การรู้จำภาพเอกสารอักษรเบรลล์

นายศรัณย์ เกตุศรีเมฆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-53-2520-1
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPTICAL BRAILLE RECOGNITION

Mr. Sarun Ketsrimek

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Computer Science

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2520-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การรู้จำภาพเอกสารอักษรเบรลล์
โดย	นายศรัณย์ เกตุศรีเมฆ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงลักษณ์ โควาวิสารัช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ) คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ) ประธานกรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงลักษณ์ โควาวิสารัช) อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(อาจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ) กรรมการ

.....
(อาจารย์ วีระแมน นิยมพล) กรรมการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศรัณย์ เกตุศรีเมฆ : การรู้จำภาพเอกสารอักษรเบรลล์. (OPTICAL BRAILLE RECOGNITION) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. นงลักษณ์ โควาวิสารัช, 62 หน้า. ISBN 974-53-2520-1.

งานวิจัยนี้มีความมุ่งเน้นในการหาตำแหน่งตัวอักษรเบรลล์บนภาพกระดาษอักษรเบรลล์ ซึ่งมีลักษณะเป็นจุดรอยนูนเรียงตัวกันเป็นกลุ่มตัวอักษรเพื่อให้ผู้พิการทางสายตาใช้นิ้วมือสัมผัสเพื่ออ่านข้อความที่บันทึก เอกสารอักษรเบรลล์ที่นำมาใช้เป็นเอกสารที่บันทึกด้วยสเลท-สไตลัส เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ และพิมพ์จากเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ซึ่งพิมพ์บนกระดาษทั้งแบบด้านเดียวและสองด้าน ภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากเครื่องสแกนภาพแบบแบนราบโดยสแกนภาพเอกสารเพียงด้านเดียวสำหรับเอกสารทุกประเภท โดยงานวิจัยนี้ทำการหามุมเอียงของเอกสารและหาตำแหน่งของจุดรอยนูนที่ปรากฏในภาพเอกสารเพื่อจัดกลุ่มเป็นตัวอักษรที่สามารถนำไปใช้แปลงเป็นตัวอักษรปกติ การแสดงผลตัวอักษรใช้การแปลจากเซลล์ตัวอักษรเบรลล์เป็นตัวอักษรปรกติแบบตัวต่อตัว สามารถเลือกการแปลได้ 3 รูปแบบคือ แปลเป็นตัวอักษรไทย แปลเป็นตัวอักษรอังกฤษ และแปลเป็นตัวอักษรคอมพิวเตอร์เบรลล์ ความถูกต้องของการแปลตัวอักษรปรกติในภาพเอกสารอักษรเบรลล์แบบพิมพ์ด้านเดียวเท่ากับ 96.3 เปอร์เซ็นต์, 97.1 เปอร์เซ็นต์ และ 98.9 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเอกสารที่บันทึกด้วยสเลท-สไตลัส เอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ และเอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ตามลำดับ และความถูกต้องของการแสดงตัวอักษรปรกติในภาพเอกสารอักษรเบรลล์แบบพิมพ์สองด้านซึ่งบันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์เท่ากับ 95.7 เปอร์เซ็นต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2548

4570555021 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEY WORD: BRAILLE / IMAGE / BLIND / RECOGNITION

SARUN KETSRIMEK : OPTICAL BRAILLE RECOGNITION. THESIS ADVISOR : NONGLUK COVAVISARUCH, 62 pp. ISBN 974-53-2520-1.

This research aims to position Braille Characters in a Braille scanned-document image, which is composed of sets of raised dots so that visual-impaired people can read by touching. The Braille documents used in this research were printed by Slates and Styluses, Braille typewriters, or Braille printers in both single-sided and double-sided printing types. However, the Braille document images were scanned on only one side by a flat-bed scanner. This research proposes algorithms to find the rotated angle of each scanned-document image, the positions of all raised dots to be grouped as a character and represent a typical character later on. In this study, decoding can be divided into 3 types including Thai character, English character and Braille computer character decoding. The experimental results show that the accuracies of character decoding from Braille document images with single-sided printing are 96.3, 97.1 and 98.9 percentages for documents made by Slates and Styluses, Braille typewriters, and Braille printers, respectively. The accuracies of character decoding from Braille document images with double-sided printing by Braille printers are 95.7 percentages.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Computer Engineering Student's signature

Field of study Computer Science Advisor's signature

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์นงลักษณ์ โควาวิสารัช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางการวิจัย และคำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างมากกับวิทยานิพนธ์นี้ ตลอดจนเป็นผู้ตรวจทานแก้ไข จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง ขอขอบพระคุณ อาจารย์วีระแมน นิยมพล วิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลและให้ความรู้ความเข้าใจที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ อาจารย์นงลักษณ์ โควาวิสารัช และอาจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจจะสำเร็จได้หากไม่ได้รับความร่วมมือจากทุกท่าน และขอขอบคุณอาจารย์ในสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน และเพื่อนๆ ทุกๆคน ผู้ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติมกับผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้องทุกคนในครอบครัว ที่คอยดูแลห่วงใย เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน จนผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 3
1.6 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ 3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ทฤษฎีอักษรเบรลล์ 4
2.1.1 ตัวอักษรภาษาอังกฤษ 4
2.1.2 ตัวเลขอารบิคและเลขไทย 6
2.1.3 สัญลักษณ์ และเครื่องหมายต่างๆ 6
2.1.4 ตัวอักษรในภาษาไทย 6
2.2 การบันทึกอักษรเบรลล์ 10
2.2.1 สเลทและสไตลัส (Slate & Stylus) 10
2.2.2 เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ (Brialler) 11
2.2.3 เครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ (Braille Printer) 11
2.3 ตัวอักษรคอมพิวเตอร์เบรลล์ 12
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12
2.4.1 Analysis of Scanned Braille Document 12
2.4.2 A Braille O.C.R. for Blind People 16

บทที่ หน้า

3 การรู้จำตัวอักษรเบรลล์ในภาพเอกสารอักษรเบรลล์ 19
3.1 การสร้างภาพลักษณ์ฐานสองที่เป็นเงาของจุดรอยนูนและจุดรอยยุบ..... 19
3.2 การหาความเอียงของภาพเอกสารอักษรเบรลล์..... 21
3.3 การหาระยะห่างระหว่างเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ 24
3.4 การหาตำแหน่งตัวอักษรเบรลล์ 27
3.5 การรู้จำตัวอักษรเบรลล์ 31
4 การคำนวณและวิเคราะห์ผลการวิจัย..... 33
4.1 ขั้นตอนการทดลอง..... 33
4.2 การวัดความถูกต้อง..... 34
4.3 ผลการทดลอง..... 34
4.3.1 ผลการทดลองของเอกสารแบบพิมพ์ด้านเดียว 35
4.3.2 ผลการทดลองของเอกสารแบบพิมพ์สองด้าน 36
4.3.3 เวลาที่ใช้ในการทำงาน 36
4.4 วิเคราะห์ผลการวิจัย 37
5 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ 40
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 40
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 40
รายการอ้างอิง 41
ภาคผนวก 42
ภาคผนวก ก ตารางการแสดงผลตัวอักษรภาษาไทย ภาษาอังกฤษ
และตัวอักษรคอมพิวเตอร์เบรลล์..... 43
ภาคผนวก ข ฟังก์ชันการทำงานของ Braille.dll 53
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 62

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 รูปแบบตัวอักษรเบรลล์ในภาษาอังกฤษ (จุดสีดำคือรอยนูน) 5

2.2 ตัวอย่างการเขียนคำภาษาอังกฤษที่ใช้ตัวพิมพ์ใหญ่นำหน้า [2]..... 5

2.3 ตัวอย่างการเขียนกลุ่มคำภาษาอังกฤษที่ใช้ตัวภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ทั้งคำ..... 6

2.4 ตัวอย่างการเขียนเลขตัวเลข 6

2.5 พยัญชนะที่มีเสียงซ้ำกับพยัญชนะพื้นฐาน 7

2.6 ตัวอักษรเบรลล์ภาษาไทยที่ต้องเพิ่มตัวอักษรพิเศษนำหน้าหรือต่อท้าย..... 8

2.7 ตัวอย่างการประสมคำ..... 10

4.1 ผลการทดลองของเอกสารที่บันทึกด้วยสเลท-สไตลัส 35

4.2 ผลการทดลองของเอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ 35

4.3 ผลการทดลองของเอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ 35

4.4 ผลการทดลองของเอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ (พิมพ์สองด้าน) 36

4.5 เวลาที่ใช้ในการทำงานในแต่ละขั้นตอน 37

4.6 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำตัวอักษรเบรลล์..... 38

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

1.1 ตำแหน่งรอยนูนของเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ [1] 1

2.1 สเลทและสไตลัส 10

2.2 เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ 11

2.3 รูปเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ 12

2.4 ภาพที่ได้จากการสแกนเอกสารตัวอักษรเบรลล์ [3] 13

2.5 ภาพแสดงรอยนูนและรอยยุบ 13

2.6 ตัวอย่างบริเวณรอยนูนที่มีบริเวณมืดอยู่ด้านบนและบริเวณสว่างอยู่ด้านล่าง [3] 14

2.7 ตัวอย่างบริเวณรอยยุบที่มีบริเวณสว่างอยู่ด้านบนและบริเวณมืดอยู่ด้านล่าง [3]..... 14

2.8 ระยะระหว่างรอยนูนที่ติดกันที่อาจเกิดขึ้นในบรรทัดเดียวกัน [3] 15

2.9 การแบ่งพื้นที่เพื่อพิจารณาตำแหน่งที่เกิดรอยนูนในตัวอักษรเบรลล์ [3] 16

2.10 ภาพเอกสารตัวอักษรเบรลล์ [4] 16

2.11 หลังจากการทำการหาค่าขีดแบ่ง [4]..... 17

2.12 จุดที่ได้จากการหาจุดกึ่งกลางระกว่าพื้นที่สว่างและพื้นที่มืด [4]..... 17

2.13 ระยะระหว่างจุดต่างๆ ในตัวอักษรเบรลล์ [4]..... 18

3.1 ตัวอย่างบางส่วนของภาพเอกสารอักษรเบรลล์ที่ได้จากเครื่องสแกนภาพ..... 20

3.2 ภาพผลลัพธ์จากการทำการหาค่าขีดแบ่ง (Thresholding) กับทั้งภาพ
โดยใช้ค่าขีดแบ่งที่มีค่าสูง..... 20

3.3 ภาพผลลัพธ์จากการทำการหาค่าขีดแบ่งกับทั้งภาพโดยใช้ค่าขีดแบ่งที่มีค่าต่ำ..... 21

3.4 ภาพผลลัพธ์จากการทำการหาค่าขีดแบ่งและแยกคำนวณในแต่ละพื้นที่ย่อย 21

3.5 ฉายแสงด้านข้างของภาพเอกสาร 22

3.6 ตัวอย่างการทดสอบความเอียงที่มุมค่าหนึ่ง..... 22

3.7 ตัวอย่างภาพที่จะหาค่าความเอียง..... 23

3.8 ตัวอย่างภาพที่ทดสอบหาค่าความเอียงด้วยมุมที่ไม่เท่ากับค่าความเอียงของเอกสาร 23

3.9 ตัวอย่างภาพที่ทดสอบหาค่าความเอียงด้วยมุมที่เท่ากับค่าความเอียงของเอกสาร 23

3.10 แสดงระยะห่างต่างๆของเซลล์อักษรเบรลล์ [4]..... 24

3.11 ตัวอย่างบางส่วนของแผ่นแบบของภาพรอยเงาทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้
ของเอกสารแบบหน้าเดียววงกลมทึบคือรอยนูน 25

3.12 แผนภูมิแสดงการหาระยะห่างต่าง ๆ ระหว่างเซลล์..... 26

3.13 ภาพรอยเงาทั้งหมดในแผ่นแบบที่สร้างขึ้นในกรณีที่ภาพเอกสารเอียง..... 27

รูปที่ หน้า

3.14 แผนภูมิแสดงการหาตำแหน่งเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ 29
3.15 แสดงตำแหน่งการแทรกระหว่างกันของตัวอักษรที่พิมพ์ด้านหน้า (วงกลมทึบ)
และตัวอักษรที่พิมพ์ด้านหลัง (วงกลมกลวง)..... 30
3.16 แสดงตำแหน่งรอยนูน 6 จุดของเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ที่พิมพ์ด้านหลัง
เมื่อพิจารณาจากทางด้านหน้า..... 30
3.17 ตัวอย่างบางส่วนของภาพรอยเงาทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้ของเอกสารสองหน้า
วงกลมทึบคือรอยนูนและวงกลมกลวงคือรอยยุบ..... 31
3.18 ตัวอย่างการพิจารณาการเกิดรอยนูนของเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ 8 เซลล์ 31
4.1 ตัวอย่างการพิจารณาการเกิดรอยนูนของเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ 8 เซลล์..... 33

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

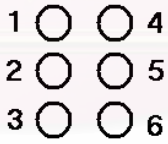
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รูปแบบการศึกษาของผู้พิการทางสายตาในปัจจุบันเริ่มจากการศึกษาขั้นพื้นฐานจากโรงเรียนที่จัดสอนเฉพาะผู้พิการทางสายตาเท่านั้น ซึ่งโรงเรียนที่จัดสอนเฉพาะผู้พิการทางสายตาจะมีหลักสูตรถึงระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 หรือบางโรงเรียนอาจจะมีถึงระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 หลังจากที่ผู้พิการทางสายตาได้รับการศึกษาจนจบขั้นสูงสุดจากโรงเรียนเหล่านี้ ผู้ที่มีความสามารถในการเรียนดีจะได้รับเลือกให้เข้าศึกษาต่อในโรงเรียนเรียนร่วมซึ่งรับนักเรียนผู้พิการทางสายตามาเรียนร่วมกันกับนักเรียนปกติ โดยทั่วไปในโรงเรียนเรียนร่วมจะมีนักเรียนที่เป็นผู้พิการทางสายตาประมาณ 2 ถึง 5 คนในชั้นเรียนหนึ่งๆ

การอ่านและการเขียนของผู้พิการทางสายตาจะใช้ตัวอักษรเบรลล์ซึ่งมีลักษณะเป็นรอยนูนที่บันทึกลงบนกระดาษ ผู้พิการทางสายตาจะใช้มือสัมผัสรอยนูนนั้นเพื่ออ่านข้อความที่บันทึกไว้ ตัวอักษรเบรลล์จะมีลักษณะเป็นรอยนูนประกอบกันทั้งหมด 6 ตำแหน่ง โดยแบ่งออกเป็น 2 คอลัมน์ 3 แถว ดังตัวอย่างในรูปที่ 1.1 โดยจะได้กล่าวถึงอย่างละเอียดในบทที่ 2



รูปที่ 1.1 ตำแหน่งรอยนูนของเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ [1]

ผู้พิการทางสายตาสามารถบันทึกข้อความต่างๆ ลงบนกระดาษเป็นอักษรเบลล์ได้ โดยใช้อุปกรณ์ 3 ชนิด คือ การบันทึกด้วยสเลทและสไตลัส (Slate and stylus) เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ (Brailler) และการบันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ (Braille printer)

ในโรงเรียนเรียนร่วม เมื่ออาจารย์ผู้สอนให้งานแก่นักเรียน นักเรียนที่พิการทางสายตาจะทำงานส่งโดยใช้ตัวอักษรเบรลล์ที่อาจเขียนขึ้นจากสเลทและสไตลัสหรือเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ อาจารย์ผู้สอนจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับตัวอักษรเบรลล์เพื่ออ่านงานเหล่านั้น หรือจะต้องนำงานนั้นไปให้ผู้ที่อ่านอักษรเบรลล์ได้อ่านให้ฟังอีกทอดหนึ่ง การเรียนการสอนในลักษณะนี้ทำให้ในโรงเรียนเรียนร่วมสามารถรับนักเรียนที่เป็นผู้พิการทางสายตาได้ในจำนวนจำกัด เนื่องจากอาจารย์

ผู้สอนส่วนใหญ่ไม่สามารถอ่านตัวอักษรเบรลล์ได้ ทำให้การศึกษาของผู้พิการทางสายตายังอยู่ในวงจำกัด ดังนั้นถ้าสามารถช่วยให้อาจารย์ผู้สอนสามารถอ่านตัวอักษรเบรลล์ได้ด้วยตนเองโดยง่าย และอาจารย์ผู้สอนเองไม่จำเป็นต้องเรียนรู้เกี่ยวกับตัวอักษรเบรลล์เพิ่มเติมก็จะทำให้อาจารย์ผู้สอนแต่ละท่านสามารถดูแลนักเรียนผู้พิการทางสายตาได้เพิ่มขึ้น ช่วยให้โรงเรียนเรียนร่วมสามารถรับนักเรียนผู้พิการทางสายตาได้เพิ่มขึ้น และเป็นการเพิ่มโอกาสทางการศึกษาให้กับผู้พิการทางสายตา อันจะส่งผลให้ประเทศไทยจะมีผู้พิการทางสายตาที่มีความรู้ความสามารถเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การรู้จำภาพตัวอักษรเบรลล์เป็นข้อมูลตัวอักษร เพื่อใช้แสดงข้อความที่บันทึกในเอกสารอักษรเบรลล์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เอกสารอักษรเบรลล์ที่ใช้เป็นเอกสารอักษรเบรลล์ที่มาจากการบันทึกด้วย สเลท และสไตลัส เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ หรือเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์

1.3.2 กระดาษเอกสารอักษรเบรลล์เป็นกระดาษสีขาว ไม่มีรอยขีดเขียนและไม่มีรอยยับหรือรอยต่อ

1.3.3 ระบบตัวอักษรเบรลล์ที่ใช้เป็นแบบ 6 จุด

1.3.4 การวางเอกสารอักษรเบรลล์ก่อนสแกนให้วางแนวตั้ง โดยสแกนภาพเอกสารจากด้านหน้าแรกสำหรับเอกสารที่พิมพ์สองด้าน

1.3.5 การแสดงผลของงานวิจัยนี้จะแสดงตัวอักษรตามตารางข้อมูลการแปลงตำแหน่งรอยนูนเป็นตัวอักษรปรกติ ซึ่งตารางข้อมูลการแปลงที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย

1.3.5.1 ตารางข้อมูลการแปลงตำแหน่งรอยนูนเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ

1.3.5.2 ตารางข้อมูลการแปลงตำแหน่งรอยนูนเป็นตัวอักษรภาษาไทย

1.3.5.3 ตารางข้อมูลการแปลงตำแหน่งรอยนูนเป็นตัวอักษรคอมพิวเตอร์เบรลล์

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎี วิธีการอ่านและบันทึก อักษรเบรลล์

1.4.2 สร้างตัวอย่างโปรแกรมเพื่อทดลองหาตำแหน่งรอยนูนและรอยยุบบนเอกสารอักษรเบรลล์

1.4.3 ทดลองการหาตำแหน่งจุดกับเอกสารตัวอย่างเอกสารตัวอักษรเบรลล์ บันทึกผลการทดลอง

1.4.4 ประเมินประสิทธิภาพ วิเคราะห์ปัญหาการอ่านตำแหน่งที่ผิดพลาด

1.4.5 สร้างตัวอย่างโปรแกรมเพื่อทดลองการรู้จำตัวอักษรเบรลล์

1.4.6 ประเมินประสิทธิภาพ วิเคราะห์ปัญหาการรู้จำตัวอักษรเบรลล์ที่ผิดพลาด

1.4.7 สรุปและประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

1.4.8 จัดทำรายงานวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.5.1 แสดงข้อความที่บันทึกบนเอกสารอักษรเบรลล์ที่มาจากการบันทึกด้วยสเลทและสไตลัส เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ หรือเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ แสดงเป็นตัวอักษรภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษตามรูปแบบของเอกสารอักษรเบรลล์

1.5.2 นำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยอ่านงานจากนักเรียนผู้พิการทางสายตาสำหรับอาจารย์ในโรงเรียนเรียนร่วม

1.5.3 นำไปประยุกต์ใช้เก็บข้อมูลจากเอกสารอักษรเบรลล์บันทึกลงในคอมพิวเตอร์

1.6 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการในหัวข้อเรื่อง “การหาตำแหน่งเซลล์ตัวอักษรเบลล์ในภาพเอกสารอักษรเบลล์” โดยนงลักษณ์ โควาวิสารัช และศรัณย์ เกตุศรีเมฆ ในงานประชุมวิชาการ 9th National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC2005) ณ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ในระหว่างวันที่ 27-28 ตุลาคม 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้นำเสนอทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรู้จำภาพตัวอักษรเบลล์เป็นข้อมูลตัวอักษร ประกอบด้วย ทฤษฎีอักษรเบลล์ การบันทึกอักษรเบลล์ ตัวอักษรคอมพิวเตอร์เบลล์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวมไปถึงแนวคิดที่นำเสนอในงานวิจัยนั้นๆ ด้วย

2.1 ความรู้เกี่ยวกับอักษรเบรลล์

การบันทึกอักษรเบรลล์แต่ละตัวอักษร คือ การทำให้กระดาษมีรอยนูนในตำแหน่งต่างๆ กัน 6 ตำแหน่งตามที่กำหนด การเรียงตำแหน่งรอยนูนแบ่งเป็น 2 คอลัมน์ 3 แถวตามรูปที่ 1.1 ที่กล่าวมาข้างต้น การนับตำแหน่งเริ่มนับจากคอลัมน์ทางซ้ายลงมา แล้วจึงนับคอลัมน์ทางขวามือ ดังนั้นจึงสามารถแจกแจงรูปแบบการจัดเรียงได้ 2^6 หรือ 64 รูปแบบ ซึ่งจะนำไปใช้แทนตัวอักษรในภาษาต่างๆ เช่น ภาษาอังกฤษ ภาษาฝรั่งเศส และภาษาไทย เป็นต้น

2.1.1 อักษรเบรลล์ที่ใช้แทนตัวอักษรภาษาอังกฤษ

การจัดเรียงตำแหน่งรอยนูนทั้ง 6 ตำแหน่งในระบบการจัดรูปแบบที่ใช้ในภาษาอังกฤษถูกกำหนดขึ้นมาให้สอดคล้องกับระบบการจัดเรียงตำแหน่งรอยนูนที่ใช้ในภาษาฝรั่งเศส ซึ่งถูกออกแบบขึ้นมาโดย หลุยส์ เบรลล์ (Louis Braille) ผู้ประดิษฐ์ตัวอักษรเบรลล์

ในภาษาฝรั่งเศส มีการออกแบบการจัดเรียงตำแหน่งรอยนูนไว้สำหรับตัวอักษร 25 ตัว คือ a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, x, y, z (ยกเว้น w) โดยมีเกณฑ์การออกแบบที่ทำให้ง่ายต่อการจดจำ โดยออกแบบรูปแบบการเรียงตำแหน่งรอยนูนไว้ 10 รูปแบบ สำหรับตัวอักษร 10 ตัวแรกซึ่งผู้ใช้จะต้องจดจำให้ได้ สำหรับตัวอักษร 10 ตัวถัดมาเป็นการนำรูปแบบการจัดเรียงของตัวอักษร 10 ตัวแรกมาเพิ่มรอยนูนในตำแหน่งที่ 3 และสำหรับ 5 ตัวอักษรที่เหลือใช้รูปแบบ 5 รูปแบบจาก 10 รูปแบบแรกมาเพิ่มรอยนูนตำแหน่งที่ 3 และ 6 เข้าไปดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รูปแบบตัวอักษรเบรลล์ในภาษาอังกฤษ (จุดสีดำคือรอยนูน)

ตัวอักษร	รูปแบบ	ตัวอักษร	รูปแบบ	ตัวอักษร	รูปแบบ
a		k		u	
b		l		v	
c		m		x	
d		n		y	
e		o		z	
f		p		w	
g		q			
h		r			
i		s			
j		t			

ภายหลังเมื่อนำระบบอักษรเบลล์มาใช้กับภาษาอังกฤษจึงมีการเพิ่มรูปแบบสำหรับตัวอักษร w รวมเข้ากับ 5 รูปแบบสุดท้าย

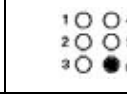
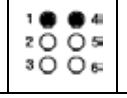
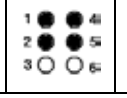
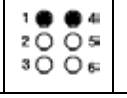
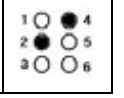
สำหรับตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ในภาษาอังกฤษ (Capital letter) จะต้องใช้ตัวอักษรสัญลักษณ์ตัวพิมพ์ใหญ่ (Capital sign) นำหน้าตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต้องการแสดงเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ 1 ตัว เช่น คำว่า Cgci จะต้องเขียนตัวอักษรสัญลักษณ์ตัวพิมพ์ใหญ่ 1 ตัวแล้วตามด้วย cgci ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการเขียนคำภาษาอังกฤษที่ใช้ตัวพิมพ์ใหญ่นำหน้า [2]

	Capital sign	c	g	c	i
Cgci					

แต่ถ้าต้องการเขียนกลุ่มตัวอักษรพิมพ์ใหญ่จะต้องใส่ตัวอักษรสัญลักษณ์ตัวพิมพ์ใหญ่ 2 ตัวนำหน้ากลุ่มคำนั้น เช่น คำว่า CGCI เขียนเป็นอักษรเบรลล์ได้ดังตารางที่ 2.3

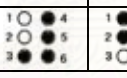
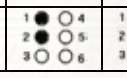
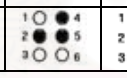
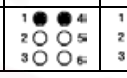
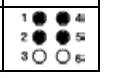
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการเขียนกลุ่มคำภาษาอังกฤษที่ใช้ตัวภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ทั้งคำ

	Capital sign	Capital sign	c	g	c	i
CGCI						

2.1.2 ตัวเลขอารบิคและเลขไทย

สำหรับรูปแบบการเรียงตำแหน่งรอยนูนทั้ง 6 ตำแหน่งที่นำมาใช้แสดงตัวเลขนั้น ทั้งตัวเลขอารบิคและเลขไทยจะใช้รูปแบบเดียวกัน โดยใช้รูปแบบการเรียงตำแหน่งรอยนูน 10 รูปแบบแรกของตัวอักษรภาษาอังกฤษ คือ รูปแบบที่ใช้แสดงตัว a, b, c, d, e, f, g, h, i, j ในการแสดงตัวเลข 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0 ตามลำดับ แต่การแสดงตัวเลขจะต้องใช้ตัวอักษรสัญลักษณ์ตัวเลข (Number sign) คือ ตัวอักษร # นำหน้ากลุ่มของตัวเลข เช่น ตัวเลข 2037 จะเขียนได้เป็น #bjcg ดังตารางที่ 2.4 ทั้งนี้ตัวเลขในภาษาไทยจะใช้รูปแบบเดียวกับตัวเลขในภาษาอังกฤษ

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างการเขียนตัวเลข

	#	B	j	C	g
2037					

2.1.3 สัญลักษณ์และเครื่องหมายต่าง ๆ

รูปแบบสัญลักษณ์และเครื่องหมายต่างๆ ในภาษาเบรลล์ที่กำหนดขึ้นนอกจากจะใช้แสดงเป็นสัญลักษณ์หรือเครื่องหมายในเอกสารแล้ว บางตัวยังใช้เป็นสัญลักษณ์เพื่อแสดงรูปแบบตัวอักษรเบรลล์ที่แตกต่างไปจากตัวอักษรปรกติ เช่น ใช้ตัวอักษรสัญลักษณ์ตัวพิมพ์ใหญ่นำหน้าตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต้องการสื่อว่าเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษแบบพิมพ์ใหญ่ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 ข้างต้น

2.1.4 ตัวอักษรเบรลล์ที่ใช้แทนตัวอักษรภาษาไทย

คำในภาษาไทยประกอบไปด้วยพยัญชนะ สระ และวรรณยุกต์ การเขียนภาษาไทยด้วยอักษรเบรลล์ต่างจากการเขียนตัวอักษรไทยสำหรับคนตาปรกติ กล่าวคือ อักษรเบรลล์ทุกตัวเขียนอยู่ในระดับเดียวกันทั้งบรรทัดแต่การเขียนภาษาไทยสำหรับคนตาปรกติเขียนได้ 3 ระดับในแต่ละบรรทัด คือ ระดับบนใช้เขียนวรรณยุกต์และสระบางตัว เช่น สระอิ ระดับกลางบรรทัดใช้เขียนตัว

พยัญชนะและสระบางตัวเช่นสระอา และระดับล่างใช้เขียนสระบางตัว เช่น สระอุ ดังนั้นการเขียนอักษรเบรลล์จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดวิธีการเขียนเพื่อประสมคำที่แตกต่างจากการเขียนของคนตาปรกติ ในหัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงตัวอักษรเบรลล์ที่ใช้สำหรับภาษาไทย

1) พยัญชนะ

การเรียงรอยนูนของตัวอักษรเบรลล์ที่นำมาใช้กับภาษาไทยปรับปรุงและดัดแปลงมาจากรูปแบบการเรียงจุดรอยนูน สำหรับตัวอักษรภาษาอังกฤษโดยอาศัยรากฐานของความเหมือนกันของเสียงในทั้งสองภาษา ดังนั้นตัวอักษรที่มีเสียงพ้องกันในทั้งสองภาษาจะใช้รูปแบบการเรียงจุดเหมือนกันเช่น พยัญชนะ “ก” มีเสียงพ้องกับตัวอักษร “g” ดังนั้นจึงใช้ตัวอักษร “g” แทนพยัญชนะ “ก”

เมื่อเทียบเสียงพยัญชนะทั้งหมดแล้วจะเห็นว่ามีเสียงพยัญชนะหลายตัวที่มีเสียงซ้ำกันดังแสดงในตารางที่ 2.5 ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการจดจำ การออกแบบรูปแบบการเรียงจุดจึงกำหนดให้กลุ่มของพยัญชนะที่มีเสียงเหมือนกันมีรูปแบบการจัดเรียงตำแหน่งรอยนูนของตัวพยัญชนะอักษรเบรลล์พื้นฐานและเพิ่มตัวอักษรเบรลล์ที่เป็นตัวอักษรพิเศษนำหน้า (ยกเว้นสระ “ฤ”, “ฦ” ที่เพิ่มตัวอักษรพิเศษต่อหลัง) ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ทั้งนี้ตัวพยัญชนะที่ใช้มากที่สุดจะกำหนดให้เป็นตัวอักษรพื้นฐาน เช่น ต้องการเขียนตัวอักษร “ฒ” เมื่อพิจารณาตามตารางที่ 2.5 และ ตารางที่ 2.6 พบว่าจะต้องเขียนตัวอักษรเบรลล์ได้เป็นตัวอักษรขีดสั้น (Hyphen) แล้วตามด้วยตัวอักษร “ท” ถ้าต้องการเขียนตัวอักษร “ษ” เมื่อพิจารณาตามตารางที่ 2.5 และ ตารางที่ 2.6 พบว่าจะต้องเขียนตัวอักษรสัญลักษณ์ตัวพิมพ์ใหญ่แล้วตามด้วยตัวอักษร “ส”

ตารางที่ 2.5 พยัญชนะที่มีเสียงซ้ำกับพยัญชนะพื้นฐาน

พยัญชนะพื้นฐาน	**พยัญชนะที่มีเสียงซ้ำกัน**	**พยัญชนะพื้นฐาน**	**พยัญชนะที่มีเสียงซ้ำกัน**
ข	ฃ	ท	ฑ, ฒ, ธ
ค	ฅ, ฆ	น	ณ
ช	ฌ	พ	ภ
ด	ฎ	ร	ฤ
ต	ฏ	ล	ฬ, ฦ
ถ	ฐ	ส	ศ, ษ

ตารางที่ 2.6 ตัวอักษรเบรลล์ภาษาไทยที่ต้องเพิ่มตัวอักษรพิเศษนำหน้าหรือต่อท้าย

	ตัวอักษรพิเศษ	**ตัวอักษรที่ต้องใช้ตัวอักษรพิเศษเพิ่ม**
เพิ่มด้านหน้า	ตัวอักษรสัญลักษณ์ตัวพิมพ์ใหญ่	ฆ, ณ, ฏ, ฏ, ฐ, ฑ, ณ, ภ, ศ, ฬ
	ตัวอักษรขีดสั้น	ศ, ฆ, ษ
	ตัวการันต์	ฃ, ธ
เพิ่มด้านหลัง	จุลภาค	ฤ, ฦ

นอกจากนี้ยังมีการกำหนดให้พยัญชนะมีที่รูปแบบคล้ายกับตัวอักษรภาษาอังกฤษใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษนั้นแทนเช่น ตัวพยัญชนะ “บ” มีรูปแบบการเขียนคล้ายกับตัวอักษร “v” ในภาษาอังกฤษ ดังนั้นจึงใช้ตัวอักษร “v” แทนพยัญชนะ “บ” ส่วนตัวพยัญชนะไทยที่เหลือจะถูกกำหนดรูปแบบขึ้นมาใหม่ รายละเอียดของตัวอักษรเบรลล์สำหรับพยัญชนะไทยแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

2) สระและวรรณยุกต์

รูปแบบการจัดเรียงตำแหน่งรอยนูนของตัวอักษรเบรลล์สำหรับสระและวรรณยุกต์ รูปสระที่มีใช้ในอักษรเบรลล์กำหนดรูปแบบตามเสียงสระได้ 32 เสียง ยกเว้นตัว “ฤ” “ฤๅ” “ฦ” “ฦๅ” (เนื่องจากได้นำตัว “ฤ” “ฦ” ไปรวมไว้กับหมวดพยัญชนะ และยกเว้นตัว “ฤๅ” “ฦๅ” เนื่องจากรูปการจัดเรียงตำแหน่งรอยนูนเหมือนกับการนำรูปแบบพื้นฐานมาต่อด้วยสระอา) ดังนั้นจึงเหลือรูปสระ 30 ตัว คือ สระอะ สระอา สระอิ สระอี สระอึ สระอือ สระอุ สระอู สระเอะ สระเอ สระแอะ สระแอ สระโอะ สระโอ สระเอาะ สระออ สระเออะ สระเออ สระเอียะ สระเอีย สระเอือะ สระเอือ สระอัวะ สระอัว สระอำ สระไอ สระใอ สระเอา ไม้หันอากาศ ไม้ไต่คู้ และรูปวรรณยุกต์ 4 ตัวคือ ไม้เอก ไม้โท ไม้ตรี ไม้จัตวา และเครื่องหมายอีก 2 ตัว คือ ไม้ยมกและตัวการันต์

ในรูปสระทั้ง 30 ตัวนี้จะมีสระ 8 ตัวที่มีรูปแบบการเรียงตำแหน่งรอยนูนที่เกิดจากการนำตัวอักษรเบรลล์พื้นฐานของตัวสระนั้น (ตัวสระพื้นฐานอันได้แก่ สระเอ สระแอ สระโอ สระออ สระเออ สระเอีย สระเอือ สระอัว) ต่อด้วย ตัวอักษรเบรลล์พื้นฐานของสระอะ เช่น สระแอะเกิดจากการเขียนรูปสระแอตามด้วยสระอะ เป็นต้น

ตัวสระไอเกิดจากการนำตัวอักษรเบรลล์ของตัวสระไอตามด้วยตัวอักษรเบรลล์ของเครื่องหมายจุลภาค และตัวสระออซึ่งมีรูปแบบการเขียนเหมือนกับรูปแบบของตัวพยัญชนะ “อ” จะใช้ตัวพยัญชนะ “อ” แทนสระออ

ดังนั้นจึงเหลือรูปสระ 20 ตัว รูปวรรณยุกต์ 4 ตัวและเครื่องหมายอีก 2 ตัวที่ต้องกำหนดรูปแบบการเรียงจุดของตัวอักษรภาษาเบรลล์ โดยให้ตัวอักษรหรือเครื่องหมายในภาษาอังกฤษแทนสระและวรรณยุกต์บางตัวที่มีรูปแบบการเขียนหรือการอ่านออกเสียงเหมือนกัน รูปสระวรรณยุกต์และเครื่องหมายที่เหลือจะถูกกำหนดขึ้นมาใหม่ รายละเอียดของตัวอักษรเบรลล์สำหรับสระและวรรณยุกต์แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

3) การประสมคำไทยในการเขียนตัวอักษรเบรลล์

การประสมคำประกอบด้วย พยัญชนะต้น สระ ตัวสะกดและวรรณยุกต์ โดยมีรูปแบบการประสมคำอย่างง่าย ดังนี้

พยัญชนะต้น + สระ
พยัญชนะต้น + สระ + ตัวสะกด
พยัญชนะต้น + สระ + ตัวสะกด + วรรณยุกต์

สระต่อไปนี้เขียนอยู่หลังพยัญชนะต้นเสมอ ได้แก่ สระอะ สระอา สระอิ สระอี สระอึ สระอือ สระอุ สระอู สระเอะ สระแอะ สระโอะ สระโอ สระเอาะ สระออ สระเออะ สระเออ สระเอียะ สระเอีย สระเอือะ สระเอือ สระอัวะ สระอัว สระอำ สระเอา และในคำที่ใช้สระเหล่านี้หากมีรูปวรรณยุกต์ก็จะเขียนไว้หลังสระ ยกเว้นสระอาและสระออ ที่ใช้รูปวรรณยุกต์ก่อนสระเช่น “นกอยู่บนฟ้า” จะเขียนเป็น “น” , “ก” , “อ” , “ย” , “สระอู” , “วรรณยุกต์ไม้เอก” , “บ” , “น” , “ฟ” , “วรรณยุกต์ไม้โท” , “สระอา”

สระต่อไปนี้เขียนอยู่หน้าพยัญชนะเสมอ ได้แก่ สระแอ สระเอ สระโอ สระไอ สระใอ เช่น “ไม้” เขียนเป็น “สระไอ”, “ม”, “วรรณยุกต์ไม้โท”

คำภาษาไทยที่ใช้สระเออและมีตัวสะกดซึ่งมักจะอยู่ในรูปการเขียนเป็นสระเอินแต่ในภาษาเบรลล์ จะคงรูปสระเออไว้เช่นเดิม เช่น เดิน ในภาษาเบรลล์จะเป็น ด-สระเออ-น เป็นต้น

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างการประสมคำไทยโดยใช้อักษรเบรลล์

คำไทย	**การประสมคำไทย**				
เครื่อง	ค	ร	สระเอือ	วรรณยุกต์ไม้เอก	ง

2.2 การบันทึกอักษรเบรลล์

เนื้อหาส่วนนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ 3 ชนิด ที่ใช้ในการบันทึกเอกสารอักษรเบรลล์ที่นำมาใช้ทดลองการรู้จำเอกสารอักษรเบรลล์ในงานวิจัยนี้ อุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิดนี้ ได้แก่ สเลทและสไตลัส, เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ และ เครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 สเลทและสไตลัส

อุปกรณ์ชนิดนี้ประกอบด้วยสองส่วน คือ สเลทและสไตลัสดังรูปที่ 2.1 สเลทประกอบด้วยเป็นแผ่นเหล็กหรือพลาสติก 2 แผ่นประกบติดกัน และเชื่อมกันด้วยบานพับ มีขนาดยาวประมาณ 1 ฟุต แผ่นบนเจาะเป็นช่องเรียงเป็นแถว แบบที่นิยมใช้กันมี 4 แถว แต่ละแถวมี 19 หรือ 24 ช่อง ส่วนแผ่นล่างจะเป็นหลุมเล็กคล้ายเตาขนมครกอยู่ในกรอบสี่เหลี่ยม ขนาดของช่องหลุมเท่ากับขนาดช่องของแผ่นบน วางซ้อนบนกลุ่มของหลุมของแผ่นล่างกลุ่มละ 6 หลุม เพื่อใช้สร้างรอยนูนสำหรับตัวอักษรเบรลล์หนึ่งตัวอักษร ที่มุมทั้งสี่ของสเลทมีหมุดนูนขนาดเล็กเพื่อยึดกระดาษให้แน่นและช่วยให้แนวบรรทัดตรงกันเมื่อมีการเลื่อนกระดาษขึ้นไปด้วย

รูปที่ 2.1 สเลทและสไตลัส

สไตลัสหรือที่เรียกกันว่าเป็นดินสอหรือปากกาของผู้พิการทางสายตา มีลักษณะคล้ายลูกข่างแต่เล็กกว่า ส่วนปลายของสไตลัสมีลักษณะคล้ายตะปูทำด้วยเหล็ก ใช้สำหรับเขียนจึงเปรียบได้กับดินสอหรือปากกา เมื่อกดส่วนปลายลงไปที่กระดาษแล้ว จะปรากฏรอยนูนขึ้นมาทางด้านหลังของกระดาษ

การใช้งานสเลทและสไตลัสทำได้โดยสอดกระดาษไว้ระหว่างสเลทโดยให้บานพับอยู่ทางซ้ายมือ ขอบซ้ายของกระดาษอยู่เกือบติดบานพับซึ่งอยู่ติดกับขอบของสเลท เมื่อปิดสเลทแผ่นบนลงจะต้องกดลงที่มุมทั้ง 4 ของสเลทเพื่อยึดให้กระดาษติดกับที่ในขณะที่เขียน แล้วจึงใช้สไตลัสกดไปที่กระดาษในสเลทเพื่อให้เกิดรอยนูนขึ้นตามตำแหน่งของอักษรเบรลล์แต่กลับหลังเป็นหน้าเพราะการใช้งานสเลทกับสไตลัสเป็นการกดกระดาษให้เป็นรอยและเห็นเป็นรอยนูนทางด้านหลัง ดังนั้นนอกนี้ผู้เขียนจะต้องบันทึกตัวอักษรกลับข้างเขียนจากขวามาซ้ายซึ่งตรงข้ามกับคนปรกติ แต่เวลาอ่านจะต้องหันหน้ากระดาษกลับแล้วเริ่มอ่านจากซ้ายไปขวาบนและจากบนลงล่างเช่นคนปรกติ

2.2.2 **เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์**

เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ มีลักษณะคล้ายกับเครื่องพิมพ์ดีดในอดีตดังรูปที่ 2.2 หลักการทำงานของเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์คือ เครื่องพิมพ์จะมีปุ่มพิมพ์ 6 ปุ่มแทนจุด 6 ตำแหน่งรอยนูนที่ประกอบกันเป็นตัวอักษรเบรลล์หนึ่งตัว โดยอาศัยแรงของนิ้วที่กดไปที่ปุ่มทำให้เกิดรอยนูนที่ตำแหน่งที่ต้องการขึ้นบนกระดาษ การพิมพ์โดยใช้เครื่องพิมพ์ตัวอักษรเบรลล์นี้จะให้รอยนูนที่ปรากฏบนกระดาษชัดเจน

รูปที่ 2.2 เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์

2.2.3 **เครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์**

เครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ ใช้พิมพ์อักษรเบรลล์ลงบนกระดาษตามข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์แบบนี้สามารถพิมพ์เอกสารได้ทั้งแบบหน้าเดียวและแบบสองหน้า อักษรเบรลล์ที่ได้จะมีคุณภาพดี มีรอยนูนที่สม่ำเสมอ ระยะความห่างของแต่ละตัวอักษรในแต่ละบรรทัดเท่ากัน การบันทึกแบบนี้มักจะใช้เพื่อบันทึกเป็นหนังสือสำหรับผู้พิการทางสายตา ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 รูปเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์

2.3 ตัวอักษรคอมพิวเตอร์เบรลล์

ตัวอักษรคอมพิวเตอร์เบรลล์เป็นตัวอักษรเบรลล์ที่ใช้ในระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีการกำหนดการเรียงตำแหน่งรอยนูนในตำแหน่งต่างๆ เป็นข้อมูลตัวอักษรโดยใช้เป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก ข้อมูลตัวอักษรคอมพิวเตอร์สามารถบันทึกในคอมพิวเตอร์หรือพิมพ์บนกระดาษด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ได้ ดังที่แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

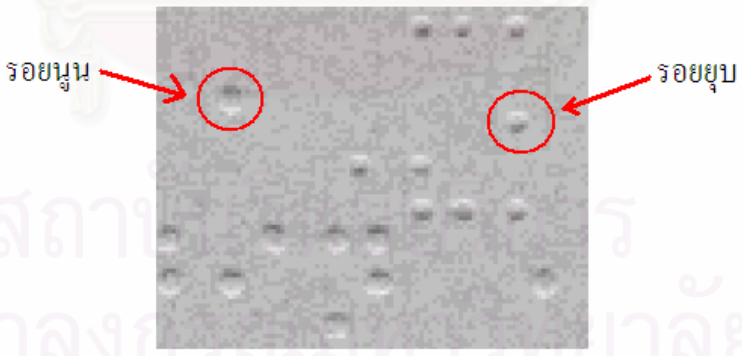
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยเรื่อง Analysis of Scanned Braille Document [3]

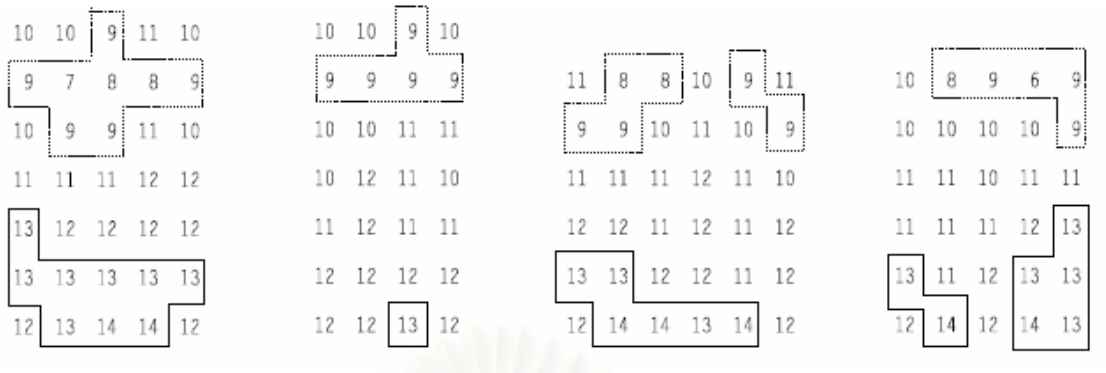
R.T. Ritchings, et al. ได้เสนอการวิจัยรู้จำภาพหน้าเอกสารตัวอักษรเบรลล์เป็นข้อมูลตัวอักษรจากภาพเอกสารข้อความตัวอักษรเบรลล์ทั้งแบบหน้าเดียวและแบบสองหน้าเมื่อปี ค.ศ. 1995 เริ่มจากการนำเอกสารตัวอักษรเบรลล์มาสแกนเป็นรูปภาพโดยต้องนำเอกสารนั้นวางในแนวตั้ง ภาพที่ได้จากการสแกนนี้กำหนดให้มีความละเอียดของภาพอยู่ที่ 100 จุดต่อนิ้ว มีระดับความแตกต่างของระดับเทา (Gray scale) 16 ระดับ ภาพที่ได้จะมีลักษณะดังตัวอย่างในรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 ภาพที่ได้จากการสแกนเอกสารตัวอักษรเบรลล์ [3]

ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาตำแหน่งที่เป็นรอยนูนหรือรอยยุบ R.T. Ritchings, et al. พบว่าทั้งรอยนูนและรอยยุบจะมีพื้นที่สว่างและมืดติดกัน โดยรอยนูนมีพื้นที่มืดอยู่ด้านบนของพื้นที่สว่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 สำหรับรอยยุบจะมีลักษณะตรงข้ามคือมีพื้นที่สว่างอยู่ด้านบนของพื้นที่ที่มืด งานวิจัยนี้ได้ใช้เกณฑ์นี้ในการแยกแยะรอยนูนและรอยยุบออกจากกันโดยกำหนดค่าระดับเทาของบริเวณที่สว่างเป็น 13 ถึง 15 และบริเวณที่มืดเป็นบริเวณที่มีค่าระดับเทาน้อยกว่า 10



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงรอยนูนและรอยยุบ

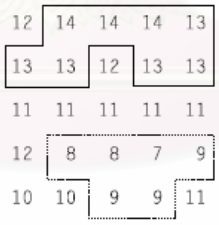


(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างค่าระดับเทาบริเวณรอยนูนที่มีบริเวณมืดอยู่ด้านบนและบริเวณสว่างอยู่ด้านล่าง [3]

จากรูปที่ 2.6 แสดงค่าระดับเทาของรูปภาพขาวดำที่มีระดับความแตกต่างของสีขาว 16 ระดับ ของบริเวณที่เป็นรอยนูนของภาพเอกสารอักษรเบรลล์ที่ได้จากการสแกน บริเวณที่ล้อมกรอบไว้เป็นบริเวณที่สว่างและบริเวณที่มืด ในรูปที่ 2.6 เป็นตัวอย่างรอยนูน 4 รอยซึ่งพบบริเวณมืดอยู่ด้านบนและบริเวณสว่างอยู่ด้านล่าง

ในกรณีที่เป็นรอยยุบจะมีลักษณะตรงข้ามกับบริเวณที่เป็นรอยนูนคือ บริเวณที่สว่างอยู่ด้านบนบริเวณที่มืดอยู่ด้านล่างดังที่แสดงในรูปที่ 2.7



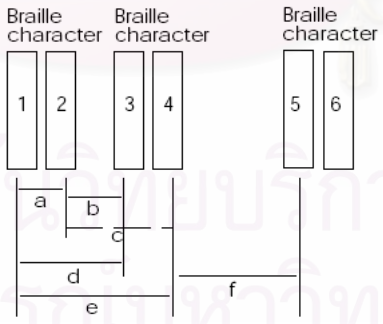
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างค่าระดับเทาบริเวณรอยยุบที่มีบริเวณสว่างอยู่ด้านบนและบริเวณมืดอยู่ด้านล่าง [3]

หลังจากนั้นจะคัดลอกบริเวณที่มืดที่เป็นรอยนูนทั้งหมดของเอกสารอักษรเบรลล์ไปยังรูปภาพใหม่โดยยังคงตำแหน่งเดิมของจุดไว้และทำลักษณะเดียวกันนี้กับรอยยุบเพื่อแยกข้อความที่เป็นรอยนูนและรอยยุบออกจากกัน แล้วนำภาพนั้นมาหาตำแหน่งตัวอักษรเบรลล์ในแต่ละบรรทัดและหาตำแหน่งบรรทัดในหน้าเอกสาร เนื่องจากตัวอักษรเบรลล์แต่ละตัวอักษรประกอบด้วยตำแหน่งที่เกิดรอยนูนได้ใน 2 คอลัมน์ 3 แถว ในการแยกบรรทัดแต่ละบรรทัดจะต้อง

มีรอยนูนปรากฏทั้ง 3 แถวของตัวอักษรเบรลล์ ดังนั้นจึงจะสามารถหาความสูงของเฉลี่ยของของแต่ละบรรทัด และสามารถแยกแต่ละบรรทัดออกจากกันได้

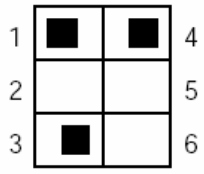
เมื่อแยกแต่ละบรรทัดออกมาแล้วจึงจะแยกตัวอักษรเบรลล์ออกจากกัน งานวิจัยนี้ใช้วิธีการวัดระยะในแนวราบตามแนวแกนนอนระหว่างคอลัมน์ของรอยนูน ใช้ระยะระหว่างรอยนูนในแต่ละแถวในตัวอักษรเบรลล์ที่เกิดขึ้นที่อยู่ติดกันในบรรทัดเดียวกันพิจารณาแยกตัวอักษรเบรลล์ แต่ถ้าในบรรทัดมีรอยนูนปรากฏเพียงคอลัมน์เดียวจะทำให้การแบ่งตัวอักษรผิดพลาดได้ ระยะของรอยนูนที่เกิดขึ้นในบรรทัดหนึ่งจะมีระยะต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นดังนี้

1) ระยะระหว่างรอยนูนในตัวอักษรเดียวกัน (ระยะ a ในรูปที่ 2.8)
2) ระยะระหว่างรอยนูนคอลัมน์ขวา กับรอยนูนคอลัมน์ซ้ายของตัวอักษรถัดไปที่ติดกัน (ระยะ b ในรูปที่ 2.8)
3) ระยะระหว่างรอยนูนคอลัมน์ขวา กับรอยนูนคอลัมน์ขวาของตัวอักษรถัดไปที่ติดกัน (ระยะ c ในรูปที่ 2.8)
4) ระยะระหว่างรอยนูนคอลัมน์ซ้าย กับรอยนูนคอลัมน์ซ้ายของตัวอักษรถัดไปที่ติดกัน (ระยะ d ในรูปที่ 2.8)
5) ระยะระหว่างรอยนูนคอลัมน์ซ้าย กับรอยนูนคอลัมน์ขวาของตัวอักษรถัดไปที่ติดกัน (ระยะ e ในรูปที่ 2.8)
6) ระยะระหว่างคำที่เป็นตัวอักษรช่องว่าง (ระยะ f ในรูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 ระยะระหว่างรอยนูนที่ติดกันที่อาจเกิดขึ้นในบรรทัดเดียวกัน [3]

นำพื้นที่ตัวอักษรเบรลล์หนึ่งตัวพิจารณาเพื่อตีความเป็นตัวอักษรปรกติ โดยทำการแบ่งพื้นที่นั้นเป็น 6 ส่วนคือแบ่งเป็น 2 คอลัมน์ 3 แถว ถ้าในแต่ละพื้นที่ย่อยนั้นพบส่วนที่เป็นบริเวณมืดให้ถือว่าตำแหน่งนั้นๆ มีจุดรอยนูนปรากฏขึ้น แล้วนำข้อมูลการเกิดจุดรอยนูนนั้นไปตีความหมายเป็นตัวอักษร ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.9 ตัวอักษรเบรลล์นี้มีรอยนูนคือตำแหน่งที่ 1, 3 และ 4

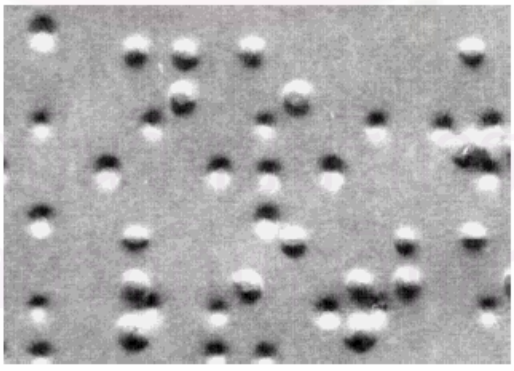


รูปที่ 2.9 การแบ่งพื้นที่เพื่อพิจารณาตำแหน่งที่เกิดรอยนูนในตัวอักษรเบรลล์ [3]

ผลจากการวิจัยนี้มีความถูกต้องประมาณ 98.5% สำหรับรอยนูนบนเอกสารอักษรเบรลล์ และ 97.6% สำหรับรอยยุบบนเอกสารอักษรเบรลล์ เอกสารอักษรเบรลล์หนึ่งหน้ามีตัวอักษรประมาณ 328 ตัวพบความผิดพลาดในกรณีที่เป็นจุดรอยนูน 11 รอยและรอยยุบ 19 รอย ข้อผิดพลาดเหล่านี้เกิดมาจากแสงและเงาที่อาจจะไม่ได้เกิดจากรอยนูนหรือรอยยุบเมื่อจุดเหล่านี้ปรากฏขึ้นในตำแหน่งที่ควรจะเป็นรอยนูนหรือเป็นรอยยุบ

2.4.2 **งานวิจัยเรื่อง** A Braille O.C.R. for Blind People [4]

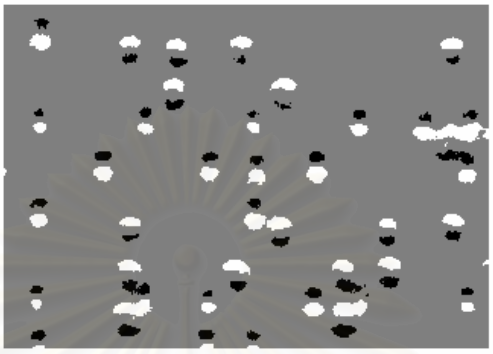
X.F. Hermida, et al. ได้เสนองานวิจัยที่ทำร่วมกับองค์กรผู้พิการทางสายตาของประเทศสเปนเมื่อปี ค.ศ. 1996 ต้องการสร้างซอฟท์แวร์เพื่อใช้แปลข้อความจากเอกสารอักษรเบรลล์เป็นอักษรธรรมดา เริ่มจากการนำเอกสารอักษรเบรลล์มาสแกนเป็นรูปภาพ ภาพที่เห็นคือจะเป็นลักษณะของรอยนูนและรอยยุบดังตัวอย่างในรูปที่ 2.10 จากการสังเกตพบว่าในส่วนที่เป็นรอยนูนมีบริเวณพื้นที่ที่สว่างอยู่ด้านบนและมีบริเวณที่มีพื้นที่มืดอยู่ด้านล่าง สำหรับรอยยุบจะมีลักษณะตรงข้ามกับรอยนูนคือพบบริเวณที่มืดอยู่ด้านบนและบริเวณที่สว่างอยู่ด้านล่าง



รูปที่ 2.10 ภาพเอกสารตัวอักษรเบรลล์ [4]

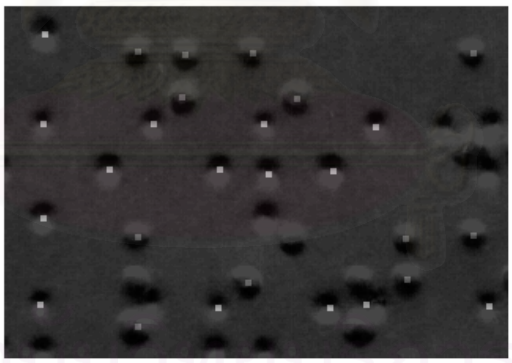
เมื่อได้ภาพแล้วหาค่าขีดแบ่ง (Threshold) เพื่อให้ได้พื้นที่สว่างเป็นสีขาวและพื้นที่มืดให้เป็นสีดำโดยค่าขีดแบ่งนี้หาได้จากฮิสโทแกรม (Histogram) ของระดับเทาของภาพ คือ ให้ระดับเทาที่มีค่าในช่วงพื้นที่ 5% ของพื้นที่ทั้งหมดของกราฟฮิสโทแกรมที่นับจากทางด้านซ้ายเป็นสีดำ

และให้ระดับความสว่างที่มีค่าในช่วงพื้นที่ 5% ของพื้นที่ทั้งหมดของกราฟฮิสโทแกรมที่นับจากทางด้านขวาเป็นสีขาว ค่าระดับความสว่างนอกจากนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง รูปที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้วมีลักษณะดังที่แสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 หลังจากการทำการหาค่าขีดแบ่ง [4]

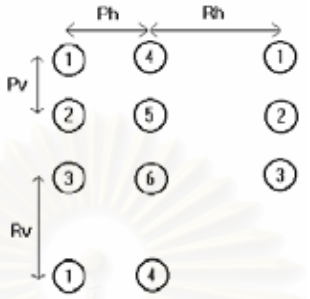
เมื่อพิจารณาภาพหลังจากการหาค่าขีดแบ่งพบว่ารอยนูนหรือรอยยุบหนึ่งๆ ประกอบด้วยพื้นที่มืดและพื้นที่สว่าง ดังนั้นสามารถหาจุดกึ่งกลางของรอยนูนหรือรอยยุบได้จากกึ่งกลางพื้นที่สว่างและพื้นที่มืดรวมกัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 จุดที่ได้จากการหาจุดกึ่งกลางระหว่างพื้นที่สว่างและพื้นที่มืด [4]

วิธีการนี้อาจมีปัญหาคืออาจไม่พบรอยนูนหรือรอยยุบบางรอย หรืออาจพบรอยนูนหรือรอยยุบเกิดขึ้นทั้งๆ ที่บริเวณนั้นไม่มีรอยนูนหรือรอยยุบ ปัญหาเหล่านี้เกิดมาจากแต่ละจุดรอยนูนและจุดรอยยุบอยู่ใกล้กันมาก บางจุดรอยนูนและจุดรอยยุบติดกันทำให้ในขั้นตอนการทำหาค่าขีดแบ่งบริเวณนั้นมีพื้นที่สว่างหรือมืดติดกัน ทางแก้ปัญหาจะใช้วิธี Mesh Detection เพื่อหาตำแหน่งที่เกิดรอยขึ้นจริง

ตัวอักษรเบรลล์มีตำแหน่งที่เกิดรอยนูนได้ 6 ตำแหน่ง ซึ่งแต่ละตำแหน่งอาจจะปรากฏหรือไม่ปรากฏก็ได้ ในที่นี้จะเรียกตำแหน่งที่อาจเกิดรอยนูนได้ในตัวอักษรเบรลล์ว่าเมช (mesh) ถ้ามีตัวอักษรเบรลล์อยู่ N ตัวจะเมชมีอยู่ทั้งหมด 6 x N เมช



รูปที่ 2.13 ระยะระหว่างจุดต่างๆ ในตัวอักษรเบรลล์ [4]

ในงานวิจัยของ X.F. Hermida, et al. ในขั้นตอนนี้เริ่มจากการหาค่าความเอียงของบรรทัดก่อน หลังจากนั้นเลือกเมชรอยนูนที่อยู่ทางมุมซ้ายบน แล้วขยับออกไปตามระยะห่างระหว่างตำแหน่งรอยนูนมาตรฐานของอักษรเบรลล์ตามที่แสดงระยะในภาพที่ 2.13 ค่า Ph เป็นระยะห่างระหว่างคอลัมน์ของรอยนูนในตัวอักษรเดียวกันมีค่า 2.5 มิลลิเมตร ค่า Rh เป็นระยะห่างระหว่างคอลัมน์ของรอยนูนของตัวอักษรเบรลล์คนละตัวที่อยู่ถัดไปมีค่า 3.5 มิลลิเมตร ค่า Pv เป็นระยะห่างระหว่างแถวของรอยนูนในตัวอักษรเดียวกันมีค่า 2.5 มิลลิเมตรและ ค่า Rv เป็นระยะห่างระหว่างแถวของรอยนูนของตัวอักษรเบรลล์คนละตัวที่อยู่บรรทัดถัดไปมีค่า 5 มิลลิเมตร เลือกเมชรอยนูน 10 รอยที่ใกล้มุมบนซ้ายของเอกสารอักษรเบรลล์ นำเมชที่เลือกมาหนึ่งเมชแทนหาตำแหน่งที่ 1 ถึง 6 รอยนูนในตัวอักษรเบรลล์ ใช้ระยะห่างระหว่างรอยนูนที่ติดกันจากรูปที่ 2.13 คำนวณหาตำแหน่งเมชอื่นที่เกิดขึ้นจากตำแหน่งเมชที่เลือกมา นับจำนวนรอยนูนที่พบจากตำแหน่งเมชที่เลือก ทำขั้นตอนดังกล่าวกับเมชรอยนูนที่เลือกมาทั้ง 10 รอย จะให้เมชที่แทนแล้วพบรอยนูนมากที่สุดเป็นเมชรอยนูนแรกสุดทางมุมบนซ้ายของเอกสาร

เมื่อได้รอยนูนแรกแล้วพิจารณาไปที่ตำแหน่งเมชอื่นที่สร้างขึ้นจากระยะระหว่างตำแหน่งรอยนูนของตัวอักษรเบรลล์จากรูปที่ 2.13 ใช้ข้อมูลเหล่านี้มาพิจารณาว่าเป็นตัวอักษรปรกติตัวใด โดยพิจารณาจับกลุ่มเมชให้เป็นตัวอักษรเบรลล์ซึ่งตัวอักษรเบรลล์ตัวหนึ่งประกอบไปด้วยเมสทั้งหมด 6 เมสตามรูปแบบตำแหน่งที่เกิดรอยนูนของตัวอักษรเบรลล์หนึ่งตัวคือมีคอลัมน์ 2 คอลัมน์ 3 แถว ใช้ข้อมูลการมีรอยนูนเกิดขึ้นหรือไม่ในแต่ละเมชตีความเป็นตัวอักษรคนตาปรกติ งานวิจัยนี้พบว่ามีการแปลความข้อมูลตัวอักษรเบรลล์ผิดประมาณ 3%

บทที่ 3

การรู้จำตัวอักษรเบรลล์ในภาพเอกสารอักษรเบรลล์

งานวิจัยนี้เป็นการรู้จำตัวอักษรเบรลล์ในภาพเอกสารอักษรเบรลล์ ข้อมูลที่นำเข้าเป็นภาพเอกสารอักษรเบรลล์ที่ได้จากเครื่องสแกนภาพแบบแบนราบ (Flatbed scanner) ผลที่ได้จะแสดงตัวอักษรปรกติที่ได้บันทึกไว้ในภาพเอกสาร

ขั้นตอนการทำงานมีขั้นตอนดังนี้

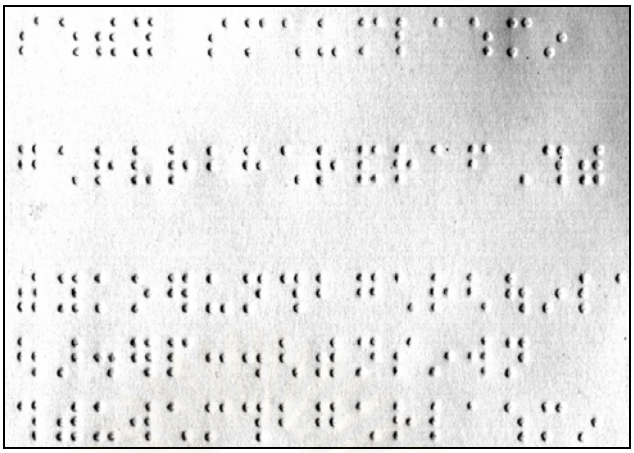
1. สร้างภาพลักษณ์ฐานสอง (Binary image) ที่เป็นเงาของจุดรอยนูนและจุดรอยยุบ
2. การหาความเอียงของภาพเอกสารอักษรเบรลล์
3. การหาระยะห่างระหว่างเซลล์ตัวอักษรเบรลล์
4. การหาตำแหน่งตัวอักษรเบรลล์
5. การรู้จำตัวอักษรเบรลล์

เอกสารอักษรเบรลล์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่เอกสารที่บันทึกด้วยสเลท-สไตลัส หรือเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ หรือเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียวบนกระดาษพื้นเรียบสีขาว ภาพที่สแกนมีความละเอียด 300 จุดภาพต่อนิ้ว โดยที่สแกนภาพในแนวตั้ง ให้ด้านจุดนูนหันเข้าหาเครื่องสแกนภาพ สำหรับเอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ที่บันทึกแบบสองด้าน ให้หันด้านจุดรอยนูนในหน้าแรกเข้าหาเครื่องสแกนภาพและสแกนเพียงด้านเดียว งานวิจัยนี้สามารถแสดงตัวอักษรที่บันทึกในเอกสารที่พิมพ์สองด้านจากภาพเอกสารที่สแกนมาด้านเดียวได้ รายละเอียดขั้นตอนการทำงานมีดังนี้

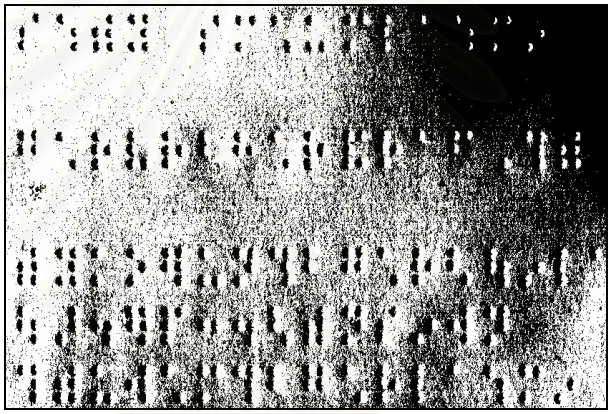
3.1 การสร้างภาพลักษณ์ฐานสองที่เป็นเงาของจุดรอยนูนและจุดรอยยุบ

ภาพเอกสารอักษรเบรลล์เป็นภาพระดับเทาที่ค่าระดับเทา 256 ระดับ แต่เนื่องจากภาพที่ได้จากการเครื่องสแกนภาพอาจมีระดับความสว่างของสีกระดาษไม่สม่ำเสมอกันในแต่ละพื้นที่ จึงต้องกำหนดค่าขีดแบ่งให้แตกต่างกันเพื่อใช้แยกส่วนที่เป็นรอยเงาบนภาพ

ตัวอย่างในรูปที่ 3.2 เป็นภาพผลลัพธ์จากการใช้ค่าขีดแบ่ง (Threshold) มีค่าสูงคงที่ทั่วทั้งภาพกับภาพในรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่ามีส่วนที่เป็นสีดำที่ไม่ใช่เงาของรอยนูนปรากฏขึ้นบนพื้นหลังในภาพ

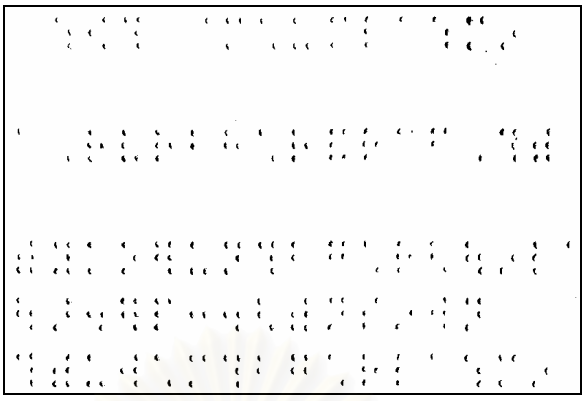


รูปที่ 3.1 ตัวอย่างบางส่วนของภาพเอกสารอักษรเบรลล์ที่ได้จากเครื่องสแกนภาพ

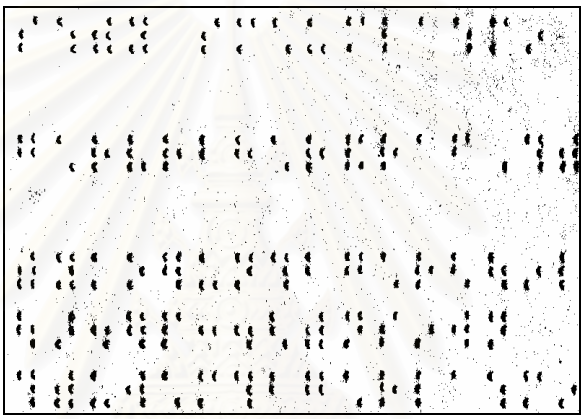


รูปที่ 3.2 ภาพผลลัพธ์จากการทำการหาค่าขีดแบ่ง (Thresholding) กับทั้งภาพ โดยใช้ค่าขีดแบ่งที่มีค่าสูง

แต่ถ้าให้ค่าขีดแบ่งมีค่าต่ำจะทำให้ส่วนที่เป็นเงาของรอยนูนหายไปดังรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าเงาของจุดรอยนูนทางด้านบนซ้ายหายไปบางส่วน สำหรับรูปที่ 3.4 เป็นภาพที่ใช้วิธีการหาเงาของรอยนูนโดยใช้การหาค่าขีดแบ่งและแยกคำนวณในแต่ละพื้นที่ย่อย (Local thresholding) ดังที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.3 ภาพผลลัพธ์จากการทำการหาค่าขีดแบ่งกับทั้งภาพโดยใช้ค่าขีดแบ่งที่มีค่าต่ำ



รูปที่ 3.4 ภาพผลลัพธ์จากการทำการหาค่าขีดแบ่งและแยกคำนวณในแต่ละพื้นที่ย่อย

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการหาค่าขีดแบ่งและแยกคำนวณในแต่ละพื้นที่ย่อย โดยหาค่าเฉลี่ยของค่าระดับความสว่างในแต่ละพื้นที่ย่อย (Local mean) ของภาพมาคำนวณค่าขีดแบ่งเพื่อใช้แยกส่วนที่เป็นเงามืดออกจากส่วนที่สว่างของกระดาษ ผลที่ได้จากขั้นตอนนี้คือภาพลักษณ์ฐานสองของบริเวณที่มีสีดำติดกันซึ่งก็คือส่วนที่เป็นเงามืดของจุดรอยนูนและจุดรอยยุบ และพื้นที่สีขาวคือบริเวณของกระดาษเรียบหรือพื้นหลัง

3.2 การหาความเอียงของภาพเอกสารอักษรเบรลล์

เนื่องจากในขั้นตอนการหาตำแหน่งตัวอักษรเบรลล์จะต้องคำนวณจากตำแหน่งต่างๆ ที่มีโอกาสเกิดเงาของรอยนูนหรือรอยยุบทั้งหมดในภาพจึงจำเป็นต้องทราบค่าความเอียงของบรรทัดตัวอักษร

ในการหาค่าความเอียงของบรรทัดนั้น งานวิจัยนี้ใช้วิธีการฉาย (Projection) จากทางด้านข้างดังรูปที่ 3.5 ถ้ามุมของการฉายตรงกับค่าความเอียงของเอกสารแสงจะผ่านไปอีกด้านได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับการฉายด้วยมุมอื่นๆ ซึ่งขั้นตอนการทำงานคือ

1. กำหนดมุมที่ใช้ทดสอบมาค่าหนึ่ง

2. กำหนดจุดเริ่มทดสอบที่มุมบนซ้ายสุดของรูป(ตำแหน่ง [0,0])

3. จากตำแหน่งในข้อ 2 สร้างเส้นตรงที่มีมุมเอียงตามข้อ 1 ออกจากจุดนั้น ถ้าเส้นตรงที่สร้างขึ้นชนกับจุดภาพสีดำหรือเส้นตรงออกนอกภาพ ให้หยุดสร้างเส้นตรง

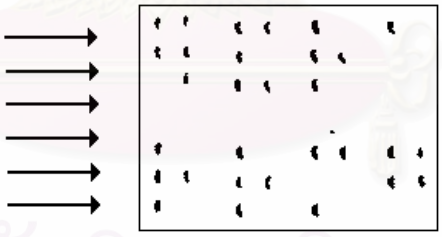
4. เปลี่ยนจุดเริ่มต้นทดสอบใหม่เป็นจุดที่ต่ำลงมาจากจุดก่อนหน้านี้หนึ่งจุดภาพ(ตำแหน่ง [0,i]) ทำซ้ำขั้นตอนข้อที่ 3 และ 4 ไปจนกว่าจะถึงตำแหน่งต่ำที่สุดของภาพ

5. นับจำนวนครั้งที่สร้างเส้นตรงแล้วพบจุดภาพสีดำบันทึกค่าไว้

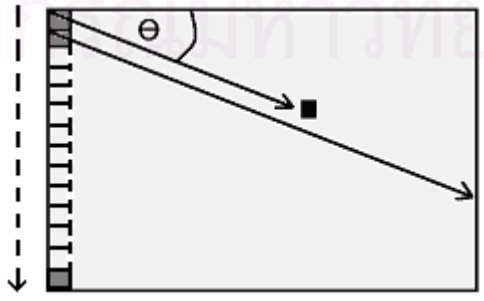
6. ทำซ้ำตามขั้นตอนข้อที่ 1-5 โดยเปลี่ยนมุมทดสอบ

7. นำค่าที่บันทึกได้จากการทดสอบแต่ละมุมเปรียบเทียบกัน มุมที่ทำให้ค่าที่บันทึกไว้มีค่าน้อยที่สุดคือมุมเอียงของบรรทัดในเอกสารอักษรเบรลล์

ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าที่ทดสอบความเอียงในช่วง -10 ถึง 10 องศาโดยใช้เปลี่ยนค่ามุมเอียงในการทดสอบครั้งละ 0.1 องศา

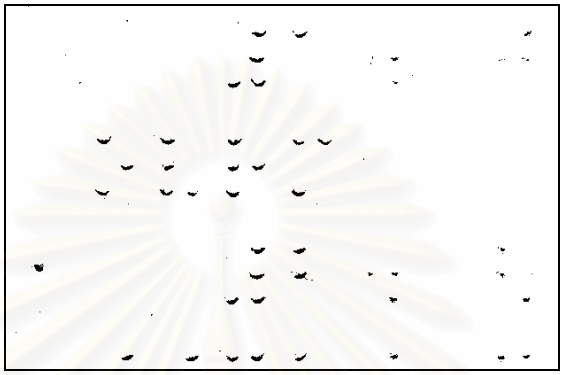


รูปที่ 3.5 ฉายด้านข้างของภาพเอกสาร

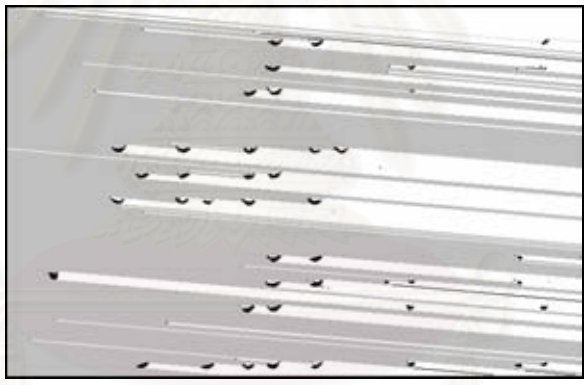


รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการทดสอบความเอียงที่มุมค่าหนึ่ง

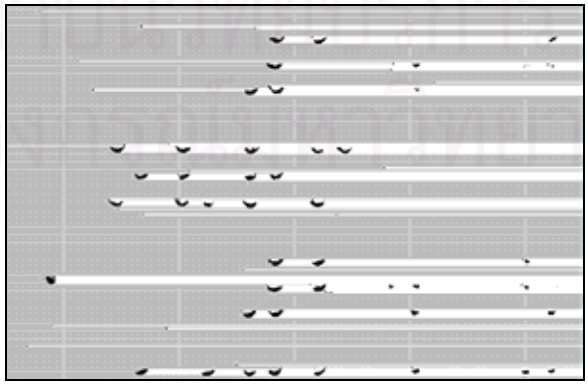
รูปที่ 3.6 แสดงการทำงานของการหามุมเอียงที่มุมทดสอบค่าหนึ่ง (ขั้นตอนที่ 2-4) รูปที่ 3.7 ถึง 3.9 แสดงตัวอย่างการหามุมเอียงในงานวิจัยนี้โดยรูปที่ 3.7 เป็นภาพที่ต้องการหามุมเอียง รูปที่ 3.8 เป็นการทดสอบหามุมเอียงด้วยมุมทดสอบค่าหนึ่งที่ไม่เท่ากับมุมเอียงของเอกสาร ส่วนรูปที่ 3.9 เป็นการทดสอบมุมเอียงด้วยค่ามุมเอียงที่เท่ากับมุมเอียงของเอกสาร



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างภาพที่จะหาค่าความเอียง



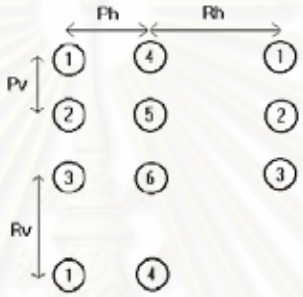
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างภาพที่ทดสอบหาค่าความเอียงด้วยมุมที่ไม่เท่ากับค่าความเอียงของเอกสาร



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างภาพที่ทดสอบหาค่าความเอียงด้วยมุมที่เท่ากับค่าความเอียงของเอกสาร

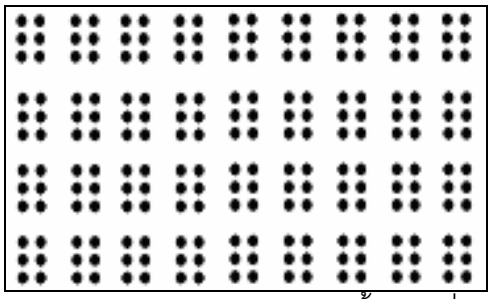
3.3 การหาระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์

เซลล์อักษรเบรลล์ที่บันทึกในเอกสารนั้นอาจจะมีระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ติดกันแตกต่างกันถึงแม้จะบันทึกด้วยเครื่องมือประเภทเดียวกันเช่น สเลท-สไตลัสที่ผลิตจากคนละบริษัทอาจจะมีค่าระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์ต่างกัน โดยที่ระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์ที่ติดกันจะมี 2 แบบคือ ระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์ในบรรทัดเดียวกันและระยะห่างระหว่างบรรทัดที่ติดกัน ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.10 ระยะ Rh คือ ระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์ในบรรทัดเดียวกัน และ Rv คือ ระยะห่างระหว่างบรรทัด



รูปที่ 3.10 แสดงระยะห่างต่างๆ ของเซลล์อักษรเบรลล์ [4]

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวความคิดในการหาระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์จากภาพลักษณ์ฐานสองของเอกสารและค่าความเอียงของเอกสารที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ คือ สร้างแผ่นแบบ (template) ที่เป็นภาพรอยเงาที่สามารถเกิดขึ้นทั้งหมดที่เป็นไปได้ในเอกสารดังที่แสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.11 โดยใช้ค่าความเอียงของบรรทัดและระยะระหว่างรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์เดียวกัน ระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์ที่ติดกัน หลังจากนั้นนำภาพลักษณ์ฐานสองที่เป็นรอยเงาที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ มาซ้อนทับกับแผ่นแบบ โดยให้รอยเงาดำของทั้งสองภาพซ้อนทับกันมากที่สุด บันทึกจำนวนจุดภาพที่ซ้อนทับกันทั้งหมด ทดลองสร้างแผ่นแบบใหม่โดยเปลี่ยนระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์ที่ติดกัน ถ้าระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์ที่ใช้สร้างแผ่นแบบตรงกับค่าระยะห่างจริงของเอกสารจะทำให้ได้ค่าจุดภาพที่ซ้อนทับกันทั้งหมดสูงที่สุด



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างบางส่วนของแผ่นแบบของภาพรอยเงาทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้ของเอกสารแบบหน้าเดียววงกลมทึบคือรอยนูน

ระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ในการทดลองสร้างแผ่นแบบนี้ได้มาจากการวัดระยะห่างจากภาพเอกสารจริงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ทั้งเอกสารที่บันทึกด้วยสเลท-สไตลัส เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ และเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ ซึ่งเอกสารที่บันทึกแต่ละและประเภทนำข้อมูลเอกสารมาจากหลายๆ แหล่ง พบว่าระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์ที่ติดกันอยู่ในช่วง 26-30 จุดภาพ และระยะห่างระหว่างบรรทัดอยู่ในช่วง 62-68 จุดภาพ ในงานวิจัยนี้จะนำค่าระยะห่างในช่วงนี้ทั้งหมดไปทดลองสร้างแผ่นแบบเพื่อทดสอบหาระยะห่างระหว่างเซลล์

ขั้นตอนการดังที่แสดงในรูปที่ 3.12 มีรายละเอียดดังนี้

1. จากภาพลักษณ์ฐานสองที่ได้จากขั้นตอนในหัวข้อ 3.1 หาจุดภาพสีดำที่ใกล้มุมบนซ้าย

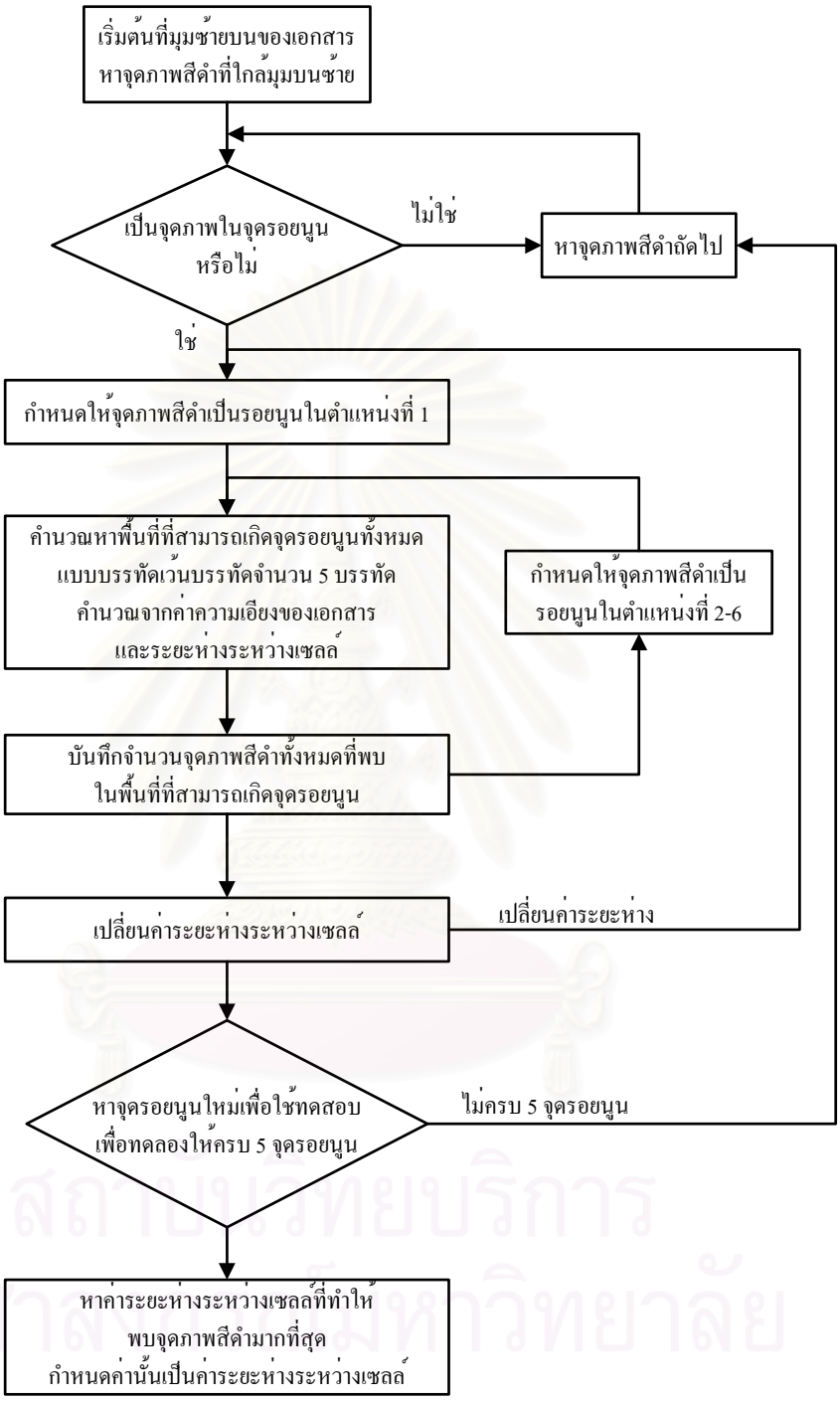
2. ตรวจสอบว่าจุดภาพนั้นเป็นจุดภาพในจุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์หรือไม่ ถ้าเป็นจุดภาพในจุดรอยนูนจะทำขั้นตอนต่อไป ถ้าไม่ใช่จะกลับไปหาจุดภาพที่ใกล้มุมบนซ้ายต่อไป การตรวจสอบว่าเป็นจุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์หรือไม่ ทำโดยจากตำแหน่งจุดภาพสีดำสร้างกรอบสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่กว่าจุดรอยนูนของเซลล์อักษรเบรลล์โดยให้จุดภาพสีดำอยู่ตรงกึ่งกลางด้านซ้ายของกรอบสี่เหลี่ยม นับจำนวนจุดภาพสีดำที่พบในกรอบสี่เหลี่ยม ถ้าค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดจะถือว่าเป็นจุดรอยนูน

ค่าขีดแบ่งที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้มาจากค่าจำนวนจุดภาพสีดำของจุดรอยนูนที่เล็กที่สุดที่ปรากฏในภาพลักษณ์ฐานสองของเอกสารอักษรเบรลล์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยการสุ่มจากเอกสารที่บันทึกด้วย สเลท-สไตลัส เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ และเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ อย่างละ 3 หน้า

3. กำหนดให้จุดภาพสีดำเป็นรอยนูนในตำแหน่งที่ 1 ในเซลล์อักษรเบรลล์

4. คำนวณตำแหน่งเซลล์อักษรเบรลล์ทั้งหมดแบบบรรทัดเว้นบรรทัดจำนวน 5 บรรทัด โดยอาศัยค่าความเอียงของเอกสารและระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์

5. ที่ตำแหน่งแต่ละเซลล์อักษรเบรลล์คำนวณหาพื้นที่ที่สามารถเกิดจุดรอยนูน โดยสร้างกรอบสี่เหลี่ยมขนาดจุดรอยนูนที่ตำแหน่งจุดรอยนูนทั้ง 6 ตำแหน่ง ซึ่งตำแหน่งทั้งหมดที่สร้างขึ้นในทุกๆ เซลล์อักษรเบรลล์ในขั้นตอนนี้เปรียบได้กับแผ่นแบบที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น



รูปที่ 3.12 แผนภูมิแสดงการหาระยะห่างต่าง ๆ ระหว่างเซลล์

6. บันทึกจำนวนจุดภาพสีดำทั้งหมดที่พบในพื้นที่ที่สามารถเกิดจุดรอยนูนในขั้นตอนที่ 5

7. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3-6 กำหนดโดยให้รอยนูนนั้นเป็นตำแหน่งที่ 2-6 ในเซลล์

8. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3-7 โดยเปลี่ยนระยะห่างระหว่างเซลล์

9. หาจุดภาพสีดำที่ใกล้มุมบนซ้ายถัดไป ที่ไม่ใช่จุดภาพในจุดรอยนูนที่ได้ทำในขั้นตอน 2-8 มาแล้ว

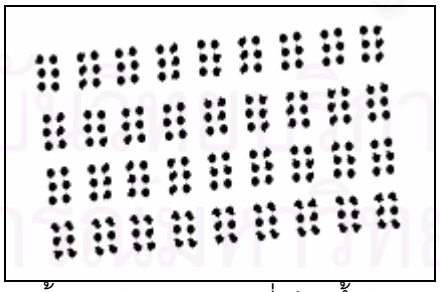
10. ทำในขั้นตอน 2-9 ใหม่โดยทดลองกับจุดรอยนูนจำนวน 5 จุดรอยนูน

11. จากค่าที่บันทึกในขั้นตอนที่ 6 หาค่าระยะห่างต่างๆระหว่างเซลล์ที่ทำให้พบจุดภาพสีดำมากที่สุด กำหนดให้ค่าระยะห่างนี้เป็นค่าระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์ในเอกสาร

ค่าระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์ ที่หาได้ในขั้นตอนนี้จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนการหาตำแหน่งตัวอักษรเบรลล์ต่อไป

3.4 การหาตำแหน่งเซลล์อักษรเบรลล์

ปัญหาของการหาตำแหน่งเซลล์อักษรเบรลล์คือการหาว่ารอยเงาของจุดรอยนูนที่ได้แต่ละรอยนั้นเป็นตำแหน่งจุดรอยนูนใดในเซลล์อักษรเบรลล์ งานวิจัยนี้แก้ปัญหาโดยสร้างแผ่นแบบเช่นเดียวกับในขั้นตอนการหาระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์ แผ่นแบบที่สร้างเป็นภาพรอยเงาที่สามารถเกิดขึ้นทั้งหมดที่เป็นไปได้ในเอกสารดังที่แสดงตัวอย่างรูปที่ 3.11 โดยใช้ค่าความเอียงของบรรทัด และระยะระหว่างรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์เดียวกันระยะห่างระหว่างเซลล์อักษรเบรลล์ที่ติดกันดังกล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่แล้ว ในกรณีที่ภาพเอกสารอักษรเบรลล์เอียง แผ่นแบบที่สร้างขึ้นมาจะเอียงเท่ากับความเอียงของเอกสารอักษรเบรลล์ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ภาพรอยเงาทั้งหมดในแผ่นแบบที่สร้างขึ้นในกรณีที่ภาพเอกสารเอียง

หลังจากนั้นนำภาพที่เป็นรอยเงาที่ได้จากขั้นตอนการสร้างภาพลักษณ์ฐานสองของรอยเงาของจุดรอยยุบและรอยนูน มาซ้อนทับกับแผ่นแบบโดยให้รอยเงาดำของทั้งสองภาพซ้อนทับกันให้มากที่สุด เนื่องจากรอยเงาที่สร้างขึ้นในแผ่นแบบเกิดจากการคำนวณจากค่าความเอียงและระยะห่างระหว่างเซลล์ ดังนั้นจากตำแหน่งที่แผ่นแบบซ้อนทับกับภาพลักษณ์ฐานสองของเอกสาร

มากที่สุดจะสามารถคำนวณหาตำแหน่งเซลล์อักษรเบรลล์ทั้งหมดบนภาพลักษณ์ฐานสองของเอกสารได้

ขั้นตอนการทำงานดังที่แสดงในรูปที่ 3.14 มีรายละเอียดดังนี้

1. จากภาพลักษณ์ฐานสองที่ได้จากขั้นตอนในหัวข้อ 3.1 หาจุดภาพสีดำที่ใกล้มุมบนซ้าย

2. ตรวจสอบว่าจุดภาพนั้นเป็นจุดภาพในจุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์หรือไม่ ถ้าเป็นจุดภาพในจุดรอยนูนจะทำขั้นตอนต่อไป ถ้าไม่ใช่จะกลับไปหาจุดภาพที่ใกล้มุมบนซ้ายต่อไป ซึ่งการตรวจสอบทำโดยจากตำแหน่งจุดภาพสีดำสร้างกรอบสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่กว่าจุดรอยนูนของเซลล์อักษรเบรลล์โดยให้จุดภาพสีดำอยู่ตรงกึ่งกลางด้านซ้ายของกรอบสี่เหลี่ยม นับจำนวนจุดภาพสีดำที่พบในกรอบสี่เหลี่ยมถ้าค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งค่าจะถือว่าเป็นจุดรอยนูน

ค่าขีดแบ่งที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้มาจากค่าจำนวนจุดภาพสีดำของจุดรอยนูนที่เล็กที่สุดที่ปรากฏในภาพลักษณ์ฐานสองของเอกสารอักษรเบรลล์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยการสุ่มจากเอกสารที่บันทึกด้วย สเลท-สไตลัส เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ และเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ อย่างละ 3 หน้า

3. กำหนดให้จุดภาพสีดำเป็นรอยนูนในตำแหน่งที่ 1 ในเซลล์ตัวอักษรเบรลล์

4. คำนวณตำแหน่งเซลล์ทั้งหมดแบบบรรทัดเว้นบรรทัดทั้งภาพเอกสาร โดยอาศัยค่าความเอียงของเอกสารและระยะห่างระหว่างเซลล์

5. ที่ตำแหน่งแต่ละเซลล์คำนวณหาพื้นที่ที่สามารถเกิดจุดรอยนูน โดยสร้างกรอบสี่เหลี่ยมขนาดจุดรอยนูนที่ตำแหน่งจุดรอยนูนทั้ง 6 ตำแหน่ง ซึ่งตำแหน่งทั้งหมดที่สร้างขึ้นในทุกๆ เซลล์ในขั้นตอนนี้เปรียบได้กับแผ่นแบบที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

6. บันทึกจำนวนจุดภาพสีดำทั้งหมดที่พบในพื้นที่ที่สามารถเกิดจุดรอยนูนในขั้นตอนที่ 5

7. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3-6 กำหนดโดยให้รอยนูนนั้นเป็นตำแหน่งที่ 2-6 ในเซลล์

8. หาจุดภาพสีดำที่ใกล้มุมบนซ้ายถัดไป ที่ไม่ใช่จุดภาพในจุดรอยนูนที่ได้ทำในขั้นตอน 2-7 มาแล้ว

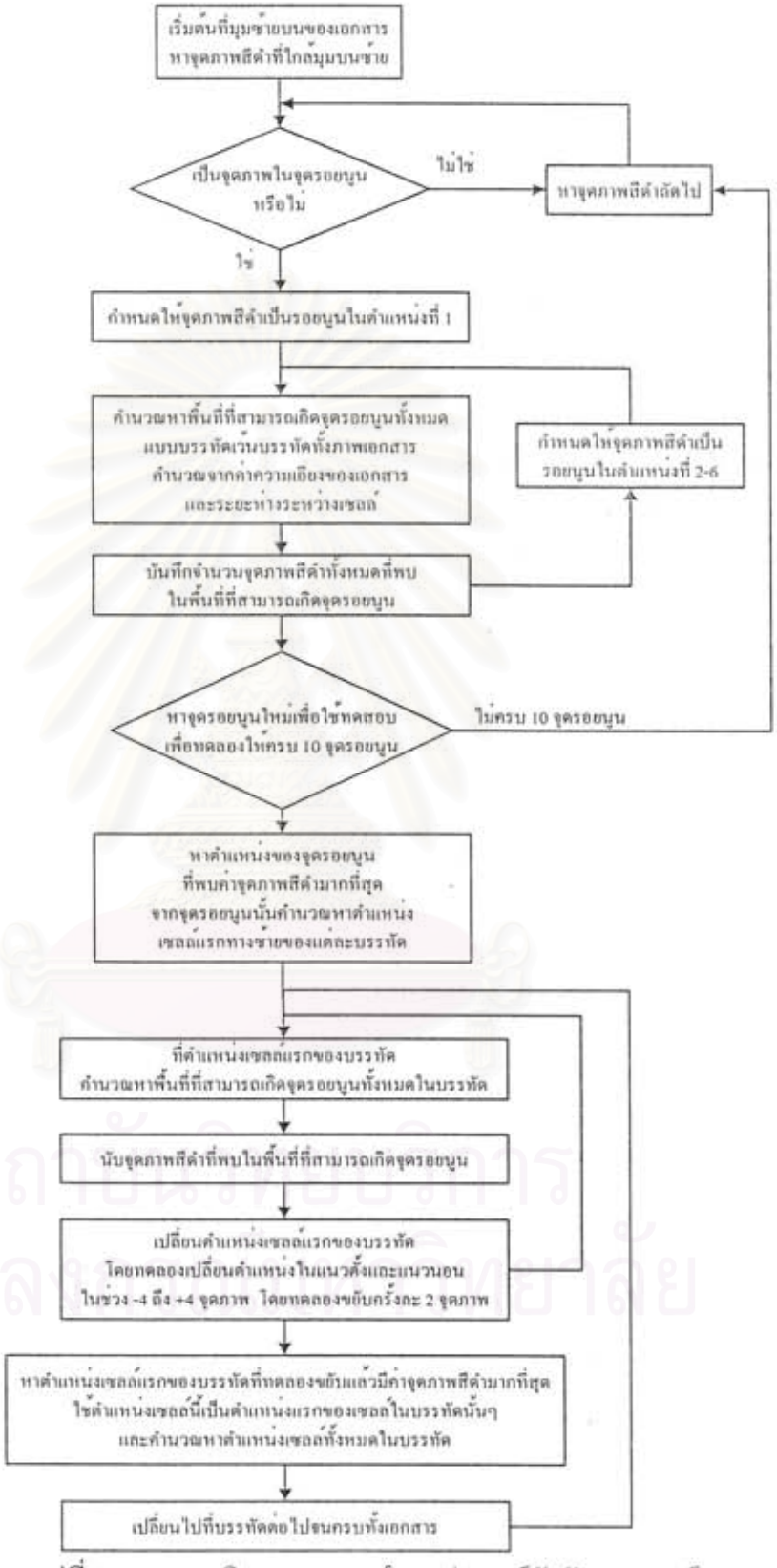
9. ทำในขั้นตอน 2-9 ทดลองสร้างแผ่นแบบจากตัวอย่างจุดรอยนูนจำนวน 10 จุดรอยนูน

10. จากข้อมูลที่บันทึกในขั้นตอนที่ 6 หาตำแหน่งของจุดรอยนูนที่ให้ค่าจุดภาพสีดำสูงที่สุด

11. จากตำแหน่งจุดรอยนูนในขั้นตอนที่ 10 คำนวณหาตำแหน่งเซลล์แรกทางซ้ายมือของแต่ละบรรทัด

12. ที่ตำแหน่งเซลล์แรกของบรรทัดคำนวณหาตำแหน่งเซลล์ทั้งหมดในบรรทัด และคำนวณพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดจุดรอยนูน เช่นเดียวกับในขั้นตอนที่ 5

13. บันทึกจำนวนจุดภาพสีดำทั้งหมดที่พบในพื้นที่ที่สามารถเกิดจุดรอยนูน ในบรรทัดนั้น



รูปที่ 3.14 แผนภูมิแสดงการหาตำแหน่งเซลล์ตัวอักษรเบรลล์

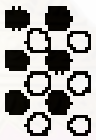
14. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 12-13 ทดลองขยับเปลี่ยนตำแหน่งเซลล์แรกของบรรทัด โดยทดลองเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งและแนวนอนในช่วง -4 ถึง +4 จุดภาพ โดยทดลองขยับครั้งละ 2 จุดภาพ

15. หาตำแหน่งเซลล์แรกของบรรทัดที่ทดลองขยับแล้วมีค่าจุดภาพสีดำมากที่สุด ใช้ตำแหน่งเซลล์นี้เป็นตำแหน่งแรกของเซลล์ในบรรทัดนั้นๆ และหาตำแหน่งเซลล์แรกของบรรทัดคำนวณหาตำแหน่งเซลล์ทั้งหมดในบรรทัด

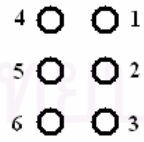
16. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 11-15 กับทุกๆ บรรทัดของเอกสาร

ผลที่ได้จากการทำงานในขั้นตอนนี้จะได้ตำแหน่งเซลล์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในภาพเอกสารอักษรเบรลล์ซึ่งจะนำไปใช้ในขั้นตอนการรู้จำตัวอักษรเบรลล์ต่อไป

สำหรับเอกสารที่บันทึกทั้งสองด้านคือมีทั้งจุดรอยนูนและจุดรอยยุบ จะสร้างภาพรอยเงาทั้งหมดที่มีทั้งจุดรอยนูนและจุดรอยยุบในภาพเดียวกัน โดยที่ตัวอักษรด้านหน้า(จุดรอยนูน) และตัวอักษรด้านหลัง (จุดรอยยุบ) จะแทรกระหว่างกันอยู่ดังรูปที่ 3.15 ตำแหน่งจุดรอยนูน 6 จุดของตัวอักษรเบรลล์ที่พิมพ์ด้านหลังเมื่อพิจารณาจากด้านหน้าจะเรียงลำดับดังรูปที่ 3.16



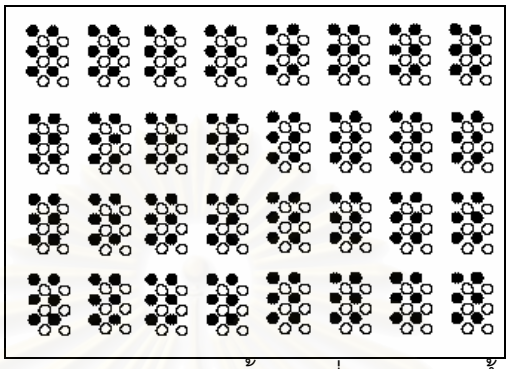
รูปที่ 3.15 แสดงตำแหน่งการแทรกระหว่างกันของตัวอักษรที่พิมพ์ด้านหน้า (วงกลมทึบ) และตัวอักษรที่พิมพ์ด้านหลัง (วงกลมกลวง)



รูปที่ 3.16 แสดงตำแหน่งรอยนูน 6 จุดของเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ที่พิมพ์ด้านหลังเมื่อพิจารณาจากทางด้านหน้า

เนื่องจากการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ทำให้ระยะของตัวอักษรที่พิมพ์ด้านหน้าและด้านหลังที่แทรกกันอยู่มีค่าคงที่ ดังนั้น จึงสามารถสร้างภาพรอยเงาที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมดทั้งด้านหน้าและด้านหลังดังรูปที่ 3.17 งานวิจัยนี้ได้นำตำแหน่งของจุดรอยนูนของกระดาษด้านหน้าและด้านหลังดังในภาพนี้ไปหาตำแหน่งของตัวอักษรทำเป็นแผ่นแบบสำหรับการพิมพ์แบบสองด้านและนำไปซ้อนทับกับภาพลักษณ์ฐานสองของเอกสาร เพื่อหาตำแหน่งที่รอยเงาซ้อนทับกัน

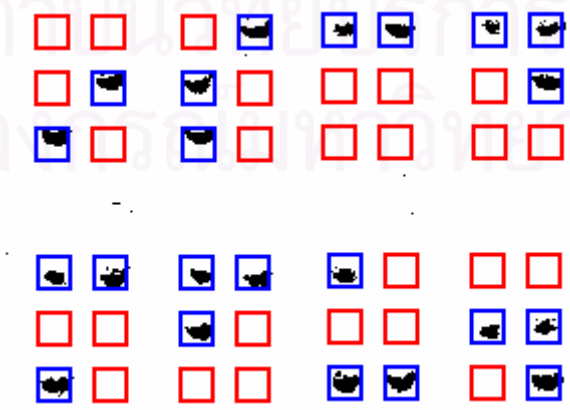
มากที่สุด เช่นเดียวกับเอกสารที่พิมพ์หน้าเดียว ซึ่งการทำงานจะแตกต่างกันที่ขั้นตอนที่ 7 โดยที่เอกสารแบบพิมพ์สองด้านจะเพิ่มการกำหนดให้จุดรอยนั้นเป็นตำแหน่งรอยยุบที่ 1-6 ของเซลล์อักษรเบรลล์



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างบางส่วนของภาพรอยเงาทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้ของเอกสารสองหน้า วงกลมทึบคือรอยนูนและวงกลมกลวงคือรอยยุบ

3.5 การรู้จำตัวอักษรเบรลล์

การรู้จำตัวอักษรเบรลล์ในงานวิจัยนี้เป็นการแสดงตัวอักษรปรกติที่บันทึกในเอกสาร โดยที่ในงานวิจัยนี้จะทำการแสดงตัวอักษรจากเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ 1 เซลล์ไปเป็นตัวอักษรปรกติ 1 ตัวเท่านั้น โดยที่สามารถแสดงตัวอักษรเป็นตัวอักษรภาษาไทย ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หรือตัวอักษรคอมพิวเตอร์เบรลล์(Universal computer braille code) ของ Braille Authority of North America (BANA) แล้วแต่ผู้ใช้จะเลือกใช้งาน ซึ่งรายละเอียดการแสดงตัวอักษรปรกติในแบบต่างๆ อยู่ในส่วนภาคผนวก ก. ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างการพิจารณาการเกิดรอยนูนของเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ 8 เซลล์

ข้อมูลของการเกิดรอยนูนใดในเซลล์ตัวอักษรเบรลล์หาได้จากตำแหน่งของเซลล์ที่ได้มาจากขั้นตอนการหาตำแหน่งเซลล์ โดยที่แต่ละเซลล์คำนวณพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดจุดรอยนูน พิจารณาไปตามแต่ละพื้นที่นั้นๆ ตรวจสอบว่ามีจุดรอยนูนใดในเซลล์ปรากฏบ้างเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 ของการหาตำแหน่งเซลล์อักษรเบรลล์ จากตำแหน่งทั้ง 6 ตำแหน่ง สร้างกรอบสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่กว่าจุดรอยนูนของเซลล์อักษรเบรลล์ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.18 นับจำนวนจุดภาพสีดำที่พบในกรอบสี่เหลี่ยมถ้าค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งค่าจะถือว่าเป็นจุดรอยนูน ค่าขีดแบ่งที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้มาจากค่าจำนวนจุดภาพของจุดรอยนูนที่เล็กที่สุดที่ปรากฏในภาพลักษณ์ฐานสองของเอกสารอักษรเบรลล์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เมื่อได้ข้อมูลว่าที่เซลล์หนึ่งๆ มีจุดรอยนูนใดปรากฏบ้างจะนำข้อมูลนี้ไปเปรียบเทียบกับตารางในภาคผนวก ก. เพื่อแสดงผลตัวอักษรที่บันทึกในภาพเอกสารอักษรเบรลล์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับเอกสารอักษรเบรลล์ที่ได้มาจากสเลท-สไตลัส เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ และเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ทั้งเอกสารที่พิมพ์ด้านเดียวและพิมพ์สองด้าน เอกสารที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้นำมาจากวิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล และโรงเรียนสอนคนตาบอดกรุงเทพฯ

เอกสารที่นำมาใช้ทดลองจะเป็นกระดาษที่มีสีอ่อนไม่มีรอยขีดเขียน การสแกนภาพเอกสารจะสแกนในแนวตั้งวางด้านที่เป็นรอยนูนเข้าหาเครื่องสแกนแบบแบนราบ โดยสแกนภาพที่ความละเอียด 300 จุดภาพต่อนิ้ว

ผลของงานวิจัยนี้จะแสดงตัวอักษรปรกติที่บันทึกในเอกสารอักษรเบรลล์โดยที่จะทำการแสดงตัวอักษรจากเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ 1 เซลล์ไปเป็นตัวอักษรปรกติ 1 ตัวเท่านั้น

4.1 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนในการวิจัยนี้คือนำเอกสารอักษรเบรลล์มาสแกนเป็นภาพแล้วนำมาให้โปรแกรมแสดงตัวอักษรปรกติที่บันทึกไว้และแสดงภาพเอกสารโดยที่วาดรูปกรอบสี่เหลี่ยมล้อมบริเวณที่สามารถเกิดจุดรอยนูนหรือรอยยุบทั้งหมดดังตัวอย่างรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการพิจารณาการเกิดรอยนูนของเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ 8 เซลล์

เอกสารที่นำมาใช้ทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ เอกสารที่พิมพ์แบบด้านเดียวและเอกสารที่พิมพ์แบบสองด้าน เอกสารที่พิมพ์แบบด้านเดียวได้มาจากเอกสารที่บันทึกด้วยสเลท-สไตลัสจำนวน 30 หน้า เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์จำนวน 30 หน้า และเครื่องพิมพ์อักษร

เบรลล์จำนวน 30 หน้า ส่วนเอกสารที่พิมพ์สองด้านได้มาจากเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์จำนวน 15 หน้า

การแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมจะแสดงสองแบบคือแสดงภาพเอกสารโดยที่วาดรูปกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบบริเวณที่สามารถเกิดจุดรอยนูนหรือรอยยุบทั้งหมด และแสดงตัวอักษรปรกติที่บันทึกไว้ โดยผู้ใช้สามารถเลือกการแสดงตัวอักษรปรกติเป็นตัวอักษรภาษาไทย หรือตัวอักษรภาษาอังกฤษ หรือตัวอักษรคอมพิวเตอร์เบรลล์

4.2 การวัดความถูกต้อง

งานวิจัยนี้ทำงานแสดงผลเป็นตัวอักษรปรกติที่บันทึกในเอกสารอักษรเบรลล์ที่แสดงตัวอักษรจากเซลล์อักษรเบรลล์ 1 เซลล์ไปเป็นตัวอักษรปรกติ 1 ตัว ดังนั้นความถูกต้องของงานวิจัยนี้จะวัดความถูกต้องในระดับเซลล์อักษรเบรลล์ โดยจะให้โปรแกรมระบุว่าในแต่ละเซลล์หนึ่งๆมีจุดรอยนูนใดในเซลล์ปรากฏขึ้นบ้างแล้วเทียบกับเอกสารจริง ถ้าข้อมูลที่โปรแกรมระบุไม่ตรงกับเอกสารจริงถือว่าการแปลตัวอักษรที่เซลล์นั้นผิด

ในหนึ่งเซลล์ประกอบด้วยจุดรอยนูนที่สามารถเกิดขึ้นได้ 6 รอย จึงพิจารณาตามตำแหน่งรอยนูนทั้ง 6 ตำแหน่ง ถ้าตำแหน่งรอยนูนรอยใดรอยหนึ่งมีการระบุรอยนูนผิดถือว่าเซลล์ตัวอักษรนั้นผิด และหากตำแหน่งในกระดาษไม่มีรอยนูนหรือรอยยุบแต่โปรแกรมพบว่ามี ก็ถือว่าเป็นการระบุเซลล์อักษรเบรลล์นั้นผิดเช่นกัน

การระบุรอยนูน โปรแกรมจะคำนวณหาตำแหน่งรอยนูนในภาพเอกสารอักษรเบรลล์ทุกตำแหน่งที่เป็นไปได้ แล้วพิจารณาตำแหน่งนั้นๆ เป็นรอยนูนหรือไม่ โดยพิจารณาเทียบตำแหน่งจากเอกสารจริงที่ผ่านการแปลงเป็นภาพลักษณ์ฐานสองมาแล้ว หากพบว่าโปรแกรมระบุผิด (ซึ่งรวมทั้งการระบุว่าที่ตำแหน่งรอยนูนในกระดาษมีจริงแต่โปรแกรมพบว่าไม่มีรอยนูน หรือที่ตำแหน่งในกระดาษไม่มีรอยนูนแต่โปรแกรมพบว่ามีรอยนูน) ก็ถือว่าที่ตำแหน่งนั้นๆ โปรแกรมให้ผลลัพธ์ผิด และนับจำนวนตำแหน่งรอยนูนที่โปรแกรมให้ผลลัพธ์ผิดพลาดไว้ทั้งหมด

4.3 ผลการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งเป็นการทดลองกับเอกสารที่แบ่งเป็น 2 ประเภทหลักตามรูปแบบการบันทึกคือเอกสารแบบพิมพ์ด้านเดียวและเอกสารแบบพิมพ์สองด้าน ได้รวบรวมมาจากเอกสารที่นักเรียนโรงเรียนสอนคนตาบอดกรุงเทพฯ ใช้สเลท-สไตลัสทำงานส่งอาจารย์ และเอกสารจากวิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งมีรายละเอียดผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ผลการทดลองของเอกสารแบบพิมพ์ด้านเดียว

เอกสารแบบพิมพ์ด้านเดียวที่นำมาทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ประเภทตามเครื่องมือที่ใช้บันทึกคือ เอกสารที่บันทึกด้วยสเลท-สไตลัส เอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ และเอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ ประเภทละ 30 หน้า

จากการทดลองพบว่าความถูกต้องของเอกสารที่บันทึกด้วยสเลท-สไตลัสเท่ากับ 96.3% ความถูกต้องของเอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์เท่ากับ 97.1 %และความถูกต้องของเอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์เท่ากับ 98.9 % ซึ่งรายละเอียดแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 ถึง 4.3

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองของเอกสารที่บันทึกแบบด้านเดียวด้วยสเลท-สไตลัส

รายละเอียด	จำนวนข้อมูล
เอกสารอักษรเบรลล์ (แผ่น)	30
ตัวอักษรทั้งหมดที่เป็นไปได้ (เซลล์)	28,149
ตัวอักษรที่แสดงผลถูกต้อง (ตัวอักษร)	27,107
ตัวอักษรที่แสดงผลผิด (ตัวอักษร)	1,042
ความถูกต้องของการระบุตัวอักษร (เปอร์เซ็นต์)	96.3

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองของเอกสารที่บันทึกแบบด้านเดียวด้วยเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์

รายละเอียด	จำนวนข้อมูล
เอกสารอักษรเบรลล์ (แผ่น)	30
ตัวอักษรทั้งหมดที่เป็นไปได้ (เซลล์)	23,460
ตัวอักษรที่แสดงผลถูกต้อง (ตัวอักษร)	22,779
ตัวอักษรที่แสดงผลผิด (ตัวอักษร)	681
ความถูกต้องของการระบุตัวอักษร (เปอร์เซ็นต์)	97.1

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองของเอกสารที่บันทึกแบบด้านเดียวด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์

รายละเอียด	จำนวนข้อมูล
เอกสารอักษรเบรลล์ (แผ่น)	30
ตัวอักษรทั้งหมดที่เป็นไปได้ (เซลล์)	20,880
ตัวอักษรที่แสดงผลถูกต้อง (ตัวอักษร)	20,650
ตัวอักษรที่แสดงผลผิด (ตัวอักษร)	230
ความถูกต้องของการระบุตัวอักษร (เปอร์เซ็นต์)	98.9

4.3.2 ผลการทดลองของเอกสารแบบพิมพ์สองด้าน

เอกสารแบบพิมพ์สองด้านที่นำมาทดลองในงานวิจัยนี้เป็นเอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ ใช้เอกสารจำนวน 15 แผ่นมาทำการทดลอง จากการทดลองพบว่าความถูกต้องของเอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์เท่ากับ 95.7 % ซึ่งรายละเอียดแสดงอยู่ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของเอกสารที่บันทึกด้วยแบบสองด้านเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ (พิมพ์สองด้าน)

รายละเอียด	จำนวนข้อมูล
เอกสารอักษรเบรลล์ (แผ่น)	15
ตัวอักษรทั้งหมดที่เป็นไปได้ (เซลล์)	23,400
ตัวอักษรที่แสดงผลถูกต้อง (ตัวอักษร)	22,395
ตัวอักษรที่แสดงผลผิด (ตัวอักษร)	1,005
ความถูกต้องของการระบุตัวอักษร (เปอร์เซ็นต์)	95.7

4.3.3 เวลาที่ใช้ในการทำงาน

การทดลองในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการทำงานหลักๆ คือ การสร้างภาพลักษณ์ฐานสองที่เป็นเงาของจุดรอยนูนและจุดรอยยุบ การหาความเอียงของภาพเอกสารอักษรเบรลล์ การหาตำแหน่งตัวอักษรเบรลล์ และการรู้จำตัวอักษรเบรลล์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อทำการทดลองรวมทั้งจับเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอนซึ่งมีความละเอียดในระดับมิลลิวินาที ในการทดลองใช้งานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ และได้ทดลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลาง เพนเทียมโฟร์ ความเร็ว 3 กิกะเฮิร์ต และมีหน่วยความจำ 768 เมกะไบต์

การวัดความเร็วในการทำงานจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ เอกสารที่พิมพ์ด้านเดียว และเอกสารที่พิมพ์สองด้าน เพราะในแต่ละกลุ่มมีการทำงานที่แตกต่างกันทำให้ความเร็วในการทำงานต่างกัน ซึ่งความเร็วที่ใช้ในการทำงานในแต่ละขั้นตอนแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เวลาที่ใช้ในการทำงานในแต่ละขั้นตอน

ขั้นตอนการทำงาน	เอกสารที่พิมพ์ด้านเดียว(วินาที)	เอกสารที่พิมพ์สองด้าน(วินาที)
การสร้างภาพลักษณ์ฐานสองที่เป็นเงาของจุดรอยนูนและจุดรอยยุบ	0.9	0.9
การหาความเอียงของภาพเอกสารอักษรเบรลล์	6.7	6.5
การหาระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ติดกัน	23.5	35.1
การหาตำแหน่งเซลล์ตัวอักษรเบรลล์	18.2	28.1
การรู้จำตัวอักษรเบรลล์	0.6	0.9
รวม	49.9	71.5

4.4 วิเคราะห์ผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าความถูกต้องเฉลี่ยในภาพเอกสารที่พิมพ์แบบด้านเดียวดีกว่าแบบพิมพ์สองด้าน ทั้งนี้เพราะการเรียงตัวของรอยนูนของเอกสารแบบด้านเดียวมีช่องว่างระหว่างกันชัดเจนกว่าแบบสองด้าน ทำให้การหาตำแหน่งมีความผิดพลาดน้อยกว่าเอกสารที่พิมพ์สองด้านซึ่งรอยนูนจะอยู่ติดกันมากกว่า ความผิดพลาดของการทำงานยังมีมาจากเครื่องบันทึกเอกสารที่บางครั้งทำให้ระยะห่างต่างๆ ระหว่างเซลล์ตัวอักษรเบรลล์มีค่าไม่คงที่ทั่วทั้งเอกสาร พบว่ามีบางตัวอย่างที่ระยะห่างระหว่างเซลล์ตัวอักษรในบรรทัดเดียวกัน ระยะห่างระหว่างเซลล์ที่พิมพ์ทางด้านซ้ายมีค่ามากกว่าเซลล์ที่พิมพ์ทางด้านขวา ซึ่งมักเกิดกับเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์มากกว่าเครื่องบันทึกชนิดอื่น ทำให้การหาตำแหน่งเซลล์ผิดพลาด นอกจากนี้การสแกนภาพทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานได้ทั้งนี้อาจจะมาจากตัวเครื่องสแกนภาพเองหรือลักษณะการวางเอกสารก่อนสแกนภาพ ทำให้ภาพเอกสารที่ได้มีความเอียงของเซลล์ตัวอักษรไม่สม่ำเสมอทั้งเอกสาร สำหรับความผิดพลาดของการสแกนภาพมักจะเกิดขึ้นบริเวณขอบของภาพ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความละเอียดของการสแกนภาพอยู่ที่ 300 จุดภาพต่อนิ้ว ซึ่งในระหว่างการทำวิจัยได้ทดลองสแกนภาพที่ความละเอียด 100 และ 200 จุดต่อนิ้ว พบว่าการทำงานมีประสิทธิภาพลดลงมาก การหาตำแหน่งเซลล์ในภาพเอกสารผิดพลาดมากเนื่องจากจุดภาพที่เป็นรอยเงาของจุดรอยนูนและจุดรอยยุบอยู่ติดกันมาก สำหรับความละเอียดของการสแกนภาพที่สูงกว่า 300 จุดภาพต่อนิ้ว พบว่าความถูกต้องของการทำงานไม่ได้เพิ่มขึ้นมากนัก แต่เวลาที่ใช้การทำงานสูงขึ้นมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกความละเอียดของการสแกนภาพนี้ในการทำงาน

เวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการทำงานที่ทำกับเอกสารแบบพิมพ์ด้านเดียวและแบบพิมพ์สองด้านจะใกล้เคียงกันยกเว้นในขั้นตอนการหาตำแหน่งเซลล์ตัวอักษรเบรลล์และการหาระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ติดกัน โดยที่เอกสารที่พิมพ์สองด้านจะใช้เวลาการทำงานมากกว่า เนื่องจากจะต้องหาตำแหน่งเซลล์ตัวอักษรเบรลล์จากทั้งที่พิมพ์ด้านหน้าและพิมพ์ด้านหลัง เวลาที่ใช้ในการทำงานในขั้นตอนการหาระยะห่างระหว่างเซลล์ใช้เวลามากที่สุดเพราะการหาระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ติดกันในบรรทัดเดียวกันและระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ติดกันในบรรทัดติดกัน การทำงานต้องกำหนดค่าระยะห่างต่างๆ ระหว่างเซลล์ในช่วงที่เป็นไปได้ แล้วจึงทดลองไปเทียบกับภาพเอกสาร เพื่อหาระยะที่ใช้กับเอกสารนั้นๆ สำหรับเวลารวมที่ใช้ในการทำงานของเอกสารอักษรเบรลล์ขนาดเอ 4 ที่พิมพ์ด้านเดียวเฉลี่ยคือ 49.9 วินาทีและ 71.5 วินาทีสำหรับเอกสารที่พิมพ์สองด้าน

ผลการทดลองพบว่าความถูกต้องของการแสดงตัวอักษรปรกติในภาพเอกสารอักษรเบรลล์แบบพิมพ์ด้านเดียว เท่ากับ 96.3 เปอร์เซ็นต์, 97.1 เปอร์เซ็นต์ และ 98.9 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเอกสารที่บันทึกด้วยสเลท-สไตลัส เอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์และเอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ตามลำดับ และความถูกต้องของการแสดงตัวอักษรปรกติในภาพเอกสารอักษรเบรลล์แบบพิมพ์สองด้านซึ่งบันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ 95.7 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.6 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำตัวอักษรเบรลล์

ชนิดการบันทึกเอกสาร	**งานวิจัยนี้** (เปอร์เซ็นต์)	**งานวิจัยของ** R.T. Ritchings, et al. (เปอร์เซ็นต์)	**งานวิจัยของ** X.F. Hermida, et al. (เปอร์เซ็นต์)
เครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ แบบพิมพ์สองด้าน	95.7	97.6	97.0
เครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ แบบพิมพ์ด้านเดียว	98.9	98.5	97.0
เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์	97.1	-	-
สเลท-สไตลัส	96.3	-	-

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ R.T. Ritchings, et al. [3] ละ X.F. Hermida, et al. [4] พบว่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่ในงานวิจัยนี้สามารถทำการรู้จำเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ และ สเลท-สไตลัส ซึ่งรายละเอียดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการรู้จำอักษรเบรลล์จากภาพเอกสารอักษรเบรลล์ที่บันทึกด้วยสเลท-สไตลัส เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ และเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ เอกสารที่บันทึกมีทั้งแบบพิมพ์ด้านเดียวและแบบพิมพ์สองด้าน ภาพเอกสารได้มาจากการสแกนจากเครื่องสแกนภาพแบบแบนราบที่หาได้ทั่วไป การสแกนภาพในงานวิจัยจะสแกนภาพเพียงด้านเดียว โดยที่เอกสารวางตั้งหันด้านรอยนูนเข้าหาเครื่องสแกนภาพ และกำหนดความละเอียดของการสแกนภาพ

ผลการทดลองพบว่าความถูกต้องเฉลี่ยในภาพเอกสารที่พิมพ์แบบด้านเดียวดีกว่าแบบพิมพ์สองด้าน ความถูกต้องของการแสดงตัวอักษรปรกติในภาพเอกสารอักษรเบรลล์แบบพิมพ์ด้านเดียว เท่ากับ 96.3% 97.1 % และ 98.9 % สำหรับเอกสารที่บันทึกด้วยสเลท-สไตลัส เอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์และเอกสารที่บันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ตามลำดับ และความถูกต้องของการแสดงตัวอักษรปรกติในภาพเอกสารอักษรเบรลล์แบบพิมพ์สองด้านซึ่งบันทึกด้วยเครื่องพิมพ์อักษรเบรลล์ 95.7 %

เวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการทำงานที่ทำกับเอกสารแบบพิมพ์ด้านเดียวและแบบพิมพ์สองด้านจะใกล้เคียงกันยกเว้นในขั้นตอนการหาตำแหน่งเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ที่ต่างกันโดยที่เอกสารที่พิมพ์สองด้านจะใช้เวลาการทำงานมากกว่า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการทำงานสำหรับเอกสารอักษรเบรลล์ขนาดเอ 4 ที่พิมพ์ด้านเดียวเฉลี่ยคือ 49.9 วินาทีและ 71.5 วินาทีสำหรับเอกสารที่พิมพ์สองด้าน

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีจุดที่น่าจะสามารถพัฒนาให้ดีขึ้นเพื่อนำไปใช้งานจริงได้มีดังนี้

1) สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องระบุลักษณะการพิมพ์ว่าเป็นแบบพิมพ์ด้านเดียวหรือพิมพ์ทั้งสองด้าน
2) พัฒนาส่วนที่แสดงภาษาไทยให้ดีขึ้นให้แสดงผลเหมือนกับระบบการเขียนภาษาไทยของตัวอักษรปรกติ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการแสดงผลการแปลเซลล์อักษรเบรลล์เป็นตัวอักษรปรกติแบบตัวต่อตัวไม่มีการประสมคำทำให้ไม่สะดวกในการอ่าน

รายการอ้างอิง

1. ทองศิริ ฮิมหมั่นงาน, ธรรมนูญ คู่เจริญถาวร และพิกุล เอกอภินันท์. เครื่องแสดงอักษรเบรลล์รุ่นที่ 3. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล, 2000.

2. P.D. Karl, W.T. Dean and D. Ingeborg. A Universal Computer Braille Code For Literary And Scientific Texts. International Technology Conference, (1991).

3. R.T. Ritchings, A. Antonnacopoulos and D. Drakopoulus. Analysis of scanned Braille document. Document Analysis System. A.Dengle and A.L. Spitz(Eds.), World Scientific Publishing Co. (1995).

4. X.F. Hermida, A.C. Rodriguez, and F.M. Rodriguez. A Braille O.C.R for blind people. Proceeding of ICSPAT-96. (1996).

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.
ตารางการแสดงผลตัวอักษรภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และตัวอักษรคอมพิวเตอร์เบรลล์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแสดงผลเป็นตัวอักษรปรกติที่คนตาดีสามารถอ่านได้ จะแสดงผลเป็นแบบหนึ่งเซลล์อักษร เบรลล์แปลงไปเป็น 1 ตัวอักษรปรกติ ถ้าตำแหน่งจุดรอยนูนที่ปรากฏในเซลล์หนึ่งๆไม่พบอยู่ในภาษาที่ต้องการให้แสดงผล โปรแกรมจะแสดงตำแหน่งจุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์ในเครื่องหมายก้ามปู เช่น ในการแสดงผลตัวอักษรไทย ในเซลล์อักษรเบรลล์ที่พบจุดรอยนูนตำแหน่งที่ 4 และ 5 ไม่สามารถแปลงเป็นตัวอักษรไทยตัวใดๆ ได้ โปรแกรมจะแสดงผลเป็น [45]

การแสดงผลภาษาไทย		
จุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์	**รหัส**	**แสดงผล**
------	0	
1-----	1	สระอะ
-2----	2	เครื่องหมายไม้ยมก
12----	3	สระอิ
--3---	4	ไม้ไต่คู้
1--3---	5	ข
-23---	6	สระอี
123---	7	ล
---4--	8	[4]
1--4--	9	สระอุ
-2-4--	10	[24]
12-4--	11	สระเอ
--34--	12	ฉ
1--34--	13	ม
-234--	14	ส
1234--	15	ผ
----5-	16	[5]
1---5-	17	สระอัว
-2--5-	18	สระอู
12--5-	19	ห
--3-5-	20	วรรณยุกต์ไม้เอก
1--3-5-	21	อ
-23-5-	22	สระเอา

จุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์	รหัส	แสดงผล
123-5-	23	ร
---45-	24	[45]
1--45-	25	ด
-2-45-	26	จ
12-45-	27	ก
--345-	28	ไม้หันอากาศ
1--34--	29	น
-2345-	30	ถ
12345-	31	สระเอือ
-----6	32	[Capital]
1----6	33	สระอา
-2---6	34	สระอือ
12---6	35	สระแอ
--3--6	36	-
1--3--6	37	ค
-23--6	38	วรรณยุกต์ไม้จัตวา
123--6	39	บ
---4-6	40	[46]
1--4-6	41	สระเออ
-2-4-6	42	สระอึ
12-4-6	43	ฟ
--34-6	44	ช
1--34-6	45	ฝ
-234-6	46	ซ
1234-6	47	ป
----56	48	[56]
1---56	49	สระไอ
-2--56	50	วรรณยุกต์ไม้โท
12--56	51	ต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์	รหัส	แสดงผล
--3-56	52	เครื่องหมายตัวการันต์
1--3-56	53	สระอำ
-23-56	54	วรรณยุกต์ไม้ตรี
123-56	55	สระเอีย
---456	56	[456]
1--456	57	พ
-2-456	58	ว
12-456	59	ง
--3456	60	#
1--34-6	61	ย
-23456	62	ท
123456	63	ฮ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแสดงผลภาษาอังกฤษ		
จุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์	**รหัส**	**แสดงผล**
------	0	
1-----	1	a
-2----	2	,
12----	3	b
--3---	4	[3]
1--3---	5	k
-23---	6	;
123---	7	l
---4--	8	‘
1--4--	9	c
-2-4--	10	i
12-4--	11	f
--34--	12	st
1--34--	13	m
-234--	14	s
1234--	15	p
----5-	16	[5]
1---5-	17	e
-2--5-	18	:
12--5-	19	h
--3-5-	20	in
1--3-5-	21	o
-23-5-	22	ff
123-5-	23	r
---45-	24	[45]
1--45-	25	d

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์	รหัส	แสดงผล
-2-45-	26	j
12-45-	27	g
--345-	28	ar
1--34--	29	n
-2345-	30	t
12345-	31	q
-----6	32	[Capital]
1----6	33	ch
-2---6	34	en
12---6	35	gh
--3--6	36	-
1--3--6	37	u
-23--6	38	?
123--6	39	v
---4-6	40	[46]
1--4-6	41	sh
-2-4-6	42	ow
12-4-6	43	ed
--34-6	44	ing
1--34-6	45	x
-234-6	46	the
1234-6	47	and
----56	48	[56]
1---56	49	wh
-2--56	50	.
12--56	51	ou
--3-56	52	[356]
1--3-56	53	z
-23-56	54	gg

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์	รหัส	แสดงผล
123-56	55	of
---456	56	[456]
1--456	57	th
-2-456	58	w
12-456	59	er
--3456	60	#
1--34-6	61	y
-23456	62	with
123456	63	for

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Universal Computer Braille Code		
จุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์	**รหัส**	**แสดงผล**
------	0	
1-----	1	a
-2----	2	1
12----	3	b
--3---	4	`
1--3---	5	k
-23---	6	2
123---	7	l
---4--	8	‘
1--4--	9	c
-2-4--	10	i
12-4--	11	f
--34--	12	/
1--34--	13	m
-234--	14	s
1234--	15	p
----5-	16	“
1---5-	17	e
-2--5-	18	3
12--5-	19	h
--3-5-	20	9
1--3-5-	21	o
-23-5-	22	6
123-5-	23	r
---45-	24	^
1--45-	25	d
-2-45-	26	j

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์	รหัส	แสดงผล
12-45-	27	g
--345-	28	>
1--34--	29	n
-2345-	30	t
12345-	31	q
-----6	32	,
1----6	33	*
-2---6	34	5
12---6	35	<
--3--6	36	-
1--3--6	37	u
-23--6	38	8
123--6	39	v
---4-6	40	.
1--4-6	41	%
-2-4-6	42	[
12-4-6	43	$
--34-6	44	+
1--34-6	45	x
-234-6	46	!
1234-6	47	&
----56	48	;
1---56	49	:
-2--56	50	4
12--56	51	\
--3-56	52	0
1--3-56	53	z
-23-56	54	7
123-56	55	)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดรอยนูนในเซลล์อักษรเบรลล์	รหัส	แสดงผล
---456	56	_
1--456	57	?
-2-456	58	w
12-456	59	]
--3456	60	#
1--34-6	61	y
-23456	62	)
123456	63	=

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.
ฟังก์ชันการทำงานของ Brialle.dll

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรมที่ใช้ในการทดลองมาปรับปรุงแยกการทำงานแต่ละส่วนเป็นฟังก์ชัน รวบรวมทำเป็น Dynamic Link Library (DLL) เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น ซึ่งรายละเอียดการทำงานของแต่ละฟังก์ชันมีดังนี้

ชื่อฟังก์ชัน	initValue
นำเข้า	-
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นการตั้งค่าเริ่มต้นการทำงานใหม่ของตัว dll โดยให้ค่าทุกอย่างกลับเป็นค่า 0

ชื่อฟังก์ชัน	freeMemory
นำเข้า	-
ส่งออก	-
รายละเอียด	ลบข้อมูลที่ dll ได้จองหน่วยความจำจากคอมพิวเตอร์ไว้

ชื่อฟังก์ชัน	OpenImageFromFile
นำเข้า	Filename(String)
ส่งออก	-
รายละเอียด	ใช้เปิดข้อมูลรูปภาพจากแฟ้มข้อมูลในคอมพิวเตอร์ ภาพที่ใช้เป็นภาพ Bitmap 8 bit Grayscale

ชื่อฟังก์ชัน	getOpenFileName
นำเข้า	-
ส่งออก	String
รายละเอียด	ใช้แสดงชื่อแฟ้มข้อมูลรูปภาพที่ dll เปิดอยู่

ชื่อฟังก์ชัน	getOriginalTBitmap
นำเข้า	-
ส่งออก	TBitmap
รายละเอียด	ใช้แสดงรูปภาพเริ่มต้นที่ dll เปิดขึ้นมาเพื่อทำงานโดยฟังก์ชัน OpenImageFromFile

ชื่อฟังก์ชัน	getOperationTBitmap
นำเข้า	-
ส่งออก	TBitmap
รายละเอียด	ใช้แสดงรูปภาพในขณะที่ dll ทำงานตามขั้นตอน เรียกใช้เมื่อต้องการแสดงรูปภาพหลังจากทำงานในขั้นตอนต่างๆ

ชื่อฟังก์ชัน	getOperationTime
นำเข้า	-
ส่งออก	Long
รายละเอียด	ใช้แสดงค่าเวลาที่ใช้ในการทำงานในขั้นตอนหลังสุด มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชื่อฟังก์ชัน	doImportData
นำเข้า	-
ส่งออก	-
รายละเอียด	ใช้นำข้อมูลรูปภาพที่ถูกเปิดด้วยฟังก์ชัน OpenImageFromFile เข้าสู่หน่วยความจำที่ใช้ประมวลผล

ชื่อฟังก์ชัน	set_LocalTh_value
นำเข้า	BlockSize(Integer), Threshold(Integer)
ส่งออก	-
รายละเอียด	ใช้กำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับขั้นตอน Local Threshold - BlockSize เป็นขนาดของพื้นที่ย่อยๆ ในรูปที่ต้องการทำ Local Threshold มีหน่วยเป็นจุดภาพ - Threshold เป็นค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการทำ Local Threshold

ชื่อฟังก์ชัน	get_LocalTh_BlockSize
นำเข้า	-
ส่งออก	Integer
รายละเอียด	ใช้แสดงค่า BlockSize ที่เป็นขนาดของพื้นที่ย่อยๆ ในขั้นตอน Local Threshold

ชื่อฟังก์ชัน	get_LocalTh_Threshold
นำเข้า	-
ส่งออก	Integer
รายละเอียด	ใช้แสดงค่าขีดแบ่งที่ใช้ในขั้นตอน Local Threshold

ชื่อฟังก์ชัน	doLocalTh
นำเข้า	-
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันที่ให้ dll ทำ Local Threshold กับข้อมูลรูปภาพตามค่าที่กำหนดโดยฟังก์ชัน set_LocalTh_value ภาพที่ได้จากขั้นตอนนี้สามารถแสดงได้จากฟังก์ชัน getOperationTBitmap

ชื่อฟังก์ชัน	doCalculateSlope
นำเข้า	-
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันที่ให้ dll คำนวณหาค่าความเอียงของภาพเอกสารอักษรเบรลล์ ค่าความเอียงสามารถหาได้จากฟังก์ชัน getSlope

ชื่อฟังก์ชัน	getSlope
นำเข้า	-
ส่งออก	Integer
รายละเอียด	ใช้แสดงค่าความเอียงของภาพเอกสารอักษรอักษรเบรลล์ที่หาจากฟังก์ชัน doCalculateSlope

ชื่อฟังก์ชัน	useDefaultSingleSideDocument
นำเข้า	-
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นการตั้งค่าเริ่มต้นต่างๆ เป็นแบบทั่วไปของเอกสารแบบพิมพ์ด้านเดียว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อฟังก์ชัน	useDefaultDoubleSideDocument
นำเข้า	-
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นการตั้งค่าเริ่มต้นต่างๆ เป็นแบบทั่วไปของเอกสารแบบพิมพ์สองด้าน

ชื่อฟังก์ชัน	doCalculateSingleSideCellDistance
นำเข้า	-
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันที่ให้ dll ดำเนินการหาค่าระยะระหว่างเซลล์ที่ติดกัน สำหรับเอกสารที่พิมพ์แบบด้านเดียว

ชื่อฟังก์ชัน	doCalculateDoubleSideCellDistance
นำเข้า	-
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันที่ให้ dll ดำเนินการหาค่าระยะระหว่างเซลล์ที่ติดกัน สำหรับเอกสารที่พิมพ์แบบสองด้าน

ชื่อฟังก์ชัน	doFindSingleSideCellLocation
นำเข้า	-
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันที่ให้ dll ดำเนินการหาค่าตำแหน่งของเซลล์ในภาพเอกสาร ใช้สำหรับเอกสารที่พิมพ์แบบด้านเดียว

ชื่อฟังก์ชัน	doFindDoubleSideCellLocation
นำเข้า	-
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันที่ให้ dll ดำเนินการหาค่าตำแหน่งของเซลล์ในภาพเอกสาร ใช้สำหรับเอกสารที่พิมพ์แบบสองด้าน

ชื่อฟังก์ชัน	setTranslateType
นำเข้า	Type(String)
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นการตั้งค่าการแปลจากตัวอักษรเบรลล์เป็นตัวอักษรปรกติ โดยที่ค่าที่นำเข้ามีดังนี้ - ค่า “TH” สำหรับการแปลเป็นตัวอักษรไทย - ค่า “ENG” สำหรับการแปลเป็นตัวอักษรอังกฤษ - ค่า “BANA” สำหรับการแปลเป็นตัวอักษรคอมพิวเตอร์เบรลล์แบบ BANA

ชื่อฟังก์ชัน	doTranslate
นำเข้า	-
ส่งออก	String
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันที่ให้ dll แปลตัวอักษรเบรลล์เป็นตัวอักษรปรกติตามรูปแบบที่กำหนดจากฟังก์ชัน setTranslateType ค่าที่ได้จากฟังก์ชันนี้จะเป็น String ของตัวอักษรปรกติ

ชื่อฟังก์ชัน	set_PH
นำเข้า	PH(Integer)
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันใช้กำหนดค่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งจุดรอยนูนของคอลัมน์ซ้ายและขวาในเซลล์เดียวกัน

ชื่อฟังก์ชัน	get_PH
นำเข้า	-
ส่งออก	Integer
รายละเอียด	ใช้แสดงค่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งจุดรอยนูนของคอลัมน์ซ้ายและขวาในเซลล์เดียวกัน

ชื่อฟังก์ชัน	set_PV
นำเข้า	PV(Integer)
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันใช้กำหนดค่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งจุดรอยนูนในแถวติดที่กันของเซลล์เดียวกัน

ชื่อฟังก์ชัน	get_PV
นำเข้า	-
ส่งออก	Integer
รายละเอียด	ใช้แสดงค่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งจุดรอยนูนในแถวติดที่กันของเซลล์เดียวกัน

ชื่อฟังก์ชัน	set_RH
นำเข้า	RH(Integer)
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันใช้กำหนดค่าช่องว่างระหว่างเซลล์ที่ติดกันในบรรทัดเดียวกัน

ชื่อฟังก์ชัน	get_RH
นำเข้า	-
ส่งออก	Integer
รายละเอียด	ใช้แสดงค่าช่องว่างระหว่างเซลล์ที่ติดกันในบรรทัดเดียวกัน

ชื่อฟังก์ชัน	set_RV
นำเข้า	RV(Integer)
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันใช้กำหนดค่าช่องว่างระหว่างบรรทัดของเอกสารอักษรเบรลล์

ชื่อฟังก์ชัน	get_RV
นำเข้า	-
ส่งออก	Integer
รายละเอียด	ใช้แสดงค่าช่องว่างระหว่างบรรทัดของเอกสารอักษรเบรลล์

ชื่อฟังก์ชัน	set_DOTSIZE
นำเข้า	DotSize(Integer)
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันใช้กำหนดค่าขนาดจุดรอยนูนของอักษรเบรลล์

ชื่อฟังก์ชัน	get_DOTSIZE
นำเข้า	-
ส่งออก	Integer
รายละเอียด	ใช้แสดงค่าขนาดจุดรอยนูนของอักษรเบรลล์

ชื่อฟังก์ชัน	set_SWING_X
นำเข้า	Swing_X(Integer)
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันใช้กำหนดค่าการแกว่งในแกนนอนของขั้นตอนการหาตำแหน่งเซลล์อักษรเบรลล์

ชื่อฟังก์ชัน	get_SWING_X
นำเข้า	-
ส่งออก	Integer
รายละเอียด	ใช้แสดงค่าการแกว่งในแกนนอนของขั้นตอนการหาตำแหน่งเซลล์อักษรเบรลล์

ชื่อฟังก์ชัน	set_SWING_Y
นำเข้า	Swing_Y(Integer)
ส่งออก	-
รายละเอียด	เป็นฟังก์ชันใช้กำหนดค่าการแกว่งในแกนตั้งของขั้นตอนการหาตำแหน่งเซลล์อักษรเบรลล์

ชื่อฟังก์ชัน	get_SWING_Y
นำเข้า	-
ส่งออก	Integer
รายละเอียด	ใช้แสดงค่าการแกว่งในแกนตั้งของขั้นตอนการหาตำแหน่งเซลล์อักษรเบรลล์

ตัวอย่างการใช้งาน Braille.dll

การใช้งาน Braille.dll เพื่อใช้งานแปลข้อความในภาพเอกสารอักษรเบรลล์เป็นตัวอักษรปรกติมีลำดับขั้นตอนการเรียกใช้งานดังนี้

1. ตั้งค่าเริ่มต้นสำหรับการทำงานใหม่ด้วยฟังก์ชัน initValue
2. เปิดแฟ้มข้อมูลรูปภาพเอกสารอักษรเบรลล์ด้วยฟังก์ชัน OpenImageFromFile ตัวอย่างเช่น OpenImageFromFile(“c:\test1.bmp”)
3. นำข้อมูลรูปภาพเข้าในหน่วยความจำของ dll เพื่อใช้ทำงานในขั้นตอนต่างๆ ด้วยฟังก์ชัน doImportData
4. กำหนดค่าเริ่มต้นแบบทั่วไปสำหรับชนิดของภาพเอกสาร ถ้าเป็นเอกสารที่พิมพ์แบบด้านเดียวใช้ฟังก์ชัน useDefaultSingSideDocument และสำหรับเอกสารที่พิมพ์สองด้านใช้ฟังก์ชัน useDefaultDoubleSideDocument
5. สร้างภาพลักษณ์ฐานสองด้วยฟังก์ชัน doLocalTh
6. หาค่าความเอียงของเอกสารด้วยฟังก์ชัน doCalculateSlope
7. หาระยะห่างระหว่างเซลล์ตัวอักษรเบรลล์ สำหรับเอกสารแบบพิมพ์ด้านเดียวใช้ฟังก์ชัน doCalculateSingleSideCellDistance และสำหรับเอกสารแบบพิมพ์สองด้านใช้ฟังก์ชัน doCalculateDoubleSideCellDistance
8. หาตำแหน่งเซลล์ทั้งหมดในภาพเอกสารด้วยฟังก์ชัน doFindSingleSideCellLocation สำหรับเอกสารที่พิมพ์ด้านเดียว และใช้ฟังก์ชัน doFindDoubleSideCellLocation สำหรับเอกสารที่พิมพ์สองด้าน
9. กำหนดรูปแบบการแปลตัวอักษรเบรลล์เป็นตัวอักษรปรกติด้วยฟังก์ชัน setTranslateType ซึ่งสามารถทำได้ 3 รูปแบบคือ ตัวอักษรไทย, ตัวอักษรกฤษ และตัวอักษรคอมพิวเตอร์เบรลล์
10. แปลตัวอักษรเบรลล์เป็นตัวอักษรปรกติด้วยฟังก์ชัน doTranslate ผลที่ได้เป็นค่า String ของตัวอักษรปรกติซึ่งแปลตามรูปแบบที่กำหนดจากฟังก์ชัน setTranslateType

สำหรับการปรับแต่งค่าต่างๆ โดยละเอียดสามารถทำได้จากฟังก์ชันที่ใช้กำหนดค่าสำหรับขั้นตอนต่างๆ เช่น set_PH, set_PV, set_DOTSIZE, set_localTh_value เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศรัณย์ เกตุศรีเมฆ เกิดเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545

ที่อยู่ปัจจุบันที่สามารถติดต่อได้คือ บ้านเลขที่ 90 ซอยหลังโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าฯ แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400 หมายเลขโทรศัพท์ +66 22700765 อีเมล์ keng_sarun@hotmail.com

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย