สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์

ON-LINE WRITER DEPENDENT CHARACTER RECOGNITION

โดย

นายวิศวัสต์ เหลืองวิไลฉัตร

นายศรวิษฐ จิรผจง

ว755ก
2551
ลงทะเบียน 83140
วันที่ลงทะเบียน - 6 ส.ค. 2551
b 11959113
1

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ON-LINE WRITER DEPENDENT CHARACTER RECOGNITION

BY

MR. WISAWAT LEUNGWILAILERT

MR. SORAVIT JIRAPAJONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTAIL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคล

TITLE **WRITER DEPENDENT CHARACTER RECOGNITION**

ชื่อนักศึกษา นายวิศวัสต์ เหลืองวิไลเลิศ รหัสนักศึกษา 47010719

นายศรวิษฐ จิรผจง รหัสนักศึกษา 47010742

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน

ระดับการศึกษา ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2550

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

. . . . . .

(ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน)
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์
ชื่อนักศึกษา	นายวิศวัสต์ เหลืองวิไลเลิศ รหัสนักศึกษา 47010719
	นายศรวิษฐ จิรผจง รหัสนักศึกษา 47010742
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2550

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้นำเสนอกระบวนการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยเฉพาะบุคคล ในขั้นแรกข้อมูลตัวอักษรภาษาไทยถูกบันทึกให้อยู่ในรูปของพิกัด x,y ซึ่งแทนจุดของปลายปากกาที่เคลื่อนที่ไปตามการเขียนโดยใช้กระดานอิเล็กทรอนิคส์ จากนั้นนำข้อมูลตัวอักษรที่ได้มาทำให้อยู่ในขนาดและตำแหน่งมาตรฐานเดียวกัน เพื่อลดความเบี่ยงเบนของลายมือ และเพื่อลดความเบี่ยงเบนที่เกิดจากความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของลายมือ ในโครงงานนี้ได้ใช้จุด Barycenter ซึ่งคำนวณได้จากจุด 2 จุดที่ต่อกันและจุดศูนย์กลางของตัวอักษรมาแทนจุดปลายปากกา จากนั้นคำนวณคุณสมบัติสำคัญ 3 ประการที่จะนำมาใช้ดึงลักษณะเด่นของตัวอักษร คือ 1. วิถีโคจรบารีเซ็นเตอร์ 2. ทิศทางในการเคลื่อนที่ของบารีเซ็นเตอร์ 3. ขนาดของความเร็วในการเคลื่อนที่ของบารีเซ็นเตอร์ และเพื่อดึงลักษณะเด่นของตัวอักษรจากคุณสมบัติ 3 ประการ ข้างต้นดังกล่าวกระจายลงในอนุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series) และสุดท้ายค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่คำนวณได้ ถูกพิจารณาว่าเป็นลักษณะเด่นของตัวอักษรแต่ละตัวและนำมาใช้ในการรู้จำตัวอักษร ประสิทธิภาพของระบบที่นำเสนอสามารถแสดงได้โดยการทดลองการรู้จำตัวอักษรภาษาไทย ซึ่งกระทำบนฐานข้อมูลที่ประกอบด้วยตัวอักษรทั้งหมด 13,600 ตัว เขียนโดยคน 10 คน ผลที่ได้จากการทดลองมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง 91.81 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	On-line Writer Dependent Character Recognition
Student	Mr. Wisawat Leungwilailert ID. 47010719
	Mr. Sorawit Jirapajong ID. 47010742
Advisor	Dr.Pitak Thumwarin
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering
Department	Information Engineering
Academic Year	2007

Abstract

This project presents a method for Writer Dependent Character Recognition. First, Thai character are collected by using digital tablet. Then size and location of the handwritten character are normalized to reduce the fluctuation of handwriting. In this project, the barycenter, determined by using two adjacent penpoint position and center point of character, is used instead of penpoint position to reduce the sensitive of handwriting motion. The three important features, barycenter trajectory, direction change and displacement, are calculated to describe the feature of the handwritten character. Moreover, the three above features are expanded into fourier series to extract the individual feature of the character. The obtained fourier coefficient is used as the individual feature for character recognition. As the experimental result the average of correction rate is 91.81 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องนี้คงมิอาจจะสำเร็จลุล่วงไปได้ หากปราศจาก ดร. พิทักษ์ ธรรมวาริน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ คอยให้คำปรึกษา และเป็นแรงผลักดันตลอดระยะเวลาที่ทำปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัวเป็นอย่างยิ่ง ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษา และให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่องเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และทุกๆคนที่เกี่ยวข้อง ที่เสียสละเวลามาช่วยทำการเก็บข้อมูลตัวอักษรภาษาไทยเพื่อใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ รวมทั้งช่วยเสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆให้ลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณทุกๆท่านที่เป็นส่วนหนึ่งของความสำเร็จนี้เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญรูป ช

สารบัญตาราง ฌ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 1

1.5 ระบบการทำงาน 2

1.6 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาษาไทย 4

2.1.1 ความหมาย 4

2.1.2 ประเภทของภาษาไทย 4

2.2 ลายมือ 5

2.2.1 ความหมาย 5

2.2.2 ประเภทของลายมือ 5

2.3 ทฤษฎีและวิธีการทางคณิตศาสตร์ 7

2.3.1 การทำขนาดมาตรฐาน 7

2.3.2 การทำตำแหน่งมาตรฐาน 7

2.3.3 จุดบารีเซ็นเตอร์ 8

2.3.4 การประมาณค่าด้วยฟังก์ชัน Piecewise Linear 8

2.3.5 ฟังก์ชันคาบ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.3.6 การประมาณค่าด้วยฟูเรียร์ 11

2.3.6.1 อนุกรมฟูเรียร์ 11

2.3.6.2 ฟังก์ชันคู่ 12

2.3.6.3 อนุกรมฟูเรียร์ของฟังก์ชันคู่ 13

2.3.7 การวัดระยะแบบยูคลิด 14

บทที่ 3 การออกแบบ

3.1 การรับข้อมูลตัวอักษรภาษาไทย 16

3.2 การจัดเตรียมข้อมูล 21

3.2.1 การแยกข้อมูลเป็นตัวอักษรแต่ละตัว 21

3.2.2 การทำขนาดมาตรฐาน 22

3.2.3 การหาตำแหน่งมาตรฐาน 23

3.3 กระบวนการดึงคุณลักษณะเด่น 23

3.3.1 แทนพิกัดข้อมูลด้วยจุดบารีเซ็นเตอร์ 25

3.3.2 การจัดจำนวนข้อมูลให้เท่ากันโดยฟังก์ชัน Piecewise Linear 26

3.3.3 การวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูเรียร์ 28

3.4 กระบวนการตรวจสอบตัวอักษรภาษาไทย 30

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 การแสดงผลตัวอักษรภาษาไทย 34

4.2 ผลการทดลอง 35

4.2.1 โปรแกรมแสดงผล 46

4.2.2 ประสิทธิภาพของโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยเฉพาะบุคคล ประเภทออนไลน์ 46

4.3 สรุปผลการทดลอง 47

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินการโครงงาน 48

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงงาน 48

5.3 แนวทางการพัฒนาโครงงานต่อ 48

บรรณานุกรม

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	1.1	ไดอะแกรมแสดงระบบการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์	2
รูปที่	2.1	แสดงพยัญชนะภาษาไทย 44 รูป	4
รูปที่	2.2	แสดงสระภาษาไทย 21 รูป	5
รูปที่	2.3	แสดงวรรณยุกต์ภาษาไทย 4 รูป	5
รูปที่	2.4	แสดงตัวเลขไทย 10 ตัว	5
รูปที่	2.5	กระบวนการวิเคราะห์ลายมือออฟไลน์	6
รูปที่	2.6	ตัวอย่างข้อมูลตัวอักษรภาษาไทยแบบออนไลน์ (ก) อุปกรณ์ Graphical Tablet สำหรับรับค่าข้อมูล (ข) กราฟแสดงข้อมูลที่ถูกนำไปเก็บในคอมพิวเตอร์ (ค) กราฟแสดงพิกัด ณ เวลาต่างๆ	6
รูปที่	2.7	(ก) ข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (ข) ข้อมูลแบบต่อเนื่อง	9
รูปที่	2.8	ฟังก์ชันคาบ	9
รูปที่	2.9	(ก) สัญญาณฟังก์ชันโคไซน์และไซน์คาบครบรอบเท่ากับ 2π (ข) สัญญาณไซน์ที่ฮาร์โมนิก $n = 1,2$ และ 3	11
รูปที่	2.10	(ก) สัญญาณ 1 คาบ (ข) ฟังก์ชันคู่ (Even periodic function)	12
รูปที่	2.11	แสดงข้อมูล "ก" ของบุคคลสองคน ฟังก์ชันคู่ $f_1(x)$ และ $f_2(x)$ คือทิศทางการเคลื่อนที่ของปลายปากกา สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ และการประมาณค่าด้วยฟูเรียร์	14
รูปที่	3.1	แสดงกระบวนการโดยรวมของระบบรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคล	16
รูปที่	3.2	แสดงอุปกรณ์กระดานกราฟิก (Tablet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	17
รูปที่	3.3	แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการรับค่า pen-point	17
รูปที่	3.4	(ก) แสดงตัวอย่างการรับค่า pen-point (ข) แสดงค่าพิกัด (Coordinate) X,Y ในไฟล์ .txt ที่ได้จากตัวอย่างรูปที่ 3.4 (ก)	19
รูปที่	3.5	(ก) ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บเป็นพยัญชนะภาษาไทย (ข) แสดงกราฟพยัญชนะที่เก็บโดยสัมพันธ์กับเวลา (ค) พยัญชนะที่ได้จากบุคคลเดียวกันจำนวน 4 ครั้ง (ง) ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บเป็นสระภาษาไทย (จ) แสดงกราฟสระที่เก็บโดยสัมพันธ์กับเวลา (ฉ) สระที่ได้จากบุคคลเดียวกันจำนวน 4 ครั้ง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	3.6	(ก) แสดงข้อมูลทั้งหมดที่รับค่าเข้ามา (ข) แสดงข้อมูลทั้งหมดเมื่อผ่านการตัดค่า -2 ออก (ค) แสดงการแบ่งตัวอักษร 1-Stroke ออกเป็นแต่ละตัว (ง) แสดงการแบ่งตัวอักษร 2-Stroke ออกเป็นแต่ละตัว	22
รูปที่	3.7	(ก) ข้อมูลก่อนการทำขนาดมาตรฐาน (ข) ข้อมูลหลังผ่านการทำขนาดมาตรฐานแล้ว	23
รูปที่	3.8	ข้อมูลหลังผ่านการทำตำแหน่งมาตรฐาน	23
รูปที่	3.9	แสดงการแทนพิกัดข้อมูลด้วยจุดบารีเซ็นเตอร์	25
รูปที่	3.10	(ก) ภาพโดยรวมของตัวอักษรก่อนและหลังการทำ Barycenter (ข) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างลักษณะเส้นตัวอักษรก่อนและหลังการทำ Barycenter	26
รูปที่	3.11	(ก) และ (ข) แสดงค่าพิกัดของบารีเซ็นเตอร์ x และ y ก่อนทำ Piecewise Linear Function ตามลำดับ	27
รูปที่	3.12	(ก) และ (ข) แสดงค่าพิกัดของบารีเซ็นเตอร์ x และ y ก่อนทำ Piecewise Linear Function (ค) และ (ง) แสดงค่าพิกัดของบารีเซ็นเตอร์ x และ y หลังทำ Piecewise Linear Function ตามลำดับ	28
รูปที่	3.13	(ก) แสดงอักขระ "ข" ก่อนผ่านกระบวนการฟูเรียร์ (ข) แสดงบารีเซ็นเตอร์ x (ค) แสดงบารีเซ็นเตอร์ y (ง) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของบารีเซ็นเตอร์ x (จ) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของบารีเซ็นเตอร์ y (ฉ) แสดงบารีเซ็นเตอร์ x ที่แปลงกลับจากรูป ง (ช) แสดงบารีเซ็นเตอร์ y ที่แปลงกลับจากสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (ซ) แสดงอักขระ "ข" ที่ได้จากบารีเซ็นเตอร์ x และ y ที่แปลงค่ากลับจากสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์	30
รูปที่	3.14	แสดงการเปรียบเทียบหาค่าระยะยูคลิดโดย (ก) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างพยัญชนะ "ก" 2 ตัวที่ต่างกัน (ข) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างพยัญชนะ "ก"และ"ข" (ค) และ (ง) แสดงกราฟข้อมูล Barycenter x ที่ผ่านการประมาณค่าฟูเรียร์ทั้ง 2 ตัว (จ) และ(ฉ) แสดงกราฟข้อมูล Barycenter y ที่ผ่าน Piecewise Linear	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	3.15	แสดงระบบการทำงานทั้งหมดของการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์	35
รูปที่	4.1	แสดงรหัส Unicode ฐาน 16 ของตัวอักษรภาษาไทย	37
รูปที่	4.2	แสดงตัวอย่างตัวอักขระที่เก็บของแต่ละบุคคล	38
รูปที่	4.3	แสดงการเปรียบเทียบระยะยูคลิดของตัวอักษรอ้างอิงกับตัวอักษรที่นำมาเปรียบเทียบของการทดลองที่ 1	47
รูปที่	4.4	แสดงการเปรียบเทียบระยะยูคลิดของตัวอักษรอ้างอิงกับตัวอักษรที่นำมาเปรียบเทียบของการทดลองที่ 2	47
รูปที่	4.5	แสดงการเปรียบเทียบระยะยูคลิดของตัวอักษรอ้างอิงกับตัวอักษรที่นำมาเปรียบเทียบของการทดลองที่ 3	48
รูปที่	4.6	แสดงการเปรียบเทียบระยะยูคลิดของตัวอักษรอ้างอิงกับตัวอักษรที่นำมาเปรียบเทียบของการทดลองที่ 4	48
รูปที่	4.7	โปรแกรมแสดงผล	49
รูปที่	4.8	แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	3.1	แสดงตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลลักษณะเด่น	20
ตารางที่	3.2	แสดงตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลโดยรวม	21
ตารางที่	4 1	แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทดลองที่ 1	40
ตารางที่	4.2	แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทดลองที่ 2	42
ตารางที่	4.3	แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทดลองที่ 3	44
ตารางที่	4.4	แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทดลองที่ 4	46
ตารางที่	4.5	แสดงประสิทธิภาพของโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

การทำงานในยุคปัจจุบัน คอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทในการทำงาน ในทุกองค์กร ทุกธุรกิจ ไม่ว่าจะเป็นการเก็บไฟล์ในรูปแบบต่างๆ รวมถึงการส่งอีเมล์เพื่อติดต่อกับฝ่ายต่างๆ หรือหน่วยงานอื่นๆ ซึ่งหลายๆคนมักถนัดที่จะใช้เขียนลงสมุดโน๊ตมากกว่าที่จะใช้คีย์บอร์ดพิมพ์ข้อความลงบนโปรแกรม หรือบางคนพิมพ์ไม่คล่องเท่าเขียนด้วยมือ จึงทำให้เกิดปัญหาในการจัดเก็บข้อมูลลงบนคอมพิวเตอร์ขึ้น

โดยทั่วไปวิธีที่ใช้ในการย้ายข้อความที่เขียนในสมุดโน้ตหรือกระดาษต่างๆ มาจัดเก็บลงบนคอมพิวเตอร์นั้น จะใช้วิธีการพิมพ์หรือใช้การสแกนเข้ามาช่วย ซึ่งบางครั้งลายมือที่แสดงบนคอมพิวเตอร์ก็ไม่ชัดเจนตามต้องการ

จากปัญหาดังกล่าว ทำให้เกิดแรงจูงใจและแนวคิดในการจัดทำโครงงานการรู้จำตัวอักษรขึ้นมา โดยเลือกพิจารณาการรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์ เนื่องจากการรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์นั้น ผู้ใช้งาน จำเป็นต้องเก็บข้อมูลตัวอักษรต้นแบบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่รับค่าเข้ามา ดังนั้นการวิเคราะห์จะถูกต้องและแม่นยำกว่าการรู้จำตัวอักษรแบบไม่ขึ้นกับบุคคล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาทฤษฎี หลักการ และ วิธีการเกี่ยวกับระบบรู้จำตัวอักษร

1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคลอย่างง่าย ให้มีประสิทธิภาพโดยนำทฤษฎีที่ได้ศึกษาในตอนต้นมาใช้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 สามารถรับค่าและแสดงลักษณะอักษรลายมือภาษาไทยของแต่ละบุคคลได้

1.3.2 สามารถแสดงผลลายมือภาษาไทยของแต่ละบุคคลให้อยู่ในรูปตัวพิมพ์ (Font) ได้

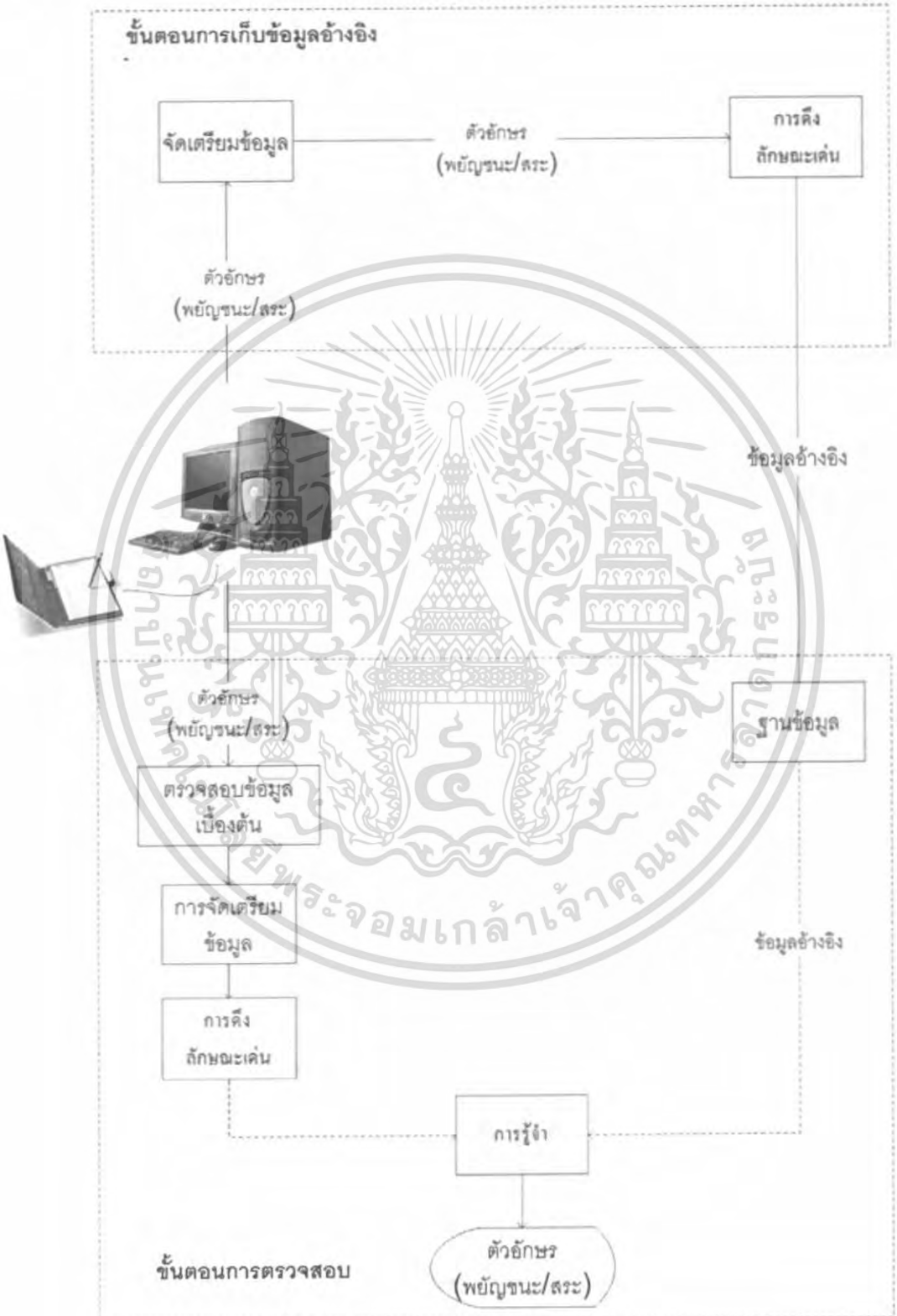
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้วิธีการตรวจสอบลายมือที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพ

1.4.2 นำไปประยุกต์ใช้กับการทำงานในองค์กร หรือธุรกิจต่างๆให้เกิดประโยชน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ระบบการทำงาน



รูปที่ 1.1 ไดอะแกรมแสดงระบบการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยเฉพาะบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

1.6.1 เก็บข้อมูลตัวอักษรภาษาไทย

1.6.2 หาวิธีตรวจสอบตัวอักษร

1.6.3 พัฒนาระบบรู้จำตัวอักษร

1.6.4 ทดสอบ ประเมินประสิทธิภาพ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของระบบ

1.6.5 สรุปผลการทดลองและจัดทำปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาษาไทย (Thai Language)

2.1.1 ความหมาย

สิ่งมีชีวิตทั้งหลายบนโลกใบนี้ย่อมต้องใช้การสื่อสารในการดำรงชีวิตประจำวันเสมอ ซึ่งสิ่งที่ใช้กันสากลในการสื่อสารกันก็คือ "ภาษา" แต่ละเชื้อชาติ แต่ละเผ่าพันธุ์ก็มีภาษาและลักษณะที่ใช้แตกต่างกันไป ซึ่งภาษาไทยก็เป็นหนึ่งในนั้นด้วยเหมือนกัน โดยมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวหลายประการที่ทำให้ภาษาไทยแตกต่างจากชนชาติอื่นๆในโลกนี้

2.1.2 ประเภทของภาษาไทย

ตัวอักษรภาษาไทยแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

(1) พยัญชนะ (Consonant)

ในทางภาษาศาสตร์ หมายถึง เสียงแบบหนึ่งในภาษา ออกเสียงให้แตกต่างได้จากลักษณะของอวัยวะออกเสียงในช่องปาก และลักษณะอื่นๆ เช่น การพ่นลม หรือเสียงก้อง ไม่ก้อง นอกจากนี้ยังหมายถึงตัวอักษรที่ใช้แทนเสียงพยัญชนะด้วย พยัญชนะมีด้วยกันทั้งหมด 44 รูป ดังรูป

ก ข ฃ ค ฅ ฆ ง จ ฉ ช ซ ฌ ญ ฎ ฏ
ฐ ฑ ฒ ณ ด ต ถ ท ธ น บ ป ผ ฝ
พ ฟ ภ ม ย ร ล ว ศ ษ ส ห ฬ อ ฮ

รูปที่ 2.1 แสดงพยัญชนะภาษาไทย 44 รูป

(2) สระ (Vowel)

สระมีด้วยกันทั้งหมด 21 รูป ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

_ะ วิสรรชนีย์	_ ไม้ผัด หรือ ไม้หันอากาศ	_ ไม้ไต่คู้
_า ลากข้าง	_ พินทุ์อิ	_ ฝนทอง
_ นิคหิต หรือ หยาดน้ำค้าง	_ ฟันหนู	_ ตีนเหยียด
_ ตีนคู้	เ_ ไม้หน้า	ใ_ ไม้ม้วน
ไ_ ไม้มลาย	โ_ ไม้โอ	อ ตัวออ
ย ตัวยอ	ว ตัววอ	ฤ ตัวรึ
ฤๅ ตัวรือ	ฦ ตัวลึ	ฦๅ ตัวลือ

รูปที่ 2.2 แสดงสระภาษาไทย 21 รูป

(3) วรรณยุกต์ (Tone Marks)

วรรณยุกต์มีอยู่ด้วยกัน 4 รูป ดังรูป

_ ไม้เอก _ ไม้โท _ ไม้ตรี _ ไม้จัตวา

รูปที่ 2.3 แสดงวรรณยุกต์ภาษาไทย 4 รูป

(4) ตัวเลข (Numeral)

ตัวเลขภาษาไทยมีด้วยกัน 10 ตัว ดังรูป

๐ ๑ ๒ ๓ ๔ ๕ ๖ ๗ ๘ ๙

รูปที่ 2.4 แสดงตัวเลขไทย 10 ตัว

2.2 ลายมือ (Signature)

2.2.1 ความหมาย

ลายมือหรือลายเซ็นเป็นลักษณะทางพฤติกรรมเฉพาะตัวของบุคคลอย่างหนึ่ง โดยแต่ละคนก็จะมีลักษณะการเขียนที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น การศึกษา เพศ อายุ เป็นต้น นอกจากนี้ลายมือยังมีความน่าเชื่อถือสูง และมีการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาน้อย จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เพื่อระบุตัวบุคคล

2.2.2 ประเภทของลายมือ

ลายมือหรือลายเซ็นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

(1) ออฟไลน์ (Off-line)

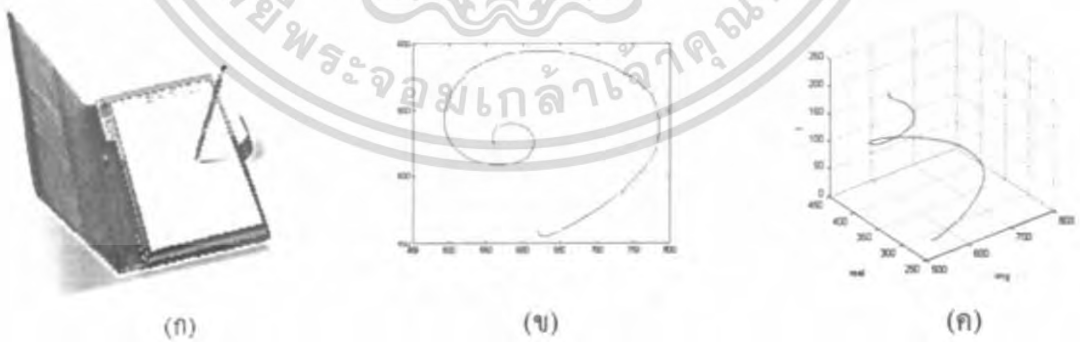
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายมือหรือลายเซ็นแบบออฟไลน์(Off-line signature) คือ การเขียนทั่วไปที่ใช้ปากกาเขียนลงบนกระดาษ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะอยู่บนกระดาษ การจะนำลายมือหรือข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์บนคอมพิวเตอร์ ทำได้โดยการใช้เครื่องสแกน (Scanner) หรือ กล้องดิจิตอล (Digital camera) ในการโอนข้อมูลจากกระดาษมา ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นไฟล์ชนิดรูปภาพ (image file) แล้วจึงนำข้อมูลนั้นเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ภาพ (image processing) ต่อไป

รูปที่ **2.5** กระบวนการวิเคราะห์ลายมือออฟไลน์

(2) ออนไลน์ (On-line)

ลายมือหรือลายเซ็นออนไลน์ คือ ลายมือที่เกิดจากการเขียนลงบนอุปกรณ์เฉพาะทาง ที่มีความสามารถในการเก็บข้อมูลลงคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง เช่น กระดานอิเล็กทรอนิกส์ (Tablet) เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จะมีรายละเอียดต่างๆที่สัมพันธ์กับเวลา เช่น ทิศทาง ความเร็ว และแรงกด (Pressure) ของปากกา



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ **2.6** ตัวอย่างข้อมูลตัวอักษรภาษาไทยแบบออนไลน์ (ก) อุปกรณ์ Tablet สำหรับรับค่าข้อมูล (ข) กราฟแสดงข้อมูลที่ถูกนำไปเก็บในคอมพิวเตอร์ (ค) กราฟแสดงพิกัด ณ เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีและวิธีการทางคณิตศาสตร์

2.3.1 การทำขนาดมาตรฐาน (Normalized of size)

เป็นวิธีในการทำให้พิกัดข้อมูลทั้งหมดอยู่ในขอบเขตเดียวกัน [2] คือ อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ทั้งในแนวแกน x และ y สมการทั่วไปที่ใช้สำหรับการทำขนาดมาตรฐาน คือ

$$\hat{z}(t_n) = \frac{z(t_n) - z_{min}}{z_{max} - z_{min}}, (z = x, y) \qquad (2.1)$$

โดยที่

$z(t_n)$ คือ พิกัดข้อมูลเดิมที่ต้องการทำขนาดมาตรฐาน

$\hat{z}(t_n)$ คือ พิกัดข้อมูลที่ได้จากการทำขนาดมาตรฐาน

z_{min} คือ พิกัดข้อมูลเดิมที่มีค่าต่ำสุด

z_{max} คือ พิกัดข้อมูลเดิมที่มีค่าสูงสุด

2.3.2 การทำตำแหน่งมาตรฐาน (Normalized of location)

เป็นวิธีในการทำจุดศูนย์กลางซึ่งสมมติฐานได้ว่า เป็นจุดที่สมมาตรของพิกัดข้อมูลแต่ละชุดให้เป็นจุดจุดเดียวกัน เริ่มจากการหาจุดศูนย์กลางของลายเซ็น โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของปากกาตามแนวแกน $x(t_n)$ และ $y(t_n)$ โดยใช้สมการ (2.2) จากนั้นย้ายพิกัดข้อมูลต่างๆ ไปยังตำแหน่งใหม่ โดยให้จุดศูนย์กลางดังกล่าวอยู่ที่จุดกำเนิด (0,0) [2] ดังสมการที่(2.3)

$$C_z = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} \hat{z}(t_n), \quad (\hat{z} = \hat{x}, \hat{y}) \qquad (2.2)$$

$$\hat{z}'(t_n) = \hat{z}(t_n) - c_z, \quad (\hat{z}' = \hat{x}', \hat{y}') \qquad (2.3)$$

โดยที่

C_z คือ จุดศูนย์กลางของข้อมูลที่คำนวณได้

$z(t_n)$ คือ พิกัดข้อมูลเดิมที่ต้องการทำตำแหน่งมาตรฐาน

$\hat{z}(t_n)$ คือ พิกัดข้อมูลที่ได้จากการทำตำแหน่งมาตรฐาน

N คือ จำนวนพิกัดข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 จุดบารีเซ็นเตอร์ (Barycenter Point)

จุดบารีเซ็นเตอร์ คือ จุดศูนย์กลางของรูปสามเหลี่ยม ซึ่งเกิดจากจุดยอดมุมสามจุด [2] โดยคำนวณจุดศูนย์กลาง ได้จากสมการ

$$\left.\begin{aligned} r_x(t_n) &= \frac{x(t_n)+x(t_{n+1})+c(x)}{3} \\ r_y(t_n) &= \frac{y(t_n)+y(t_{n+1})+c(y)}{3} \end{aligned}\right\} \tag{2.4}$$

โดยที่

$r_x(t_n), r_y(t_n)$ คือ จุดศูนย์กลางของรูปสามเหลี่ยม ตามแนวแกน x, y

$x(t_n), y(t_n)$ คือ จุดยอดมุมของรูปสามเหลี่ยม ตามแนวแกน x, y

c(x) , c (y) คือ จุดศูนย์กลางที่จุดกำเนิดของแกน x และ y ตามลำดับ

2.3.4 การประมาณค่าด้วยฟังก์ชัน Piecewise Linear

ฟังก์ชัน Piecewise Linear เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการประมาณค่าที่อยู่ระหว่างจุดต่อจุดด้วยการลากเส้นตรงเชื่อมจุดเหล่านั้นเข้าด้วยกัน [1] โดยสามารถคำนวณจุดบนเส้นตรงได้ด้วยสมการ

$$z(t) = \sum_{n=1}^{N} z(t_n)\phi_n(t), (z = x, y) \tag{2.5}$$

$$\phi_n(t) = \begin{cases} \dfrac{t - t_{(n-1)}}{t_n - t_{(n-1)}}, & t \in \left[t_{(n-1)}, t_n\right] \\ \dfrac{t_{(n+1)} - t}{t_{(n+1)} - t_n}, & t \in \left[t_n, t_{(n+1)}\right] \\ 0, & t \notin \left[t_{(n-1)}, t_{(n+1)}\right] \end{cases} \tag{2.6}$$

โดยที่

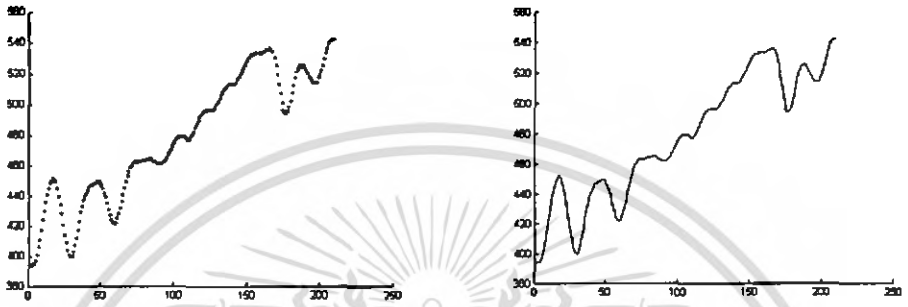
$z(t)$ คือ ข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่า

$z(t_n)$ คือ ข้อมูลเดิม ณ ที่เวลาต่างๆ

$\phi_n(t)$ คือ ตัวคูณซึ่งหาได้จากเงื่อนไขต่างๆข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชัน Piecewise Linear ทำให้สามารถประมาณค่าข้อมูล ณ ตำแหน่งที่ต้องการได้ทุกจุดบนเส้นตรง หรือกล่าวได้อีกอย่างว่าเป็นการแปลงค่าข้อมูลที่มีอยู่ซึ่งเป็นแบบไม่ต่อเนื่องให้เป็นข้อมูลแบบต่อเนื่อง



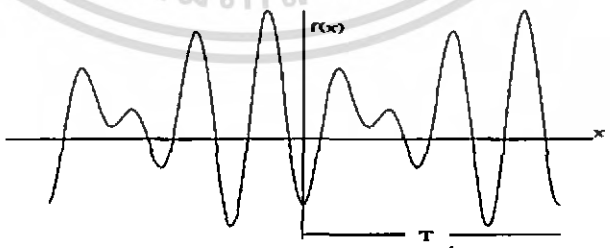
รูปที่ **2.7** (ก) ข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (ข) ข้อมูลแบบต่อเนื่อง

2.3.5 ฟังก์ชันคาบ (Periodic function)

ฟังก์ชันคาบ $f(x)$ เรียกว่า เป็นฟังก์ชันที่มีคาบครบรอบ T ถ้า T เป็นจำนวนจริงใดๆ และไม่เท่ากับศูนย์ ดังนั้น

$$f(x+T) = f(x) \text{ ตลอดทุกค่าของ x} \tag{2.7}$$

ซึ่ง T คือคาบครบของฟังก์ชัน $f(x)$ เช่น $\sin x$ และ $\cos x$ มีคาบครบรอบเท่ากับ 2π (1รอบวงกลม : ครบ1รอบ)



รูปที่ **2.8** ฟังก์ชันคาบ

จากสมการที่ (2.7) และรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าสัญญาณมีคาบครบรอบเท่ากับ T และเกิดขึ้นซ้ำๆ กันทุกๆค่าของ T ถ้า n เป็นเลขจำนวนเต็ม สามารถกำหนดได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x+nT)=f(x) \text{ ตลอดทุกค่าของ } x \qquad (2.8)$$

ดังนั้นถ้า $nT=2T,3T,4T,...$ เป็นคาบของฟังก์ชัน $f(x)$ ซึ่งสัญญาณก็จะเกิดขึ้นซ้ำกันตามจำนวนรอบหรือค่าของ n ซึ่งสัญญาณก็จะเกิดขึ้นซ้ำกันตามจำนวนรอบหรือค่าของ 2π ในเทอมของฟังก์ชันง่ายๆ ได้แก่

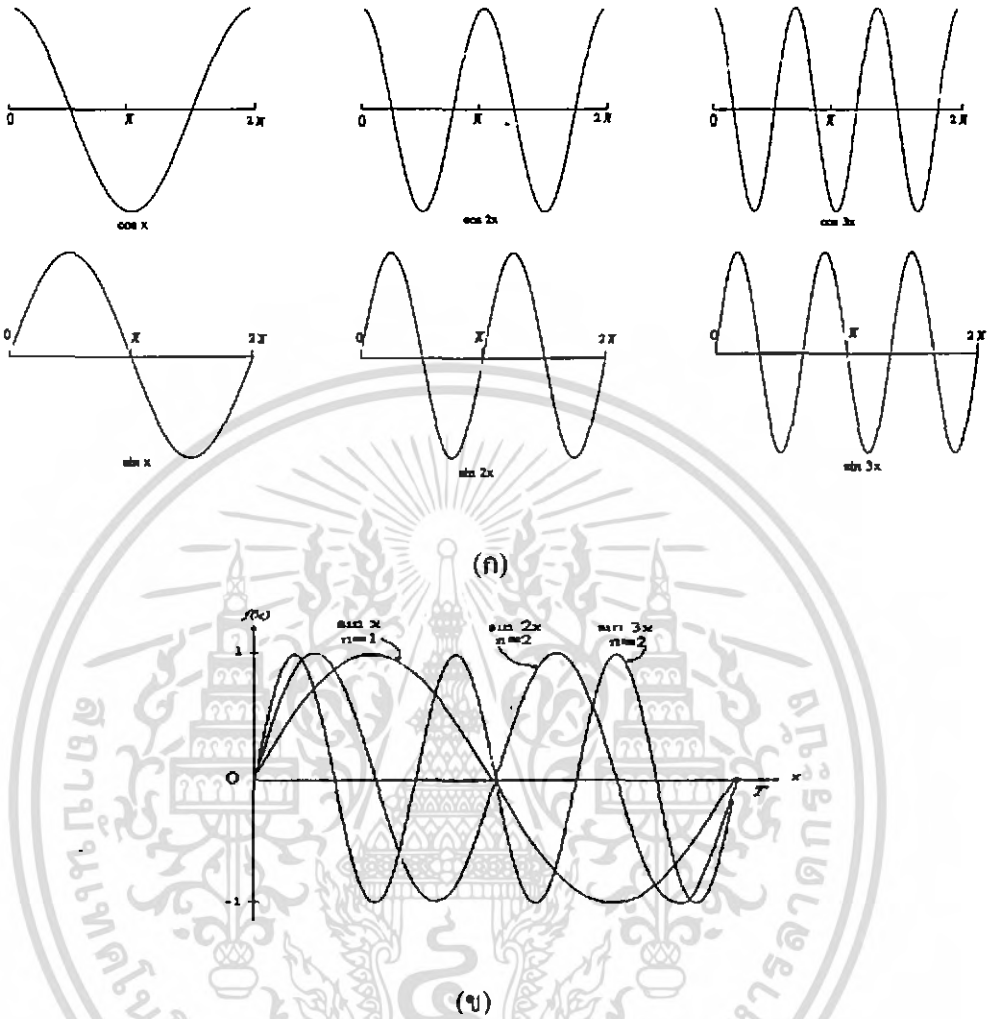
$$1,\cos x,\sin x,\cos 2x,\sin 2x,...,\cos nx,\sin nx,... \qquad (2\,9)$$

ซึ่งมีคาบครบรอบเป็น 2π ดังรูปที่ 2 8 และอนุกรมจะเกิดขึ้นในรูปแบบ

$$a_0+a_1\cos x+b_1\sin x+a_2\cos 2x+b_2\sin 2x+...+a_n\cos nx+b_n\sin nx \qquad (2\,10)$$

เมื่อ $a_0,a_1,a_2,...,b_1,b_2,...$ เป็นค่าคงที่จำนวนจริง อนุกรมในสมการ (2.10) เรียกว่าอนุกรมตรีโกณมิติ (Trigonometric series) ซึ่ง a_n และ b_n เรียกว่าเป็นสัมประสิทธิ์ (coeffieient) ของอนุกรมสัญญาณโคไซน์ (Cosine) และไซน์ (Sine) ที่มีฮาร์โมนิก $n=1,2$ และ 3 แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 (ก) และเฉพาะสัญญาณไซน์ที่ $n=1,2$ และ 3 แสดงไว้บนแกน x เดียวกัน ดังรูปที่ 2 9 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 (ก) สัญญาณฟังก์ชันโคไซน์และไซน์คาบครบรอบเท่ากับ 2π
(ข) สัญญาณไซน์ที่ฮาร์โมนิก $n = 1,2$ และ 3

2.3.6 การประมาณค่าด้วยฟูเรียร์ (Fourier Approximation)

2.3.6.1 อนุกรมฟูเรียร์ (Fourier series)

อนุกรมฟูเรียร์เป็นอนุกรมซึ่งสื่อถึงฟังก์ชันคาบโดยมีการอธิบายในรูปของฟังก์ชันโคไซน์ และไซน์ เพื่อให้ตัวฟังก์ชันคาบอยู่ในรูปทั่วไป

ให้ $f(x)$ คือฟังก์ชันคาบ ที่มีคาบเท่ากับ T และ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ แสดงให้ $f(x)$ อยู่ในรูปของฟังก์ชันโคไซน์ และไซน์(Sine) ได้ว่า

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}[a_n \cos(n\omega x) + b_n \sin(n\omega x)] \qquad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$a_n = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} f(x)\cos(n\omega x)dx \quad ;n = 0,1,2,... \tag{2.12}$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} f(x)\sin(n\omega x)dx \quad ;n = 1,2,... \tag{2.13}$$

a_n และ b_n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Coefficients) เป็นค่าที่แสดงคุณสมบัติความถี่ของสัญญาณ ซึ่งดึงความถี่ที่สำคัญของสัญญาณ ได้จากการกำหนดจำนวนสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์นี้

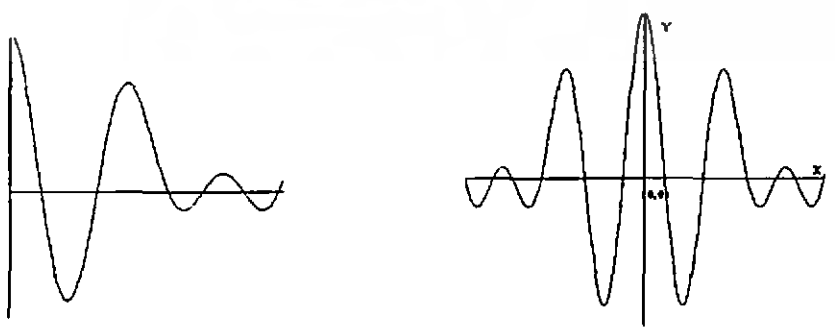
เนื่องจากอนุกรมนี้เป็นอนุกรมไม่รู้จบ(Infinite series) ดังนั้นการประยุกต์ใช้อนุกรมกับฟังก์ชันคาบอื่นๆ จึงมีประโยชน์มาก ทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลจำนวนมากได้อย่างรวดเร็ว เพราะผลลัพธ์ที่ได้จากสมการจะมีขนาดลดลง แต่ยังคงคุณลักษณะเดิมไว้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ ดังนั้นจึงถือว่าอนุกรมฟูเรียร์ (Fourier series) นั้นมีประโยชน์อย่างมากในการประมาณค่า (Approximation) ของฟังก์ชันคาบ (Periodic function)

2.3.6.2 ฟังก์ชันคู่ (Even Function)

นิยาม ฟังก์ชัน $y = g(x)$ เรียกว่าเป็น ฟังก์ชันคู่ ถ้า $g(-x) = g(x)$ สำหรับทุกๆ ค่าของ x ตัวอย่าง เช่น $f(x) = \cos x$ เป็นฟังก์ชันคู่ สามารถพิสูจน์โดยการแทน x ด้วย -x จะได้ว่า

$$f(x) = \cos(-x) = \cos x \tag{2.14}$$

จึงเรียก $\cos x$ เป็น ฟังก์ชันคู่ หรือพิจารณาจากรูปที่ 2.10 เมื่อพับหน้ากระดาษตามแกนแนวตั้ง y สัญญาณด้านซ้ายก็จะทับกับด้านขวา ดังนั้นลักษณะนี้จึงเรียกสัญญาณใดๆ หรือ ฟังก์ชันนั้นๆ ว่า ฟังก์ชันคู่



รูปที่ 2.10 (ก) สัญญาณ 1 คาบ (ข) ฟังก์ชันคู่ (Even periodic function)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของฟังก์ชันคู่

1. ฟังก์ชันคู่ x ฟังก์ชันคู่ = ฟังก์ชันคู่

2. $\int_{-T/2}^{T/2} f(x)dx = 2\int_{0}^{T/2} f(x)dx$

2.3.6.3 อนุกรมฟูเรียร์ของฟังก์ชันคู่

จากสมการ (2.14) เมื่อ $f(x)$ เป็นฟังก์ชันคู่ และเนื่องจาก $\cos(n\omega x)$ เป็นฟังก์ชันคู่ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น และมีคาบเท่ากับ T ดังนั้นตามคุณสมบัติตามข้อที่ 1 และคุณสมบัติข้อที่ 2 เมื่อทำการอินทิเกรตฟังก์ชันคู่จะได้

$$a_n = 2\times\left[\frac{2}{T}\int_{0}^{T/2} f(x)\cos(n\omega x)dx\right] = \frac{4}{T}\int_{0}^{T/2} f(x)\cos(n\omega x)dx \qquad (2.15)$$

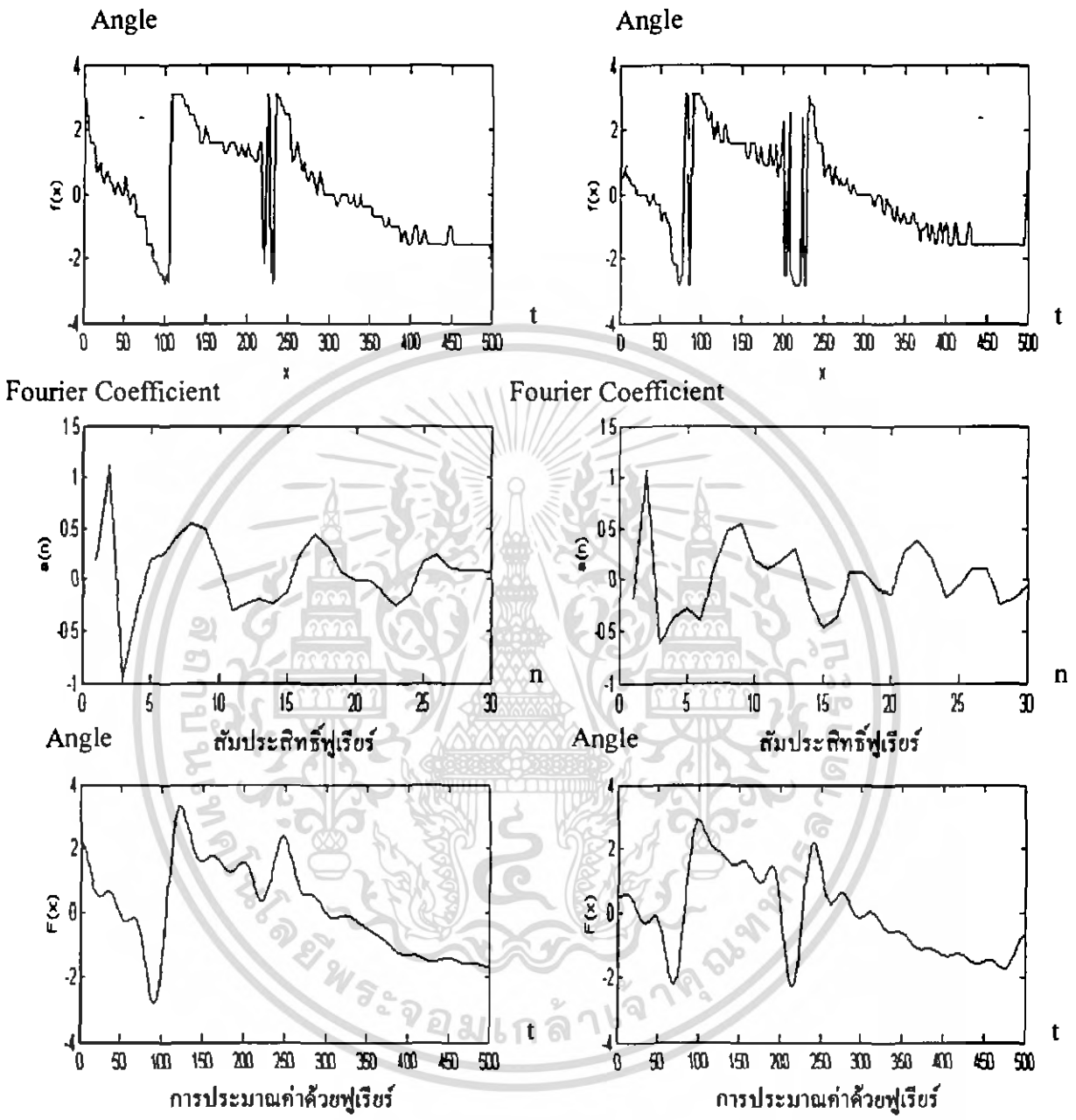
โดยที่ $b_n = 0 \;;n = 0,1,2,...$

และจากสมการที่ (2.11) จะได้

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}[a_n\cos(n\omega x)] \qquad (2.16)$$

สมการที่ (2.16) เรียกว่า อนุกรมฟูเรียร์โคไซน์ (Fourier cosine series) ซึ่งจากสมการ จะเห็นว่าถ้าฟังก์ชัน $f(x)$ นั้นเป็น ฟังก์ชันคู่ ก็ไม่จำเป็นต้องคำนวณหาค่า b_n เพราะ $b_n = 0$ อยู่แล้วสำหรับ ฟังก์ชันคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงข้อมูล "ก" ของบุคคลสองคน ฟังก์ชันคู่ $f_1(x)$ และ $f_2(x)$ คือทิศทางการเคลื่อนที่ของปลายปากกา สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ และการประมาณค่าด้วยฟูเรียร์

2.3.7 การวัดระยะแบบยูคลิด (Euclidean distance)

การวัดระยะแบบยูคลิด คือ วิธีการทั่วไปในการวัดระยะทางระหว่างจุด 2 จุดบนระนาบ ถ้ากำหนดให้ $u=(x_1,y_1)$ และ $v=(x_2,y_2)$ เป็นจุด 2 จุดบนระนาบ การวัดระยะแบบยูคลิดจะได้เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Distance\ (d) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2} \qquad (2.19)$$

ดังนั้นหากต้องการคำนวณระยะทางระหว่าง $\mathbf{f}_1$ และ $\mathbf{f}_2$ ซึ่งมีข้อมูลดังนี้

$$\mathbf{f}_1 = \{a_1, a_2, ..., a_n\} \text{ และ } \mathbf{f}_2 = \{b_1, b_2, ..., b_n\}$$

จาก (2.17) จะได้ระยะทางยูคลิดจาก $\mathbf{f}_1$ ไป $\mathbf{f}_2$

$$Distance\,(d) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (a_i - b_i)^2} \qquad (2.20)$$

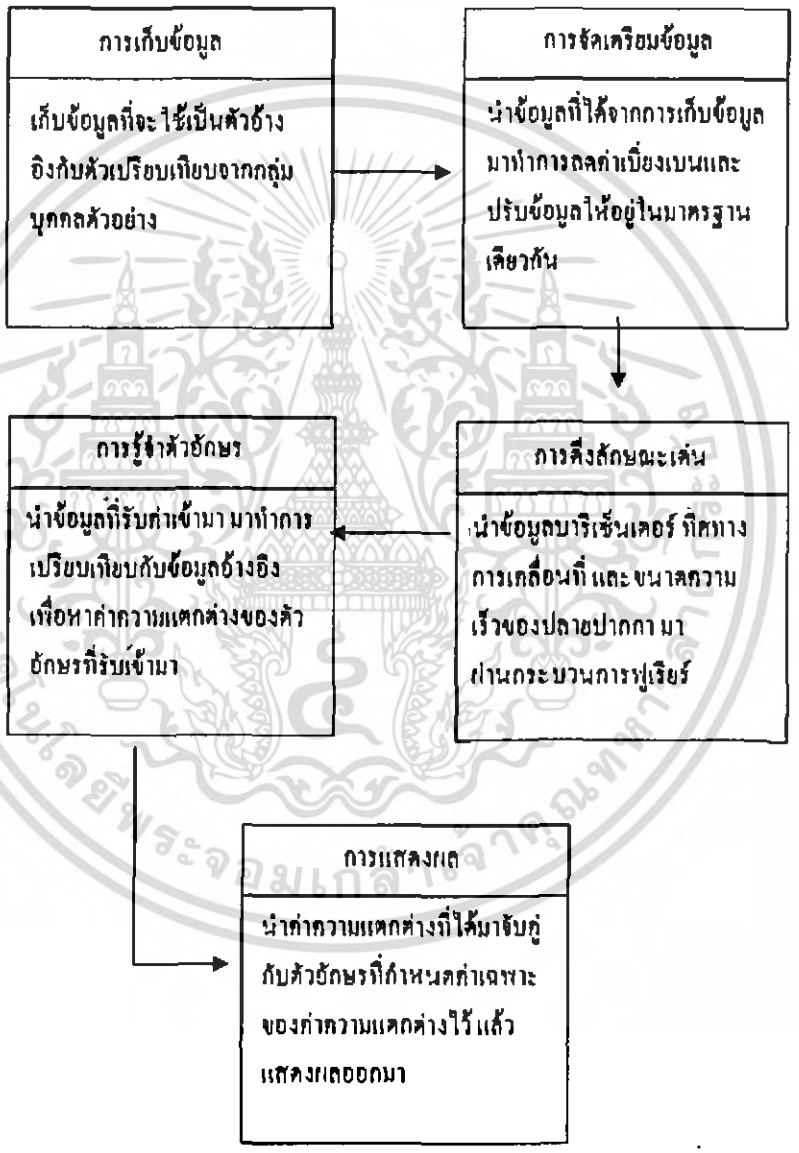
เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณระยะห่างระหว่างเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

โครงสร้างและกระบวนการของระบบรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคล สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการโดยรวมของระบบรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคล

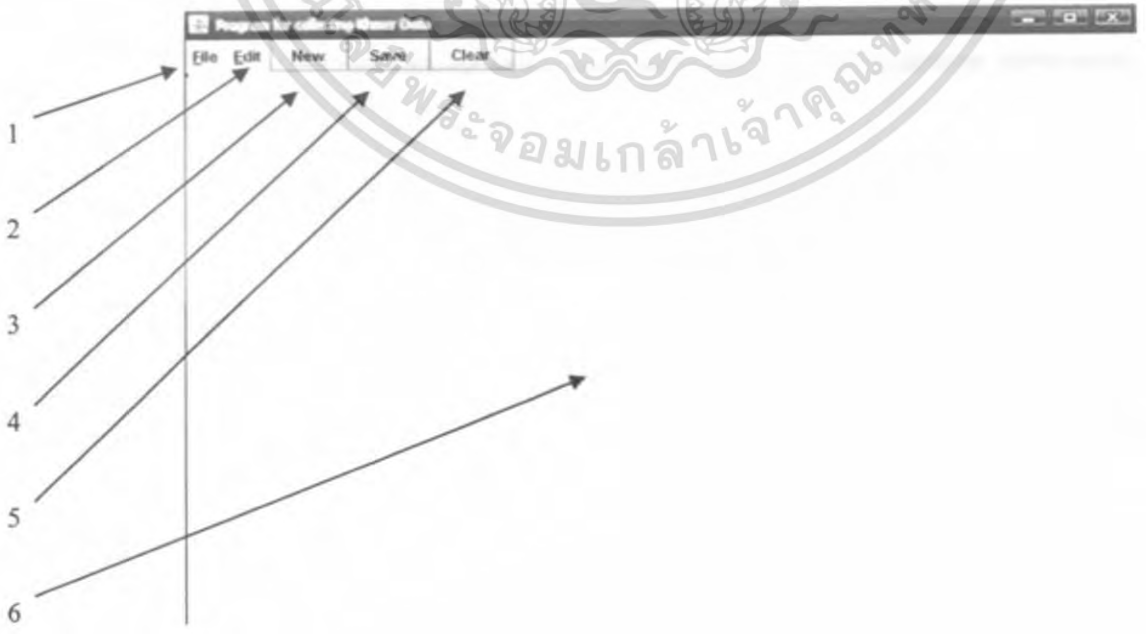
ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละกระบวนการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การรับข้อมูลตัวอักษรภาษาไทย

โครงงานชิ้นนี้ใช้อุปกรณ์กระดานอิเล็กทรอนิกส์ (Tablet) ยี่ห้อ Lapazz รุ่น D-Note DLA401 ขนาด A4 ในการเก็บข้อมูลตัวอักษรภาษาไทย ในขั้นตอนแรกผู้ทดลองจะทำการป้อนข้อมูลจากกระดานอิเล็กทรอนิกส์ (Tablet) โดยใช้ปากกาที่มีตัวเซ็นเซอร์ (Censor) เขียนตัวอักษรลงไป ซึ่งอุปกรณ์กระดานอิเล็กทรอนิกส์ (Tablet) ที่ใช้เก็บข้อมูล จะแสดงดังรูปที่ 3.2 ส่วนโปรแกรมในการรับค่า pen-point แสดงได้ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์กระดานกราฟิก (Tablet) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.3 แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการรับค่า pen-point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

83140

ส่วนที่ 1 File เป็นแถบเมนูในการเรียกใช้ คำสั่ง New (Crtl+N) และ Save (Ctrl+S)

ส่วนที่ 2 Edit เป็นแถบเมนูในการเรียกใช้ คำสั่ง Clear (Shift+Delete)

ส่วนที่ 3 New เป็น Short Cut ที่ใช้ในการแบ่งตัวอักษร โดยกจรเพิ่ม -2 ระหว่างพิกัด (Coordinate) X และ Y ใน Text File

ส่วนที่ 4 Save เป็น Short Cut ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ .txt

ส่วนที่ 5 Clear เป็น Short Cut ที่ใช้ในการล้างข้อมูลที่เขียนลงในโปรแกรม

ส่วนที่ 6 ส่วนที่แสดงค่า pen-point ที่รับเข้ามาจากกระดานอิเล็กทรอนิกส์ (Tablet)

โดยวิธีในการใช้งานโปรแกรมรับค่า pen-point มีดังนี้

1. เขียนตัวอักษรภาษาไทยลงบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ (Tablet) ทีละตัว โปรแกรมจะทำการเก็บข้อมูลตัวอักษรนั้นเป็นพิกัด (Coordinate) X และ Y ลงในไฟล์ .txt

2. เมื่อเขียนตัวอักษรเสร็จ 1 ตัว ให้กดคำสั่ง "New" เพื่อแบ่งตัวอักษรด้วยค่า -2 ในไฟล์ .txt

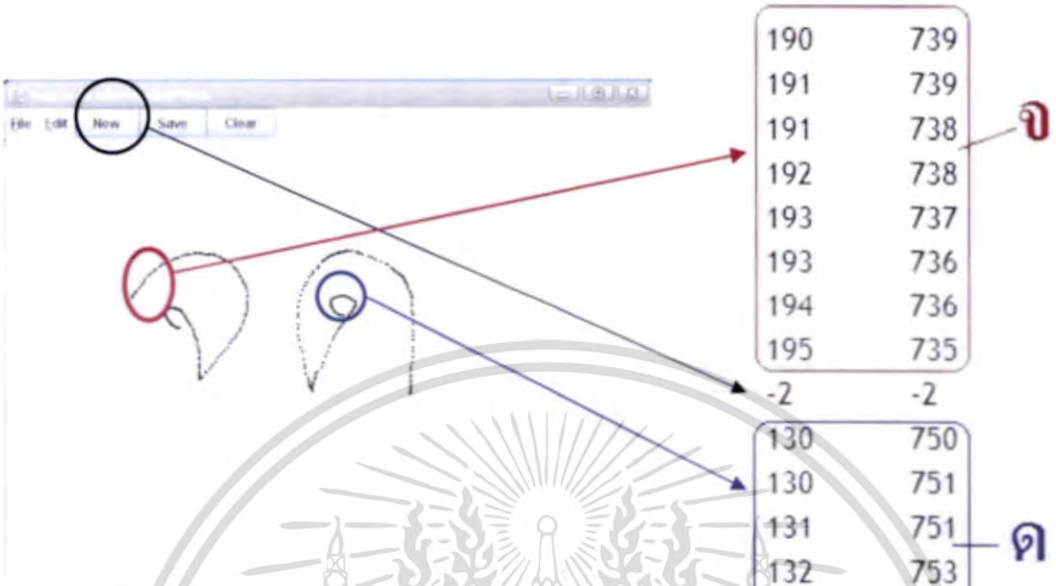
3. เมื่อมีการยกปากกาขึ้นและกดปากกาลงบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ (Tablet) โปรแกรมจะทำการคั่นค่าพิกัด (Coordinate) ด้วยค่า -1 ในไฟล์ .txt

4. เมื่อได้ตัวอักษรครบตามต้องการแล้ว ให้กดคำสั่ง "Save" เพื่อบันทึกค่าพิกัด (Coordinate) X และ Y ลงในไฟล์ .txt

5. กรณีเขียนผิดหรือต้องการเขียนใหม่ จะกดคำสั่ง "Clear" เพื่อเริ่มเขียนใหม่

ซึ่งสามารถแสดงวิธีการรับค่า pen-point ได้ดังรูปที่ 3.4 (ก) และแสดงการบันทึกค่าพิกัด X และ Y ที่ได้ดังรูปที่ 3.4 (ก) ลงในไฟล์ .txt ได้ดังรูปที่ 3.4 (ข) ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลที่เรียกว่า การเขียนแบบ 1-Stroke คือ มีการจรดปลายปากกาเขียนเพียงครั้งเดียวในหนึ่งตัวอักษร เช่น "ก" , "ข" และยังมีการเก็บข้อมูลอีกประเภทหนึ่ง เรียกว่า การเขียนแบบ 2-Stroke จะเป็นการเขียนที่มีการจรดปลายปากกาเขียนสองครั้ง เช่น "ฌ" , "ฐ" เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 (ก) แสดงตัวอย่างการรับค่า pen-point

รูปที่ 3.4 (ข) แสดงค่าพิกัด (Coordinate) X,Y ในไฟล์ .txt ที่ได้จากตัวอย่างรูปที่ 3.4 (ก)

จากตัวอย่างของรูปที่ 3.4 (ก) จะมีขั้นตอนดังนี้

1. เขียนพยัญชนะ "จ" ลงบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ (Tablet) แล้วกดคำสั่ง "New"

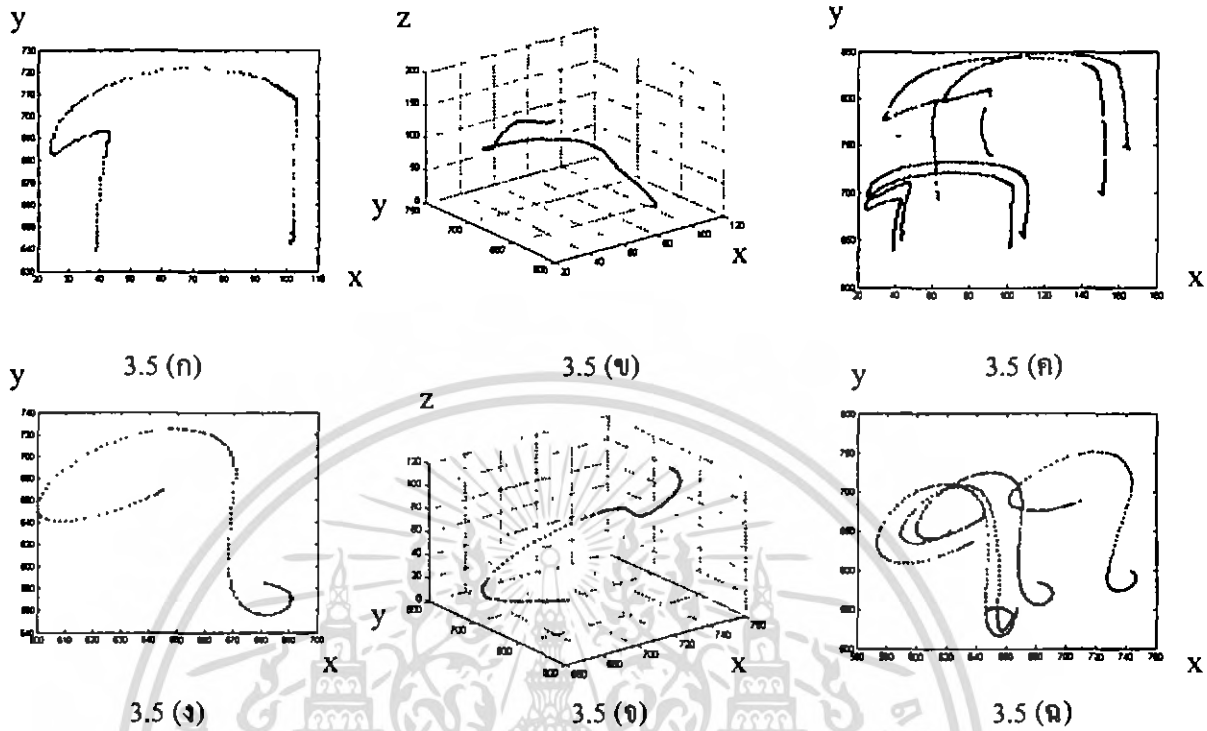
2. เขียนพยัญชนะ "ด" ลงบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ (Tablet) แล้วกดคำสั่ง "Save"

3. โปรแกรมจะทำการบันทึก (save) ข้อมูลพิกัด (Coordinate) X และ Y จากการรับค่า pen-point ไปยังไฟล์ .txt ที่ทำการบันทึก

จากการเก็บข้อมูลบุคคลทั้ง 10 คน ที่ใช้ทดสอบนั้น พบว่ามีเพียงการเขียนประเภท 1-Stroke และ 2-Stroke เท่านั้นสำหรับตัวอักษรภาษาไทยทั้ง 68 ตัว

ในส่วนของข้อมูลที่เลือกมาสำหรับใช้ทดสอบนั้น มีด้วยกัน 2 ประเภท คือ พยัญชนะและสระ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (ก) ถึงรูปที่ 3.5 (ฉ) และแสดงตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 (ก) ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บเป็นพยัญชนะภาษาไทย (ข) แสดงกราฟพยัญชนะที่เก็บโดยสัมพันธ์กับเวลา (ค) พยัญชนะที่ได้จากบุคคลเดียวกันจำนวน 4 ครั้ง (ง) ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บเป็นสระภาษาไทย (จ) แสดงกราฟสระที่เก็บโดยสัมพันธ์กับเวลา (ฉ) สระที่ได้จากบุคคลเดียวกันจำนวน 4 ครั้ง

	Barycenter X + Barycenter Y				
	Correct(%)	Error(%)		Correct(%)	Error(%)
ก			ร		
ข			ล		
ฃ			ว		
.			.		
.			.		
.			.		
ภ			ฤ		
ม			ๆ		
ย			ฯ		

	Correct(%)	Error(%)
เฉลี่ย		

ตาราง 3.1 แสดงตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลลักษณะเด่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้เขียน	%ความถูกต้อง			
	Barycenter X+Y	Barycenter X+Y+Angle	Barycenter X+Y+Size	Barycenter X+Y+Size+Angle
A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				
H				
I				
J				
เฉลี่ย				

ตาราง 3.2 แสดงตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลโดยรวม

3.2 การจัดเตรียมข้อมูล

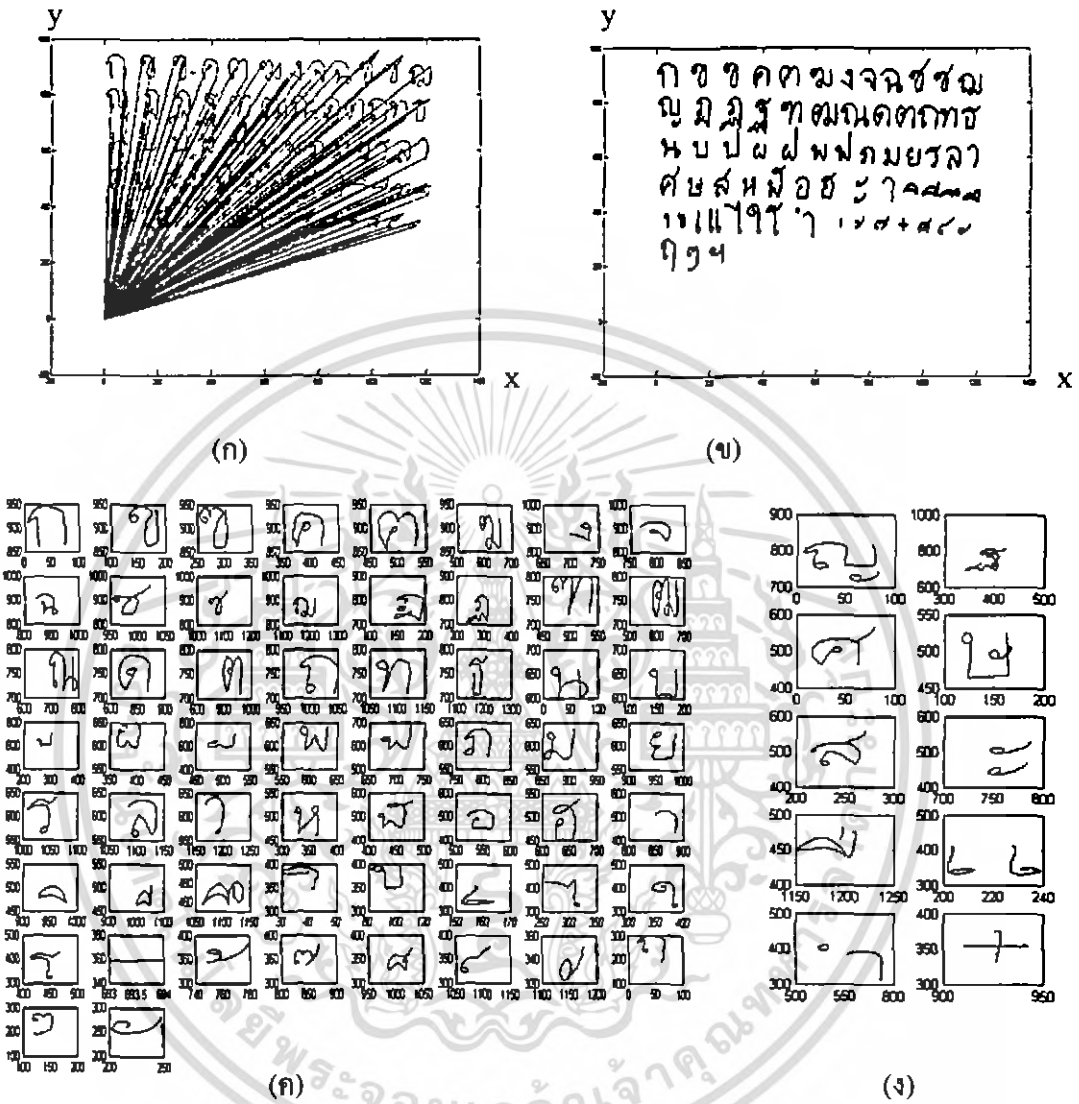
เมื่อผ่านขั้นตอนการเก็บข้อมูลมาแล้ว ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำข้อมูลมาทำการแยกข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นตัวอักษรแต่ละตัว และทำการลดค่าต่างๆที่ทำให้ข้อมูลที่เก็บมีความเปลี่ยนแปลงและจำกัดขอบเขตหรือทำให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกันหรือทำให้ข้อมูลเหล่านั้นมีความใกล้เคียงกันมากที่สุดเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างกันอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เมื่อได้ทำการทดสอบข้อมูลที่เก็บมาแล้ว และลองทำการจำกัดขอบเขตหรือทำให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน ทำให้ทราบว่าการทำข้อมูลทั้งหมดให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกันได้อย่างสมบูรณ์นั้น เป็นไปได้ยาก สังเกตได้ดังรูปที่ 3.5 (ค) และรูปที่ 3.5 (ฉ) แม้กระทั่งข้อมูลที่รับค่าเข้ามาจากคนๆเดียวกันก็ตาม โอกาสในการเกิดความเปลี่ยนแปลงหรือค่าความเบี่ยงเบนก็สามารถที่จะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการที่จะสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนหรือค่าการเบี่ยงเบน (Fluctuation) ของข้อมูลที่เก็บมา โดยมีกระบวนการจัดเตรียมข้อมูลซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 5 ขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้

3.2.1 การแยกข้อมูลเป็นตัวอักษรแต่ละตัว

หลังจากที่ทำการรับข้อมูลเข้ามาแล้ว จะเป็นขั้นตอนในการแยกข้อมูลนั้นเป็นตัวอักษรแต่ละตัวก่อนที่จะนำไปเข้าสู่กระบวนการในการพิสูจน์ตัวอักษรในขั้นต่อไป ซึ่งวิธีในการแยกตัวอักษรจากข้อมูลที่รับค่ามา ทำได้โดย เขียน Algorithm ในการแบ่งตัวอักษรแต่ละตัวจาก ค่า -2 ที่ใส่เข้ามาจากโปรแกรมในการรับข้อมูล หัวข้อที่ 3.1 จะได้เป็นตัวอักษรแต่ละตัวออกมา ดังแสดงในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

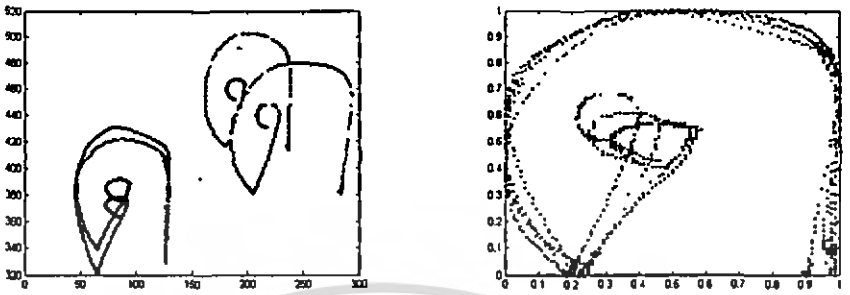


รูปที่ 3.6 (ก) แสดงข้อมูลทั้งหมดที่รับค่าเข้ามา (ข) แสดงข้อมูลทั้งหมดเมื่อผ่านการตัดค่า -2 ออก (ค) แสดงการแบ่งตัวอักษร 1-Stroke ออกเป็นแต่ละตัว (ง) แสดงการแบ่งตัวอักษร 2-Stroke ออกเป็นแต่ละตัว

3.2.2 การทำขนาดมาตรฐาน (Normalized of size)

เนื่องจากพบปัญหาเกิดขึ้นในการเปรียบเทียบข้อมูลลายมือตัวอักษรที่เขียนในแต่ละครั้งของคนๆเดียวกันค่าที่ได้จะออกมาไม่เท่ากันเสมอไป ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (ก) ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ได้โดยการทำขนาดมาตรฐาน [2] โดยใช้สมการ (2.1) ซึ่งผลที่ได้จากการทำขนาดมาตรฐานแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

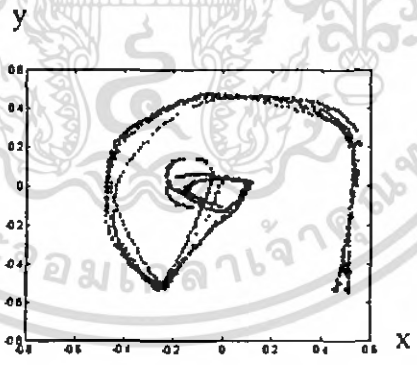


(ก) (ข)

รูปที่ 3.7 (ก) ข้อมูลก่อนการทำขนาดมาตรฐาน (ข) ข้อมูลหลังผ่านการทำขนาดมาตรฐานแล้ว

3.2.3 การหาตำแหน่งมาตรฐาน (Normalized of Location)

เนื่องจากการจะทำให้ข้อมูลทั้งหมดอยู่ในมาตรฐานเดียวกันนั้น จึงสรุปได้ว่า จุดศูนย์กลางของตัวอักษรนั้นควรจะเป็นจุดที่สมมาตร ณ จุดเดียวกัน จึงต้องทำการคำนวณให้ได้จุดศูนย์กลางของแต่ละ ตัวอักษร โดยทำการหาค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของปากกาตามแนวแกน $x(t_n)$ และ $y(t_n)$ [2] จากสมการที่ (2.2) และ (2.3) ซึ่งผลที่ได้จากการหาตำแหน่งมาตรฐาน แสดงได้ดังรูป 3.8



รูปที่ 3.8 ข้อมูลหลังผ่านการทำตำแหน่งมาตรฐาน

3.3 กระบวนการดึงคุณลักษณะเด่น

หลังจากมีการจัดการข้อมูลให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกันแล้ว ในขั้นตอนต่อไปคือการดึงคุณลักษณะเด่นบางส่วนของข้อมูลนั้นๆออกมา เหตุผลที่ต้องมีการดึงคุณลักษณะเด่น เนื่องจากถ้าเราใช้ข้อมูลทั้งหมดมาทำการเปรียบเทียบเลย ผลที่ได้อาจมีเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดสูง ถึงแม้ว่าเรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

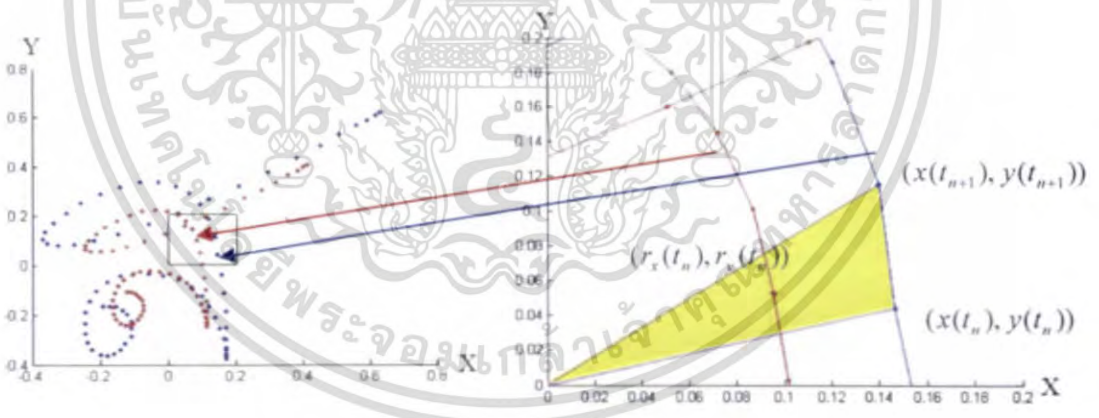
จะทำข้อมูลให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกันแล้ว แต่ก็เป็นเพียงการลดความเบี่ยงเบนของข้อมูลโดยรวมเท่านั้น

ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการระบบ จึงต้องทำการค้นหาและดึงคุณลักษณะเด่น ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของข้อมูลออกมา ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแล้วยังเป็นการลดจำนวนข้อมูลได้อีกด้วย

สำหรับโครงงานนี้ คุณลักษณะเด่น(Feature) ที่เราสนใจ คือ จุดบารีเซ็นเตอร์ ทิศทางการเคลื่อนที่ และขนาดความเร็ว (Angle and Size of Velocity) ของปลายปากกา เนื่องจากเป็นสิ่งที่ค่อนข้างคงที่ มีการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาหรือสภาวะแวดล้อมน้อย และสามารถพิจารณาข้อมูลได้ง่าย ซึ่งลักษณะเด่นต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 แทนพิกัดข้อมูลด้วยจุดบารีเซ็นเตอร์

จุดบารีเซ็นเตอร์ (Barycenter) คือ จุดศูนย์กลางของรูปสามเหลี่ยมที่เกิดจากจุดสามจุด ได้แก่ จุดศูนย์กลางข้อมูลซึ่งถูกย้ายไปที่จุดกำเนิดแล้ว กับจุดข้อมูลสองจุดที่อยู่ติดกัน ซึ่งใช้ในการลดความไวของการเคลื่อนที่ของปลายปากกาอันเนื่องมาจากข้อมูลมีความ sensitive สูง แสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการแทนพิกัดข้อมูลด้วยจุดบารีเซ็นเตอร์

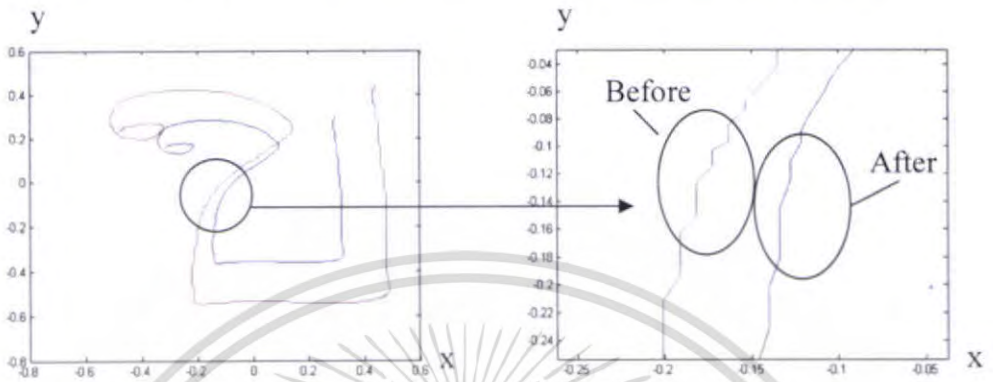
คำนวณได้จากสมการที่ (2.4) ดังนี้

$$r_x(t_n) = \frac{\hat{x}(t_n) + \hat{x}(t_{n+1}) + 0}{3}$$

$$r_y(t_n) = \frac{\hat{y}(t_n) + \hat{y}(t_{n+1}) + 0}{3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะนำจุดบารีเซ็นเตอร์ (Barycenter) นี้มาใช้เป็นข้อมูลแทนจุดที่เกิดของปากกาจริง เพราะข้อมูลผ่านการลดความไวของการเคลื่อนที่ของปลายปากกาแล้ว แสดงได้ดังรูปที่ 3.10



(ก) (ข)

รูปที่ **3.10** (ก) ภาพโดยรวมของตัวอักษรก่อนและหลังการทำ Barycenter (ข) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างลักษณะเส้นตัวอักษรก่อนและหลังการทำ Barycenter

จากนั้น เราสามารถคำนวณทิศทางการเคลื่อนที่ และขนาดความเร็ว (Angle and Size of Velocity) ของปลายปากกาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างวิถีการเคลื่อนที่ของจุดบารีเซ็นเตอร์และสมการความเร็วได้ดังต่อไปนี้

กำหนดสมการเพื่อพิจารณาวิถีการเคลื่อนที่ของจุดบารีเซ็นเตอร์ในแนวแกน X และแกน Y ได้ดังนี้

$$z(t_n) = r_x(t_n) + jr_y(t_n) \; ; \quad j = \sqrt{-1} \tag{3.1}$$

และสมการความเร็ว คือ

$$v(t_n) = z(t_{n+1}) - z(t_n) \tag{3.2}$$

จะได้ $$v(t_n) = [r_x(t_{n+1}) + jr_y(t_{n+1})] - [r_x(t_n) + jr_y(t_n)] \tag{3.3}$$

$$v(t_n) = r_x(t_{n+1}) - r_x(t_n) + j[r_y(t_{n+1}) - r_y(t_n)] \tag{3.4}$$

ดังนั้น ขนาดความเร็วของปลายปากกา คือ

$$\text{Size of Velocity} = \sqrt{[r_x(t_{n+1}) - r_x(t_n)]^2 + [r_y(t_{n+1}) - r_y(t_n)]^2} \tag{3.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

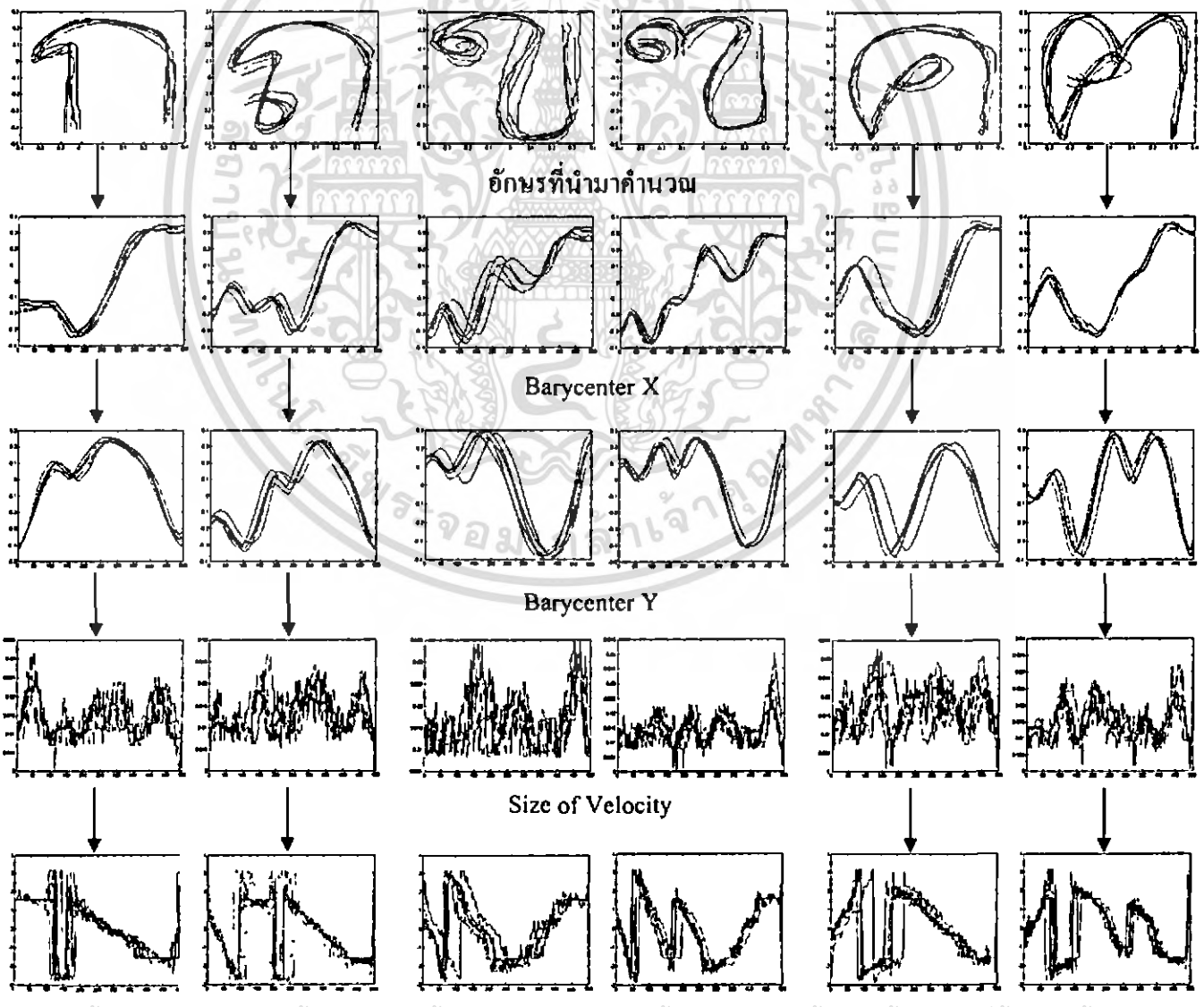
และ ทิศทางการเคลื่อนที่ของปลายปากกา คือ

$$\tan\theta = \frac{r_y(t_{n+1}) - r_y(t_n)}{r_x(t_{n+1}) - r_x(t_n)} \qquad (3\ 6)$$

หรือ

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{r_y(t_{n+1}) - r_y(t_n)}{r_x(t_{n+1}) - r_x(t_n)}\right) \qquad (3.7)$$

ซึ่งค่า barycenter x , barycenter y , ขนาดความเร็วของการเคลื่อนที่ปลายปากกา และ ทิศทางการเคลื่อนที่ของปลายปากกา สามารถแสดงได้ ดังรูปต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราจะได้คุณลักษณะเด่นที่เราสนใจ คือ พิกัดแกน x หรือ แกน y ของจุดบารีเซ็นเตอร์ ทิศทางการเคลื่อนที่ และขนาดความเร็วของปลายปากกา ซึ่งข้อมูลที่ได้มา จะต้องนำมากำหนดจำนวนจุดข้อมูลมาตรฐาน เพื่อให้สามารถนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันได้

3.3.2 การกำหนดจำนวนข้อมูลมาตรฐานโดยฟังก์ชัน Piecewise Linear

เมื่อพิจารณาจากการเก็บข้อมูลตัวอักษรภาษาไทยประเภทออนไลน์ พบว่าเป็นไปไม่ได้ที่การเขียนแต่ละครั้งจะให้ข้อมูลที่มีขนาดเท่ากัน แม้แต่คนๆเดียวกัน ทำการเก็บข้อมูลก็ไม่เท่ากันทุกครั้งไป จึงทำให้จำนวนจุดข้อมูล pen-point ในแต่ละครั้งไม่เท่ากัน ซึ่งจากรูป 3.11 จะเห็นได้ว่าจำนวนข้อมูล $x(t_n)$ และ $y(t_n)$ ที่เก็บได้ในแต่ละครั้งมีค่าไม่เท่ากัน

รูปที่ **3.11** (ก) และ (ข) แสดงค่าพิกัดของบารีเซ็นเตอร์ x และ y ก่อนทำ Piecewise Linear Function ตามลำดับ

ซึ่งความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นดังกล่าวสามารถลดลงได้ โดยการนำทฤษฎี Piecewise Linear Function [1] มาแก้ปัญหานี้ โดยทำการแปลงข้อมูลแบบฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง (Discrete Function) ไปเป็นข้อมูลแบบฟังก์ชันต่อเนื่อง (Continuous Function) จากนั้นทำให้จำนวนจุดข้อมูลที่ได้มีค่าเท่ากัน เรียกว่า การกำหนดจำนวนข้อมูลมาตรฐาน โดยเริ่มจากการประมาณค่าระหว่างจุดของข้อมูลที่มีอยู่ด้วยเส้นตรง จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างใหม่ (Sampling) จากเส้นตรงที่ประมาณค่าขึ้นมา โดยจัดให้จำนวนข้อมูลที่สุ่มมีค่าเท่ากัน ด้วยการใช้ Piecewise Linear Function ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลที่มีความต่อเนื่อง ดังสมการที่ (2.5)

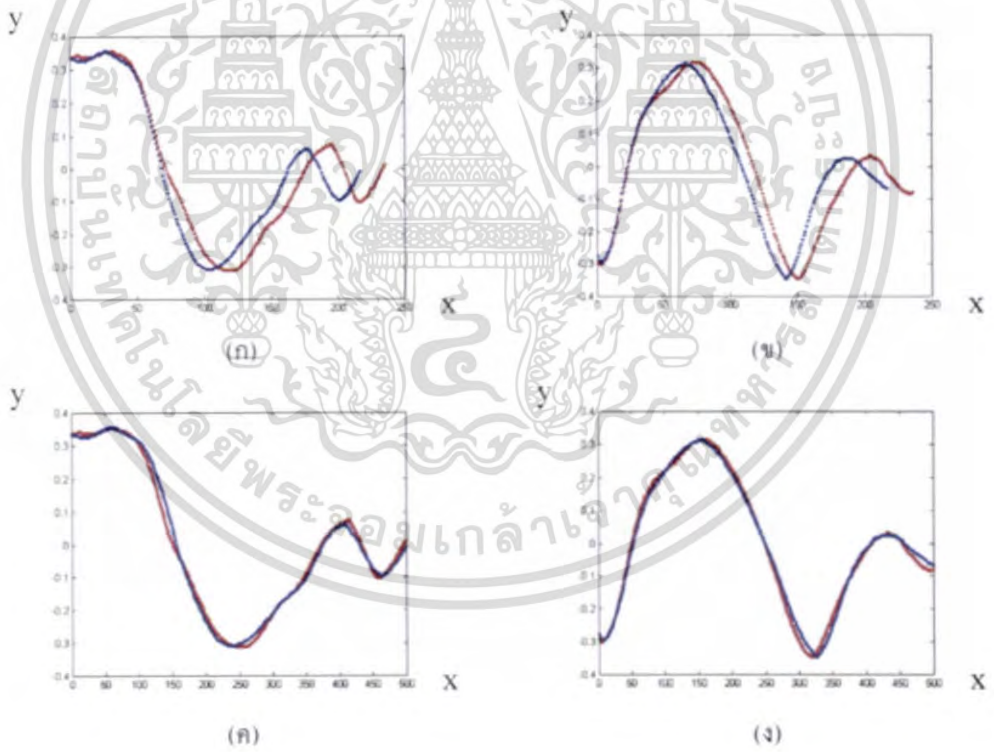
$$z(t) = \sum_{n=1}^{N} z(t_n)\phi_n(t), (z = x, y) \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ สมการที่ (2.6) ซึ่งเป็นเงื่อนไขของสมการที่ (2.5)

$$\phi_n(t) = \begin{cases} \dfrac{t - t_{(n-1)}}{t_n - t_{(n-1)}}, & t \in \left[t_{(n-1)}, t_n\right] \\ \dfrac{t_{(n+1)} - t}{t_{(n+1)} - t_n}, & t \in \left[t_n, t_{(n+1)}\right] \\ 0, & t \notin \left[t_{(n-1)}, t_{(n+1)}\right] \end{cases} \tag{2.6}$$

เมื่อข้อมูลลักษณะเด่นต่างๆ ผ่านกระบวนการกำหนดจำนวนข้อมูลมาตรฐานด้วยวิธี Piecewise Linear Function แล้ว ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 (ก) และ (ข) แสดงค่าพิกัดของบารีเซ็นเตอร์ x และ y ก่อนทำ Piecewise Linear Function (ค) และ (ง) แสดงค่าพิกัดของบารีเซ็นเตอร์ x และ y หลังทำ Piecewise Linear Function ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series)

ในการออกแบบกระบวนการดึงคุณลักษณะเด่น จะใช้อนุกรมฟูเรียร์ของฟังก์ชันคู่ แปลงข้อมูลที่ผ่านกระบวนการจัดเตรียมมาแล้ว ซึ่งเป็นข้อมูลที่อยู่ในเชิงเวลา (time domain) ให้เป็นข้อมูลที่อยู่ในเชิงความถี่ (frequency domain) การวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูเรียร์ของฟังก์ชันคู่นี้ จะแสดงคุณสมบัติของข้อมูล ดังสมการที่ (2.16)

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0^{(f)} + \sum_{n=1}^{\infty}\left[a_n^{(f)}\cos(n\omega x)\right]$$

โดยที่

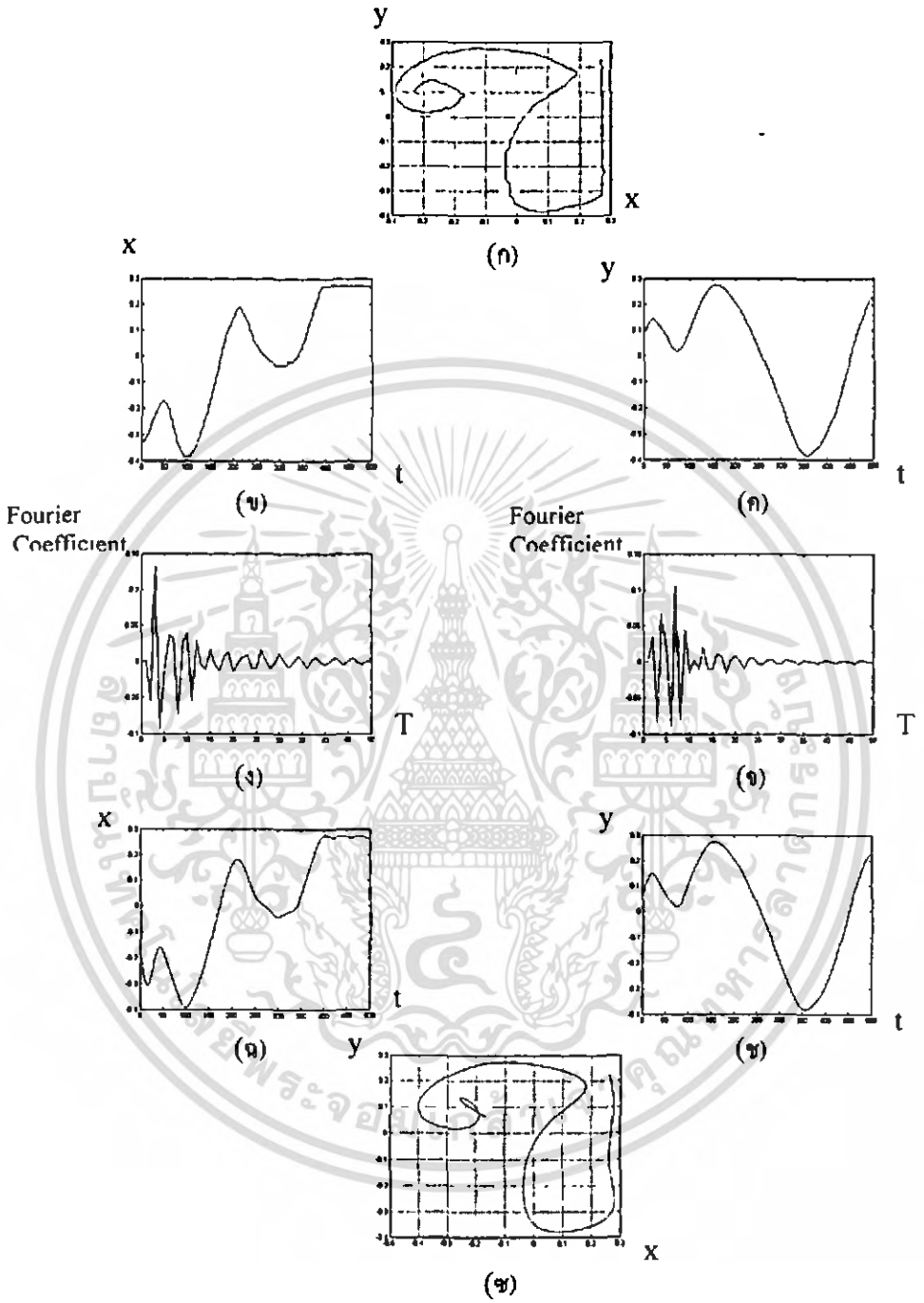
$a_0^{(f)}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Coefficient) เริ่มต้น

$a_n^{(f)}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Coefficient) ของตัวอักษรที่นำมารู้จำ

f คือ x, y, v, θ

โดยในที่นี้ กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Coefficients) ซึ่งแสดงคุณสมบัติความถี่ของสัญญาณ ไว้เท่ากับ 20 ผลที่ได้แสดงดังรูป 3.13

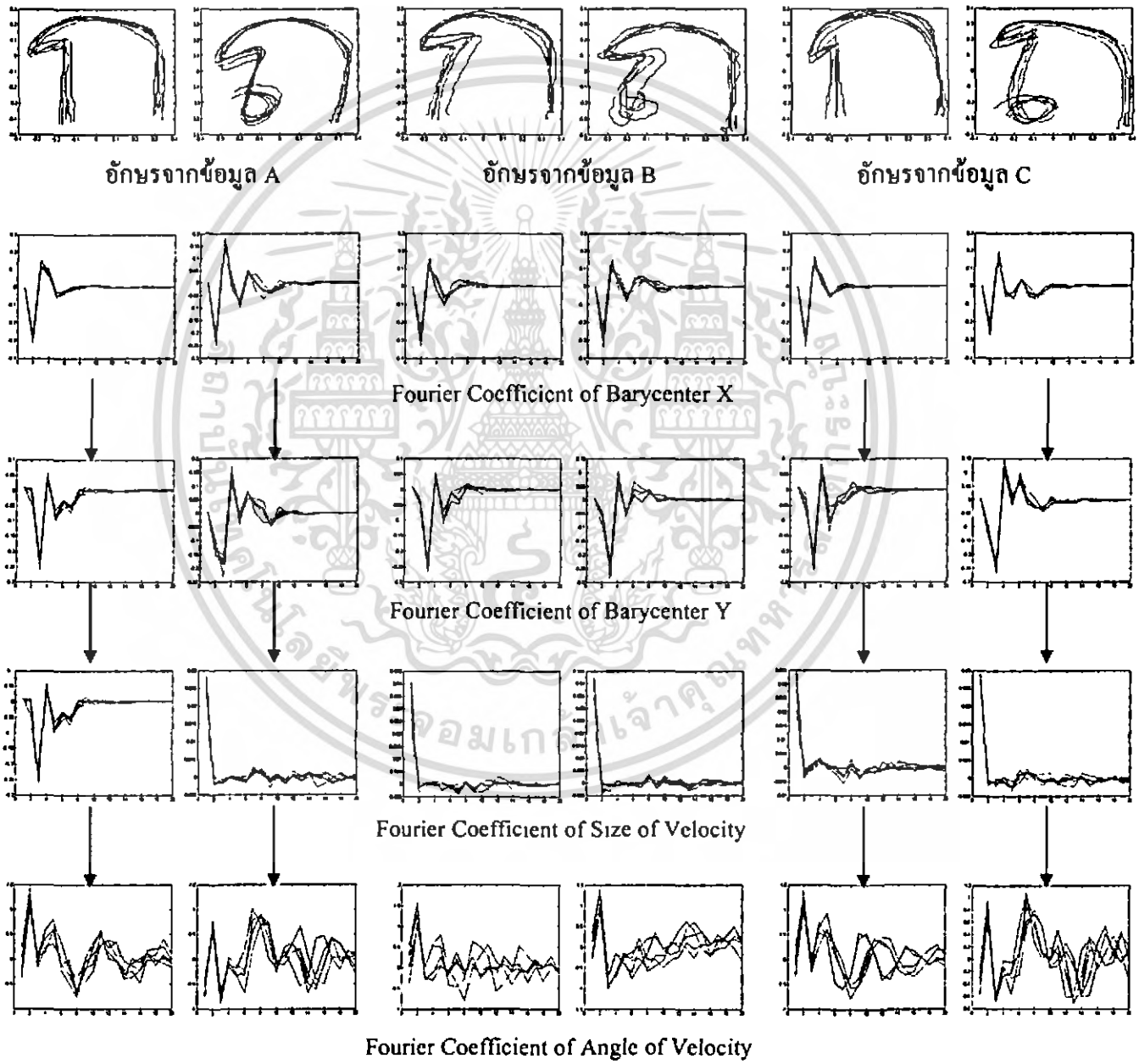
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 (ก) แสดงอักขระ "ข" ก่อนผ่านกระบวนการฟูเรียร์ (ข) แสดงบารีเซ็นเตอร์ x (ค) แสดงบารีเซ็นเตอร์ y (ง) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของบารีเซ็นเตอร์ x (จ) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของบารีเซ็นเตอร์ y (ฉ) แสดงบารีเซ็นเตอร์ x ที่แปลงกลับจากรูป ง (ช) แสดงบารีเซ็นเตอร์ y ที่แปลงกลับจากสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (ซ) แสดงอักขระ "ข" ที่ได้จากบารีเซ็นเตอร์ x และ y ที่แปลงค่ากลับจากสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการกระบวนการดึงคุณลักษณะเด่นนี้ ทำให้เราสามารถประมวลผลข้อมูลที่มีจำนวนมากได้อย่างรวดเร็ว โดยที่ยังคงรักษาคุณลักษณะเดิมไว้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ และจากการประมาณค่าข้อมูลด้วยอนุกรมฟูเรียร์ เรานำสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์มาใช้เป็นลักษณะเด่นต่อไป เนื่องจากเป็นข้อมูลที่มีขนาดเล็กกว่าเดิมมากและมีค่าเบี่ยงเบนน้อย แสดงข้อมูลของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ได้ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 กระบวนการตรวจสอบตัวอักษรภาษาไทย

ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบตัวอักษรภาษาไทยเฉพาะบุคคล โดยเราจะใช้วิธีการวัดระยะแบบยูคลิด (Euclidean Distance) เพื่อคำนวณระยะความแตกต่างระหว่างตัวอักษรอ้างอิงกับตัวอักษรที่ใช้เปรียบเทียบ ดังรูปที่ 3.16 หลังจากหาระยะยูคลิดแล้ว เราจะพิจารณาว่าตัวอักษรเปรียบเทียบตรงกับตัวอักษรอ้างอิงตัวใดได้จากวิธีการรู้จำอักขระ ตามสมการ 3.8 นี้

$$C_i = \{C_0, C_1, C_2, ..., C_{68}\}$$

ถ้า

$$S_{\min}(C_i, a_n^{(f)}) = \min\{S(C_i, a_n^{(f)})\}, i = 0,1,2,...,68 \quad (3.8)$$

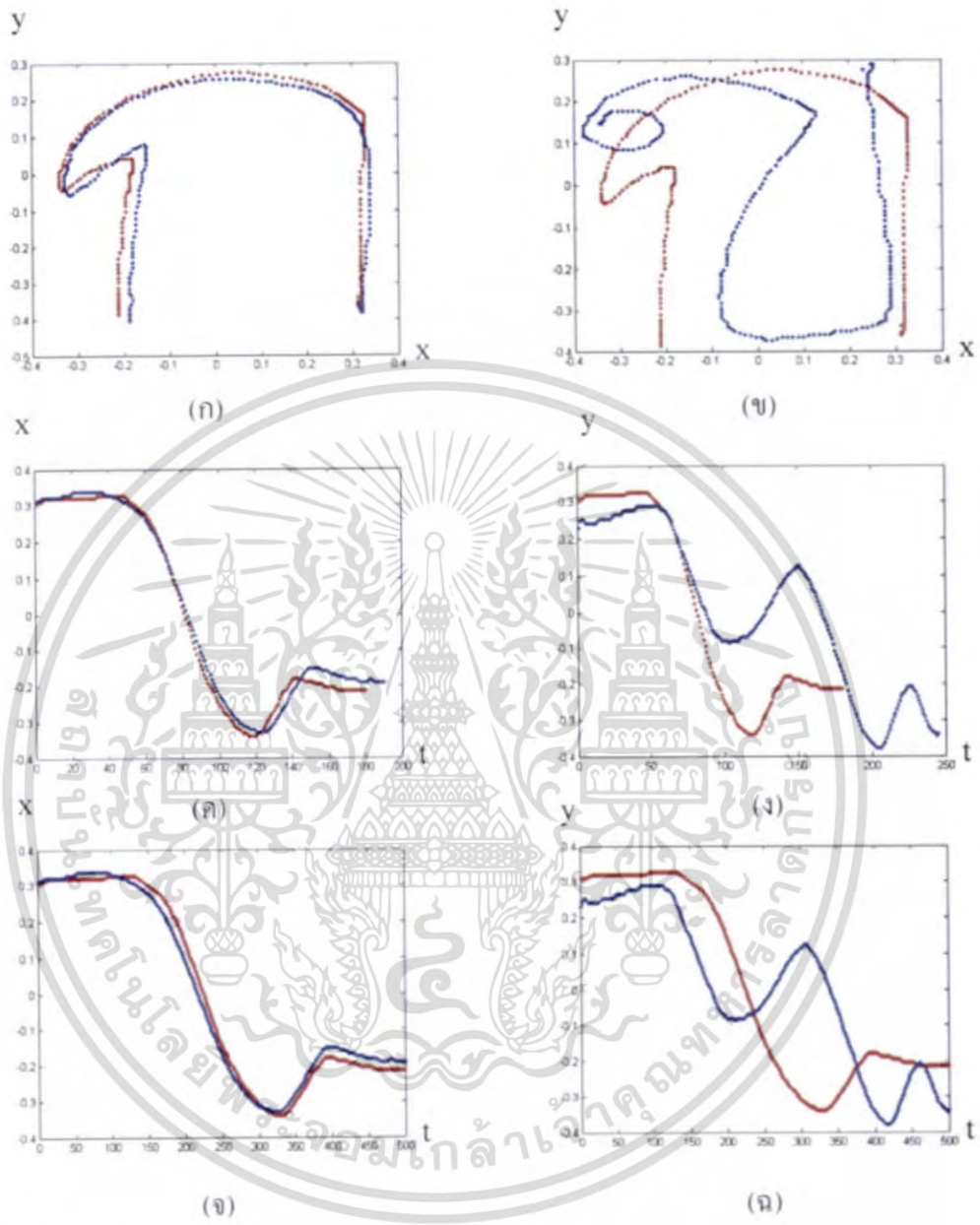
โดยที่

C_i คือ Class ที่มีตัวอักษรอ้างอิงทั้ง 68 ตัวเป็นสมาชิก

$a_n^{(f)}$ คือ สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Coefficient) ของตัวอักษรที่นำมารู้จำ

$S_{\min}(C_i, a_n^{(f)})$ คือ การวัดระยะยูคลิดระหว่าง C_i กับ $a_n^{(f)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ **3.14** แสดงการเปรียบเทียบหาค่าระยะยูคลิดโดย (ก) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างพยัญชนะ "ก" 2 ตัวที่ต่างกัน (ข) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างพยัญชนะ "ก" และ "ข" (ค) และ (ง) แสดงกราฟข้อมูล Barycenter x ที่ผ่านการประมาณค่าฟูเรียร์ทั้ง 2 ตัวอักษร (จ) และ (ฉ) แสดงกราฟข้อมูล Barycenter y ที่ผ่านกระบวนการ Piecewise Linear

เราสามารถคำนวณหาระยะยูคลิดได้ตามสมการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{\min}(C_i, a_n^{(f)}) = \sqrt{\sum_{n=1}^{N} (a_n^{(i,f)} - a_n^{(f)})^2}$$

โดยที่

$S_{\min}(C_i, a_n^{(f)})$ คือ การวัดระยะยูคลิด

$a_n^{(i,f)}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Coefficient) ที่ใช้อ้างอิงของแต่ละ class ที่ i^{th}

$a_n^{(f)}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Coefficient) ของตัวอักษรที่นำมารู้จำ

จะสามารถหาระยะยูคลิดของค่า Barycenter X ของพยัญชนะ "ก" ที่ผ่านการประมาณค่าด้วยฟูเรียร์นำมาเทียบกันได้

$$(d) = \sqrt{((-0.0414)-(-0.0646))^2 + ((-0.0410)-(-0.0722))^2 + \ldots} = 2.0343$$

และจะสามารถหาระยะยูคลิดของค่า Barycenter X ของพยัญชนะ "ก" และ "ข" ที่ผ่านการประมาณค่าด้วยฟูเรียร์ได้ดังนี้

$$(d) = \sqrt{((-0.0414)-(-0.5202))^2 + ((-0.0410)-(-0.5267))^2 + \ldots} = 10.851$$

จะสามารถหาระยะยูคลิดของค่า Barycenter Y ของพยัญชนะ "ก" ที่ผ่านการประมาณค่าด้วยฟูเรียร์นำมาเทียบกันได้

$$(d) = \sqrt{((-0.0341)-(-0.0632))^2 + ((-0.0336)-(-0.0724))^2 + \ldots} = 2.0359$$

และจะสามารถหาระยะยูคลิดของค่า Barycenter Y ของพยัญชนะ "ก" และ "ข" ที่ผ่านการประมาณค่าด้วยฟูเรียร์ได้

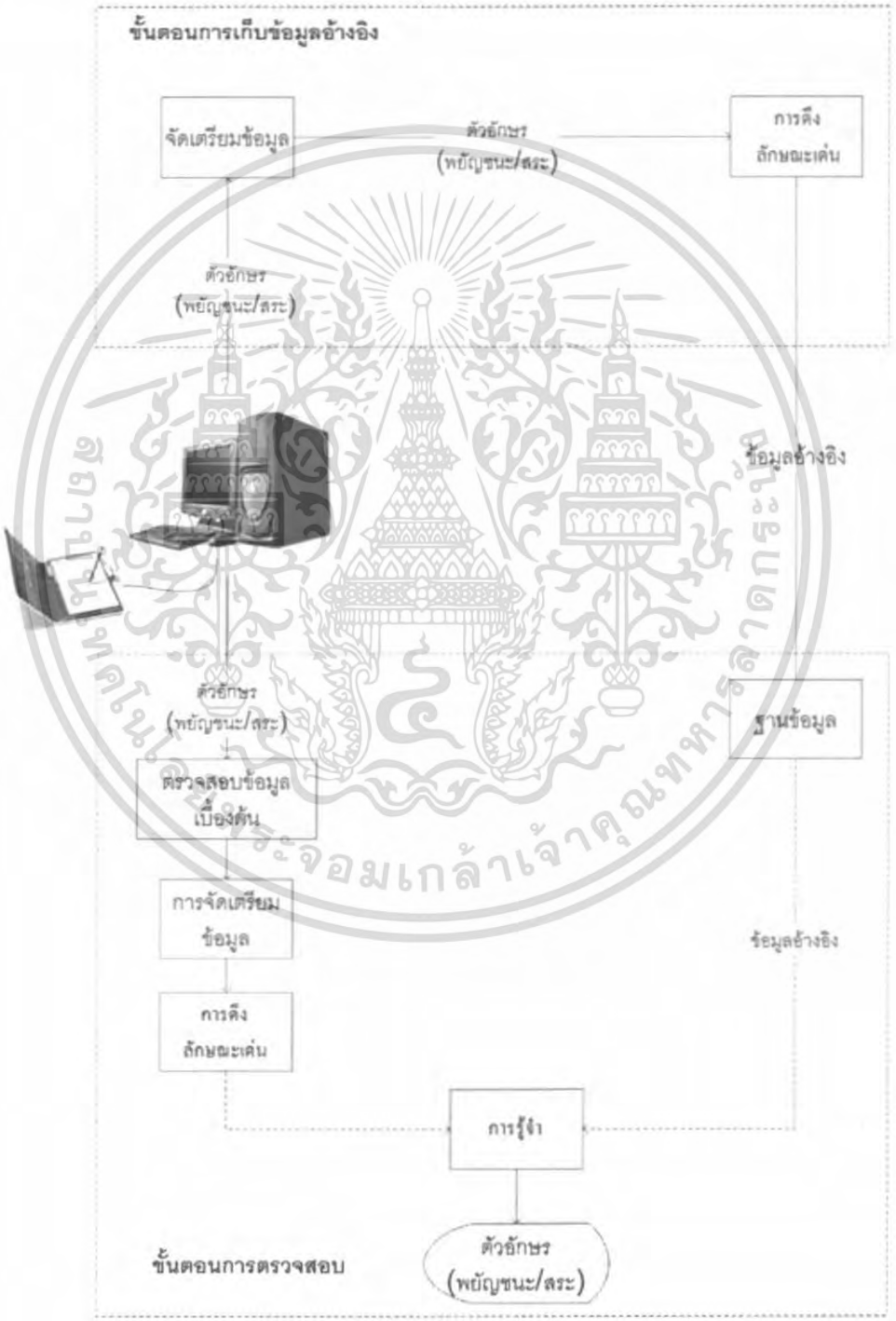
$$(d) = \sqrt{((-0.0436)-(-0.5189))^2 + ((-0.0402)-(-0.5244))^2 + \ldots} = 10.732$$

จากผลการคำนวณที่ได้ พบว่า ระยะยูคลิดของค่า Barycenter x และ y ที่ผ่านการประมาณค่าด้วยฟูเรียร์นั้น ตัวอักษรที่นำมาเปรียบเทียบกับตัวอ้างอิง ถ้าเป็นตัวอักษรเดียวกัน จะให้ค่าระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขุดลิดที่น้อยที่สุด ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการจำแนกข้อมูลที่รับค่าเข้ามาได้อย่างมีประสิทธิภาพในระดับหนึ่ง

จากการกระบวนการทั้งหมดที่กล่าวมา สามารถนำมาใช้ในการออกแบบระบบการทำงานทั้งหมดของการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์ได้ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงระบบการทำงานทั้งหมดของการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะแบ่งออกเป็นระบบย่อย 2 ระบบ คือ

1. ระบบการเก็บข้อมูลอ้างอิง คือ เป็นระบบที่ใช้ในการเก็บพยัญชนะและสระของบุคคลที่ใช้ในการอ้างอิง

2. ระบบขั้นตอนการตรวจสอบ คือ เป็นระบบที่ใช้ในการตรวจสอบว่าพยัญชนะหรือสระที่นำมาเปรียบเทียบเป็นพยัญชนะหรือสระตัวใดบ้างและเป็นของบุคคลที่ใช้อ้างอิงหรือไม่

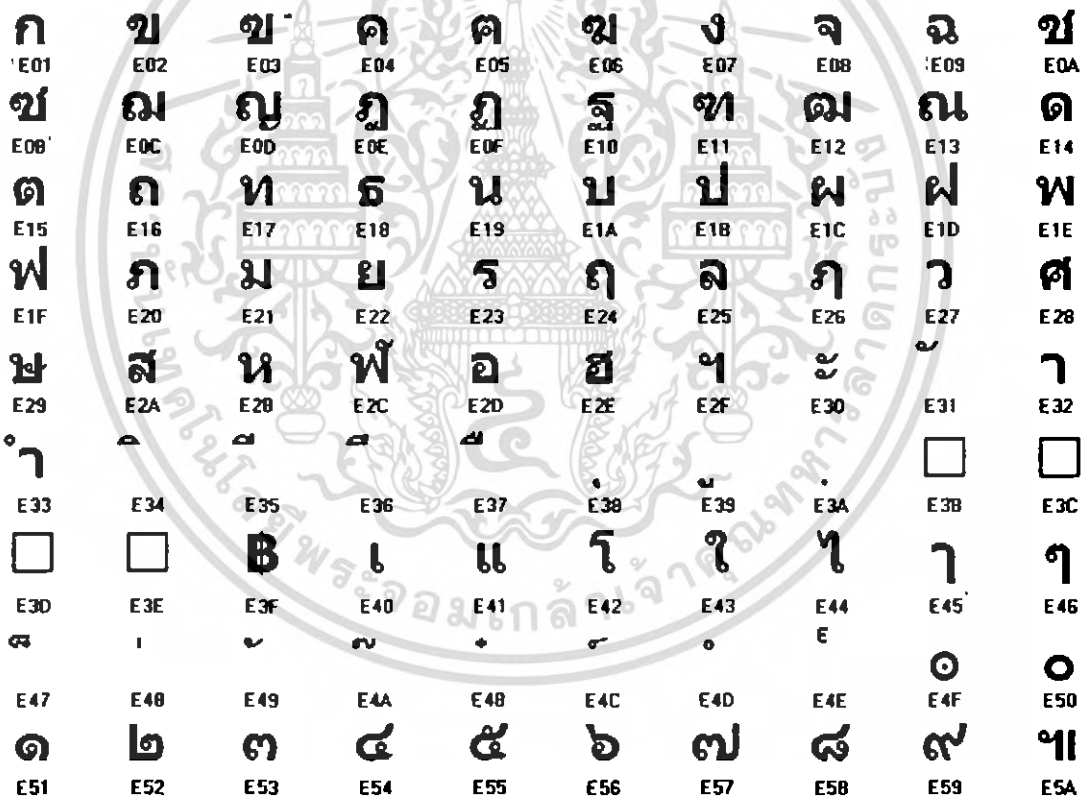
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 การแสดงผลตัวอักษรภาษาไทย

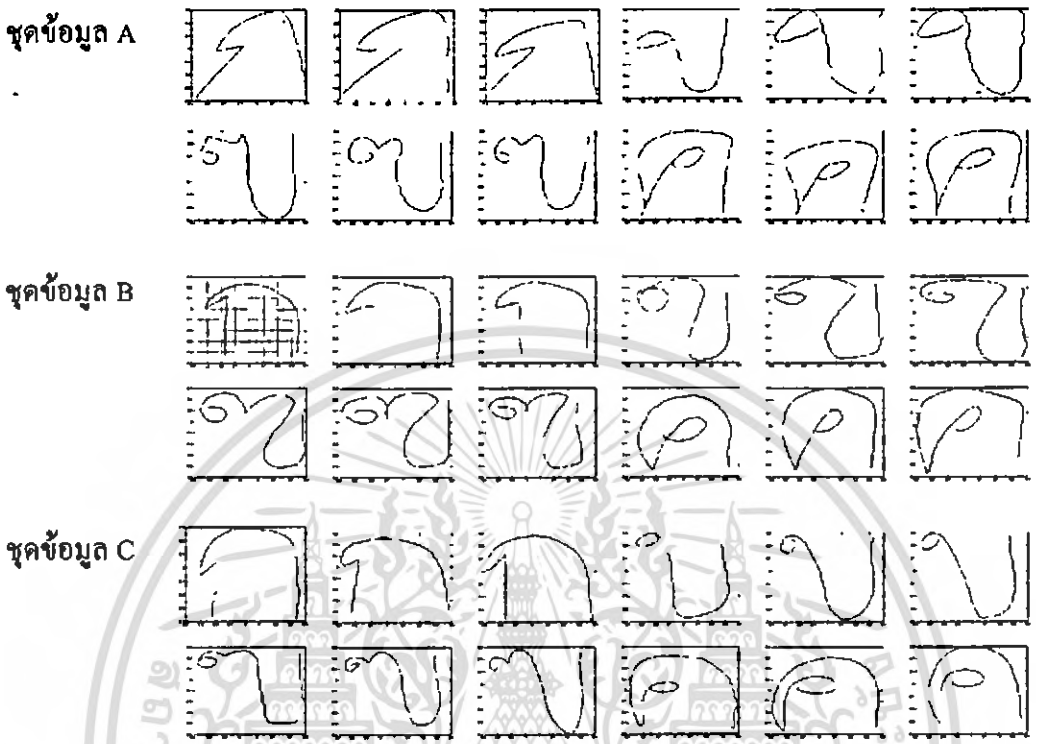
หลังจากที่ทำการประมวลผลข้อมูลที่รับเข้ามาโดยวิธีต่างๆที่ผ่านมานั้น ในขั้นตอนนี้จะทำการแสดงผลตัวอักษรที่ได้แบ่งแยกและประมวลผลให้ออกมาในชุดรูปแบบตัวพิมพ์ภาษาไทย (Font) โดยใช้โปรแกรมจาว่าในการนำค่าที่ได้จากการคำนวณระยะยูคลิด (Euclidean Distance) มาแสดงผลให้ตรงตามตัวอักษรโดยจับคู่ค่าระยะยูคลิดกับตารางยูนิโค้ด ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงรหัส Unicode ฐาน 16 ของตัวอักษรภาษาไทย

ซึ่งข้อมูลที่ทำการเก็บมานั้น ทำการเก็บจากบุคคลตัวอย่าง 10 คน ข้อมูลชุดละ 20 ครั้ง ทำการเก็บข้อมูล พยัญชนะ และสระ ชุดละ 68 ตัว เก็บข้อมูลเป็นระยะเวลาสามเดือน มีตัวอักษรที่ใช้ทั้งสิ้น 13,600 ตัว สามารถแสดงตัวอย่างข้อมูลได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างตัวอักขระที่เก็บของแต่ละบุคคล

การแสดงผลจะทำการนำค่าระยะยูคลิด มาคำนวณจากสมการ (3.8) ซึ่งเป็นสมการในการรู้จำตัวอักขระ จะได้ค่าที่ถูกต้องออกมา

4.2 ผลการทดลอง

จากการทดลอง ได้นำข้อมูลของบุคคลอ้างอิง คือ พยัญชนะ "ก" ถึง "ฮ" สระ และวรรณยุกต์ต่างๆ ทั้งหมดจำนวน 68 ตัว ซึ่งแบ่งเป็นข้อมูลที่มีการจรดปลายปากกาหนึ่งครั้ง (1-Stroke Data) จำนวน 58 ตัว และข้อมูลที่มีการจรดปลายปากกา 2 ครั้ง (2-Stroke Data) จำนวน 10 ตัว นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลเปรียบเทียบจากบุคคลเดียวกันอีก 20 ชุด และแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด ดังนี้

การทดลองที่ 1 · บารีเซ็นเตอร์ X และบารีเซ็นเตอร์ Y

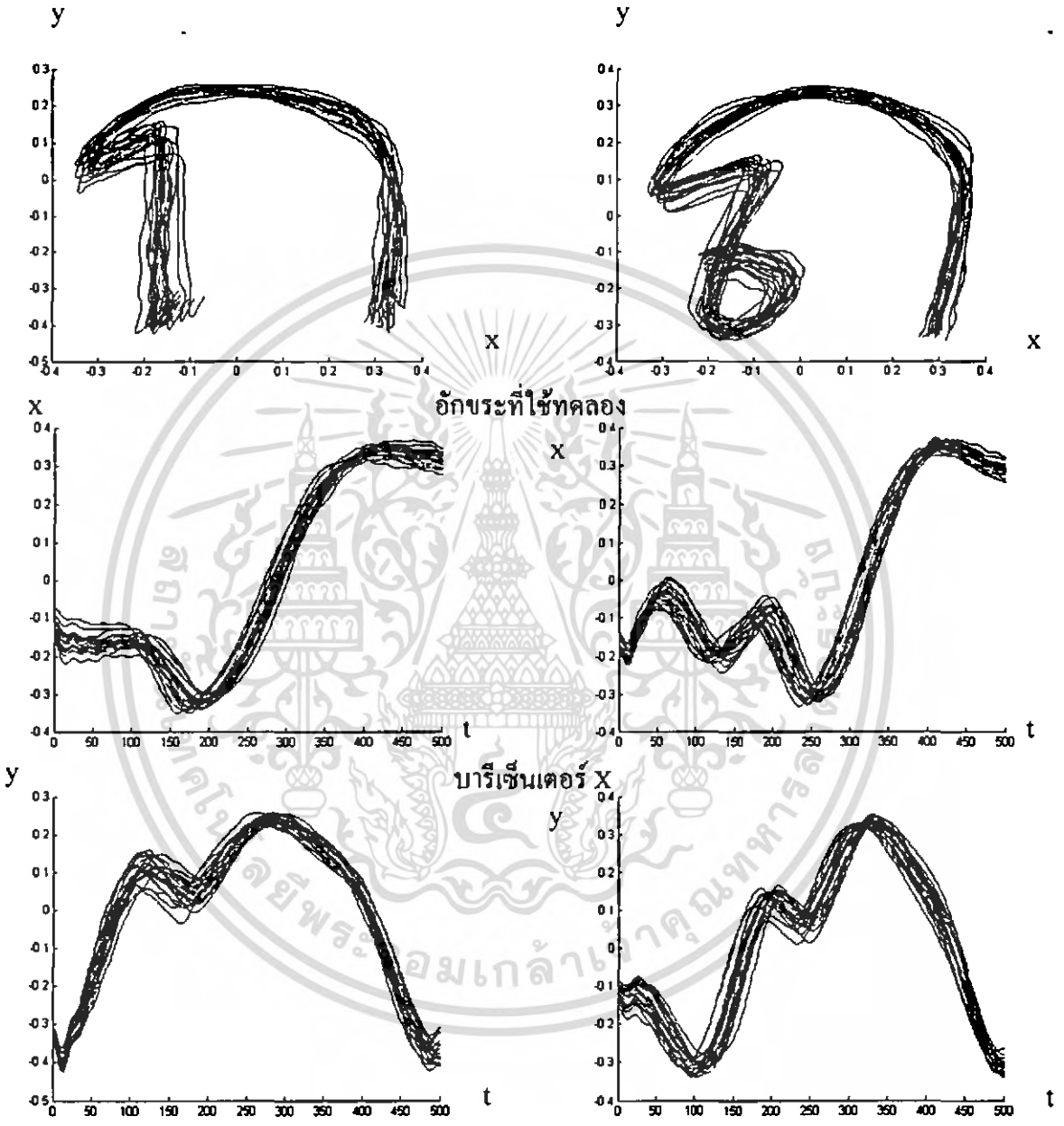
การทดลองที่ 2 : บารีเซ็นเตอร์ X , บารีเซ็นเตอร์ Y และทิศทางการเคลื่อนที่ของปลายปากกา

การทดลองที่ 3 · บารีเซ็นเตอร์ X , บารีเซ็นเตอร์ Y และขนาดความเร็วของปลายปากกา

การทดลองที่ 4 · บารีเซ็นเตอร์ X , บารีเซ็นเตอร์ Y , ทิศทางการเคลื่อนที่ และขนาดความเร็วของปลายปากกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1 : บารีเซ็นเตอร์ **X** และ บารีเซ็นเตอร์ **Y**



การทดลองชุดนี้ เป็นการทดลองนำบารีเซ็นเตอร์ X และบารีเซ็นเตอร์ Y มาคำนวณระยะยูคลิด แล้วเปรียบเทียบกัน ซึ่งได้ผลออกมาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

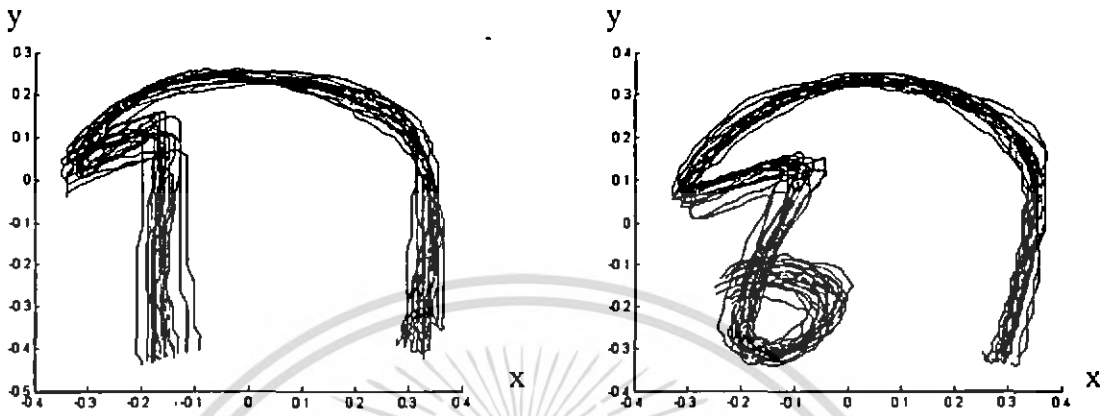
	Barycenter X + Barycenter Y				
	Correct(%)	Error(%)		Correct(%	Error(%)
ก	100	0	ร	100	0
ข	80	20	ล	100	0
ฃ	75	25	ว	100	0
ค	85	15	ศ	100	0
ฅ	100	0	ษ	100	0
ฆ	85	15	ส	100	0
ง	100	0	ห	100	0
จ	90	10	ฬ	100	0
ฉ	95	5	อ	65	35
ช	100	0	ฮ	100	0
ซ	100	0	ะ	95	5
ฌ	35	65	า	100	0
ญ	95	5	ิ	90	10
ฎ	95	5	ี	100	0
ฏ	100	0	ึ	100	0
ฐ	100	0	ื	100	0
ฑ	100	0	ุ	95	5
ฒ	80	20	ู	70	30
ณ	100	0	เ	100	0
ด	60	40	แ	100	0
ต	65	35	ไ	100	0
ถ	90	10	ใ	100	0
ท	95	5	โ	100	0
ธ	100	0	ำ	100	0
น	100	0	เอก	65	35
บ	90	10	โท	75	25
ป	100	0	ตรี	100	0
ผ	100	0	จัตวา	100	0
ฝ	100	0	ี	100	0
พ	95	5	์	100	0
ฟ	100	0	ั	90	10
ภ	55	45	ๆ	100	0
ม	100	0	ๆ	100	0
ย	100	0	ฯ	55	45

	Correct(%)	Error(%)
เฉลี่ย	**92.1324**	7 867647

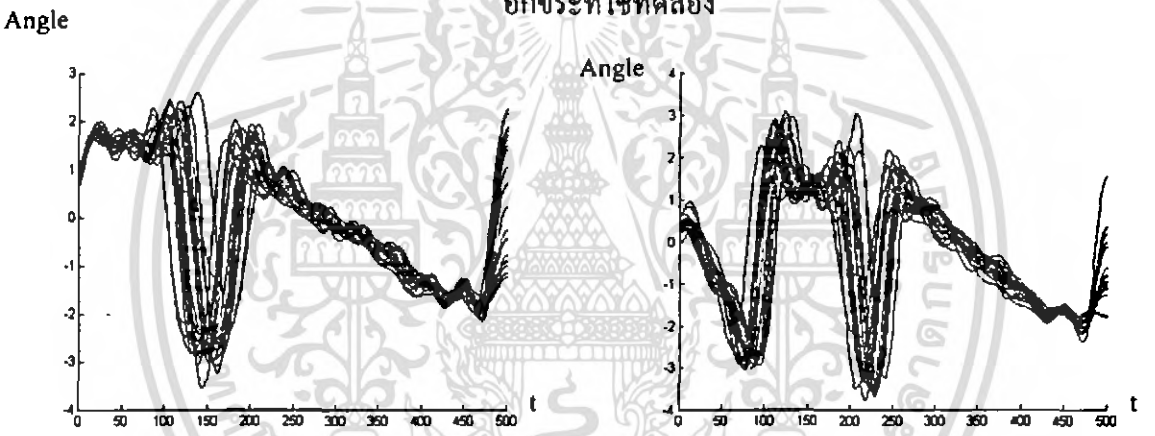
ตาราง 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 : บารีเซ็นเตอร์ X , บารีเซ็นเตอร์ Y และทิศทางการเคลื่อนที่ของปลายปากกา



อักขระที่ใช้ทดลอง



ทิศทางการเคลื่อนที่ของปลายปากกา

การทดลองชุดนี้ เป็นการทดลองนำบารีเซ็นเตอร์ X และบารีเซ็นเตอร์ Y และทิศทางการเคลื่อนที่ของปลายปากกา ที่ผ่านกระบวนการฟูเรียร์ มาเปรียบเทียบระยะยูคลิด แล้วนำมารวมกัน ซึ่งได้ผลออกมาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

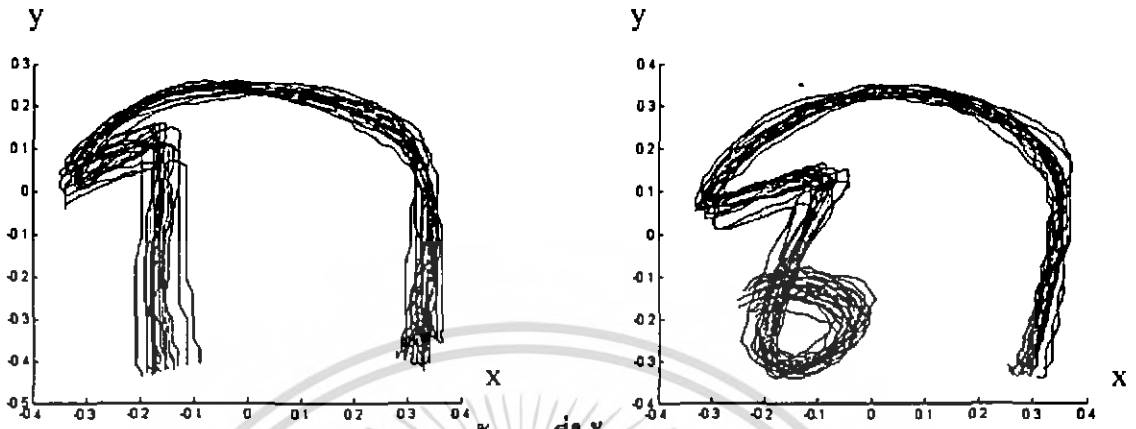
	Barycenter X + Barycenter Y + Angle				
	Correct(%)	Error(%)		Correct(%)	Error(%)
ก	100	0	ร	100	0
ข	80	20	ล	95	5
ฃ	75	25	ว	100	0
ค	85	15	ศ	100	0
ฅ	100	0	ษ	100	0
ฆ	90	10	ส	100	0
ง	100	0	ห	100	0
จ	85	15	ฬ	100	0
ฉ	95	5	อ	60	40
ช	100	0	ฮ	100	0
ซ	100	0	ะ	95	5
ฌ	20	80	า	100	0
ญ	95	5	ิ	85	15
ฎ	95	5	ี	100	0
ฏ	100	0	ึ	100	0
ฐ	100	0	ื	100	0
ฑ	100	0	ุ	100	0
ฒ	85	15	ู	75	25
ณ	100	0	เ	100	0
ด	60	40	แ	100	0
ต	75	25	ไ	100	0
ถ	80	20	ใ	100	0
ท	95	5	โ	100	0
ธ	100	0	ำ	100	0
น	100	0	เอก	70	30
บ	90	10	โท	85	15
ป	100	0	ตรี	100	0
ผ	80	20	จัตวา	100	0
ฝ	100	0	ั	100	0
พ	95	5	์	100	0
ฟ	95	5	ั	95	5
ภ	45	55	ๆ	100	0
ม	100	0	ๅ	100	0
ย	100	0	ฯ	50	50

	Correct(%)	Error(%)
เฉลี่ย	**91.6176**	8 382353

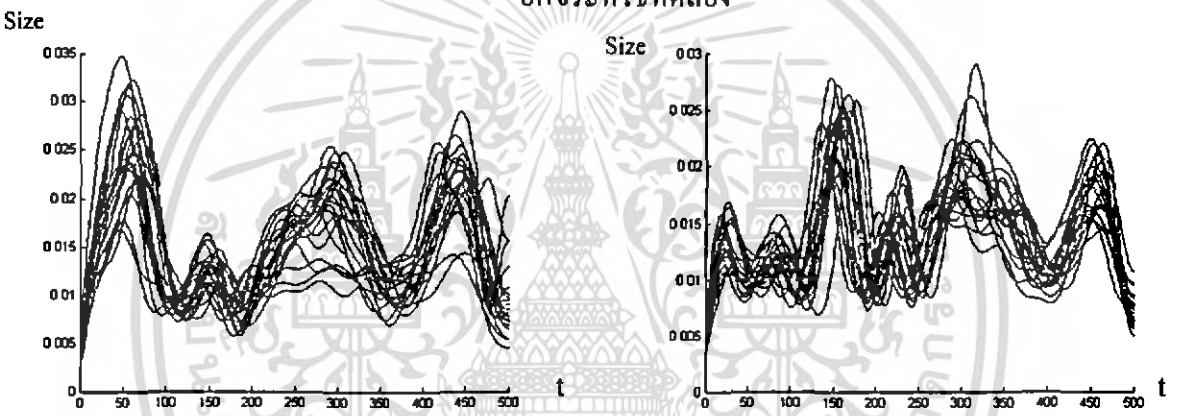
ตาราง 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3 : บารีเซ็นเตอร์ X , บารีเซ็นเตอร์ Y และขนาดความเร็วของปลายปากกา



อักขระที่ใช้ทดลอง



ขนาดความเร็วของปลายปากกา

การทดลองชุดนี้ เป็นการทดลองนำ บารีเซ็นเตอร์ X , บารีเซ็นเตอร์ Y และขนาดของความเร็วปลายปากกาที่ผ่านกระบวนการฟูเรียร์ มาคำนวณระยะยูคลิดแล้ว ซึ่งได้ผลออกมาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

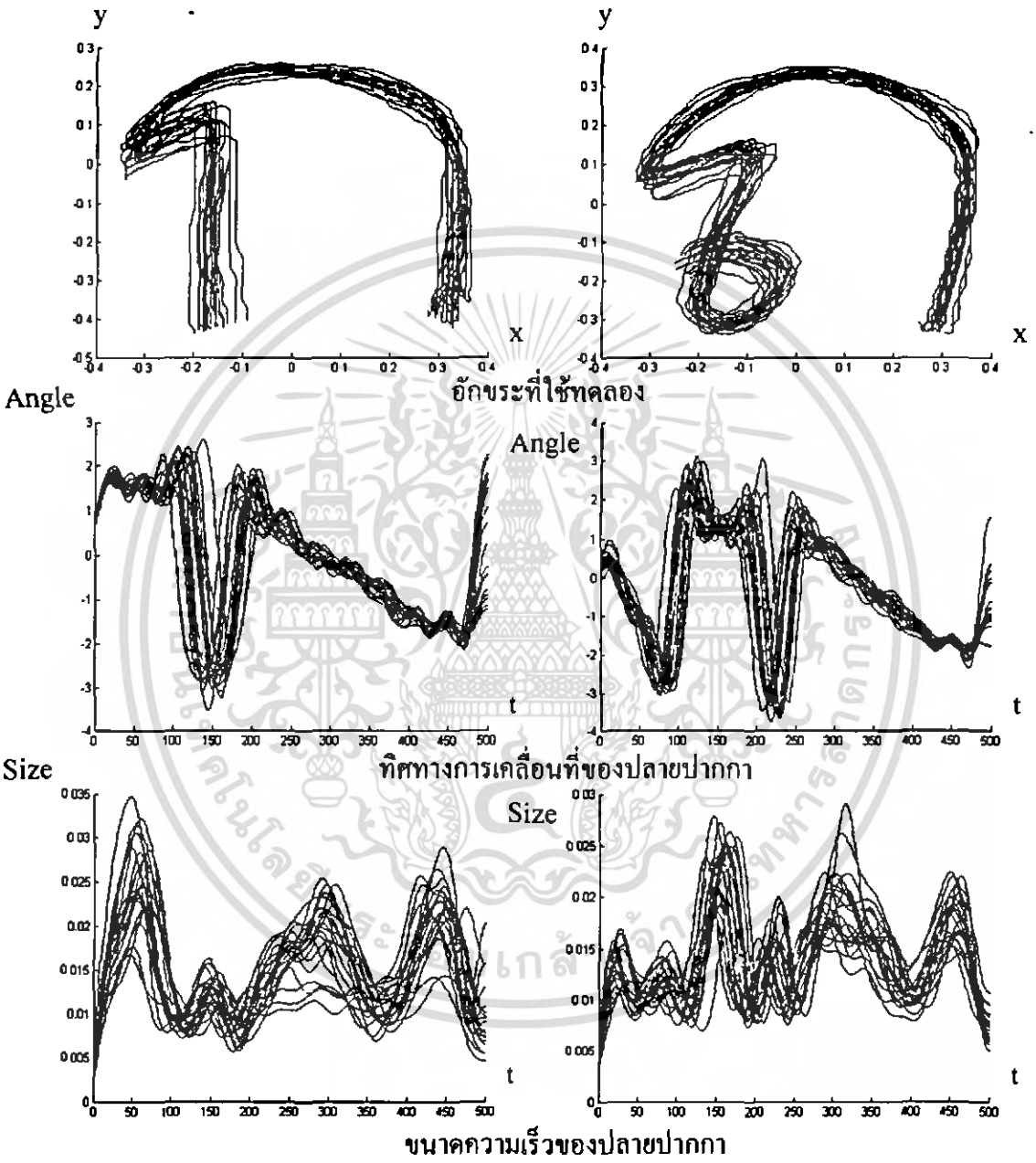
	Barycenter X + Barycenter Y + Size				
	Correct(%)	Error(%)		Correct(%)	Error(%)
ก	100	0	ร	100	0
ข	80	20	ล	100	0
ช	75	25	ว	100	0
ค	75	25	ศ	100	0
ฅ	100	0	ษ	100	0
ฆ	95	5	ส	100	0
ง	100	0	ห	100	0
จ	90	10	ฬ	100	0
ฉ	95	5	อ	60	40
ช	100	0	ฮ	100	0
ซ	100	0	ะ	95	5
ฌ	25	75	า	100	0
ญ	95	5	ิ	95	5
ฎ	100	0	ี	100	0
ฏ	100	0	ึ	100	0
ฐ	100	0	ื	100	0
ฑ	100	0	ุ	100	0
ฒ	70	30	ู	70	30
ณ	100	0	เ	100	0
ด	60	40	แ	100	0
ต	65	35	ไ	100	0
ถ	90	10	ใ	100	0
ท	95	5	โ	100	0
ธ	100	0	ำ	100	0
น	100	0	เอก	25	75
บ	85	15	โท	85	15
ป	100	0	ตรี	100	0
ผ	95	5	จัตวา	100	0
ฝ	100	0	ั	100	0
พ	95	5	์	100	0
ฟ	90	10	้	95	5
ภ	25	75	ๆ	100	0
ม	100	0	ๆ	100	0
ย	95	5	ฯ	60	40

	Correct(%)	Error(%)
เฉลี่ย	**90.8824**	9.117647

ตาราง 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทดลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4 : บารีเซ็นเตอร์ X , บารีเซ็นเตอร์ Y , ทิศทางการเคลื่อนที่ และขนาดความเร็วของปลายปากกา



การทดลองชุดนี้ เป็นการทดลองนำ Barycenter X , Barycenter Y , Size of Velocity หรือ ขนาดความเร็วของปลายปากกา และทิศทางการเคลื่อนที่ของปลายปากกา ที่ผ่านกระบวนการฟูเรียร์มาคำนวณระยะยูคลิด ซึ่งได้ผลออกมาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Barycenter X + Barycenter Y + Size + Angle				
	Correct(%)	Error(%)		Correct(%)	Error(%)
ก	100	0	ร	100	0
ข	80	20	ล	95	5
ฃ	75	25	ว	100	0
ค	75	25	ศ	100	0
ฅ	100	0	ษ	100	0
ฆ	95	5	ส	100	0
ง	100	0	ห	100	0
จ	85	15	ฬ	100	0
ฉ	95	5	อ	55	45
ช	100	0	ฮ	100	0
ซ	100	0	ะ	95	5
ฌ	20	80	า	100	0
ญ	95	5	ิ	90	10
ฎ	95	5	ี	100	0
ฏ	100	0	ึ	100	0
ฐ	100	0	ื	100	0
ฑ	100	0	ุ	100	0
ฒ	70	30	ู	70	30
ณ	100	0	เ	100	0
ด	55	45	แ	100	0
ต	75	25	ไ	100	0
ถ	75	25	ใ	100	0
ท	95	5	โ	100	0
ธ	100	0	ำ	100	0
น	95	5	เอก	25	75
บ	85	15	โท	85	15
ป	100	0	ตรี	100	0
ผ	80	20	จัตวา	100	0
ฝ	100	0	ิ	100	0
พ	95	5	์	100	0
ฟ	85	15	ั	95	5
ภ	35	65	ฤ	100	0
ม	100	0	ๅ	100	0
ย	95	5	ฯ	60	40

	Correct(%)	Error(%)
เฉลี่ย	**90.0735**	9 926471

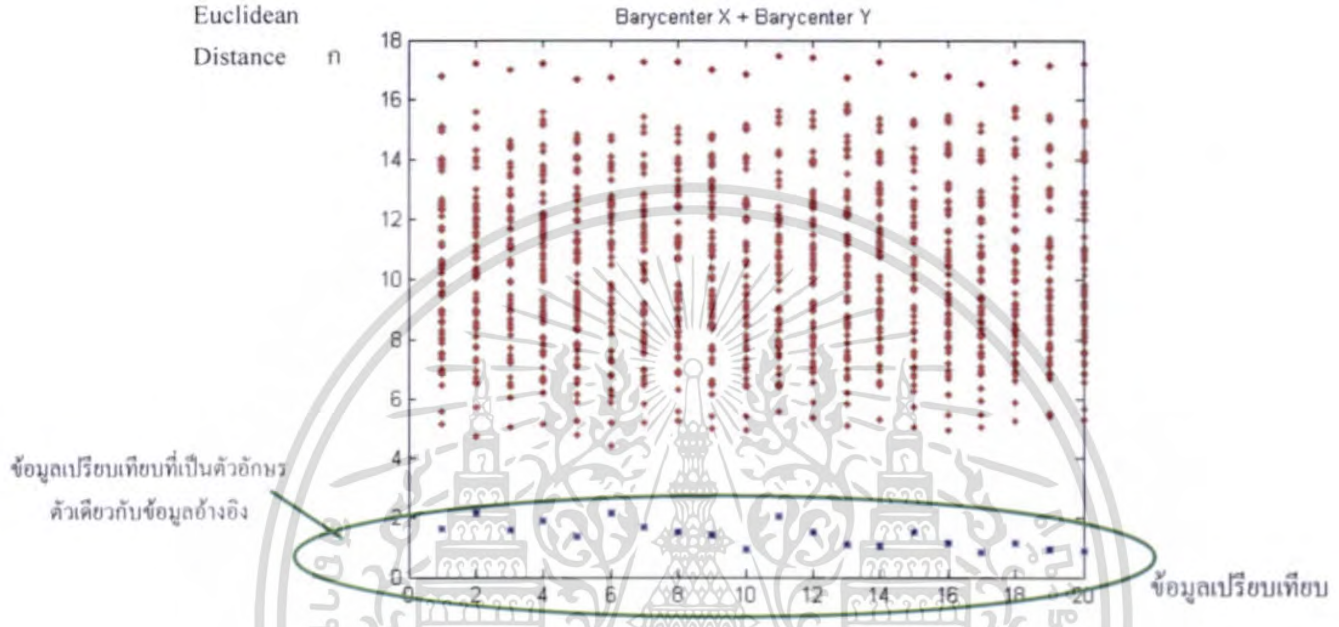
ตาราง 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

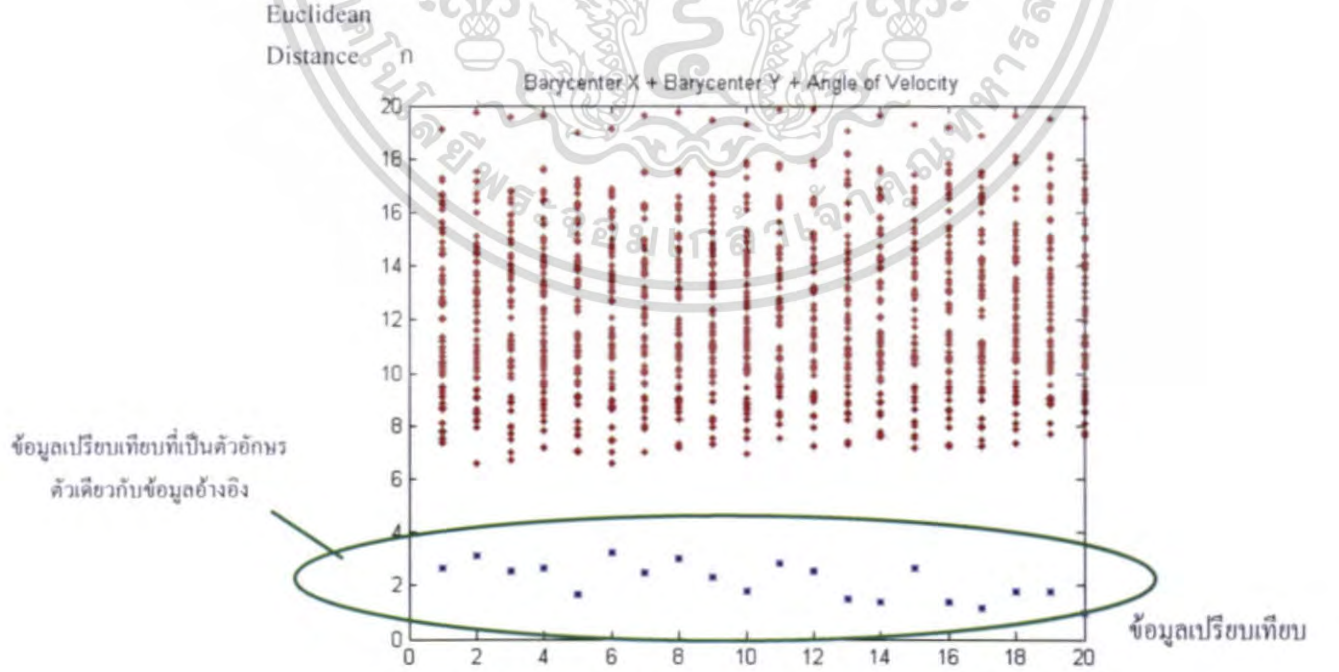
จากการทดลองสามารถแสดงออกมาเป็นกราฟได้ดังนี้

* แทน ข้อมูลตัวอักษรที่นำมาเปรียบเทียบซึ่งเป็นตัวเดียวกับตัวอักษรอ้างอิง

* แทน ข้อมูลตัวอักษรที่นำมาเปรียบเทียบซึ่งเป็นคนละตัวกับตัวอักษรอ้างอิง

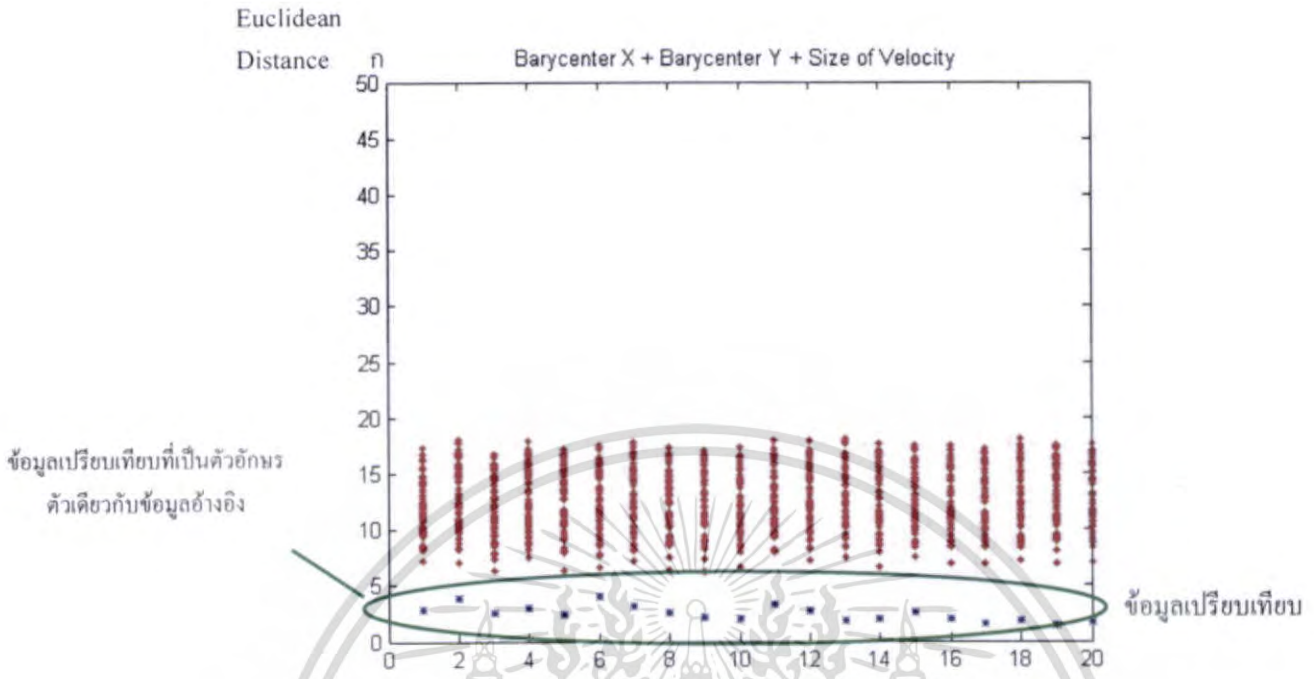


รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบระยะยูคลิดของตัวอักษรอ้างอิง "ก"
กับตัวอักษรที่นำมาเปรียบเทียบของการทดลองที่ 1

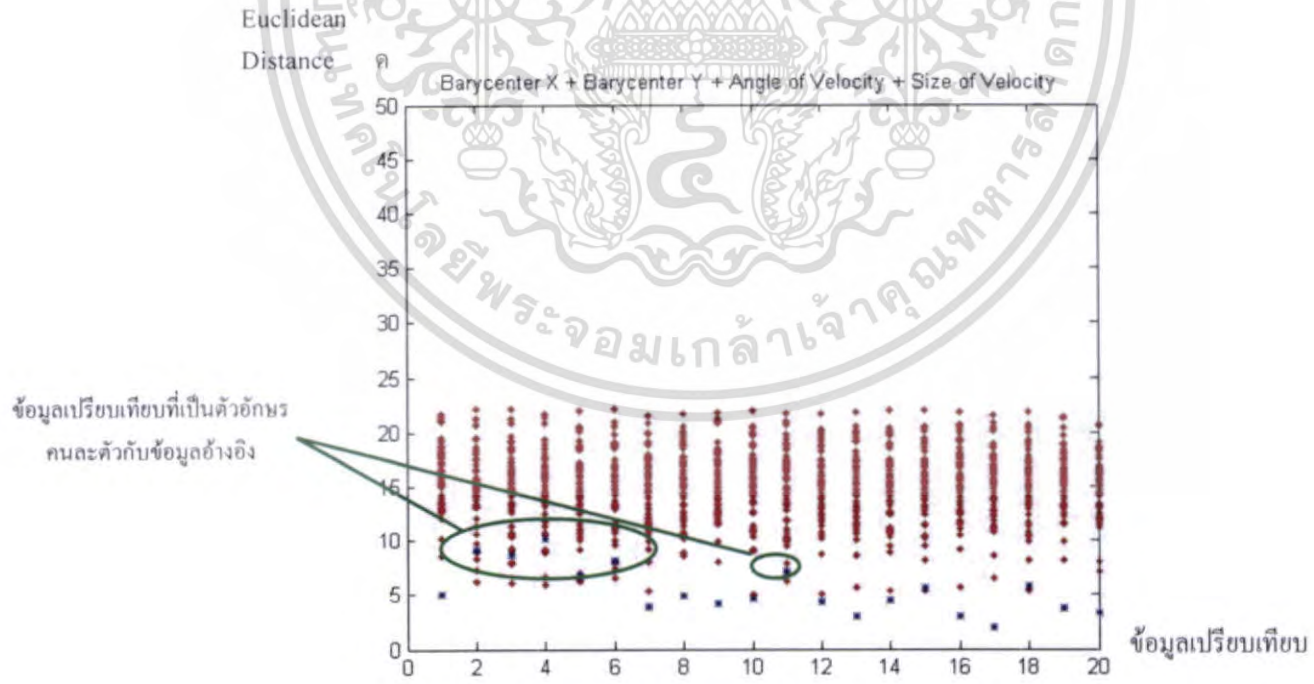


รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบระยะยูคลิดของตัวอักษรอ้างอิง "ก"
กับตัวอักษรที่นำมาเปรียบเทียบของการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ **4.5** แสดงการเปรียบเทียบระยะยูคลิดของตัวอักษรอ้างอิง "ก"
กับตัวอักษรที่นำมาเปรียบเทียบของการทดลองที่ 3



รูปที่ **4.6** แสดงการเปรียบเทียบระยะยูคลิดของตัวอักษรอ้างอิง "ค"
กับตัวอักษรที่นำมาเปรียบเทียบของการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 โปรแกรมแสดงผล

โปรแกรมแสดงผลตัวอักษร จะทำการอ่านค่าจากไฟล์ที่เก็บค่าระยะยูคลิด (Euclidean Distance) แล้วแสดงผลออกมาเป็น ตัวอักขระภาษาไทยในรูปแบบตัวพิมพ์ (Font) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.7

รูปที่ **4.7** โปรแกรมแสดงผล

ส่วนที่ 1 ปุ่ม Recognize เป็นปุ่มที่ใช้แสดงผลค่าระยะยูคลิด (Euclidean Distance) ให้ออกมาเป็นอักขระภาษาไทยในรูปแบบของตัวพิมพ์ (Font)

ส่วนที่ 2 ส่วนที่ใช้แสดงอักขระภาษาไทยในรูปแบบตัวพิมพ์ (Font)

4.2.2 ประสิทธิภาพของโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยเฉพาะบุคคล

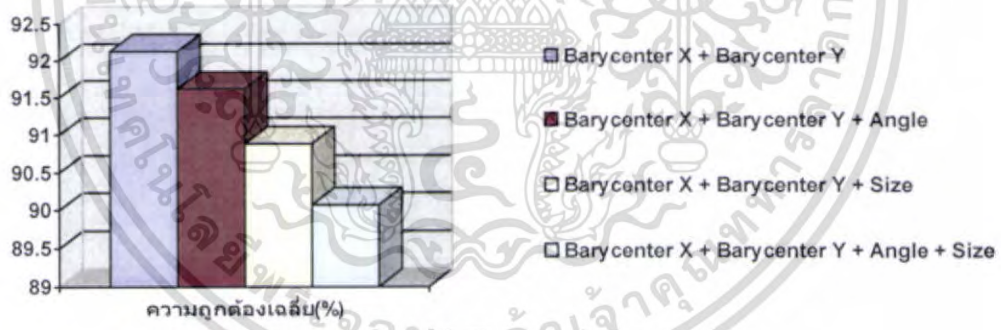
จากตารางที่ 4.1 – 4.4 จะเห็นว่าการทดลองที่ 1 สามารถให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องออกมาสูงที่สุดและเมื่อทำการใช้การทดลองที่ 1 ทดสอบกับข้อมูลจากบุคคลอ้างอิงอื่นๆ ทำให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์ ซึ่งให้ค่าความเที่ยงตรงของตัวอักษร ดังแสดงในตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้เขียน	%ความถูกต้องของ Barycenter X และ Y
A	92.132
B	91.723
C	92.01
D	91.445
E	92.293
F	92.044
G	91.882
H	91.453
I	92.114
J	91.019
เฉลี่ย	**91.8115**

	ความถูกต้องเฉลี่ย(%)
Barycenter X + Barycenter Y	**92.13235294**
Barycenter X + Barycenter Y + Angle	**91.61764706**
Barycenter X + Barycenter Y + Size	**90.88235294**
Barycenter X + Barycenter Y + Angle + Size	**90.07352941**

ตาราง 4.5 แสดงประสิทธิภาพของโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์



รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของโปรแกรมการรู้จำตัวอักษรเฉพาะบุคคลประเภทออนไลน์

4.3 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองส่วนนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเอาลักษณะพิกัดของแต่ละตัวอักษรมาใช้ในการตรวจสอบตัวอักษร เพื่อให้สามารถแยกแยะตัวอักษรเฉพาะบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองที่ 1 เป็นระบบที่ใช้คุณลักษณะเด่น (Feature) ของ Barycenter X และ Y ให้ประสิทธิภาพในการรู้จำตัวอักษรที่ดีที่สุด และจากการทดสอบจากการทดลองทั้ง 4 ชุดนั้น สามารถสรุปได้ว่า ตัวอักษรที่ใกล้เคียงกันและมีความแตกต่างกันเล็กน้อย เช่น "ข" กับ "ฃ" หรือ "ค" กับ "ฅ" นั้น ใช้ทิศทางการเคลื่อนที่ปลายปากกาในการประมวลผลจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

1. คุณลักษณะเด่น (Feature) ที่ดีที่สุดในการนำมารู้จำตัวอักษรภาษาไทย คือ บารีเซ็นเตอร์ x และ y

2. การรู้จำตัวอักษรภาษาไทยเฉพาะบุคคลของบารีเซ็นเตอร์ x และ y สามารถวิเคราะห์พยัญชนะและสระได้ถูกต้องประมาณ 92.13 %

3. การรู้จำตัวอักษรภาษาไทยเฉพาะบุคคลโดยรวม สามารถวิเคราะห์พยัญชนะและสระได้ถูกต้องประมาณ 91.81 %

4. ลักษณะเด่น (Feature) องศาที่เปลี่ยนไปของปลายปากกา (Angle of Velocity) สามารถนำมารู้จำอักขระที่มีความคล้ายกันได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5. ลักษณะเด่น (Feature) ขนาดของความเร็วของปลายปากกา (Size of Velocity) ไม่สามารถนำมารู้จำอักขระได้ เนื่องจากแต่ละบุคคลเก็บข้อมูลด้วยความเร็วที่ไม่เท่ากัน

6. พยัญชนะที่คล้ายกันหรือเขียนไม่ต่อเนื่องกัน จะทำให้โปรแกรมวิเคราะห์คลาดเคลื่อนหรือผิดพลาด

7. ขนาดและตำแหน่งของตัวอักษรไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ แต่ขนาดจะต้องไม่เล็กจนเกินไป

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงงาน

1. เนื่องจากโปรแกรมในการรับค่าข้อมูลไม่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง คือ ต้องมีการกดปุ่มให้แบ่งตัวอักษรแต่ละตัว จึงทำให้แสดงผลการวิเคราะห์ช้าลง

2 ยังมีเปอร์เซ็นต์ในการวิเคราะห์ผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนอีกประมาณร้อยละ 8.19 ซึ่งเป็นไปได้ว่าเกิดจากผู้เก็บข้อมูลเก็บผิดพลาด หรือเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลด้วย

3. เกิดความผิดพลาดในขั้นตอนการเก็บข้อมูล โดยผู้เก็บข้อมูลลืมกดแบ่งตัวอักษร ทำให้ข้อมูลที่ได้มีไม่ครบจำนวน และส่งผลให้โปรแกรมคำนวณผลออกมาผิดพลาด

5.3 แนวทางการพัฒนาโครงงานต่อ

1. หาทฤษฎีหรือกระบวนการในการวิเคราะห์ตัวอักษรใหม่ เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงให้ดีขึ้นและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับปรุง Interface ให้สามารถแสดงผลทุกกระบวนการได้ในหน้าจอเดียวกัน

3. เพิ่มเติมและปรับปรุง Algorithm ให้สามารถวิเคราะห์พยัญชนะและสระได้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

4. ปรับปรุงโปรแกรมให้วิเคราะห์ตัวอักษรภาษาไทยและสามารถแบ่งแยกความแตกต่างแต่ละบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Pitak Thumawarin, Takenobu Matsuura, N Suthithummathat. **"On-Line Signature Verification based on Time-Frequency Characteristics of Barycenter trajectory"**, Proceedings of the 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) International Conference, pp. 572-575, May 2007

[2] P Thumwarin, S Khem, K Janchitrapongvej, T Matsuura. **"On-Line Character Recognition for Khmer Numeral based on DP matching of Barycenter Trajectory"**, Proceedings of the 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) International Conference, pp. 1092-1095, May 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้