153	๑ ๖
	B-1[T] # ๙-3841[TR]= 0.764931	
	B-1[T] # ๙-9205[TR]= 0.727045	๑๖
	B-1[T] # ๙-9668[TR]= 0.594085	

รูปที่ ข.3

	B-1[T] # ๗-14931[TR]= 0.862459	๑ ๖
	B-1[T] # ๙-22994[TR]= 0.846745	
๑๖	B-1[T] # ๙-21729[TR]= 0.943139	๑ ๖
	B-1[T] # ๙-16822[TR]= 0.761910	
	B-1[T] # ๑-6446[TR]= 0.881716	๑ ๖
	B-1[T] # 1-23590[TR]= 0.789006	
	B-1[T] # ๙-5288[TR]= 0.841860	๑๖
	B-1[T] # ๖-12963[TR]= 0.623905	

รูปที่ ข.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	B-1[T] #ต-19387[TR]= 0.696683	✓
	B-1[T] #ฉ-3823[TR]= 0.760442	✓
	B-1[T] #ช-3375[TR]= 0.792313	✓
	B-1[T] #ฉ-8081[TR]= 0.788486	✓
✓	B-1[T] #ช-3375[TR]= 0.798329	✓
	B-1[T] #พ-17440[TR]= 0.751424	✓
	B-1[T] #พ-13698[TR]= 0.771524	✓
	B-1[T] #ป-8562[TR]= 0.746105	
	B-1[T] #พ-13698[TR]= 0.771524	✓
	B-1[T] #ป-8562[TR]= 0.746105	

รูปที่ ข.5

	B-1[T] #ต-6615[TR]= 0.708808	✓
	B-1[T] #ช-14787[TR]= 0.881802	✓
	B-1[T] #ช-23329[TR]= 0.887004	✓
	B-1[T] #ช-11876[TR]= 0.769103	✓
✓	B-1[T] #จ-12948[TR]= 0.846200	✓
	B-1[T] #พ-9495[TR]= 0.796384	✓
	B-1[T] #ช-23329[TR]= 0.759587	✓
	B-1[T] #พ-9668[TR]= 0.598236	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการดำเนินงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.6

	B-1[T] #ค-5998[TR]= 0.733459	๑ ๗๖
	B-1[T] #ณ-5759[TR]= 0.781134	
	B-1[T] #ค-6006[TR]= 0.930594	๑ ๗๖
	B-1[T] #ณ-5694[TR]= 0.773612	
	B-1[T] #ค-19441[TR]= 0.858517	๑๗ ๗๖
	B-1[T] #ณ-19586[TR]= 0.836028	
๑๗๖	B-1[T] #ณ-11351[TR]= 0.884619	๑๗ ๗๖
	B-1[T] #ณ-21240[TR]= 0.800105	
	B-1[T] #ท-5164[TR]= 0.836082	๑๗ ๖
	B-1[T] #ท-14931[TR]= 0.673104	
	B-1[T] #ช-3320[TR]= 0.809599	๑๗ ๗๖
	B-1[T] #ณ-19586[TR]= 0.848653	

รูปที่ ข.7

	B-1[T] #จ-19857[TR]= 0.729938	๓ ๓
	B-1[T] #ท-18122[TR]= 0.816811	
๓	B-1[T] #ท-366[TR]= 0.818722	๓ ๓
	B-1[T] #ท-366[TR]= 0.840739	
	B-1[T] #ค-9668[TR]= 0.779550	๗ 1
	B-1[T] #จ-23592[TR]= 0.592062	

รูปที่ ข.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเพื่ออรรถาธิบายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่มีการตีพิมพ์ทั้งต้นฉบับและฉบับแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารชุดนี้ที่มีการนำไปใช้

B-1[T] # ก-23476[TR]= 0.749133	ก ชม
B-1[T] # ฉ-3995[TR]= 0.791366	
B-1[T] # ท-16595[TR]= 0.620937	ค ชม
B-1[T] # ผ-9345[TR]= 0.778878	
B-1[T] # ถ-23359[TR]= 0.769175	ด ชม
B-1[T] # ผ-9422[TR]= 0.809296	
B-1[T] # น-13311[TR]= 0.832990	จ ชม
B-1[T] # ผ-9422[TR]= 0.830725	
B-1[T] # พ-10118[TR]= 0.794997	ช ชม
B-1[T] # ม-11370[TR]= 0.858950	
B-1[T] # ท-5187[TR]= 0.812959	ช 1
B-1[T] # ร-19857[TR]= 0.785067	

รูปที่ ข.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	B-1[T] # ๗-14931[TR]= 0.72579๕	๕ ก
	B-1[T] # ๗-16568[TR]= 0.87587๕	
	B-1[T] # ๑-5998[TR]= 0.925748	๕ ก
	B-1[T] # ๗-16568[TR]= 0.85105๕	
๓	B-1[T] # ๑-5998[TR]= 0.925748	๕ ก
	B-1[T] # ๑-829[TR]= 0.863762	
	B-1[T] # ๓-19441[TR]= 0.82771๕	๓ ๗
	B-1[T] # ๓-23476[TR]= 0.76730๕	
	B-1[T] # ๗-3228[TR]= 0.805384	๓ ๗
	B-1[T] # ๓-6615[TR]= 0.649424	

รูปที่ ข.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

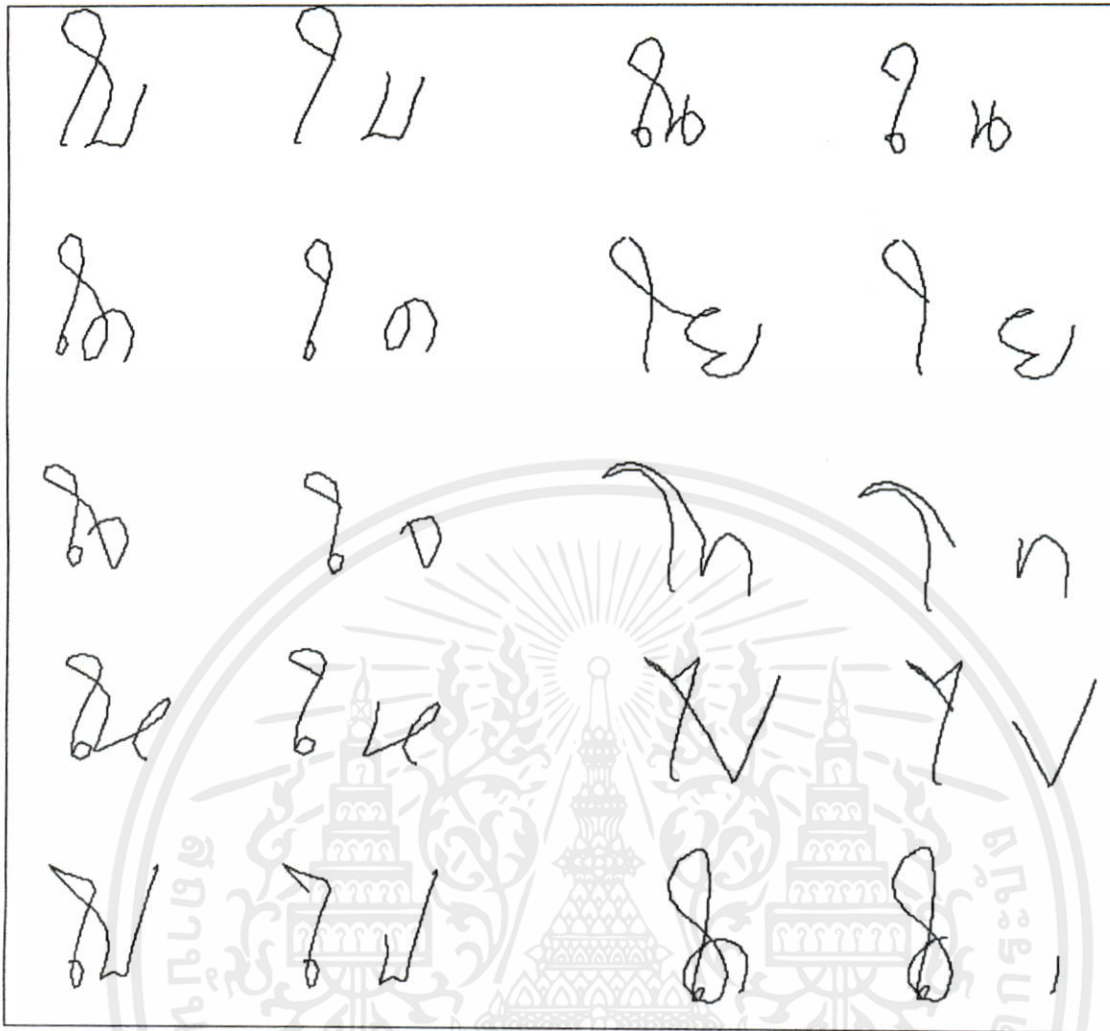
ตัวอย่างผลการทดลองในการหาจุดตัดของอักษรเขียนต่อเนื่อง รูปแบบที่ 2 3 และ 4

การทดลองในการหาจุดตัดของอักษรเขียนต่อเนื่องในรูปแบบที่ 2 3 และ 4 นี้ จะมีการหาจุดตัดที่ตายตัว ไม่ได้นำการรู้จำตัวอักษรมาช่วย เนื่องจากจุดตัดที่หามาได้เป็นจุดตัดที่ตายตัวตามรูปแบบ ในการทดลองได้ใช้คอมพิวเตอร์รูปแบบละ 50 คอมพิวเตอร์ รวมทั้งสิ้น 150 คอมพิวเตอร์

โดยรูปที่ ก.1 แสดงตัวอย่างผลการตัดในรูปแบบที่ 2 รูปที่ ก.2 แสดงตัวอย่างผลการตัดในรูปแบบที่ 3 และ รูปที่ ก.3 แสดงตัวอย่างผลการตัดในรูปแบบที่ 4

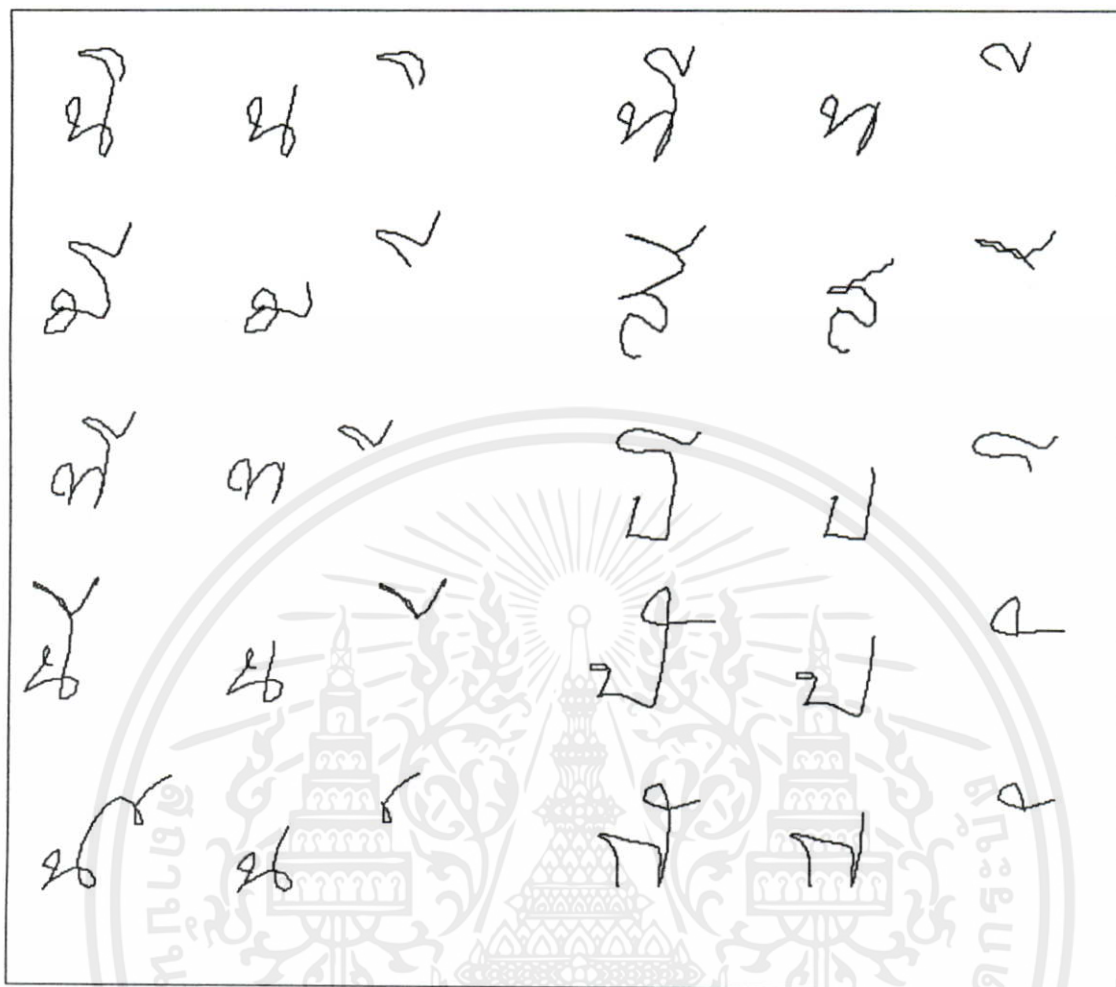


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



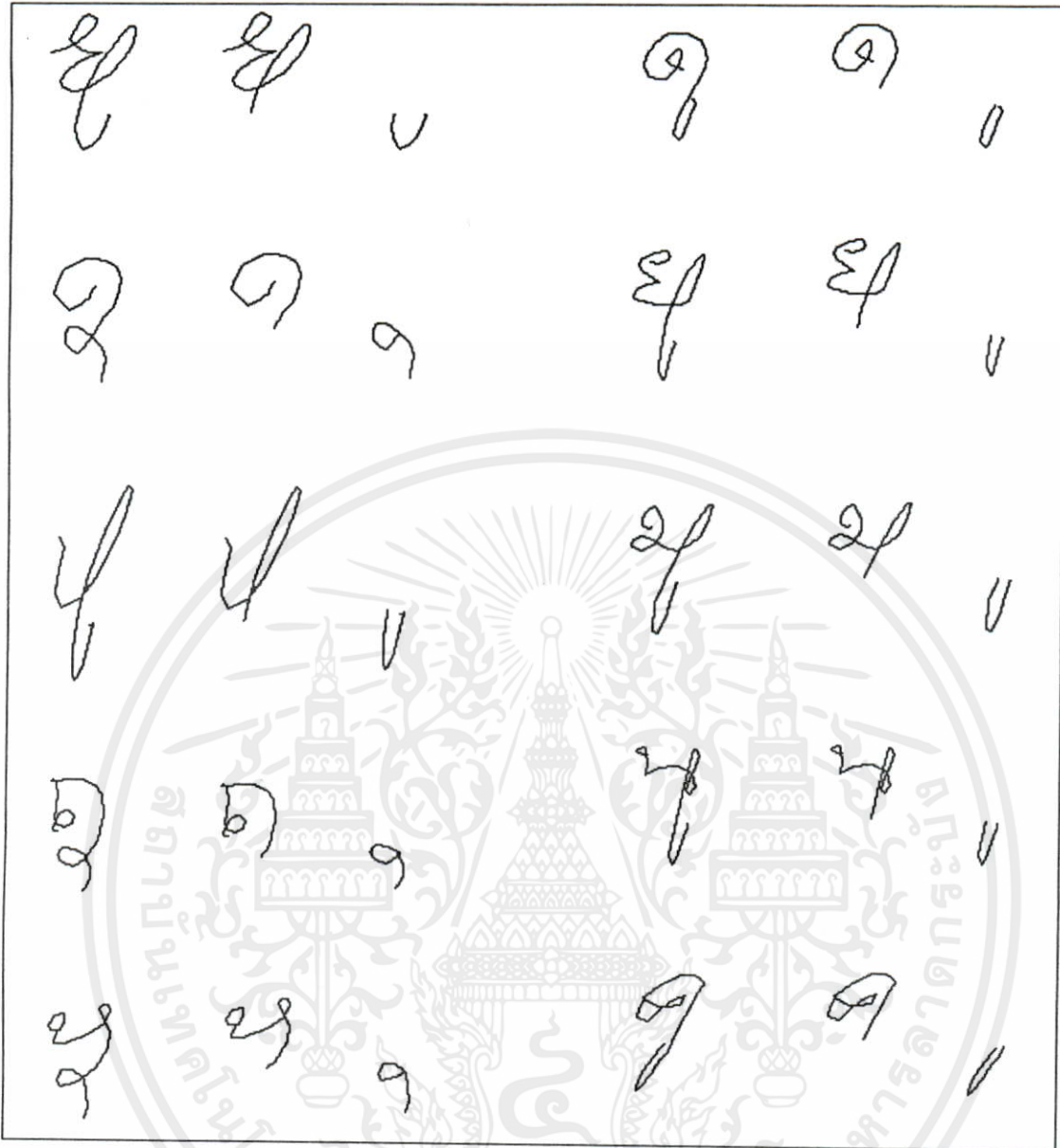
รูปที่ ค.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ผลการทดลองในการหาจุดตัดของอักษรเขียนต่อเนื่องที่เชื่อมติดกันมากกว่าสองตัวอักษร

การทดลองในการหาจุดตัดของอักษรเขียนต่อเนื่องที่เชื่อมติดกันมากกว่าสองตัวอักษร เป็นการทดลองหาจุดตัดและเลือกจุดตัดโดยวิธีใช้คุณสมบัติเอียงน้ำและการรู้จำตัวอักษรเข้ามาช่วย ในการทดลองนี้ตั้งสมมุติฐานว่าสามารถรู้จำตัวอักษรได้ถูกต้องเสมอ โดยการเพิ่มตัวต้นแบบเพิ่มเติมเข้าไปจากของเดิมที่มีอยู่ในงานวิจัย [11]

โดยกรอบสีน้ำเงินหมายถึงชุดตัวอักษรต้นแบบจากงานวิจัย [11] และกรอบสีแดงคือการเพิ่มเติมตัวอักษรต้นแบบเข้าไป ผลการทดลองแสดงในรูปที่ ง.1- ง.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาทาม

ค ข ทาม

ค ข ทาม

ค ข ทาม

ค ข ทาม

ค ข ทาม

ค ข ทาม

ค ข ทาม

ค ข ทาม

ค ข ทาม

ค ข
ค ข
ค ข

การรู้จำตัวอักษรส่วนแรก

การรู้จำอักษรส่วนหลัง

B-1[T] # ฝ-9854[TR]= 0.764317	B-1[T] # ฒ-16074[TR]= 0.882362
B-1[T] # ค-877[TR]= 0.845253	B-1[T] # ฒ-16074[TR]= 0.890754
B-1[T] # พ-13698[TR]= 0.789831	B-1[T] # ฒ-16074[TR]= 0.839209
B-1[T] # ฆ-13343[TR]= 0.776913	B-1[T] # ฒ-1340[TR]= 0.825505
B-1[T] # ฌ-16804[TR]= 0.775237	B-1[T] # ฌ-23582[TR]= 0.947585
B-1[T] # ฌ-8194[TR]= 0.804520	B-1[T] # ฌ-17590[TR]= 0.931418
B-1[T] # ฒ-5591[TR]= 0.817659	B-1[T] # ฌ-17590[TR]= 0.958117
B-1[T] # ฌ-22994[TR]= 0.808308	B-1[T] # ฌ-23282[TR]= 0.908123
B-1[T] # ฒ-15427[TR]= 0.823014	B-1[T] # ฒ-23700[TR]= 0.675926

คอมโพเนนท์ที่เหลือจากการตัด

ค ข

Connected Component

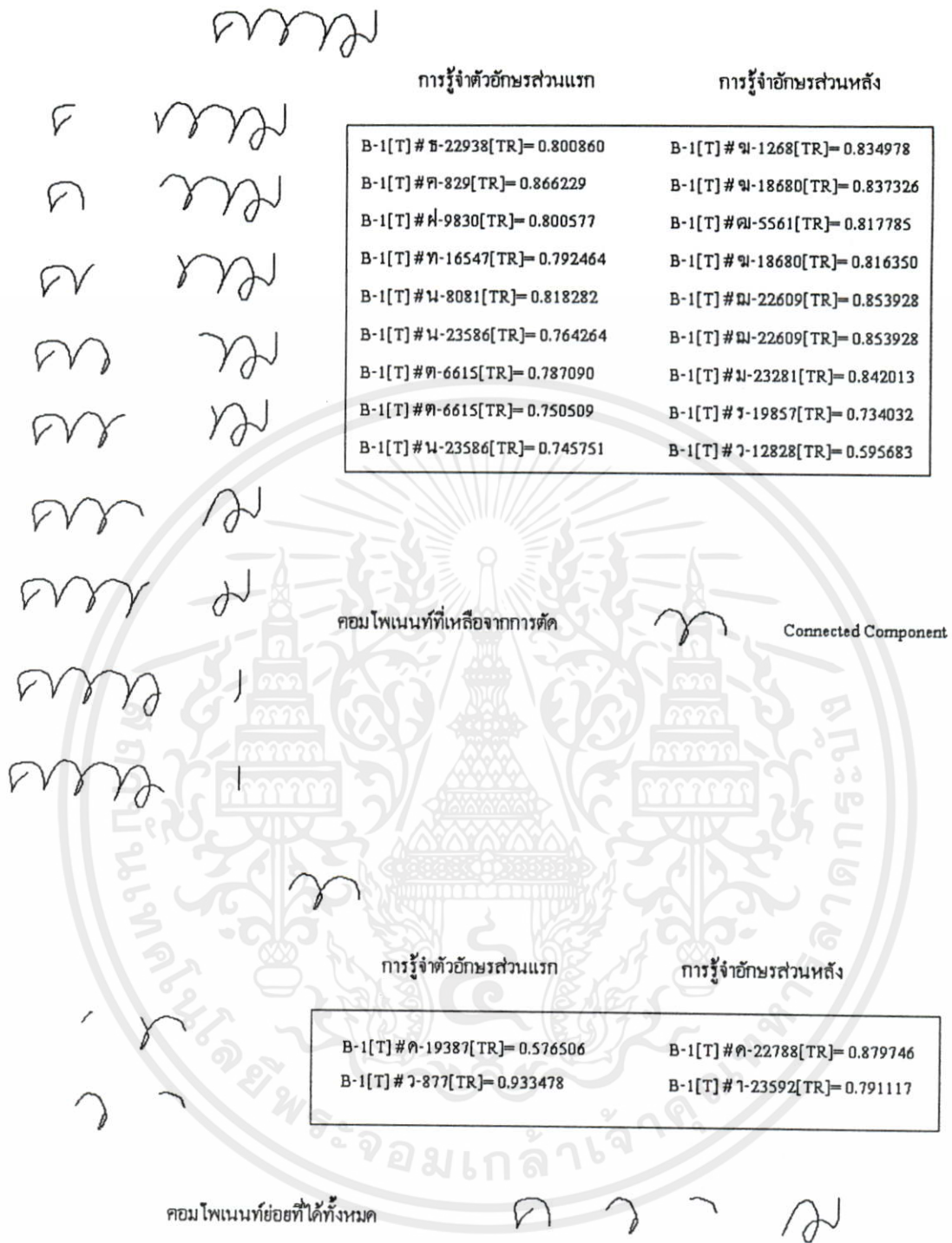
การรู้จำตัวอักษรส่วนแรก

การรู้จำอักษรส่วนหลัง

B-1[T] # ค-19387[TR]= 0.578448	B-1[T] # ษ-3048[TR]= 0.854648
B-1[T] # ฎ-877[TR]= 0.932893	B-1[T] # ษ-22957[TR]= 0.773874
B-1[T] # ฎ-877[TR]= 0.845227	B-1[T] # ฎ-9031[TR]= 0.775292
B-1[T] # ค-6022[TR]= 0.918932	B-1[T] # ค-19387[TR]= 0.582464

รูปที่ ง.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขา

ล ๗๗๖

ล ๗๗๖

ล ๗๗๖

ล ๗๗๖

ล ๗๗๖

ล ๗๗๖

ล ๗๗๖

ล ๗๗๖

ล ๗๗๖

ล ๗๗๖

การรู้จักตัวอักษรส่วนแรก

การรู้จักอักษรส่วนหลัง

B-1[T] # ๓-12760[TR]= 0.845174	B-1[T] # ๓-5615[TR]= 0.789996
B-1[T] # ๓-12776[TR]= 0.905648	B-1[T] # ๓-5615[TR]= 0.798796
B-1[T] # ๓-23584[TR]= 0.927528	B-1[T] # ๓-5615[TR]= 0.822031
B-1[T] # ๓-23584[TR]= 0.864090	B-1[T] # ๓-800[TR]= 0.819171
B-1[T] # ๓-23584[TR]= 0.829582	B-1[T] # ๓-7848[TR]= 0.803058
B-1[T] # ๓-23584[TR]= 0.826954	B-1[T] # ๓-7848[TR]= 0.804554
B-1[T] # ๓-23584[TR]= 0.824031	B-1[T] # ๓-800[TR]= 0.912003
B-1[T] # ๓-1378[TR]= 0.799213	B-1[T] # ๓-800[TR]= 0.871894
B-1[T] # ๓-4975[TR]= 0.797298	B-1[T] # ๓-1669[TR]= 0.741245
B-1[T] # ๓-4975[TR]= 0.759883	B-1[T] # ๓-12828[TR]= 0.571017

คอมโพเนนท์ที่เหลือจากการตัด

๓

Connected Component

การรู้จักตัวอักษรส่วนแรก

การรู้จักอักษรส่วนหลัง

B-1[T] # ๓-1628[TR]= 0.602289	B-1[T] # ๓-6022[TR]= 0.920778
B-1[T] # ๓-879[TR]= 0.737503	B-1[T] # ๓-23592[TR]= 0.967861
B-1[T] # ๓-879[TR]= 0.902378	B-1[T] # ๓-23592[TR]= 0.759881

คอมโพเนนท์ย่อยที่ได้อีก

ล ๗๗๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ **รูปที่ ๓.4** ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จกนบ

c กนบ

การรู้จำตัวอักษรส่วนแรก

การรู้จำอักษรส่วนหลัง

จ กนบ

B-1[T]#ก-18539[TR]= 0.721945 B-1[T]#ณ-20871[TR]= 0.782285

จ กนบ

B-1[T]#ข-14931[TR]= 0.913133 B-1[T]#ณ-20871[TR]= 0.795783

จก นบ

B-1[T]#ท-22897[TR]= 0.919246 B-1[T]#ณ-20871[TR]= 0.795783

จก นบ

B-1[T]#ม-11411[TR]= 0.905796 B-1[T]#ณ-19331[TR]= 0.815974

จกนบ

B-1[T]#ม-11411[TR]= 0.745082 B-1[T]#น-800[TR]= 0.841927

จกนบ

B-1[T]#ณ-5434[TR]= 0.879333 B-1[T]#น-16822[TR]= 0.798220

จกนบ

B-1[T]#ต-6762[TR]= 0.789792 B-1[T]#จ-877[TR]= 0.837253

B-1[T]#ต-6627[TR]= 0.765504 B-1[T]#จ-12860[TR]= 0.724693

คอมโพเนนท์ที่เหลือจากการตัด

Isolated Component

คอมโพเนนท์ย่อยที่ได้ทั้งหมด

รูปที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก ก ข

1 ก ข

2 ก ข

3 ก ข

4 ก ข

5 ก ข

6 ก ข

7 ก ข

8 ก ข

การรู้จำตัวอักษรส่วนแรก

การรู้จำตัวอักษรส่วนหลัง

B-1[T] # 7-23593[TR]= 0.744421	B-1[T] # ๗-5615[TR]= 0.799785
B-1[T] # ๗-16595[TR]= 0.799080	B-1[T] # ๗-5694[TR]= 0.827833
B-1[T] # ๗-884[TR]= 0.875750	B-1[T] # ๗-19351[TR]= 0.824998
B-1[T] # ๗-22994[TR]= 0.790749	B-1[T] # ๗-23586[TR]= 0.830272
B-1[T] # ๗-6114[TR]= 0.772104	B-1[T] # ๗-23586[TR]= 0.973292
B-1[T] # ๗-6786[TR]= 0.803761	B-1[T] # ๗-877[TR]= 0.853465
B-1[T] # ๗-5434[TR]= 0.842943	B-1[T] # ๗-22994[TR]= 0.813339
B-1[T] # ๗-5210[TR]= 0.793344	B-1[T] # ๗-23700[TR]= 0.834327

คอมโพเนนท์ที่หลีกเลี่ยงจากการตัด



Isolated Component

คอมโพเนนท์ย่อยที่ได้ทั้งหมด

ก ก ข

รูปที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ ก

อ ก

อ ก

อ ก

อ ก

อ ก

การรู้จำตัวอักษรส่วนแรก

การรู้จำอักษรส่วนหลัง

B-1[T] # ข-14931[TR]= 0.902673	B-1[T] # ภ-10938[TR]= 0.783744
B-1[T] # ค-16327[TR]= 0.928463	B-1[T] # ท-7355[TR]= 0.860630
B-1[T] # ม-881[TR]= 0.932943	B-1[T] # ฑ-7355[TR]= 0.848160
B-1[T] # ด-21001[TR]= 0.906316	B-1[T] # ก-881[TR]= 0.849243
B-1[T] # พ-10214[TR]= 0.846392	B-1[T] # ฎ-23592[TR]= 0.659959

คอมโพเนนท์ที่เสียจากการตัด

Isolated Component

คอมโพเนนท์ย่อยที่ได้ทั้งหมด

อ ก

รูปที่ ง.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

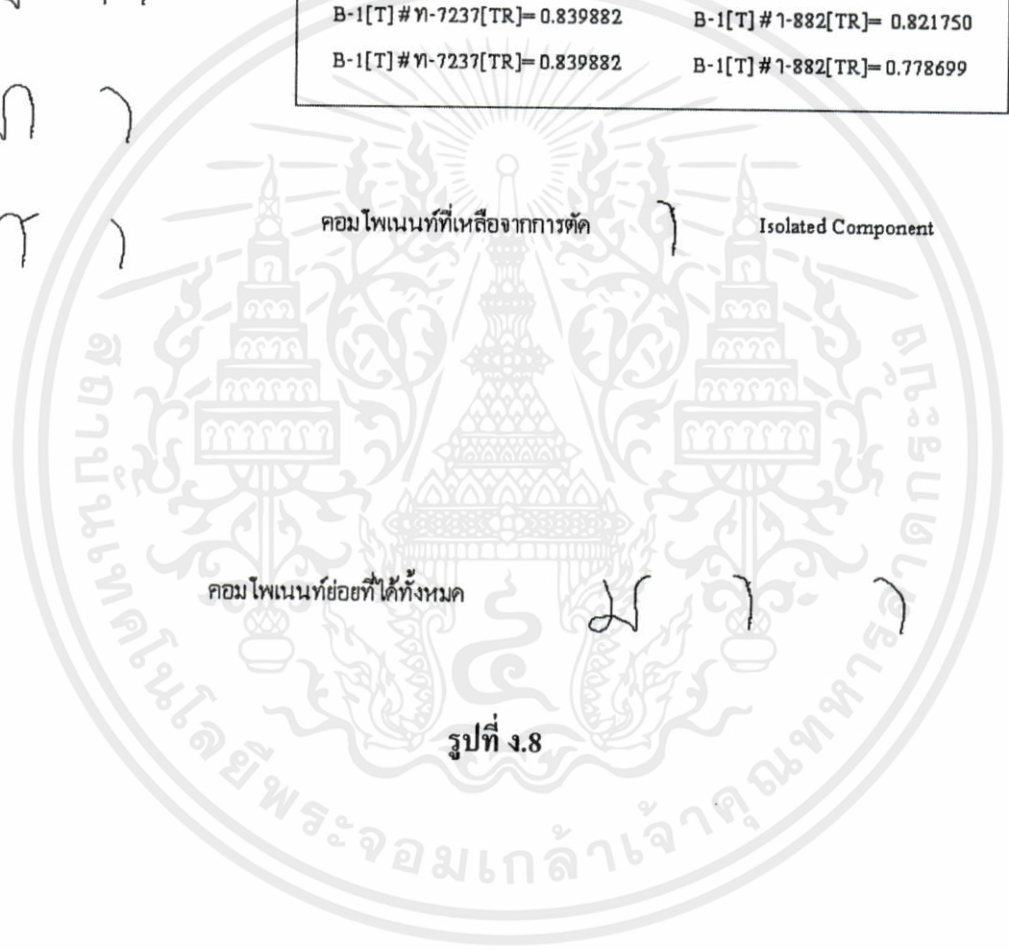
๒๓

๒ ๓
 ๒ ๓
 ๒ ๓
 ๒ ๓
 ๒ ๓

การรู้จำตัวอักษรส่วนแรก

การรู้จำอักษรส่วนหลัง

B-1[T] # ๑-1628[TR]= 0.851412	B-1[T] # ค-6022[TR]= 0.820633
B-1[T] # ค-22788[TR]= 0.863988	B-1[T] # ค-6022[TR]= 0.819422
B-1[T] # ม-882[TR]= 1.000000	B-1[T] # ค-16367[TR]= 0.817035
B-1[T] # ท-7237[TR]= 0.839882	B-1[T] # ๗-882[TR]= 0.821750
B-1[T] # ท-7237[TR]= 0.839882	B-1[T] # ๗-882[TR]= 0.778699



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

ผลงานวิจัยในระหว่างการศึกษาที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] Anuchin Chatchinarat and Boontee Kruatrachue, "Online Thai Handwritten Segmentation using Water Reservoir Technique", The 2007 IAENG International Conference on Computer Science, Vol. 1, pp. 654-658, 2007.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lecture Notes in Engineering and Computer Science

IMECS 2007

International MultiConference of
**Engineers and Computer
 Scientists 2007**

Volume II

**Hong Kong
 21-23 March, 2007**

S. I. Ao
 Oscar Castillo
 Craig Douglas
 David Dagan Feng
 Jeong-A Lee (Eds.)

IA ENG

International Association of Engineers

ISBN: 978-988-98671-7-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

group one can not be segmented in to two valid characters.

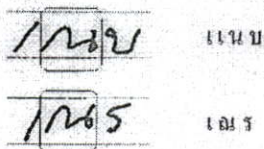


Fig. 2: consonant group 2 can be isolated or connected

Each line of Thai character is written within 4 sub-line as shown in Fig.3 below. The sub-line position can help in identifying character. Since consonants can only occur in sub-line3 and tone in sub-line 1 and sub-line2. Only the last two vowels in Table 1 can occur in sub-line4

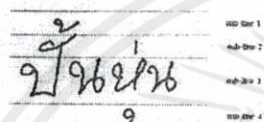


Fig. 3: sub-line for written

3. Water Reservoir

The water reservoir principle is as follows; If water is poured from top (bottom) of a component, the cavity regions of the component where water will be stored are considered as top (bottom) reservoir [4]. For an illustration see Fig.4 Here, two Thai characters are connected and create a large space which represent the Top reservoir, Bottom reservoir and close loops. A closed loop is an isolated area completely bordered by handwritten stroke. A small water reservoir with depth less than 1/3 of its component height is too small and not consider as a water reservoir.

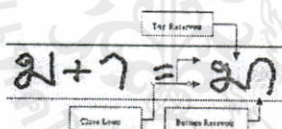


Fig. 4: Top, bottom reservoir and close loop

There is also right reservoir for vowels in sub-line2, as show in Fig.5

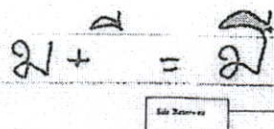


Fig. 5: Right reservoir

The intersection line is defined as a line between two adjacent reservoirs or between the reservoir and a close loop. The intersection lines are shown in green in Figure 6. The purpose of intersection line is to help locating the segmentation point.

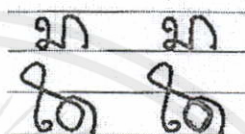


Fig. 6: Intersection line

4. Connected component detection

To segment each character from a connection, the first step is to detect whether component is an isolate or connect characters. Next, all connected characters are segmented. The water reservoirs usually occur in the connected component in the following case:

- 1) A large reservoir between two consecutive characters[5].



Fig. 7: Large reservoir

- 2) Number of reservoirs and close loop in the connected component are greater than an isolated character.(table 3 shows the number of close loops(CL), top reservoirs(TR), bottom reservoirs(BR) and summation of close loops, top reservoirs and bottom reservoirs(CTB) of Thai consonant in group 1)

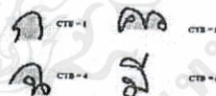


Fig. 8: example CTB from 4 components

- 3) A right reservoir or close loop in a vowel on sub-line2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fig. 9: Right reservoir and close loop in sub-line 2

- 4) A small top reservoir or close loop in a vowel on sub-line 4.

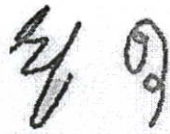


Fig. 10: small top reservoir and close loop in sub-line 4

- 5) Two or more bottom reservoirs from multiple consecutive characters.



Fig. 11: three consecutive make 2 bottom reservoirs

From above observations; isolated or connected component detection scheme is developed as follows.

Define C is as a component (handwritten input image)
 CL_C number of close loop obtained from C;
 TR_C number of top reservoirs obtained from C;
 BR_C number of bottom reservoirs obtained from C;
 RR_C number of right reservoirs obtained from C;
 $CTB_C = CL_C + TR_C + BR_C$;
 $Max_CTB = 4$ (maximum CTB of group2 Thai character from table 3.)

Now, we define the following Boolean functions based on the observations of Thai connected characters and Table 3.

- $S0 = 1$ if BR_C is 2 or more;
- $S1 = 1$ if the width of C is longer than T1 (the widest character, $1.5 * height_C$);
- $S2 = 1$ if area of reservoir in C is greater than T2;
- $S3 = 1$ if C has CL_C , TR_C , BR_C or RR_C in sub-line1 and sub-line2;
- $S4 = 1$ if C has CL_C , TR_C or BR_C in sub-line3;
- $S5 = 1$ if C has CL_C , TR_C , BR_C or SR_C in sub-line4;

Based on the above values; the isolated and connected touching components detection is done by the following algorithm.

If $CTB_C > Max_CTB$ then C is connected
 else if $S0 = 1$ then C is connected
 else if $S3 = 1$ and $S4 = 1$ then C is connected
 else if $S5 = 1$ and $S4 = 1$ then C is connected
 else if $S1 = 1$ and $S2 = 1$ then C is connected
 else C is isolated

Values of different thresholds of T1 and T2 are determined from the experiment (the height of sub-line3 determines T1 and T2)

Table 3 Number of CL,TR,BR,CTB of a group1 characters.

C	CL	TR	BR	CTB	C	CL	TR	BR	CTB
บ	-	-	1	1	ป	1	1	-	2
พ	1	1	1	3	น	1	1	1	3
น	1	-	1	2	ด	1	1	1	3
ม	2	1	1	4	ม	1	2	1	4
ร	1	1	-	2	ร	1	2	1	4
ว	1	1	-	2	น	1	-	1	2
อ	2	1	1	4	ม	2	1	1	4
ย	2	1	-	3	น	1	1	-	2
ง	2	1	1	4	ร	1	-	-	1
จ	1	1	-	2	ร	1	-	1	2
ช	-	1	1	2	ว	1	-	-	1
ซ	1	-	1	2	น	1	-	1	2
ด	1	-	1	2	น	2	1	-	3
ต	1	1	1	3	น	1	1	-	2
ถ	-	1	-	1	อ	1	1	-	2
ท	2	1	1	4	อ	2	1	-	3
ธ	1	1	-	2					

5. Segmentation of connected handwriting

From statistical analysis of 2403 samples of connected Thai characters, the connection from two characters is 84.89%, while 3 characters connected are 13.85% and more than three connected characters are 1.26%. This paper will focus only on the two characters connected case. We divide 2 character connected Thai handwritten into six patterns. The occurrence percentages for each pattern are also provided in parenthesis with 5.73% left unclassified

(a) Small top reservoir with large bottom reservoir on the right (15.29%): As shown in Fig 12, a small top reservoir occurs near the top of sub-line3 and bottom reservoir adjacently on the right. The appropriate segmentation point is at the bottom of intersection line and the characters after segmentation are shown on the right.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

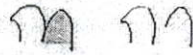


Fig. 12

(b) Close loop or bottom reservoir which in sub-line2 and on the right have bottom reservoir(3.82%): this pattern cause by "ก", "ค", "น" vowels connected to another characters, which results in 2 cases. (b.1) Close loop in sub-line2 with bottom reservoir on the bottom right. We can cut the previous point in front of the intersection line in sub-line3 between 2 reservoirs for the segmentation as shown in Fig. 13(a) on the left and on the right shows the appropriate separation. (b.2) A big bottom reservoir is created which has the deepest point of reservoir in sub-line2. Segmentation of (b.2) is the same as (b.1) as shown in Fig. 13(b) connected characters are shown on the left side and on the right side shows the appropriate separation.



Fig. 13

(c) Small top reservoir with bottom reservoir(6.76%): a small top reservoir in sub-line3 with bottom reservoir underneath. The intersection line between the two reservoirs, is the line that connected between two contiguous characters. As shown in Fig. 14, the characters can be segmented by removing the entire intersection line.



Fig. 14

(d) Top reservoir with bottom reservoir on the right (20.88%): this pattern is the same as (a) except that the left reservoir is about the same size as the right. The suitable segmentation point is at the top of the intersection line as shown in Fig.15.

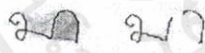


Fig. 15

(e) Small reservoir or close loop in sub-line4(3.08%): There is a connection from character in sub-line 3 and vowel "ก" or "ค" in sub-line4. The

correct segmentation point is the top of the closed loop or the top of reservoir as show in Fig. 16.

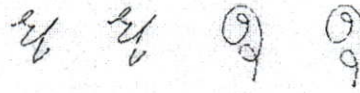


Fig. 16

(f) Small reservoir or close loop in sub-line2(44.41%): There is a connection from character in sub-line 3 and vowel อี, อึ, อื, อี, อึ, อื, or tones in sub-line 2. These vowels can be located by their closed loop or left water reservoir. The separation point is the bottom of the loop or reservoir as shown in Fig.17.



Fig. 17

6. Result and Discussion

Results on isolated and connected component identification: to evaluate performance of the isolate and connected character identification scheme, a set of data; 400 (200 isolated + 200 connected) components were collected from Thai handwritten text which the results are checked manually. Isolated detection has accuracy of 98%. Connected detection has accuracy of 95%.The proposed method with combination of detection and segmentation has accuracy of 96.5%. Most of the errors come from connected characters which are identified as isolated character as shown in example in Fig.18.



Fig.18

Results on connected component segmentation: The evaluation of the segmentation scheme was done on 190 two Thai contiguous characters on handwritten. (From isolated and connected component identification process explained above) From the experiment, it can be noticed that 87.9% of errors occur when writer writes two contiguous characters bigger than sub-line3 which cause defining wrong position of reservoir and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

identifying wrong pattern in six cases. Some examples of connected component segmentation are shown in Fig.19.

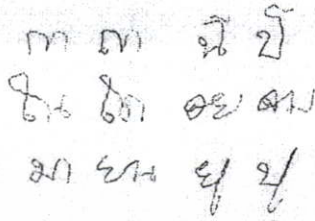


Fig. 19 Experimental result

7. Conclusion

We proposed online Thai handwriting segmentation using water reservoirs. The widely used vertical histogram more suitable for printed character segmentation. This histogram technique suffer from slant in unconstraint handwritten. This propose segmentation has 2 steps; first, identify isolated and connected components. Second, find segmentation point of connected components. From 2403 dataset, average result of isolated and connected components identification is 96.5% and accuracy of connected component segmentation is 87.9%.

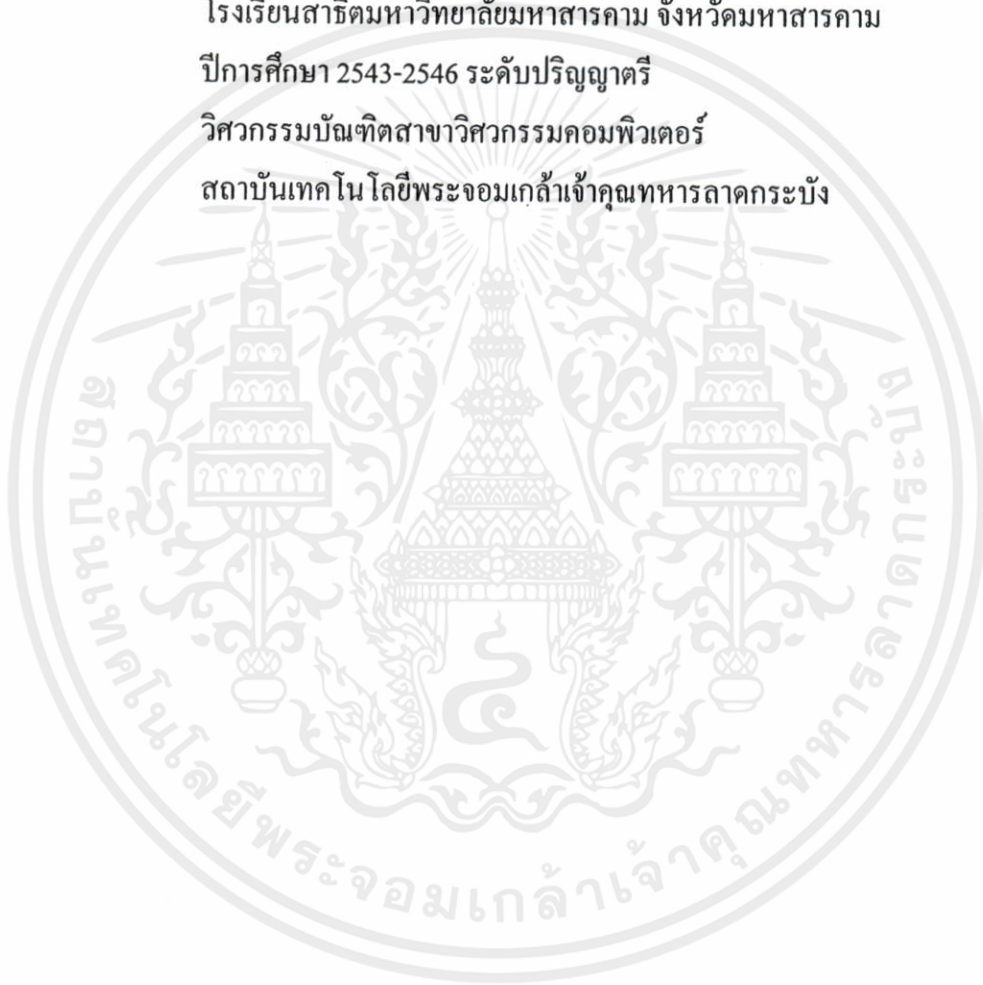
References

- [1] Watcharabutsarakham, S. "Segmentation for touching Thai typewritten" TENCON 2004 IEEE Region 10 Conference, Volume A, 21-24 Nov. 2004 pp. 199 - 202 Vol. 1
- [2] Lohakan, M. Airphaiboon, S. Sangworasil, M. "Single-character Segmentation for Handprinted Thai Word" Document Analysis and Recognition, 1999. ICDAR '99. Proceedings of the Fifth International Conference, 20-22 Sept. 1999 pp. 661 - 664
- [3] Tripathy, N. Pal, U. "Handwriting segmentation of unconstrained Oriya text" Frontiers in Handwriting Recognition, 2004. IWFHR-9 2004. Ninth International Workshop, 26-29 Oct. 2004 pp. 306 - 311
- [4] U. Pal, A. Belaid and Ch. Choisy "Touching numeral segmentation using water reservoir concept" Pattern Recognition Letters, vol.24, pp. 261-272, 2003.
- [5] U. Pal and P. P. Roy, "Multi-oriented and curved text lines extraction from Indian documents", IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics-Part B, vol.34, pp.1676-1684, 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอนุชิน จัตรชินรัตน์
วัน เดือน ปีเกิด	20 มิถุนายน 2524
การศึกษา	ปีการศึกษา 2537-2539 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสารคามพิทยาคม จังหวัดมหาสารคาม ปีการศึกษา 2540-2542 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัทยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ปีการศึกษา 2543-2546 ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมบัณฑิตสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้