



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง ระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์โดยใช้จุดเด่นเฉพาะที่แบบหลายจุด
โดย นายเอกอมร สกุลวรรณวงศ์

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตยวัณษ์)

13 ตุลาคม 2549

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกร วรากุลศิริพันธุ์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัมปพงศ์ วรรณปัญญา)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตย์สุวรรณ)

ระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์โดยใช้จุดเด่นเฉพาะที่แบบหลายจุด

นายเอกอมร สกุลวรรณวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-190-873-3

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายเอกอมร สกุลวรรณวงศ์
ชื่อวิทยานิพนธ์ : ระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์โดยใช้จุดเด่นเฉพาะที่แบบหลายจุด
สาขาวิชา : เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกร วรากุลศิริพันธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ วรรณันปัญญา
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์สำหรับการยืนยันตัวบุคคล มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากลายเซ็นแบบออนไลน์มีลักษณะเด่นหลายอย่าง ได้แก่ มุม ความเร็ว ความเร่ง และเวลา สำหรับนำไปใช้ในระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์ ในงานวิจัยนี้มีส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ การเก็บลายเซ็นแบบออนไลน์ การสกัดลักษณะเด่นและการจับคู่เปรียบเทียบลักษณะเด่น ในขั้นตอนการเก็บลายเซ็น จุดลายเซ็นที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งรับมาจากกระดานอิเล็กทรอนิกส์ถูกนำมาแทรกจุดเพิ่มและเก็บในรูปพารามตริก แล้วนำไปทำให้เรียบด้วยตัวกรองเกาส์เซียนและกำหนดจุดที่มีค่าความโค้งสูงจากทั้งลายเซ็น จุดที่มีค่าความโค้งสูงเหล่านี้เรียกว่าจุดเด่นบนเส้นโค้ง ในขั้นตอนการสกัดลักษณะเด่นจากลายเซ็น จุดเด่นบนเส้นโค้งถูกใช้ในการแบ่งลายเซ็นออกเป็นส่วนย่อย ๆ ในแต่ละส่วนย่อยสามารถหาค่าลักษณะเด่นได้ ดังนี้ มุม ความเร็วในแต่ละช่วง ความเร่งในแต่ละช่วง และเวลาในแต่ละช่วง ในขั้นตอนสุดท้ายวิธีการการจับคู่เปรียบเทียบด้วยไดนามิกโปรแกรมมิ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อจับคู่เปรียบเทียบลักษณะเด่นของลายเซ็นที่ตรวจสอบกับลักษณะเด่นของลายเซ็นที่บันทึกอยู่ในฐานข้อมูล จากกระบวนการดังกล่าวนี้ ผลการทดลองที่นำเสนอระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์สามารถตรวจสอบได้ถูกต้องร้อยละ 80

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 71 หน้า)

คำสำคัญ : การตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์ จุดเด่นเฉพาะที่แบบหลายจุด
การเก็บข้อมูลลายเซ็น ตัวกรองเกาส์เซียน การสกัดลักษณะเด่น ไดนามิกโปรแกรมมิ่ง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr.Aekamorn Skulvannavong
Thesis Title : Online Signature Verification using Multiple Dominant Points
Major Field : Computer Technology
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisors : Associate Professor Dr. Ruttikorn Varakulsiripunth
Assistant Professor Dr.Kuntpong Woraratpanya
Academic Year : 2006

Abstract

Online signature verification is an effective approach for a personal identity, since an online signature provides many features--angles, velocities, accelerations, and times--for a signature verification system. In this research, there are three important parts: signature acquisition, feature extraction, and feature matching. For the signature acquisition, discrete signature acquired from a tablet is interpolated and kept in the form of parametric. This data is smoothed by Gaussian filter and is determined high curvature points along with the signature. These high curvature points are called *dominant* points. For the feature extraction, the dominant points are used to divide the signature into a set of segments. These segments can generate the following features: angles, interval velocities, interval accelerations, and interval times. Finally, in matching phase, dynamic programming is applied to match unknown signature features and model features stored in a database. By this method, the experimental results illustrate that the proposed verification system can perform accurately 80%.

(Total 71 pages)

Keywords : online signature verification, multiple dominant points, signature acquisition,
Gaussian filter, feature extraction, dynamic programming

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ด้วยดีมาโดยตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ กราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 2 ท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ดร.รัตติกกร วรากุลศิริพันธุ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ วรรัตนปัญญา ที่ได้ช่วยเหลือและชี้แนะสิ่งต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า ขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์ ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างมากแก่ข้าพเจ้า ขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงเรียนวัดพระประโทณเจดีย์ และเพื่อนร่วมงานที่เอื้ออำนวยเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นต่องานวิจัยนี้ และเสียสละเวลาอันมีค่าให้ข้าพเจ้าได้เก็บตัวอย่างลายเส้นมาใช้ในงานวิจัยนี้ ขอกราบขอบพระคุณอย่างยิ่งในความกรุณาของท่านทั้งหลาย

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจในงานวิจัยนี้ และหากเป็นเช่นนั้น ข้าพเจ้าขอขอบคุณดีทั้งหมดให้แก่ผู้ที่ข้าพเจ้าได้กล่าวถึงในข้างต้น แต่หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับข้อบกพร่องนั้นแต่เพียงผู้เดียว

เอกอมร สกุลวรรณวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ของการวิจัย	2
บทที่ 2 ลักษณะทั่วไปของระบบตรวจสอบลายเซ็น	3
2.1 ระบบตรวจสอบลายเซ็น	4
2.2 คุณลักษณะของระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์	5
2.3 การเก็บข้อมูลลายเซ็น	6
2.4 การสกัดค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นแบบออนไลน์ (Feature Extraction)	7
2.5 กระบวนการจับคู่เปรียบเทียบลายเซ็นแบบไดนามิก	16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
2.7 กรอบแนวคิดในการดำเนินการวิจัย	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	20
3.1 วิธีการวิจัย	20
3.2 การเก็บตำแหน่งข้อมูลการเคลื่อนที่ของปากกาในขณะที่เขียนลายเซ็น	22
3.3 การสกัดค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นแบบออนไลน์	23
3.4 การจับคู่ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นระหว่างลายเซ็นอ้างอิงและลายเซ็นทดสอบ	24
3.5 การตัดสินใจ	27
3.6 การทดสอบส่วนต่างๆ ของระบบ	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	29
4.1 วิธีการทดลอง	29
4.2 การดำเนินการทดลองและผลการทดลอง	31
4.3 สรุปผลการทดลอง	44
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผล	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	50
ประวัติผู้วิจัย	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4-1 การเปรียบเทียบความสามารถในการจับคู่เปรียบเทียบลายเส้น โดยกำหนดค่าความแตกต่าง ของข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบ 5% 10% 15% และ 20%	30
4-2 ค่าความเที่ยงของการตรวจสอบลายเส้น โดยใช้ค่าลักษณะเด่นของลายเส้นค่าเดียว	32
4-3 ค่าความเที่ยงของการรวม 2 ลักษณะเด่น โดยใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเส้นด้วยค่ามุม	34
4-4 ค่าความเที่ยงของการรวม 2 ค่า โดยใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเส้นด้วยค่าความเร็ว	35
4-5 ค่าความเที่ยงของการรวม 2 ค่า ใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเส้นด้วยความเร็วและการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเส้นด้วยค่ามุม	36
4-6 ค่าความเที่ยงของการรวมค่าลักษณะเด่น 3 ค่าโดยการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเส้นด้วยความเร็วและการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเส้นด้วยค่ามุม	37
4-7 ค่าความเที่ยงของการรวม 3 ค่า โดยตรวจสอบ ค่าความเร็ว ค่าความเร่งและอัตราส่วนเวลา กับ ตรวจสอบค่ามุม ค่าความเร่งและอัตราส่วนเวลา	38
4-8 ค่าความเที่ยงของการรวม 4 ค่า	39
4-9 ค่าความเที่ยงของการให้น้ำหนักวิธีการค่ามุมและความเร็ว	41
4-10 ค่าความเที่ยงของการให้น้ำหนักค่ามุม ความเร็วและความเร่ง	42
4-11 ค่าความเที่ยงของการทดลองที่ให้น้ำหนักกับค่าลักษณะเด่นทั้ง 4 ค่า	43

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 การประมวลผลเอกสารที่เป็นลายมืออัตโนมัติ	3
2-2 ลายเซ็นแบบออฟไลน์ที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์	4
2-3 ลายเซ็นที่เป็นข้อมูลการเคลื่อนที่ของปากกาบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์	5
2-4 ตัวอย่างกระดานอิเล็กทรอนิกส์และปากกาที่ใช้	6
2-5 ลักษณะข้อมูลคู่ลำดับที่เก็บในอะเรย์ 2 มิติ	7
2-6 ลักษณะข้อมูลคู่ลำดับที่เก็บในอะเรย์ 3 มิติ	7
2-7 ค่าเกาส์เซียนที่ได้จากสมการ (2-9)	9
2-8 ค่าความโค้งที่คำนวณได้	13
2-9 จุดเด่นบนเส้นโค้งที่ได้จากการคำนวณ	13
2-10 มุมและระยะทางของด้านที่นำมาคำนวณหาค่าของมุม	14
2-11 การใช้ไดนามิกโปรแกรมมิ่งในการหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการจับคู่ชุดข้อมูล 2 ชุด	16
2-12 ตารางการจับคู่ที่สร้างขึ้น และข้อมูลตัวเลขค่าของมุมที่จะนำมาใช้จับคู่	17
3-1 ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบลายเซ็นอ้างอิง	21
3-2 ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบลายเซ็นกับลายเซ็นอ้างอิง	21
3-3 ข้อมูลการเคลื่อนที่ของตัวชี้ตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรม	23
3-4 ผังการทำงานในการเก็บข้อมูลลายเซ็น	24
3-5 การจับคู่เปรียบเทียบกับไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 1 สร้างตารางขนาด $m+1 \times n+1$	25
3-6 การจับคู่เปรียบเทียบกับไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 2 การเติมค่าลงในตาราง	25
3-7 การจับคู่เปรียบเทียบกับไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 2 การเติมค่าลงในตาราง	25
3-8 การจับคู่เปรียบเทียบกับไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 2 การเติมค่าลงในตาราง	26
3-9 การจับคู่เปรียบเทียบกับไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 2 ตารางที่เติมค่าจนสมบูรณ์	26
3-10 การจับคู่เปรียบเทียบกับไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 3 การตรวจสอบย้อนกลับเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุด	26
3-11 การจับคู่เปรียบเทียบกับไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 3 การตรวจสอบย้อนกลับเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุด	27
4-1 แสดงผลการตรวจสอบลายเซ็นด้วยค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม	33
4-2 แสดงผลการตรวจสอบลายเซ็นด้วยค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่าความเร็ว	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันกระบวนการพิสูจน์เอกลักษณ์ของบุคคล (Personal Identification) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น การเข้าถึงระบบคอมพิวเตอร์ (Computer Access) การเข้าถึงอาคาร (Building Access) ระบบธนาคารอัตโนมัติ (Automated Banking) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการพิสูจน์ว่าเป็นบุคคลเดียวกันนี้ ได้มีการวิจัยพัฒนาในรูปแบบต่าง ๆ หลายรูปแบบ เช่น การใช้ตัวเลขประจำตัว (Personal Identification Numbers : PINs) การใช้ลายนิ้วมือ (Fingerprint Verification) และการใช้ลายเซ็น (Signature Verification) [1] เป็นต้น

การใช้ลายเซ็นพิสูจน์เอกลักษณ์ของบุคคล มีคุณลักษณะเด่นที่น่าสนใจคือ มีความถูกต้องของการรู้จำที่ดีและปลอมแปลงยากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวเลขประจำตัว และขั้นตอนในการพิสูจน์ลายเซ็นไม่ยุ่งยากซับซ้อนเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ลายนิ้วมือ [2] จึงทำให้การใช้ลายเซ็นในกระบวนการพิสูจน์ความเป็นบุคคลคนเดียวกัน มีการใช้งานอย่างแพร่หลายและในปัจจุบันได้มีการนำระบบคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์และพิสูจน์ลายเซ็นทำให้มีความถูกต้อง รวดเร็ว และยังช่วยลดระยะเวลาในการฝึกฝน เพื่อให้เกิดทักษะและความชำนาญในการพิสูจน์ลายเซ็นของผู้ที่ทำหน้าที่พิสูจน์ลายเซ็นได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามในการตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น มีการใช้ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น 2 รูปแบบ คือลักษณะเด่นที่เป็นภาพรวมของลายเซ็น (Global feature) และลักษณะเด่นภายในลายเซ็น (Local feature) [3] และในระบบการตรวจสอบลายเซ็นที่มีประสิทธิภาพ ควรใช้ค่าลักษณะเด่นจำนวนไม่มาก แต่เป็นลักษณะเด่นที่สามารถนำมาตรวจสอบลายเซ็นได้ถูกต้อง เพื่อให้สามารถประมวลผลได้รวดเร็ว [4]

งานวิจัยนี้ได้สร้างระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์โดยใช้จุดเด่นเฉพาะที่แบบหลายจุดของลายเซ็นแบบออนไลน์ คือ หากำจุดเด่นบนเส้นโค้งของลายเซ็นมาใช้หาค่ามุม ความเร็ว ความเร่ง และอัตราส่วนเวลาในการเขียนลายเซ็น

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบลายเซ็นชื่อแบบออนไลน์โดยใช้จุดเด่นเฉพาะที่แบบหลายจุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ลักษณะข้อมูลนำเข้า/ออก

1.3.1.1 ข้อมูลลายเซ็นที่ได้จากการเขียนลายเซ็นบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ เป็นค่าอะเรย์ของคู่ลำดับ (x,y) ตามตำแหน่งที่ปากกาเขียน

1.3.1.2 องค์ประกอบของลายเซ็นที่นำมาใช้คือ คู่ลำดับ (x,y) ที่ได้จากการเขียนลายเซ็นบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ และจำนวนครั้งที่มีการยกปากกา

1.3.1.3 ขนาดของลายเซ็นไม่เกินขนาดของหน้าจอภาพปกติ XGA (1024 x 768 pixel)

1.3.1.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม จะเป็นการตัดสินใจว่ามีหรือไม่มีลายเซ็นนั้น ๆ ในฐานข้อมูล

1.3.2 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

1.3.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) 1 ชุด

1.3.2.2 กระดานอิเล็กทรอนิกส์ (Mousepen หรือ E-PAD) มีความสามารถในการเก็บข้อมูลคู่ลำดับ (x,y) ตามตำแหน่งที่ปากกาเขียน มีอัตราการเก็บข้อมูล 100 จุดต่อวินาทีและสามารถเก็บข้อมูลแรงกดของปากกาได้แตกต่างกัน 64 ระดับ

1.3.3 ซอฟต์แวร์ (Software) ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ

1.3.3.1 ระบบปฏิบัติการ Windows-XP

1.3.3.2 โปรแกรมแมทแลป (Matlab) รุ่น 7.0.4.365 R14

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย

1.4.1 ได้ระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์โดยใช้จุดเด่นเฉพาะที่แบบหลายจุด

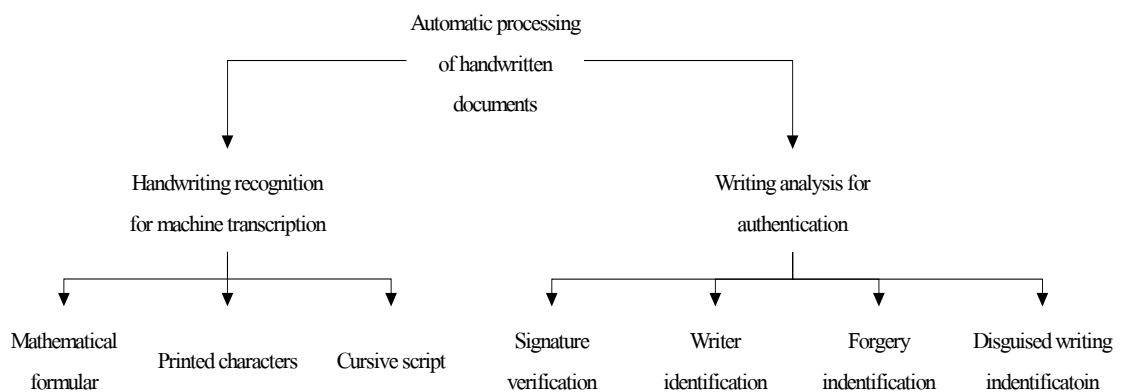
1.4.2 ได้นำหลักการหาค่าจุดเด่นบนเส้นโค้ง การหาลักษณะเฉพาะของลายเซ็นและการจับคู่เปรียบเทียบกับแบบไดนามิกโปรแกรมมิ่งมาใช้ในการตรวจสอบลายเซ็น

1.4.3 เพิ่มประสิทธิภาพในการยืนยันตัวบุคคลด้วยวิธีการใช้ลายเซ็นชื่อ ในการทำธุรกรรมทางการเงินในระบบธนาคารผ่านระบบคอมพิวเตอร์ออนไลน์

บทที่ 2

ลักษณะทั่วไปของระบบตรวจสอบลายเซ็น

ระบบตรวจสอบลายเซ็นด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นส่วนหนึ่งในงานวิจัยประเภทการประมวลผลเอกสารที่เป็นลายมือโดยอัตโนมัติ (Automatic Processing of Handwritten Documents) ดังภาพที่ 2-1 และระบบตรวจสอบลายเซ็นด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่ก็มีปัญหาในด้านการกำหนดค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นที่จะนำมาใช้ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะเด่นที่เป็นภาพรวมของลายเซ็น และลักษณะเด่นภายในลายเซ็น ทำให้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นที่จะนำมาใช้ [3] [4]



ภาพที่ 2-1 การประมวลผลเอกสารที่เป็นลายมืออัตโนมัติ

2.1 ระบบตรวจสอบลายเซ็น

ระบบตรวจสอบลายเซ็นด้วยคอมพิวเตอร์นั้นแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามวิธีการรับข้อมูลดังนี้ คือ Off-Line Signature Verification และ On-Line Signature Verification

2.1.1 ประเภทออฟไลน์หรือสแตติก (Off-Line or Static) เป็นระบบตรวจสอบลายเซ็นที่รับข้อมูลลายเซ็นจากผู้ทดสอบเขียนลายเซ็นลงบนกระดาษ แล้วแปลงให้อยู่ในรูปดิจิทัล (Digitizing) ด้วยเครื่องสแกนเนอร์ แล้วนำข้อมูลไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไป

ระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออฟไลน์นี้จะต้องใช้ข้อมูลที่เป็นรูปภาพของลายเซ็นมาประมวลผล ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสแกนยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปประมวลผลโดยตรง จำเป็นต้องมีการประมวลผลเบื้องต้น (Preprocessing) โดยทำการกำจัดส่วนเกินของภาพ การทำให้เส้นเรียบ และการกรองให้เหลือเฉพาะส่วนที่สำคัญ เป็นต้น ข้อมูลที่ได้รับการประมวลผลเบื้องต้นจะถูกนำไปประมวลผลเพื่อหาจุดเด่นของลายเซ็นที่สามารถบ่งบอกถึงลักษณะเด่นของลายเซ็นนั้น ๆ ข้อมูลซึ่งเป็นจุดเด่นของลายเซ็นที่ทำการทดสอบนี้ จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลซึ่งเป็นจุดเด่นของลายเซ็นอ้างอิง ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบนี้จะถูกนำไปเป็นข้อมูลในการตัดสินใจว่าลายเซ็นที่ทำการทดสอบกับลายเซ็นอ้างอิงนั้นเป็นบุคคลคนเดียวกันหรือไม่ [5] [6]

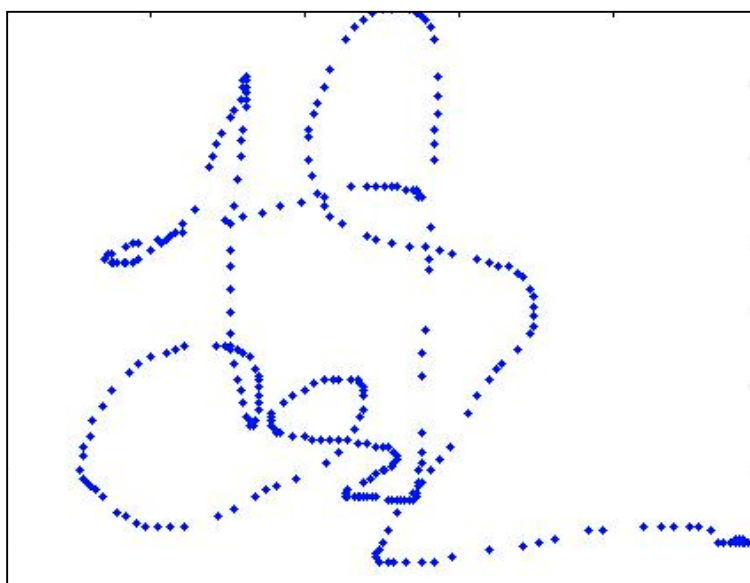


ภาพที่ 2-2 ลายเซ็นแบบออฟไลน์ที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์

2.1.2 ประเภทออนไลน์หรือไดนามิก (On-Line or Dynamic) เป็นระบบตรวจสอบลายเซ็นที่รับข้อมูลลายเซ็นมาจากกระดานอิเล็กทรอนิกส์โดยตรง โดยให้ผู้ทำการทดสอบเขียนลายเซ็นลงบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ ขณะที่เขียนลายเซ็นกระดานอิเล็กทรอนิกส์จะเปลี่ยนลายเซ็นดังกล่าวไปเป็นรูปแบบดิจิทัลทันที เป็นผลให้ข้อมูลของลายเซ็นที่ได้รับจากกระดานอิเล็กทรอนิกส์มีความเป็นปัจจุบัน (Real Time) ทำให้ได้รับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลา ความเร็ว ความเร่ง จำนวนครั้งที่ยกปากกา และลำดับก่อนหลังของการเคลื่อนที่ของปากกาในการเขียนลายเซ็น

ข้อมูลดังกล่าวที่ได้รับจากกระดานอิเล็กทรอนิกส์ในแบบออนไลน์นี้ เป็นข้อมูลที่มีการปลอมแปลงได้ยากเมื่อเทียบกับข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องสแกนเนอร์ในแบบออฟไลน์ จึงทำให้ผลการตรวจสอบลายเซ็นด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์แบบออนไลน์มีความน่าเชื่อถือกว่าแบบออฟไลน์ [7] [8]

แต่ระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์ก็ยังมีข้อจำกัด เช่น ต้องใช้ปากกาและกระดานอิเล็กทรอนิกส์ในการรับข้อมูลลายเซ็น ซึ่งยังมีการใช้งานไม่แพร่หลายเหมือนเครื่องสแกนเนอร์ และในลักษณะงานบางอย่าง เช่น การเขียนเช็คสั่งจ่ายเงินในระบบธนาคารต้องใช้วิธีเขียนลายเซ็นลงบนกระดาษก่อนแล้วนำมาประมวลผลพิสูจน์ภายหลัง เป็นผลให้ลักษณะงานประเภทนี้ ไม่สามารถใช้ระบบตรวจสอบลายเซ็นประเภทไดนามิกได้



ภาพที่ 2-3 ลายเซ็นที่เป็นข้อมูลการเคลื่อนที่ของปากกานบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างระบบตรวจสอบลายเซ็นประเภทไดนามิก โดยใช้ข้อมูลของลายเซ็นเฉพาะตำแหน่งการเคลื่อนที่ของปากกานบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ในการเขียนลายเซ็นเท่านั้น ทำให้สามารถใช้กระดานอิเล็กทรอนิกส์ที่มีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย เมื่อเทียบกับกระดานอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้ข้อมูลหลายอย่าง

2.2 คุณลักษณะของระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์

ระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์ ได้มีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในและต่างประเทศ ระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์นี้ ในส่วนการรับข้อมูลไม่ใช่เฉพาะแต่ข้อมูลที่เป็นภาพของลายเซ็นเท่านั้น ยังสามารถเก็บข้อมูลที่เป็นฟังก์ชันของเวลาที่ใช้เขียนลายเซ็นด้วย ดังภาพที่ 2-3 โดยทั่วไประบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์ จะต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมได้แก่ กระดานอิเล็กทรอนิกส์และปากกา ที่จะใช้เขียนบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ ดังภาพที่ 2-4 และ

สามารถตรวจสอบลายเซ็นภายหลังการเซ็นชื่อได้ทันที ซึ่งลักษณะนี้ไม่สามารถกระทำได้ในระบบออฟไลน์



ภาพที่ 2-4 ตัวอย่างกระดานอิเล็กทรอนิกส์และปากกา

อย่างไรก็ตาม ระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์มีความสามารถในการทำงานกับข้อมูลที่หลากหลาย เนื่องมาจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และรวมไปถึงส่วนที่เกี่ยวข้องกับเวลาในการเขียนลายเซ็น ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้นำฟังก์ชันของเวลาเข้ามาคำนวณ เพื่อใช้ในการตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์ใน 3 ส่วน คือ การนำเวลามาคำนวณหาความเร็ว ความเร่ง และอัตราส่วนของเวลาในแต่ละส่วนย่อยของลายเซ็นกับเวลาที่ใช้ทั้งหมดในการเขียนลายเซ็น [9]

2.3 การเก็บข้อมูลลายเซ็น

ระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์ จะใช้ข้อมูลจากตำแหน่งการเคลื่อนที่ของปากกาบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ ขณะที่กดปากกาลงบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ในระหว่างการเขียนลายเซ็นมาเป็นข้อมูลในการประมวลผล โดยการรับข้อมูลดังกล่าวจากกระดานอิเล็กทรอนิกส์ กำหนดให้การเคลื่อนที่ของปากกามีความสัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งของตัวชี้ตำแหน่ง (Pointer) บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ แล้วทำการเก็บข้อมูลตำแหน่งของตัวชี้ตำแหน่งบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ไว้เป็นข้อมูลคู่ลำดับในพิกัด (x,y) ดังในภาพที่ 2-5 และ 2-6 ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้จะเก็บไว้เป็นอะเรย์ของตัวเลข 2 มิติ โดยที่ขนาดของอะเรย์ จะเท่ากับสองคูณด้วยจำนวนจุดของข้อมูลลายเซ็นที่เก็บเข้ามา ในกรณีที่ลายเซ็นนั้น ๆ มีการกดปากกาลงเขียนมากกว่า 1 ครั้ง จะเก็บข้อมูลจากการกดปากกา ลงในอะเรย์มิติที่ 3 ซึ่งก็จะสามารถให้เขียนลายเซ็นแบบยกปากกาหลาย ๆ ครั้งได้ และเก็บข้อมูลที่อยู่ในอะเรย์นี้ลงแฟ้มข้อมูล เพื่อใช้ในกระบวนการทำงานอื่น ๆ ต่อไป

	X	Y
1	323	265
2	323	266
3	325	267
4	327	268
5	329	270
6	333	272
7	338	274
8	344	277
9	357	285
10	364	288

ภาพที่ 2-5 ลักษณะข้อมูลคู่ลำดับที่เก็บในอะเรย์ 2 มิติ

	X	505	511	522	530	538	548	559	568	575	588	
	X	567	560	546	527	521	511	501	486	479	460	4
	X	455	456	459	454	452	451	448	444	440	438	4
X	321	322	323	323	324	325	325	325	325	324		7
Y	401	398	397	396	395	394	392	390	388	388		

ภาพที่ 2-6 ลักษณะข้อมูลคู่ลำดับที่เก็บในอะเรย์ 3 มิติ

2.4 การสกัดลักษณะเด่นของลายเส้นแบบออนไลน์ (Feature Extraction)

การนำข้อมูลลายเส้นแบบออนไลน์มาแยกค่าลักษณะเด่นของลายเส้น เพื่อที่จะนำไปใช้ในการตรวจสอบลายเส้นในขั้นตอนต่อไป ค่าลักษณะเด่นของลายเส้นที่จะนำมาใช้ จะต้องมีความเสถียรต่อการหมุน ย่อ/ขยายขนาดของลายเส้น เพื่อให้ได้ค่าลักษณะเฉพาะดังกล่าว มีกระบวนการแยกค่าลักษณะเด่นของลายเส้นดังต่อไปนี้ การตรวจหาตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้ง เป็นวิธีการหนึ่งในเรื่องการประมวลผลทางภาพซึ่งมีการวิจัยพัฒนา และประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย การตรวจหาตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้งดังกล่าว ทำได้โดยใช้ตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter) เข้าไปประสาน (Convolution) กับข้อมูลของเส้นโค้งเพื่อหาค่าความโค้ง (Curvature) ซึ่งจะใช้ในการหาจุดเด่นต่อไป

สมการในการหาค่าความโค้ง $k(x)$ ของฟังก์ชัน $y(x)$ ถูกนิยามไว้ว่า

$$k(x) = \frac{|y''(x)|}{(1 + (y'(x))^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2-1)$$

$$\text{เมื่อ} \quad y'(x) = \frac{dy}{dx} \quad \text{และ} \quad y''(x) = \frac{dy^2}{dx^2}$$

เนื่องจากข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณค่าความโค้งในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete) จึงไม่สามารถคำนวณหาค่าความโค้งจากสมการหาค่าความโค้งที่ 2-1 ได้โดยตรง เพราะเป็นสมการของข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous) แต่ Mokhtarian และ Mackworth [10] ทำการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยพัฒนาสมการหาค่าความโค้งแบบไม่ต่อเนื่อง เมื่อข้อมูลที่ใช้ประมวลผลไม่ได้เป็นฟังก์ชัน $y=f(x)$ จึงต้องแยกตัวแปร x และ y ให้อยู่ในรูปพารามตริก (Parametric form) คือ $x(n)$ และ $y(n)$ ดังนั้น

$$y'(x) = \frac{\dot{y}(n)}{\dot{x}(n)} \quad (2-2)$$

$$y''(x) = \frac{\dot{x}(n)\ddot{y}(n) - \dot{y}(n)\ddot{x}(n)}{(\dot{x}(n))^2} \quad (2-3)$$

$$\text{เมื่อ} \quad \dot{x}(n) = \frac{dx}{dt} \quad ; \quad \dot{y}(n) = \frac{dy}{dt}$$

$$\text{และ} \quad \ddot{x}(n) = \frac{dx^2}{dt^2} \quad ; \quad \ddot{y}(n) = \frac{dy^2}{dt^2}$$

แทนค่าสมการ (2-2) และ (2-3) ในสมการ (2-1) จะได้

$$k(n) = \frac{\dot{x}(n)\ddot{y}(n) - \ddot{x}(n)\dot{y}(n)}{(\dot{x}(n)^2 + \dot{y}(n)^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2-4)$$

โดยกำหนดให้

$$\dot{x}(n) = \dot{x}(n, \sigma) = x(n) * \dot{g}(n, \sigma) \quad (2-5)$$

$$\dot{y}(n) = \dot{y}(n, \sigma) = y(n) * \dot{g}(n, \sigma) \quad (2-6)$$

$$\ddot{x}(n) = \ddot{x}(n, \sigma) = x(n) * \ddot{g}(n, \sigma) \quad (2-7)$$

$$\ddot{y}(n) = \ddot{y}(n, \sigma) = y(n) * \ddot{g}(n, \sigma) \quad (2-8)$$

เมื่อ

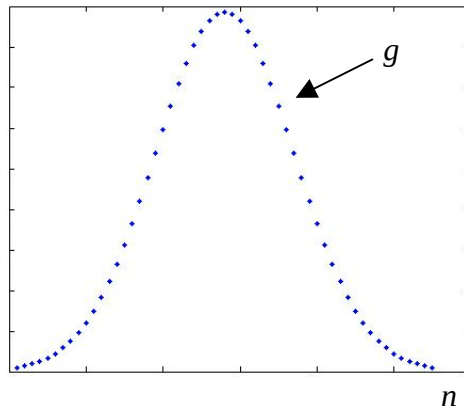
$$g(n, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-n^2}{2\sigma^2}} \quad (2-9)$$

$$\dot{g}(n, \sigma) = \frac{-n}{\sigma^3\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-n^2}{2\sigma^2}} \quad (2-10)$$

$$\ddot{g}(n, \sigma) = \left(\frac{n^2}{\sigma^2} - 1\right) \frac{1}{\sigma^3\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-n^2}{2\sigma^2}} \quad (2-11)$$

แทนค่าสมการที่ (2-4) จะได้

$$k(n, \sigma) = \frac{\dot{x}(n, \sigma)\ddot{y}(n, \sigma) - \ddot{x}(n, \sigma)\dot{y}(n, \sigma)}{(\dot{x}^2(n, \sigma) + \dot{y}^2(n, \sigma))^{\frac{3}{2}}} \quad (2-12)$$



ภาพที่ 2-7 ค่าเกาส์เซียนที่ได้จากสมการ (2-9)

จากการเลื่อนของจุดเด่น อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนค่า สเกล-สเปซ ของขั้นตอนวิธีที่กล่าวมาแล้วในสมการที่ (2-11) ทำให้จุดเด่นที่คำนวณได้ ไม่มีเสถียรภาพจึงจำเป็นต้องหาแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวให้ดีขึ้น โดยนำเสนอการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการใช้ตัวกรองเกาส์เซียน ร่วมกับ คิวบิก บี-สไปรน์ (Cubic B-Spline) ดังต่อไปนี้

ถ้ากำหนดให้ x และ y เป็นฟังก์ชันแบบพารามตริกของ บี-สไปรน์ เขียนแทนด้วยสมการ ดังนี้

$$x = f(u) = a_1u^3 + a_2u^2 + a_3u + a_4 \quad (2-13a)$$

$$y = g(u) = b_1u^3 + b_2u^2 + b_3u + b_4 \quad (2-13b)$$

เมื่อ $u \in [0,1]$

และถ้าเส้นโค้งที่กำลังพิจารณาถูกประมาณด้วยฟังก์ชันของ คิวบิก บี-สไปรน์() ดังนั้น x และ y สามารถเขียนเป็นสูตรสำเร็จได้ ดังนี้

$$x(u) = TM_b G_x^T \quad (2-14a)$$

$$y(u) = TM_b G_y^T \quad (2-14b)$$

$$\text{เมื่อ } M_b = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad T = [u^3 \quad u^2 \quad u \quad 1];$$

$$G_x^T = [x_{i-1} \quad x_i \quad x_{i+1} \quad x_{i+2}] \text{ และ } G_y^T = [y_{i-1} \quad y_i \quad y_{i+1} \quad y_{i+2}]$$

โดยมีจุดควบคุมฟังก์ชัน คิวบิก บี-สไปรน์ ทั้งหมด 4 จุด ดังนี้

$$P_{i-1} = (x_{i-1}, y_{i-1}); \quad P_i = (x_i, y_i); \quad P_{i+1} = (x_{i+1}, y_{i+1}) \text{ และ}$$

$$P_{i+2} = (x_{i+2}, y_{i+2})$$

เมื่อแทนค่า G_x^T และ G_y^T ในสมการ (2-14) จะได้ว่า

$$a_1 = (-x_{i-1} + 3x_i - 3x_{i+1} + x_{i+2})/6 \quad (2-15a)$$

$$a_2 = (x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1})/2 \quad (2-15b)$$

$$a_3 = (-x_{i-1} + x_{i+1})/2 \quad (2-15c)$$

$$a_4 = (x_{i-1} + 4x_i + x_{i+1})/6 \quad (2-15d)$$

$$b_1 = (-y_{i-1} + 3y_i - 3y_{i+1} + y_{i+2})/6 \quad (2-16a)$$

$$b_2 = (y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1})/2 \quad (2-16b)$$

$$b_3 = (-y_{i-1} + y_{i+1})/2 \quad (2-16c)$$

$$b_4 = (y_{i-1} + 4y_i + y_{i+1})/6 \quad (2-16d)$$

ค่าความโค้งที่ประมาณด้วยฟังก์ชัน คิวบิก บี-สไปรน์ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$f'(u) = 3a_1 u^2 + 2a_2 u + a_3 \quad (2-17a)$$

$$f''(u) = 6a_1 u + 2a_2 \quad (2-17b)$$

$$g'(u) = 3b_1 u^2 + 2b_2 u + b_3 \quad (2-18a)$$

$$g''(u) = 6b_1 u + 2b_2 \quad (2-18b)$$

ที่ $u=0$ จะได้ว่า

$$f'(0) = a_3 ; f''(0) = 2a_2$$

$$g'(0) = b_3 ; g''(0) = 2b_2$$

เพราะฉะนั้น ค่าความโค้งที่ $u=0$ สามารถคำนวณได้จากการแทนค่า $f'(0)$, $f''(0)$, $g'(0)$ และ $g''(0)$ ลงในสมการใน (2-10) จะได้ว่า

$$k_b = \frac{2(a_3b_2 - b_3a_2)}{(a_3^2 + b_3^2)^{3/2}} \quad (2-19)$$

แทนค่าสมการที่ (2-15) และ (2-16) ลงในสมการที่ (2-19) ได้ว่า

$$k_b = \frac{4[(x_{i+1} - x_{i-1})(y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}) - (y_{i+1} - y_{i-1})(x_{i+1} - 2x_i + x_{i+1})]}{[(x_{i+1} - x_{i-1})^2 + (y_{i+1} - y_{i-1})^2]^{3/2}} \quad (2-20)$$

จากสมการหาความโค้งที่ (2-20) พบว่า สมการดังกล่าวไม่ปรากฏตัวแปร สเตล-สเปซ ของ ตัวกรองเกาส์เซียนอีกเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องประสานตัวกรองเกาส์เซียนฟังก์ชันพารามตริก $x(t)$ และ $y(t)$ ของเส้นขอบภาพตามลำดับ ดังแสดงในขั้นตอนวิธีที่ 2

ขั้นตอนวิธีที่สอง

1. กำหนดสถานะเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่า $\sigma = 3$
2. คำนวณขนาดหน้าต่างของตัวกรองเกาส์เซียนสำหรับเก็บค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก $2N+1$ ในสมการที่ (2-9)
3. คำนวณหาค่า a_2 , a_3 , b_2 และ b_3

$$a_3 = [X(t+1, \sigma) - X(t-1, \sigma)] / 2$$

$$a_2 = [X(t+1, \sigma) + X(t-1, \sigma) - 2X(t, \sigma)] / 2$$

$$b_3 = [Y(t+1, \sigma) + Y(t-1, \sigma)] / 2$$

$$b_2 = [Y(t+1, \sigma) + Y(t-1, \sigma) - 2Y(t, \sigma)] / 2$$

เมื่อ $X(t, \sigma) = x(t) * g(t, \sigma)$

$$Y(t, \sigma) = y(t) * g(t, \sigma)$$

4. นำค่า a_2 , a_3 , b_2 และ b_3 ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 3. แทนลงในสมการที่ (2-19)
5. ทำการประมวลค่าความโค้งด้วยตัวกรองเกาส์เซียน ดังนี้

$$K_g(t, \sigma) = K_b(t, \sigma) * g(t, 5)$$

6. คำนวณหาจุดเด่นที่ปรากฏบนฟังก์ชัน $K_g(t, \sigma)$ โดยการพิจารณาเอาจุดที่มีการเปลี่ยนค่าความโค้งดังนี้

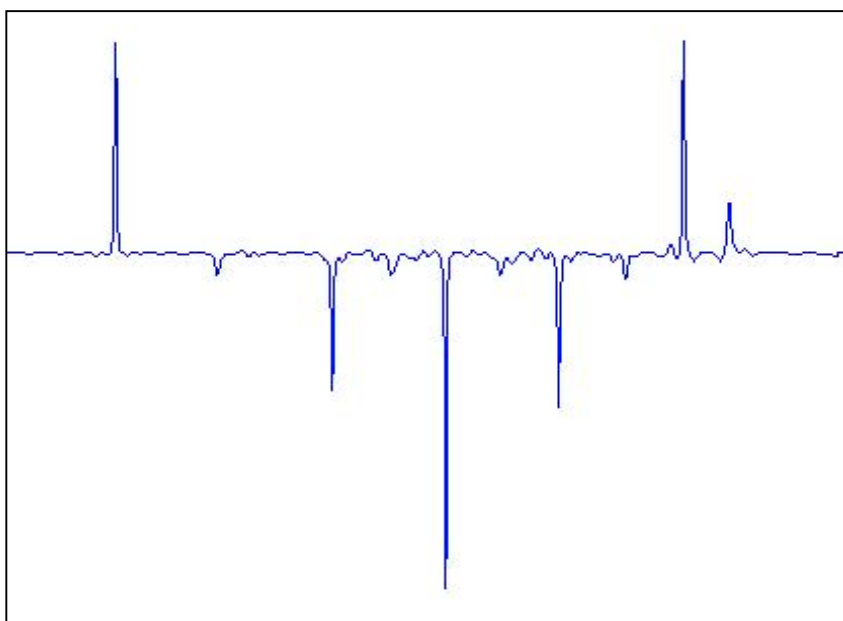
6.1 จุดที่มีค่าความโค้งของฟังก์ชัน $K_g(t, \sigma)$ เปลี่ยนจากค่าบวกไปเป็นลบ และมีค่าน้อยกว่า x

6.2 จุดที่มีค่าความโค้งของฟังก์ชัน $K_g(t, \sigma)$ เปลี่ยนจากค่าลบไปเป็นบวก และมีค่าน้อยกว่า x

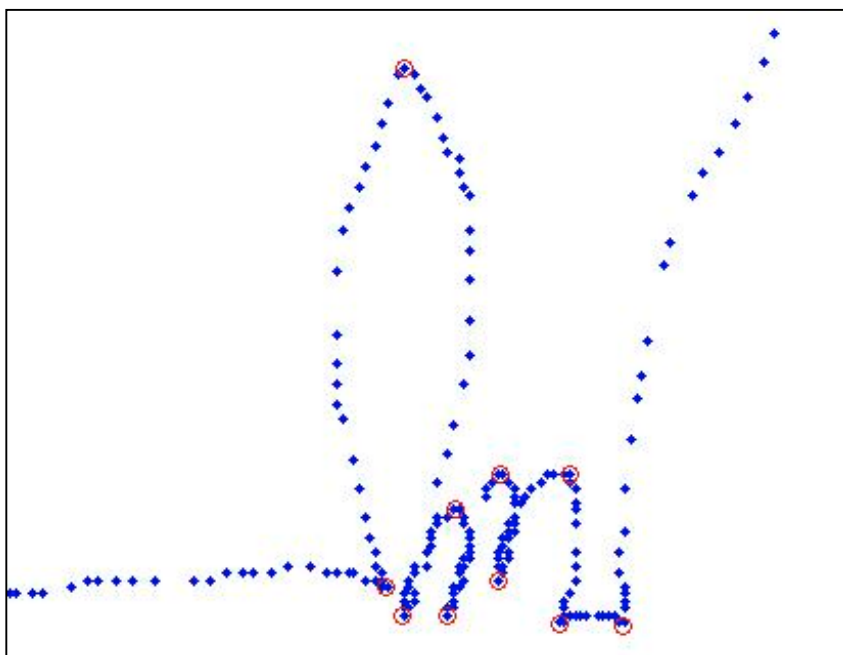
7. พิจารณาจำนวนของจุดเด่นที่คำนวณได้ก่อนหน้านี้ ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับจุดเด่นที่คำนวณได้ขณะนี้ ให้ข้ามไปที่ขั้นตอนที่ 8. แต่ถ้ามากกว่า ให้เพิ่มค่า σ อีก 2 แล้วย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 2. ใหม่

8. หยุดการคำนวณ

จากสมการหาค่าจุดเด่นบนเส้นโค้ง (2-19) เมื่อนำมาคำนวณกับข้อมูลลายเซ็นแล้วจะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 2-8



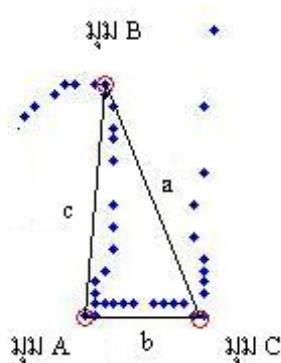
ภาพที่ 2-8 ค่าความโค้งที่คำนวณได้



ภาพที่ 2-9 จุดเด่นบนเส้นโค้งที่ได้จากการคำนวณ

จากภาพที่ 2-8 เป็นตัวอย่างลายเส้นที่ได้ดำเนินการหาค่าจุดเด่นบนเส้นโค้งแล้ว ตำแหน่งที่มีวงกลมหมายถึงจุดที่มีค่าความโค้งสูงสุดของลายเส้น ซึ่งจะเป็นค่าสูงสุดจากกราฟของค่าความโค้ง ในภาพที่ 2-9 จากจุดเด่นบนเส้นโค้งเหล่านี้ นำมาใช้แยกค่าลักษณะเด่นของลายเส้นที่จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ต่อไปนี้

1. ค่าของมุมระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้ง



ภาพที่ 2-10 มุมและระยะทางของด้านที่นำมาคำนวณหาค่าของมุม

ในการหาค่าของมุม จะมี 2 ลักษณะ กล่าวคือการหาค่ามุมเทียบกับแกนสัมพัทธ์ กับการหาค่าของมุมโดยไม่เทียบกับแกน ซึ่งการหาค่าของมุมเทียบกับแกนสัมพัทธ์นั้น เป็นวิธีการที่ไม่ยืดหยุ่น ต่อลายเส้น เพราะลายเส้นอาจจะไม่ได้อยู่บนทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจึงได้เลือกใช้วิธีการหาค่าของมุมโดยไม่เทียบกับแกน โดยใช้จุดเด่นก่อนหน้าและจุดเด่นต่อไป มาร่วมคำนวณหาค่ามุมออกมา ซึ่งมีสมการในการคำนวณหา ดังนี้

$$\theta = \arccos\left(\frac{a^2 - b^2 - c^2}{2(bc)}\right) \quad (2-21)$$

$$Z = 180 \frac{\theta}{\pi} \quad (2-22)$$

เมื่อ	a	คือ	ความยาวด้านตรงข้ามจุด A
	b	คือ	ความยาวด้านตรงข้ามจุด B
	c	คือ	ความยาวด้านตรงข้ามจุด C
	Z	คือ	ค่าของมุม A

จากสมการหาค่าของมุม a, b, c เป็นความยาวของด้าน จึงต้องคำนวณหาความยาวระหว่างจุด AB AC และ BC จากสมการหาระยะทางระหว่างจุด 2 จุด

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2-23)$$

เมื่อ	x_1	คือ	ค่า x ของจุดที่ 1
	x_2	คือ	ค่า x ของจุดที่ 2
	y_1	คือ	y ของจุดที่ 1
	y_2	คือ	y ของจุดที่ 2
	d	คือ	ระยะทางระหว่างจุด (x_1, y_1) กับจุด (x_2, y_2)

2. ค่าความเร็วของลายเส้นระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งแต่ละส่วน

เมื่อได้ค่าระยะทางระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งจากสมการ 2-19 และจากข้อมูลลายเส้นที่รับเข้ามาแบบออนไลน์ ซึ่งมีช่วงเวลา t เป็นตัวแปรที่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาความเร็วของการเขียนลายเส้นได้ ในที่นี้กำหนดให้ 1 จุดข้อมูลของลายเส้นที่รับเข้ามา คือ 1 หน่วยเวลา ดังนั้นจึงหาความเร็วของลายเส้น โดยใช้ระยะทางที่เคลื่อนไปของปากกาเทียบกับจำนวนจุดของข้อมูลในแต่ละช่วงที่นำมาคำนวณ

$$v = \frac{d}{t} \quad (2-24)$$

เมื่อ	d	คือ	ระยะทางระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งของลายเซ็น
	t	คือ	เวลาที่ใช้ในการเขียนเส้นระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งของลายเซ็น
	v	คือ	ความเร็วในการเขียนเส้นระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งของลายเซ็น

3. ค่าความเร่งของลายเซ็นระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งแต่ละส่วน

เมื่อหาค่าความเร็วของการเขียนลายเซ็นได้มาแล้ว สามารถนำมาคำนวณหาความเร่งของลายเซ็นในแต่ละส่วน

$$a = \frac{v_i - v_{i-1}}{t_i} \quad (2-25)$$

เมื่อ	v_i	คือ	ความเร็วในการเขียนลายเซ็นขณะปัจจุบัน
	v_{i-1}	คือ	ความเร็วเริ่มต้นในการเขียนลายเซ็น
	t_i	คือ	เวลาที่ใช้ในการเขียนเส้นระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งของลายเซ็น
	i	คือ	ลำดับที่ของจุดเด่นบนเส้นโค้ง 1,2,...
	a	คือ	ความเร่งเฉลี่ยในการเขียนเส้นระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งของลายเซ็น

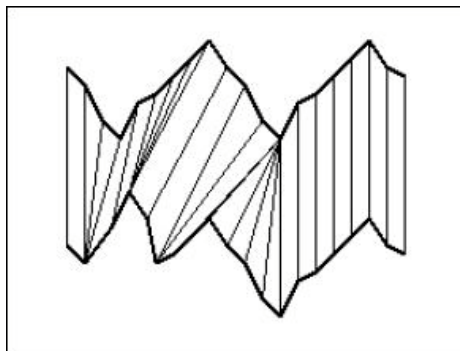
4. อัตราส่วนของเวลาที่ใช้ในการเขียนลายเซ็นระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งแต่ละจุด กับเวลารวมทั้งหมดของลายเซ็น

$$T_i = \frac{t_i}{t_{total}} \quad (2-26)$$

เมื่อ	t_i	คือ	เวลาที่ใช้ในการเขียนลายเซ็นในช่วงที่ i
	t_{total}	คือ	เวลาที่ใช้ในการเขียนลายเซ็นทั้งหมด
	i	คือ	ลำดับที่ของจุดเด่นบนเส้นโค้ง 1,2,...
	T_i	คือ	เป็นค่าอัตราส่วนของเวลาที่ใช้ในการเขียนลายเซ็นระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งจุดที่ i กับเวลารวมทั้งหมดของลายเซ็น

2.5 กระบวนการจับคู่เปรียบเทียบลายเซ็นแบบไดนามิก

จากค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นที่ได้มาจากข้อ 2.4 นั้น ในบางครั้งอาจมีจำนวนจุดที่เป็นค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นไม่เท่ากัน และข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบกันนั้น ไม่ได้มีความซับซ้อนมากนัก งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วิธีการจับคู่แบบไดนามิก เข้ามาดำเนินการจับคู่เปรียบเทียบค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น



ภาพที่ 2-11 การใช้ไดนามิกโปรแกรมมิ่งในการหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการจับคู่ชุดข้อมูล 2 ชุด

เมื่อเรากำหนดให้ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นที่ได้ เป็นค่าที่เกิดขึ้นตามช่วงเวลา เราสามารถใช้วิธีการนี้เป็นขั้นตอนการหาเส้นทางการจับคู่ที่ดีที่สุด จากชุดค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นหลาย ๆ ชุด ซึ่งในกระบวนการของวิธีการจับคู่แบบไดนามิกนั้นมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างตารางขนาด $n \times m$ ของจำนวนค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นทั้งสอง ในภาพที่ 2-12 เป็นตารางที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการจับคู่เปรียบเทียบข้อมูลลักษณะเด่นของลายเซ็น 2 ชุดและในขั้นตอนต่อมา เพื่อหาเส้นทางการจับคู่ที่ดีที่สุดระหว่างมุมด้านตรงข้ามของตารางที่สร้างขึ้น กำหนดค่าในตารางขนาด $n \times m$ ที่สร้างขึ้น โดยการนำค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นชุดที่ 1 (ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นอ้างอิง) มาวางด้านบนของตาราง และนำค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นชุดที่ 2 (ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นที่นำมาเปรียบเทียบ) มาวางไว้ด้านซ้ายของตาราง

$$M_{i,j} = \max\{ m_1, m_2, m_3 \} \quad (2-27)$$

เมื่อ m_1 คือ $M_{i-1,j-1} + S_{ij}$

m_2 คือ $M_{ij-1} + w$

m_3 คือ $M_{i-1,j} + w$

กำหนดให้

$S_{i,j} = 1$ ถ้าข้อมูลในชุดที่ 1 ตัวที่ i ตรงกับข้อมูลในชุดที่ 2 ตัวที่ j ตรงกัน

$S_{i,j} = 0$ ถ้าข้อมูลในชุดที่ 1 ตัวที่ i ตรงกับข้อมูลในชุดที่ 2 ตัวที่ j ไม่ตรงกัน

$W = 0$ เดิมค่าในส่วนที่เป็นช่องว่าง

		ข้อมูลค่าของมูมจากลายเซ็นข้างถึง																
		112.88	37.804	93.373	35.041	90.11	102.46	25.363	26.862	103.27	97.856	223.25	40.792	65.17	106.33	67.692	14.389	10.72
ข้อมูลค่าของมูมจากลายเซ็นเปรียบเทียบ	81.477	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	59.165	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	55.81	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	34.168	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	92.921	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	30.966	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	30.704	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	4.1626	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	30.688	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
	47.943	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
	115.37	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	119.38	1	1	1	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	204.18	1	1	1	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	194.92	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5

ภาพที่ 2-12 ตารางการจับคู่ที่สร้างขึ้น และข้อมูลตัวเลขค่าของมูมที่จะนำมาใช้จับคู่

ขั้นตอนที่ 2 ใช้สมการที่ (2-27) เพื่อกำหนดค่าที่ได้จากการจับคู่เปรียบเทียบข้อมูลลักษณะเด่นของลายเซ็น ค่าที่ได้จากตารางนี้จะแสดงให้เห็นถึงจำนวนที่จับคู่กันได้ระหว่างค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นชุดที่ 1 ทุก ๆ จุด กับค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นของชุดอื่น ๆ เส้นทางที่ดีที่สุดที่ได้จากการจับคู่นี้จะเป็นคำตอบของความเหมือนของลายเซ็นทั้ง 2 ถ้าค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นทั้ง 2 ไม่เหมือนกันเลย ค่าที่ได้สูงสุดในตารางก็จะเป็นศูนย์ โดยทั่วไปวิธีการจับคู่แบบไดนามิก จะใช้แก้ปัญหการจับคู่ของลำดับที่มีขนาดแตกต่างกัน และในงานวิจัยนี้ได้นำมาใช้เพื่อช่วยตัดสินใจในการเปรียบเทียบความเหมือนหรือแตกต่างกันระหว่างค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นอ้างอิงกับลายเซ็นทดสอบ

ขั้นตอนที่ 3 เป็นเส้นทางย้อนกลับเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการจับคู่ ดังนี้

1. เริ่มต้นจากช่องสุดท้ายที่มีการกำหนดค่าในตาราง และหาค่าข้างเคียงที่มีค่ามากที่สุด โดยค่าข้างเคียงดังกล่าวจะเป็นค่าทางด้านบนซ้ายและทแยงมุมบนซ้าย
 2. ถ้าค่าในช่องข้างเคียงทั้ง 3 ของค่าปัจจุบัน มีค่ามากที่สุดมากกว่า 1 ทาง แสดงว่า ค่าปัจจุบันคือค่าตำแหน่งของข้อมูลจาก 2 ชุด ที่จับคู่ได้
 3. เลื่อนค่าปัจจุบันไปยังค่าในช่องข้างเคียงที่มีค่ามากที่สุด ถ้ามีค่ามากที่สุดเท่ากันมากกว่า 1 ค่าให้เลื่อนตำแหน่งไปในทิศทางทแยงมุม
 4. กลับไปทำข้อ 2.- 3. จนกว่าจะสิ้นสุดที่มุมอีกด้านหนึ่ง
- เมื่อจบกระบวนการจะได้ตำแหน่งของข้อมูลจากทั้ง 2 ชุด ที่สามารถจับคู่ได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pipin [3] พัฒนาระบบตรวจสอบลายเซ็นโดยใช้ Global feature และ Local feature ซึ่ง Global feature ที่ใช้คือค่าเฉลี่ยของระยะทางและขนาดของลายเซ็น และระบบตรวจสอบโดย Local feature ได้แก่ ลายเส้นที่แยกออกมาเป็นส่วน ๆ (Stroke segments) และเข้ารหัสก่อนนำไปใช้ในการตรวจสอบ โดยใช้หลักการ Dynamic Time Warping และ Signer specific thresholds ผลลัพธ์ที่ได้จะมี Error rate สูงสุดที่ 11%

Huang และ Yan [6] นำเสนอวิธีการพิสูจน์ลายเซ็นแบบ Off-line บน Geometric feature และได้นำเสนอการ Classification ด้วย Neural network โดยค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการพิสูจน์ภาพลายเซ็นชื่อสูงถึง 90% แต่อย่างไรก็ตามความน่าเชื่อถือจะลดลง ถ้าภาพที่นำมาทดสอบมีลายเส้นซับซ้อนมากเกินไป อีกทั้งยังใช้เวลาค่อนข้างมากในการประมวลผลการทดสอบ

Nalwa [8] พัฒนาระบบ Automatic On-line Signature Verification โดยใช้ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณหาค่า Curvature, Curve Length, Harmonics mean, Position of center of mass และ The torque exerted by a force โดยการใช้ Moving Coordinate Frame แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลไปเก็บไว้เป็นโมเดลของลายเซ็นเพื่อใช้ในการตรวจสอบ จากระบบที่พัฒนาขึ้นพบว่า ถ้าหากโมเดลที่ได้จากลายเซ็นมีค่าที่ได้จากการประมวลผลมี Instance น้อยกว่า 6 ตำแหน่ง จะทำให้ไม่สามารถประมวลผลได้ถูกต้อง แต่ถ้ามี Instance มากกว่า 6 ตำแหน่งจะสามารถประมวลผลได้ถูกต้อง ผิดพลาดเพียง 7% ในส่วนของ False rejects และผิดพลาดในส่วนของ False accept เพียง 1%

Lee , Yoon , Soh , Chun , Chung [11] ใช้วิธี Segment-to-segment ในการตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์ โดยการแบ่งลายเซ็นออกเป็น ส่วนย่อย ๆ แล้วนำส่วนต่าง ๆ ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ โดยในการเปรียบเทียบระหว่างลายเซ็นอ้างอิงกับลายเซ็นที่ต้องการตรวจสอบจะใช้การให้น้ำหนัก (Weight structure description graph (SDG)) ของส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากลายเซ็นผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็น

เห็นว่าในกรณีที่ลายเซ็นที่มีขนาดเล็กหรือสั้นมากแบ่งเป็นส่วนย่อยได้น้อย จะทำให้มีข้อผิดพลาดสูง (สูงสุดถึง 10%)

Baltzakis และ Papamarkos [12] นำเสนอเทคนิควิธีพิสูจน์ลายเซ็นแบบ Off-line ด้วย Multi-Layer Perceptron (MLP) และ Radial Basis Functions (RBF) โดยทดสอบกับ Global feature, Grid และ Texture แบบ One-class-one-network จากผลการทดสอบจำนวน 57,500 ครั้ง ผลที่ได้นั้น ยอมรับลายเซ็นจากผู้ที่เป็นเจ้าของได้ถูกต้องถึง 97%

Qi และ Hunt [13] ได้พัฒนาวิธีการพิสูจน์ลายเซ็นโดยใช้ Global และ Grid feature ด้วยการนำ feature เหล่านี้มาประกอบกันเพื่อสร้าง Multi-scale verification function แล้วนำไปทดสอบด้วยกระบวนการทางสถิติ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบมีความน่าเชื่อถือมากกว่า 90% ในการแยกลายเซ็นแบบ Skilled forgeries และได้ผลลัพธ์สมบุรณ์กับลายเซ็นแบบ Simple forgeries แต่ยังมีข้อจำกัดสำหรับภาพลายเซ็นที่ใช้ในการทดสอบอยู่เช่นกัน กล่าวคือหากภาพอยู่ในลักษณะ Thinned boundary จะช่วยลดความผิดพลาดลงได้ 5-6% อีกทั้งเพิ่มความน่าเชื่อถือในกระบวนการ Matching ได้ 5-6% อีกด้วย

2.7 กรอบแนวความคิดในการดำเนินการวิจัย

ในขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย จากที่ได้ศึกษามาแล้ว ผู้วิจัยดำเนินการตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์ ด้วยการหาค่าจุดเด่นบนเส้นโค้ง มาเป็นจุดกำหนดการแบ่งส่วนย่อยของลายเซ็น เพื่อใช้ในการหาค่าลักษณะเฉพาะของลายเซ็น จำนวน 4 ค่า ได้แก่ ค่าขนาดของมุมระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งของลายเซ็น ค่าความเร็วแต่ละส่วนย่อยของลายเซ็น ค่าความเร่งแต่ละส่วนย่อยของลายเซ็น และอัตราส่วนของเวลาที่ใช้ในการเขียนลายเซ็นในแต่ละส่วนย่อยเทียบกับเวลาที่ใช้ทั้งหมด แล้วนำมาจับคู่เปรียบเทียบกับวิธีการไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ซึ่งในการพัฒนาระบบเพื่อทดสอบวิธีการนี้ รายละเอียดจะได้แสดงในบทที่ 3

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

จากทฤษฎีและสมการคณิตศาสตร์ เรื่องการหาค่าจุดเด่นบนเส้นโค้ง การหาค่ามุมของจุดเด่นบนเส้นโค้ง การหาความเร็ว-ความเร่ง ของส่วนย่อยจากลายเส้น และการหาอัตราส่วนของเวลาที่ใช้เขียนลายเส้นในส่วนย่อยต่าง ๆ เทียบกับเวลาที่ใช้ในการเขียนลายเส้นทั้งหมด ที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2 นำมาใช้ในการพัฒนาระบบตรวจสอบลายเส้นดังต่อไปนี้

3.1 วิธีการวิจัย

ขั้นตอนดำเนินการวิจัยได้พัฒนาเป็นโปรแกรม ด้วยโปรแกรมแมทแล็บ เวอร์ชัน 7.0.4 รีลีส 14 เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ดังนี้ จากภาพที่ 3-1 และ 3-2 อธิบายขั้นตอนการทำงาน ได้ดังนี้

3.1.1 การเก็บตำแหน่งข้อมูลการเคลื่อนที่ของปากกาในขณะที่เขียนลายเส้น

3.1.2 นำชุดข้อมูลที่ได้จากลายเส้นที่เป็นคู่ลำดับ (x,y) มาคำนวณสเกลค่าลักษณะเฉพาะของลายเส้น

3.1.2.1 จุดเด่นบนเส้นโค้งเพื่อแบ่งส่วนย่อย ๆ ของลายเส้น

3.1.2.2 มุมของจุดเด่นบนเส้นโค้งของลายเส้น

3.1.2.3 ค่าความเร็วของการเขียนลายเส้นจากส่วนย่อย ๆ ของลายเส้น

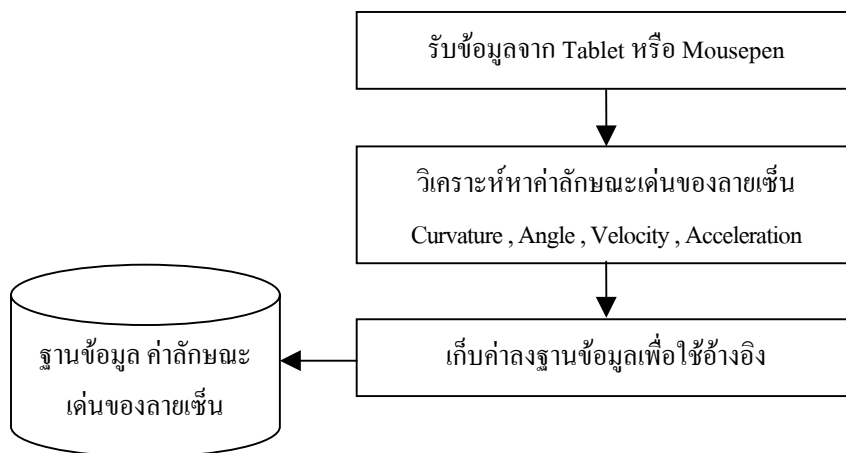
3.1.2.4 ค่าความเร่งของการเขียนลายเส้นจากส่วนย่อย ๆ ของลายเส้น

3.1.2.5 จำนวนครั้งที่กดปากกาเขียนลายเส้นลงบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์

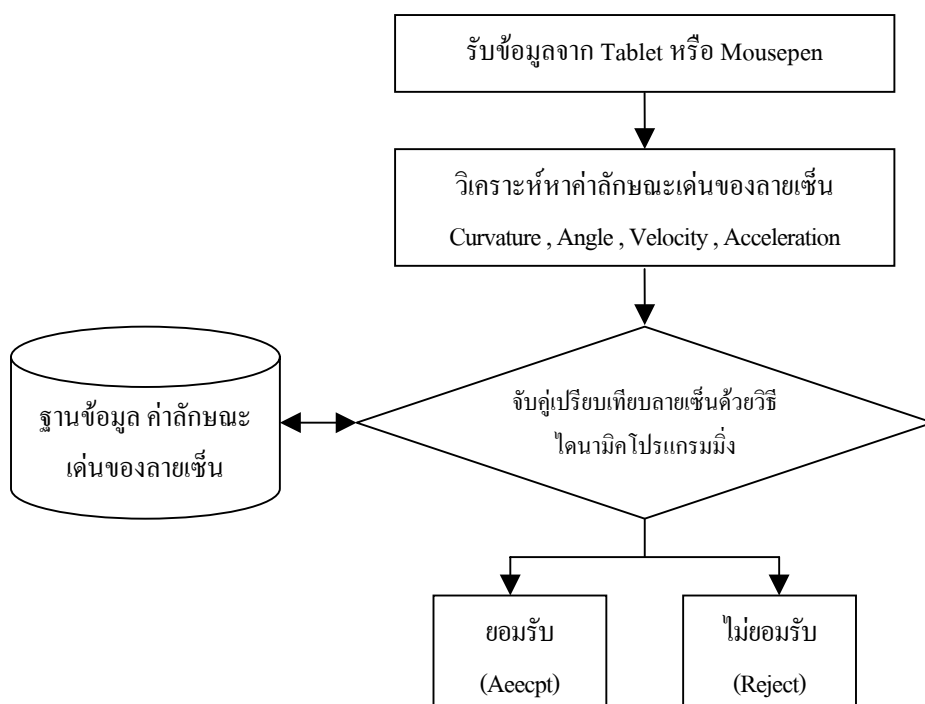
3.1.3 นำผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์นำไปเก็บลงเพิ่มข้อมูล

3.1.4 ตรวจสอบลายเส้นที่รับเข้ามา กับลายเส้นในแฟ้มข้อมูล ด้วยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง

3.1.5 แสดงผลการตรวจสอบยอมรับ (Accept) หรือไม่ยอมรับ (Reject) ลายเส้นนั้น ๆ



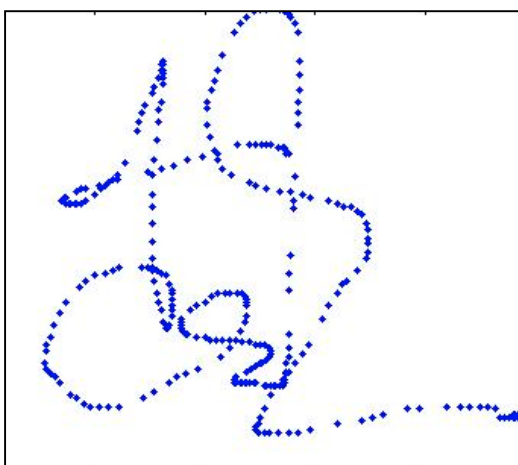
ภาพที่ 3-1 ฟังก์การทำงานของโปรแกรมเก็บลายเซ็นอ้างอิง



ภาพที่ 3-2 ฟังก์การทำงานของโปรแกรมตรวจสอบลายเซ็นกับลายเซ็นอ้างอิง

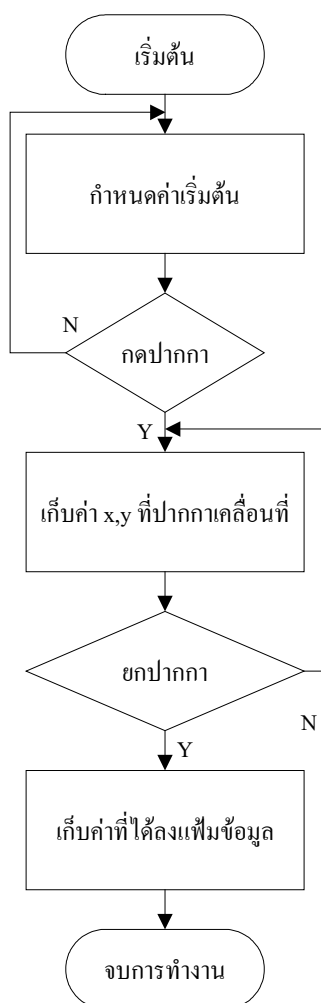
3.2 การเก็บตำแหน่งข้อมูลการเคลื่อนที่ของปากกาในขณะที่เขียนลายเซ็น

ระบบตรวจสอบลายเซ็นในงานวิจัยนี้ ใช้ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของปากกา ขณะที่ปากกากลางบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ เป็นข้อมูลในการประมวลผล โดยรับข้อมูลดังกล่าวจากกระดานอิเล็กทรอนิกส์ คือให้การเคลื่อนที่ของปากกามีความสัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งของตัวชี้ตำแหน่งบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ แล้วทำการเก็บข้อมูลตำแหน่งการเคลื่อนที่ของตัวชี้ตำแหน่งโดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้น มีขั้นตอนต่าง ๆ ของโปรแกรมดังแสดงในภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-3 ข้อมูลการเคลื่อนที่ของตัวชี้ตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรม

การตรวจสอบจุดเริ่มต้นของการเขียนลายเซ็น ทำได้โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ตรวจสอบการกดคีย์ (windowbuttondownfcn) ของโปรแกรมแมทแล็บ (Mathlab) ซึ่งสามารถรับค่าจากสวิตช์ที่ปลายปากกาของกระดานอิเล็กทรอนิกส์ได้ ดังนั้นเมื่อมีการเริ่มเขียนลายเซ็น ปลายปากกาจะกระทบกับกระดานอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้สวิตช์ที่ปลายปากกาทำงาน แรงกดในการเขียนส่งผลให้พารามิเตอร์ในการกดคีย์เปลี่ยนไป โปรแกรมก็จะเริ่มเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของปากกา และเมื่อมีการยกปากกาขึ้นจากกระดานอิเล็กทรอนิกส์ โปรแกรมก็จะหยุดการเก็บข้อมูล จากค่าพารามิเตอร์ตรวจสอบการปล่อยคีย์ (windowbuttonupfcn) จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลลายเซ็นลงแฟ้มข้อมูล เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 3-4 ผังการทำงานการเก็บข้อมูลลายเซ็น



ภาพที่ 3-4 ผังการทำงานการเก็บข้อมูลลายเซ็น

3.3 การสกัดค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นแบบออนไลน์

3.3.1 การหาค่าตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้ง

จากสมการที่ (2-12) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าจุดเด่นบนเส้นโค้งโดยใช้ตัวกรองเกาส์เซียนมาประสานกับข้อมูลของเส้นโค้งนั้น จากการทดลองกับข้อมูลลายเซ็นแล้ว ปรากฏว่าจุดเด่นบนเส้นโค้งไม่มีเสถียรภาพ กล่าวคือ มีการเลื่อนตำแหน่งไปตามค่าของสเกล-สเปซ จึงได้นำสมการหาจุดเด่นบนเส้นโค้งโดยใช้ตัวกรองเกาส์เซียน ร่วมกับ คิวบิก บี-สไปร์ ดังที่ได้นำเสนอตามสมการที่ (2-19) มาใช้แก้ปัญหาจึงได้ผลลัพธ์ที่เป็นจุดเด่นบนเส้นโค้ง

เนื่องจากในกระบวนการหาจุดเด่นบนเส้นโค้งนี้ ค่าที่ได้จากสมการที่ (2-19) เป็นค่าความโค้งที่แปรผันไปตามข้อมูลที่เข้ามา เพื่อให้ได้จุดเด่นบนเส้นโค้งที่มีค่าสูงสุดในแต่ละช่วงของข้อมูล จึงได้มีการกำหนดค่าตัวกรองค่าความโค้งที่แปรผันได้ตามชุดข้อมูลค่าความโค้งที่คำนวณได้ เพื่อใช้จัดค่าที่มีความถี่ต่ำที่ยังติดมากับข้อมูลค่าความโค้งจึงทำให้การหาจุดเด่นมีความผิดพลาด

เมื่อได้จุดเด่นบนเส้นโค้งมาแล้ว ก็ใช้จุดเด่นดังกล่าวเป็นตัวแบ่งข้อมูลลายเส้นออกเป็น ส่วนย่อย ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณ

3.3.2 มุมระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งกับจุดเด่นบนเส้นโค้งข้างเคียง คำนวณได้จากสมการ ที่ (2-21) (2-22) และ (2-23) ซึ่งจำนวนค่าของมุมที่คำนวณได้ จะเท่ากับจำนวนจุดเด่นบนเส้นโค้ง ของลายเส้นที่ได้

3.3.3 ความเร็วของการเขียนลายเส้นระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้ง คำนวณได้จากสมการ (2-24) ซึ่งจำนวนของค่าความเร็วที่คำนวณได้ จะเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยของเส้นบนลายเส้นแต่ละส่วน ระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้ง ซึ่งจำนวนของค่าความเร็วที่คำนวณได้ จะเท่ากับจำนวนจุดเด่นบนเส้นโค้ง + 1 (เพราะได้นำจุดเริ่มต้นของลายเส้นและจุดสิ้นสุดลายเส้นเข้ามารวมคำนวณหาความเร็วด้วย)

3.3.4 ความเร่งของการเขียนลายเส้นระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้ง คำนวณได้จากสมการ (2-25) ซึ่งจำนวนของค่าความเร่งที่คำนวณได้ จะเป็นค่าความเร่งเฉลี่ยของเส้นบนลายเส้นแต่ละส่วน ระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้ง จำนวนค่าความเร่งที่คำนวณได้จะเท่ากับจำนวนจุดเด่นบนเส้นโค้ง + 1 (เพราะได้นำจุดเริ่มต้นของลายเส้น และจุดสิ้นสุดลายเส้นเข้ามารวมคำนวณหาความเร่งด้วย)

3.3.5 อัตราส่วนของเวลาที่ใช้ในการเขียนลายเส้นระหว่างจุดเด่นบนเส้นโค้งแต่ละช่วง เทียบ กับเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเขียนลายเส้น คำนวณได้จากสมการที่ (2-26)

3.3.6 จำนวนครั้งในการยกปากกา เพื่อเริ่มการเขียน Stroke ใหม่

3.4 การจับคู่ค่าลักษณะเด่นของลายเส้นระหว่างลายเส้นอ้างอิงและลายเส้นทดสอบ

ข้อมูลต่าง ๆ ของตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้งที่คำนวณได้ จะนำมาเป็นข้อมูลในการจับคู่ ตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้งระหว่างลายเส้นอ้างอิงกับลายเส้นทดสอบ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการ ไดนามิกโปรแกรมมิ่งมาประยุกต์ใช้ งานพื้นฐานของวิธีการไดนามิกโปรแกรมมิ่งคือการจับคู่ ข้อมูล 2 ชุดที่มีจำนวนข้อมูลไม่เท่ากันโดยการหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการจับคู่ เส้นทางดังกล่าวจะ หาได้จากการใช้ไดนามิกโปรแกรมมิ่ง คำนวณหาเงื่อนไขการจับคู่ที่ดีที่สุด (Minimum of the cost) มีรายละเอียดการทำงานดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.5 ซึ่งสามารถนำมาแสดงรายละเอียด กระบวนการจับคู่เปรียบเทียบได้ดังภาพที่ 3-5 ถึง 3-11

		153.24	103.17	154.84	36.746
	0	0	0	0	0
132.57	0				
68.179	0				
48.795	0				
138.86	0				
131.67	0				
21.89	0				

ภาพที่ 3-5 การจับคู่เปรียบเทียบด้วยไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 1 สร้างตารางขนาด $m+1 \times n+1$

		153.24	1	ข้อมูลคู่จับคู่ได้ จากการกำหนดค่าให้ต่างกัน ได้ +/- 36 องศา ดังนั้น ค่า $S_{ij} = 1$ แทนค่าในสมการ จะได้ค่า 1 ในตาราง $M_{ij} = \max\{m_1, m_2, m_3\}$ เมื่อ $m_1 = M_{i-1,j-1} + S_{ij}$ $m_2 = M_{i,j-1}$ $m_3 = M_{i-1,j}$
	0	0		
132.57	0	1		
68.179	0			
48.795	0			
138.86	0			
131.67	0			
21.89	0			

ภาพที่ 3-6 การจับคู่เปรียบเทียบด้วยไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 2 การเติมค่าลงในตาราง

		153.24	1	ข้อมูลคู่จับคู่ไม่ได้ จากการกำหนดค่าให้ต่าง กันได้ +/- 36 องศา ดังนั้น ค่า $S_{ij} = 0$ แทนค่าในสมการ จะได้ค่า 1 ในตาราง $M_{ij} = \max\{m_1, m_2, m_3\}$ เมื่อ $m_1 = M_{i-1,j-1} + S_{ij}$ $m_2 = M_{i,j-1}$ $m_3 = M_{i-1,j}$
	0	0		
132.57	0	1		
68.179	0	1		
48.795	0			
138.86	0			
131.67	0			
21.89	0			

ภาพที่ 3-7 การจับคู่เปรียบเทียบด้วยไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 2 การเติมค่าลงในตาราง

		153.24	1	ข้อมูลนี้ จับคู่ได้ จากการกำหนดค่าให้ต่างกันได้ ± 36 องศา ดังนั้น ค่า $S_{ij} = 1$ แทนค่าในสมการ จะได้ค่า 1 ในตาราง $M_{ij} = \max\{ m_1, m_2, m_3 \}$ เมื่อ $m_1 = M_{i-1, j-1} + S_{ij}$ $m_2 = M_{ij-1}$ $m_3 = M_{i-1, j}$
	0	0		
132.57	0	1		
68.179	0	1		
48.795	0	1		
138.86	0	1		
131.67	0			
21.89	0			

ภาพที่ 3-8 การจับคู่เปรียบเทียบด้วยไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 2 การเติมค่าลงในตาราง

		153.24	103.17	154.84	36.746
	0	0	0	0	0
132.57	0	1	1	1	1
68.179	0	1	1	1	2
48.795	0	1	1	1	2
138.86	0	1	2	2	2
131.67	0	1	2	3	3
21.89	0	1	2	3	4

ภาพที่ 3-9 การจับคู่เปรียบเทียบด้วยไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 2 ตารางที่เติมค่าจนสมบูรณ์

		153.24	103.17	154.84	36.746
	0	0	0	0	0
132.57	0	1	1	1	1
68.179	0	1	1	1	2
48.795	0	1	1	1	2
138.86	0	1	2	2	2
131.67	0	1	2	3	3
21.89	0	1	2	3	4

ภาพที่ 3-10 การจับคู่เปรียบเทียบด้วยไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 3 การตรวจสอบย้อนกลับเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุด

ข้อมูลลายเซ็นอ้างอิง	132.57	68.17	48.79	138.86	131.67	21.89
	↕			↕	↕	↕
ข้อมูลลายเซ็นทดสอบ	153.24			103.17	154.84	36.74

ภาพที่ 3-11 การจับคู่เปรียบเทียบกับไดนามิกโปรแกรมมิ่ง ขั้นที่ 3 การตรวจสอบย้อนกลับเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุด

ในการจับคู่เปรียบเทียบนี้ เนื่องจากลายเซ็นและข้อมูลลักษณะเด่นของลายเซ็นที่คำนวณได้จากลายเซ็นอ้างอิงและลายเซ็นทดสอบ ไม่ได้มีความเหมือนกันทั้ง 100% ดังนั้นจึงต้องกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของลักษณะเด่นที่คำนวณได้ จึงได้ทำการทดสอบโปรแกรมกับข้อมูลลายเซ็นจำนวน 20 ลายเซ็นแล้ว พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนที่ให้ผลลัพธ์ในการจับคู่เปรียบเทียบได้ดีที่สุดอยู่ที่ 10 % และได้แสดงรายละเอียดการหาค่าความคลาดเคลื่อนไว้ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1.1

3.5 การตัดสินใจ

เมื่อทำการจับคู่ (Matching) ข้อมูลที่คำนวณได้จากตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้งระหว่างลายเซ็นอ้างอิงกับลายเซ็นทดสอบแล้ว ในขั้นต่อไปจะเป็นการตัดสินใจว่าลายเซ็นอ้างอิงกับลายเซ็นทดสอบเป็นบุคคลเดียวกันหรือไม่ จากข้อมูลที่คำนวณได้จากตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้งดังกล่าว

ก่อนที่จะตัดสินใจว่าลายเซ็นอ้างอิงกับลายเซ็นทดสอบเป็นบุคคลเดียวกันหรือไม่ จะมีการตรวจสอบเงื่อนไขของข้อมูลจากลายเซ็นอ้างอิงและลายเซ็นทดสอบ 3 เงื่อนไข ดังนี้

3.5.1 จำนวนครั้งในการยกปากกา ระหว่างลายเซ็นทดสอบ กับลายเซ็นอ้างอิง จะต้องเท่ากัน

3.5.2 เมื่อจับคู่เปรียบเทียบค่าลักษณะเด่นที่คำนวณได้ จากตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้งระหว่างลายเซ็นอ้างอิงกับลายเซ็นทดสอบแล้ว จะต้องจับคู่ได้ไม่น้อยกว่า 50 % จากจำนวนจุดเด่นบนเส้นโค้งที่มีค่ามากกว่าระหว่างลายเซ็นอ้างอิงกับลายเซ็นทดสอบ

3.5.3 เมื่อนำ Weight มาคำนวณหาค่าที่ใช้ในการตัดสินใจเพื่อตรวจสอบลายเซ็นแล้ว ข้อมูลทั้งหมดที่คำนวณได้จากตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้งระหว่างลายเซ็นอ้างอิงกับลายเซ็นทดสอบ จะต้องมีการรวมไม่น้อยกว่า 0.75

ถ้าข้อมูลของลายเซ็นทดสอบ ไม่ตรงตามเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งใน 3 ข้อที่กล่าวข้างต้น จะถือว่าลายเซ็นทดสอบและลายเซ็นอ้างอิง ไม่เป็นลายเซ็นของบุคคลเดียวกัน หรือผลการตรวจสอบ “ไม่ผ่าน”

3.6 การทดสอบส่วนต่างๆ ของระบบ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งโปรแกรมออกเป็นโปรแกรมน้อย ๆ หลายส่วน จึงจำเป็นต้องทำการทดสอบส่วนย่อยทุกส่วนว่ามีการทำงานหรือคำนวณค่าต่าง ๆ ได้ถูกต้องตามที่ต้องการหรือไม่ การทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ๆ ดังนี้

3.6.1 กลุ่มโปรแกรมที่ทดสอบด้วยรูปภาพ

3.6.1.1 โปรแกรมรับข้อมูลจากการเคลื่อนที่ของปากกาจากกระดานอิเล็กทรอนิกส์ ทำการทดสอบโดยการแสดงภาพ ของคู่ลำดับ (x,y) ที่บันทึกค่าได้

3.6.1.2 โปรแกรมตรวจหาจุดเด่นบนเส้นโค้ง ทำการทดสอบโดยการแสดงภาพตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้งบนภาพการเคลื่อนที่ของปากกา เพื่อตรวจสอบตำแหน่งจุดเด่นที่คำนวณได้

3.6.2 กลุ่มโปรแกรมที่ทดสอบด้วยตัวเลข

เป็นโปรแกรมที่ไม่สามารถแสดงผลด้วยภาพได้ จึงต้องให้แสดงผลการทำงานออกมาเป็นตัวเลข โดยในการทดสอบจะใช้ตัวเลขที่สมมุติขึ้นมาเป็นข้อมูลจำลองในการทดสอบระบบ โดยการคำนวณค่าต่าง ๆ ด้วยมือ แล้วนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากโปรแกรม ซึ่งจะเป็นการตรวจสอบว่าโปรแกรมทำงานถูกต้องตามที่ต้องการหรือไม่ โปรแกรมในกลุ่มนี้คือ โปรแกรมคำนวณข้อมูลต่าง ๆ จากตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้งที่คำนวณได้ โปรแกรมการจับคู่ข้อมูลต่าง ๆ ด้วยวิธีการไดนามิกส์โปรแกรมมิ่ง โปรแกรมการผสม (Convolution) ตัวกรองเกาส์เขียนเข้ากับข้อมูลเพื่อนำไปคำนวณหาค่าจุดเด่นบนเส้นโค้ง เป็นต้น

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลอง และผลการทดลองที่ได้จากการตรวจสอบลายเซ็นโดยใช้คุณลักษณะที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยใช้ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นข้อมูลลายเซ็น ที่เก็บข้อมูลจากการเขียนลายเซ็นลงบนกระดาษอิเล็กทรอนิกส์ ตามที่ได้กำหนดไว้ในบทที่ 1 หัวข้อที่ 1.3 ขอบเขตของการวิจัย จากผู้ทดลองจำนวน 20 คน คนละ 5 ลายเซ็น หลังจากทำการเก็บข้อมูลแล้ว เป็นการทดลองตรวจสอบลายเซ็น โดยให้ผู้ทดลองทั้ง 20 คน ได้เขียนลายเซ็นเพื่อใช้ตรวจสอบอีกคนละ 1 ครั้งทำการประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Celeron-M มีความเร็วในการประมวลผล 2.2 GHz หน่วยความจำ 512 MB บนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP SP-2 กระดาษอิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ MGLLogic รุ่น GU-0805 และโปรแกรมเมทแอลป์ ในการคำนวณเพื่อประมวลผลการตรวจสอบลายเซ็น

การประเมินผลการทดลองประกอบด้วยการประเมินค่าความแม่นยำในการตรวจสอบลายเซ็น โดยใช้สมการในการประเมิน ดังนี้

$$a = \frac{p_1}{p_2} \times 100 \quad (4-1)$$

เมื่อ	a	คือค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นในการตรวจสอบลายเซ็น
	p_1	จำนวนลายเซ็นที่ตรวจสอบจับคู่ได้
	p_2	จำนวนลายเซ็นใช้ตรวจสอบทั้งหมด

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการทดลองหาค่าความแตกต่างของข้อมูลที่จะใช้จับคู่

จากการทดลองผู้วิจัยพบว่า ในการจับคู่เปรียบเทียบกับไดนามิกโปรแกรมมิ่ง จากบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.4 นั้น ถ้าหากเป็นการใช้ข้อมูลค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นมาเปรียบเทียบกับกันโดยตรงแล้ว จะไม่สามารถตรวจสอบลายเซ็นได้ถูกต้อง เพราะลายเซ็นที่ได้มาแต่ละครั้ง ถึงแม้จะเป็นลายเซ็นของคนคนเดียวกัน ก็ไม่ได้มีลักษณะเด่นของลายเซ็นที่ตรงกัน 100 % เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวนี้นี้ จึงได้ทำ

การทดลองเพื่อหาค่าความแตกต่างของค่าลักษณะเด่นที่สามารถจับคู่ได้ดีที่สุด ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 การเปรียบเทียบความสามารถในการจับคู่เปรียบเทียบลายเซ็น โดยกำหนดค่าความแตกต่าง ของข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบ 5% 10% 15% และ 20%

ลำดับที่	ไม่กำหนดค่า	แตกต่างกันได้ 5%	แตกต่างกันได้ 10%	แตกต่างกันได้ 15%	แตกต่างกันได้ 20%
1	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
2	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept
3	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
4	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject
5	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
6	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept
7	Reject	Reject	Accept	Accept	Accept
8	Reject	Reject	Accept	Accept	Accept
9	Reject	Reject	Accept	Accept	Accept
10	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
11	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
12	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
13	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept
14	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject
15	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
16	Reject	Reject	Accept	Accept	Accept
17	Reject	Reject	Accept	Accept	Accept
18	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept
19	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
20	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
เฉลี่ย	45%	65%	90%	90%	90%

จากตารางที่ 4-1 พบว่า ค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดที่สามารถจับคู่ได้ดี คือ 10% ดังนั้น ในการตรวจสอบลายเซ็นต่อจากนี้ จะใช้ค่าความแตกต่างกันได้ที่ $\pm 10\%$

4.2 ผลการทดลองการตรวจสอบลายเซ็นด้วยค่าคุณลักษณะของลายเซ็นทั้ง 4 ค่า

ผู้วิจัยได้ดำเนินการแบ่งการทดลองตรวจสอบลายเซ็นด้วยค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจะเป็นการทดลองให้ค่าน้ำหนักกับทุกค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นเท่ากัน และกลุ่มที่

สองเป็นการทดลองที่มีผลการทดลองอยู่ในเกณฑ์ดีมาให้ค่าน้ำหนักสูงกว่าค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นอื่น ๆ

4.2.1 ผลการทดลองที่ให้ค่าน้ำหนักของค่าลักษณะเด่นบนลายเซ็นทั้ง 4 ค่าเท่ากัน

4.2.1.1 ผลการทดลองค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นค่าเดียว

ลำดับแรกผู้วิจัยได้ตรวจสอบลายเซ็นโดยใช้วิธีการตรวจสอบลายเซ็นด้วยค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นเพียงค่าเดียวซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นแสดงในตารางที่ 4-2

จากตารางที่ 4-2 พบว่าการทดลองทั้ง 4 แบบ ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม มีค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นดีที่สุดจากการทดลองทั้ง 4 แบบ และการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็ว มีค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นดีในลำดับรองลงมา สำหรับการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร่งและอัตราส่วนของเวลามีค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นลดลงไปตามลำดับ หากพิจารณาค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของทุกวิธีการพบว่า มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80

การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็ว และการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม มีค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็น ดีที่สุดจากการทดลองทั้ง 4 แบบ เนื่องมาจากกระบวนการในการคำนวณที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 จึงทำให้ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็น อยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าวิธีการอื่น ถึงแม้ว่าค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าวิธีการอื่น แต่ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นได้น้อยกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองรวมค่าลักษณะเด่น 2 ค่าโดยนำการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็วและการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม มารวมเข้ากับการตรวจสอบด้วยลักษณะเด่นที่เหลือทั้ง 2 ค่าและนำมาใช้ในการตรวจสอบลายเซ็น

ตารางที่ 4-2 ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการตรวจสอบลายเซ็นโดยใช้ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นค่าเดียว

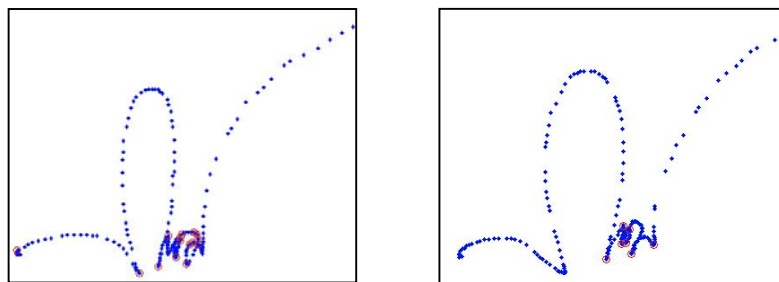
ลำดับที่	ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น			
	มุม	ความเร็ว	ความเร่ง	อัตราส่วนเวลา
1	Reject	Accept	Accept	Reject
2	Accept	Accept	Reject	Reject
3	Accept	Accept	Accept	Accept
4	Accept	Reject	Reject	Accept
5	Accept	Accept	Accept	Accept

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

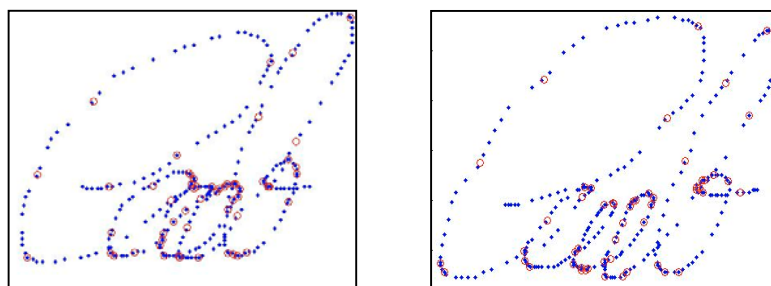
ลำดับที่	ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น			
	มูม	ความเร็ว	ความเร่ง	อัตราส่วนเวลา
6	Reject	Accept	Accept	Reject
7	Accept	Accept	Accept	Accept
8	Reject	Reject	Reject	Accept
9	Reject	Accept	Reject	Reject
10	Accept	Reject	Reject	Reject
11	Accept	Reject	Reject	Reject
12	Accept	Accept	Accept	Reject
13	Reject	Reject	Accept	Reject
14	Accept	Accept	Accept	Accept
15	Accept	Reject	Reject	Reject
16	Accept	Accept	Accept	Accept
17	Reject	Accept	Accept	Accept
18	Reject	Reject	Reject	Reject
19	Accept	Accept	Accept	Accept
20	Accept	Reject	Reject	Reject
เฉลี่ย	65%	60%	55%	45%

การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็วและการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามูม มีค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นดีที่สุดจากการทดลองทั้ง 4 แบบ เนื่องมาจากกระบวนการในการคำนวณที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 จึงทำให้ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็น อยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าวิธีการอื่น ถึงแม้ว่าค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าวิธีการอื่น แต่ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นได้น้อยกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองรวมค่าลักษณะเด่น 2 ค่าโดยนำการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็วและการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามูม มารวมเข้ากับการตรวจสอบด้วยลักษณะเด่นที่เหลือทั้ง 2 ค่าและนำมาใช้ในการตรวจสอบลายเซ็น

ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานว่า หากรวม 2 ค่าลักษณะเด่นเข้าตรวจสอบด้วยกัน จะทำให้ผลลัพธ์ของค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นดีขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการทดลอง และแสดงผลการทดลองที่ได้ไว้ในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 4-1 แสดงผลการตรวจสอบลายเซ็นด้วยค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม



ภาพที่ 4-2 แสดงผลการตรวจสอบลายเซ็นด้วยค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่าความเร็ว

4.2.1.2 ผลการทดลองรวมค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น 2 ค่า

ผู้วิจัยจัดกลุ่มการทดลอง โดยนำการทดลองแบบใดที่มีการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็วและการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุมมาใช้ และมีผลลัพธ์ของค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นดีที่สุดจากการทดลองทั้งหมดของการรวม 2 วิธีการ ผู้วิจัยนำการทดลองแบบดังกล่าว มาเปรียบเทียบกับ การทดลองรวม 2 วิธีการที่ไม่ได้ใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็วและการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม ผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4-3

จากตารางที่ 4-3 พบว่าค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการตรวจสอบด้วยความเร็ว และอัตราส่วนของเวลา สูงขึ้นหลังจากที่มีการนำการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม เข้ามาใช้ร่วมกันในการตรวจสอบลายเซ็น ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองต่อโดยนำการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่าความเร็ว มาใช้ร่วมกับวิธีการทั้ง 2 โดยแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-3 ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการรวม 2 ลักษณะเด่น
โดยใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม

ลำดับที่	ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น	
	มุม+ความเร่ง	มุม+อัตราส่วนเวลา
1	Reject	Reject
2	Accept	Accept
3	Accept	Accept
4	Reject	Accept
5	Accept	Accept
6	Accept	Reject
7	Accept	Accept
8	Reject	Accept
9	Accept	Reject
10	Accept	Accept
11	Reject	Reject
12	Accept	Reject
13	Reject	Reject
14	Accept	Accept
15	Reject	Reject
16	Accept	Accept
17	Accept	Accept
18	Reject	Reject
19	Accept	Accept
20	Reject	Reject
เฉลี่ย	60%	55%

จากตารางที่ 4-3 พบว่าค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการตรวจสอบด้วยความเร่ง และอัตราส่วนของเวลา สูงขึ้นหลังจากที่มีการนำการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม เข้ามาใช้ร่วมกันในการตรวจสอบลายเซ็น ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองต่อโดยนำการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่าความเร็ว มาใช้ร่วมกับวิธีการทั้ง 2 โดยแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-4 ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการรวม 2 ค่า โดยใช้การตรวจสอบ
ลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่าความเร็ว

ลำดับที่	ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น	
	ความเร็ว+ความเร่ง	ความเร็ว+อัตราส่วนเวลา
1	Reject	Reject
2	Accept	Accept
3	Accept	Accept
4	Reject	Accept
5	Accept	Accept
6	Accept	Reject
7	Accept	Accept
8	Reject	Accept
9	Accept	Reject
10	Accept	Accept
11	Reject	Reject
12	Accept	Reject
13	Reject	Reject
14	Accept	Accept
15	Reject	Reject
16	Accept	Accept
17	Accept	Accept
18	Reject	Reject
19	Accept	Accept
20	Reject	Reject
เฉลี่ย	60%	55%

จากการทดลองพบว่า หากนำการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่าความเร็วมารวมเข้ากับค่าลักษณะเด่นทั้ง 2 ทำให้ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของค่าลักษณะเด่นทั้ง 2 สูงขึ้น และหากพิจารณาการตรวจสอบลายเซ็นระหว่างการรวมค่ามูมกับค่าลักษณะเด่นทั้ง 2 และการรวมค่าความเร็วกับวิธีการทั้ง 2 พบว่าการทดลองที่นำค่ามูม รวมกับค่าลักษณะเด่นทั้ง 2 ให้ผลการทดลองดีกว่าการนำค่าความเร็วมาใช้รวมกับวิธีการทั้ง 2 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการตรวจสอบลายเซ็นระหว่างค่ามูม รวมกับลักษณะเด่นอีก 2 ค่า และค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการ

ตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่าความเร็วรวมกับลักษณะเด่นอีก 2 ค่า เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองในแบบต่อไป ที่ผู้วิจัยจะใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็วและการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุมมารวมกันและมาใช้ในการตรวจสอบลายเซ็น ผลการทดลองได้แสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-5 แสดงค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการรวม 2 ค่า ใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็วและการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม

ลำดับที่	ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น		
	มุม+ความเร่ง	ความเร็ว+ความเร่ง	มุม+ความเร็ว
1	Reject	Reject	Reject
2	Accept	Accept	Accept
3	Accept	Accept	Accept
4	Reject	Reject	Accept
5	Accept	Accept	Accept
6	Accept	Accept	Reject
7	Accept	Accept	Accept
8	Reject	Reject	Accept
9	Accept	Accept	Reject
10	Accept	Accept	Accept
11	Reject	Reject	Accept
12	Accept	Accept	Accept
13	Reject	Reject	Reject
14	Accept	Accept	Accept
15	Reject	Reject	Accept
16	Accept	Accept	Accept
17	Accept	Accept	Reject
18	Reject	Reject	Reject
19	Accept	Accept	Accept
20	Reject	Reject	Reject
เฉลี่ย	60%	60%	65%

จากตารางที่ 4-5 พบว่า การตรวจสอบลายเซ็น โดยใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็น ด้วยความเร็วกับการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุมและการรวมค่า ใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุมกับค่าการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร่ง ให้ผลการทดลองดีกว่าการรวมค่า ใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็วกับการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร่ง ซึ่งเป็นไปตามข้อสมมติฐานที่ผู้วิจัยได้ตั้งไว้ แต่จากการทดลองที่เกิดขึ้นค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็น ที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่สูงนัก

ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองค้นคืนภาพโดยการรวม 3 วิธีการเข้าด้วยกัน ผลการทดลองแสดงในหัวข้อต่อไป

4.2.1.3 ผลการทดลองรวมค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น 3 ค่า

การทดลองในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการรวมค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น 3 ค่าเข้าด้วยกัน และได้จัดกลุ่มการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง โดยกลุ่มแรก เป็นการทดลองที่นำการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็วและการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม ทั้ง 2 ค่ามาใช้งานร่วมกับวิธีการอื่น กลุ่มที่สอง เป็นการทดลองที่นำการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็วหรือการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม ค่าใดค่าหนึ่งมาใช้งานร่วมกับค่าอื่น

ตารางที่ 4-6 แสดงค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการรวมค่าลักษณะเด่น 3 ค่า

โดยการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยความเร็วและการตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามุม

ลำดับที่	ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น	
	มุม+ความเร็ว+ความเร่ง	ค่ามุม+ความเร็ว+อัตราส่วนเวลา
1	Reject	Reject
2	Accept	Reject
3	Accept	Accept
4	Reject	Reject
5	Accept	Accept
6	Accept	Accept
7	Accept	Accept
8	Accept	Reject
9	Accept	Reject
10	Accept	Accept
11	Reject	Reject
12	Accept	Accept

ตารางที่ 4-6 (ต่อ)

ลำดับที่	ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น	
	มูม+ความเร็ว+ความเร่ง	ค่ามูม+ความเร็ว+อัตราส่วนเวลา
13	Reject	Accept
14	Accept	Accept
15	Reject	Reject
16	Accept	Accept
17	Accept	Accept
18	Reject	Reject
19	Accept	Accept
20	Reject	Reject
เฉลี่ย	65%	55%

จากตารางที่ 4-6 พบว่าการทดลองแบบที่ 1 มีผลการทดลองดีกว่าการทดลองแบบที่ 2 ผู้วิจัยจึงได้เลือกการทดลองแบบที่ 1 คือการรวมโดยใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นด้วยค่ามูม ค่าความเร็วและค่าความเร่ง เพื่อนำไปเปรียบเทียบผลการทดลองแบบอื่นในลำดับถัดไป จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองรวม 3 ค่า โดยใช้ค่ามูมรวมกับค่าความเร่งและอัตราส่วนเวลา กับ การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นค่าความเร็ว ค่าความเร่งและอัตราส่วนเวลาผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 แสดงค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการรวม 3 ค่า โดยตรวจสอบค่าความเร็ว ค่าความเร่งและ อัตราส่วนเวลา กับ ตรวจสอบค่ามูม ค่าความเร่งและอัตราส่วนเวลา

ลำดับที่	ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น	
	ความเร็ว+ความเร่ง+อัตราส่วนเวลา	ค่ามูม+ความเร่ง+อัตราส่วนเวลา
1	Reject	Reject
2	Reject	Accept
3	Accept	Accept
4	Reject	Accept
5	Accept	Accept
6	Accept	Reject
7	Accept	Accept
8	Reject	Accept

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ลำดับที่	ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น	
	ความเร็ว+ความเร่ง+อัตราส่วนเวลา	ค่ามุม+ความเร่ง+อัตราส่วนเวลา
9	Reject	Reject
10	Accept	Accept
11	Reject	Reject
12	Accept	Accept
13	Accept	Reject
14	Accept	Accept
15	Reject	Reject
16	Accept	Accept
17	Accept	Accept
18	Reject	Reject
19	Accept	Accept
20	Reject	Reject
เฉลี่ย	55%	60%

จากตารางที่ 4-12 และ 4-13 พบว่าการทดลองที่ 2 คือการใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นค่ามุม ค่าความเร่งและอัตราส่วนเวลา มีผลการทดลองดีที่สุดจากการทดลองทั้ง 2 แบบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกการทดลองที่ 2 นำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองแบบอื่นในลำดับถัดไป

4.2.1.3 การทดลองรวมทุกค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น

การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองขั้นสุดท้าย โดยรวม 4 วิธีการ เพื่อพิจารณาผลการทดลองที่ได้ว่ามีผลลัพธ์มากกว่าร้อยละ 80 หรือไม่ เนื่องจากการทดลองที่ผ่านมาการทดลองทั้งหมดมีค่าผลลัพธ์เฉลี่ยน้อยกว่าร้อยละ 80 ผลการทดลองได้แสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-8 แสดงค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการรวม 4 ค่า

ลำดับที่	มุม+ความเร็ว+ความเร่ง+อัตราส่วนเวลา
	ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็น
1	Reject
2	Accept
3	Accept
4	Accept

ตารางที่ 4-8 (ต่อ)

ลำดับที่	มุมมอง+ความเร็ว+ความเร่ง+อัตราส่วนเวลา
	ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็น
5	Accept
6	Reject
7	Accept
8	Accept
9	Reject
10	Accept
11	Accept
12	Accept
13	Reject
14	Accept
15	Accept
16	Accept
17	Accept
18	Reject
19	Accept
20	Reject
เฉลี่ย	70

จากตารางที่ 4-14 พบว่าค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นที่เกิดขึ้นส่วนมาก มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80

จากการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมด เป็นการตรวจสอบลายเซ็นโดยให้ค่าน้ำหนักเท่ากันทุกค่า ลักษณะเด่นของลายเซ็น ซึ่งการทดลองด้วยการรวม 2 วิธีการ การทดลองที่ได้ผลการทดลองดีที่สุด คือ การใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นค่ามุมมองและค่าความเร็ว การทดลองที่รวม 3 วิธีการ การทดลองที่ได้ผลการทดลองดีที่สุด คือการรวมวิธีการใช้การตรวจสอบลักษณะเด่นของลายเซ็นค่ามุมมอง ค่าความเร็วและค่าความเร่งและการทดลองที่รวมทั้ง 4 ค่าลักษณะเด่น ซึ่งผลการทดลองที่ได้ยังไม่ดีพอ คือค่าเฉลี่ยที่ได้ยังน้อยกว่าร้อยละ 80 จากข้อมูลที่น่ามาทดลองทั้งหมด 20 ลายเซ็น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป คือการให้ค่าน้ำหนักกับค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นทั้ง 4 ค่า

4.2.2 ผลการทดลองที่ให้ค่าน้ำหนักของค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นต่างกัน

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยทำการทดลองให้ค่าน้ำหนักแก่วิธีการต่าง ๆ โดยเลือกจากการทดลองที่มีค่าผลลัพธ์ดีที่สุดในการทดลองให้ค่าน้ำหนัก มีรายละเอียดการให้ค่าน้ำหนักต่อไปนี้

4.2.2.1 ผลการทดลองที่รวมค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น 2 ค่า ได้แก่ คำนุ่ม และความเร็ว โดยให้ค่าน้ำหนักแก่ค่าทั้ง 2 ค่า ดังนี้ (0.55,0.45) (0.45,0.55) (0.60,0.40) (0.40,0.60) (0.65,0.35) (0.35,0.65) (0.70,0.30) และ (0.30,0.70)

ตารางที่ 4-9 แสดงค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นด้วยคำนุ่มและความเร็วที่ให้น้ำหนัก คำนุ่มและความเร็วไม่เท่ากัน

ลำดับที่	น้ำหนักที่ให้กับคำนุ่ม:ความเร็ว							
	0.55,0.45	0.45,0.55	0.60,0.40	0.40,0.60	0.65,0.35	0.35,0.65	0.70,0.30	0.30,0.70
1	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject
2	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Reject
3	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
4	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Reject	Accept	Reject
5	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
6	Reject	Reject	Reject	Reject	Accept	Accept	Reject	Accept
7	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
8	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Reject
9	Reject	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject	Reject	Reject
10	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
11	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject
12	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
13	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject	Accept
14	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
15	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject
16	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
17	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
18	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject
19	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
20	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject
เฉลี่ย	60%	60%	60%	60%	65%	55%	70%	55%

จากตารางที่ 4-9 ผู้วิจัยได้นำการทดลองที่รวม 2 ค่า คือค่ามุมและความเร็ว ที่มีผลการทดลองดีที่สุดในการทดลองรวม 2 ค่า มาให้ค่าน้ำหนัก พบว่า หากทำการให้น้ำหนักแก่ค่ามุม ที่ค่า 0.70 และให้ค่าน้ำหนักแก่ค่าความเร็วที่ค่า 0.30 ทำให้ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็น ค่าเรียกคืนสูงขึ้นจากการทดลองรวม 2 ค่าที่ไม่ได้ให้ค่าน้ำหนัก

4.2.2.2 ผลการทดลองที่รวมค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น 3 ค่า ได้แก่ค่ามุม ความเร็ว และความเร่ง จะให้ค่าน้ำหนักแก่ค่าทั้ง 3 ค่าดังนี้ (0.40,0.30,0.30) (0.30,0.40,0.30) (0.30,0.30,0.40) (0.60,0.20,0.20) (0.20,0.60,0.20) และ (0.20,0.20,0.60)

การทดลองในลำดับต่อมาเป็นการทดลองที่นำค่ามุม ความเร็ว ความเร่งและอัตราส่วนเวลา มาให้ค่าน้ำหนัก หากพิจารณาที่วิธีการใดผู้วิจัยได้กำหนดค่าน้ำหนักให้กับวิธีการนั้นมากกว่าวิธีการอื่นในการทดลองนี้ผู้วิจัยกำหนดค่าน้ำหนักให้กับวิธีการที่ต้องการพิจารณาเท่ากับ 0.40 และ 0.60 ตามลำดับ สำหรับวิธีการอื่นกำหนดค่าน้ำหนักให้แต่ละวิธีเท่ากับ 0.30 และ 20 ผลการทดลองได้แสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-10 แสดงค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการให้น้ำหนักค่ามุม ความเร็วและความเร่งไม่เท่ากัน

ลำดับ ที่	การให้น้ำหนักค่ามุม ความเร็วและความเร่ง					
	0.40,0.30,0.30	0.30,0.40,0.30	0.30,0.30,0.40	0.60,0.20,0.20	0.20,0.60,0.20	0.20,0.20,0.60
1	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject
2	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Reject
3	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
4	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
5	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
6	Accept	Reject	Reject	Accept	Reject	Reject
7	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
8	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
9	Accept	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject
10	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
11	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject	Reject
12	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
13	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject	Reject
14	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
15	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject	Reject

ตารางที่ 4-10 (ต่อ)

ลำดับที่	การให้น้ำหนักค่ามุม ความเร็วและความเร่ง					
	0.40,0.30,0.30	0.30,0.40,0.30	0.30,0.30,0.40	0.60,0.20,0.20	0.20,0.60,0.20	0.20,0.20,0.60
16	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
17	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
18	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject
19	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept
20	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject
เฉลี่ย	65%	60%	60%	80%	55%	55%

จากการทดลองพบว่า การทดลองแบบที่ 4 คือการรวมค่ามุม ความเร็วและความเร่ง และให้น้ำหนักค่ามุมมากที่สุด มีค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นดีที่สุดจากการทดลองทั้ง 6 วิธี และหากนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองข้างต้นที่รวมค่ามุม ความเร็วและความเร่ง ที่ให้น้ำหนักเท่ากัน พบว่าการให้น้ำหนักกับค่ามุม ทำให้ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นสูงขึ้น

4.2.2.3 ผลการทดลองที่รวมค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ค่ามุม ความเร็ว ความเร่ง และอัตราส่วนเวลา จะให้น้ำหนักแก่ค่าทั้ง 4 ค่า ดังนี้ (0.40,0.20,0.20,0.20) (0.20,0.40,0.20,0.20) (0.20,0.20,0.40,0.20) (0.20,0.20,0.20,0.40)

สำหรับการทดลองสุดท้ายเป็นการรวมทั้ง 4 ค่าและให้น้ำหนักกับค่าที่ต้องการพิจารณาที่ค่า 0.40 และวิธีการอื่นมีค่า 0.20 ผลการทดลองแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-11 แสดงค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นของการทดลองที่ให้น้ำหนักกับค่าลักษณะเด่นทั้ง 4 ค่าไม่เท่ากัน

ลำดับที่	การให้น้ำหนักค่ามุม ความเร็ว ความเร่งและอัตราส่วนเวลา			
	0.40,0.20,0.20,0.20	0.20,0.40,0.20,0.20	0.20,0.20,0.40,0.20	0.20,0.20,0.20,0.40
1	Reject	Reject	Reject	Reject
2	Accept	Accept	Accept	Reject
3	Accept	Accept	Accept	Accept
4	Accept	Accept	Reject	Reject
5	Accept	Accept	Accept	Accept
6	Accept	Accept	Accept	Accept
7	Accept	Accept	Accept	Accept

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

ลำดับ ที่	การให้น้ำหนักค่ามุม ความเร็ว ความเร่งและอัตราส่วนเวลา			
	0.40,0.20,0.20,0.20	0.20,0.40,0.20,0.20	0.20,0.20,0.40,0.20	0.20,0.20,0.20,0.40
8	Accept	Accept	Accept	Reject
9	Reject	Reject	Reject	Reject
10	Accept	Accept	Accept	Accept
11	Accept	Accept	Accept	Reject
12	Accept	Accept	Accept	Accept
13	Accept	Reject	Reject	Accept
14	Accept	Accept	Accept	Accept
15	Accept	Accept	Accept	Reject
16	Accept	Accept	Accept	Accept
17	Accept	Accept	Accept	Accept
18	Reject	Reject	Reject	Reject
19	Accept	Accept	Accept	Accept
20	Reject	Reject	Reject	Reject
เฉลี่ย	80%	75%	70%	55%

สรุปการทดลองกลุ่มแรก พบว่าหากให้น้ำหนักแก่ค่ามุม จะทำให้ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเส้นสูงขึ้น สำหรับการทดลองในชุดที่สอง พบว่าการทดลองที่ให้น้ำหนักแก่ค่าความเร็วทำให้ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเส้นสูงขึ้น แต่น้อยกว่าในชุดแรกที่ให้น้ำหนักกับค่ามุม ในการทดลองชุดที่ 3 พบว่าการทดลองที่ให้น้ำหนักแก่ค่าความเร่ง มีผลการทดลองใกล้เคียงกับที่ให้น้ำหนักค่าความเร็ว และหากให้น้ำหนักแก่ค่าอัตราส่วนเวลา จะทำให้ค่าเรียกคืนสูงขึ้น

4.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่าหากทำการตรวจสอบลายเส้นด้วยค่าลักษณะเด่นค่าเดียว ค่ามุม เป็นค่าที่มีผลการตรวจสอบลายเส้นดีที่สุด และค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเส้นของทุกค่าลักษณะเด่นที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองรวมค่าลักษณะเด่น 2 ค่าเข้าด้วยกัน เพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า การรวมวิธีการเข้าด้วยกันจะทำให้ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเส้นสูงขึ้น ซึ่งค่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้คือ ค่าความสามารถในการตรวจ

สอบลายเซ็นสูงขึ้น แต่ค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80 ซึ่งการทดลองที่ให้ผลการตรวจสอบลายเซ็นดีที่สุดคือการทดลองรวมค่ามุมและค่าความเร็ว จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบลายเซ็นโดยการรวมค่าลักษณะเด่น 3 ค่า ซึ่งผลการตรวจสอบลายเซ็นที่ดีที่สุดคือการรวมค่ามุม ความเร็วและความเร่ง และผู้วิจัยได้ทำการทดลองรวมค่าทั้ง 4 ค่า ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากการทดลองโดยไม่ได้ให้ค่าน้ำหนักแก่วิธีการทุกการทดลอง พบว่า ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80 แต่มากกว่าร้อยละ 50 สำหรับผลการทดลองที่ให้ค่าน้ำหนักที่มากแก่ค่าลักษณะเด่นที่พิจารณาการให้ค่าน้ำหนักมากแก่ค่ามุมทำให้ผลการทดลองที่ได้มีค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นมากกว่าวิธีการที่ให้ค่าน้ำหนักเท่ากันทุกค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น โดยสรุปค่าลักษณะเด่นของลายเซ็น ค่ามุม เป็นค่าที่ให้ค่าความสามารถในการตรวจสอบลายเซ็นดีที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการทดลองระบบในบทที่ 4 สรุปได้ว่า ระบบตรวจสอบลายเซ็นที่ได้พัฒนาขึ้น ใช้วิธีการตรวจสอบลายเซ็น โดยพิจารณาจากการจับคู่ค่าลักษณะเด่นของลายเซ็นที่คำนวณได้จากตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้งของลายเซ็นในการเคลื่อนที่ของปากกาในการเขียนลายเซ็นด้วยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งนั้นจะมีประสิทธิภาพในการพิสูจน์ลายเซ็นอยู่ในเกณฑ์ที่ดีถึงร้อยละ 80 เมื่อใช้การตัดสินใจให้เป็นลายเซ็นของบุคคลคนเดียว

ระบบจะมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบลายเซ็นอยู่ในเกณฑ์ที่ดี เมื่อเป็นลายเซ็นที่มีจุดเด่นบนเส้นโค้งเป็นจำนวนมาก ส่วนลายเซ็นที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือโค้งมนมาก ระบบจะมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบต่ำลง ซึ่งจากผลการทดสอบทั้งหมดดังกล่าว สรุปได้ว่า ระบบตรวจสอบลายเซ็นในงานวิจัยครั้งนี้ สามารถใช้เป็นระบบต้นแบบเพื่อที่พัฒนาต่อไป สำหรับการใช้งานในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในครั้งนี้ ได้พบข้อเสนอแนะหลายประการ

5.2.1 การเขียนลายเซ็นบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์นั้น ผู้ใช้ไม่สามารถมองเห็นลายเซ็นของตนเองที่เขียนขึ้น จึงมีผลโดยตรงกับการทำให้ลายเซ็นที่เขียนผิดเพี้ยนไปได้ ดังนั้นจึงควรเพิ่มอุปกรณ์ที่ทำให้ผู้ใช้เห็นลายเซ็นตัวเองขณะที่เขียนบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์

5.2.2 การเก็บลายเซ็นอ้างอิงที่จะใช้ในการตรวจสอบนั้น ลายเซ็นที่เก็บไว้จะต้องเป็นลายเซ็นที่ชัดเจนสมบูรณ์ เพราะเป็นส่วนที่มีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพในการตรวจสอบลายเซ็นของระบบ

5.2.3 ขั้นตอนการจับคู่ ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจากตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้ง ระหว่างลายเซ็นอ้างอิงและลายเซ็นที่ทำการทดสอบ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการไดนามิกโปรแกรมมิ่งโดยนำเงื่อนไขต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกันซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจระดับหนึ่ง แต่ในขั้นตอนการจับคู่ ยังมีวิธีการจับคู่เปรียบเทียบกับอีกหลายวิธี เช่น การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) การใช้ทฤษฎีฟัซซี (Fuzzy theory) ที่จะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้[6][12]

5.2.4 เนื่องจากในการวิจัยนี้ไม่มีการทำให้ขนาด ทิศทางของลายเส้นเป็นบรรทัดฐานเดียวกัน จึงทำให้มีข้อจำกัดในการตรวจสอบลายเส้นด้วยระยะทางของส่วนของลายเส้นแต่ละส่วน แนวทางแก้ไขคือควรจะใช้ข้อมูลที่ถูกรวบรวมให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการทำงานของระบบ

5.2.5 ระบบตรวจสอบลายเส้นนี้ ใช้ตำแหน่งจุดเด่นบนเส้นโค้งเป็นหลักในการคำนวณและในกระบวนการต่าง ๆ ของการตรวจสอบ ดังนั้นถ้าข้อมูลลายเส้นที่จะนำมาใช้กับระบบนี้มีลักษณะโค้งมากหรือมีส่วนที่เป็นเส้นตรงมาก หรือมีจุดเด่นบนเส้นโค้งน้อย จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบลายเส้นที่ต่ำ แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขคือ ควรใช้วิธีการประมวลผลภาพอื่น ๆ เข้ามาประกอบด้วย เช่นการพิจารณาส่วนโค้งหรือส่วนเว้าของลายเส้น นำมาประยุกต์เพิ่มเติมในกระบวนการตรวจสอบ ซึ่งอาจจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้

5.2.6 นอกจากข้อมูลคู่ลำดับ (x,y) ที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้แล้ว ข้อมูลที่ได้จากกระดานอิเล็กทรอนิกส์ ยังมีข้อมูลแรงกดปากกาในการเขียนลายเส้นบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลแรงกดของปากกานบนกระดานอิเล็กทรอนิกส์ได้หลายระดับ และข้อมูลในส่วนนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้พัฒนาระบบ เพื่อเพิ่มลักษณะเด่นของลายเส้นที่ใช้ในการตรวจสอบได้

เอกสารอ้างอิง

1. A.K. Jain, S. Pankanti, and R. Bolle (Eds.). "BIOMETRICS: Personal Identification in Network Society". Kluwer Academic Publishers, (1999).
2. Fredrik Claesson. Identity Verification using Signatures. Master Thesis in Information theory at Linköping Institute of Technology, 2000.
3. Charles, E. Pinpin. Dynamic Signature Verification using Local and Global Features. [Online] 2004. Available from: www.cepippin@cc.gatech.edu
4. Hamed Ketabdar, Jonas Richiardi, and Andrzej Drygajlo. "Global feature selection for on-line signature verification". Swiss Federal Institute of Technology Lausanne. (2004)
5. Sabourin, R., and Drouhard, J.-P. "Off-line signature verification using directional PDF and neural networks." IEEE International Conference on Pattern Recognition : Pattern Recognition Methodology and Systems. (September 1992) : 321-325.
6. Huang, K., Yan, H. "Off-line signature verification based on geometric feature extraction and neural network classification". Pattern Recognition. 30 (1997) : 9-17.
7. Anil, K. Jain., Freiderike, D. Griess, and Scott, D. Connell. "On-line Signature verification." Pattern Recognition 35 (2002) : 2963-2972.
8. Vishvjit S. Nalwa. "Automatic Online Signature Verification". Proceeding of the IEEE 85 (Feb 1997) : 215-239.
9. Plamondon, R., and Parizeau, M. "Signature verification from position, velocity, and acceleration signals: a comparative study." IEEE International Conference on Pattern Recognition. (November 1988) : 260-265.
10. Charles w. Therrien. Decision Estimation and Classification. : John Wiley & Sons, 1989
11. Jaeyeon Lee., Ho-Sub Yoon., Jung Soh., Byung Tae Chun., and Yun Koo Chung. "Using geometric extrema for segment-to-segment characteristics comparison in online signature verification." Pattern Recognition 37 (2004) : 93-103.
12. H. Baltzakis, N. Papamarkos. "A new signature verification technique based on a two-stage neural network classifier". Engineering Application of Artificial Intelligence 14 (2001) : (95-103).

13. Qi, Y., Hunt, B.R. "Signature verification using global and grid feature". Pattern Recognition 27 (1994) : 1621-1629.
14. Yingyong Qi, and Hunt B.R. "A multiresolution approach to computer verification of handwritten signatures." IEEE Transactions on Image Processing, 4 (June 1995) : 870-874.
15. Pottier, I., and Burel, G. "Identification and Authentification of Handwritten Signatures with a Connectionist Approach." IEEE World Congress on Computational Intelligence. (July 1994) : 2948-2951.

ภาคผนวก

โปรแกรมที่ใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของระบบ

โปรแกรมส่วนที่ใช้สร้าง GUI เพื่อติดต่อกับผู้ใช้ (main_menu.m)

```
function varargout = main_menu(varargin)

if nargin == 0 % LAUNCH GUI
    fig = openfig(mfilename,'reuse');
    handles = guihandles(fig);
    guidata(fig, handles);
    if nargout > 0
        varargout{1} = fig;
    end
elseif ischar(varargin{1}) % INVOKE NAMED SUBFUNCTION OR CALLBACK
    try
        if (nargout)
            [varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
        else
            feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
        end
    catch
        disp(lasterr);
    end
end

function varargout = pushbutton3_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
for i=1:5
    cals_feature(i);
end;

% -----

function varargout = edit1_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
global th1
th1 = str2double(get(h,'string'));
if isnan(th1)
    errordlg('You must enter a numeric value','Bad Input','modal')
```

```

end;

% -----

function varargout = pushbutton7_Callback(h, eventdata, handles, varargin)

%%%%%%%%%

[d1,strokes]=get_sign;

[filename,pathname]=uiputfile('*.mat','Save RAW Data');

pathname1=length(d1(1,1,:));

pathname2=strcat(pathname,num2str(pathname1));

File2=fullfile(pathname2,filename);

save (File2 , 'd1','strokes');

cals_feature1(d1,strokes);

% -----

function varargout = matching_Callback(h, eventdata, handles, varargin)

cd(num2str(strokes));

s=what(pwd);

data_size=size(s.mat,1);

for loops=1:data_size

    w1=str2double(get(handles.ww1,'String'));

    w2=str2double(get(handles.ww2,'String'));

    w3=str2double(get(handles.ww3,'String'));

    [matching_result]=dynamicp(w1,w2,w3);

    set(handles.matching1,'String',matching_result);

    if (matching_result>=0.5)

        set(handles.match_text,'String','match');

        break;

    else

        set(handles.match_text,'String','not match');

    end;

end;

```

โปรแกรมคำนวณค่า Gaussian filter (k_gaus.m)

```
function [g,g1,g2]=k_guas(q)
s=sqrt(2*pi);
q2=q^2;
q3s=(q^3)*s;
n=1;
t=3*q;
for i=-t:t
    i2=i^2;
    g(n)=(1/(q*s))*(exp((-i2)/(2*q2)));
    g1(n)=(-i/q3s)*(exp((-i2)/(2*q2)));
    g2(n)=(((i2)/q2)-1).*(1/q3s).*(exp((-i2)/(2*q2)));
    % if mod(i,3)==0
        n=n+1;
        % end;
end;
```

โปรแกรมรับข้อมูลจากกระดานอิเล็กทรอนิกส์ (get_sign.m)

```
function [d1,strokes]=mousetrack
try
    imagefig=figure(1);
    set(gca,'ydir','normal');
catch
    close(imagefig)
    disp('Only NxM tensors, or NxMx3 RGB image data can be displayed as images')
end
j=1;
d1=zeros(300,2);
set(imagefig,'windowbuttondownfcn',{@starttrack});
waitfor(0,'userdata')
```

```

outtrack=get(0,'userdata');
for i=1:length(outtrack(:,1))
    x1(i)=outtrack(i,1);
    y1(i)=outtrack(i,2);
end;

    for i=1:length(x1);
        d1(i,1,j)=x1(i);
        d1(i,2,j)=y1(i);
    end;
hold on;
axis([0,1024,0,768]);
plot(d1(1:length(x1),1,j),d1(1:length(x1),2,j),'r')
callstr = ['set(gcf,"Userdata",double(get(gcf,"CurrentPoint"))); uiresume '];
tt = [] ;
for j=2:4
    tt = timer ;
    tt.timerfcn = 'uiresume' ;
    tt.startdelay = 1;
    fh = figure('ButtonDownFcn',callstr, ...
        'windowstyle','normal',...
        'position',[0 0 1024 768],...
        'Name','GETKEYWAIT', ...
        'userdata',-1) ;
    try
        % Wait for something to happen or the timer to run out
        start(tt) ;
        uiwait;
        ch = get(fh,'Userdata') ;
        close;
        if ch~-1

```

```

set(imagefig,'windowbuttondownfcn',{@starttrack});
waitfor(0,'userdata')
outtrack=get(0,'userdata');
for i=1:length(outtrack(:,1))
    x1(i)=outtrack(i,1);
    y1(i)=outtrack(i,2);
end;

for i=1:length(x1);
    d1(i,1,j)=x1(i);
    d1(i,2,j)=y1(i);
end;

hold on;
axis([0,1024,0,768]);
plot(d1(1:length(x1),1,j),d1(1:length(x1),2,j),'r')
figure(1);
hold on;
plot(d1(1:length(x1),1,j),d1(1:length(x1),2,j),'r');
else
    break;
end;
catch
    % Something went wrong, return an empty matrix.
    ch = [] ;
end
stop(tt) ;
delete(tt) ;
if ch==-1
    break;
end;
end;

```



```

strokes=length(d1(1,1,:));
close (1);

% -----

function starttrack(imagefig,varargin)
set(gcf,'windowbuttonupfcn',{@stoptrack},'userdata',[]);
set(gcf,'windowbuttonmotionfcn',...
      'set(gcf,"userdata",[get(gcf,"userdata");get(0,"pointerlocation")])');
x=1;

%-----

function stoptrack(imagefig,varargin)
set(gcf,'windowbuttonmotionfcn',[]);
units0=get(0,'units');
unitsf=get(gcf,'units');
unitsa=get(gca,'units');
set(0,'units','pixels');
set(gcf,'units','pixels');
set(gca,'units','pixels');
x=get(gca,'xlim');
y=get(gca,'ylim');
axsize=get(gca,'position');
figsize=get(gcf,'position');
set(0,'units',units0);
set(gcf,'units',unitsf);
set(gca,'units',unitsa);
mousetrail=(get(gcf,'userdata')) ; %-repmat(shift,size(get(gcf,'userdata'),1),1))*ratio;
set(gcf,'windowbuttondownfcn',{@starttrack});
set(0,'userdata',mousetrail);

```

โปรแกรมคำนวณค่าจุดเด่นบนเส้นโค้ง (k_curv.m)

```
function [nkxy,nkxy2]=test_aek2(x,y,g)
```

```
data_l=length(x);
```

```
g_l=length(g);
```

```
x1 = conv(g,x);
```

```
y1 = conv(g,y);
```

```
xt1 = zeros(data_l,1);
```

```
yt1 = zeros(data_l,1);
```

```
buff = 0;
```

```
for c = 1:data_l-g_l
```

```
    for i = 1:g_l
```

```
        buff = buff + x1(c+i).*g(g_l+1-i);
```

```
    end
```

```
    xt1(c+(g_l-1)/2) = buff;
```

```
    buff = 0;
```

```
end
```

```
buff = 0;
```

```
for c = 1:data_l-g_l
```

```
    for i = 1:g_l
```

```
        buff = buff + y1(c+i).*g(g_l+1-i);
```

```
    end
```

```
    yt1(c+(g_l-1)/2) = buff;
```

```
    buff = 0;
```

```
end
```

```
a3 = zeros(data_l,1);
```

```
a2 = zeros(data_l,1);
```

```
b3 = zeros(data_l,1);
```

```
b2 = zeros(data_l,1);
```

```
for i=2: data_l-1
```

```
    a3(i)=(x1(i+1)-x1(i-1))/2;
```

```

a2(i)=(x1(i+1)+x1(i-1)-(2*x1(i)))/2;
b3(i)=(y1(i+1)-y1(i-1))/2;
b2(i)=(y1(i+1)+y1(i-1)-(2*y1(i)))/2;
end;
kk = zeros(data_1,1);
for i = 1:data_1
A=(2*((a3(i)*b2(i))-(b3(i)*a2(i))));
B=(((a3(i)^2)+(b3(i)^2))^1.5);
    if B~=0
        kk(i)=A/B;
    end;
    if B==0
        kk(i)=0;
    end;
end;
kkk = zeros(data_1,1);
aa3 = zeros(data_1,1);
aa2 = zeros(data_1,1);
ba3 = zeros(data_1,1);
ba2 = zeros(data_1,1);
for i=2:data_1-1
    aa3(i)=(xt1(i+1)-xt1(i-1))/2;
    aa2(i)=(xt1(i+1)+xt1(i-1)-(2*xt1(i)))/2;
    ba3(i)=(yt1(i+1)-yt1(i-1))/2;
    ba2(i)=(yt1(i+1)+yt1(i-1)-(2*yt1(i)))/2;
end;
for i = 1: data_1
A=(2*((aa3(i)*ba2(i))-(ba3(i)*aa2(i))));
B=(((aa3(i)^2)+(ba3(i)^2))^1.5);
    if B~=0

```

```

        kkk(i)=A/B;
    end;
    if B==0
        kkk(i)=0;
    end;
end;
gcut=(g_1-1)/2;
for i=1:g_1
    kkk(i)=0;
end;
for i=data_1-g_1:data_1
    kkk(i)=0;
end;
n=1;
for i=gcut+1:data_1
    kk1(n)=kk(i);
    n=n+1;
end;
for i=1:g_1
    kk1(i)=0;
end;
for i=data_1-g_1:data_1
    kk1(i)=0;
end;
nkxy=kk1;
nkxy2=kkk;

```

โปรแกรมคำนวณค่า peak ของค่าจุดเด่นบนเส้นโค้ง

```
function[kxy1]=l_peak(kxy,treadholds)
```

```
lk=length(kxy);
```

```
aa=max(kxy,0);
```

```
bb=min(kxy,0);
```

```
maxx=[0 1];
```

```
miny=[0 1];
```

```
for i=1:lk
```

```
    if (aa(i)>maxx(1,1))
```

```
        maxx(1,1)=aa(i);
```

```
        maxx(1,2)=i;
```

```
    end
```

```
    if(bb(i)<miny(1,1))
```

```
        miny(1,1)=bb(i);
```

```
        miny(1,2)=i;
```

```
    end
```

```
end
```

```
tmax=maxx(1,1)*.05;
```

```
tmin=miny(1,1)*.05;
```

```
n=1;
```

```
for i=2:lk-1
```

```
    if(aa(i)>0)
```

```
        if (aa(i)-aa(i-1)>0)&(aa(i)-aa(i+1)>0)
```

```
            aa1(n,1)=i;
```

```
            aa1(n,2)=aa(i);
```

```
            n=n+1;
```

```
        end;
```

```
    end;
```

```
end;
```

```
n=1;
```

```

for i=1:length(aa1(:,1))
    if aa1(i,2)>tmax
        aa2(n,1)=aa1(i,1);
        aa2(n,2)=aa1(i,2);
        n=n+1;
    end;
end;
n=1;
for i=2:lk-1
    if(bb(i)<0)
        if (bb(i)-bb(i-1)<0)&(bb(i)-bb(i+1)<0)
            bb1(n,1)=i;
            bb1(n,2)=bb(i);
            n=n+1;
        end;
    end;
end;
n=1;
% if(length(bb1(:,1))>2);
for i=1:length(bb1(:,1))
    if bb1(i,2)<tmin
        bb2(n,1)=bb1(i,1);
        bb2(n,2)=bb1(i,2);
        n=n+1;
    end;
end;
for j=1:length(bb1(:,1))
    if(length(bb2(:,1))==length(bb1(:,1)))
        tmin=tmin*2;
    end;
end;
for i=1:length(bb1(:,1))

```

```

    if bb1(i,2)<tmin
        bb2(n,1)=bb1(i,1);
        bb2(n,2)=bb1(i,2);
        n=n+1;
    end
end
else break;
end;
end;
results=zeros(length(aa2(:,1))+length(bb2(:,1)),2);
j=1;
k=1;
for i=1:length(aa2(:,1))+length(bb2(:,1))
    if (k<=length(aa2(:,1)))&(j<=length(bb2(:,1)))
        if(aa1(k,1)<bb2(j,1))
            results(i,1)=aa2(k,1);
            results(i,2)=aa2(k,2);
            k=k+1;
        else
            results(i,1)=bb2(j,1);
            results(i,2)=bb2(j,2);
            j=j+1;
        end;
    else
        if(k>length(aa2(:,1)))
            results(i,1)=bb2(j,1);
            results(i,2)=bb2(j,2);
            j=j+1;
        else
            results(i,1)=aa2(k,1);

```

```

        results(i,2)=aa2(k,2);
        k=k+1;
    end;
end;
end;
kxy1=results;

```

โปรแกรมคำนวณค่าความมุม,เร็ว,ความเร่งของลายเซ็น (find_feature.m)

```

function[feature_all,angledata]=find_feature(x,y,peak_point)
length_feature=length(peak_point(:,1));
length_data=length(x);
feature_all=zeros(length_feature+1,3);
feature_all(1,1)=sqrt((x(1)-x(peak_point(1,1)))^2+(y(1)-y(peak_point(1,1)))^2);
for i=2:length_feature
    feature_all(i,1)=sqrt((x(peak_point(i-1,1))-x(peak_point(i,1)))^2+(y(peak_point(i-1,1))-y(peak_point(i,1)))^2);
end;
feature_all(length_feature+1,1)=sqrt((x(peak_point(i-1,1))-x(length_data))^2+(y(peak_point(i,1))-y(length_data))^2);
feature_all(1,2)=feature_all(1,1)/peak_point(1,1);
for i=2:length_feature-1
    feature_all(i,2)=feature_all(i,1)/(peak_point(i+1,1)-peak_point(i,1));
end;
feature_all(length_feature,2)=feature_all(length_feature,1)/(length_data-peak_point(length_feature,1));
feature_all(1,3)=feature_all(1,2)/peak_point(1,1);
for i=2:length_feature-1
    feature_all(i,3)=(feature_all(i,2)-feature_all(i+1,2))/(peak_point(i+1,1)-peak_point(i,1));
end;

```



```

feature_all(length_feature,3)=(feature_all(length_feature,2)-feature_all(length_feature-1,2))/
    (length_data-peak_point(length_feature,1));
angledata(1,1)=sqrt((x(1)-x(peak_point(2,1)))^2+(y(1)-y(peak_point(2,1)))^2);
for i=2:length_feature-1
    angledata(i,1)=sqrt((x(peak_point(i-1,1))-x(peak_point(i+1,1)))^2+(y(peak_point(i-1,1))-y
        (peak_point(i+1,1)))^2);
end;
angledata(i+1,1)=sqrt((x(peak_point(i-1,1))-x(length_data))^2+(y(peak_point(i-1,1))-y
    (length_data))^2);
for i=1:length_feature-1
    cos_idata=acos(((angledata(i,1)^2)-(feature_all(i,1)^2)-(feature_all(i+1,1)^2))/(-(2*feature_all
        (i,1)*feature_all(i+1,1))));
    angledata(i,2)=cos_idata*180/pi;
    if ((peak_point(i,2))<0)
        angledata(i,2)=360-angledata(i,2);
    end;
end;
i=i+1;
cos_idata=acos(((angledata(i,1)^2)-(feature_all(i,1)^2)-(feature_all(i+1,1)^2))/(-(2*feature_all
    (i,1)*feature_all(i+1,1))));
angledata(i,2)=cos_idata*180/pi;
if ((peak_point(i,2))<0)
    angledata(i,2)=360-angledata(i,2);
end;

```

โปรแกรมตรวจสอบลายเซ็นด้วยวิธีไดนามิกส์โปรแกรมมิ่ง (dp_check.m)

```

function [final_match] = dynamicp(w1,w2,w3,total_strokes);
dir_detail=what(pwd);
File1=fullfile(dir_detail.path,'feature1.mat');
load(File1);

```

```

load('feature2.mat');
final_match1=0;
final_match2=0;
feature_len=length(FA_check{total_strokes}{1}(1,,:));
feature1=zeros(feature_len,3,total_strokes);
a1=zeros(feature_len,3,total_strokes);
    for j=1:total_strokes
        for i=1:feature_len
            feature1(i,1,j)=FA_check{total_strokes}{1}(j,i,1);
            feature1(i,2,j)=FA_check{total_strokes}{1}(j,i,2);
            feature1(i,3,j)=FA_check{total_strokes}{1}(j,i,3);
            a1(i,1,j)=FA_check{total_strokes}{1}(j,i,4);
            a1(i,2,j)=FA_check{total_strokes}{1}(j,i,5);
        end;
    end;
load('feature2.mat');
final_match1=0;
final_match2=0;
cd(num2str(total_strokes));
dir_detail=what(pwd);
match_ok=1;
all_files1=length(dir_detail.mat);
for all_files=1:all_files1
    final_match1=0;
    final_match2=0;
    filename=dir_detail.mat{all_files,1};
    File1=fullfile(dir_detail.path,filename);
    load(File1);
    feature_length2=length(FA{total_strokes}{all_files}(1,,:));
    feature2=zeros(feature_length2,3,total_strokes);

```

```

a2=zeros(feature_length2,3,total_strokes);
for k=1:total_strokes
    for i=1:feature_length2
        feature2(i,1,k)=FA{total_strokes}{all_files}(k,i,1);
        feature2(i,2,k)=FA{total_strokes}{all_files}(k,i,2);
        feature2(i,3,k)=FA{total_strokes}{all_files}(k,i,3);
        a2(i,1,k)=FA{total_strokes}{all_files}(k,i,4);
        a2(i,2,k)=FA{total_strokes}{all_files}(k,i,5);
    end;
    len_1=length(a1(:,1,1));
    len_2=length(a2(:,1,1));
    s=zeros(len_1+1,len_2+1);
    M_data=zeros(max([len_1+1,len_2+1]));
    for j=1:len_2
        M_data(1,j)=0;
    end;
    for i=1:len_2
        M_data(i,1)=0;
    end;
    for j=2:len_2+1
        for i=2:len_1+1
            if ((a1(i-1,2,k)<=a2(j-1,2,k)+36)&(a1(i-1,2,k)>=a2(j-1,2,k)-36))
                s(i,j)=1;
            end;
            M_data(i,j)=max([M_data(i-1,j-1)+s(i,j),M_data(i-1,j),M_data(i,j-1)]);
        end;
    end;
    j=len_2+1;
    i=len_1+1;
    result1=zeros(max([len_1+1,len_2+1]));

```

```

for ll=1:min([len_2,len_1])
    [result1(i,j),n]=max([M_data(i-1,j-1)+s(i,j),M_data(i-1,j),M_data(i,j-1)]);
    if(n==1)
        i=i-1;
        j=j-1;
    else
        if (n==2)
            i=i-1;
        else
            if (n==3)
                j=j-1;
            end;
        end;
    end;
end;
F1=max(result1);
F1=max(F1);
F1=(F1+1)/max([len_1+1,len_2+1]);
len_1=length(feature1(:,1,1));
len_2=length(feature2(:,1,1));
f_data2=zeros(len_1+1,len_2+1);
s=zeros(len_1+1,len_2+1);
for j=2:len_2+1
    for i=2:len_1+1
        if ((feature1(i-1,2,k)<=feature2(j-1,2,k)+feature2(j-1,2,k)*0.3)&(feature1(i-1,2,k)>=feature2(j-1,2,k)-feature2(j-1,2,k)*0.3))
            s(i,j)=1;
        end;
        f_data2(i,j)=max([f_data2(i-1,j-1)+s(i,j),f_data2(i-1,j),f_data2(i,j-1)]);
    end;
end;

```

```

end;
j=len_2+1;
i=len_1+1;
result_f2=zeros(max([len_1+1,len_2+1]));
for ll=1:min([len_2,len_1])
    [result_f2(i,j),n]=max([f_data2(i-1,j-1)+s(i,j) ,f_data2(i-1,j) ,f_data2(i,j-1)]);
    if(n==1)
        i=i-1;
        j=j-1;
    else
        if (n==2)
            i=i-1;
        else
            if (n==3)
                j=j-1;
            end;
        end;
    end;
end;
end;
F2=max(result_f2);
F2=max(F2);
F2=(F2+1)/max([len_1+1,len_2+1]);
len_1=length(feature1(:,1,1));
len_2=length(feature2(:,1,1));
f_data3=zeros(len_1+1,len_2+1);
s=zeros(len_1+1,len_2+1);
for j=2:len_2+1
    for i=2:len_1+1
        if (((feature1(i-1,3,k)<=feature2(j-1,3,k)+feature2(j-1,3,k)*0.3)&(feature1(i-
1,3,k)>=feature2(j-1,3,k)-feature2(j-1,3,k)*0.3))

```

```

        s(i,j)=1;
    end;
    f_data3(i,j)=max([f_data3(i-1,j-1)+s(i,j),f_data3(i-1,j),f_data3(i,j-1)]);
end;
end;
j=len_2+1;
i=len_1+1;
result_f3=zeros(max([len_1+1,len_2+1]));
for ll=1:min([len_2,len_1])
    [result_f3(i,j),n]=max([f_data3(i-1,j-1)+s(i,j) ,f_data3(i-1,j) ,f_data3(i,j-1)]);
    if(n==1)
        i=i-1;
        j=j-1;
    else
        if (n==2)
            i=i-1;
        else
            if (n==3)
                j=j-1;
            end;
        end;
    end;
end;
end;
F3=max(result_f3);
F3=max(F3);
F3=(F3+1)/max([len_1+1,len_2+1]);
final_match1=F1*w1+F2*w2+F3*w3;
final_match2=final_match2+final_match1;
end;
final_match2=final_match2/total_strokes;

```

```

final_match{match_ok}{1}=final_match2;
final_match{match_ok}{2}=filename;
disp(final_match{match_ok}{2});
disp(final_match{match_ok}{1});
path_name1=what(pwd);
File_match=fullfile(path_name1.path,filename);
load(File_match);
len_x=length(d1(:,1,1));
if len_x<=300
for j=1:300
    if d1(j,1,1)~=0
        len_x=j;
    end
end
end;
figure(all_files+100);
for plot_strokes=1:strokes
    plot(d1(1:len_x,1,plot_strokes),d1(1:len_x,2,plot_strokes),'');
end;
match_ok=match_ok+1;
end;
cd ..;
return;

```

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายเอกอมร สกุลวรรณวงศ์
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : ระบบตรวจสอบลายเซ็นแบบออนไลน์โดยใช้จุดเด่นเฉพาะที่แบบหลายจุด
 สาขาวิชา : เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

ประวัติ

เกิดเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2516 ที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 59/25 หมู่ 1 ต.นครปฐม อ.เมือง
 จ.นครปฐม รหัสไปรษณีย์ 73000

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จากสถาบันราชภัฏ
 นครปฐม ปีการศึกษา 2542

การทำงานปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ครู โรงเรียนวัดพระประโทนเจดีย์ อ.เมือง จ.นครปฐม