

การวิเคราะห์และออกแบบแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทยสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัส
โดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

นายไกรสรชิต ดวงดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS AND DESIGN OF THAI VIRTUAL KEYBOARD FOR TOUCH-SCREEN
COMPUTER USING GENETIC ALGORITHM

Mr. Kraikanchit Duangdee

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 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์และออกแบบแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทยสำหรับ
เครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัสโดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

โดย

นายไกรกรวิชิต ดวงดี

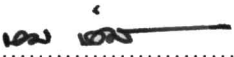
สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์


อาจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

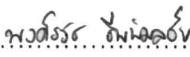

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(อาจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชติรัตน์ รัตนามัทธนะ)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.พงศ์วิษ ชีพิมลชัย)

โครงการวิจัย ดวงดี: การวิเคราะห์และออกแบบแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทยสำหรับ
เครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัสโดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม. (ANALYSIS AND DESIGN
OF THAI VIRTUAL KEYBOARD FOR TOUCH-SCREEN COMPUTER
USING GENETIC ALGORITHM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: อ.ดร.เกริก ภิรมย์โสภณ,
62 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์
เสมือนภาษาไทย อักขระภาษาไทยทั้งหมด 93 ตัว ถูกจัดวางลงบนตำแหน่งต่างๆ
บนแป้นพิมพ์เสมือนโดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการป้อนข้อมูล
อักขระด้วยปากกาชนิดแข็งในการวัดผลค่าความถี่ของคู่อักขระ ที่เก็บจากอักขระจำนวน
200,000 ตัวจะถูกใช้ในการเปรียบเทียบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งอักขระที่ได้
จากออกแบบช่วยให้การป้อนอักขระมีความเร็วมากขึ้น โดยวัดจากค่าระยะทางการ
เคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็ง ที่มีความเร็วกว่าการป้อนข้อมูลผลแป้นพิมพ์แบบเกษมณี
และปัตตะโชติ

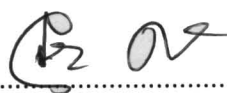
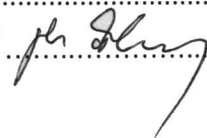
ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ลายมือชื่อ นิสิต.....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....

ปีการศึกษา 2551






49714068 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEY WORDS: KEYBOARD / VIRTUAL KEYBOARD / TOUCH SCREEN / GENETIC ALGORITHM

KRAIKANCHIT DUANGDEE: ANALYSIS AND DESIGN OF THAI VIRTUAL KEYBOARD FOR TOUCH-SCREEN COMPUTER USING GENETIC ALGORITHM. ADVISOR: KRERK PIROMSOPA, 62 pp.

This thesis presents a technique for designing a Thai virtual keyboard. By using the genetic algorithm, 93 Thai characters were arranged. A population of solution keyboards was evolved. During the evolutions, each keyboard was evaluated by using a fitness function that contains 200,000 Thai characters. The evaluation was based on the cost function that is constructed from digraph (time taking for typing two consequent characters), and the position of each character. The best solution founded by genetic algorithm is faster than the standard Thai keyboard Ket-ma-nee and Pat-ta-chote layouts.

Department Computer Engineering Student's Signature 

Field of Study Computer Science Advisor's Signature 

Academic Year 2008

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา
ที่ให้คำแนะนำอันมีคุณค่าและเป็นผู้ให้กำลังใจข้าพเจ้า จนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ
ลุล่วงไปด้วยดี

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชติรัตน์ รัตนามหัทธนะ และ ดร.พงศ์วิษ ซีพพิมลชัย ที่มีความกรุณาเป็น
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และยังเป็นผู้ให้คำแนะนำและให้กำลังใจข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อนๆ เจ้าหน้าที่หลักสูตร ทุกๆ คนที่เป็นเพื่อนและเป็นพี่ปรึกษา
ในเรื่องต่างๆ รวมทั้งผู้ที่ข้าพเจ้าหลงลืมไป ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือข้าพเจ้าจนสามารถบรรลุถึง
เป้าหมายของชีวิตได้อย่างมั่นคง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ที่คอยให้การสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่าง
รวมทั้งกำลังกายและกำลังใจที่ทำให้ข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
3. ขอบเขตของการวิจัย	1
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
5. วิธีดำเนินการวิจัย	2
6. เนื้อหาของงานวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1. แนวคิดและทฤษฎี	4
1.1 แผงแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทย.....	4
1.2 อักษรภาษาไทย	6
1.3 ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม	8
1.4 การวัดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็ง	13
1.5 การวัดประสิทธิภาพของตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทย.	14
2. การออกแบบตำแหน่งอักขระแป้นพิมพ์เสมือน	15
3. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
1. ข้อมูลในการทดลอง	18
2. การออกแบบตำแหน่งอักขระด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม	21
บทที่ 4 การทดสอบวัดประสิทธิภาพแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทย	26
1. ผลการวิเคราะห์การออกแบบแป้นพิมพ์เสมือน	26
2. ผลการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่รวมของปากกาชนิดแข็ง	27
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	29

1. สรุปผลการวิจัย	29
2. ข้อเสนอแนะ	30
รายการอ้างอิง	32
ภาคผนวก	34
ภาคผนวก ก	35
ภาคผนวก ข	37
ภาคผนวก ค	52
ภาคผนวก ง	56
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	62

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 พยัญชนะภาษาไทย 44 รูป.....	6
ตารางที่ 2.2 สระภาษาไทย 21 รูป	7
ตารางที่ 2.3 วรรณยุกต์และตัวเลข 15 รูป	7
ตารางที่ 2.4 เครื่องหมายพิเศษ 13 รูป	8
ตารางที่ 2.5 การแทนค่า x ด้วยสายอักขระฐานสอง	10
ตารางที่ 2.6 การหาค่าความเหมาะสมของประชากร	11
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างค่าความถี่ของอักขระเรียงจากมากไปน้อย	20
ตารางที่ 3.2 ค่าความถี่คู่อักขระเรียงจากมากไปน้อย	21
ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างค่าเวลาเฉลี่ยของการวัดประสิทธิภาพแต่ละแบบ.....	28

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แป้นพิมพ์แบบ QWERTY	4
รูปที่ 2.2 แป้นพิมพ์แบบ DVORAK	4
รูปที่ 2.3 แป้นพิมพ์แบบ เกษมณี	5
รูปที่ 2.4 แป้นพิมพ์แบบ ปัตตะโชติ	5
รูปที่ 2.5 แป้นพิมพ์แบบ แบบใหม่	5
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการเข้ารหัสเลขฐานสอง	9
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการเข้ารหัสมูลค่า	9
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการเข้ารหัสเรียงสับเปลี่ยน	9
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบต้นไม้	10
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการกลายพันธุ์	12
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการไขว้เปลี่ยน	12
รูปที่ 2.12 รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม	13
รูปที่ 2.13 แสดงค่าที่แทนในสมการที่ (2.1)	14
รูปที่ 2.14 แสดงตำแหน่งของแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทยแบบใหม่	15
รูปที่ 2.15 แสดงค่าประสิทธิภาพหลังกำหนดสัมประสิทธิ์	16
รูปที่ 2.16 แป้นพิมพ์แบบ ATOMIK	17
รูปที่ 2.17 รูปแบบที่ใช้แทนค่าต่าง ๆ ในแป้นพิมพ์ ATOMIK	17
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลประชากรบางส่วน	22
รูปที่ 3.2 แสดงข้อมูลตัวอย่างประชากรแต่ละตัว	22
รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการกลายพันธุ์จากการสุ่มตำแหน่งของอักขระ.....	22
รูปที่ 3.4 แสดงการหาตำแหน่งระยะการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็ง	23
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งอักขระภาษาไทยบนแป้นพิมพ์เสมือนที่ออกแบบโดยโปรแกรม.....	25
รูปที่ 4.1 แสดงแนวโน้มค่าในการป้อนข้อมูลระหว่างการวิวัฒนาการ	26
รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างค่าเฉลี่ยของประชากรแต่ละรุ่น (ดูเพิ่มเติมภาคผนวก ค).....	27
รูปที่ 4.3 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าในการป้อนอักขระในแบบต่างๆ	28
รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างค่าเฉลี่ยของการวัดประสิทธิภาพแต่ละแบบ.....	28

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์จอสัมผัส (Touch-Screen Computer) และโทรศัพท์เคลื่อนที่จอสัมผัส (Touch-Screen Mobile) ก้าวไปอย่างรวดเร็ว การป้อนข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์แบบนี้ยังคงต้องอาศัยแป้นพิมพ์เสมือนอยู่ เพราะการป้อนข้อมูลประเภทการจดบันทึก ที่อยู่ หรือชื่อ-นามสกุล ที่เป็นภาษาไทยยังคงจำเป็นอยู่มากในปัจจุบัน เครื่องมือที่ช่วยในการป้อนข้อมูลอย่างแป้นพิมพ์เสมือนนั้น ยังคงใช้การวางอักขระต่างๆ ตามมาตรฐานเดิม คือมาตรฐานสำหรับการพิมพ์ด้วยมือซึ่งไม่เหมาะสมเป็นอย่างยิ่งสำหรับการป้อนข้อมูล ผ่านปากกาชนิดแข็ง (Stylus) บนเครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัส ความเร็วในการป้อนข้อมูลยังช้าอยู่มากเพราะต้องใช้ในการกดที่อักขระบนแป้นพิมพ์เสมือนที่ละตัว ถึงแม้ว่าปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรมประเภทรู้จำอักขระ (Optical Character Recognition) และโปรแกรมประเภทรู้จำเสียง (Voice Recognition) ขึ้นมาเพื่อช่วยในการป้อนข้อมูล แต่สำหรับภาษาไทยโปรแกรมประเภทรู้จำนี้ยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากยังมีข้อผิดพลาดเรื่องการรู้จำอยู่มาก ดังนั้นการป้อนข้อมูลประเภทอักขระยังต้องอาศัยแป้นพิมพ์เสมือนเป็นหลัก งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีจุดประสงค์ที่จะออกแบบตำแหน่ง อักขระภาษาไทย สำหรับแป้นพิมพ์เสมือนโดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เพื่อให้ได้แบบตำแหน่ง อักขระภาษาไทยที่ช่วยให้การป้อนข้อมูลประเภทอักขระเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัสได้ รวดเร็วยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์และออกแบบ การจัดวางตำแหน่งอักขระภาษาไทยบนแผง แป้นพิมพ์เสมือนสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัสโดยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เพื่อเพิ่มความเร็วในการป้อนข้อมูลอักขระภาษาไทยผ่านทางปากกาชนิดแข็ง

3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 หาแบบตำแหน่งของอักขระภาษาไทยสำหรับแป้นพิมพ์เสมือน โดยทดลองกับแป้นพิมพ์มาตรฐานสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัส (Tablet Personal Computer) เฉพาะ

บนแป้นกลุ่มอักขระเท่านั้น ไม่ได้รวมถึงแป้นที่มีหน้าที่พิเศษเช่น F1 – F12, Esc, Arrow Keys, Enter, Back Space, Alt, Ctrl, Tab เป็นต้น

3.2 การออกแบบตำแหน่งอักขระสำหรับแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทย จากงานวิจัยนี้จะสามารถหาความถี่ของอักขระและความถี่ของคู่อักขระ (digraph) ของอักขระต่าง ๆ ได้ โดยต้องการข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลอักขระ (text file) ซึ่งเก็บข้อมูลอยู่ในรูปรหัสแอสกี เป็นตัวแทนของประชากรทั้งหมด (corpus) ที่ถูกใช้

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 ได้แบบตำแหน่งของอักขระภาษาไทยสำหรับแป้นพิมพ์เสมือนแบบใหม่

4.2 สามารถนำแบบตำแหน่งของอักขระภาษาไทยสำหรับแป้นพิมพ์เสมือน ไปใช้งานเพื่อลดเวลาในการป้อนข้อมูลผ่านทางจอสัมผัส

4.3 สามารถนำหลักการการออกแบบไปประยุกต์ใช้กับ การออกแบบตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือนภาษาอื่น ๆ ได้

5. วิธีดำเนินการวิจัย

5.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษากฎที่ใช้ในการออกแบบตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือน

5.2 วิเคราะห์เพื่อหาหลักการออกแบบตำแหน่ง อักขระภาษาไทยบนแป้นพิมพ์เสมือน

5.3 การออกแบบตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

5.3.1 ทำการเก็บข้อมูลตัวอย่าง เพื่อหาความถี่อักขระและคู่อักขระของภาษาไทย

5.3.2 ออกแบบตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือนตามกฎ และขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

5.3.3 ได้ผลลัพธ์เป็นแบบตำแหน่งอักขระสำหรับแป้นพิมพ์เสมือน

5.3.4 นำแบบที่ได้มาไปทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบ กับแบบที่มีใช้
อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ แบบเกษมณีและแบบปัตตะโชติ โดยทำการทดสอบกับตัวอย่างข้อมูลที่สุ่มมา
เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของแป้นพิมพ์

5.4 สรุปผลการวิจัย และจัดทำรายงานวิทยานิพนธ์

6. เนื้อหาของงานวิจัย

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 5 บท ซึ่งนอกจากบทที่ 1 ซึ่งเป็น
บทนำแล้วบทที่ 2 จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย ต่อจากนั้นบทที่ 3 จะ
เป็นขั้นตอนในการออกแบบตำแหน่งอักขระภาษาไทยบนแป้นพิมพ์เสมือน ตามมาด้วยบทที่ 4
เป็นผลเปรียบเทียบระหว่างแบบตำแหน่งอักขระภาษาไทยที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน กับแบบตำแหน่ง
อักขระที่ออกแบบจากงานวิจัยนี้ บทที่ 5 เป็นบทสรุปซึ่งเป็นการสรุปผลที่ได้จากงานวิจัย
ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะในการที่จะปรับปรุงแก้ไขในการทำวิจัยต่อไป

บทที่ 2

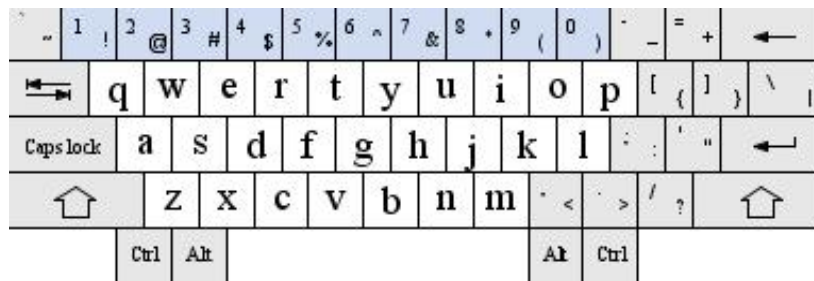
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎีที่เป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยนี้ รวมถึง การศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือน เพื่อเป็น ประโยชน์ต่อการค้นคว้าและการพัฒนาการออกแบบตำแหน่งอักขระภาษาไทย บนแผงแป้นพิมพ์ เสมือนต่อไป

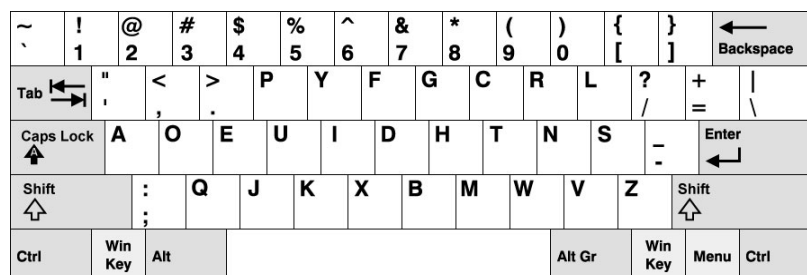
1. แนวคิดและทฤษฎี

1.1 แผงแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทย

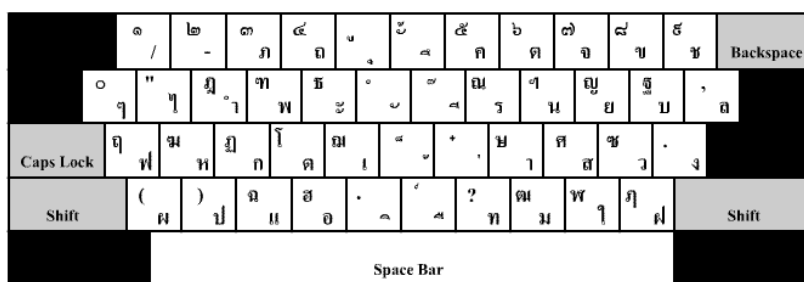
ในการออกแบบตำแหน่งอักขระภาษาไทยบนแป้นพิมพ์เสมือน ในงานวิจัยนี้จะ ออกแบบเฉพาะแป้นพิมพ์ที่ใช้พิมพ์อักขระเท่านั้น ไม่รวมถึงแป้นพิมพ์ที่มีหน้าที่พิเศษ เช่น ปุ่ม คอนโทรล (Ctrl) ปุ่มอัลทีเนต (Alt) F1-F12 Esc เป็นต้น แต่เนื่องจากอักขระของภาษาไทย มีจำนวนมากการใช้แป้นยกร่วมของภาษาไทย จึงมีความสำคัญที่ทำให้แป้นที่กดได้อักขระอีกตัว หนึ่งต่างออกไป



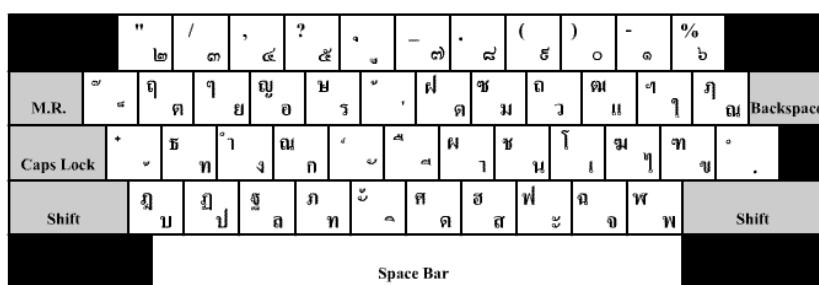
รูปที่ 2.1 แป้นพิมพ์แบบ QWERTY



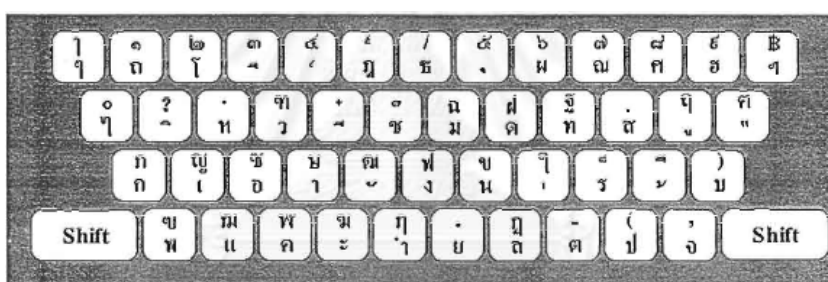
รูปที่ 2.2 แป้นพิมพ์แบบ DVORAK



รูปที่ 2.3 แป้นพิมพ์แบบ เกษมณี



รูปที่ 2.4 แป้นพิมพ์แบบ ปัดตะโชติ



รูปที่ 2.5 แป้นพิมพ์แบบเหลืองรุ่งโรจน์ [1]

แบบตำแหน่งอักขระสำหรับแผงแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันคือ รูปที่ 2.1 เรียกว่าแบบ QWERTY เป็นมาตรฐานการวางอักขระภาษาอังกฤษที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย รูปที่ 2.2 เรียกว่า DVORAK ดร. August Dvorak เป็นผู้คิดค้นแป้นพิมพ์ Dvorak และได้จดสิทธิบัตรในปี พ.ศ. 2479 โดยแป้นพิมพ์ Dvorak ได้ออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาประสิทธิภาพ และความเหนื่อยล้าในการพิมพ์ที่เกิดขึ้นด้วยแบบ QWERTY โดยแบบ Dvorak นั้นจะเป็นในลักษณะที่เรียงตัวอักษรนั้นเรียงลำดับตามความถี่ที่ใช้ เช่นตัวอักษร e ที่ใช้บ่อยนั้นจะอยู่ในแถวกลาง ทำให้การเคลื่อนไหวของมือน้อยลงเวลาพิมพ์ ปัจจุบันนี้ระบบปฏิบัติการส่วนใหญ่รองรับแผงแป้นพิมพ์ Dvorak รูปที่ 2.3 เรียกว่า แบบเกษมณี เป็นมาตรฐานการวางอักขระภาษาไทย ซึ่งได้รับการออกแบบไว้เป็นเวลานานมาแล้ว เมื่อ พ.ศ. 2474[2] และเป็นที่ยอมรับกัน

อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน รูปที่ 2.4 เรียกว่า แบบปัตตะโชติ เป็นมาตรฐานการวางอักขระภาษาไทย ที่ออกแบบมาเพื่อให้การพิมพ์ได้เร็วกว่าแบบเกษมณี[3] ซึ่งการจัดวางอักขระแบบนี้คำนึงถึงน้ำหนักงานของมือทั้งสองข้างให้เท่า ๆ กัน แบบเกษมณีและแบบปัตตะโชติ เป็นแบบที่ออกแบบมาเพื่อให้การพิมพ์สลับมือกัน การวางอักขระจึงวางสลับซ้ายขวาสำหรับคู่อักขระที่มีความถี่มาก ตามลำดับ ส่วนแบบรูปที่ 2.5 เป็นแบบเหลืองรุ่งโรจน์ ที่มีการจัดวางโดยการคำนึงถึงน้ำหนักการทำงานของมือทั้งสองข้างให้เท่ากัน จึงไม่เหมาะสมสำหรับแป้นพิมพ์เสมือนที่ต้องการความรวดเร็วในการป้อนข้อมูลผ่านทางจอสัมผัสด้วยปากกาชนิดแข็ง

1.2 อักขระภาษาไทย

ขั้นตอนการออกแบบตำแหน่งอักขระภาษาไทย บนแผงแป้นพิมพ์เสมือนจะเลือกเฉพาะอักขระที่ระบุไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม[4] ซึ่งประกอบด้วยอักขระต่าง ๆ จำนวน 93 รูป ซึ่งประกอบด้วย พยัญชนะภาษาไทย 44 รูป สระภาษาไทย 21 รูป วรรณยุกต์และตัวเลข 15 รูป และเครื่องหมายพิเศษ 13 รูป

ตารางที่ 2.1 พยัญชนะภาษาไทย 44 รูป

ก	ข	ฃ	ค	ฅ
ฆ	ง	จ	ฉ	ช
ฌ	ฉ	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	

ตารางที่ 2.2 สระภาษาไทย 21 รูป

สระ	ชื่อ	สระ	ชื่อ
ะ	วิสรรชนีย์	เ	ไม้หน้า
ั	ไม้หันอากาศ	แ	สระแ
ุ	ไม้ไต่คู้	ใ	ไม้ม้วน
า	ลากข้าง	ไ	ไม้มลาย
ำ	สระอำ	โ	ไม้โ
ิ	พินทุอิ	อ	นิคหิต
ี	สระอี	.	พินทุ
ื	สระอี	า	ลากข้างยาว
ือ	สระอีอ	ฤ	ตัว ฤ
ุ	ตีนเหยียด	ฦ	ตัว ฦ
ู	ตีนคู้		

ตารางที่ 2.3 วรรณยุกต์และตัวเลข 15 รูป

วรรณยุกต์	ชื่อ	ตัวเลข	ชื่อ
ˊ	เอก	๓	สาม
ˊˊ	โท	๔	สี่
ˋ	ตรี	๕	ห้า
ˋˋ	จัตวา	๖	หก
ˊˊˊ	ทัณฑฆาต	๗	เจ็ด
๐	ศูนย์	๘	แปด
๑	หนึ่ง	๙	เก้า
๒	สอง		

ตารางที่ 2.4 เครื่องหมายพิเศษ 13 รูป

เครื่องหมาย	ชื่อ	เครื่องหมาย	ชื่อ
๑	ไปยาลน้อย	?	ปรัศนี
฿	บาท	.	มหัพภาค
๗	ไม้ยมก	,	จุลภาค
(	วงเล็บเปิด	/	ทับ
)	วงเล็บปิด	-	ยติภังค์
'	ฝนทอง		วรรค(Space)
“	พินทุ		

1.3 ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (Genetic Algorithm) [5]

ในปัจจุบันปัญหาทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์ หรือในการทำงานต่าง ๆ ที่ต้องการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) สามารถหาคำตอบได้หลากหลายวิธี โดยมีความแตกต่างตามลักษณะของปัญหา แนวคิด เทคนิค และวิธีการวิเคราะห์ปัญหานั้น ๆ ทฤษฎีหรือเทคนิคใหม่ ๆ เริ่มนำแนวคิดและความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีหรือกฎเกณฑ์ทางธรรมชาติมาใช้ในการพัฒนาเทคนิค เช่น เครือข่ายประสาท (Neural Network) ตรรกวิภังค์ (Fuzzy Logic) เป็นต้น ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม หรือ Genetic Algorithm (GA) ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีการค้นหาคำตอบที่เลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการของธรรมชาติ ตามทฤษฎีของ Darwin [6] ในกระบวนการค้นหาคำตอบนั้นสามารถที่จะช่วยแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนได้ เนื่องจากขั้นตอนวิธีพันธุกรรมมีคุณสมบัติของการเลียนแบบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม นั่นคือหลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติและหลักการทางสายพันธุ์ ซึ่งถือเป็นการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ ซึ่งปัจจุบันเป็นที่ยอมรับถึงประสิทธิภาพและมีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ทางด้านธุรกิจและด้านการออกแบบแผงวงจรต่าง ๆ

ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมสามารถค้นหาและแก้ปัญหาให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Point) มีองค์ประกอบที่สำคัญ 5 ส่วนดังนี้

1. การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) หรือรูปแบบโครโมโซมที่ใช้ในการนำเสนอทางเลือกที่สามารถเป็นไปได้ของแต่ละปัญหาแบ่งออกเป็น

1.1 การเข้ารหัสเลขฐานสอง (Binary Encoding) คือทุกตำแหน่งของยีน (gene) ของโครโมโซมจะมีค่าเป็น 0 หรือ 1

Chromosome A	101100101100101011100101
Chromosome B	111111100000110000011111

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการเข้ารหัสเลขฐานสอง

1.2 การเข้ารหัสมูลค่า (Value Encoding) คือตำแหน่งของยีนของโครโมโซมจะมีค่าบางค่าสามารถเชื่อมโยงไปยังปัญหาได้ เช่น ตัวอักษร จำนวนจริง คำสั่ง หรืออื่น ๆ รูปแบบโครโมโซมแบบนี้สามารถใช้ได้กับปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อน

Chromosome A	1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545
Chromosome B	ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGTYTGABA
Chromosome C	(back), (back), (right), (forward), (left)

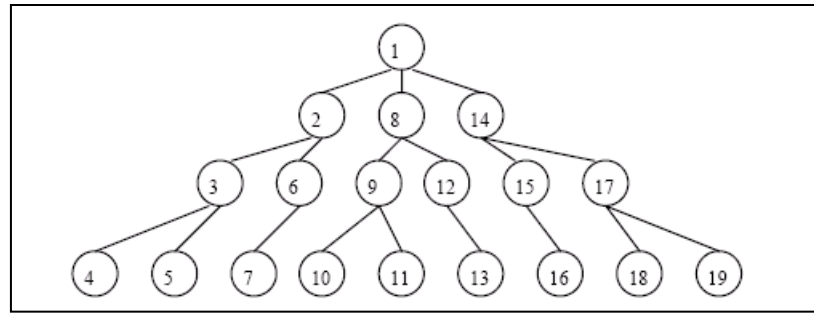
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการเข้ารหัสมูลค่า

1.3 การเข้ารหัสเรียงสับเปลี่ยน (Permutation Encoding) รูปแบบนี้ในการลำดับปัญหา ทุกตำแหน่งของยีนของโครโมโซมจะเป็นค่าของจำนวนนับที่แทนตำแหน่งในลำดับ เช่น ปัญหาของ Traveling Salesman

Chromosome A	1 5 3 2 6 4 7 9 8
Chromosome B	8 5 6 7 2 3 1 4 9

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการเข้ารหัสเรียงสับเปลี่ยน

1.4 การเข้ารหัสต้นไม้ (Tree Encoding) รูปแบบโครโมโซมคือ ทุกตำแหน่งของยีนจะเป็นโนด (node) ของต้นไม้



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบต้นไม้

2. ประชากรต้นกำเนิด (Initial Population)

ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมจะกำหนดประชากรเริ่มต้นโดยการสุ่ม (Random) ประชากรแต่ละตัวจะถูกแสดงด้วยสายอักขระฐานสองที่มีความยาวคงที่ การสุ่มเริ่มต้นนี้จะทำการสุ่มสายอักขระฐานสองให้กับประชากรทุกตัวเป็นค่าเริ่มต้น เช่น ปัญหาการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x) = x^2$ เมื่อ x มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 31 สามารถแทนค่า x เป็นสายอักขระฐานสองที่มีความยาวเท่ากับ 5 ได้ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การแทนค่า x ด้วยสายอักขระฐานสอง

String	Value x
0 0 0 0 0	0
0 0 0 0 1	1
:	:
1 1 1 1 1	31

3. ฟังก์ชันประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Function)

ขั้นตอนนี้เป็นการวัดค่าความเหมาะสมของประชากรแต่ละตัว โดยใช้ฟังก์ชันหาค่าความเหมาะสม และค่าที่ได้จากฟังก์ชันนี้จะเรียกว่าค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ซึ่งค่าความเหมาะสมนี้จะเป็นตัวบอกว่าประชากรตัวใดเหมาะสมหรือดีกว่ากัน ค่านี้จะถูกนำไปใช้ในการคัดเลือกประชากรสำหรับรุ่นต่อไป

การประเมินค่าความเหมาะสมจะทำการโดยการแปลงค่าของประชากรที่จัดเก็บอยู่ในรูปแบบของโครโมโซมซึ่งเป็นเลขฐานสอง ให้เป็นคำตอบในรูปแบบที่จะนำไปเป็นข้อมูลเข้า

สำหรับฟังก์ชันหาค่าความเหมาะสม เช่น ปัญหาค่าสูงสุดข้างต้น สามารถคำนวณค่าความเหมาะสมได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การหาค่าความเหมาะสมของประชากร

String	Value x	Fitness value (x^2)
1 0 1 0 1	21	441
1 0 0 0 1	17	289
0 1 0 1 0	10	100
1 0 1 1 1	23	529
1 0 1 1 0	22	484

4. ตัวดำเนินการพันธุกรรม (Genetic Operator)

ตัวดำเนินการพันธุกรรม จะเป็นการสร้างกลุ่มประชากรรุ่นใหม่ โดยอาศัยการเลือกประชากรรุ่นก่อนหน้ามาสร้างเป็นประชากรใหม่ โดยอาศัยกระบวนการสืบพันธุ์ (Reproduction) การกลายพันธุ์ (Mutation) และการไขว้เปลี่ยน (Crossover) ทำให้ประชากรรุ่นใหม่มีลักษณะบางประการของประชากรรุ่นก่อนหน้าติดมาด้วย การคัดเลือกประชากรเพื่อนำไปสร้างกลุ่มประชากรรุ่นถัดไปสามารถทำได้หลายวิธี โดยปกติจะใช้วิธีคัดเลือกตามสัดส่วนของค่าความเหมาะสม (Roulette Wheel Selection) ซึ่งวิธีการนี้ประชากรที่มีค่าความเหมาะสมสูงกว่าจะมีโอกาสถูกเลือกได้มากกว่าประชากรที่มีค่าความเหมาะสมต่ำ เมื่อเลือกประชากรต้นแบบได้แล้ว ก็จะมีการสร้างกลุ่มประชากรรุ่นใหม่ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

4.1 การสืบพันธุ์ วิธีการนี้เป็นการสร้างประชากรใหม่ จากประชากรต้นแบบ 1 ตัว โดยประชากรใหม่ที่ได้จะมีลักษณะเหมือนประชากรต้นแบบทุกประการ มักใช้กับประชากรต้นแบบที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดในรุ่นนั้นๆ เพื่อที่จะได้ถ่ายทอดลักษณะที่ดีที่สุดไว้ในรุ่นถัดไป

4.2 การกลายพันธุ์ วิธีการนี้เป็นการสร้างประชากรใหม่ขึ้นจากประชากรต้นแบบ 1 ตัว โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะบางประการของประชากรต้นแบบ กล่าวคือ ทำการเปลี่ยนค่าในสายอักขระจากเดิมเป็นค่าใหม่ด้วยการสุ่มตำแหน่งในสายอักขระ แล้วเปลี่ยนค่าตรงตำแหน่งนั้น เช่น ถ้าตำแหน่งเดิมเป็นค่า 0 ก็เปลี่ยนเป็น 1 แต่ถ้าเป็น 1 อยู่ ก็เปลี่ยนเป็น 0 ตัวอย่างการกลายพันธุ์แสดงในรูปที่ 2.10

1 0 1 1 0



1 0 0 1 0

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการกลายพันธุ์

4.3 การไขว้เปลี่ยน วิธีการนี้เป็นการสร้างประชากรใหม่จากประชากรต้นแบบ 2 ตัว โดยการแลกเปลี่ยนคุณลักษณะบางประการของประชากรต้นแบบทั้ง 2 ตัว การไขว้เปลี่ยนจะเริ่มด้วยการสุ่มตำแหน่งในสายอักขระเช่นเดียวกับการกลายพันธุ์ ที่ตำแหน่งที่สุ่มได้จะตัดแบ่งสายอักขระทั้งคู่ที่ตำแหน่งนั้น และแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ตัดออกสลับกัน ทำให้ได้ประชากรใหม่ 2 ตัว ที่มีคุณลักษณะร่วมกันระหว่างประชากรต้นแบบทั้งสองตัว การไขว้เปลี่ยนแสดงในรูปที่ 2.11

1 0 1 1 0

0 0 1 0 1



1 0 1 0 1

0 0 1 1 0

รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการไขว้เปลี่ยน

5. พารามิเตอร์ (Parameter) ที่สำคัญสำหรับขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เช่น ขนาดของประชากร (Population size) ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ (Probability crossover) ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (Probability mutation) และจำนวนรุ่น เป็นต้น

6. เงื่อนไขในการหยุดกระบวนการหาคำตอบนั้นมีได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น

6.1 ครบจำนวนรอบที่ได้กำหนดไว้

6.2 พบเป้าหมายหรือคำตอบที่ต้องการ

6.3 พบคำตอบที่ใกล้เคียงกับที่ต้องการ เช่น โครโมโซมมีค่า ณ ตำแหน่ง

ยีนเดียวกันเหมือนกันถึงร้อยละ 95

ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมจะเริ่มต้นจากการสุ่มประชากรขึ้นมาจำนวนหนึ่ง และจะทำการประเมินค่าความเหมาะสมของประชากร โดยการแปลงสายอักขระที่ถูกจัดเก็บไว้แล้วนำมาคำนวณค่าความเหมาะสมโดยใช้ฟังก์ชันหาค่าความเหมาะสม ซึ่งเป็นการวัดค่าความดีของคำตอบแต่ละตัว ฟังก์ชันหาค่าความเหมาะสมนี้จะแตกต่างกันไปขึ้นกับแต่ละปัญหา ชุดของประชากรที่ทำการประเมินค่าแล้วจะถูกเลือกและสร้างประชากรรุ่นใหม่ขึ้น แต่ครั้งที่สร้างประชากรรุ่นใหม่ขึ้นมาจะเรียกว่ารุ่น (Generation) กระบวนการวิวัฒนาการจะเลือกประชากรที่ดีในแต่ละรุ่นเพื่ออยู่รอดในรุ่นต่อไป และจะวนซ้ำอยู่อย่างนี้จนกว่าจะได้คำตอบที่ดี หรือทำจนกว่าจะถึงจำนวนรุ่นสูงสุดที่กำหนดไว้ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเขียนเป็นรหัสเทียมได้ดังรูปที่ 2.12

```

Procedure GA
begin
    generation = 0
    Initialize (population)
    Evaluate (population)
    while ( termination criterion not fulfilled ) do
        Create_new_generation (population)
        Evaluate (population)
        generation = generation + 1
    od
end

```

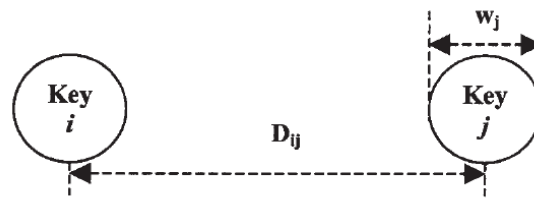
รูปที่ 2.12 รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

รายละเอียดของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในรูปที่ 1 ประกอบด้วย การสร้างกลุ่มประชากรเริ่มต้น การประเมินค่าคำตอบ การสร้างกลุ่มประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.4 การวัดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็ง

จากงานวิจัยของ MacKenzie & Zhang [7] ได้แสดงให้เห็นถึงการวัดระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็ง ด้วยสมการที่ 2.1

$$MT = a + b \log_2 \left[\frac{D_{ij}}{W_j} + 1 \right] \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.13 แสดงค่าที่แทนในสมการที่ (2.1)

จากสมการที่ (1) เรียกว่า Fitts's law movement time (MTs) ใช้หาค่าเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็งไปบนแป้นพิมพ์เสมือนโดยกำหนดค่า ดังนี้

MT	=	Movement time
a,b	=	ค่าสัมประสิทธิ์
D_{ij}	=	ระยะห่างระหว่าง i,j
i,j	=	แทนตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือน
W_j	=	ขนาดของปุ่มอักขระที่ j

จากสมการที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ที่จะใช้อ้างอิงจากงานวิจัยของ MacKenzie & Zhang, 1999 ที่ได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์โดยกำหนดให้ $a = 0$ และ $b = \frac{1}{4.9}$ ทำให้ได้ค่า Fitts IP (Fitts index of performance) 4.9 bps ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปใช้ในสมการที่ 2.2 เพื่อวัดประสิทธิภาพของแป้นพิมพ์เสมือน ออกมาเป็นค่าต่อนาที

1.5 การวัดประสิทธิภาพของตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทย

การวัดประสิทธิภาพของตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือนโดยการหาค่าเวลารวมในการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็ง สำหรับการวัดประสิทธิภาพแบบนี้จะได้ผลลัพธ์เป็นค่าต่อนาที wpm (word per minute) ซึ่งระยะเวลาในการป้อนข้อความหนึ่ง สามารถหาได้จากผลรวมของผลคูณระหว่างความถี่ของคู่อักขระกับระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็ง ดังสมการที่ 2.2 [8]

$$t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{P_{ij}}{IP} \left[\log_2 \left(\frac{D_{ij}}{W_j} + 1 \right) \right] \quad (2.2)$$

t	=	ค่าเวลาในการป้อนอักขระ
P _{ij}	=	ค่าความถี่ของคู่อักขระ i, j
IP	=	Index performance
D _{ij}	=	ระยะห่างจาก i, j
W _j	=	ขนาดของปุ่มอักขระที่ j
N	=	จำนวนอักขระทั้งหมด

จากสมการที่ 2.2 นั้นจะเห็นได้ว่าค่าเวลารวมที่ได้เมื่อมีค่าน้อย ๆ แสดงว่าประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็งน้อยลงไปด้วยแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแป้นพิมพ์ด้วยว่าเป็นแบบพิมพ์ที่ใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมที่สุด

2. การออกแบบตำแหน่งอักขระแป้นพิมพ์เสมือน

2.1. ออกแบบตามขั้นตอนพันธุกรรมเพื่อให้ได้ตำแหน่งแป้นพิมพ์เสมือน

2.2. ไม่คำนึงถึงแป้นยกแคะ แต่ใช้วิธีออกแบบโดยการสร้างตำแหน่งของปุ่มอักขระขึ้นมาตามรูปแบบการออกแบบ Squire Alphabetic โดยการกำหนดให้เป็นพิมพ์เสมือนมีขนาด 9 x 11 (row x column) โดยการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นจากค่าความถี่ของอักขระ จากความถี่มากไปหาความถี่น้อย

1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,10	1,11
2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	2,10	2,11
3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	3,10	3,11
4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	4,10	4,11
5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	5,10	5,11
6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	6,10	6,11
7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	7,10	7,11
8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	8,10	8,11
9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	9,10	9,11

รูปที่ 2.14 แสดงตำแหน่งของแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทยแบบใหม่

2.4. นำแบบแป้นพิมพ์เสมือนแบบใหม่ ที่ได้มาไปทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับแบบมาตรฐานที่มีอยู่ปัจจุบัน (ได้แก่ แบบเกษมณีและแบบปัตตะโชติ) ด้วยการทดสอบกับตัวอย่างข้อมูลที่สุ่มมาเพื่อหาค่าทางสถิติต่าง ๆ

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 Zhai, S., B.A. Smith, and M. Hunter, Performance Optimization of Virtual Keyboards. Human-Computer Interaction

กล่าวถึงการวัดระยะเวลาเคลื่อนที่กับเวลา (Movement Time) ของการลากปากกาชนิดแข็งไปบนแป้นพิมพ์เสมือน ของการวางตัวอักษรในภาษาอังกฤษ โดยการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมเรียกว่าค่า Fitts index performance ได้ผลลัพธ์เป็นค่าความเร็วในการป้อนอักขระมีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per second: bps) ดังสมการที่ 1 ทดลองกับมาตรฐานการวางตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือนในปัจจุบัน เห็นได้จากรูปที่ 4

Layouts	IP = 4.9 bits/sec	IP = 6.0 bits/sec	IP = 8.0 bits/sec	Estimation Bias
QWERTY	28	34.3	45.7	Slightly conservative ^a
5 × 6 Alphabetic	33.5	41.02	54.7	Slightly conservative ^a
OPTI II (MacKenzie-Zhang)	38	46.5	62.0	Liberal ^b
Fitaly (Textware Solutions)	36	44.1	58.8	Liberal ^c
Lewis-Kennedy-LaLomia	37.1	45.4	60.6	Slightly conservative ^a
Hooke (Zhai-Hunter-Smith)	41.6	50.9	67.9	Slightly conservative ^d
Metropolis (Zhai-Hunter-Smith)	43.1	52.1	69.4	Slightly conservative ^d
ATOMIK (Zhai-Hunter-Smith)	41.2	50.4	67.2	Slightly conservative ^d

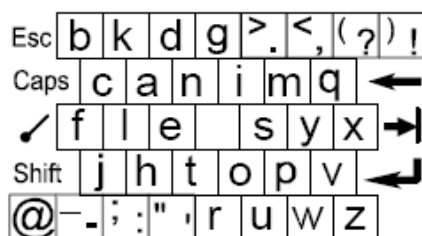
รูปที่ 2.15 แสดงค่าประสิทธิภาพหลังกำหนดสัมประสิทธิ์

จากรูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่าค่า IP ที่มีค่าเท่ากับ 4.9 นั้นมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็งนั้นมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่า IP อื่น ๆ จากงานวิจัยดังกล่าวจึงได้มีการสรุปว่า ค่าสัมประสิทธิ์ IP ที่มีค่าเท่ากับ 4.9 นั้นเหมาะสมที่สุด

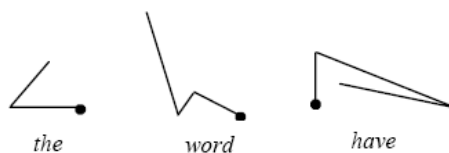
3.2 Zhai, Kristensson, Shorthand Writing on stylus keyboard

กล่าวถึงการแทนสัญลักษณ์ด้วยคำ หรืออักษรตามแนวการลากของปากกาชนิดแข็ง โดยวัดจากจุดเริ่มต้นที่วางปากกากับจุดสุดท้ายที่ปากกาหยุด และแทนด้วยคำ ตามรูปแบบที่

กำหนดไว้ โดยสามารถใช้ได้กับแป้นพิมพ์แบบ QWERTY และ ATOMIK ทำให้การพิมพ์ทำได้รวดเร็วมากขึ้นดังรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 แป้นพิมพ์แบบ ATOMIK



รูปที่ 2.17 รูปแบบที่ใช้แทนคำต่างๆ ในแป้นพิมพ์ ATOMIK

3.3 นพปฎล เหลืองรุ่งโรจน์, การวิเคราะห์และออกแบบตำแหน่งภาษาไทยบนแผงแป้นพิมพ์

กล่าวถึงการจัดวางตำแหน่งอักขระภาษาไทยบนแผงแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ เพื่อเพิ่มความเร็วในการพิมพ์ โดยการหาค่าความถี่ของอักขระและคู่อักขระภาษาไทย โดยใช้กฎการศึกษาสำนึกเพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งการวางอักขระบนแผงแป้นพิมพ์ โดยการเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่มีอยู่ในปัจจุบันได้เป็นแผงแป้นพิมพ์แบบใหม่ ดังรูปที่ 2.5

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย การวิเคราะห์และออกแบบแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทยสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัสโดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม ในการออกแบบตำแหน่งอักขระสำหรับแป้นพิมพ์เสมือนนี้ จะเลือกเฉพาะอักขระที่ระบุไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเท่านั้น ซึ่งประกอบด้วย พยัญชนะ 44 รูป สระ 21 รูป วรรณยุกต์และตัวเลข 15 รูป เครื่องหมายพิเศษ 13 รูป ดังกล่าวมาแล้วในบทที่ 2

การทำงานของโปรแกรมออกแบบตำแหน่งแป้นพิมพ์เสมือนแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลัก ๆ ได้ 2 ขั้นตอนดังนี้

1. การเก็บรวบรวมค่าความถี่และคู่ความถี่ของอักขระ
2. การออกแบบตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือนโดยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดต่อไป

1. ข้อมูลในการทดลอง

การออกแบบตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือนต้องทราบถึง ความถี่ในการใช้อักขระแต่ละตัวว่าอักขระแต่ละตัวมีความถี่ในการใช้งานสูงมากน้อยต่างกันอย่างไร เพราะในการออกแบบนั้นอักขระที่มีความถี่ในการใช้งานน้อย ก็จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่สะดวกน้อยลงตามลำดับ นอกจากความถี่ของอักขระแต่ละตัวแล้วความถี่ของคู่อักขระก็เป็นข้อมูลที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ต้องใช้ในการออกแบบ จากกฎการออกแบบตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือน ความถี่คู่อักขระมีความสำคัญในการออกแบบเป็นอย่างมาก เพราะค่าความถี่ของคู่อักขระจะถูกนำไปใช้ในสมการเพื่อวัดประสิทธิภาพของแป้นพิมพ์เสมือน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลความถี่ของอักขระและคู่อักขระ โดยสุ่มเอกสารบนเว็บไซต์ที่เผยแพร่ทั่วไป จำนวน 200,000 อักขระ โดยสุ่มคัดลอกเฉพาะอักขระภาษาไทยตอนใดตอนหนึ่งเท่านั้น และจัดเก็บในรูปแบบรหัสแอสกี (ASCII Code) ซึ่งอักขระทั้งหมดจะถูกนับความถี่ของอักขระและคู่อักขระเพื่อใช้ในการออกแบบ

ขั้นตอนการนับความถี่ของอักขระและคู่อักขระนั้น ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการนับ โดยโปรแกรมเริ่มการทำงานจากการอ่านข้อมูลที่เป็นแฟ้มข้อความ (Text file) ซึ่งคัดลอกมาอยู่ในรูปแบบรหัสแอสกีเพื่อเป็นตัวแทนของประชากร (Corpus) ดังรูปที่ 3.1 แล้วทำการเก็บค่าความถี่ของอักขระนั้น ๆ ซึ่งการเก็บค่าถี่มีค่าความถี่ที่ต้องใช้ในการออกแบบ 2 ค่าคือ

1.1 ค่าความถี่ของอักขระแต่ละตัว การเก็บความถี่ทำได้โดยสร้างตารางการเก็บค่าความถี่ขึ้นมาในฐานข้อมูล (Data base) แยกตามอักขระภาษาไทยแต่ละตัว จากนั้นอ่านค่าข้อมูลจากตัวแทนประชากร เมื่ออ่านพบข้อมูลเป็นอักขระตัวใดก็เพิ่มค่าไปที่ละหนึ่ง ให้แก่อักขระตัวนั้นในฐานข้อมูล ทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหมดทั้งข้อมูล ดังตัวอย่างการนับค่าความถี่ของอักขระที่เก็บมาจากกลุ่มตัวอย่างอักขระจำนวน 200,000 ตัว จะได้ความถี่ของอักขระเรียงตามความถี่จากมากไปน้อยดังตารางที่ 3.1

เช้าวันนี้จิบกาแฟแล้วนั่งฟังวิทยุหวังจะได้รับข่าวสารเรื่องการพัฒนาบ้านเมืองกันบ้างกลับได้ยินพูดกันแต่เรื่องขลุ่ยซึ่งเกิดขึ้นสมัยพรรคฝ่ายค้านเป็นรัฐบาลแต่มาถึงวันนี้สมาชิกพรรคนี้กลับหยิบยกขึ้นเป็นประเด็นเขย่าวรัฐบาลสนุกสนานกันดีกว่าสามสิบปีหลังเหตุการณ์ในวันนั้นประชาธิปไตยมีวาสนากลับมาเป็นรัฐบาลอีก๒ครั้งแต่ก็ไม่ได้ดำเนินการชำระประวัติศาสตร์สืบสวนราวเรื่องให้ผู้คนทราบทำไมพรรคของตนจึงปล่อยให้เหตุการณ์อย่างนั้นเกิดขึ้นมาได้ยังไงกัน? ทั้งๆที่ในขณะนั้นหัวหน้าพรรคประชาธิปไตยก็ดำรงตำแหน่งนายกรัฐมนตรีมีอำนาจเต็มทีในบริหารบ้านเมืองร่วมกับสมาชิกพรรคคนอื่นๆแต่ล้มเหลวในการจัดการกับปัญหาหรือเปล่า? ผู้คนในบ้านเมืองนี้ถึงลุกขึ้นมาห้าห้ากันมาวันนี้พรรคนี้หอนางธรณีกลับพูดของตัวเองว่าใครทำสำคัญที่เป็นเจ้าหน้าที่ซึ่งชำระระดับเหตุที่ยังมีชีวิตและสุขภาพดีพร้อมที่จะมาให้สัมภาษณ์กับผมด้วย(ติดต่อไปแล้ว)นอกจากนั้นพวกที่หนีเข้าป่าไปร่วมกับกองกำลังคอมมิวนิสต์ซึ่งในที่สุดก็พ่ายแพ้แบบราบคาบยอมจำนนวางอาวุธกลับออกมามอบตัวกับทางพรรคให้ปากคำและมีการบันทึกไว้อย่างชัดเจนทุกคนเช่นใครเข้าป่าไปเพราะใคร? คนไหนเคยฆ่าเจ้าหน้าที่ของรัฐบ้าง? ทำไมถึงออกมามอบตัวกับฝ่ายบ้านเมือง? และเมื่อออกมาแล้วทางพรรคก็ปล่อยให้ไป

.....

กับท่านผู้นำฝ่ายค้านด้วยรับรองด้วยชื่อ"วาทะตะวัน"ว่าจะลงมือบรรเลงหนังสือของตัวเองออกมาวิจารณ์เปิดโปงเบื้องหลังครั้งนี้ด้วยตนเองไม่ยอมให้คนอื่นร่วมเขียนด้วยแน่ๆ! จะเอาให้ดังสนั่นลั่นประเทศแบบ"รัตทำมะนวยฉบับหัวคุณ"ที่รำลือกันยังไม่เลิกแต่งงานเขียนของผมนะออกมามีหน้าตาอย่างไรนั้นตัวใครตัวมาช่วยแถลงผลงานคมชแทนให้! เลยอ้ออิงไปทั้งประเทศกลายเป็นที่ถูกอกถูกใจของนักการเมืองถึงกับชื่อไปแจกสมาชิกพรรคกันแถมพรรคที่แจกหนังสือของผมนะยังดันชนะการเลือกตั้งแบบท่วมท้นเสียดวงใจฝ่ายตรงข้ามเข้าไปอีกบางคนบอกว่าหนังสือนี้สร้างความ"เฮง"มาให้แท้ๆเอาไปแจกหน่อยเดียวชนะเลือกตั้ง

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลประชากรบางส่วน

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างค่าความถี่ของอักขระเรียงจากมากไปน้อย (ดูเพิ่มเติมภาคผนวก ก)

รหัสแอสกี	ความถี่
210	14652
185	12674
195	9716
232	9601
205	9042
161	8490
167	8023
224	7900
:	:
:	:
47	3
172	1
237	1
163	0

1.2 ค่าความถี่ของคู่อักขระ (Digraph) การนับจะนับอักขระทีละคู่โดยจะจับคู่อักขระที่อยู่ติดกัน 2 ตัวเป็น 1 คู่ เช่น อักขระตัวแรกก็จะจับคู่กับอักขระตัวที่ 2 อักขระตัวที่ 2 ก็จะจับคู่กับอักขระตัวที่ 3 อักขระตัวที่ 3 ก็จะจับคู่กับอักขระตัวที่ 4 เรื่อยไปจนกระทั่งหมดทั้งข้อมูล การนับความถี่ของคู่อักขระทำได้โดยการสร้างตารางเก็บค่าความถี่ขึ้นมาในฐานข้อมูล เก็บแยกตามคู่อักขระทั้งหมดที่เป็นไปได้ในอักขระภาษาไทย รวมทั้งตัวอักขระที่ซ้ำกันด้วย เมื่ออ่านพบอักขระคู่ใดก็เพิ่มค่าที่ 1 ให้กับคู่อักขระนั้นในฐานข้อมูล ทำซ้ำไปเรื่อยจนกระทั่งหมดทั้งข้อมูล ตัวอย่าง ดังตัวอย่างการนับค่าความถี่อักขระที่เก็บมาจากอักขระจำนวน 200,000 ตัว จำได้ความถี่ของคู่อักขระเรียงตามความถี่จากมากไปน้อยดังตารางที่ 3.2 เนื่องจากอักขระภาษาไทยที่ใช้ในแป้นพิมพ์แบบมาตรฐานประกอบไปด้วยอักขระจำนวน 93 ตัว ซึ่งก็ต้องมีตำแหน่งบนแผง

แป้นพิมพ์เสมือนจำนวน 93 ตำแหน่ง ซึ่งจะรูปแบบของการเข้าคู่ทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน $93 \times 93 = 8,649$ (รวมทั้งการกดอักขระซ้ำด้วย)

ตารางที่ 3.2 ค่าความถี่คู่อักขระเรียงจากมากไปน้อย (ดูเพิ่มเติมภาคผนวก ข)

รหัสคู่แอสกี	ความถี่
232210	2755
205167	2315
210195	1795
213232	1716
210185	1601
183213	1583
232205	1548
233210	1499
195208	1399
:	:
:	:
162169	14
20541	1
20263	0
203189	0

2. การออกแบบตำแหน่งอักขระด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ในส่วนของ การออกแบบตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือนโดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมนั้น ได้มีการปรับปรุงขั้นตอนวิธีดังกล่าวเพื่อให้เหมาะสมกับปัญหาดังต่อไปนี้

2.1 ประชากรแต่ละตัวคืออักขระความยาว 99 ตัวอักษร เหตุที่ใช้ 99 ตัวนั้น เพื่อให้สอดคล้องกับการจัดวางตำแหน่งและรวมตัวที่เป็นแป้นว่างเอาไว้ด้วย โดยอักขระในสายแต่ละตัวคืออักขระที่จัดเรียงบนแป้นพิมพ์เสมือน และตำแหน่งอักขระในสายอักขระแต่ละตำแหน่งก็

แทนตำแหน่งในแป้นพิมพ์เสมือนแต่ละแป้น ดังนั้นตัวอักษรหนึ่ง ๆ ในสายอักขระใด ๆ จะไม่ซ้ำกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2

ประชากรตัวที่ 1	1	2	3	3	5	6	.....	96	97	98	99
	161	162	163	164	165	166	.....	168	169		
ประชากรตัวที่ 2	1	2	3	3	5	6	.....	96	97	98	99
	172			175	176	177	.....	179	180	181	182
ประชากรตัวที่ 3	1	2	3	3	5	6	.....	96	97	98	99
	183	184		186	187	188	.....	190	191		193
ประชากรตัวที่ 4	1	2	3	3	5	6	.....	96	97	98	99
	194	195		199	200	201	.....	203	204	205	206

รูปที่ 3.2 แสดงข้อมูลตัวอย่างประชากรแต่ละตัว

2.2 การกลายพันธุ์กระทำโดยสุ่มตำแหน่งในสายอักขระมาสองตำแหน่ง จากนั้นก็ สลับข้อมูลหรืออักขระ ระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งนั้น จะทำอย่างนี้ 5 ครั้งต่อการกลายพันธุ์ 1 ครั้งดังแสดงที่รูป 3.3

จากรูปที่ 3.3 การกลายพันธุ์ชุดแรกสุ่มตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 4 ชุดที่สองได้ ตำแหน่งที่ 96 และ ตำแหน่งที่ 98 เมื่อได้ตำแหน่งที่สุ่มมาแล้วก็ทำการสลับข้อมูลทั้งสองกัน

ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	.....	96	97	98	99
ข้อมูลก่อนการกลายพันธุ์	161	162	163	164	165	166	.....	168	169		
ข้อมูลหลังการกลายพันธุ์	161	164	163	162	165	166	.....		169	168	

รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการกลายพันธุ์จากการสุ่มตำแหน่งของอักขระ

2.3 ตัวแปรของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมดังต่อไปนี้

2.3.1 ประชากรในแต่ละรุ่นมีจำนวน 5,000 ตัว

2.3.2 จำนวนรุ่นของการวิวัฒนาการคือ 400 รุ่น

2.3.3 ฟังก์ชันหาค่าความเหมาะสม (Fitness function) ซึ่งเมื่อส่งสายอักขระหรือประชากรตัวหนึ่งให้จะได้ค่าความเหมาะสมของประชากรตัวนั้นกลับมา

สมการที่ 2.2 คือสมการค่าความเหมาะสมของปัญหา¹ จากสมการเราได้กำหนดตัวแปรดังนี้เป็นค่าคงที่ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และคำนวณผล และนำไปสู่การแก้ปัญหาได้โดยรวดเร็วและถูกต้อง

กำหนดให้

$$W_j = 1 \text{ หน่วย}$$

$$IP = 4.9 \text{ หน่วย}$$

ส่วนค่า D_{ij} สามารถหาได้จากทฤษฎีพีทาโกรัส ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,10	1,11
2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	2,10	2,11
3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	3,10	3,11
4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	4,10	4,11
5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	5,10	5,11
6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	6,10	6,11
7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	7,10	7,11
8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	8,10	8,11
9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	9,10	9,11

รูปที่ 3.4 แสดงการหาตำแหน่งระยะการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็ง

จากรูปจะเห็นได้ว่าการหาค่าระยะทางการเคลื่อนที่จากจุด 3, 4 มายังจุด 6, 6 นั้น จะใช้ทฤษฎีพีทาโกรัส ดังนี้

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \tag{3.1}$$

แทนค่า

$$3.60 = \sqrt{(|3 - 6|)^2 + (|4 - 6|)^2}$$

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าที่เวลารวมโดยใช้ประชากรตัวอย่าง 2000 ตัวและใช้
 แป้นพิมพ์รุ่นวิวัฒนาการที่ 350 ของการคำนวณโดยขั้นตอนพันธุกรรม

$$33046235.7111 = \sum_{i=1}^{2000} \sum_{j=1}^{2000} \frac{P_{ij}}{4.9} \left[\text{Log}_2 \left(\frac{3.60}{1} + 1 \right) \right]$$

$$t = 33046235.711$$

2.3.4 ฟังก์ชันการคัดเลือก (Selection function) ที่ใช้เป็นแบบเลือก
 เฉพาะชั้นยอด (Elites selection) คือเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยไล่เรียงจากค่าที่น้อยที่สุดไปหา
 ค่าที่มากขึ้นเรื่อยจนครบจำนวนประชากรในแต่ละรุ่น

2.3.5 อัตราการไขว้เปลี่ยน 0%

2.3.6 อัตราการกลายพันธุ์ 90%

จากข้อมูลตัวอย่าง 5000 ตัว เพราะฉะนั้น 90% ของ 5000 ตัว เท่ากับ 4500 ตัว

2.3.7 อัตราการสืบพันธุ์ 10%

จากข้อมูลตัวอย่าง 5000 ตัว เพราะฉะนั้น 10% ของ 5000 ตัว เท่ากับ 500 ตัว

สาเหตุที่ไม่มีการไขว้เปลี่ยนเลยนั้น เนื่องมาจากการไขว้เปลี่ยนอาจจะทำให้เกิด
 รูปแบบของแป้นพิมพ์ที่ไม่ถูกต้อง เช่น แป้นพิมพ์ที่มีอักขระซ้ำกัน หรือแป้นพิมพ์ที่มีอักขระไม่ครบ

เนื่องจากขั้นตอนการหาผลเฉลยโดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม นั้นจะใช้ฟังก์ชันการ
 สุ่มเป็นส่วนใหญ่ การดำเนินการของโปรแกรมจึงจำเป็นต้องทำเป็นจำนวนหลายครั้งเพื่อให้เชื่อมั่น
 ผลที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการโปรแกรมเป็นจำนวน 20 ครั้ง ผลที่ได้คือแบบของตำแหน่ง
 อักขระภาษาไทยบนแป้นพิมพ์เสมือน ที่แตกต่างจากแบบตำแหน่งเดิมที่มีอยู่เดิม (แบบเกษมณี
 และแบบปัตตะโชติ) ดังรูปที่ 3.5

๕	น	ร	'	๓	๐	ง	เ	๗	)	ม
๑	ว	๙	?	๓	๔	ท	๙	ค	บ	ฒ
๕๕	๖	๖	๑	๖	๗	๗	“	.	ใ	ณ
๑	๗	๑	๑	๓	๙	๓	วรรค	.	๓	
		๗		๗	๑	๓	ฟ	๕	อ	ฝ
ก	๒	๙	(	๓	๒	๓	๓	๗	ท	ด
ล	ฮ	๓	๓	-	๒	+	๓	๗	,	พ
แ	๙	พ	๗	๙	/	๗	๗	๗	๑	๗
ผ	๒	'	๓	๖		ณ	ณ	๓		๗

รูปที่ 3.5 ตำแหน่งอักขระภาษาไทยบนแป้นพิมพ์เสมือนที่ออกแบบโดยชั้นตอนพันธุกรรม

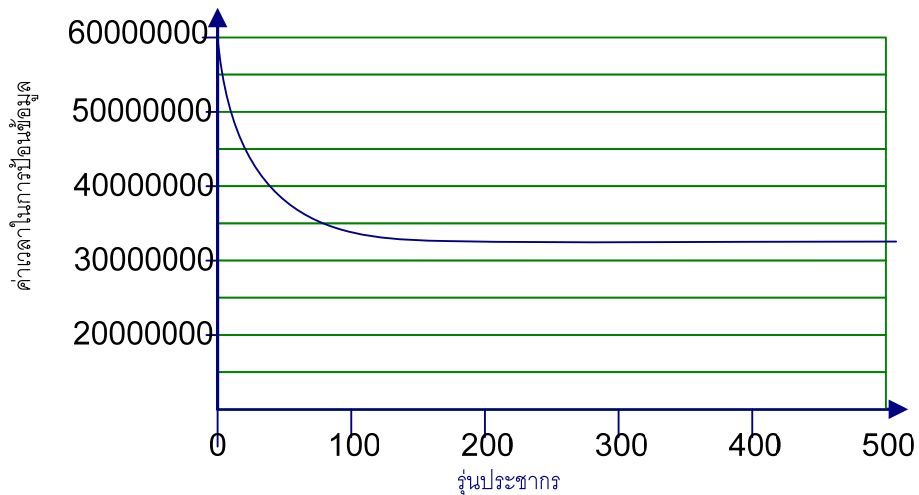
บทที่ 4

การทดสอบวัดประสิทธิภาพแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทย

ในบทนี้จะนำเสนอการวัดประสิทธิภาพของ แบบตำแหน่งอักขระภาษาไทยบนแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทย เพื่อเปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งอักขระที่ออกแบบโดยหลักการดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 กับแบบตำแหน่งอักขระที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันคือ แบบเกษมณีและแบบปัตตะโชติ ในการวัดประสิทธิภาพจะใช้อัตราการเคลื่อนโดยรวมของปากกาชนิดแข็งที่เคลื่อนที่ไปบนแป้นพิมพ์แต่ละแป้น

1. ผลการวิเคราะห์การออกแบบแป้นพิมพ์เสมือน

วิวัฒนาการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในรอบดำเนินการโปรแกรมที่ได้ผลเฉลี่ยที่ดีที่สุด จะเห็นว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถสร้างแป้นพิมพ์เสมือนที่ดีขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 100 รุ่นแรกของการวิวัฒนาการแต่หลังจากนั้นผลเฉลี่ยที่ได้ก็ดีขึ้นอย่างช้าๆ โดยการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละรุ่นที่พัฒนา จากนั้นนำค่าเฉลี่ยมาเขียนกราฟเพื่อดูวิวัฒนาการของแต่ละรุ่น ดังแสดงเป็นกราฟเส้นในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงแนวโน้มค่าในการป้อนข้อมูลระหว่างการวิวัฒนาการ

รูนที่ 1	ค่าเวลาเฉลี่ย	1	2	3	3	5	6	.....	96	97	98	99
	60011454.99697	210	172	195	232	205	161	.....			171	

รูนที่ 50	ค่าเวลาเฉลี่ย	1	2	3	3	5	6	.....	96	97	98	99
	60000012.17219	210	185	195	232	205	161	.....			

รูนที่ 100	ค่าเวลาเฉลี่ย	1	2	3	3	5	6	.....	96	97	98	99
	40000012.17219	210	185	195	232	205	161	.....			

รูนที่ 150	ค่าเวลาเฉลี่ย	1	2	3	3	5	6	.....	96	97	98	99
	40000012.17219	210	185	195	232	205	161	.....			171	

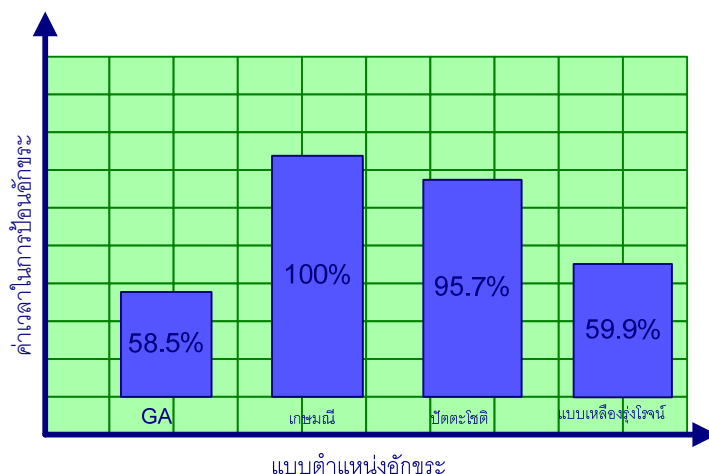
รูนที่ 250	ค่าเวลาเฉลี่ย	1	2	3	3	5	6	.....	96	97	98	99
	33911649.5286	192	185	232	245	205	240	.....	179		171	201

รูนที่ 350	ค่าเวลาเฉลี่ย	1	2	3	3	5	6	.....	96	97	98	99
	33046235.7111	209	185	195	232	169	161	.....	173	184		201

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างค่าเวลาเฉลี่ยของประชากรแต่ละรูน (ดูเพิ่มเติมภาคผนวก ค)

2. ผลการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่รวมของปากกานิดแข็ง

จากผลการทดลองผู้วิจัยได้ทดลองเปรียบเทียบ ค่าเวลารวมในการเคลื่อนที่ของปากกานิดแข็งโดยใช้สมการที่ 2.2 ดังที่กล่าวมาแล้ว ระหว่างแป้นพิมพ์เสมือนแบบใหม่ กับแป้นพิมพ์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันได้แก่ แบบเกษมณีและปัตตโชติ โดยใช้ข้อมูลในการทดสอบเป็นอักขระ 200,000 อักขระ การทดสอบกระทำในรูปแบบการจำลอง (Simulation) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการทดสอบ เริ่มจากการอ่านค่าอักขระทดสอบทีละ 1 อักขระ จากจำนวน 200,000 อักขระ ตรวจสอบอักขระว่าอยู่ที่ตำแหน่งใดบนแป้นพิมพ์เสมือน จากนั้นก็หาเวลารวมในการเคลื่อนไปทีตำแหน่งต่าง ๆ ตามรูปแบบของอักขระตัวอย่างที่นำเข้ามาจนความจำนวน 200,000 อักขระ ทำอย่างนี้กับแป้นพิมพ์แบบใหม่ แป้นพิมพ์แบบเกษมณี แบบปัตตโชติ และแบบใหม่ ได้เป็นผลสรุปตามกราฟแท่งในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าในการป้อนอักขระในแบบต่างๆ

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างค่าเวลาเฉลี่ยของการวัดประสิทธิภาพแต่ละแบบ

แบบแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทย	ค่าเวลาเฉลี่ย	อัตราร้อยละ
GA	33046235.7111	58.5
เกษมณี	56523579.0914	100
ปัดตะโชติ	54093299.6390	95.7
แบบเหลืองรุ่งโรจน์	33911649.5286	59.9

จากกราฟแสดงให้เห็นค่าเวลาในการป้อนอักขระ ซึ่งบงบอกถึงประสิทธิภาพของแป้นพิมพ์เสมือนแต่ละแบบได้อย่างชัดเจน ดังค่าที่แสดงในรูปที่ 4.3 ค่าเวลารวมในการป้อนข้อมูลของแบบที่ดีที่สุดคือค่าที่น้อยที่สุดนั่นเอง จากกราฟจะเห็นว่าค่าเวลารวมของแป้นพิมพ์เสมือนแบบที่ออกแบบโดยขั้นตอนพันธุกรรมนั้นมีค่าเวลารวมเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 58.5 แบบเกษมณีมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 แบบปัดตะโชติมีค่าเท่ากับร้อยละ 95.7 และแบบใหม่ร้อยละ 59.9 ซึ่งแบบที่ออกแบบแป้นพิมพ์เสมือนโดยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เป็นค่าที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบบอื่น ๆ

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และออกแบบ การจัดวางตำแหน่งอักขระ ภาษาไทยบนแป้นพิมพ์เสมือนสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัส โดยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เพื่อเพิ่มความเร็วในการป้อนข้อมูลอักขระภาษาไทยผ่านทางปากกาชนิดแข็ง ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์เอาหลักการที่ได้มีผู้ศึกษาและวิจัยมาแล้วมาใช้กับแป้นพิมพ์ ภาษาไทย ซึ่งแบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้มีหลักในการออกแบบที่ไม่ชัดเจนเป็นเพียงนำแป้นพิมพ์ ที่ใช้ในแป้นพิมพ์ดีดหรือแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ มาใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัส จึงทำให้การ ป้อนข้อมูลค่อนข้างช้าอยู่มาก

จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในการ ออกแบบตำแหน่งอักขระภาษาไทยบนแป้นพิมพ์เสมือน สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัส สามารถทำให้ป้อนข้อมูลผ่านแป้นพิมพ์เสมือนรวดเร็วขึ้น เมื่อเทียบกับเกษมณีได้ถึงร้อยละ 16.20 ร้อยละ 12.60 เมื่อเทียบกับแบบปัตตะโชติ และร้อยละ 10.28 เมื่อเทียบกับแบบใหม่

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพดังกล่าวข้างต้น เป็นการเปรียบเทียบเชิงปริมาณที่ ให้ผลเป็นจำนวนที่ชัดเจนว่าแตกต่างกันมากเพียงใด ซึ่งค่าเวลารวมของการเคลื่อนที่ของปากกา ชนิดแข็งจะใช้เวลาประมาณค่าด้วยการคำนวณ ปัญหาที่มีในการวัดระยะทางนี้ก็คือการที่ไม่ สามารถวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็งจริง ๆ ได้ทั้งนี้เพราะระยะทางจริงย่อมขึ้นอยู่กับ พฤติกรรมของการป้อนข้อมูลของแต่ละคน และยังขึ้นอยู่กับขนาดของแป้นพิมพ์ที่มีขนาดและ รูปร่างแตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้การหาค่าเฉลี่ยระยะทางระหว่างแป้นแต่ละแป้น แทน ระยะทางการเคลื่อนที่ของปากกาจริง ๆ ทำให้ค่าที่คำนวณออกมานั้นเป็นระยะทางสัมพัทธ์ซึ่ง สามารถใช้ในการเปรียบเทียบแป้นพิมพ์แต่ละแบบได้เท่านั้น

การที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการพิมพ์โดยการออกแบบแป้นพิมพ์เสมือนใหม่นั้น สิ่งที่เราคาดหวังว่าจะได้รับก็คือทำให้ผู้ใช้ สามารถป้อนข้อมูลได้รวดเร็วขึ้นและเกิดการป้อนข้อมูลผิดพลาด ที่น้อยลง ถึงแม้ว่าในงานวิจัยนี้ไม่สามารถที่จะทดสอบถึงโอกาสที่ผู้ใช้จะป้อนข้อมูลผิดพลาด เนื่องจากการจัดวางตำแหน่งอักขระไว้ตามตำแหน่งต่าง ๆ ก็ตาม แต่จากการศึกษาของผู้วิจัยแล้ว พบว่าการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็งที่น้อยลง ก็จะทำให้การป้อนข้อมูลผิดพลาดน้อยลงไปด้วย

แม้ว่าข้อสรุปนี้จะไม่มีความสำคัญที่แน่ชัด และยังไม่มีความชัดเจนในการตรวจสอบ ก็คงจะบอกได้เพียงว่าเป็นความเห็นของผู้วิจัยเพียงผู้เดียว และผู้วิจัยก็หวังว่าในอนาคตจะมีการวิจัยที่สามารถวัดหรือตรวจสอบเรื่องเหล่านี้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานวิจัยที่สร้างขึ้นสำหรับภาษาไทยโดยเฉพาะ จากประสบการณ์ของผู้วิจัยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้มีไม่มากนัก และส่วนใหญ่เป็นการศึกษาโดยใช้ภาษาอังกฤษเป็นหลัก ซึ่งลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันระหว่างภาษาไทยกับภาษาอังกฤษ ทำให้ข้อมูลหรือผลงานวิจัยของต่างประเทศซึ่งส่วนใหญ่เป็นภาษาอังกฤษหรือภาษาที่ใกล้เคียง ใช้ประโยชน์ในการประยุกต์กับภาษาไทยได้ไม่เต็มที่

2. ข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัยนี้รวมทั้งผลที่ได้จากงานวิจัย ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นจุดที่น่าสนใจและมีส่วนที่ควรปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมหลายประการ ซึ่งเห็นว่าน่าจะนำมากล่าวไว้ในบทนี้ เพื่อให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้นหรืออาจจะสามารถทำเป็นงานวิจัย ในแง่มุมใหม่ต่อไปโดยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะประโยชน์ต่อท่านผู้อ่านและท่านที่สนใจในเรื่องต่อไปนี้

2.1 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการออกแบบตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทยโดยวิธีพันธุกรรมนั้น สามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ แต่กลับต้องใช้เวลาในการค้นคำตอบค่อนข้างนาน เพราะข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบมีปริมาณมาก ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งจะมีวิธีการใหม่ ๆ สำหรับการทดสอบที่ดีกว่าการใช้ข้อมูลทดสอบเป็นจำนวนมาก

2.2 แม้ว่าในงานวิจัยใช้การออกแบบด้วยปัจจัย คือระยะทางการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็ง ซึ่งสิ่งนี้ควรคำนึงถึงด้วยก็คือการออกแบบที่ทำให้การป้อนข้อมูลมีโอกาสผิดพลาดได้น้อยลง การศึกษาในแง่มุมนี้ค่อนข้างจะออกนอกสาขาคอมพิวเตอร์อยู่มาก เนื่องจากเป็น การศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของมนุษย์ ที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ก็คือเป็นการศึกษาพฤติกรรมของมนุษย์กับอุปกรณ์ป้อนข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพาเท่านั้น อย่างไรก็ตามหากจะศึกษาเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ต่อไปก็คงไม่สามารถหลีกเลี่ยงการศึกษาที่จะต้องนำมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยได้ ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่าควรมีการศึกษาเรื่องนี้เพิ่มเติมเพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

2.3 ผู้วิจัยมีความเห็นว่างานวิจัยนี้หากยังคงมองในแง่มุมเดิมต่อไปก็คงจะถึงทางตันในไม่ช้า จากการที่ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยนี้มากก็พบว่าถึงแม้จะพยายามจัดตำแหน่งอักขระให้ดีขึ้น ก็ไม่สามารถกล่าวได้ว่าตำแหน่งอักขระที่จัดในงานวิจัยนี้เป็นแบบที่ดีที่สุด แต่ผู้วิจัยสามารถ

กล่าวได้ว่าก็ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานี้ แต่จากผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าการจัดตำแหน่งอักขระเสียใหม่นั้นไม่ใช่ทางออกที่ดีที่สุด แต่ยังมีวิธีอื่นที่จะเป็นการแก้ปัญหาได้ดีกว่า เช่น เครื่องมือในการป้อนข้อมูลอักขระเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยไม่ต้องใช้ปากกาชนิดแข็ง เป็นต้น

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยก็หวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อท่านผู้อ่านและท่านที่สนใจ ที่จะศึกษาและวิจัยการแก้ปัญหาความเร็วในการป้อนข้อมูลประเภทอักขระภาษาไทย เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าไม่ว่าวิทยาการในด้านคอมพิวเตอร์จะมีการพัฒนาไปมากเพียงใดปัญหาดังกล่าวก็ยังคงอยู่และเป็นสิ่งที่จะต้องมีการศึกษาเพื่อแก้ไขปัญหานี้ต่อไปในอนาคต

รายการอ้างอิง

- [1] นพปฎล เหลืองรุ่งโรจน์. 2542. การวิเคราะห์และออกแบบตำแหน่งภาษาไทยบนแผงแป้นพิมพ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์. 2538. การกำหนดอักขระไทยบนแผงแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์. มอก. 820:2538
- [3] สฤชดี ปัตตะโชติ. (ม.ป.ป.). : แผนภาพและการพิมพ์ของวิชาการ กรมชลประทาน.
- [4] Goldberg, D. E. "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley, 1989.
- [5] Holland, J. H. "Adaptation in Natural and Artificial Systems", The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, 1975.
- [6] MacKenzie, I. S., & Zhang, S. X. The design and evaluation of a high-performance soft keyboard. Proceedings of the CHI 99 Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.25-31. Year of Publication: 1999
- [7] Per-Ola Kristensson, Shumin Zhai. Shorthand Writing on Stylus. CHI, 2003: pp.97-104.
- [8] MacKenzie, I.S. and R.W. Soukoreff. Text entry for mobile computing Models and methods theory and practice. Human-Computer Interaction, 2002: pp.147-198.
- [9] Perlin, K. Quikwriting. Continuous Stylus-based Text Entry. Proc. ACM UIST, Tech. Note. 1998: pp. 215 - 216.
- [10] Zhai, S., A. Sue, and J. Accot. Movement Model, Hits Distribution and Learning in Virtual Keyboarding. Proc. CHI, 2002: pp.17-24.
- [11] Tappert, C.C.. Cursive Script Recognition by Elastic Matching. IBM Journal of Research & Development, 1982: pp. 756-771.
- [12] Zhai, S., B.A. Smith, and M. Hunter. Performance Optimization of Virtual Keyboards. Human-Computer Interaction. 2002: pp.229-270.
- [13] Konstantin Boukreev. Genetic Algorithm and Traveling Salesman Problem. September 27: 2001.
- [14] Goldberg, D. and C. Richardson. Touching-typing with a stylus. Proc. INTERCHI. Amsterdam, 1993: pp. 80-87.

- [16] Goldberg, D. and C. Richardson. Touching-typing with a stylus. Proc. INTERCHI. Amsterdam, 1993: pp. 80-87.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ความถี่ของอักขระภาษาไทยจากกลุ่มอักขระตัวอย่าง 200,000 ตัว

รหัสแอสกี	อักขระ	ความถี่
210	า	14652
185	น	12674
195	ร	9716
232	'	9601
205	อ	9042
161	ก	8490
167	ง	8023
224	เ	7900
233	๒	7619
209	๖	7140
193	ม	6807
194	ย	6143
199	ว	5633
213	๙	5147
183	ท	4741
180	ด	4462
203	ห	4173
197	ล	4163
181	ต	3859
164	ค	3676
186	บ	3569
187	ป	3525
208	๕	3393
202	ส	3192
212	๐	3083
168	จ	3011
228	ไ	2988
225	แ	2712
190	พ	2502
162	ช	2439
215	๙	2272
227	ใ	2194
231	๙	2185
170	ช	2089
217	๒	1808
216	๑	1581
211	๑	1512
236	๙	1165
188	ผ	1151
214	๙	1148

รหัสแอสกี	อักขระ	ความถี่
182	ถ	916
226	โ	866
200	ศ	657
179	ณ	619
173	ญ	574
184	ธ	520
171	ช	483
201	๒	443
230	๑	354
192	ภ	339
176	ฐ	310
191	ฟ	302
245	๕	230
169	ฉ	210
189	ฝ	193
240	๐	186
242	๒	153
207	๑	125
40	(	121
41	)	118
175	ฎ	105
241	๑	96
63	?	95
243	๓	94
234	๗	93
174	ฏ	78
244	๙	73
206	ฮ	70
249	๙	64
196	ฤ	61
45	-	60
178	ฌ	38
235	*	32
246	๖	31
44	,	25
166	ฃ	21
204	ฬ	21
247	๗	19
248	๘	17
34	"	16

รหัสแอสกี	อักขระ	ความถี่
177	ท	12
218	.	4
47	/	3
172	ณ	1
237	°	1
163	ช	0
165	ศ	0
229	ๆ	0
198	ภ	0
223	฿	0
39	'	0
46	.	0
32	วรรค	0

ภาคผนวก ข

ความถี่คู่อักษรภาษาไทยจากอักขระกลุ่มตัวอย่าง 200,000 ตัว

คู่อักษร	ความถี่	คู่อักษร	ความถี่	คู่อักษร	ความถี่	คู่อักษร	ความถี่	คู่อักษร	ความถี่
232210	2755	162205	881	224162	572	209199	423	224161	352
205167	2315	232167	880	193215	566	210183	423	232193	317
210195	1795	233205	879	167164	558	185181	421	185203	309
213232	1716	225197	875	233167	556	194185	421	194209	309
210185	1601	187195	832	164185	555	181209	419	181210	308
183213	1583	193232	831	197208	550	185228	418	214232	308
232205	1548	224195	802	161231	549	203193	417	186233	305
233210	1499	228180	798	195215	547	224197	416	209180	304
195208	1399	190195	797	185210	539	194210	412	185227	300
161210	1376	227203	776	208224	528	181212	404	205224	300
210194	1270	227185	774	170210	523	185164	400	186209	292
209185	1259	233199	750	224190	523	167183	399	210228	292
231185	1218	228193	747	197233	520	214167	398	197232	290
185224	1157	181232	732	224205	518	193224	392	213161	290
193210	1147	193213	705	205210	515	210168	392	186210	289
180233	1091	203185	696	232224	503	194161	391	194199	283
195210	1087	228187	680	183232	487	195213	390	183194	282
210161	1081	203233	670	224203	485	167228	389	185199	282
210167	1077	217233	657	185205	484	210170	383	167227	278
209186	1075	185213	649	194232	484	185185	382	195193	277
224187	1073	205161	644	164199	472	168210	378	205205	276
210193	1068	209161	632	203197	472	212180	376	209232	275
215205	1067	205185	627	233224	463	181195	375	210202	273
205194	1023	185183	624	188217	462	183209	374	161199	270
209167	1004	210199	624	224193	460	167185	373	182214	269
187231	986	185161	621	199194	443	183211	373	185202	269
209233	986	210224	618	212185	439	161224	369	167203	268
215232	982	213233	604	180213	435	185225	368	167181	265
185209	962	203210	602	225181	434	199161	366	195224	265
233185	950	161195	600	197210	432	224202	359	185232	262
195209	948	199210	594	195195	431	181233	356	199212	262
161209	947	164195	586	224180	430	205186	356	195205	255
213194	934	167161	580	161197	428	185193	353	167193	253
167224	933	168208	574	197209	427	194224	353	210203	252
199232	884	232185	574	199209	423	195212	352	227168	250

202210	244	216179	205	190199	182	168195	160	202212	139
161201	240	193203	204	225203	182	202205	158	202232	139
186195	240	232194	204	202185	181	181211	157	195182	138
212232	239	161232	203	202216	180	185194	157	185170	137
195233	237	195161	203	183216	179	197215	157	193202	137
210197	237	224164	203	185212	179	232202	157	186187	136
205193	235	185162	201	161212	177	233183	155	194212	136
194217	233	210227	200	193185	177	194164	154	162213	135
210180	233	233161	200	162214	176	164197	153	164215	135
167205	232	170232	199	170215	176	194225	153	167188	135
185195	232	197205	199	203209	176	164211	152	168161	135
167195	231	180224	198	205195	176	167210	152	213164	135
185188	231	186161	198	205209	176	201210	152	224199	135
216161	230	210205	198	209173	176	211195	152	199168	134
183195	229	194205	197	180217	174	232161	152	232164	134
208183	228	210186	197	193205	173	193195	151	233168	132
164216	225	185187	195	194167	172	197194	151	185186	131
185180	223	194236	195	205180	172	161205	150	195179	130
224168	223	209181	195	190215	171	180212	150	161225	129
228183	222	181205	194	209194	171	233225	150	170209	129
167168	221	168185	193	161181	170	199233	148	186186	129
202193	220	185190	193	167199	170	167170	147	208205	129
186205	219	214161	193	180194	170	199167	147	168211	128
183210	217	161164	192	195232	169	213224	147	190210	128
208161	217	170185	192	210190	169	161185	146	208186	128
210164	217	195236	192	217161	169	187213	146	233195	128
233193	216	205213	192	227170	169	205228	146	208203	127
180231	214	208228	192	232227	168	205232	146	180210	126
171214	213	212181	190	161193	167	212161	146	190197	126
202213	213	208193	189	193161	166	203199	145	194216	126
168209	212	194183	187	211224	166	232183	145	195194	126
193209	211	214233	187	208170	165	186183	144	184212	125
197167	211	161183	185	170233	164	190212	144	186164	125
224170	211	185168	185	202215	164	197161	144	193183	125
161161	210	203231	185	195183	163	202211	144	194193	125
195199	210	226180	185	168233	162	195164	143	205202	125
192210	209	211185	184	180209	162	199193	143	217180	125
231168	209	186224	183	187197	162	183184	142	161162	124
202209	208	212167	183	161168	160	164236	140	208185	124
167190	207	233164	183	167187	160	187161	140	232195	124

164232	123	208195	111	208168	102	193228	90	216162	81
179236	123	212186	111	212202	102	194186	90	181185	80
194203	123	161202	110	164194	101	210187	90	195190	80
232225	123	185214	110	167226	101	225185	90	200214	80
194228	122	193181	110	180183	101	231193	90	202167	80
195216	122	199186	110	185208	101	199164	89	205203	80
190217	121	180161	109	199180	101	205227	88	164210	79
216180	121	208164	109	195187	100	212194	88	189232	79
224181	119	232181	109	213199	100	161180	87	200210	79
167180	118	233228	109	216183	100	181197	87	212170	79
203173	118	161228	108	225161	100	181216	87	216193	79
232168	118	212183	108	182210	99	225186	87	211197	78
187209	117	232203	108	197212	99	161213	86	187228	77
194181	117	161203	107	161227	98	164167	86	194162	77
202180	117	170213	107	185226	98	173232	86	205197	77
202217	117	185182	107	180205	97	183233	86	210184	77
216232	117	208181	107	195202	97	233180	86	176186	76
233202	117	212193	107	167230	96	161186	85	180181	76
236224	117	162232	106	202181	96	193190	85	193162	76
193164	116	190205	106	211203	96	194190	85	195225	76
202195	116	205211	106	193233	95	194202	85	205190	76
202199	116	211227	106	232188	94	213183	85	210226	76
224185	116	164205	105	245245	94	161211	84	212195	76
228195	116	180185	105	185197	93	225183	84	226197	76
185211	115	194195	105	195186	93	162209	83	162185	75
191209	115	226195	105	197199	93	186216	83	188197	75
193225	115	164212	104	205183	93	232162	83	193193	75
199197	115	183203	104	185236	92	232190	83	195180	75
225193	115	186202	104	197213	92	233211	83	180203	74
215233	114	236183	104	203232	92	164179	82	182233	74
228199	114	179208	103	212168	92	199203	82	208225	74
210162	113	194227	103	193212	91	224167	82	216185	74
233227	113	167186	102	199183	91	233194	82	225164	74
236161	113	168214	102	199195	91	180211	81	242245	74
164209	112	170205	102	199228	91	183205	81	175212	73
183200	112	170212	102	205225	91	185216	81	187175	73
208202	112	187224	102	210200	91	194180	81	190213	73
231161	112	188232	102	213190	91	205199	81	193168	73
167194	111	195181	102	228203	91	208180	81	197217	73
184195	111	205164	102	233181	91	213193	81	226205	73

161187	72	233186	68	193227	61	186193	54	226181	49
167212	72	170161	67	210179	61	190216	54	180168	48
180162	72	180225	67	210188	61	203194	54	185230	48
180167	72	186228	67	161174	60	211193	54	186180	48
195228	72	193199	67	168190	60	225191	54	186188	48
205181	72	208199	67	173173	60	164233	53	193186	48
211164	72	231224	67	186225	60	168224	53	199162	48
225195	72	193216	66	186227	60	174203	53	199227	48
225202	72	232187	66	187180	60	205212	53	201179	48
233170	72	233188	66	208194	60	231180	53	205162	48
181161	71	168212	65	233203	60	232182	53	225162	48
182217	71	180227	65	161233	59	243240	53	225187	48
195168	71	187225	65	168216	59	161194	52	226164	48
200209	71	195162	65	180164	59	193187	52	227202	48
208190	71	213205	65	205215	59	195200	52	228181	48
211225	71	213225	65	216164	59	202192	52	236202	48
213181	71	186190	64	173210	58	202224	52	161167	47
225190	71	194170	64	184210	58	225188	52	161170	47
231228	71	199225	64	185217	58	225194	52	180193	47
168168	70	212224	64	186162	58	236185	52	187205	47
181194	70	227164	64	187210	58	161188	51	201209	47
186185	70	232186	64	202182	58	161230	51	209190	47
193180	70	236225	64	210201	58	164181	51	161196	46
199205	70	164193	63	213203	58	176184	51	168202	46
200195	70	168205	63	213227	58	180228	51	184205	46
205187	70	190209	63	169186	57	182199	51	188199	46
208187	70	193170	63	194168	57	187183	51	194197	46
211228	70	195231	63	224169	57	195185	51	197185	46
161190	69	209193	63	224188	57	185171	50	199170	46
181236	69	212187	63	225168	57	197183	50	226187	46
197224	69	212199	63	190194	56	213195	50	226194	46
213185	69	212233	63	203181	56	227180	50	236199	46
224194	69	224186	63	232170	56	232180	50	168193	45
233190	69	231181	63	194233	55	233187	50	186181	45
183185	68	205233	62	195227	55	236193	50	188212	45
186203	68	215185	62	213202	55	194215	49	194194	45
197216	68	167182	61	217173	55	199202	49	194187	45
205208	68	179210	61	232226	55	202203	49	199226	45
210182	68	186199	61	167197	54	208226	49	211183	45
217187	68	187212	61	183199	54	209187	49	211205	45

214180	45	197162	41	209202	36	190181	32	186226	29
168227	44	203236	41	211181	36	193167	32	187203	29
171213	44	216167	41	212190	36	194226	32	187233	29
180199	44	216186	41	217197	36	199190	32	194171	29
180202	44	224184	41	225182	36	211199	32	197227	29
199181	44	232243	41	236228	36	216197	32	212201	29
208188	44	236227	41	180197	35	216233	32	212228	29
208197	44	194230	40	182205	35	168225	31	213188	29
216195	44	195170	40	182215	35	168228	31	216168	29
231167	44	201236	40	186168	35	168232	31	231164	29
164217	43	208227	40	191162	35	173212	31	236203	29
171215	43	212197	40	193194	35	180232	31	245244	29
180195	43	180187	39	193208	35	181208	31	161226	28
183212	43	180215	39	197231	35	185200	31	162231	28
193217	43	190200	39	202186	35	185215	31	167171	28
194214	43	212173	39	202214	35	186197	31	169210	28
213170	43	213186	39	213162	35	190186	31	176193	28
217167	43	216173	39	224191	35	195203	31	180170	28
217224	43	224171	39	230183	35	199216	31	186212	28
233162	43	225180	39	233182	35	217193	31	187187	28
236162	43	168183	38	240240	35	232211	31	188180	28
170216	42	169190	38	176210	34	233226	31	190236	28
173203	42	181231	38	180236	34	161171	30	192217	28
181213	42	187202	38	181181	34	168186	30	193192	28
186170	42	190233	38	184200	34	171233	30	197228	28
193197	42	192209	38	187170	34	194182	30	205216	28
208162	42	211161	38	199213	34	194188	30	212184	28
210173	42	162199	37	200185	34	197180	30	215186	28
213187	42	180190	37	210171	34	199187	30	217195	28
213226	42	187227	37	226183	34	208182	30	234161	28
230224	42	205168	37	233197	34	212236	30	161182	27
245240	42	209168	37	179203	33	213168	30	168167	27
167200	41	209183	37	183202	33	227181	30	170242	27
180182	41	212200	37	185184	33	230225	30	185189	27
181202	41	228205	37	185192	33	231194	30	193188	27
183186	41	232197	37	226161	33	162194	29	211202	27
183190	41	236205	37	236164	33	167232	29	212203	27
190183	41	162193	36	164180	32	168203	29	212225	27
190232	41	164164	36	185191	32	173170	29	224192	27
196201	41	189209	36	187199	32	173209	29	230161	27

233191	27	41224	24	191233	21	209170	19	187232	17
161200	26	168180	23	194200	21	209197	19	192205	17
168181	26	170199	23	197202	21	211180	19	193179	17
173224	26	173225	23	197214	21	211190	19	195226	17
176187	26	181227	23	209200	21	212162	19	197195	17
182185	26	182232	23	226193	21	213197	19	197211	17
187182	26	183208	23	232208	21	217181	19	205192	17
190185	26	193226	23	236170	21	224189	19	208184	17
194208	26	200224	23	236187	21	225205	19	209164	17
211162	26	202161	23	161175	20	231190	19	212192	17
211167	26	205182	23	173183	20	168188	18	226170	17
212164	26	211186	23	179181	20	173227	18	226186	17
213228	26	216184	23	179213	20	180226	18	228167	17
236168	26	216194	23	183217	20	182212	18	236207	17
236181	26	224182	23	183236	20	186182	18	162179	16
171212	25	228161	23	184213	20	186213	18	162216	16
181224	25	228162	23	195197	20	187193	18	164213	16
184216	25	168162	22	195214	20	195201	18	164224	16
197187	25	171210	22	199208	20	197181	18	168164	16
202190	25	178185	22	201194	20	200164	18	180171	16
202208	25	194213	22	216226	20	203161	18	181217	16
205170	25	199188	22	230205	20	210191	18	185176	16
205188	25	200212	22	231186	20	216201	18	186217	16
205226	25	200228	22	231205	20	227161	18	189213	16
210207	25	209178	22	236195	20	230185	18	190224	16
213180	25	210192	22	161215	19	236180	18	193171	16
216181	25	228197	22	169197	19	240161	18	193182	16
224200	25	230228	22	170180	19	241249	18	195171	16
226168	25	161216	21	182213	19	161207	17	197197	16
236226	25	161217	21	189233	19	162186	17	197207	16
187181	24	167189	21	190167	19	162236	17	199182	16
187185	24	170193	21	191213	19	167192	17	200183	16
197225	24	179190	21	195188	19	170186	17	201176	16
199199	24	179202	21	197193	19	171205	17	210242	16
200242	24	180180	21	202197	19	179224	17	212227	16
202236	24	184236	21	203217	19	181215	17	213171	16
211188	24	185167	21	204210	19	182193	17	217183	16
217225	24	187168	21	205184	19	186232	17	217185	16
231199	24	187194	21	205191	19	187162	17	226185	16
244249	24	190193	21	205231	19	187190	17	230199	16

233171	16	182197	14	208189	13	21040	12	210189	11
236171	16	182209	14	213204	13	217205	12	211226	11
242240	16	183161	14	215193	13	217228	12	212226	11
40164	16	183193	14	217168	13	228190	12	214193	11
164190	15	18541	14	217202	13	230168	12	216207	11
167167	15	191195	14	226203	13	231183	12	217203	11
167169	15	191205	14	230162	13	231202	12	224206	11
168199	15	194169	14	231162	13	231225	12	225170	11
180216	15	194231	14	232230	13	232189	12	225199	11
181225	15	197170	14	232241	13	232242	12	226188	11
182224	15	197203	14	234208	13	234205	12	226190	11
183183	15	199230	14	236194	13	240187	12	231227	11
183224	15	202228	14	240193	13	240197	12	236188	11
186215	15	203205	14	161189	12	241240	12	242187	11
193200	15	207197	14	161192	12	40224	12	162202	10
193214	15	210243	14	164161	12	63224	12	164183	10
201212	15	211170	14	173164	12	162224	11	164226	10
207183	15	212205	14	179187	12	167184	11	167242	10
208200	15	213230	14	179194	12	168187	11	168170	10
210230	15	233230	14	179225	12	169208	11	170170	10
211182	15	236186	14	180230	12	170173	11	170211	10
211187	15	41225	14	181180	12	174195	11	173193	10
212179	15	164187	13	182182	12	179228	11	179177	10
216187	15	167191	13	182216	12	181186	11	181182	10
216224	15	168213	13	18563	12	185242	11	182194	10
217179	15	170194	13	186184	12	187164	11	183164	10
225171	15	170195	13	187208	12	188185	11	183181	10
231203	15	173205	13	187234	12	190228	11	184224	10
236190	15	179199	13	189195	12	191212	11	185169	10
161208	14	180186	13	190225	12	192212	11	186192	10
161234	14	182161	13	191210	12	193189	11	187216	10
162169	14	18540	13	194184	12	19440	11	190162	10
169209	14	186194	13	195189	12	195211	11	190214	10
170183	14	189214	13	197236	12	197164	11	193191	10
170224	14	190202	13	200162	12	200161	11	199171	10
173161	14	197168	13	200227	12	200168	11	200199	10
179216	14	199236	13	202225	12	200181	11	200213	10
181162	14	200236	13	202233	12	202168	11	200225	10
181164	14	201174	13	203212	12	203167	11	202164	10
181199	14	205214	13	206210	12	207224	11	212182	10

216202	10	200190	9	181188	8	216178	8	193230	7
230164	10	200201	9	181193	8	216188	8	194189	7
230227	10	201161	9	181226	8	216199	8	195184	7
232171	10	201213	9	181234	8	216200	8	196181	7
234167	10	202202	9	182183	8	217171	8	196183	7
235194	10	202226	9	182227	8	224178	8	197171	7
236191	10	203216	9	183225	8	226202	8	197186	7
23641	10	205241	9	186175	8	227189	8	19941	7
44240	10	208169	9	186211	8	236200	8	200170	7
63164	10	213235	9	187171	8	240190	8	200202	7
161191	9	216203	9	187186	8	240249	8	200203	7
162161	9	216234	9	187215	8	40183	8	201224	7
162183	9	228171	9	188194	8	41183	8	201228	7
164202	9	228191	9	190161	8	164186	7	202187	7
166232	9	231195	9	190168	8	164228	7	20241	7
167201	9	232200	9	190227	8	167213	7	205206	7
167241	9	23263	9	192183	8	167243	7	206212	7
16740	9	236197	9	192195	8	168231	7	209179	7
16763	9	240164	9	19341	8	168234	7	209234	7
170197	9	240186	9	194179	8	170202	7	211168	7
171197	9	240224	9	195192	8	171161	7	213234	7
171209	9	242244	9	197226	8	171208	7	216236	7
171236	9	161176	8	199191	8	171216	7	217164	7
173185	9	161184	8	200205	8	176161	7	230186	7
173202	9	162162	8	200216	8	179183	7	230193	7
176213	9	164208	8	201183	8	179185	7	230203	7
179168	9	164225	8	201225	8	181183	7	231187	7
179205	9	164227	8	202162	8	182186	7	233189	7
180192	9	164231	8	202183	8	182190	7	233192	7
182236	9	168169	8	202194	8	183231	7	234180	7
184199	9	168197	8	203180	8	184185	7	23640	7
186171	9	170164	8	205171	8	187217	7	41161	7
187236	9	171180	8	205230	8	187235	7	45225	7
190164	9	173213	8	206215	8	188170	7	63183	7
190203	9	178212	8	207228	8	188215	7	63203	7
191216	9	178232	8	208167	8	190190	7	162168	6
193242	9	179170	8	208192	8	191185	7	162227	6
194192	9	179212	8	213167	8	191215	7	164192	6
19563	9	180169	8	213200	8	191225	7	164214	6
200180	9	181168	8	213241	8	193169	7	164242	6

167166	6	190226	6	164203	5	205234	5	40188	5
167209	6	193231	6	168235	5	20545	5	40202	5
16741	6	194173	6	169161	5	206232	5	40203	5
16745	6	19441	6	169194	5	207202	5	41168	5
168194	6	197182	6	170190	5	207227	5	41171	5
168207	6	197190	6	170203	5	210169	5	41193	5
168226	6	202170	6	171232	5	211194	5	41228	5
169212	6	202176	6	173181	5	212171	5	161235	4
169213	6	205200	6	173187	5	212234	5	16140	4
170208	6	207185	6	175199	5	21240	5	16141	4
170217	6	207190	6	175227	5	214185	5	16145	4
171185	6	208171	6	176197	5	215180	5	162197	4
173162	6	20863	6	176200	5	216190	5	162225	4
173190	6	210241	6	176225	5	216205	5	166195	4
173194	6	212176	6	176236	5	216227	5	166201	4
173228	6	213191	6	179192	5	217170	5	167207	4
176183	6	216204	6	180188	5	217182	5	167246	4
176202	6	217226	6	182164	5	217186	5	169199	4
176205	6	230190	6	182203	5	217199	5	169232	4
176224	6	230202	6	182225	5	217227	5	170181	4
17640	6	230226	6	182228	5	225206	5	170225	4
179161	6	232244	6	184193	5	226206	5	170231	4
179193	6	233200	6	184209	5	230181	5	171167	4
179195	6	235167	6	185173	5	230195	5	171224	4
180191	6	241224	6	185206	5	231182	5	171231	4
180200	6	241244	6	185241	5	232245	5	173169	4
181228	6	241245	6	186191	5	233169	5	173180	4
183162	6	244240	6	186200	5	235205	5	173197	4
183214	6	245161	6	187200	5	235210	5	175161	4
183215	6	245185	6	189217	5	24040	5	176181	4
184194	6	245224	6	190170	5	24045	5	177212	4
185201	6	245241	6	194211	5	241241	5	177236	4
185231	6	246181	6	195191	5	241187	5	179162	4
186167	6	248240	6	195207	5	242164	5	179226	4
186169	6	45181	6	199179	5	242249	5	179227	4
186231	6	161236	5	200197	5	244181	5	180207	4
18663	6	162181	5	200217	5	245186	5	180214	4
187226	6	162192	5	201208	5	249199	5	181170	4
189210	6	162215	5	202171	5	40180	5	181187	4
190196	6	164162	5	205217	5	40187	5	181190	4

181203	4	210246	4	40169	4	176162	3	197200	3
182168	4	21063	4	40171	4	176164	3	19745	3
183168	4	211171	4	40228	4	176199	3	19940	3
183201	4	212207	4	40242	4	176228	3	201162	3
184161	4	213169	4	40243	4	179186	3	201195	3
184164	4	213189	4	4041	4	180176	3	202184	3
184167	4	213192	4	41162	4	180206	3	202241	3
184186	4	216192	4	41180	4	18040	3	203192	3
186173	4	217162	4	41190	4	18041	3	203214	3
186230	4	217188	4	45202	4	18045	3	203215	3
186248	4	217192	4	45226	4	181214	3	205169	3
187167	4	217230	4	63182	4	182180	3	205173	3
188186	4	225189	4	63188	4	182187	3	205201	3
190180	4	226162	4	63225	4	182195	3	206197	3
192190	4	226166	4	161166	3	182202	3	206209	3
193236	4	226167	4	161243	3	183170	3	206231	3
19345	4	227186	4	161245	3	183180	3	206233	3
195234	4	228170	4	162211	3	183226	3	207168	3
197184	4	228182	4	164188	3	184187	3	207171	3
199169	4	230197	4	164189	3	185207	3	207181	3
199217	4	231170	4	167206	3	185234	3	20740	3
200193	4	231188	4	167211	3	185243	3	208191	3
201193	4	234194	4	167248	3	18545	3	208245	3
201227	4	236182	4	16734	3	186189	3	209184	3
202227	4	240162	4	168171	3	186241	3	210175	3
203187	4	240181	4	168173	3	186245	3	210206	3
203196	4	240185	4	168182	3	188168	3	211189	3
205242	4	241242	4	168192	3	188202	3	211192	3
205245	4	242224	4	168217	3	188209	3	211230	3
206167	4	24241	4	169167	3	188210	3	213182	3
207161	4	24244	4	170171	3	188213	3	213184	3
207164	4	243164	4	17040	3	190182	3	21340	3
207182	4	24341	4	171186	3	190184	3	216170	3
207187	4	244202	4	173168	3	191186	3	216228	3
207194	4	244224	4	173171	3	191197	3	225169	3
207195	4	245183	4	173186	3	191217	3	226171	3
207225	4	246183	4	173192	3	191228	3	226192	3
208241	4	246225	4	173195	3	19363	3	226199	3
20840	4	249171	4	174224	3	194191	3	227194	3
20841	4	40161	4	175200	3	194242	3	228202	3

249183	3	184228	2	247245	2	63186	2	171203	1
249224	3	185166	2	249162	2	63227	2	171211	1
249225	3	185244	2	249187	2	63245	2	171217	1
249228	3	185245	2	249203	2	161169	1	171226	1
249244	3	18547	2	249241	2	161214	1	17140	1
249246	3	186206	2	34183	2	16163	1	172210	1
249247	3	186214	2	34202	2	162190	1	173184	1
24941	3	186234	2	40162	2	162200	1	173199	1
34164	3	186244	2	40168	2	162217	1	173217	1
40205	3	18641	2	40181	2	162226	1	173236	1
40226	3	187191	2	40182	2	16240	1	173242	1
40227	3	187241	2	40186	2	164173	1	17363	1
41164	3	188205	2	40206	2	164196	1	174161	1
41199	3	189167	2	40225	2	167173	1	174162	1
41205	3	189180	2	40241	2	167196	1	174168	1
41226	3	189185	2	41181	2	167244	1	174187	1
45190	3	190179	2	41182	2	167249	1	174202	1
45243	3	190188	2	41185	2	16747	1	174212	1
63190	3	190234	2	41194	2	168191	1	174225	1
63194	3	191171	2	41195	2	168200	1	175183	1
63228	3	191181	2	41202	2	168201	1	175186	1
161179	2	191202	2	41203	2	168215	1	175193	1
161206	2	191224	2	44164	2	168218	1	175197	1
161241	2	191232	2	44187	2	169188	1	175205	1
161242	2	192164	2	44190	2	169193	1	175224	1
161244	2	192194	2	45161	2	169195	1	175225	1
162164	2	192201	2	45170	2	169214	1	176168	1
162180	2	192224	2	45180	2	169216	1	176170	1
162195	2	192236	2	45187	2	169217	1	176171	1
162203	2	193184	2	45194	2	169228	1	176195	1
162228	2	193207	2	45195	2	169233	1	176203	1
164168	2	193248	2	45197	2	170167	1	176227	1
164200	2	19340	2	45205	2	170172	1	177197	1
166210	2	194196	2	45228	2	170187	1	177202	1
166236	2	194206	2	45241	2	170188	1	177210	1
167215	2	194207	2	45245	2	170200	1	177213	1
167245	2	194241	2	45249	2	17044	1	179167	1
167247	2	194243	2	47164	2	17045	1	179171	1
16744	2	195166	2	63181	2	171191	1	179180	1
168184	2	195206	2	63185	2	171199	1	179184	1

246191	1	34203	1	63207	1	162184	0	163161	0
246227	1	34205	1	6334	1	162187	0	163162	0
246240	1	34226	1	6340	1	162188	0	163164	0
246241	1	40170	1	161163	0	162189	0	163165	0
246249	1	40185	1	161165	0	162191	0	163166	0
24644	1	40189	1	161172	0	162196	0	163167	0
24645	1	40193	1	161173	0	162198	0	163168	0
247161	1	40194	1	161177	0	162201	0	163169	0
247162	1	40195	1	161178	0	162204	0	163170	0
247181	1	40199	1	161198	0	162206	0	163171	0
247183	1	41169	1	161204	0	162207	0	163172	0
247185	1	41189	1	161218	0	162208	0	163173	0
247186	1	41192	1	161223	0	162212	0	163174	0
247188	1	41197	1	161229	0	162218	0	163175	0
247193	1	41227	1	161237	0	162223	0	163176	0
247195	1	4444	1	161240	0	162229	0	163177	0
247197	1	44180	1	161246	0	162230	0	163178	0
247224	1	44191	1	161247	0	162234	0	163179	0
247242	1	44195	1	161248	0	162235	0	163180	0
248162	1	44202	1	161249	0	162237	0	163181	0
248170	1	44226	1	16132	0	162240	0	163182	0
248183	1	44244	1	16134	0	162241	0	163183	0
248195	1	44247	1	16139	0	162242	0	163184	0
248205	1	45164	1	16144	0	162243	0	163185	0
248225	1	45173	1	16146	0	162244	0	163186	0
248243	1	45183	1	16147	0	162245	0	163187	0
24845	1	45186	1	162163	0	162246	0	163188	0
249185	1	45191	1	162165	0	162247	0	163189	0
249193	1	45203	1	162166	0	162248	0	163190	0
249195	1	45224	1	162167	0	162249	0	163191	0
249202	1	45242	1	162170	0	16232	0	163192	0
249226	1	47195	1	162171	0	16234	0	163193	0
249240	1	63161	1	162172	0	16239	0	163194	0
249243	1	63162	1	162173	0	16241	0	163195	0
34167	1	63168	1	162174	0	16244	0	163196	0
34170	1	63180	1	162175	0	16245	0	163197	0
34186	1	63187	1	162176	0	16246	0	163198	0
34194	1	63193	1	162177	0	16247	0	163199	0
34195	1	63202	1	162178	0	16263	0	163200	0
34199	1	63205	1	162182	0	163163	0	163201	0

164241	0	165183	0	165227	0	166170	0	163248	0
164243	0	165184	0	165228	0	166171	0	163249	0
164244	0	165185	0	165229	0	166172	0	16332	0
164245	0	165186	0	165230	0	166173	0	16334	0
164246	0	165187	0	165231	0	166174	0	16339	0
164247	0	165188	0	165232	0	166175	0	16340	0
164248	0	165189	0	165233	0	166176	0	16341	0
164249	0	165190	0	165234	0	166177	0	16344	0
16432	0	165191	0	165235	0	166178	0	16345	0
16434	0	165192	0	165236	0	166179	0	16346	0
16439	0	165193	0	165237	0	166180	0	16347	0
16440	0	165194	0	165240	0	166181	0	16363	0
16441	0	165195	0	165241	0	166182	0	164163	0
16444	0	165196	0	165242	0	166183	0	164165	0
16445	0	165197	0	165243	0	166184	0	164166	0
16446	0	165198	0	165244	0	166185	0	164169	0
16447	0	165199	0	165245	0	166186	0	164170	0
16463	0	165200	0	165246	0	166187	0	164171	0
165165	0	165201	0	165247	0	166188	0	164172	0
165161	0	165202	0	165248	0	166189	0	164174	0
165162	0	165203	0	165249	0	166190	0	164175	0
165163	0	165204	0	16532	0	166191	0	164176	0
165164	0	165205	0	16534	0	166192	0	164177	0
165166	0	165206	0	16539	0	166193	0	164178	0
165167	0	165207	0	16540	0	166194	0	164182	0
165168	0	165208	0	16541	0	166196	0	164184	0
165169	0	165209	0	16544	0	166197	0	164191	0
165170	0	165210	0	16545	0	166198	0	164198	0
165171	0	165211	0	16546	0	166199	0	164201	0
165172	0	165212	0	16547	0	166200	0	164204	0
165173	0	165213	0	16563	0	166202	0	164206	0
165174	0	165214	0	166166	0	166203	0	164207	0
165175	0	165215	0	166161	0	166204	0	164218	0
165176	0	165216	0	166162	0	166205	0	164223	0
165177	0	165217	0	166163	0	166206	0	164229	0
165178	0	165218	0	166164	0	166207	0	164230	0
165179	0	165223	0	166165	0	166208	0	164234	0
165180	0	165224	0	166167	0	166209	0	164235	0
165181	0	165225	0	166168	0	166211	0	164237	0
165182	0	165226	0	166169	0	166212	0	164240	0

166213	0	167165	0	168206	0	169177	0	4540	0
166214	0	167172	0	168223	0	169178	0	4541	0
166215	0	167174	0	168229	0	169179	0	4544	0
166216	0	167175	0	168230	0	169180	0	4546	0
166217	0	167176	0	168236	0	169181	0	4547	0
166218	0	167177	0	168237	0	169182	0	4563	0
166223	0	167178	0	168240	0	169183	0	4646	0
166224	0	167179	0	168241	0	169184	0	46161	0
166225	0	167198	0	168242	0	169187	0	46162	0
166226	0	167204	0	168243	0	169189	0	46163	0
166227	0	167208	0	168244	0	169191	0	46164	0
166228	0	167214	0	168245	0	169192	0	46165	0
166229	0	167216	0	168246	0	169196	0	46166	0
166230	0	167217	0	168247	0	169198	0	46167	0
166231	0	167218	0	168248	0	169200	0	46168	0
166233	0	167223	0	168249	0	169201	0	46169	0
166234	0	167229	0	16832	0	169202	0	46170	0
166235	0	167231	0	16834	0	169203	0	46171	0
166237	0	167233	0	16839	0	169204	0	46172	0
166240	0	167234	0	16840	0	169205	0	46173	0
166241	0	167235	0	16841	0	169206	0	46174	0
166242	0	167236	0	16844	0	169207	0	46175	0
166243	0	167237	0	16845	0	169211	0	46176	0
166244	0	167240	0	16846	0	169215	0	46177	0
166245	0	16732	0	16847	0	169218	0	46178	0
166246	0	16739	0	16863	0	169223	0	46179	0
166247	0	16746	0	169169	0	169224	0	46180	0
166248	0	168163	0	169162	0	169225	0	46181	0
166249	0	168165	0	169163	0	169226	0	46182	0
16632	0	168166	0	169164	0	169227	0	46183	0
16634	0	168172	0	169165	0	169229	0	46184	0
16639	0	168174	0	169166	0	169230	0	46185	0
16640	0	168175	0	169168	0	169231	0	46186	0
16641	0	168176	0	169170	0	169234	0	46187	0
16644	0	168177	0	169171	0	169235	0	46188	0
16645	0	168178	0	169172	0	169236	0	46189	0
16646	0	168179	0	169173	0	169237	0	46190	0
16647	0	168196	0	169174	0	169240	0	46191	0
16663	0	168198	0	169175	0	169241	0	46192	0
167163	0	168204	0	169176	0	169242	0	46193	0

46194	0	46240	0	47182	0	47227	0	63174	0
46195	0	46241	0	47183	0	47228	0	63175	0
46196	0	46242	0	47184	0	47229	0	63176	0
46197	0	46243	0	47185	0	47230	0	63177	0
46198	0	46244	0	47186	0	47231	0	63178	0
46199	0	46245	0	47187	0	47232	0	63179	0
46200	0	46246	0	47188	0	47233	0	63184	0
46201	0	46247	0	47189	0	47234	0	63189	0
46202	0	46248	0	47190	0	47235	0	63191	0
46203	0	46249	0	47191	0	47236	0	63192	0
46204	0	4632	0	47192	0	47237	0	63195	0
46205	0	4634	0	47193	0	47240	0	63196	0
46206	0	4639	0	47194	0	47241	0	63197	0
46207	0	4640	0	47196	0	47242	0	63198	0
46208	0	4641	0	47197	0	47243	0	63199	0
46209	0	4644	0	47198	0	47244	0	63200	0
46210	0	4645	0	47199	0	47245	0	63201	0
46211	0	4647	0	47200	0	47246	0	63204	0
46212	0	4663	0	47201	0	47247	0	63206	0
46213	0	4747	0	47202	0	47248	0	63208	0
46214	0	47161	0	47203	0	47249	0	63209	0
46215	0	47162	0	47204	0	4732	0	63210	0
46216	0	47163	0	47205	0	4734	0	63211	0
46217	0	47165	0	47206	0	4739	0	63212	0
46218	0	47166	0	47207	0	4740	0	63213	0
46223	0	47167	0	47208	0	4741	0	63214	0
46224	0	47168	0	47209	0	4744	0	63215	0
46225	0	47169	0	47210	0	4745	0	63216	0
46226	0	47170	0	47211	0	4746	0	63217	0
46227	0	47171	0	47212	0	4763	0	63218	0
46228	0	47172	0	47213	0	6363	0	63223	0
46229	0	47173	0	47214	0	63163	0	63226	0
46230	0	47174	0	47215	0	63165	0	63229	0
46231	0	47175	0	47216	0	63166	0	63230	0
46232	0	47176	0	47217	0	63167	0	63231	0
46233	0	47177	0	47218	0	63169	0	63232	0
46234	0	47178	0	47223	0	63170	0	63233	0
46235	0	47179	0	47224	0	63171	0	63234	0
46236	0	47180	0	47225	0	63172	0	63235	0
6237	0	47181	0	47226	0	63173	0	63236	0

ภาคผนวก ก

ค่าเวลาเฉลี่ยรวมในแต่ละรุ่นของตำแหน่งเป็นพิมพ์ที่วิวัฒนาการ

รุ่นที่วิวัฒนาการ	ค่าเวลาเฉลี่ย				
1	60011454.99697	33	60000012.17219	65	50890012.17219
2	60011453.89097	34	60000012.17219	66	50890012.17219
3	60011254.98397	35	60000012.17219	67	50890012.17219
4	60011344.45697	36	60000012.17219	68	50890012.17219
5	60011454.99697	37	60000012.17219	69	50890012.17219
6	60891454.00007	38	60000012.17219	70	50890012.17219
7	60011454.79697	39	60000012.17219	71	50890012.17219
8	60011454.99097	40	60000012.17219	72	50890012.17219
9	60033454.99697	41	60000012.17219	73	50890012.17219
10	60111454.99697	42	60000012.17219	74	50890012.17219
11	60011454.99697	43	60000012.17219	75	50890012.17219
12	60011453.89097	44	60000012.17219	76	50890012.17219
13	60011254.98397	45	60000012.17219	77	50890012.17219
14	60011344.45697	46	60000012.17219	78	50890012.17219
15	60011454.99697	47	60000012.17219	79	50890012.17219
16	60891454.00007	48	60011344.45697	80	50890012.17219
17	60011454.79697	49	60011454.99697	81	50890012.17219
18	60011454.99097	50	60891454.00007	82	50890012.17219
19	60033454.99697	51	60011454.79697	83	50890012.17219
20	60111454.99697	52	60011454.99097	84	40890012.17219
21	60011454.99697	53	60033454.99697	85	40898012.17219
22	60011453.89097	54	60111454.99697	86	40906012.17219
23	60011254.98397	55	60000012.17219	87	40914012.17219
24	60011344.45697	56	60000012.17219	88	40922012.17219
25	60011454.99697	57	60000012.17219	89	40930012.17219
26	60891454.00007	58	60000012.17219	90	40938012.17219
27	60011454.79697	59	60000012.17219	91	40946012.17219
28	60011454.99097	60	50890012.17219	92	40954012.17219
29	60033454.99697	61	50890012.17219	93	40962012.17219
30	60111454.99697	62	50890012.17219	94	40970012.17219
31	60000012.17219	63	50890012.17219	95	40978012.17219
32	60000012.17219	64	50890012.17219	96	40986012.17219

97	40994012.17219	133	40000012.17219	169	33911649.52860
98	41002012.17219	134	40000012.17219	170	33911649.52860
99	41010012.17219	135	40000012.17219	171	33911649.52860
100	41018012.17219	136	40000012.17219	172	33911649.52860
101	41026012.17219	137	40000012.17219	173	33911649.52860
102	41034012.17219	138	40000012.17219	174	33911649.52860
103	41042012.17219	139	40000012.17219	175	33911649.52860
104	41050012.17219	140	40000012.17219	176	33911649.52860
105	41058012.17219	141	40000012.17219	177	33911649.52860
106	41066012.17219	142	40000012.17219	178	33911649.52860
107	41074012.17219	143	40000012.17219	179	33911649.52860
108	41082012.17219	144	40000012.17219	180	33911649.52860
109	41090012.17219	145	40000012.17219	181	33911649.52860
110	41098012.17219	146	40000012.17219	182	33911649.52860
111	41106012.17219	147	40000012.17219	183	33911649.52860
112	41114012.17219	148	40000012.17219	184	33911649.52860
113	41122012.17219	149	40000012.17219	185	33911649.52860
114	41130012.17219	150	40000012.17219	186	33911649.52860
115	41138012.17219	151	40000012.17219	187	33911649.52860
116	41146012.17219	152	40000012.17219	188	33911649.52860
117	41154012.17219	153	40000012.17219	189	33911649.52860
118	41162012.17219	154	40000012.17219	190	33911649.52860
119	41170012.17219	155	40000012.17219	191	33911649.52860
120	40000012.17219	156	40000012.17219	192	33911649.52860
121	40000012.17219	157	40000012.17219	193	33911649.52860
122	40000012.17219	158	40000012.17219	194	33911649.52860
123	40000012.17219	159	40000012.17219	195	33911649.52860
124	40000012.17219	160	40000012.17219	196	33911649.52860
125	40000012.17219	161	40000012.17219	197	33911649.52860
126	40000012.17219	162	40000012.17219	198	33911649.52860
127	40000012.17219	163	33911649.52860	199	33911649.52860
128	40000012.17219	164	33911649.52860	200	33911649.52860
129	40000012.17219	165	33911649.52860	201	33911649.52860
130	40000012.17219	166	33911649.52860	202	33911649.52860
131	40000012.17219	167	33911649.52860	203	33911649.52860
132	40000012.17219	168	33911649.52860	204	33911649.52860

205	33911649.52860	241	33911649.52860	277	33911649.52860
206	33911649.52860	242	33911649.52860	278	33911649.52860
207	33911649.52860	243	33911649.52860	279	33911649.52860
208	33911649.52860	244	33911649.52860	280	33911649.52860
209	33911649.52860	245	33911649.52860	281	33911649.52860
210	33911649.52860	246	33911649.52860	282	33911649.52860
211	33911649.52860	247	33911649.52860	283	33911649.52860
212	33911649.52860	248	33911649.52860	284	33911649.52860
213	33911649.52860	249	33911649.52860	285	33911649.52860
214	33911649.52860	250	33911649.52860	286	33911649.52860
215	33911649.52860	251	33911649.52860	287	33911649.52860
216	33911649.52860	252	33911649.52860	288	33911649.52860
217	33911649.52860	253	33911649.52860	289	33911649.52860
218	33911649.52860	254	33911649.52860	290	33911649.52860
219	33911649.52860	255	33911649.52860	291	33911649.52860
220	33911649.52860	256	33911649.52860	292	33911649.52860
221	33911649.52860	257	33911649.52860	293	33911649.52860
222	33911649.52860	258	33911649.52860	294	33911649.52860
223	33911649.52860	259	33911649.52860	295	33911649.52860
224	33911649.52860	260	33911649.52860	296	33911649.52860
225	33911649.52860	261	33911649.52860	297	33911649.52860
226	33911649.52860	262	33911649.52860	298	33911649.52860
227	33911649.52860	263	33911649.52860	299	33911649.52860
228	33911649.52860	264	33911649.52860	300	33911649.52860
229	33911649.52860	265	33911649.52860	301	33911649.52860
230	33911649.52860	266	33911649.52860	302	33911649.52860
231	33911649.52860	267	33911649.52860	303	33911649.52860
232	33911649.52860	268	33911649.52860	304	33911649.52860
233	33911649.52860	269	33911649.52860	305	33911649.52860
234	33911649.52860	270	33911649.52860	306	33911649.52860
235	33911649.52860	271	33911649.52860	307	33911649.52860
236	33911649.52860	272	33911649.52860	308	33911649.52860
237	33911649.52860	273	33911649.52860	309	33911649.52860
238	33911649.52860	274	33911649.52860	310	33911649.52860
239	33911649.52860	275	33911649.52860	311	33911649.52860
240	33911649.52860	276	33911649.52860	312	33911649.52860

313	33911649.52860	349	33911649.52860	385	33046235.71110
314	33911649.52860	350	33911649.52860	386	33046235.71110
315	33911649.52860	351	33911649.52860	387	33046235.71110
316	33911649.52860	352	33911649.52860	388	33046235.71110
317	33911649.52860	353	33911649.52860	389	33046235.71110
318	33911649.52860	354	33911649.52860	390	33046235.71110
319	33911649.52860	355	33911649.52860	391	33046235.71110
320	33911649.52860	356	33911649.52860	392	33046235.71110
321	33911649.52860	357	33911649.52860	393	33046235.71110
322	33911649.52860	358	33911649.52860	394	33046235.71110
323	33911649.52860	359	33911649.52860	395	33046235.71110
324	33911649.52860	360	33911649.52860	396	33046235.71110
325	33911649.52860	361	33911649.52860	397	33046235.71110
326	33911649.52860	362	33911649.52860	398	33046235.71110
327	33911649.52860	363	33911649.52860	399	33046235.71110
328	33911649.52860	364	33911649.52860	400	33046235.71110
329	33911649.52860	365	33911649.52860		
330	33911649.52860	366	33911649.52860		
331	33911649.52860	367	33911649.52860		
332	33911649.52860	368	33911649.52860		
333	33911649.52860	369	33911649.52860		
334	33911649.52860	370	33911649.52860		
335	33911649.52860	371	33911649.52860		
336	33911649.52860	372	33046235.71110		
337	33911649.52860	373	33046235.71110		
338	33911649.52860	374	33046235.71110		
339	33911649.52860	375	33046235.71110		
340	33911649.52860	376	33046235.71110		
341	33911649.52860	377	33046235.71110		
342	33911649.52860	378	33046235.71110		
343	33911649.52860	379	33046235.71110		
344	33911649.52860	380	33046235.71110		
345	33911649.52860	381	33046235.71110		
346	33911649.52860	382	33046235.71110		
347	33911649.52860	383	33046235.71110		
348	33911649.52860	384	33046235.71110		

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์และออกแบบแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทยสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัสโดยใช้
ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม
ANALYSIS AND DESIGN OF THAI VIRTUAL KEYBOARD FOR TOUCH-SCREEN
COMPUTER USING GENETIC ALGORITHM

ไกรกรรชิต ดวงดี และ เกริก ภิรมย์โสภา

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แขวงวังใหม่ เขตปทุมธานี 10330 กรุงเทพฯ

Email: kraikanchit@gmail.com, krerk.p@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบ ตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทย อักขระภาษาไทยทั้งหมด 93 ตัวถูกจัดวางลงบนตำแหน่งต่าง ๆ บนแป้นพิมพ์เสมือน โดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้อนข้อมูลอักขระด้วยปากกาชนิดแข็ง ในการวัดผลค่าความถี่ของคู่อักขระที่เก็บจากอักขระจำนวน 200,000 ตัว จะถูกใช้ในการเปรียบเทียบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งอักขระที่ได้จากออกแบบช่วยให้การป้อนอักขระมีความเร็วมากขึ้น โดยวัดจากค่าระยะทางในการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็ง ที่มีความเร็วมากกว่าการป้อนข้อมูลผลแป้นพิมพ์แบบเกษมณีและปัตตะโชติ

คำสำคัญ: แป้นพิมพ์, แป้นพิมพ์เสมือน, จอสัมผัส, ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ABSTRACT

This paper presents a technique for designing a Thai virtual keyboard. By using the genetic algorithm, 93 Thai characters were arranged. A population of solution keyboards was evolved. During the evolutions, each keyboard was evaluated by using a fitness function that contains 200,000 Thai characters. The evaluation was based on the cost function that is constructed from digraph (time taking for typing two consequent characters), and the position of each character. The best solution founded by genetic algorithm is faster than the standard Thai keyboard Ket-ma-nee and Pat-ta-chote layout.

Keyword: keyboard, virtual keyboard, touch screen, genetic algorithms.

1. คำนำ

ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์จอสัมผัส (Computer Touch-screen) ก้าวไปอย่างรวดเร็ว เครื่องมือที่ช่วยในการป้อนข้อมูลอย่างเป็นพิมพ์เสมือน (virtual keyboard) นั้น ยังคงใช้การวางอักขระต่าง ๆ ตามมาตรฐานเดิมซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการพิมพ์ด้วยมือ ซึ่งไม่เหมาะสมเป็นอย่างยิ่งสำหรับการป้อนข้อมูลผ่านทางปากกาชนิดแข็ง (stylus) บนเครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัส ความเร็วในการป้อนข้อมูลยังช้าอยู่มาก เพราะต้องใช้การกดที่อักขระเป็นพิมพ์ที่ละตัว ในภาษาอังกฤษนั้น ได้มีการพัฒนาแป้นพิมพ์แบบ ATOMIK [8] ซึ่งช่วยให้การลากข้อมูลบนแป้นพิมพ์เสมือนทำได้เร็วขึ้น แต่ยังไม่เป็นที่นิยม ถึงแม้ว่าปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรมประเภทรู้จำอักขระ (Optical Character Recognition) และ โปรแกรมประเภทรู้จำเสียง (Voice Recognition) ขึ้นมาเพื่อช่วยในการป้อนข้อมูล แต่สำหรับภาษาไทย โปรแกรมประเภทรู้จำนี้ยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากยังมีข้อผิดพลาดเรื่องการรู้จำอยู่มาก ดังนั้นการป้อนข้อมูลประเภทอักขระยังคงต้องอาศัยแป้นพิมพ์เสมือนเป็นหลัก

งานวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้น โดยมีจุดประสงค์ที่จะนำเสนอการออกแบบตำแหน่งอักขระภาษาไทยบนแป้นพิมพ์เสมือนโดยใช้

ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (Genetic Algorithm) โดยได้นำผลการวิเคราะห์ค่าความถี่คู่อักษรเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบ ทั้งนี้เพื่อให้ได้แบบตำแหน่งอักขระภาษาไทยเพื่อช่วยให้การป้อนข้อมูลประเภทอักษรเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ได้รวดเร็วขึ้น

ในตอนถัดไปจะนำเสนอลักษณะของปัญหาการออกแบบเป็นพิมพ์ จากนั้นขั้นตอนวิธีพันธุกรรมที่จะถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

2. ปัญหาการออกแบบการรวมกัน

ปัญหาในการหารูปแบบที่ดีที่สุดของตำแหน่งอักขระบนเป็นพิมพ์เสมือนเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหาการรวมกัน (Combinatorial problem) รูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการจัดรูปแบบมีจำนวนเท่ากับแฟกทอเรียล (Factorial) ของจำนวนอักขระที่ใช้ทั้งหมด เช่นอักขระภาษาอังกฤษทั้งหมด 26 ตัวรูปแบบที่เป็นไปได้จากการจัดอักขระทั้ง 26 ตัวบนเป็นพิมพ์เสมือนจะมีทั้งหมด $26!$ รูปแบบ [11] หากพิจารณาถึงภาษาไทยซึ่งบนเป็นพิมพ์เสมือนมีอักขระมาตรฐานจำนวน 93 ตัว จะเห็นได้ว่ารูปแบบของการจัดเรียงอักขระเหล่านี้มีมหาศาล แม้กระทั่งใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงที่สุดก็ไม่สามารถที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ภายในเวลาอันสมควร ซึ่งปัญหาของการจัดอักขระบนเป็นพิมพ์เสมือนนี้จัดเป็นปัญหาประเภทที่เรียกว่า เอ็นพี-คอมพลิต (NP-complete) [12] หรือปัญหาไม่สามารถหาคำตอบได้ในเวลาอันเหมาะสมนั่นเอง

3. ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

เนื่องจากยังไม่มีวิธีการค้นพบระเบียบวิธีที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution) ของปัญหาในกลุ่ม เอ็นพี-คอมพลิต ได้ในเวลาที่เหมาะสม จึงความจำเป็นที่จะต้องใช้ระเบียบวิธีแบบอื่นในการหาคำตอบที่มีค่าความดีใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดแทน ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เป็นอีกวิธีหนึ่งในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาประเภท เอ็นพี-คอมพลิต ขั้นตอนวิธีสามารถเขียนให้อยู่ในรูปชุดคำสั่งเทียมได้ดังนี้

1. สร้างกลุ่มประชากรเริ่มต้นโดยการสุ่ม

2. วัดค่าความดี (Fitness) ของตัวอย่างทุกตัวในกลุ่มประชากร
3. สร้างประชากรรุ่นใหม่โดยการเลือกตัวอย่างที่ดีมาทำการไขว้เปลี่ยน (Crossover) กลายพันธุ์ (Mutation) หรือไม่ก็สืบพันธุ์ (Reproduction)
4. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2. และ 3. จนกระทั่งถึงรุ่นวิวัฒนาการที่กำหนดหรือพบคำตอบที่ต้องการ

ประชากรในขั้นตอนพันธุกรรมจะเป็นสายอักขระ (String) ที่มีขนาดคงที่ ในการสร้างประชากรรุ่นใหม่ในขั้นตอนที่ 3. ข้างต้น จะมีประชากรเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะถูกคัดเลือกเพื่อให้นำมาเกิดประชากรในรุ่นถัดไป การคัดเลือกสามารถทำได้หลายวิธี วิธีการคัดเลือกที่เป็นที่นิยมใช้กัน ได้แก่

1. การเลือกตามปฏิภาคความเหมาะสม (Fitness proportionate selection) เป็นการเลือกโดยใช้ค่าความเหมาะสมเป็นประชากรแต่ละตัวเป็นโอกาสที่ประชากรตัวนั้น ๆ จะมีโอกาสถูกเลือก ถ้าประชากรตัวไหนมีค่าความเหมาะสมที่สูงกว่า ก็จะมีโอกาสที่จะถูกเลือกมากกว่า
2. การเลือกโดยการประลอง (Tournament selection) การเลือกจะทำโดยสุ่มประชากรขึ้นมาจำนวนหนึ่งแล้วนำประชากรกลุ่มนั้นมาเปรียบเทียบกันว่าประชากรตัวไหนมีค่าความเหมาะสมสูงสุดในกลุ่มประชากรตัวนั้นจะเป็นตัวที่ถูกเลือก
3. การเลือกเฉพาะชั้นยอด (Elites selection) การเลือกจะเลือกโดยหาประชากรที่มีค่าความเหมาะสมสูงที่สุดมาจำนวนหนึ่ง จากนั้นเลือกโดยสุ่มจากประชากรในกลุ่มที่มีค่าความเหมาะสมสูงที่สุดกลุ่มนั้น

หลังจากเลือกตัวอย่างในประชากรขึ้นแล้ว ขั้นตอนพันธุกรรมจะเลือกตัวดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic operator) ต่อไปนี้เพื่อสร้างประชากรในรุ่นถัดไป

1. การไขว้เปลี่ยน (Crossover) เป็นการนำเอาส่วนของผลเฉลยของประชากร 2 ตัวมาผสมกันเพื่อให้ได้ประชากรตัวใหม่ เช่นประชากรตัวใหม่อาจเกิดจากการนำเอาส่วนแรกของประชากรในรุ่นก่อนตัวหนึ่งร่วมกับส่วนหลังของประชากรรุ่นก่อนอีกตัวหนึ่ง

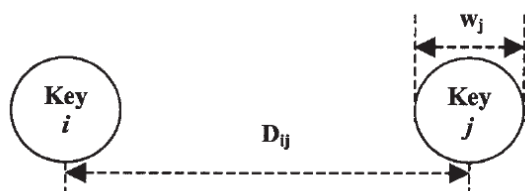
- การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นการสร้างประชากรรุ่นใหม่โดยนำประชากรรุ่นเดิมมาปรับเปลี่ยนส่วนใดส่วนหนึ่งโดยสุ่ม
- การสืบพันธุ์ (Reproduction) เป็นการสร้างประชากรรุ่นใหม่โดยนำประชากรรุ่นเดิมไปเป็นประชากรรุ่นใหม่โดยไม่มี การเปลี่ยนแปลง

4. การหาค่าความเหมาะสมของตำแหน่งอักขระ

เพื่อช่วยในการหาค่าความเหมาะสมของตำแหน่งอักขระ ผู้เขียนจึงอ้างอิงถึงการวัดประสิทธิภาพ(เวลา) ในการบันทึกข้อมูลจากงานวิจัยของ MacKenzie เป็นเกณฑ์

งานวิจัยของ MacKenzie ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการลากปากกาชนิดแข็งด้วยสมการ

$$MT = a + b \log_2 \left[\frac{D_{ij}}{W_j} + 1 \right] \quad (1)$$



รูปที่ 1. แสดงค่าที่แทนในสมการที่ (1)

จากสมการที่ (1) เรียกว่า Fitt's law movement time (MTs) [1] ใช้หาค่าเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็ง ไปบนแป้นพิมพ์จำลองโดยกำหนดค่า ดังนี้

MT	=	Movement time
a,b	=	ค่าสัมประสิทธิ์
Dij	=	ระยะห่างระหว่าง i,j
ij	=	แทนตำแหน่งอักขระบนคีย์บอร์ด
Wj	=	ขนาดของอักขระที่ j

- ความถี่ของคู่อักขระ P_{ij} เป็นความถี่ของคู่อักขระทุก ๆ คู่อักขระ ij ที่สามารถเกิดขึ้นได้

- ค่าระยะเวลาในการเคลื่อนที่ปากกาชนิดแข็งระหว่างแป้นอักขระ 2 อักขระใด ๆ ในแป้นพิมพ์เสมือน
 - ตำแหน่งของอักขระใด ๆ ที่อยู่บนแป้นพิมพ์เสมือน
- จากสมการที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ที่จะใช้อ้างอิงจากงานวิจัยของ MacKenzie & Zhang, 1999[10] ที่ได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์โดยกำหนดให้ $a = 0$ และ $b = \frac{1}{4.9}$ ทำให้ได้ค่า Fitts IP (Fitts index of performance) 4.9 bps ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปใช้ในสมการที่ 2 เพื่อวัดประสิทธิภาพของแป้นพิมพ์เสมือน และมีหน่วยเป็นคำต่อนาที

$$t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{P_{ij}}{IP} \left[\log_2 \left(\frac{D_{ij}}{W_j} + 1 \right) \right] \quad (2)$$

t	=	ค่าเวลาในการป้อนอักขระ
Pij	=	ค่าความถี่ของคู่อักขระ i, j
IP	=	Index performance
Dij	=	ระยะห่างจาก i,j
Wj	=	ขนาดของปุ่มอักขระที่ j
N	=	จำนวนอักขระทั้งหมด

การวัดประสิทธิภาพของตำแหน่งอักขระบนแป้นพิมพ์เสมือน โดยการหาค่าเวลารวมในการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็งได้ผลลัพธ์เป็นคำต่อนาที wpm (word per minute) ซึ่งระยะเวลาการป้อนข้อความหนึ่ง สามารถหาได้จากผลรวมของผลคูณระหว่างความถี่ของคู่อักขระกับระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็ง ดังสมการที่ (2) ผลรวมดังกล่าวจะเป็นค่าความเหมาะสมของรูปแบบของตำแหน่งอักขระนั้น ๆ

5. การทดลอง

5.1 ข้อมูลในการทดลอง

ค่าความถี่คู่อักขระคำนวณจากข้อมูลที่ได้จากการสุ่มเอกสารบนเว็บไซต์ที่เผยแพร่ทั่วไปจำนวน 200,000 อักขระ การหาค่าระยะเวลาที่ใช้ในการป้อนอักขระ 2 อักขระใด ๆ ในแป้นพิมพ์เสมือน เนื่องจาก

อักขระภาษาไทยที่ใช้ในเป็นพิมพ์แบบมาตรฐานประกอบไปด้วยอักขระจำนวน 93 ตัวซึ่งก็ต้องมีตำแหน่งบนแผงแป้นพิมพ์เสมือนจำนวน 93 ตำแหน่ง ซึ่งจะได้รูปแบบของการเข้าคู่ทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน $93 \times 93 = 8649$ (รวมทั้งการกดอักขระซ้ำด้วย)

5.2 การออกแบบอักขระด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ในส่วนของ การออกแบบตำแหน่งอักขระบนแผงแป้นพิมพ์โดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมนั้น ได้มีการปรับปรุงขั้นตอนวิธีดังกล่าวเพื่อให้เหมาะสมกับปัญหาดังต่อไปนี้

1. ประชากรแต่ละตัวคืออักขระความยาว 93 ตัวอักษร โดยอักขระในสายแต่ละตัวคืออักขระที่จัดเรียงบนแป้นพิมพ์เสมือน และตำแหน่งอักขระในสายอักขระแต่ละตำแหน่งก็แทนตำแหน่งในแป้นพิมพ์เสมือนแต่ละแป้น ดังนั้นตัวอักษรหนึ่ง ๆ ในสายอักขระใด ๆ จะไม่ซ้ำกัน
2. การกลายพันธุ์กระทำโดยสุ่มตำแหน่งในสายอักขระมาสองตำแหน่ง จากนั้นก็สลับข้อมูลหรืออักขระที่ระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งนั้น จะทำซ้ำอย่างนี้ 5 ครั้งต่อการกลายพันธุ์หนึ่งครั้ง

ตัวแปรของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมดังต่อไปนี้

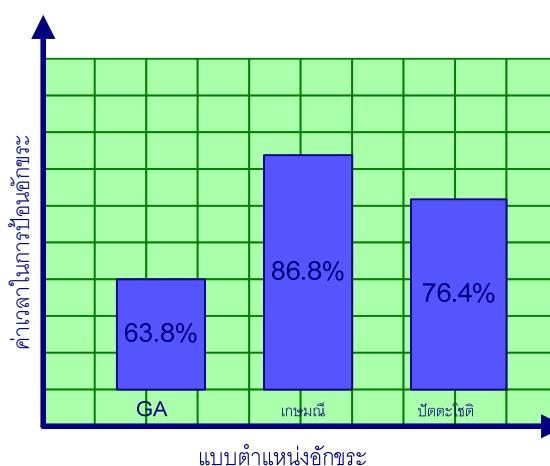
1. ประชากรในแต่ละรุ่นมีจำนวน 5,000 ตัว
2. จำนวนรุ่นของการวิวัฒนาการคือ 400 รุ่น
3. ฟังก์ชันหาค่าความเหมาะสม (Fitness function) ซึ่งเมื่อส่งสายอักขระหรือประชากรตัวหนึ่งให้จะได้ค่าความเหมาะสมของประชากรตัวนั้นกลับมา
4. ฟังก์ชันการคัดเลือก (Selection function) ที่ใช้เป็นแบบเลือกเฉพาะชั้นยอด (Elites selection)
5. อัตราการไขว้เปลี่ยน 0%
6. อัตราการกลายพันธุ์ 90%
7. อัตราการสืบพันธุ์ 10%

สาเหตุที่ไม่มีการไขว้เปลี่ยนเลยนั้นเนื่องมาจากการไขว้เปลี่ยนอาจจะทำให้เกิดรูปแบบของแป้นพิมพ์ที่ไม่ถูกต้อง เช่น แป้นพิมพ์ที่มีอักขระซ้ำกัน หรือแป้นพิมพ์ที่มีอักขระไม่ครบ

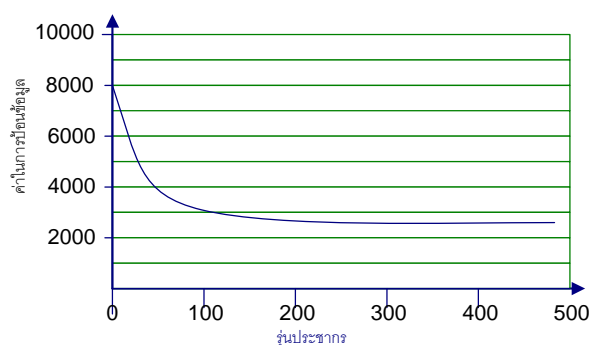
6. ผลการทดลอง

เนื่องจากขั้นตอนการหาผลเฉลยโดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมนั้นจะใช้ฟังก์ชันการสุ่มเป็นส่วนใหญ่ การดำเนินการโปรแกรมจึงจำเป็นต้องทำเป็นจำนวนหลายครั้งเพื่อให้เชื่อมั่นผลที่เกิดขึ้นงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการโปรแกรมเป็นจำนวน 20 ครั้ง ผลที่ได้คือแบบของตำแหน่งอักขระภาษาไทยบนแป้นพิมพ์เสมือน ที่แตกต่างจากแบบตำแหน่งเดิมที่มีอยู่เดิม (แบบเกษมณีและแบบปัตตะโชติ)

การหาค่าประสิทธิภาพในการป้อนข้อมูลระหว่างแบบที่ออกแบบใหม่กับแบบที่มีอยู่เดิมถูกแสดงโดยแผนภูมิในรูปที่ 2. ค่าที่คำนวณได้จากกราฟระยะทางการเคลื่อนที่ของปากกาชนิดแข็งเฉลี่ยที่ดีที่สุด



รูปที่ 2. แผนภูมิเปรียบเทียบค่าในการป้อนอักขระในแบบต่างๆ



รูปที่ 3. แสดงแนวโน้มค่าในการป้อนข้อมูลระหว่างการวิวัฒนาการ

วิวัฒนาการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในรอบดำเนินการ โปรแกรมที่ได้ผลเฉลี่ยที่ดีที่สุด จะเห็นว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม สามารถสร้างเป็นพิมพ์เสมือนที่ดีขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 100 รุ่นแรกของการวิวัฒนาการแต่หลังจากนั้นผลเฉลี่ยที่ได้ก็ดีขึ้นอย่างช้าๆ แบบของตำแหน่งอักขระที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองนี้แสดงในรูปแบบที่ 4.

า	ฦ	ร	'	๓	ก	ฦ	เ	๔	๖	ม
?	ว	๕	ท	ค	ห	ถ	ด	๗	บ	ป
ะ	ศ	๖	จ	ไ	แ	พ	ข	๘	ใ	๘
๐	อ	๗	ำ	ฮ	ผ	๙	ถ	โ	ศ	ณ
ญ	ธ	ซ	ษ	๑	ภ	ฐ	ฤ	๕	น	ฝ
๐	๒	๑	ภ	)	ฎ	๑	๖	ย	ฒ	ฎ
๖	๖		ฟ	-	๗	+	๖	,	ง	พ
ก	๘	“	๓	.	/	ฦ	ซ	๗	ค	๑
			(	๒	'	.	๕			

รูปที่ 4. แบบเป็นพิมพ์เสมือนที่ดีที่สุดจากการทดลอง

7. สรุป

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในการออกแบบตำแหน่งอักขระภาษาไทยบนเป็นพิมพ์เสมือน สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัส สามารถทำให้การป้อนข้อมูลผ่านเป็นพิมพ์เสมือนรวดเร็วขึ้น เมื่อเทียบกับเกมมณีได้ถึงร้อยละ 16.20 และร้อยละ 12.60 เมื่อเทียบกับแบบปัดตะโชน

อย่างไรก็ตามการที่จะนำเอาแบบตำแหน่งอักขระที่หาได้ไปใช้จริงนั้น ขึ้นอยู่กับความเคยชินของผู้ใช้ และการสนับสนุนจากผู้ผลิตซอฟต์แวร์สำหรับการบันทึกข้อมูลด้วยปากกาชนิดแข็งด้วย

ถึงแม้ว่าจากการทดลองจะแสดงให้เห็นถึงข้อดีของรูปแบบเป็นพิมพ์แบบที่นำเสนออย่างชัดเจนก็ตาม ตัวอย่างเช่นนี้เคยเกิดมาแล้วเมื่อการออกแบบตำแหน่งอักขระแบบปัดตะโชนได้เสร็จสิ้นลง จากการสนับสนุนจากสภาวิจัยแห่งชาติซึ่งได้เสนอต่อคณะรัฐมนตรีให้แบบตำแหน่งอักขระแบบปัดตะโชนเป็นมาตรฐาน

สำหรับเป็นพิมพ์ภาษาไทย และคณะรัฐมนตรีได้อนุมัติให้เป็นมาตรฐานได้ แต่ต่อมากายหลังความนิยมของเป็นพิมพ์แบบปัดตะโชนก็ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่มีวางขายตามท้องตลาดทั่วไป เพราะความนิยมส่วนใหญ่อยู่ที่เป็นพิมพ์แบบเกมมณี

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้นขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในการออกแบบตำแหน่งอักขระบนแผงเป็นพิมพ์เสมือน ซึ่งในอนาคตสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบตำแหน่งอักขระหรือสัญลักษณ์สำหรับแผงเป็นพิมพ์ที่ใช้ในงานเฉพาะอย่างหรือเป็นพิมพ์ภาษาอื่น ๆ ได้ต่อไป และผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รูปแบบเป็นพิมพ์ที่นำเสนอ จะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบเป็นพิมพ์เสมือนเพราะเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูลให้รวดเร็วยิ่งขึ้น

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Zhai, S., B.A. Smith, and M. Hunter, Performance Optimization of Virtual Keyboards. *Human-Computer Interaction*, 2002. 17(2&3), p.229-270.
- [2] Jones C.D., A.B. Smith, and E.F. Robert, Book Title, Journal, Publisher, Location, Date, pp. 1-10.
- [3] Goldberg, D. and C. Richardson. Touching-typing with a stylus. *Proc. INTERCHI*. 1993. Amsterdam, p. 80-87.
- [4] MacKenzie, I.S. and R.W. Soukoreff, Text entry for mobile computing: Models and methods, theory and practice. *Human-Computer Interaction*, 2002. 17(2&3), p.147-198.
- [5] Perlin, K. Quikwriting: Continuous Stylus-based Text Entry. *Proc. ACM UIST*, Tech. Note. 1998: p. 215 - 216.
- [6] Zhai, S., A. Sue, and J. Accot. Movement Model, Hits Distribution and Learning in Virtual Keyboarding. *Proc. CHI2002*. P.17-24.
- [7] Tappert, C.C., Cursive Script Recognition by Elastic Matching. *IBM Journal of Research & Development*, 1982. 26(6): p. 756-771.
- [8] Per-Ola Kristensson, Shumin Zhai., SHARK2: A Large Vocabulary Shorthand Writing System for Pen-based Computers.
- [9] Zhai, S., A. Sue, and J. Accot. Movement Model, Hits Distribution and Learning in Virtual Keyboarding. *Proc. CHI2002*. p.17-24.
- [10] MacKenzie, I. S., & Zhang, S. X. (1999). The design and evaluation of a high-performance soft keyboard. *Proceedings of the CHI 99 Conference on Human Factors in Computing Systems*.

[11] Lissa W. Light and Peter Anderson, "Designing Better Keyboard via Simulated Annealing", *AI Expert*, September 1993, pp. 21-27.

[12] David Goldberg, "Genetics Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison – Wesley, 1997.

[13] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. การกำหนดอักขระไทยบนแผงแป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์. 2538.

[14] สฤณี ปัตตะโชติ. รายงานผลการวิจัย ระบบการวางแผงอักษรพิมพ์ดีดใหม่. แผนภาพและการพิมพ์กองวิชาการ กรมชลประทาน, (ม.ป.ป.).

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายไกรครรชิต ดวงดี เกิดเมื่อวันที่ 16 สิงหาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดเพชรบูรณ์ สำเร็จ การศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาเทคนิคคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตตาก ในปีการศึกษา 2544 จากนั้นได้เข้าศึกษาในคณะวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ในปีการศึกษา 2547 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี การศึกษา 2549

ในระหว่างการทำงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้มีผลงานทางด้านวิชาการส่งเข้าร่วมในงานประชุม วิชาการ ดังนี้

1. ไกรครรชิต ดวงดี และ เกริก ภิรมย์โสภา. การวิเคราะห์และออกแบบแป้นพิมพ์เสมือนภาษาไทยสำหรับ เครื่องคอมพิวเตอร์จอสัมผัสโดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม. การวิจัยเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการพัฒนา ประเทศที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยรังสิต ครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 6-7 พฤศจิกายน 2551. หน้า 163-168.2551 ณ โรงแรมแกรนด์ เมอร์เคียว ฟอรั่ม กรุงเทพฯ.