

ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ

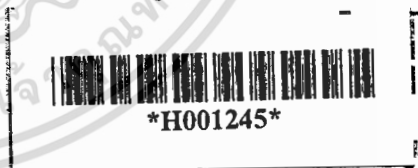
THE AUTOMATED FINGERPRINT IDENTIFICATION SYSTEM



พันตำรวจตรีบุญชัย ฤกษ์สา

POLICE MAJOR BOONCHAI LOUCHAISAI

วัน เดือน ปี.....	17 ก.ย. 2541
เลขทะเบียน.....	00035
เลขเรียกหนังสือ.....	พ.น.ร. 2540
"ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล."	



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2540

ISBN 974-621-861-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับครูใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปตีพิมพ์หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

THE AUTOMATED FINGERPRINT IDENTIFICATION SYSTEM



POLICE MAJOR BOONCHAI LOUCHAISA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

MASTER OF SCIENCE

(COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY)

SCHOOL OF GRADULATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1997
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ISBN 974-621-861-1
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ
นักศึกษา	พันตำรวจตรีบุญชัย ฤกษ์ยศธา
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	อาจารย์สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ
ภาควิชา	คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2540

บทคัดย่อ

เนื่องจากลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลจะแตกต่างกัน และไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดชีวิตทำให้สามารถนำมาใช้ในการตรวจพิสูจน์ยืนยันตัวบุคคลได้ ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการสืบสวนสอบสวนของเจ้าหน้าที่ตำรวจ และเพื่อให้การสนับสนุนกระทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ จึงมีการพัฒนาระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติขึ้นมาสำหรับไว้ใช้งานราชการของกรมตำรวจ โดยเริ่มจากการนำภาพพระคัมภีร์เทขาของลายนิ้วมือที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์ มาปรับให้มีคุณภาพดีขึ้นและเปลี่ยนเป็นภาพสองระดับตามหลักการของพีชชี แล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาจุดใจกลาง แกน และภาพบล็อกทิศทางของลายนิ้วมือ ป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีเรียนรู้แบบการแพร่ย้อนกลับเพื่อหารูปแบบของลายนิ้วมือ ซึ่งจะใช้เป็นดัชนีในการเลือกเพิ่มข้อมูลลายนิ้วมือในฐานข้อมูลที่มีรูปแบบเหมือนกันสำหรับนำมาตรวจเปรียบเทียบโดยวัดเป็นค่าคะแนนความเหมือนที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ของคุณลักษณะของลายนิ้วมือ ได้แก่ ประเภทของจุดลักษณะสำคัญพิเศษบนลายเส้นคือ จุดปลายและจุดแยก ทิศทางของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ และจำนวนเส้นของลายนิ้วมือระหว่างจุดลักษณะสำคัญพิเศษสองจุด เพื่อระบุยืนยันว่าเป็นลายนิ้วมือเดียวกันหรือไม่

Thesis Title	The Automated Fingerprint Identification System
Student	Pol.Maj.Boonchai Louchaisa
Thesis Advisor	Mr.Surasit Vannakrairojn
Level of Study	Master of Science (Computer Science and Information Technology)
Department	Mathematical and Computer Science Faculty of Science King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1997

Abstract

Due to the fact that each fingerprint is unique and not subject to change throughout a person's life, the Automated Fingerprint Identification System (AFIS) utilized in Thai Royal Police Department has been developed for convenient and rapid person identification. The process begins by improving the quality of the grey level image, to be converted to a binary image for better quality according to the principle of fuzzy. Then the binary fingerprint image is used to analyze the core point, axis and the directional image which is later registered to the Back Propagation Neural Network in order to find the pattern of the fingerprint. The final result is an index to select the same pattern of fingerprint, To compare and identify which criteria is the similarity score computed from the relationships. These include type of minutiae, ending point and bifurcation point, direction of minutia and the number of lines between two relational minutiae. These are used to determine whether or not they are from the same fingerprint.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ สำเร็จล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความเมตตากรุณาจาก ท่านอาจารย์สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและแนะนำผู้วิจัยตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ พลตำรวจตรีศักดิ์เลิศ วรรณสุต อดีตผู้บังคับการกองพิสูจน์หลักฐาน และข้าราชการตำรวจในสังกัดศูนย์ตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝง กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิชาการตำรวจ กรมตำรวจ ที่ให้การสนับสนุนและคำแนะนำต่างๆรวมทั้งความรู้เกี่ยวกับลายนิ้วมือ อันมีประโยชน์ต่อการวิจัยเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นที่ได้ช่วยเหลือและให้กำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ให้ในครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

บุญชัย ฤกษ์ยศ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....	3
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	4
2. ความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือ.....	6
2.2 ความรู้เกี่ยวกับพีชชี.....	11
2.3 ความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียม.....	20
2.4 ความรู้เกี่ยวกับการจดจำรูปแบบและการจำแนก.....	29
3. นิยามสำหรับการประมวลผลภาพลายนิ้วมือ.....	33
4. ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ.....	41
4.1 หน่วยประมวลผลที่ 1 รับภาพลายนิ้วมือ.....	47
4.2 หน่วยประมวลผลที่ 2 ปรับเปลี่ยนภาพ.....	47
4.3 หน่วยประมวลผลที่ 3 หารูปแบบและจุดใจกลาง.....	51
4.4 หน่วยประมวลผลที่ 4 หาจุดลักษณะสำคัญพิเศษ.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.5 หน่วยประมวลผลที่ 5 บันทึก.....	66
4.6 หน่วยประมวลผลที่ 6 ตรวจสอบ.....	67
5. การทดลองและผลการทดลอง.....	79
5.1 การปรับเปลี่ยนภาพที่ใช้หลักพีชคณิต.....	79
5.2 การหารูปแบบของถายนีวมือโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม.....	83
5.3 การหาจุดลักษณะสำคัญพิเศษ.....	89
5.4 การตรวจสอบเปรียบเทียบ.....	90
6. สรุปผลและแนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	92
เอกสารอ้างอิง.....	95
ภาคผนวก ก. คู่มือการใช้งานระบบตรวจถายนีวมืออัตโนมัติ.....	97
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	115
ประวัติผู้เขียน.....	121

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงค่าผลลัพธ์ของแต่ละหน่วยผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมหลังจาก การเรียนรู้.....	57
2. แสดงโครงสร้างของไฟลต์จวบจนลายเส้น.....	64
3. แสดงโครงสร้างไฟลต์ข้อมูลลายนิ้วมือ.....	66
4. แสดงโครงสร้างไฟลต์จุดลักษณะสำคัญพิเศษ.....	66
5. แสดงโครงสร้างไฟลต์คะแนนตรวจพิสูจน์.....	71
6. แสดงผลการจดจำรูปแบบลายนิ้วมือของภาพที่ถูกหมุนไปในทิศทางต่าง ๆ.....	89
7. แสดงผลการตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือของชุดที่ 1 โดยพิจารณางานวนรอยที่ ตรวจตรงและค่าคะแนนความเหมือนเฉลี่ย โดยการแยกตามลักษณะการพิมพ์ ของลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบและลำดับตรวจตรงที่ปรากฏ.....	91
8. แสดงผลการตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือของชุดที่ 2 โดยพิจารณาค่าคะแนน ความเหมือนเฉลี่ย โดยแยกตามลักษณะการพิมพ์ของลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบ..	91

สารบัญภาพ

	หน้า
1. แสดงภาพหลักฐานที่ได้จากเหตุการณ์คดีฆาตกรรม.....	1
2. แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบตรวจลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ.....	2
3. แสดงเส้นและจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือ.....	6
4. แสดงลายนิ้วมือแบบโค้ง.....	7
5. แสดงลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย.....	7
6. แสดงลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา.....	8
7. แสดงลายนิ้วมือแบบกั้นหอย.....	8
8. แสดงรอยลายนิ้วมือของฝาแฝด 2 คนที่เกิดจากไข่ใบเดียวกันซึ่งพบว่าไม่มีรอยลายนิ้วมือ คู่ใดที่มีจุดลักษณะสำคัญพิเศษตรงกัน ตั้งแต่ 10 จุดขึ้นไป.....	9
9. แสดงรอยลายนิ้วมือของบุคคลเมื่ออายุ 30 ปี และอายุ 61 ปี ซึ่งพบว่ามีจุดลักษณะสำคัญ พิเศษ ตรงกันทั้งหมดและ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ.....	10
10. แสดงการตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบลายนิ้วมือ 2 รอย ที่ตรงกันสามารถระบุได้ว่าเป็นลาย นิ้วมือของบุคคลคนเดียวกัน.....	10
11. แสดงเขตแบบปกติมีค่าความเป็นสมาชิก เพียง 1 หรือ 0.....	12
12. แสดงเขตแบบฟัซซีมีค่าความเป็นสมาชิก 0 ถึง 1.....	12
13. แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเส้นตรง.....	13
14. แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบรูปสามเหลี่ยม.....	14
15. แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบรูปสี่เหลี่ยมคางหมู.....	15
16. แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเส้นโค้งรูปตัวเอส.....	16
17. แสดงบล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองฟัซซีลอจิก.....	18
18. แสดงแบบจำลองของนิวรอน (Neuron).....	20
19. แสดงสถาปัตยกรรมของเพอร์เซปตรอนแบบหลายชั้น.....	22
20. (ก) แสดงแอกติเวชันฟังก์ชันแบบไบโพลาร์อินพุต.....	24
(ข) แสดงแอกติเวชันฟังก์ชันแบบเทรพโซลลลอจิก.....	24
(ค) แสดงแอกติเวชันฟังก์ชันแบบสมการเชิงเส้น.....	25
(ง) แสดงแอกติเวชันฟังก์ชันแบบซิกมอยด์.....	25

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
21. แสดงลักษณะของเลข 0-9 โดยการต่อจุดขนาน 4x5 จุดภาพ.....	30
22. แสดงขั้นตอนการหาตัวเลข.....	31
23. แสดงลักษณะการวัดความเหมือน.....	32
24. แสดงหน้าตาต่าง 3x3 ของ X(i,j).....	34
25. แสดงหน้าตาต่าง 3x3 ที่มี W[8] เป็นจุดขอบ.....	35
26. แสดงหน้าตาต่าง 3x3 ที่มี W[8] เป็นจุดมุม.....	35
27. แสดงรูปแบบย่อยของบล็อกทิศทาง.....	36
28. แสดงหาถายนิ้วมือระดับสี่เทาที่มีรูปแบบมัดหวายปิดซ้าย.....	37
29. แสดงภาพบล็อกทิศทางของถายนิ้วมือภาพที่ 28 บล็อกจุดควกกลับ (c) และบล็อก สันดอน (d).....	37
30. แสดงหน้าตาต่าง 3x3 ที่มี W[8] เป็นจุดปลายเส้น.....	38
31. แสดงหน้าตาต่าง 3x3 ที่มี [8] เป็นจุดบนเส้นแยก.....	38
32. แสดงจุดปลายเส้น (ก) และจุดบนเส้นแยก (ข).....	39
33. แสดงลักษณะของเส้นสั้น.....	40
34. แสดงลักษณะของเส้นกิ่ง.....	40
35. แสดงลักษณะของเส้นสะพาน.....	40
36. แสดงแผนภาพกระแสข้อมูลระดับสูงสุดของระบบตรวจถายนิ้วมืออัตโนมัติ.....	42
37. แสดงแผนภาพกระแสข้อมูลระดับแม่ของระบบตรวจถายนิ้วมืออัตโนมัติ.....	43
38. แสดงแผนภาพกระแสข้อมูลระดับลูกของหน่วยประมวลผลที่ 3.....	44
39. แสดงแผนภาพกระแสข้อมูลระดับลูกของหน่วยประมวลผลที่ 4.....	45
40. แสดงแผนภาพกระแสข้อมูลระดับลูกของหน่วยประมวลผลที่ 6.....	46
41. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับสี่เทา กับค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตความ สว่าง.....	48
42. แสดงการปรับค่าระดับความเป็นสมาชิก.....	49
43. แสดงภาพถายนิ้วมือระดับสี่เทา.....	50
44. แสดงภาพถายนิ้วมือสองระดับที่ได้จาก ภาพที่ 43 โดยใช้หลักของพีชชีเซต.....	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
45. แสดงรหัสการไหลของทิศทาง.....	52
46. แสดงการปรับแต่งรหัสการไหลของทิศทาง.....	52
47. แสดงการแบ่งเขต RO, R1, R2 และ R3.....	53
48. แสดง (ก) ภาพบล็อกทิศทางของถายนิ้วมือภาพที่ 28 และ (ข) ภาพบล็อกทิศทางสำหรับ ป้อนให้หน่วยข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของ ถายนิ้วมือ.....	54
49. แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในการจดจำ.....	55
50. แสดง (ก) ภาพบล็อกทิศทาง และ (ข) ค่าข้อมูลเข้าและค่าเป้าหมายของภาพบล็อกทิศ ทางของถายนิ้วมือแบบมัดควายปักช้ายสำหรับป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียม.....	56
51. แสดงบางส่วนของภาพถายนิ้วมือสองระดับที่จะหาโครงร่าง.....	59
52. แสดงขั้นตอนการลบความหนาของถายนิ้วมือสองระดับ.....	60
53. แสดงภาพถายนิ้วมือสองระดับที่จะหาโครงร่าง.....	61
54. แสดงภาพถายนิ้วมือสองระดับของภาพที่ 53 ภายหลังจากลบจุดขอบ.....	61
55. แสดงภาพถายนิ้วมือสองระดับของภาพที่ 55 ภายหลังจากลบจุดบนลายเส้นที่เหลือ.....	62
56. แสดงภาพถายนิ้วมือสองระดับของภาพที่ 56 ภายหลังจากลบจุดรบกวน.....	63
57. แสดงภาพถายนิ้วมือสองระดับของภาพที่ 57 ภายหลังจากเชื่อมต่อลายเส้น.....	63
59. แสดง (ก) จุดมุม (ข) จุดแยก, เส้นขนาน, เส้นร่องของถายนิ้วมือ.....	65
60. แสดงจุดลักษณะสำคัญพิเศษของถายนิ้วมือที่ระบบ AFIS ตรวจสอบได้.....	65
61. แสดงถายนิ้วมือที่ได้จากการพิมพ์แบบต่าง ๆ.....	68
62. แสดงภาพของถายนิ้วมือที่ใช้หาโครงสร้างแบบทรี.....	68
63. แสดงรูปแบบย่อยของถายนิ้วมือแบบต่าง ๆ.....	69
64. แสดงภาพถายนิ้วมือสองระดับในส่วนของหน้าต่างในภาพที่ 62.....	69
65. แสดงภาพถายนิ้วมือของภาพที่ 64 หลังการประมวลผล.....	70
66. (ก) แสดงภาพที่ 65 เมื่อแทนด้วยรูปแบบย่อยของถายนิ้วมือ (ข) โครงสร้างทรีของภาพ(ก).....	70

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
67. แสดงคุณภาพของลายนิ้วมือที่ได้จากพิมพ์แบบต่างๆ	
(ก) พิมพ์ค่อนข้างดี (ข) พิมพ์จาง (ค) พิมพ์ดำ (ง) พิมพ์เลอะ	79
68. แสดงภาพลายนิ้วมือที่ 67 (ก) ภาพหลังการประมวลผลแบบต่างๆ.....	80
69. แสดงภาพลายนิ้วมือที่ 67 (ข) ภาพหลังการประมวลผลแบบต่างๆ.....	81
70. แสดงภาพลายนิ้วมือที่ 67 (ค) ภาพหลังการประมวลผลแบบต่างๆ.....	81
71. แสดงภาพลายนิ้วมือที่ 67 (ง) ภาพหลังการประมวลผลแบบต่างๆ.....	82
72. แสดงภาพลายนิ้วมือและภาพบล็อกทิสทางลักษณะปกติ.....	83
73. แสดงภาพลายนิ้วมือและภาพบล็อกทิสทางของภาพที่ 72 เมื่อหมุน ไป 5 องศา.....	84
74. แสดงภาพลายนิ้วมือและภาพบล็อกทิสทางของภาพที่ 72 เมื่อหมุน ไป 15 องศา.....	85
75. แสดงภาพลายนิ้วมือและภาพบล็อกทิสทางของภาพที่ 72 เมื่อหมุน ไป 345 องศา.....	86
76. แสดงภาพลายนิ้วมือและภาพบล็อกทิสทางของภาพที่ 72 เมื่อหมุน ไป 355 องศา.....	87
77. แสดงภาพลายนิ้วมือแบบ โค้งและภาพบล็อกทิสทางที่ส่งให้โครงข่ายประสาทเทียม จดจำ โดยภาพ (ข) คือ ภาพ (ก) ที่หมุนไปเป็นมุม 15 องศา และเป็นภาพที่โครงข่าย ประสาทเทียมระบุผิดเป็นมัดคหวยปิดซ้าย.....	88
78. แสดงผลการวิเคราะห์จุดลักษณะสำคัญพิเศษ.....	89
79. แสดงภาพลายนิ้วมือที่ได้จากการพิมพ์ในแบบต่างๆ 4 แบบ.....	90
80. แสดงกรอบข้อความของคำสั่ง RUN ในไฟล์แมนเนเจอร์	99
81. แสดงจอภาพเริ่มต้นของโปรแกรมระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ	99
82. แสดงเมนูหลักของระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ	100
83. แสดงจอภาพเมนูย่อยของเมนู File	101
84. แสดงจอภาพเมนูย่อย Open Image	102
85. แสดงจอภาพเมนูย่อย List Database File	102
86. แสดงจอภาพเมนูย่อยของเมนู Processing	103
87. แสดงจอภาพเมนูย่อย Enhancement and Binarization	104
88. แสดงจอภาพเมนูย่อย Pattern Identify	105
89. แสดงจอภาพเมนูย่อย Furrow and Ridge Skeleton	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
90. แสดงจอภาพเมนูย่อย Get Minutia Data	106
91. แสดงจอภาพเมนูย่อย Verification	106
92. แสดงจอภาพเมนูย่อยของเมนู Tools	107
93. แสดงจอภาพเมนูย่อย Enlarge	108
94. แสดงจอภาพเมนูย่อย Negative Image	108
95. แสดงจอภาพเมนูย่อยของเมนู Experiment	109
96. แสดงจอภาพเมนูย่อย Delete Edge Point	110
97. แสดงจอภาพเมนูย่อย Delete Corner Point	111
98. แสดงจอภาพเมนูย่อย Delete Unsuitable Point	111
99. แสดงจอภาพเมนูย่อย Purge Noise	112
100. แสดงจอภาพเมนูย่อย Connect Ridge	112
101. แสดงจอภาพเมนูย่อย Initialize Weight	113
102. แสดงจอภาพเมนูย่อย Training Neural Network	114
103. แสดงจอภาพเมนู Help	115



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเมื่อเกิดคดีอาชญากรรม เช่นการลักทรัพย์ ปล้นทรัพย์ หรือฆาตกรรม สิ่งที่พบในสถานที่เกิดเหตุ ส่วนมากคือ ลายนิ้วมือ ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งสามารถใช้เป็นพยานหลักฐานในการหาตัวผู้กระทำความผิดได้



แสดงภาพหลักฐานที่ได้จากเหตุการณ์คดีลักทรัพย์

เนื่องจากลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลจะมีจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายเส้นเป็นเอกลักษณ์และไม่เปลี่ยนแปลงตลอดชีวิต ซึ่งแต่เดิมนั้นเมื่อมีคดีเกิดขึ้น และเมื่อเจ้าหน้าที่ตำรวจสามารถเก็บรอยลายนิ้วมือจากสถานที่เกิดเหตุได้แล้ว จะต้องรอให้มีการจับตัวผู้ต้องสงสัยมาพิมพ์ลายนิ้วมือก่อน จึงเริ่มการตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบว่าลายนิ้วมือที่เก็บได้จากสถานที่เกิดเหตุ จะตรงกันกับลายพิมพ์นิ้วมือของผู้ต้องสงสัยหรือไม่ ซึ่งจะเห็นว่าขั้นตอนการปฏิบัติงานตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือไม่ได้ช่วยในการสืบสวนสอบสวนหาตัวผู้กระทำความผิดเลย เป็นเพียงกระบวนการที่จะยืนยันว่าผู้ต้องสงสัยนั้น เป็นผู้กระทำความผิดจริงหรือไม่ จึงมีแนวความคิดว่า ทำไมไม่นำลายนิ้วมือที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุ ไปตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบกับแฟ้มลายนิ้วมือของบุคคลต่างๆ ของกรมตำรวจที่เก็บไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วในการตรวจพิสูจน์แบบนี้ นั้น จะต้องใช้งบประมาณ เวลา และบุคลากรจำนวนมากเพื่อตรวจเปรียบเทียบในแต่ละคดีที่เกิดขึ้น จึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มีการนำเอาระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการเก็บและตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือ เพื่อความ สะดวก รวดเร็วและถูกต้อง แต่ปัญหาที่พบของเครื่องคอมพิวเตอร์ตรวจลายนิ้วมือของกรมตำรวจ ในปัจจุบัน คือ การที่ยังต้องให้ผู้ปฏิบัติการกำหนดรูปแบบของลายนิ้วมือ ว่าเป็นแบบใด เช่น เป็น แบบโค้ง, ก้นหอย, หรือมัดหอย รวมไปถึงการกำหนดจุดจุดกลาง, แกนของลายนิ้วมือ และ บริเวณของลายนิ้วมือ ซึ่งข้อกำหนดต่างๆ ถ้าผู้บันทึกลายนิ้วมือ กับผู้ตรวจสอบลายนิ้วมือ กำหนด ไม่ตรงกัน ก็จะเกิดความผิดพลาดในการตรวจพิสูจน์ได้ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในส่วน ของ ปริมาณงานที่สามารถส่งตรวจเปรียบเทียบได้น้อยกว่าคดีที่เกิดขึ้นมาก และระบบคอมพิวเตอร์ที่ นำมาใช้เป็นระดับ คอมพิวเตอร์เวิร์กสเตชันขึ้นไปจนถึงคอมพิวเตอร์เมนเฟรม ซึ่งมีราคาแพง มากและยังมีลิขสิทธิ์เกี่ยวกับ ซอฟต์แวร์ ทำให้การพัฒนา การแก้ปัญหา ตลอดจนการบำรุงรักษา ระบบกระทำได้ยากและมีอุปสรรคมาก จะต้องพึ่งพาผู้สร้างระบบตลอดไป

ภาพที่ 2



แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบตรวจลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงได้มุ่งเน้นในการพัฒนา และสร้างระบบตรวจเปรียบเทียบลายนิ้ว มือ ดังแสดงในภาพที่ 2 บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ภายใต้อาคารแวดล้อมของระบบปฏิบัติการ วินโดวส์ ซึ่งสามารถจัดหาได้ง่าย มีราคาถูกและมีบุคลากรจำนวนมาก ที่มีความรู้ ความสามารถ ในการใช้เครื่อง การบำรุงรักษาและการพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพดีมากยิ่งขึ้น เพื่อให้สถานี ตำรวจต่างๆ สามารถจัดซื้อจัดหาและนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ในการป้องกันและปราบปรามผู้ กระทำความผิด ก่อให้เกิดความสงบสุขเรียบร้อยของสังคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

ผลงานวิจัยเกี่ยวกับการประมวลผลลายนิ้วมือ ที่มีการพัฒนาในประเทศไทย ได้มีนักวิจัย ผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่านทำการศึกษาค้นคว้าไว้ ซึ่งจะยกตัวอย่างพอสังเขปได้ดังนี้

1.2.1 ผลงานวิจัยของ รศ.ดร.ครรชิต ไมตรี , รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ และนายสุรพันธ์ เอื้อไพบุลย์ “เรื่องระบบเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ” ^[1] ซึ่งได้นำเสนอระบบตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติที่ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น คือ Smoothing , Noise detection , Binarization และ Branch cutting

ส่วนที่ 2 Feature Extraction คือ Fast Thinning , กราฟแสดง Type และ Histogram

ส่วนที่ 3 Type Recognition คือ การใช้กราฟมาตรฐานต่างๆในการแยกแยะแบบของลายนิ้วมือ

ส่วนที่ 4 Matching คือ การ matching จุดสำคัญโดยวิธี interaction

1.2.2 ผลงานวิจัย ของ อรุณ กำเหนิดินนท์ , มังฆวาน จันทร์กอสย และ เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ “การจดจำลายนิ้วมือโดยวิธีเข้าหาระบบทรี” ^[2] ซึ่งได้นำเสนอวิธีค้นหารายละเอียดเล็กๆที่อยู่บนลายนิ้วมือ เช่น จุดปลายและจุดแยกของลายในแต่ละส่วนที่กำหนดไว้ มาสร้างเป็นไวยากรณ์ทรี และจัดเก็บไวยากรณ์ทรี ไว้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบ

1.2.3 ผลงานวิจัยของ เกรียงไกร ไชวเจริญสุข และ รศ.ดร.ครรชิต ไมตรี “ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติโดยใช้โครงข่ายนิเวศเพื่อประโยชน์การนำมาควบคุมอุปกรณ์” ^[3] ซึ่งได้นำเสนอการจดจำภาพลายนิ้วมือโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบการแพร่กลับ ซึ่งมีหน่วยรับข้อมูล 257 หน่วย หน่วยซ่อนเร้น 200 หน่วย และหน่วยผลลัพธ์ 1 หน่วย ข้อมูลที่ใช้เรียนรู้และตรวจสอบจะเป็นภาพทิศทาง ซึ่งแปลงมาจากสัญญาณภาพลายนิ้วมือจากกล้องวีดีโอ

1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1. เพื่อศึกษาอัลกอริทึมที่เหมาะสมในการปรับคุณภาพของลายนิ้วมือ

1.3.2. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือ

1.3.3. เพื่อศึกษาอัลกอริทึมในการหาจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือและข้อมูลต่างๆที่ใช้สำหรับการตรวจเปรียบเทียบ

1.3.4. เพื่อศึกษาอัลกอริทึมที่ใช้ในการเปรียบเทียบลายนิ้วมือ 2 รอย ว่าเป็นลายนิ้วมือเดียวกันหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.5. เพื่อนำความรู้ที่ได้ศึกษามาทั้งหมด พัฒนาเป็นระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ สำหรับตรวจพิสูจน์ยืนยันตัวตนบุคคล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ สำหรับเก็บประวัติ ลายนิ้วมือและตรวจพิสูจน์ยืนยันตัวตนบุคคล

1.4.2. เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือ ในคดีอาชญากรรม ให้ได้รับผลการตรวจพิสูจน์ที่รวดเร็วและทันต่อเหตุการณ์

1.4.3. เพิ่มประสิทธิภาพให้กับตำรวจ ในการสืบสวนสอบสวนหาตัวผู้กระทำความผิด มาดำเนินคดี และเป็นการป้องปรามอาชญากรรม ทำให้ประชาชนได้รับความคุ้มครองในชีวิต และทรัพย์สินเพิ่มมากขึ้น

1.4.4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยต่างๆ สำหรับการจำแนกตัวบุคคลได้

1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย 5 ส่วน คือ

บทที่ 1 บทนำ ซึ่งได้แก่บทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่จะต้องทำงานวิจัยในเรื่องนี้ ผลงานวิจัยเกี่ยวกับลายนิ้วมือที่มีการพัฒนาในประเทศไทยที่ผ่านมา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 ความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะกล่าวถึง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือ ฟิชเชอร์เซต โครงข่ายประสาทเทียม และหลักการจดจำรูปแบบและการจำแนก

บทที่ 3 นิยามสำหรับการประมวลผลภาพลายนิ้วมือ

บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการออกแบบระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ ซึ่งประกอบด้วย การปรับคุณภาพลายนิ้วมือโดยใช้หลักของฟิชเชอร์ การหาโครงร่างของลายนิ้วมือ การวิเคราะห์รูปแบบของลายนิ้วมือโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และกรรมวิธีการตรวจเปรียบเทียบ

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 6 สรุปผล และแนวทางการพัฒนาในอนาคต

บทที่ 2

ความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันหน่วยงานตรวจลายพิมพ์นิ้วมือ เพื่อยืนยันตัวบุคคลของกรมตำรวจ มีเพียงหน่วยงานเดียวคือศูนย์ตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝง กองพิสูจน์หลักฐาน ซึ่งในปัจจุบันมีผู้ชำนาญด้านลายนิ้วมือ จำนวนไม่ถึง 20 คน ต้องตรวจพิสูจน์งานด้านลายนิ้วมือจำนวนมากที่พนักงานสอบสวนส่งมาจากทั่วประเทศ และจำนวนลายนิ้วมือที่ต้องสงสัยที่จะใช้ตรวจเปรียบเทียบกับลายนิ้วมือในสถานที่เกิดเหตุในแต่ละคดี ก็มีแนวโน้มจำนวนมากขึ้นด้วยตามความเจริญก้าวหน้าทางเศรษฐกิจที่มีกิจการหรือโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้น ทำให้การปฏิบัติงานไม่อาจตอบสนองต่อความต้องการของพนักงานสอบสวนได้ ทั้งในด้านเวลาและปริมาณงาน ส่งผลให้การตรวจพิสูจน์ล่าช้าไม่ทันกับปัจจุบันอยู่เรื่อยๆ ถึงแม้ว่ากรมตำรวจจะได้นำเอาระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยแล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายด้าน จึงเป็นการบรรเทาปัญหาต่างๆ ได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติขึ้นมาเพื่อที่จะสามารถบอกได้ว่าเจ้าของลายนิ้วมือนั้นคือผู้ใด มีประวัติอย่างไร ซึ่งจะต้องใช้ความรู้และวิชาการจากหลายๆ ด้าน เช่น ความรู้เกี่ยวกับลายนิ้วมือ ว่ามีการจำแนกหรือจัดแบ่งเป็นกี่ชนิด มีคุณลักษณะอะไรของลายนิ้วมือที่จะใช้ในการยืนยันว่าลายนิ้วมือ 2 รอยเป็นลายนิ้วมือเดียวกัน จะมีขั้นตอนการดำเนินการอย่างไร ที่จะนำลายนิ้วมือนี้เข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ จากการศึกษาวิจัยพบว่า การที่จะนำภาพลายนิ้วมือเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์วิธีที่ง่ายๆ และสามารถจัดหาอุปกรณ์ได้สะดวกก็คือ การรับภาพโดยใช้เครื่องสแกนเนอร์ให้อยู่ในภาพระดับสีเทา แล้วจึงหาวิธีการที่เหมาะสมทำการเปลี่ยนให้เป็นภาพสองระดับ การที่เราไม่รับภาพสองระดับจากเครื่องสแกนเนอร์โดยตรง เนื่องจากเราพบว่าจะมีรายละเอียดบางส่วนของลายนิ้วมือสูญหายไป หรือได้บางส่วนที่ไม่ถูกต้องเพิ่มเข้ามา จากนั้นจึงนำภาพลายนิ้วมือสองระดับมาดำเนินการสองขั้นตอน ดังต่อไปนี้คือ การประมวลผลหารูปแบบของลายนิ้วมือ เพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มของลายนิ้วมือที่จะนำมาตรวจเปรียบเทียบ และการประมวลผลหาคุณลักษณะของลายนิ้วมือที่จะใช้ยืนยันว่าลายนิ้วมือที่นำมาเปรียบเทียบกันนั้นจะมีความเหมือนกันมากน้อยเพียงใด ดังนั้นในบทนี้จึงได้นำเสนอความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือ ความรู้เกี่ยวกับพืชซึ่งจะนำมาเปลี่ยนภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพสองระดับ ความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมที่จะนำมาหา

รูปแบบของลายนิ้วมือ และความรู้เกี่ยวกับวิธีการจดจำและการจำแนกที่จะเป็นพื้นฐานในการหา อัลกอริทึมสำหรับตรวจเปรียบเทียบยืนยันความเหมือนกันของลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบ

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือ

ลายนิ้วมือของบุคคล ประกอบด้วยเส้นนูน (ridges) และเส้นร่องหรือรอยร่อง (furrows) ทั้งสองเส้นนี้ จะอยู่สลับกันไปตลอด มีขนาดความกว้างคงที่เสมอ ประมาณ 0.2-0.4 มิลลิเมตร นอกจากนี้ในลายเส้น ยังมีจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (minutiae) ของลายนิ้วมือ 2 แบบ คือ จุดปลาย (ending point) และจุดแยก (bifurcation point) ดังภาพที่ 3



ลักษณะรูปแบบลายเส้น ของลายนิ้วมือ (Fingerprint Pattern) สามารถจำแนกได้ 3 แบบ คือ

1.) ลายนิ้วมือแบบโค้ง (Arch, A) คือ ลักษณะของลายเส้นในลายนิ้วมือที่ตั้งต้นจากขอบ เล็บข้างหนึ่ง แล้ววิ่งหรือไหลออกไปอีกข้างหนึ่ง ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4



แสดงลายนิ้วมือแบบ โค้ง

2.) ลายนิ้วมือแบบมัดหวาย (Loop) คือ ลักษณะของลายเส้นในลายนิ้วมือที่มีเส้นวกกลับที่สมบูรณ์ อย่างน้อย 1 เส้น ถ้าปิดปลายไปทางซ้ายมือ เรียกว่า ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย (Left Slant Loop, L) ดังภาพที่ 5 หรือ ถ้าปิดปลายไปทางขวามือ เรียกว่า ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา (Right Slant Loop, R) ดังภาพที่ 6

ภาพที่ 5



แสดงลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 6



แสดงลายนิ้วมือแบบมัดหอยปิดขวา

3.) ลายนิ้วมือแบบก้นหอย (Whorl, W) คือ ลักษณะของลายเส้นในลายนิ้วมือที่มีเส้นเวียนรอบเป็นวงจร ซึ่งวงจรมีลักษณะเหมือนลานนาฬิกา, รูปไข่, วงกลม หรือลักษณะอื่นๆ ดังภาพที่ 7

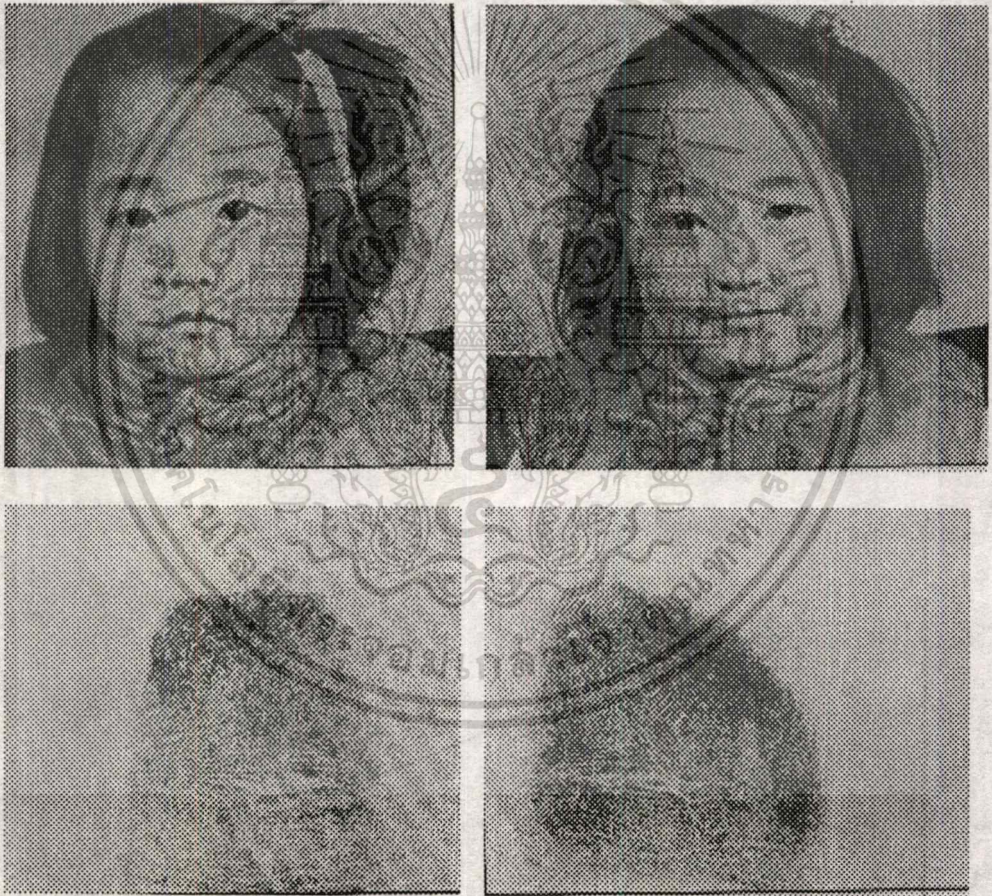
ภาพที่ 7



แสดงลายนิ้วมือแบบก้นหอย

ลายนิ้วมือ ถือว่าเป็นพยานหลักฐานที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์ยืนยันตัวบุคคล เนื่องจากแต่ละบุคคล จะมีจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแตกต่างกัน และไม่เปลี่ยนแปลงตลอดชีวิต ดังภาพที่ 8 และ 9 โดยปกติแล้วลายนิ้วมือ 1 นิ้วจะมีจุดลักษณะสำคัญพิเศษ ประมาณ 50-80 จุด แต่สำหรับกระบวนการยุติธรรมของประเทศไทย ถือว่า ถ้ามีจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือ 2 รอยตรงกันตั้งแต่ 10 จุดขึ้นไป จะถือว่าเป็นรอยลายนิ้วมือของบุคคลคนเดียวกัน ดังภาพที่ 10 การตรงกันของจุดลักษณะสำคัญพิเศษหมายถึงจำนวนเส้นลายนิ้วมือระหว่างจุด 2 จุดใดๆ จะเท่ากันทั้งหมด

ภาพที่ 8



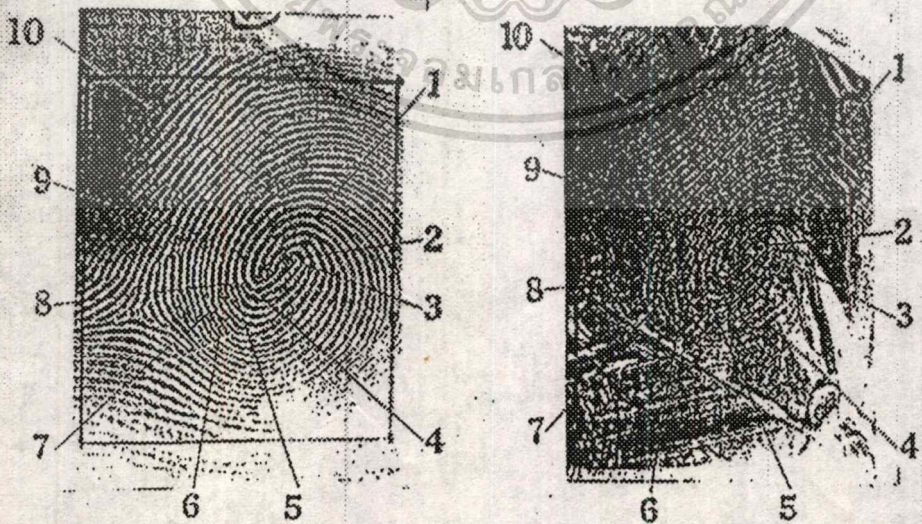
แสดงรอยลายนิ้วมือของฝาแฝด 2 คนที่เกิดจากไข่ใบเดียวกัน ซึ่งพบว่าไม่มีรอยลายนิ้วมือคู่ใดที่มีจุดลักษณะสำคัญพิเศษ ตรงกัน ตั้งแต่ 10 จุดขึ้นไป

ภาพที่ 9



แสดงรอยลายนิ้วมือของบุคคลเมื่ออายุ 30 ปี (บน) และอายุ 61 ปี (ล่าง) ซึ่งพบว่า มีจุดลักษณะสำคัญพิเศษ ตรงกันทั้งหมดและไม่มีเปลี่ยนแปลงใดๆ

ภาพที่ 10



แสดงการตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบลายนิ้วมือ 2 รอย ที่ตรงกัน สามารถระบุได้ว่าเป็นลายนิ้วมือของบุคคลคนเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความรู้เกี่ยวกับฟัซซี่¹⁴

ฟัซซี่ประกอบด้วยฟัซซี่เซต (Fuzzy set) และฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic) ซึ่งเป็นความรู้ที่ทำให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการเรียนรู้และปรับตัวเองให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจาก มีลักษณะของความไม่แน่นอนอยู่ เช่น ปานกลาง (Moderate), มาก (very), เล็กน้อย (Slightly), ค่อนข้างจะ (Extremely), ประมาณ (About), ไม่น่าจะ (Unlikely), และโดยปกติ (Usually) เป็นต้น คำต่าง ๆ เหล่านี้มักจะเป็นคำที่ใช้เพื่ออธิบายความรู้หรือกฎเกณฑ์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา หรือแม้แต่คำว่า ต่ำ (Low) ก็อาจจะมีความไม่แน่นอน ในแง่ขอบเขตที่ไม่อาจจะชี้ชัดว่า ค่าตัวเลขเท่าไร ควรจะเป็นค่าต่ำ

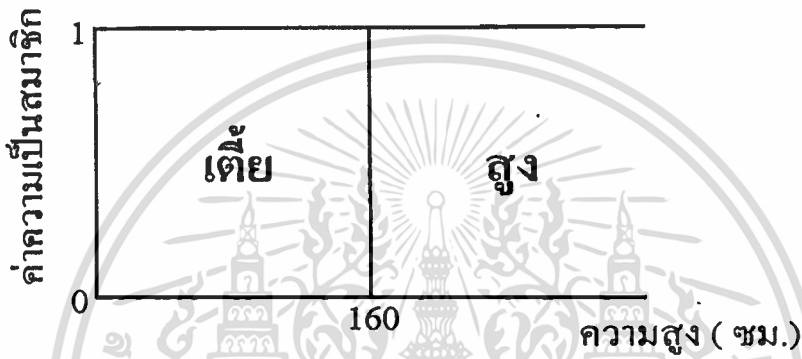
ฟัซซี่เซต มีลักษณะแตกต่างจากเซตแบบปกติ (Crisp Set) โดยเซตแบบปกติจะให้ค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่าเท่านั้นคือ จริง หรือ เท็จ (เช่น ถามว่า ข้อมูลตัวหนึ่งเป็นสมาชิกของเซตหนึ่งหรือไม่ คำตอบของคำถามนี้เป็นได้เพียงจริงหรือเท็จเท่านั้น) ส่วนฟัซซี่เซตนั้น ได้เสนอวิธีการที่ฉีกแนวออกไป กล่าวคือ ค่าความเป็นสมาชิกในเซตแบบฟัซซี่ไม่จำเป็นต้องเป็นเพียงจริงหรือเท็จเท่านั้น อาจจะเป็นค่าที่มีความกำกวมแฝงอยู่ แทนที่ค่าความเป็นสมาชิกจะเป็นเพียงหนึ่งในสองค่าที่เป็นไปได้ นั้นอาจจะทำให้เลือกมากกว่าสองค่าได้ ดังนั้นพื้นฐานของฟัซซี่จึงมีลักษณะที่เรียกว่า เป็นลอจิกแบบหลายค่า (Multi - Valued Logic) แทนที่จะเป็นเพียงลอจิกแบบสองค่า (Two - Valued Logic) กล่าวคือ คำตอบของคำถามต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ในฐานความรู้แบบฟัซซี่ไม่จำเป็นต้องมีค่าเพียงเท็จ (0) หรือ จริง (1) เท่านั้น แต่อาจจะมีค่าเป็นตัวเลขใด ๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 1 นั้นเอง

ลองพิจารณาตัวอย่างในลอจิกแบบปกติ (หรือเซตแบบปกติ) เพื่อที่จะกล่าวว่า ใครคนหนึ่งสูง หรือเตี้ย เราจำเป็นจะต้องมีเกณฑ์วัดที่แน่นอน เพื่อที่คำตอบของคำถาม (หรือคำตอบของคำถามที่กล่าวถึง) จะได้มีค่าเป็นจริงหรือเท็จเท่านั้น เช่นอาจจะกำหนดว่าถ้าใครสูงเท่ากับหรือเกิน 160 เซนติเมตร ถือว่าคน ๆ นั้นสูง ถ้าใครคนนั้นความสูงน้อยกว่า 160 เซนติเมตร ถือว่าคนนั้นไม่สูง (เตี้ย) ถ้ากล่าวกันในภาษาของเซตก็คือ ทุกคนที่มีความสูงเท่ากับหรือมากกว่า 160 เซนติเมตร จะเป็นสมาชิกในเซตคนสูง มิฉะนั้นแล้วก็จะอยู่ในเซตคนไม่สูง (เซตคนเตี้ย) ภาพที่ 11 เป็นกราฟที่แสดงดีกรีของการเป็นสมาชิกในเซตเทียบกับส่วนสูง สังเกตว่า ส่วนสูงแต่ละค่าจะมีดีกรีของการเป็นสมาชิกในเซตสูง หรือเตี้ยได้เพียงหนึ่งในสองค่า คือ 0 (เท็จ) หรือ 1 (จริง) เท่านั้น

ในโลกของความเป็นจริงนั้น บ่อยครั้งที่ความไม่แน่ใจ หรือความไม่แน่นอนของสถานการณ์บีบบังคับเราให้มีการตัดสินใจที่คลุมเครือ เส้นขอบบางอย่างอาจจะไม่ใช่ขาวหรือดำที่ชัดเจน เช่นคนที่มีส่วนสูงเท่ากับ 165 เซนติเมตร อาจจะเป็นคนที่เราคิดว่าเขาเป็นคนที่ไม่เตี้ยแต่

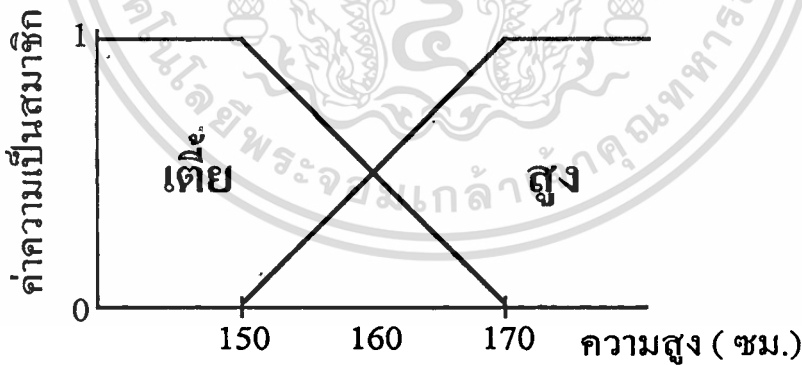
เป็นคนที่ค่อนข้างสูงเป็นต้น ฟัชชีเซตเสนอแนวทางที่จะแทนลักษณะความกำกวมนี้ โดยแสดงในรูปของฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) ที่มีค่าอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 0 ถึง 1 ภาพที่ 12 แสดงฟังก์ชันสมาชิกของฟัชชีเซตสูงและเตี้ย ให้สังเกตว่าคนที่มีความสูง 160 เซนติเมตร จะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตสูงและในเซตเตี้ยเท่ากัน คือ 0.5 ส่วนความสูง 165 เซนติเมตร มีค่าความเป็นสมาชิกในเซตสูงเท่ากับ 0.75 และค่าความเป็นสมาชิกในเซตเตี้ยเท่ากับ 0.25 เป็นต้น

ภาพที่ 11



แสดงเซตแบบปกติ มีค่าความเป็นสมาชิก เพียง 1 (จริง) หรือ 0 (เท็จ)

ภาพที่ 12



แสดงเซตแบบฟัชชีมีค่าความเป็นสมาชิก 0 ถึง 1

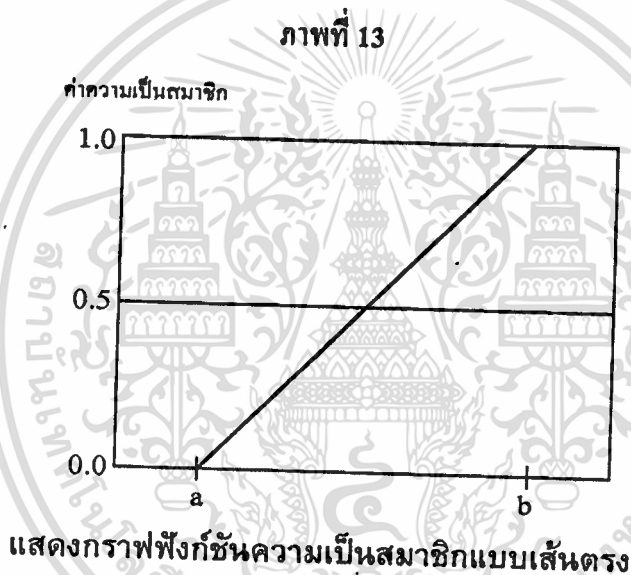
2.2.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก หรือฟังก์ชันคุณลักษณะ เป็นฟังก์ชันที่ถูกกำหนดขึ้นตามค่าจำกัดความของเทอมเซต เพื่อที่จะใช้ในการประมาณค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเซต ซึ่งมีแบบต่าง ๆ ดังนี้

1.) สมการเชิงเส้น

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสมการเชิงเส้นที่ใช้ในแปลงค่าความสัมพัทธ์ของโดเมนไปยังเรนจ์สำหรับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น ดังสมการที่ 2.1

$$\mu_A(X_i) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}(X_i - a) & ; a \leq X_i \leq b \\ 1 & ; X_i > b \\ 0 & ; X_i < a \end{cases} \quad (2.1)$$



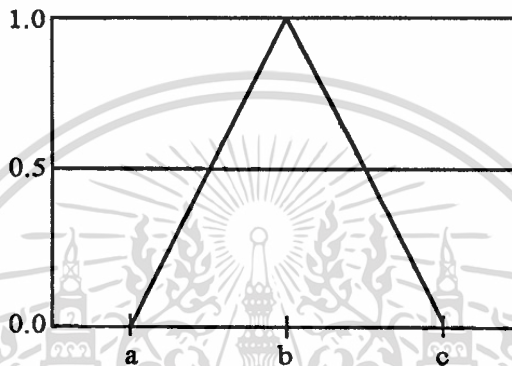
2.) รูปสามเหลี่ยม

การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยใช้รูปสามเหลี่ยม นิยมใช้กันมากในระบบควบคุมที่ใช้พีซีเซต เทอมเซตที่กำหนดโดยฟังก์ชันนี้จะต้องมีค่าที่เหมาะสมที่สุดอยู่เพียงค่าเดียวที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับหนึ่ง ส่วนค่าอื่น ๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกลดลงเรื่อย ๆ เมื่อขีงห่างจากค่านี้มากขึ้น ในตัวอย่างของตัวแปรความสูง เทอมเซต “ปานกลาง” มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยม ถ้ากำหนดให้ $a \leq b \leq c$ เมื่อ a , b , และ c เป็นเลขจำนวนจริงใด ๆ ดังนั้นสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของรูปสามเหลี่ยมสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}(x_i - a) & ; a \leq x_i \leq b \cap a \neq b \\ \frac{1}{c-b}(c - x_i) & ; b < x_i \leq c \cap b \neq c \\ 0 & ; x < a \cap x > c \end{cases} \quad (2.2)$$

ภาพที่ 14

ค่าความเป็นสมาชิก



แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบรูปสามเหลี่ยม

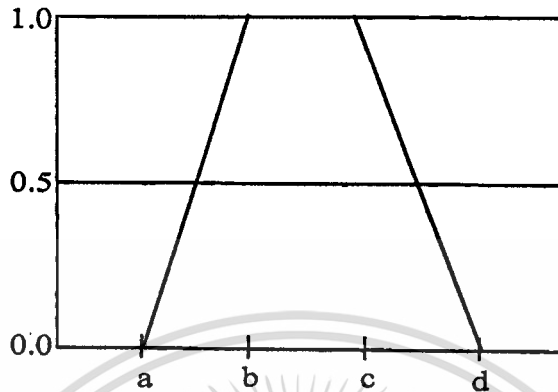
3.) รูปสี่เหลี่ยมคางหมู

สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยสมการรูปสี่เหลี่ยมคางหมู นิยมใช้ในระบบควบคุมที่ใช้ฟuzzyเซตเช่นกัน แต่จะพบน้อยกว่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยสมการรูปสามเหลี่ยม ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่จะกำหนดด้วยสมการรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจะต้องมีช่วงของค่าที่เหมาะสมมากที่สุดอยู่กลุ่มหนึ่งที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซตนั้น ๆ มีค่าเท่ากับหนึ่ง นอกจากนั้น จะมีค่าความเป็นสมาชิกน้อยลงเรื่อย ๆ เมื่อขยับห่างจากข้อมูลกลุ่มนี้ ถ้ากำหนดให้ $a \leq b \leq c \leq d$ เมื่อ $a, b, c,$ และ d เป็นเลขจำนวนจริงใด ๆ ดังนั้นสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของรูปสี่เหลี่ยมคางหมูสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}(x_i - a) & ; a \leq x_i \leq b \cap a \neq b \\ 1 & ; b < x_i \leq c \\ \frac{1}{d-c}(d - x_i) & ; c < x_i \leq d \cap c \neq d \\ 0 & ; x_i < a \cap x_i > d \end{cases} \quad (2.3)$$

ภาพที่ 15

ค่าความเป็นสมาชิก



แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

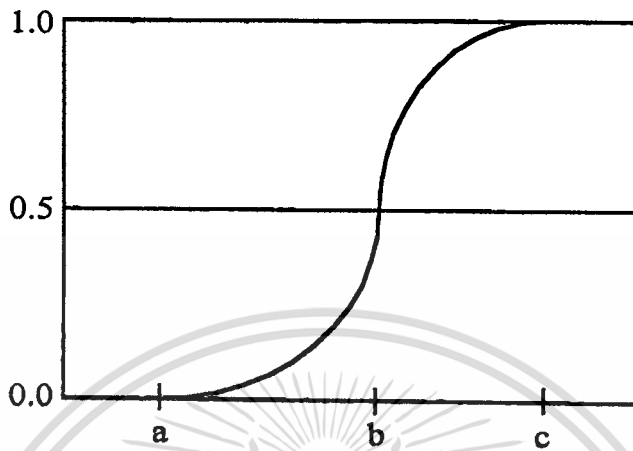
4.) เส้นโค้งรูปตัว S

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยเส้นโค้งรูปตัว S (S-Curve, Sigmoid หรือ Logistic) เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างโดเมนไปยังเรนจ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวแปรที่เหมาะสมที่จะใช้ฟังก์ชันนี้คือพวกอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ตัวแปรส่วนใหญ่ที่ใช้ในทางทฤษฎีประมวลผลภาพ เป็นต้น ซึ่งตัวแปรพวกนี้มักจะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นที่เป็นรูปตัว S หรือ S^{-1} ถ้ากำหนดให้ $a \leq b \leq c$ เมื่อ a , b , และ c เป็นเลขจำนวนจริงใด ๆ ดังนั้นสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเส้นโค้งรูปตัว S สามารถกำหนดได้ดังสมการที่ (2.4) และ S^{-1} สามารถคำนวณได้โดยหาค่าคอมพลิเมนต์ของสมการที่ (2.4) ($S^{-1} = 1 - \mu_A(x_i)$) โดยที่ $\mu_A(x_i)$ ได้จากสมการที่ (2.4)

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} 0 & ; x_i \leq a \\ 2\left(\frac{x_i - a}{c - a}\right)^2 & ; a < x_i \leq b \\ 1 - 2\left(\frac{x_i - a}{c - a}\right)^2 & ; b < x_i \leq c \\ 1 & ; x_i > c \end{cases} \quad (2.4)$$

ภาพที่ 16

ค่าความเป็นสมาชิก



แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเส้นโค้งรูปตัวเอส (S)

2.2.2 ตัวดำเนินการพีชชีเซต

ตัวดำเนินการของพีชชีเซตส่วนใหญ่แล้วจะมีตัวดำเนินการคล้ายกับเซตธรรมดา เช่น อินเตอร์เซกชัน, ยูเนียน, คอมพลีเมนต์ เป็นต้น ซึ่งตัวดำเนินการเหล่านี้จะใช้ในการอนุมานพีชชีเซตเพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจ โดยการประมาณค่าของตัวแปร ในที่นี้เราจะเสนอตัวดำเนินการของพีชชีเซตบางส่วนเฉพาะที่ใช้ในแบบจำลองการตัดสินใจของระบบควบคุม โดยใช้พีชชีเซตเท่านั้น

กำหนดให้ U เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์ A, B เป็นเทอมเซตใด ๆ ที่อยู่ใน U และตัวดำเนินการพื้นฐานต่าง ๆ สามารถกำหนดได้ดังนี้

1.) เซตย่อย

A เป็นเซตย่อยของ B ($A \subseteq B$) ก็ต่อเมื่อ

$$\mu_A(x_i) \leq \mu_B(x_i); \forall x_i \in U \quad (2.5)$$

2.) คอมพลีเมนต์

A เป็นคอมพลีเมนต์ของ B ($A=B'$) ก็ต่อเมื่อ

$$\mu_A(x_i) = \mu_{B'}(x_i) = 1 - \mu_B(x_i); \forall x_i \in U \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) อินเตอร์เซกชันของ A และ B ($A \cap B$) กำหนดได้โดย

$$\mu_{A \cap B}(x_i) = \text{Min}(\mu_A(x_i), \mu_B(x_i)); \forall x_i \in U \quad (2.7)$$

4.) ยูเนียนของ A กับ B ($A \cup B$) กำหนดได้โดย

$$\mu_{A \cup B}(x_i) = \text{Max}(\mu_A(x_i), \mu_B(x_i)); \forall x_i \in U \quad (2.8)$$

5.) A ยกกำลังด้วยค่า α (A^α) กำหนดได้โดย

$$\mu_{A^\alpha}(x_i) = (\mu_A(x_i))^\alpha; \forall x_i \in U \quad (2.9)$$

6.) Concentration ของเซต A กำหนดได้โดย

$$\text{CON}(A) \Rightarrow \mu_{\text{CON}(A)}(x_i) = (\mu_A(x_i))^2; \forall x_i \in U \quad (2.10)$$

7.) Dilation ของเซต A กำหนดได้โดย

$$\text{DIL}(A) \Rightarrow \mu_{\text{DIL}(A)}(x_i) = (\mu_A(x_i))^{0.5}; \forall x_i \in U \quad (2.11)$$

8.) Contrast Intensification ของเซต A ($\text{INT}(A)$) กำหนดได้โดย

$$\text{INT}(A) \Rightarrow \mu_{\text{INT}(A)}(x_i) = \begin{cases} 2(\mu_A(x_i))^2 & ; 0 \leq \mu_A(x_i) \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - \mu_A(x_i))^2 & ; 0.5 < \mu_A(x_i) \leq 1 \end{cases} \quad (2.12)$$

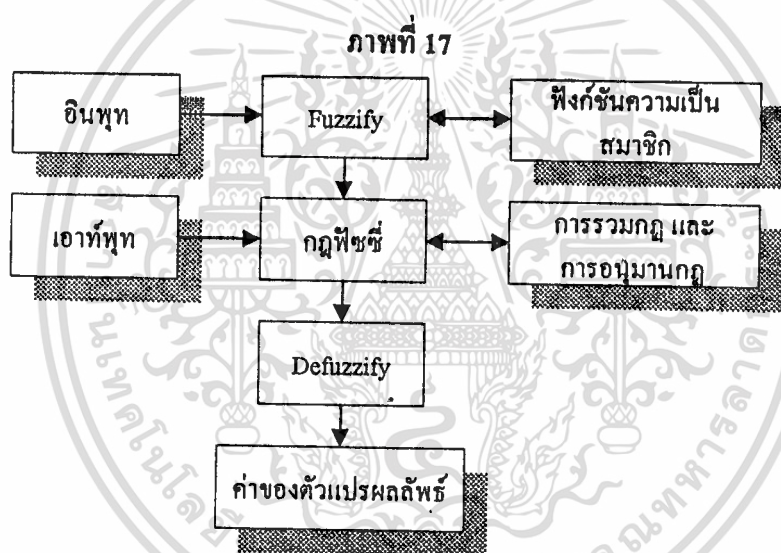
2.2.3 ส่วนขยายของฟัซซีเซต

ส่วนขยาย (Hedge) ของฟัซซีเซตจะมีคุณสมบัติคล้ายกับคำคุณศัพท์ในประโยคที่เราใช้พูดคุยติดต่อกัน ซึ่งจะขยายให้มีใจความของประโยคให้ได้ความหมายที่ชัดเจนยิ่งขึ้น หรือทำให้ความหมายเปลี่ยนไป สำหรับส่วนขยายของฟัซซีเซตนั้นจะขยายเทอมเซตของตัวแปรฟัซซีเซต เพื่อให้การประมาณค่าของตัวแปรมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เมื่อขยายเทอมเซตใดด้วยส่วนขยาย จะส่งผลให้รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเทอมเซตนั้น ๆ เปลี่ยนไปและในบางกรณีอาจจะทำให้ได้เทอมเซตใหม่ขึ้นมา ส่วนขยายแต่ละตัวจะเป็นตัวดำเนินการของฟัซซีเซต เช่น ส่วนขยายคำว่า “มาก” ซึ่งเมื่อนำไปขยายเทอมเซตใด แสดงว่าค่อนข้างจะแน่ใจว่าข้อมูลของ

เทอมเซตนั้นต้องการความถูกต้องสูง ดังนั้นตัวดำเนินการที่ใช้แทนส่วนขยายคำว่า “มาก” จึงต้องใช้ตัวดำเนินการที่ลดค่าระดับความเป็นสมาชิกลงมา เช่น ตัวดำเนินการ Concentration เพื่อให้แน่ใจว่าค่าระดับความเป็นสมาชิกของเทอมเซตนี้มีความถูกต้องสูงจริง ๆ หรือในทางตรงกันข้ามอาจจะใช้ตัวดำเนินการ Dilation แทนส่วนขยายคำว่า “ค่อนข้าง” ซึ่งแสดงถึงความไม่แน่ใจในผลตอบสนองของเทอมเซตนั้นๆ เป็นต้น

2.2.4 แบบจำลองฟัซซี่

แบบจำลองฟัซซี่ (Fuzzy Model) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการอนุมานค่าของตัวแปร ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 17



แสดงบล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก

จากบล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองของฟัซซี่ลอจิก สามารถแยกอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1.) อินพุตและเอาต์พุต (Input and Output)

อินพุตและเอาต์พุตของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกก็คือ ตัวแปรของฟัซซี่เซต ซึ่งตัวแปรแต่ละตัวอาจจะมีเทอมเซตได้หลายเทอม อินพุตซึ่งเป็นตัวแปรของระบบ (State Variables) อาจจะมีที่ตัวก็ได้ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระบบ สำหรับตัวแปรของเอาต์พุตหรือที่เรียกว่า Action Variables ซึ่งเป็นตัวแปรที่ถูกประมาณค่าโดยแบบจำลองของฟัซซี่ลอจิกเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบกฎฟัซซี่เพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่อไป

2.) ฟัซซี่ไฟ (Fuzzify)

ฟัซซี่ไฟ เป็นขั้นตอนการแปลงค่าของตัวแปรของอินพุตไปเป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเซตโดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้เสนอไปแล้ว การเลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เราต้องเลือกให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของตัวแปร เช่นถ้าตัวแปรมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น จะต้องเลือกฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เป็นเชิงเส้นด้วย ซึ่งอาจจะเป็นสมการรูปร่างเหลี่ยม และรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนตัวแปรที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นก็ต้องใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ไม่เป็นเชิงเส้นด้วยเช่น ฟังก์ชันรูปตัว S

3.) กฎฟัซซี่ (Fuzzy Rules) จะประกอบด้วยประพจน์ของฟัซซี่ โดยกฎฟัซซี่จะอยู่ในรูปของ IF-THEN ประพจน์ที่ตามหลัง IF จะเป็นส่วนของเงื่อนไขที่เรียกว่า Antecedent ซึ่งก็คือส่วนของอินพุตของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกนั่นเอง และประพจน์ที่ตามหลัง THEN จะเรียกว่า Consequent หรือส่วนของเอาต์พุต

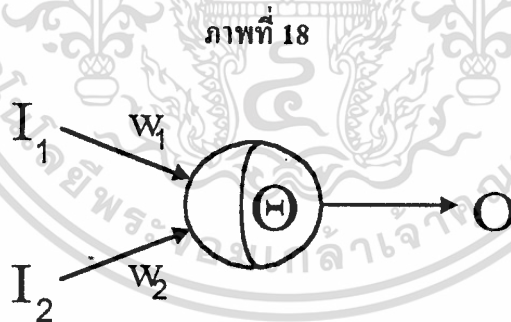
4.) ดีฟัซซี่ไฟเคชัน (Defuzzification)

ดีฟัซซี่ไฟเคชัน เป็นกระบวนการประมาณค่าของตัวแปรเอาต์พุต โดยการอนุมานจากค่าความจริงในส่วนของ Antecedent ของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก โดยค่าที่ได้จะเป็นเลขจำนวนจริงที่อยู่ในโดเมนของตัวแปรเอาต์พุต และค่านี้จะเป็นค่าคาดหวัง (Expected Value) ของตัวแปรฟัซซี่เซต ที่จะนำไปใช้ในการดำเนินกิจกรรมของระบบต่อไป สำหรับการหาค่าคาดหวังของฟัซซี่เซต โดยการ ดีฟัซซี่ไฟเคชัน นั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น กำหนดจากค่าความจริงที่มีค่าต่ำสุด หรือ กำหนดจากค่าความจริงที่มีค่าสูงสุด หรือ คำนวณจากค่าเฉลี่ยของกฎที่มีค่าความจริงสูงสุด (Mean of Maxima) หรือคำนวณจากค่าจุดศูนย์กลาง หรือ จุดศูนย์กลางของพื้นที่ของกฎที่เป็นจริง (Centroid หรือ Center of area) เป็นต้น

2.3 ความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียม ^{[4] [5]}

โดยปกติการแก้ปัญหาต่างๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจะเริ่มต้นที่การพิจารณาข้อมูลเข้า (Input) แล้วออกแบบขบวนการที่จะดำเนินการกับอินพุทเหล่านั้น เพื่อจะได้สร้างผลลัพธ์(Output) ได้ตามที่เราต้องการ วิธีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบคลาสสิกนี้มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถใช้ได้กับปัญหาซึ่งขบวนการ (Process) มีความซับซ้อนอย่างมากจนเราไม่สามารถสรุปเป็นขั้นตอนที่ชัดเจนได้ โครงข่ายประสาทเทียมเป็นรูปแบบในการแก้ปัญหาอีกแบบหนึ่งซึ่งเหมาะกับปัญหาประเภทดังกล่าว โครงข่ายประสาทเทียมจะสร้างขบวนการ (Process) ขึ้นเองจากความรู้ ซึ่งได้มาโดยการเรียนรู้จากตัวอย่าง (Learning by Examples) ทั้งนี้ถ้าตัวอย่างที่นำมาสอนแก่โครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีจำนวนมากพอและวิธีการสอนดีพอขบวนการที่ถูกสร้างขึ้นก็จะมีความถูกต้องเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งานจริงได้

โครงข่ายประสาทเทียม จะประกอบด้วย แบบจำลองของหน่วยประมวลผลระดับพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม ที่เรียกว่า นิวรอน(Neuron) จำนวนหนึ่ง ต่อเข้าด้วยกัน โดยในแต่ละนิวรอนจะมี ข้อมูลเข้า (I) ค่าถ่วงน้ำหนัก(W) ค่าพิคค(Θ)ที่ใช้ในการตัดสินใจและค่าผลลัพธ์(O) ดังแสดงในภาพที่ 18 และค่าผลลัพธ์จากนิวรอนหนึ่งอาจส่งต่อไปให้นิวรอนตัวอื่นๆ ได้อีกหลายตัวแล้วแต่โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมจะได้รับการออกแบบมาในแต่ละการใช้งาน



แสดงแบบจำลองของนิวรอน (Neuron)

หลักการในการใช้นิวรอนในการเรียนรู้ปัญหาก็คือการปรับค่าน้ำหนักและค่าพิคคตามข้อมูลตัวอย่างนั่นเอง วิธีการทั่วไปในการสอนให้นิวรอนในภาพที่ 18 เรียนรู้จนจำลองวิธีการให้ได้ผลลัพธ์จนถูกต้อง สามารถเขียนเป็นอัลกอริทึมได้ดังนี้

อัลกอริทึมที่ 2.1 การสอนนิวรอน

1. ตั้งค่าเริ่มต้นให้ค่าถ่วงน้ำหนัก W (โดยปกติจะใช้วิธีสุ่มค่า)

2. สำหรับแต่ละชุดตัวอย่าง $X:T$ โดย X คือ เวกเตอร์ของข้อมูลเข้า ได้แก่ $[X_1, X_2]$ และ T คือ เวกเตอร์ของค่าเป้าหมาย (Target) ทำ

2.1 ตั้งตัวอย่าง X เข้าทางส่วนของข้อมูลเข้า I นั่นคือ $I_1 = X_1, I_2 = X_2$

2.2 คำนวณค่าผลลัพธ์ O เช่น

$$O = \begin{cases} 1 & ; w_1 X_1 + w_2 X_2 \geq \Theta \\ 0 & ; w_1 X_1 + w_2 X_2 < \Theta \end{cases} \quad (2.13)$$

2.3 ถ้า $O \neq T$ ปรับค่าถ่วงน้ำหนัก ตามแต่กฎการเรียนรู้จะกำหนด เช่น

$$w_i(\text{ใหม่}) = w_i(\text{เก่า}) + \beta (T-O) I_i \quad (2.14)$$

โดย β เรียกว่า อัตราการเรียนรู้ มีค่าในช่วง $(0,1]$

3. ถ้า นิรอน ให้ $O=T$ สำหรับทุกชุดของตัวอย่าง จบ มิฉะนั้น กลับไปทำข้อ 2 จบอัลกอริทึมที่ 2.1

การจัดหมวดหมู่โครงข่ายประสาทเทียม สามารถแบ่งได้หลายแบบ ถ้าแบ่งในเชิงลักษณะการใช้งาน หรือแบ่งตามหน้าที่ (Functional Classification) อาจพอสรุปชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม ได้เป็น ชนิดระบุกลุ่ม (Classification) ชนิดเกี่ยวข้องกัน (Association) ชนิดจัดตัวเอง (Self-Organization) ชนิดหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) แต่ถ้าแบ่งตามลักษณะวิธีการเรียนรู้ นั้น ก็สามารถแบ่งได้เป็นแบบปรับค่าน้ำหนักโดยมีผู้สอน (Supervised Learning) แบบปรับค่าน้ำหนักโดยไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) และ แบบค่าน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง (Fixed Weight)

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโครงข่ายประสาทเทียม ที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลาย เป็นแบบชนิดปรับค่าน้ำหนักโดยมีผู้สอนสำหรับการระบุกลุ่ม ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เราจะนำมาหารูปแบบของถาขนี้วมือซึ่งจะกล่าวต่อไป

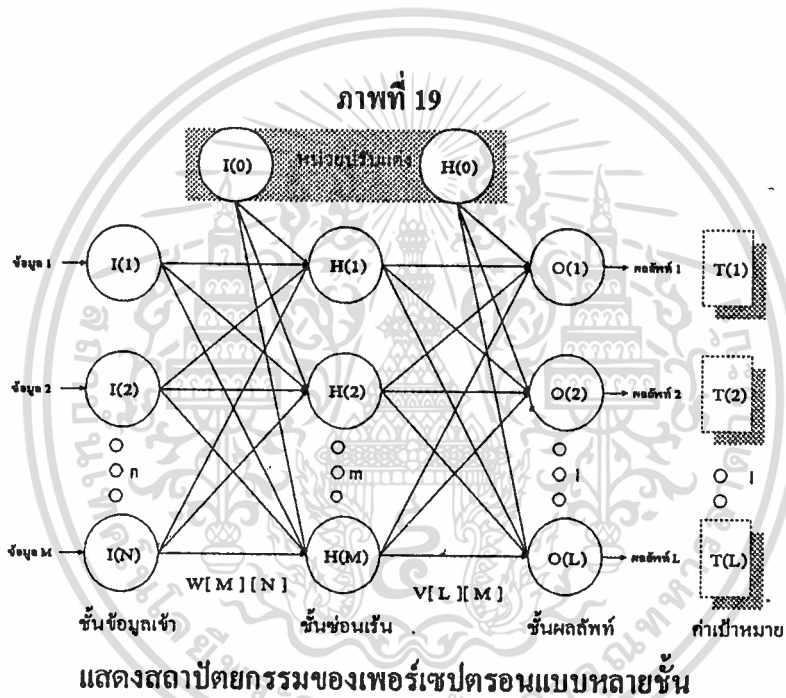
แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการระบุกลุ่มรูปแบบ (Artificial Neural Network Models for Pattern Classification)

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อการระบุกลุ่มรูปแบบ มีลักษณะการทำงาน คือ การให้ผลคำตอบต่อรูปแบบหนึ่ง ๆ ว่ารูปแบบนั้น ๆ จัดอยู่ในกลุ่มใด ดังตัวอย่างเช่น ตัวอักษรตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งอาจมีหลายพอนต์ แต่ละภาพของตัวอักษรคือ รูปแบบที่จะต้องถูกแบ่งกลุ่ม ระบบที่แบ่งกลุ่ม ก็จะต้องระบุได้ถูกต้องว่าภาพนั้นเป็นตัวอักษรอะไร (กลุ่มใด) ไม่ว่าจะภาพนั้นจะเป็นตัวอักษรที่ สร้างด้วยพอนต์ใด

แบบจำลองพื้นฐานของกลุ่มนี้ ก็คือ เพอร์เซปตรอน (Perceptron) ซึ่งสามารถใช้งาน ระบุกลุ่มได้เฉพาะปัญหาที่แบ่งกลุ่มได้ด้วยไฮเปอร์เพลนเชิงเส้นเท่านั้น ถ้าต้องการให้สามารถใช้ งานได้กับปัญหาไม่เชิงเส้น (Nonlinear) จะต้องขยายหลักการของเพอร์เซปตรอนโดยการเพิ่มชั้น (Layer) ของชุดนิวรอน (Neuron) ในการประมวลผลซึ่งทำให้เกิดเป็นแบบจำลองเพอร์เซปตรอน หลายชั้น (Multilayered Perceptron)



สถาปัตยกรรมมาตรฐานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น ดัง ภาพที่ 19 มีลักษณะหลัก ๆ คือ

1.) มีชั้นของนิวรอนแทรกระหว่างชั้นข้อมูลเข้า (Input layer, I) และชั้นผลลัพธ์ (Output layer, O) ซึ่งเรียกว่าเป็นชั้นซ่อนเร้น (Hidden Layer, H)

2.) การเชื่อมต่อระหว่างชั้นที่ติดกันเป็นแบบ Fully Connected Feedforward นั่นคือทุก ๆ นิวรอนในชั้นข้อมูลเข้าจะส่งสัญญาณไปยังทุก ๆ นิวรอนในชั้นซ่อนเร้นชั้นแรก และทุก ๆ นิวรอนในชั้นซ่อนเร้นชั้นแรกจะส่งสัญญาณไปยังทุก ๆ นิวรอนในชั้นต่อ ๆ ไป จนในที่สุดทุก ๆ นิวรอนในชั้นซ่อนเร้นชั้นสุดท้ายจะส่งสัญญาณไปยังทุก ๆ นิวรอนในชั้นผลลัพธ์

3.) ชั้นข้อมูลเข้าไม่มีการประมวลผลคือ ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณเข้า แล้วกระจายออกไปยังแต่ละนิวรอนในชั้นต่อไปเท่านั้น ส่วนชั้นซ่อนเร้นและชั้นผลลัพท์นั้นจะมีการประมวลผล

การที่เพอร์เซปตรอนหลายชั้น จะสามารถแบ่งกลุ่มได้อย่างถูกต้องจะต้องมีการเรียนรู้ซึ่งอัลกอริทึมการเรียนรู้ (Learning Algorithm) ที่นิยม คือ วิธีการแพร่ย้อนกลับ (Backpropagation) ซึ่งมีการเรียนรู้โดยใช้วิธีสอนว่าค่าเป้าหมายหรือค่าผลลัพท์ที่ต้องการของแต่ละข้อมูลเข้านั้นคืออะไร และใช้ความผิดพลาด (Error) ของผลลัพท์ที่คำนวณได้เทียบกับค่าเป้าหมายนี้ มาเป็นตัวชี้้นำในการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม ส่วนในชั้นที่ซ่อนเร้น เราไม่มีค่าเป้าหมายของสัญญาณที่ออกมา แต่เรามีค่าเป้าหมายของนิวรอนในชั้นผลลัพท์ ดังนั้นการแก้ไขค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับชั้นซ่อนเร้นจึงใช้วิธีแพร่ค่าความผิดพลาดจากชั้นผลลัพท์กลับมายังชั้นซ่อนเร้น ซึ่งเป็นที่มาของชื่อวิธีการแพร่ย้อนกลับและการกำหนดค่าเป้าหมายของแต่ละข้อมูลเข้า จึงถือว่าเป็นกระบวนการเรียนรู้ชนิดแบบชี้นำหรือมีผู้สอน (Supervised)

กำหนดให้ P เป็นจำนวนเซตทั้งหมดที่ใช้ในการสอนโครงข่าย ดังนั้น เซตของข้อมูลเข้าและผลลัพท์ที่ต้องการทั้งหมด จะมีอยู่ P เซต ถ้าให้ T เป็นเซตของเป้าหมายหรือผลลัพท์ที่ต้องการ จะได้ว่า $T_p = \{ t_{p1}, t_{p2}, t_{p3}, \dots, t_{pn} \}$, เมื่อ $p = 1, 2, 3, \dots, P$

W เป็นเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นข้อมูลเข้ากับชั้นซ่อนเร้นซึ่ง มีขนาด M แถว และ N คอลัมน์

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & \dots & w_{1N} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & \dots & w_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{M1} & w_{M2} & w_{M3} & \dots & w_{MN} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

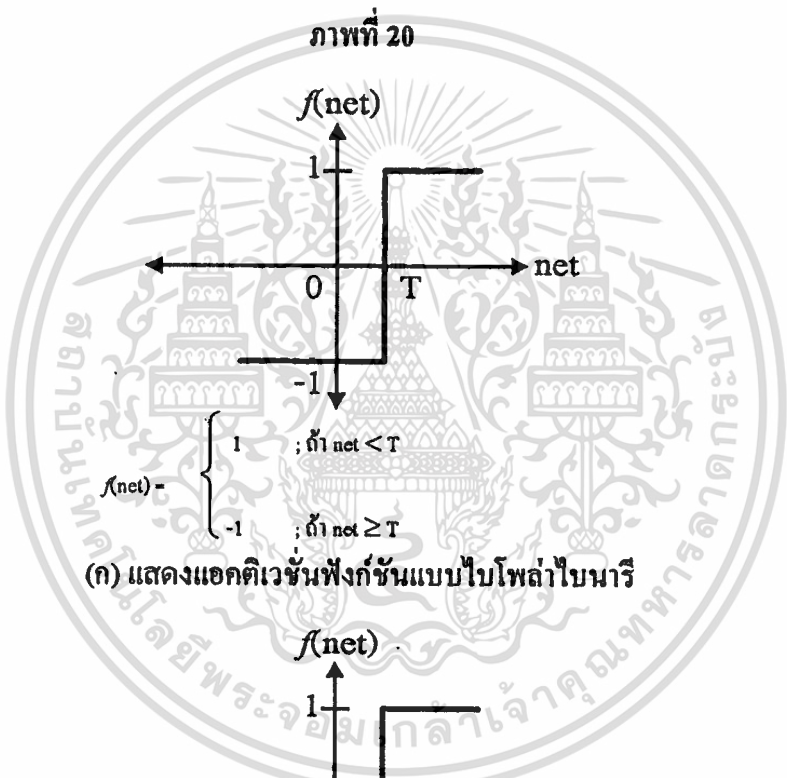
V เป็นเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นซ่อนเร้นไปยังชั้นผลลัพท์ ซึ่งมีขนาด L แถว และ M คอลัมน์

$$v = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & \dots & v_{1M} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & \dots & v_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{L1} & v_{L2} & v_{L3} & \dots & v_{LM} \end{bmatrix} \tag{2.16}$$

และ $f(\text{net})$ เป็น Activation Function ใดๆ ที่ใช้กำหนดหรือคำนวณค่าผลลัพธ์ ดังที่แสดงในภาพที่

20

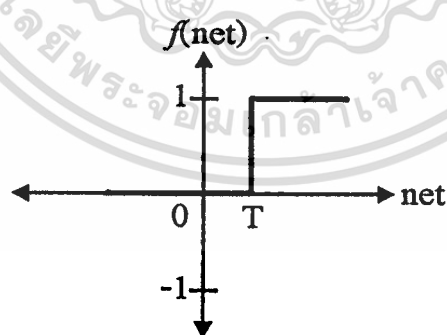
ภาพที่ 20



$$f(\text{net}) = \begin{cases} 1 & ; \text{ถ้า } \text{net} < T \\ -1 & ; \text{ถ้า } \text{net} \geq T \end{cases}$$

(2.17)

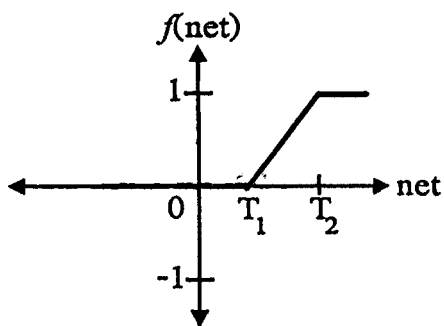
(ก) แสดงแอกติเวชันฟังก์ชันแบบไบโพลาร์



$$f(\text{net}) = \begin{cases} 0 & ; \text{ถ้า } \text{net} < T \\ -1 & ; \text{ถ้า } \text{net} \geq T \end{cases}$$

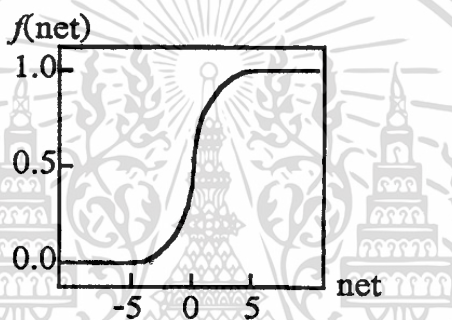
(2.18)

(ข) แสดงแอกติเวชันฟังก์ชันแบบเทรคโสดลอลจิก



$$f(\text{net}) = \begin{cases} 0 & ; \text{ถ้า } \text{net} < T_1 \\ (T_2 - \text{net}) / (T_2 - T_1) & ; \text{ถ้า } T_1 \geq \text{net} > T_2 \\ 1 & ; \text{ถ้า } \text{net} \geq T_2 \end{cases} \quad (2.19)$$

(ค) แสดงแอกติเวชันฟังก์ชันแบบสมการเชิงเส้น



$$f(\text{net}) = \frac{1}{1 + e^{-\text{net}}} \quad (2.20)$$

(ง) แสดงแอกติเวชันฟังก์ชันแบบซิกมอยด์

เมื่อทำการป้อนเซตของข้อมูลที่ใช้สอนเข้าสู่โครงข่ายจะสามารถคำนวณนิเวรอนของชั้นซ่อนเร้นที่ m ได้ดังนี้

$$\text{net}_m = \sum_{n=1}^N w_{mn} x_n \quad (2.21)$$

$$H_m = f(\text{net}_m) \quad (2.22)$$

และสามารถคำนวณผลลัพธ์ของนิเวรอนที่ 1 ได้ดังนี้

$$\text{net}_1 = \sum_{m=1}^M v_{1m} x_m \quad (2.23)$$

$$O_1 = f(\text{net}_1) \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคำนวณชั้นของผลลัพท์ครบทุกนิวรอนแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ค่าผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง ระหว่างค่าของผลลัพท์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมกับค่าผลลัพท์ที่ต้องการของรูปแบบที่ p เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อเข้ากับผลลัพท์ที่ต้องการ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E_p = \sum_{l=1}^L (o_{pl} - t_{pl})^2 \quad (2.25)$$

ดังนั้นในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นผลลัพท์กับชั้นซ่อนเร้น สำหรับรูปแบบที่ p (H_p) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\Delta v = -\beta \frac{\partial E_p}{\partial v} = \gamma v + \beta \delta_p^v H_p \quad (2.26)$$

โดยที่

$$\delta_p^v = o_p (1 - o_p) (t_p - o_p) \quad (2.27)$$

δ_p^v ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนภายในชั้นผลลัพท์

γ เป็นค่าโมเมนตัม

β เป็นค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) ซึ่งเป็นค่าคงที่และการปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นซ่อนเร้นกับชั้นข้อมูลเข้าสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\Delta w = \gamma w + \beta \delta_p^w x_p \quad (2.28)$$

โดยที่

$$\delta_p^w = H_p (1 - H_p) \delta_p^v \quad (2.29)$$

δ_p^w ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนภายในชั้นซ่อนเร้น

ในกรณีที่มีโครงข่ายมี k ชั้น สามารถปรับค่าถ่วงน้ำหนักโดยวิธีค่าความผิดพลาดแพร่กระจายกลับได้ดังนี้

$$\Delta w^k = \gamma w^k + \beta \delta_p^k x_p^{k-1} \quad (2.30)$$

เมื่อ w^k เป็นเมตริกซ์ค่าถ่วงน้ำหนักที่อยู่ระหว่างชั้นที่ k กับ $k-1$ ($k = 1, 2, 3, \dots, K$)
 x_p^{k-1} เป็นเซตของข้อมูลเข้าของรูปแบบที่ p จากชั้นที่ $(k-1)$ และ
 δ_p^k เป็นเวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อนสำหรับชั้นที่ k
 สำหรับชั้นผลัดพัทธ์หรือชั้นที่ K สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\delta_p^k = O_p^k \left(1 - O_p^k \right) \left(T_p^k - O_p^k \right) \quad (2.31)$$

โดยที่ O_p^k คือชั้นผลัดพัทธ์ และสำหรับความคลาดเคลื่อนของชั้นที่ k ใด ๆ โดยที่ $k \neq K$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\delta_p^k = O_p^k \left(1 - O_p^k \right) \left(\delta_p^{k+1} w^{k+1} \right) \quad (2.32)$$

โดยที่ O_p^k คือผลัดพัทธ์ชั้นที่ k รูปแบบที่ p และสำหรับ δ_p^{k+1} และ w^{k+1} เป็นค่าความคลาดเคลื่อนและเมตริกซ์ค่าถ่วงน้ำหนักของชั้นถัดไป

ปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพการสอนโครงข่ายด้วยวิธีแพร่ย้อนกลับเพิ่มมากขึ้น มีดังนี้

- การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก

ก่อนที่จะทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายค่า โดยวิธีการแพร่ย้อนกลับ จำเป็นต้องกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับเมตริกซ์ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นทุกชั้น โดยค่านี้จะเป็นเลขจำนวนจริงที่มีค่าน้อย ๆ ที่ได้มาจากการสุ่ม ค่าเริ่มต้นของ เมตริกซ์เชื่อมโยงจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการสอนและอาจจะส่งผลถึงค่าถ่วงน้ำหนักหลังจากที่ได้สอนโครงข่ายไปแล้วว่าจะมีศักยภาพมากน้อยเพียงใดในการแปลงข้อมูลเข้าไปสู่ผลัดพัทธ์

- อัตราเร็วในการเรียนรู้ (Learn Rate : β)

โดยทั่วไปแล้วค่านี้จะเป็นค่าคงที่ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05 - 0.254 แต่มีงานวิจัยบางส่วนที่ค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้มีการปรับค่าได้เช่นกำหนดให้อัตราเร็วในการเรียนรู้ผันแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

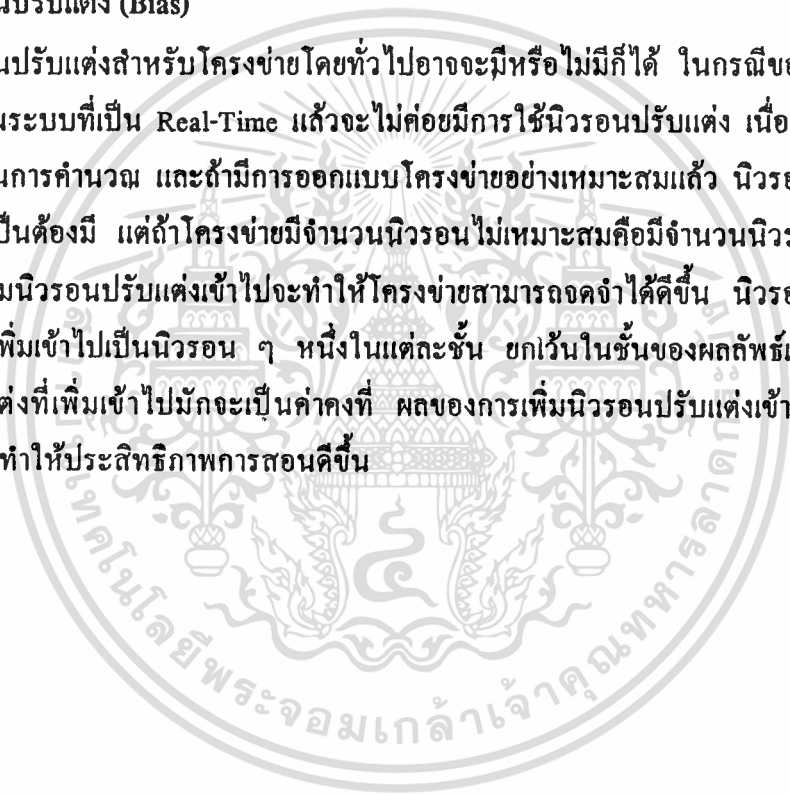
ตามจำนวนรอบที่สอน อัตราเร็วในการเรียนรู้ผันแปรตามค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และ ค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ผันแปรตามค่าความแปรปรวนของแต่ละรูปแบบ

- โมเมนตัม (Momentum : γ)

โดยทั่วไปค่าโมเมนตัมอาจจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ แต่ค่านี้จะมีคุณสมบัติช่วยป้องกันการแกว่ง (Oscillate) ของระบบ โดยค่านี้จะสัมพันธ์กับค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ คือถ้าอัตราเร็วในการเรียนรู้มีค่ามากแต่ค่าโมเมนตัมมีค่าน้อยจะทำให้ระบบโครงข่ายเกิดการแกว่งส่วนกรณีอื่น ๆ โครงข่ายจะไม่เกิดการแกว่งแต่จะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการสอน

- นิวรอนปรับแต่ง (Bias)

นิวรอนปรับแต่งสำหรับโครงข่ายโดยทั่วไปอาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ ในกรณีของโครงข่ายที่ใช้ในระบบที่เป็น Real-Time แล้วจะไม่ค่อยมีการใช้นิวรอนปรับแต่ง เนื่องจากจะเสียเวลาในการคำนวณ และถ้ามีการออกแบบโครงข่ายอย่างเหมาะสมแล้ว นิวรอนปรับแต่งไม่จำเป็นต้องมี แต่ถ้าโครงข่ายมีจำนวนนิวรอนไม่เหมาะสมคือมีจำนวนนิวรอนน้อยไป การเพิ่มนิวรอนปรับแต่งเข้าไปจะทำให้โครงข่ายสามารถจดจำได้ดีขึ้น นิวรอนปรับแต่งจะถูกเพิ่มเข้าไปเป็นนิวรอน ๆ หนึ่งในแต่ละชั้น ยกเว้นในชั้นของผลลัพธ์และนิวรอนปรับแต่งที่เพิ่มเข้าไปมักจะเป็นค่าคงที่ ผลของการเพิ่มนิวรอนปรับแต่งเข้าไปในโครงข่ายจะทำให้ประสิทธิภาพการสอนดีขึ้น



2.4 ความรู้เกี่ยวกับการจดจำรูปแบบและการจำแนก

การจดจำรูปแบบและการจำแนกภาพวัตถุ ว่าเป็นภาพวัตถุที่เราต้องการหรือไม่ สามารถกระทำได้โดยการวิเคราะห์เนื้อหาของ ซึ่งในที่นี้เนื้อหาของหมายถึง คุณสมบัติที่ใช้แทนพื้นผิวของวัตถุที่ปรากฏอยู่ในภาพ ซึ่งคุณสมบัติอันนี้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์กันของเนื้อหาของ และองค์ประกอบที่เล็กที่สุดของเนื้อหา ก็คือจุดภาพ (pixel) ดังนั้น คุณสมบัติที่กล่าวมานี้จะหมายถึง ความสัมพันธ์ของกลุ่มจุดภาพที่ใช้แสดงถึงโครงสร้างของพื้นผิววัตถุนั้นเอง ดังนั้นการจำแนกภาพ สามารถปฏิบัติได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1. การจำแนกโดยการเปรียบเทียบโดยตรงบนภาพ (Template Matching)^[6]

วิธีการนี้คือการสร้างภาพจำลองของวัตถุที่เราต้องการ ในที่นี้เพื่อความเข้าใจสมมุติว่าเป็นอักษรภาษาอังกฤษที่มีอยู่ด้วยกัน 26 ตัว เราต้องทำภาพจำลอง T_i ของ 26 ตัวอักษรซึ่งมีขนาด $n \times n$ จุดภาพไว้ เมื่อเราจับภาพตัวอักษรที่ต้องการตรวจสอบในภาพ P ขนาด $l \times l$ จุดภาพซึ่งมีตัวอักษร X ขนาด $n \times n$ จุดภาพอยู่ที่ตำแหน่ง (x, y) ในภาพ P เราสามารถจำแนกตัวอักษร X ดังกล่าวว่าเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ T_i ตัวใด ได้ดังนี้

2.4.1.1 วิธีการหาโดย Least Square ของจุดภาพ

$$\delta_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [T(i, j) - P(x-i, y-j)]^2 \quad (2.33)$$

ซึ่งจะได้ δ_1 ที่น้อยที่สุดเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับต้นแบบที่เราใช้เปรียบเทียบ ในกรณีของภาพเดียวกัน δ_1 จะมีค่าเข้าใกล้ 0 หรือเท่ากับ 0

2.4.1.2 วิธีหาโดย Cross Correlation

เรามีวิธีการดำเนินการเช่นเดียวกันกับ วิธี Least Square แต่วิธีการนี้จะหาความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณของด้านของวัตถุที่ต้องการทราบกับต้นแบบและหารด้วยผลคูณของเส้นทแยงมุมของวัตถุ และต้นแบบ ซึ่งสรุปสูตรออกได้เป็น

$$\delta_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T(i, j) P(x+i, y+j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T^2(i, j) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P^2(x+i, y+j)}} \quad (2.34)$$

ถ้าค่า δ_2 เข้าใกล้ 1 หรือเท่ากับ 1 จะได้ว่า T กับ P เป็นภาพที่เหมือนกัน

ในกรณีการหาโดยวิธีทั้งสองนี้ สิ่งรบกวนในภาพและการวางตัวของวัตถุจะมีผลต่อการตรวจเปรียบเทียบด้วย ดังนั้นวัตถุและต้นแบบจะต้องวางอยู่ในทิศทางเดียวกัน จึงจะหาพบ

2.4.2. การจำแนกโดยใช้คุณลักษณะร่วมของภาพ ^[6]

กรณีที่ภาพมีคุณลักษณะร่วมกัน เราสามารถนำเอาคุณลักษณะร่วมของภาพมาสร้างเป็นกฎ หรือ ไวยากรณ์ ต่างๆ เพื่อจัดแบ่งกลุ่มวัตถุออกจากกันจนสามารถระบุได้ว่าเป็นวัตถุที่เราต้องการหรือไม่ ตัวอย่างเช่น การจำแนกเลข 0 - 9 ตามภาพที่ 21

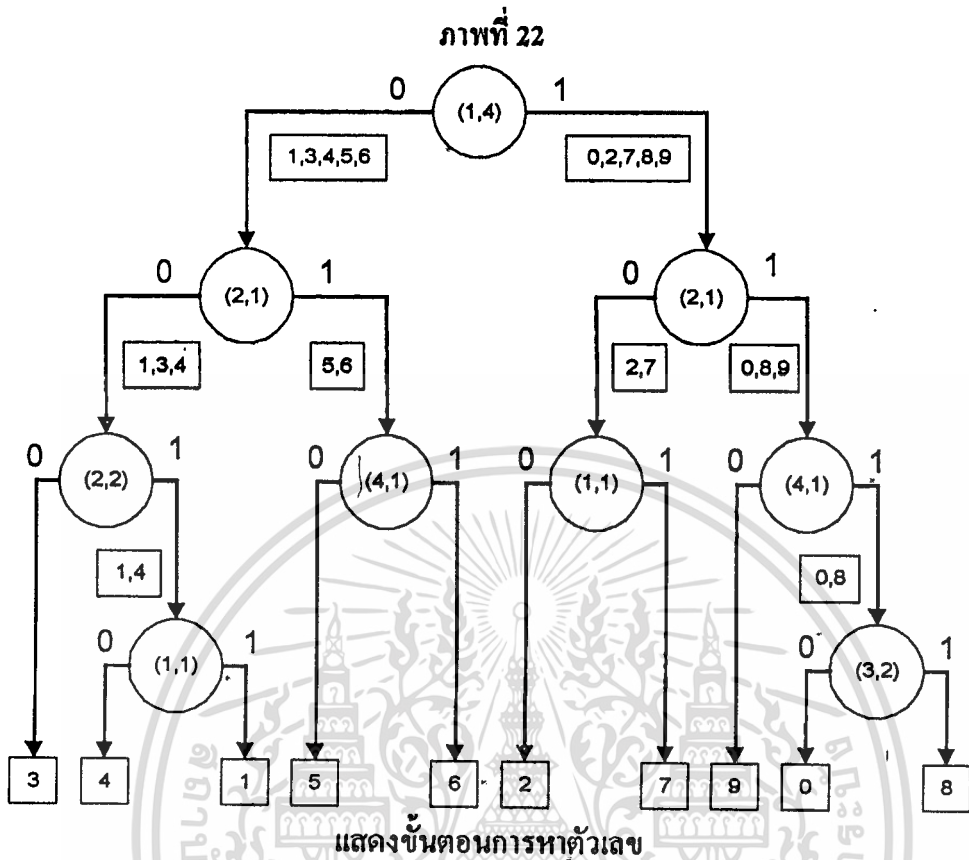


ขนาดของตัวเลขดังกล่าวสมมติให้มีขนาด 4x5 จุดภาพ การจำแนกกระทำโดยการตรวจส่องจุดขาว ณ ตำแหน่งจุดภาพต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 22 เป็นลำดับจนสามารถบอกได้ว่า เลขดังกล่าวเป็นเลขอะไร

วิธีการจัดแบ่งกลุ่มของวัตถุออกจากกัน โดยอาศัย คุณลักษณะต่าง ๆ ของภาพ ที่ใช้วัด อาทิ จุดภาพที่เหมือนกันในตำแหน่งต่างๆ จำนวนรู ขนาดของพื้นที่รูภายในวัตถุ ฯลฯ โดยทฤษฎีสมมติให้ว่า Y เป็นค่าที่ได้รับจากการจำแนก และ $Y_1..Y_2$ เป็นค่าคุณลักษณะที่ใช้ในการวัดจำแนก ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Y = [Y_1..Y_2..Y_3..Y_n] \quad (2.35)$$

ในกรณีที่ คุณลักษณะ มีหลายตัว จะทำให้การหาหรือการจำแนกชั้นของวัตถุให้ละเอียดชัดเจนยิ่งขึ้น



2.4.3 การจำแนกโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ^[7]

กรณีที่มีภาพมีคุณสมบัติร่วมกันสามารถจัดเป็นกลุ่มได้ เราก็สามารถนำกรรมวิธีทางคณิตศาสตร์มาเป็นกฎเกณฑ์ในการแยกกลุ่มหรือวัดความเหมือน เพื่อระบุว่าภาพวัตถุหนึ่งมีความใกล้เคียงกับภาพวัตถุใดๆที่เราทราบแล้วมากที่สุด ดังวิธีการหาระยะทางยูคลีเดียนที่สั้นที่สุด (Minimum Euclidean Distance) ซึ่งจะเป็นการคำนวณค่าระยะทาง (D) ของภาพวัตถุที่ต้องการกับวัตถุที่เราสร้างเป็นต้นแบบทั้งหมด เช่น การแยกเช็คของธนาคารต่างๆออกจากกัน โดยเครื่องแยกเช็ค สามารถกระทำได้ถึงแม้ว่าบนเช็คจะมีการเขียนตัวอักษรมากมายหลายแบบด้วยกัน แต่ลักษณะและตำแหน่งของตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ต่างๆที่พิมพ์บนเช็คของธนาคารเดียวกันจะเหมือนกัน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างอื่น ทำให้มันแสดงคุณสมบัติเฉพาะตัวโดยการตั้งกลุ่มแยกอยู่ห่างจากกลุ่มอื่นๆ ภายได้เงื่อนไขอันนี้ การจัดกลุ่มที่ให้ระยะทางสั้นที่สุด สามารถเป็นกฎเกณฑ์ในการจัดการแบ่งกลุ่มของเช็ครธนาคารต่างๆได้

สมมติว่ามีภาพวัตถุต้นแบบ m กลุ่ม ซึ่งแทนด้วย $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_m$ และระยะทางยูคลีเดียน (D) ระหว่างภาพวัตถุที่ต้องการจะหา X กับภาพวัตถุต้นแบบ Z ตัวที่ i กำหนดได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

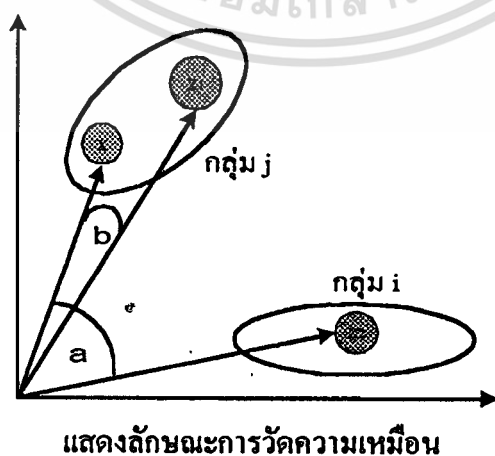
$$D = \|X - Z_i\| = \sqrt{(X - Z_i)^T (X - Z_i)} \quad (2.36)$$

ถ้าภาพวัตถุต้นแบบตัวใดที่ให้ค่า D ที่ น้อยที่สุด ก็แสดงว่าภาพวัตถุที่ต้องการมีรูปร่าง คล้ายกับวัตถุต้นแบบนั้น และถ้าระยะทางยิ่งสั้น ความเหมือนก็ยิ่งมากขึ้น ซึ่งวิธีเป็นวิธีที่นิยมกัน มากแต่ก็ยังมีวิธีการอย่างอื่นอีกเช่น การหาค่าความเหมือนโดยสมการ 2.37

$$S(X, Z) = \frac{X^T Z}{\|X\| \|Z\|} \quad (2.37)$$

ซึ่งเป็นค่าโคไซน์ (cosine) ของมุมระหว่างเวกเตอร์ X กับ Z , $S(X, Z)$ จะมีค่าสูงสุด เมื่อ X และ Z วางอยู่ในทิศทางเดียวกัน โดยยึดถือจุดเริ่มต้นเป็นหลัก การวัดความเหมือนจะมีประโยชน์เมื่อ ขอบเขตของกลุ่มมีแนวโน้มที่จะคัดแปลงให้วางไปตามแกนหลัก ดังแสดงในภาพที่ 23 ซึ่งเราจะ เห็นว่ารูปแบบ X มีความเหมือนไปทาง Z_1 มากกว่าที่จะไปทาง Z_2 เพราะว่า $S(X, Z_1)$ มีค่ามากกว่า $S(X, Z_2)$ แต่ถึงอย่างไรก็ตามเป็นที่สังเกตว่าประโยชน์ของการวัดความเหมือนในลักษณะนี้จะมี คุณภาพมากน้อยแค่ไหนจะขึ้นอยู่กับสิ่งอื่นด้วย ตัวอย่างเช่น ความเพิงพอในการแยกขอบเขต ของกลุ่มออกจากกันมีมากน้อยเพียงใด และมีความสัมพันธ์กับจุดเริ่มต้น ไปตามแกนของระบบ มากน้อยเพียงใด

ภาพที่ 23



บทที่ 3

นิยามสำหรับการประมวลผลภาพถ่ายนิ้วมือ

3.1 เขตของภาพถ่ายนิ้วมือ

กำหนดให้ X เป็นเมตริกซ์ ของภาพถ่ายนิ้วมือ ขนาด $m \times n$ จุดภาพ

และ $X(i,j)$ เป็น จุดภาพถ่ายนิ้วมือที่ตำแหน่ง (i,j)

X_g เป็นลายนิ้วมือระดับสีเทาของ X

และ $X_g(i,j) \in \{0,1,2,3,\dots,255\}$

X_b เป็นภาพถ่ายนิ้วมือสองระดับ ที่ได้จาก X_g

$$\text{และ } X_b(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } X_g(i,j) \geq T \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.1)$$

X_r เป็นเซตลายนิ้วมือสองระดับของเส้นนูน

$$\text{และ } X_r(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } X_b(i,j) = 1 \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.2)$$

X_f เป็นเซตลายนิ้วมือสองระดับของเส้นร่อง

$$\text{และ } X_f(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } X_b(i,j) = 0 \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.3)$$

โดยที่ $i = 0,1,2,\dots,m-1$

$j = 0,1,2,\dots,n-1$

$T =$ ค่าพิกัดที่กำหนด (Threshold value)

3.2 หน้าต่าง 3x3 ของ X(i,j)

กำหนดให้ W เป็น เมตริกซ์ขนาด 3x3 จุดภาพ ซึ่งมีค่าของจุดภาพเป็น W[0], W[1],..., W[8] ดังภาพที่ 24

ภาพที่ 24

W[3]	W[2]	W[1]
W[4]		W[0]
W[5]	W[6]	W[7]

แสดงหน้าต่าง 3x3 ของ X(i,j)

โดยที่ W[8] คือ X(i,j) W[0] คือ X_b(i,j+1), W[3] คือ X_b(i-1,j-1) และ W[7] คือ X_b(i+1,j+1) เป็นต้น

ค่าต่างๆของจุดในหน้าต่าง 3x3 ที่สัมพันธ์กับจุด W[8] มีดังต่อไปนี้

$$NB4 = \sum_{i=0}^3 w[2i] \quad (3.4)$$

$$NB8 = \sum_{i=0}^7 w[i] \quad (3.5)$$

$$NC0 = \sum_{i=0}^3 Q[2i] \quad (3.6)$$

$$\text{เมื่อ } Q[k] = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } W[k]=0 \text{ และ } (W[(k+1)]=1 \text{ หรือ } W[(k+2) \bmod 8]=1) \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.7)$$

$$NC1 = \sum_{i=0}^3 R[2i] \quad (3.8)$$

$$\text{เมื่อ } R[k] = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } W[k]=1 \text{ และ } (W[(k+1)]=0 \text{ หรือ } W[(k+2) \bmod 8]=0) \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.9)$$

$$NN1 = \sum_{i=0}^3 S[i] \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เมื่อ } S[i] = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } W[(2i+1)\bmod 8]=1 \text{ และ } W[(2i+2)\bmod 8]=1 \text{ และ } W[(2i+3)\bmod 8]=1 \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.11)$$

3.3 จุดขอบและจุดมุม

จุดภาพ $X(i,j)$ ที่ $W[8]$ จะเป็น จุดขอบ ก็ต่อเมื่อ

1. $W[8]=1$

และ 2. $NB4 < 4$

ภาพที่ 25

	1	1			
		1		1	1
1	1	1		1	1

แสดงหน้าตาต่าง 3x3 ที่มี $W[8]$ เป็นจุดขอบ

จุดภาพ $X(i,j)$ ที่ $W[8]$ จะเป็น จุดมุม ก็ต่อเมื่อ

1. $W[8]=1$

และ 2. $NB4 = 4$

และ 3. $NB8 < 8$

ภาพที่ 26

	1	1			
1		1		1	1
1	1	1		1	1

แสดงหน้าตาต่าง 3x3 ที่มี $W[8]$ เป็นจุดมุม

3.4 การลบจุดภาพ

การลบจุดภาพ คือ กระบวนการเปลี่ยนจุดภาพสีดำ (มีค่าเป็น 1) ให้เป็นจุดภาพสีขาว (มีค่าเป็น 0)

จุดภาพ $X(i,j)$ ที่ $W[8]$ จะถูกลบ ก็ต่อเมื่อ

1) $NB8 > 1$

และ 2) $NC0 = 1$

และ 3) $W[0] \neq 0$ หรือ $NBE > 0$

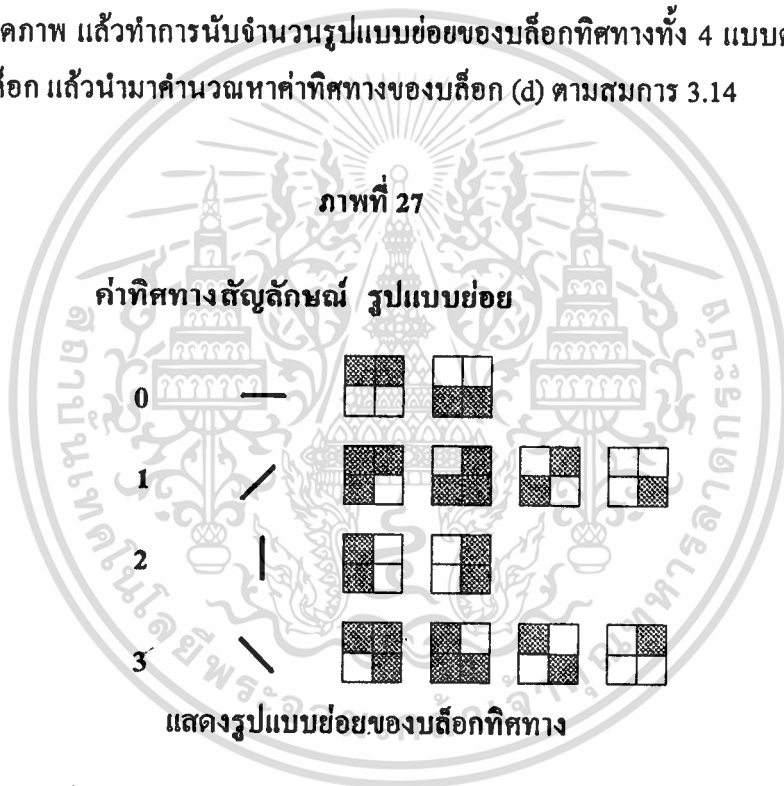
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เมื่อ } NBE = \sum_{i=0}^3 T[i] \quad (3.12)$$

$$\text{โดยที่ } T[i] = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } W[i] \text{ ไม่ใช่จุดขอบหรือจุดมุม} \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.13)$$

3.5 ภาพบล็อกทิศทาง

ภาพบล็อกทิศทาง หมายถึง ภาพที่ได้จากการแบ่งภาพลายนิ้วมือ X_0 ออกเป็นบล็อกๆ ขนาด 16×16 จุดภาพ แล้วทำการนับจำนวนรูปแบบย่อยของบล็อกทิศทางทั้ง 4 แบบดังภาพที่ 27 ภายในแต่ละบล็อก แล้วนำมาคำนวณหาค่าทิศทางของบล็อก (d) ตามสมการ 3.14



$$d = \left\lfloor \frac{S[0] \times d0 + S[1] + S[2] \times 2 + S[3] \times 3}{S[0] + S[1] + S[2] + S[3]} \right\rfloor \quad (3.14)$$

$$d = \begin{cases} d & \text{ถ้า } d \in \{0,1,2,3\} \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.15)$$

$$\text{เมื่อ } S[i] = \text{จำนวนรูปแบบย่อยของบล็อกทิศทาง } i$$

$$d0 = \begin{cases} 0 & \text{ถ้า } S[1] \geq S[3] \\ \vee \\ 4 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 จุดใจกลาง (C_p)

จุดใจกลาง หมายถึง จุดภาพของ X_0 ที่ตำแหน่งสูงสุดของเส้นวงกลับที่อยู่ต่ำสุด ใน บล็อกใจกลาง

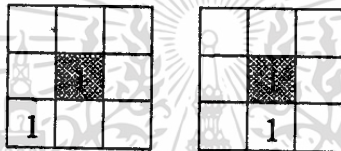
3.8 จุดบนลายเส้นของถายนิวมีอ X_0 ซึ่งได้แก่ จุดปลายเส้น และจุดบนเส้นแยก

$X_0(i,j)$ จะเป็น จุดปลายเส้น ของถายนิวมีอ ก็ต่อเมื่อ

1) $X_0(i,j) = W[8] = 1$

และ 2) ($NC1 = 1$ และ $NC0 = 1$) หรือ ($NC1 = 0$ และ $NC0 = 1$)

ภาพที่ 30



$NC1=0$ $NC0=1$ $NC1=1$ $NC0=1$

แสดงหน้าตาต่าง 3x3 ที่มี $W[8]$ เป็นจุดปลายเส้น

$X_0(i,j)$ จะเป็น จุดบนเส้นแยก ของถายนิวมีอ ก็ต่อเมื่อ

1) $X_0(i,j) = W[8] = 1$

และ 2) $NB8 = 3$

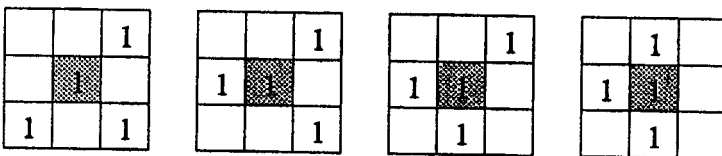
และ 3) ($NC1 = 0$ และ $NC0 = 3$) หรือ

($NC1 = 1$ และ $NC0 = 3$) หรือ

($NC1 = 2$ และ $NC0 = 2$) หรือ

($NC1 = 3$ และ $NC0 = 1$)

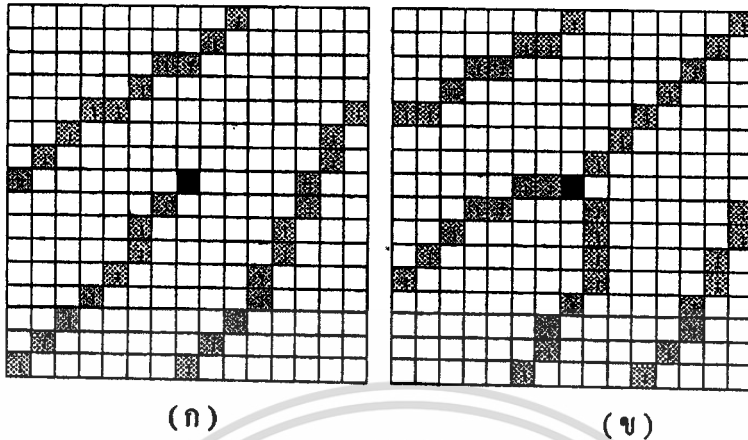
ภาพที่ 31



$NC1=0$ $NC0=3$ $NC1=1$ $NC0=3$ $NC1=2$ $NC0=2$ $NC1=3$ $NC0=1$

แสดงหน้าตาต่าง 3x3 ที่มี $W[8]$ เป็นจุดบนเส้นแยก

ภาพที่ 32



แสดงจุดปลายเส้น (ก) และจุดบนเส้นแยก (ข)

3.9 ความยาวทางของจุด $X_b(i,j) = L(X_b(i,j))$ หมายถึง จำนวนของจุดภาพที่อยู่ต่อเนื่องจากจุด $X_b(i,j)$ จนถึงจุดบนเส้นแยก หรือจุดปลายเส้น ภายในหน้าต่างของภาพ X_b ขนาด 15×15 จุดภาพที่มีจุด $X_b(i,j)$ อยู่ที่ตำแหน่ง (8,8)

3.10 ความชันของจุด $X_b(i,j)$ หมายถึง ค่าความชันที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งของจุด $X_b(i,j)$ กับจุดปลายทางของจุด $X_b(i,j)$

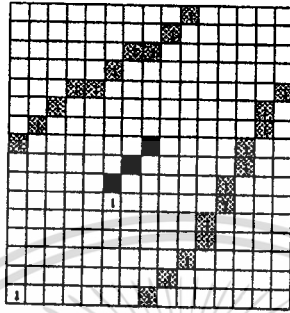
3.11 ค่าทิศทางของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ หมายถึง ค่าความชันที่เกิดจากจุดลักษณะสำคัญพิเศษเฉลี่ย

3.12 จุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutia) ของลายนิ้วมือ ซึ่งได้แก่ จุดปลาย (Ending point) และจุดแยก (Bifurcation point) เป็นคุณลักษณะของลายนิ้วมือที่จะใช้ในการตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือสองรอยว่ามีความเหมือนกันมากน้อยเพียงใด

3.13 จุดลักษณะสำคัญพิเศษข้างเคียงใน 4 ควอแรนต์ หมายถึง จุดลักษณะสำคัญพิเศษอื่นๆ ที่อยู่ใกล้ที่สุดกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่ทดสอบ ใน 4 ควอแรนต์ เมื่อถือว่า จุดลักษณะสำคัญพิเศษที่ทดสอบเป็นจุดศูนย์กลาง และ ทิศทางของจุดลักษณะสำคัญพิเศษเป็นแกน y

3.14 จุดรวมกวนบนลายเส้นของลายนิ้วมือ ซึ่ง ได้แก่ เส้นต้น เส้นกึ่ง และ เส้นสะพาน
เส้นต้น หมายถึง เส้นที่มีจุดปลายเส้นอยู่ที่ปลายทั้งสองข้าง และมีความขาวน้อยกว่า 5 จุด
ภาพ ดังแสดงในภาพที่ 33

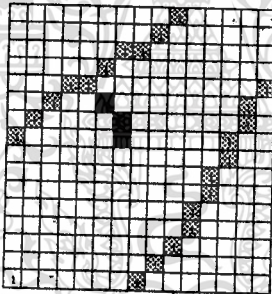
ภาพที่ 33



แสดงลักษณะของเส้นต้น (■)

เส้นกึ่ง หมายถึง เส้นที่มีจุดปลายเส้นและจุดบนเส้นแยกอยู่ที่ปลายคนละข้าง และมีความ
ขาวน้อยกว่า 5 จุดภาพ ดังแสดงในภาพที่ 34

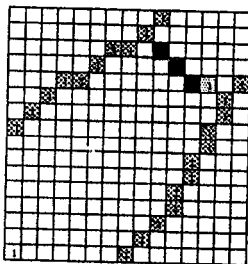
ภาพที่ 34



แสดงลักษณะของเส้นกึ่ง (■)

เส้นสะพาน หมายถึง เส้นที่มีจุดบนเส้นแยกอยู่ที่ปลายทั้งสองข้าง และมีความชันของเส้น
ต่างกับกับเส้นร่วมอื่นๆมากกว่า 60 องศา ดังแสดงในภาพที่ 35

ภาพที่ 35



แสดงลักษณะของเส้นสะพาน (■)

บทที่ 4

ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ

ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ เป็นระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมา มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือสำหรับยืนยันตัวบุคคล และต้องเป็นระบบที่หน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องในด้านนี้ มีกำลังความสามารถในการจัดซื้อจัดหาอุปกรณ์ส่วนประกอบต่างๆได้ เพื่อเป็นการกระจายงานด้านตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือไปยังส่วนภูมิภาค และลดปัญหาด้านเวลาในการติดต่อประสานงาน และการตรวจพิสูจน์ดังที่ได้นำเสนอไปแล้ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบโดยใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมี วินโดวส์ (Windows) เป็นระบบปฏิบัติการ (Operating System) สำหรับควบคุมการทำงานของโปรแกรมระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ มีการรับภาพลายนิ้วมือโดยเครื่องสแกนเนอร์ (Scanner) ที่ให้ภาพเป็นภาพระดับสีเทา มีโครงสร้างแบบทีไอเอฟเอฟ (TIFF) ความละเอียด 256 จุดภาพต่อกว้างได้ เพื่อที่จะนำไปประมวลผลสำหรับตรวจสอบว่าลายนิ้วมือที่ต้องส่งสัยมีความเหมือนกันกับลายนิ้วมือใดในฐานข้อมูลมากที่สุด โดยมีการออกแบบระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ ให้มีองค์ประกอบหลักๆ 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การรับภาพลายนิ้วมือ เพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ

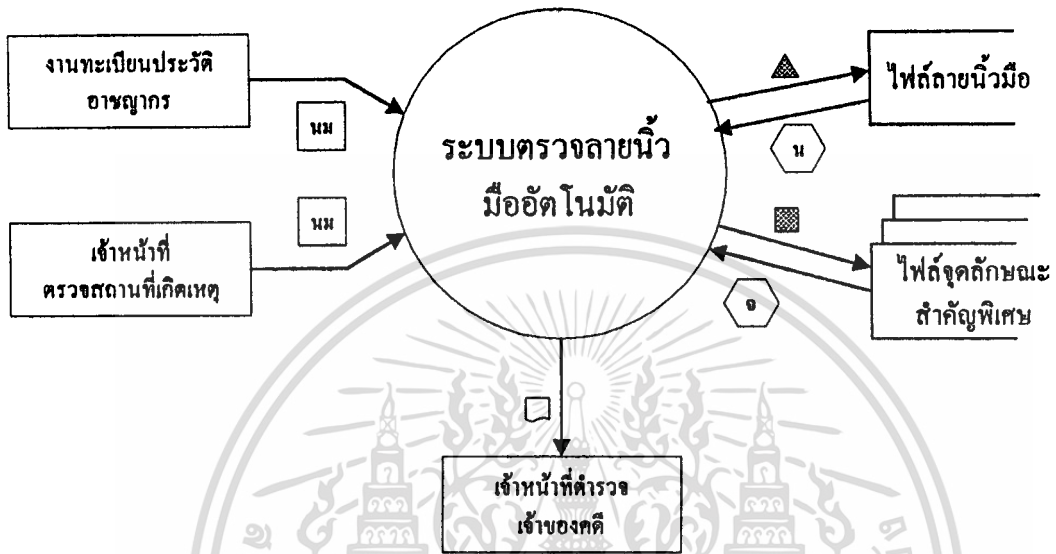
ส่วนที่ 2 การประมวลผลภาพ เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับใช้ในการตรวจเปรียบเทียบ ซึ่งได้แก่ การปรับเปลี่ยนภาพ การวิเคราะห์รูปแบบ จุดใจกลาง จุดลักษณะสำคัญพิเศษ และความสัมพัทธ์ต่างๆ

ส่วนที่ 3 การบันทึกข้อมูล เก็บไว้เป็นฐานข้อมูล

ส่วนที่ 4 การตรวจเปรียบเทียบข้อมูลลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบ กับ ข้อมูลลายนิ้วมือในฐานข้อมูล ว่ามีความเหมือนกันมากน้อยเท่าใด และแสดงผล

ซึ่งรายละเอียดในการออกแบบระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ ได้แสดงอยู่ในลักษณะของแผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram , DFD) ที่ 36-40 ดังต่อไปนี้

ภาพที่ 36

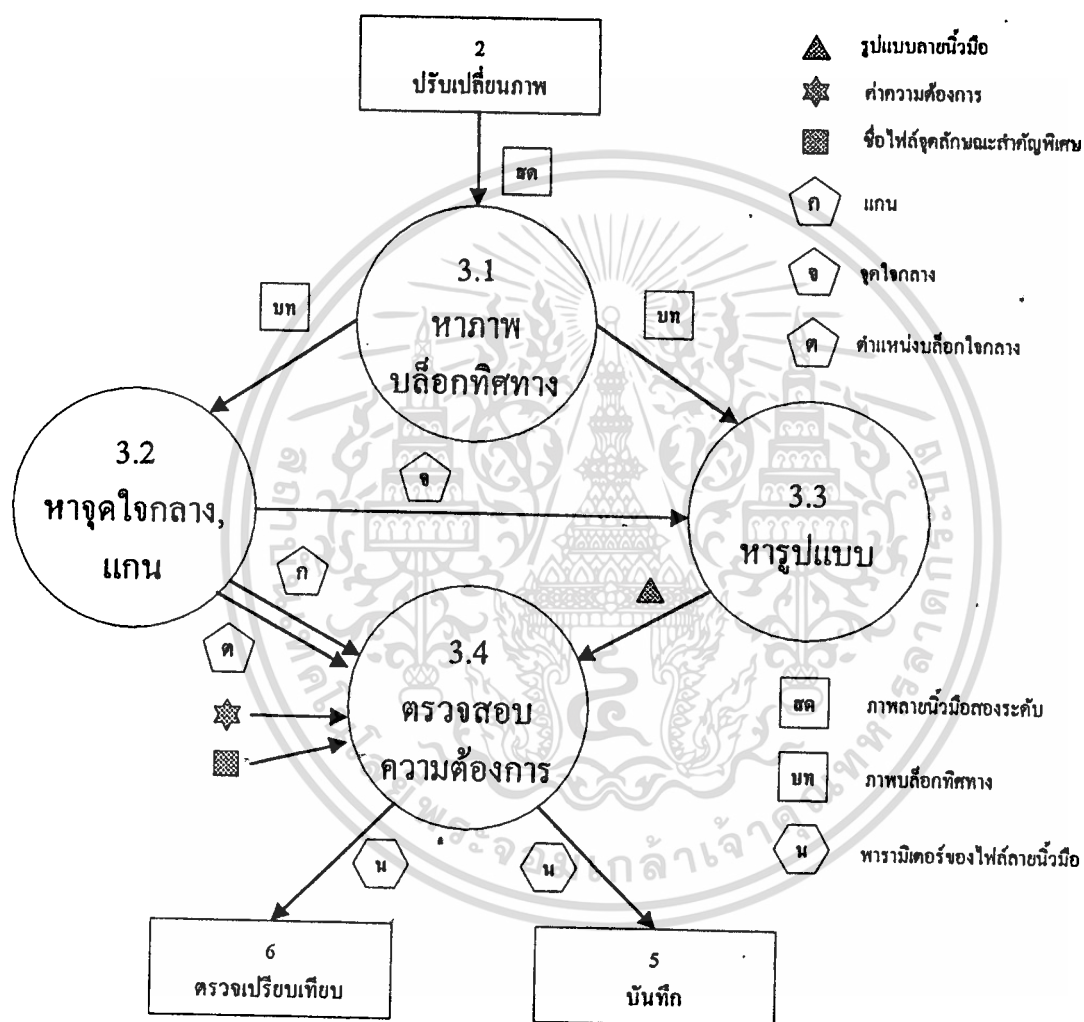


แสดงแผนภาพกระแสข้อมูลระดับสูงสุดของระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ

- ▲ รูปแบบลายนิ้วมือ
- ชื่อไฟล์จุดลักษณะสำคัญพิเศษ
- ผลการตรวจ
- นม ภาพลายนิ้วมือ
- น พารามิเตอร์ของไฟล์ลายนิ้วมือ
- อ พารามิเตอร์ของไฟล์จุดลักษณะสำคัญพิเศษ

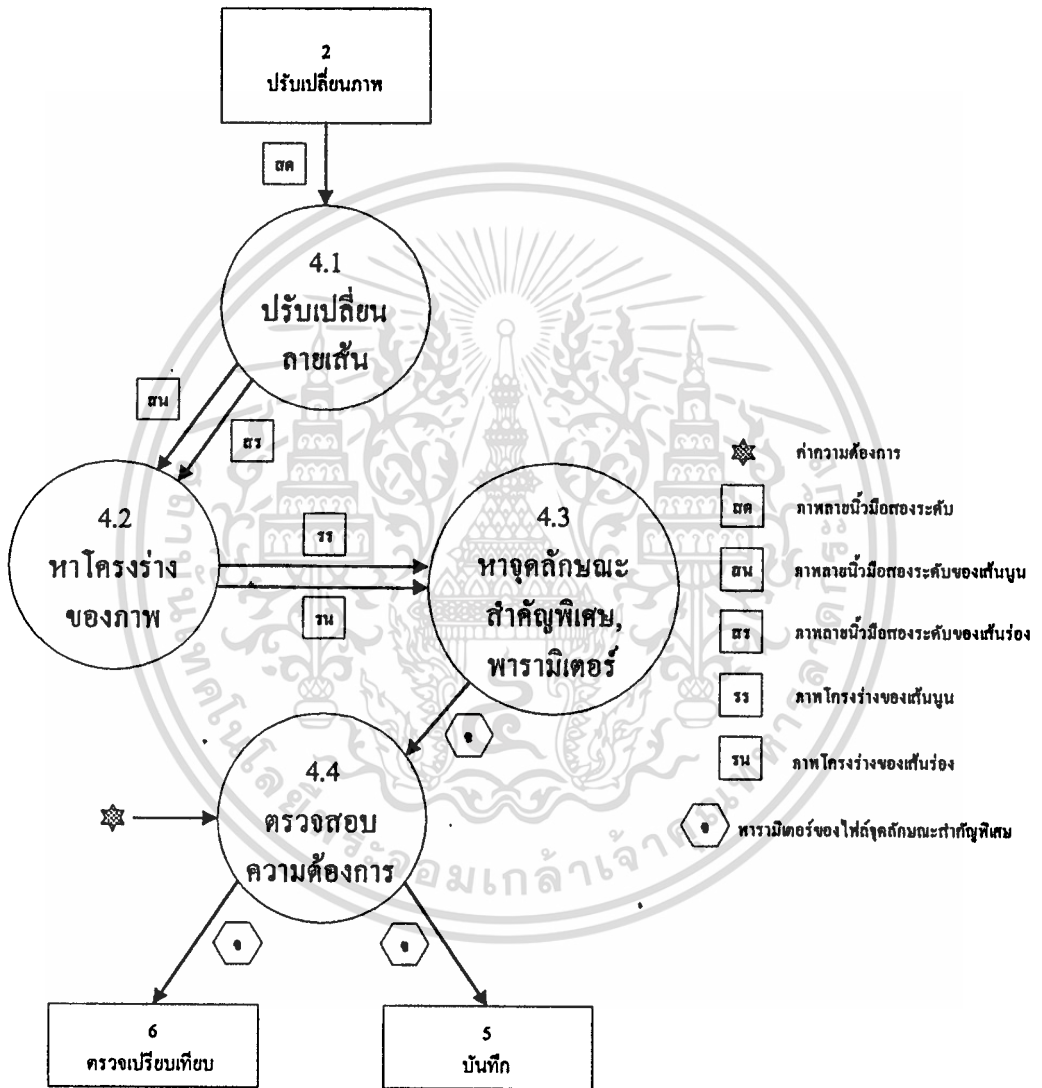
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 38



แสดงแผนภาพกระแสข้อมูลระดับลูกของหน่วยประมวลผลที่ 3

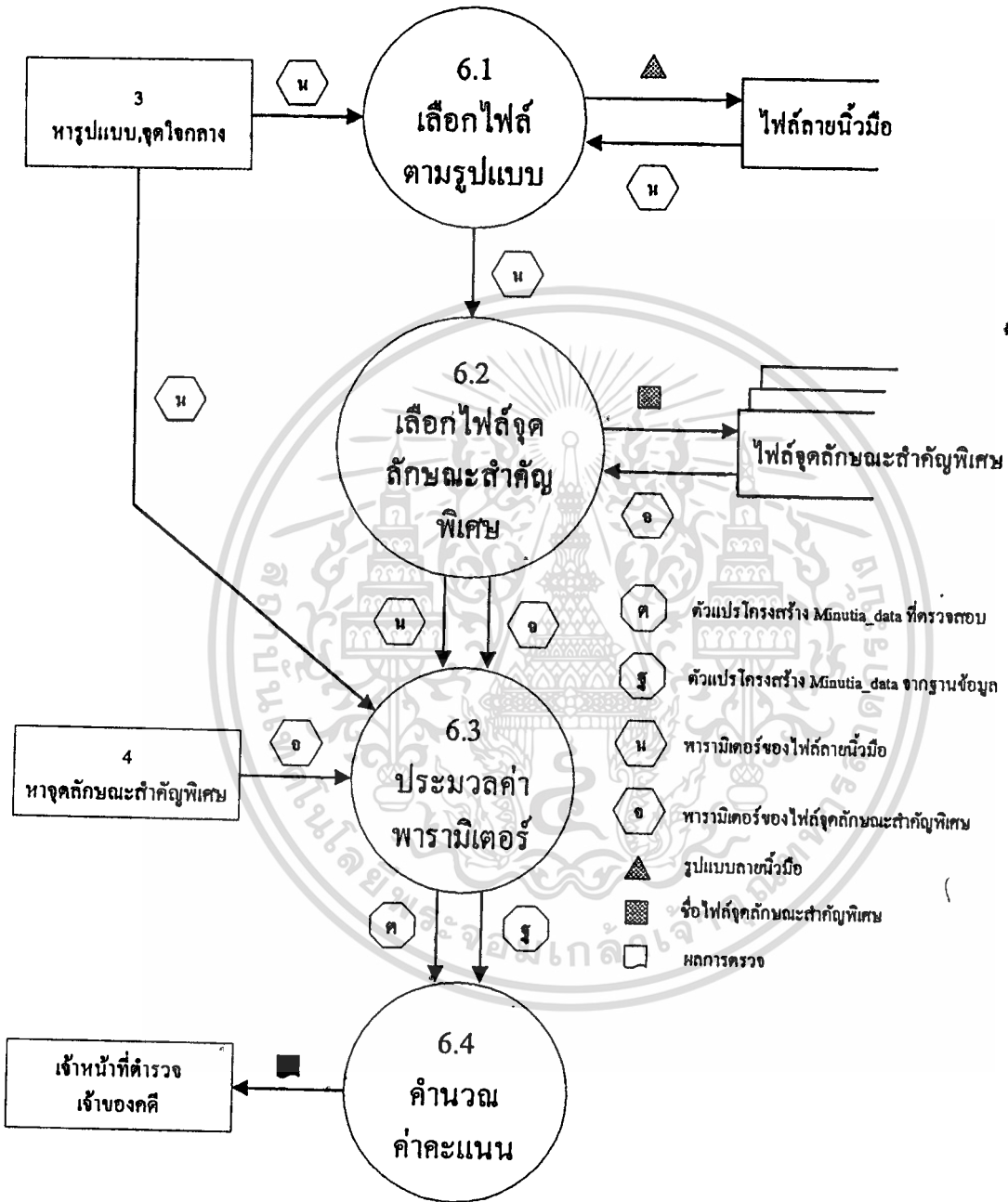
ภาพที่ 39



แสดงแผนภาพกระแสข้อมูลระดับสูงของหน่วยประมวลผลที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 40



แสดงแผนภาพกระแสข้อมูลระดับลูกของหน่วยประมวลผลที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 หน่วยประมวลผลที่ 1 รับภาพลายนิ้วมือ

เป็นหน่วยที่รับภาพลายนิ้วมือขนาด 3.1×2.7 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องสแกนเนอร์ที่ให้ไฟล์รูปแบบ ทีไอเอฟเอฟ (TIFF) แบบภาพระดับสีเทา ความละเอียด 256 จุดภาพต่อกว้าง โดยมีการวางภาพลายนิ้วมือในลักษณะซ้อนนิ้วขนานกับขอบล่างของกรอบภาพ

4.2 หน่วยประมวลผลที่ 2 ปรับเปลี่ยนภาพ ^[6]

เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่รับภาพลายนิ้วมือระดับสีเทา มาปรับปรุงภาพให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น และเปลี่ยนเป็นภาพลายนิ้วมือสองระดับ โดยใช้หลักของฟิชซ์ ซึ่งเป็นวิทยาการใหม่ แต่เดิมนั้นการเปลี่ยนภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพสองระดับโดยปกติจะใช้วิธีการใช้ค่าจุดพิกต์ (Threshold value) ในการจำแนก ซึ่งเราจะบอกได้เพียงว่าจุดภาพใดจุดภาพหนึ่งเป็นสีขาวหรือสีดำเท่านั้น แต่ในบางครั้งการแบ่งจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาใกล้เคียงกับค่าจุดแบ่ง อาจมีความผิดพลาดได้ เช่น ถ้ากำหนดค่าจุดแบ่งเท่ากับ 128 เราจะบอกว่าจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาเท่ากับ 127 คือ สีดำ จุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาเท่ากับ 129 คือ สีขาว ซึ่งอาจจะไม่ค่อยถูกต้องนัก จึงได้นำเอาแนวความคิดของฟิชซ์ซึ่งเซตมาประยุกต์ใช้ โดยจะบอกว่าแต่ละจุดภาพมีค่าระดับความสว่าง (μ) มากน้อยเพียงใดแทน เช่น ถ้าค่าระดับความสว่าง เท่ากับ หนึ่ง คือ สีขาว ค่าระดับความสว่าง เท่ากับ ศูนย์ คือ สีดำ หรือ ถ้าค่าระดับความสว่างเท่ากับ 0.6 แสดงว่าจุดภาพนั้น มีความน่าจะเป็นสีขาว 60 % สีดำ 40 % เป็นต้นและจุดภาพนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นสีขาวหรือดำ ขึ้นอยู่กับจุดภาพในบริเวณใกล้เคียงและเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งเป็นการปรับค่าแบบค่อยเป็นค่อยไป ในลักษณะมีค่าจุดแบ่งหลายๆค่าตามกลุ่มของจุดภาพ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.) แบ่งภาพระดับสีเทา X_g ขนาด $m \times n$ จุดภาพเป็นบล็อกๆขนาด 16×16 จุดภาพ

2.) ในแต่ละบล็อกจะทำการเปลี่ยนค่าระดับสีเทา (G) ของแต่ละจุดภาพ ให้เป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตความสว่าง (μ) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\mu(i,j) = \frac{1}{1 + \frac{G_{\max} - G(i,j)}{F_d}} \quad (4.1)$$

เมื่อ

$$i = 0, 1, 2, 3, \dots, m-1 \quad j = 0, 1, 2, 3, \dots, n-1$$

$$\mu(i,j) = \text{ค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตความสว่างของจุดภาพที่ตำแหน่ง } (i,j)$$

โดยที่

$$K \leq \mu(i,j) \leq 1 \text{ และ } K = \frac{1}{1 + \frac{G_{\max}}{F_d}} \quad (4.2)$$

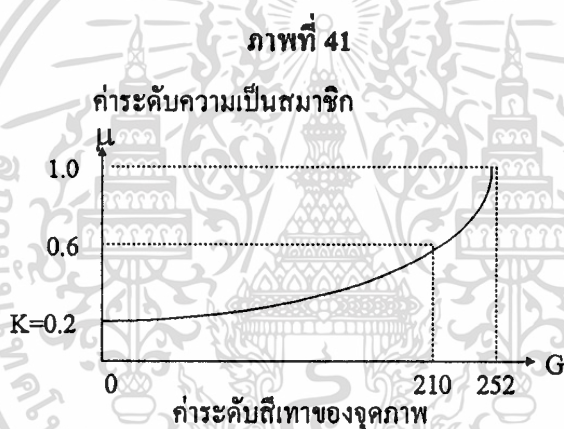
$G(i,j)$ = ค่าระดับสีเทาที่จุดภาพ (i,j)

G_{\max} = ค่าระดับสีเทาที่มากที่สุด ในบล็อก

G_{avr} = ค่าระดับสีเทาเฉลี่ย ของบล็อก

$$F_d = G_{\max} - G_{\text{avr}} + 0.5 \quad (4.3)$$

ซึ่งจะได้กราฟดังภาพที่ 41 โดยสมมติให้ $G_{\max} = 252$ และ $G_{\text{avr}} = 189$



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับสีเทา กับค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตความสว่าง

3.) ทำการเน้นค่าความเป็นสมาชิก ของจุดภาพนั้นๆ โดยการใช้ตัวดำเนินการ Contrast Intensification เพื่อเปลี่ยนค่าระดับความเป็นสมาชิก ให้เป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตความสว่างมากๆ หรือ น้อยๆ ($\mu'(i,j)$) ดังสมการ (4.4) เพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนไหวค่อยๆ แยกเป็นสองกลุ่ม คือกลุ่มสีขาวและกลุ่มสีดำ ให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 42

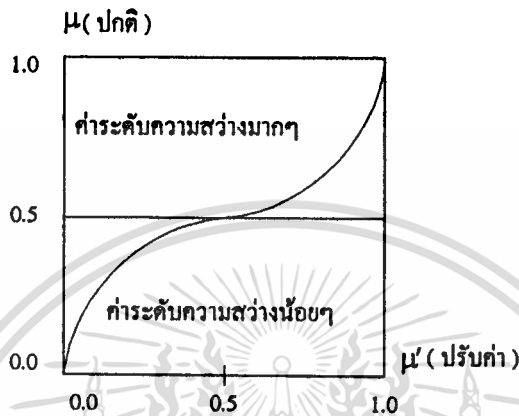
$$\mu'(i,j) = \text{Max}(\delta(i,j), K) \quad (4.4)$$

$$\text{เมื่อ } \delta(i,j) = 2 * \mu(i,j)^2 \quad \text{ถ้า } 0 \leq \mu \leq 0.5 \quad (4.5)$$

$$\delta(i,j) = 1 - 2 * (1 - \mu(i,j))^2 \quad \text{ถ้า } 0.5 < \mu \leq 1.0 \quad (4.6)$$

เมื่อ $\mu'(i,j)$ = ค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตความสว่างของจุดภาพ(i,j) ที่ปรับค่าแล้ว ตามเซตความสว่างมากๆหรือน้อยๆ

ภาพที่ 42



แสดงการปรับค่าระดับความเป็นสมาชิก

4.) หากผลต่างของจำนวนจุดภาพที่มีค่า $\mu'(i,j) > 0.5$ กับ จำนวนจุดภาพที่มีค่า $\mu'(i,j) \leq 0.5$ ถ้าน้อยกว่า 20 เปอร์เซนต์ของจุดภาพทั้งบล็อก แสดงว่าได้ภาพที่มีคุณภาพดีแล้วเพราะลักษณะของลายนิ้วมือที่ดีจะมีจำนวนของจุดภาพของเส้นนูนและเส้นร่องเท่ากัน ดังนั้นจึงให้เปลี่ยนค่าของจุดภาพเป็นค่าสองระดับ ดังแสดงในภาพที่ 44 ดังนี้

จุดภาพที่มีค่า $\mu'(i,j) > 0.5$ ให้มีค่าของจุดภาพเท่ากับ 0 (สีขาว) และ
จุดภาพที่มีค่า $\mu'(i,j) \leq 0.5$ ให้มีค่าของจุดภาพเท่ากับ 1 (สีดำ)

แล้วไปทำที่บล็อกถัดไปได้โดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง แต่ถ้ามากกว่าหรือเท่ากับ ให้นำค่าความเป็นสมาชิกที่ผ่านตัวดำเนินการ Contrast Indensification เปลี่ยนเป็นค่าระดับสีเทา ตามสมการ

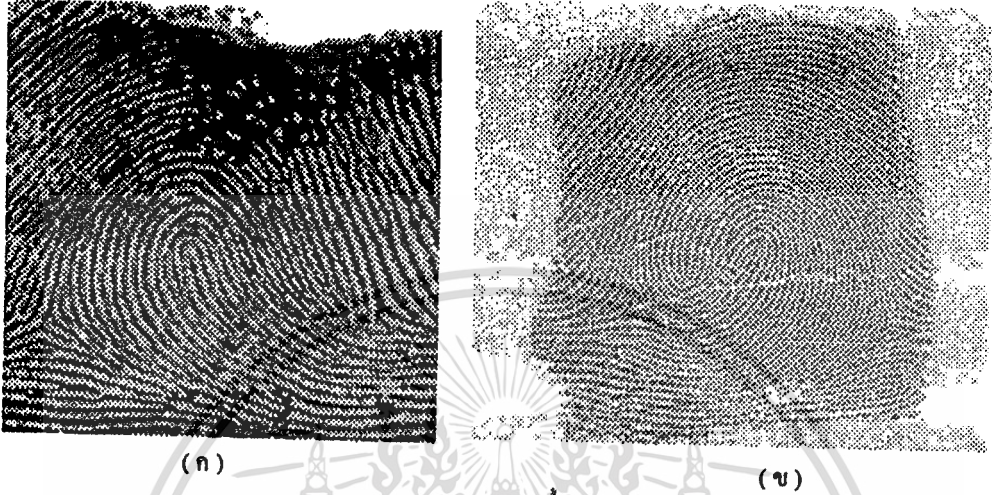
$$G'(i,j) = G_{\max} + F_d \left(1 - \frac{1}{\mu(i,j)} \right) \quad (4.7)$$

เมื่อ $G'(i,j)$ = ค่าระดับสีเทาที่จุดภาพ (i,j) ที่ปรับค่าแล้ว

แล้ววนทำข้อ 2.) , 3.) และ 4.) จนกว่าจะได้ภาพที่มีคุณภาพดีแล้วหรือครบจำนวนรอบที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 43



(ก)

(ข)

แสดงภาพลายนิ้วมือระดับสีเทา

ภาพที่ 44



(ก)

(ข)

แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับ ที่ได้จาก ภาพที่ 43 โดยใช้หลักของฟิชชีเซต

4.3 หน่วยประมวลผลที่ 3 หารูปแบบและจุดใจกลาง

เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่รับภาพลายนิ้วมือสองระดับมาเปลี่ยนเป็นภาพบล็อกทิสทางแล้วนำมาคำนวณหาบล็อกจุดใจกลาง และใจกลางตามลำดับ เพื่อนำมาประมวลเป็นหน่วยข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมที่เรียนรู้การจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือแล้ว สำหรับหารูปแบบของลายนิ้วมือ ดังที่ได้แสดงไว้ในแผนภาพกระแสข้อมูลดังกล่าว

4.3.1 หน่วยประมวลผลที่ 3.1 หารูปภาพบล็อกทิสทาง

การหารูปภาพบล็อกทิสทางเป็นขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลสำหรับหน่วยข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากของการจดจำรูปแบบลายนิ้วมือ จากการวิเคราะห์พบว่า ถ้าเราป้อนค่าภาพลายนิ้วมือเข้าไปในโครงข่ายประสาทเทียมโดยตรงนั้น จะต้องสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีขนาดใหญ่โตมาก ทำให้การประมวลผล การเรียนรู้ และการตรวจสอบจะต้องใช้ทรัพยากรต่างๆของระบบคอมพิวเตอร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งหน่วยความจำเป็นอย่างมากและใช้เวลานาน ดังนั้นจึงมีการศึกษาที่จะลดปัญหาต่างๆเหล่านี้ โดยเราพบว่าภาพบล็อกทิสทางของลายนิ้วมือ ดังแสดงในภาพที่ 29 จะคงรักษาลักษณะรูปแบบของลายนิ้วมือไว้ได้ น่าจะใช้เป็นข้อมูลสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมในการจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือได้ จึงทำการศึกษาและวิเคราะห์ ภาพบล็อกทิสทางของลายนิ้วมือใน 4 รูปแบบๆละ 10 รอยรวม 40 รอยพบว่า ภาพบล็อกทิสทางขนาด 15×10 บล็อกซึ่งมีบล็อกจุดใจกลางอยู่ที่ตำแหน่ง (8,3) เป็นขนาดที่ครอบคลุมจุดลักษณะสำคัญคือ จุดใจกลาง และจุดสันคอน ที่ใช้ในการจำแนกรูปแบบของลายนิ้วมือ ดังนั้นจึงกำหนดขนาดของหน่วยข้อมูลเข้าเท่ากับ 150 หน่วยตามขนาดของภาพบล็อกทิสทางสำหรับวิเคราะห์หารูปแบบของลายนิ้วมือโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

4.3.2 หน่วยประมวลผลที่ 3.2 หารจุดใจกลางและแกน

ในการหารจุดใจกลางนั้น เริ่มต้นโดยการนำภาพบล็อกทิสทาง มาหาบล็อกจุดวกกลับ จากนั้นวิเคราะห์ว่าบล็อกจุดวกกลับใดเป็นบล็อกจุดใจกลาง แล้วนำภาพลายนิ้วมือในตำแหน่งของบล็อกจุดใจกลางมาหารจุดใจกลาง และแกนของลายนิ้วมือ ซึ่งได้กำหนดว่า แกนของลายนิ้วมือจะมีจุดใจกลางเป็นจุดศูนย์กลางและมีแกน y ตั้งฉากกับขอบภาพด้านล่าง ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

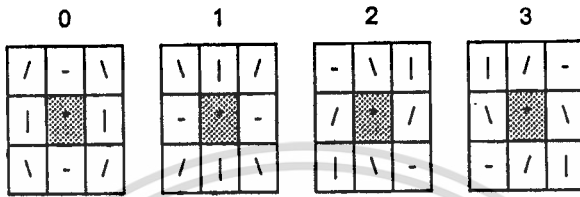
1.) การหาบล็อกของจุดวกกลับ ^{๑)}

จากภาพบล็อกทิสทาง จะหาบล็อกจุดวกกลับ กระทำได้โดยการเปลี่ยนค่าทิสทางในหน้าต่าง 3×3 ให้เป็นรหัสการไหลของลายเส้นโดยการเปรียบเทียบค่าทิสทางและตำแหน่ง กับรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบการไหล ดังภาพที่ 45 ปรับแต่งทิศทางการไหลของบล็อกทิศทาง 2 บล็อก ที่อยู่ติดกันโดยเริ่มจาก F0 หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ตามกฎการปรับทิศทางการไหลเรียงตามลำดับ ดังภาพที่ 46 จุดที่ตำแหน่ง F8 จะเป็น บล็อกจุดวกกลับ ก็ต่อเมื่อมีรหัสการไหลที่ปรับแต่งแล้วเป็น 1, 0 หรือ 0,1 ซึ่งในภาพบล็อกทิศทาง อาจจะมีบล็อกจุดวกกลับมากกว่า 1 จุด ก็ได้

ภาพที่ 45



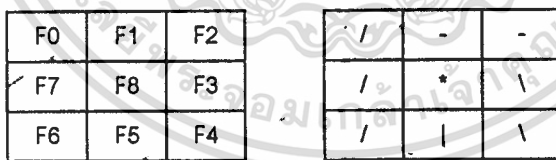
แสดงรหัสการไหลของทิศทาง

กฎการปรับทิศทางการไหล

- 1) 3, 2 ⇒ 1
- 2) 3, 3 ⇒ 3
- 3) 1, 3 ⇒ 1
- 4) 1, 2 ⇒ 1
- 5) 1, 1 ⇒ 1
- 6) 0, 3 ⇒ 0
- 7) 0, 2 ⇒ 0
- 8) 0, 0 ⇒ 0

กฎ 1) หมายความว่า ถ้าบล็อกแรกมีค่าทิศทางเป็น 3 บล็อกถัดไปมีค่าทิศทางเป็น 2 ให้รวมทั้งสองบล็อกเป็นบล็อกเดี่ยวที่มีค่าทิศทางเป็น 1 ดังภาพที่ 46.

ภาพที่ 46



ตำแหน่ง F:	0	1	2	3	4	5	6	7
ทิศทาง	/	-	-	\	\		/	/
รหัสการไหล	0	0	3	3	1	1	1	2
ปรับตามกฎ 2	0	0	3		1	1	1	2
ปรับตามกฎ 4	0	0	3		1	1	1	
ปรับตามกฎ 5	0	0	3		1		1	
ปรับตามกฎ 5	0	0	3		1			
ปรับตามกฎ 6	0	0			1			
ปรับตามกฎ 8	0				1			

แสดงการปรับแต่งรหัสการไหลของทิศทาง

2.) การขจัดบล็อกจุดวกกลับที่ไม่ถูกต้อง

การขจัดบล็อกจุดวกกลับที่ไม่ถูกต้องออกโดยพิจารณาจากหน้าต่าง 5×5 ที่มีบล็อกจุดวกกลับที่ตำแหน่ง N24 โดยแบ่งเป็น 4 เขต ดังภาพที่ 47 และ บล็อกจุดวกกลับ ที่ไม่ตรงกับเงื่อนไขดังต่อไปนี้ จะถูกยกเลิกการเป็น บล็อกจุดวกกลับ คือ

ใน R0 ต้องมี $D23 > \text{Threshold}$ และ $D23 > D01$

และ ใน R2 ต้องมี $D12 > \text{Threshold}$ และ $D12 > D03$

และ ใน R1 ต้องมี $D0 > D2$

เมื่อ

$\text{Threshold} = 5$

$D\alpha\lambda =$ ผลรวมจำนวนของบล็อกที่มีทิศทาง α กับ λ

$D\alpha =$ จำนวนของบล็อกที่มีทิศทาง α

ภาพที่ 47

N13	N11	N10	N8	N7
N14	N12	N9	N6	N5
N16	N15	N24	N3	N4
N17	N18	N21	N0	N2
N19	N20	N22	N23	N1

แสดงการแบ่งเขต R0,R1,R2 และ R3

เมื่อ

R0 ประกอบด้วย N0, N1,...,N7, N24

R1 ประกอบด้วย N6, N7,...,N13, N24

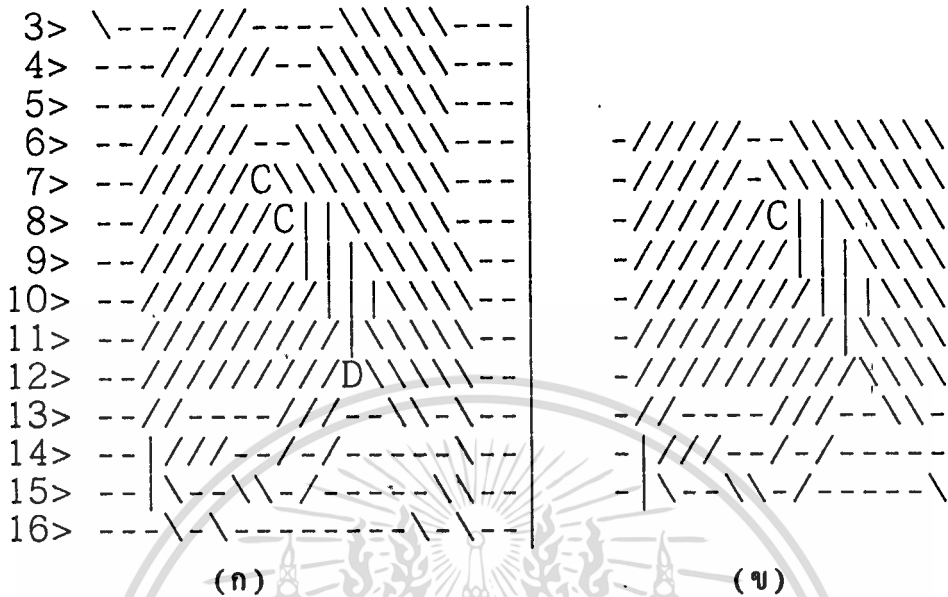
R2 ประกอบด้วย N12, N13,...,N19, N24

R3 ประกอบด้วย N18,...,N23, N0, N1, N24

3.) การหาบล็อกจุดใจกลาง

บล็อกจุดใจกลาง หมายถึง บล็อกจุดวกกลับที่เหลือจากข้อ 2.) ในตำแหน่งกึ่งกลางของบล็อกจุดวกกลับทุกบล็อกในแถวที่อยู่ต่ำที่สุด

ภาพที่ 48



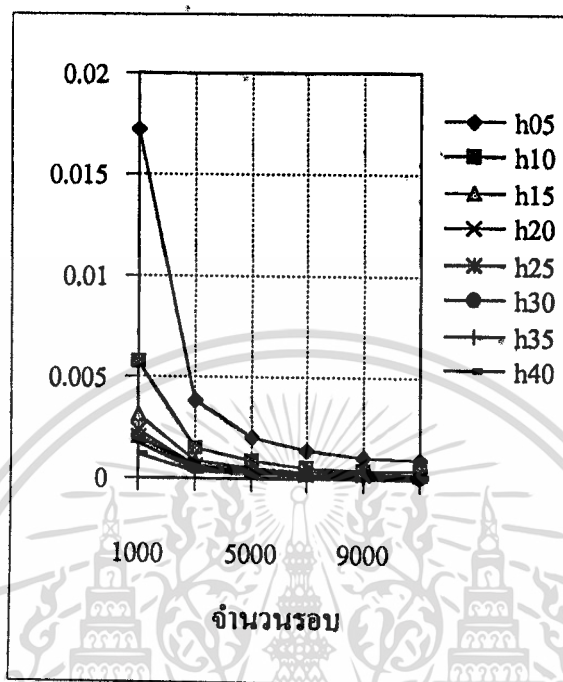
แสดง (ก) ภาพลือกทิตทางของลายนิ้วมือภาพที่ 28 และ (ข) ภาพลือกทิตทางสำหรับป้อนให้หน่วยข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือ

4.3.3 หน่วยประมวลผลที่ 3.3 การรูปแบบ

การหารูปแบบของลายนิ้วมือ ได้ทำการประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้นที่มีการเรียนรู้แบบการแพร่ย้อนกลับ ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 19 โดยที่มีหน่วยข้อมูลเข้า 150 หน่วยดังได้กล่าวมาแล้ว ส่วนหน่วยผลลัพธ์กำหนดให้มี 5 หน่วยซึ่งใช้แทนการจดจำรูปแบบลายนิ้วมือ 5 แบบ คือ แบบโค้ง แบบมัดหวายปิดซ้าย แบบมัดหวายปิดขวา แบบก้นหอย และ อื่นๆ สำหรับหน่วยซ่อนเร้น หาได้จากการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมนี้ โดยการกำหนดหน่วยข้อมูลเข้า เท่ากับ 150 หน่วย หน่วยผลลัพธ์ 5 หน่วย และ แปรเปลี่ยนค่าของหน่วยซ่อนเร้น เพื่อหาจำนวนหน่วยซ่อนเร้นที่เหมาะสม ซึ่งกระทำโดยเริ่มฝึกโครงข่ายประสาทเทียมด้วยจำนวนหน่วยซ่อนเร้นที่ค่อนข้างน้อยก่อน ถ้าโครงข่ายไม่สามารถเรียนรู้ได้ก็ให้เพิ่มจำนวนหน่วยซ่อนเร้นเพิ่มขึ้นไปอีกแล้วฝึกโครงข่ายดูใหม่ ถ้ายังไม่สามารถเรียนรู้งานได้ก็ให้ทำขั้นตอนเดิมอีกทำไปเรื่อยๆจนกว่าโครงข่ายจะสามารถจำแนกได้ จากการทดลองพบว่า จำนวนหน่วยซ่อนเร้นเท่ากับ 24 เป็นค่าที่น้อยและทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือได้ และให้ค่าความคลาดเคลื่อนในระดับที่กำหนดไว้ ดังภาพที่ 49 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในการจดจำกับจำนวนรอบของการเรียนรู้ สำหรับจำนวนหน่วยซ่อนเร้นต่างๆ (h10 หมายถึง โครงข่ายประสาทเทียมที่มีหน่วยซ่อนเร้น 10 หน่วย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 49



แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในการจดจำ

4.3.3.1 ขั้นตอนการเรียนรู้รูปแบบของลายนิ้วมือ ^[8]

การเรียนรู้รูปแบบของลายนิ้วมือของโครงข่ายประสาทเทียมนี้ เป็นการเรียนรู้แบบการชี้แนะ (supervisor learning) จากลายนิ้วมือทั้ง 5 รูปแบบคือ แบบโค้ง แบบมัดหวายปิดซ้าย แบบมัดหวายปิดขวา แบบก้นหอย และแบบอื่นๆ รูปแบบละ 12 รอยรวม 60 รอย แบ่งเป็น 4 ชุดๆละ 15 รอย ส่งให้โครงข่ายเรียนรู้ ตามลำดับในขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) กำหนดค่าเริ่มต้นให้ค่าถ่วงน้ำหนัก $W[m][n]$ และ $V[l][m]$ แบบสุ่ม ให้โครงข่ายประสาทเทียม ดังสมการ

$$W = V = W_{\max} \left(1 - \frac{2S}{S_{\max}} \right) \quad (4.8)$$

โดยที่

$$-W_{\max} \leq W \leq W_{\max} \quad , \quad -W_{\max} \leq V \leq W_{\max} \quad (4.9)$$

เมื่อ

W_{max} = คำนวณน้ำหนักที่มากที่สุดที่ต้องการ ได้จากการสุ่ม

S = ค่าที่ได้จากการสุ่ม

S_{max} = ค่าที่มากที่สุดที่ได้จากการสุ่ม

2) ป้อนค่าให้หน่วยข้อมูลเข้า (I[n]) โดยรับค่าของบล็อกทิศทาง ในเมตริกซ์ที่ได้ จากข้อ 4.3.1 ดังภาพที่ 50 โดยเรียงลำดับจาก ซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง

3) กำหนดค่าเป้าหมาย (T[I]) ให้กับหน่วยผลลัพธ์ (O[I]) ดังภาพที่ 50 โดยที่

$$T[I] = \begin{cases} 1 & \text{สำหรับค่าของหน่วยผลลัพธ์ที่ต้องการ} \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (4.10)$$

เมื่อ

- O[1] แทน หน่วยจดจำลายนิ้วมือแบบโค้ง (A)
- O[2] แทน หน่วยจดจำลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย (L)
- O[3] แทน หน่วยจดจำลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา (R)
- O[4] แทน หน่วยจดจำลายนิ้วมือแบบกันหอย (W)
- O[5] แทน หน่วยจดจำของลายนิ้วมือแบบอื่นๆ (X)

ภาพที่ 50

0>	- // // // - - \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	0111110033333333
1>	- // // // - \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	0111110333333333
2>	- // // // // \ \ \ \ \ \	0111111222333333
3>	- // // // // \ \ \ \ \ \	0111111122233333
4>	- // // // // // \ \ \ \ \ \	0111111112223333
5>	- // // // // // \ \ \ \ \ \	0111111111233333
6>	- // // // // // // \ \ \ \ \ \	0111111111133333
7>	- // - - - - // - - \ \ -	011000011100330
8>	- // // - - / - / - - - -	021110010100000
9>	- \ - - \ \ - / - - - - \	023003301000003
	ค่าเป้าหมาย ☺	01000

(ก)

(ข)

แสดง (ก) ภาพบล็อกทิศทาง และ (ข) ค่าข้อมูลเข้าและค่าเป้าหมายของภาพบล็อกทิศทางของ ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้ายสำหรับป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียม

4) คำนวณหาค่าของหน่วยซ้อนเร้น $H[m]$ ตามสมการ 2.22 และ หน่วยผลัดพัทธ์ $O[1]$ ตามสมการ 2.24 ทุกหน่วยตามลำดับโดยมีแอดติวชันฟังก์ชันแบบซิกมอยด์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการกำหนดค่าของผลัดพัทธ์โดยมีการใช้ค่าปรับแต่ง ซึ่งกำหนดดังสมการ 4.11

$$f(\text{net}_j + \theta) = \frac{1}{1 + e^{-\text{net}_j + \theta}} \quad (4.11)$$

เมื่อ θ เป็นนิเวรอนปรับแต่ง (Bias)

net_j เป็นค่าตามสมการ 2.21 หรือ สมการ 2.23

ตารางที่ 1

แสดงค่าผลัดพัทธ์ของแต่ละหน่วยผลัดพัทธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมหลังจากการเรียนรู้

ลำดับ	รูปแบบ	ค่าผลัดพัทธ์ของหน่วยผลัดพัทธ์ที่				
		1	2	3	4	5
1	1	0.998682	0.004706	0.001809	0.0006600	0.001423
2	2	0.002699	0.995018	0.002819	0.002612	0.001664
3	3	0.002803	0.001445	0.991920	0.006972	0.000859
4	4	0.004440	0.001555	0.004807	0.993985	0.001349
5	5	0.006412	0.00148775	0.004121	0.004598	0.991563
6	1	0.996801	0.003330	0.002108	0.001043	0.001644
7	2	0.009789	0.992631	0.000958	0.002512	0.000742
8	3	0.004200	0.001128	0.995375	0.005816	0.001953
9	4	0.003436	0.000901	0.001429	0.998672	0.001128
10	5	0.005231	0.002310	0.004362	0.001785	0.998852
11	5	0.006321	0.0045236	0.0047852	0.0032324	0.999746
12	4	0.007548	0.002382	0.001695	0.995400	0.000891
13	3	0.011437	0.000942	0.994357	0.001574	0.000743
14	2	0.003436	0.998672	0.000901	0.001429	0.001128
15	1	0.995697	0.003531	0.000951	0.002695	0.001408

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ปรับค่าถ่วงน้ำหนัก ที่เชื่อมต่อนระหว่างชั้นผลลัพธ์กับชั้นซ่อนเร้น (ΔV) ตาม

สมการ 2.26

6) ปรับค่าถ่วงน้ำหนัก ที่เชื่อมต่อนระหว่างชั้นซ่อนเร้นกับชั้นข้อมูลเข้า (ΔW)

ตามสมการ 2.28 เมื่อ $\beta =$ อัตราการเรียนรู้ $= 0.075$

$\gamma =$ ค่าโมเมนตัม (Momentum factor) $= 0.50$

โดยที่ค่า β และ γ เป็นค่าที่ได้จากการทดลองโดยการพิจารณาค่าที่ให้ผลการจดจำรูปแบบลายนิ้วมือของโครงข่ายประสาทเทียมได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และไม่ลืมนง่าย

7) ทำซ้ำ ข้อ 3 ถึง 7 จนกว่าค่าความแตกต่าง E_p ตามสมการ 2.25 น้อยกว่าค่าระดับความคลาดเคลื่อน (Error Level, E) ที่กำหนดไว้คือ 0.00001 เพื่อให้ได้ความถูกต้องในการจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือมากที่สุด

8) ส่วนในชุดที่ 2, 3 และ 4 ดำเนินการเหมือนชุดที่ 1 โดยค่าถ่วงน้ำหนักในข้อ 1 ให้ใช้ค่าที่ได้จากการเรียนรู้แล้วแทนการสุ่ม

4.3.3.2 การทดสอบการจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือ

การทดสอบการจดจำมีขั้นตอนเหมือนกับการเรียนรู้ แต่ไม่มีการกำหนดค่าเป้าหมายและการปรับถ่วงน้ำหนัก และค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณต้องเป็นค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้รับการปรับจนโครงข่ายประสาทเทียมสามารถจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือได้แล้ว การตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียม ว่าจดจำรูปแบบใดได้ ให้ถือตาม หน่วยผลลัพธ์ ที่ให้ค่ามากที่สุดและมีค่าคะแนนมาตรฐานมากกว่าของค่าหน่วยผลลัพธ์อันดับสองเท่ากับ 2.0 นอกจากนี้แสดงว่าไม่สามารถยืนยันผลได้

4.4 หน่วยประมวลผลที่ 4 หากจุดลักษณะสำคัญพิเศษ

จุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือ ได้แก่ จุดปลายและจุดแยก ซึ่งเราจะได้นำเสนอนี้จะเป็นคุณลักษณะที่สำคัญที่จะใช้ในการตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือว่าลายนิ้วมือสองรอยมีความเหมือนกันมากน้อยเพียงใด โดยเริ่มจากภาพลายนิ้วมือสองระดับ นำมาเปลี่ยนเป็นภาพลายนิ้วมือของเส้นนูนและภาพลายนิ้วมือของเส้นร่อง จากนั้นนำภาพทั้งสองมาหาโครงร่างโดยยึดภาพลายนิ้วมือของเส้นนูนเป็นหลัก เพื่อหาว่าจุดภาพใดเป็นจุดปลายหรือจุดแยก ซึ่งมีภาพลายนิ้วมือของเส้นร่องเป็นเกณฑ์หรือเงื่อนไขในการพิจารณา ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.4.1 หน่วยประมวลผลที่ 4.1 การปรับเปลี่ยนลายเส้น

เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่นำภาพลายนิ้วมือสองระดับมาเปลี่ยนเป็นภาพลายนิ้วมือของเส้นนูน และภาพลายนิ้วมือของเส้นร่อง ตามสมการที่ 3.2 และสมการที่ 3.3 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.4.2 หน่วยประมวลผลที่ 4.2 การหาโครงร่างของภาพ

โครงร่างของลายนิ้วมือ ได้มาจากกรรมวิธีการทำให้บาง (Thinning Algorithm) ซึ่งเป็นการลดขนาดความหนาของลายเส้นของลายนิ้วมือลง เพื่อให้เหลือแต่รูปโครงร่างที่เราสนใจเท่านั้น กรรมวิธีที่เราจะได้นำเสนอนี้ เป็นการรวมเอา 2 กรรมวิธี ซึ่งได้แก่ Che and Suen Thinning technique ^[10] ซึ่งมีพื้นฐานหลักการในเรื่อง Fill , Label , Delete and Strip และ Hilditch's Algorithm ^[11] ซึ่งอธิบายถึงการที่จะต้องตรวจสอบวิกฤตการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนด ก่อนที่จุดสีดำของรูปแบบ จะถูกลบ มาประยุกต์โดยการระบุ จุดมุมและจุดขอบ ของลายเส้นของลายนิ้วมือ ตามหลักการ Label ของ Che และ Suen ให้เป็นจุดวิกฤตก่อน ส่วนการที่จุดมุมและจุดขอบจะลบหรือไม่นั้น ใช้หลักการของ Hilditch และเงื่อนไขเพิ่มเติมสำหรับลดการเกิดหางที่ปลายเส้น ซึ่งพบว่าวิธีการดังกล่าวนี้เหมาะสมสำหรับภาพวัตถุที่มีลักษณะเป็นลายเส้นเช่นลายนิ้วมือ ถึงแม้ว่าความกว้างของลายเส้นจะไม่สม่ำเสมอหรือมีจำนวนจุดภาพเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ก็ตาม ก็ให้โครงร่างที่ถูกต้องมีความผิดพลาดน้อยมาก

การหาโครงร่างของภาพลายนิ้วมือ จะกระทำกับภาพลายนิ้วมือสองระดับของเส้นนูน (X_p) และเส้นร่อง (X_r) ดังต่อไปนี้

1.) ทำการลบความหนาของลายเส้นโดยใช้หน้าต่าง 3×3 เคลื่อนที่บนภาพลายนิ้วมือจาก ซ้ายไป ขวา และจาก บน ลง ล่าง โดยให้จุดภาพที่ $w[8]$ เป็นจุดภาพที่จะถูกกระทำ ใน 4 ขั้นตอนเรียงตามลำดับ ดังต่อไปนี้ คือ

- 1.1.) หาจุดขอบและจุดมุม ของทั้งภาพ ตามหลักการในข้อ 3.3
- 1.2.) ทำการ ลบ ตามหลักการในข้อ 3.4 โดยให้ $w[8]$ อยู่ที่ จุดขอบ
- 1.3.) ทำการ ลบ ตามหลักการในข้อ 3.4 โดยให้ $w[8]$ อยู่ที่ จุดมุม
- 1.4.) ทำการ ลบ ตามหลักการในข้อ 3.4 โดยให้ $w[8]$ อยู่ที่ จุดของลายเส้นทุกจุด

ภาพที่ 51

```

111111 1
111111111111
1111111111111
11111      11111
111111 111 11111
111111 111 11111
11111 1111 1111
11111 1111 11111

```

แสดงบางส่วนของภาพลายนิ้วมือสองระดับที่จะหาโครงร่าง

ภาพที่ 52

EEEEE
 EEC1111CEEE
 EC1CEEEEEEECC
 EC11E ECCEE
 EC11CE EEE EECCE
 EC11CE ECE ECCEE
 EC11E ECCE E11E
 E11CE E1CE E11CE
 (ก) แสดงจุดขอบ (E) และจุดมุม (C)

C1111C
 C1C EECC
 C11 CC
 C11C E CC
 C11C C CC
 C11 CC 11
 11C 1C 11C
 (ข) แสดงภาพภายหลังการลบจุดขอบ

1111C
 1C EECC
 11 CC
 11 E CC
 11 C C
 11 C 11
 11 1C 11
 (ค) แสดงภาพภายหลังการลบจุดมุม

11111
 11 1111
 1 1
 1 1 11
 1 1 1
 1 1 1
 1 1 1

(ง) แสดงภาพภายหลังการลบจุดภายใน
 แสดงขั้นตอนการลบความหนาของชายเส้นภาพฉายนี้ว่ามีสองระดับ

ภาพที่ 53



แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับที่จะหาโครงร่าง

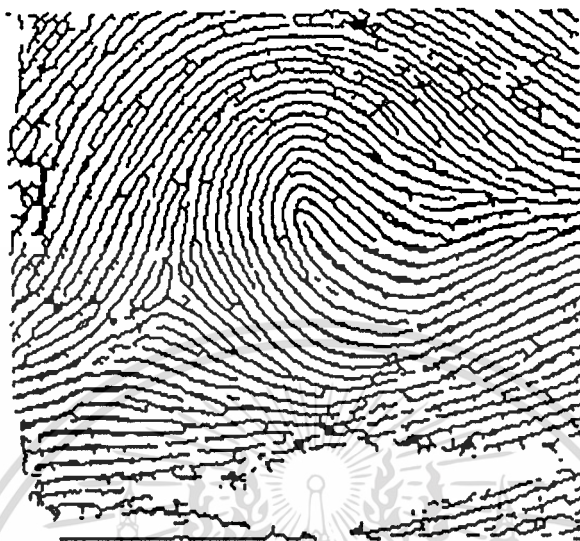
ภาพที่ 54



แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับของภาพที่ 53 ภายหลังจากลบจุดขอบ

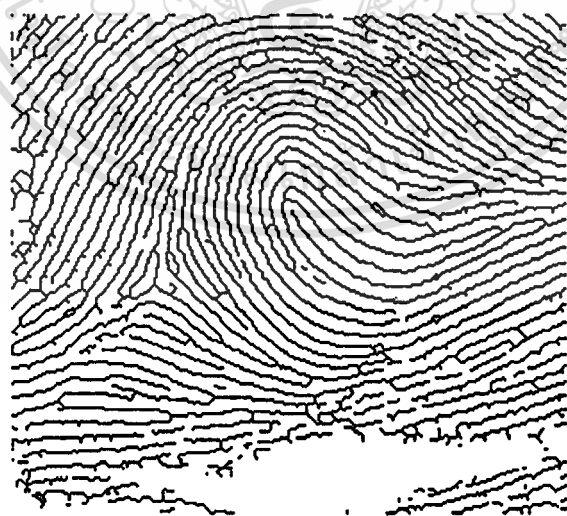
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 55



แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับของภาพที่ 54 ภายหลังจากลบจุดมูม

ภาพที่ 56



แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับของภาพที่ 55 ภายหลังจากลบจุดบนลายเส้นที่เหลือ

2.) ทำการลบจุดรบกวนของลายนิ้วมือ ซึ่ง ได้แก่ เส้นสั้น เส้นกิ่ง และเส้นสะพาน ดังภาพที่

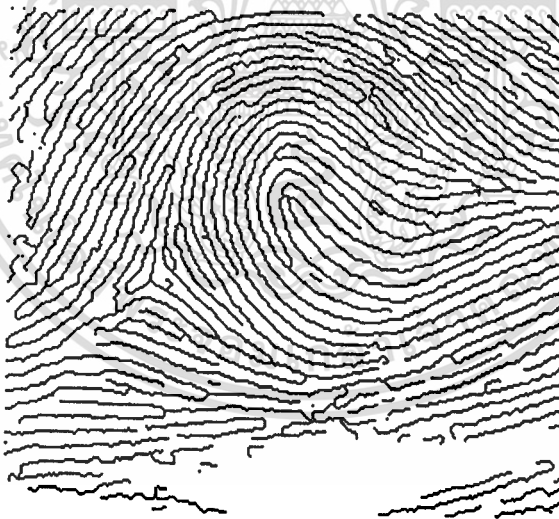
ภาพที่ 57



แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับของภาพที่ 56 ภายหลังจากลบจุดรบกวน

3.) ทำการเชื่อมต่อลายเส้นของโครงร่างลายนิ้วมือ

ภาพที่ 58



แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับของภาพที่ 57 ภายหลังจากเชื่อมต่อลายเส้น

4.4.3 หน่วยประมวลผลที่ 4.3 หาจุดลักษณะสำคัญพิเศษ

การหาจุดลักษณะสำคัญพิเศษ จะกระทำกับ โครงร่างลายนิ้วมือสองระดับของเส้นนูน ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.) หาจุดปลายเส้นและจุดบนเส้นแยกทั้งหมดของภาพ เก็บไว้ในไฟล์จุดบนลายเส้น ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2
แสดงโครงสร้างของไฟล์จุดบนลายเส้น

ชื่อฟิลด์	ชนิด	ความกว้าง	คำอธิบาย
1. X	N	3	ค่า x ของคู่ลำดับ (x,y) ของตำแหน่งจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
2. Y	N	3	ค่า y ของคู่ลำดับ (x,y) ของตำแหน่งจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
3. MINUTIA_TYPE	N	1	โค้ดของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ ซึ่งได้แก่ 0 หมายถึง จุดแยก 1 หมายถึง จุดปลาย

2.) สร้างหน้าต่างขนาด 15x15 บนภาพลายนิ้วมือสองระดับของเส้นนูนและเส้นร่อง โดยให้มีจุดบนลายเส้น ที่ได้จากไฟล์จุดบนลายเส้น อยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางหน้าต่าง

3.) ตรวจสอบว่าจุดบนลายเส้น $X_r(i,j)$ เป็นจุดลักษณะสำคัญพิเศษหรือไม่ โดย

3.1) $X_r(i,j)$ จะเป็น จุดปลาย ของลายนิ้วมือ ก็ต่อเมื่อ

$X_r(i,j)$ เป็นจุดปลายเส้น

และ $L(X_r(i,j)) \geq 4$

และ จะต้องมี จุด $X_r(m,n)$ ของเส้นร่องของลายนิ้วมือที่มีคุณสมบัติดังนี้

- $X_r(m,n)$ เป็นจุดบนเส้นแยก
- ความยาวหางของจุดข้างเคียง $X_r(m,n)$ ทั้ง 3 เส้นต้องยาวมากกว่า 4 จุดภาพ
- มุมระหว่างความชันของของจุดข้างเคียง $X_r(m,n)$ กับ ความชันของหาง $X_r(i,j)$ ต้องต่างกันน้อยกว่า 30 องศา
- จะต้องไม่มีเส้นนูนระหว่างจุด $X_r(m,n)$ กับ $X_r(i,j)$

3.2) $X_r(i,j)$ จะเป็น จุดแยก ของเส้นนูนของลายนิ้วมือ ก็ต่อเมื่อ

$X_r(i,j)$ เป็นจุดบนเส้นแยก

และ ความยาวหางของจุดข้างเคียง $X_r(i,j)$ ทั้ง 3 เส้นต้องยาวมากกว่า 4 จุดภาพ

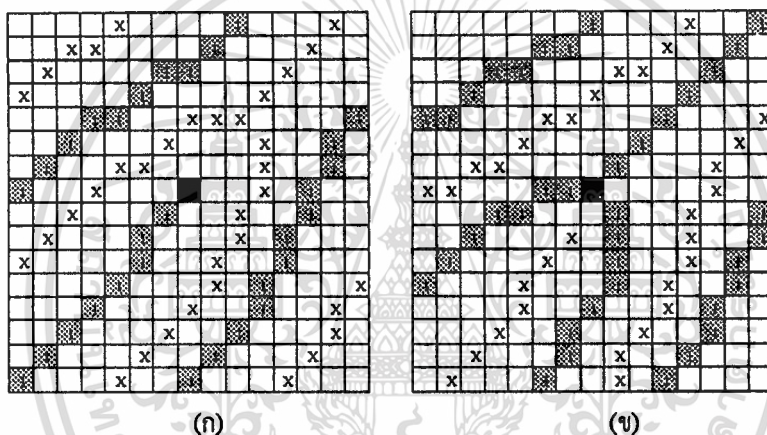
และ มุมระหว่างความชันของหางของจุดข้างเคียง $X_r(i,j)$ ทั้ง 3 เส้นต้องต่างกัน

น้อยกว่า 30 องศา

และ จะต้องมี จุด $X_r(m,n)$ ของเส้นร่องของลายนิ้วมือที่มีคุณสมบัติดังนี้

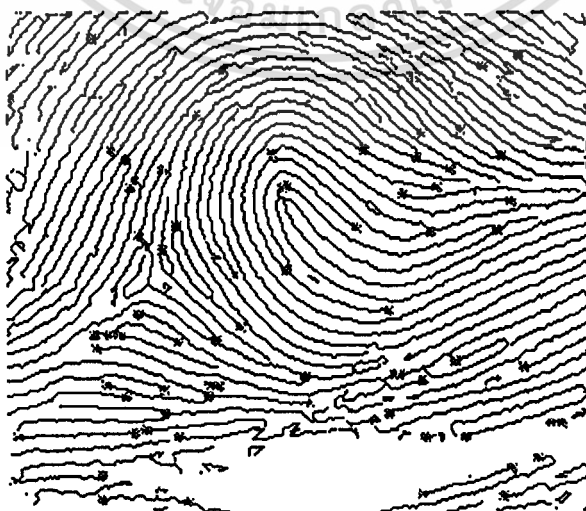
- $X_r(m,n)$ เป็นจุดปลายเส้น
- $L(X_r(m,n)) \geq 4$
- มุมระหว่างความชันของหางของจุด $X_r(m,n)$ กับ ความชันของหางของจุดข้างเคียง $X_r(i,j)$ ต้องต่างกันน้อยกว่า 30 องศา
- จะต้องไม่มีเส้นนูนระหว่างจุด $X_r(m,n)$ กับ $X_r(i,j)$

ภาพที่ 59



แสดง (ก) จุดมุม, (ข) จุดแยก : ■ เส้นนูน : ▨ เส้นร่อง : □ ของลายนิ้วมือ

ภาพที่ 60



แสดงจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือที่ระบบ AFIS ตรวจได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 หน่วยประมวลผลที่ 5 บันทึกลับ

เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่ตรวจสอบว่าข้อมูลของลายนิ้วมือในแต่ละรอย มีการประมวลผลครบถ้วนแล้วหรือไม่ ถ้าไม่ หรือมีการบันทึกไว้แล้ว ก็จะทำการยกเลิกและแสดงข้อความแจ้งให้ทราบ ถ้าครบถ้วนแล้วก็ทำการบันทึกข้อมูลลงในไฟล์ลายนิ้วมือ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย ไฟล์ข้อมูลลายนิ้วมือ ที่จะเป็นไฟล์หลักสำหรับคัดเลือกไฟล์ที่มีรูปแบบเหมือนกันกับลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบเปรียบเทียบ และไฟล์จุดลักษณะสำคัญพิเศษ เป็นไฟล์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบว่าลายนิ้วมือสองรายนั้นมีความเหมือนกันมากน้อยเพียงใด โดยในแต่ละไฟล์จะมีโครงสร้างของไฟล์ ดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3

แสดงโครงสร้างไฟล์ข้อมูลลายนิ้วมือ(Fingerprint File Structure)

ชื่อฟิลด์	ชนิด	ความกว้าง.จุดทศนิยม	คำอธิบาย
1. FP_NAME	C	40	ชื่อของไฟล์จุดลักษณะสำคัญพิเศษ
2. PATTERN	C	1	รูปแบบของลายนิ้วมือ A : แบบโค้ง R : แบบมัดหวายปิดขวา L : แบบมัดหวายปิดซ้าย W : แบบกั้นหอย X : แบบอื่นๆ
3. X_CORE	N	3	ค่า x ของคู่ลำดับ (x,y) ของจุดใจกลาง
4. Y_CORE	N	3	ค่า y ของคู่ลำดับ (x,y) ของจุดใจกลาง
5. AXIS	F	10.4	ความชันของแกนของลายนิ้วมือ

ตารางที่ 4

แสดงโครงสร้างไฟล์จุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutiae File Structure)

ชื่อฟิลด์	ชนิด	ความกว้าง.จุดทศนิยม	คำอธิบาย
1. NO	N	3	หมายเลข จุดลักษณะสำคัญพิเศษ
2. M_X	N	3	ค่า x ของคู่ลำดับ (x,y) ของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
3. M_Y	N	3	ค่า y ของคู่ลำดับ (x,y) ของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ

4. M_TYPE	N	1	ลักษณะของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
5. M_DIR	F	12.4	ทิศทางของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
6. M_QDT	C	1	ควอเรนซ์ของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
7. C_DT	F	12.2	ระยะทางจากจุดใจกลางถึงจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
8. C_ANG	F	12.4	ความชันระหว่างจุดใจกลางกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
9. NB1	N	3	หมายเลขจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงที่สุดในควอเรนซ์ที่ 1
10. NB2	N	3	หมายเลขจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงที่สุดในควอเรนซ์ที่ 2
11. NB3	N	3	หมายเลขจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงที่สุดในควอเรนซ์ที่ 3
12. NB4	N	3	หมายเลขจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงที่สุดในควอเรนซ์ที่ 4
13. LC1	N	3	จำนวนเส้นระหว่างจุดลักษณะสำคัญพิเศษหมายเลข NO กับ NB1
14. LC2	N	3	จำนวนเส้นระหว่างจุดลักษณะสำคัญพิเศษหมายเลข NO กับ NB2
15. LC3	N	3	จำนวนเส้นระหว่างจุดลักษณะสำคัญพิเศษหมายเลข NO กับ NB3
16. LC4	N	3	จำนวนเส้นระหว่างจุดลักษณะสำคัญพิเศษหมายเลข NO กับ NB4
17. Q1_MT	N	1	ลักษณะของจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงที่สุดในควอเรนซ์ที่ 1
18. Q2_MT	N	1	ลักษณะของจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงที่สุดในควอเรนซ์ที่ 2
19. Q3_MT	N	1	ลักษณะของจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงที่สุดในควอเรนซ์ที่ 3
20. Q4_MT	N	1	ลักษณะของจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงที่สุดในควอเรนซ์ที่ 4
21. Q1_MD	N	12.4	ทิศทางของจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงที่สุดในควอเรนซ์ที่ 1
22. Q2_MD	N	12.4	ทิศทางของจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงที่สุดในควอเรนซ์ที่ 2
23. Q3_MD	N	12.4	ทิศทางของจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงที่สุดในควอเรนซ์ที่ 3
24. Q4_MD	N	12.4	ทิศทางของจุดลักษณะสำคัญพิเศษใกล้เคียงที่สุดในควอเรนซ์ที่ 4

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าไม่มีฟิลด์ลำดับที่ 17-24 ในแต่ละเรคอร์ด จะเก็บข้อมูลซ้ำซ้อนกับข้อมูลในเรคอร์ดอื่นๆ สาเหตุเนื่องมาจากการลดเวลาที่จะประมวลผลในขณะการตรวจเปรียบเทียบ

4.6 หน่วยประมวลผลที่ 6 ตรวจเปรียบเทียบ

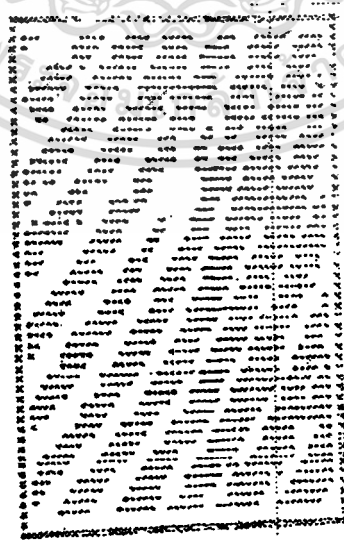
การตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือสองรอยว่าเป็นลายนิ้วมือเดียวกันหรือไม่นั้น เราไม่สามารถใช้วิธีการเปรียบเทียบโดยตรงบนภาพ (Template matching) ได้ เนื่องจากเป็นวิธีการเปรียบเทียบภาพที่จะต้องมิติศทางการวางตัวของรูปภาพที่ตรงกันและขนาดของภาพลายนิ้วมือก็

ภาพที่ 63

Terminal	Interpretation	Description
A	(Directional Code
B)	Directional Code
C	∪	Directional Code
D	∩	Directional Code
X	⋈	Branching Point
*	⋈	Merging Point
-	⊖	Loop
\$	⊥	Sudden Ending
\$\$	⊥	Segment
L	Left Side	Left
R	Right Side	Right
●	Starting Point	Starting Ridge

แสดงรูปแบบย่อของลายนิ้วมือแบบต่างๆ

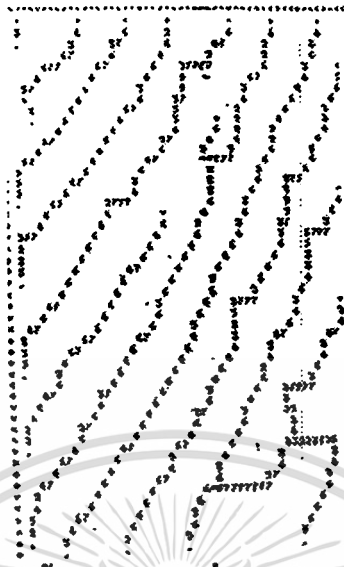
ภาพที่ 64



แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับในส่วนของหน้าต่างในภาพที่ 62

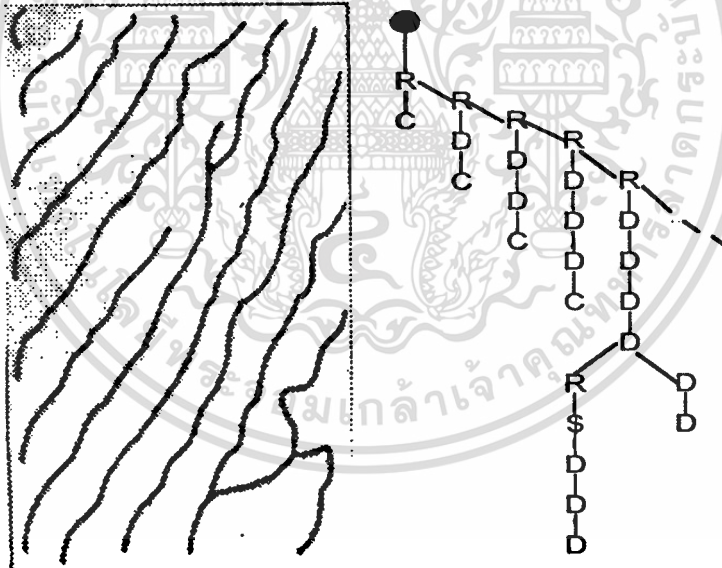
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 65



แสดงภาพลายนิ้วมือของภาพที่ 64 หลังการประมวลผล

ภาพที่ 66



(ก)

(ข)

(ก) แสดงภาพที่ 65 เมื่อแทนด้วยรูปแบบย่อยของลายนิ้วมือ (ข) โครงสร้างทรีของภาพ (ก)

เมื่อต้องการเปรียบเทียบลายนิ้วมือ ก็นำไวยากรณ์ทรีมาเปรียบเทียบแทน ซึ่งวิธีการนี้จะมีความยืดหยุ่นในเรื่องทิศทางการวางตัวและขนาดของลายนิ้วมือมากกว่าการเปรียบเทียบโดยตรงบนภาพ แต่ปัญหาที่พบคือ การกำหนดตำแหน่งให้รากของทรี และจะต้องมีการกำหนดลักษณะหรือรูปแบบพื้นฐานของลายนิ้วมือแบบต่างๆซึ่งมีจำนวนมากมาย ไว้ก่อน การที่กำหนดรากของทรีผิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดรูปแบบไม่ครบ หรือการหารูปแบบพื้นฐานผิด เนื่องจากลายเส้นมีลักษณะผิดไปจากปกติ เพราะ การพิมพ์ลายนิ้วมือ หรือ สิ่งรบกวนต่างๆ ก็จะทำให้ได้ไวยากรณ์ที่ต่างกันไป และทำให้ความถูกต้องลดน้อยลงไปด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการเปรียบเทียบลายนิ้วมือ ซึ่งแตกต่างจาก 2 วิธีแรก คือ แทนที่จะใช้ลายนิ้วมือทั้งหมดทุกส่วนในการเปรียบเทียบ ก็ใช้คุณลักษณะสำคัญของลายนิ้วมือแทน โดยอาศัยหลักสถิติที่ว่า จุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือแบบต่างๆ จะมีโอกาสเกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างๆบนลายนิ้วมือได้ไม่เท่ากัน และ หลักคุณสมบัติของลายนิ้วมือ ที่กล่าวว่า ลายนิ้วมือสองรอยจะเป็นลายนิ้วมือเดียวกัน ก็ต่อเมื่อ

1. จุดลักษณะสำคัญพิเศษต้องอยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่สัมพันธ์กันทั้งหมด
2. จุดลักษณะสำคัญพิเศษที่สัมพันธ์กันจะต้องเป็นแบบและมีทิศทางเดียวกัน
3. ระหว่างจุดลักษณะสำคัญพิเศษ 2 จุดใดๆที่สัมพันธ์กัน จะต้องมีความยาวเส้นของลายนิ้วมือเท่ากันเสมอ

ดังนั้นการตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือที่นำเสนอนี้ จะเป็นวิธีการเลือกไฟล์ลายนิ้วมือในฐานข้อมูลที่มีความเหมือนกันกับลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบมากที่สุดแสดงออกมา โดยยึดถือจุดเริ่มต้นคือจุดใจกลางเป็นหลัก แล้วทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างจุดใจกลางกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษในเรื่องของระยะทาง และความแตกต่างของมุม ที่ตั้งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ความสัมพันธ์ของจำนวนเส้นของลายนิ้วมือระหว่างจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่ทดสอบกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษข้างเคียงที่อยู่ใกล้ที่สุดใน 4 ควอเตอร์ แล้วนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น รูปแบบและทิศทางของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ มุมและระยะทางจากจุดใจกลาง และจำนวนเส้นของลายนิ้วมือระหว่างจุด มาคำนวณเป็นค่าคะแนนความเหมือนกัน ซึ่งดังจะแสดงในอัลกอริทึมที่ 4.1 และบันทึกค่าคะแนนที่คำนวณได้ไว้ในไฟล์คะแนนตรวจพิสูจน์ ที่มีโครงสร้างตามตารางที่ 5 โดยที่มีคะแนนสูงสุดคือ 9,999 คะแนน ซึ่งหมายความว่าลายนิ้วมือสองรอยมีความน่าจะเป็นลายนิ้วมือเดียวกัน 99.99 %

ตารางที่ 5

แสดงโครงสร้างไฟล์คะแนนตรวจพิสูจน์ (Candidate List File Structure)

ชื่อฟิลด์	ชนิด	ความกว้าง.จุดทศนิยม	คำอธิบาย
1. RANG	N	3	ลำดับคะแนน
2. FP_NAME	C	40	ชื่อของไฟล์ข้อมูลลายนิ้วมือ
3. SCORE	N	5	คะแนนในการตรวจเปรียบเทียบ

อัลกอริทึมที่ 4.1 Fp_Compare()

เลือกไฟล์ข้อมูลลายนิ้วมือในฐานข้อมูล ที่มีรูปแบบลายนิ้วมือเหมือนกันกับของลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบและบันทึกค่าคะแนน ที่ได้จากการเปรียบเทียบซึ่งค่าคะแนนที่ได้ จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับ ค่าความเหมือนกัน ของลายนิ้วมือทั้งสองรอย

กำหนดให้

CDD_LIST.DBF	เป็นไฟล์ข้อมูลที่มีโครงสร้างดังตารางที่ 5 ซึ่งจะใช้เก็บค่าคะแนนการตรวจเปรียบเทียบของไฟล์จุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือต่างๆในฐานข้อมูล โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย
FP_UNK.DBF	เป็นไฟล์ข้อมูลที่มีโครงสร้างดังตารางที่ 3 ซึ่งจะใช้เก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆเช่น ชื่อ รูปแบบ และ จุดใจกลางของลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบ
FP_DBF.DBF	เป็นไฟล์ข้อมูลที่มีโครงสร้างดังตารางที่ 3 ซึ่งจะใช้เก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆเช่น ชื่อ รูปแบบ และ จุดใจกลางของลายนิ้วมือต่างๆในฐานข้อมูล
FP_NAME	เป็นชื่อของไฟล์ข้อมูลที่มีโครงสร้างดังตารางที่ 4 ซึ่งใช้เก็บค่าความสัมพันธ์ต่างๆของจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือในแต่ละรอย

```
void Fp_Compare()
```

```
{
```

```
    // สร้างและเปิดไฟล์
```

```
    create "CDD_LIST.DBF" alias CDD ;
```

```
    use "FP_UNK.DBF" alias UNK ;
```

```
    use "FP_DBF.DBF" alias DBF ;
```

```
    /*
```

```
    * จัดไฟล์ FP_DBF.DBF เรียงตามรูปแบบของลายนิ้วมือ
```

```
    * และเลื่อนตัวชี้ไปที่เรคอร์ดแรกที่มีรูปแบบเหมือนกับรูปแบบของลายนิ้วมือ
```

```
    * ที่ตรวจสอบ
```

```
    */
```

```

select DBF ;
index on FP_PT ;
seek UNK.FP_PT ;
if FOUND()
{
    /*
    * เลือกเรคอร์ดที่มีรูปแบบลายนิ้วมือเหมือนกับข้อมูลที่ตรวจสอบมา
    * คำนวณคะแนน
    */
    for (RECNO( ); .not.EOF( ).and.UNK.FP_PT == DBF.FP_PT; SKIP())
    {
        // คำนวณและบันทึกค่าคะแนนของไฟล์ต่างๆ
        select CDD ;
        append blank ;
        replace FP_NAME with DBF.FP_NAME ;
        replace SCORE with Fp_Score(UNK.FP_NAME,DBF.FP_NAME);
    }
}
else {
    // กรณีที่รูปแบบของลายนิ้วมือไม่สามารถระบุได้
    for (GOTOP( ); .not.EOF( ); SKIP())
    {
        // คำนวณและบันทึกค่าคะแนนของไฟล์ต่างๆ
        select CDD ;
        append blank ;
        replace FP_NAME with DBF.FP_NAME ;
        replace SCORE with Fp_Score(UNK.FP_NAME,DBF.FP_NAME);
    }
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึมที่ 4.2 Fp_Score0

นำแต่ละจุดลักษณะสำคัญพิเศษ ของข้อมูลลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบ ส่งไปเปรียบเทียบกับ จุดลักษณะสำคัญพิเศษต่างๆของข้อมูลลายนิ้วมือในฐานข้อมูล เพื่อคำนวณเป็นค่าคะแนนออกมา

กำหนดให้

```
typedef struct Minutia_data *pMN
struct Minutia_data
{
    char    FP_NAME[40]; // ชื่อ ไฟล์จุดลักษณะสำคัญพิเศษ
    int     NO;          // หมายเลขของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
    float   DT_C2M;
    // ระยะทางระหว่างจุดใจกลางกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
    float   M_DIR;      // ทิศทางของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
    int     M_TYPE;     // รูปแบบของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
    float   SLOP_C2M;
    // ความชันระหว่างจุดใจกลางกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
    int     NB1, NB2, NB3, NB4;
    // หมายเลขของจุดลักษณะสำคัญพิเศษข้างเคียงใน 4 ควอดแรนต์
    int     LC1, LC2, LC3, LC4;
    /*
    * จำนวนเส้นของลายนิ้วมือระหว่างจุดลักษณะสำคัญพิเศษกับจุดลักษณะ
    * สำคัญพิเศษข้างเคียงใน 4 ควอดแรนต์
    */
    int     Q1_MT, Q2_MT, Q3_MT, Q4_MT;
    // รูปแบบของจุดลักษณะสำคัญพิเศษข้างเคียงใน 4 ควอดแรนต์
    float   Q1_MD, Q2_MD, Q3_MD, Q4_MD;
    // ทิศทางของจุดลักษณะสำคัญพิเศษข้างเคียงใน 4 ควอดแรนต์
};
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

long Fp_Score(char UNK_NAME[40],char DBF_NAME[40] )
{
    pMN uPtr;
    long SCORE;
    use UNK_NAME alias UNK;
    select UNK;
    for( GOTOP( ); .not.EOF( ); SKIP0)
    {
        // นำค่าจากไฟล์ UNK มาเก็บไว้ที่ตัวแปรโครงสร้าง uPtr
        uPtr->NO = UNK.NO;
        uPtr->M_TYPE = UNK.M_TYPE;
        uPtr->M_DIR = UNK.M_DIR;
        uPtr->DT_C2M = UNK.DT_C2M;
        uPtr->SLOP_C2M = UNK.SLOP_C2M;
        uPtr->NB1 = UNK.NB1;      uPtr->NB2 = UNK.NB2;
        uPtr->NB3 = UNK.NB3;      uPtr->NB4 = UNK.NB4;
        uPtr->LC1 = UNK.LC1;      uPtr->LC2 = UNK.LC2;
        uPtr->LC3 = UNK.LC3;      uPtr->LC4 = UNK.LC4;
        uPtr->Q1_MT = UNK.Q1_MT;   uPtr->Q2_MT = UNK.Q2_MT;
        uPtr->Q3_MT = UNK.Q3_MT;   uPtr->Q4_MT = UNK.Q4_MT;
        uPtr->Q1_MD = UNK.Q1_MD;   uPtr->Q2_MD = UNK.Q2_MD;
        uPtr->Q3_MD = UNK.Q3_MD;   uPtr->Q4_MD = UNK.Q4_MD;
        // รวมค่าคะแนนของแต่ละจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
        SCORE += Mnt_Score(DBF_NAME,uPtr);
        if( SCORE < -150 )
        {
            SCORE=0; break;
        }
    }
    SCORE = SCORE > 9999 ? 9999:SCORE;
    return SCORE;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึมที่ 4.3 Mnt_Score()

เลือกกลุ่มจุดลักษณะสำคัญพิเศษ ของข้อมูลลายนิ้วมือในฐานะข้อมูล โดยให้มีระยะทาง และมุม ระหว่างจุดใจกลางกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษ เมื่อเทียบกับข้อมูลลายนิ้วมือที่ส่งตรวจ สอบ ต้องแตกต่างกัน น้อยกว่า 10 จุดภาพ และ $\pi / 6$ เรเดียน ตามลำดับ เพื่อนำทุกจุดในกลุ่มมา คำนวณคะแนน และเลือกเอาจุดที่ให้คะแนนที่มากที่สุด

```
long Mnt_Score (char FP_NAME[40],pMN uPtr)
```

```
{
    pMN kPtr;
    use FP_NAME alias DBF
    long SCORE, MAX_SCORE = 0;
    for (BOF(); .not.EOF(); SKIP())
    {
        kPtr→NO = DBF.NO;
        kPtr→DT_C2M = DBF.DT_C2M;
        kPtr→SLOP_C2M = DBF.SLOP_C2M;
        if (Diff_Angle(uPtr→SLOP_C2M,kPtr→SLOP_C2M) < PI/6 .and.
            abs(uPtr→DT_C2M - kPtr→DT_C2M) < 10 )
        {
            // นำค่าจากไฟล์ DBF มาเก็บไว้ที่ตัวแปร โครงสร้าง kPtr
            kPtr→NO = DBF.NO;
            kPtr→M_TYPE = DBF.M_TYPE;
            kPtr→M_DIR = DBF.M_DIR;
            kPtr→DT_C2M = DBF.DT_C2M;
            kPtr→SLOP_C2M = DBF.SLOP_C2M;
            kPtr→NB1 = UNK.NB1;    kPtr→NB2 = UNK.NB2;
            kPtr→NB3 = UNK.NB3;    kPtr→NB4 = UNK.NB4;
            kPtr→LC1 = UNK.LC1;    kPtr→LC2 = UNK.LC2;
            kPtr→LC3 = UNK.LC3;    kPtr→LC4 = UNK.LC4;
            kPtr→Q1_MT = UNK.Q1_MT; kPtr→Q2_MT = UNK.Q2_MT;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

kPtr→Q3_MT = UNK.Q3_MT; kPtr→Q4_MT= UNK.Q4_MT;
kPtr→Q1_MD = UNK.Q1_MD; kPtr→Q2_MD= UNK.Q2_MD;
kPtr→Q3_MD = UNK.Q3_MD; kPtr→Q4_MD= UNK.Q4_MD;
/*
* คำนวณคะแนนระหว่าง จุดลักษณะสำคัญพิเศษที่ส่งตรวจสอบ
* กับ จุดลักษณะสำคัญพิเศษในฐานข้อมูล
*/
SCORE = Calc_Score (uPtr,kPtr);
// เลือกจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่เหมือนมากที่สุด
if (SCORE >= MAX_SCORE)
    { MAX_SCORE = SCORE; }
}
}
MAX_SCORE = MAX_SCORE < -75 ? -75 : MAX_SCORE;
return MAX_SCORE;
}

```

อัลกอริทึมที่ 4.4 Calc_Score()

คำนวณค่าคะแนนความเหมือนกันของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ 2 จุด ให้พิจารณาจาก

1. ชนิดของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
2. ทิศทางของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ
3. ชนิดและทิศทางของของจุดลักษณะสำคัญพิเศษข้างเคียงใน 4 ควอแรนต์
4. จำนวนเส้นบุนระหว่างของจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่ตรวจสอบกับ ของจุดลักษณะสำคัญพิเศษข้างเคียงใน 4 ควอแรนต์

```

long Calc_Score (pMN uPtr,pMN kPtr)
{

```

```

    long SCORE = 0

```

```

    int delta_lc;

```

```

    if (uPtr→M_TYPE == kPtr→M_TYPE) SCORE +=15 ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (Diff_Angle(uPtr→M_DIR, kPtr→M_DIR) < PI/6) SCORE += 10;
// คำนวณคะแนนของจุดลักษณะสำคัญพิเศษข้างเคียงใน ควอแรนต์ที่ 1
if (uPtr→LC1 == kPtr→LC1)
{
    // เพิ่มคะแนน กรณีจำนวนเส้นภายในมีระหว่างจุดเท่ากัน
    SCORE += 40;
    // เพิ่มคะแนน ถ้ามีรูปแบบเหมือนกัน
    if (uPtr→Q1_M_TYPE == kPtr→Q1_M_TYPE) SCORE += 10;
    // เพิ่มคะแนน ถ้ามีทิศทางแนวเดียวกัน
    if (Diff_Angle(uPtr→Q1_M_DIR, kPtr→Q1_M_DIR) < PI/6)
    { SCORE += 10; }
}
else {
    // ลบคะแนนออกกรณีจำนวนเส้นภายในมีระหว่างจุดไม่เท่ากัน
    delta_lc = abs(uPtr→LC1 - kPtr→LC1) > 3 ? 4 : abs(uPtr→LC1 - kPtr→LC1);
    SCORE -= (delta_lc * 15);
}
...
...
// การคำนวณคะแนนของจุดลักษณะสำคัญพิเศษข้างเคียงใน ควอแรนต์ที่ 2,3 และ 4
// ก็คำนวณเหมือนกับคำนวณคะแนนของจุดลักษณะสำคัญพิเศษข้างเคียงใน
// ควอแรนต์ที่ 1
return SCORE;
}

```

อัลกอริทึมที่ 4.5 Diff_Angle0

คำนวณหาค่ามุมที่อยู่ระหว่างเส้นตรง 2 เส้นที่มีความชันเป็น M1 และ M2 ตามลำดับ

```
float Diff_Angle(float M1, float M2) { return atan(fabs((M1-M2)/(1-M1*M2))); }
```

บทที่ 5

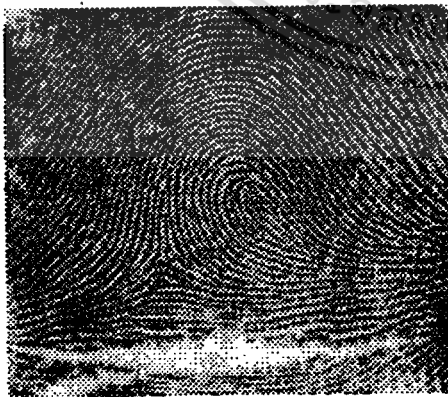
การทดลองและผลการทดลอง

ในการพัฒนาระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์หากรรมวิธี และอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลภาพลายนิ้วมือในหลายๆลักษณะที่ปรากฏขึ้นจริง เพื่อให้ได้ความถูกต้องที่มากที่สุดและลดการปฏิบัติงานของบุคคลให้น้อยที่สุดด้วย ซึ่งกรรมวิธีต่างๆ ที่ศึกษามาได้นำเสนอไปแล้วในบทที่ 4 และในบทนี้จะได้นำเสนอผลการทดลองของหน่วยประมวลผลต่างๆของระบบ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

5.1 การปรับเปลี่ยนภาพที่ใช้หลักฟิชซี ของหน่วยประมวลผลที่ 2

ในการทดลองปรับเปลี่ยนภาพลายนิ้วมือจากภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพสองระดับ ตามหลักของฟิชซีนั้น ได้ทำการทดลองกับภาพลายนิ้วมือระดับสีเทา ที่เกิดจากการพิมพ์จริงในคุณภาพต่างๆกัน 4 แบบดังภาพที่ 67 แล้วนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการประมวลผลโดยใช้ค่าพิกัด (Threshold) เท่ากับ 128 , ฟังก์ชัน Edge Enhance ของโปรแกรม Corel PHOTO-PAINT version 5 (CPP) และ ฟังก์ชัน Edge Enhance ของโปรแกรม Photo Styler 1.1 ดังแสดงในภาพที่ 68, 69, 70, และ 71

ภาพที่ 67



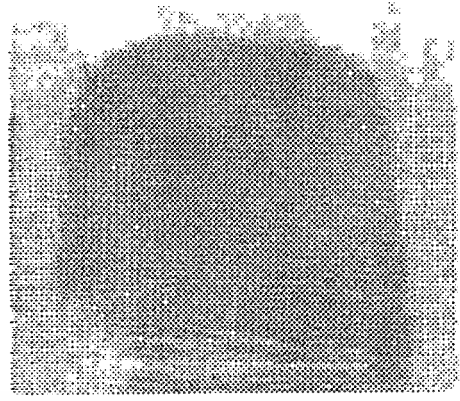
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

แสดงคุณภาพของลายนิ้วมือที่ได้จากการพิมพ์ในแบบต่างๆ
(ก) พิมพ์ค่อนข้างดี (ข) พิมพ์จาง (ค) พิมพ์ดำ (ง) พิมพ์เลอะ

ภาพที่ 68



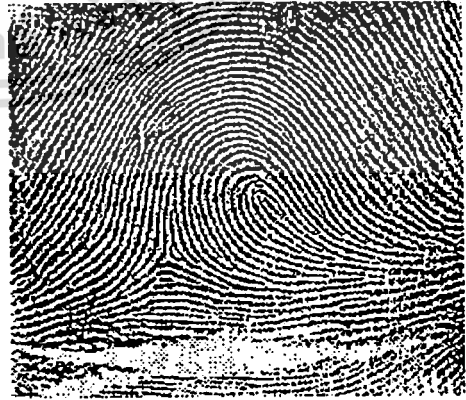
(ก) พิมพ์ดี



(ข) ค่าพิกัด = 128



(ค) Edge Enhance ของ CPP



(ง) Edge Enhance ของ Photo Styler

แสดงภาพลายนิ้วมือที่ 67 (ก) ภาพหลังการประมวลผลแบบต่างๆ

ภาพที่ 69



(ก) ฟิล์ม

(ข) ค่าพิกัด = 128



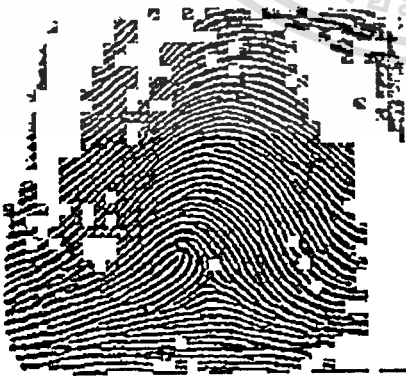
(ค) Edge Enhance ของ CPP



(ง) Edge Enhance ของ Photo Styler

แสดงภาพลายนิ้วมือที่ 67 (ข) ภาพหลังการประมวลผลแบบต่างๆ

ภาพที่ 70



(ก) ฟิล์ม



(ข) ค่าพิกัด = 128



(ค) Edge Enhance ของ CPP

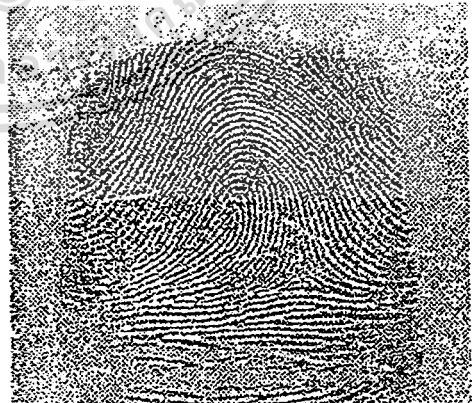


(ง) Edge Enhance ของ Photo Styler

แสดงภาพลายนิ้วมือที่ 67 (ค) ภาพหลังการประมวลผลแบบต่างๆ



(ค) Edge Enhance ของ CPP



(ง) Edge Enhance ของ Photo Styler

แสดงภาพลายนิ้วมือที่ 67 (ง) ภาพหลังการประมวลผลแบบต่างๆ

5.2 การหารูปแบบของลายนิ้วมือ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ของหน่วยประมวลผลที่ 3

ในการทดลองการหารูปแบบของลายนิ้วมือ จะทำการทดสอบภาพลายนิ้วมือทั้ง 4 รูป แบบคือ แบบโค้ง แบบมัดหวายปัดซ้าย แบบมัดหวายปัดขวา และแบบก้นหอย รูปแบบละ 10 รอย และแต่ละรอยจะถูกหมุนตามเข็มนาฬิกาเป็นมุม 5, 15, 345 และ 355 องศา ดังแสดงในภาพที่ 72 รวมเป็นภาพลายนิ้วมือที่ส่งทดสอบทั้งหมดจำนวน 200 รอย ซึ่งผลการทดลองดังแสดงใน ตารางที่ 6

ภาพที่ 72

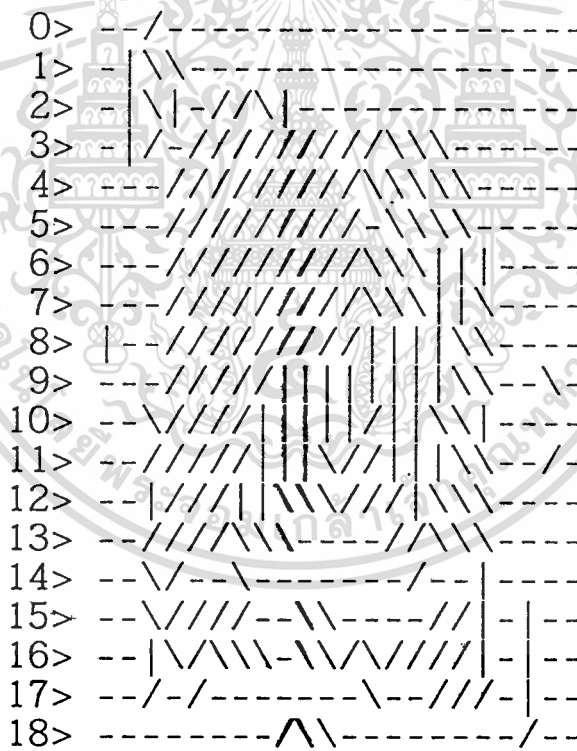
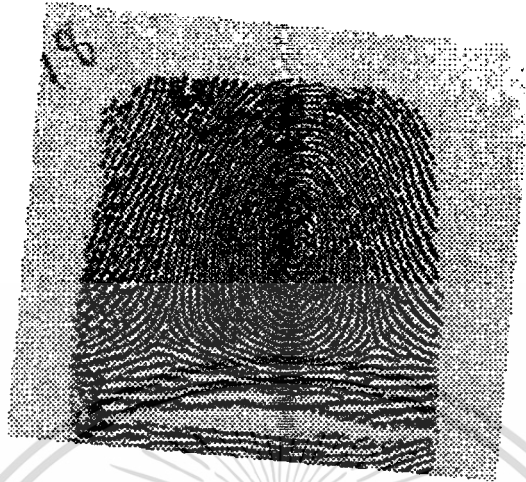


0>	//-----
1>	\ -----
2>	- \ / / / / - \ \ \ / - - -
3>	\ - / / / / / / / \ \ \ \ - - -
4>	- - / / / / / / - \ \ \ - - -
5>	- - / / / / / / - \ \ \ \ - -
6>	- - / / / / / / \ \ \ \ - - -
7>	- - / / / / / / - - -
8>	- - / / / \ \ \ - - -
9>	- - / / / \ \ \ \ - - -
10>	- - / / / \ \ \ \ - - -
11>	- - / / / \ \ \ \ - - -
12>	- - / / \ \ \ - - / / \ - - -
13>	- - / / - - - - - - - / - - -
14>	- - \ / - - - - / - / - / \ - -
15>	- - \ / - / - \ \ - / / / - -
16>	- - \ \ \ / - - - - \ - / - \ - -
17>	- - \ \ \ / - - - - \ - / - - \ - -

แสดงภาพลายนิ้วมือและภาพลือกทิตทางลักษณะปกติ

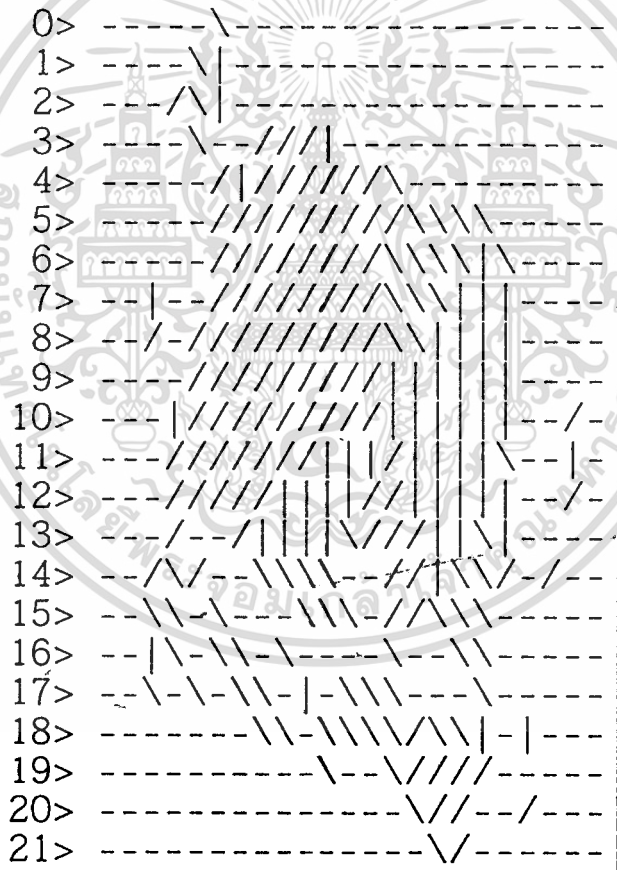
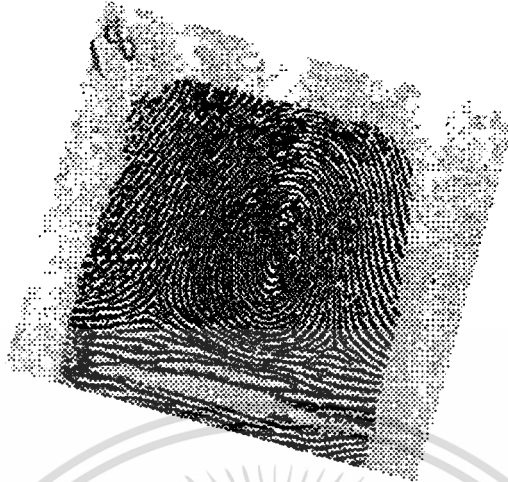
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 73



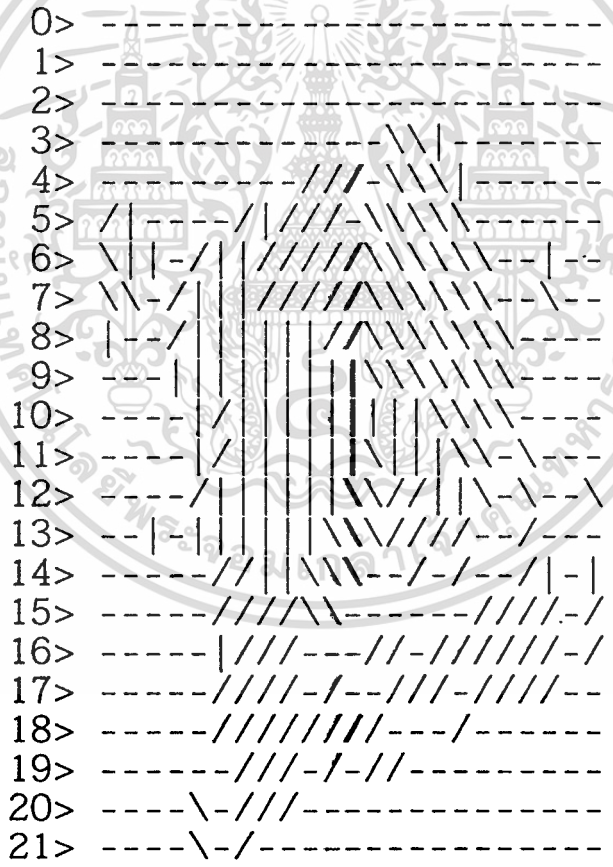
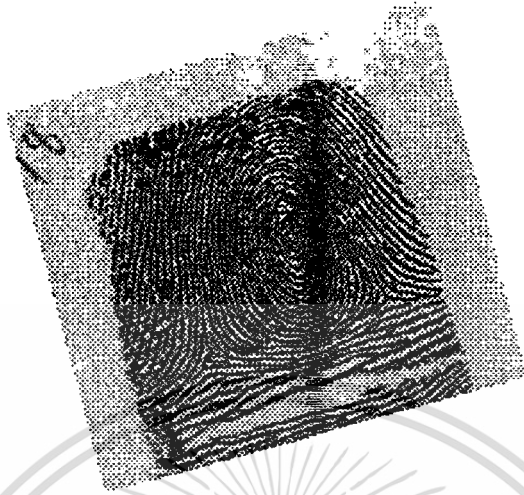
แสดงภาพลายนิ้วมือและภาพบล็อกทิศทางของภาพที่ 72 เมื่อหมุนไป 5 องศา

ภาพที่ 74



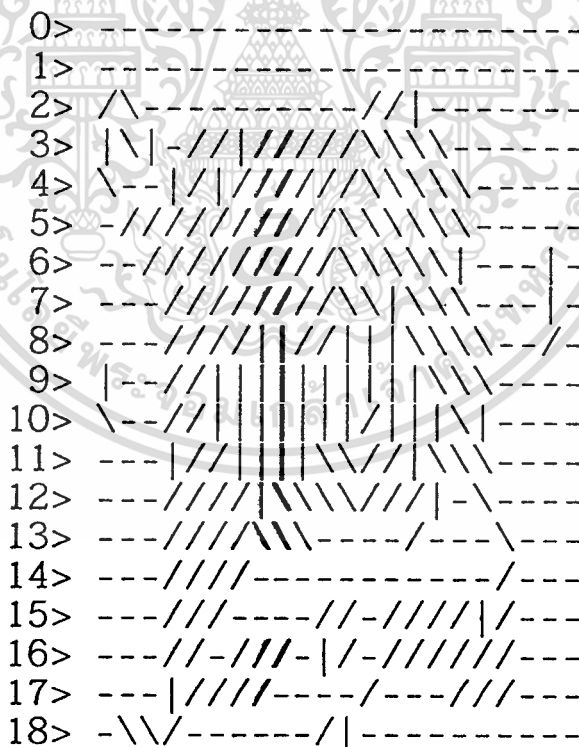
แสดงภาพลายนิ้วมือและภาพบล็อกทิศทางของภาพที่ 72 เมื่อหมุนไป 15 องศา

ภาพที่ 75



แสดงภาพลายนิ้วมือและภาพบดล็อกทิศทางของภาพที่ 72 เมื่อหมุนไป 345 องศา

ภาพที่ 76

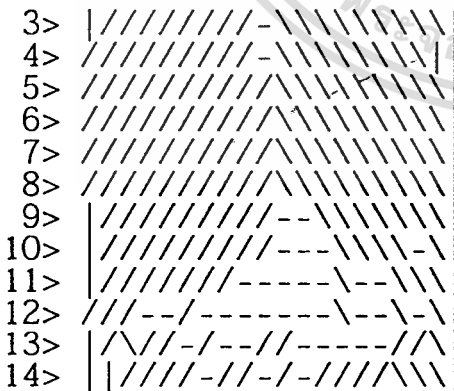


แสดงภาพถ่ายนิ้วมือและภาพบล็อกทิศทางของภาพที่ 72 เมื่อหมุนไป 355 องศา

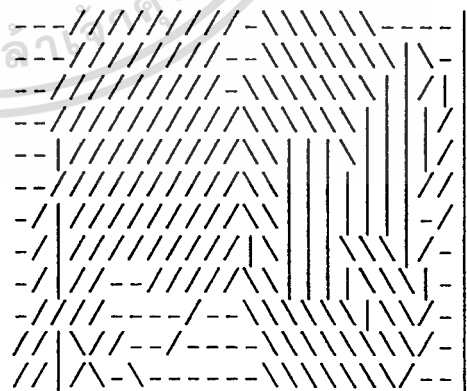
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมนี้สามารถจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือที่วางทิศทางปกติได้ถึง 90 % ไม่สามารถขึ้นชั้นได้ 10 % จดจำรูปแบบผิด 0 % ส่วนเมื่อมีการหมุนภาพไปเป็นมุมต่างๆมากเท่าใดก็จะทำให้ค่าทิศทางในภาพบล็อกทิศทางเปลี่ยนไป บล็อกจุดวงกลับที่หาได้ก็ไม่ค่อยถูกต้องมากขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการจดจำรูปแบบลายนิ้วมือลดลงไปด้วยตามลำดับ และพบว่าเมื่อเบี่ยงเบนไป 5 , 35, 15 และ 345 องศา โครงข่ายประสาทเทียมจะจดจำรูปแบบผิดไป 20%, 20%, 30%, และ 35% ตามลำดับ เช่นลายนิ้วมือแบบโค้ง ถ้าหมุนไปเป็นมุม 15 องศา โครงข่ายประสาทเทียมอาจจะบอกว่าเป็นแบบมัดหวายปิดซ้ายเป็นต้นดังแสดงในภาพที่ 77 ดังนั้นถ้าต้องให้ได้ผลการจดจำที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ควรมีการให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ภาพที่เบี่ยงเบนด้วยหรือ ปรับโครงข่ายประสาทเทียมนี้ใหม่ให้เหมาะสม

ภาพที่ 77



(ก)



(ข)

แสดงภาพลายนิ้วมือแบบโค้งและภาพบล็อกทิศทางที่ส่งให้โครงข่ายประสาทเทียมจดจำ โดยภาพ (ข) คือ ภาพ (ก) ที่หมุนไปเป็นมุม 15 องศา และเป็นภาพที่โครงข่ายประสาทเทียมระบุผิดเป็นมัดหวายปิดซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6

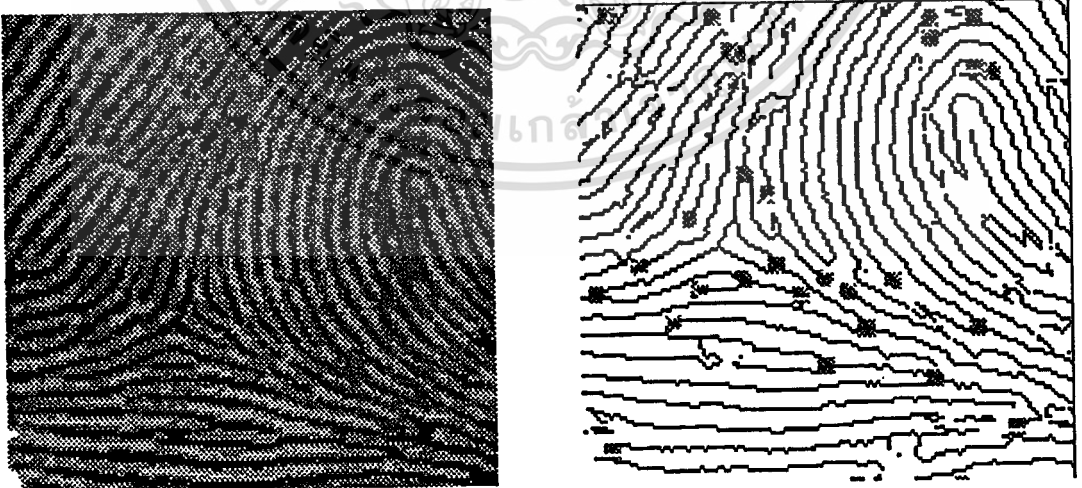
แสดงผลการจดจำรูปแบบลายนิ้วมือของภาพที่ถูกหมุนไปในทิศทางต่างๆ

ลายนิ้วมือที่หมุน เป็นมุม (องศา)	ผลการจดจำรูปแบบ		
	ถูกต้อง	ไม่ยืนยัน	ผิด
0	36	4	0
5	24	8	8
15	17	11	12
345	19	7	14
355	25	7	8

5.3 การหาจุดลักษณะสำคัญพิเศษ ของหน่วยประมวลผลที่ 4

จากการทดลองการหาจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือได้ทดสอบกับภาพลายนิ้วมือจริงที่ได้จากการสแกนจากสารบบลายนิ้วมือจำนวน 1000 รอย มา 4 รอย เพื่อให้ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติวิเคราะห์หาจุดลักษณะสำคัญพิเศษและให้ผู้ชำนาญด้านลายนิ้วมือของกรมตำรวจ ตรวจสอบ ปรากฏผลดังนี้ คือ ระบุจุดได้ถูกต้อง 63 % ระบุจุดผิด 12 % และไม่ระบุจุดที่ถูก 25 % ดังแสดงในภาพที่ 78

ภาพที่ 78



แสดงผลการวิเคราะห์จุดลักษณะสำคัญพิเศษ

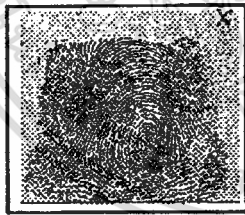
5.4 การตรวจเปรียบเทียบ ของหน่วยประมวลผลที่ 6

จากการทดลองเพื่อตรวจสอบว่า ลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบมีความเหมือนกันกับลายนิ้วมือใดในฐานข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยไฟล์ลายนิ้วมือแบบโค้ง แบบมัดหวายปิดซ้าย แบบมัดหวายปิดขวา และแบบก้นหอย ซึ่งมีลักษณะการพิมพ์แบบ ก. ดังภาพที่ 79 จำนวนรูปแบบละ 50 รอย รวมเป็น 200 รอย ส่วนลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบจะมี 2 ชุด ในแต่ละชุดจะประกอบด้วยลายนิ้วมือ 4 รูปแบบดังที่กล่าวมาแล้วรูปแบบละ 5 รอย แต่ละรอยเกิดจากการพิมพ์ใน 4 ลักษณะ คือ ลักษณะแบบ ก. ลักษณะแบบ ข. ลักษณะแบบ ค. และ ลักษณะแบบ ง. ดังแสดงในภาพที่ 79 รวมชุดละ 80 รอย โดยชุดที่ 1 คือลายนิ้วมือที่มีอยู่ในฐานข้อมูล และชุดที่ 2 คือ ลายนิ้วมือที่ไม่มีในฐานข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลการตรวจเปรียบเทียบของชุดที่ 1 โดยพิจารณาจาก การเลือกไฟล์ลายนิ้วมือมาให้ได้อย่างถูกต้อง และค่าคะแนนความเหมือนกัน โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ

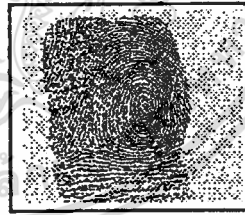
- 1.) เลือกไฟล์ลายนิ้วมือได้ถูกต้องโดยมีค่าคะแนนอยู่ในลำดับที่ 1
- 2.) เลือกไฟล์ลายนิ้วมือได้ถูกต้องโดยมีค่าคะแนนอยู่ในลำดับที่ 2 ถึง 5
- 3.) เลือกไฟล์ลายนิ้วมือได้ถูกต้องโดยมีค่าคะแนนอยู่ในลำดับที่ 6 ขึ้นไป

ดังแสดงในตารางที่ 7 ส่วนลายนิ้วมือในชุดที่ 2 จะพิจารณาค่าคะแนนความเหมือนกันเฉลี่ยของลายนิ้วมือทั้งหมดของลำดับที่ 1 ลำดับที่ 2 ถึง 5 และ ลำดับที่ 6 ถึง 10 ดังแสดงในตารางที่ 8

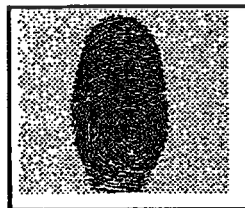
ภาพที่ 79



ลักษณะแบบ ก.



ลักษณะแบบ ข.



ลักษณะแบบ ค.



ลักษณะแบบ ง.

แสดงภาพลายนิ้วมือที่ได้จากการพิมพ์ในแบบต่างๆ 4 แบบ

ตารางที่ 7

แสดงผลการตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือของชุดที่ 1 (มีในฐานข้อมูล)
โดยพิจารณาจำนวนรอยที่ตรงตรงและค่าคะแนนความเหมือนเฉลี่ย โดยแยกตามลักษณะ
การพิมพ์ของลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบ และลำดับตรวจครั้งที่ปรากฏ

ลักษณะการพิมพ์		ลายนิ้วมือที่ตรงตรง		
		ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2-5	อื่นๆ
ก	จำนวนรอย	19	1	0
	คะแนนเฉลี่ย	8185	4232	0
ข	จำนวนรอย	15	3	2
	คะแนนเฉลี่ย	6543	2915	625
ค	จำนวนรอย	12	5	3
	คะแนนเฉลี่ย	6214	2715	575
ง	จำนวนรอย	9	9	2
	คะแนนเฉลี่ย	6002	2824	427
รวม	จำนวนรอย(%)	68.75	22.50	8.75
เฉลี่ย	คะแนนเฉลี่ย	6736	3171	501

ตารางที่ 8

แสดงผลการตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือของชุดที่ 2 (ไม่มีในฐานข้อมูล)
โดยพิจารณาค่าคะแนนความเหมือนเฉลี่ย โดยแยกตามลักษณะการพิมพ์
ของลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบ

ลักษณะการพิมพ์	คะแนนเฉลี่ยของลายนิ้วมือ		
	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2-5	ลำดับที่ 6-10
ก	2895	1935	1655
ข	2250	1845	1215
ค	2175	1915	1175
ง	2240	1830	1345
เฉลี่ย	2390	1881	1347

บทที่ 6

สรุปผลและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ เป็นระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือว่ามีความเหมือนกันกับลายนิ้วมือในฐานข้อมูลมากน้อยเพียงใด โดยอาศัยความสัมพันธ์ของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ ได้แก่ จุดปลาย และจุดแยก เป็นหลัก ซึ่งแยกเป็น 6 ระบบย่อย ดังต่อไปนี้

- 1.) ระบบย่อยรับภาพลายนิ้วมือ เป็นระบบที่รับภาพลายนิ้วมือโดยเครื่องสแกนเนอร์ให้เป็นภาพลายนิ้วมือระดับสีเทา ที่มีโครงสร้างแบบทีโอเอฟเอฟ
- 2.) ระบบย่อยปรับเปลี่ยนภาพ เป็นระบบที่เปลี่ยนภาพลายนิ้วมือระดับสีเทาให้เป็นภาพลายนิ้วมือสองระดับโดยใช้หลักการของพีซีซี ซึ่งจะได้อภาพที่มีคุณภาพดีขึ้น สำหรับใช้ในการประมวลผลขั้นต่อไป
- 3.) ระบบย่อยหารูปแบบและจุดใจกลาง เป็นระบบที่นำภาพลายนิ้วมือสองระดับมาวิเคราะห์หาภาพบล็อกทิศทาง ซึ่งเป็นภาพที่รักษาลักษณะทิศทางการไหลของลายนิ้วมือได้เหมือนเดิม แล้วคำนวณหาบล็อกใจกลางและจุดใจกลาง จากนั้นส่งไปเข้าโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอเซปตรอนหลายชั้นที่มีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ เพื่อหารูปแบบของลายนิ้วมือออกมาเก็บไว้ในไฟล์ลายนิ้วมือ เพื่อเป็นพารามิเตอร์ในฐานข้อมูล หรือในการเลือกไฟล์จุดลักษณะสำคัญพิเศษที่มีรูปแบบเหมือนกันออกมาตรวจเปรียบเทียบ
- 4.) ระบบย่อยวิเคราะห์จุดลักษณะสำคัญพิเศษและพารามิเตอร์ เป็นระบบที่นำภาพลายนิ้วมือสองระดับ มาวิเคราะห์หาจุดลักษณะสำคัญพิเศษ และพารามิเตอร์ต่างๆ เก็บไว้ในไฟล์จุดลักษณะสำคัญพิเศษ เพื่อเป็นฐานข้อมูลหรือใช้ในการตรวจเปรียบเทียบ
- 5.) ระบบย่อยบันทึกข้อมูล เป็นระบบที่ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลไฟล์ลายนิ้วมือ ไฟล์จุดลักษณะสำคัญพิเศษ และไฟล์ภาพลายนิ้วมือ สำหรับใช้เป็นฐานข้อมูล
- 6.) ระบบย่อยตรวจเปรียบเทียบ เป็นระบบที่นำข้อมูลจากไฟล์ลายนิ้วมือและไฟล์จุดลักษณะสำคัญพิเศษ ของลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบ กับลายนิ้วมือในฐานข้อมูลมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ต่างๆ และคำนวณเป็นค่าคะแนนความเหมือนกันแสดงออกมา สำหรับให้ผู้ชำนาญด้านลายนิ้วมือตรวจพิสูจน์ยืนยันว่าเป็นลายนิ้วมือเดียวกันหรือไม่

จากการวิจัยที่ได้พัฒนาระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติขึ้นมา พบว่าการปรับคุณภาพของลายนิ้วมือระดับสีเทาและเปลี่ยนให้เป็นภาพลายนิ้วมือสองระดับ โดยใช้หลักการของพีซีซีนั้นสามารถเปลี่ยนภาพลายนิ้วมือที่มีความแตกต่างกันของค่าระดับสีเทาของเส้นนูนและเส้นร่อง เพียงเล็กน้อยได้ ถึงแม้ว่าภาพที่ได้จะมีลักษณะสีดำนากๆ, สีจางๆ หรือมีทั้งส่วนที่ดำและจางอยู่ในภาพเดียวกัน ก็สามารถปรับลายเส้นให้ชัดเจนมีคุณภาพที่ดีขึ้น เมื่อเทียบกับวิธีใช้ค่าจุดพิกัด หรือ Edge Enhancement ในโปรแกรม Corel PHOTO-PAINT และ โปรแกรม Photo Styler อย่างใดอย่างหนึ่ง ดังแสดงการเปรียบเทียบในภาพที่ 68, 69, 70 และ 71 เป็นต้น แต่ปัญหาที่พบในส่วนนี้คือ กรณีที่มีสิ่งรบกวน (Noise) ขนาดใกล้เคียงหรือใหญ่กว่า ขนาด 15x15 จุดภาพ ระบบจะไม่สามารถขจัดออกไปได้ ดังนั้นควรมีการศึกษาอัลกอริทึมในการคาดเดาลายสิ่งรบกวนนี้ควรเป็นเส้นนูนหรือว่าเส้นร่อง เพื่อให้ได้ลายเส้นที่สมบูรณ์

การหารูปแบบของลายนิ้วมือโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเฟอเซปตรอนหลายชั้นที่มีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ พบว่า สามารถจนจำรูปแบบได้ถูกต้อง 90 % ไม่สามารถยืนยันได้ 10 % จดจำผิด 0 % แต่ถ้าภาพถูกหมุนไปจากลักษณะปกติมากเท่าใด ก็จะทำให้ความสามารถในการจดจำรูปแบบลายนิ้วมือน้อยตามไปด้วยเท่านั้น ดังนั้นในระบบนี้จึงกำหนดลักษณะของลายนิ้วมือที่จะรับเข้ามาไว้ว่าต้องเป็นลักษณะปกติ คือ ลายขื่อนิ้วขนานกับขอบล่างของภาพ แต่ถ้าต้องการระบบที่สามารถจดจำลายนิ้วมือที่ได้จากการพิมพ์ทุกลักษณะ ก็ควรมีการสอนให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ภาพที่เบี่ยงเบนไปด้วยหรือปรับโครงข่ายประสาทเทียมนี้ใหม่ให้เหมาะสม

การหาจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือ โดยวิเคราะห์จากโครงร่างของเส้นนูนและเส้นร่อง พบว่า ระบุจุดได้ถูกต้อง 63 % ระบุจุดผิด 12 % และไม่ระบุจุดที่ถูก 25 % จากลายนิ้วมือที่สุ่มมาตรวจสอบ การที่ระบบไม่สามารถระบุจุดได้ถูกต้อง สาเหตุส่วนใหญ่เนื่องมาจากที่บริเวณนั้นของภาพลายนิ้วมือ มีคุณภาพไม่ดีหรือมีสิ่งรบกวน เช่น ลายนิ้วมือที่ได้จากการพิมพ์ที่ใช้หมึกพิมพ์ไม่ดี หรือพิมพ์ไม่ถูกต้อง ทำให้ได้ลายเส้นดำและไม่เห็นเส้นนูนและเส้นร่อง หรือมีลายเส้นที่เบียดชิดกัน หรือได้เส้นที่ไม่ใช่ลายนิ้วมือเกิดขึ้น ซึ่งในส่วนนี้ควรจะเพิ่มให้มีการจัดการหรือแก้ไขภาพรวมทั้งจุดลักษณะสำคัญพิเศษให้ถูกต้องด้วย ก็จะส่งผลให้การตรวจเปรียบเทียบมีประสิทธิภาพและเพิ่มความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

สำหรับการตรวจเปรียบเทียบโดยการส่งลายนิ้วมือที่มีอยู่ในฐานข้อมูลไปตรวจสอบกับฐานข้อมูลลายนิ้วมือ พบว่าระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ เลือกลายนิ้วมือในฐานข้อมูลที่เป็นลายนิ้วมือเดียวกันกับลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบ และให้คะแนนเป็นลำดับที่ 1 จำนวน 68.75 % ค่าคะแนนความเหมือนเฉลี่ย 6736 คะแนน อยู่ในลำดับที่ 2-5 จำนวน 22.50 % ค่าคะแนนความเหมือนเฉลี่ย 3171 คะแนน และถ้าส่งลายนิ้วมือที่ไม่มีในฐานข้อมูลตรวจสอบ พบว่า ในลำดับที่ 1

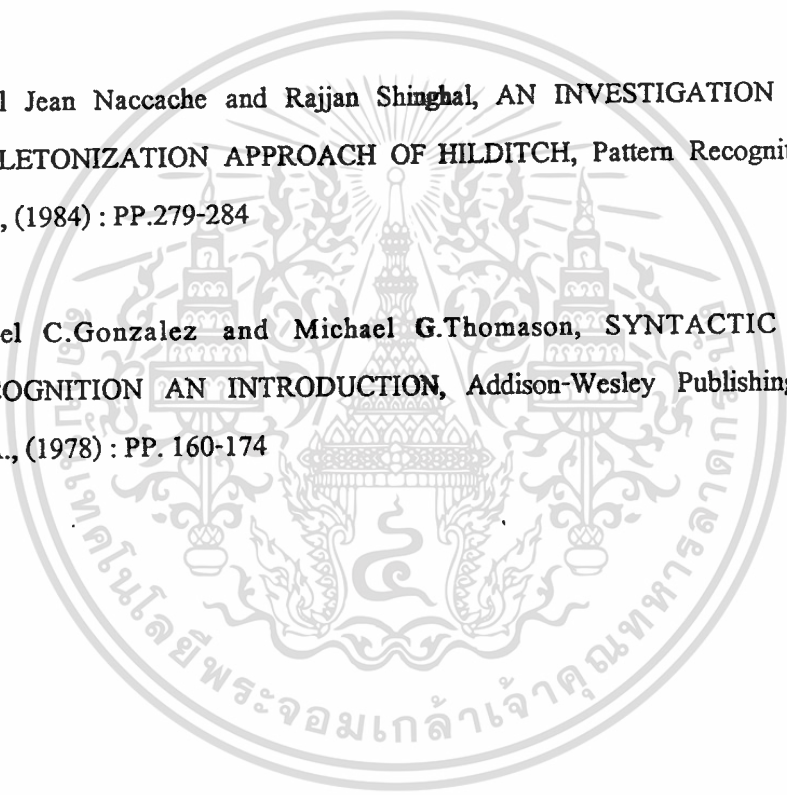
ที่ระบบเลือกมาให้ จะมีค่าคะแนนความเหมือนเฉลี่ย 2390 คะแนน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมในการตรวจเปรียบเทียบนี้สามารถใช้ในการตรวจพิสูจน์ยืนยันและจำแนกภาพถ่ายนิ้วมือได้ ในบางกรณีที่ค่าคะแนนความเหมือนมีค่าน้อย ไม่ได้อยู่ในลำดับที่ 1 สาเหตุเนื่องมาจากภาพถ่ายนิ้วมือไม่ชัดเจน ทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์จุดลักษณะสำคัญพิเศษและการนับจำนวนลายเส้นระหว่างจุดลักษณะสำคัญพิเศษ 2 จุด ซึ่งจะใช้เป็นพารามิเตอร์ในการคำนวณสำหรับตรวจเปรียบเทียบ ส่วนเวลาเฉลี่ยในการเปรียบเทียบ เมื่อประมวลผลโดยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ที่มีหน่วยประมวลผล กลาง (CPU) รุ่น 486 ความเร็ว 100 เมกะเฮิร์ตส มีหน่วยความจำสำรองแบบการเข้าถึงแบบสุ่ม (RAM) 8 เมกะไบต์ สามารถตรวจสอบภาพถ่ายนิ้วมือได้ประมาณ 6 รอยต่อนาที ถือว่าค่อนข้างจะช้า เนื่องจากปัญหาในการจัดการไฟล์ เห็นควรให้มีการพัฒนาอัลกอริทึมในการตรวจเปรียบเทียบให้มีความรวดเร็วและประสิทธิภาพมากกว่านี้ นำการอินเตอร์เฟสที่เรียกว่า Open Database Connectivity (ODBC) มาใช้ในการติดต่อระหว่างฐานข้อมูลกับระบบจัดการไฟล์มาตรฐาน และเพิ่มขีดความสามารถในการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลาง



เอกสารอ้างอิง

- [1] ครรชิต ไผตรี, มนต์ สัจวรศิลป์, สุรพันธ์ เอื้อไพบูรณ์, “ระบบเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ”, การประชุมวิชาการของ NECTEC ครั้งที่ 4, (2535) : หน้า 17 - 27
- [2] อรุณ กำเหนิดนนท์, มังฆวน จันทรกอสอ, เกษตร์ สิริสันติสัมฤทธิ์ “การจดจำลายพิมพ์นิ้วมือโดยวิธีเข้าหาระบบทรี”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 : หน้า 926 - 932
- [3] เกรียงไกร โชวเจริญสุข, ครรชิต ไผตรี, “ระบบตรวจลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติโดยการใช้โครงข่ายนิวรอล เพื่อประโยชน์การนำมาใช้ควบคุมอุปกรณ์” , การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 18 : หน้า 1020 - 1026
- [4] สาธิต อินทจักร์, “การหาขอบภาพโดยใช้แบบจำลองฟัซซี่และนิวรอลเน็ตเวิร์ค”, (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538), : หน้า 38-61, 88-104
- [5] ธิตพิงส์ ดันประเสริฐ, จุฬารัตน์ ดันประเสริฐ, “โครงข่ายประสาทเทียม” , สาร NECTEC เดือน กรกฎาคม - กันยายน 2538 : หน้า 19 - 23 , ตุลาคม-ธันวาคม 2538 : หน้า 19 - 23
- [6] อำนวย สิทธิเจริญชัย, “เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ ตอนที่ 2”, วารสารฉบับพิเศษ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ฉบับที่ 3 เดือน ตุลาคม - ธันวาคม 2537 : หน้า 58 - 62
- [7] ดร. ชม กัมปาน, ทฤษฎีการจดจำรูปแบบ (กรุงเทพฯ, หจก.ประสิทธิ์ภัณฑ์เอนด์พรีนติ้ง, 2535), หน้า 72-77

- [8] สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์, บุญชัย ฤกษ์ชัย “การหารูปแบบลายนิ้วมือโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 18 :หน้า 1001 - 1006
- [9] Masahiro Kawagoe and Akio Tojo, FINGERPRINT PATTERN CLASSIFICATION, Pattern Recognition, Vol. 17, No. 3, (1984) : PP.295-303.
- [10] Yat keung CHU and Ching Y. SUEN, ANDALTERNATE SMOOTHING AND STRIPPING ALGORITHM FOR THINNING DIGITAL BINARY PATTERN, Signal Processing, Vol.11, No.3, (1986) : PP. 207-222.
- [11] Nabil Jean Naccache and Rajjan Shinghal, AN INVESTIGATION INTO THE SKELETONIZATION APPROACH OF HILDITCH, Pattern Recognition, Vol.17, No.3, (1984) : PP.279-284
- [12] Rafael C.Gonzalez and Michael G.Thomason, SYNTACTIC PATTERN RECOGNITION AN INTRODUCTION, Addison-Wesley Publishing Company, USA., (1978) : PP. 160-174





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ

ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ เป็นระบบที่ใช้ลายนิ้วมือสำหรับตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคล โดยการตรวจวิเคราะห์และเลือกลายนิ้วมือในฐานข้อมูลที่มีความเหมือนกันมากที่สุดกับลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบ 10 ลำดับแรก มาให้ผู้ชำนาญด้านลายนิ้วมือตรวจพิสูจน์ยืนยันอีกครั้งหนึ่ง ว่าเป็นลายนิ้วมือของบุคคลคนเดียวกันหรือไม่ ซึ่งประกอบด้วยงานหลัก 2 ส่วน ดังนี้

1. การบันทึกข้อมูลลายนิ้วมือ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูล
2. การตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบว่ามีประวัติอยู่ในฐานข้อมูลหรือไม่

ความต้องการของระบบ

1. ไมโครซอฟต์ดอส (MS-DOS) เวอร์ชัน 6 (เทียบเท่า หรือสูงกว่า)
2. ไมโครซอฟต์วินโดวส์ (Microsoft Windows) เวอร์ชัน 3.1
3. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ รุ่น 486 (หรือ สูงกว่า) ที่มีหน่วยความจำไม่ต่ำกว่า 4 เมกะไบต์
4. เครื่องสแกนเนอร์ ซึ่งมีใครเวอร์สามารถใช้งานกับ ไมโครซอฟต์วินโดวส์ได้
5. เม้าส์
6. จอภาพแบบ VGA (หรือ ดีกว่า)
7. แป้นพิมพ์

การติดตั้งโปรแกรมระบบ

1. เข้าสู่ระบบการทำงานของดอส จนถึง "C:>"
2. ใส่แผ่นดิสเก็ตต์ "AFIS" ในไดรฟ์ A: หรือ B:
3. ที่ "C:>" ให้พิมพ์

A:\INSTALL หรือ B:\INSTALL

แล้ว กด Enter

4. รอจนปรากฏข้อความ "INSTALL TERMINATED" แสดงว่าจบขั้นตอนการติดตั้ง

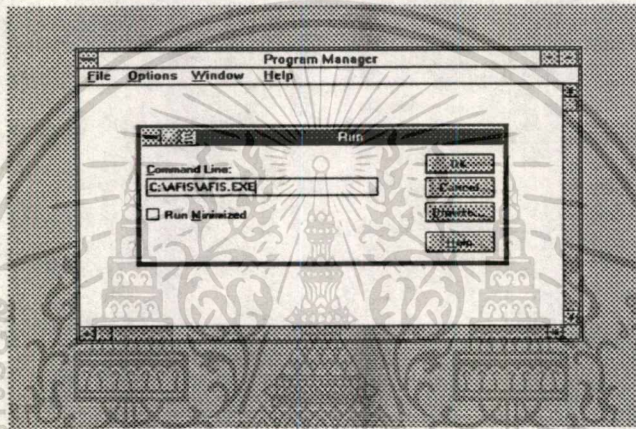
ขั้นตอนการใช้งานระบบ

1. เข้าสู่การทำงานของไมโครซอฟต์วินโดวส์ 3.1 ตามขั้นตอนปกติ
2. ใช้เมาส์คลิกที่เมนูไฟล์ (File) จากโปรแกรมแมนเนเจอร์
3. เลือกคำสั่ง RUN ในเมนูไฟล์ จะปรากฏกรอบข้อความดังภาพที่ ก1 ให้พิมพ์

C:\AFIS\AFIS.EXE

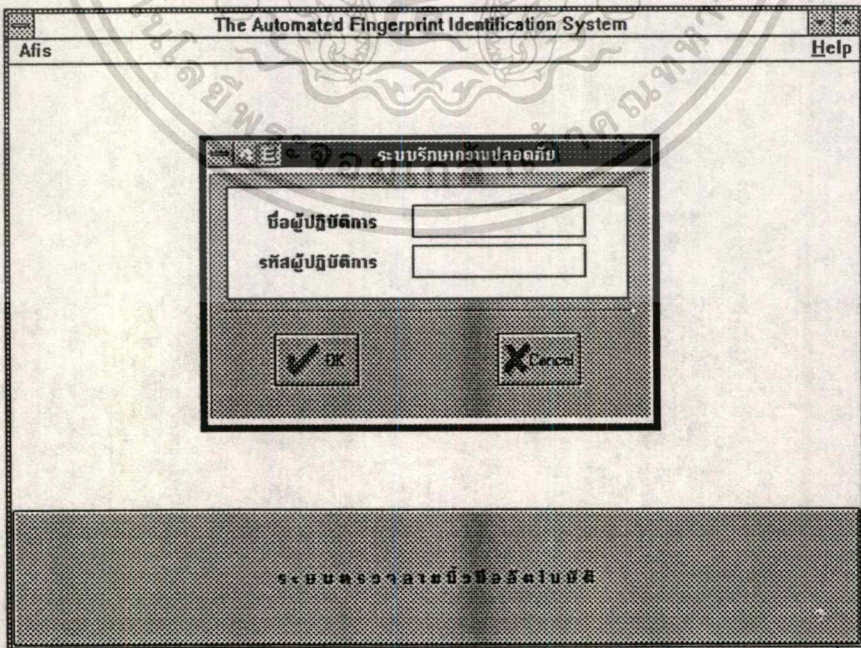
เข้าไปในบด็อก Command Line แล้วเลือกคำสั่ง OK หรือ กด Enter จะปรากฏจอภาพเริ่มต้นของระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ ดังภาพที่ 81

ภาพที่ 80



แสดงกรอบข้อความของคำสั่ง RUN ในไฟล์แมนเนเจอร์

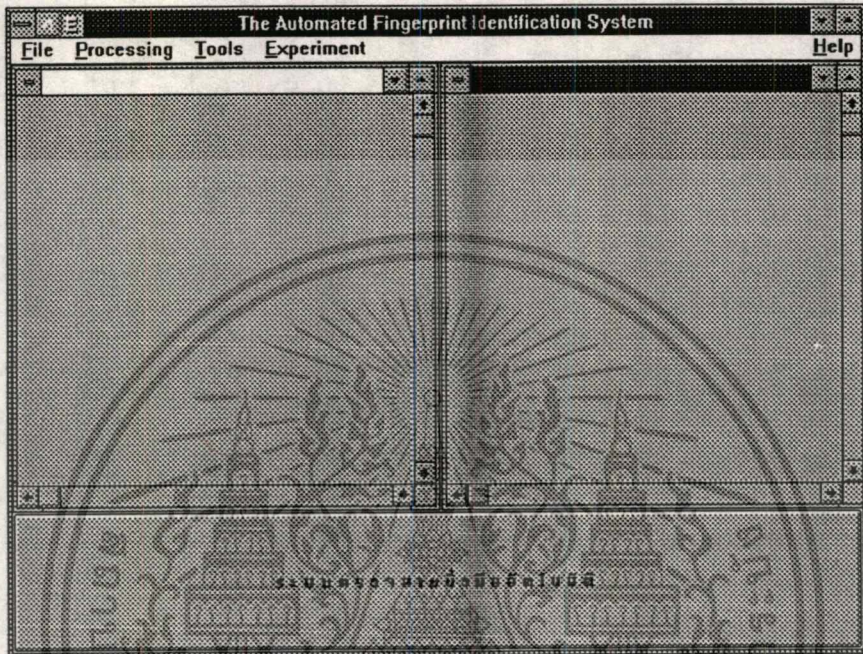
ภาพที่ 81



แสดงจอภาพเริ่มต้นของโปรแกรมระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ

4. กด Enter เพื่อเข้าสู่เมนูหลักของระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ ดังภาพที่ 82

ภาพที่ 82

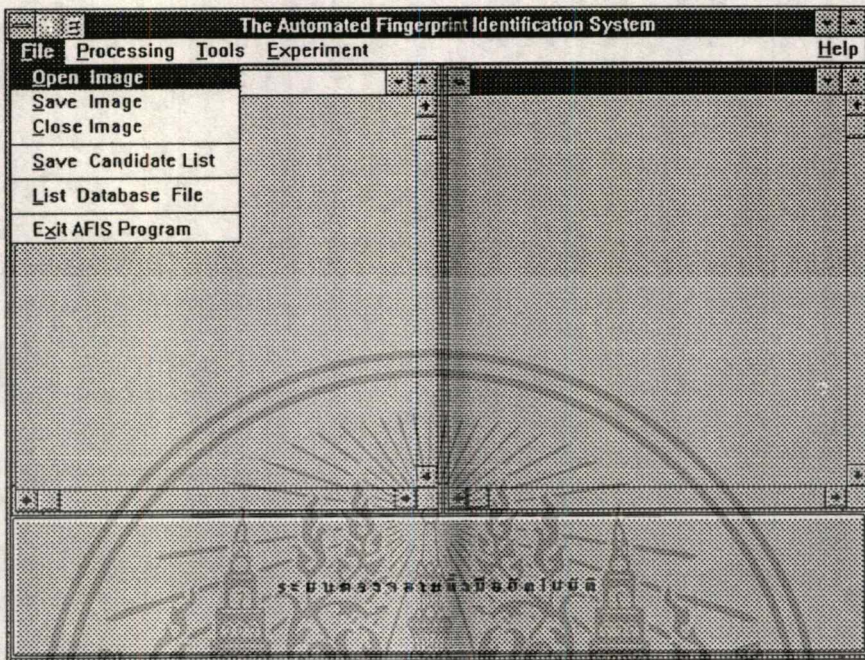


แสดงเมนูหลักของระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ

เมนูหลักของระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ มีดังต่อไปนี้

- เมนู File เป็นเมนูที่เกี่ยวกับการจัดการไฟล์ลายนิ้วมือ ดังแสดงในภาพที่ 83
- เมนู Processing เป็นเมนูเกี่ยวกับการประมวลผลลายนิ้วมือ การวิเคราะห์รูปแบบ จุดลักษณะสำคัญพิเศษ ตลอดไปจนถึง การตรวจเปรียบเทียบ ดังแสดงในภาพที่ 86
- เมนู Tools เป็นเมนูเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนภาพลายนิ้วมือ ดังแสดงในภาพที่ 92
- เมนู Experiment เป็นเมนูเกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองด้านการประมวลผลภาพลายนิ้วมือ การสอนโครงข่ายประสาทเทียม การบันทึกและตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือแบบอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 95
- เมนู Help ดังแสดงในภาพที่ 103

ภาพที่ 83

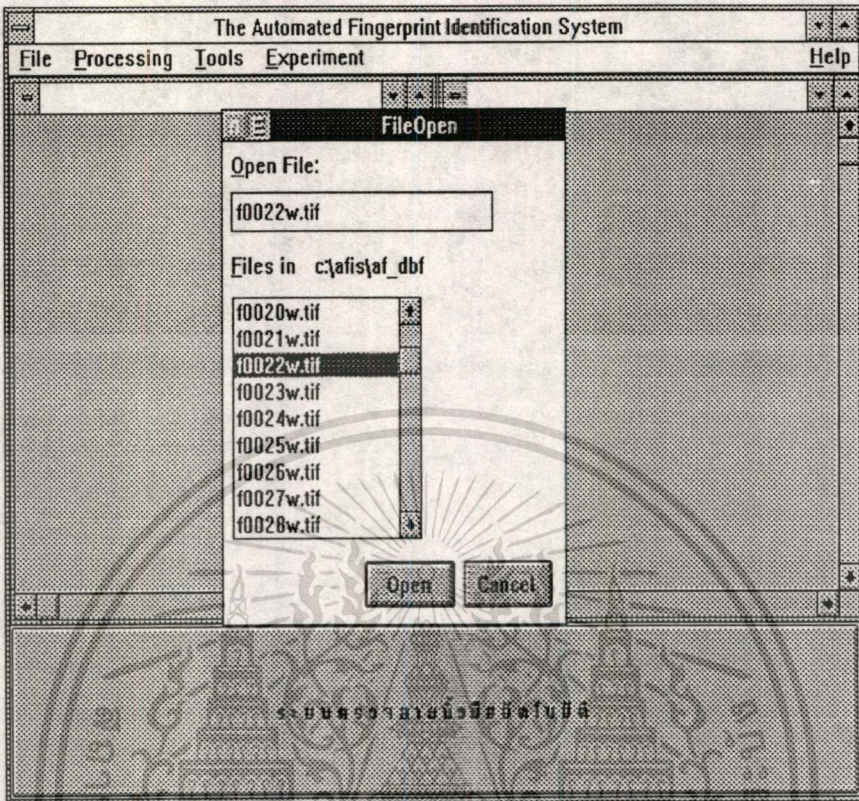


แสดงจอภาพเมนูย่อยของเมนู File

เมนูย่อยของเมนู File มีดังต่อไปนี้

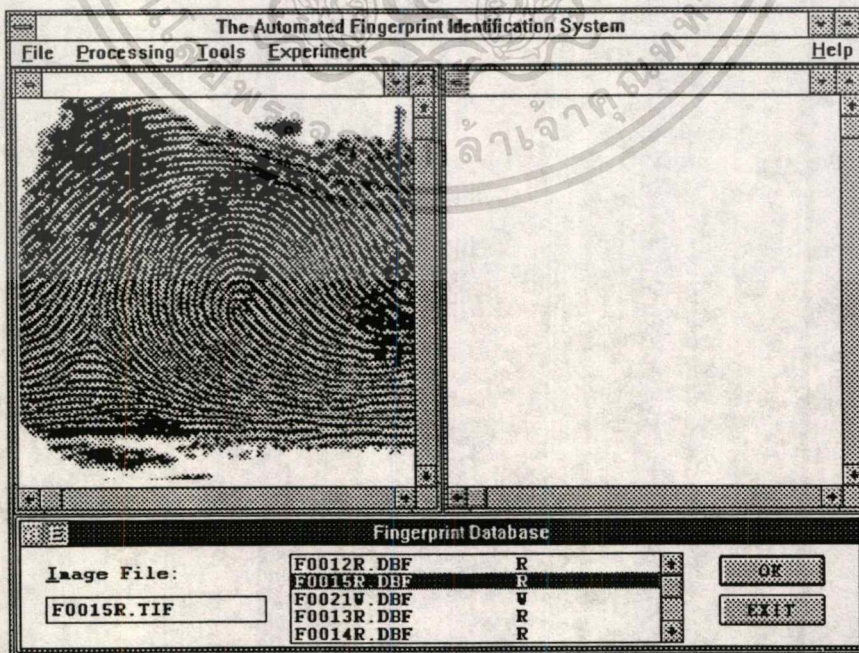
- เมนูย่อย Open Image ใช้สำหรับเปิดไฟล์ลายนิ้วมือดังแสดงในภาพที่ 84
- เมนูย่อย Save Image ใช้สำหรับเก็บบันทึกภาพไฟล์ลายนิ้วมือ ตามชื่อที่กำหนด
- เมนูย่อย Close Image ใช้สำหรับปิดภาพไฟล์ลายนิ้วมือ
- เมนูย่อย Save Candidate List ใช้สำหรับบันทึกไฟล์คะแนนตรวจพิสูจน์ที่เปรียบเทียบแล้ว ตามชื่อที่กำหนด
- เมนูย่อย List Database File ใช้สำหรับแสดงไฟล์ลายนิ้วมือในฐานข้อมูลทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 85
- เมนูย่อย Exit AFIS Program ใช้สำหรับ เลิกการทำงานและออกจากระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ

ภาพที่ 84



แสดงจอภาพของเมนูย่อย Open Image

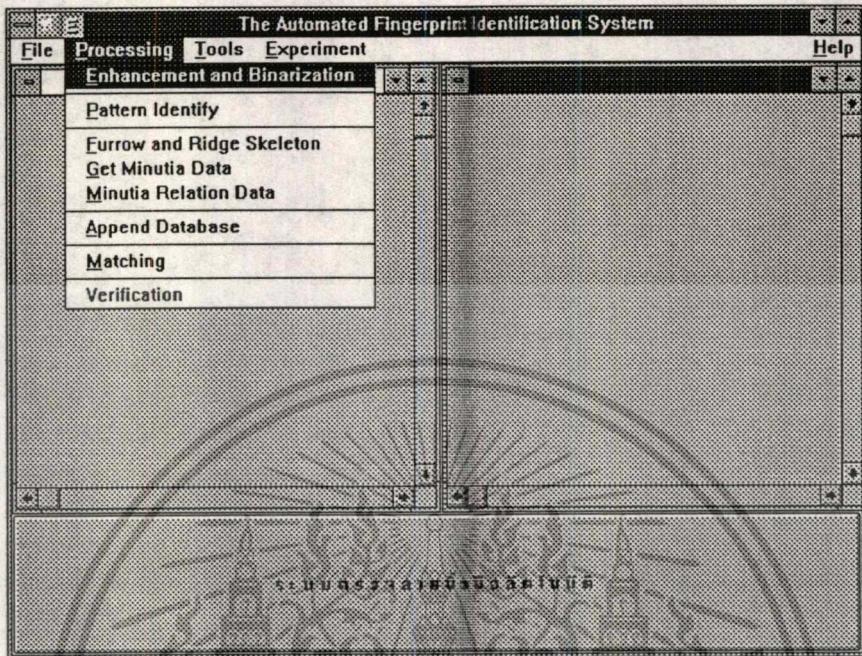
ภาพที่ 85



แสดงจอภาพของเมนูย่อย List Database File

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีควรรนำไปใช้

ภาพที่ 86



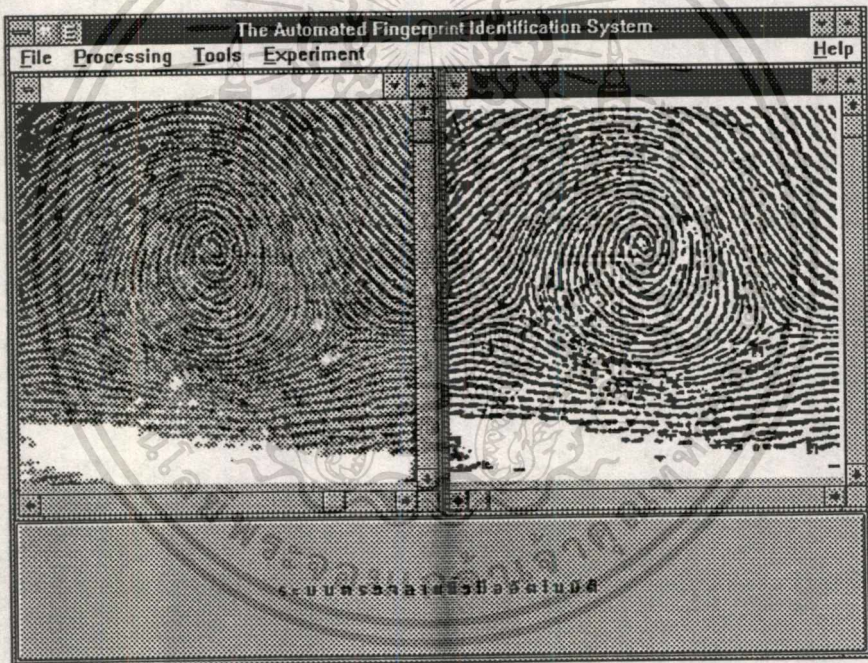
แสดงเมนูย่อยของเมนู Processing

เมนูย่อยของเมนู Processing มีดังต่อไปนี้

- เมนูย่อย **Enhancement and Binarization** เป็นเมนูที่เปลี่ยนภาพระดับสีเทา ให้เป็นภาพสองระดับ ดังแสดงในภาพที่ 87
- เมนูย่อย **Pattern Identify** เป็นเมนูที่ใช้วิเคราะห์หารูปแบบของ ภาพลายนิ้วมือสองระดับ ดังแสดงในภาพที่ 88
- เมนูย่อย **Furrow and Ridge Skeleton** เป็นเมนูที่หาโครงร่างของ เส้นนูน และ เส้นร่องของภาพลายนิ้วมือสองระดับดังแสดงในภาพที่ 89
- เมนูย่อย **Get Minutia Data** เป็นเมนูที่วิเคราะห์หาจุดลักษณะสำคัญพิเศษของลายนิ้วมือจากโครงร่างของเส้นนูน และเส้นร่อง ของภาพลายนิ้วมือสองระดับ ดังแสดงในภาพที่ 90
- เมนูย่อย **Minutia Relation Data** เป็นเมนูที่ใช้คำนวณหาความสัมพันธ์ของจุดลักษณะสำคัญพิเศษต่างๆ

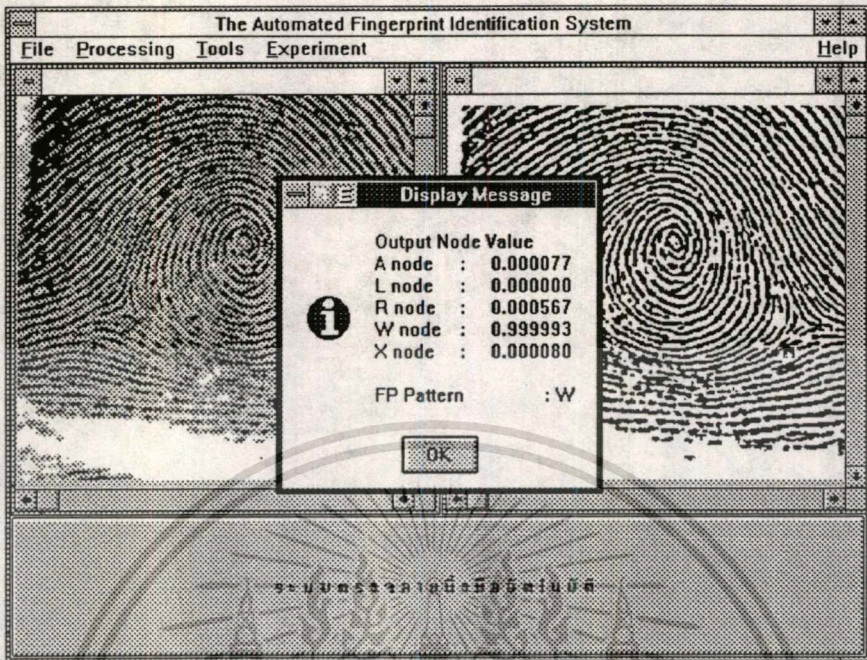
- เมนูย่อย Append to Database เป็นเมนูที่นำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จาก เมนูย่อย Pattern Identify, Get Minutia Data และ Minutia Relation Data เก็บไว้ในฐานข้อมูล
- เมนูย่อย Matching เป็นเมนูที่นำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากเมนูย่อย Pattern Identify, Get Minutia Data และ Minutia Relation Data เปรียบเทียบกับข้อมูลในฐานข้อมูล แล้วคำนวณเป็นค่าคะแนนความเหมือนเรียงลำดับจากมากไปน้อย
- เมนูย่อย Verification เป็นเมนูที่แสดงชื่อไฟล์ในฐานข้อมูล และค่าคะแนนความเหมือน ที่ได้จากเมนูย่อย Matching พร้อมแสดงภาพถ่ายนิ้วมือในฐานข้อมูลออกมาให้ตรวจสอบเปรียบเทียบ ดังภาพที่ 91

ภาพที่ 87



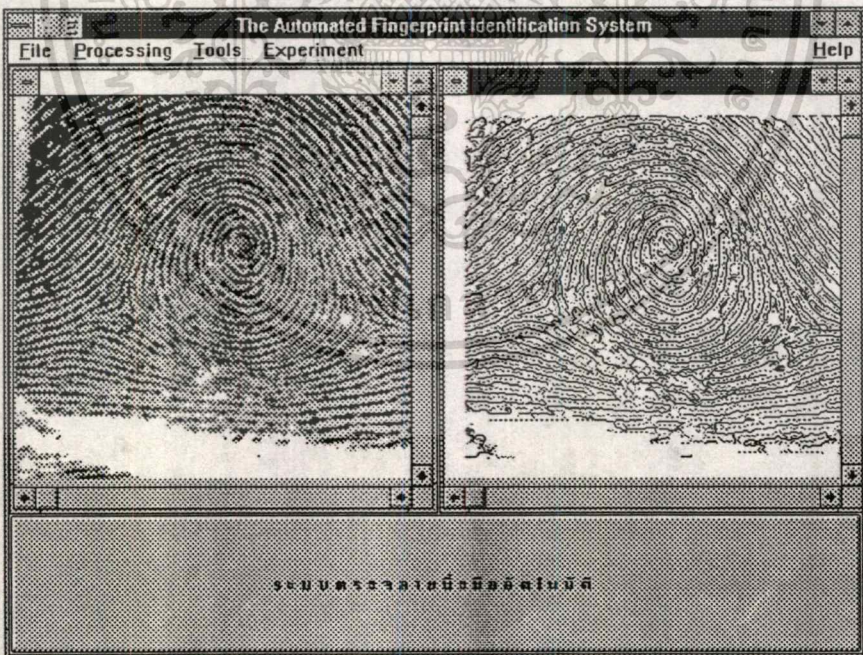
แสดงจอภาพของเมนูย่อย Enhancement and Binarization

ภาพที่ 88



แสดงจอภาพของเมนูย่อย Pattern Identify

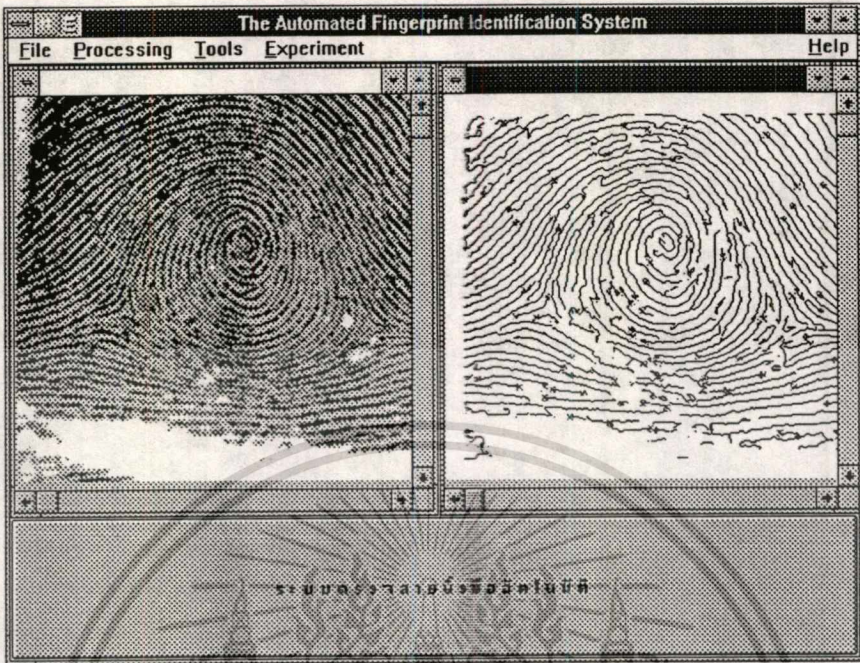
ภาพที่ 89



แสดงจอภาพของเมนูย่อย Furrow and Ridge Skeleton

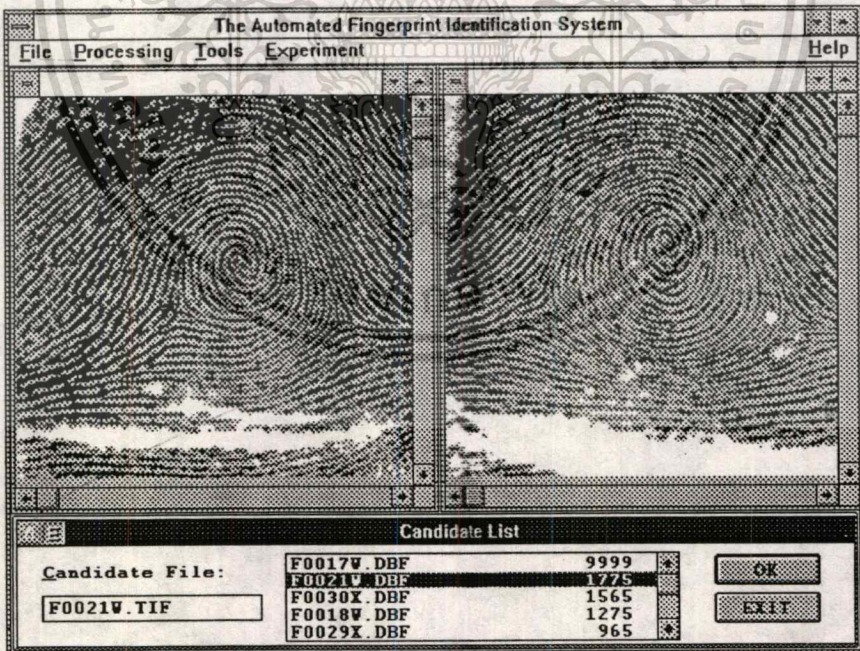
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 90



แสดงจอภาพของเมนูย่อย Get Minutia Data

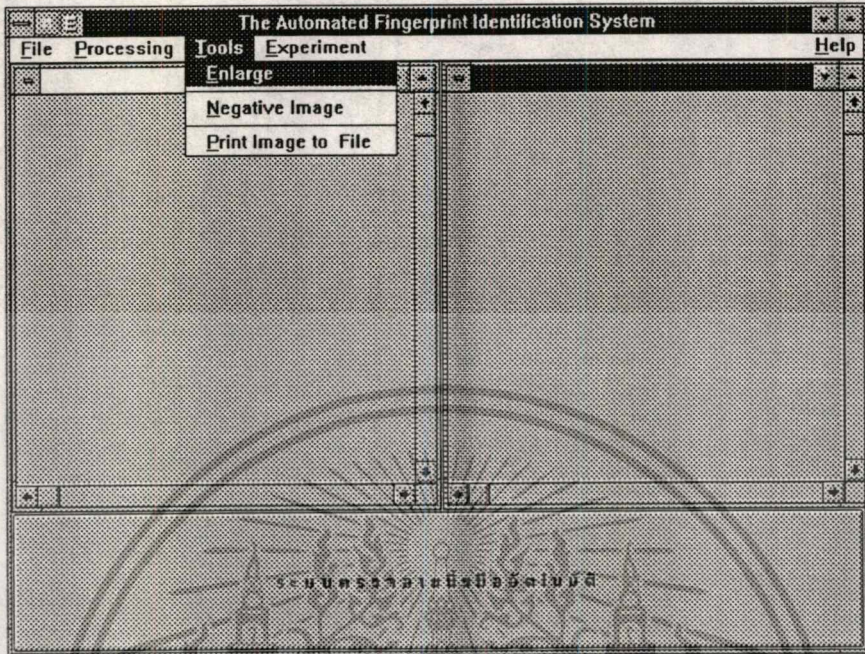
ภาพที่ 91



แสดงจอภาพของเมนูย่อย Verification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 92

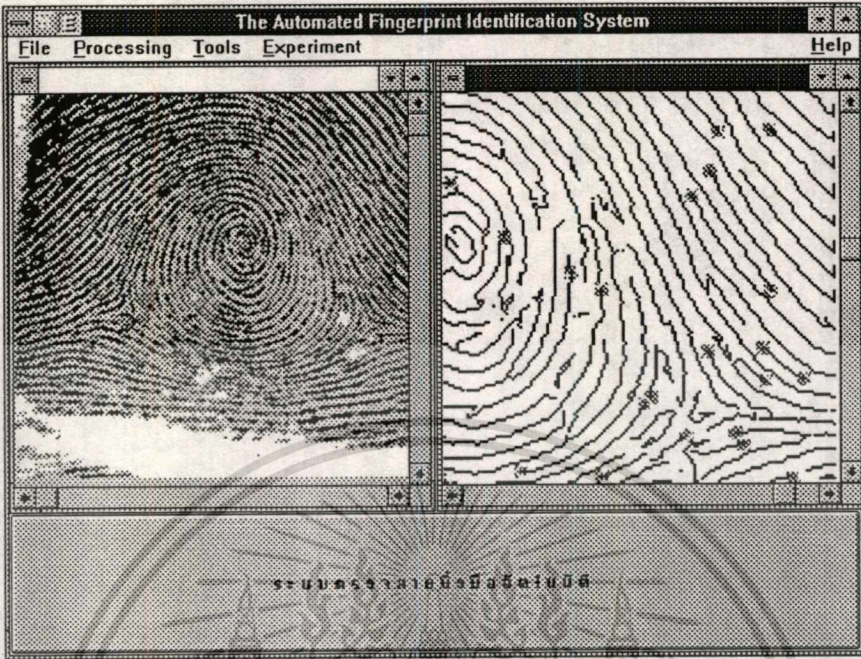


แสดงเมนูย่อยของเมนู Tools

เมนูย่อยของเมนู Tools มีดังต่อไปนี้

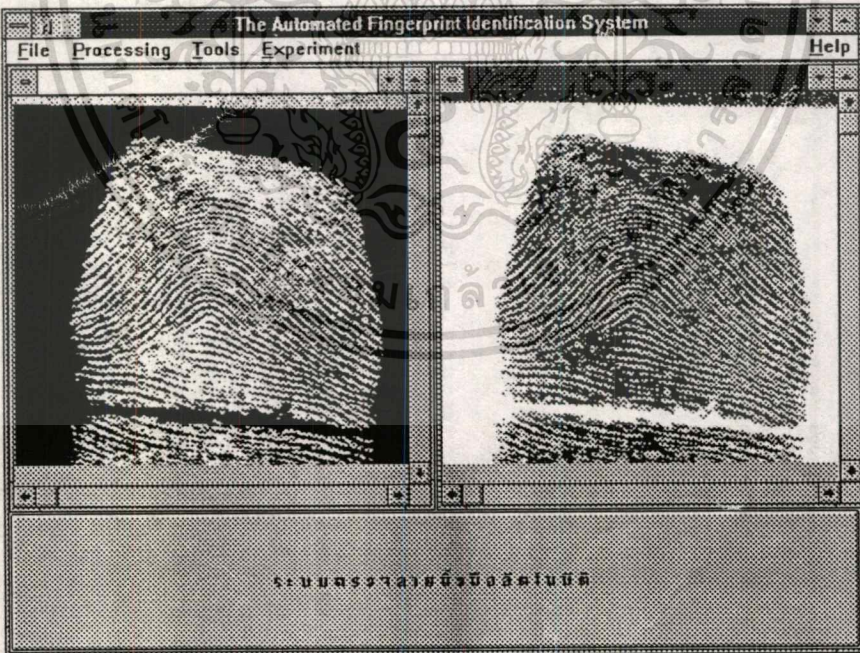
- เมนูย่อย Enlarge ใช้สำหรับขยายภาพลายนิ้วมือ ดังแสดงในภาพที่ 93
- เมนูย่อย Negative Image ใช้สำหรับเปลี่ยนภาพลายนิ้วมือสองระดับให้เป็นภาพเนกาทีฟ คือ การเปลี่ยนค่าของจุดภาพจาก ดำ เป็น ขาว และ จาก ขาว เป็น ดำ ดังแสดงในภาพที่ 94
- เมนูย่อย Print Image to File ใช้สำหรับพิมพ์ค่าของภาพลายนิ้วมือในลักษณะของเท็กซ์ไฟล์ (Text File) เก็บไว้ในไฟล์ ตามชื่อที่กำหนด

ภาพที่ 93



แสดงจอภาพของเมนูย่อย Enlarge

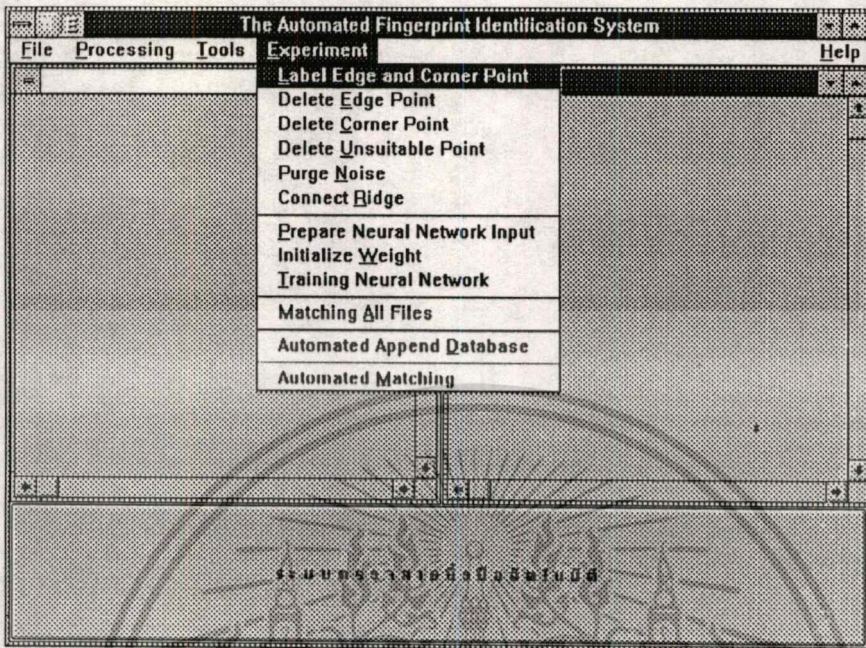
ภาพที่ 94



แสดงจอภาพของเมนูย่อย Negative Image

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 95



แสดงเมนูย่อยของเมนู Experiment

เมนูย่อยของเมนู Experiment มีดังต่อไปนี้

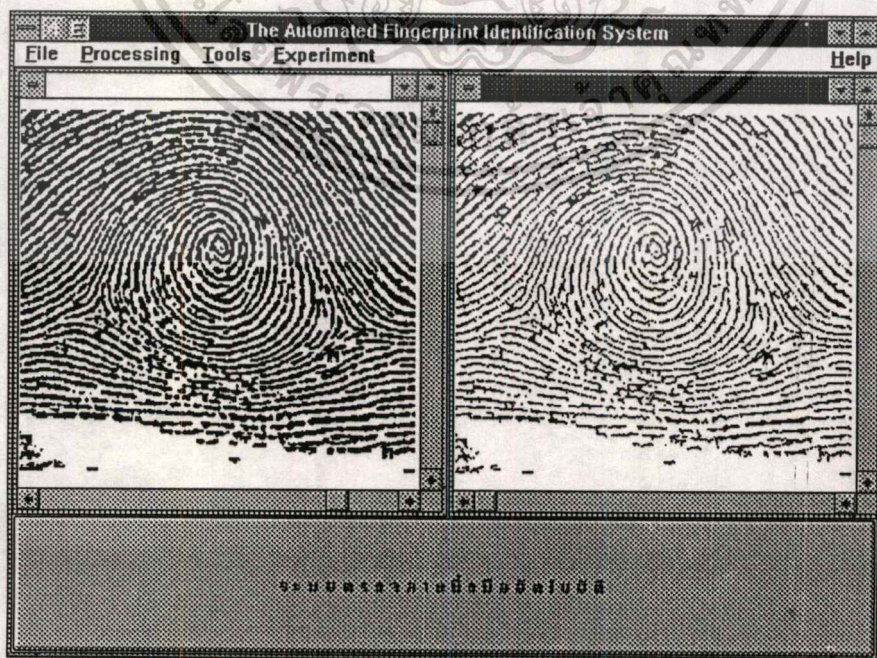
- เมนูย่อย Label Edge and Corner Point ใช้สำหรับระบุจุดขอบ และจุดมุม ของลายเส้นของภาพลายนิ้วมือสองระดับ
- เมนูย่อย Delete Edge Point ใช้สำหรับแสดงภาพของลายนิ้วมือภายหลังการลบจุดขอบที่ถูกระบุไว้เมื่อใช้เมนูย่อย Label Edge and Corner Point ดังแสดงในภาพที่ 96
- เมนูย่อย Delete Corner Point ใช้สำหรับแสดงภาพของลายนิ้วมือภายหลังการลบจุดมุมที่ถูกระบุไว้เมื่อใช้เมนูย่อย Label Edge and Corner Point ดังแสดงในภาพที่ 97
- เมนูย่อย Delete Unsuitable Point ใช้สำหรับแสดงภาพของลายนิ้วมือภายหลังการลบจุดบนลายเส้นที่เหลือ ดังแสดงในภาพที่ 98
- เมนูย่อย Purge Noise ใช้สำหรับแสดงภาพของลายนิ้วมือภายหลังการลบจุดรบกวนต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 99
- เมนูย่อย Connect Ridge ใช้สำหรับแสดงภาพของลายนิ้วมือภายหลังการเชื่อมต่อลายเส้น ดังแสดงในภาพที่ 100
- เมนูย่อย Prepare Neural Network Input ใช้สำหรับเปลี่ยนภาพลายนิ้วมือสองระดับให้เป็นภาพบล็อกทิศทาง และเลือกส่วนของภาพบล็อกทิศทางขนาด 15x10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อก สำหรับเป็นข้อมูลเข้าป้อนให้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการเรียนรู้และทดสอบการจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือ

- เมนูย่อย **Initialize Weight** ใช้สำหรับกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นของโครงข่ายประสาทเทียม ดังแสดงในภาพที่ 101
- เมนูย่อย **Training Neural Network** ใช้สำหรับสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้เรียนรู้และทดสอบความสามารถในการจดจำ ดังแสดงในภาพ 102
- เมนูย่อย **Matching All Files** ใช้สำหรับเมื่อต้องการให้มีการเปรียบเทียบลายนิ้วมือที่ส่งตรวจสอบกับฐานข้อมูลทั้งหมด โดยไม่สนใจรูปแบบของลายนิ้วมือ
- เมนูย่อย **Automated Append Database** ใช้สำหรับเมื่อต้องการบันทึกข้อมูลลายนิ้วมือเพิ่มเข้าฐานข้อมูลแบบอัตโนมัติ โดยมีขั้นตอนดังนี้ คือ ใช้เมนูย่อย **Open Image** เลือกเปิดไฟล์ที่ต้องการบันทึก และเลือกเมนูย่อยนี้ ระบบจะดำเนินการโดยอัตโนมัติจนบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว
- เมนูย่อย **Automated Matching** ใช้สำหรับเมื่อต้องการเปรียบเทียบลายนิ้วมือแบบอัตโนมัติ โดยมีขั้นตอนดังนี้ คือ ใช้เมนูย่อย **Open Image** เลือกเปิดไฟล์ที่ต้องการตรวจสอบ และเลือกเมนูย่อยนี้ ระบบจะดำเนินการโดยอัตโนมัติจนถึงเมนูย่อย **Verification** แสดงไฟล์คะแนนตรวจพิสูจน์

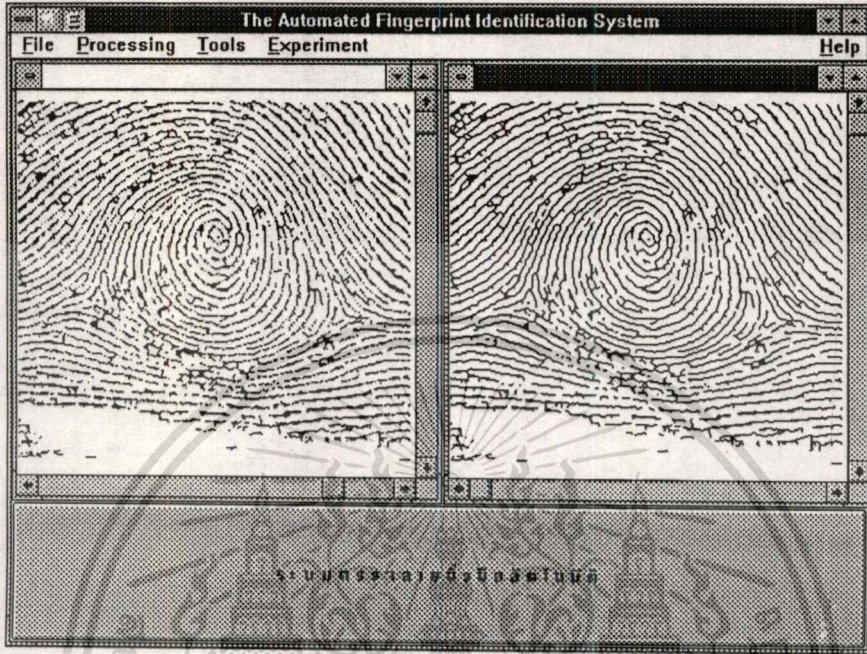
ภาพที่ 96



แสดงจอภาพของเมนูย่อย **Delete Edge Point**

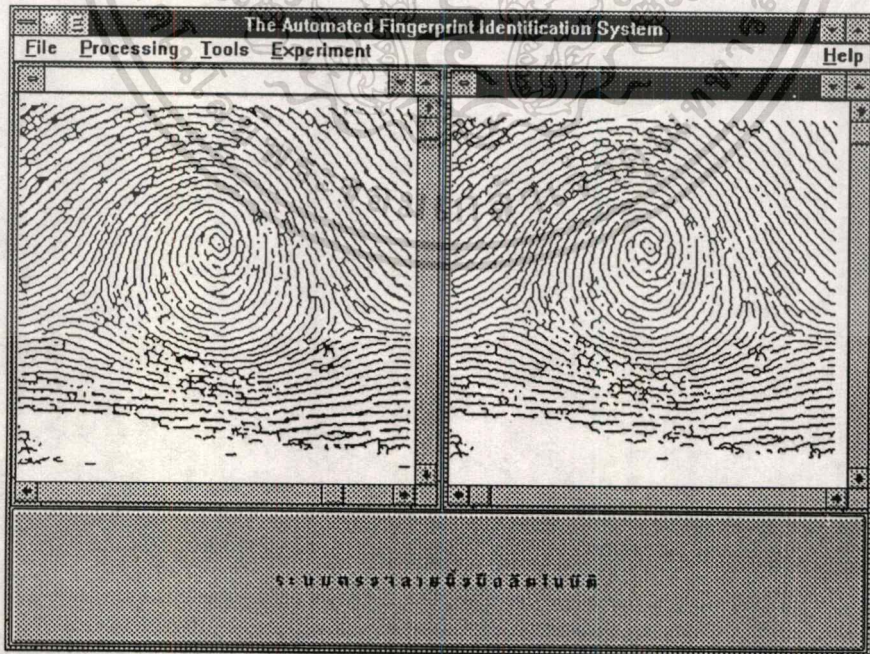
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 97



แสดงจอภาพของเมนูย่อย Delete Corner Point

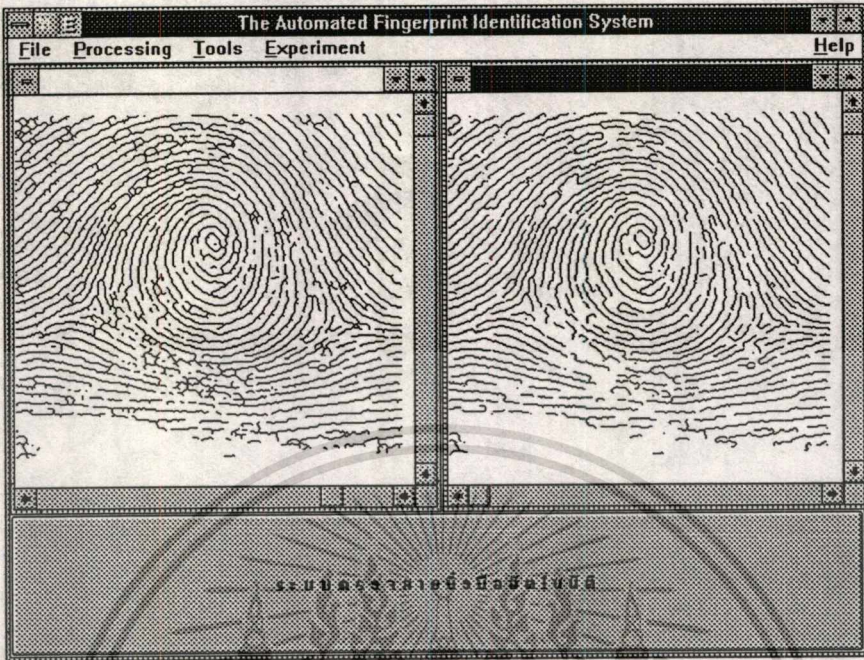
ภาพที่ 98



แสดงจอภาพของเมนูย่อย Delete Unsuitable Point

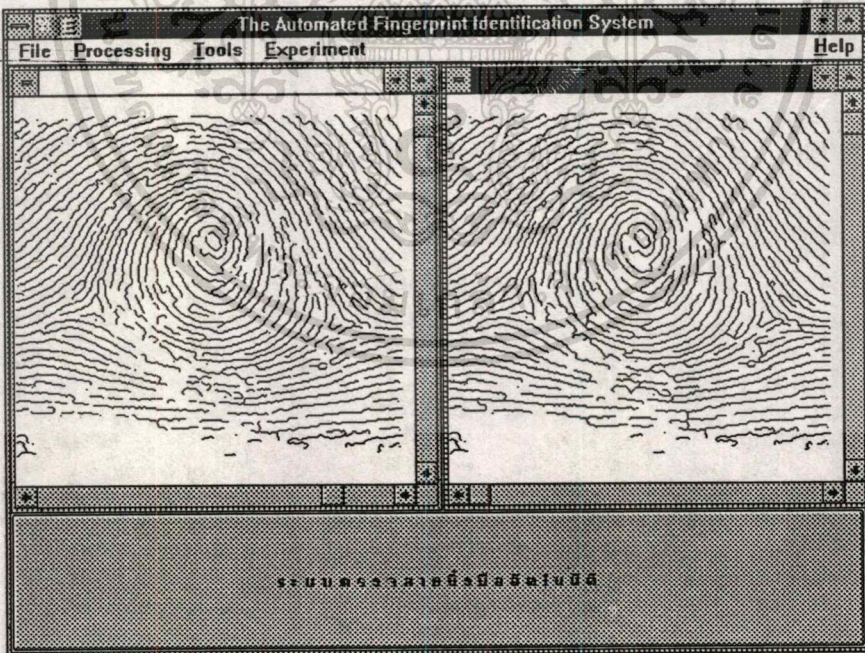
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 99



แสดงจอภาพของเมนูย่อย Purge Noise

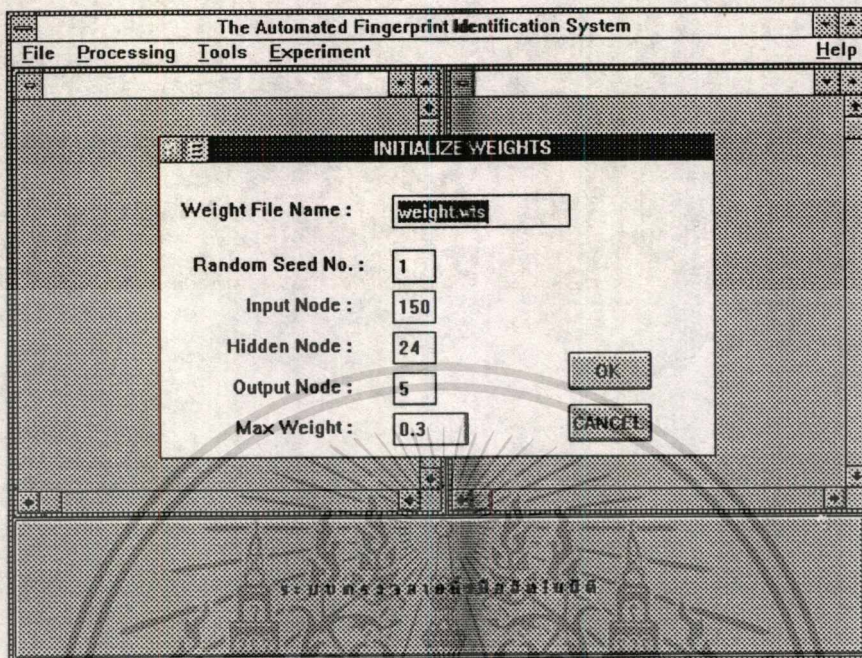
ภาพที่ 100



แสดงจอภาพของเมนูย่อย Connect Ridge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 101

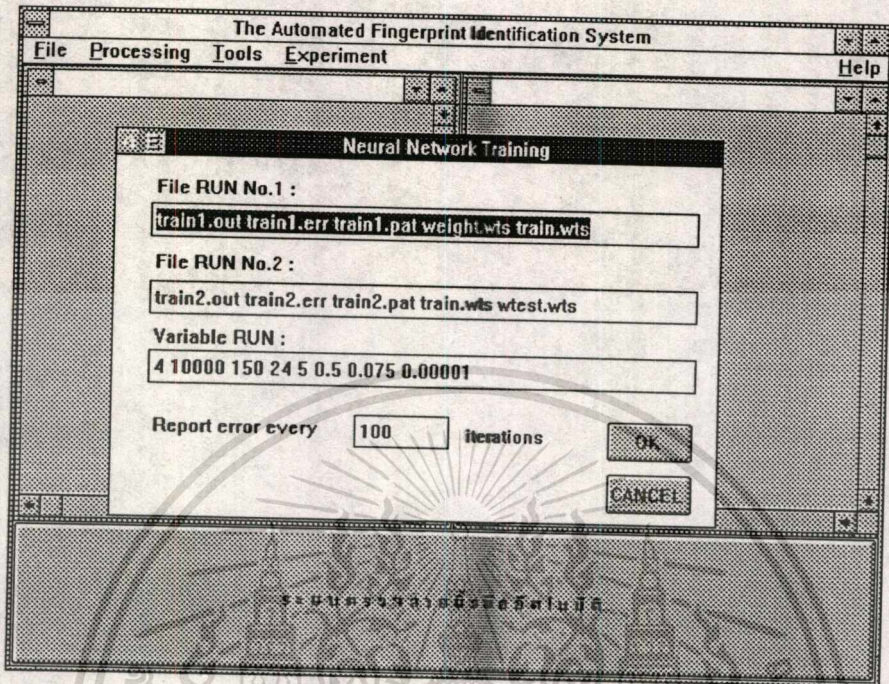


แสดงจอภาพของเมนูย่อย Initialize Weight

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในกรอบข้อความเมื่อมีการเลือกเมนูย่อย Initialize Weight มีดังนี้

- ◆ Weight File Name เป็นชื่อ ไฟล์ข้อความ ที่จะใช้เก็บค่าถ่วงน้ำหนัก
- ◆ Random Seed No เป็นหมายเลขชุดการสุ่มของฟังก์ชัน rand() ภาษา C
- ◆ Input Node เป็นจำนวนหน่วยข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม
- ◆ Hidden Node เป็นจำนวนหน่วยซ่อนเร้นของโครงข่ายประสาทเทียม
- ◆ Output Node เป็นจำนวนหน่วยผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียม
- ◆ Max Weight เป็นค่าขอบเขตของค่าถ่วงน้ำหนักที่ต้องการ ได้จากการสุ่ม ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง [-Max Weight , Max Weight]

ภาพที่ 102



แสดงจอภาพของเมนูย่อย Training Neural Network

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในกรอบข้อความเมื่อมีการเลือกเมนูย่อย Training Neural Network มีดังนี้

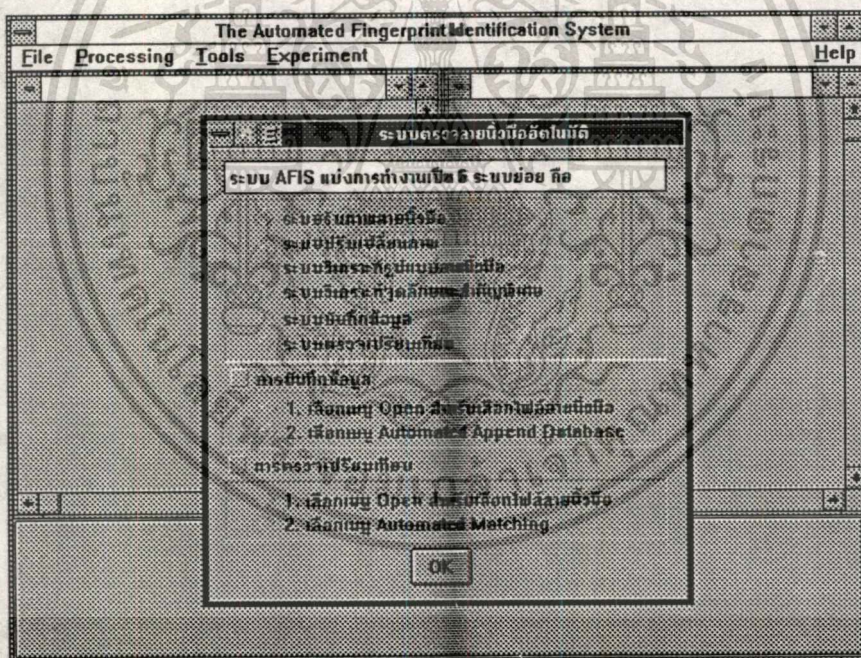
- ◆ File RUN No.1 และ File RUN No.2 ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 5 ตัว คือ
 - ◆ พารามิเตอร์ที่ 1 เป็นชื่อไฟล์ที่เก็บผลจากหน่วยผลลัพธ์
 - ◆ พารามิเตอร์ที่ 2 เป็นชื่อไฟล์ที่เก็บค่าความคลาดเคลื่อนในการเรียนรู้แต่ละรอบ
 - ◆ พารามิเตอร์ที่ 3 เป็นชื่อไฟล์ที่เก็บค่าของหน่วยข้อมูลเข้าและค่าเป้าหมายของโครงข่ายประสาทเทียม
 - ◆ พารามิเตอร์ที่ 4 เป็นชื่อไฟล์ที่เก็บค่าถ่วงน้ำหนักที่จะใช้ในการเรียนรู้หรือทดสอบ
 - ◆ พารามิเตอร์ที่ 5 เป็นชื่อไฟล์ที่เก็บค่าถ่วงน้ำหนักที่ปรับค่าตามความคลาดเคลื่อน ภายหลังการเรียนรู้หรือทดสอบ
- ◆ Variable RUN เป็นค่าตัวแปรที่จะนำไปใช้ในแต่ละ RUN ซึ่งประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ 8 ตัวคือ
 - ◆ พารามิเตอร์ที่ 1 เป็นค่าจำนวนชุดของหน่วยข้อมูลเข้าและค่าเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ◆ พารามิเตอร์ที่ 2 เป็นค่าจำนวนรอบที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้
ถ้าสำหรับการทดสอบให้กำหนดค่าเท่ากับ 1
- ◆ พารามิเตอร์ที่ 3 เป็นจำนวนหน่วยข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม
- ◆ พารามิเตอร์ที่ 4 เป็นจำนวนหน่วยซ่อนเร้นของโครงข่ายประสาทเทียม
- ◆ พารามิเตอร์ที่ 5 เป็นจำนวนหน่วยผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียม
- ◆ พารามิเตอร์ที่ 6 เป็นค่าโมเมนตัม
- ◆ พารามิเตอร์ที่ 7 เป็นค่าของอัตราเร็วในการเรียนรู้
- ◆ พารามิเตอร์ที่ 8 เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่พอใจจะให้โครงข่ายประสาทเทียมหยุด
การเรียนรู้

ภาพที่ 103



แสดงจอภาพเมนู Help



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหารูปแบบลายนิ้วมือโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม Fingerprint Pattern Verification by using Neural Network

สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์ *

บุญชัย ฤกษ์ยศ **

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้เสนอวิธีการหารูปแบบของลายนิ้วมือ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในแบบจำลองของการแพร่กลับ ซึ่งเริ่มจากการแปลงภาพลายนิ้วมือเป็นบล็อกๆ แล้วคำนวณลักษณะการวางตัวของจุดภาพในแต่ละบล็อก เพื่อจะได้ภาพบล็อกทิศทางที่มีรูปแบบเหมือนกับลายนิ้วมือ จากนั้นหาจุดใจกลางของภาพบล็อกทิศทางเพื่อจะกำหนดเมตริกซ์ขนาด 18x10 บล็อก สำหรับใช้เป็นข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการเรียนรู้และจดจำ

Abstract

This paper purposed the fingerprint pattern verification approach by using back propagation neural network. Fingerprint images are divided into blocks. Then calculated the form of pixels in each block in order to get the directional block image. Find core point of directional block image to obtain 18x10 matrix which are neural network inputs for learning and recognition.

1. บทนำ

ในปัจจุบันเมื่อเกิดคดีอาชญากรรม เช่น การลักทรัพย์ ปล้นทรัพย์ หรือ ฆาตกรรม สิ่งที่พบในสถานที่เกิดเหตุส่วนมาก คือ ลายนิ้วมือ ซึ่งสามารถใช้เป็นพยานหลักฐานในการหาตัวผู้กระทำความผิดได้จากการตรวจสอบกับลายนิ้วมือในแฟ้มลายนิ้วมือซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากของกรมตำรวจ โดยเริ่มจากการคัดเลือกลายนิ้วมือที่มีรูปแบบเหมือนกับลายนิ้วมือต้องสงสัยออกมา แล้วนำมาตรวจเปรียบเทียบจุดลักษณะพิเศษ เพื่อยืนยันว่าเจ้าของลายนิ้วมือคือใครในแฟ้มลายนิ้วมือ ดังนั้นเพื่อความถูกต้องและรวดเร็ว จึงได้นำเอาระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการดำเนินการแทน



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการทำงานของ AFIS

การใช้บุคคลากร โดยพัฒนาเป็นระบบตรวจลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ (the Automated Fingerprint Identification System, AFIS) ซึ่งมีการทำงานเหมือนกับที่กล่าวมาข้างต้น ดังรูปที่ 1

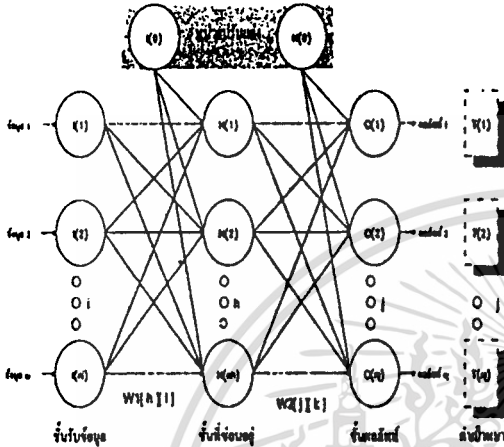
ดังนั้นรูปแบบของลายนิ้วมือ ซึ่งมี แบบโค้ง แบบมัดหวาย บิดซ้าย แบบมัดหวายบิดขวา แบบก้นหอยและอื่นๆ จึงเป็นข้อมูลที่สำคัญในการเป็นดัชนีในการค้นหาและดึงกลุ่มข้อมูลในแฟ้มลายนิ้วมือมาตรวจเปรียบเทียบจุดลักษณะพิเศษ สำหรับ การยืนยันตัวบุคคล ได้มีงานวิจัยของ Masahiro Kawagoe และ Akio Tojo^[1] เสนอการหารูปแบบของลายนิ้วมือโดยที่จารณมาจากจำนวนของจุดวกกลับและจุดคลื่นของ ภาพบล็อกทิศทางที่ได้มาจากภาพลายนิ้วมือ ซึ่งวิธีการนี้จะเหมาะสำหรับภาพที่ชัดเจน มีความละเอียดมากและมีลักษณะของรูปแบบที่เด่นชัด

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นส่วนหนึ่งของระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ ซึ่งได้เสนอวิธีการแปลงภาพลายนิ้วมือให้อยู่ในรูปของภาพบล็อกทิศทางสำหรับใช้เป็นข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการเรียนรู้และจดจำรูปแบบลายนิ้วมือ

* ทุนพิเศษเทคโนโลยีสารสนเทศ
** นักศึกษาปริญญาโท
สาขาวิชาการศึกษาเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

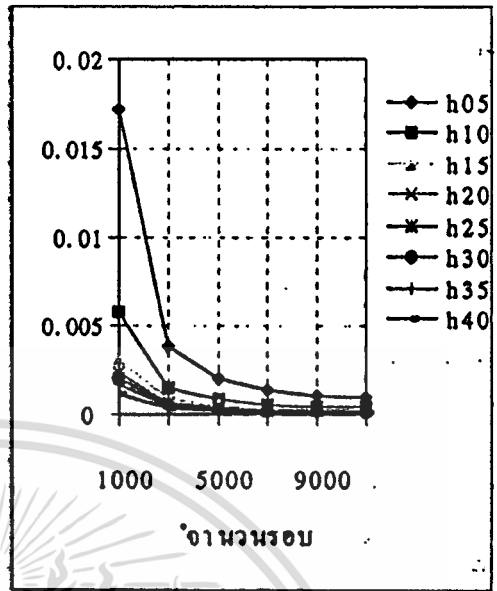
2. โครงข่ายประสาทเทียม^๓

การหารูปแบบของลายนิ้วมือ กระทำได้โดยวิธีการจําของโครงข่ายประสาทเทียมที่เรียนรู้แล้ว ตามแบบจําของของการแพร่กลับ(Back Propagation)



รูปที่ 2 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้จัดจํารูปแบบของลายนิ้วมือ

ซึ่งอาศัยหลักการของฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าของเป้าหมายที่ต้องการและค่าของสัญญาณผลลัพธ์ที่ส่งออกมาจากโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีโครงข่าย ดังรูปที่ 2 โดยมีหน่วยรับข้อมูล 160 หน่วย ซึ่งได้มาจากกรงกึ่งเวกเตอร์บล็อกทิศทางซึ่งได้นำเสนอในหัวข้อต่อไป พบว่าภาพขนาด 16x10 บล็อก นั้นเป็นขนาดที่ครอบคลุมจุดลักษณะสำคัญคือจุดวงกลับ และจุดสันดอนที่ใช้ในการจําแนกรูปแบบของลายนิ้วมือ ส่วนหน่วยผลลัพธ์กำหนดให้มี 5 หน่วยซึ่งใช้แทนการจําจํารูปแบบลายนิ้วมือ 5 แบบ คือ แบบโค้ง แบบมีคหวายบิดซ้าย แบบมีคหวายบิดขวา แบบก้นหอย และ ซื่นๆ ซึ่งพบว่ามีจำนวน 2%, 27%, 24%, 45% และ 2% ตามลำดับ จากข้อมูลแผ่นลายพิมพ์นิ้วมือของผู้กระทำความผิดในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ.2524-2535 จำนวน 200,000 คน สำหรับหน่วยที่ซ่อนอยู่ มี 30 หน่วย ได้จากการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมนี้ โดยการกำหนดหน่วยรับข้อมูล เท่ากับ 160 หน่วย หน่วยผลลัพธ์ 5 หน่วย และ แปรเปลี่ยนค่าของหน่วยที่ซ่อนอยู่ จากการเรียนรู้ 10,000 รอบ พบว่าจำนวนหน่วยที่ซ่อนอยู่เท่ากับ 30 เป็นค่าที่น้อยและมีความคลาดเคลื่อนในการจําจําน้อยมากเท่ากับจำนวนหน่วยของหน่วยที่ซ่อนอยู่ที่มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3 (h20 หมายถึง จำนวนหน่วยที่ซ่อนอยู่ = 20)



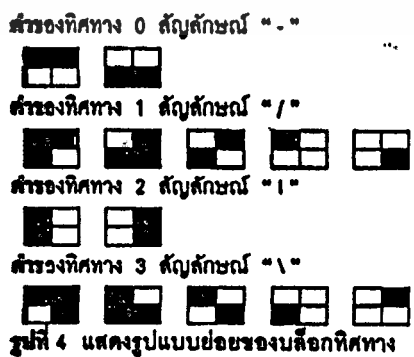
รูปที่ 3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในการจํา

3. การเตรียมข้อมูลสำหรับหน่วยรับข้อมูล

ข้อมูลที่จะใช้ป้อนเข้าหน่วยรับข้อมูลของโครงข่ายประสาทเทียมจะเป็นเมตริกซ์ของบล็อกทิศทางของภาพลายพิมพ์นิ้วมือขนาด 16x10 บล็อก ซึ่งต้องมี บล็อกของจุดใจกลาง (Core point คือ จุดสูงสุดบนเส้นเวกเตอร์ที่อยู่ภายในที่สุด) อยู่ที่ตำแหน่ง (๒,๓) ซึ่งกระทำได้ดังนี้

3.1.ภาพของบล็อกทิศทาง^๓

จากภาพลายนิ้วมือสองระดับ (Binary fingerprint image) ที่มีการแบ่งภาพเป็นบล็อกขนาด 16x16 จุดภาพ แล้วทำการนับจำนวนรูปแบบย่อยของบล็อกทิศทางทั้ง 4 แบบ ดังรูปที่ 4 ภายใต้อัตราบล็อก แล้วนำมาคำนวณหาทิศทางของบล็อก (0) ซึ่งจะหาได้ได้ภาพของบล็อกทิศทางที่รักษาทิศทางการไหลของลายเส้นของลายนิ้วมืองัดเดิม

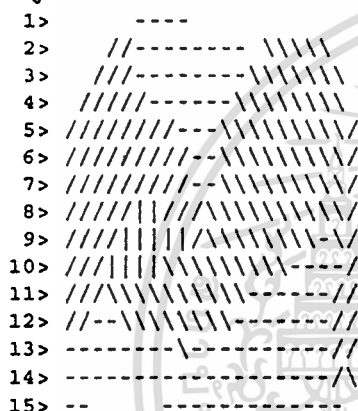


รูปที่ 4 แสดงรูปแบบย่อยของบล็อกทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 แสดงภาพลายนิ้วมือแบบสองระดับ



รูปที่ 6 แสดงภาพบล็อกทิศทางของลายนิ้วมือ

$$D = \left\lfloor \frac{S[0] \times d0 + S[1] + S[2] \times 2 + S[3] \times 3}{S[0] + S[1] + S[2] + S[3]} \right\rfloor$$

D = D ถ้า D = 0,1,2,3

= 0 กรณีอื่นๆ

เมื่อ D = ค่าทิศทางของบล็อก

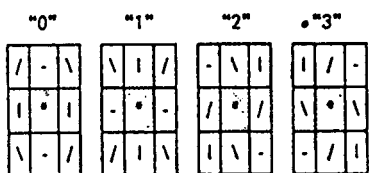
S[i] = จำนวนรูปแบบย่อยของบล็อกทิศทาง i

d0 = 0 ถ้า S[1] ≥ S[3]

= 4 ถ้า S[1] < S[3]

3.2.การหาบล็อกของจุดวกกลับ¹¹

จากภาพบล็อกทิศทาง จะหา จุดวกกลับ โดยการเปลี่ยนค่าทิศทางในหน้าต่าง 3x3 ให้เป็นรหัสการไหลของลายเส้นโดยการเปรียบเทียบค่าทิศทางและตำแหน่ง กับรูปแบบการไหล ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงรหัสการไหลของทิศทาง

กฎการปรับทิศทางการไหล

- 1) 3, 2 ⇒ 1 2) 3, 3 ⇒ 3
- 3) 1, 3 ⇒ 1 4) 1, 2 ⇒ 1
- 5) 1, 1 ⇒ 1 6) 0, 3 ⇒ 0
- 7) 0, 2 ⇒ 0 8) 0, 0 ⇒ 0

กฎ 1) หมายความว่า ถ้าบล็อกแรกมีค่าทิศทางเป็น 3 บล็อกถัดไปมีค่าทิศทางเป็น 2 ให้รวมทั้งสองบล็อกเป็นบล็อกเดียวที่มีค่าทิศทางเป็น 1 ดังรูปที่ 8.

F0	F1	F2
F7	F8	F3
F6	F5	F4

/	.	.
/	*	\
/	.	\

ตำแหน่ง F:	0	1	2	3	4	5	6	7
ทิศทาง	/	.	.	\	\		/	/
รหัสการไหล	0	0	3	3	1	1	1	2
ปรับตามกฎ 2	0	0	3		1	1	1	2
ปรับตามกฎ 4	0	0	3		1	1	1	
ปรับตามกฎ 5	0	0	3		1		1	
ปรับตามกฎ 6	0	0			1			
ปรับตามกฎ 8	0				1			

รูปที่ 8 แสดงการปรับแต่งรหัสการไหลของทิศทาง

ปรับแต่งทิศทางการไหลของบล็อกทิศทาง 2 บล็อก ที่อยู่ติดกัน โดยเริ่มจาก F0 หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ตามกฎการปรับทิศทางการไหลเรียงตามลำดับ ดังรูปที่ 8 จุดที่ตำแหน่ง F8 จะเป็น จุดวกกลับ ก็ต่อเมื่อมีรหัสการไหลที่ปรับแต่งแล้วเป็น 1, 0 หรือ 0, 1 ซึ่งในภาพบล็อกทิศทาง อาจจะมีจุดวกกลับมากกว่า 1 จุดก็ได้

3.3 การจัดบล็อกของจุดวกกลับที่ไม่ถูกต้อง¹¹

การจัดบล็อกของจุดวกกลับที่ไม่ถูกต้องออกโดยพิจารณาจากหน้าต่าง 5x5 ที่มีจุดวกกลับที่ตำแหน่ง N24 โดยแบ่งเป็น 4 เขต ดังรูปที่ 10 และ จุดวกกลับ ที่ไม่ตรงกับเงื่อนไขดังต่อไปนี้ จะถูกยกเลิกการเป็น จุดวกกลับ

1. ใน R0 ต้องมี D23 > Threshold และ D23 > D01
2. ใน R2 ต้องมี D12 > Threshold และ D12 > D03
3. ใน R1 ต้องมี D0 > D2

การประมวลผลภาพทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18

เมื่อ

Threshold = 5

$D\alpha\lambda$ = ผลรวมจำนวนของบล็อกที่มีทิศทาง α กับ λ

$D\alpha$ = จำนวนของบล็อกที่มีทิศทาง α

N13	N11	N10	N8	N7
N14	N12	N9	N6	N5
N16	N15	N24	N3	N4
N17	N18	N21	N0	N2
N19	N20	N22	N23	N1

รูปที่ 9 แสดงการแบ่งเขต R0,R1,R2 และ R3

เมื่อ R0 ประกอบด้วย N0, N1,...,N7, N24

R1 ประกอบด้วย N6, N7,...,N13, N24

R2 ประกอบด้วย N12, N13,...,N19, N24

R3 ประกอบด้วย N18,...,N23, N0, N1, N24

3.4. การหาตำแหน่งบล็อกจุดใจกลาง

ตำแหน่งของบล็อกจุดใจกลาง ซึ่งก็ได้แก่ ตำแหน่งตรงกลางของกลุ่มบล็อกของจุดวงกลับที่อยู่ในแถวต่ำที่สุด หรือ กรณีที่หาตำแหน่งของจุดใจกลาง จากจุดวงกลับไม่ได้ ให้ถือว่าตำแหน่งจุดกึ่งกลางของภาพบล็อกทิศทาง คือ จุดใจกลาง

3.5. การหาขนาดของหน่วยรับข้อมูล

จากจุดใจกลางของภาพบล็อกทิศทางในข้อ 3.4 หาขอบเขตของเมตริกซ์ขนาด 16x10 บล็อกโดยที่มี ตำแหน่งบล็อกของจุดใจกลาง อยู่ที่ (8,3) ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลสำหรับหน่วยรับข้อมูล

4. ขั้นตอนการเรียนรู้รูปแบบของลายนิ้วมือ

การเรียนรู้รูปแบบของลายนิ้วมือของโครงข่ายประสาทเทียมนี้ เป็นแบบการรีเเนะ (supervisor learning) จากลายนิ้วมือทั้ง 5 รูปแบบๆละ 6 รอยรวม 30 รอย แบ่งเป็น 2 ชุดๆละ 15 รอย ส่งให้โครงข่ายเรียนรู้ สลับกันไปตามขั้นตอนดังกล่าวต่อไปนี้จนกระทั่งได้ ค่าความคลาดเคลื่อน น้อยกว่า 0.00001

4.1. กำหนดค่าน้ำหนัก $\hat{W}_{1(h)(i)}$ และ $\hat{W}_{2(i)(h)}$ แบบสุ่มดังสมการ

$$\hat{W} = wmax(1.0 - (2 * frand / scale)) \tag{2}$$

โดยที่

$$-wmax \leq \hat{W} \leq wmax$$

เมื่อ

n = จำนวนครั้งที่เรียนรู้ = 0,1,2,3, ...

$wmax$ = ค่าน้ำหนักที่มากที่สุดที่ต้องการได้จากการสุ่ม

$frand$ = ค่าที่ได้จากการสุ่มโดยฟังก์ชันrand()ในภาษาC

$scale$ = ค่าที่มากที่สุดที่ได้จากการสุ่ม

4.2. ป้อนค่าให้หน่วยรับข้อมูล (I(i)) โดยรับค่าทิศทางของบล็อก ในเมตริกซ์ที่ได้จากข้อ 3.5 ดังรูปที่ 10 โดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง

4.3. กำหนดค่าเป้าหมาย (T(i)) ให้กับหน่วยผลลัพท์ (O(i)) ดังรูปที่ 10 โดยที่

$T(i) = 1$ สำหรับค่าของหน่วยผลลัพท์ที่ถูกต้อง
= 0 กรณีอื่นๆ

O(1) แทนจุดจำลองนิ้วมือแบบบัง

O(2) แทนจุดจำลองนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย

O(3) แทนจุดจำลองนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา

O(4) แทนจุดจำลองนิ้วมือแบบกันห้อย

O(5) แทนจุดจำลองนิ้วมือแบบอื่นๆ เช่น แบบจับช้อนแบบมัดหวายแผ่ เป็นต้น

ภาพบล็อกทิศทาง	ข้อมูล :
//////--\ \ \ \	11111000333333
//////--\ \ \ \	11111000333332
//////\ \ \ \ \	11111100333223
//////\ \ \ \ \	11122211333333
//////\ \ \ \ \	11222211333333
//////\ \ \ \ \	12222211333330
//////\ \ \ \ \	13333333330000
----\ \ \ \ \	00333333303000
----\ \ \ \ \	00003330000000
----\ \ \ \ \	00000000000000
ค่าเป้าหมาย :	00100

รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างข้อมูล และ ค่าเป้าหมายของ

ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา

4.4. ค่าพจน์ค่า H(h) ดังสมการ

$$H(h) = 1.0 / (1.0 + \exp(\sum_i \sum_j (W1(i)(h) * I(i)))) \tag{3}$$

4.5. ค่าพจน์ค่า O(i) ดังสมการ

$$O(i) = 1.0 / (1.0 + \exp(\sum_h \sum_j (W2(i)(h) * H(h)))) \tag{4}$$

4.6. ปรับค่าน้ำหนักของ W2 และ W1 ของแต่ละครั้งที่มีการเรียนรู้ ตามลำดับ ดังสมการ

$$\hat{W}_{2(i)(h)} = \hat{W}_{2(i)(h)} + \beta * \hat{O}_{2(i)} + \gamma * \hat{O}_{2(i)} \tag{5}$$

$$\hat{W}_{1(h)(i)} = \hat{W}_{1(h)(i)} + \beta * \hat{O}_{1(h)} + \gamma * \hat{O}_{1(h)} \tag{6}$$

เมื่อ

$$\hat{\sigma}^2_{2(j)} = (T(j) - O(j))^2 \cdot O(j) \cdot (1 - O(j)) \quad (7)$$

$$\hat{\Omega}_{2(j)} = 0.0 \quad \text{ถ้า } n = 0 \quad (8)$$

$$= \hat{\sigma}^2_{2(j)} \quad \text{ถ้า } n > 0$$

$$\hat{\sigma}^2_{1(h)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\hat{\sigma}^2_{2(j)} \cdot W_{2(j)}^{n+1}) \quad (9)$$

$$\hat{\Omega}_{1(h)} = 0.0 \quad \text{ถ้า } n = 0 \quad (10)$$

$$= \hat{\sigma}^2_{1(h)} \quad \text{ถ้า } n > 0$$

β = อัตราการเรียนรู้ = 0.075

γ = ค่าโมเมนตัม (Momentum factor) = 0.15

4.7. ทำซ้ำ ขั้นตอนที่ 4.3 ถึง 4.7 จนกว่าค่าความแตกต่าง E

มีค่าน้อยกว่า ระดับความคลาดเคลื่อน (Error Level, E) ที่กำหนด

$$E = \sum_j (T(j) - O(j))^2 \quad (11)$$

ระดับความคลาดเคลื่อนที่กำหนด = 0.00001

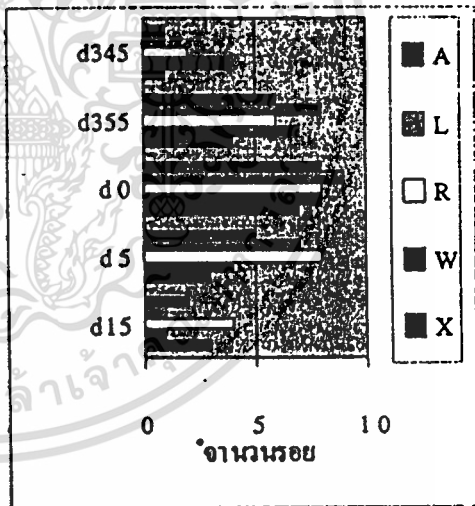
ลำดับ	รูปแบบ	ค่าผลลัพธ์ของหน่วยผลลัพท์				
		1	2	3	4	5
1	6	0.006274	0.006460	0.001230	0.006122	0.001296
2	4	0.002806	0.002844	0.002063	0.003606	0.002902
3	3	0.002232	0.006208	0.002274	0.006032	0.003086
4	2	0.006674	0.002448	0.003824	0.003178	0.003014
5	1	0.007033	0.000874	0.004336	0.007321	0.004641
6	1	0.003026	0.004847	0.004060	0.004167	0.007067
7	2	0.006821	0.001172	0.004772	0.002789	0.004008
8	3	0.006783	0.003240	0.008172	0.006813	0.001446
9	4	0.001207	0.004410	0.004820	0.001011	0.006760
10	6	0.004288	0.006646	0.001064	0.006764	0.002427
11	6	0.008116	0.000983	0.006463	0.006813	0.000967
12	4	0.001827	0.004844	0.002249	0.001290	0.006626
13	3	0.002709	0.001604	0.003089	0.006412	0.006001
14	2	0.007020	0.000366	0.004263	0.004661	0.003727
15	1	0.002330	0.004894	0.002922	0.003188	0.007638

ตารางที่ 1 แสดงค่าผลลัพธ์ของแต่ละหน่วยผลลัพท์ของโครงข่ายประสาทเทียมหลังจากการเรียนรู้

5. การทดสอบการจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือ

การทดสอบความสามารถในการจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือจะทำการทดสอบภาพลายนิ้วมือปกติและที่เบี่ยงเบนไป ลายนิ้วมือในแต่ละรูปแบบจะเลือกที่มีลักษณะต่างๆกัน ทั้ง 5 รูปแบบๆละ 10 รอย แต่ละรอยจะถูกหมุนเป็นมุม 5, 15, 345 และ 355 องศา รวมเป็นลายนิ้วมือที่จะส่งทดสอบทั้งสิ้นจำนวน 250 รอย โดยนำภาพลายนิ้วมือนั้น มาผ่านขั้นตอนตามข้อ 3, 4.1, 4.2, 4.4 และ 4.5 โดยที่ค่าน้ำหนัก W1 และ W2 จากข้อ 4.1 จะต้อง

เป็นค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ผ่านการเรียนรู้แล้ว ไม่ใช่ จากการสุ่ม การตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียม ว่าจดจำรูปแบบใดได้ ให้ถือตาม หน่วยผลลัพท์ ที่ได้ค่ามากที่สุดและมีค่าคะแนนมาตรฐานมากกว่าของค่าน้ำหนักผลลัพท์อันดับสองเท่ากับ 2.0 นอกจากนี้แสดงว่าไม่สามารถยืนยันผลได้ จากผลการทดสอบพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมนี้สามารถจดจำรูปแบบของลายนิ้วมือที่วางทิศทางได้ถูกต้อง (> 80 , ลายเส้นของร่อนิ้วขนานกับแกน x) ได้ถึง 82 % ไม่สามารถยืนยันได้ 18 % จดจำรูปแบบผิด 0 % ส่วนเมื่อมีการหมุนภาพไปเป็นมุมต่างๆมากเท่าใดก็จะทำให้ค่าทิศทางในภาพบล็อกทิศทางเปลี่ยนไป จุดวกกลับที่หาได้ก็ไม่ได้ถูกต้องมากขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการจดจำรูปแบบลายนิ้วมือลดลงไปด้วยตามลำดับ ดังรูปที่ 11 และพบว่าเมื่อเบี่ยงเบนไป 5 , 355, 15 และ 345 องศา โครงข่ายประสาทเทียมจะจดจำรูปแบบผิดไป 22%, 18%, 32%, และ 32% ตามลำดับ เช่นลายนิ้วมือแบบโค้ง ถ้าหมุนไปเป็นมุม 15 องศา โครงข่ายประสาทเทียมอาจจะบอกว่าเป็นแบบมีคหวายปิดขวาเป็นต้น



รูปที่ 11 แสดงจำนวนลายนิ้วมือรูปแบบต่างๆที่โครงข่ายประสาทเทียมจดจำได้

- A แทน ลายนิ้วมือแบบโค้ง
- L แทน ลายนิ้วมือแบบมีคหวายปิดซ้าย
- R แทน ลายนิ้วมือแบบมีคหวายปิดขวา
- W แทน ลายนิ้วมือแบบก้นหอย
- X แทน ลายนิ้วมือแบบอื่นๆ เช่น แบบรับร่อน
- 0 แทน ลายนิ้วมือที่มีการหมุนไปจากเดิมเป็นมุม 0

6. บทสรุป

จากการทดลองพบว่าภาพล็อกทิศทางสามารถเป็นตัวแทนของลายนิ้วมือ ในการเป็นข้อมูลเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมแบบการแพร่กลับ สำหรับการหารูปแบบของลายนิ้วมือ ซึ่งจากการทดลองใช้ลายนิ้วมือรูปแบบต่างๆ 30 รอยสำหรับการเรียนรู้และอีก 250 รอยสำหรับการทดสอบปรากฏว่าสามารถจดจำรูปแบบลายนิ้วมือได้เป็นอย่างดี สำหรับภาพที่วางทิศทางได้ถูกต้อง และจะคลาดเคลื่อนมากขึ้นถ้ามีการหมุนภาพไปจากเดิม ดังนั้นถ้าต้องให้ได้ผลการจดจำที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ควรมีการให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ภาพที่เฉียงแบนด้วย หรือ ปรับโครงข่ายประสาทเทียมนี้ใหม่ให้เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Masahiro Kawagoe and Akio Tojo, FINGERPRINT PATTERN CLASSIFICATION , Pattern Recognition, Vol. 17, No. 3, pp.295-303, (1984).
- [2] V.S. Srinivasan and N.N.Murthy, DETECTION OF SINGULAR POINT IN FINGERPRINT IMAGES, Pattern Recognition, Vol. 25, No. 2, pp.139-153, (1992).
- [3] James A. Freeman and David M.Skapura, NEURAL NETWORKS ALOGORITHMS, APPLICATION and PROGRAMMING TECHNIQUES, Addison-wesley Publishing Company, USA., pp. 89-124, 1992.



ประวัติผู้เขียน

พันตำรวจตรีบุญชัย ฤกษ์สา เกิดวันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ. 2505 ที่จังหวัดหนองคาย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (เคมี) จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีการศึกษา 2528 และเข้ารับราชการตำรวจในตำแหน่งรองสารวัตรงาน 1 ตรวจทางเคมีและฟิสิกส์ กองกำกับการ 4 กองพิสูจน์หลักฐาน กองบัญชาการสอบสวนกลาง กรมตำรวจ ตั้งแต่ พ.ศ.2529 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งสารวัตรงาน 4 ตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ ศูนย์ตรวจลายพิมพ์นิ้วมือแฝง กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ กรมตำรวจ

