แบบจำลองการทำนายอักษรเบรลล์จากการพิมพ์บนหน้าจอสัมผัสที่คำนึงถึงการเลื่อนของนิ้วมือ

นางสาวปริญญารัตน์ ตู้จินดา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

PREDICTION MODEL FOR BRAILLE INPUT ON TOUCHSCREEN WITH FINGER DRIFT CONSIDERATION

Miss Parinyarat Tuchinda

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองการทำนายอักษรเบรลล์จากการพิมพ์บนหน้าจอสัมผัสที่คำนึงถึงการเลื่อนของนิ้วมือ
โดย	นางสาวปริญญารัตน์ ตู้จินดา
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อติวงศ์ สุชาโต
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โปรดปราน บุณยพุกกณะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐา ปานงาม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อติวงศ์ สุชาโต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โปรดปราน บุณยพุกกณะ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาย ธนวเสถียร)

ปริญญารัตน์ ตู้จินดา: แบบจำลองการทำนายอักษรเบรลล์จากการพิมพ์บนหน้าจอสัมผัสที่คำนึงถึงการเลื่อนของนิ้วมือ (PREDICTION MODEL FOR BRAILLE INPUT ON TOUCHSCREEN WITH FINGER DRIFT CONSIDERATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.อติวงศ์ สุชาโต, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.ดร.โปรดปราน บุณยพุกกณะ, 70 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการป้อนอักษรเบรลล์ที่ทนต่อการเลื่อนของนิ้วมือขณะพิมพ์เมื่อเวลาเปลี่ยนไปซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งรหัสอักษรเบรลล์และก่อให้เกิดปัญหาต่อไปในขั้นตอนของการแปลงอักษรเบรลล์เป็นข้อความ ซึ่งแบบจำลองนี้จะทำการรับพิกัดการพิมพ์ของชุดรหัสอักษรเบรลล์ผ่านทางหน้าจอสัมผัส และทำการแปลเป็นข้อความ ในขั้นต้นจะทำการเก็บพิกัดอ้างอิงทั้งหกจุดตามจำนวนรหัสอักษรเบรลล์ ขั้นตอนต่อไปจะทำการแบ่งพิกัดที่ได้จากการพิมพ์อักษรเบรลล์ออกเป็นชุดตามช่วงเวลาที่ใกล้กัน จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างพิกัดที่ใกล้ที่สุดกับชุดพิกัดอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบหาตำแหน่งของรหัสอักษรเบรลล์ ซึ่งแบบจำลองนี้จะทำการทำนายชุดของพิกัดอ้างอิงรหัสอักษรเบรลล์ที่เปลี่ยนไปหลังจากการพิมพ์โดยผู้ใช้งานทุกครั้ง ซึ่งหนึ่งชุดของตำแหน่งรหัสอักษรเบรลล์ที่ได้รับจะถูกแทนด้วยหนึ่งตัวอักษร จากการทดลองวัดผลโดยผู้พิการทางสายตา 4 คน พบว่า เมื่อใช้แบบจำลองนี้ในการรับค่าพิกัดอักษรเบรลล์ให้ค่าความถูกต้องในการแปลอักษรเบรลล์เป็นข้อความมากขึ้นด้วยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นความถูกต้องเป็น 89.23%

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา.....2555..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

5470577021 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING
KEYWORDS : DRIFT MODEL / VISUAL IMPAIRMENT / BRAILLE / TOUCHSCREEN

PARINYARAT TUCHINDA : PREDICTION MODEL FOR BRAILLE INPUT ON TOUCHSCREEN WITH FINGER DRIFT CONSIDERATION. ADVISOR : ASSOC. PROF. ATIWONG SUCHATO, Ph.D., CO-ADVISOR :ASST.PROF.PROADPRAN PUNYABUKKANA, 70 pp.

As the technology advances, touchscreen device became the most popular at the present time. This work proposes the prediction model for braille input and translation of braille characters to text in Thai for visually impaired with touch screen device. The model is needed for people with visual disability to improve accuracy braille sequence of touchscreen device and this paper proposes method that compensate for finger drift and this method has the effect of following a user's touches over time. With FDC model, coordinates are input into a device with multi-touch, based on the six dots of the braille code of brailler, which each set of coordinates represents one character. Sets of coordinates are grouped based on their timings so that the coordinates in each group are hypothesized as belonging to the same character. This paper is designed such that it learns the user's typing behavior including individual typing rhythm and drifting patterns in order to translate the inputted braille keystrokes to the corresponding Thai characters. The experimental result from four blind participants showed 89.23% accuracy when using the proposed method.

Department : Computer Engineering Student's Signature .....
Field of Study : Computer Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year : 2012 Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อติวงศ์ สุชาโต และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โปรดปราน บุณยพุกกณะ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ท่านได้กรุณาสละเวลา และ ดูแลการวิจัย ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำวิจัย และช่วยชี้แนะการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านเป็นอย่างสูงที่ให้ข้อคิดและแนวทางในการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่าน รวมถึงเพื่อนๆ และพี่น้องทุกคนในห้องวิจัย Spoken Language Systems Research Group, Department of Computer Engineering ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และยังให้กำลังใจตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ นายมานะ ตู้จินดา และนางลัดดา ตู้จินดา บิดามารดาของผู้วิจัยซึ่งให้การสนับสนุน คอยเป็นห่วงเป็นใย และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา รวมถึงเพื่อนๆและเจ้าหน้าที่ที่วิทยาลัยราชสุดา ที่ช่วยเหลือในงานเก็บข้อมูลให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สละเวลารับฟังปัญหาต่างๆ พร้อมถกเถียงทำให้เกิดไอเดียซึ่งเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยลงได้ด้วยดีทุกประการ

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 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.5 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 อักษรเบรลล์ 4
2.1.1 อักษรเบรลล์ 4
2.1.2 โครงสร้างตำแหน่งจุดอักษรเบรลล์ 5
2.1.3 วิธีการเขียนอักษรเบรลล์ 6
2.1.4 วิธีการอ่านอักษรเบรลล์ 7
2.1.5 วิธีการพิมพ์อักษรเบรลล์ 9
2.2 สมการทำนาย 10
2.2.1 วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 10
2.2.2 การทำนายโดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง 10
2.2.3การทำนายแนวโน้มเชิงเส้นตรง 11
2.2.4การทำนายโดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังเส้นตรง 11
2.2.5เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพ 12

หน้า

2.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย....19
3.1 ภาพรวมทั้งหมดของงานวิจัย....19
3.2 แบบจำลองวิธีที่นำเสนอ (1)....22
3.3 พัฒนาแบบจำลองวิธีที่นำเสนอ (1) และออกแบบวิธีที่นำเสนอ (2)....23
3.4 การวัดประสิทธิภาพแบบจำลองการเคลื่อนที่....23
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง....25
4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง....25
4.1.1ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม....25
4.1.2ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบ....25
4.2 ผลการทดลอง....26
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย....42
5.1 บทสรุป....42
5.2 ข้อเสนอแนะ....44
รายการอ้างอิง....46
ภาคผนวก....49
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....70

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
2-1 ตัวอย่างสัญลักษณ์จุดย่อที่ใช้แทนคำในภาษาเบรลล์.....5
4-1 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของสมการการทำนายทั้ง 4 วิธี 30
4-2 ตัวอย่างประโยคที่ได้จากการแปลประโยคสั้น.....31
4-3 ตัวอย่างประโยคที่ได้จากการแปลบทความ.....33
4-4 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลประโยคสั้นโดยระบบอ้างอิง 34
4-5 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลประโยคสั้นโดยวิธีที่นำเสนอ 34
4-6 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลบทความโดยระบบอ้างอิง.....35
4-7 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลบทความโดยวิธีที่นำเสนอ.....36
4-8 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลข้อความ.....36
4-9 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลประโยคสั้นโดยวิธีที่นำเสนอ (2).....37
4-10 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลบทความโดยวิธีที่นำเสนอ (2) 37
4-11 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเปรียบเทียบจากผลการแปลทั้ง 3 วิธี.....38
4-12 ตัวอย่างคำผิดที่ตรวจพบในการทดลองพิมพ์สัมผัส 38
4-13 ตัวอย่างประโยคที่ได้จากการประโยคสั้น.....40
4-14 ตัวอย่างประโยคที่ได้จากการบทความ 41

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 อักษรเบรลล์และตำแหน่งทั้ง 6 จุด....5
2-2 อักษรเบรลล์ภาษาอังกฤษ....6
2-3 อักษรเบรลล์ภาษาไทย....6
2-4 เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์....7
2-5 รหัสอักษรเบรลล์ที่เหมือนกันของอักษร “ก” และ “G”....8
2-6 รหัสอักษรเบรลล์ที่ใช้แทนสระในภาษาไทย....8
2-7 รหัสอักษรเบรลล์ที่ใช้แทนวรรณยุกต์ในภาษาไทย....9
2-8 ลักษณะการพิมพ์เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์....9
3-1 ภาพรวมของระบบ....19
3-2 แสดงตำแหน่งการกดของรหัสอักษรเบรลล์ทั้ง 6 ตำแหน่ง....20
3-3 การแบ่งพิกัดออกเป็นกลุ่มๆตามช่วงของเวลา....20
3-4 วิธีการจับคู่พิกัดที่ใกล้กัน....21
3-5 อักษร “ก” จากแปลรหัสอักษรเบรลล์ 1-2-4-5....21
3-6 โปรแกรมรับค่าพิกัดและเวลา....22
3-7 ภาพรวมของวิธีที่นำเสนอ (2)....23
4-1 ลักษณะการวางนิ้วของผู้ทดลอง....26
4-2 แสดงตำแหน่งการพิมพ์ที่เกิดการเลื่อน....27
4-3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงการเลื่อนของนิ้วมือเทียบกับจำนวนผู้ทดลองทั้งหมด....27
4-4 กราฟการเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์จุด1ในรหัสอักษรเบรลล์กับเวลา....28
4-5 กราฟการเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์จุด 2 ในรหัสอักษรเบรลล์กับเวลา....28
4-6 กราฟการเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์จุด 3 ในรหัสอักษรเบรลล์กับเวลา....28
4-7 กราฟการเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์จุด 4 ในรหัสอักษรเบรลล์กับเวลา....29
4-8 กราฟการเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์จุด 5 ในรหัสอักษรเบรลล์กับเวลา....29
4-9 กราฟการเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์จุด 6 ในรหัสอักษรเบรลล์กับเวลา....29
4-10 กราฟการเปรียบเทียบพิกัด X-Y ของการพิมพ์จุด 1-6 ในรหัสอักษรเบรลล์....30

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันทางเลือกในการพิมพ์อักษรเบรลล์สำหรับผู้พิการทางสายตามีจำกัด และด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอุปกรณ์หน้าจอสัมผัสที่เป็นที่นิยมอย่างมาก ซึ่งมีการพัฒนาระบบสัมผัสที่สามารถรองรับการสัมผัสได้ทีละหลายจุดบนหน้าจอ ทำให้เกิดรูปแบบการสั่งงานที่คล่องตัวและควบคุมที่สะดวกมากขึ้น ผู้ใช้งานสามารถสั่งงานหรือควบคุมหน้าจอโดยการสัมผัสโดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ต่อพ่วง เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการสั่งงานบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ หรือแป้นพิมพ์อักษร เหมือนอุปกรณ์อื่น ๆ อุปกรณ์หน้าจอสัมผัส (Touchscreen Device) [1,2] หมายถึง อุปกรณ์ที่มีแผ่นหน้าจอแสดงผลแบนราบ และเป็นผิวเรียบมีลักษณะเป็นฟิล์มใส ซึ่งภายใต้แผ่นฟิล์มใสนั้นมีส่วนประกอบของระบบตรวจจับที่ตรวจการสัมผัส และมีส่วนของแผงควบคุมที่ทำหน้าที่รับสัญญานมาประมวลผล เทคโนโลยีอุปกรณ์หน้าจอสัมผัสถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในสังคมปัจจุบันซึ่งเป็นสังคมยุคข่าวสาร หรือยุคสารสนเทศที่มีการติดต่อสื่อสารกันผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เทคโนโลยีหน้าจอสัมผัสถูกนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์หลาย ๆ ประเภท เช่น มือถือ คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ และอุปกรณ์อื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งอุปกรณ์หน้าจอสัมผัสนี้ถูกพัฒนาควบคู่มากับเทคโนโลยีมัลติทัช (Multi-touch) [3] หรือระบบเทคโนโลยีที่มีผู้ใช้งานสามารถกดหรือสัมผัสลงบนหน้าจอสัมผัสได้มากกว่าหนึ่งจุด ทำให้ผู้ใช้งานสามารถสั่งงานอุปกรณ์หน้าจอสัมผัสได้มากกว่าหนึ่งนิ้ว ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นประโยชน์ในการดำเนินชีวิตทั้งด้านความสะดวกสบาย การใช้งาน การเชื่อมต่อข้อมูล การเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ เป็นไปได้โดยง่าย จากการสำรวจของ [4] พบว่า วิธีการป้อนข้อมูลบนอุปกรณ์มือถือมี 4 วิธีหลัก ๆ ด้วยกัน คือ วิธีการป้อนข้อมูลผ่านทางแป้นพิมพ์ (Keyboards and keypads), วิธีการป้อนข้อมูลโดยใช้ลักษณะท่าทางการสัมผัส (Gesture recognition), วิธีการรู้จำเสียง (Speech Recognition) และการรับรู้ภาพข้อความ (Text recognition) ซึ่งแต่ละวิธีล้วนแล้วแต่มีลักษณะวิธีการป้อนข้อมูลที่แตกต่างกันแต่เนื่องจากอุปกรณ์หน้าจอสัมผัสมีหน้าจอที่แบนราบทำให้ยากต่อการใช้งานสำหรับผู้ใช้งานที่เป็นผู้พิการทางสายตา ซึ่งไม่สามารถมองเห็นตำแหน่งต่าง ๆ ของแป้นพิมพ์สัมผัสได้ และจากความเจริญก้าวหน้านี้ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีที่มีส่วนช่วยเหลือผู้พิการประเภทต่าง ๆ เช่น การพัฒนาโปรแกรมการอ่านออกเสียงสำหรับผู้พิการทางสายตาซึ่งเป็นการพัฒนาโดย

การนำเทคโนโลยีด้านเสียงพูดเพื่อให้สามารถอ่านข้อมูลบนหน้าจอให้ผู้ใช้งานได้ฟังหรือรับรู้ตำแหน่งต่าง ๆ ของปุ่มกดหรือข้อมูลต่าง ๆ บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ซึ่งแต่เดิมโปรแกรมจะสามารถอ่านออกเสียงได้เฉพาะภาษาอังกฤษ และต่อมามีผู้พัฒนาเทคโนโลยีที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น โปรแกรมตาทิพย์เป็นโปรแกรมสังเคราะห์เสียงภาษาไทย [5] โดยเมื่อใช้โปรแกรมดังกล่าวร่วมกับโปรแกรมการอ่านออกเสียงสำหรับผู้พิการทางสายตา จะทำให้ข้อมูลภาษาไทยบนหน้าจอคอมพิวเตอร์แสดงผลออกเป็นเสียงพูดภาษาไทย เพื่อผู้พิการทางสายตาที่รู้ภาษาไทยสามารถใช้งานคอมพิวเตอร์ได้เหมือนคนปกติทั่วโลก ซึ่งโดยปกติทั่วไปผู้พิการทางสายตาจะทำการจดบันทึกหรือพิมพ์ข้อมูลต่าง ๆ เป็นตัวอักษร โดยใช้เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์จะมีลักษณะเป็นแป้นพิมพ์ที่มี 6 ปุ่มตามรหัสอักษรเบรลล์ ผู้ใช้งานสามารถพิมพ์เอกสารโดยการพิมพ์รหัสเบรลล์ลงบนแป้นพิมพ์ จากนั้นอักษรเบรลล์จะปรากฏจุดนูนลงบนกระดาษ และมีการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาที่มีแป้นพิมพ์เป็นอักษรเบรลล์ (Braille Note Taker) เป็นเครื่องมือไว้ใช้สำหรับให้ผู้พิการทางสายตาสามารถจดบันทึกข้อความโดยการพิมพ์อักษรเบรลล์ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวนี้สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือ และอุปกรณ์อื่น ๆ โดยการใช้สายเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์ ซึ่งจะเชื่อมต่อข้อมูลที่ได้บันทึกเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาลงไปยังคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ เช่น เครื่องพิมพ์เอกสาร ซึ่งทำให้ผู้พิการทางสายตาสามารถใช้งานคอมพิวเตอร์ได้เหมือนกับบุคคลปกติทั่วไปนั้นเป็นประโยชน์อย่างมาก

อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีสำหรับผู้พิการที่กล่าวมาข้างต้นนั้นยังมีข้อจำกัดสำหรับการใช้งานร่วมกับหน้าจอสัมผัส งานวิจัยนี้จึงทำการวิจัยเพื่อเพิ่มทางเลือกซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้พิการทางสายตาให้สามารถพิมพ์อักษรเบรลล์บนอุปกรณ์หน้าจอสัมผัสได้โดยใช้วิธีการพิมพ์เบรลล์และรูปแบบวิธีการพิมพ์อักษรเบรลล์ผ่านทางเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ ร่วมกับเทคโนโลยีหน้าจอสัมผัสที่ทันสมัยและมีความสะดวกสบายในการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีราคาถูกและเป็นที่ยอมรับในสังคมอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

นำเสนอวิธีการรับข้อความอักษรเบรลล์ผ่านทางหน้าจอสัมผัส ที่ทนต่อการเคลื่อนที่ของนิ้วมือขณะพิมพ์สัมผัส

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาโปรแกรมบนอุปกรณ์หน้าจอสัมผัสขนาดใหญ่ (แท็บเล็ต) และสามารถรับค่าพิกัดในการกดบนหน้าจอ 10 จุดพร้อมกัน บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

2. ทดลองประสิทธิภาพการแปลโดยผู้ทดลองที่มีความชำนาญการใช้เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์และวางข้อมือทั้ง 2 ยึดติดกับขอบของแท็บเล็ตขณะพิมพ์ โดยใช้ความเร็วระดับปานกลางในการพิมพ์ ประมาณ (1อักษร/วินาที) ไม่เร็วมากจนเกินไป วิธีในการพิมพ์เหมือนกับการพิมพ์บนเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์

3. ระบบนี้ใช้งานได้กับ อักษรเบรลล์ภาษาไทย ระดับ 1 (ไม่มีตัวย่อ)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการรับข้อความอักษรเบรลล์ผ่านทางหน้าจอสัมผัส ที่ทนต่อการเคลื่อนที่ของนิ้วมือขณะพิมพ์สัมผัส ทำให้ผู้พิการทางสายตาซึ่งไม่สามารถมองเห็นหน้าจอสามารถพิมพ์ได้อย่างอิสระ

1.5 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

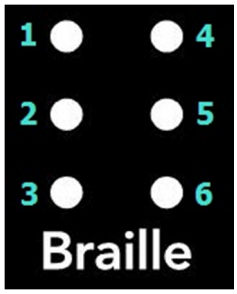
1. ศึกษาทฤษฎี หลักการพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาเทคนิคต่าง ๆ ที่มีอยู่ถึงแนวคิด หลักการ ข้อดี และข้อบกพร่องของแต่ละเทคนิค
3. ออกแบบการทดลองและศึกษาพฤติกรรมการพิมพ์ และค้นหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการป้อนอักษรเบรล์และการแปลอักษรเบรลล์เป็นข้อความ จากนั้นศึกษาและค้นคว้าหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการป้อนอักษรเบรลล์ผ่านหน้าจอสัมผัส
4. ทดสอบวิธีการที่นำเสนอ
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง
6. สรุปผลและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ คือ การเสนอแนวคิดและทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ซึ่งในส่วนแรกจะกล่าวถึงความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอักษรเบรลล์ โครงสร้างตำแหน่งจุดอักษรเบรลล์ อุปกรณ์การเขียนอักษรเบรลล์ การพิมพ์อักษรเบรลล์ วิธีการอ่านเขียนอักษรเบรลล์ และในส่วนที่สองจะกล่าวถึงเทคนิคและวิธีการทางสถิติที่นำมาใช้ในการทำนายและหาแนวโน้มของข้อมูล เพื่อนำมาออกแบบจำลองเพื่อชดเชยการเคลื่อนที่

2.1 **อักษรเบรลล์** (Braille)

2.1.1 อักษรเบรลล์ [6,7] คือ อักษรเบรลล์ที่ผู้พิการทางสายตาทั่วโลกใช้อ่านเขียนกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันนั้นคิดค้นและพัฒนาระบบขึ้นโดย หลุยส์ เบรลล์ ชาวฝรั่งเศส ซึ่งระบบการอ่านและการเขียนสำหรับผู้พิการทางสายตาจะมีลักษณะเป็นจุดนูน 6 จุด จัดเรียงกันเป็นแนวตั้งแบ่งเป็นแถวแรกแสดงรหัสอักษรเบรลล์ 1-2-3 และแถวที่สองถูกแสดงรหัสเบรลล์เบรลล์ 4-5-6 ซึ่ง 6 จุดนี้สามารถเปลี่ยนเป็นรูปต่าง ๆ ได้ทั้งหมด 64 รูปแบบและถูกนำไปใช้แทนอักษร สระ วรรณยุกต์ตัวเลขหรือสัญลักษณ์ในภาษาต่าง ๆ ทั่วโลก โดยคนตาบอดสามารถอ่านอักษรเบรลล์ได้ด้วยการใช้ปลายนิ้วสัมผัสไล่ตามตำแหน่งจุดที่แสดงถึงตัวอักษรนั้น ๆ ดังภาพที่ 2-1 ซึ่งอักษรเบรลล์ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ อักษรเบรลล์ระดับที่ 1 (ไม่มีตัวย่อของคำ) และ อักษรเบรลล์ระดับที่ 2 (มีตัวย่อของคำ) ตัวอย่างและข้อแตกต่างระหว่างอักษรเบรลล์ระดับ 1 และ ระดับ 2 ถูกแสดงดังตารางที่ 2-1



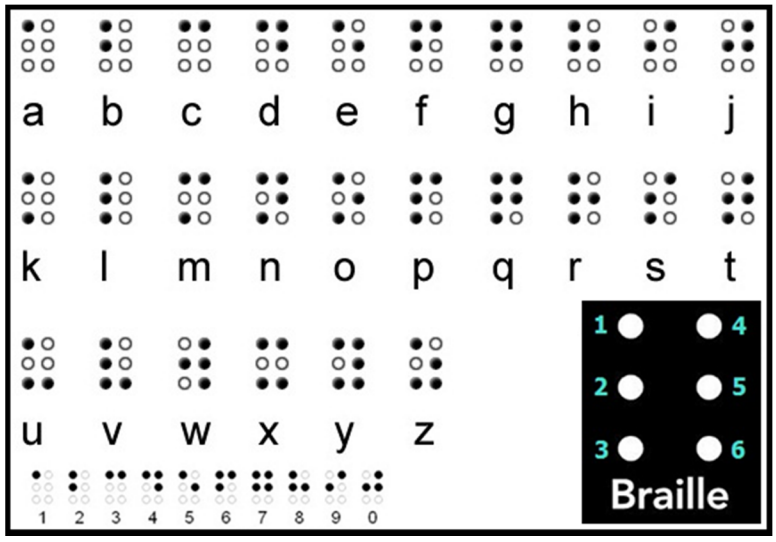
ภาพที่ 2-1 อักษรเบรลล์และตำแหน่งทั้ง 6 จุด

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างสัญลักษณ์จุดย่อที่ใช้แทนคำในภาษาเบรลล์ [ออรอรา ศรีบัวพันธ์, อัญชลิกา ตนานนท์, 2553]

สัญลักษณ์จุดย่อ	**คำ**
⠻	⠻⠗ กระ
⠷	⠻⠷⠠ การ
⠷⠉	⠻⠷⠠⠉⠻⠉ การณ์
⠒⠒	⠒⠻⠒⠻ ความ

2.1.2 โครงสร้างตำแหน่งจุดอักษรเบรลล์แบ่งเป็นเซลล์โดยหนึ่งเซลล์จะประกอบไปด้วยจุด 6 ตำแหน่ง สลับกันไปตามแต่ละตัวอักษรซึ่งแต่ละอักษรจะถูกแทนด้วยรูปแบบรหัสอักษรเบรลล์ของอักษรนั้นไม่ซ้ำกัน ดังภาพที่ 2-2 แสดงรหัสอักษรเบรลล์ภาษาอังกฤษที่แต่ละตัวอักษรจะถูกแทนด้วยหนึ่งเซลล์ เนื่องจากจำนวนอักษรในภาษาอังกฤษมีน้อยจึงสามารถถูกแทนด้วยรหัสอักษรเบรลล์ได้เพียงเซลล์ แต่ในกรณีของรหัสอักษรเบรลล์ภาษาไทยซึ่งมีจำนวนอักษรเป็นจำนวนมากกว่าอักษรในภาษาอังกฤษซึ่งทำให้การเปลี่ยนรูปแบบของรหัสอักษรเบรลล์ภายในหนึ่งเซลล์

ไม่เพียงพอ ดังภาพที่ 2-4 อักษรบางตัวในภาษาไทยจะประกอบไปด้วย 2 เซลล์ 12 ตำแหน่ง ซึ่งวิธีการอ่านเขียนยังคงเป็นแบบเดิม คือ อ่านทีละ 1 เซลล์หรือ 6 จุด เพียงแต่การอ่านอักษณที่ประกอบไปด้วย 2 เซลล์ จะทำการอ่านทีละเซลล์ต่อกันจนครบ 2 เซลล์เพื่อผสมเป็นตัวอักษรซึ่งในส่วนนี้ผู้ใช้งานต้องมีความชำนาญในการใช้อักษรเบรลล์หรือจดจำตำแหน่งของรหัสอักษรเบรลล์ได้ดีพอสมควร



ภาพที่ 2-2 อักษรเบรลล์ภาษาอังกฤษ [อาทิตยา บุญมาก, วันเพ็ญ สุทธิคำ, 2548]

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
⠽	⠺	⠆	⠧	⠡	⠰	⠎	⠓	⠣	⠢	⠯

ภาพที่ 2-3 อักษรเบรลล์ภาษาไทย [อาทิตยา บุญมาก, วันเพ็ญ สุทธิคำ, 2548]

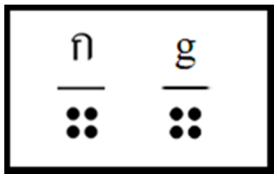
2.1.3 วิธีการเขียนอักษรเบรลล์ ผู้พิการทางสายตาจะใช้อุปกรณ์การเขียนที่เรียกว่า สเลท (Slate) และ สไตลัส (Stylus) ที่มีลักษณะเป็นเหล็กปลายแหลมกดลงบนกระดาษที่มีความหนาให้

เป็นจุดนูนตามตำแหน่งของรหัสเบรลล์ในแต่ละอักษร โดยเขียนจากขวาไปซ้าย ซึ่งรอยนูนของจุดจะปรากฏอยู่ทางด้านหลังของกระดาษ ซึ่งรหัสอักษรเบรลล์ในหนึ่งเซลล์จะแบ่งออกเป็นสองแถวตามแนวตั้ง แต่ละแถวมีสามจุดเรียงจากบนลงล่างดังนี้ แถวแรกนับจากทางซ้ายมือ คือ รหัสอักษรเบรลล์ 1, 2, 3 ส่วนแถวที่สองจะแทนรหัสอักษรเบรลล์ 4, 5, 6 ซึ่งตัวอักษรแต่ละตัวก็จะมีรหัสอักษรเบรลล์ หรือตำแหน่งของจุดแตกต่างกันไป เช่น รหัสอักษรเบรลล์ 1-3-5-6 แทนด้วยอักษร “Z” ในภาษาอังกฤษ และ รหัสอักษรเบรลล์ 1-3-6 แทนด้วย อักษร “ค” ในภาษาไทย เป็นต้น ส่วนการพิมพ์อักษรเบรลล์ ผู้พิการทางสายตาจะพิมพ์อักษรเบรลล์ผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ ลักษณะคล้ายกับเครื่องพิมพ์ดีดของคนปกติ แตกต่างกันตรงแป้นพิมพ์ ตามภาพที่ 2-3 แป้นพิมพ์บนเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์จะประกอบไปด้วยปุ่มกด 6 ปุ่มใช้แทนรหัสอักษรเบรลล์ทั้ง 6 ตำแหน่ง ปุ่มสำหรับใช้ในการเว้นวรรค ปุ่มสำหรับย้อนกลับ และปุ่มสำหรับขึ้นบรรทัดใหม่ ดังภาพที่ 2-4

ภาพที่ 2-4 เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์

2.1.4 วิธีการอ่านอักษรเบรลล์ เหมือนกับการอ่านหนังสือทั่วไป คือ อ่านจากซ้ายมือไปขวา ซึ่งจะสลับการการพิมพ์อักษรเบรลล์ตามที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งพิมพ์จากขวาไปซ้าย วิธีการอ่านผู้พิการทางสายตาจะใช้นิ้วชี้เป็นตัวนำในการไล่รหัสอักษรเบรลล์ทั้ง 6 ตำแหน่งทีละตัวอักษรไปตามบรรทัดเรื่อยๆ เหมือนกับการอ่านหนังสือปกติ แต่ข้อควรระวังจะอยู่ที่การอ่านอักษรเบรลล์นั้น

จะต้องใช้ความชำนาญในการอ่านพอสมควร เนื่องจากอักษรเบรลล์ในแต่ละภาษาจะมีรหัสอักษรเบรลล์ที่ซ้ำกัน เช่น อักษร “ก” ในภาษาไทย ซึ่งตรงกับอักษร “G” ในภาษาอังกฤษ ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 รหัสอักษรเบรลล์ที่เหมือนกันของอักษร “ก” และ “G”

ซึ่งโดยทั่วไปผู้พิการทางสายตามักจะใช้ความชำนาญในการอ่านโดยการสังเกตจากอักษรตัวถัดหรือสังเกตจากการอ่านและการตีความจากประโยคก่อนหน้า เช่น เมื่ออ่านข้อความเป็นภาษาไทยมาเรื่อยๆแล้วเกิดการผิดพลาดของการเรียงประโยค หรือเกิดการประสมคำเป็นผิดและไม่มีความหมาย ผู้พิการทางสายตาจะสามารถรู้ได้ทันทีว่า ประโยคหรือคำที่อ่านอยู่นั้นผู้เขียนไม่ได้ตั้งใจพิมพ์ข้อความภาษาไทยแล้ว จึงทำให้ผู้พิการทางสายตาอาจลองแปลรหัสอักษรเบรลล์นั้นเป็นภาษาอังกฤษ หรือภาษาอื่นแทน ส่วนการเขียนหรือการอ่านอักษรเบรลล์ในภาษาไทยนั้นเหมือนกับการเขียนอ่านอักษรเบรลล์ตามหลักวิชาภาษาไทยปกติ ทั้งในเรื่องของสระและวรรณยุกต์ ซึ่งสระในภาษาไทยถูกดังภาพที่ 2-6 และ วรรณยุกต์ในภาษาไทยถูกแสดงดังภาพที่ 2-7 โดยสระทั่วไปที่วางอยู่หน้าพยัญชนะ หลังพยัญชนะ และบนพยัญชนะ เช่น สระเอ สระแอ สระโอ สระอา สระอิ เป็นต้น ให้เขียนเรียงลำดับก่อนหลังตามหลักวิชาภาษาไทยปกติ เว้นแต่สระประสม เช่น สระเอีย สระเอือ สระโอะ เป็นต้น จะเขียนเรียงลำดับโดยต่อท้ายพยัญชนะเท่านั้น

-ะ	-า	อิ	อี	อุ	อู	อึ	อื
เ-ะ	เ-	แ-ะ	แ-	โ-ะ	โ-	เ--ะ	-อ
เ-อะ	เ-อ	เอียะ	เอีย	เอือะ	เอือ	อัวะ	อัว
อำ	ไ-	ใ-	เ-า	ฤ	ฤา	ฦ	ฦา

ภาพที่ 2-6 รหัสอักษรเบรลล์ที่ใช้แทนสระในภาษาไทย [อาทิตยา บุญมาก,วันเพ็ญ สุทธิคำ,2548]

เอก	โท	ตรี	จัตวา
⠠	⠰	⠸	⠄

ภาพที่ 2-7 รหัสอักษรเบรลล์ที่ใช้แทนวรรณยุกต์ในภาษาไทย [อาทิตยา บุญมาก, วันเพ็ญ สุทธิคำ, 2548]

2.1.5 การพิมพ์อักษรเบรลล์ ผู้พิการทางสายตาจะพิมพ์อักษรเบรลล์ผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ (Brailler) [8,9] โดยตำแหน่งการวางนิ้วจะแบ่งเป็นมือซ้าย ใช้นิ้ว ชี้ กลาง นาง ซึ่งแทนรหัสอักษรเบรลล์ 1, 2, 3 ตามลำดับ และมือขวา ใช้นิ้ว ชี้ กลาง นาง แทนรหัสอักษรเบรลล์ 4, 5, 6 ตามลำดับ ตามภาพที่ 2-8 ผู้ใช้งานสามารถพิมพ์ได้หลายภาษาตามรหัสอักษรเบรลล์ที่สามารถแปลงกลับไปมาได้ทุกภาษา ทั้งในภาษาอังกฤษ ภาษาไทย ภาษาฝรั่งเศส และภาษาอื่นๆทั่วโลก รวมถึงสัญลักษณ์และตัวเลขต่างๆ โดยใช้จุด 6 จุดที่กล่าวมานั้น เช่น การพิมพ์อักษร ก ซึ่งประกอบไปด้วยจุด 1-2-4-5 ให้วางนิ้วชี้ซ้ายที่ตำแหน่งที่ 1 นิ้วกลางซ้ายที่ตำแหน่งที่ 2 นิ้วชี้ขวาที่ตำแหน่งที่ 4 และนิ้วกลางขวาที่ตำแหน่งที่ 5 แล้วกดแป้นพิมพ์ลงพร้อมกัน อักษร ก ก็จะปรากฏบนกระดาษเป็นจุดนูนเล็ก ๆ 4 จุด [10]

ภาพที่ 2-8 ลักษณะการพิมพ์เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์

2.2 สมการทำนาย (Prediction Equation) [11,12]

คือ วิธีทางสถติที่ใช้ทำนายหรือเพื่อหาแนวโน้วของเหตุการณ์ที่กำลังจะเกิดขึ้นตามเวลา หรือ ช่วงเวลา ถัดไป โดยเหตุการณ์จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเส้นตรงหรือระบบเชิงเส้น (Linear) เป็นการทำนายเพื่อหาแนวโน้วสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

2.2.1 วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) คือ การคำนวณค่าเฉลี่ย และใช้ค่าเฉลี่ยที่หาได้นั้นในการทำนายค่าในช่วงต่อไป โดยคำนวณ หาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ได้จากสูตร

$$\text{Movingaverage} = \frac{\sum \text{most recent n data values}}{n} \quad (2\text{-}1)$$

2.2.2 การทำนายโดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง (Exponential Smoothing) คือ การทำนายซึ่งใช้ค่าทีjถูกปรับให้เรียบแล้ว และจะทำนายค่าตัวถัดไปโดยตัวแบบได้จากสูตร

$$Yt = \propto Xt + (1-\propto)Yt - 1 \quad (2\text{-}2)$$

โดยที่ Yt คือ ค่าพิกัดที่ได้จากการทำนายในช่วงเวลา t

Yt-1 คือ ค่าพิกัดที่ได้จากการทำนายในช่วงเวลาก่อนหน้า t

Xt คือ ค่าพิกัดจริง

$\propto$ คือ ค่าคงที่เลขชี้กำลัง ($0 < \propto < 1$)

ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดค่าคงที่เลขชี้กำลังเป็น 0.2

2.2.3 การทำนายแนวโน้ม (Trend Projection) เป็นการทำนายแนวโน้มเชิงเส้นตรงระยะยาว (Long – term Linear Trend) โดยใช้สมการการถดถอย หรือแบบจำลองเชิงเส้น (Linear Model) [13,14] คือ มีรูปแบบสมการทั่วไปเป็น y = a+bx ในทางสถิติจะมีลักษณะเป็นว่าแบบจำลองเชิงบวกสะสม หากพิจารณาแบบจำลองเชิงเส้นในรูปแบบของของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตามจะได้เป็นสมการทำนายเรียกว่า สมการถดถอย (Regression Equation) โดยทั่วไปรูปแบบของสมการถดถอยจะมีลักษณะเป็น $y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_m X_m + \varepsilon$ เมื่อ y เป็นค่าสังเกตหรือตัวแปรตาม $\beta_0, \beta_1, \beta_2, ..., \beta_m$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ ความถดถอย (Regression Coefficients) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า $X_1, X_2, ...X_m$ เป็นตัวแปรอิสระ (Independent variables) ที่มีลักษณะเป็นตัวแปรต่อเนื่อง (Continuous Variable) และ ε เป็นความคลาดเคลื่อน ซึ่งสมการการทำนายแนวโน้มเชิงเส้นตรงระยะยาวถูกแสดงดังตามสมการด้านล่างนี้

$$y = a + bx \tag{2-3}$$

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} \tag{2-4}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \tag{2-5}$$

โดยที่ $\bar{x}$ และ $\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของพิกัด x และ พิกัด y

b คือ ความชันของเส้นแนวโน้ม

a คือ จุดตัดของเส้นแนวโน้ม

2.2.4 การทำนายโดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังเส้นตรง (Trend-adjust Exponential Smoothing Method) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวิธีการทำนายโดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง แตกต่างกันตรงที่วิธีการทำนายโดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังเส้นตรงจะมีการปรับข้อมูลให้เรียบทั้งค่าเฉลี่ยและแนวโน้ม ซึ่งสมการมีดังนี้

$$Ft = St + Bt \tag{2-6}$$

$$St = \alpha Yt + (1-\alpha)(St-1 + Bt-1) \quad (2\text{-}7)$$

$$Bt = \gamma(St - St\text{-}1) + (1-\gamma)Bt\text{-}1 \quad (2\text{-}8)$$

โดยที่ St คือ ค่าเฉลี่ยที่ถูกปรับให้เรียบด้วยเลขชี้กำลัง

Bt คือ ค่าแนวโน้มที่ถูกปรับให้เรียบด้วยเลขชี้กำลัง

α คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบของค่าเฉลี่ย 0< α <1

γ คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบของค่าแนวโน้ม 0< γ <1

Ft คือ ค่าพิกัดที่ถูกทำนาย

2.2.5 เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพในการทำนายพิกัดของสมการการทำนาย และเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองในการวัดความถูกต้องของประโยคในแปลอักษรเบรลล์เป็นอักษรปกติ

2.2.5.1 เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพในการทำนายพิกัดของสมการการทำนายจะใช้ค่า *MSE* หรือ (The Mean-Squared-Error) คือ การหาค่าผิดพลาดยกกำลังสองในการวัดผล โดยสมการของการหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเขียนได้ดังนี้

$$MSE = \frac{\sum (f_w(x,y) - f(x,y))^2}{n} \quad (2\text{-}9)$$

เมื่อค่า $f_w(x,y)$ เป็นค่าพิกัดที่ได้จากการทำนาย

$f(x,y)$ เป็นค่าพิกัดจริง

n เป็นจำนวนพิกัดทั้งหมด

โดยความแม่นยำในการทำนายผลของสมการการทำนายถูกวัดโดยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองซึ่งถ้าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยแสดงว่า ประสิทธิภาพในการทำนายมีความถูกต้องหรือใกล้เคียงความเป็นจริงสูง และถ้าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองมากแสดงว่า ผลการทำนายมีความแม่นยำน้อยหรือมีความผิดพลาดสูง

2.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะแบ่งออกได้เป็น 3 หมวดหลัก ๆ คือ 1.งานวิจัยและโปรแกรมประยุกต์ที่เกี่ยวข้องกับการป้อนอักษรเบรลล์บนหน้าจอสัมผัส 2.งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแปลอักษรเบรลล์เป็นข้อความ 3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์สัมผัสบนหน้าจอสัมผัส

2.3.1. งานวิจัยและโปรแกรมประยุกต์ที่เกี่ยวข้องกับการป้อนอักษรเบรลล์บนหน้าจอสัมผัส

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องรูปแบบและวิธีการป้อนอักษรเบรลล์บนหน้าจอสัมผัสซึ่งมีหลายงายวิจัยที่นำเสนอเทคนิคและวิธีการป้อนอักษรเบรลล์บนหน้าจอสัมผัสทั้งบนมือถือซึ่งเป็นอุปกรณ์สัมผัสหน้าจอขนาดเล็กและแท็บเล็ตซึ่งเป็นอุปกรณ์หน้าจอสัมผัสขนาดใหญ่ ผลงานวิจัยของ João Oliveira, Tiago Guerreiro, Hugo Nicolau, Joaquim Jorge และ Daniel Gonçalves [13] ได้นำเสนอ BrailleType วิธีการป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอมือแบบสัมผัสโดยอิงหลักจากอักษรเบรลล์ โดยโปรแกรมจะแบ่งหน้าจอเป็น6ช่อง ตามลักษณะอักษรเบรลล์ โดยผู้ใช้สามารถเลื่อนสัมผัสปุ่มบนหน้าจอได้ตามอักษรของอักษรเบรลล์นั้นซึ่งจากการทดสอบเปรียบเทียบกับวิธีป้อนข้อมูลแบบ VoiceOver [15] ได้รับผลการตอบรับจากผู้ทดสอบว่าเป็นวิธีที่ใช้งานง่ายและเป็นที่น่าพึงพอใจสำหรับผู้ใช้งานเนื่องจากเป็นวิธีการป้อนอักษรเบรลล์ตามแบบที่ผู้ใช้งานซึ่งเป็นผู้พิการทางสายตามีความถนัดและมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการป้อนข้อมูลที่น้อยกว่า แต่จากการออกแบบปุ่มที่ใช้แทนรหัสอักษรเบรลล์บนหน้าจอสัมผัสที่มีขนาดเล็กทำให้ปุ่มมีความชิดติดกันซึ่งยากต่อการเลือกสัมผัสปุ่มที่ต้องการทำให้วิธีการนี้ป้อนข้อมูลได้ช้ากว่าวิธีป้อนข้อมูลแบบ Voice Over และงานวิจัยต่อมา Brian Frey, Caleb Southern, and Mario Romero [16,17] ได้นำเสนอโปรแกรมได้ที่ชื่อว่า Braille Touch โปรแกรมรับค่าอินพุตเป็นอักษรเบรลล์บน

มือถือหน้าจอสัมผัสโดยการ แบ่งเป็น 6 ช่องตามแบบอักษรของอักษรเบรลล์ ซึ่งในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการป้อนค่าอินพุตในลักษณะการจำกัดการวางของนิ้วมือทั้ง 6 ของผู้ใช้งาน ตามลักษณะวิธีการใช้งานบนเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ ซึ่งวิธีนี้ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาในเรื่องของการแก้ไขข้อผิดพลาดในการป้อนข้อมูลตัวอักษรได้ ต่อมาจากกลุ่มนักวิจัยเดิมได้ทำการประเมินผลของ Braille Touch โดยเปรียบเทียบ 3 กรณี คือ BrailleTouch บนมือถือหน้าจอสัมผัส , BrailleTouch บน Tablet และ เครื่องพิมพ์เบรลล์ (PACmate) โดยผลที่ได้สรุปว่า การใช้เครื่องพิมพ์เบรลล์มีความเร็วในการป้อนค่าอินพุตเร็วที่สุด ซึ่งอีก 2 วิธีที่เหลือมีความเร็วที่ใกล้เคียงกัน ส่วนในเรื่องของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเครื่องพิมพ์เบรลล์ยังคงมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่น้อยที่สุด ซึ่งอีก 2 วิธีที่เหลือมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ใกล้เคียงกัน โดยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับ 2 วิธีหลังมาจากปัญหาการเคลื่อนของนิ้วมือเมื่อผู้ใช้พิมพ์ข้อความเป็นระยะเวลานาน ผลงานวิจัยต่อมาได้นำวิธีการป้อนอักษรเบรลล์ผ่านทางหน้าจอสัมผัสแบบวิธีการพิมพ์เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์เหมือนกับ Braille Touch ผลงานวิจัยของ Shiri Azenkot, Jacob O. Wobbrock, Sanjana Prasaincและ Richard E. Ladner [18] ได้นำเสนอโปรแกรม Input Finger Detection (IFD) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในตรวจจับการเคลื่อนของนิ้วเมื่อผู้ใช้กดปุ่มสัมผัสลงบนหน้าจอทัชสกรีน โดยนำเสนอวิธีป้อนค่าอินพุตที่มีลักาณะเดียวกับเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ คือใช้นิ้วมือ ข้างละ3นิ้วในการกำหนดจุดอักษรเบรลล์ซึ่งมี 6 จุด ตามรูปแบบอักษรอักษรเบรลล์นั้น ๆ โดย 1 ครั้งของการกดจะแทนเป็นบิต 1 บิต จากนั้นจะใช้เทคนิคกำหนดจุดอ้างอิงขึ้นมาตามนิ้วที่กดในแต่ละครั้ง และจุดอ้างอิงนี้จะเลื่อนตามการเคลื่อนที่ของนิ้วมือนั้น ๆ เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดในเรื่องการสลับตำแหน่งของการแปลงจุดในอักษรเบรลล์เป็นข้อความปกติ และจากการประเมินพบว่า ได้ความเร็วในการป้อนค่าข้อมูลสูงกว่าวิธี VoiceOver และมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังไม่มีการศึกษาว่าปัจจัยใดมีผลกระทบต่อการป้อนอักษรเบรลล์บนทั้งวิธีการทั้ง 2 วิธีที่นำเสนอนั้น และล่าสุดในส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวกับการป้อนอักษรเบรลล์บนหน้าจอสัมผัส Nikhil Siva Subash, Siddhartha Nambiar และ Vishesh Kumar ได้นำเสนอ Braille Key [19] ซึ่งทำการออกแบบหน้าจอสัมผัสบนมือถือเป็น 4 ช่อง มีปุ่มสำหรับกดรหัสอักษรเบรลล์ 2 ปุ่ม ซึ่งแทนรหัสอักษรเบรลล์ทั้ง 2 แถวในแนวตั้ง ปุ่มแรกจะแทนรหัสอักษรเบรลล์ 1-2-3 และปุ่มที่ 2 จะแทนรหัสอักษรเบรลล์ 4-5-6 ผู้ใช้งานสามารถเลือกรหัสอักษรเบรลล์ตำแหน่งที่ 1

โดยการกดปุ่มแรกครั้งเดียว สำหรับการเลือกรหัสอักษรเบรลล์ตำแหน่งที่ 2 ทำได้โดยการกดปุ่มแรก 2 ครั้งติดกัน และ สำหรับการเลือกรหัสอักษรเบรลล์ตำแหน่งที่ 3 โดยการกดปุ่มแรกค้างไว้ ซึ่งการกดเลือกรหัสอักษรเบรลล์ 4-5-6 ก็ใช้วิธีการในลักษณะเดียวกัน และจากการทดสอบเปรียบเทียบกับวิธี VoiceOver พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ต่ำกว่า แต่ได้ความเร็วในการป้อนค่าข้อมูลที่ต่ำกว่าวิธี VoiceOver เนื่องจากมีการหน่วงเวลาในการกดรหัสอักษรเบรลล์ในตำแหน่งที่ 3 และ 6

2.3.2. **งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแปลอักษรเบรลล์เป็นข้อความ**

จากลักษณะอักษรเบรลล์ในภาษาไทยที่มีความแตกต่างจากอักษรเบรลล์ภาษาอังกฤษในเรื่องของจำนวนเซลล์หรือจำนวนตำแหน่งอักษรเบรลล์ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปัญหาในการสับสนของตำแหน่งและการแปลอักษรเบรลล์ภาษาไทยนั้นเป็นข้อความ อีกทั้งข้อแตกต่างในเรื่องของสระผสม ที่มีรหัสอักษรเบรลล์ที่ใช้แทนสระผสมนั้น ๆ และซึ่งมีการวางตำแหน่งอักษรเบรลล์ของสระผสมไว้ด้านหลังอักษรตัวนำทำให้เกิดความกำกวมในเรื่องไวยกรณ์และเกิดปัญหาในการแยกแยะระหว่างสระผสมหรือสระเดี่ยวที่ใช้ประกอบเป็นสระผสมนั้น ๆ Walainuch Tummanitayakul และ Rachada Kongkachandra [20,21] ได้นำเสนอหลักการแปลเอกสารจาก อักษรเบรลล์ชนิดสองภาษา (ไทยและอังกฤษ) เป็นอักษรปกติ และเนื่องจากรหัสอักษรเบรลล์หนึ่ง ๆ สามารถแปลเป็นได้ทั้งภาษาไทยและอังกฤษซึ่งบทความนำเสนอกฎสำหรับการวิเคราะห์อักษรเบรลล์และพจนานุกรมอักษรเบรลล์เพื่อนำมาใช้สำหรับคัดกรองตัวอักษรที่ไม่ถูกต้องออก จากนั้นจึงนำตัวอักษรที่ผ่านการคัดกรองมารวมเป็นคำและประโยค จากนั้นใช้เอ็นแกรมในการคำนวณคะแนนของแต่ละประโยคร่วมกับข้อมูลจากคลังข้อมูลขนาดใหญ่โดยที่ประโยคที่มีคะแนนของความเป็นไปได้สูงสุดจะถูกเลือกเป็นคำตอบ ซึ่งผลทดสอบออกมาว่าให้ผลความถูกต้องในการแปลเอกสารมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน นายทศวัฒน์ ชุณหวิทยะธีระ และ ผศ.ดร.พิชญา ตัณฑัยย์ [22] ได้นำเสนอวิธีการแปลงข้อความรหัสอักษรเบรลล์ภาษาไทยเป็นข้อความภาษาไทย โดยใช้เอ็นแกรมช่วยในการตัดสินใจว่าคำใดเป็นคำควบกล้ำ สระผสม และอักษรเบรลล์สองเซลล์ ซึ่งเทคนิคเอ็นแกรมจะเข้ามาช่วยในการตัดคำก่อนที่จะทำการแปลงให้เป็น

ข้อความเพื่อลดความกำกวมของภาษาทำให้แปลงอักษรเบรลล์ภาษาไทยมีความถูกต้องยิ่งขึ้น และในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ จำนวนแกรมที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการตัดคำอักษรเบรลล์ภาษาไทย คือ 4 แกรม และถึงแม้งานวิจัยในเรื่องของการแปลอักษรเบรลล์ภาษาไทยเป็นข้อความมีหลายแบบและหลายวิธีซึ่งล้วนแล้วแต่ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาความกำกวมทางภาษาได้สูง แต่ยังไม่มีการนำมาปรับหรือลองประยุกต์ใช้กับวิธีการป้อนอักษรเบรลล์ผ่านทางหน้าจอสัมผัสซึ่งเป็นการรับค่าและแปลอักษรเบรลล์แบบตัวต่อตัว ณ.เวลาพิมพ์ขณะนั้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการตัดคำณ.เวลาขณะนั้นเนื่องจากมีการรับข้อมูลเข้ามาเรื่อย ๆ ผ่านทางหน้าจอสัมผัส

2.3.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์สัมผัสบนหน้าจอสัมผัส

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้น โดยภาพรวมแล้วประเด็นที่มีการศึกษากันมาก คือเรื่องเทคนิคและวิธีการป้อนข้อความบนหน้าจอสัมผัสขนาดเล็กหรือมือถือ แต่ที่มีการศึกษากันน้อยคือเทคนิคและวิธีการป้อนข้อความบนหน้าจอสัมผัสขนาดใหญ่ อีกทั้งประเด็นเรื่องการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของนิ้วมือขณะผู้ใช้งานพิมพ์สัมผัสบนหน้าจอขนาดใหญ่ยังไม่มีงานวิจัยไหนศึกษาพฤติกรรมการพิมพ์สัมผัสของผู้พิการทางสายตาและบอกได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปเกิดลักษณะการเคลื่อนที่อย่างไรและการเคลื่อนที่นั้นส่งผลหรือไม่และส่งผลอย่างไรกับการป้อนความอักษรเบรลล์ ซึ่งในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเคลื่อนที่ของนิ้วขณะพิมพ์ Ahsanullah, Ahmad, Suziah และ Muzafar [23] ได้ทำการวิจัยและประเมินผลคุณสมบัติการกดของนิ้วลงบนหน้าจอสัมผัส โดยการเก็บข้อมูลการกดผ่านอุปกรณ์หน้าจอสัมผัสขนาดใหญ่ ตรวจดูการเคลื่อนที่และกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งพบว่า ค่าเฉลี่ยของการสัมผัสอยู่ที่ 280 จุดภาพ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 157 ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลเชิงลบ เนื่องจากการเก็บข้อมูลที่ไม่เพียงพอ ต่อมา Leah Findlater and Jacob O. Wobbrock [24] ได้เสนอแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์แบบเสมือนบนหน้าจอสัมผัส โดยทำการศึกษาในเรื่องของลักษณะการสัมผัสของนิ้วซึ่งระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางในแต่ละนิ้วที่เหมาะสม คือ 30 จุดภาพ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของนิ้วประเด็นในเรื่องการกดพิมพ์ในแต่ละครั้งถ้าใน 1 วินาที ผู้ใช้กดน้อยกว่า 1 อักษร จะเกิดขึ้นเนื่องจากการหยุดมองแป้นพิมพ์เพื่อหาตัวอักษร ลักษณะของมือและแขน จากทำการเปรียบเทียบ

3 รูปแบบในการพิมพ์ คือ แป้นพิมพ์บนคอมพิวเตอร์ แป้นพิมพ์เสมือนบนหน้าจอสัมผัสที่มีตำแหน่งที่แน่นอนบนหน้าจอสัมผัส และแป้นพิมพ์เสมือนบนหน้าจอสัมผัสที่มีการปรับเลื่อนได้ตามการเคลื่อนที่ของการพิมพ์ของผู้ใช้งาน ซึ่งจากการศึกษาและเปรียบเทียบพบว่า แป้นพิมพ์เสมือนบนหน้าจอสัมผัสที่มีการปรับเลื่อนได้ตามการเคลื่อนที่ของการพิมพ์ให้ความเร็วที่สูงกว่าการพิมพ์บนแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์เนื่องจากการเคลื่อนที่ของการพิมพ์เป็นไปอย่างอิสระแต่ก็ยังคงมีค่าความผิดพลาดในการพิมพ์ที่สูงกว่า ซึ่งจากการศึกษาปัจจัยการเคลื่อนที่ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการพิมพ์บนหน้าจอสัมผัสยังคงตอบไม่ได้ว่า ปัจจัยต่าง ๆ ที่พบนั้นจะมีลักษณะที่ตรงกับผู้ใช้งานที่เป็นผู้พิการทางสายตาหรือไม่ เนื่องจากงานวิจัยนี้ผู้ทดลองสามารถมองเห็นแป้นพิมพ์และตำแหน่งของปุ่มกดได้อย่างชัดเจน ชนัญญา, ญาณา และ อิศราภรณ์ [25] ได้นำเสนอแป้นพิมพ์เสมือนบนพื้นฐานการเคลื่อนไหวของนิ้วมือโดยใช้กล้องดิจิทัลเพียงหนึ่งตัวซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดความต่างในแนวแกน X ถ้ามีความต่างจากเดิมมากกว่า 40 จุดภาพ ให้ถือว่ากดปุ่มใหม่ ส่วนงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง Eray A. Baran และ Asif Sabanovic [26] ได้เสนอวิธีวิเคราะห์สำหรับการคาดการณ์และเทคนิคการใช้สมการการทำนายในการทำนายการเคลื่อนไหวในอนาคตที่เกิดจากการป้อนข้อมูลล่าช้า ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเรื่องของการทำนายโดยดูจากระบบข้อมูลในอดีตและการหน่วงเวลา และปรับเข้ากับสมการการทำนายที่ได้สร้างขึ้น โดยทำการทดลองทำนายตำแหน่งต่างๆเมื่อเวลาผ่านไป 50 วินาที และ 100 วินาที ซึ่งให้ผลการทำนายที่แม่นยำ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่าน ๆ มา ประเด็นเรื่องการเคลื่อนที่ของนิ้วมือขณะพิมพ์ได้มีหลักฐานจากการศึกษาจำนวนมากชี้ชัดไปในทางเดียวกันว่า เมื่อเวลาเปลี่ยนไปจะเกิดการเคลื่อนที่ของนิ้วมือซึ่งส่งผลกระทบต่อการป้อนข้อความแต่ยังไม่มีหลักฐานบอกได้ว่าถ้าในกรณีผู้ใช้งานเป็นผู้พิการทางสายตาและทำการป้อนข้อความเป็นรหัสอักษรเบรลล์ภาษาไทยโดยวิธีการพิมพ์แบบเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์นั้นจะเกิดการเคลื่อนที่ของนิ้วมือมากน้อยอย่างไร หรือมีปัจจัยใจอื่น ๆ ใดบ้างที่ส่งผลกระทบต่อการพิมพ์สัมผัสบนหน้าจอขนาดใหญ่ ซึ่งยังไม่ได้งานวิจัยใดศึกษาในส่วนของผู้ใช้งานซึ่งเป็นผู้พิการทางสายตาและป้อนอักษรเบรลล์ภาษาไทยซึ่งมีลักษณะเป็น 2 เซลล์ ซึ่งแตกต่างจากอักษรเบรลล์ในภาษาอังกฤษบนอุปกรณ์หน้าจอสัมผัส

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาสามารถป้อนข้อมูลบนหน้าจอสัมผัสได้ อย่างไรก็ตามการงานวิจัยที่ผ่านมานั้นยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของอุปกรณ์ซึ่งโปรแกรมประยุกต์ที่ถูกพัฒนานั้นสามารถใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์หน้าจอสัมผัสขนาดเล็กที่มีการจำกัดปุ่มกดที่แน่นอน เนื่องจากการพิมพ์สัมผัสบนหน้าจอขนาดใหญ่นั้นการจำกัดตำแหน่งและพื้นที่ของปุ่มกดเป็นไปได้ยาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำเสนอวิธีการป้อนอักษรเบรลล์บนอุปกรณ์หน้าจอสัมผัสขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อเก็บข้อมูลและศึกษาพฤติกรรมการพิมพ์ ทั้งในส่วนเรื่องของการเคลื่อนที่ของนิ้วมือ ข้อมือ หรือแขนขณะทำการพิมพ์สัมผัสเมื่อผู้ใช้งานป้อนอักษรเบรลล์ผ่านทางหน้าจอสัมผัสโดยยึดหลักการวิธีการพิมพ์บนเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ ซึ่งข้อแตกต่างในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงวิธีการเลือกใช้สมการการทำนายที่เหมาะสมที่สุดตามพฤติกรรมและรูปแบบการพิมพ์ของผู้ใช้งาน ในทำนายตำแหน่งอักษรเบรลล์หลังจากที่ผู้ใช้งานซึ่งเป็นผู้พิการทางสายตาทำการป้อนอักษรเบรลล์ภาษาไทยผ่านทางหน้าจอสัมผัสเป็นระยะเวลานานโดยให้เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุดในการแปลข้อมูลอักษรเบรลล์ภาษาไทยที่ได้รับจากการพิมพ์ผ่านทางหน้าจอสัมผัสนั้นเป็นข้อความ

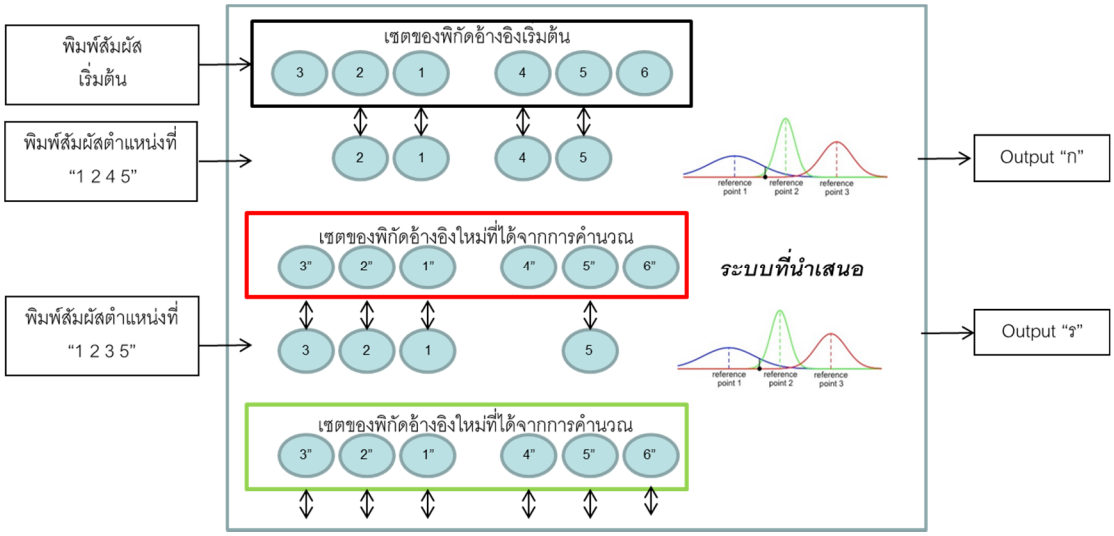
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงภาพรวมและองค์ประกอบของระบบที่เสนอ รวมทั้งรายละเอียดในแต่ละองค์ประกอบย่อย ตั้งแต่ แบบจำลองการรับค่าการพิมพ์อักษรเบรลล์บนหน้าจอสัมผัส กระบวนการแปลงพิกัดเพื่อเป็นรหัสอักษรอักษรเบรลล์ และการแปลงเป็นอักษร ซึ่งในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยการวัดหาความถูกต้องของการแปลอักษรเบรลล์เป็นอักษรปกติ

3.1 ภาพรวมของระบบ

กระบวนการรับค่าการพิมพ์อักษรเบรลล์บนหน้าจอสัมผัสในขั้นต้น จากนั้นเข้าสู่กระบวนการแปลงพิกัดเพื่อเป็นรหัสอักษรอักษรเบรลล์ และการแปลงเป็นอักษร ดังภาพที่ 3-1

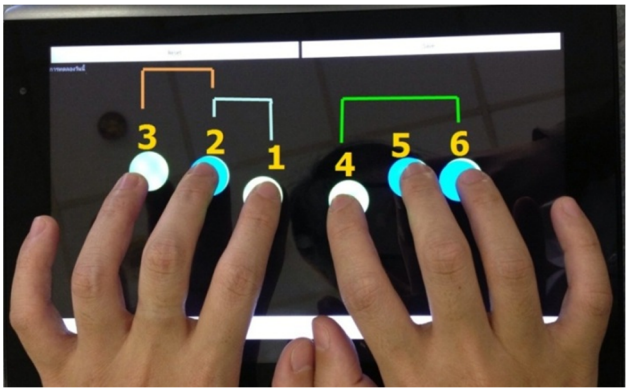


ภาพที่ 3-1 ภาพรวมของระบบ

ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดในส่วนนี้แบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังต่อไปนี้

3.1.1 เซตของพิกัดอ้างอิงเริ่มต้น คือ ครั้งแรกของการพิมพ์ ผู้ใช้งานต้องทำการพิมพ์พิกัดอ้างอิงเริ่มต้นตามอักษรเบรลล์ คือ พิมพ์ 6 นิ้ว พร้อมกันลงบนหน้าจอสัมผัส เพื่อทำการกำหนด

พิกัดอ้างอิงเริ่มต้นของแต่ละบุคคล ผลที่ได้จะเป็นพิกัด x , y ณ.ตำแหน่ง และเวลาขณะที่สัมผัส ดังภาพที่ 3-2



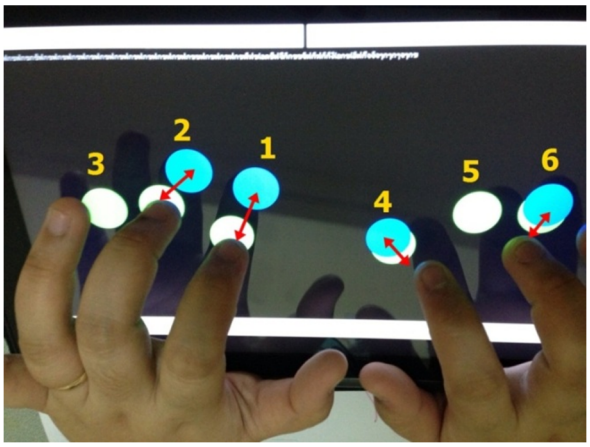
ภาพที่ 3-2 แสดงตำแหน่งการกดของรหัสอักษรเบรลล์ทั้ง 6 ตำแหน่ง

3.1.2 เซตของพิกัด คือ เราจะทำการแบ่งชุดพิกัดที่รับค่าพิกัดจากทางหน้าจอจะถูกแบ่งออกเป็นเซตตามช่วงของเวลา โดยระยะของช่วงเวลาหาได้จากการศึกษาข้อมูลพฤติกรรมการพิมพ์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลในหัวข้อถัดไป ซึ่งในงานวิจัยนี้จะแบ่งช่วงของเวลาการกด คือ 200 มิลลิวินาที ดังภาพที่ 3-3

X,Y	Time min : sec : msec : µsec
767.0,441.0	00:00:01:320
901.0,343.0	00:00:01:320
343.0,341.0	00:00:01:320
513.0,436.0	00:00:01:490
551.0,440.0	00:00:03:80
877.0,353.0	00:00:03:80
236.0,336.0	00:00:03:240
1042.0,342.0	00:00:03:240
426.0,340.0	00:00:03:245
387.0,335.0	00:00:03:245
362.0,347.0	00:00:04:220
426.0,348.0	00:00:04:290
1088.0,346.0	00:00:04:320
362.0,347.0	00:00:04:330
738.0,460.0	00:00:05:140
325.0,437.0	00:00:05:140
728.0,458.0	00:00:05:230
1040.0,343.0	00:00:06:930
473.0,353.0	00:00:06:930
640.0,440.0	00:00:07:140
468.0,349.0	00:00:07:150
214.0,348.0	00:00:07:150
769.0,492.0	00:00:07:150

ภาพที่ 3-3 การแบ่งพิกัดออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามช่วงของเวลา

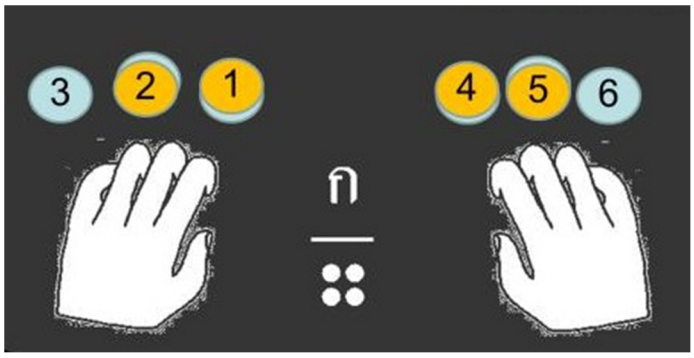
3.1.3 เซตของรหัสอักษรเบรลล์ คือ เซตของรหัสอักษรเบรลล์ที่ผู้ใช้งานพิมพ์ในแต่ละครั้ง โดย 1 เซต แทน 1 ตัวอักษร ซึ่ง เซตของรหัสอักษรเบรลล์ หาได้จากการเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ใกล้เคียงที่สุดกับ เซตของพิกัดอ้างอิง ซึ่งแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 วิธีการจับคู่พิกัดที่ใกล้กัน

3.1.4 การคำนวณหาเซตของพิกัดอ้างอิงชุดถัดไป คือ เซตของพิกัดอ้างอิงที่เปลี่ยนไปจากเซตพิกัดอ้างอิงเริ่มต้น เมื่อเวลาเปลี่ยนไป โดยคำนวณได้จากแบบจำลองวิธีที่นำเสนอ

3.1.5 การแปลอักษรเบรลล์ คือ ขั้นตอนการแปลง เซตของรหัสอักษรเบรลล์ เป็นอักษรปกติ โดยการเทียบรหัสอักษรเบรลล์กับตารางอักษรเบรลล์ (จากหัวข้อ 2.1) จากตัวอย่างดังภาพที่ 3-5 เซตของรหัสอักษรเบรลล์ คือ 1-2-4-5 เมื่อนำมาเทียบกับตารางรหัสอักษรเบรลล์ จะพบว่าตรงกับ อักษร “ก”



ภาพที่ 3-5 อักษร “ก” จากแปลรหัสอักษรเบรลล์ 1-2-4-5

3.2 แบบจำลองวิธีที่นำเสนอ (1)

ในงานวิจัยนี้ เราสนใจการเคลื่อนที่ของนิ้วมือ เนื่องจากผู้พิการทางสายตาไม่สามารถมองเห็นหน้าจอสัมผัส หรือตำแหน่งของมือและนิ้วมือขณะพิมพ์ จึงไม่สามารถทราบตำแหน่งที่ถูกต้องของการพิมพ์ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า เมื่อผู้ใช้งานที่มีปัญหาด้านการมองเห็นพิมพ์สัมผัสผ่านหน้าจอสัมผัสที่มีลักษณะของหน้าจอเรียบไม่มีปุ่มหรือจุดอ้างอิงใด ๆ ที่บ่งบอกหรือแสดงถึงถึงตำแหน่งการวางนิ้วหรือข้อมือบนหน้าจอสัมผัส เมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งจะเกิดการเลื่อนของนิ้วมือ เกิดขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบวิธีการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาพฤติกรรมการพิมพ์ของผู้ใช้งาน ดังนี้

3.2.1 ออกแบบและเขียนโปรแกรมสำหรับเก็บค่าพิกัด x, y และเวลา ผ่านทางหน้าจอสัมผัส ซึ่งในขั้นต้นจึงทำการออกแบบและเขียนโปรแกรมรับค่าพิกัด x, y และ เวลา เมื่อผู้ใช้งานพิมพ์สัมผัสผ่านทางหน้าจอสัมผัส ดังภาพที่ 3-6

ภาพที่ 3-6 โปรแกรมรับค่าพิกัดและเวลา

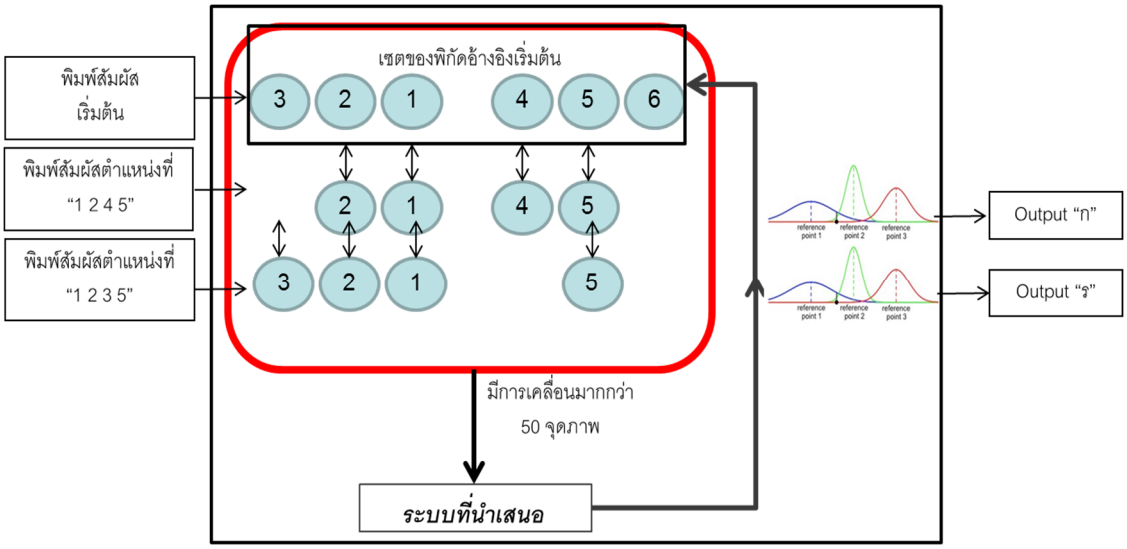
3.2.2 ขั้นตอนถัดไปจะนำค่าพิกัดที่เก็บได้มาคำนวณหาสมการการทำนายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ โดยใช้สมการแต่ละสมการ (จากหัวข้อ 2.2) คำนวณเพื่อทำนายพิกัดตัวถัดไป และทำการเปรียบเทียบ 4 สมการที่ใช้ในการทำนาย โดยใช้ค่าผิดพลาดยกกำลังสอง ในการวัดแม่นยำในการทำนาย ซึ่งสมการทั้ง 4 มีดังนี้ คือ

1. วิธีย้ายค่าเฉลี่ย
2. การทำนายโดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง
3. การทำนายแนวโน้มเชิงเส้นตรงระยะยาว

4. การทำนายโดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังเส้นตรง

3.3 พัฒนาแบบจำลองวิธีที่นำเสนอ (1) และออกแบบวิธีที่นำเสนอ (2)

วิธีที่นำเสนอ (2) จะทำการพัฒนากระบวนการรับค่าการพิมพ์อักษรเบรลล์บนหน้าจอสัมผัสในขั้นต้นจากแบบจำลองวิธีนำเสนอ (1) จากนั้นเข้าสู่กระบวนการแปลงพิกัดเพื่อเป็นรหัสอักษรอักษรเบรลล์ และ การแปลงเป็นอักษรตามลำดับ ดังภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-7 ภาพรวมของวิธีที่นำเสนอ (2)

วิธีที่นำเสนอ (2) จะทำการพัฒนากระบวนการรับค่าการพิมพ์อักษรเบรลล์บนหน้าจอสัมผัสในขั้นต้น โดยการเพิ่มข้อจำกัดที่ว่า ถ้าพิกัดที่รับค่า ณ.วินาที ปัจจุบันนั้นยังมีระยะห่างของพิกัดน้อยกว่า 50 จุดภาพ เมื่อเทียบกับพิกัดอ้างอิง จะทำการหาตำแหน่งของรหัสอักษรเบรลล์โดยการใช้วิธีการจับคู่กับพิกัดที่ใกล้ และในกรณีที่พิกัดที่รับค่าณ.วินาทีปัจจุบันนั้นยังมีระยะห่างของพิกัดมากกว่า 50 จุดภาพ เมื่อเทียบกับพิกัดอ้างอิง จะทำการหาเซตของพิกัดอ้างอิงใหม่ตามวิธีที่นำเสนอ (1) จากนั้นจึงทำการหาตำแหน่งของรหัสอักษรเบรลล์โดยการใช้วิธีการจับคู่กับพิกัดที่ใกล้กันกับเซตของพิกัดอ้างอิง และทำการแปลเป็นอักษร ตามลำดับ

3.4 การวัดประสิทธิภาพแบบจำลองการเคลื่อนที่

การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองทำการวัดโดยเปรียบเทียบ 3 วิธี คือ ระบบอ้างอิง วิธีที่นำเสนอ (1) และ วิธีที่นำเสนอ (2) ซึ่งการวัดประสิทธิภาพแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

3.4.1 การทดสอบความถูกต้องของการแปลประโยคสั้น

3.4.2 การทดสอบความถูกต้องของการแปลบทความ

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

ในส่วนของการทดลองจะกล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และวิธีการประเมินผล

4.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม คือ Eclipse Platform พัฒนาโดยภาษาจาวา

4.1.1.2 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ Acer Iconia Tab A500 ขนาด177 มิลลิเมตร x 260 มิลลิเมตร x 13.3 มิลลิเมตร ขนาดหน้าจอ 10.1 นิ้ว ระยะจุดภาพ 1280 x 800 บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

4.1.2. การประเมินผล

ในการประเมินผลระบบนั้นจะวัดผลจากความแม่นยำในการรับค่าพิกัดอักษรเบรลล์ ในส่วนของประโยคสั้น และบทความยาว ดังที่แสดงในสมการ (1)

$$\text{ความแม่นยำ} = \frac{(C+S)}{N} \times 100\ (\%) \qquad (4\text{-}1)$$

โดยที่

N คือ จำนวนอักษรทั้งหมด

S คือ จำนวนอักษรที่ผิดพลาดแบบแทนที่

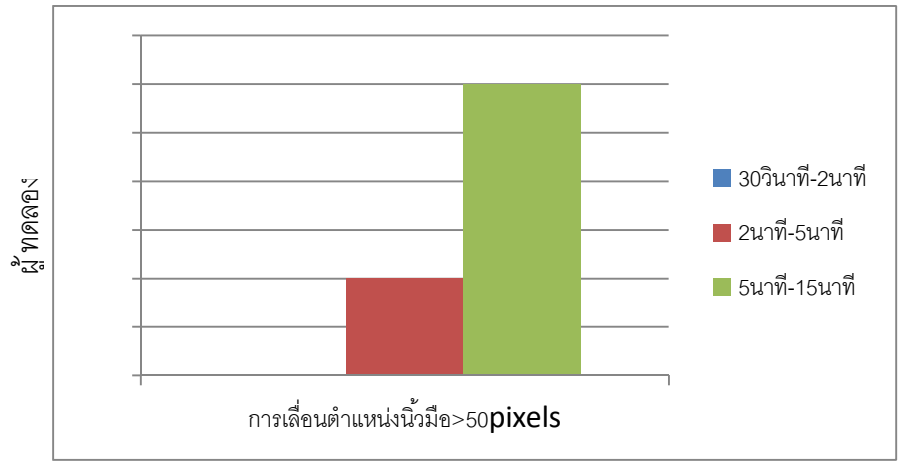
C คือ จำนวนอักษรที่ถูกต้อง

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 ผลการทดลองในส่วนของการเก็บข้อมูล จากตารางจดบันทึกลักษณะของการวางนิ้วมือ ข้อมือ หรือ แขน ของผู้ทดลอง 20 คน ในการพิมพ์สัมผัสบนหน้าจอสัมผัสตามช่วงเวลาต่าง ๆ ดังนี้ 2 วินาที 5 นาที 10 นาที และ 15 นาที ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-1 ผู้ทดลองได้ทำการพิมพ์สัมผัสบนหน้าจอ ซึ่งตัวอย่างพิกัด x , y ที่ได้จากการพิมพ์ (ภาคผนวก ก) ซึ่งค่าเฉลี่ยของแต่ละพิกัด คือ พิกัดที่ถูกกดด้วยนิ้วที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเป็น 311.92 พิกัดที่ถูกกดด้วยนิ้วที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเป็น 374.88 พิกัดที่ถูกกดด้วยนิ้วที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเป็น 413.57 พิกัดที่ถูกกดด้วยนิ้วที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเป็น 824.34 พิกัดที่ถูกกดด้วยนิ้วที่ 5 มีค่าเฉลี่ยเป็น 944.74 และพิกัดที่ถูกกดด้วยนิ้วที่ 6 มีค่าเฉลี่ยเป็น 1077.20 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า พิกัดที่ถูกกดด้วยนิ้วที่ 4 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 101.55 ซึ่งเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สูงที่สุด เนื่องจากเกิดการกระจายตัวในแนวแกน x มากที่สุด ซึ่งเกิดการเปลี่ยนของมุมในการวางข้อมือมาทางซ้ายดังภาพ 4-2 การเคลื่อนหรือหมุนข้อมือนี้เองเป็นสาเหตุการการพิมพ์ตกไปของจำนวนจุดอักษรเบรลล์ เมื่อเกิดการเคลื่อนข้อมือไปทางซ้ายจะทำให้นิ้วชี้ด้านขวามือซึ่ง เป็นนิ้วที่ใช้กดตำแหน่งที่ 4 เคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเริ่มต้น ส่งผลทำให้เกิดการแปลอักษรเบรลล์ที่ผิดพลาด และจากตารางจดบันทึกลักษณะของการวางนิ้วมือ ข้อมือ หรือ แขน ของผู้ทดลอง 20 คน ในการพิมพ์สัมผัสบนหน้าจอสัมผัสตามช่วงเวลาต่าง ๆ ดังนี้ 2 วินาที 5 นาที 10 นาที และ 15 นาที ตามลำดับ กราฟถูกแสดงดังภาพที่ 4-3 พบว่า ในขั้นต้นของการพิมพ์ 0-2 นาทีแรกเกิดการเคลื่อนที่ของนิ้วมือจากจุดเริ่มต้นเพียงเล็กน้อยไม่เกิน 50 จุดภาพของหน้าจอ การเคลื่อนที่ของนิ้วมือมากกว่า 50 จุดภาพ เริ่มต้นที่นาทีที่ 2 เป็นต้นไป และเริ่มเคลื่อนที่มากขึ้นเมื่อระยะเวลาพิมพ์สัมผัสนานขึ้น

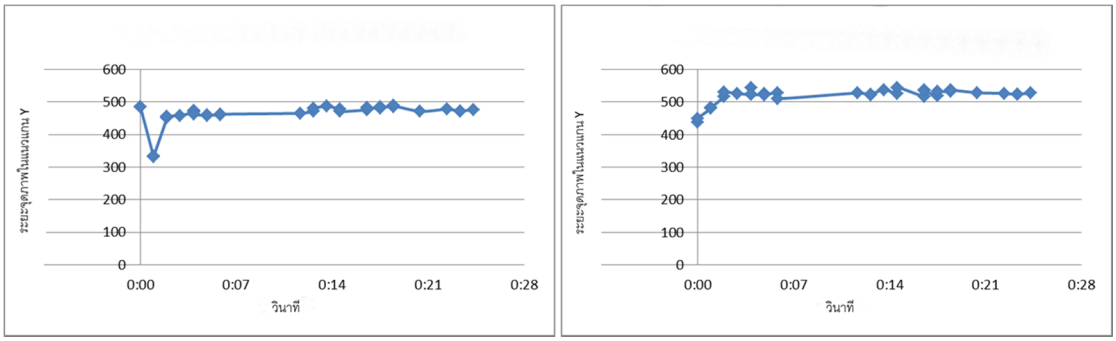
ภาพที่ 4-1 ลักษณะการวางนิ้วของผู้ทดลอง

ภาพที่ 4-2 แสดงตำแหน่งการพิมพ์ที่เกิดการเลื่อน

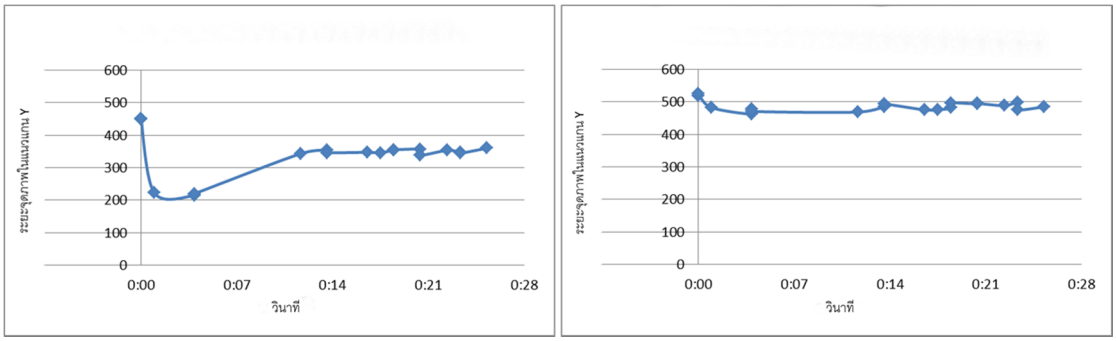


ภาพที่ 4-3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงการเลื่อนของนิ้วมือเทียบกับจำนวนผู้ทดลองทั้งหมด

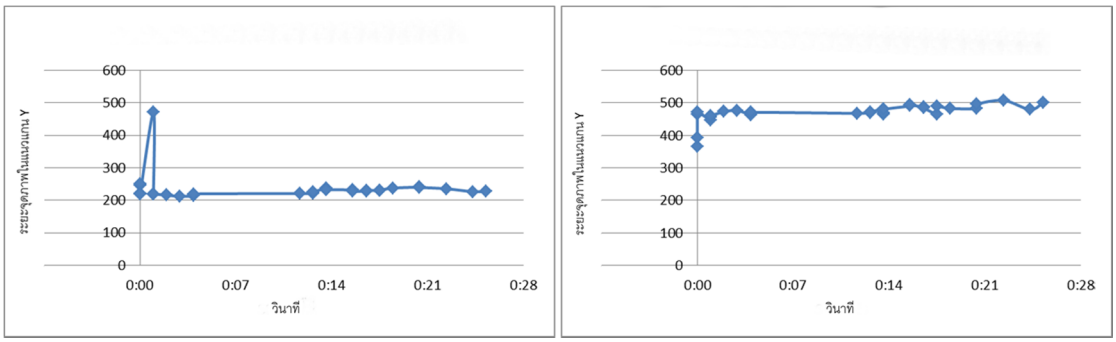
จากผลการทดลองเบื้องต้น เราพบว่าเกิดการเคลื่อนของนิ้วมือและข้อมือขณะพิมพ์เมื่อเวลาผ่านไป ดังกราฟตัวอย่างแสดงพิกัดการพิมพ์ของผู้ทดลองคนหนึ่งซึ่งเป็นผู้พิการทางสายตาและมีความชำนาญในการใช้เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์เปรียบเทียบที่เวลาเริ่มต้นจนถึง 30 วินาที นำมาเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์ลงบนหน้าจอสัมผัสทั้ง 6 ปุ่ม ตามหลักการพิมพ์อักษรเบรลล์ในช่วงเวลาที่ต่างกัน ดังภาพที่ 4-4 ถึง 4-10 ได้กราฟดังนี้



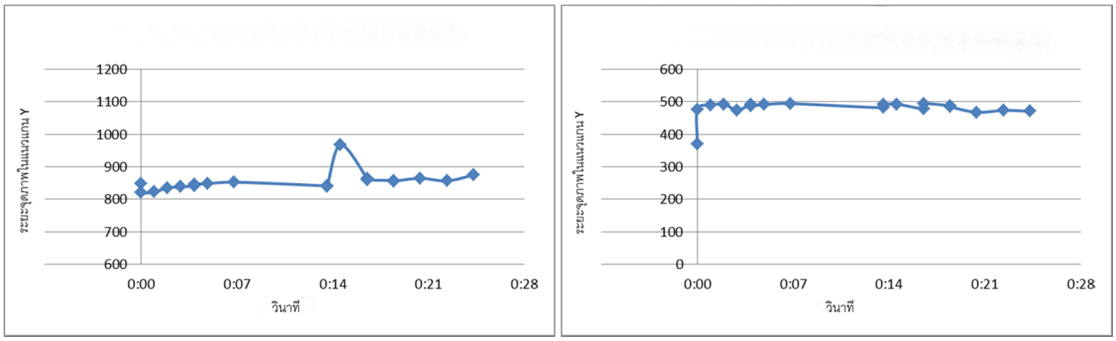
ภาพที่ 4-4 กราฟการเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์จุด1ในรหัสอักษรเบรลล์กับเวลา



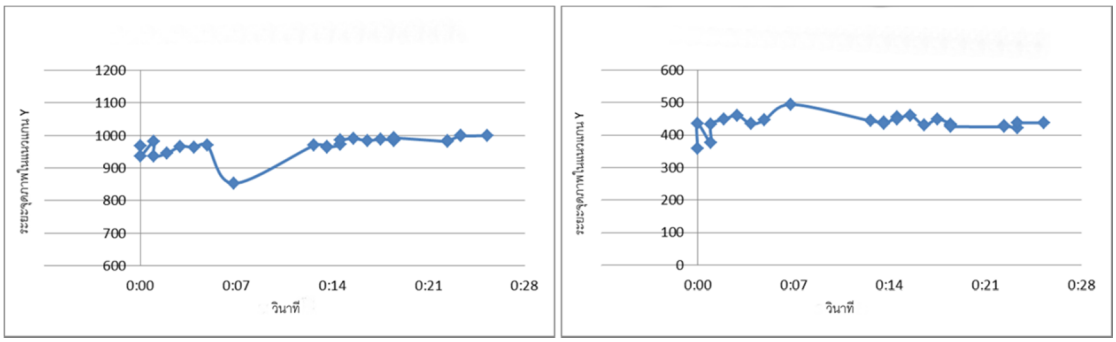
ภาพที่ 4-5 กราฟการเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์จุด 2 ในรหัสอักษรเบรลล์กับเวลา



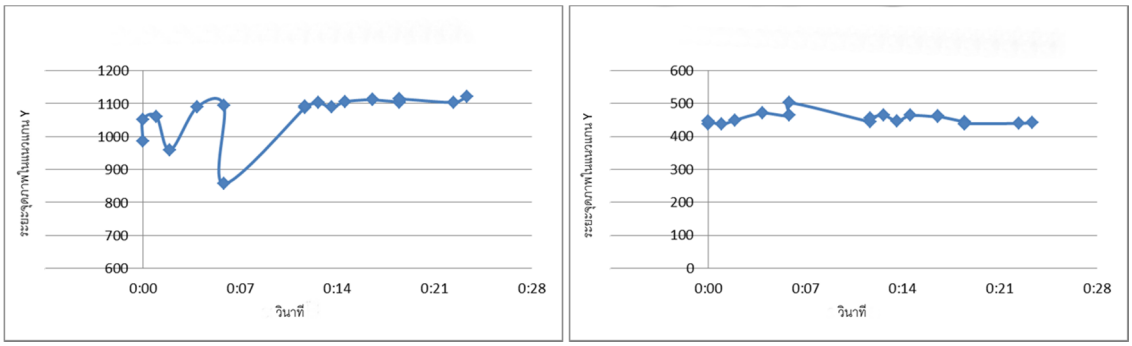
ภาพที่ 4-6 กราฟการเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์จุด 3 ในรหัสอักษรเบรลล์กับเวลา



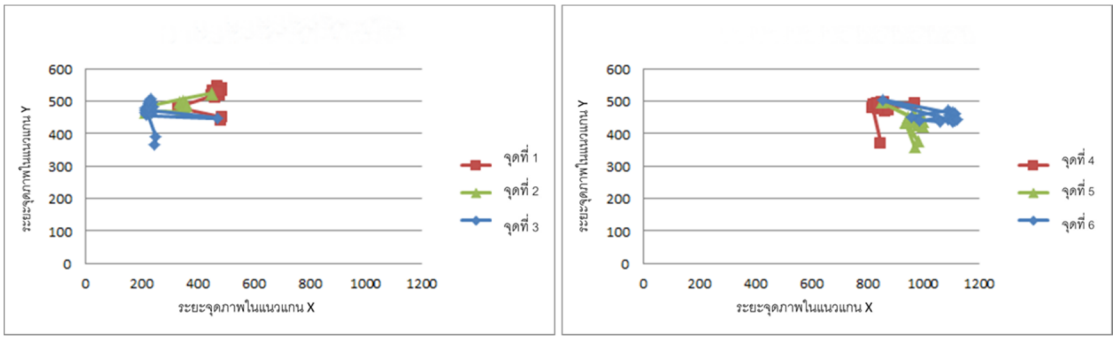
ภาพที่ 4-7 กราฟการเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์จุด 4 ในรหัสอักษรเบรลล์กับเวลา



ภาพที่ 4-8 กราฟการเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์จุด 5 ในรหัสอักษรเบรลล์กับเวลา



ภาพที่ 4-9 กราฟการเปรียบเทียบพิกัดการพิมพ์จุด 6 ในรหัสอักษรเบรลล์กับเวลา



ภาพที่ 4-10 กราฟการเปรียบเทียบพิกัด X-Y ของการพิมพ์จุด 1-6 ในรหัสอักษรเบรลล์

4.2.2 ผลการหาสมการการทำนายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบบจำลองชดเชยการเคลื่อนที่ของนิ้วมือโดยเปรียบเทียบสมการการทำนาย ทำนายพิกัดจากการเก็บข้อมูลเบื้องต้น (จากหัวข้อ 3.3.1) ซึ่งในการต้นจะทำการคัดกรองและหาค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อดูการกระจายตัวของข้อมูลซึ่งเป็นค่าพิกัดการพิมพ์ทั้ง 6 นิ้วในแนวแกน x ซึ่งผลการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในข้างต้น จากนั้นทำการหาค่าความแม่นยำในการทำนายโดยใช้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ใช้วัดความแม่นยำในการทำนาย ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของสมการการทำนายทั้ง 4 วิธี

สมการการทำนาย	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง
วิธีย้ายค่าเฉลี่ย	1901.49
วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง	1481.18
การทำนายแนวโน้มเชิงเส้นตรงระยะยาว	1071.16
วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังเส้นตรง	2531.34

จากตารางข้างต้นแสดงให้เห็นว่าวิธีการทำนายแนวโน้มเชิงเส้นตรงระยะยาวเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่จะเลือกใช้ในการสร้างแบบจำลองชดเชยการเคลื่อนที่ของนิ้วมือด้วยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่น้อยที่สุด ซึ่งจะแสดงให้เห็นในขั้นตอนถัดไป

4.2.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองการเคลื่อนที่ของนิ้วมือเมื่อใช้แบบจำลองนี้ในการแปลอักษรเบรลล์เป็นข้อความ โดยให้ผู้ทดลองที่พิการทางสายตา 4 คนที่มี

ความชำนาญในการใช้เครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์ ทำการพิมพ์ข้อความ โดยแบ่งเป็นประโยคสั้น และบทความขนาดยาวภาษาไทย จากนั้นวัดค่าความถูกต้องของการแปลออกเป็นอักษรปกติโดยคำนวณค่าเฉลี่ยความแม่นยำและหาอัตราความผิดพลาดของการแปลประโยคโดยในส่วนของบทความใช้จะใช้เอ็นแกรมทำการตัดคำ และเปรียบเทียบความถูกต้องโดยเทียบเป็นลักษณะคำต่อคำกับต้นฉบับ ซึ่งตัวอย่างของบทความที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง มีดังนี้

4.2.3.1 การค่าเฉลี่ยความแม่นยำของการแปลอักษรเบรลล์เป็นข้อความและผลการทดลอง

ตัวอย่างประโยคสั้นภาษาไทยที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพ

ภาษาไทย

- วันนี้ฉันใส่เสื้อสีส้ม
- คนที่ไม่เคยผิดพลาดคือคนที่ไม่เคยลองทำสิ่งใหม่ๆ
- ฉันชอบกินน้ำแดง
- ฉันชอบนาฬิกาข้อมือของคุณ
- การทดลองเบื้องต้น

ตารางที่ 4-2 ตัวอย่างประโยคที่ได้จากการแปลประโยคสั้น

ประโยคสั้น	**ตัวอย่างการแปลประโยคสั้น**
ต้นฉบับจริง	คนที่ไม่เคยผิดพลาดคือคนที่ไม่เคยลองทำสิ่งใหม่ๆ
ต้นฉบับที่ใช้ในการวัดผล	นที่ม่เคยผิดพลาดคือคนที่ไม่เคยลองทำสิ่งใหม่ๆ
ระบบอ้างอิง	อยี่ม่เคยถีดพลาดคูอคนที่ไม่เคยลองถัสิ่งใหม่ๆ
ระบบที่นำเสนอ	นงี่ม่เคยผิดพลาดคือคนที่ไม่เคยลอททำสิ่งใหม่ๆ

ตัวอย่างบทความภาษาไทยที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพ

- อุทยานแห่งชาติแก่งกระจานขึ้นชื่อว่า เมืองเพชร หรือ จังหวัดเพชรบุรี ที่นี่ถือเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคกลางตอนล่าง และมีแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ เช่น หาดชะอำ หาดปึกเตียน หาดเจ้าสำราญ แหลมหลวง แหลมเหลว โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่คอลัมน์ตามรอยเท้าพ่อจะกล่าวถึงในฉบับนี้ นั่นก็คือ อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ซึ่งถือเป็นหนึ่งในโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ใน พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว และถือได้ว่าเป็นอุทยานแห่งชาติที่กว้างใหญ่ที่สุดของประเทศไทยอีกด้วย
- เสียงคลื่นซ้ำแล้วซ้ำเล่า ซัดสาดฟองน้ำใสๆ ม้วนเป็นเกลียวรวมตัวกันมาเป็นก้อน ถาโถมกระทบเข้าชายฝั่งหาดทรายทะเล แล้วก็พากันลากเม็ดทรายละเอียดนุ่มดุจแป้งฝุ่นละลิ่วลอยกระดอนออกไปกับเกลียวคลื่นลูกแล้วลูกเล่าที่มีสายลมพัดเย็นหอบกลิ่นทะเลเค็มๆ ล่องลอยมาเตะจมูกทุกวัน ทุกเวลา เป็นความมหัศจรรย์ที่เหล่านักท่องเที่ยววัยเด็ก วัยเรียน วัยรุ่น และทุกวัย ต่างใฝ่ฝันอยากไปสัมผัสสักครั้งในชีวิต ทริปนี้จะขอแนะนำชายทะเลใกล้กรุงเทพ ที่ พัทยา จังหวัดชลบุรี เป็นส่วนหนึ่งของทะเลอ่าวไทยมีชื่อเสียงโด่งดังทั่วโลก เป็นเมืองชายหาดศูนย์รวมของฝรั่งนานาประเทศเดินทางมานอนอาบแดด ฟังเสียงคลื่น และเสาะแสวงหาความสุขอันหลากหลายครบทุกอรรถรส เพราะนอกจากชายหาดพัทยา จะเป็นอ่าวโค้งได้องศาแสนงดงามทอดยาวร้อยต่อกับอีก 8 หาด ระยะทางเชื่อมต่อกันหลายกิโลเมตรแล้ว บริเวณรอบๆหาดพัทยา ก็มีสถานที่พักผ่อนหย่อนใจมากมายแตกต่างกันไป
- ผมมีความฝันอยู่ 2 อย่าง คือ หนึ่งการเป็นโปรแกรมเมอร์ที่เก่งแบบพี่ชาย อีกหนึ่งความฝันคือการเป็นนักร้อง นักดนตรี ทั้ง 2 ฝัน เป็นสิ่งที่ผมชอบเท่ากัน ตัดสินใจเลือกอยู่นานครับ คิดทบทวนหลายรอบ ที่สุดก็ได้คำตอบว่าผมสามารถเป็นโปรแกรมเมอร์ควบคู่กับเล่นดนตรีที่รักไปพร้อมกัน ไม่จำเป็นจะต้องเลือกสิ่งใดสิ่งหนึ่ง พอเรียนจบก็จะได้ทำงานที่เราชอบ และได้ทำสิ่งที่ตัวเองรัก ผมจึงตัดสินใจเลือกเรียนวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่จันทรเกษมครับ

ตารางที่ 4-3 ตัวอย่างประโยคที่ได้จากการแปลบทความ

ประโยคสั้น	**ตัวอย่างการแปลประโยคสั้น**
ต้นฉบับจริง	อุทยานแห่งชาติ |แก่ง |กระจาน |ขึ้น ชื่อว่า| |เมือง | เพชร| |หรือ| |จังหวัด | เพชร |บุรี||ที่ |นี่ |ถือ | เป็น |จังหวัด | หนึ่ง |ใน |ภาค |กลาง |ตอน |ล่าง| |และ |มี |แหล่ง|ท่องเที่ยว||ที่ |สำคัญ|
ต้นฉบับที่ใช้ในการวัดผล	อุทยานแห่งชาติ |แก่ง |กระจาน |ขึ้น ชื่อว่า| |เมือง | เพชร| |หรือ| |จังหวัด | เพชร |บุรี||ที่ |นี่ |ถือ | เป็น |จังหวัด | หนึ่ง |ใน |ภาค |กลาง |ตอน |ล่าง| |และ |มี |แหล่ง|อง |สำคัญ|
ระบบอ้างอิง	อุงทากหห่ยจุตี |แถฉง |ตร์ชาก| |ีึ์ถชื่อว่า |สเียย |เพชร| |หรือ | จังหวัด |เพชร |บุผิ ทีฉ |นีฉ |ผีส | เป|ถ |ด้ยมวัด |เถึฉท |ไซ |ภีอ | นลาง |ตหถ |ลฉุย| |ลแะ อี |แหล่ง| สง ฉซค้ญ
ระบบที่นำเสนอ	อุงยากแมฉยชาติ |เซ่ง |ตรุชาก| |ขี้ถชื่อว่า |เมือย |เพชร| |หรือ | จังหวัด |เพชร |บุผิ |ที่ |นี่ |ถือ | เป็น |จังหวัด |หนึ่ง |ใน |ภาค |กลาง | ตอน |ล่าง| |และ |มี |แหล่ง|อง | สำคัญ|

ซึ่งในส่วนการทดสอบประสิทธิภาพนี้จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำในการแปลอักษรเบรลล์เป็นข้อความของแบบจำลองการเคลื่อนที่ที่ใช้วิธีการทำนายแนวโน้มเชิงเส้นตรงระยะยาวในการทดลองกับระบบอ้างอิงที่ใช้วิธีการปรับให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลในการทดลอง ซึ่งได้ผลทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-4 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลประโยคสั้นโดยระบบอ้างอิง

ข้อมูลที่ใช้ในการวัดผลประโยคสั้น (จำนวนอักษร)	ระบบอ้างอิง			
	ผู้ทดลองที่1	ผู้ทดลองที่2	ผู้ทดลองที่3	ผู้ทดลองที่4
จำนวนอักษรทั้งหมด	202	202	202	202
อักษรที่ถูกต้อง	152	120	137	133
การแทนที่ของอักษร	50	82	65	69
เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	75.25%	59.41%	67.82%	65.84%

ตารางที่ 4-5 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลประโยคสั้นโดยวิธีที่นำเสนอ

ข้อมูลที่ใช้ในการวัดผลประโยคสั้น (จำนวนอักษร)	วิธีที่นำเสนอ			
	ผู้ทดลองที่1	ผู้ทดลองที่2	ผู้ทดลองที่3	ผู้ทดลองที่4
จำนวนอักษรทั้งหมด	202	202	202	202
อักษรที่ถูกต้อง	180	164	174	167

ข้อมูลที่ใช้ในการวัดผล ประโยคสั้น (จำนวนอักษร)	วิธีที่นำเสนอ			
	ผู้ทดลองที่1	ผู้ทดลองที่2	ผู้ทดลองที่3	ผู้ทดลองที่4
การแทนที่ของอักษร	22	38	28	35
เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	89.11	81.19	86.14	82.67

ตารางที่ 4-6 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลบทความโดยระบบอ้างอิง

ข้อมูลที่ใช้ในการวัดผล บทความ (จำนวนอักษร)	ระบบอ้างอิง			
	ผู้ทดลองที่1	ผู้ทดลองที่2	ผู้ทดลองที่3	ผู้ทดลองที่4
จำนวนอักษรทั้งหมด	1440	1440	1440	1440
อักษรที่ถูกต้อง	967	990	938	975
การแทนที่ของอักษร	473	450	502	465
เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	67.15%	68.75%	65.14%	67.71%

ตารางที่ 4-7 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลบทความโดยวิธีที่นำเสนอ

ข้อมูลที่ใช้ในการวัดผล บทความ (จำนวนอักษร)	วิธีที่นำเสนอ			
	ผู้ทดลองที่1	ผู้ทดลองที่2	ผู้ทดลองที่3	ผู้ทดลองที่4
จำนวนอักษรทั้งหมด	1440	1440	1440	1440
อักษรที่ถูกต้อง	1183	1153	1145	1160
การแทนที่ของอักษร	257	287	295	280
เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	82.15%	80.07%	79.51%	80.56%

ตารางที่ 4-8 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลข้อความ

ระบบ	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	
	ประโยคสั้น	บทความ
ระบบอ้างอิง	67.08%	67.19%
ระบบที่นำเสนอ	**84.78%**	80.57%

ตารางที่ 4-9 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลประโยคสั้นโดยวิธีที่นำเสนอ (2)

ข้อมูลที่ใช้ในการวัดผล ประโยคสั้น (จำนวนอักษร)	วิธีที่นำเสนอ (2)			
	ผู้ทดลองที่1	ผู้ทดลองที่2	ผู้ทดลองที่3	ผู้ทดลองที่4
จำนวนอักษรทั้งหมด	202	202	202	202
อักษรที่ถูกต้อง	188	167	174	192
การแทนที่ของอักษร	14	35	28	10
เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	93.07%	82.67%	86.14%	**95.05%**

ตารางที่ 4-10 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณจากผลการแปลบทความโดยวิธีที่นำเสนอ (2)

ข้อมูลที่ใช้ในการวัดผล บทความ (จำนวนอักษร)	วิธีที่นำเสนอ (2)			
	ผู้ทดลองที่1	ผู้ทดลองที่2	ผู้ทดลองที่3	ผู้ทดลองที่4
จำนวนอักษรทั้งหมด	1440	1440	1440	1440
อักษรที่ถูกต้อง	1297	1237	1215	1229
การแทนที่ของอักษร	143	203	225	211
เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	**90.07%**	85.90%	84.38%	85.35%

ตารางที่ 4-11 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเปรียบเทียบจากผลการแปลทั้ง 3 วิธี

ระบบ	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	
	ประโยคสั้น	บทความ
ระบบอ้างอิง	67.08%	67.19%
ระบบที่นำเสนอ (1)	84.78%	80.57%
ระบบที่นำเสนอ (2)	**89.23%**	**86.42%**

ตารางที่ 4-12 ตัวอย่างคำผิดที่ตรวจพบในการทดลองพิมพ์สัมผัส

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
กระจาน	2	นระจาน	ถระจาก				
กระดอน	1	นระดอน					
กระทบ	1	นระยบ					
กรุง	1	นรุง					
กลาง	1	นลาง					
กลิ่น	1	นลิ่น					
กล่าว	1	นล่าว					
กว้างใหญ่	1	นว้าง ใหหญ่					
กัน	6	นัน	ถัน	กัร	กัถ	ดัน	
กับ	3	นับ	ถับ	กัร			
การ	3	นาร	ถาร	กาผ			
กิโลเมตร	1	นิโลเมตร					
ก็	4	น็	ถ็	ด็	กๆ		
ก็ได้	1	น็ได้					

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
ก้อน	1	น้อน					
ขอ	1	ขค	ๆู				
ของ	3	ขอต	ขอท	ขอย			
ขึ้นชื่อว่า	1	ขึ้กชื่อว่า					
ครบ	1	หรบ					
ครับ	2	หรับ					
ครั้ง	1	หรั้ง					
คลื่น	3	หลื่น	อลื่น				
ควบ	1	หวบ					
ความ	2	หวาม	อวาม				
คอ	1	หอ					
คอมพิวเตอร์	1	หอมพิว เตอร์					
คำ	1	อำ					
คิด	1	อิด					
คือ	3	หือ	อือ				
คู่	1	อู่					
งดงาม	1	ยดยาม	ทจงาม				
งาน	1	ยาน					
จบ	1	ดบ					
จะ	5	ดะ	กะ	กๆ	ก็		
จังหวัด	3	ดังหวัด					
จันทร	1	ดันทร					
จาก	1	ดาก					
จำเป็น	1	ดำเป็น					
จึง	1	ดึง					
ฉบับ	1	ไม้เอก บับ					
ชอบ	2	จอบ					

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
ชะ	1	จะ					
ชาย	3	ฝาย					
ชายทะเล	1	ฝายทะเล					
ชายฝั่ง	1	ฝายฝั่ง					
ชีวิต	1	ไม้เอก สระอี วิต					
รัก	1	ผัก					
ราช	1	บาช	ผาช				
ริ	1	บิ					
ร้อง	1	บ้อง					
ร้อย	1	บ้อย					
ลม	1	ลส					
ลอย	2	ลอท	ลคย				
ละ	1	ล็					

ตารางที่ 4-13 ตัวอย่างประโยคที่ได้จากการประโยคสั้น

ประโยคสั้น	**ตัวอย่างการแปลประโยคสั้น**
ต้นฉบับจริง	คนที่ไม่เคยผิดพลาดคือคนที่ไม่เคยลองทำสิ่งใหม่ๆ
ต้นฉบับที่ใช้ในการวัดผล	นที่ม่เคยผิดพลาดคือคนที่ไม่เคยลองทำสิ่งใหม่ๆ
ระบบอ้างอิง	อยี่ม่เคยถีดพลาดคูอคนที่ไม่เคยลองถัสิ่งใหม่ๆ
ระบบที่นำเสนอ (1)	นงี่ม่เคยผิดพลาดคือคนที่ไม่เคยลอททำสิ่งใหม่ๆ
ระบบที่นำเสนอ (2)	นที่ม่เคยผิดพลาดคือคนที่ไม่เคยลอยทำสิ่งใหม่ๆ

ตารางที่ 4-14 ตัวอย่างประโยคที่ได้จากการบทความ

บทความ	ตัวอย่างการแปลบทความ
ต้นฉบับจริง	อุทยานแห่งชาติ |แก่ง |กระจาน |ขึ้นชื่อว่า| |เมือง | เพชร| |หรือ| |จังหวัด |เพชร |บุรี||ที่ |นี่ |ถือ | เป็น | จังหวัด |หนึ่ง |ใน |ภาค |กลาง |ตอน |ล่าง| |และ |มี |แหล่ง|ท่องเที่ยว||ที่ |สำคัญ|
ต้นฉบับที่ใช้ในการวัดผล	อุทยานแห่งชาติ |แก่ง |กระจาน |ขึ้นชื่อว่า| |เมือง | เพชร| |หรือ| |จังหวัด |เพชร |บุรี||ที่ |นี่ |ถือ | เป็น | จังหวัด |หนึ่ง |ใน |ภาค |กลาง |ตอน |ล่าง| |และ |มี |แหล่ง|อง |สำคัญ|
ระบบอ้างอิง	อุงทากหห่ยจุตี |แถฉง |ตร็ชาก| |ีอึ็ถชื่อว่า |สเ ียย |เพชร| |หรือ | จังหวัด |เพชร |บุผิ ทีฉ |นีฉ | ผีส |เปๆถ |ด้ยมวัด |เถึฉท |ไช |ภือ |นลาง |ตหถ | ลฉุย| |ลแะ อี |แหล่ง|สง ฉซค้ญ
ระบบที่นำเสนอ (1)	อุงยากแมฉยชาติ |เช่ง |ตรุชาก| |ขี้ถชื่อว่า | เมือย |เพชร| |หรือ | จังหวัด |เพชร |บุผิ |ที่ |นี่ |ถือ | เป็น |จังหวัด |หนึ่ง |ใน |ภาค |กลาง |ตอน |ล่าง| | และ |มี |แหล่ง|อง |สำคัญ|
ระบบที่นำเสนอ (2)	อุทยานแห่งชาติ |แก่ง |กระ จาน| |ขึ้นชื่อว่า | เมือง |เพชร| |หรือ | จังหวัด |เพชร |บุผิ ที่ |นีฉ |ถือ |เป็น |จังหวัด |หนึ่ง |ไๆ |ภาอ |กลาง |ตอน |ลฉาง| |ลแะ อี |แหล่ง| อง |สำคัญ|

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปงานวิจัย ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะอันจะเป็นแนวทางการพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนที่สำหรับการพิมพ์อักษรเบรลล์ผ่านทางหน้าจอสัมผัสสำหรับผู้พิการทางสายตา

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบจำลองวิธีการป้อนข้อความอักษรเบรลล์ผ่านทางหน้าจอสัมผัสที่ทนต่อการเลื่อนของนิ้วมือเพื่อเพิ่มความถูกต้องการเคลื่อนที่ของนิ้วมือและข้อม้อเมื่อผู้ใช้งานซึ่งเป็นผู้พิการทางสายตาทำการพิมพ์สัมผัสบนหน้าจอสัมผัสเป็นระยะเวลานานซึ่งในขั้นต้นของการทดลองจะทำการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาลักษณะรูปแบบและพฤติกรรมการพิมพ์ผ่านทางหน้าจอสัมผัส จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบเพื่อหาสมการการทำนายที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในแบบจำลองนี้ โดยใช้ค่าผิดพลาดยกกำลังสองเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน ซึ่งหลังจากการออกแบบและสร้างแบบจำลองเสร็จสิ้นจึงทำการวัดประสิทธิภาพของการแปลอักษรเบรลล์เป็นข้อความโดยใช้ ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ เป็นเกณฑ์ในการวัดความถูกต้องของการแปลเปรียบเทียบกับระบบอ้างอิง จากนั้นทำการพัฒนาแบบจำลองที่ (1) ให้มีประสิทธิภาพในการแปลอักษรเบรลล์เป็นข้อความให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

จากการทดลองช่วงแรกสามารถวิเคราะห์หารูปแบบและพฤติกรรมการพิมพ์ออกเป็น 3 ส่วน แบ่งเป็นลักษณะการของนิ้วมือและวางนิ้วในการพิมพ์ ลักษณะของฝ่ามือหรือข้อมือ ลักษณะของช่วงแขนและกรวางแขน ซึ่งหลังจากการวิเคราะห์ในส่วนแรก คือ ในส่วนของนิ้วมือและการวางนิ้วมือพบว่า ลักษณะการวางนิ้วแบบงอเกิดการเคลื่อนที่ของการพิมพ์น้อยกว่าลักษณะการวางนิ้วมือแบบเหยียดตามในแนวราบ เนื่องจากการงอนิ้วจะทำให้ผู้พิมพ์กำหนดทิศทางในการพิมพ์ที่ง่ายกว่าการกางนิ้วที่ควบควมทิศทางการพิมพ์ได้ยากกว่า และในส่วนของระยะห่างระหว่างนิ้วมือที่ชิดติดกันพบว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ตำแหน่งการพิมพ์อักษรเบรลล์บนหน้าจอสัมผัสมากสุด เนื่องจากรหัสอักษรเบรลล์จะมีลักษณะเป็นจุดเรียงชิดติดกัน โดยแต่ละตัวอักษรจะมีตำแหน่งของรหัสอักษรเบรลล์ที่เป็นลักษณะเฉพาะ ซึ่งถ้าผู้ใช้งานมีรูปแบบการวางนิ้วที่ชิดติดกันมากใน

การพิมพ์จะทำให้เกิดการรวมกันเป็นจุดเดียวได้ เนื่องจากหน้าจอสัมผัสรับการสัมผัสผ่านทางหน้าจอและถ้าผู้ใช้งานทำการพิมพ์โดยนิ้วชิดเป็นกลุ่มก้อนเดียวกันจะทำให้เครื่องตรวจจับได้แค่หนึ่งพิกัดเท่านั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้เราจึงมีข้อจำกัดในการพิมพ์โดยให้มีระยะห่างระหว่างนิ้วพอประมาณตามรูปแบบและลักษณะการพิมพ์บนเครื่องพิมพ์ดีดอักษรเบรลล์เท่านั้น และในส่วนของความยาวนิ้ว พบว่า ไม่มีผลต่อการทดลองนี้ เนื่องจากแบบจำลองนี้สนใจเฉพาะพิกัดการเคลื่อนที่เปลี่ยนไปเท่านั้นซึ่งความยิ้วของนิ้วไม่มีผลต่อการกดพิกัดอ้างอิงเริ่มต้นใด ๆ และในส่วนการเรียงตัวของนิ้วขณะพิมพ์พบว่า เป็นผลที่ต่อเนื่องมาจากการยกข้อมือและวางข้อมือขณะพิมพ์ จากการทดลองจะพบว่า ถ้าผู้ใช้งานยกแขนหรือข้อมือ หรืองอนิ้วขณะพิมพ์รูปแบบของการวางนิ้วมือจะเรียงแบบเส้นขนาน เนื่องจากลักษณะการท่าทางการพิมม์แบบที่กล่าวมานั้นสามารถควบควบคุมการวางนิ้วได้ง่ายได้ง่าย และรูปแบบการวางนิ้วแบบเรียงทำมุมเป็นรูปสามเหลี่ยมจะพบเมื่อผู้ใช้งานมีลักษณะการพิมพ์แบบเหยียดนิ้วเป็นแนวราบ เนื่องจากการเหยียดตรงของนิ้วมือจะทำให้เกิดรูปสามเหลี่ยมตามลักษณะธรรมชาติของนิ้วหรือมือ ซึ่งการหดนิ้วกลางเพียงหนึ่งนิ้วเพื่อให้ทั้งหมดขนานกันเป็นไปได้ยาก และในส่วนความพร้อมในการลงนิ้วสัมผัสในแต่ละชุดอักษร พบว่า ในส่วนนี้ระยะเวลามนการพิมพ์มีผล เนื่องจากเกิดการล้าของการกดของนิ้วทำให้เกิดการลงนิ้วที่ไม่พร้อมกัน และจากการวิเคราะห์ในส่วนที่สอง คือ ลักษณะของฝ่ามือหรือข้อมือ พบว่า เกิดการหมุนของข้อมือซึ่งมีผลทำให้นิ้วทั้ง 3 เกิดเคลื่อนที่พร้อมกันเป็นเซต โดยที่ระยะระหว่างนิ้วมีเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย ซึ่งการเคลื่อนในลักษณะนี้จะส่งผล ต่อการแปลอักษรเบรลล์ที่มีจำนวนจุดเท่ากันแต่ต่างกันตรงตำแหน่งของจุด ซึ่งการเคลื่อนที่ของข้อมือนี้ส่งผลให้เกิดการแปลผิดพลาดสูง เนื่องจากเกิดการซ้อนทับกันของตำแหน่งอักษรเบรลล์ ในส่วนของแขนจะส่งผลในเรื่องการเลื่อนขึ้นและเลื่อนลงของชุดพิกัดในการกด แต่ส่งผลกระทบต่อการแปลอักษรน้อยเนื่องจากเป็นการเลื่อนพร้อมกันทั้งทำมือ ทำให้ตำแหน่งและระยะห่างของพิกัดยังคงมีอัตราส่วนเท่าเดิม และจากตารางจดบันทึกลักษณะของการวางนิ้วมือ ข้อมือ หรือ แขน ของผู้ทดลอง 20 คน ในการพิมพ์สัมผัสบนหน้าจอสัมผัสตามช่วงเวลาต่าง ๆ ดังนี้ 2 วินาที 5 นาที 10 นาที และ 15 นาที ตามลำดับ กราฟถูกแสดงดังภาพที่ 4-3 พบว่า ในขั้นต้นของการพิมพ์ 0-2 นาทีแรกเกิดการเคลื่อนที่ของนิ้วมือจากจุดเริ่มต้นเพียงเล็กน้อยไม่เกิน 50 จุดภาพของหน้าจอ การเคลื่อนที่ของนิ้วมือมากกว่า 50 จุดภาพเริ่มต้นที่นาทีที่ 2 เป็นต้นไป และเริ่มเคลื่อนที่มากขึ้นเมื่อระยะเวลาพิมพ์สัมผัสนานขึ้น

จากการวิเคราะห์สมการการทำนาย พบว่า วิธีการทำนายแนวโน้มเชิงเส้นตรงระยะยาว มีค่าค่าผิดพลาดยกกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งหมายถึงการเกิดความผิดพลาดในการทำนายน้อยที่สุด เนื่องจากวิธีการทำนายแนวโน้มเชิงเส้นตรงระยะยาว มีความเหมาะสมในการทำนายข้อมูลที่เป็น

พิกัดและมีการกระจายตัวสูงซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของนิ้วมืออีกทั้งการทำนายผลด้วยวิธีนี้ไม่สนใจในเรื่องการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งสามารถนำมาใช้กับข้อมูลที่มีการกระโดดของข้องมูลหรือข้อมูลที่มีค่าบางตัวห่างจากค่าเฉลี่ยในกลุ่มมาก ซึ่งวิธีของการทำนายโดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังมีความผิดพลาดในการทำนายที่สูงกว่า เนื่องจากวิธีของการทำนายโดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังมีข้อสมมติที่ว่า ค่าเฉลี่ยของข้อมูลคงที่จึงไม่เหมาะสมกับชุดข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งในการพิมพ์พิกัด ค่าที่ได้จะมีการเคลื่อนที่ของนิ้วตลอดเวลาซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบมีแนวโน้ม วิธีของการทำนายโดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังจึงไม่กับการทำนายค่าพิกัดที่มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา และในส่วนของ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ให้ผลการผิดพลาดในการทำนายสูงที่สุดเนื่องจากข้อมูลพิกัดที่ได้รับจากแป้นพิมพ์นั้นมีการกระจายตัวสูงและเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งไม่เหมาะกับการทำนายข้อมูลด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยคงที่

จากการทดลองในส่วนสุดท้าย คือ การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมพบว่า แบบจำลองวิธีการป้อนข้อความอักษรเบรลล์ผ่านทางหน้าจอสัมผัสที่ทนต่อการเลื่อนของนิ้วมือเบื้องต้น (1) ที่นำเสนอ มีความแม่นยำในการแปล อักษรเบรลล์เป็นอักษรปกติ มากกว่าระบบอ้างอิง และหลังการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองวิธีการป้อนข้อความอักษรเบรลล์ผ่านทางหน้าจอสัมผัสที่ทนต่อการเลื่อนของนิ้วมือ (2) ที่มีการเพิ่มข้อจำกัดในการกำหนดชุดของพิกัดอ้างอิงพบว่าแบบจำลอง (2) ที่นำเสนอนี้ มีความแม่นยำในการแปล อักษรเบรลล์เป็นอักษรปกติ มากกว่าที่สุดมากกว่าระบบอ้างอิง และ แบบจำลอง (1) ซึ่งจากการวิเคราะห์ประโยคที่พบได้จากการแปลนั้นประโยคที่พิมพ์ผิดพลาดเกิดจากเปลี่ยนแปลงลักษณะวิธีการพิมพ์แบบสลับไปสลับมาส่งผลทำให้เกิดการเลื่อนของนิ้วมือในลักษณะกระจายหรือในลักษณะของการเปลี่ยนแปลงลักษณะการพิมพ์แบบสลับไปสลับมา เช่น เดิมพิมพ์แบบกางนิ้วมือจากนั้นเปลี่ยนสลับเป็นงอนิ้ว แบบเปลี่ยนสลับไปมาทำให้การหาค่าเฉลี่ยอ้างอิงมีโอกาสเกิดการผิดพลาดได้สูงซึ่งตัวอักษรที่เกิดจากการพิมพ์ผิดพลาด (ภาคผนวก ข) และข้อความที่เกิดจากการพิมพ์ผิดพลาด (ภาคผนวก ค) ซึ่งสามารถพัฒนาและปรับปรุงในส่วนดังกล่าวได้ในหัวข้อถัดไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลอง พบว่าวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นมีข้อจำกัดบางประการ ควรปรับปรุงโดยให้มีการทำการวิจัยและศึกษาต่อไปเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ข้อจำกัดในเรื่องของสิ่งตอบรับที่เป็น

การอ่านออกเสียงเป็นคำ หรือประโยค และการลบหรือแก้คำผิด จึงควรมีการนำเทคนิคอื่นๆ เข้ามาประยุกต์ใช้เพิ่มเติม เช่น การใช้โปรแกรมในการอ่านออกเสียงคำหรือประโยคเมื่อผู้ใช้งานพิมพ์จบคำ หรือจบหนึ่งประโยค เพื่อให้ผู้พิการทางสายตารับรู้ว่าได้ว่า สิ่งที่พิมพ์เข้าไปถูกต้องตรงตามที่ต้องการหรือไม่ หรือไม่ และในส่วนการแก้คำผิด อาจทำการเพิ่มตัวเลือกปุ่มแก้ไข ในโปรแกรมหรืออาจใช้ การทำนายคำในการช่วยตัดสินในเลือกคำที่ถูกต้องโดยอาจมีตัวเลือกเพิ่มเติมในส่วนที่สามารถอ่านรายชื่อคำที่ใกล้เคียงหรือคำที่ถูกต้องจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ (คลังข้อความ) หรือพจนานุกรม ซึ่งในส่วนตัวเลือกเสียงพูดจะทำให้ผู้ใช้งานมีความมั่นใจมากขึ้นในการเลือกคำโดยมีงานวิจัยต่างๆมากมายที่พัฒนาในส่วนการแก้คำผิดนี้ โดยใช้เอ็นแกรม เช่น ในงานวิจัยของ กริช สมกันธา [27] ระบบตรวจแก้คำผิดภาษาไทยโดยการตรวจสอบคำและรูปแบบจำลองทางภาษาซึ่งจากเทคนิคและวิธีการดังที่กล่าวมานี้สามารถนำมาพัฒนารวมกับแบบจำลองการเคลื่อนที่ของนิ้วมือเพื่อส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการแปลอักษรเบลล์ให้เป็นข้อความเมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อวามอักษรเบรลล์ผ่านทางหน้าจอสัมผัส

รายการอ้างอิง

[1] บทความวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี Multi-Touch [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.neutron.rmutphysics.com/ science-news/ [12 เมษายน 2556]

[2] Touchscreen [Online]. Available from : http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/Touch-screen/ [2013, April 12]

[3] Technology Touchscreen [Online]. Available from : http://www.pattani1.go.th/wbi/page1/na28.htm [2013, April 12]

[4] Eray, A.B., and Asif, S. Predictive Input Delay Compensation for Motion Control Systems. In The 12th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control . Sarajevo, Bosnia and Herzegovina : 2012.

[5] เทคโนโลยีเพื่อคนตาบอด [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.tabod.com/node/542 [12 เมษายน 2556]

[6] งานพัฒนาสื่อเทคโนโลยี และ นวัตกรรมโรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือฯ. ทักษะการอ่าน เขียน และพิมพ์อักษรเบรลล์ขั้นพื้นฐาน. เชียงใหม่ : โรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระบรมราชินูปถัมภ์ เชียงใหม่, 2547.

[7] อาทิตยา บุญมาก และ วันเพ็ญ สุทธิคำ. คู่มือการอ่าน การเขียน และการผลิตเอกสารเบรลล์ขั้นพื้นฐาน. เชียงใหม่ : กองพัฒนานักศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553.

[8] PERKINS BRAILLER [Online]. Available from : http://en.wikipedia.org/wiki/Perkins_Brailler [2013, April 18]

[9] Duxbury System [Online]. Available from : http://www.duxburysystem.com [2013, April 18]

[10] Perkins Products [Online]. Available from : http://www.perkins.org/ [2013, April 18]

[11] คณาจารย์ภาควิชาสถิติ. สถิติเบื้องต้นสำหรับสังคมศาสตร์ 1 : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2547.

[12] Armstrong, J.S. Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners Kluwer. Boston and Dordrecht : 2001.

[13] Hassler, U. Simple regressions with linear time trends. Journal of Time Series Analysis 21 (2000) : 27–32.

[14] เทคนิคการพยากรณ์ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.ex-mba.buu.ac.th/Research/Rayong/Y-MBA12/.../ch2.pdf [15 เมษายน 2556]

[15] VOICEOVER [Online]. Available from : http://www.apple.com/accessibility/iphone/vision.html [2013, April 18]

[16] Frey, B., Southern, C., and Romero, M. BrailleTouch: Mobile Texting for the Visually impaired. In HCII '11. Florida, USA : 2011.

[17] Southern, C., Clawson, J., Frey, B., Abowd, G., and Romero, M. An Evaluation of BrailleTouch : Mobile Touchscreen Text Entry for the Visually Impaired. In MobileHCI'12. San Francisco, CA, USA : 2012.

[18] Azenkot, S., Wobbrock, J. O., Prasain, S., and Ladner, R. E. Input Finger Detection for Nonvisual Touch Screen Text Entry in Perkinput. In Graphics Interface Canadian Information Processing Society. Toronto : 2012.

[19] Nikhil, S.S., Siddhartha, N., and Vishesh, K. BrailleKey: An alternative Braille text input system. In IEEE Procedding of 4th International Conference on Intelligent Human Computer Interaction. Kharagpur, India : 2012.

[20] Walainuch Tummanitayakul and Rachada Kongkachandra. Thai-English Braille Translate to Text. In The 6th National Conference on Computing and Information Technology and The 10 th International Conference on Innovative Internet Community Systems (NCCIT2010). Bangkok, Thailand : 2010.

[21] วลัยนุช ธรรมนิตยกุล และ รัชฎา คงคะจันทร์. ระบบการแปลอักษรเบรลล์ภาษาไทย-ภาษาอังกฤษ เป็นอักษรปกติ. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ 6 (มกราคม - มิถุนายน 2553) : 6-11.

[22] ทศวัฒน์ ชุณหวิทยะธีระ และ ผศ.ดร.พิชญา ตัณฑัยย์. การใช้เอ็นแกรมช่วยในการตัดสินใจแปลอักษรเบรลล์ที่ใช้คำควบกล้ำ สระผสม และอักษรเบรลล์สองเซลล์. ใน งานประชุมวิชาการการเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยพายัพ, 2555.

[23] Ahsanullah, A.K.B.M., Suziah, S., and Muzafar, K. Research Design for Evaluation of Finger Input Properties on Multi-touch Screen. In Information and Communication Technologies (ICICT) 2011 International Conference. Malaysia : 2011.

[24] Leah, F., and Jacob, O.W. Personalized Input: Improving Ten-Finger Touchscreen Typing through Automatic Adaptation. In CHI 2012. Austin, Texas, USA : 2012.

[25] ชนัญญา อึ้งเจริญ, ญาณา เลาสุขศรี และ อิศราภรณ์ ฉายชยานนท์. แป้นพิมพ์เสมือนบนพื้นฐานของการเคลื่อนไหวนิ้วมือโดยใช้กล้องดิจิทัลเพียงหนึ่งตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

[26] Eray, A.B., and Asif, S. Predictive Input Delay Compensation for Motion Control Systems. In The 12th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control. Sarajevo, Bosnia and Herzegovina : 2012.

[27] Krich, C. Thai error correction system by spell checking and language model. In NCCIT05. Bangkok : 2005.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่จากได้การคำนวณตัวอย่างพิกัดการพิมพ์รหัสอักษรเบรลล์ทั้ง 6 จุดในแนวแกน X ณ.เวลา 0-5 นาที

ตารางการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่างค่าพิกัดในแนวแกน X ทั้ง 6 ตำแหน่ง					
ค่าพิกัด x3	ค่าพิกัด x2	ค่าพิกัด x1	ค่าพิกัด x4	ค่าพิกัด x5	ค่าพิกัด x6
237	410	550	848.5	969	1099
250	417	547.5	841.5	969.5	1103
221	416	522	811.5	879	1103
229.5	427	532	855	999	1095
471	429	443.5	846.5	963.5	857
276	415	454.5	848	969.5	1088
218	402	452	820.5	937	1051.5
220	323	323	823.5	981.5	1061
262	338.5	332	835	937	985.5
216	420	320	835.5	946	1089
212.5	332.5	432.5	841.5	966.5	1095
214	337	443	894	820	1103
253	354.5	454	848.5	969.5	1088
251	346.5	396.5	463	853	1092
232	417	347.5	841.5	969.5	1103
220	432	432.5	821	966.5	1095
253	443.5	449	846.5	989	857
267	347.5	447.5	841.5	969.5	1103
221	452	444	820.5	937	1051.5
240	423	287	823.5	981.5	1061
211	338.5	438.5	830	937	985.5
226	346.5	346	835	902	1089
233	354.5	359	842	969.5	1088
237	346.5	333	463	853	1092

ตารางการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่างค่าพิกัดในแนวแกน X ทั้ง 6 ตำแหน่ง (ต่อ)					
ค่าพิกัด x3	ค่าพิกัด x2	ค่าพิกัด x1	ค่าพิกัด x4	ค่าพิกัด x5	ค่าพิกัด x6
233	346.5	390	463	853	1092
242	347.5	322	841.5	969.5	1133
232	377	347.5	840	880	1103
228	332.5	422	840	966.5	1095
242	405	343.5	846.5	799	857
229	354.5	532	848.5	969.5	1088
231	346.5	443	463	853	1092
230	347.5	454.5	841.5	969.5	1103
231	422	456	820.5	937	1051.5
242	403	329	823.5	981.5	1061
238	338.5	338.5	835.5	937	1100.5
241	346.5	346.5	838.5	966.5	1089
240	354.5	354	968.5	963.5	1106
243	355.5	335.5	864	971.5	1113
236	356.5	388	860	985.5	1112
234	448.5	445	858	990.5	1105
264	354.5	536	848.5	969.5	1088
244	346.5	442	463	853	1092
247	347.5	454.5	841.5	969.5	1103
227	452	488	820.5	937	1051.5
228	418.5	548	858	990.5	1105
295	353.5	399	856	984.5	1103
473	396.5	348	463	853	1092
453	347.5	342	841.5	969.5	1103
486	402	459	820.5	1102	1051.5
463	347.5	447.5	841.5	969.5	1103
463	347.5	453	841.5	969.5	1103

ตารางการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่างค่าพิกัดในแนวแกน X ทั้ง 6 ตำแหน่ง (ต่อ)					
ค่าพิกัด x3	ค่าพิกัด x2	ค่าพิกัด x1	ค่าพิกัด x4	ค่าพิกัด x5	ค่าพิกัด x6
457	332.5	382.5	840.5	966.5	1095
459	443.5	393.5	840	763.5	999.5
469	354.5	357	841	969.5	1088
459	346.5	349	838	799	1089
469	401	488	843	969.5	1088
459	354.5	548	968.5	863.5	1106
461.5	415.5	397	864	971.5	1113
231	426.5	348	860	785.5	1112
459	343.5	348	846.5	801	1100
261	347.5	372	841.5	969.5	1103
231	412	489	820.5	937	1051.5
253	411	499	858	1000.5	1105
263	353.5	559	856	984.5	1103
386	346.5	546.5	463	853	1092
261	347.5	547.5	841.5	969.5	1103
231	377.5	567.5	841.5	969.5	1103
259	347	389	841.5	969.5	1103
263	332.5	339	848	966.5	1095
386	343.5	443.5	846.5	963.5	857
366	354.5	454.5	848.5	969.5	1088
372.5	452	492	820.5	937	1051.5
334	423	278	823.5	981.5	1061
339	338.5	348	835.5	937	985.5
452	420	382	835	946	1089
486	402	489	820	937	1051.5
331	423	293	823.5	981.5	1061
334	338.5	278	835.5	937	985.5

ตารางการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่างค่าพิกัดในแนวแกน X ทั้ง 6 ตำแหน่ง (ต่อ)					
ค่าพิกัด x3	ค่าพิกัด x2	ค่าพิกัด x1	ค่าพิกัด x4	ค่าพิกัด x5	ค่าพิกัด x6
359	346.5	348	838.5	866.5	1089
239	354.5	454	968.5	1005	1106
461	359	385.5	864	971.5	1113
231	356.5	354	860	985.5	1112
253	343.5	348	846.5	963.5	1055
263	347.5	492	841.5	969.5	1103
286	452	578	820.5	937	1051.5
231.5	423	548	829	781.5	1061
233.5	338.5	419	835.5	937	1002
259	346.5	354	838.5	966.5	1089
269	354.5	348	848.5	869.5	1088
259	367	492	968.5	763.5	1106
261	365	355	864	971.5	1113
231	356.5	358	860	785.5	1012
259	343.5	366	846.5	963.5	1088
263	347.5	370	841.5	969.5	1103
386	452	502	820.5	937	1051.5
366	408.5	498.5	858	990.5	1105
372	353.5	377	856	984.5	1103
361	385.5	358	864	1070	1113
231	356.5	399	860	985.5	1112
359	343	397	846.5	963.5	1004
323	311	412	841.5	969.5	1103
286	352	452	820.5	937	1051.5
266	418.5	465	858	990.5	1105
259	343.5	348	846.5	963.5	1027
269	354.5	378	848.5	969.5	1088

ตารางการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่างค่าพิกัดในแนวแกน X ทั้ง 6 ตำแหน่ง (ต่อ)					
ค่าพิกัด x3	ค่าพิกัด x2	ค่าพิกัด x1	ค่าพิกัด x4	ค่าพิกัด x5	ค่าพิกัด x6
273	346.5	344	463	853	1092
263	347.5	398	841.5	999	1103
286	352	489	820.5	937	1051.5
281	347.5	399	992.5	998.5	1104
287	344	344.5	865	985.5	1122
261	355.5	350	864	971.5	1013
221	356.5	343	860	885	1012
266	448.5	445	858	990.5	1105
261	354.5	357	848.5	969.5	1088
231	346.5	422	463	853	1092
259	347.5	466	841.5	969.5	1103
263	352	498.5	820.5	937	1051.5
386	348.5	465	858	990.5	1105
366	353.5	348	856	984.5	1103
372	346.5	398	463	853	1092
368	347.5	386	841.5	969.5	1103
486	452	452	820.5	937	1051.5
433	447.5	347.5	839	969.5	1103
463	347.5	399	841.5	962	1103
457	432.5	377	841.5	966.5	1095
463	347.5	312	840	969.5	1103
486	452	452	820.5	937	1051.5
334.5	413	405	823.5	981.5	1061
393.5	438.5	338.5	835.5	937	1085.5
459	446.5	346.5	836	966.5	1089
469	454.5	354.5	848.5	969.5	1088
459	354.5	357	968.5	963.5	1106

ตารางการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่างค่าพิกัดในแนวแกน X ทั้ง 6 ตำแหน่ง (ต่อ)					
ค่าพิกัด x3	ค่าพิกัด x2	ค่าพิกัด x1	ค่าพิกัด x4	ค่าพิกัด x5	ค่าพิกัด x6
486	452	459	820.5	937	1051.5
338.5	403	247	823.5	981.5	1061
333.5	338.5	338.5	835.5	937	985.5
259	355.5	351	864	971.5	1113
269	349	443.5	846.5	963.5	1011
299	354.5	454.5	848.5	933	1088
361	346.5	399	838.5	969	1199
331	453	558	848.5	1059.5	1088
359.5	334.5	511	968.5	863	1106
363	355.5	345	864	971.5	1113
331	456.5	356.5	860	985.5	1112
359	343.5	496	846.5	973	1020
363	347.5	389	841.5	969.5	1103
359	349	343.5	846.5	863.5	1057
369	354.5	511	848.5	1005	1088
359	334.5	498	968.5	963.5	1106
361	355.5	479	864	901	1113
366	357	503	864	971.5	1113
87.08	39.59	72.65	101.65	57.87	49.48

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงอักษรที่เปลี่ยนไปทั้งหมดจากผู้ทดลอง 20 คน

ตัวอักษรที่เปลี่ยนไปของผู้ทดลองแต่ละคนในช่วงเวลา 30 วินาที คนที่ 1 - 10										
ตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ก	ด	ก	ถ	ถ	ก	ถ	ก	น	ก	ก
ข	ๆ	็	ข	ข	ข	็	ข	ข	ๆ	ข
ค	ค	่	ห	ค	ค	ค	ค	ห	ค	ห
ง	ต	ท	ย	ง	พ	ง	ย	ต	ง	ท
ฟ	ฟ	ต	ฟ	ฟ	ฟ	ต	ฟ	ฝ	ซ	ฝ
ซ	ซ	ห	ฝ	ช	ฟ	ห	ซ	ฝ	ซ	ซ
ถ	์	้	์	น	้	ถ	ถ	ถ	์	์
น	ด	ก	น	น	น	ก	น	ถ	น	น
ฝ	ฝ	ช	ถ	ฝ	ฝ	ช	ฟ	ฝ	อ	ถ
สระโอ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ

ตัวอักษรที่เปลี่ยนไปของผู้ทดลองแต่ละคนในช่วงเวลา 30 วินาที คนที่ 11 - 20										
ตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบ	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ก	น	ก	ถ	ก	ถ	ก	ก	ถ	น	ก
ข	ข	ข	ข	ข	็	ๆ	ๆ	ข	ๆ	ข
ค	ห	่	ค	ห	ห	่	ค	ค	ค	ค
ง	ต	ง	ง	พ	ท	ง	ท	ท	พ	ท
ฟ	ฟ	ซ	ฝ	ฟ	ต	ฝ	ฟ	ฟ	ซ	ฟ
ซ	ห	ช	ห	ซ	ฝ	ซ	ซ	ฟ	ช	ซ
ถ	ถ	์	์	น	ถ	้	ถ	ถ	น	ต
น	น	ถ	ก	น	ถ	น	น	ถ	น	น
ฝ	ฝ	ช	อ	ฝ	ช	ช	ฝ	ฟ	ฝ	ฝ
สระโอ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ

ตัวอักษรที่เปลี่ยนไปของผู้ทดลองแต่ละคนในช่วงเวลา 2 นาที คนที่ 1 - 10										
ตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ก	ด	ก	ก	ถ	ถ	ก	ก	น	ถ	ก
ข	ๆ	◌็	ข	ข	ข	ข	ข	ข	ๆ	ข
ค	เื่อ	ค	ห	ค	ค	◌่	ค	ห	ค	ห
ง	ต	ย	ย	ง	ง	ง	ย	ง	ง	ท
ฟ	ฟ	ฟ	ฝ	ฟ	ซ	ฟ	ฟ	ฝ	ซ	ฟ
ซ	ซ	ห	ฝ	ซ	ฟ	ห	ซ	ฝ	ช	ซ
ถ	ถ	ต	◌์	น	◌้	ถ	ถ	◌้	ถ	ถ
น	ด	ก	น	ถ	น	ก	น	น	ถ	น
ฝ	ฝ	ซ	ถ	ฝ	ฝ	ซ	ฟ	ฝ	ซ	ถ
สระโอ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ

ตัวอักษรที่เปลี่ยนไปของผู้ทดลองแต่ละคนในช่วงเวลา 2 นาที คนที่ 11 - 20										
ตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบ	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ก	น	ถ	ก	ก	ถ	เ	ก	ก	น	ก
ข	◌็	ข	◌็	ข	ข	ๆ	ๆ	ข	ๆ	ข
ค	ห	◌่	ค	ห	ค	ค	ค	ค	◌่	ค
ง	ง	ย	ง	ง	ท	ง	ง	ท	ง	ท
ฟ	ซ	ฟ	ฝ	ซ	ฟ	ฝ	ฟ	ฟ	ซ	ซ
ซ	ห	ซ	ห	ช	ฝ	ซ	ซ	ฟ	ซ	ช
ถ	◌้	ถ	ถ	น	ถ	◌้	ถ	◌์	น	◌้
น	น	น	ก	น	น	ถ	น	ถ	น	น
ฝ	ฝ	ฝ	ซ	ฝ	ซ	ฝ	ฝ	ฟ	ฝ	ซ
สระโอ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ

ตัวอักษรที่เปลี่ยนไปของผู้ทดลองแต่ละคนในช่วงเวลา 5 นาที คนที่ 1 -10										
ตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ก	ด	ก	ก	ถ	ถ	ถ	ก	น	ถ	ก
ข	ๆ	◌็	◌็	ข	◌็	◌็	◌็	◌็	ๆ	ข
ค	เ◌ื	◌่	ห	◌่	◌่	◌่	ค	ห	◌่	ห
ง	ต	ท	ย	ง	พ	ก	ย	ต	ง	ท
ฟ	ซ	ต	ซ	ซ	ซ	ต	ฟ	ฝ	ซ	ฝ
ซ	ซ	ห	ฝ	ซ	ฟ	ห	ซ	ฝ	ซ	ซ
ถ	◌์	◌ั	◌์	น	◌ั	◌์	ถ	◌ั	◌์	◌์
น	ด	ก	น	ถ	ถ	ก	น	ถ	ถ	น
ฝ	ฝ	ซ	ถ	ซ	ฝ	ซ	ฟ	ซ	อ	ถ
สระโอ	โ	โ	◌ุ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ

ตัวอักษรที่เปลี่ยนไปของผู้ทดลองแต่ละคนในช่วงเวลา 5 นาที										
ตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบ	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ก	น	ถ	ถ	ถ	ถ	เ	ก	ถ	น	ถ
ข	◌็	◌็	◌็	◌็	◌็	ๆ	ๆ	ข	ๆ	◌็
ค	ห	◌่	◌่	ห	ห	◌่	ค	◌่	◌่	◌่
ง	ต	ย	ง	พ	ท	ง	ท	ท	พ	ท
ฟ	ซ	ซ	ฝ	ซ	ต	ฝ	ฟ	ฟ	ซ	ซ
ซ	ห	ซ	ห	ซ	ฝ	ซ	ซ	ฟ	ซ	ซ
ถ	◌ั	◌์	◌์	น	◌ั	◌ั	ถ	◌์	น	ต
น	ถ	ถ	ก	ถ	ถ	ถ	น	ถ	ถ	ถ
ฝ	ซ	ซ	อ	ซ	ซ	ซ	ฝ	ฟ	ซ	ฝ
สระโอ	โ	โ	◌ุ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ

ตัวอักษรที่เปลี่ยนไปของผู้ทดลองแต่ละคนในช่วงเวลา 15 นาที คนที่ 1 - 10										
ตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ก	ด	ถ	เ	ถ	ด	ถ	ก	น	ถ	น
ข	ๆ	◌็	◌็	ๆ	◌็	◌็	◌็	◌็	ๆ	ๆ
ค	เ◌ื่อ	◌่	ห	◌่	◌่	◌่	ห	ห	◌่	ห
ง	ต	ท	ย	ง	พ	ก	ย	ต	ง	ท
ฟ	ซ	ต	ซ	ซ	ซ	ต	ต	ฝ	ซ	ฝ
ซ	ซ	ห	ฝ	ฝ	ฟ	ห	ซ	ฝ	ซ	ฝ
ถ	◌์	◌ั	◌์	น	◌ั	◌์	ถ	◌ั	◌์	◌์
น	ด	ก	ด	ถ	ถ	ก	น	ถ	ถ	น
ฝ	ฟ	ช	ถ	ช	ฟ	ช	ฟ	ช	อ	ถ
สระโอ	โ	โ	◌ุ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ

ตัวอักษรที่เปลี่ยนไปของผู้ทดลองแต่ละคนในช่วงเวลา 15 นาที คนที่ 11 - 20										
ตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบ	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ก	น	ถ	เ	ด	ถ	เ	ก	เ	น	น
ข	◌็	◌็	◌็	◌็	◌็	ๆ	ข	ๆ	ๆ	◌็
ค	ห	◌่	◌่	ห	ห	◌่	◌่	◌่	◌่	◌่
ง	ต	ย	ต	พ	ท	ต	ท	ท	พ	ท
ฟ	ซ	ซ	ฝ	ซ	ต	ฝ	ฟ	ต	ซ	ซ
ซ	ห	ฝ	ห	ซ	ฝ	ช	ซ	ฟ	ช	ฝ
ถ	◌ั	◌์	◌์	น	◌ั	◌ั	ถ	◌์	น	ต
น	ถ	ถ	ก	ถ	ถ	ถ	ด	ถ	ถ	ถ
ฝ	ช	ช	อ	ช	ช	ช	ฝ	ฟ	ช	ฟ
สระโอ	โ	โ	◌ุ	โ	โ	โ	โ	โ	โ	โ

ภาคผนวก ค

ตารางคำผิดที่ตรวจพบในการทดลองพิมพ์บทความภาษาไทย

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
กระจาน	2	นระจาน	ถระจาก				
กระดอน	1	นระดอน					
กระทบ	1	นระยบ					
กรุง	1	นรุง					
กลาง	1	นลาง					
กลิ่น	1	นลิ่น					
กล่าว	1	นล่าว					
กว้างใหญ่	1	นว้าง ใหหญ่					
กัน	6	นัน	ถัน	กัร	กัถ	ดัน	
กับ	3	นับ	ถับ	กัร			
การ	3	นาร	ถาร	กาผ			
กิโลเมตร	1	นิโลเมตร					
ก็	4	น็	ถ็	ด็	กๆ		
ก็ได้	1	น็ได้					
ก้อน	1	น้อน					
ขอ	1	ขค	ๆ◌ู				
ของ	3	ขอต	ขอท	ขอย			
ขึ้นชื่อว่า	1	ขึ้กชื่อว่า					
ครบ	1	หรบ					
ครับ	2	หรับ					
ครั้ง	1	หรั้ง					
คลื่น	3	หลื่น	อลื่น				
ควบ	1	หวบ					
ความ	2	หวาม	อวาม				
คอ	1	หอ					

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
คอมพิวเตอร์	1	หอมพิวเตอร์					
คำ	1	อำ					
คิด	1	อิด					
คือ	3	หือ	อือ				
คู่	1	อู่					
งดงาม	1	ยดยาม	ทจงาม				
งาน	1	ยาน					
จบ	1	ดบ					
จะ	5	ดะ	กะ	กๆ	ก็		
จังหวัด	3	ดังหวัด					
จันทร	1	ดันทร					
จาก	1	ดาก					
จำเป็น	1	ดำเป็น					
จึง	1	ดึง					
ฉบับ	1	ไม้เอก บับ					
ชล	1	ไม้หัน อากาศ ล					
ชอบ	2	จอบ					
ชะ	1	จะ					
ชาย	3	ฝาย					
ชายทะเล	1	ฝายทะเล					
ชายฝั่ง	1	ฝายฝั่ง					
ชีวิต	1	ไม้เอก สระอี วิต					
ชื่อเสียง	1	ฉื่อเสียง					
ชัด	1	ฝัด					
ชิ้ง	1	ฝิ่ง					

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
ซ้ำ	2	ฝ้ำ	ฝ้น				
ดนตรี	2	จนตรี	นกตรี				
ดำริ	1	จำริ					
ดุจ	1	กุจ					
ด้วย	1	จ้วย					
ตอน	1	กอน					
ตอบ	1	กอบ					
ตัดสินใจ	2	กัดสินใจ	ตชดสินใจ				
ตัว	2	กัว	ตชว				
ตาม	1	ถาม					
ต่อ	2	ถ่อ	ถ่ค				
ต่าง	2	ก่าง	กึ่ง				
ต้อง	1	ก้อง					
ถาโถม	1	ตาโถม					
ถึง	1	ตึง					
ถือ	3	ตือ	ถือค	ตาอ			
ท	1	ย					
ทบทวน	1	ยบยวน					
ทราย	2	ยราย	ทราท				
ทอด	1	ยอด					
ทะเล	3	ยะเล	ยะหล	ทๆเล			
ทั่ว	1	ยั่ว					
ทั้ง	1	ยั้ง					
ทาง	1	ยาง					
ทำ	2	พำ	ยฝ				
ที่	13	พี่	ยี่				
ที่รัก	1	พี่รัก					

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
ที่สุด	2	ยี่สุด	พี่สุด				
ทุก	4	ยุก	พุก	ฤก	ยุน	ยุด	
ท่องเที่ยว	1	ย่องเที่ยว					
นอกจาก	1	กอกจาก					
นัก	2	ถัก ท่องเที่ยว		ถชก			
นักท่องเที่ยว	1	ถัก ท่องเที่ยว		นัถท่อท เที่ยว			
นั่น	1	ถั่น					
นาน	1	กาก					
นานา	1	ถาถา					
นี่	1	ถี่					
นี้	2	ถี้	นี้				
นุ่ม	1	ถุ่ม					
น้ำ	1	ถ้ำ					
บริเวณ	1	รริเวณ					
บาท	1	ราท					
บุรี	2	รุรี					
ป	1	ร					
ประเทศ	2	รระเทศ					
ปึก	1	รึก					
ผม	4	รม	บม	มม	ผผ		
ผ่อน	1	ร่อน					
ฝรั่ง	1	นรั่ง					
ฝัน	4	นัน	กัน	ฟัน	ถัน		
ฝุ่น	1	รุ่น					
พระ	2	วระ	วผะ				
พระเจ้า	1	วระเจ้า					

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
พร้อม	1	วร้อม					
พอ	1	วอ					
พัก	1	วัก					
พัด	1	วัด					
พัท	3	วัท					
พา	1	วา					
พี่	1	วี่					
พ่อ	1	ว่อ					
ฟอง	1	กอง					
ฟัง	1	กัง					
ภาค	1	ภาอ					
มหัศจรรย์	1	สหัศจรรย์	มหัฐจรรย์				
มา	3	สา					
มากมาย	1	สากสาย					
มาน	1	สาน					
มี	5	สี					
ม้วน	1	ส้วน					
ยา	3	ทา					
ยาว	1	ทาว					
ยิ่ง	1	ทิ่ง					
ร	2	บ	ผ				
รม	2	บม	ผม				
รวม	2	บวม	ผวม				
รอบ	1	บอบ					
รอบๆ	1	บอบะ					
รอย	1	บอย					
ระยะ	1	บะยะ					

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
รัก	1	ผัก					
ราช	1	บาช	ผาช				
ริ	1	บิ					
ร้อง	1	บ้อง					
ร้อย	1	บ้อย					
ลม	1	ลส					
ลอย	2	ลอท	ลคย				
ละ	1	ล็					
ละเอียด	1	ล็เอียด					
ลัมน์	1	ลชมน์					
ลาก	1	ลึก					
ลิ่ว	1	ลี่ว					
ลูก	2	ลโก	ลโต				
ล่อง	1	ลฉอง					
ล่าง	1	ลฉาง					
วัน	1	พัน					
วัย	3	พัย	วชย	พชย			
วัยรุ่น	1	พชยรุ่น					
วิทยา	1	วีทยา					
ว่า	2	พ่า	วฉา				
ศูนย์	1	สูนย์					
สถาน	1	มถาน					
สมเด็จ	1	มมเด็จ					
สัก	1	มัก					
สัมผัส	1	มัมผัส					
สาด	1	มาด					
สามารถ	1	มามารถ					
สาย	1	มาย					

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
สำคัญ	1	มำคัญ					
สิ่ง	4	มิง					
สุข	1	มุข					
ส่วน	1	ม่วน					
หนึ่ง	6	เ นึ่ง	แ นึ่ง	เ มึ่ง			
หย่อนใจ	1	เย่อนใจ					
หรือ	1	เรือ					
หลวง	1	เลวง					
หลากหลาย	1	เลากเลาย					
หลาย	2	เลาย	แลาย				
หอบ	1	เอบ					
หัว	1	หชว					
หาความ	1	หืความ					
หาด	8	หืด	เ าด		แ าด		หดๆก
องศา	1	คงศา					
อน	1	คน					
อยาก	1	คยาก					
อยู่	3	คยู่	หยู่	มยู่			
อย่าง	2	คย่าง	หย่าง				
อรรถรส	1	ครรถรส					
ออก	1	คอก					
อัน	2	หัน	คัน				
อาบแดด	1	คาบแดด					
อำ	1	คำ					
อีก	3	คีก	มีก	หีก			
อุทยานแห่งชาติ	3	คุทยานแห่งชาติ		มุทยานแห่งชาติ		หุทยานแห่งชาติ	

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
อ่าว	2	ค่าว	ม่าว				
เกลียว	2	เกลือว	เตลียว				
เกษม	1	อกษม					
เก่ง	1	หก่ง					
เข้า	1	ข้ไม้โท					
เค็มๆ	1	หค็มๆ					
เจ้าสำราญ	1	จ้สำราญ					
เฉพาะ	1	หฉพาะ					
เชื่อม	1	เชี่ยม					
เช่น	1	หช่น					
เดินทาง	1	หดินทาง					
เด็ก	1	หด็ก					
เตะจมูก	1	แตะจมูก					
เตียน	1	เตือน					
เทพ	1	หทพ					
เท่า	1	ทอ่					
เท้า	1						
เนื่อง	1	เนี่ยง					
เป็น	12	หป็น	◌่ป็น	โซ็น			
เป็นความ	1	หป็นความ					
เพชร	2	หพชร	แพชร				
เพราะ	1	อพร					
เมอร์	2	หมอร์	แมอร์				
เมือง	2	อมือง	แ มือง				
เม็ด	1	หม็ด	แม็ด				
เย็น	1	หย็น	แย็น				
เรา	1	รส					

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
เรียน	3	เรือน	เผือน	เผียน			
เลือก	3	เลียก	เลือน	เลือด	เลียต		
เล่น	1	หล่น					
เล่า	2	ลส่	ล้ไม้เอก				
เวลา	1	หวลา					
เสาะ	1	เมาะ					
เสียง	2	เสือง	เสือท				
เหลว	1	หหลว					
เหล่า	1	สหล่					
เอง	1	หอง					
แก	2	หก	เก				
แก่ง	2	หก่ง	เก่ง				
แตก	1	หตก					
แนะนำ	1	เนะนำ	◌ินะนำ				
แบบ	1	หบบ					
แป้ง	1	หป้ง					
และ	5	เละ					
แล้ว	4	เล้ว	หล้ว				
แสน	1	หสน					
แสวง	1	หสวง					
แหลม	2	หหลม	เหลม				
แหล่ง	1	หหล่ง					
โครงการ	1	โอรงการ					
โค้ง	1	โอ้ง					
โดย	1	โจย					
โด่งดัง	1	โก่งดัง					
โป	2	โย					
โลก	1						

รายชื่อคำ	จำนวน	คำผิดที่ตรวจพบในการทดลอง					
ใกล้	1	ใดล้	ไๆกล้				
ใด	1	ใจ					
ใน	5	ไน					
ใฝ่	1	ไฝ่					
ใสๆ	1	ไสๆ					
ได้	4	ดด้					
ไทย	2	ดทย					
ไป	4	ดป					
ไม่	1	ดม่					
	403						

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปริญญารัตน์ ตู้จินดา เกิดวันพฤหัสที่ 14 มีนาคม พ.ศ.2528 ที่จังหวัดสมุทรสาคร เป็นบุตรของนายมานะ ตู้จินดา และนางลัดดา ตู้จินดา เข้าศึกษาระดับประถมศึกษาโรงเรียนสมฤดี จังหวัดสมุทรสาคร หลังจากนั้นเข้าศึกษาระดับมัธยมศึกษาโรงเรียนสตรีวิทยาจนถึงระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และย้ายไปศึกษาต่อและสำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนสิริธรราชวิทยาลัย จังหวัดนครปฐม จากนั้นในปี 2546 ได้เข้าศึกษาระดับปริญญาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร และจากนั้นในปี 2554 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต ในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร