สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปรับลายเส้นเพื่อให้ตัวอักษร คำหรือประโยคภาษาไทยให้อ่านได้ง่ายยิ่งขึ้น

Thai Handwriting Beautification

T137666

ดร.สุภวรรณ อันนันหนับ

รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร

นายกรัณย์ ต้นไม้ทอง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
ศ834ก
2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สขหม่.....
เลขทะเบียน 137656
รับ.เดือน.ปี 13 ก.ค. 2558

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญภาพ V

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 1

1.4 ระเบียบวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ความเป็นมาของการวิจัยการปรับปรุงลายมือเขียน 3

2.2 ลักษณะตัวอักษร 4

2.3 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 7

2.4 แนวทางการวิจัย 11

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 17

3.1 กระบวนการก่อนปรับลายเส้นตัวอักษรให้มีความสวยงาม (Preprocessing) 18

บทที่ 4 ผลการวิจัย 23

4.1 การหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียน 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 26

5.1 สรุปผลการวิจัย 26

เอกสารอ้างอิง 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ตัวอักษรภาษาอังกฤษแบบต่าง ๆ	4
2.2 ตัวอักษรภาษาอังกฤษกับบรรทัดของเส้นบรรทัด	5
2.3 ตัวอย่างเส้นบรรทัดของตัวอักษรภาษาไทย	6
2.4 ตัวอย่างลายมือเขียน	7
2.5 ฮิสโตแกรมนำเสนอข้อมูลจำนวนพิกเซลในแต่ละแถวของภาพที่	7
2.6 เปรียบเทียบความถี่ระหว่างการสร้างฮิสโตแกรมด้วยวิธี	9
2.7 ภาพจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาท	10
2.8 แสดงการทำงานของโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชั่น	10
2.9 ค่าพิกัดของพิกเซลบนระนาบแกน X และแกน Y	12
2.10 จุดต่ำสุด (จุดสีน้ำเงิน) จุดสูงสุด (จุดสีแดง) ของตัวอักษรบนระนาบแกน x และ y	15
2.11 ตัวอย่างการเลื่อนตัวอักษรให้อยู่ในแนวเส้น	10
2.12 แสดงทิศทางของเส้นที่ประกอบกันเป็นตัวอักษร	16
3.1 ระดับของตัวอักษรและพยัญชนะตัวเริ่มต้น	18
3.2 ตัวอักษรถูกจัดหมวดหมู่เข้าหมวดหมู่ที่ถูกต้อง ตัวอักษรสีเดียวกันแสดงถึงตัวอักษรในหมวดหมู่เดียวกัน	19
3.3 จุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษรภาษาไทยในแต่ละหมวดหมู่	20
3.4 คัดแยกจุดตามระดับเส้นบรรทัด	21
3.5 เส้นบรรทัดของตัวอักษรภาษาไทย	22
4.1 ผลของการหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนปกติ	23
4.2 ผลของการหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนปกติ	23
4.3 ผลการหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบฟันปลา	24
4.4 ผลการหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบฟันปลาและเอียง	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ การปรับลายเส้นเพื่อให้ตัวอักษร คำหรือประโยคภาษาไทยให้อ่านได้ง่ายยิ่งขึ้น
แหล่งเงิน เงินรายได้
ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557

1. ดร.สุภวรรณ อันนันหนับ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.
2. รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.
3. กรัณย์ ต้นไม้ทอง คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

บทคัดย่อ

การเก็บข้อมูลตัวอักษรเป็นกระบวนการที่สำคัญก่อนนำไปประมวลผลสำหรับการรู้จำตัวอักษร (Character Recognition) หรือสำหรับการปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรให้มีความสวยงามมากยิ่งขึ้น (Handwriting Beautification) มี 2 รูปแบบได้แก่ การเก็บข้อมูลตัวอักษรแบบออฟไลน์ (Offline) และการเก็บข้อมูลตัวอักษรแบบออนไลน์ (Online) การปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรภาษาอังกฤษให้มีความสวยงามมากยิ่งขึ้นเป็นงานวิจัยที่เคยถูกคิดค้นมาเพื่อปรับปรุงลายเส้นของตัวอักษรแบบออนไลน์ของภาษาอังกฤษ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนก่อนการประมวลผล (Preprocessing) และขั้นตอนการปรับปรุงลายเส้น (Beautification) ซึ่งใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Neuron Network) ในการแบ่งเส้นบรรทัด (Line Segmentation) สำหรับขั้นตอนก่อนการประมวลผล อย่างไรก็ตามเมื่อนำวิธีดังกล่าวไปใช้กับตัวอักษรภาษาไทยพบว่าตัวอักษรภาษาไทยกับตัวอักษรภาษาอังกฤษมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เราจึงนำเสนอวิธีการปรับเปลี่ยนข้อความภาษาไทยที่เขียนด้วยลายมือเขียนให้สวยงามและชัดเจนซึ่งเป็นวิธีการใหม่ในรายงานนี้

คำสำคัญ : ปรับลายเส้น ตัวอักษร คำ ประโยค ภาษาไทย สวยงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title: Thai Handwriting Beautification

Researcher: Dr.Supawan Annanab, As.Prof.Dr.Nopporn Chotikakamthorn, Karun Tonmaithong

Faculty: Information Technology **Department:** Information Science

ABSTRACT

Handwriting Recognition have been widely used for convert digital handwriting, printed document and characters that appear in image into text in a computer system called "fonts" for change, store or modify offline data. But this method is still limited in terms of accuracy that depends on the amount of sample data and can be used with characters only. With the limitations of handwriting recognition so there is a research called “Handwriting Beautification” that can beautify and clear English handwriting without require sample data. Our study found that English handwriting beautification can be applied for Thai handwriting too. So, we present Thai handwriting beautification for beautify and clear Thai handwriting without require sample data.

Keywords : Thai Handwriting Beautification

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนเงินวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ดร.สุภวรรณ อันนันหนับ
รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร
กรัณย์ ต้นไม้ทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการนำแท็บเล็ตมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเขียนหรือการจดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการทบทวนความจำของผู้เขียนเอง หรือนำสิ่งที่เขียนหรือบันทึกได้ไปใช้ประโยชน์ทางด้านสื่อการเรียนการสอน แต่ด้วยปัจจัยทางด้านพฤติกรรมหรือคุณลักษณะเฉพาะของแท็บเล็ตอาจส่งผลให้ข้อความที่ถูกบันทึกมานั้นอ่านได้ยาก ซึ่งทำให้เกิดปัญหากับตัวผู้บันทึกเองที่ไม่สามารถอ่านข้อความดังกล่าวให้ออกได้ในภายหลัง หรือทำให้เกิดปัญหาการอ่านไม่ออกกับผู้อ่านคนอื่น ๆ ถึงแม้จะมีแนวทางอย่างเช่น การรู้จำตัวอักษร (Handwriting recognition) อยู่แล้วก็ตามที แต่การสื่อสารด้วยลายมือเขียนยังคงได้รับความนิยมอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าการสื่อสารด้วยลายมือเขียนทำให้ผู้อ่านเข้าใจได้ง่ายยิ่งกว่า และในบางครั้งผู้ส่งสารเองมีความต้องการจะสื่อด้วยภาพวาดแทนการใช้ตัวอักษร พบว่าหากใช้แนวทางการรู้จำตัวอักษรแล้วผู้ส่งสารจะไม่สามารถวาดภาพประกอบได้เลย อีกทั้งการรู้จำตัวอักษรยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความถูกต้องแม่นยำหากผู้เขียน ๆ ด้วยความเร็วเกินค่า ๆ หนึ่งจะทำให้ข้อผิดพลาดสูง ซึ่งสิ่งที่ตามมาหลังความผิดพลาดคือทำให้การทำงานของผู้ใช้งานช้าลงเพราะต้องทำการลบคำที่ผิดพลาดและทำการเขียนคำขึ้นมาใหม่ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยการปรับลายเส้นเพื่อให้ตัวอักษร คำหรือประโยคภาษาไทยให้อ่านได้ง่ายยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1. เพื่อพัฒนาโปรแกรมการปรับลายเส้นที่เขียนด้วยลายมือเขียนให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอ่านยากง่ายของตัวอักษร คำหรือประโยคภาษาไทย

1.3.2 พัฒนาโปรแกรมการปรับลายเส้นที่เขียนด้วยลายมือเขียนให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

1.3.3 ทดลองและปรับปรุงโปรแกรมการปรับลายเส้นที่เขียนด้วยลายมือเขียนเพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.4 ระเบียบวิจัย

1.4.1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2. จัดทำเครื่องมือและฐานข้อมูลเพื่อการทดสอบ

1.4.3. ดำเนินการทดสอบด้วยลายมือ

1.4.4. สรุปผลการทดสอบเชิงเปรียบเทียบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

1.5.1. เพิ่มทักษะและความรู้ทางด้านการปรับลายเส้นที่เขียนด้วยลายมือเขียนให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

1.5.2. นำโปรแกรมที่พัฒนาไปใช้ประโยชน์เป็นสื่อสำหรับการเรียนการสอน

1.5.3. นำโปรแกรมที่พัฒนาไปให้สถานศึกษาหรือสถาบันวิจัยได้ทำการศึกษาเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนางานวิจัยอื่น ๆ ให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

1.5.4. นำโปรแกรมที่พัฒนาไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์หรือนำไปจำหน่าย

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นมาของการวิจัยการปรับปรุงลายมือเขียน

การรู้จำตัวอักษร (Handwriting recognition) [1] เริ่มเป็นที่แพร่หลายและให้ความสนใจจากนักวิจัยทั่วโลกตั้งแต่ปลายปี ค.ศ. 1987 [2] การรู้จำตัวอักษรในช่วงแรกถูกพัฒนาขึ้นอย่างง่ายเพื่อนำไปใช้กับตัวอักษรประเภทตัวพิมพ์เท่านั้น หลังจากที่การรู้จำตัวอักษรเริ่มเป็นที่รู้จักและเริ่มมีแนวทางการพัฒนามากยิ่งขึ้นนักวิจัยทั่วโลกเริ่มเบี่ยงเบนไปให้ความสนใจกับการนำเทคนิคการรู้จำตัวอักษรไปใช้งานกับลายมือเขียน (Handwriting) แต่ด้วยความยากและเกิดปัญหาต่าง ๆ ขึ้นมากมายระหว่างการศึกษาและค้นคว้าทำให้งานวิจัยเรื่องดังกล่าวกินเวลายาวนานกว่า 40 ปีจึงสามารถนำวิธีการการรู้จำตัวอักษรไปใช้งานได้กับลายมือเขียนได้เป็นอย่างดี การรู้จำตัวอักษรสำหรับตัวอักษรภาษาไทยเริ่มขึ้นครั้งแรกในช่วงปี ค.ศ. 1985 ซึ่งสามารถใช้งานได้เฉพาะกับตัวอักษรภาษาไทยประเภทตัวพิมพ์บางฟอนต์เท่านั้น นอกเหนือจากการถูกจำกัดด้วยเรื่องของฟอนต์แล้วการรู้จำตัวอักษรสำหรับภาษาไทยในช่วงแรกยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรนักจนกระทั่ง 30 ปี [2] ให้หลังการพัฒนาการรู้จำตัวอักษรสำหรับตัวอักษรภาษาไทยเริ่มถูกพัฒนาไปในทิศทางที่ดีขึ้นและเริ่มมีการนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น การนำเทคนิคการแปลงไฟล์ภาพเอกสารให้เป็นไฟล์ข้อความโดยอัตโนมัติ (OCR) [3] สำหรับเก็บข้อมูลเอกสารทางราชการ, เอกสารจดหมายเหตุรวมถึงเอกต่าง ๆ ที่เป็นถูกบันทึกเอาไว้ในลักษณะของสื่อแบบออฟไลน์ [4] ทั้งนี้เพื่อเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลในคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการประมวลผลต่อไป

การรู้จำตัวอักษรใช้หลักการจดจำรูปแบบของตัวอักษรตามข้อมูลตัวอย่างที่ถูกป้อนให้เครื่องเรียนรู้ เมื่อได้รับข้อมูลนำเข้า การรู้จำตัวอักษรจะนำข้อมูลดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับข้อมูลตัวอย่างที่มีพร้อมทั้งประมวลผลแทนที่ตัวอักษรตัวนั้นด้วยตัวอักษรตัวพิมพ์ที่กำหนดไว้ แต่การรู้จำตัวอักษรยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความถูกต้องแม่นยำหากผู้เขียนเขียนด้วยความเร็วเกินค่า ๆ หนึ่งจะทำให้การตรวจจับตัวอักษรและการแทนที่ตัวอักษรด้วยตัวพิมพ์เกิดข้อผิดพลาดซึ่งสิ่งที่ตามมาหลังความผิดพลาดคือทำให้การทำงานของผู้ใช้งานช้าลงเพราะต้องทำการลบคำที่ผิดพลาดจากนั้นทำการเขียนคำขึ้นมาใหม่ ในขณะที่การปรับปรุงลายมือเขียนไม่ใช้เทคนิคการรู้จำตัวอักษรแต่เป็นการปรับลายเส้นเพียงอย่างเดียว ซึ่งการปรับลายเส้นเพียงอย่างเดียวช่วยลดข้อผิดพลาดจากปัญหาดังกล่าวลงได้ อีกทั้งในบางครั้งผู้ส่งสารเองมีความต้องการจะสื่อด้วยภาพวาดแทนการใช้ตัวอักษรพบว่าหากใช้แนวทางการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รู้จำตัวอักษรแล้วผู้ส่งสารจะไม่สามารถวาดภาพประกอบได้เลย แต่ถ้าผู้ส่งสารนำวิธีการปรับปรุงลายเส้นไปใช้งานผู้ส่งสารจะสามารถสื่อด้วยภาพวาดพร้อมทั้งตัวอักษรได้ ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยการปรับลายเส้นเพื่อให้ตัวอักษรคำหรือประโยคภาษาไทยให้อ่านได้ง่ายยิ่งขึ้น

2.2 ลักษณะตัวอักษร

2.2.1. อักษรภาษาอังกฤษ

ตัวอักษรภาษาอังกฤษแบ่งออกเป็น 4 แบบได้แก่

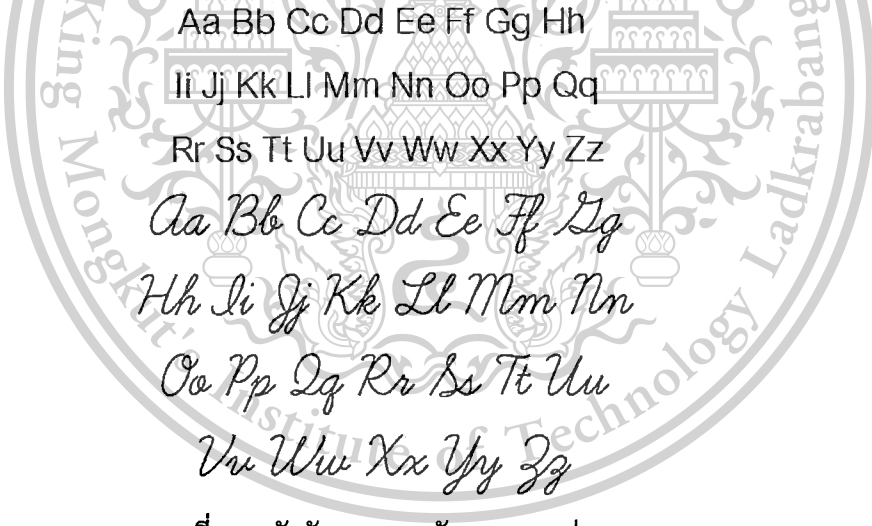
1.ตัวพิมพ์ใหญ่ (Capital letters)

2.ตัวพิมพ์เล็ก (Small letters)

3.ตัวเขียนใหญ่ (Cursive uppercase letters)

4.ตัวเขียนเล็ก (Cursive lowercase letters) (ดังภาพที่ 2.1)

การฝึกเขียนตัวอักษรภาษาอังกฤษทั้ง 4 แบบในวัยเด็กจะมีเส้นบรรทัด 2 เส้นกำกับเพื่อเป็นแนวทางในการเขียนตัวอักษรให้มีความสวยงามและได้ขนาดที่เท่ากัน



ภาพที่ 2.1 ตัวอักษรภาษาอังกฤษแบบต่าง ๆ

แต่เมื่อตัวอักษรถูกสร้างด้วยระบบดิจิตอลแทนการเขียนด้วยมือมนุษย์จำนวนเส้นบรรทัดที่ช่วยในการกำหนดความสวยงามจะเพิ่มขึ้นเป็น 4 เส้นได้แก่

1.เส้นบรรทัดฐาน (Baseline)

2.เส้นบรรทัดกลาง (Meanline)

3.เส้นบรรทัดบน (Ascender)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.เส้นบรรทัดล่าง (Descender) (ดังภาพที่ 2.2)

ตัวพิมพ์ใหญ่และตัวเขียนใหญ่จะเขียนอยู่ระหว่างเส้นบรรทัดฐานและเส้นบรรทัดบนในขณะที่ตัวพิมพ์เล็กและตัวเขียนเล็กจะมีขนาดความสูงเท่ากับ x-height คืออยู่ระหว่างเส้นบรรทัดฐานและเส้นบรรทัดกลาง แต่ตัวอักษรเล็กบางตัวจะมีเส้นบางส่วนของตัวอักษรเกินความสูง x-height เรียกว่า Overshoot เส้นเหล่านี้จะไปสิ้นสุดที่เส้นบรรทัดบนหรือเส้นบรรทัดล่างขึ้นอยู่กับตัวอักษร ดังภาพที่ 2.2 [5]

ภาพที่ 2.2 ตัวอักษรภาษาอังกฤษกับบรรทัดของเส้นบรรทัด

2.2.2. อักษรภาษาไทย

ตัวอักษรภาษาไทย [6] แบ่งออกเป็นพยัญชนะ 44 รูป สระ 21 รูป วรรณยุกต์ 4 รูป และเครื่องหมายอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

ตัวพยัญชนะ หมายถึง รูปพยัญชนะในภาษาไทยมีทั้งหมด 44 รูป ได้แก่

ก ข ฃ ค ฅ ฆ 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 ฬ อ ฮ

ตัวสระ หมายถึง รูปสระในภาษาไทย รูปสระภาษาไทยมีทั้งหมด 21 รูปและมีภาพที่ใช้โดยไม่ซ้ำกันจำนวน 18 รูป ได้แก่

ะ า ิ ี ึ ื ุ ู เ แ โ ไ ใ ๅ

ั ำ ฤ ฦ

วรรณยุกต์ หมายถึง รูปวรรณยุกต์ ในภาษาไทยมีทั้งหมด 4 รูป ได้แก่

เครื่องหมายอื่น ๆ ได้แก่ ฯ ฯลฯ ๆ ์

หลักการเขียนภาษาไทยที่ถูกต้องให้เขียนจากซ้ายไปขวาตามแนวเส้นบรรทัด เมื่อขึ้นบรรทัดใหม่ให้เรียงจากด้านบนลงด้านล่างตามแนวตั้ง ภายหลังการตัวอักษร คำ หรือประโยคในภาษาไทยสามารถแบ่งระดับของตัวอักษรได้ 4 ระดับ 5 เส้นได้แก่

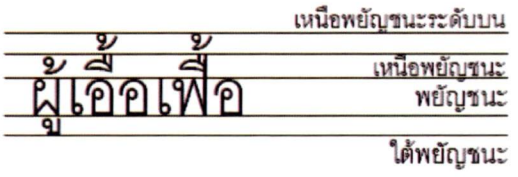
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.ระดับพยัญชนะ

2. ระดับใต้พยัญชนะ

3. ระดับเหนือพยัญชนะ

4. ระดับเหนือพยัญชนะด้านบน (ดังภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างเส้นบรรทัดของตัวอักษรภาษาไทย

ตำแหน่งระดับพยัญชนะ หมายถึง ตัวอักษรที่ปรากฏหรือถูกเขียนอยู่ในตำแหน่งของตัวพยัญชนะ ซึ่งตัวอักษรที่อยู่ในตำแหน่งระดับพยัญชนะประกอบด้วยตัวอักษร

ก	ข	ฃ	ค	ฅ	ฆ	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	ฬ	อ	ฮ	ะ	า	เ	แ	โ	ไ	ใ	ฤ
ฦ	ฯ	ฯลฯ	ๆ									

ตำแหน่งระดับใต้พยัญชนะ หมายถึง ตัวอักษรที่ปรากฏหรือถูกเขียนอยู่ในตำแหน่งใต้ตัวพยัญชนะประกอบด้วยส่วนเกินบรรทัดด้านล่าง (Overshoot), สระอุและสระอู

ตำแหน่งระดับเหนือพยัญชนะ หมายถึง ตัวอักษรที่ปรากฏหรือถูกเขียนอยู่ในตำแหน่งบนตัวพยัญชนะประกอบด้วยตัวอักษรซึ่งส่วนใหญ่เป็นสระและตัวพยัญชนะ

ตำแหน่งระดับเหนือพยัญชนะด้านบน หมายถึง ตัวอักษรที่ปรากฏหรือถูกเขียนอยู่ในตำแหน่งบนระดับเหนือพยัญชนะประกอบด้วยตัวอักษรซึ่งเป็นวรรณยุกต์ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.3.1. การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรม

2.3.1.1. ฮิสโตแกรม คือ รูปแบบของการนำเสนอข้อมูลแบบหนึ่งซึ่งแกนแนวตั้งแสดงความถี่ของข้อมูล และแกนแนวนอนแสดงตำแหน่งค่า y นั้นๆของข้อมูล ภาพที่ 2.5 นำเสนอฮิสโตแกรมของลายมือเขียนใน ภาพที่ 2.4 ด้วยสมการที่ 1 [7]

$$\mathrm{P(J)} = \sum_{i} I(i,j) \tag{1}$$

ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างลายมือเขียน

ภาพที่ 2.5 ฮิสโตแกรมนำเสนอข้อมูลจำนวนพิกเซลในแต่ละแถวของภาพที่ 2.4

2.3.1.2. การค้นหาเส้นบรรทัดแด้วยฮิสโตแกรม การหาเส้นบรรทัดสามารถหาได้จากฮิสโตแกรม (Projection Profile) [7] เมื่อทำการฉายฮิสโตแกรมพบว่าตำแหน่งเริ่มต้นของข้อมูลบนฮิสโตแกรมมัก เป็นส่วนของเส้นบรรทัดบนหรือเส้นบรรทัดกลาง และตำแหน่งสิ้นสุดของข้อมูลบนฮิสโตแกรมมักเป็นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ของเส้นบรรทัดฐานหรือเส้นบรรทัดล่าง (ดังภาพที่ 2.5) การค้นหาเส้นบรรทัดจากฮิสโตแกรมสามารถทำได้โดยกำหนดค่าเธรดโชว์ (Threshold) ที่เหมาะสม (ค่าเธรดโชว์ที่เหมาะสมนั้นหาได้จากการทดลอง) เมื่อทำการฉายฮิสโตแกรมในระนาบแนวนอนให้นำค่าเธรดโชว์ดังกล่าวตรวจสอบกับปริมาณพิกเซล ณ ตำแหน่งปัจจุบันและตำแหน่งถัดไปหากปริมาณพิกเซลของทั้งสองตำแหน่งมีค่ามากกว่าเธรดโชว์ที่กำหนด และตำแหน่งก่อนหน้ามีปริมาณพิกเซลที่ต่ำกว่าค่าเธรดโชว์ที่กำหนดสามารถประมาณการได้ว่าตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งของเส้นบรรทัด อีกกรณีหนึ่งหากตำแหน่งปัจจุบันและตำแหน่งก่อนหน้ามีปริมาณพิกเซลมากกว่าค่าเธรดโชว์ที่กำหนดรวมถึงตำแหน่งถัดไปมีปริมาณพิกเซลที่ต่ำกว่าค่าเธรดโชว์ที่กำหนดสามารถประมาณการได้ว่าตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งของเส้นบรรทัดได้เช่นกัน ซึ่งการค้นหาเส้นบรรทัดทั้งสองกรณีเกิดจากสมมติฐานที่ว่าตำแหน่งของเส้นบรรทัดบนฮิสโตแกรมมักเป็นตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของปริมาณพิกเซลอย่างกระทันหัน

จากการวิเคราะห์สิ่งที่ได้จากการฉายฮิสโตแกรมด้วยค่าเธรดโชว์ทำให้ได้เส้นบรรทัดจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 เส้นด้วยกันได้แก่ 1.เส้นบรรทัดฐาน 2. เส้นบรรทัดกลาง 3. เส้นบรรทัดบน 4. เส้นบรรทัดล่าง การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรมเป็นวิธีที่เรียบง่ายแต่มีข้อจำกัดอยู่ที่การกำหนดค่าเธรดโชว์ที่เหมาะสม ซึ่งค่าเธรดโชว์ที่เหมาะสมไม่มีกฎกำหนดที่ตายตัวแต่สามารถค้นหาได้จากการทดลอง จากสาเหตุดังกล่าวส่งผลให้ผลการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรมเกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย อีกทั้งหากข้อมูลลายมือเขียนที่นำมาฉายฮิสโตแกรมมีปริมาณของพิกเซลอันไม่ถึงประสงค์ (Noise) เป็นจำนวนมากส่งผลให้การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยวิธีนี้เกิดข้อผิดพลาดได้เช่นกัน

2.3.2. การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยการใช้ฮิสโตแกรมแบบประยุกต์

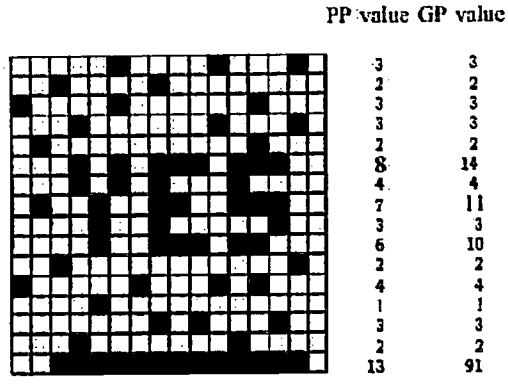
การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยการประยุกต์ใช้ฮิสโตแกรม (Generalised Projections) [7] เป็นวิธีการที่ประยุกต์มาจากวิธีการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรม ทั้งนี้เพื่อแก้ปัญหาข้อผิดพลาดที่เกิดจากปริมาณของพิกเซลอันไม่ถึงประสงค์ที่เกิดขึ้นกับวิธีการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรม การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยการประยุกต์ใช้ฮิสโตแกรมใช้หลักการปรับความถี่ของจำนวนพิกเซลใหม่ให้ความถี่ของพิกเซลที่มีพิกเซลด้านข้างติดกันให้มีความถี่ที่สูงขึ้นทั้งนี้เพื่อแยกพิเซลที่ต้องการกับพิกเซลอันไม่ถึงประสงค์ (Noise) ออกจากกันโดยชัดเจน การปรับความถี่ของจำนวนพิกเซลใหม่เป็นไปดังสมการที่ 2

$$GP(j) = \sum \Im(\mathrm{I}(\mathrm{i},\mathrm{j})) \tag{2}$$

ภายหลังการปรับความถี่ของจำนวนพิกเซลใหม่ทำให้ความถี่ของพิกเซลที่มีพิกเซลด้านข้างติดกันมีความถี่ที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการฉายฮิสโตแกรมแบบดั้งเดิม (ดังหัวข้อที่ 2.3.1.) ซึ่งภาพที่ 2.6 แสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่เปรียบเทียบระหว่างการสร้างฮิสโตแกรมด้วยวิธี Projection Profile กับ Generalised Projections



ภาพที่ 2.6 เปรียบเทียบความถี่ระหว่างการสร้างฮิสโตแกรมด้วยวิธี Projection Profile กับ Generalised Projections

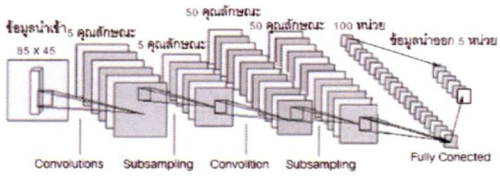
การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยการประยุกต์ใช้ฮิสโตแกรมใช้หลักการการเดียวกันกับการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรม กล่าวคือภายหลังการสร้างฮิสโตแกรมด้วยวิธี Generalised Projections ให้กำหนดค่าเธรดโชว์ที่หมาะสมและนำค่าเธรดโชว์ดังกล่าวไปหาเส้นบรรทัดตามหลักการค้นหาเส้นบรรทัดในหัวข้อที่ 2.3.1.2. ถึงแม้วิธีการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยการประยุกต์ใช้ฮิสโตแกรมจะสามารถแก้ปัญหาข้อผิดพลาดที่เกิดจากปริมาณของพิกเซลอันไม่ถึงประสงค์ได้แต่วิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในการกำหนดค่าเธรดโชว์ที่เหมาะสมเช่นเดียวกันกับการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรมดังหัวข้อที่ 2.3.1.

2.3.3. การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

2.3.3.1. โครงข่ายประสามเทียม

โครงข่ายประสาทเป็นเทคนิคที่นิยมนำไปใช้สำหรับการรู้จำวัตถุต่าง ๆ ซึ่งโครงข่ายประสาทเป็นวิธีที่จำลองการทำงานมาจากสมองของมนุษย์ออกมาในลักษณะของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนได้แก่ 1. ส่วนนำเข้า (Input) 2. ส่วนนำออก (Output) หลักการทำงานของวิธีโครงข่ายประสาทให้นำส่วนนำเข้าคูณกับค่าน้ำหนัก (Weight) ต่าง ๆ ที่ถูกกำหนดขึ้น หากผลลัพธ์หรือค่านำออกที่ได้ออกมามีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง (Threshold) ให้นำค่านำออกดังกล่าวส่งไปประมวลผลยังบัพ (Node) ถัดไปและทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบทุกบัพจะได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ (ดังภาพที่ 2.7) ซึ่งค่าขีดแบ่งและค่าน้ำหนักที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตของการทำงานของโครงข่ายประสาทเกิดจากการนำภาพผลลัพธ์ที่ทราบอยู่แล้วกับภาพที่ต้องการหาผลลัพธ์เข้าสู่กระบวนการโครงข่ายประสาทพร้อมทั้งบันทึกค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความแตกต่างของผลลัพธ์ระหว่างภาพทั้งสองในแต่ละรอบการประมวลผล ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าความคลาดเคลื่อนจะอยู่ในจุดสมดุลหรือเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง กระบวนการหาค่าขีดแบ่งและค่าน้ำหนักดังกล่าวเราเรียกว่า “กระบวนการเรียนรู้ (Train)”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

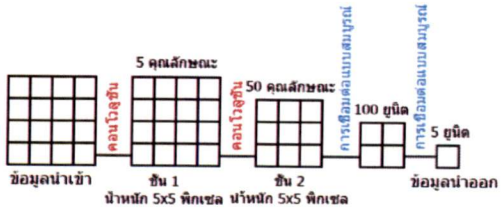


ภาพที่ 2.7 ภาพจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาท

ลักษณะของโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชั่น[8] สำหรับการรู้จำระดับของเส้นบรรทัด (Convolution Neural Network) เริ่มด้วยภาพที่มีขนาด 85 x 45 พิกเซล มาเชื่อมต่อกันเป็น 3 ชั้น (Layer) ชั้นแรกภาพประกอบด้วย 5 ชิ้น (Feature) ชั้นที่สองภาพประกอบด้วย 50 ชิ้น ชั้นที่สาม 100 หน่วย และสุดท้ายได้ข้อมูลนำออก 5 หน่วย จากภาพที่ 2.7[9] การเชื่อมต่อระหว่างชั้นด้วย convolution นั้นเปรียบเหมือนการคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักขนาด 5x5 พิกเซลหากผลลัพธ์ใดมีค่าเกินค่าขีดแบ่ง จะเข้าสู่การเชื่อมต่อถัดไปซึ่งยังอยู่ในชั้นเดิมและเป็นการเชื่อมต่อแบบ subsampling ซึ่งเป็นการนำส่วนที่ผลลัพธ์เกินขีดแบ่งมาทำการสุ่มตัวอย่างออกมาให้ได้จำนวนชิ้นเท่ากันสำหรับชั้นเดียวกัน ต่อจากนั้นเป็นการเชื่อมต่อสองชั้นสุดท้าย คือการเชื่อมต่อแบบ fully connected และจะให้ผลลัพธ์สุดท้ายเป็นข้อมูล 5 ค่าที่จะนำไปใช้งานและอธิบายในส่วนต่อไป

2.3.3.2. ค้นหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของตัวอักษรด้วยโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชั่น

การใช้โครงข่ายประสาทจำเป็นต้องกำหนดขนาดของข้อมูลนำเข้าและขนาดของลักษณะที่อยู่ในเลเยอร์ต่าง ๆ โดยปกติแล้วมักกำหนดให้ข้อมูลนำเข้ามีขนาดเท่ากับ 85 x 45 พิกเซล เชื่อมต่อกับชั้นที่ 1 และ 2 ด้วยคอนโวลูชั่น ในแต่ละชั้นมีขนาดเท่ากับ 5 ชิ้น และ 50 ชิ้น ตามลำดับสองชั้นสุดท้าย เป็นการเชื่อมต่ออย่างสมบูรณ์ที่โดยเลเยอร์ที่ 3 มีขนาดเท่ากับ 100 หน่วย และขนาดของข้อมูลนำออกจะมีขนาดเท่ากับ 5 หน่วยซึ่งแต่ละหน่วยเป็นค่าเส้นลาง, เส้นฐาน, เส้นอื่น ๆ, เส้นกลางและเส้นบน ตามลำดับ [10] (ดังภาพที่ 2.8) ข้อมูลที่ได้จากโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันนี้เป็นค่าจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดที่เชื่อถือได้ เราจะนำไปเข้าสมการเพื่อคำนวณเส้นบรรทัดออกมา ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 2.8 แสดงการทำงานของโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.3.3. ตรวจหาเส้นบรรทัดของลายมือเขียนด้วยจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของตัวอักษร

จากขั้นตอนที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่ชัดเจนของจุดต่าง ๆ ซึ่งจุดสูงสุดหมายถึงจุดที่อยู่ในตำแหน่งเส้นกลางและเส้นบน จุดต่ำสุดหมายถึงจุดที่อยู่ในตำแหน่งเส้นฐานและเส้นล่างโดยที่จุดต่าง ๆ เหล่านี้มีค่าประจำจุดคือค่าพิกัดบนระนาบแกน x และแกน y ให้นำค่าพิกัดบนระนาบแกน x และแกน y ของทุก ๆ จุดเข้าสมการที่ (3) จะได้เส้นบรรทัดตามที่ต้องการ

$$a = \frac{T_{xy} - \frac{1}{N} T_x T_y}{T_{xx} - \frac{1}{N} T_x T_x} \quad (3)$$

$$b = \frac{1}{N}(T_y - T_x a) \quad (4)$$

$$y = ax + b \quad (5)$$

ซึ่ง a คือ ค่าความชัน, b คือ ค่าคงตัว

T_xคือ ผลรวมของค่าพิกัดแนวแกน x ทั้งหมด

T_yคือ ผลรวมของค่าพิกัดแนวแกน y ทั้งหมด

T_{xy}คือผลรวมของค่าพิกัดในแนวแกน x ซึ่งคูณกับค่า พิกัดในแนวแกนวายของจุดหนึ่ง ๆ ทั้งหมด

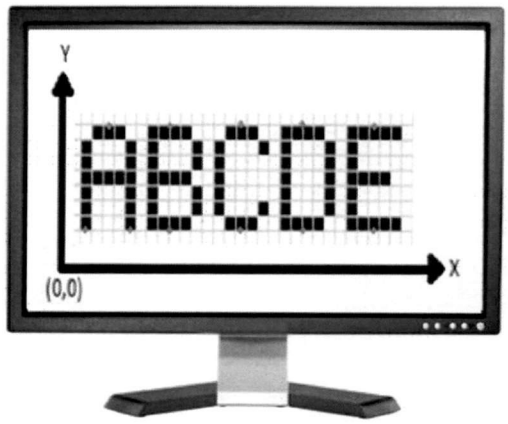
T_{xy}คือผลรวมของค่าพิกัดในแนวแกน x ซึ่งคูณกับค่า พิกัดในแนวแกน x ของจุดหนึ่ง ๆ ทั้งหมด

N คือ จำนวนของจุดทั้งหมด

2.4. แนวทางการวิจัย

การปรับลายเส้นตัวอักษรให้มีความสวยงามมากยิ่งขึ้นสำหรับตัวอักษรภาษาอังกฤษ[10]แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1. ขั้นตอนก่อนการหาเส้นบรรทัด (Preprocessing) 2. ขั้นตอนการปรับปรุงลายเส้น (Beautification)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 2.9 ค่าพิกัดของพิกเซลบนระนาบแกน X และแกน Y

2.4.1. การหาเส้นบรรทัด

กระบวนการหาเส้นบรรทัดเป็นขั้นตอนก่อนการปรับปรุงลายเส้นซึ่งช่วยลดขั้นตอนและความยุ่งยากในการแบ่งส่วนข้อมูล (Segmentation) [6] ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนย่อย ดังต่อไปนี้

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.1.1. เก็บข้อมูลลายมือเขียนดิจิตอล

การเก็บข้อมูลลายมือเขียนดิจิตอลเป็นขั้นตอนแรกสำหรับเก็บค่าคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละพิกเซลซึ่งประกอบไปด้วยค่าพิกัดบนระนาบแกน x และแกน y ของแต่ละพิกเซลที่ได้จากการเขียนตัวอักษรบนอุปกรณ์เก็บข้อมูล อย่างเช่น แท็บเล็ต

เมื่อเขียนตัวอักษรบนอุปกรณ์เก็บข้อมูลทำให้เกิดลายเส้นจำนวนหนึ่ง ลายเส้นต่าง ๆ เหล่านี้เกิดจากการเรียงตัวกันของพิกเซลที่มีข้อมูลประจำตำแหน่งคือค่าพิกัดบนแกน x และแกน y (ภาพที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงการเรียงตัวของพิกเซลและค่าพิกัดบนระนาบแกน x และแกน y ของแต่ละพิกเซล) การเก็บข้อมูลลายมือเขียนดิจิตอลอาศัยการเก็บรวบรวมค่าพิกัดบนระนาบแกน x และแกน y ของแต่ละพิกเซลและนำข้อมูลค่าพิกัดเหล่านี้มาใช้ประมวลผลต่อไป

2.4.1.2. ค้นหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษร

หลักการเขียนภาษาไทยโดยทั่วไปเริ่มเขียนจากทางด้านซ้ายไปด้านขวาตามแนวเส้นบรรทัดในแนวนอน เมื่อเขียนจนจบบรรทัดให้ขึ้นบรรทัดใหม่ทางด้านล่างตามแนวแกนตั้งเสมอ ความสูงของตัวอักษรจึงมีส่วนสำคัญในการช่วยค้นหาเส้นบรรทัดได้ เพื่อหาความสูงของตัวอักษรวิธีการที่ง่ายที่สุดคือหาตำแหน่งของจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของตัวอักษรที่กำลังกล่าวถึงในส่วนถัดไป

การค้นหาจุดต่ำสุด (พิกเซลที่มีค่าพิกัด y ต่ำที่สุดของตัวอักษรหนึ่ง ๆ) และจุดสูงสุด (พิกเซลที่มีค่าพิกัด y สูงที่สุดของตัวอักษรหนึ่ง ๆ) ของตัวอักษรเป็นกระบวนการสำหรับค้นหาว่าจุดใดของตัวอักษรเป็นจุดต่ำสุดหรือสูงสุดทั้งนี้เพื่อนำค่าพิกัด y ของจุดดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณหาเส้นบรรทัดในกระบวนการตรวจหาเส้นบรรทัดถัดไป

การค้นหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษรภาษาอังกฤษประยุกต์ใช้เทคนิคเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network) [8-9,11] สำหรับการค้นหา เทคนิคเครือข่ายประสาทเทียมจำเป็นต้องมีผลลัพธ์ตัวอย่าง (Training) ให้โปรแกรมได้รู้จำก่อนการตัดสินใจให้คำตอบแก่ผู้ใช้งานโปรแกรมโดยปริมาณผลลัพธ์ตัวอย่างมีผลโดยตรงกับความถูกต้องของโปรแกรม ยิ่งมีผลลัพธ์ตัวอย่างมากเท่าไรความถูกต้องของผลลัพธ์ก็ยิ่งมีมากขึ้นเท่านั้น การประยุกต์ใช้เทคนิคเครือข่ายประสาทเทียมในการการหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษรภาษาอังกฤษช่วยให้ง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมเนื่องจากภาษาอังกฤษเป็นภาษายอดนิยมในการพัฒนาและวิจัยของนักวิจัยทั่วโลกทำให้มีฐานข้อมูลของผลลัพธ์ตัวอย่างเป็นจำนวนมากคอยรองรับการพัฒนาต่อยอดจากนักวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

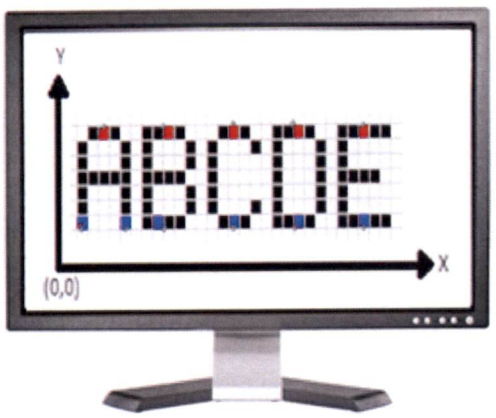
เนื่องจากตัวอักษรภาษาไทยเป็นภาษาที่ไม่ค่อยได้รับความนิยมจากนักวิจัยทั่วโลกสักเท่าไรนักทำให้ฐานข้อมูลของผลลัพธ์ตัวอย่างสำหรับการนำไปใช้กับเทคนิคเครือข่ายประสาทเทียมมีปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับภาษาอังกฤษส่งผลให้การประยุกต์ใช้เทคนิคเครือข่ายประสาทเทียมกับตัวอักษรภาษาไทยเป็นไปได้อย่างค่อนข้างลำบากและมีผลต่อความถูกต้องของข้อมูล

ด้วยลักษณะเฉพาะในการเขียนตัวอักษรภาษาไทยตัวบรรจงต้องหยุดและยกมือทุกครั้งหลังเขียนตัวอักษรหนึ่งตัว ในขณะที่ลักษณะของการเขียนลายมือหวัดคือการเขียนตัวอักษรติดกันโดยไม่หยุดและยกมือขึ้น ในงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญไปที่การเขียนตัวอักษรภาษาไทยตัวบรรจงทำให้สามารถสามารถเก็บข้อมูลลายมือเขียนของแต่ละตัวอักษรแยกออกจากกันได้อย่างอิสระ ข้อมูลลายมือเขียนของตัวอักษรหนึ่งตัวประกอบไปด้วยค่าพิกัด x และค่าพิกัด y ของแต่ละพิกเซลที่ประกอบกันเป็นตัวอักษรหนึ่งตัว การค้นหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของตัวอักษรภาษาไทยสามารถหาได้อย่างง่ายโดยการเลือกพิกเซลที่มีค่าพิกัด y ต่ำที่สุดและสูงที่สุด ตามลำดับ

2.4.1.3. การหาเส้นบรรทัดจากจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษร

การตรวจหาเส้นบรรทัดเป็นขั้นตอนต่อจากการหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษรภาษาอังกฤษจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษร (ภาพที่ 2.10) ที่หาได้จากขั้นตอนก่อนหน้าประกอบด้วยคุณลักษณะ 2 อย่างได้แก่ค่าพิกัดบนแกน x และค่าพิกัดบนแกน y เมื่อนำค่าพิกัด x และ ค่าพิกัด y ของทุก ๆ จุดต่ำสุดและสูงสุดแทนค่าในสมการที่ (1) ทำให้ได้ค่าความชัน a ของเส้นบรรทัดและในขณะเดียวกันเมื่อนำค่าพิกัด x และ ค่าพิกัด y แทนค่าในสมการที่ (2) ทำให้ได้ค่าคงตัว b ออกมาค่าหนึ่ง เพื่อเป็นการหาเส้นบรรทัดให้นำค่าความชันและค่าคงตัวที่หาได้จากสมการที่ (1) และ (2) เข้าแทนค่าในสมการที่ (3) ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาคือเส้นบรรทัดตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 2.10 จุดต่ำสุด (จุดสีน้ำเงิน) จุดสูงสุด (จุดสีแดง) ของตัวอักษรบนระนาบแกน x และ y

2.4.2. การปรับปรุงลายเส้นตัวอักษร

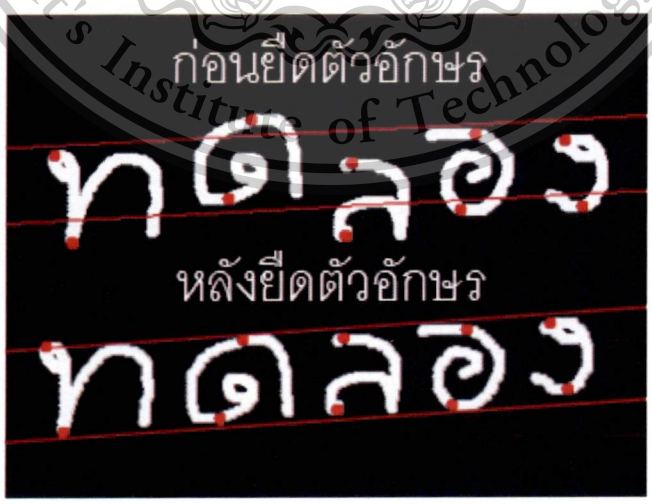
การปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรเป็นกระบวนการภายหลังกระบวนการค้นหาเส้นบรรทัดเสร็จสิ้น การปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรภาษาอังกฤษใช้ 2 เทคนิคหลักซึ่งได้แก่

1. การยืดตัวอักษรให้อยู่ในแนวเส้น
2. การปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรให้สวยงาม

ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.2.1. การยืดตัวอักษรให้อยู่ในแนวเส้นบรรทัด

การยืดตัวอักษรให้อยู่ในแนวเส้นบรรทัดใช้วิธีเลื่อนพิกเซลขึ้นลงบนระนาบแกน y ตามระยะที่คำนวณได้ ทั้งนี้เพื่อจัดระเบียบตัวอักษรให้เป็นระเบียบก่อนปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรให้สวยงามต่อไป (ดังภาพที่ 2.11)



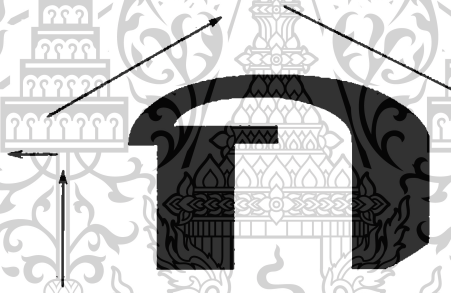
ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างการเลื่อนตัวอักษรให้อยู่ในแนวเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.2.2. การปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรให้สวยงาม

การปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรให้สวยงามสำหรับตัวอักษรภาษาอังกฤษเป็นเทคนิคสำหรับปรับตัวอักษรให้มีความพอดีกับเส้นบรรทัดที่หาได้จากหัวข้อที่ 2.4.1.3. ซึ่งมีความยากเนื่องจากเมื่อปรับความสูงของตัวอักษรให้พอดีกับเส้นบรรทัดแล้วส่งผลให้รูปร่างของตัวอักษรผิดรูปแบบรวมถึงทำให้อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความสูงของตัวอักษรเกิดการเปลี่ยนแปลง ในขั้นตอนการปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรให้สวยงามสำหรับตัวอักษรภาษาอังกฤษจึงใช้หลักการการยืดตัวอักษร (ปรับความสูงให้พอดีกับเส้นบรรทัด) และปรับอัตราส่วนระหว่างความกว้างและความสูงของตัวอักษรใหม่ให้ไม่ผิดไปจากเดิม

สำหรับการปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรให้สวยงามอาศัยลักษณะที่สำคัญของตัวอักษรเข้ามาเกี่ยวข้องตัวอย่างเช่น ตัวอักษร "ก" [12] ประกอบด้วยเส้นตรงทิศทางขึ้น เส้นตรงทิศทางขวา เส้นตรงทิศทางเฉียงขึ้นทางขวา เส้นตรงทิศทางเฉียงลงทางขวา และเส้นตรงทิศทางลง (ดังภาพที่ 2.12) จากลักษณะพิเศษดังกล่าวของตัวอักษรภาษาทำให้ให้มีความเป็นไปได้ในการปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรให้สวยงามมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.12 แสดงทิศทางของเส้นที่ประกอบกันเป็นตัวอักษร

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพบว่าสามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินวิจัยได้เป็น 2 ขั้นตอนหลักได้แก่ 1. กระบวนการก่อนปรับลายเส้นตัวอักษรให้มีความสวยงาม (Preprocessing) 2.กระบวนการปรับลายเส้นตัวอักษรให้มีความสวยงามมากยิ่งขึ้น

3.1. กระบวนการก่อนปรับลายเส้นตัวอักษรให้มีความสวยงาม (Preprocessing)

กระบวนการก่อนการปรับลายเส้นตัวอักษรให้มีความสวยงามประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนย่อยได้แก่

1. เก็บข้อมูลลายมือเขียนดิจิตอล
2. แบ่งแยกหมวดหมู่ให้แก่ตัวอักษรภาษาไทย
3. ค้นหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษรภาษาไทย
4. ตรวจหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนภาษาไทย

3.1.1. เก็บข้อมูลลายมือเขียนดิจิตอล

การเก็บข้อมูลลายมือเขียนดิจิตอลในการดำเนินการวิจัยใช้หลักการตามทฤษฎีที่ 2.4.1.1. โดยอาศัยแท็บเล็ตเป็นอุปกรณ์นำเข้าสำหรับเก็บข้อมูลพร้อมทั้งเขียนโปรแกรมขึ้นมาเพื่อรองรับการเก็บข้อมูลตามทฤษฎีที่ได้ศึกษาโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

อุปกรณ์นำเข้าสำหรับการเก็บข้อมูลลายมือเขียนดิจิตอลในงานวิจัยนี้ใช้แท็บเล็ตยี่ห้อ Wacom รุ่น Bamboo CHT-670 ในการเก็บข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านช่องเชื่อมต่อ USB เวอร์ชั้น 2.0 ภายหลังการติดตั้งและลงไดร์เวอร์ผู้ใช้งานสามารถวาดหรือเขียนสิ่งที่ต้องการได้อย่างอิสระตามต้องการ

โปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูลนำเข้าสำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ภาษา C# เป็นภาษาหลักสำหรับการพัฒนาโดยมี Microsoft Visual Studio 2012 เป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนา ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาถูกออกแบบให้สามารถเก็บข้อมูลลายมือเขียนดิจิตอลได้โดย ทุก ๆ ครั้งที่ผู้เขียนเขียนตัวอักษรผ่านแท็บเล็ตที่ผู้วิจัยจัดเตรียมไว้สำหรับการเก็บข้อมูลทำให้เกิดภาพลายเส้นขึ้นบนหน้าจอ ซึ่งภาพลายเส้นเหล่านี้เกิดจากการเรียงตัวกันของจุด (พิกเซล) ในแต่ละจุดหรือพิกเซลนั้นมีค่าคุณลักษณะเฉพาะที่เรียกว่าค่าพิกัดบนแกน x และ y บนระนาบหน้าจอแสดงผล โปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูลเก็บค่าคุณลักษณะดังกล่าวของทุก ๆ จุดที่ถูกเขียนขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.
137666

3.1.2. แบ่งแยกหมวดหมู่ให้แก่ตัวอักษรภาษาไทย

ขั้นตอนต่อไปหลังจากเก็บข้อมูลลายมือดิจิตอลสำหรับตัวอักษรภาษาอังกฤษคือการค้นหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของตัวอักษร แต่ด้วยความแตกต่างระหว่างภาษาไทยกับภาษาอังกฤษที่การเขียนตัวอักษรภาษาไทยมีความซับซ้อนกว่าการเขียนตัวอักษรภาษาอังกฤษกล่าวคือการเขียนตัวอักษรภาษาไทยในหนึ่งบรรทัดมีทั้งการจัดวางตัวอักษรซ้อนสระและวรรณยุกต์ทับตัวอักษรพยัญชนะในแนวตั้งทำให้เกิดระดับสระด้านล่าง ระดับสระด้านบนและ หากทำการค้นหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของตัวอักษรและนำข้อมูลไปสร้างเส้นบรรทัดโดยทันทีจะก่อให้เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย ด้วยเหตุผลดังกล่าวจำเป็นต้องเก็บข้อมูลตัวอักษรแยกเป็นระดับและนำแต่ละระดับไปค้นหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของตัวอักษรจะได้จุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของตัวอักษรแยกออกจากกันเพื่อใช้ในการประมวลผลถัดไป

ด้วยลักษณะปกติทั่วไปในการเขียนตัวอักษรภาษาไทยที่ต้องเริ่มจากการเขียนตัวอักษรในระดับพยัญชนะเป็นตัวแรกเสมอทำให้สามารถจำแนกตัวอักษรได้โดยง่าย การตรวจสอบว่าตัวอักษรที่ถูกเขียนแต่ละตัวอยู่ในหมวดหมู่ใดนั้นสามารถทำได้โดยใช้ตัวอักษรในระดับพยัญชนะเป็นตัวเปรียบเทียบหากเปรียบเทียบแล้วเป็นดังต่อไปนี้ (ดังภาพที่ 3.1)

ภาพที่ 3.1 ระดับของตัวอักษรและพยัญชนะตัวเริ่มต้น

1.หากตัวอักษรที่ถูกเขียนตัวถัดไปอยู่ในระนาบแกน x เดียวกับตัวอักษรพยัญชนะหรือตัวเปรียบเทียบและอยู่ใต้ตัวอักษรเริ่มต้นกำหนดให้ตัวอักษรตัวดังกล่าวจัดอยู่ในกลุ่มของตัวอักษรในระดับสระด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.หากตัวอักษรที่ถูกเขียนตัวถัดไปอยู่ในระนาบแกน x เดียวกับตัวอักษรพยัญชนะหรือตัวเปรียบเทียบและอยู่เหนือครั้งที่หนึ่งของตัวอักษรเริ่มต้นกำหนดให้ตัวอักษรตัวดังกล่าวจัดอยู่ในกลุ่มของตัวอักษรในระดับสระด้านบน

3.หากตัวอักษรที่ถูกเขียนตัวถัดไปอยู่ในระนาบแกน x เดียวกับตัวอักษรพยัญชนะหรือตัวเปรียบเทียบและอยู่เหนือของตัวอักษรในระดับสระด้านบนกำหนดให้ตัวอักษรตัวดังกล่าวจัดอยู่ในกลุ่มของตัวอักษรในระดับวรรณยุกต์

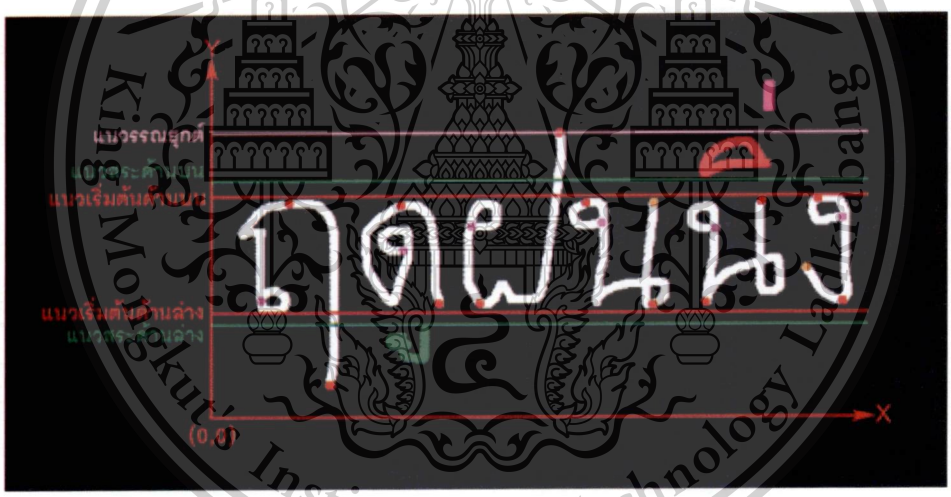
ภายหลังการแบ่งแยกหมวดหมู่ให้แก่ตัวอักษรภาษาไทยทำให้เกิดกลุ่มของตัวอักษรทั้งสิ้น 4 กลุ่มด้วยกัน ได้แก่

1.ตัวอักษรในระดับพยัญชนะ (Body)

2.ตัวอักษรในระดับสระด้านล่าง (Under)

3.ตัวอักษรในระดับสระด้านบน (Above)

4.ตัวอักษรในระดับวรรณยุกต์ (Top) (ดังภาพที่ 3.2)



ภาพที่ 3.2 ตัวอักษรถูกจัดหมวดหมู่เข้าหมวดหมู่ที่ถูกต้อง ตัวอักษรสีเดียวกันแสดงถึงตัวอักษรในหมวดหมู่เดียวกัน

3.1.3. ค้นหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษรภาษาไทย

3.1.3.1. ค้นหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษรภาษาไทยในแต่ละกลุ่ม

ด้วยคุณลักษณะพิเศษในการเขียนตัวอักษรภาษาไทยที่จำเป็นต้องยกมือทุกครั้งหลังเขียนตัวอักษรหนึ่งตัว ทำให้สามารถค้นหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษรได้โดยง่ายซึ่งสามารถหาจุดต่ำสุดของตัวอักษรได้จากจุดที่มีค่าพิกัดบนระนาบแกน y ต่ำที่สุดใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขณะเดียวกันจุดสูงสุดของตัวอักษรสามารถหาได้จากจุดที่มีค่าพิกัดบนระนาบแกน y สูงที่สุดของชุดข้อมูล ภายหลังการค้นหาจุดต่ำสุดและสูงสุดทำให้ได้กลุ่มของตัวอักษรจำนวนทั้งสิ้น 4 กลุ่มโดยแต่ละกลุ่มจะเกิดจุด 2 ชุดได้แก่ ชุดของจุดต่ำสุด (min) และชุดของจุดสูงสุด (max) สำหรับเส้นบรรทัดหนึ่ง ๆ เมื่อรวมกันแล้วจะได้จุดจำนวนทั้งสิ้น 8 กลุ่ม (ดังภาพที่ 3.3) ดังนี้

1. จุดสูงสุดบนแนวพยัญชนะ (Body Line)
2. จุดต่ำสุดบนแนวพยัญชนะ (Body Line)
3. จุดสูงสุดบนแนวสระระดับล่าง (Under Line)
4. จุดต่ำสุดบนแนวสระระดับล่าง (Under Line)
5. จุดสูงสุดบนแนวสระระดับบน (Above Line)
6. จุดต่ำสุดบนแนวสระระดับบน (Above Line)
7. จุดสูงสุดบนแนววรรณยุกต์ (Top Line)
8. จุดต่ำสุดบนแนววรรณยุกต์ (Top Line)

ภาพที่ 3.3 จุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษรภาษาไทยในแต่ละหมวดหมู่

3.1.3.2. จัดกลุ่มจุดต่ำสุดและสูงสุดสำหรับพยัญชนะภาษาไทยตามระดับเส้นบรรทัด

ภายหลังการค้นหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษรภาษาไทยในแต่ละกลุ่มพบว่าหากนำค่าคุณลักษณะของจุดสูงสุดบนแนวพยัญชนะและจุดต่ำสุดบนแนวพยัญชนะมาใช้ตรวจหาและสร้างเส้นบรรทัดจากสมการในบทที่ 2 สามารถค้นหาและสร้างเส้นบรรทัดได้เพียงจำนวน 2 เส้นเท่านั้นซึ่งถือว่าเป็นความผิดพลาดเนื่องจากแท้จริงแล้วเส้นสำหรับแนวพยัญชนะมีความเป็นไปได้สูงถึง 4 เส้น เนื่องจากมีส่วนเกินบรรทัดเพิ่มเข้ามา ในขณะที่เส้นบรรทัดระดับอื่น ๆ มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เป็นไปได้สูงสุดเพียง 2 เส้นเท่านั้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องเพิ่มกลุ่มของจุดสูงสุดบนและจุดต่ำสุดบนแนวพยัญชนะใหม่อีกครั้งออกเป็น 4 กลุ่ม (ดังภาพที่ 3.3) ดังนี้

1.จุดบนเส้นบรรทัดระดับบน (Ascender Line)

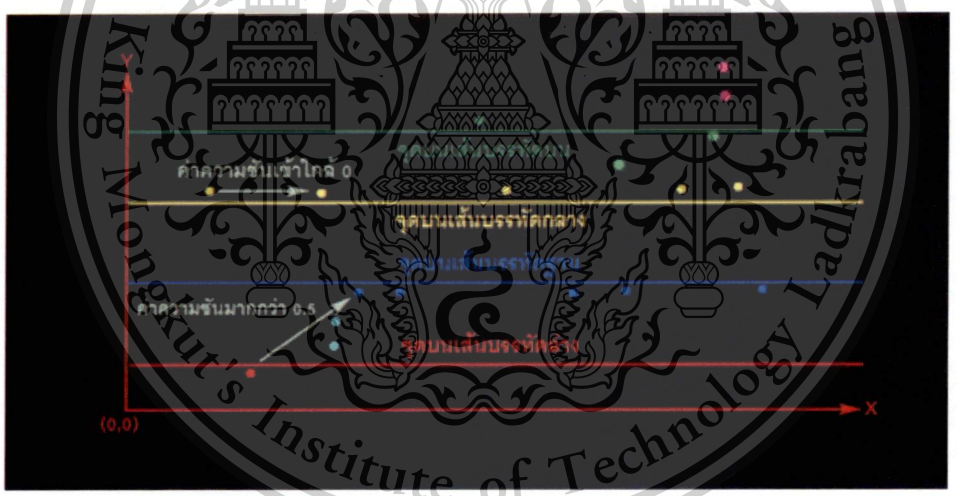
2.จุดบนเส้นบรรทัดกลาง (Midline)

3.จุดบนเส้นบรรทัดฐาน (Baseline)

4.จุดบนเส้นบรรทัดล่าง (Descender Line)

การคัดแยกจุดเหล่านี้ให้เข้ากลุ่มหรือระดับที่ถูกต้องใช้สมมติฐานที่ว่าจุดที่อยู่ในกลุ่มหรือระดับเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่าความชัน (Slope) กันแล้วผลลัพธ์หรือค่าความชันที่คำนวณออกมาได้จะเข้าใกล้ค่าศูนย์และหากค่าความชันที่คำนวณออกมาได้มีค่ามากกว่า 0.5 ขึ้นไปจัดได้ว่าจุดสองจุดที่นำมาเปรียบเทียบกันอยู่คนละกลุ่มหรือคนละระดับกันโดยการเปรียบเทียบค่าความชันระหว่างจุดสองจุดหาได้การนำค่าพิกัดบนแกน x และ y ของจุดที่ 1 และจุดที่ 2 เข้าสมการที่ (4)

$$slope = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \tag{4}$$



ภาพที่ 3.4 คัดแยกจุดตามระดับเส้นบรรทัด

3.1.4. การหาเส้นบรรทัดสำหรับทุกระดับ

จากขั้นตอนต่าง ๆ ที่ผ่านมาทำให้สามารถจำแนกจุดต่าง ๆ เข้ากลุ่มได้อย่างถูกต้องได้แก่

1. จุดบนเส้นบรรทัดแนวพยัญชนะระดับบน (Ascender Line)
2. จุดบนเส้นบรรทัดแนวพยัญชนะระดับกลาง (Midline)
3. จุดบนเส้นบรรทัดแนวพยัญชนะระดับฐาน (Baseline)
4. จุดบนเส้นบรรทัดแนวพยัญชนะระดับล่าง (Descender Line)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. สูงสุดบนแนวสระระดับล่าง (Under Line)

6. จุดต่ำสุดบนแนวสระระดับล่าง (Under Line)

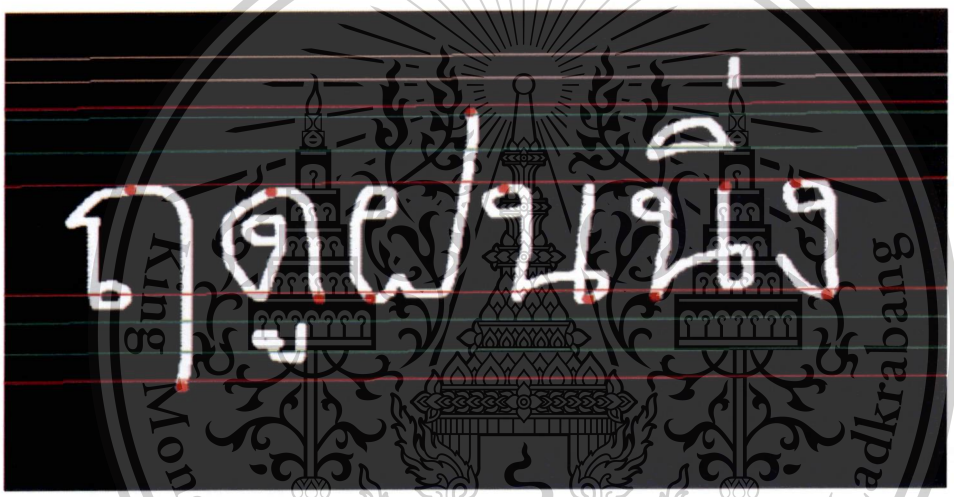
7. จุดสูงสุดบนแนวสระระดับบน (Above Line)

8. จุดต่ำสุดบนแนวสระระดับบน (Above Line)

9. จุดสูงสุดบนแนววรรณยุกต์ (Top Line)

10. จุดต่ำสุดบนแนววรรณยุกต์ (Top Line)

โดยที่จุดต่าง ๆ เหล่านี้มีค่าประจำจุดคือค่าพิกัดบนระนาบแกน x และแกน y ให้นำค่าพิกัดบนระนาบแกน x และแกน y ของทุก ๆ จุดเข้าสมการที่ (2-3) จากหัวข้อที่ 2.3.1.3. ทำให้ได้ค่าความชัน b และค่าคงตัว b ออกมา จากนั้นให้นำค่าความชั้นและค่าคงตัวที่หาได้เข้าแทนค่าในสมการที่ (3) จะได้เส้นบรรทัดตามที่ต้องการ



ภาพที่ 3.5 เส้นบรรทัดของตัวอักษรภาษาไทย

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากวิธีการหาเส้นบรรทัดรูปแบบใหม่ที่ถูกนำเสนอไปแล้วในบทที่ 3 ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1.กระบวนการก่อนปรับลายเส้นตัวอักษรให้มีความสวยงาม (Preprocessing) 2.กระบวนการปรับลายเส้นตัวอักษรให้มีความสวยงามมากยิ่งขึ้น โดยที่กระบวนการก่อนปรับลายเส้นตัวอักษรให้มีความสวยงามประกอบด้วย 4 ขั้นตอนย่อยได้แก่ 1.เก็บข้อมูลลายมือเขียนดิจิตอล 2.แบ่งแยกหมวดหมู่ให้แก่ตัวอักษรภาษาไทย 3.ค้นหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษรภาษาไทย 4.ตรวจหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนภาษาไทย จากการทดลองตามขั้นตอนดังกล่าวทำให้ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1. การหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียน

4.1.1. การหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนปกติ

ลายมือเขียนปกติหรือลายมือที่ถูกเขียนอย่างเป็นระเบียบ หมายถึง ลายมือที่ถูกเขียนอย่างเป็นระบบระเบียบ ความสูงของตัวอักษรมีเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด การจัดวางของตัวอักษรอยู่ในระดับเดียวอย่างเป็นระเบียบ ผลของการหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนปกติเป็นไปดังภาพที่ 4.1

ภาพที่ 4.1 ผลของการหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนปกติ

4.1.2. การหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบเอียง

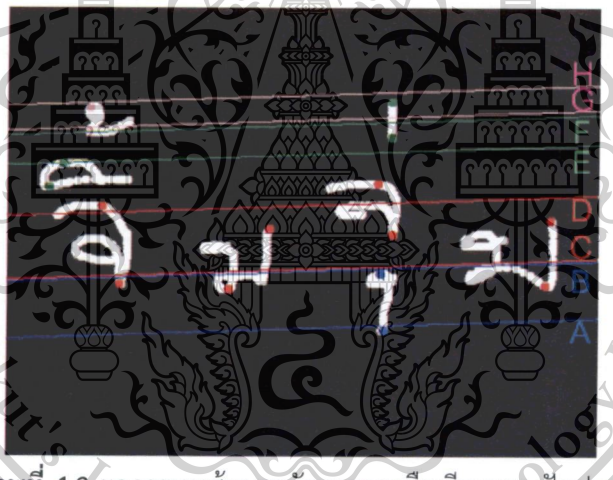
ลายมือเขียนแบบเอียง หมายถึง ลายมือที่ถูกเขียนลาดไปทางใดทางหนึ่ง อาจหมายถึงลาดขึ้นไปทางซ้ายของกระดาษ ลาดขึ้นไปทางขวาของกระดาษ ลาดลงไปทางซ้ายของกระดาษ หรือลาดลงไปทางขวาของกระดาษ ผลของการหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบเอียงเป็นไปดังภาพที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาพที่ 4.2 ผลการหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบเอียง

4.1.3. การหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบฟันปลา

ลายมือเขียนแบบฟันปลา หมายถึง ลายมือที่ถูกเขียนอย่างไม่เป็นระเบียบ ตัวอักษรถูกเขียนไว้คนละระดับและมีความเลื่อมล้ำกันตลอดทุกตัวอักษร ผลของการหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบฟันปลาเป็นไปดังภาพที่ 4.3

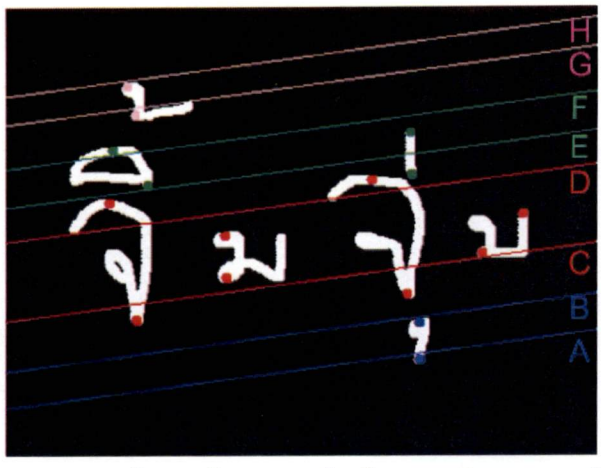


ภาพที่ 4.3 ผลการหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบฟันปลา

4.1.4. การหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบฟันปลาและเอียง

ลายมือเขียนแบบฟันปลาและเอียง หมายถึง ลายมือที่ถูกเขียนอย่างไม่เป็นระเบียบ ตัวอักษรถูกเขียนไว้คนละระดับและมีความเลื่อมล้ำกันตลอดทุกตัวอักษรและลาดไปทางใดทางหนึ่ง อาจหมายถึงลาดขึ้นไปทางซ้ายของกระดาษ ลาดขึ้นไปทางขวาของกระดาษ ลาดลงไปทางซ้ายของกระดาษ หรือลาดลงไปทางขวาของกระดาษ ผลของการหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบฟันปลาเป็นไปดังภาพที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.4 ผลการหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบฟันปลาและเอียง

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุป

วิธีการค้นหาเส้นบรรทัดมีอยู่หลากหลายวิธี วิธีการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรมเป็นหนึ่งในวิธีค้นหาเส้นบรรทัดที่อาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลจากฮิสโตแกรมโดยการกำหนดเธรดโชว์ที่เหมาะสมและนำค่าเธรดโชว์ดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับจำนวนพิกเซลที่ถูกฉายบนฮิสโตแกรม วิธีค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรมเป็นวิธีที่เรียบง่ายแต่มีข้อจำกัดในการกำหนดเธรดโชว์ที่ไม่มีกฎตายตัวซึ่งขึ้นอยู่กับผลการทดลองและหากข้อมูลที่นำมาโปรเจคชันมีปริมาณข้อมูลของพิกเซลอันไม่พึงประสงค์จำนวนมากจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดกับการค้นหาเส้นบรรทัดได้ง่าย เพื่อลดข้อจำกัดเรื่องปริมาณข้อมูลของพิกเซลอันไม่พึงประสงค์จำนวนมากที่อาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นกับวิธีค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรมจึงเกิดวิธีใหม่ที่เรียกว่าการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยการประยุกต์ใช้ฮิสโตแกรม

การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยการประยุกต์ใช้ฮิสโตแกรมเป็นวิธีที่นำหลักการเพิ่มความถี่ให้แก่พิกเซลที่มีพิกเซลด้านข้างติดกันเพื่อคัดแยกพิกเซลที่ต้องการออกจากพิกเซลอันไม่พึงประสงค์ให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากการเพิ่มความถี่ของพิกเซลที่มีพิกเซลด้านข้างติดกันช่วยลดปัญหาปริมาณข้อมูลของพิกเซลอันไม่พึงประสงค์จำนวนมาก แต่วิธีการดังกล่าวยังคงมีข้อจำกัดในการกำหนดเธรดโชว์ที่ไม่มีกฎตายตัวเช่นเดียวกับวิธีการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรม การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเป็นอีกหนึ่งวิธีสำหรับการค้นหาเส้นบรรทัดโดยไม่จำเป็นต้องกำหนดค่าเธรดโชว์และโปรเจคชัน

การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมอาศัยการค้นหาจุดต่ำสุดของตัวอักษรและจุดสูงสุดของตัวอักษรและนำค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของตัวอักษรไปเข้าสมการเพื่อหาเส้นบรรทัดออกมา วิธีการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพแต่ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของการค้นหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของตัวอักษรที่ต้องอาศัยจำนวนข้อมูลตัวอย่างเป็นจำนวนมากจึงจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ออกมามีความถูกต้องและแม่นยำ

จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าวิธีการต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถนำไปใช้งานกับการค้นหาเส้นบรรทัดของตัวอักษรภาษาไทยได้เพียงบางกรณีเท่านั้นเช่น การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรมและการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยการประยุกต์ใช้ฮิสโตแกรมสามารถนำไปใช้ได้ดีกับลายมือเขียนแบบปกติเท่านั้น สำหรับวิธีการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะสามารถจัดการกับลายมือได้หลากหลายรูปแบบแต่ข้อด้อยของวิธีการนี้คือจำเป็นต้องมีฐานข้อมูลตัวอย่างเพื่อใช้ในการเรียนรู้และก่อให้เกิดปัญหาขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หากมีข้อมูลตัวอย่างไม่เพียงพอ ด้วยข้อจำกัดต่าง ๆ ของวิธีการที่กล่าวมาทำให้ผู้ศึกษาเลือกใช้วิธีการค้นหาวิเคราะห์คุณลักษณะของพิกเซลของแต่ละตัวอักษรเพื่อใช้ในการค้นหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของตัวอักษรและนำจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของตัวอักษรไปเข้าสมการเพื่อหาเส้นบรรทัดออกมาทั้งนี้เพื่อปรับปรุงข้อด้อยของวิธีการการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยฮิสโตแกรม การค้นหาเส้นบรรทัดด้วยการประยุกต์ใช้ฮิสโตแกรม และการค้นหาเส้นบรรทัดด้วยโครงข่ายประสาทเทียม จากการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาโปรแกรมพบว่าผลที่ได้ออกมาเป็นที่น่าพึงพอใจกล่าวคือวิธีการที่ผู้ศึกษาได้ทำการค้นคว้าสามารถนำไปใช้ในการค้นหาเส้นบรรทัดได้หลากหลายกรณีเช่น การหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนปกติ การหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบเอียง การหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบฟันปลา และ การหาเส้นบรรทัดจากลายมือเขียนแบบฟันปลาและเอียง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการค้นหาเส้นบรรทัดเป็นเพียงส่วนหนึ่งของการปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรให้มีความสวยงามมากยิ่งขึ้นเท่านั้น และผู้ศึกษากำลังศึกษาค้นคว้าต่อไปเพื่อให้โครงการการปรับปรุงลายเส้นตัวอักษรให้มีความสวยงามมากยิ่งขึ้นสำเร็จและเห็นผลในเร็ววัน

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] R. Plamondon and N. Sargur, “On-Line and Off-Line Handwriting Recognition: A Comprehensive Survey,” IEEE, 2000

[2] W. Chatwiriya., "Off-line Thai Handwriting Recognition," 2002

[3] T. Theeramunkong., C. Wongtapan and S. Sinthupinyo, “Offline Islated Handwritten Thai OCR Using Isaland-Based Projection with N-Gram Models and Hidden Markov Models,” ICADL, 2002

[4] A. Vinciarelli, “A Survey On Off-Line Cursive Word Recognition,” *Pattern Recognition*, vol. 35, June 2002.

[5] N. Chapman and J. Chapman, “Text and Typography,” Digital Multimedia, 3rd Edition, 2009.

[6] R. Chamchong and C. Fung, “Segmentation of Thai Handwriiten Text for Automatic Document Retrieval,”

[7] Nicchiotti G. and Scagliola C., "Generalised projections: a tool for cursive handwriting normalisation," Document Analysis and Recognition, pp 729 - 732, 1999.

[8] M. Bishop, “Neural Networks For Pattern Recogniton,” Neural Networks For Pattern Recogniton, 1995.

[9] P. Simard, D. Steinkraus, and J. Platt. Best practice for con-volutional neural networks applied to visual document analy-sis. In International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), pages 958–962, 2003.

[10] Y. Simard, D. Steinkraus and M. Agrawala, “Ink Normalization and Beautification,” *ICDAR*, 2500.

[11] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, P. Haffner,“Gradient-based learning applied to document recognition” Proceedings of the IEEE, v. 86, pp. 2278-2324, 1998.

[12] N. KetArnan," Handwriting Education", Mahasarakham University, 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.