

การประมวลลายพิมพ์นิ้วมือเบื้องต้นสำหรับระบบตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมืออัตโนมัติ  
FINGERPRINT INPUT PREPROCESSOR FOR AUTOMATED FINGERPRINT  
IDENTIFICATION SYSTEM



ร้อยตำรวจเอกอุกฤษฏ์ ศรีเสือขาม  
POL.CAPT.UKRIT SRISUAKAM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ  
บัณฑิตวิทยาลัย

เลขที่..... สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เลขทะเบียน..... 31676  
วัน, เดือน, ปี 2...1...S.A. 2541

พ.ศ.2541

ISBN 974-622-328-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**FINGERPRINT INPUT PREPROCESSOR FOR AUTOMATED FINGERPRINT  
IDENTIFICATION SYSTEM**

**UKRIT SRISUAKAM**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE  
MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN COMPUTER SCIENCE  
AND INFORMATION TECHNOLOGY  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**1998**

**ISBN 974-622-328-3**

|                                 |                                                                                                                                    |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์               | การประมวลลายพิมพ์นิ้วมือเบื้องต้นสำหรับ                                                                                            |
| นักศึกษา                        | ระบบตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมืออัตโนมัติ                                                                                                 |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์     | ร้อยตำรวจเอกกฤษฎ์ ศรีเสือขาม                                                                                                       |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม | รศ.ดร.ครรชิต ไมตรี                                                                                                                 |
| ระดับการศึกษา                   | รศ.วิเชียร ศรีเสือขาม                                                                                                              |
| พ.ศ.                            | วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์<br>และเทคโนโลยีสารสนเทศ<br>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง<br>2541 |

## บทคัดย่อ

ภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ผ่านระบบย่อยป้อนข้อมูลของเครื่องตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ แล้วถูกส่งกลับเนื่องจากคุณภาพของลายเส้นต่ำ พรำมัว ไม่ชัดเจน จะถูกนำมาปรับปรุงคุณภาพโดยใช้วิธีการทางการประมวลผลภาพที่เหมาะสมกับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ เพื่อให้ได้ภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่มีคุณภาพสูงขึ้น ก่อนจะส่งกลับเข้าสู่ระบบย่อยป้อนข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่า วิธีการทางการประมวลผลภาพที่ควรนำมาใช้มีขั้นตอนตามลำดับ คือ การกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยการใช้ตัวกรองแบบมัธยฐานด้วยหน้ากากขนาด 3\*3 จากนั้นนำผลที่ได้ไปแปลงเป็นภาพสองระดับด้วยการใช้วิธีการแบ่งภาพออกเป็นส่วนมีขนาด 8\*8 จุดภาพ แล้วหาค่าเทรสโวลด์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละส่วนของภาพที่แบ่งจากค่าสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต โดยใช้การเลื่อนหน้าต่างแบบเหลื่อมขอบหน้าต่างไปครั้งละ 4 จุดภาพ ท้ายที่สุดนำมาผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบังด้วยอัลกอริธึมแบบขนานที่เพิ่มขึ้นตอนการขจัดสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ เพื่อให้เหลือเฉพาะลายเส้นที่จำเป็นต่อการประมวลผลต่อไปในขั้นตอนต่อไปของระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือ ขั้นตอนทั้งหมดจะถูกรวมทำงานบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยจะลดการใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ เวลา จำนวนผู้ปฏิบัติงานและลดความซับซ้อนของกระบวนการทำงานทั้งยังเป็นการเพิ่มความเป็นอัตโนมัติให้กับระบบมากขึ้น

|                          |                                                                                                                                  |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Thesis Title</b>      | Fingerprint Input Preprocessor for Automated<br>Fingerprint Identification System                                                |
| <b>Student</b>           | Pol.Capt.Ukrit Srisuakam                                                                                                         |
| <b>Thesis Advisor</b>    | Assoc.Prof.Dr.Kanchit Mitree                                                                                                     |
| <b>Thesis Co-advisor</b> | Assoc.Prof.Vichein Srisuakam                                                                                                     |
| <b>Level of Study</b>    | Master of Science Program in Computer Science<br>and Information Technology<br>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| <b>Year</b>              | 1998                                                                                                                             |

**Abstract**

The picture of unclear fingerprint ( low-quality ridge and blur ) are always rejected from Input Subsystem (I-SUB) of Fingerprint Reader (FR). However, because of their essence in fingerprint identification these pictures must be improved. The main purpose of this research was to develop appropriate digital image processing method and its computer program to enhance the quality of the pictures of fingerprint before these pictures were returned to the I-SUB.

The results indicated that appropriate digital image processing method should follow the subsequent steps: (1) smoothing out noise by median filter of 3\*3 mask, (2) converting the results to binary picture by dividing the pictures into portions of 8\*8 mask, (3) finding the appropriate threshold through statistic means for each portion by moving window in steps of 4 pixel overlap, (4) using the fully parallel thinning algorithm with tolerance to boundary noise to retain only skeleton of ridge essential for further fingerprint identification.

The developed program may reduce time; the amounts of machines, instruments and manpower; and the complication of the work process. It also increases the automation of the system.

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ครรชิต ไมตรี อาจารย์สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์ และคุณพ่อเป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และเป็นกำลังใจในเรื่องต่าง ๆ มาโดยตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้องทุกคน ที่เป็นกำลังใจ ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อุกฤษฏ์ ศรีเสือขาม

## สารบัญ

|                                                                                  | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                                             | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                                          | II   |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                                             | III  |
| สารบัญ.....                                                                      | IV   |
| สารบัญตาราง.....                                                                 | VII  |
| สารบัญภาพ.....                                                                   | VIII |
| บทที่                                                                            |      |
| 1. บทนำ.....                                                                     | 1    |
| กล่าวนำ.....                                                                     | 1    |
| ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....                                                         | 2    |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                                                     | 3    |
| ลำดับที่มาของแนวความคิดและหลักการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้.....                  | 3    |
| ขอบเขตของงานวิจัย.....                                                           | 3    |
| คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษาเรื่องลายนิ้วมือ.....                                 | 4    |
| 2. ระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติและทฤษฎีจุดลักษณะเฉพาะ.....            | 8    |
| ที่มาของทฤษฎีจุดลักษณะเฉพาะ.....                                                 | 8    |
| ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือระบบ AFIS โดยใช้ทฤษฎีจุดลักษณะเฉพาะ.....      | 8    |
| วิธีการแยกแยะลักษณะของลายนิ้วมือโดยอาศัยทฤษฎีจุดลักษณะเฉพาะ.....                 | 9    |
| การใช้คอมพิวเตอร์กับการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือโดยใช้ทฤษฎีจุดลักษณะเฉพาะ.....       | 10   |
| เปรียบเทียบวิธีการนับเส้น สิวเส้นโดยใช้สายตามนุษย์กับการใช้เครื่องอัตโนมัติ..... | 12   |
| การประมวลผลภาพเบื้องต้นกับระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ.....           | 14   |
| 3. ความรู้และทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง.....                                      | 16   |
| การทำให้เรียบและการกำจัดสัญญาณรบกวน (Smoothing & Noise Reduction).....           | 16   |
| การปรับความสว่าง (Brightness).....                                               | 17   |
| การปรับความแตกต่างแสง ( Contrast Normalization ).....                            | 18   |
| การแปลงภาพลายพิมพ์นิ้วมือเป็นภาพแบบสองระดับ ( Binarization ).....                | 21   |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่                                                                      | หน้า       |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| การทำให้วัตถุในภาพบาง (Thinning) สำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ.....             | 22         |
| สรุปการประมวลผลภาพเบื้องต้น.....                                           | 36         |
| <b>4. การปรับปรุงอัลกอริธึมในการประมวลผลภาพเบื้องต้นเพื่อให้เหมาะสมกับ</b> |            |
| <b>    ภาพลายพิมพ์นิ้วมือ.....</b>                                         | <b>37</b>  |
| กล่าวนำ.....                                                               | 37         |
| การทำให้เรียบและการกำจัดสัญญาณรบกวน (Smoothing & Noise Reduction).....     | 37         |
| การปรับปรุงการแปลงภาพลายพิมพ์นิ้วมือเป็นภาพแบบสองระดับ.....                | 39         |
| การทำให้วัตถุในภาพบาง ( Thinning ) สำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ.....           | 46         |
| <b>5. การทดลองและผลการทดลอง.....</b>                                       | <b>60</b>  |
| กล่าวนำ.....                                                               | 60         |
| การปรับความสว่าง (Brightness).....                                         | 61         |
| การปรับความแตกต่างแสง ( Contrast Normalization ).....                      | 64         |
| การแปลงภาพลายพิมพ์นิ้วมือเป็นภาพสองระดับ ( Binarization ).....             | 68         |
| การทำให้วัตถุในภาพบาง.....                                                 | 82         |
| การจัดสัญญาณรบกวนภายในรูปภาพลายพิมพ์นิ้วมือ.....                           | 85         |
| สรุปผลการทดลอง.....                                                        | 99         |
| <b>6. สรุปผลการวิจัยและแนวทางในการพัฒนา.....</b>                           | <b>100</b> |
| สรุปผลการวิจัย.....                                                        | 100        |
| ผลการวิจัยเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่มีผู้ทำไว้แล้ว.....                     | 101        |
| ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการพัฒนาต่อไป.....                              | 103        |
| <b>บรรณานุกรม.....</b>                                                     | <b>105</b> |
| <b>ภาคผนวก.....</b>                                                        | <b>107</b> |
| ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....                                         | 107        |
| <b>ประวัติผู้เขียน.....</b>                                                | <b>118</b> |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                        | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------|------|
| 1.แสดงขั้นตอนในการทำ Equalization.....                          | 19   |
| 2.แสดงความถี่ของแต่ละระดับเทา ก่อน-หลัง การทำ Equalization..... | 20   |
| 3.แสดงค่าการจำแนกของค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยีของ $X_0$ .....      | 47   |
| 4.แสดงตารางค่าดัชนีและเลขชายธงสำหรับค้นหาจุดปลอดภัย.....        | 52   |
| 5.แสดงค่าเทรสโซลด์ที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ.....                   | 71   |

## สารบัญภาพ

หน้า

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. แสดงลักษณะของเส้นขอบ.....                                                               | 4  |
| 2. แสดงตำแหน่งของสันดอน.....                                                               | 4  |
| 3. แสดงลักษณะของจุดใจกลาง.....                                                             | 5  |
| 4. แสดงลักษณะของบริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน.....                                          | 5  |
| 5. แสดงรูปแบบต่าง ๆ ของลายนิ้วมือ.....                                                     | 6  |
| 6. แสดงลักษณะของจุดลักษณะสำคัญพิเศษแต่ละแบบ.....                                           | 9  |
| 7. แสดงภาพลายพิมพ์นิ้วมือชนิดมัดหอย.....                                                   | 12 |
| 8. แสดงจุดลักษณะเฉพาะบนลายพิมพ์มือ.....                                                    | 13 |
| 9. แสดงจุดลักษณะเฉพาะและทิศทางการไหลเวียน.....                                             | 14 |
| 10. แสดงหน้ากาก(Mask)และตัวกรอง(Filter)ซึ่งใช้ในการจัดสัญญาณรบกวน.....                     | 16 |
| 11. กราฟแสดงความถี่ของแต่ละระดับเทาก่อน และหลังทำ Equalization.....                        | 19 |
| 12. แสดงตัวอย่างเส้นแกนกลางของขอบเขตพื้นระนาบทั้ง 3 แบบ.....                               | 23 |
| 13. แสดงให้เห็นคำนิยามบางอย่างของมอร์โฟโลยีคณิตศาสตร์.....                                 | 27 |
| 14. แสดงการตรวจจับจุดมุมบนด้านขวาโดยใช้ส่วนประกอบโครงสร้าง.....                            | 29 |
| 15. แสดงการกัดเซาะและการขยายตัว.....                                                       | 29 |
| 16. แสดงตัวอย่างของ Square disks ขนาดต่าง ๆ.....                                           | 31 |
| 17. แสดง Block Diagram ของตัวดำเนินการ SKEL.....                                           | 32 |
| 18. ตัวอย่างแสดงการทำงานของตัวดำเนินการ SKEL.....                                          | 33 |
| 19. แสดงหน้ากาก(Mask) ขนาด 3*3 สำหรับใช้ในการทำให้เรียบด้วยตัวกรองแบบมัลติฐาน.....         | 38 |
| 20. แสดงลักษณะการแยกฮิสโตแกรมระดับเทาเป็น 2 กลุ่ม(Bi-Model) ของภาพ<br>ลายพิมพ์นิ้วมือ..... | 40 |
| 21. แสดงลักษณะของเส้นโค้งความถี่ของข้อมูลรูปภาพตามภาพที่ 20.....                           | 41 |
| 22. แสดงฮิสโตแกรมระดับเทาและค่าสถิติ.....                                                  | 43 |
| 23. แสดงขนาดพื้นที่ที่ใช้หาค่าเทรสโซลด์และการเหลื่อมกันในการเลื่อนกรอบ.....                | 44 |
| 24. แสดงหน้ากากขนาด 4*4 ใช้ในการหาค่าเทรสโซลด์ของภาพที่ละส่วน.....                         | 45 |
| 25. แสดงหน้าต่างขนาด 3*3 บิต.....                                                          | 47 |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 26. แสดงจุดรอบข้างแบบ 8 และจุดรอบข้างแบบ 4 ของจุด $X_0$ .....                                                                                                                      | 48 |
| 27. แสดง 69 กลุ่มจาก 256 ของการสลับลำดับกันในทางพีชคณิตของ $3 \times 3$ ยาน โดยรอบ.....                                                                                            | 49 |
| 28. แสดงเทมเพลต $3 \times 3$ ซึ่งให้ค่าน้ำหนักที่ต่างกันตามตำแหน่งโดยรอบและตัวอย่างการ<br>คำนวณค่าดัชนี.....                                                                       | 51 |
| 29. แสดงเงื่อนไขในการตรวจสอบการลบได้ของกลุ่มกรณี (2), (3), (4), (11), (12),<br>(13), (21), (32), (33), (55), (59), (60), (64).....                                                 | 53 |
| 30. แสดงกลุ่มของเงื่อนไขซึ่งถูกกำหนดให้มีการดำเนินการในส่วนขยายเพิ่มเติมจุดภาพ.....                                                                                                | 57 |
| 31. แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Frank.....                                                                                                                         | 59 |
| 32. แสดงลายนิ้วมือที่มีคุณภาพได้จากการพิมพ์ลายนิ้วมือในแบบต่าง ๆ<br>ซึ่งใช้เป็นกลุ่มทดลอง.....                                                                                     | 60 |
| 33. แสดงภาพผลลัพธ์ของภาพปกติที่ได้จากการปรับความสว่างด้วยการเลื่อนฮิสโตแกรม.....                                                                                                   | 62 |
| 34. เปรียบเทียบภาพและฮิสโตแกรมภาพ ก่อน-หลังกระบวนการปรับฮิสโตแกรมให้<br>เสมอกัน.....                                                                                               | 65 |
| 35. แสดงภาพลายพิมพ์นิ้วมือภายหลังการแปลงเป็นภาพสองระดับด้วยวิธีต่าง ๆ .....                                                                                                        | 69 |
| 36. แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับที่ได้จากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วนด้วยหน้าต่าง<br>ขนาดต่าง ๆ.....                                                                                   | 73 |
| 37. แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับที่ได้จากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วนด้วยหน้าต่าง<br>ขนาดต่าง ๆ โดยกำหนดพื้นที่ในการหาค่าเทรซโซลด์ให้เหลื่อมกัน $N/2$ .....                            | 77 |
| 38. แสดงภาพลายพิมพ์นิ้วมือสองระดับที่ได้จากการดำเนินการกับที่ละส่วนของภาพโดยเลื่อน<br>หน้าต่างขนาด $8 \times 8$ แบบไม่เหลื่อมและเหลื่อมโดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นค่าเทรซโซลด์..... | 81 |
| 39. แสดงภาพผลลัพธ์จากการใช้คนลอกลายเส้นเปรียบเทียบกับภาพที่ได้จากกระบวนการ<br>ทำให้วัตถุในภาพบาง.....                                                                              | 83 |
| 40. แสดงภาพสองระดับของภาพตัวอย่างที่นำมาทดลอง.....                                                                                                                                 | 86 |
| 41. แสดงภาพผลลัพธ์จากการนำภาพสองระดับจากภาพที่ 32 มาผ่านกระบวนการ<br>ทำให้วัตถุในภาพบางเปรียบเทียบกับภาพลายเส้นที่ได้จากการใช้คนลอกลาย.....                                        | 87 |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 42. แสดงระดับภาพระดับเทาและสีสโตแกรมของภาพที่ผ่านกระบวนการ<br>ทำให้เรียบแบบต่าง ๆ..... | 88  |
| 43. แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบแบบต่าง ๆ.....      | 95  |
| 44. แสดงภาพเปรียบเทียบผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่มีผู้เคยศึกษาไว้.....         | 102 |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

การตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือ เป็นกระบวนการหนึ่งในวิทยาการตำรวจและเป็นเครื่องมือในการที่จะทราบข้อเท็จจริงหรือพิสูจน์ความผิด และเพื่อจะเอาตัวผู้กระทำความผิดมาฟ้องลงโทษ ซึ่งแต่เดิมมาการตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือเป็นงานละเอียด ยาก และมีความซับซ้อน จำเป็นต้องใช้นักวิทยาศาสตร์ที่มีความรู้ความสามารถและประสบการณ์ ในการทำหน้าที่นี้ ทั้งในการปฏิบัติงานยังต้องใช้เครื่องมือและเวลา แต่ในภาวะปัจจุบันที่มีประชากรมาก การก่ออาชญากรรมก็มีมากตามไปด้วย ทำให้บางครั้งการตรวจพิสูจน์ทำได้ล่าช้าซึ่งส่งผลให้การอำนวยความยุติธรรมเป็นไปอย่างล่าช้าตามไปด้วย

แต่ในปัจจุบัน เราสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวให้ดีขึ้นได้ ด้วยการนำวิทยาการคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ ซึ่งจากความสามารถของคอมพิวเตอร์นี้จะช่วยลดภาระของเจ้าหน้าที่ตรวจพิสูจน์ลง โดยเจ้าหน้าที่จะเหลืองานในขั้นตอนสุดท้ายคือการตรวจเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมือที่คอมพิวเตอร์เลือกให้ จาก Candidate List กับลายพิมพ์นิ้วมือเป้าหมายเท่านั้น ทำให้การตรวจพิสูจน์ทำได้เร็วมากขึ้น

การทำงานของอัลกอริธึม สำหรับการรู้จำและวิเคราะห์เพื่อพิสูจน์เปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ สามารถจำแนกได้เป็น 3 ขั้นตอน ใหญ่ ๆ คือ

ก. Preprocessing

ข. Feature Extraction

ค. Matching & Identification

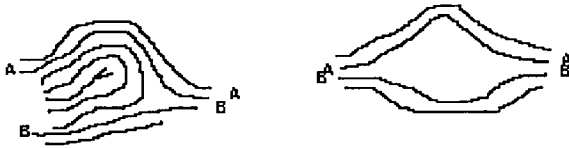
ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนแรก คือ Preprocessing เนื่องจากเป็นส่วนแรกเริ่มและมีความสำคัญที่สุดสำหรับระบบ AFIS ( Automatic Fingerprint Identification System ) เพราะหากภาพที่ได้จากกระบวนการนำภาพเข้าเป็นภาพที่มีคุณภาพต่ำ แล้วนำไปประมวลผลเลย การดำเนินการในขั้นตอนต่อไป ก็ย่อมมีโอกาสที่จะเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ง่าย ดังนั้นในงานวิจัยจะศึกษาและทดลองทดลองจนปรับปรุงและประยุกต์บางอัลกอริธึมที่อยู่ในขั้นตอนสำคัญของกระบวนการประมวลผลภาพเบื้องต้น เพื่อให้ได้อัลกอริธึมที่เหมาะสมกับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ ซึ่งจะทำการดำเนินการในขั้นตอนต่อไปเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษาเรื่องลายนิ้วมือ

ในการศึกษาเรื่องการจำแนกลายนิ้วมือ มีคำจำกัดความที่ผู้ศึกษาควรรู้จักอยู่ 4 ข้อด้วยกัน ดังนี้

1. เส้นขอบ (Type Line) หมายถึง เส้นคู่ขนานคู่ในสุด ซึ่งได้เดินทางมาคู่กันมาพอสมควรแล้วแยกตัวออกจากกัน เพื่อที่จะโอบล้อมหรือพยายามโอบล้อมบริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน โดยเส้นขอบไม่จำเป็นต้องเป็นเส้นยาวเรียบติดต่อกันตลอดไป อาจจะเป็นเส้นขาดห้วงกลางคัน โดยจะถือว่าเส้นที่อยู่ด้านนอกของเส้นที่ขาดห้วงลงไปนั้นเป็นที่เดินหรือไหลต่อเนื่องกันไปเสมือนว่าเส้นขอบนั้นไม่ได้ขาด

ภาพที่ 1



แสดงลักษณะของเส้นขอบ

2. สันดอน (Delta) หมายถึง ลายเส้นในลายนิ้วมือซึ่งอยู่ตรงหน้าและใกล้ที่สุดกับกึ่งกลางของปากทางแยกของเส้นขอบ

ภาพที่ 2



สันดอน

สันดอน

สันดอน

สันดอน

สันดอน

(ก) จุด

(ข) เส้นแตก

(ค) ปลายเส้น

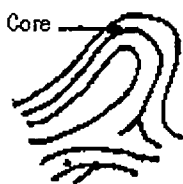
(ง) เส้นหักมุม

(จ) จุดบนเส้น

แสดงตำแหน่งของสันดอน

3. จุดใจกลาง (Core) หมายถึง จุดใดจุดหนึ่งบนปลายเส้นหรือบนบ่าหรือไหล่ของเส้น วงกลับ

ภาพที่ 3



แสดงลักษณะของจุดใจกลาง

4. บริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน (Pattern Area) คือ พื้นที่บริเวณภายในของลายนิ้วมือที่ถูกเส้นขอบโอบล้อม

ภาพที่ 4



แสดงลักษณะของบริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน

### การจำแนกลายนิ้วมือ

แม้ว่าลายนิ้วมือจะมีรูปร่างไม่แน่นอน แต่เราสามารถจำแนกลายนิ้วมือแต่ละลายที่พบได้เป็น 4 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ เส้นโค้ง รูป ก้นหอย และลายอย่างประกอบกัน

1. เส้นโค้ง (Arch) หมายถึง ลักษณะของลายที่ลากจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของนิ้วมือ แยกออกเป็นกลุ่มย่อยต่าง ๆ ได้อีกดังนี้

1.1 โค้งราบ ( Plain Arch ) ลักษณะของลายเส้นในนิ้วมืองัดขึ้นที่ขอบเล็บข้างหนึ่งแล้ววิ่งไปยังอีกข้างหนึ่ง ลักษณะลายเส้นดูง่าย ไม่เกิดมุมแหลมคมที่เห็นได้ชัดตรงกลาง

1.2 โค้งกระโจม (Tented Arch) ลักษณะลายเส้นในลายนิ้วมือชนิดโค้งราบแต่มีความแตกต่างจากโค้งราบทั่วไป โดยมีลักษณะใดลักษณะหนึ่งดังต่อไปนี้

- มีลายเส้นหนึ่งหรือมากกว่าอยู่ตรงกลางไม่ได้วิ่งออกไปยังอีกข้าง
- ลายเส้นที่อยู่ตรงกลางของลายนิ้วมือเกิดเป็นเส้นพุ่งขึ้นจากแนวนอน
- มีเส้นสองเส้นมาพบกันตรงกลางเป็นมุมแหลมหรือมุมฉาก

2. รูป หรือมัดหวาย (Loop) หมายถึง ลักษณะที่ลายหนึ่งหรือมากกว่าลากจากด้านหนึ่งแล้ววกกลับไปออกที่ด้านเดิม มัดหวายมีลักษณะดังนี้คือ

- ต้องมีสันคอนข้างใดข้างหนึ่งเพียงข้างเดียว

- ต้องมีเส้นวกกลับที่เห็นได้ชัดอย่างน้อยหนึ่งรูป

- ต้องมีจุดใจกลางและต้องนับเส้นจากจุดสันคอนไปถึงจุดใจกลางได้อย่างน้อย 1 เส้น โดยเส้นที่นับนี้ต้องเป็นเส้นวกกลับที่สมบูรณ์อย่างน้อย 1 เส้น มัดหอยสามารถแยกออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ได้อีกดังนี้

2.1 มัดหอยปิดขวา (Right Plain Loop) เป็นลักษณะของลายเส้นแบบมัดหอยที่ปลายเส้นปิดไปทางขวามือ

2.2 มัดหอยปิดซ้าย (Left Plain Loop) เป็นลักษณะของลายเส้นแบบมัดหอยที่ปลายเส้นปิดไปทางซ้ายมือ

2.3 มัดหอยแฝด (Twined)

3. ก้นหอย (whorl) หมายถึง รูปแบบของลายนิ้วมือที่วนเข้าหาศูนย์กลาง แยกออกเป็นกลุ่มย่อยต่าง ๆ ได้อีกดังนี้

3.1 ก้นหอยธรรมดา (Plain Whorl) ลายนิ้วมือที่มีเส้นเวียนรอบเป็นวงจร มีจุดสันคอน 2 แห่ง

3.2 ก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา (Right Central Pocket Loop) คล้ายกับลายนิ้วมือแบบก้นหอยธรรมดา แต่ถ้าลากเส้นสมมุติจากสันคอนหนึ่งไปยังสันคอนหนึ่ง เส้นสมมุติจะไม่สัมผัสกับเส้นวงจรที่อยู่ตอนใน

3.3 ก้นหอยกระเป๋ากลางปิดซ้าย (Left Central Pocket Loop) ตรงข้ามกับก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา คือ ปิดไปทางซ้าย

3.4 ก้นหอยกระเป๋ข้าง (Lateral Pocket Loop) คือ ลายนิ้วมือที่มีจุดใจกลางต่างจากก้นหอยทั้ง 3 แบบ และมีสันคอนเพียงข้างเดียว

4. ชับซ้อน ( Accidental Whorl ) หมายถึง ลายนิ้วมือที่มีลักษณะข้างต้นมากกว่าหนึ่งลักษณะประกอบกัน

ภาพที่ 5



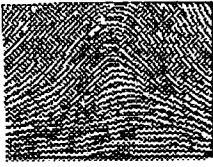
ก้นหอยกระเป๋ข้าง



ทับซ้อน

แสดงรูปแบบต่าง ๆ ของลายนิ้วมือ

ภาพที่ 5 (ต่อ)



โค้งราบ



โค้งกระเียว



มัดหวายปิดขวา



มัดหวายปิดซ้าย



มัดหวายแผด



ก้นหอยธรรมดา



ก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา



ก้นหอยกระเป๋ากลางปิดซ้าย

แสดงรูปแบบต่าง ๆ ของลายนิ้วมือ

## บทที่ 2

### ระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติและทฤษฎีจุดลักษณะเฉพาะ

#### 2.1 ที่มาของทฤษฎีจุดลักษณะเฉพาะ<sup>[5]</sup>

ในระยะแรกเริ่มของการนำลายพิมพ์นิ้วมือมาใช้ประโยชน์ ทำโดยการนำลายพิมพ์นิ้วมือที่ได้ไปทำการให้คำรหัสลายพิมพ์นิ้วมือระบบ Henry System<sup>[22]</sup> ต่อมาได้มีการปรับปรุงให้ดีขึ้นตามระบบ FBI ซึ่งกระบวนการทั้งหมดก็ยังคงเป็นเพียงการจัดกลุ่มลายนิ้วมือของบุคคลจำนวนมากเข้าไว้ด้วยกัน แต่เมื่อเก็บสะสมไว้เป็นจำนวนหลาย ๆ ล้านคนก็เริ่มเกิดความยุ่งยากในการตรวจสอบค้นหา เพราะปริมาณงานที่มีเข้ามามากในวันหนึ่ง ๆ ทำให้ระบบการตรวจสอบด้วยมือคนเริ่มเกิดความผิดพลาดมากขึ้น ๆ คุณภาพของงานไม่คงที่แน่นอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเอาลายนิ้วมือแฝงที่ได้มาจากสถานที่เกิดเหตุเข้าตรวจสอบกับฐานข้อมูลซึ่งมีจำนวนนิ้วมือนับล้านนิ้วโดยระบบมือคนจึงเป็นเรื่องที่เป็นไปได้ยากมาก

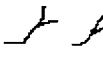
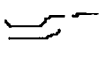
กรมตำรวจในเมืองใหญ่ ๆ ต่างก็ทราบถึงปัญหานี้และพยายามมองหาวิธีการในการพิสูจน์ตัวบุคคลในระบบใหม่ ๆ จนกระทั่งเมื่อปี พ.ศ.2503 (ค.ศ.1960) Pierre Thibault ตำรวจชาวฝรั่งเศสได้คิดค้นทฤษฎีจุดลักษณะเฉพาะ ( Minutiae )<sup>[21]</sup> คือ เส้นแยก เส้นแตก เส้นขาด บนลายนิ้วมือโดยกำหนดจุดไหลเวียนของลายเส้นไว้ พร้อมทั้งความสัมพันธ์ของจุดใกล้เคียงซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวคนโดยไม่มีการซ้ำกับบุคคลอื่น ได้สร้างระบบฐานข้อมูลขึ้นทดลองการใช้งานทฤษฎีนี้ ต่อมาในปี พ.ศ.2510 (ค.ศ.1967) หน่วยงานรัฐบาลสหรัฐอเมริกา ได้แก่ US National Bureau of Standards ร่วมกับ FBI ค่อย ๆ พัฒนาทฤษฎีของฝรั่งเศสนี้จนเป็นที่รู้จักแพร่หลายใช้กันอยู่เรียกว่า The Minutiae Based System

#### 2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือระบบ AFIS โดยใช้ทฤษฎีจุดลักษณะเฉพาะ<sup>[21]</sup>

ที่ผิวหนังบริเวณปลายนิ้วมือ ฝ่ามือ ฝ่าเท้าของมนุษย์ ประกอบไปด้วยลายเส้นสองชนิด ชนิดหนึ่งเป็นเส้นนูน อีกชนิดหนึ่งเป็นเส้นร่อง ซึ่งจะอยู่สลับกันไปตลอด และจุดลักษณะสำคัญพิเศษ

- เส้นนูน (Ridges) คือ การเกิดของรอยนูนที่อยู่สูงขึ้นมาจากผิวหนังส่วนนอก
- เส้นร่อง (Furrows) คือ รอยลึกที่อยู่ต่ำกว่าระดับของเส้นนูน
- จุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Characteristics) เป็นคำหนิบนลายนิ้วมือ เช่น จุด เส้นแตก เส้นขาด เส้นทะเลสาบ ฯลฯ

## ภาพที่ 6

.. จุด       เส้นแตก       เส้นขาด       ทะเลสาบ

## แสดงลักษณะของจุดลักษณะสำคัญพิเศษแต่ละแบบ

ซึ่งลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้จะประกอบกันขึ้นเป็นลายนิ้วมือซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของแต่ละบุคคล โดยลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลจะไม่เหมือนกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะลายนิ้วมือไม่มีรูปแบบที่แน่นอนตายตัวไม่มีกฎเกณฑ์ว่า ลายนิ้วมือของคนหนึ่งคนใดจะเป็นเช่นใด ลายนิ้วมือไม่ขึ้นกับอะไรทั้งสิ้น ไม่ขึ้นกับกรรมพันธุ์ หญิงหรือชาย เชื้อชาติ นอกจากนั้นรูปร่างของลายนิ้วมือจะไม่เปลี่ยนแปลงไปจนตลอดชีวิต จึงมีการใช้ลายนิ้วมือมาเป็นเครื่องมือช่วยในการให้พนักงานสอบสวนสามารถเข้าถึงตัวผู้กระทำความผิดและสามารถใช้ยืนยันตัวบุคคลผู้กระทำความผิดได้

วิธีการพิมพ์ลายนิ้วมือจะทำได้โดยการใช้หมึกสีดำทาบนนิ้วและกดนิ้วมือไปบนกระดาษขาว จะได้ลายเส้นสีดำสลับกับสีขาว โดยส่วนเส้นสีดำที่ปรากฏจะเป็นส่วนของเส้นนูน ส่วนสีขาวจะเป็นเส้นร่องเนื่องจากไม่ถูกกับน้ำหมึกและไม่ถูกกับกระดาษขาว ถ้าเป็นการถ่ายรูปหรือสแกนภาพเข้าไปต้องทำให้เป็นภาพใบนารีก่อน จึงจะได้ลายนิ้วที่เป็นลายเส้นสีดำกับสีขาวตามต้องการ

## 2.3 วิธีการแยกแยะลักษณะของลายนิ้วมือโดยอาศัยทฤษฎีจุดลักษณะเฉพาะ

เป็นวิธีการกำหนดจุดตำแหน่งซึ่งเป็นลักษณะโดดเด่นของแต่ละลายนิ้วมือ เนื่องจากเส้นลายนิ้วมือส่วนใหญ่จะเป็นเส้นเคี้ยวเริ่มที่ด้านหนึ่งของนิ้วมือ ลากผ่านไปออกที่ปลายอีกด้านหนึ่งของนิ้วมือ แต่จะมีบางลายเส้นที่ไม่ได้เริ่มต้นหรือสิ้นสุดที่ข้างใดข้างหนึ่งของนิ้วมือ หรือเป็นเส้นสั้น ๆ หรือไม่ได้เป็นเส้นเคี้ยวตลอดลาย กล่าวคือ เป็นเส้นแยก เส้นแตก เส้นขาด หรือจุดใจกลางของลายเส้นในลายนิ้วมือแต่ละนิ้ว จุดที่กำหนดขึ้นนี้คล้ายจุดถูกน้ำมีหัวและหาง แสดงการไหลเวียนของลายเส้นนิ้วมือ เรียกว่า “Minutiae” และต้องตั้งอยู่บนแกน X (เส้นนอน) และแกน Y (เส้นตั้ง)

ตำแหน่งของจุดลักษณะเฉพาะของแต่ละนิ้ว เมื่อลากเส้นตรงเข้าหากันจะแสดงถึงความสัมพันธ์ของจุดใกล้เคียงและสามารถวัดได้เป็นองศาของมุมต่าง ๆ รอบ ๆ จุดใจกลาง เสมือนหนึ่งสร้างแผนที่ลายเส้นบนนิ้วมือ ซึ่งลายนิ้วมือของแต่ละนิ้วและของแต่ละคนจะไม่มีซ้ำกัน และสามารถกำหนดจุดได้ถึงประมาณ 150 จุด บนหนึ่งนิ้วมือคน

## 2.4 การใช้คอมพิวเตอร์กับการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือโดยใช้ทฤษฎีจุดลักษณะเฉพาะ

### 2.4.1 การทำงานของเครื่องตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือ

#### 2.4.1.1 ส่วนประกอบหลัก

เครื่องตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ(AFIS) ประกอบด้วยระบบย่อย (Sub System) จำนวน 3 ส่วน โดยกรรมวิธีเริ่มต้นที่ระบบย่อยของการป้อนข้อมูล (Input Subsystem , I-SUB) Fingerprint Reader (FR) จะบันทึกภาพของลายพิมพ์นิ้วมือและสถิติข้อมูลต่าง ๆ เช่น จุดลักษณะตำหนิพิเศษ ซึ่งเรียกว่า “Minutiae”(จุดตรงที่ลายเส้นของลายพิมพ์นิ้วมือจบลง หรือ จุดตรงที่ลายเส้นแยกออกจากกัน) และความสัมพันธ์ระหว่างจุดลักษณะเฉพาะต่าง ๆ FR สามารถอ่านลายพิมพ์นิ้วมือได้ด้วยความเร็วประมาณ 15 วินาทีต่อแผ่นลายพิมพ์นิ้วมือ 10 นิ้ว รายละเอียดที่อ่านแล้วจะถูกส่งไปปรากฏบนจอภาพ Fingerprint Input Monitor (FIM) ซึ่งเป็นจุดที่เจ้าหน้าที่จะตรวจสอบความถูกต้องและควบคุมแก้ไขภาพของลายพิมพ์นิ้วมือพร้อมทั้งป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับเจ้าของลายพิมพ์นิ้วมือ

เมื่อลายพิมพ์นิ้วมือได้ผ่านขั้นตอนการอ่านโดย FR และ FIM แล้ว ข้อมูลจะถูกส่งไปยังระบบย่อยของการเปรียบเทียบ Matching Subsystem (M-SUB) ใน M-SUB นี้ ลายพิมพ์นิ้วมือที่ตรวจสอบจะถูกตรวจเปรียบเทียบกับลายพิมพ์นิ้วมือที่เก็บอยู่ในสารบบข้อมูลพื้นฐาน เครื่องมือหลักของ M-SUB คือ Fingerprint Matching Processor (FMP) ทำหน้าที่เปรียบเทียบจุดลักษณะเฉพาะของลายพิมพ์นิ้วมือที่ตรวจสอบกับข้อมูลจุดลักษณะเฉพาะของลายพิมพ์นิ้วมือที่เก็บอยู่ในสารบบ และในที่สุดจะพิมพ์รายงานบัญชีที่ถูกเลือก(Candidate List) ซึ่งเป็นบัญชีการให้คะแนนของการเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมือที่ตรงกับลายพิมพ์นิ้วมือตรวจสอบ (HIT) ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นผู้ที่มีคะแนนสูงสุดในบัญชีที่ถูกเลือก ในการที่จะนำภาพลายพิมพ์นิ้วมือให้มาปรากฏบนจอภาพเพื่อความสะดวกในการที่ผู้ชำนาญลายพิมพ์นิ้วมือจะมาตรวจยืนยันความถูกต้องในครั้งสุดท้าย

ข้อมูลที่ได้รับจาก M-SUB จะถูกส่งต่อไปยังระบบย่อยของการนำกลับมาของภาพ Image Retrieval Subsystem (DIRS) ซึ่งเป็นจุดที่ลายพิมพ์นิ้วมือป้อนเข้าที่ I-SUB จะนำมาเก็บรักษาไว้ในแผ่นบันทึกข้อมูลด้วยแสง (Optical Disks) และภาพเหล่านี้จะสามารถเรียกกลับมาได้ตลอดเวลาเมื่อต้องการ ในการบันทึกภาพลายพิมพ์นิ้วมือนี้น่าจะเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ซึ่งเรียกว่า Optical Disk Unit (ODU)

#### 2.4.1.2 วิธีปฏิบัติงาน

การบันทึกข้อมูลลายพิมพ์นิ้วมือ 10 นิ้วกระทำได้โดยนำแผ่นลายพิมพ์นิ้วมือ 10 นิ้วเข้าเครื่องอ่านอัตโนมัติครั้งละ 100 ฉบับ เครื่องจะประทับให้หมายเลขประจำแผ่นพิมพ์ลายนิ้ว

มือทีละแผ่นไว้ด้านหลังแล้วเลื่อนแผ่นพิมพ์ลายนิ้วมือผ่านเลนส์ของเครื่องกราดภาพ (scanner) โดยถูกกลิ้งยางและเครื่องดูดลม (hopper) เครื่องจะแยกแผ่นพิมพ์ลายนิ้วมือไว้เป็น 2 กอง กองที่เครื่องอ่านภาพไม่ได้เพราะคุณภาพลายเส้นต่ำพรำมัว และกองที่เครื่องอ่านค่าจุดลักษณะเฉพาะเสร็จแล้ว แต่ละครั้งที่เครื่องอ่านเสร็จเรียบร้อย เจ้าหน้าที่สามารถตรวจทานลายเส้นและพิมพ์รายละเอียดข้อความเช่น ชื่อ ชื่อสกุล เชื้อชาติ สัญชาติ เพศ ฯลฯ และให้รหัสประเภทลายพิมพ์นิ้วมือ ตลอดจนตำแหน่งนิ้วที่บันทึก เช่น นิ้วที่ 1 (หัวแม่มือขวา) ประเภท w (ก้นหอย) ฯลฯ ไปจนครบนิ้วทั้ง 10 นิ้ว

ค้นหาและกำหนดจุดลักษณะเฉพาะของลายเส้นในลายพิมพ์นิ้วมือแต่ละนิ้ว พร้อมแสดงทิศทางการไหลเวียนของลายเส้น แล้วกำหนดหรือให้ค่าของแต่ละจุดลักษณะเฉพาะที่ได้ โดยเก็บไว้ในค่าของเลขฐานสอง (Binary Pattern Direction)

กำหนดโครงสร้างลายเส้นนิ้วมือเป็นสี่แดงตัดกับพื้นสีน้ำเงินบนจอภาพ

ค้นหาและกำหนดจุดใจกลาง (Core) โดยการสร้างแกน x และแกน y ให้ผู้ตรวจสอบเลื่อนทิศทางให้แกน x ตรงกับจุดใจกลาง

ค้นหาและกำหนดจุดลักษณะเฉพาะตามตำแหน่ง เส้นแยก เส้นแตก เส้นขาด พร้อมกับลากเส้นความสัมพันธ์ระหว่างจุดลักษณะเฉพาะโดยที่เริ่มจากจุดใจกลาง (Core) เป็นลำดับ (Detection of Relationship between minutiae) การสร้างเส้นความสัมพันธ์ระหว่างจุดนี้มีลักษณะคล้ายกับเส้นแผนที่บนลายนิ้วมือของแต่ละนิ้ว ซึ่งจะไม่มี การซ้ำกันเลขในแต่ละคน

เก็บตัวเลขจุดลักษณะเฉพาะที่ตรวจพบไว้ในฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

#### 2.4.1.3 การบันทึกข้อมูลแผ่นลายพิมพ์นิ้วมือแฝง

มีขั้นตอนการทำงานเช่นเดียวกับลายพิมพ์นิ้วมือ 10 นิ้ว แต่เพิ่มขั้นตอนให้ละเอียดยิ่งขึ้น กล่าวคือ

ลายพิมพ์นิ้วมือแฝงที่เก็บมาจากสถานที่เกิดเหตุ ต้องนำมาถ่ายและขยายเป็น 5 เท่าด้วยกล้องถ่ายรูปคุณภาพสูง แล้วจึงนำเข้าเครื่องอ่าน (Reader) พร้อมกันนั้นต้องให้ผู้เชี่ยวชาญทำการวาดต่อลายเส้นที่เลอะเลือน ขาดหาย พรำมัว ให้ชัดเจนมากขึ้น (Tracing) เสร็จแล้วจึงทำการย่อส่วนให้เท่าเดิม จากนั้นจึงให้เครื่องอ่านจุดลักษณะเฉพาะบันทึกเก็บเป็นค่าตัวเลขไว้ในฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบต่อไป

หน่วยความจำ ลายพิมพ์นิ้วมือแฝงจะแยกเก็บไว้ต่างหากเฉพาะภาพสองระดับที่เป็นโครงข่ายเส้นในงานเก็บแบบแม่เหล็ก

ทั้งนี้ เครื่องอ่านลายพิมพ์นิ้วมือแฝง (Reader) และเครื่องพิมพ์ภาพ (Image Printer) จะต้องมีเพิ่มไว้ต่างหาก เพื่อแยกการใช้งานระหว่างพิมพ์ลายนิ้วมือ 10 นิ้ว กับพิมพ์ลายนิ้วมือนิ้วเดียว

## 2.4.2 ขอบข่ายการทำงาน

2.4.2.1 ตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือแฝงที่เก็บได้จากสถานที่เกิดเหตุ กับลายพิมพ์นิ้วมือสลิปนิ้วของคนร้ายที่เก็บไว้ในสารบบ การตรวจพิสูจน์ประเภทนี้ เรียกว่า Latent to Tenprint Inquiry (LI)

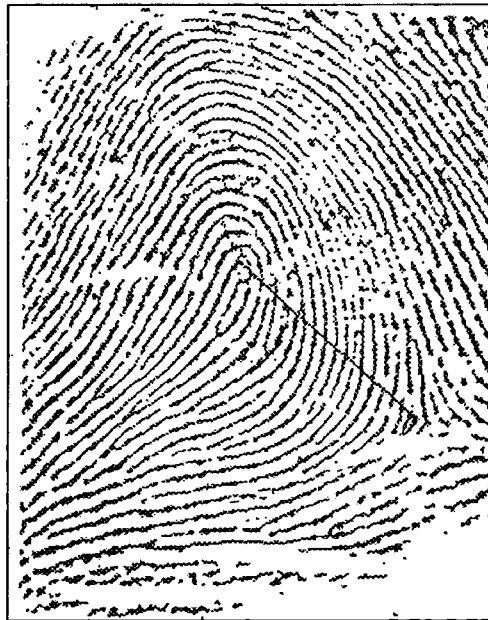
2.4.2.2 ตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือสลิปนิ้ว ของอาชญากรหรือผู้ต้องสงสัยกับลายพิมพ์นิ้วมือแฝงที่เก็บไว้ในสารบบ เรียกว่า Tenprint to Latent Inquiry (TLI)

2.4.2.3 ตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือสลิปนิ้วกับลายพิมพ์นิ้วมือสลิปนิ้วในสารบบ เป็นการตรวจยืนยันตัวบุคคล เพื่อตรวจสอบประวัติ วิธีการนี้เรียกว่า Tenprint to Tenprint Inquiry (TI)

2.4.2.4 ตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือแฝง ในคดีหนึ่งกับลายพิมพ์นิ้วมือแฝงในคดีอื่น ๆ ที่เก็บไว้ในสารบบ เพื่อจะทราบว่าคดีต่างคดีกัน ได้เกิดขึ้นโดยบุคคลเดียวกันหรือไม่ การตรวจสอบประเภทนี้เรียกว่า Latent to Latent Inquiry (LLI)

## 2.5 การเปรียบเทียบวิธีการนับเส้น สวเส้นโดยใช้สายตามนุษย์ กับการใช้เครื่องอัตโนมัติ

ภาพที่ 7

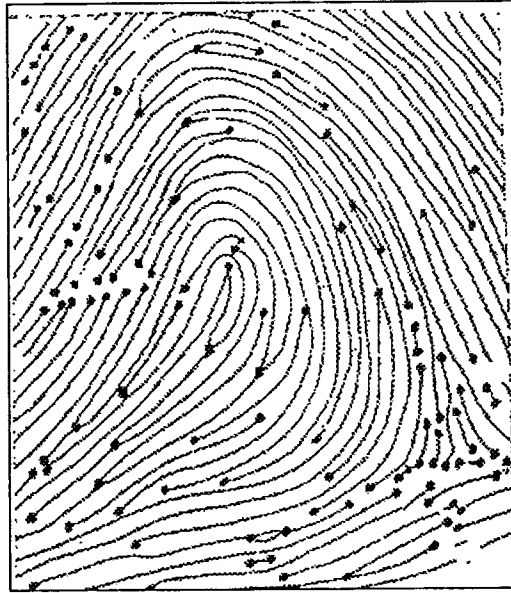


แสดง ภาพลายพิมพ์นิ้วมือชนิดมัดหอย

ในภาพที่ 7, 8 และ 9 เป็นภาพพิมพ์ลายนิ้วมือเดียวกัน การให้คำรหัสในภาพที่ 7 ด้วยการส่องดูภายใต้แว่นขยาย ด้วยสายตามนุษย์จะให้รายละเอียด 2 ประการด้วยกัน คือ

1. ภาพนี้จัดอยู่ในประเภท “ มัดหอย “
2. ถ้าลากเส้นจากจุดสันคอน (Delta) ถึงจุดใจกลาง (Core) จะนับเส้นได้ 18 เส้น

ภาพที่ 8



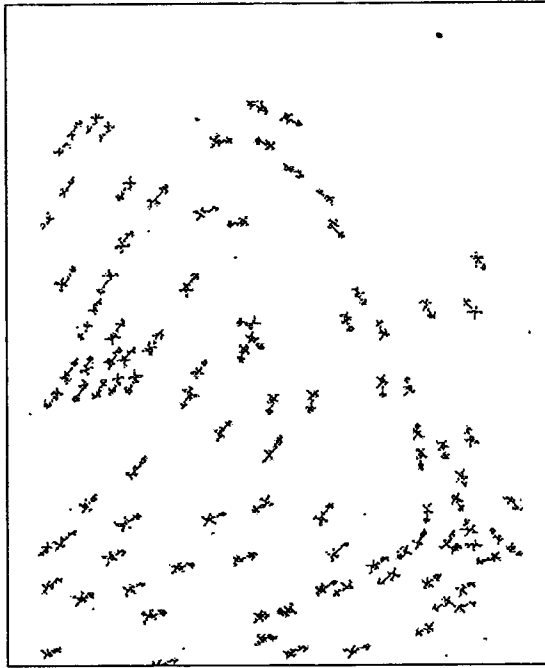
แสดงจุดลักษณะเฉพาะบนลายพิมพ์นิ้วมือ

ในภาพที่ 8 ถ้าเข้าเครื่องอ่าน (Image Scanner) เครื่องจะไม่คำนึงถึงจุดใจกลาง หรือจุดสันดอน แต่เครื่องจะอ่านเฉพาะตำแหน่งที่มีเส้นแยก เส้นแตก (Bifurcation) หรือ เส้นขาด (Ridge Ending) และจุดตำแหน่งเหล่านี้เรียกว่า “ Minutiae “ ในภาพนี้จะนับจำนวนจุดลักษณะเฉพาะได้ถึง 115 จุด ซึ่งถือเป็นลักษณะพิเศษของลายนิ้วมือแต่ละนิ้วที่จะไม่มีการซ้ำกันเลย ในการเปรียบเทียบจริงในระบบพิมพ์ลายนิ้วมือ 10 นิ้ว จะใช้เพียง 8 จุด ก็เพียงพอที่จะใช้ยืนยันตัวบุคคลได้แล้ว โดยที่การเก็บภาพไว้นั้นแทนที่จะเก็บไว้ถึง 10 นิ้ว ซึ่งจะสิ้นเปลืองงบประมาณในทางปฏิบัติจะเก็บไว้เพียง 2 นิ้ว ได้แก่ นิ้วชี้ซ้าย - ขวา หรือ หัวแม่มือซ้าย - ขวา

สำหรับกรณีลายนิ้วมือแฝง (Latent Print) ที่เก็บมาจากสถานที่เกิดเหตุอาจจะได้มาไม่เต็มนิ้ว การตรวจสอบเปรียบเทียบ อาจจะต้องใช้ถึง 20 จุด จึงจะยืนยันตัวบุคคลได้โดยไม่ผิดพลาด เครื่องอ่านคอมพิวเตอร์จะไม่มองภาพลายเส้น แต่จะบันทึก “ แผนที่ “ ตั้งของลายเส้นแยก เส้นแตก เส้นขาด เรียกว่า จุดลักษณะเฉพาะ (Minutiae) ตามภาพที่ 9 พร้อมกันนั้นจะบอกทิศทางการไหลเวียนของลายเส้นและจับมุมมองศา (Angle) ของจุดใกล้เคียงไว้ ดังนั้นในการอ่านพิมพ์ลายนิ้วมือของภาพที่ 7 เครื่องอ่านจะบอกให้ทราบ 3 ประการ คือ

1. นับจุดลักษณะเฉพาะ (Minutiae) ได้ 115 จุด พร้อมแผนที่ตั้งของจุดเหล่านี้
2. บอกทิศทางการไหลเวียนของ จุดลักษณะเฉพาะ (Minutiae) แต่ละกลุ่ม
3. บอกความสัมพันธ์กันของแต่ละกลุ่ม จุดลักษณะเฉพาะ (Minutiae) ตามข้อ 2 นั้น

ภาพที่ 9



แสดงจุดลักษณะเฉพาะและทิศทางการไหลเวียน

ตามภาพที่ 9 เครื่องคอมพิวเตอร์จะบันทึก จุดลักษณะเฉพาะ (Minutiae) และสร้างแผนที่จุดลักษณะเฉพาะ (Minutiae Map) พร้อมทั้งทิศทางการไหลเวียนของลายเส้นตามทิศทางของหัวถูศร แผนที่ที่สร้างจะเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการเปรียบเทียบ (Matching) ในคราวต่อไปโดยไม่ผิดพลาดเพราะเป็นคุณลักษณะพิเศษของลายพิมพ์นิ้วมือที่ไม่มีการซ้ำกัน

## 2.6 การประมวลผลภาพเบื้องต้นกับระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่า กระบวนการแรกเริ่มของการตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือเป็นกระบวนการอ่านภาพลายนิ้วมือเข้าไปเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเกิดขึ้นก่อนกระบวนการอื่น ดังนั้นหากในขั้นตอนนี้ลายนิ้วมือที่อ่านได้ไม่ชัดเจน พร่าเลือน ก็จะทำให้การประมวลผลในขั้นตอนถัดไปทำได้ด้วยความยากลำบาก หรือทำไม่ได้ และผลที่ได้ก็อาจไม่ถูกต้องตามที่ควรจะเป็น

เมื่อเป็นเช่นนี้ในกระบวนการภายหลังจากการอ่านลายพิมพ์นิ้วมือเข้าไป จึงควรมีกระบวนการเพิ่มความชัดเจนของภาพ ซึ่งมีหลายกระบวนการด้วยกัน คือ การกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction) สำหรับขจัดส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนที่ปรากฏบนภาพ, การปรับความมืดสว่างและความแตกต่างแสงของหน้าฉากและหลังฉากของภาพ (Contrast), การแปลงเป็นภาพสองระดับ

(Binarization), การทำให้เส้นลายนิ้วมือบาง (Thinning) ฯลฯ ซึ่งต่างก็เป็นกระบวนการที่ช่วยในการปรับปรุงภาพให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น เพื่อที่จะช่วยลดภาระของผู้ชำนาญการที่จะต้องทำการวาดหรือตกแต่งภาพลายนิ้วมือที่อ่านเข้าไปให้มีความถูกต้องชัดเจน

เพื่อเพิ่มหรือลดค่าคงที่ให้กับทุกจุดภาพ ผลที่ได้จึงเป็นการเพิ่มหรือลดความสว่าง ( Brightness ) ให้กับภาพทั้งภาพ ซึ่งส่วนของโปรแกรมที่ใช้ คือ

```

For row = 0 to rowmax-1
    For col = 0 to colmax-1
        image[row][col] = image[row][col]+constant
    Next
Next

```

จากส่วนของโปรแกรมข้างต้นจะเห็นว่าความคิดเห็นที่เกิดขึ้นจริง ๆ แล้ว เป็นการเคลื่อนฮิสโตแกรมไปทางขวาหรือซ้ายขึ้นอยู่กับว่าจะเป็นการเพิ่มหรือลดความสว่าง การกำหนดค่าคงที่ คือ การกำหนดระยะที่จะทำการเคลื่อน ซึ่งในการดำเนินการจริง ๆ อาจคำนวณได้จากระยะเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ผู้ใช้กำหนดโดยใช้แถบเลื่อนตามแนวนอน ( Horizontal Scroll Bar ) ก็ได้

### 3.3 การปรับความแตกต่างแสง ( Contrast Normalization )<sup>[5][11][12]</sup>

ภาพ ( Digitized Image ) ลายพิมพ์นิ้วมือที่ได้มาเราอาจนำมาเพิ่มความแตกต่างกันของแสง ( Contrast ) ระหว่างวัตถุและพื้นหลังเพื่อให้เห็นรายละเอียดที่ซ่อนอยู่ได้มากขึ้น เช่น กรณีที่ลายเส้นสองเส้นอยู่ชิดกันมากเนื่องจากเส้นหมึกที่หนาเกินไป โดยเราจะใช้เทคนิค Histogram Equalization[1] ซึ่งเทคนิคนี้จะเป็นการปรับฮิสโตแกรมให้ราบ ( Flat ) ด้วยจำนวนจุดภาพที่เท่ากับของเดิมที่แต่ละระดับเทา โดยมีหลักในการทำงานดังนี้

ให้จำนวนของจุดภาพในภาพ = rowmax \* colmax  
ระดับเทาที่ใช้ = g\_levels

$$\text{ideal number of pixels at each grey level} = \frac{\text{row max} * \text{col max}}{g\_levels}$$

จากนั้นหาความถี่ ( Frequency ) และผลรวมความถี่ ( Cumulative Frequency ) ที่แต่ละระดับเทา ผลของการปฏิบัติการที่ได้จะได้

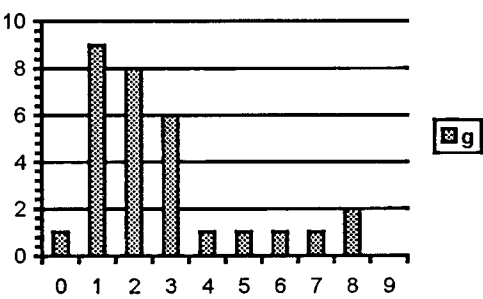
$$F(g) = \max \{ 0, \text{round}(g\_levels * t(g)/(\text{rowmax} * \text{colmax})) - 1 \}$$

โดย  $F(g)$  =  $F(\text{old gray level})$  = new gray level  
 $t(g)$  = the actual number of pixels at old gray level g or less  
 = Cumulative Frequency

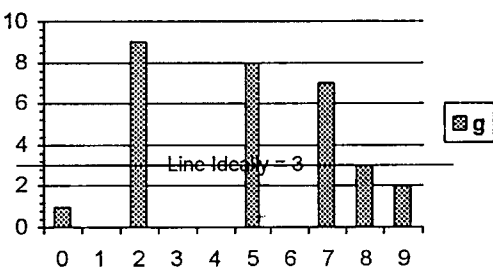
ตัวอย่างวิธีการทำงานด้วยเทคนิค Histogram Equalization

ภาพที่ 11

กราฟแสดงความถี่ของแต่ละระดับเทา ก่อนและหลังทำ Equalization



(ก) ก่อนทำ Equalization



(ข) หลังทำ Equalization

ตารางที่ 1

| <i>g</i> | Frequency | Cumulative Frequency | <i>F(g)</i> |
|----------|-----------|----------------------|-------------|
| 0        | 1         | 1                    | 0           |
| 1        | 9         | 10                   | 2           |
| 2        | 8         | 18                   | 5           |
| 3        | 6         | 24                   | 7           |
| 4        | 1         | 25                   | 7           |
| 5        | 1         | 26                   | 8           |
| 6        | 1         | 27                   | 8           |
| 7        | 1         | 28                   | 8           |
| 8        | 2         | 30                   | 9           |
| 9        | 0         | 30                   | 9           |

แสดงขั้นตอนในการทำ Equalization

จากตารางที่ 2 ค่าของ  $F(g)$  จะได้จากสูตรข้างต้น ดังนั้นฮิสโตแกรมที่ได้ใหม่ คือ ค่าเก่าที่ถูกเกลี่ยไปให้ค่าระดับเทาอื่น จากตารางจึงสามารถสรุปค่าระดับเทาใหม่สำหรับแต่ละระดับเทา  $g$  ดังนี้

ตารางที่ 2

| ค่าระดับเทา | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | รวม |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| ความถี่เก่า | 1 | 9 | 8 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 30  |
| ความถี่ใหม่ | 1 | 0 | 9 | 0 | 0 | 8 | 0 | 7 | 3 | 2 | 30  |

แสดงความถี่ของแต่ละระดับเทาก่อน-หลังการทำ Equalization

จากวิธีการข้างต้น สามารถออกแบบความคิด(Conceptual Design) ของระบบงานนี้ได้ ดังนี้

- 1. read grey value of each pixel
- 2. compute ideal number of pixels at each grey level from

$$\text{rowmax} * \text{colmax} / \text{g\_levels}$$

- 3. compute new  $F(g)$  from

$$F(g) = \max \{ 0, \text{round}(\text{g\_levels} * t(g) / (\text{rowmax} * \text{colmax})) - 1 \}$$

- 4. allocate the pixels with the lowest grey level in the old image to grey level 0 in the new image if as a result of this allocation the new grey level 0 has got less than its 'fair share' of pixels

then allocate the pixels at the next lowest grey level in the old image also to grey level 0 in the new image

- 5. move up to next grey level and operate the same like 4. Starting with the unallocated pixels that have the lowest grey level in the old image

จากวิธีการข้างต้นสามารถเขียนส่วนของโปรแกรมที่ใช้สำหรับการทำงานตามวิธีการนี้ได้ ดังนี้

' for each old grey level

for  $g = 0$  to 255

' for each element in picture

For  $i = \text{Int}(\text{BlockSize} / 2)$  To  $\text{YRes} - \text{Int}(\text{BlockSize} / 2)$

For  $j = \text{Int}(\text{BlockSize} / 2)$  To  $\text{XRes} - \text{Int}(\text{BlockSize} / 2)$

' find frequency at each grey level of old image

If  $\text{vsource\_pixel}(j,i) = g$  then  $\text{g\_freq}(g) = \text{g\_freq}(g) + 1$

```

        Next
    Next
Next
For g = 1 to 256
    ' find cumulative frequency at each grey level of old image
    T(g-1) = g_freq(g)+g_freq(g-1)
Next
for g = 0 to 255
    ' find new grey level for each old grey level
    F(g) = max { 0, round(g_levels * t(g)/(rowmax*colmax)) - 1 }
Next
' for each element in picture
' for each element in picture convert to new value
For i = Int(BlockSize / 2) To YRes - Int(BlockSize / 2)
    For j = Int(BlockSize / 2) To XRes - Int(BlockSize / 2)
        For g = 0 to 255
            If vsource_pixel(j,i) = g then target_pixel(j,i) = f(g)
        Next
    Next
Next
Next

```

### 3.4 การแปลงภาพลายพิมพ์นิ้วมือเป็นภาพแบบสองระดับ (Binarization) <sup>[5][11][14]</sup>

การแปลงภาพลายพิมพ์นิ้วมือให้เป็นภาพแบบสองระดับเป็นกระบวนการที่พยายามแยกความแตกต่างระหว่างเส้นนูนและเส้นร่อง หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า การแปลงภาพให้เป็นไบนารีเป็นกระบวนการที่แยกความแตกต่างระหว่างลายนิ้วมือและภาพหลัง เพราะภายหลังการกระทำจะเหลืออยู่แต่ส่วนที่เป็นลายพิมพ์นิ้วมือเท่านั้น โดยกระบวนการที่นำมาใช้เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนความสว่างของทุกจุดภาพให้เหลือเพียงสองระดับ (Binary Pattern) (0, 1) ซึ่งสามารถเขียนนิยามการแปลงภาพเป็นภาพสองระดับได้ดังนี้

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } f(x,y) > T \\ 0 & \text{ถ้า } f(x,y) \leq T \end{cases}$$

โดยกำหนดให้

$f(x,y)$  คือ ค่าสีที่ได้จากการอ่านจากภาพเริ่มต้น

$T$  คือ ค่าสีที่เลือกจากภาพระดับเทาที่อินพุตเข้ามา เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบกับค่าสีที่ได้จากการอ่านภาพระดับเทาที่อินพุตเข้ามา

$g(x,y)$  คือ ค่าสีที่ผ่านจากการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพ

จากสมการจะได้ว่า ถ้าค่า  $f(x,y)$  มีค่ามากกว่า  $T$  แล้วจะได้ค่า  $g(x,y)$  เป็น 1 ซึ่งจะเป็นค่าสีของวัตถุในภาพและในทำนองเดียวกัน จะได้ว่า ถ้าค่า  $f(x,y)$  มีค่าน้อยกว่า  $T$  แล้วจะได้ค่า  $g(x,y)$  เป็น 0 ซึ่งจะเป็นค่าสีของพื้นฉากในภาพ ดังนั้นหลักการสำคัญของวิธีการนี้คือ การใช้การตัดค่าเทรชโวลด์ ซึ่งสามารถนำสมการดังกล่าวมาเขียนเป็นส่วนของโปรแกรมได้ดังนี้

For row = 0 to rowmax

For col = 0 to colmax

If image[row][col] > threshold

then image[row][col] = MAX

else image[row][col] = MIN

Next

Next

ปัญหาในการดำเนินการตามวิธีนี้คือ ผู้ใช้ต้องทำการกำหนดค่าเทรชโวลด์ที่เหมาะสมว่า ควรเป็นเท่าไร ซึ่งรายละเอียดจะอยู่ในส่วนของการทดลองเพื่อหาค่าเทรชโวลด์ที่เหมาะสมในบทที่ 5

### 3.5 การทำให้วัตถุในภาพบาง ( Thinning ) สำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ <sup>[5][13][14][24]</sup>

การทำลายเส้นให้บางเป็นขั้นตอนพื้นฐานเริ่มแรกที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบ อย่างเช่น การตรวจสอบชิ้นส่วนในทางอุตสาหกรรม (industrial parts inspection), การรู้จำลายนิ้วมือ (fingerprint recognition), การรู้จำตัวอักษร (optical character recognition-OCR) และการวินิจฉัยทางชีวภาพ (biomedical diagnosis) ภาพที่ได้หลังจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพขาวดำ จะถูกเรียกว่า สเกลเลตัน ประโยชน์อย่างหนึ่งที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางคือ การลดทอนพื้นที่หน่วยความจำที่จะใช้ในการเก็บค่าข้อมูลโครงสร้างของรูปแบบที่จะแสดงและทำให้โครงสร้างข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบนั้นดูง่ายขึ้น

จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้เพื่อทำให้รายละเอียดของภาพลายพิมพ์นิ้วมือ เหลือแต่ลายเส้นที่จำเป็น ไม่ให้มีรายละเอียดมากเกินไปจนความจำเป็น เนื่องจากโดยข้อเท็จจริง ลายนิ้วมือแต่ละเส้นจะมีลักษณะเป็นเส้นหนา และความหนาของแต่ละลายไม่เท่ากันทุกเส้น แต่ความหนาของลายเส้นเป็น

ข้อมูลที่กระบวนการวินิจฉัยไม่สนใจพิจารณา ดังนั้นเราจึงลดข้อมูลให้น้อยลงได้โดยการแทนเส้นลายนิ้วมือด้วยลายเส้น ซึ่งนั่นคือ การกำจัดความแตกต่างของความหนา

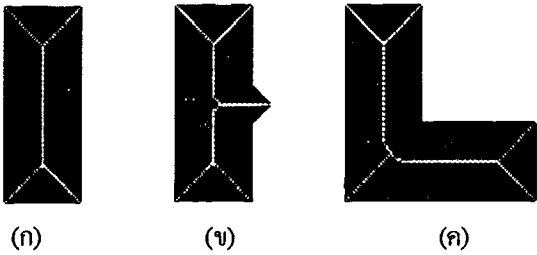
เนื่องจากผลที่ได้จากกระบวนการเป็นการทำให้ภาพเดิมเหลือแต่ส่วนที่เป็นแกนจริงๆ บางครั้งจึงเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า Skeletonizing ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีสำหรับการดำเนินการกับภาพที่ผ่านกระบวนการแปลงเป็นไบนารีแล้ว แต่ละวิธีการต่างก็มีข้อดีและข้อเสียของมันในเรื่องของความเร็วและความถูกต้อง โดยแต่ละวิธีจะมีหลักการพื้นฐานเหมือน ๆ กัน แตกต่างกันในเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวกับเงื่อนไขในการวนรอบและการกำจัดเท่านั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่จำเป็นสำหรับการทำให้วัตถุในภาพบาง ตลอดจนวิธีการในการทำลายเส้นให้บางแบบง่ายเพื่อสร้างความเข้าใจเบื้องต้น ส่วนบทต่อไปจะกล่าวถึงวิธีการที่ซับซ้อนมีรายละเอียดมากขึ้น และมีความเหมาะสมต่อภาพลายพิมพ์นิ้วมือโดยเฉพาะเจาะจง

3.5.1 สเกลเลตัน<sup>[14]</sup>

สเกลเลตัน เป็นวิธีการที่จะใช้นำเสนอโครงสร้างของรูปร่างของขอบเขตพื้นระนาบ(plane region) โดยการลดทอนให้เป็นกราฟเชิงเส้น ซึ่งการลดทอนนี้สามารถทำได้โดยผ่านการทำสเกลเลตันของขอบเขตพื้นระนาบ โดยผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง สเกลเลตันของแต่ละขอบเขตจะถูกสร้างขึ้นมาโดยใช้การเปลี่ยนรูปเส้นแกนกลาง(median axis transformation-MAT) ตามทฤษฎีของบลัม(Blum,1967) โดยการเปลี่ยนรูปเส้นแกนกลางของขอบเขตพื้นระนาบ R ที่มีขอบภาพ B หาค่าได้ตามนี้ สำหรับจุดภาพใดๆ p ที่อยู่ใน R ซึ่งเราจะพบว่าจุด p นี้อยู่ใกล้ชิด(closet) R มากที่สุด แต่ถ้ามีจุด p หลายๆ จุดที่อยู่ใกล้ชิด R นี้เรียงซ้อนตัวเข้าไปสู่ด้านใน เราจะเรียกจุดเหล่านี้ว่า เส้นแกนกลาง(medial axis) หรือสเกลเลตันของ R ซึ่งค่าใกล้ชิดนี้ขึ้นอยู่กับนิยามของระยะทาง ซึ่งตัวอย่างในภาพที่ 12 เป็นบางตัวอย่างของสเกลเลตันที่เกิดขึ้นโดยใช้ระยะทางของยูคลิดีเนียน(Euclidean distance)

ตัวอย่างของสเกลเลตันที่ได้ในภาพที่ 12 บริเวณที่เป็นสีดำ เป็นพื้นที่ภายในขอบเขตพื้นระนาบ เส้นที่มีสีขาวเป็นสเกลเลตันของขอบเขตพื้นระนาบ

ภาพที่ 12



แสดงตัวอย่างเส้นแกนกลางของขอบเขตพื้นระนาบทั้ง 3 แบบ

สเกลเลตันที่ได้จากขั้นตอนการทำลายเส้นให้บางจะต้องยังคงรักษาค่าโทโปโลยีของวัตถุไว้และแสดงข้อมูลรูปทรงของรูปแบบไว้ สเกลเลตันที่ได้ควรมีความกว้างเพียง 1 จุดภาพและเป็นเส้นแกนกลางตามแนวระนาบของวัตถุ ซึ่งขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางหลายวิธีมักจะมีการกระทำซ้ำเป็นจำนวน  $n$  รอบ วิธีที่แตกต่างกันจะให้สเกลเลตันที่แตกต่างกัน ซึ่งตามปกติขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางจะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบตามลำดับ(sequential) และแบบขนาน(parallel) ซึ่งมักเชื่อกันว่า ขั้นตอนวิธีแบบตามลำดับจะทำงานได้เร็วกว่าขั้นตอนวิธีแบบขนาน เมื่อขั้นตอนวิธีทั้ง 2 แบบถูกใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบอนุกรม(serial computer) และขั้นตอนวิธีแบบขนานจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดเมื่อถูกใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบขนาน(parallel computer) หรือเครื่องคอมพิวเตอร์แบบไปป์ไลน์(pipeline computer)

สเกลเลตันดิจิทัล(digital skeleton) จะเกิดขึ้นภายหลังใช้ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางซึ่งมักจะใช้แสดงวัตถุในภาพขาวดำดิจิทัล(binary digital image) ของการวิเคราะห์รูปทรงและการจำแนกประเภท(classification) มีขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางเป็นจำนวนมากที่ได้ถูกตั้งขึ้นโดยทั่วไป แต่ละขั้นตอนวิธีจะแตกต่างกันเนื่องจากการนิยามสเกลเลตันดิจิทัลและข้อบกพร่องของเครื่องมือต่างๆ

### 3.5.2 คณิตศาสตร์มอร์โฟโลยี<sup>[21]</sup>

โดยทั่วไปแล้ว มอร์โฟโลยี จะหมายถึง ศาสตร์สาขาหนึ่งทางชีววิทยาที่ทำการศึกษเกี่ยวกับรูปร่าง ลักษณะโครงสร้างและพัฒนาการของพืชและสัตว์ แต่ในการประมวลผลภาพ เราจะใช้คำๆ เดียวกันนี้มาประยุกต์ใช้ในทางคณิตศาสตร์ที่เราเรียกว่า คณิตศาสตร์มอร์โฟโลยี

คณิตศาสตร์มอร์โฟโลยี เริ่มพัฒนามายาวนานกว่าศตวรรษที่ 60 ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ของรูปแบบที่แยกตัวออกมาเป็นการวิเคราะห์รูปภาพด้วยคณิตศาสตร์ชั้นสูง ซึ่งได้กล่าวไว้ในเอกสารของ Serra<sup>[20]</sup>

วิธีการที่ไม่ใช่มอร์โฟโลยีที่ใช้ในการประมวลผลรูปภาพจะใช้แคลคูลัส ซึ่งยึดหลักการใช้ฟังก์ชันในการกระจายจุดภาพ(point spread function concept) และการแปลงรูปเชิงเส้น(linear transformation) ส่วนคณิตศาสตร์มอร์โฟโลยีจะยึดหลักการทางเรขาคณิตและรูปทรง มอร์โฟโลยีจะกระทำการกับรูปภาพได้ง่าย และยังคงรักษารูปทรงหลัก ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะของวัตถุไว้

การแปลงรูปทางมอร์โฟโลยี(morphological transformation) ที่ถูกนำมาใช้ มักจะประกอบด้วย การประมวลผลรูปภาพที่มีการพิจารณาแบบแยกเป็นส่วนตามลำดับ ในส่วนที่ 1 รูปภาพที่ใช้ จะได้จากการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข(digitize) และทำการจัดเตรียมภาพก่อนการ

ประมวลผล(pre-process) โดยใช้ตัวดำเนินการคอนโวลูชันเฉพาะที่(local convolution) และทำการแบ่งส่วนของวัตถุในภาพขาวดำแยกออกจากบริเวณของพื้นฉากในรูปภาพ(background) ในส่วนที่ 2 การกระทำการทางมอร์โฟโลยีกระทำกับรูปทรงของวัตถุ ในส่วนสุดท้ายของมอร์โฟโลยีจะทำการประเมินผลโดยใช้ลักษณะทางตัวเลขที่แตกต่างกัน หรือลักษณะเทียบเคียงทางวากยสัมพันธ์

การกระทำการทางมอร์โฟโลยี มักจะถูกนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ดังนี้

⇒ จัดเตรียมรูปภาพก่อนการประมวลผล(image pre-processing) ได้แก่ การกรองสัญญาณรบกวนในภาพ, การจัดทำรูปทรงให้ดูง่ายขึ้น

⇒ ปรับปรุงโครงสร้างวัตถุในภาพให้ชัดเจนขึ้น ได้แก่ การทำสเกเลตัน(skeletonizing) การทำลายเส้นให้บาง, การทำลายเส้นให้หนา, การทำเครื่องหมายของวัตถุในรูปภาพ, คอนเวกซ์ ฮูล(convex hull)

⇒ บ่งบอกปริมาณของวัตถุ ได้แก่ พื้นที่, เส้นรอบวง, โปรเจกชัน(projection), คุณลักษณะเฉพาะของอูลเลอร์-พอยแคร์(Euler-Poincaré characteristic)

คณิตศาสตร์มอร์โฟโลยีมีแหล่งกำเนิดในทฤษฎีเซต(set theory) และเกี่ยวข้องกับการศึกษารูปแบบและโครงสร้างภายในรูปภาพที่จะทำการวิเคราะห์ คณิตศาสตร์มอร์โฟโลยีจะเกี่ยวข้องกับการทรงและคุณสมบัติของวัตถุหรือขอบเขตของภาพ และเกี่ยวข้องกับการที่จะเปลี่ยนแปลงและดึงลักษณะสำคัญที่เป็นประโยชน์ของภาพออกมาใช้งาน

โดยที่รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีเซตจะมี คอมพลีเมนต์(complement), ผลรวม(union) และผลตัด(intersection) ในส่วนของตัวดำเนินการทางตรรกะจะมี หรือ(OR), และ(AND), ไม่ใช่ (NOT) ในส่วนที่เพิ่มเติมขึ้นมาคือ ใช้การเคลื่อนย้ายแม่แบบ(template) หรือหน้ากาก(mask) ผ่านรูปภาพและทำการระบุการเปรียบเทียบระหว่างแม่แบบกับรูปภาพ(template-image comparison) ที่แต่ละตำแหน่งของแม่แบบที่จะให้ผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกันตามวิธีทฤษฎีเซต

เครื่องหมายเซตมาตรฐาน(standard set notation) ที่ใช้ในทางมอร์โฟโลยีนั้น จุดและเวกเตอร์จะถูกนำมาแสดงเป็นตัวเอนตัวพิมพ์เล็ก (lower-case italic) เซตจะถูกแสดงเป็นตัวเอนตัวพิมพ์ใหญ่ (upper-case italic)  $\emptyset$  แทนเซตว่าง,  $\in$  แทนเป็นสมาชิกหรือเป็นส่วนประกอบของ, และ  $\Rightarrow$  แทนหมายความว่า ยกตัวอย่างเช่น  $\{p | \text{condition}(s) \}$  หมายถึง เซตของจุด  $p$  โดยที่  $\text{condition}(s)$  ต้องเป็นจริง ตามภาพที่ 13 จะแสดงให้เห็นคำนิยามตามนี้ได้อย่างครบองค์ประกอบมากขึ้น

(ก) วัตถุขาวดำจะถูกระบุเป็นซับเซตของจุดภาพ  $A$  ที่ได้บรรจุหรือรวมอยู่(include) ภายในเซตทั้งหมดของจุดภาพในรูปภาพ  $N$  ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วย  $A \subset N$  ดังนั้น ถ้า  $p$  เป็นสมาชิกของ  $A$  ดังนั้น  $p$  จึงเป็นสมาชิกของ  $N$  นั่นคือ  $p \in A \Rightarrow p \in N$

(ข) คอมพลิเมนต์(complement) ของเซต  $A$  เป็นเซตที่ไม่ใช่สมาชิกของ  $A$  นั่นคือ ทุกจุดภาพที่เป็นพื้นฉากในรูปภาพ ซึ่งแทนด้วย  $A^*$  ดังนั้นถ้า  $p$  เป็นสมาชิกของ  $A$  แล้ว  $p$  จะไม่เป็นสมาชิกของ  $A^*$  นั่นคือ  $p \in A \Rightarrow p \notin A^*$

(ค) การสลับเปลี่ยน(tranposition) ของเซตของจุดภาพ  $A$  จะเป็นเซตที่แต่ละตำแหน่งของจุดภาพจะถูกสะท้อนลงตามการนิยามเริ่มต้น เมื่อเซต  $A$  ได้กำหนดไว้ในภาพที่ 13 (ก) จะถูกสะท้อนจากค่าเริ่มต้นไปยังจุดศูนย์กลางของรูปภาพได้ เซต  $A'$  ตามภาพที่ 13 (ข) ซึ่ง  $A' = B$  ดังนั้นเซต  $A$  เป็นเซตที่มีความสมมาตรของเซต  $A'$  ตามแนวค่าเริ่มต้น

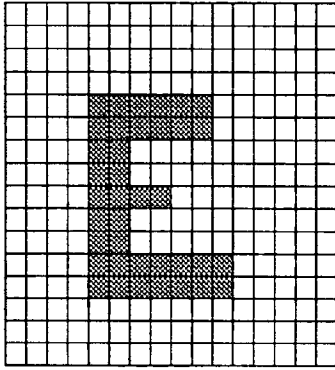
(ง) ผลรวม(union) ของเซต  $A$  และ  $B$  จะแทนด้วย  $A \cup B$  ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้เป็นจุดภาพทุกจุด โดยที่แต่ละจุดภาพจะเป็นสมาชิกของเซต  $A$  หรือสมาชิกของเซต  $B$  กล่าวคือ  $A \cup B = \{p | p \in A \text{ or } p \in B\}$  ซึ่งค่าอุปมาเหมือนกับตัวดำเนินการทางตรรก OR และสามารถแสดงให้เห็นในภาพที่ 13 (ค) ซึ่งจะแสดงผลรวมของภาพที่ 13 (ก) และ 13 (ข)

(จ) ผลตัด(intersection) ของเซต  $A$  และ  $B$  จะแทนด้วย  $A \cap B$  ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้เป็นจุดภาพทุกจุด โดยที่แต่ละจุดภาพเป็นสมาชิกร่วมกันของทั้ง 2 เซต  $A$  และ  $B$  กล่าวคือ  $A \cap B = \{p | p \in A \text{ and } p \in B\}$  ซึ่งค่าอุปมาเหมือนกับตัวดำเนินการทางตรรก AND และสามารถแสดงให้เห็นได้ในภาพที่ 13 (ง) ซึ่งจะแสดงผลตัดของภาพที่ 13 (ก) และ 13 (ข)

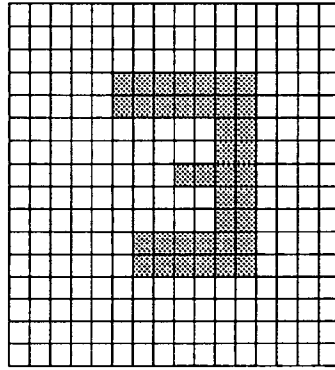
(ฉ) ผลต่าง(difference) ระหว่างรูปภาพทั้งสองจะแทนด้วย  $A/B$  ซึ่งจะกล่าวในภาษาของทฤษฎีเซตได้ว่า เป็นเซตผลลัพธ์ที่แต่ละจุดภาพจะเป็นสมาชิกอันใดอันหนึ่งใน  $A$  หรือ  $B$  แต่จะไม่เป็นสมาชิกของทั้ง 2 เซต กล่าวคือ  $A/B = \{p | p \in A \text{ or } p \in B; p \notin A \cup B\}$  ซึ่งค่าอุปมาเหมือนกับตัวดำเนินการทางตรรก XOR และสามารถแสดงให้เห็นได้ในภาพที่ 13 (จ) ซึ่งจะแสดงผลต่างของภาพที่ 13 (ก) และ 13 (ข)

(ช) การเปลี่ยนรูปแบบ(translation) สามารถที่จะพิจารณาได้ง่ายคือ การบวกเวกเตอร์ การเปลี่ยนรูปแบบของเซต  $A$  โดย  $v$  จะถูกแทนด้วย  $A_v$  ซึ่งจะเป็นเซตที่แต่ละสมาชิกจะถูกแปลงโดยเวกเตอร์  $v$  ในภาพที่ 13 (ฉ) แสดงผลลัพธ์ของการเปลี่ยนรูปแบบของเซต  $A$  โดยเวกเตอร์(2,2)

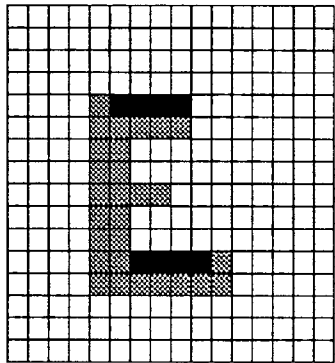
ภาพที่ 13



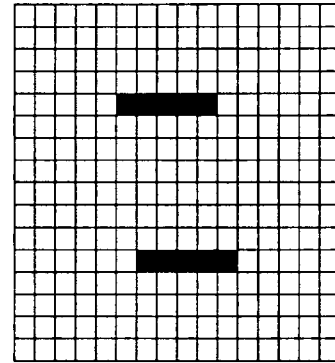
(ก)



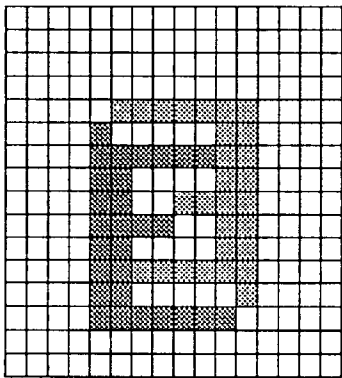
(ข)



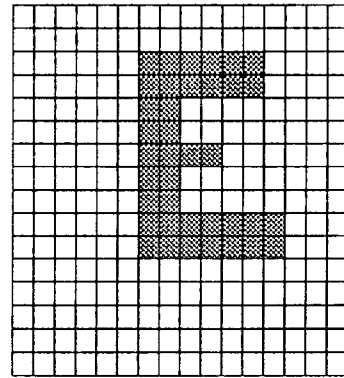
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

(ก) ภาพเริ่มต้นของเซต A, (ข) การสลับเปลี่ยนของเซต A ทำให้ได้เซต B, (ค) ผลรวมของ  $A \cup B$  (มีค่าเท่ากับ A OR B), (ง) เป็นผลตัดของ  $A \cap B$  (มีค่าเท่ากับ A AND B), (จ) ผลต่างของ  $A/B$  (ซึ่งมีค่าเท่ากับ A XOR B), (ฉ) การเปลี่ยนรูป  $A_v$  ของเซต A โดยใช้เวกเตอร์  $v(2,2)$  สังเกตได้ว่า สีพื้นฉากเป็นดังภาพ (ก) และ (ข) เป็นแถบเงาที่เน้นให้เห็นความแตกต่าง

แสดงให้เห็นค่านิยมบางอย่างของมอร์โฟโลยีคณิตศาสตร์

### 3.5.3 การเปลี่ยนรูปแบบเดิม-ลบ (hit-miss transform)<sup>[13]</sup>

มอร์โฟโลยีรูปภาพจะอาศัยการวิเคราะห์รูปภาพโดยใช้รูปแบบพื้นฐาน(elementary pattern) หรือส่วนประกอบโครงสร้าง(structuring element) ซึ่งส่วนประกอบโครงสร้างเหล่านี้สามารถทำได้โดยใช้แม่แบบ แต่การคำนวณแม่แบบ-รูปภาพ(image-template calculation) จะถูกหาค่าโดยผ่านพีชคณิตของเซต

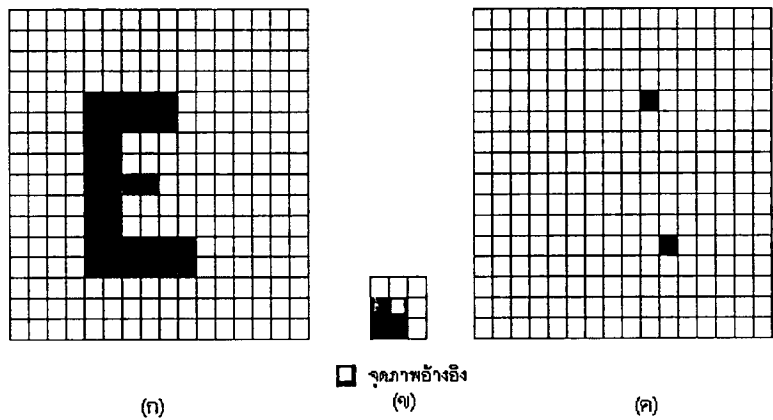
สำหรับตัวอย่างในภาพที่ 14 (ข) แสดงให้เห็นส่วนประกอบโครงสร้าง  $3 \times 3$  ซึ่งจุดภาพอ้างอิง (จุดกำเนิด) จะถูกนิยามไว้ที่จุดศูนย์กลาง และจุดภาพแสดงบริเวณของวัตถุในรูปภาพ(สีดำ) จำนวน 4 จุดและจุดภาพแสดงบริเวณของพื้นฉากในรูปภาพ(สีขาว) 5 จุด ซึ่งส่วนประกอบโครงสร้างนี้จะถูกใช้งาน เมื่อวางอยู่ที่มุมด้านขวาบนของวัตถุในภาพ ซึ่งจะมีผลต่อการเคลื่อนย้ายส่วนประกอบโครงสร้างหรือแม่แบบ ดังนั้นจุดภาพที่ใช้อ้างอิงจะเป็นตำแหน่งที่ผ่านทั้งภาพ ในแต่ละตำแหน่งที่ตรวจ จุดภาพทั้งหมดของแม่แบบจะต้องตรงกับจุดภาพของภาพ(ในภาพขาวดำ จุดภาพของแม่แบบแสดงบริเวณของวัตถุในรูปภาพ จะต้องตรงกับจุดภาพแสดงบริเวณของวัตถุในรูปภาพ และจุดภาพของแม่แบบแสดงบริเวณของพื้นฉากในรูปภาพ จะต้องตรงกับจุดภาพแสดงบริเวณของพื้นฉากในรูปภาพ) ที่แต่ละตำแหน่งของจุดภาพอ้างอิง โดยที่จุดภาพอ้างอิงนี้เป็นจริง จุดภาพแสดงบริเวณของวัตถุในรูปภาพ จะถูกเขียนเป็นอะเรย์เอาต์พุตที่สอดคล้องกันตามตำแหน่ง ดังนั้นภาพที่ได้จากการเคลื่อนภาพที่ 14 (ข) ผ่านภาพที่ 14 (ก) จะได้ภาพที่ 14 (ค)

ในทางมอร์โฟโลยีที่รู้จักกันคือ มีการเปลี่ยนรูปแบบเดิม-ลบของเซต  $A$  ด้วยส่วนประกอบโครงสร้าง  $B$  ซึ่งแทนด้วย  $A \otimes B$  และรูปแบบที่นิยามไว้ทางคณิตศาสตร์เป็น

$$A \otimes B = \{p \mid B_{fgd} \subset A; B_{bgd} \subset A^*\}$$

|            |                                                                               |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| โดยที่ $A$ | เป็นเซตของรูปภาพ $A^*$ เป็นคอมพลิเมนต์ของเซตของรูปภาพ                         |
| $B$        | เป็นเซตของส่วนประกอบโครงสร้าง                                                 |
| $B_{fgd}$  | แสดงจุดภาพแสดงบริเวณของวัตถุในรูปภาพของส่วนประกอบโครงสร้างที่ถูกเปลี่ยนแปลง   |
| $B_{bgd}$  | แสดงจุดภาพแสดงบริเวณของพื้นฉากในรูปภาพของส่วนประกอบโครงสร้างที่ถูกเปลี่ยนแปลง |
| $p$        | เป็นตำแหน่งในปัจจุบันของจุดภาพอ้างอิงของส่วนประกอบโครงสร้าง                   |

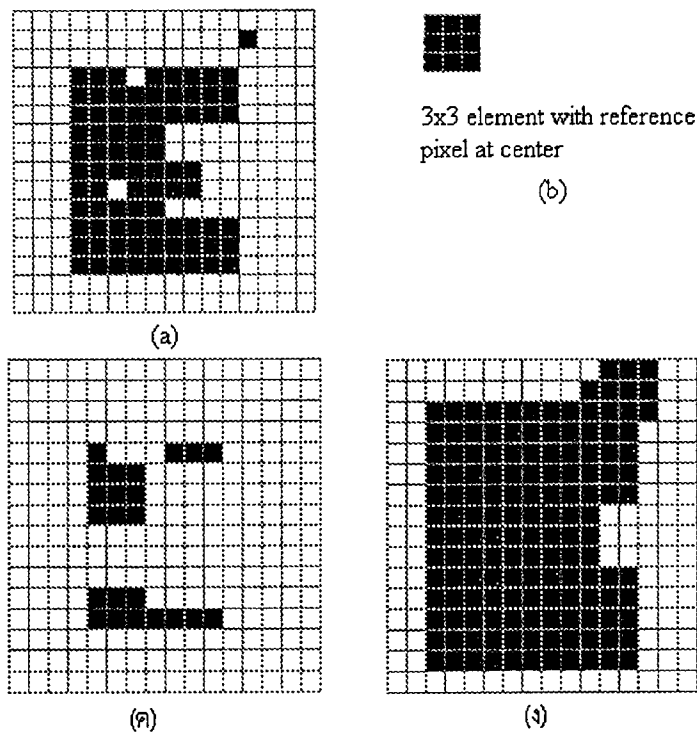
ภาพที่ 14



(ก) เซตรูปภาพต้นฉบับ (ข) ส่วนประกอบโครงสร้างที่ใช้ค้นหามุมบนด้านขวา(upper right) และ (ค) ผลลัพธ์ของภาพที่ได้

แสดงการตรวจจับจุดมุมบนด้านขวาโดยใช้ส่วนประกอบโครงสร้าง

ภาพที่ 15



(ก) รูปภาพเริ่มต้น(สีดำคือ วัตถุ), (ข) ส่วนประกอบโครงสร้างขนาดเมตริกซ์ 3x3, (ค) เกิดจากการกัดเซาะของ (ก) (ง) เกิดจากการขยายตัวของ (ก)

แสดงการกัดเซาะและการขยายตัว

### 3.5.3 การกัดเซาะ(erosion) การขยายตัว(dilation) และการเปิด (Opening)<sup>[13]</sup>

ตัวดำเนินการสองตัวแรกจะเป็นหลักการพื้นฐานที่จะทำการวิเคราะห์ทางมอร์โฟโลยีของรูปภาพ กล่าวคือ การกัดเซาะและการขยายตัว ซึ่งตัวดำเนินการทางมอร์โฟโลยีเกือบทั้งหมดจะถูกนิยามตามข้อตกลงของตัวดำเนินการพื้นฐานทั้งสอง

การกัดเซาะของเซต  $A$  โดยส่วนประกอบโครงสร้าง  $B$  จะถูกแทนด้วย  $A \ominus B'$  และรูปแบบที่ถูกนิยามทางคณิตศาสตร์เป็น

$$A \ominus B' = \{p | B_p \subset A\}$$

ซึ่ง  $B'$  เป็นรูปแบบที่ถูกสลับเปลี่ยนของเซตส่วนประกอบโครงสร้าง(structuring element set)

$B_p$  แสดงส่วนประกอบโครงสร้างที่มีศูนย์กลางอยู่ที่จุด  $p$

การขยายตัว(dilation) เป็นคุณสมบัติแบบคู่กัน(dual) กับการกัดเซาะ นั่นคือ การขยายตัวของเซต  $A$  มีค่าสมมูลกับการกัดเซาะของคอมพลีเมนต์ของ  $A^*$  (สังเกตได้ว่า ความสัมพันธ์แบบคู่กันเป็นค่าอุปมาเหมือนคุณสมบัติคู่ทางพีชคณิตบูลีนของกฎ ดี มอร์แกน(De Morgan's Laws)) ดังนั้นการขยายตัว จะเขียนแทนด้วย  $A \oplus B'$  ซึ่งนิยามได้เป็น

$$A \oplus B' = A^* \ominus B'$$

ตามวิธีทางคณิตศาสตร์แบบคู่กัน การขยายตัวสามารถเขียนแสดงโดยใช้การกัดเซาะคอมพลีเมนต์ของเซตโดยส่วนประกอบโครงสร้างอันเดียวกัน แต่ในทางปฏิบัติแล้วหมายถึง บริเวณของวัตถุในรูปภาพขาวดำสามารถที่จะถูกขยายโดยการกัดเซาะบริเวณของพื้นฉากในรูปภาพด้วยส่วนประกอบโครงสร้างอันเดียวกัน ซึ่งการขยายตัวมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์อีกอย่างที่ถูกนิยามไว้คือ

$$A \oplus B' = \{p | B_p \cap A \neq \emptyset\}$$

การขยายตัวที่ได้นิยามทางคณิตศาสตร์ จะเป็นจุดภาพที่แสดงบริเวณของวัตถุในรูปภาพที่จะถูกเขียนเป็นเอาต์พุตของเซตที่ทุกตำแหน่งของส่วนประกอบโครงสร้างอ้างอิง(structuring element reference) โดยที่บริเวณของวัตถุในรูปภาพใดๆ ในส่วนประกอบโครงสร้างที่วางทับบนจุดภาพที่แสดงบริเวณของวัตถุในรูปภาพของเซตรูปภาพ(กล่าวคือ ส่วนของวัตถุ) ผลลัพธ์ที่ได้ของตัวดำเนินการได้แสดงไว้ในภาพที่ 15

จากนิยามของโอเพอร์เรเตอร์ทั้งสองตัวสามารถนำมาประกอบกันเพื่อขยายเป็นโอเพอร์เรเตอร์ใหม่คือ การเปิด(Opening) และ การปิด (Closing) โดยมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ซึ่งถูกนิยามไว้คือ

การเปิดของเซต A ด้วย B หรือ  $A \circ B$  คือ การกั้ดเซาะ A ด้วย B จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาขยายตัวด้วย B ซึ่งสามารถเขียนได้ในรูป

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

การปิดของเซต A ด้วย B หรือ  $A \bullet B$  คือ การขยาย A ด้วย B จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มากั้ดเซาะด้วย B ซึ่งสามารถเขียนได้ในรูป

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

### 3.5.4 ตัวอย่างการทำลายเส้นให้บางแบบง่าย

จากนิยามการดำเนินการข้างต้น สามารถแสดงวิธีการทำลายเส้นให้บางแบบง่าย ๆ โดยอาศัยโอ.เปอร์เรเตอร์ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว โดยสามารถนำเสนอในรูปของ matrix operation<sup>[12]</sup> ได้ดังนี้

1. เริ่มต้นจากการกำหนด “Square Disks” ซึ่งแต่ละรูปจะทำหน้าที่เป็นอิมเมจคงที่ หรือ เทมเพลต โดยให้มีจุดเริ่มต้น ( origin ) อยู่บริเวณใกล้เคียงกับจุดศูนย์กลางของเทมเพลตมากที่สุด

ภาพที่ 16

$$D_1 = (1)$$

$$D_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$D_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$D_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$D_5 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

ฯลฯ

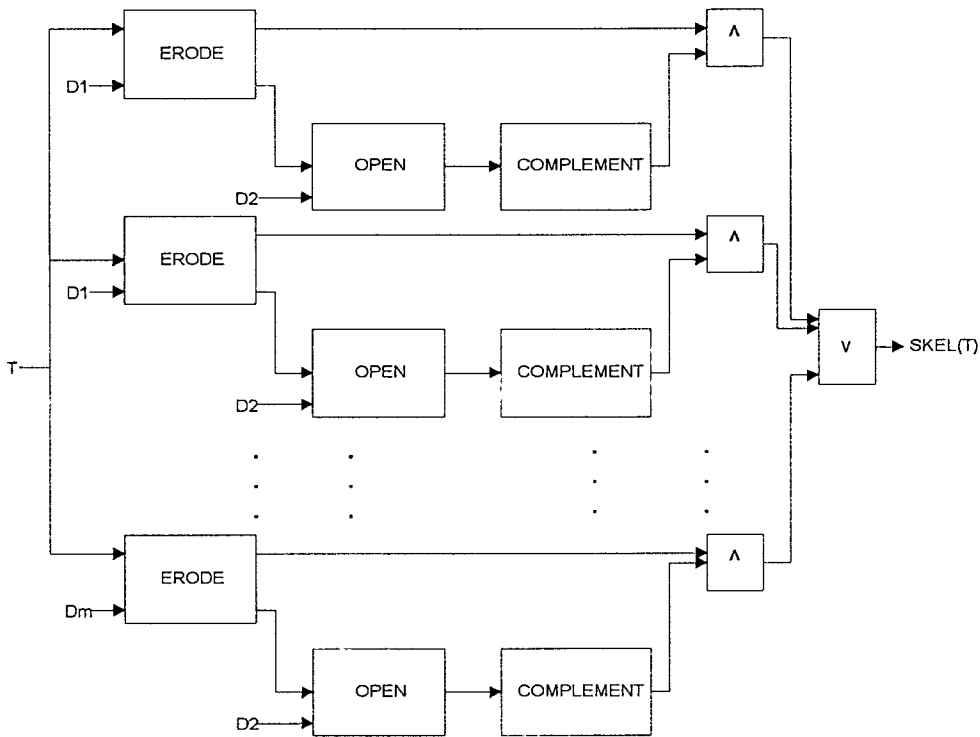
แสดงตัวอย่างของ square disks ขนาดต่าง ๆ

2. ถึงตอนนี้เราจะแสดงโอเปอเรเตอร์ SKEL ได้ดัง block diagram ดังนี้

$$f \xrightarrow{\quad\quad\quad} |SKEL| \xrightarrow{\quad\quad\quad} SKEL(f)$$

ซึ่งการดำเนินการของโอเปอเรเตอร์ SKEL สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 17

ภาพที่ 17



แสดง block diagram ของตัวดำเนินการ SKEL

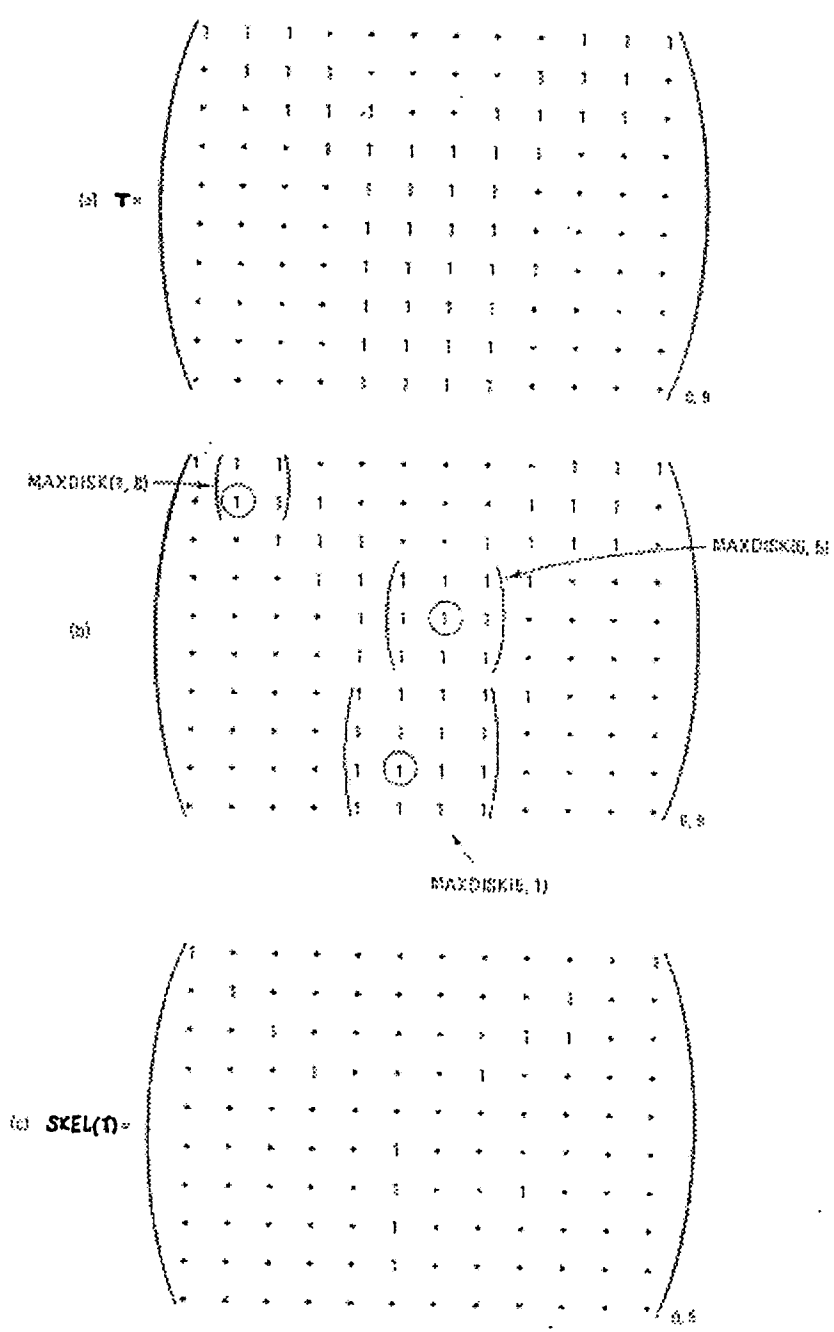
ตามรูป  $m$  คือ จำนวนที่น้อยที่สุดระหว่างจำนวนของ row และ column ของ matrix  $T$

จากทฤษฎีและสูตรทางคณิตศาสตร์ข้างต้น เมื่อนำมาดำเนินการโดยใช้ matrix operation แล้วจะพบว่า ERODE คือ การนำ square template  $D_n$  ไปหาบน  $T$  ใน subimage ที่มีจำนวนจุดสว่างเท่ากับ square template  $D_n$  แล้วลบจุดอื่นออกเหลือไว้แต่ส่วนที่เป็น origin ของ template

OPEN คือ การนำ square template  $D_n$  ไปหาบนแล้วลบจุดที่ไม่พอดีกับ template ออก

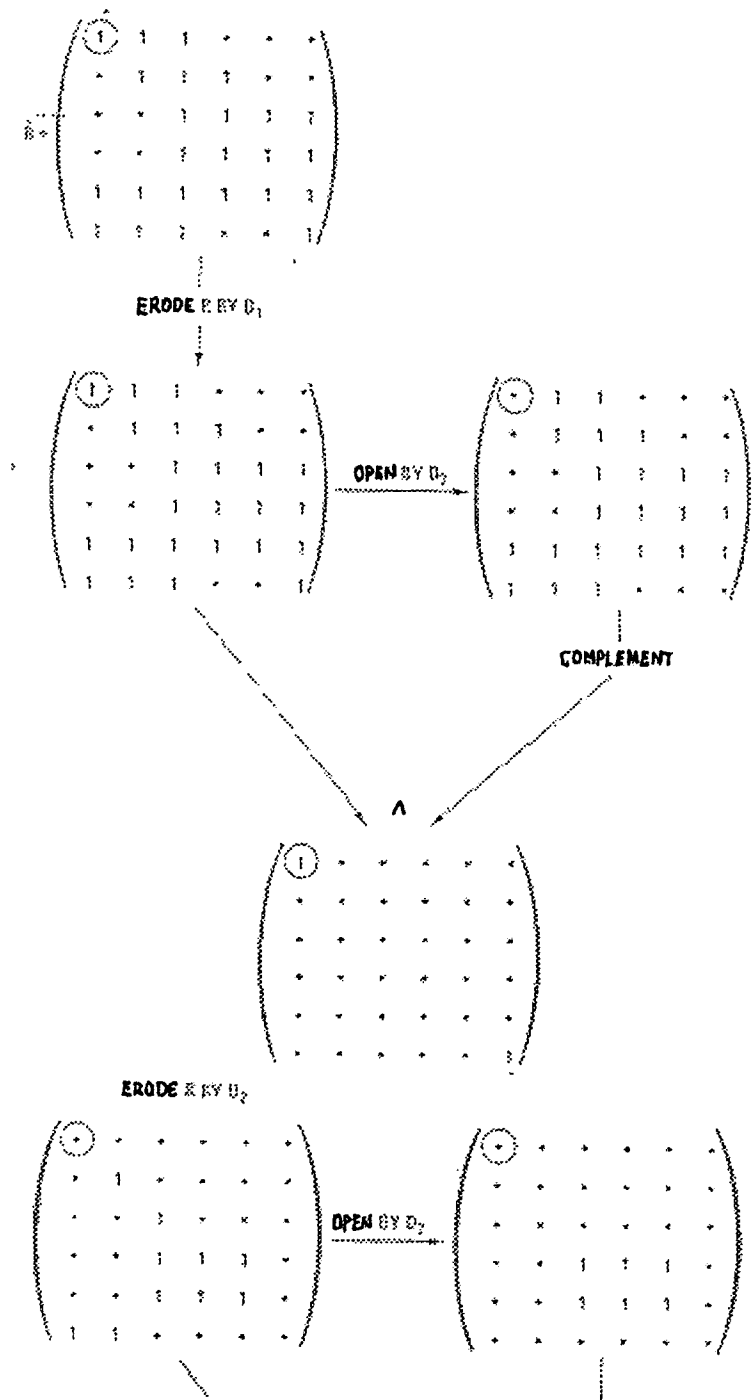
จากคณิตศาสตร์และวิธีการข้างต้นสามารถแสดงผลในรูปของการดำเนินการได้ตามตัวอย่างในภาพที่ 18

ภาพที่ 18



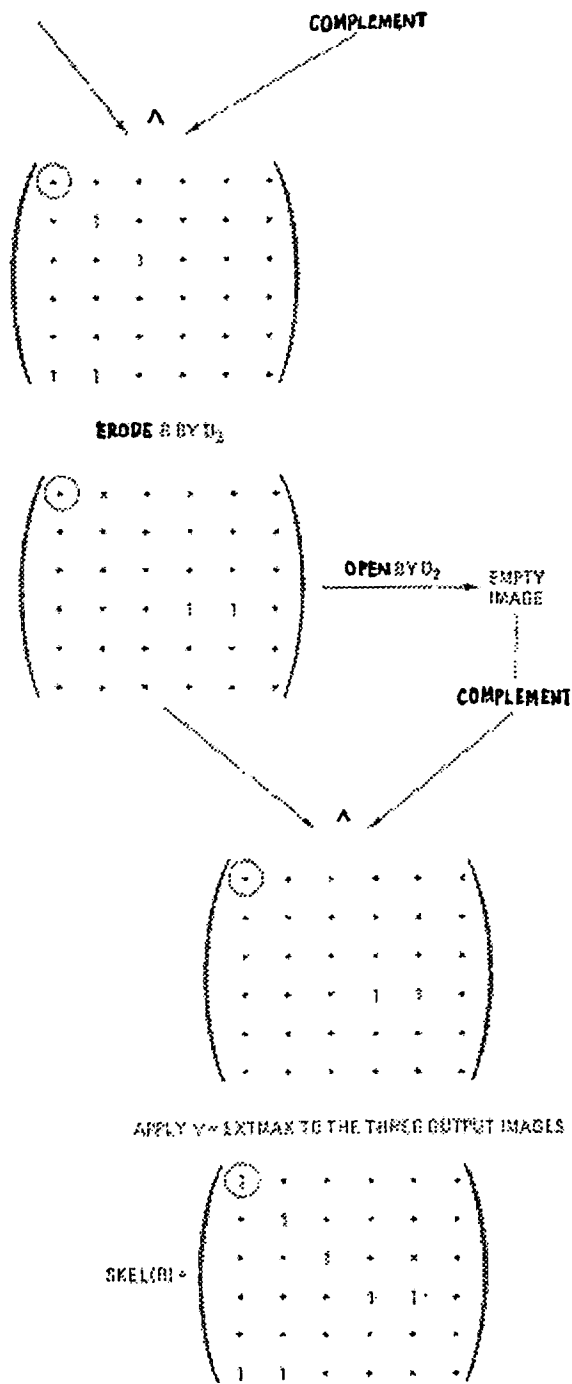
ตัวอย่างแสดงการทำงานของตัวดำเนินการ SKEL

ภาพที่ 18 (ต่อ)



ตัวอย่างแสดงการทำงานของตัวดำเนินการ SKEL

ภาพที่ 18 (ต่อ)



ตัวอย่างแสดงการทำงานของตัวดำเนินการ SKEL

เทคนิคทางคณิตศาสตร์และความรู้ในส่วนของสเกลเลตัน, มอร์โฟโลยี, การเปลี่ยนรูปแบบ  
เติม-ลบ, การกัดเซาะและการขยายตัว ที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดจะถูกนำมาใช้ประกอบกันเพื่อใช้ใน

การทำลายเส้นให้บาง ซึ่งขั้นตอนวิธีในการทำลายเส้นให้บางสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้จะได้อธิบายไว้อย่างละเอียดใน บทที่ 4

### 3.6 สรุปการประมวลผลภาพเบื้องต้น

วิธีการต่าง ๆ ในการประมวลผลภาพเบื้องต้นดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นวิธีการพื้นฐานที่นิยมใช้กันสำหรับรูปภาพทั่ว ๆ ไป นำมาอธิบายเพื่อให้เกิดความเข้าใจในพื้นฐานและรายละเอียดที่จำเป็น ซึ่งจะเห็นว่า โดยส่วนใหญ่ยังไม่มีคุณสมบัติเพียงพอสำหรับการนำไปใช้กับภาพลายพิมพ์นิ้วมือและระบบที่มีความเป็นอัตโนมัติ จึงต้องทำการปรับปรุงหรือเพิ่มเติมรายละเอียดของแต่ละวิธีการเพื่อพัฒนาให้เกิดขึ้นเป็นอัลกอริธึมที่มีความเป็นอัตโนมัติและเหมาะสมต่อภาพลายพิมพ์นิ้วมือโดยเฉพาะเจาะจงซึ่งจะได้กล่าวถึงโดยละเอียดในบทต่อไป

## บทที่ 4

### การปรับปรุงอัลกอริธึมในการประมวลผลภาพเบื้องต้น เพื่อให้เหมาะสมกับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ

#### 4.1 กล่าวนำ

จากบทที่ผ่านมาจะเห็นว่า มีบางวิธีการและบางทฤษฎีที่ควรได้รับการปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพและมีความเป็นอัตโนมัติมากขึ้นก่อนที่จะนำมาใช้งานกับการประมวลผลภาพลายพิมพ์นิ้วมือ ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการที่ได้ปรับปรุงจากทฤษฎีพื้นฐานในบทที่แล้วเพื่อให้เหมาะสมสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ ก่อนที่จะทำการทดลองในบทต่อไป ซึ่งมีความประสงค์เพื่อลดการใช้นักวิทยาศาสตร์ที่มีความรู้ความสามารถและประสบการณ์ ในการทำหน้าที่นี้ และลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานลง

#### 4.2 การทำให้เรียบและการกำจัดสัญญาณรบกวน ( Smoothing & Noise Reduction ) <sup>[5][12][14]</sup>

ผลข้างเคียงที่ไม่ต้องการจากการกำจัดสัญญาณรบกวน ด้วยการดำเนินการตามกรรมวิธีการเฉลี่ยค่ารอบย่าน ( Average Filtering ) คือ การเกิดความเบลอของภาพและรายละเอียดสัญญาณรบกวนที่ชัดเจนขึ้น อาจแก้ไขได้โดยการใช้เทรชโฮลด์ ( Threshold ) แต่ปัญหาคือการกำหนดเทรชโฮลด์ ( Threshold ) ที่มีความเป็นทั่วไประหว่างทุกภาพของลายนิ้วมือทำได้ยาก จึงใช้ฟิลเตอร์แบบมัชฐานแทนระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพ โดยการใช้ค่ามัชฐานของระดับสีเทาในรอบย่านนั้น ๆ ของจุดภาพแทนการเฉลี่ยจะทำให้ภาพที่ได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

ตัวกรองมัชฐาน ( Median Filtering ) <sup>[14]</sup> นี้เป็นฟิลเตอร์ชนิดความถี่ต่ำผ่าน ( Low Pass Filter ) ทำได้โดยการกำหนดกรอบซึ่งในที่นี้ใช้กรอบขนาด 3\*3 กรอบลงไปที่ทุก ๆ จุดในภาพ ดังแสดงในภาพที่ 14 จากนั้นหาค่าของข้อมูลที่มีตำแหน่งอยู่ตรงกลางของชุดข้อมูลตั้งแต่  $x_0$  ถึง  $x_8$  เมื่อนำชุดข้อมูลนั้นมาทำการเรียงลำดับจากค่าน้อยไปหามากมาแทนที่ในตำแหน่ง  $x_0$  ซึ่งลักษณะการดำเนินการจะเป็นเช่นเดียวกับวิธีการเฉลี่ยค่ารอบย่าน ( Average Filtering ) แตกต่างกันที่วิธีการที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าที่จะนำมาแทนค่าในจุดที่พิจารณา โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 เรียงลำดับข้อมูลจากค่าน้อยไปมาก

ขั้นที่ 2 ค่ามัชฐานซึ่งจะนำมาแทนที่  $x_0$  คือ ค่าระดับเทาของข้อมูลที่อยู่ตำแหน่ง  $(n+1)/2$  สำหรับในที่นี้ข้อมูลมี 9 ค่า ดังนั้นค่าที่จะนำมาแทนที่  $x_0$  คือ ค่าของข้อมูลซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง  $(9+1)/2$  ซึ่งก็คือข้อมูลในตำแหน่งที่ 5 เมื่อเรียงลำดับ  $x_0$  ถึง  $x_8$  จากน้อยไปหามาก

ภาพที่ 19

|    |    |    |
|----|----|----|
| x3 | x2 | x1 |
| x4 | x0 | x8 |
| x5 | x6 | x7 |

แสดงหน้ากาก (Mask) ขนาด 3\*3 สำหรับใช้ในการทำให้เรียบด้วยตัวกรองแบบมัธยฐาน

จากวิธีการข้างต้นสามารถนำมาเขียนเป็นรายละเอียดในส่วนของโปรแกรมได้ดังนี้

```
Dim element(25, 3) As Integer ' over dimension for another blocksize
```

```
Dim a, temp, u, v As Integer
```

```
BlockSize = 3 ' change it if you want to change blocksize
```

```
u = 0
```

```
v = 0
```

```
temp = 0
```

```
If BlockSize < 0 Then Exit Sub
```

```
' for each element in picture
```

```
For i = Int(BlockSize / 2) To YRes - Int(BlockSize / 2)
```

```
For j = Int(BlockSize / 2) To XRes - Int(BlockSize / 2)
```

```
' for each element in filter
```

```
a = 0
```

```
For k1 = -Int(BlockSize / 2) To Int(BlockSize / 2)
```

```
For k2 = -Int(BlockSize / 2) To Int(BlockSize / 2)
```

```
a = a + 1
```

```
' and for each color component
```

```
For k = 0 To 2
```

```
' read value for each element in filter
```

```
element(a, k) = source_pixel(j + k1, i + k2, 0)
```

```
Next
```

```
Next
```

```
Next
```

‘ sort value of each element in filter

For u = 1 To a

For v = 1 To a - 1

For k = 0 To 2

If element(v, k) <= element(v + 1, k) Then

temp = element(v, k)

element(v, k) = element(v + 1, k)

element(v + 1, k) = temp

End If

Next

Next

Next

‘ Median = element(5,k) ‘ only for blocksize = 3 and Change if blocksize changed

For k = 0 To 2

‘ and for each color componet

vsouce\_pixel(k) = element(5, k)

‘ only for blocksize = 3 and Change if blocksize changed

target\_pixel(j, i, k) = vsouce\_pixel(k)

Next

Target.PSet (j, YRes - i - 1), RGB(vsouce\_pixel(0), vsouce\_pixel(1), vsouce\_pixel(2))

Next

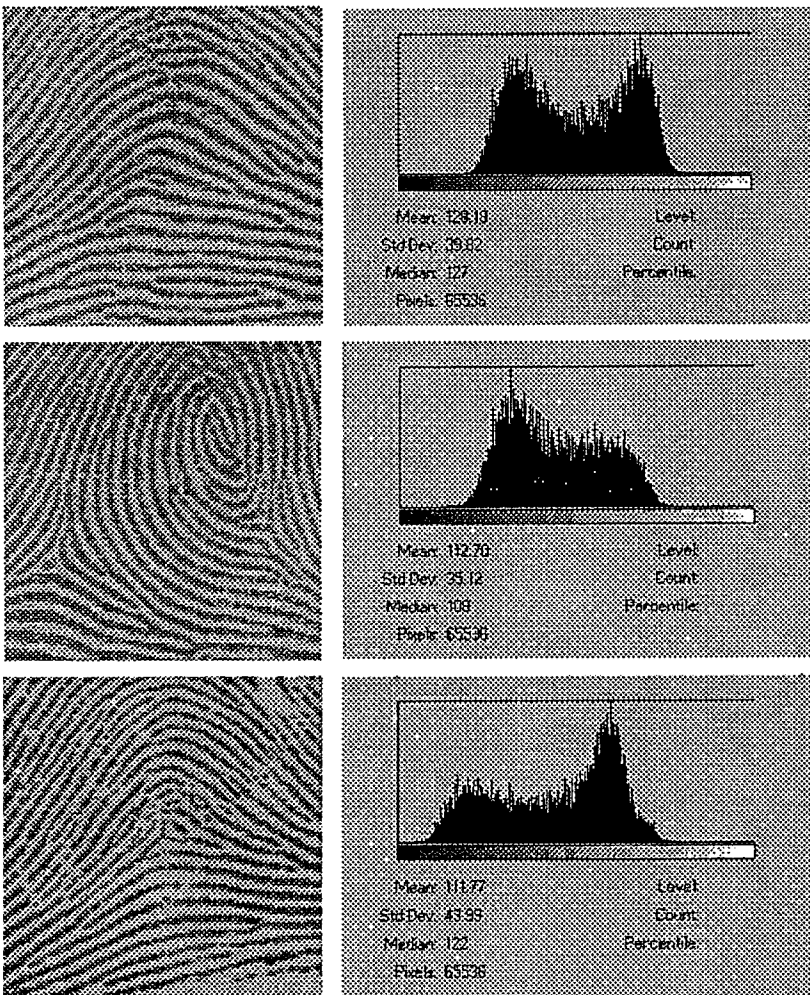
Next

#### 4.3 การปรับปรุงการแปลงภาพถ่ายพิมพ์นิ้วมือเป็นภาพแบบสองระดับ (Binarization) <sup>[5]</sup>

ภาพถ่ายพิมพ์นิ้วมือเป็นภาพที่มีลักษณะพิเศษ โดยตลอดทั้งภาพจะสามารถแบ่งความแตกต่างออกได้เป็นสองส่วน ดังนั้นการแปลงภาพถ่ายพิมพ์นิ้วมือให้เป็นภาพแบบสองระดับจึงเป็นกระบวนการที่พยายามแยกความแตกต่างระหว่างเส้นนูนและเส้นร่อง หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า การแปลงภาพให้เป็นสองระดับเป็นกระบวนการที่แยกความแตกต่างระหว่างลายนิ้วมือและภาพหลัง ความยากของปัญหาจึงอยู่ที่วิธีการหาค่าเทรชโวลด์ที่เหมาะสม ซึ่งผู้ใช้ต้องทำการกำหนดค่าเทรชโวลด์ที่เหมาะสมว่า ควรเป็นเท่าไร วิธีการในการหาค่าเทรชโวลด์ที่เหมาะสมสำหรับภาพถ่ายพิมพ์นิ้วมือโดยใช้คนพิจารณาสามารถทำได้โดยการนำภาพถ่ายพิมพ์นิ้วมือมาเขียนฮิสโต

แถมระดับเทา โดยให้แกน x เป็นระดับสีเทา (Gray - Level) และแกน y เป็นความถี่ของจำนวนของระดับสีเทา จากนั้นพิจารณาจากจุดแบ่งแยกของค่าการกระจายของพื้นหลังและค่าการกระจายของวัตถุเพื่อหาค่าเทรชโฮลด์ที่เหมาะสม<sup>[7]</sup> จากภาพที่ 20 จะเห็นว่า ฮิสโตแกรมระดับเทาถูกแยกออกเป็น 2 กลุ่มชัดเจน (Bi-model)<sup>[1]</sup> ดังนั้นค่าตรงกลางระหว่างทั้ง 2 กลุ่ม จะเป็นค่าเทรชโฮลด์ที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกวัตถุออกจากพื้นหลัง

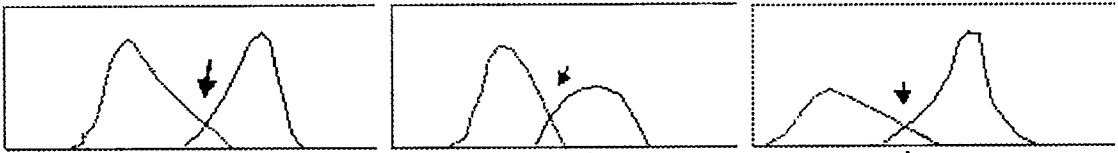
ภาพที่ 20



แสดงลักษณะการแยกฮิสโตแกรมระดับเทาเป็น 2 กลุ่ม ( Bi-model ) ของภาพลายพิมพ์นิ้วมือ

จากภาพที่ 20 ข้อมูลความถี่ระดับเทาของภาพลายพิมพ์นิ้วมือ สามารถนำมาสร้างเส้นโค้งความถี่<sup>[1]</sup> และด้วยลักษณะที่แยกเป็นสองของเส้นโค้งความถี่ทำให้สามารถปรับให้เป็นเส้นโค้งเรียบได้จำนวน 2 รูปต่อภาพลายพิมพ์นิ้วมือ 1 รูป ตามภาพที่ 21 โดยพื้นที่ใต้เส้นโค้งความถี่ทั้งสองรูปเมื่อรวมกันแล้วจะใกล้เคียงกับพื้นที่ใต้กราฟเส้นโค้งความถี่

ภาพที่ 21



แสดงลักษณะของของเส้นโค้งความถี่ของข้อมูลรูปภาพตามภาพที่ 20

จากภาพที่ 21 จุดที่เป็นจุดตัดระหว่างเส้นโค้งความถี่ทั้งสองรูปจะเป็นจุดซึ่งแยกระหว่างวัตถุ (เส้นสัน) และพื้นหลัง (เส้นร่อง) ซึ่งแสดงไว้ด้วยสัญลักษณ์ “ลูกศร” ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ค่าเทรชโวลด์ที่เหมาะสมของภาพลายพิมพ์นิ้วมือจะเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงของฮิสโตแกรมระดับสีเทา ซึ่งมีค่าไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับการใช้ดุลยพินิจในการพิจารณาของคนแต่ละคน ซึ่งอาจให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน เพื่อพัฒนาเป็นอัลกอริทึมที่ทำงานอัตโนมัติโดยไม่ต้องใช้คนเป็นผู้ตัดสินใจ สำหรับปัญหาในการหาค่าเทรชโวลด์โดยอัตโนมัติ ได้มีผู้เคยพยายามแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น วิธีการหาค่าเอนโทรปีของ Kapur et al (Kapur et al's entropy) <sup>[7]</sup> และวิธีการใช้ฟัซซี่เซต <sup>[8]</sup> ฯลฯ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้จะขอเสนอวิธีการอีกวิธีการหนึ่ง ซึ่งอาจเหมาะสมสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือโดยเฉพาะ เนื่องจากวิธีการแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพสองระดับแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียที่ไม่เหมือนกันบางวิธีการอาจเหมาะสมกับงานในลักษณะหนึ่งแต่ไม่เหมาะสมกับงานในอีกลักษณะ

วิธีการที่นำเสนอนี้จะใช้การหาค่าเทรชโวลด์ด้วยข้อมูลทางสถิติ <sup>[1]</sup> เพื่อให้สอดคล้องกับธรรมชาติของข้อมูลภาพลายพิมพ์นิ้วมืองดกล่าวไว้แล้วข้างต้น โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยการใช้การวัดแนวโน้มสู่ส่วนกลางและการกระจาย เริ่มต้นจากการพิจารณาธรรมชาติของภาพลายพิมพ์นิ้วมือซึ่งประกอบด้วยสองส่วนเท่า ๆ กัน คือ เส้นสันหรือวัตถุ และ เส้นร่องหรือพื้นหลัง ดังนั้นค่าเทรชโวลด์สำหรับลายพิมพ์นิ้วมือควรเป็นค่าที่มีลักษณะที่อยู่ตรงกลางของข้อมูลการกระจายของจุดภาพ ซึ่งจากทฤษฎีทางสถิติ มีค่าทางสถิติสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการวัดแนวโน้มสู่ส่วนกลาง (Central Tendency) หลายวิธี คือ ค่าเฉลี่ย (ค่าเฉลี่ยเลขคณิต, ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต, ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก), มัชยฐาน (Median), ฐานนิยม (Mode) ค่าสถิติที่ใช้วัดแนวโน้มสู่ส่วนกลางนี้เป็นการคำนวณค่ากลางของข้อมูลว่าอยู่ที่ใด ทำให้เราสามารถใช้ค่ากลางบอกลักษณะของข้อมูลได้ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันดังนี้

#### 4.3.1 ค่าเฉลี่ย (Mean)

ถือเป็นค่ากลางของข้อมูลแบบหนึ่ง เราจะใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนของข้อมูลที่น่ามาคำนวณการหาค่าเฉลี่ยที่นิยมใช้กันคือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตหรือมัชฌิมเลขคณิต

ให้  $X_i$  แทนค่าของข้อมูลตัวที่  $i$  แล้วค่าเฉลี่ยเลขคณิต ( $\mu$ ) =  $\sum X_i / N = (X_1 + X_2 + \dots + X_n) / N$

ข้อดี - สะดวกในการคำนวณ ถึงแม้จะมีข้อมูลน้อย

ข้อเสีย - ค่าเฉลี่ยจะไม่ใช้ค่ากลางที่ดี( ค่าเฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงไปมาก ) ถ้าสมาชิกในกลุ่มที่นำมาคำนวณมีค่าที่ผิดปกติไป (ค่าสูงเกินไปหรือค่าต่ำเกินไป)

#### 4.3.2 มัธยฐาน ( Median )

ค่าของข้อมูลที่มีตำแหน่งอยู่ตรงกลางของชุดข้อมูล เมื่อนำชุดข้อมูลนั้นเรียงลำดับจากค่าน้อยไปหามาก ดังนั้นจะมีข้อมูลอยู่ครึ่งหนึ่งที่น้อยกว่าค่ามัธยฐาน และมีข้อมูลอีกครึ่งหนึ่งที่มากกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งมัธยฐานจะหาได้จาก

กรณีจำนวนข้อมูลเป็นเลขคี่ ( $n$  เป็นเลขคี่)

ขั้นที่ 1 เรียงลำดับข้อมูลจากค่าน้อยไปมาก

ขั้นที่ 2 ค่ามัธยฐานคือ ค่าของข้อมูลที่อยู่ตำแหน่ง  $(n+1)/2$

กรณีจำนวนข้อมูลเป็นเลขคู่ ( $n$  เป็นเลขคู่)

ขั้นที่ 1 เรียงลำดับข้อมูลจากค่าน้อยไปมาก

ขั้นที่ 2 ค่ามัธยฐาน = ค่าเฉลี่ยระหว่างข้อมูลที่อยู่ตำแหน่งที่  $n/2$  และตำแหน่งที่  $(n+1)/2$

ข้อดี - ค่ามัธยฐานจะไม่ถูกกระทบกระเทือนเมื่อมีข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ

ข้อเสีย - ใช้ได้กับข้อมูลเชิงปริมาณเท่านั้น

#### 4.3.3 ฐานนิยม (Mode)

ค่าของข้อมูลที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดหรือมีความถี่สูงที่สุดนั่นเอง

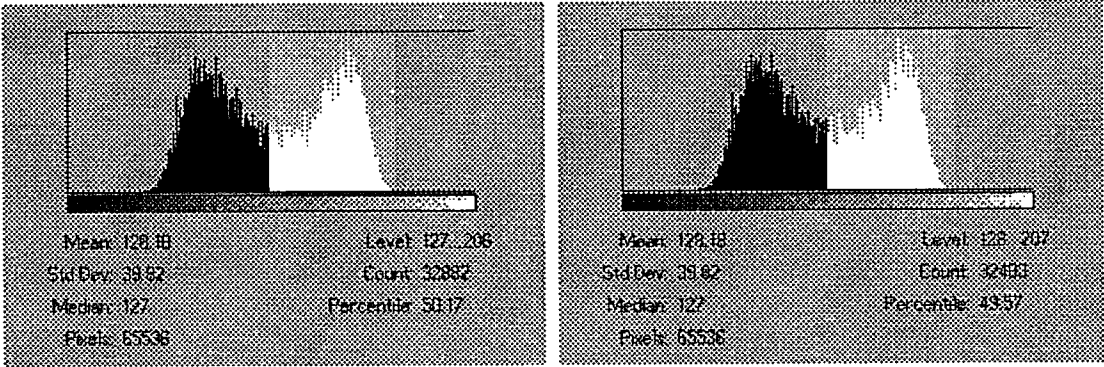
ข้อดี - ค่าฐานนิยมจะไม่ถูกกระทบกระเทือนเมื่อมีข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ

ข้อเสีย - ในกรณีที่ไม่มีค่าของข้อมูลซ้ำกัน จะไม่มีค่าฐานนิยม

- อาจมีค่าฐานนิยมมากกว่า 1 ค่า สำหรับข้อมูลชุดหนึ่ง ๆ โดยที่ค่าฐานนิยมนั้นอาจจะแตกต่างกันมาก

เมื่อพิจารณาจากลักษณะของค่าสถิติแต่ละค่าประกอบกับธรรมชาติของภาพลายพิมพ์นิ้วมือแล้ว เห็นได้ว่า ค่าสถิติซึ่งควรนำมาใช้เป็นค่าเทรสโซลด์สำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือควรเป็นค่ามัธยฐานหรือค่าเฉลี่ย ทั้งนี้เพราะลักษณะการแยกเป็นสองส่วน (Bi-modal) ของข้อมูลจะทำให้เกิดปัญหาเมื่อใช้ฐานนิยมเป็นค่าเทรสโซลด์ เนื่องจากเทรสโซลด์อาจจะอยู่ในตำแหน่งสันของฮิสโตแกรมพื้นหลัง (เส้นร่อง) หรือตำแหน่งสันของฮิสโตแกรมวัตถุ (เส้นสัน) ซึ่งไม่ถูกต้อง

ภาพที่ 22



แสดงฮิสโตแกรมระดับเทาและค่าสถิติ

เมื่อดูจากฮิสโตแกรมตามภาพที่ 22 ค่าสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต (mean) หรือ ค่ามัธยฐาน (median) จะอยู่ใกล้เคียงกันคือ 128 และ 127 เนื่องจากรูปลายพิมพ์นิ้วมือต้นแบบเป็นรูปมาตรฐานที่มีความสมบูรณ์ มีความแตกต่างระหว่างวัตถุและพื้นหลังอย่างชัดเจน คัดเลือกมาเพื่อนำมาใช้ในการทดลองโดยเฉพาะ ดังนั้นค่าสถิติสำหรับใช้วัดแนวโน้มส่วนกลางจึงมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งเมื่อฮิสโตแกรมระดับสีเทาเปลี่ยนเป็นรูปอื่น ค่าเทรชโวลด์ของภาพที่เหมาะสมก็จะเปลี่ยนไป

การแปลงภาพลายพิมพ์นิ้วมือเป็นภาพแบบสองระดับด้วยการดำเนินการเป็นส่วน ๆ

( Local Binarization )<sup>[5]</sup>

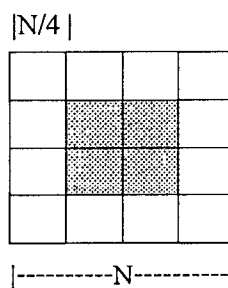
เมื่อได้วิธีการหาค่าเทรชโวลด์โดยอัตโนมัติโดยใช้ค่าสถิติดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ในงานวิจัยนี้ยังได้พิจารณาต่อไปว่า การแปลงภาพลายพิมพ์นิ้วมือระดับเทาเป็นภาพสองระดับโดยใช้เทรชโวลด์ที่หาได้ค่าเดียวกันตลอดทั้งภาพ ( Global Binarization ) อาจประสบปัญหาการขาดหายไปของข้อมูลในบางส่วนของภาพผลลัพธ์ ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนของการพิมพ์มือโดยเจ้าหน้าที่วิทยาการตำรวจ จะจับนิ้วมือของผู้ต้องหาวางลงบนช่องสำหรับพิมพ์แล้วใช้นิ้วของเจ้าหน้าที่วิทยาการกดลงบนนิ้วของผู้ต้องหาแล้วกดจากซ้ายไปขวา ซึ่งแรงกดนี้จะไม่เท่ากันดังนั้น ส่วนไหนของลายนิ้วมือที่ได้รับแรงกดมากจะมีความเข้มของหมึกพิมพ์มากกว่าบริเวณอื่น และตรงกันข้ามสำหรับบริเวณที่ได้รับแรงกดน้อย ดังนั้นจะทำให้บางพื้นที่ที่ได้รับแรงกดน้อยจะเกิดการสูญเสียของข้อมูล เมื่อพิจารณาจากสาเหตุดังกล่าว (พฤติกรรมในการพิมพ์ลายนิ้วมือ) จึงเห็นว่า ควรทำการแปลงภาพลายพิมพ์นิ้วมือระดับเทาเป็นภาพสองระดับด้วยการแบ่งแยกรูปภาพออกเป็น ส่วน ๆ แล้วหาค่าเทรชโวลด์ที่เหมาะสม สำหรับการแปลงเป็นภาพสองระดับเฉพาะในส่วนที่แบ่งแยก ( Local Binarization ) ไปเป็นส่วน ๆ จนกระทั่งครบทั้งรูปภาพก็จะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

จากวิธีการข้างต้นสามารถนำมาเขียนเป็นรายละเอียดส่วนของโปรแกรมได้ดังนี้

```
' for each block in picture
For row = 0 to rowmax step Blocksize
  For col = 0 to colmax step Blocksize
    ' for each element in block
    For rowinblock = 1 to blocksize
      For colinblock = 1 to blocksize
        If image[rowinblock][colinblock] > threshold
          then image[rowinblock][colinblock] = MAX
          else image[rowinblock][colinblock] = MIN
      Next
    Next
  Next
Next
Next
Next
```

จากรายละเอียดการทำงานตามวิธี Local Binarization ข้างต้นจะเห็นว่า อาจทำให้เกิดปัญหาในเรื่องความต่อเนื่องที่เกิดขึ้นในช่วงต่อของผลที่ได้จากการแปลงภาพให้เป็นสองระดับทีละส่วนเนื่องจากผลของกระบวนการที่ไม่ขึ้นต่อกันของแต่ละพื้นที่ย่อยที่แบ่งแยกเป็นกรอบไว้ ซึ่งผู้วิจัยจึงคิดหาวิธีเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการกำหนดขนาดพื้นที่ให้เหลื่อมกันอย่างเพียงพอ (adequate size)

ภาพที่ 23



แสดงขนาดพื้นที่ที่ใช้หาค่าเทรชโวลด์และการเหลื่อมกันในการเลื่อนกรอบ

จากภาพที่ 23 จะเห็นว่า สำหรับหน้าต่างที่มีจุดภาพขนาด  $N \times N$  จะมีเงา( Shadowing ) ขนาดพื้นที่  $(N/2) \times (N/2)$  ซึ่งการหาค่าเทอร์สโวลด์จะหาจากพื้นที่  $N \times N$  แต่การแปลงเป็นภาพสองระดับจะดำเนินการกับเฉพาะพื้นที่ที่เป็นเงาซึ่งมีขนาด  $(N/2 \times N/2)$  เท่านั้น พื้นที่ถัดไปจะถูกกำหนดโดยการเลื่อนไปอีก  $N/2$  ดังนั้นพื้นที่ทั้งหมดของรูปภาพจะถูกดำเนินการโดยการเลื่อนไปครั้งละ  $N/2$  ตามแนวแกน X และแนวแกน Y ตามลำดับ ซึ่งในบทต่อไปจะทำการทดลองเพื่อหาขนาดของกรอบหน้าต่างที่เหมาะสม

ภาพที่ 24

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| x8  | x7  | X6  | x5  |
| x9  | x2  | X1  | x16 |
| x10 | x3  | X4  | x15 |
| x11 | x12 | X13 | x14 |

แสดงตัวอย่างหน้าต่างขนาด  $4 \times 4$  ใช้ในการหาค่าเทอร์สโวลด์ของภาพที่ละส่วน

ส่วนของโปรแกรมสำหรับวิธีการที่ปรับปรุงแล้วสามารถเขียนได้ดังนี้

```
' for each block in picture
For row = 0 to rowmax step Blocksize/2
  For col = 0 to colmax step Blocksize/2
    ' for only element in shadow area (see figure 18)
    For rowinblock = (Blocksize/4+1) to (3*blocksize/4)
      For colinblock = (Blocksize/4+1) to (3*blocksize/4)
        If image[rowinblock][colinblock] > threshold
          then B_Wimage[rowinblock][colinblock] = MAX
          else B_Wimage[rowinblock][colinblock] = MIN
      Next
    Next
  Next
Next
```

จากส่วนของโปรแกรมข้างต้นจะเห็นว่า การเขียนข้อมูลค่าสองระดับจะไม่เขียนทับไปบนข้อมูลค่าระดับเทาของภาพเดิม เนื่องจากการเลื่อนแบบเหลื่อมกันนี้ทำให้ข้อมูลค่าระดับเทาบางค่าในกรอบเก่าจะถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณหาเทอร์สโวลด์ในกรอบใหม่ด้วย

#### 4.4 การทำให้วัตถุในภาพบาง ( Thinning ) สำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ<sup>[18][19]</sup>

โดยทั่วไปภาพลายพิมพ์นิ้วมือมักจะมีลักษณะที่ไม่สมบูรณ์อาจเนื่องมาจากช่องว่างภายในเส้นสันซึ่งมีสาเหตุมาจากลักษณะที่เป็นรอยหยักหรือเป็นอู้งของผิวหนัง การมีเส้นสันที่ติดกัน เนื่องมาจากการกระจายของหมึกเนื่องมาจากการกดนิ้วมือหรือการลงหมึกที่มากเกินไปหรือการหมุนของนิ้วมือขณะทำการพิมพ์ เพื่อแก้ไขปัญหาลักษณะเหล่านี้จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการในการปรับปรุงคุณภาพภาพลายพิมพ์นิ้วมือ ( Enhancement ) ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ยิ่งไปกว่านั้นเนื่องจากลายพิมพ์นิ้วมือโดยทั่วไปมักมีขนาดเล็กและเส้นสันมักอยู่ใกล้ชิดกัน ดังนั้นความบกพร่องหรือสัญญาณรบกวนจึงอาจเกิดขึ้นได้ในทุกกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งผลของข้อบกพร่องดังกล่าวจะทำให้การทำให้วัตถุในภาพบางเพื่อเก็บเฉพาะข้อมูลของเส้นสันจึงเป็นเรื่องยากยิ่งขึ้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าว กระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อัลกอริธึมที่มีวิธีการและขั้นตอนในการดำเนินการที่พิจารณาแล้วว่า เหมาะสมกับธรรมชาติของภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่สุด โดยเลือกใช้อัลกอริธึมแบบขนานของ Frank Y. Shih และ Wai-Tak Wong<sup>[18]</sup> ซึ่งได้นำอัลกอริธึมของ Guo และ Hall<sup>[19]</sup> อันเป็นอัลกอริธึมแบบขนานสมบูรณ์แบบโดยไม่มีการใช้วงรอบย่อยเข้ามาเกี่ยวข้อง มาทำการประยุกต์เพื่อแก้ไขปัญหสัญญาณรบกวนที่ปรากฏบริเวณขอบภาพด้วยการเพิ่มขั้นตอนการทำให้เรียบโดยใช้ค่าดัชนีและเงื่อนไขเดิมในการเติมจุดภาพ เทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อยู่บนพื้นฐานและหลักการเดียวกับที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 แต่ได้มีการเพิ่มนิยามและการคำนวณสำหรับเทมเพลตขนาด  $3 \times 3$  ซึ่งจะขอแสดงรายละเอียดไว้เพื่อทำความเข้าใจเพิ่มเติมจากบทที่แล้ว ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการที่ใช้และการคำนวณด้วยคณิตศาสตร์บูลีนสำหรับเทมเพลต  $5 \times 5$  เพื่อช่วยลดปัญหาการขาดการเชื่อมต่อและปัญหาเรื่องของรูปทรง

##### โทโปโลยี<sup>[3]</sup>

โทโปโลยี เป็นสาขาหนึ่งของวิชาคณิตศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของรูปลักษณะทางเรขาคณิต ลักษณะเฉพาะทางโทโปโลยีที่จะใช้จำแนกกลุ่มของจุดภาพในการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ จะมีจุดปลาย, จุดตัด, จุดแยก, จุดเชื่อมต่อ เป็นต้น

การหาค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยีนี้ได้จากการกำหนดหน้าตา  $3 \times 3$  ครอบบิตที่ต้องการหาตั้งภาพที่ 25 ซึ่งค่าของ  $x_0, x_1, \dots, x_8$  เป็นบิตทางดิจิตอลมีค่าเป็น 0 หรือ 1 ซึ่งเราพิจารณาเฉพาะเมื่อ  $x_0 = 1$  เท่านั้น

ภาพที่ 25

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| $x_4$ | $x_3$ | $x_2$ |
| $x_5$ | $x_0$ | $x_1$ |
| $x_6$ | $x_7$ | $x_8$ |

แสดงหน้าตาขนาด 3 x 3 บิท

จากการหาค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยี ค่าตัวเลขคอนเนคเตด (connected number-NC) ของ  $x_0$  ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$Nc^{(4)} = \sum_{k \in S1} (X_k - X_k X_{k+1} X_{k+2})$$
$$Nc^{(8)} = \sum_{k \in S1} (\bar{X}_k - \bar{X}_k \bar{X}_{k+1} \bar{X}_{k+2})$$
$$S1 = \{ 1, 3, 5, 7 \}$$

เมื่อตัวห้อย  $k \geq 9$  หรือ  $k \leq 0$  แล้วค่าของ  $k$  จะเป็น  $k - 8$  หรือ  $k + 8$  ตามลำดับ ส่วน  $\bar{X}$  หมายถึง  $(1 - X)$  และตัวยก (4) หรือ (8) หมายถึง ค่าการเชื่อมต่อแบบ 4 หรือค่าการเชื่อมต่อแบบ 8 ตามลำดับ สมการทั้งสองสามารถแยกคุณสมบัติทางโทโปโลยีของ  $x_0$  ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3

แสดงค่าการจำแนกของค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยีของ  $x_0$

| ค่าของ $Nc^{(4)}$ หรือ $Nc^{(8)}$ | คุณสมบัติของ $x_0$                           |
|-----------------------------------|----------------------------------------------|
| 0                                 | จุดภายใน(internal) หรือจุดโดดเดี่ยว(isolate) |
| 1                                 | จุดปลาย(end)                                 |
| 2                                 | จุดต่อเนื่อง(connect)                        |
| 3                                 | จุดแยก(branch)                               |
| 4                                 | จุดตัด(cross)                                |

แสดงค่าการจำแนกของค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยีของ  $x_0$

การดำเนินการตามวิธีการของ Guo และ Hall นำคณิตศาสตร์ข้างต้นมาใช้ในการทำให้ลายเส้นบางด้วยหลักการ ของจุดปลอดภัย ( Safe-Point ) โดยมีนิยามค่าที่เกี่ยวข้องดังนี้

ภาพที่ 26

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| $x_4$ | $x_3$ | $x_2$ |
| $x_5$ | $x_0$ | $x_1$ |
| $x_6$ | $x_7$ | $x_8$ |

แสดงจุดรอบข้างแบบ 8 และจุดรอบข้างแบบ 4 ของจุด  $x_0$

คำนิยามที่ 1: สังเกตจากภาพที่ 26 เห็นได้ว่าจุดภาพ  $x_0$  มีจุดข้างเคียง 4 จุด ซึ่งแทนด้วย  $x_1, x_3, x_5$  และ  $x_7$  ซึ่งจุดเหล่านี้จะถูกเรียกว่า จุดรอบข้างแบบ 4 ของ  $x_0$  และจุดภาพ  $x_0$  มีจุดข้างเคียงตามเส้นทะแยงมุม 4 จุด ซึ่งแทนด้วย  $x_2, x_4, x_6, x_8$  รวมกับ จุดรอบข้างแบบ 4 จะเรียกว่า จุดรอบข้างแบบ 8 ของ  $x_0$  ซึ่งจะมี  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8$

คำนิยามที่ 2: จุดภาพ  $x_0$  สามารถลบออกจากวัตถุในภาพได้ ถ้าการถูกกำจัดยังคงรักษาค่าเชื่อมต่อของวัตถุในภาพ

คำนิยามที่ 3: จุดภาพ  $x_0$  จะเป็นจุดวิกฤติ ถ้าการลบจุดนั้นเป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียการเชื่อมต่อของลายเส้นหรือเกิดเป็นช่องโหว่ขึ้นในลายเส้น

คำนิยามที่ 4: ขาของสเกเลตัน(skeleton leg) จะเป็นเส้นกิ่งของจุดภาพที่มีความหนา 1 จุดภาพกับจุดปลายจุดหนึ่ง ซึ่งไม่มีการเชื่อมต่อไปยังจุดภาพอื่นๆ จุดภาพที่ไม่มีการเชื่อมต่อจุดภาพอื่นๆ นี้จะถูกเรียกว่า จุดปลาย(end pixel) หรือกล่าวอีกอย่างว่า จุดปลาย จะมีจุดภาพอยู่เพียง 1 จุดเท่านั้นที่อยู่จุดรอบข้างแบบ 8

คำนิยามที่ 5: จุดภาพ  $x_0$  สามารถลบได้ ถ้าไม่ใช่จุดปลายหรือจุดวิกฤติ

คำนิยามที่ 6: จุดที่ผ่านการกัดเซาะมากเกินไป (excessive erosion point) เป็นจุดขอบภาพที่เมื่อถูกลบออกแล้ว ทำให้สูญเสียรูปทรงของวัตถุไป

คำนิยามที่ 7: จุดปลอดภัย(safe point) จะเป็นจุดใดจุดหนึ่งของจุดปลาย, จุดขาด, จุดที่ผ่านการกัดเซาะมากเกินไป แต่จะไม่ใช่จุดภาพที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพ

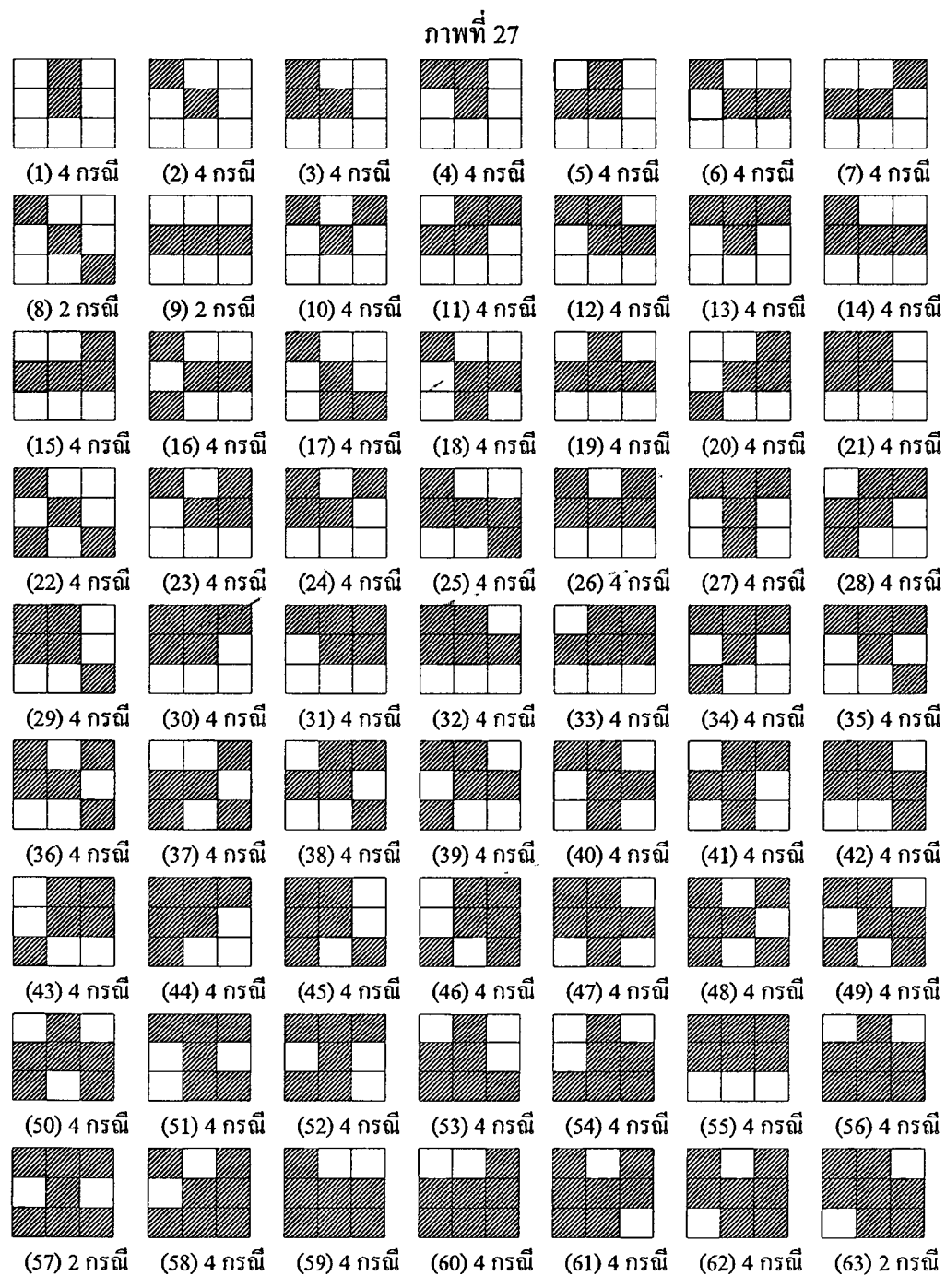
คำนิยามที่ 8: จุดขอบภาพ(border point) จะเป็นจุดภาพของวัตถุที่มีจุดใดๆ อย่างน้อย 1 จุด ที่ไม่ใช่จุดภาพของวัตถุ อยู่ในจุดรอบข้างแบบ 4

คำนิยามที่ 9: จุดขาด(break point) จะเป็นจุดขอบภาพที่เมื่อถูกลบออกแล้ว จะทำให้เสียค่าความต่อเนื่อง

จุดปลอดภัยจะถูกเก็บค่าไว้ในวงรอบปัจจุบัน ส่วนจุดอื่นที่ไม่ใช่จุดปลอดภัย (Non-safe points) จะถูกลบออกไปได้ 2 กรณี คือ การลบโดยไม่มีเงื่อนไข หรือ การลบโดยมีการตรวจสอบเงื่อนไข

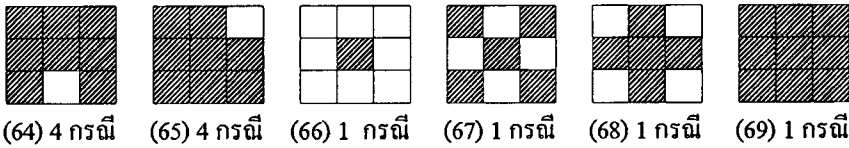
สถานะของจุดปอดคักัยจะมีผลเฉพาะภายในวงรอบปัจจุบันและอาจถูกเปลี่ยนสถานะไปสู่จุดไม่ปอดคักัยในวงรอบต่อ ๆ ไปได้ อัลกอริธึมการทำให้วัตถุในภาพบางนี้จะถูกนิยามในรูปแบบของกระบวนการลบ ซึ่งจะเปลี่ยนจากค่า 1 (จุดภาพวัตถุ) ไปเป็น 0 (จุดภาพพื้นหลัง)

Guo และ Hall นำคณิตศาสตร์โทโปโลยีและค่านิยามข้างต้นมาวิเคราะห์จุดภาพขนาด 3\*3 และจำแนกจัดกลุ่มได้เป็น 69 กลุ่มจาก 256 แบบ ซึ่งแสดงรายละเอียดไว้ตามภาพที่ 27



แสดง 63 กลุ่ม จาก 256 ของการสลับลำดับกันในทางพีชคณิตของ 3\*3 ย่านโดยรอบ

ภาพที่ 27 (ต่อ)



แสดงกลุ่มที่ 64-69 จาก 256 ของการสลับลำดับกัน ในทางพีชคณิตของ  $3 \times 3$  ย่านโคจรอบ

เมื่อนำกรณีต่าง ๆ มาวิเคราะห์โดยใช้คำนิยามที่กำหนดไว้ จะเห็นว่า จุดตรงกลาง ในกรณีกลุ่มที่ (47), (56), (63), (68) และ (69) ไม่ใช่จุดขอบ ทำให้มีอยู่ 16 กรณีที่ไม่อาจลบได้ มิฉะนั้นแล้วจะทำให้เกิดเป็นรอยโหว่ขึ้น

และบ่อยครั้งที่จุดกลางในกรณีกลุ่มที่ (1) และ (2) จะถูกนิยามเป็นจุดปลาย และกรณีกลุ่มที่ (3), (4), (13), (66) ถูกนิยามเป็นจุดถูกกัศเขาเกินควร ในอัลกอริทึมการทำให้วัตถุในภาพบางโดยส่วนมากจะไม่กำจัดจุดปลาย และจุดถูกกัศเขาเกินควรไว้ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ที่รูปภาพจะถูกลบออกทั้งหมดและเพื่อเป็นการรักษารูปร่างของวัตถุไว้ อย่างไรก็ตาม การอนุรักษ์ไว้ทั้งหมดนี้จะทำให้จุดที่ไม่ควรจะถูกเก็บไว้ยังคงอยู่

ในกรณีกลุ่มที่ (2), (3), (4) และ (13) โดยอัลกอริทึมที่ใช้ จุดตรงกลางก็ยังไม่แน่ว่าจะเป็นจุดปลอดภัยเสมอไปและอาจเป็นจุดที่ลบได้ จึงจำเป็นต้องมีเงื่อนไขการลบอื่น ซึ่งจะได้นำกล่าวถึงต่อไป

ส่วนกรณีกลุ่มที่ (6)-(10), (14)-(18), (20), (22)-(27), (29), (34)-(39), (43), (45), (46), (48), (49), (51), (52), (57), (58) และ (67) เป็นจุดขาด ทำให้เกิดจุดปลอดภัยขึ้นทั้งหมด 127 กรณี ซึ่งจุดขาดทั้งหมดควรที่จะถูกอนุรักษ์ไว้เพื่อเป็นการรับประกันความต่อเนื่องของเส้นแกนสุดท้ายที่จะได้

ส่วนกลุ่มที่เหลืออีก 92 กรณี สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ กรณีที่ต้องอนุรักษ์ไว้, กรณีที่ลบได้ และกรณีที่ลบได้ภายใต้เงื่อนไข โดยในกรณีของกลุ่มที่ (5), (19), (40)-(42), (50), (53), (54), (61) และ (62) การลบของจุดตรงกลางจะเป็นสาเหตุของการผิพื่นของรูปร่าง ทำให้ทั้ง 38 กรณีจำเป็นต้องอนุรักษ์ไว้ ส่วนกรณีกลุ่มที่ (30), (31) และ (44) สามารถที่จะลบได้แทน ทำให้มี 12 กรณีที่สามารถลบได้ทันที โดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อการบิดเบี้ยวของรูปทรงหรือความไม่ต่อเนื่องของเส้นแกน

เนื่องจากอัลกอริทึมที่ใช้เป็นอัลกอริทึมแบบขนาน ทำให้ถ้าเราลบจุดตรงกลางในกรณีกลุ่มที่ (11), (12), (21), (28), (32), (33), (55), (59), (60) และ (64) ที่ช่วงเวลาเดียวกัน จะทำให้ประสบกับปัญหาการขาดการเชื่อมต่อและปัญหาเรื่องของรูปทรง ดังนั้นการลบในกรณีนี้จึงเป็นการลบแบบมีเงื่อนไขในการลบและโดยการตรวจสอบจากบางเนเบอร์ใน  $5 \times 5$  เนเบอร์ ซึ่งจะได้นำกล่าวถึงต่อไปจากการแยกแยะทั้งหมดข้างต้นจึงมีกรณีที่ถูกระบุไว้ทั้งหมดทั้งสิ้น 256 กรณี

นิยามของสัญญาณรบกวนบริเวณขอบจะขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุซึ่งทำให้ไม่สามารถกำหนดได้อย่างชัดเจนโดยผ่านเนเบอร์  $3 \times 3$  ของจุดขอบเท่านั้น ขนาดของเนเบอร์ที่จะถูกนำมาพิจารณาเพื่อที่จะระบุสัญญาณรบกวนบริเวณขอบจะเพิ่มขึ้นด้วยขนาดของวัตถุ สัญญาณรบกวนนั้นจะจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ ที่ปรากฏอยู่ก่อน (Existent) และที่ปรากฏขึ้นภายหลัง (Post-Existent) โดยสัญญาณรบกวนที่ปรากฏอยู่ก่อนจะมีอยู่ตั้งแต่ก่อนการประมวลผลภาพ ตามตัวอย่างใน กรณีกุ่มที่ (2), (3), (4) และ (13) ของภาพที่ 27 อาจจะเป็นสัญญาณรบกวนที่ปรากฏอยู่ก่อนแล้วตามเงื่อนไขในวัตถุที่ใหญ่พอ ส่วนสัญญาณรบกวนที่ปรากฏขึ้นภายหลังเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังจากที่รูปภาพถูกประมวลผล ตามตัวอย่างในกรณีกุ่มที่ (11), (12), (21), (32) และ (33) จะเป็นสัญญาณรบกวนที่ปรากฏขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่เฉพาะเจาะจงในวัตถุขนาดใหญ่ภายหลังจากการกระทำซ้ำรอบแรกของการทำให้วัตถุในภาพบาง Frank Y. Shih และ Wai-Tak Wong ได้ทำการวิจัยและทดลองจนได้ผลที่เชื่อมั่นได้ว่า สัญญาณรบกวนบริเวณขอบสามารถกำจัดได้ถ้าใช้เนเบอร์  $5 \times 5$  ดังนั้นการลดขยะจะเกิดขึ้นเมื่อเงื่อนไขในการลบนั้นเป็นไปตามที่กำหนดไว้ซึ่งจะได้นำมากล่าวถึงต่อไปในตอนท้ายเพิ่มเติมจากอัลกอริธึมแบบขนานโดยใช้ตารางจุดพลอดักซ์ของ Guo และ Hall

ภาพที่ 28

|    |    |     |
|----|----|-----|
| 1  | 2  | 4   |
| 8  | 0  | 16  |
| 32 | 64 | 128 |

(ก) น้ำหนักในแต่ละหน้าต่าง

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

(ข) คำนี =  $0+1+128 = 129$ 

แสดงเทมเพลต  $3 \times 3$  ซึ่งให้ค่าน้ำหนักที่ต่างกันตามตำแหน่งโดยรอบและตัวอย่างการคำนวณค่าดัชนี

ตารางที่ 4 เป็นตารางค้นหาจุดพลอดักซ์ โดยใช้เทมเพลตที่มีค่าน้ำหนักขนาด  $3 \times 3$  ตามภาพที่ 28 มาเป็นตัวแทนค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดภาพในเนเบอร์ทั้งแปด การดำเนินการที่เกี่ยวข้องกันจะถูกแสดงโดยใช้เทมเพลตมาวางเหนือ  $3 \times 3$  เนเบอร์ เพื่อใช้หาค่าดัชนีสำหรับนำไปใช้ค้นหาในตาราง มีข้อสังเกตว่า จุดวัตถุจะแสดงเป็น “1” และจุดพื้นฉากหลังแสดงเป็น “0” ดังตัวอย่างสำหรับแสดงค่าดัชนีจะอยู่ตามภาพที่ 28 (ข)

ตารางที่ 4 ตารางค้นหาจุดปลอดภัย

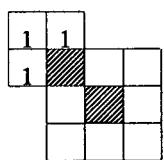
| ดัชนี | เลขชายธง | ดัชนี | เลขชายธง | ดัชนี | เลขชายธง |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 1     | 2        | 63    | 1        | 192   | 2        |
| 3     | 2        | 73    | 1        | 200   | 1        |
| 4     | 2        | 75    | 2        | 201   | 1        |
| 6     | 2        | 84    | 1        | 208   | 1        |
| 7     | 2        | 86    | 2        | 210   | 2        |
| 9     | 2        | 96    | 2        | 212   | 1        |
| 11    | 1        | 104   | 2        | 214   | 1        |
| 14    | 2        | 105   | 1        | 215   | 1        |
| 15    | 1        | 106   | 2        | 216   | 2        |
| 19    | 2        | 107   | 2        | 224   | 2        |
| 20    | 2        | 111   | 2        | 232   | 1        |
| 22    | 1        | 112   | 1        | 233   | 1        |
| 23    | 1        | 116   | 1        | 235   | 2        |
| 27    | 2        | 120   | 2        | 239   | 22       |
| 30    | 2        | 128   | 2        | 240   | 1        |
| 31    | 1        | 144   | 2        | 244   | 1        |
| 32    | 2        | 146   | 2        | 246   | 1        |
| 40    | 2        | 148   | 2        | 247   | 1        |
| 41    | 2        | 150   | 1        | 248   | 2        |
| 42    | 2        | 151   | 1        | 249   | 2        |
| 43    | 1        | 159   | 1        | 252   | 2        |
| 47    | 1        | 191   | 1        | 253   | 2        |

แสดงตารางค่าดัชนีและเลขชายธงสำหรับค้นหาจุดปลอดภัย

ตารางค้นหาจุดปลอดภัยตามตารางที่ 4 จะบรรจุไว้ด้วย 2 หัวข้อ คือ ดัชนีและเลขชายธง (index and flag number) ทั้งนี้เลขชายธงจะถูกแสดงโดยการพิจารณาเทมเพลต 3\*3 ว่าวัตถุในตรงกลางสามารถลบได้หรือจะต้องผ่านเงื่อนไขก่อนจึงจะลบได้ หลังจากดัชนีถูกคำนวณและเงื่อนไขระบุว่าจะลบได้แล้ว จุดวัตถุนั้นก็จะสามารถระบุได้ว่า จะถูกลบหรืออนุรักษ์ไว้ สาเหตุที่มีความจำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขในการลบได้นั้น เนื่องจากตามที่ได้เคยอธิบายไว้แล้วว่า เนเบอร์ 3\*3 ยังไม่เพียงพอที่จะใช้อธิบายสัญญาณครบถ้วนได้ แต่เมื่อเป็นความจำเป็นที่ต้องดำเนินการตรวจสอบ ในที่นี้จึงใช้เนเบอร์ 5\*5 เข้ามาช่วยในการตรวจสอบในกรณีที่มีเงื่อนไขที่ยังไม่แน่ใจว่าจะลบได้หรือไม่ วิธีการในการตรวจสอบจุดปลอดภัยกรณีที่มีเงื่อนไขสามารถแสดงได้ตามลำดับ ดังนี้

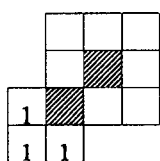
เริ่มแรกจะทำการคำนวณหาดัชนีของเนเบอร์ 3\*3 ถ้าค่าที่ได้เท่ากับเลขดัชนีของจุดที่มีเงื่อนไขที่สามารถลบได้ จึงใช้เนเบอร์ของจุดรอบข้างขนาด 5\*5 ซึ่งเพียงพอต่อการทดสอบ ตามภาพที่ 29 มาทำการตรวจสอบ ตัวอย่างเช่น สัญญาณรบกวนที่มีอยู่ก่อน, เมื่อพิจารณาจากจุดภาพมุมบนซ้าย 3 จุดภาพของเนเบอร์ 5\*5 ในกรณี (2.1) จะถูกตรวจสอบเนื่องจากว่าเป็นไปได้ที่จุดตรงกลางอาจเป็นสัญญาณรบกวน ถ้าจุดภาพทั้งสามจุดภาพเป็นจุดภาพวัตถุ ทุกกรณี (ยกเว้นกรณีกลุ่มที่ (28)) ซึ่งไม่ได้แสดงในภาพที่ 29 เป็นจุดที่ไม่ใช่จุดปลอดภัย (จึงสามารถลบได้ ส่วนกรณีกลุ่มที่ (28) ต้องคงอนุรักษ์ไว้) (ส่วนกรณีที่ปรากฏในภาพที่ 29 จะต้องทำการทดสอบกับเนเบอร์ 5\*5 ก่อนจึงจะทราบว่าสามารถลบได้หรือไม่)

ภาพที่ 29



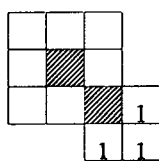
กรณี (2.1)

ดัชนี = 1



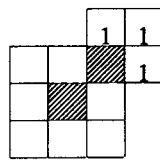
กรณี (2.2)

ดัชนี = 32



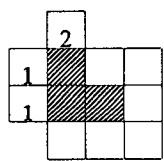
กรณี (2.3)

ดัชนี = 128



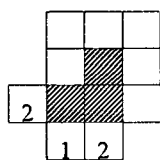
กรณี (2.4)

ดัชนี = 4



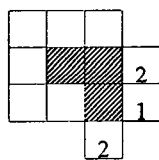
กรณี (3.1)

ดัชนี = 9



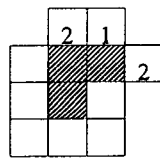
กรณี (3.2)

ดัชนี = 96



กรณี (3.3)

ดัชนี = 144

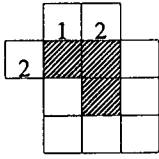


กรณี (3.4)

ดัชนี = 6

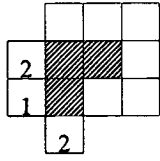
แสดงเงื่อนไขในการตรวจสอบการลบได้ของกลุ่มกรณี (2), (3)

ภาพที่ 29 (ต่อ)



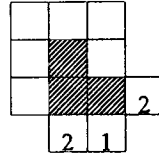
กรณี (4.1)

ดัชนี = 3



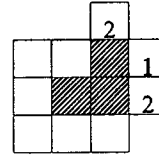
กรณี (4.2)

ดัชนี = 40



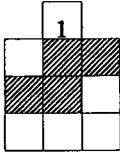
กรณี (4.3)

ดัชนี = 192



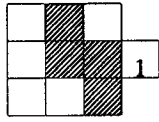
กรณี (4.4)

ดัชนี = 20



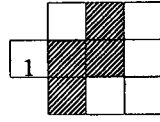
กรณี (11.1)

ดัชนี = 14



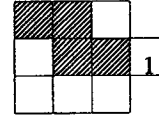
กรณี (11.2)

ดัชนี = 146



กรณี (12.1)

ดัชนี = 42



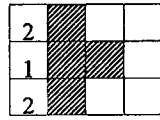
กรณี (12.2)

ดัชนี = 19



กรณี (13.1)

ดัชนี = 7



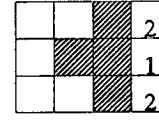
กรณี (13.2)

ดัชนี = 41



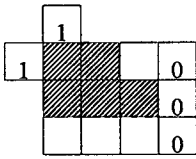
กรณี (13.3)

ดัชนี = 220



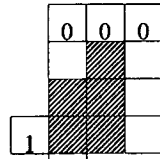
กรณี (13.4)

ดัชนี = 148



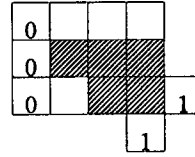
กรณี (32.1)

ดัชนี = 27



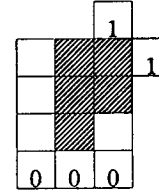
กรณี (32.2)

ดัชนี = 106



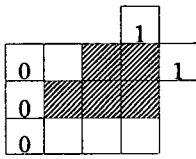
กรณี (32.3)

ดัชนี = 216



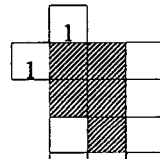
กรณี (32.4)

ดัชนี = 86



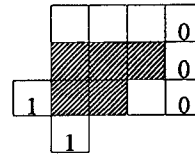
กรณี (33.1)

ดัชนี = 30



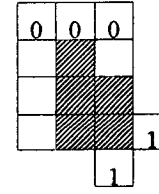
กรณี (33.2)

ดัชนี = 75



กรณี (33.3)

ดัชนี = 120

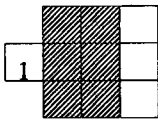


กรณี (33.4)

ดัชนี = 210

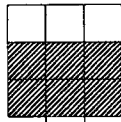
แสดงเงื่อนไขในการตรวจสอบการลบได้ของกลุ่มกรณี (4), (11), (12), (13), (21), (32), (33)

ภาพที่ 29 (ต่อ)



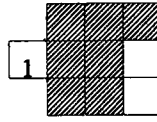
กรณี (55.1)

ดัชนี = 107



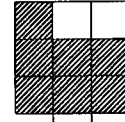
กรณี (55.2)

ดัชนี = 248



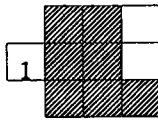
กรณี (59.1)

ดัชนี = 111



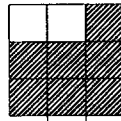
กรณี (59.2)

ดัชนี = 249



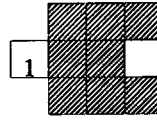
กรณี (60.1)

ดัชนี = 235



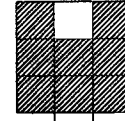
กรณี (60.2)

ดัชนี = 252



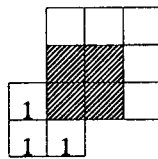
กรณี (64.1)

ดัชนี = 239



กรณี (64.2)

ดัชนี = 253



กรณี (21.1)

ดัชนี = 104

แสดงเงื่อนไขในการตรวจสอบการลบได้ของกลุ่มกรณี (55), (59), (60) (64) และ (21)

ในกรณีกลุ่ม (3), (4) และ (13) เงื่อนไขไม่เพียงแต่จะเกี่ยวข้องกับการดำเนินการแบบบูลีน “AND” เท่านั้นแต่ยังเกี่ยวข้องกับการดำเนินการแบบบูลีน “OR” ด้วย จากรูปที่ 4 ให้  $P_{a1}$ ,  $P_{a2}$ ,  $P_{a3}$  แทนเนเบอร์ที่มีผลาก “1” และให้  $P_{b1}$ ,  $P_{b2}$  แทนเนเบอร์ที่มีผลาก “2” และให้  $P_{c1}$ ,  $P_{c2}$ ,  $P_{c3}$  แทนเนเบอร์ที่มีผลาก “0” การดำเนินการแบบบูลีนซึ่งแสดงถึงการลบได้สามารถนำเสนอได้ ดังนี้

$$(P_{a1} \wedge P_{a2} \wedge P_{a3}) \wedge (P_{b1} \vee P_{b2}) \wedge (\bar{P}_{c1} \wedge \bar{P}_{c2} \wedge \bar{P}_{c3})$$

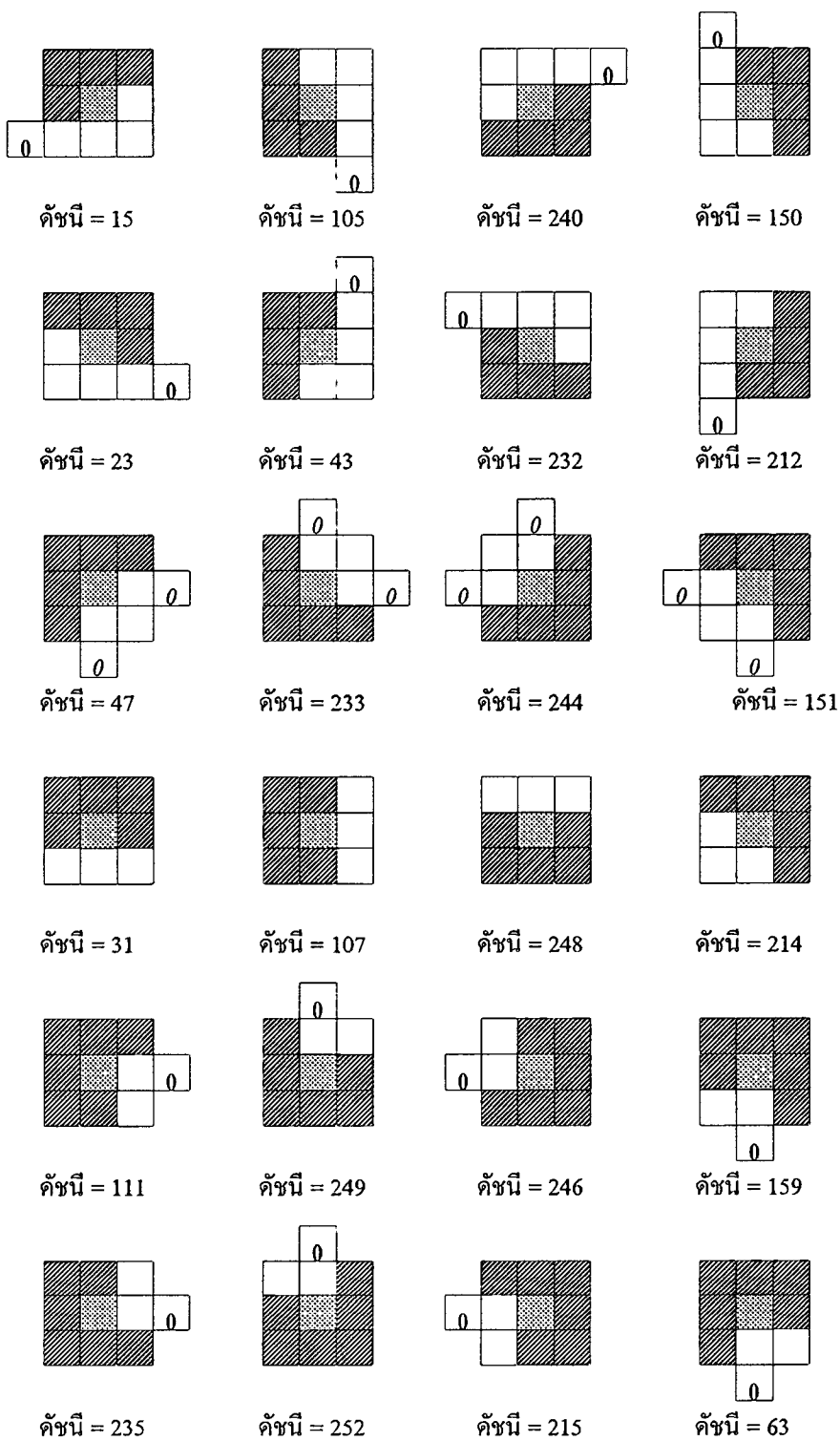
ตัวอย่างเช่น ในกรณีกรณี (3.1) ถ้าเนเบอร์ถูกแทนด้วย “1” เป็นจุดภาพวัตถุ และเนเบอร์ด้านข้างซ้ายถูกแทนด้วย “2” เป็นจุดภาพวัตถุ แล้วเงื่อนไขข้างต้นจะเป็นจริงและจุดภาพตรงกลางสามารถลบได้ เงื่อนไขในกรณีกลุ่ม (32) และกรณีกลุ่ม (33) ก็เป็นทำนองเดียวกัน ทำให้ตั้งข้อสังเกตได้ว่ามันเป็นสัญญาณรบกวนที่ปรากฏขึ้นในภายหลัง ( Post-existent noise ) ในกรณี (32.1) ถ้าสามเนเบอร์ด้านข้างขวาถูกแสดงโดย “0” กลายเป็นพื้นหลังและสองเนเบอร์ถูกแสดงโดย “1” เป็นจุดภาพวัตถุ แล้ว เงื่อนไขข้างต้นจะเป็นจริงและจุดภาพตรงกลางจะถูกลบได้

ในสองกรณีย่อยของกรณีกลุ่ม (11), (12), (55), (59), (60) และ (64) มีเพียงแค่หนึ่งเนเบอร์เท่านั้นที่ต้องการการตรวจสอบเพื่อที่จะรักษาความต่อเนื่องและโอกาสที่จะบังเอิญเกิดจุดถูกกัดเซาะเกินควร ส่วนสองกรณีย่อยที่เหลือสามารถที่จะลบได้ในทันที สำหรับกรณีกลุ่ม (28) เพื่อที่จะรักษาความต่อเนื่องของเส้นทแยงมุม สองกลุ่มกรณีย่อยแรกซึ่งมีค่าดัชนี 46 และ 147 จะเป็นจุดปลอดภัยและอีกสองกลุ่มกรณีที่เหลือซึ่งมีค่าดัชนี 201 และ 116 จะเป็นจุดไม่ปลอดภัยซึ่งสามารถลบได้โดยไม่ต้องมีการตรวจสอบเงื่อนไข นอกจากนี้สำหรับกรณีย่อยที่ (21.1) ดังแสดงในตอนล่างสุดของภาพที่ ต้องการการตรวจสอบถึงสามเนเบอร์ ส่วนอีกสามกรณีย่อยของกรณี (21) สามารถลบได้เลยโดยไม่ต้องมีการตรวจสอบเงื่อนไข เหตุผลก็เพื่อเป็นการสงวนความต่อเนื่องอย่างสอดคล้องกันไว้และเป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดการกัดเซาะเกินควร ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดเกี่ยวกับเงื่อนไขการลบได้นั้นจะคำนึงถึงปัญหาข้อขัดแย้งระหว่างกันในการประมวลผลแบบขนาน ที่จะไม่ให้เกิดการสับสนระหว่างกันและสามารถบรรลุความต้องการที่จะให้ได้อัลกอริทึมในการทำให้เส้นบางแบบขนานที่ดี

**อัลกอริทึมการทำให้เส้นบางแบบขนานแบบใหม่ทั้งหมด**

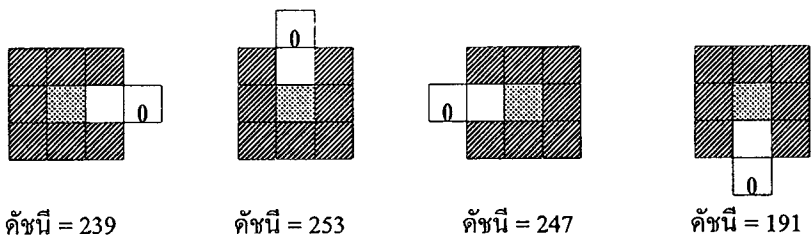
ด้วยวิธีการง่าย ๆ ดังแสดงมาข้างต้นเกี่ยวกับนิยามจุดปลอดภัยและเงื่อนไขการลบได้ในวิธีการแบบขนานที่กระทำบนรูปภาพทั้งหมด ผลลัพธ์ของการทำให้วัตถุในภาพบางที่ได้รับอาจจะไม่ดีดังที่คาดหวังไว้ ทั้งนี้เนื่องมาจากการนิยามสัญญาณรบกวนจะไม่ครอบคลุมถึงทุกกรณีที่เป็นไปได้ซึ่งจะมีสัญญาณรบกวนในบางกรณีซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนภายหลังจากการดำเนินการในขั้นตอนท้ายของวงรอบ จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มเติมขึ้นมาอีก 2 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนที่เพิ่มเติมมานี้เป็นวิธีการที่นำมาจากวิธีการเติมจุดภาพเพื่อแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพที่น่าเสนอโดย Frank Y. Shih และ Wai-Tak Wong โดยใช้ค่าดัชนีและเงื่อนไขเดิมในการเติมจุดภาพ วิธีการที่เพิ่มเติมเข้ามานี้จะป้องกันการเกิดจุดปลอดภัยในตอนแรก ๆ การดำเนินการกระทำได้โดยการเพิ่มจุดภาพวัตถุเข้าไปในผลลัพธ์ซึ่งอยู่ในขั้นตอนช่วงกลาง

## ภาพที่ 30



แสดงกลุ่มของเงื่อนไขซึ่งถูกกำหนดให้มีการดำเนินการในส่วนขยายเพื่อเติมจุดภาพ

ภาพที่ 30 (ต่อ)



แสดงกลุ่มของเงื่อนไขซึ่งถูกกำหนดให้มีการดำเนินการในส่วนขยายเพื่อเติมจุดภาพ

-  จุดภาพพื้นหลังที่จะต้องถูกเติม
-  จุดภาพซึ่งจะต้องเป็นพื้นหลัง
-  จุดภาพซึ่งจุดใดจุดหนึ่งจะต้องเป็นพื้นหลัง

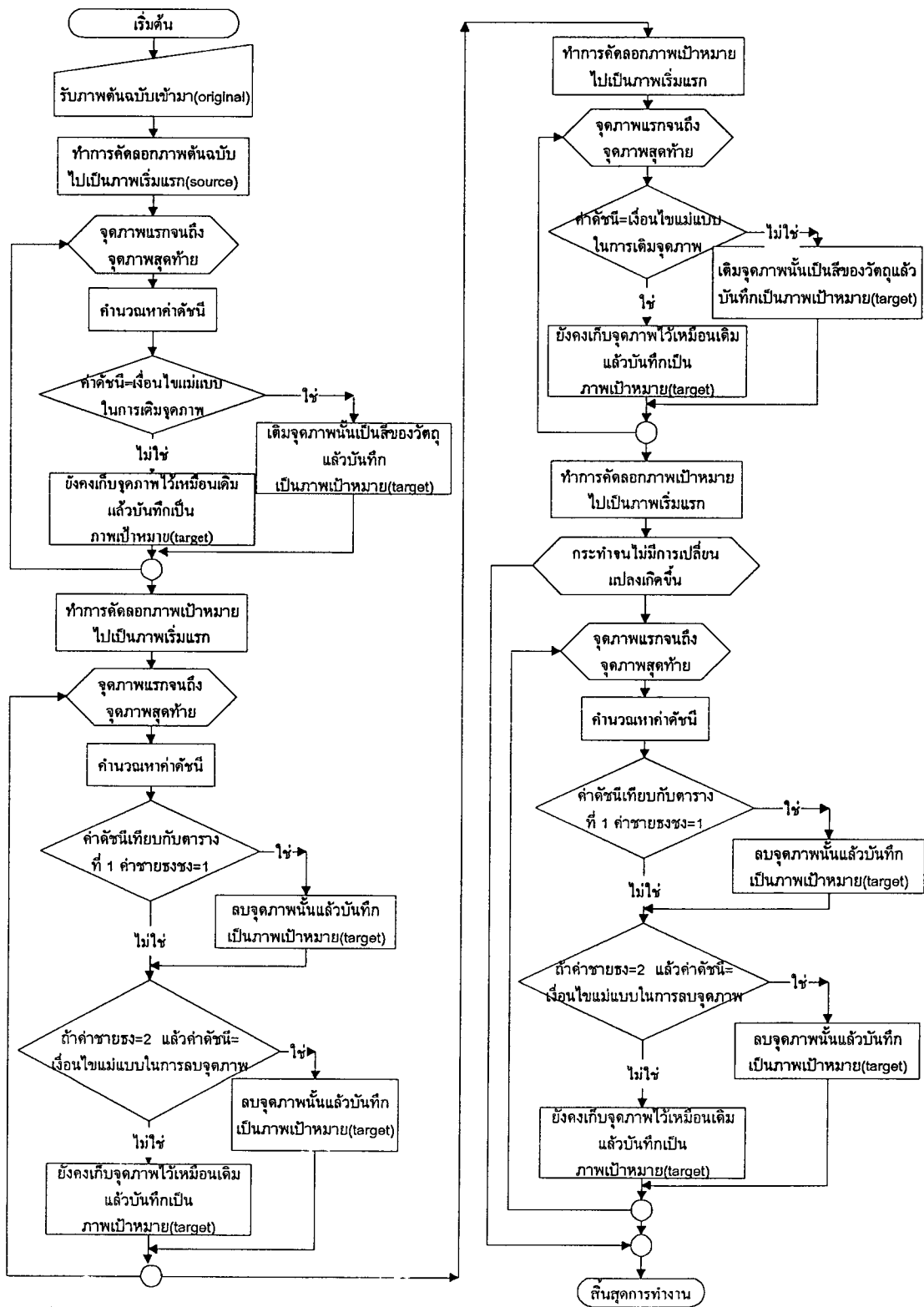
การดำเนินการขยายดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้ : ถ้าเนเบอร์มีเงื่อนไขได้ดังแสดงในภาพที่ 30 (เลขดัชนียังคงเป็นเช่นเดียวกับที่แสดงไว้ในตอนแรกและจุดภาพที่แสดงด้วย “0” จะแทนจุดภาพพื้นหลัง) แล้ว จะเติมค่าจุดตรงกลางลงไป

วิธีการทำให้วัตถุในภาพบางด้วยอัลกอริธึมแบบขนานสมบูรณ์แบบและเพิ่มเติมวิธีการเติมจุดภาพเพื่อจัดสัญญาณรบกวน ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดข้างต้น สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังนี้ :

- (1) คำนวณหาค่าดัชนีสำหรับแต่ละจุดภาพวัตถุ
- (2) ถ้าตัวเลขดัชนีมีค่าเท่ากับตัวเลขที่อยู่ในเงื่อนไขของการขยาย ให้เติมจุดภาพตรงกลาง
- (3) ย้อนกลับไปทำ ขั้นตอน (1)
- (4) ใช้ตัวเลขดัชนีและตารางเปรียบเทียบเพื่อหาเลขชายธง (Flag Number) ตรวจสอบเงื่อนไขถ้าเป็นกรณีเงื่อนไขที่ทำการลบได้ ; ไม่เช่นนั้น รักษาไว้หรือลบจุดภาพไปตามที่ควรเป็น
- (5) ถ้าเงื่อนไขในการลบได้ค่าที่ตรงกัน ลบจุดภาพนั้น ไม่เช่นนั้นรักษาไว้
- (6) ทำตามขั้นตอนที่ (1) และ (2) อีกครั้งหนึ่ง
- (7) ย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนที่ (3) - (5) จนกระทั่งไม่มีการลบจุดภาพใด ๆ เกิดขึ้นอีก

ซึ่งสามารถเขียนเป็นผังแสดงการทำงานของอัลกอริธึม ได้ดังภาพที่ 31

ภาพที่ 31



แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

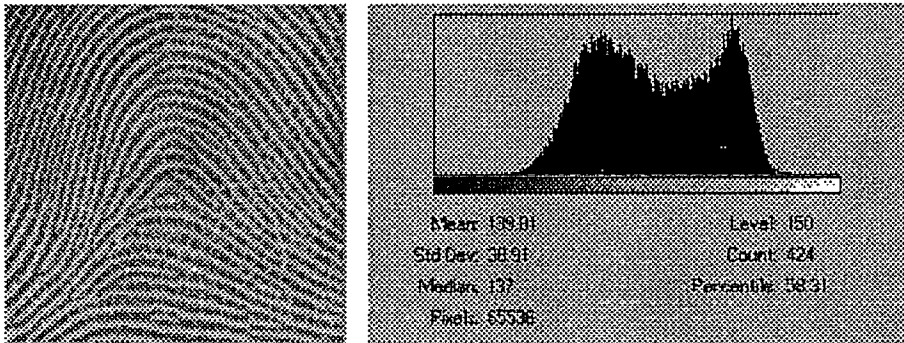
## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

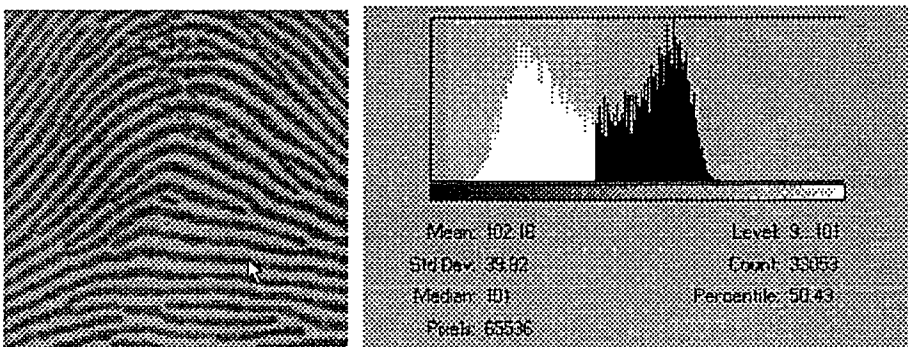
#### 5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะทำการทดลองเพื่อศึกษาและแสดงให้เห็นถึงผลจากการประยุกต์ใช้วิธีการในการประมวลผลภาพเบื้องต้น ชนิดต่าง ๆ แต่ละชนิด ตลอดจนศึกษาถึงผลข้างเคียงที่เกิดขึ้น และ ผลที่ได้จากวิธีการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่ได้ปรับปรุงแล้ว โดยในการทดลองทั้งหมดจะใช้ภาพตัวอย่างระดับเทา ที่มีขนาด 256\*256 จุดภาพ ได้มาจากตัวอย่างข้อมูลเกี่ยวกับลายพิมพ์นิ้วมือของ FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION (FBI) นำมาจัดเก็บรูปภาพด้วยรูปแบบของวินโดว์ บิตแมพ (.BMP) จำนวน 5 รูป ตามภาพที่ 32 มาทำการทดลอง

ภาพที่ 32



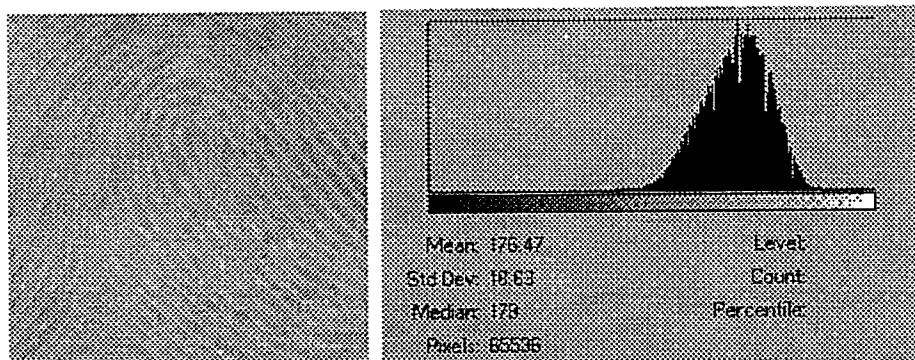
(ก) ภาพต้นแบบปกติพร้อมฮิสโตแกรม



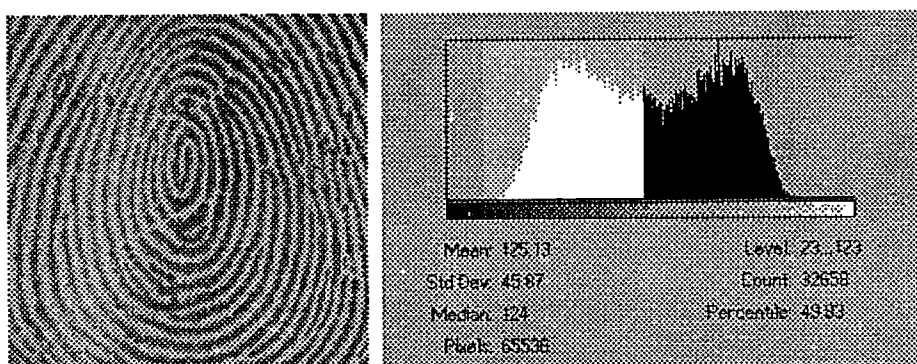
(ข) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้มพร้อมฮิสโตแกรม

แสดงลายนิ้วมือที่มีคุณภาพได้จากการพิมพ์ลายนิ้วมือในแบบต่าง ๆ ซึ่งใช้เป็นกลุ่มทดลอง

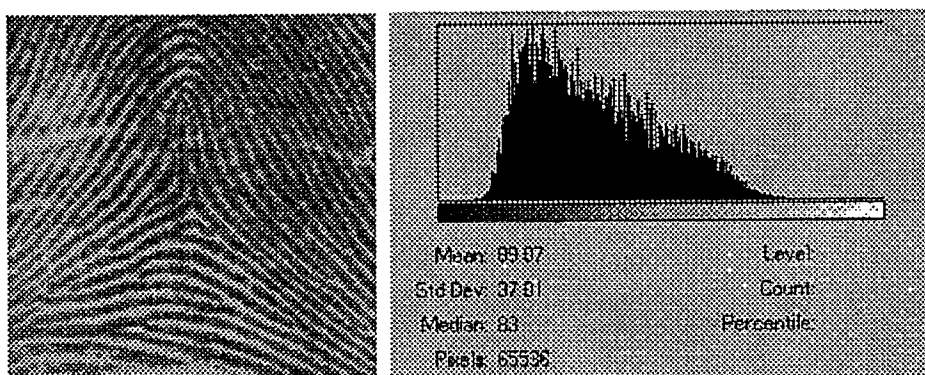
ภาพที่ 32 (ต่อ)



(ค) ภาพต้นแบบที่พิมพ์จากพร้อมฮิสโตแกรม



(ง) ภาพต้นแบบที่พิมพ์คดไม่เท่ากันพร้อมฮิสโตแกรม



(จ) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้มและน้ำหนักไม่เสมอพร้อมฮิสโตแกรม

แสดงลายนิ้วมือที่มีคุณภาพได้จากการพิมพ์ในแบบต่าง ๆ ซึ่งใช้เป็นกลุ่มทดลองในงานวิจัยนี้

## 5.2 การปรับความสว่าง ( Brightness Normalization )

### 5.2.1 ปัญหาการศึกษา

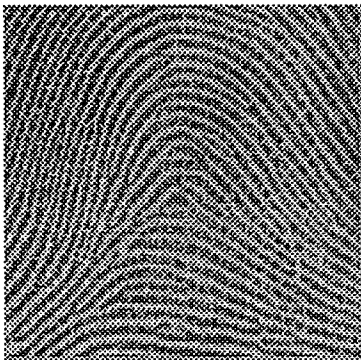
กระบวนการในการปรับความสว่าง มีความจำเป็นต่อการทำงานของระบบตรวจลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติหรือไม่

### 5.2.2 วิธีการทดลอง

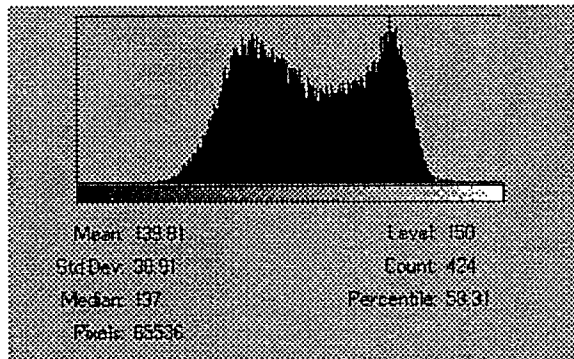
เลือกภาพตัวอย่างโดยนำภาพที่มีรูปแบบปกติ มาผ่านกระบวนการปรับความสว่างด้วยวิธีการทำ Global Gray-Level Transformation<sup>[11]</sup> ไปในระดับต่าง ๆ แล้วทดลองทำย้อนกลับ ศึกษา และเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้โดยการสังเกตจากฮิสโตแกรมระดับเทา

### 5.2.3 ผลการทดลอง

ภาพที่ 33



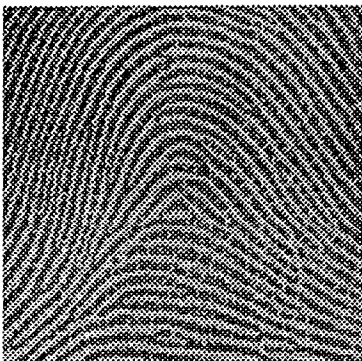
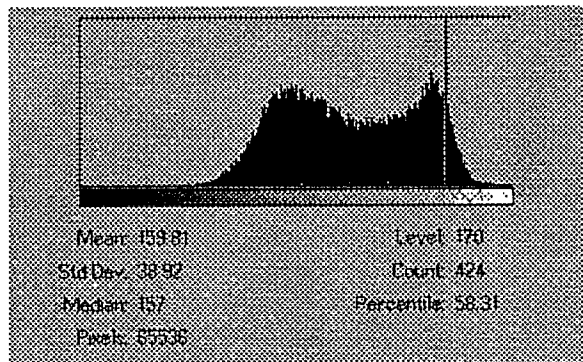
ภาพต้นฉบับ



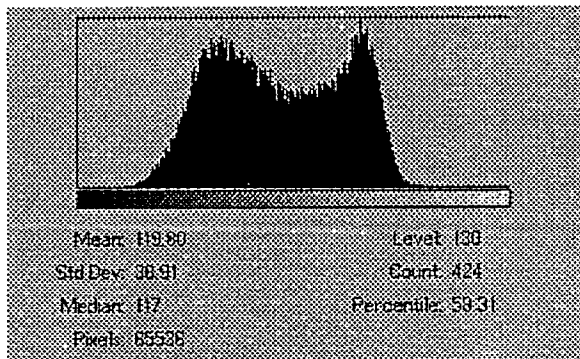
ฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ



ฮิสโตแกรมของภาพที่มีการเพิ่มค่าคงที่ระดับเทา 20 ค่า

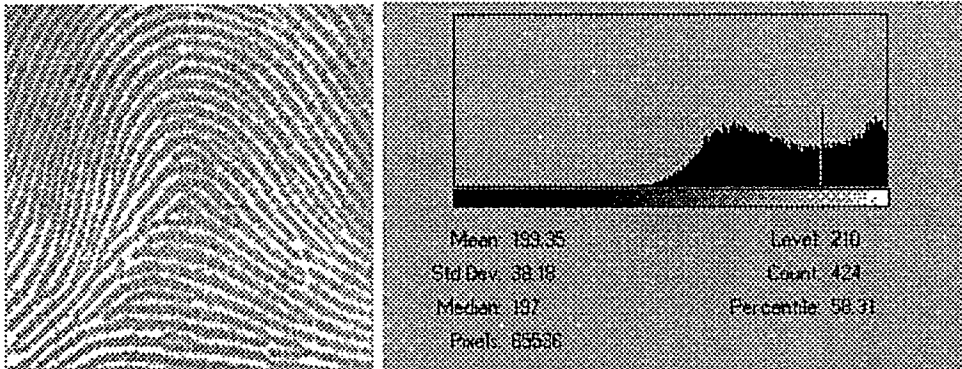


ฮิสโตแกรมของภาพที่มีการลดค่าคงที่ระดับเทา 20 ค่า

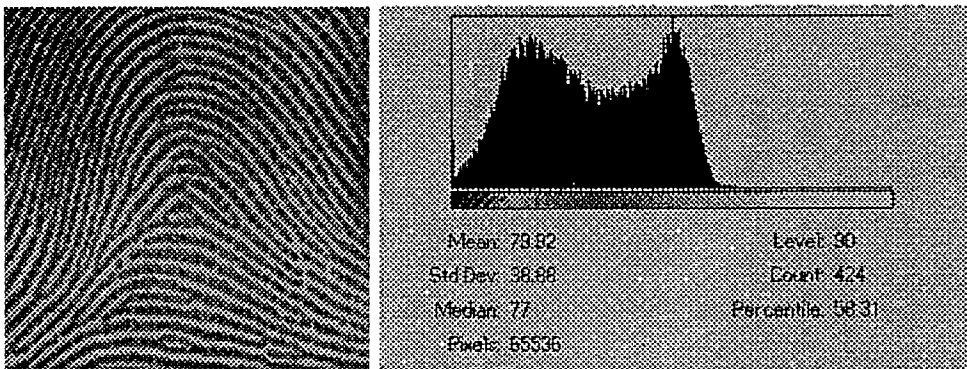


แสดงภาพผลลัพธ์ของภาพปกติที่ได้จากการปรับความสว่างด้วยการเลื่อนฮิสโตแกรม

ภาพที่ 33 (ต่อ)



ฮิสโตแกรมของภาพที่มีการเพิ่มค่าคงที่ระดับเทา 60 ค่า



ฮิสโตแกรมของภาพที่มีการลดค่าคงที่ระดับเทา 60 ค่า

แสดงภาพผลลัพธ์ของภาพปกติที่ได้จากการปรับความสว่างด้วยการเลื่อนฮิสโตแกรม

จากการทดลอง การเพิ่มหรือลดค่าคงที่ระดับเทาให้กับทุกจุดภาพ เป็นการเคลื่อนฮิสโตแกรมไปทางซ้ายหรือขวาในทิศทางเดียวกันทั้งคู่ ซึ่งถ้าขอบเขตบนและขอบเขตล่างของฮิสโตแกรมภาพระดับเทาที่เคลื่อนไป ไม่เกินช่วง 0-255 เมื่อทำการทดลองย้อนกลับจะได้ฮิสโตแกรมระดับเทาที่เหมือนเดิมทุกประการ แต่ถ้าเคลื่อนฮิสโตแกรมจนขอบเขตบนและล่างเกินช่วง 0-255 จะทำให้คุณสมบัติของบางจุดภาพเปลี่ยนแปลงไป

#### 5.2.4 สรุปผลการทดลองการปรับความสว่างสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ

การปรับความสว่างเป็นการเคลื่อนฮิสโตแกรมไปทางขวาหรือซ้ายขึ้นอยู่กับว่าจะเป็นการเพิ่มหรือลดความสว่าง การดำเนินการดังกล่าวจะกระทำกับฮิสโตแกรมโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์หรือองค์ประกอบของจุดภาพเลย การดำเนินการตามวิธีการนี้จึงเป็นเพียงการเพิ่มความสว่างหรือมืดเพื่อความชัดเจนของผู้ใช้เท่านั้น ไม่มีผลประการใดต่อข้อมูลภาพ อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าการปรับความสว่างนี้อาจทำให้เกิดการสูญเสียข้อมูลของภาพ หากการเคลื่อนฮิสโต

แกรมทำให้ขอบเขตบนหรือล่างของภาพเคลื่อนไปเกินช่วงระดับเทา ดังนั้นในกระบวนการตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติจึงไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนการปรับความสว่างของภาพ

### 5.3 การปรับความแตกต่างแสง ( Contrast Normalization )

#### 5.3.1 ปัญหาการศึกษา

กระบวนการในการปรับความแตกต่างแสง มีความจำเป็นและให้ผลลัพธ์ที่ดีต่อการทำงานของระบบตรวจลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติหรือไม่

#### 5.3.2 วิธีการทดลอง

จากภาพลายพิมพ์นิ้วมือนิ้วตัวอย่างที่มีลักษณะแตกต่างกันตามภาพที่ 32 นำมาผ่านกระบวนการปรับความแตกต่างแสงด้วยวิธีการปรับฮิสโตแกรมให้เสมอกัน ( Histogram Equalization ) สังเกตและเปรียบเทียบความแตกต่างของรูปภาพและฮิสโตแกรมก่อนและหลังทำการทดลองว่า มีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

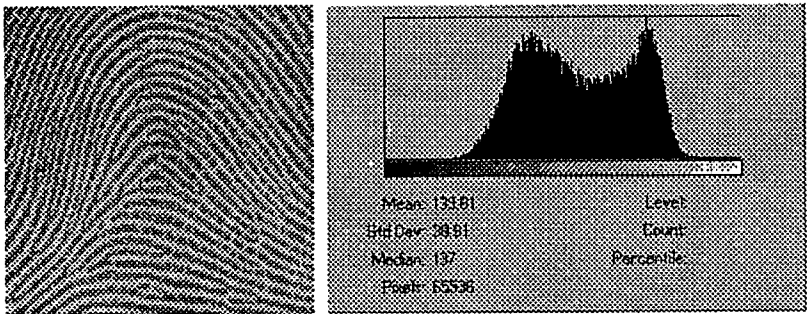
#### 5.3.3 ผลการทดลอง

จากภาพที่ 34 (ก) - (จ) เห็นได้ว่า การปรับความแตกต่างแสงด้วยวิธีการปรับฮิสโตแกรมให้เสมอกันนี้จะให้ผลลัพธ์ที่เป็นการเก็ดยกราฟแสดงความถี่ของระดับเทาให้ราบ (Flat) ด้วยจำนวนพิเซลที่เท่ากับของเดิมของแต่ละระดับเทา โดยจะกระจายค่าระดับเทาให้กว้างขึ้นและมีระยะห่างกัน ซึ่งจะทำให้ข้อมูลของจุดภาพบางจุดภาพเปลี่ยนแปลงไป เห็นได้จากค่าสถิติของข้อมูลภาพซึ่งได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต, ค่ามัธยฐานและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีการเปลี่ยนแปลงไป สำหรับการสังเกตจากภาพผลลัพธ์ ด้วยตาคนตามภาพที่ 34 (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ) พบว่า ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีความแตกต่างกันระหว่างเส้นสันและพื้นหลังชัดเจนขึ้น อย่างไรก็ตามในขั้นตอนนี้มีข้อสังเกตประการหนึ่ง คือ ถ้าฮิสโตแกรมของภาพเบื้องต้นมีการกระจายของกลุ่มข้อมูลระหว่างพื้นหลังและเส้นสันที่แยกออกจากกัน (Bi-modal Histogram) อย่างชัดเจนตามภาพที่ 34 (ก) (ข) และ (ง) กระบวนการปรับฮิสโตแกรมให้เสมอกันนี้จะลดความแตกต่างของการกระจายของกลุ่มข้อมูลทั้งสองกลุ่มนั้นลง

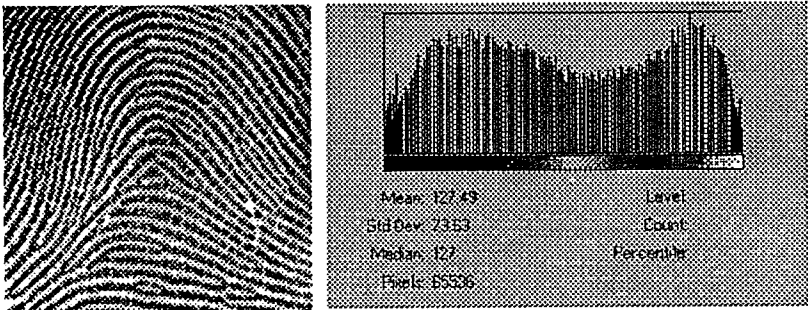
ภาพที่ 34

(ก) ภาพต้นแบบปกติพร้อมฮิสโตแกรม

ก่อนทำ Histogram Equalization

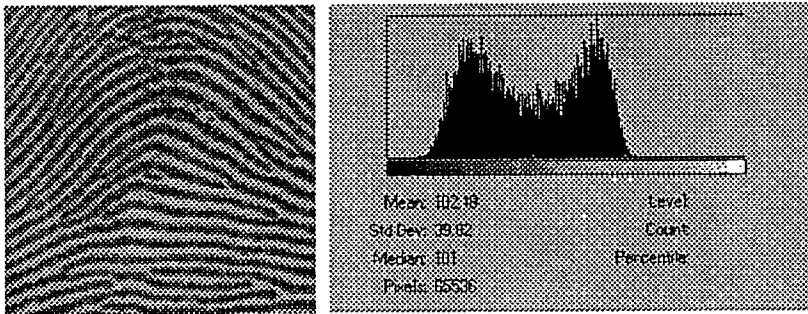


หลังทำ Histogram Equalization

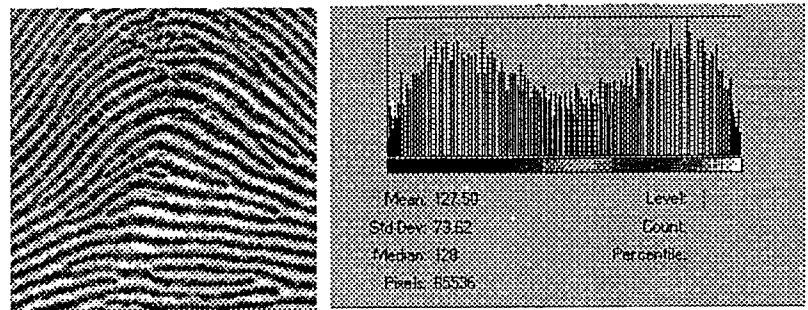


(ข) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้มพร้อมฮิสโตแกรม

ก่อนทำ Histogram Equalization



หลังทำ Histogram Equalization

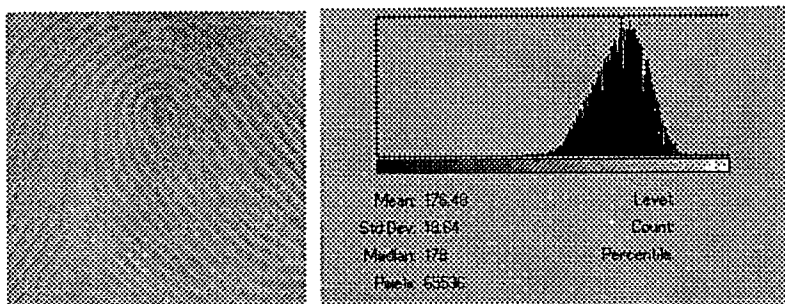


เปรียบเทียบภาพและฮิสโตแกรมภาพก่อน-หลังกระบวนการปรับฮิสโตแกรมให้เหมือนกัน

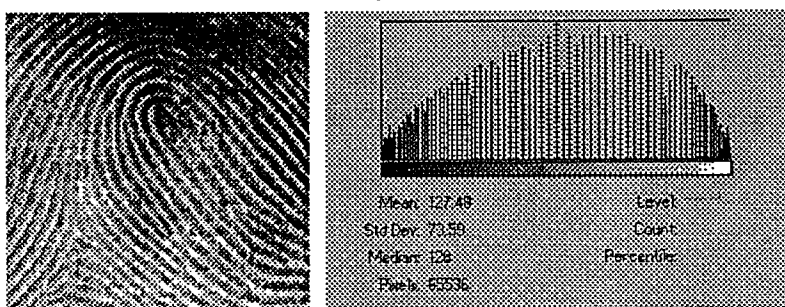
### ภาพที่ 34 (ต่อ)

(ค) ภาพต้นแบบที่พิมพ์จางพร้อมฮิสโตแกรม

ก่อนทำ Histogram Equalization

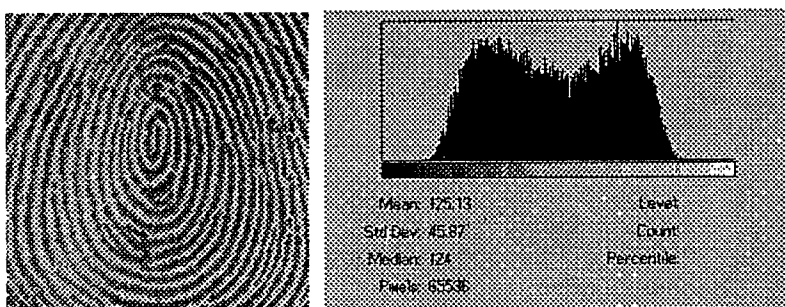


หลังทำ Histogram Equalization

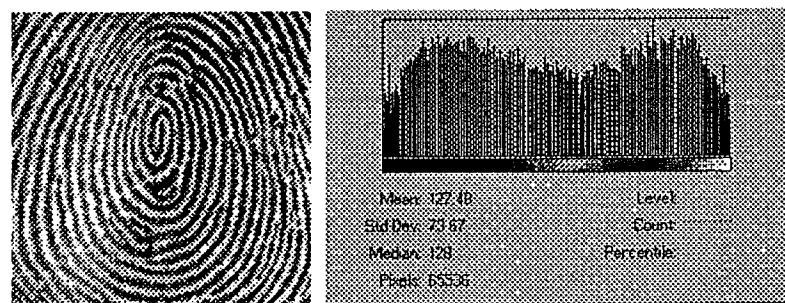


(ง) ภาพต้นแบบที่พิมพ์มืดไม่เท่ากันพร้อมฮิสโตแกรม

ก่อนทำ Histogram Equalization



หลังทำ Histogram Equalization

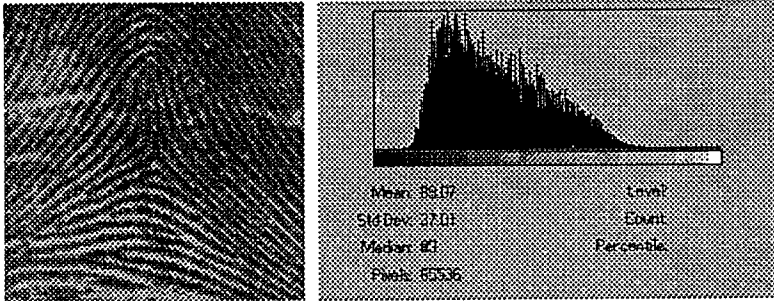


เปรียบเทียบภาพและฮิสโตแกรมภาพก่อน-หลังกระบวนการปรับฮิสโตแกรมให้เสมอกัน

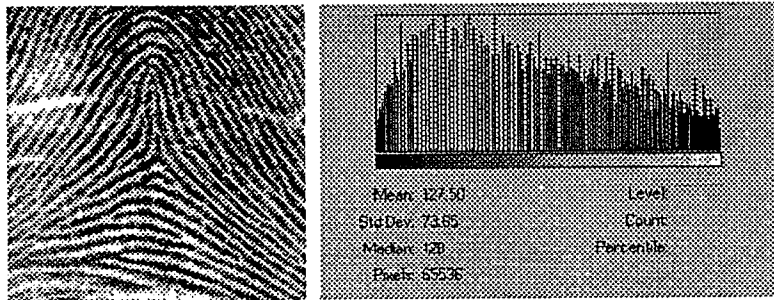
### ภาพที่ 34 (ต่อ)

(จ) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้มและน้ำหนักไม่เสมอฟร้อมฮิสโตแกรม

ก่อนทำ Histogram Equalization



หลังทำ Histogram Equalization



เปรียบเทียบภาพและฮิสโตแกรมภาพก่อน-หลังกระบวนการปรับฮิสโตแกรมให้เสมอกัน

#### 5.3.4 สรุปผลการทดลองการปรับความแตกต่างแสงสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ

จากผลการทดลองที่ได้ เมื่อพิจารณาจากภาพผลลัพธ์และฮิสโตแกรมแล้ว แม้ว่ากระบวนการปรับฮิสโตแกรมให้เสมอกันนี้จะช่วยเพิ่มความแตกต่างแสง ( Contrast ) ระหว่างวัตถุและพื้นหลังภายในภาพในสายตาของผู้ใช้งาน อย่างไรก็ตามการทำงานกระบวนการนี้มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจุดภาพจำนวนมาก โดยจากพฤติกรรมของกระบวนการที่เป็นการพยายามแยกโพลิกอนของระดับเทาออกจากกันและปรับให้ความสูงของแต่ละโพลิกอนมีแนวโน้มเข้าสู่เส้นจินตภาพ (ดูบทที่ 3) แม้ว่า จะช่วยแก้ปัญหาข้อผิดพลาดจากการทำเทรชโฮลด์ (Thresholding errors) เพื่อแปลงเป็นค่าสองระดับในขั้นตอนต่อไป โดยช่วยแก้ปัญหาได้ในกรณีภาพที่มีการกระจายของฮิสโตแกรมในพื้นที่แคบ ๆ ซึ่งผลของกระบวนการจะทำให้ลายเส้นที่อยู่ใกล้ชิดกันถูกแยกออกจากกันเป็นการช่วยแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการพิมพ์ลายนิ้วมือที่ทำให้เส้นสั้นเข้ามาอยู่ใกล้ชิดติดกันซึ่งเป็นข้อผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type 1) ได้ แต่ในทางตรงกันข้ามสำหรับภาพที่มีการกระจายของฮิสโตแกรมในพื้นที่กว้าง ๆ และมีลักษณะของฮิสโตแกรมที่แยกออกเป็นสอง (Bi-modal) กระบวนการนี้จะทำให้จำนวนโพลิกอนของระดับเทาลดลงและทำลายคุณลักษณะแยกเป็นสอง (Bi-modal) ดังนั้นสำหรับภาพที่มีลักษณะของฮิสโตแกรมที่แยกเป็นสองอย่างชัดเจน (Strongly bimodal) ผลของ

กระบวนการจะทำให้บางส่วนที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะในภาพถูกกลืนหายไปในพื้นที่ เช่น ลายเส้นที่มีจุดภาพอยู่ติดกันถูกแยกออกจากกันเป็นการทำให้เกิดข้อผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II) โคซึ่งผลจากข้อผิดพลาดทั้งสองประเภทที่เกิดขึ้นนี้ ทำให้ผู้ใช้จะต้องใช้การพิจารณาโดยละเอียดเพื่อตัดสินใจเลือกระหว่างข้อผิดพลาดทั้งสองประการ ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงเห็นว่า สำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ จากผลลัพธ์ที่ยังไม่แน่นอนและต้องการการตัดสินใจนี้ จึงไม่ควรนำกระบวนการปรับความแตกต่างแสงของภาพด้วยวิธีการปรับฮิสโตแกรมให้เหมือนกันเข้ามาในระบบประมวลผลภาพลายพิมพ์นิ้วมือเบื้องต้นสำหรับระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ

## 5.4 การแปลงภาพลายพิมพ์นิ้วมือเป็นภาพสองระดับ (Binarization)

### 5.4.1 ปัญหาการศึกษา

5.4.1.1 กระบวนการในการแปลงภาพเป็นภาพสองระดับ ระหว่างการใช้คนในการดูกลุ่มฮิสโตแกรม กับการใช้อัลกอริทึมในการหาค่าโดยอัตโนมัติด้วยวิธีการต่าง ๆ มีความแตกต่างกันหรือไม่ วิธีการใดให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่ากัน

5.4.1.2 กระบวนการในการแปลงภาพเป็นสองระดับ โดยการดำเนินการกับภาพทีละส่วน (Local Binarization) ให้ผลเป็นประการใดเมื่อเทียบกับการดำเนินการกับภาพทั้งภาพด้วยค่าเทรชโวลด์เดียวกัน (Global Binarization)

### 5.4.2 วิธีการทดลองและผลที่ได้

#### 5.4.2.1 ขั้นตอนที่ 1

##### วิธีการทดลอง

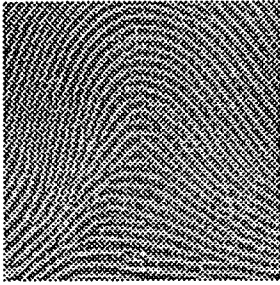
เริ่มต้นคัดเลือกภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่มีลักษณะแตกต่างกันมาทำการทดลองเพื่อสังเกตและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการหาค่าเทรชโวลด์ด้วยวิธีการต่าง ๆ กับการหาค่าเทรชโวลด์อัตโนมัติโดยการใช้ค่าสถิติมาเป็นตัวช่วย

##### ผลการทดลองขั้นตอนที่ 1

จากภาพสองระดับที่เป็นผลลัพธ์ตามภาพที่ 35 จะเห็นได้ว่า การหาค่าเทรชโวลด์โดยการใช้คนพิจารณาจากฮิสโตแกรมจะให้ผลที่ดีกว่าการใช้วิธีการหาค่าเทรชโวลด์โดยอัตโนมัติโดยใช้ค่าสถิติต่าง ๆ แต่ต้องใช้เวลาและความชำนาญในการพิจารณามากกว่า รวมทั้งขาดความแน่นอนเนื่องจากดุลยพินิจของคนแต่ละคนไม่เท่ากัน

## ภาพที่ 35

## (1) ภาพต้นแบบปกติ



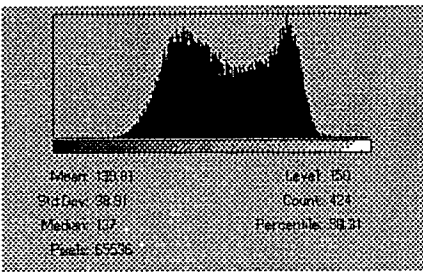
ภาพระดับเทา



(ก) เทรสโวลต์ = 145



(ข) เทรสโวลต์ = 140



ฮิสโตแกรม

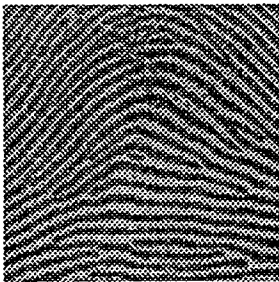


(ค) เทรสโวลต์ = 137



(ง) เทรสโวลต์ = 138

## (2) ภาพต้นแบบที่พิมพ์ซ้ำ



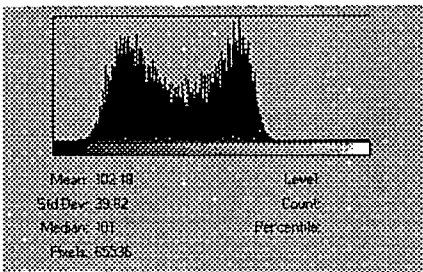
ภาพระดับเทา



(ก) เทรสโวลต์ = 107



(ข) เทรสโวลต์ = 10



ฮิสโตแกรม



(ค) เทรสโวลต์ = 101

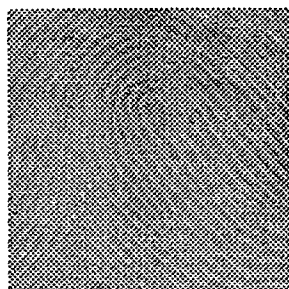


(ง) เทรสโวลต์ = 101

แสดงภาพลายพิมพ์นิ้วมือภายหลังการแปลงเป็นภาพสองระดับด้วยวิธีต่าง ๆ

## ภาพที่ 35 (ต่อ)

## (3) ภาพต้นแบบที่พิมพ์จาง



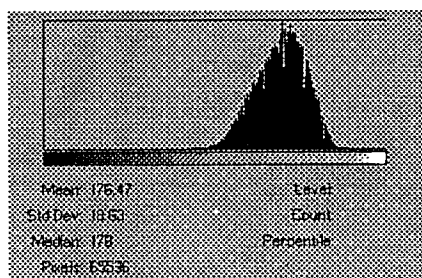
ภาพระดับเทา



(ก) เทรตโซลด์ = 182



(ข) เทรตโซลด์ = 176



ฮิสโตแกรม

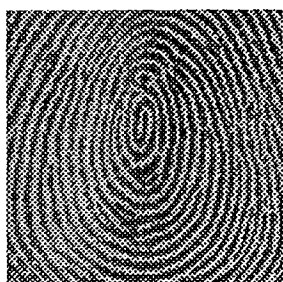


(ค) เทรตโซลด์ = 178



(ง) เทรตโซลด์ = 164

## (4) ภาพต้นแบบที่พิมพ์กดไม่เท่ากัน



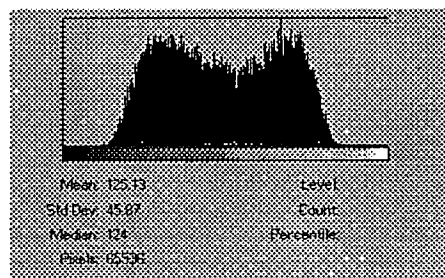
ภาพระดับเทา



(ก) เทรตโซลด์ = 137



(ข) เทรตโซลด์ = 125



ฮิสโตแกรม



(ค) เทรตโซลด์ = 178

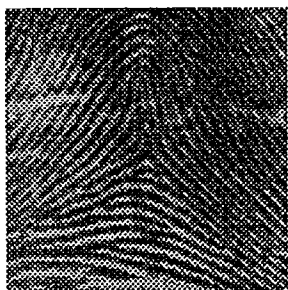


(ง) เทรตโซลด์ = 164

แสดงภาพลายพิมพ์นิ้วมือภายหลังการแปลงเป็นภาพสองระดับด้วยวิธีต่าง ๆ

ภาพที่ 35 (ต่อ)

(5) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้มและน้ำหนักไม่เสมอ



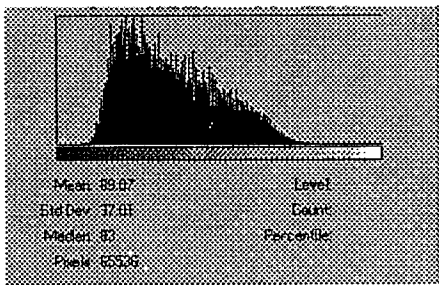
ภาพระดับเทา



(ก) เทรสโวลด์ = 78



(ข) เทรสโวลด์ = 89



ฮิสโตแกรม



(ค) เทรสโวลด์ = 83



(ง) เทรสโวลด์ = 107

แสดงภาพลายพิมพ์นิ้วมือภายหลังการแปลงเป็นภาพสองระดับด้วยวิธีต่าง ๆ

- (ก) ค่าเทรสโวลด์ได้จากการใช้คนพิจารณาฮิสโตแกรม
- (ข) ค่าเทรสโวลด์ได้จากค่าสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต
- (ค) ค่าเทรสโวลด์ได้จากค่าสถิติมัธยฐาน
- (ง) ค่าเทรสโวลด์ได้จากวิธีการของกามาเปอร์

5.4.2.2 ขั้นตอนที่ 2

วิธีการทดลอง

ตารางที่ 5 เป็นตารางเปรียบเทียบเทรสโวลด์ที่ได้จากการนำข้อมูลค่าสถิติจากข้อมูลภาพระดับเทากับค่าเทรสโวลด์ที่ได้จากการใช้คนพิจารณาจากฮิสโตแกรมระดับสีเทา

ตารางที่ 5

| ประเภทของรูป/เทรสโวลด์         | ใช้คน | mean       | median     | Kapur |
|--------------------------------|-------|------------|------------|-------|
| (1) ปกติ                       | 145   | <u>140</u> | 137        | 138   |
| (3) พิมพ์เข้ม                  | 107   | <u>102</u> | 101        | 101   |
| (3) พิมพ์จาง                   | 182   | 176        | <u>178</u> | 164   |
| (4) พิมพ์น้ำหนักไม่เสมอ        | 137   | <u>125</u> | 124        | 124   |
| (5) พิมพ์เข้มและน้ำหนักไม่เสมอ | 78    | 89         | <u>83</u>  | 107   |

แสดงค่าเทรสโวลด์ที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ

## ผลการทดลองขั้นตอนที่ 2

จากการทดลองและผลลัพธ์จากตารางที่ 5 เมื่อนำมาเปรียบเทียบค่าเทรสโวลต์ที่ได้ โดยการใช้วิธีการที่ประกอบด้วยการใช้ค่าสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต (mean) , ค่ามัธยฐาน (median) และ การใช้วิธีการของกาเปอร์ ซึ่งมีพื้นฐานมาจากการคำนวณหาความเป็นไปได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเทรสโวลต์ที่ได้จากการใช้คนพิจารณาฮีสโตแกรม พบว่า

- การใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตมาเป็นเทรสโวลต์ มีข้อดี คือ สะดวกในการคำนวณ ถึงแม้จะมีข้อมูลน้อยแต่มีข้อเสีย คือ ค่าเฉลี่ยจะไม่ใช้ค่ากลางที่ดี( ค่าเฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงไปมาก ) ถ้าสมาชิกในกลุ่มที่นำมาคำนวณมีค่าที่ผิดปกติไป (ค่าสูงเกินไปหรือค่าต่ำเกินไป)

- การใช้ ค่ามัธยฐานมีข้อดี คือ ผลลัพธ์ที่ได้จะไม่ค่อยถูกกระทบกระเทือนเมื่อมีข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ

- สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากรูปตัวอย่างที่นำมาทดลอง พบว่า วิธีการที่ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับผลลัพธ์จากการใช้คนพิจารณา คือการใช้ค่าสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิตมาเป็นค่าเทรสโวลต์

### 5.4.2.3 ขั้นตอนที่ 3

#### วิธีการทดลอง

จากผลการทดลองในขั้นตอนที่ 2 พบว่า ค่าเทรสโวลต์ที่เหมาะสมที่สุดคือ การใช้ค่าสถิติ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ( mean ) และ ค่าสถิติมัธยฐาน ( median ) ในขั้นตอนนี้เราจะทำการทดลองต่อไปว่า เพื่อเพิ่มคุณภาพของภาพสองระดับผลลัพธ์และเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของระบบที่ต้องการให้มีความเป็นอัตโนมัติ การแปลงเป็นภาพสองระดับโดยใช้การดำเนินการกับภาพทีละส่วนด้วยหน้าต่างขนาดต่าง ๆ กันตามวิธีการที่กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา จะให้ผลดีขึ้นกว่าเดิมหรือไม่ และจะให้ผลดีกว่าการใช้คนเป็นผู้ดำเนินการหรือไม่ ซึ่งการทดลองจะเริ่มใช้ขนาดของหน้าต่างตั้งแต่  $4 \times 4$ ,  $8 \times 8$  และ  $16 \times 16$  ตามลำดับ โดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่ามัธยฐานที่ได้จากข้อมูลจุดภาพในหน้าต่างแต่ละส่วนมาเป็นค่าเทรสโวลต์ แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับการใช้คนพิจารณากำหนดค่าเทรสโวลต์จากฮีสโตแกรม

ภาพที่ 36

## (1) ภาพต้นแบบปกติ

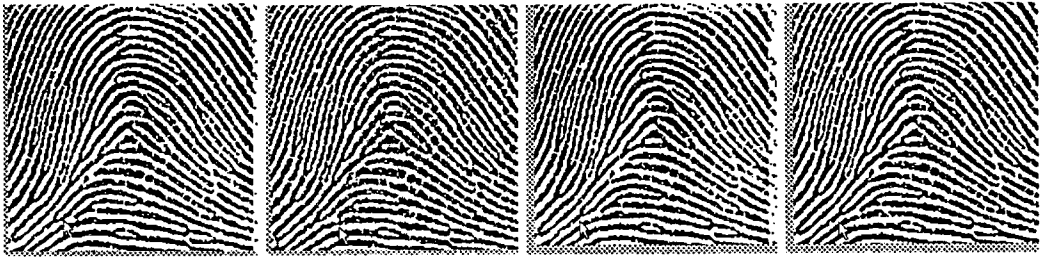


(ก) Grey

(ข) Manual

(ค) LB\_mean\_4\*4

(ง) LB\_median\_4\*4



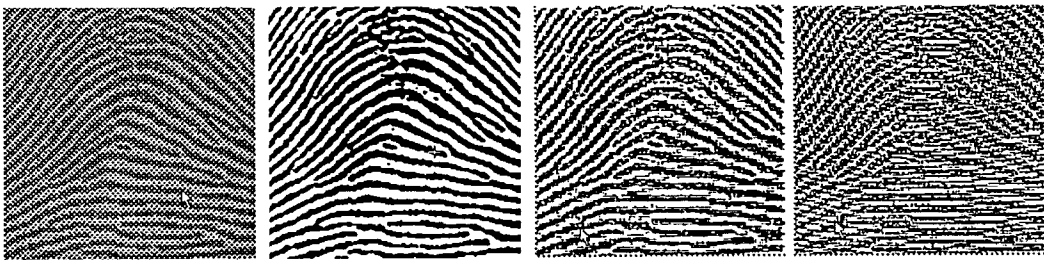
(จ) LB\_mean\_8\*8

(ฉ) LB\_median\_8\*8

(ช) LB\_mean\_16\*16

(ซ) LB\_median\_16\*16

## (2) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้ม

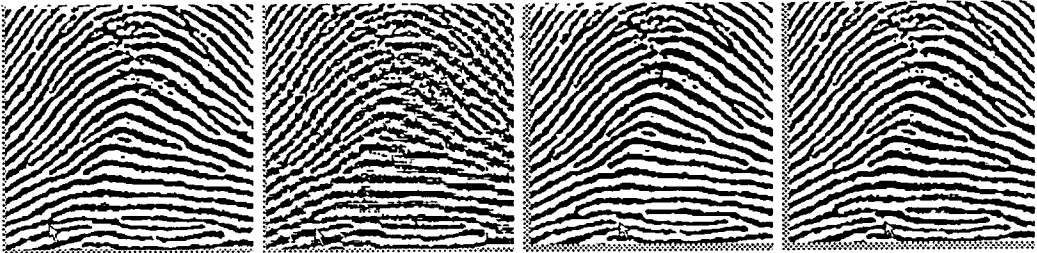


(ก) Grey

(ข) Manual

(ค) LB\_mean\_4\*4

(ง) LB\_median\_4\*4



(จ) LB\_mean\_8\*8

(ฉ) LB\_median\_8\*8

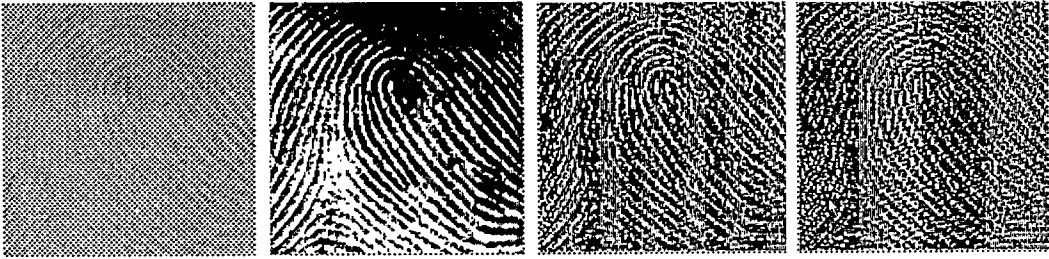
(ช) LB\_mean\_16\*16

(ซ) LB\_median\_16\*16

แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับที่ได้จากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วนด้วยหน้าต่างขนาดต่าง ๆ

ภาพที่ 36 (ต่อ)

(3) ภาพต้นแบบที่พิมพ์จาง

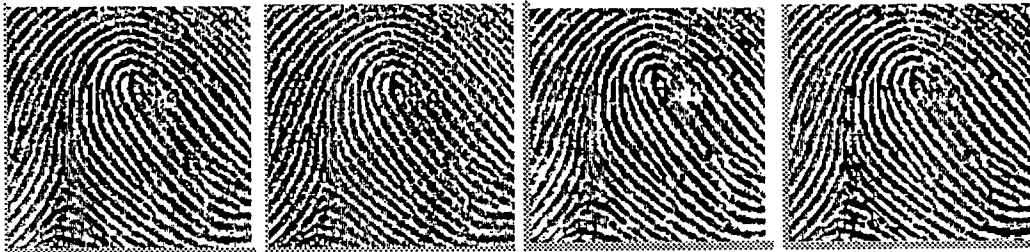


(ก) Grey

(ข) Manual

(ค) LB\_mean\_4\*4

(ง) LB\_median\_4\*4



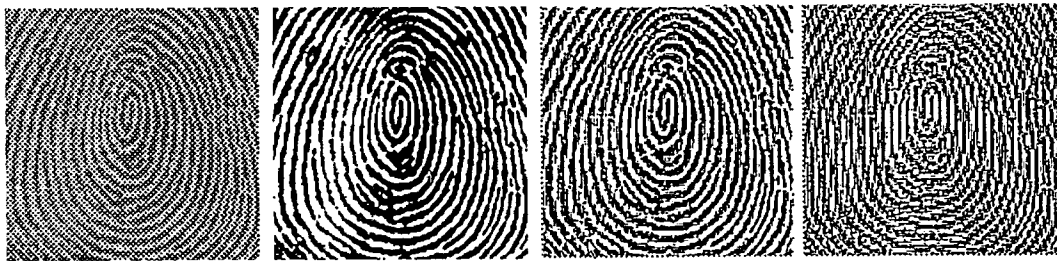
(จ) LB\_mean\_8\*8

(ฉ) LB\_median\_8\*8

(ช) LB\_mean\_16\*16

(ซ) LB\_median\_16\*16

(4) ภาพต้นแบบที่พิมพ์ผิดไม่เท่ากัน

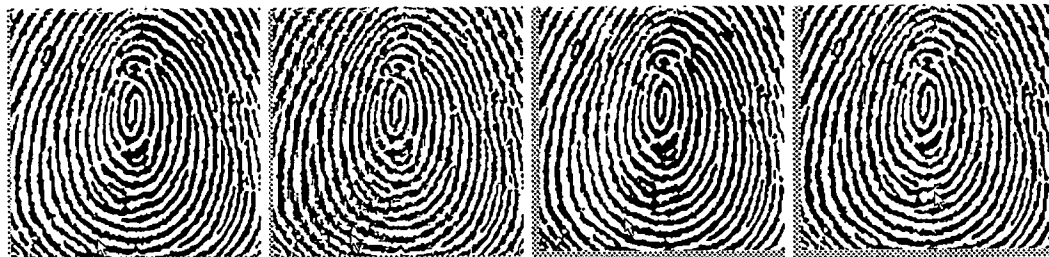


(ก) Grey

(ข) Manual

(ค) LB\_mean\_4\*4

(ง) LB\_median\_4\*4



(จ) LB\_mean\_8\*8

(ฉ) LB\_median\_8\*8

(ช) LB\_mean\_16\*16

(ซ) LB\_median\_16\*16

แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับที่ได้จากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วนด้วยหน้าต่างขนาดต่าง ๆ

### ภาพที่ 36 (ต่อ)

#### (5) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้มและน้ำหนักไม่เสมอ

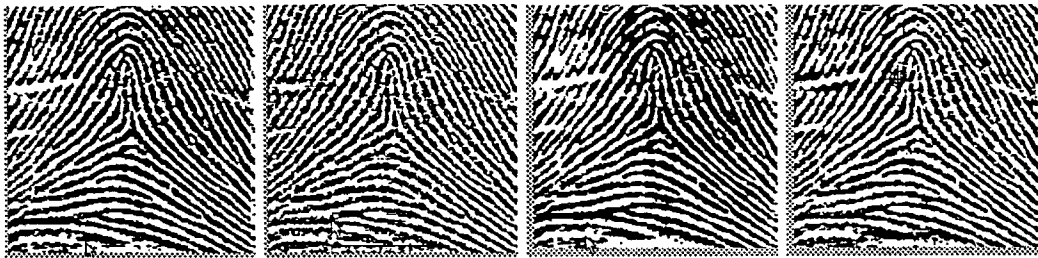


(ก) Grey

(ข) Manual

(ค) LB\_mean\_4\*4

(ง) LB\_median\_4\*4



(จ) LB\_mean\_8\*8

(ฉ) LB\_median\_8\*8

(ช) LB\_mean\_16\*16

(ซ) LB\_median\_16\*16

แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับที่ได้จากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วนด้วยหน้าต่างขนาดต่าง ๆ

#### (ก) ภาพระดับเทา

(ข) ภาพสองระดับที่ใช้การหาเทรสโวลด์ด้วยการใช้คณพิจรณาสีสโตแกรม

(ค) ภาพสองระดับจากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วน, หน้าต่าง 4\*4, เทรสโวลด์=ค่าเฉลี่ย

(ง) ภาพสองระดับจากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วน, หน้าต่าง 4\*4, เทรสโวลด์=ค่ามัธยฐาน

(จ) ภาพสองระดับจากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วน, หน้าต่าง 8\*8, เทรสโวลด์=ค่าเฉลี่ย

(ฉ) ภาพสองระดับจากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วน, หน้าต่าง 8\*8, เทรสโวลด์=ค่ามัธยฐาน

(ช) ภาพสองระดับจากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วน, หน้าต่าง 16\*16, เทรสโวลด์=ค่าเฉลี่ย

(ซ) ภาพสองระดับจากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วน, หน้าต่าง 16\*16, เทรสโวลด์=ค่ามัธยฐาน

#### ผลการทดลองขั้นตอนที่ 3

จากภาพผลลัพธ์ตามภาพที่ 36 พบว่า

- การแบ่งพื้นที่ในรูปภาพออกเป็นส่วน ๆ แล้วแปลงเป็นภาพสองระดับเมื่อเปรียบเทียบการหาค่าเทรสโวลด์ด้วยค่าสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต และมัธยฐานด้วยหน้าต่างขนาดต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบภาพต่อภาพพบว่า การหาค่าเทรสโวลด์ด้วยค่าสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้ค่าสถิติมัธยฐานอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันขึ้นเรื่อย ๆ ตามขนาดหน้าต่างที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการยืนยันผลการทดลองในขั้นตอนที่ 2

- ไม่ว่าจะใช้ค่าสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต หรือมัธยฐาน ในการหาค่าเทรโซลด์ พบว่า ยิ่งใช้ขนาดหน้าต่างเล็กลงเท่าใด ยิ่งเป็นการเพิ่มสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพที่เป็นรอยต่อของหน้าต่าง ซึ่งเป็นผลมาจากการขาดความต่อเนื่องในการคำนวณหาค่าเทรโซลด์

- เมื่อพิจารณาภาพผลลัพธ์จากภาพที่ค่อนข้างมีความสมบูรณ์และมีความเสมอกันของน้ำหนักภาพทั้งภาพ พบว่า ภาพผลลัพธ์ของหน้าต่างขนาด  $4 \times 4$  มีปัญหาจากสัญญาณรบกวนบริเวณรอยต่อของหน้าต่างจำนวนมาก ทำให้เป็นอุปสรรคที่ไม่สามารถพิจารณาเปรียบเทียบผลลัพธ์ได้ ส่วนภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้หน้าต่างขนาด  $8 \times 8$  และ  $16 \times 16$  ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้คนพิจารณาฮิสโตแกรม แต่ทั้งสองกรณีก็ยังได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนบริเวณขอบรอยต่อของหน้าต่าง

- เมื่อพิจารณาภาพผลลัพธ์จากภาพที่มีความบกพร่องอยู่บ้าง ซึ่งเป็นภาพส่วนใหญ่ที่มักพบในการทำงานจริงพบว่า ภาพผลลัพธ์ของหน้าต่างขนาด  $4 \times 4$  มีปัญหาจากสัญญาณรบกวนบริเวณรอยต่อของหน้าต่างจำนวนมาก ทำให้เป็นอุปสรรคที่ไม่สามารถพิจารณาเปรียบเทียบผลลัพธ์ได้ ส่วนภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้หน้าต่างขนาด  $8 \times 8$  และ  $16 \times 16$  พบว่า ทั้งสองแบบต่างก็ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้คนพิจารณาฮิสโตแกรม โดยหน้าต่างขนาด  $8 \times 8$  จะให้ข้อมูลผลลัพธ์ที่มีความสมบูรณ์ครบถ้วนเมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบที่เป็นภาพระดับเทามากกว่าการใช้หน้าต่างขนาด  $16 \times 16$  แต่ทั้งสองกรณีก็ยังได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนบริเวณขอบรอยต่อของหน้าต่าง

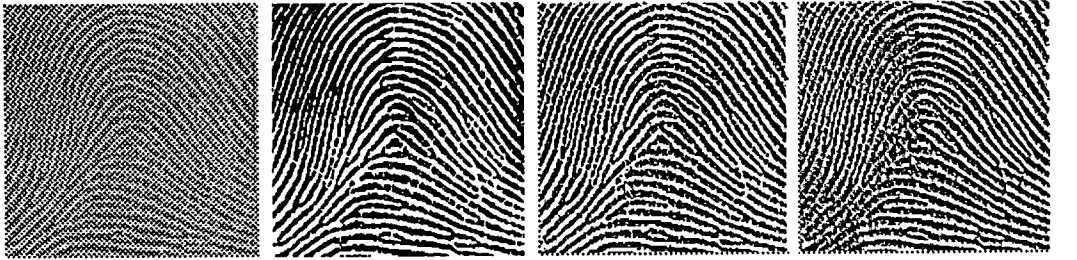
#### 5.4.2.4 ขั้นตอนที่ 4

##### วิธีการทดลอง

เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองขั้นตอนที่แล้ว จึงทำการทดลองต่อไปตามวิธีการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 เพื่อทดสอบว่า การกำหนดขนาดของพื้นที่ในการคำนวณหาค่าเทรโซลด์ให้เหลื่อมกัน จะมีผลเป็นการปรับปรุงให้คุณภาพของภาพผลลัพธ์ที่ดีขึ้นหรือไม่ โดยการกำหนดขนาดพื้นที่เหลื่อมกันขนาดเท่ากับ  $N/2$  ของพื้นที่หน้าต่าง การทดลองจะทดลองกับภาพตัวอย่างโดยใช้หน้าต่างขนาด  $4 \times 4$ ,  $8 \times 8$  และ  $16 \times 16$  ตามลำดับ โดยดำเนินการเช่นเดียวกับที่ทดลองมาในขั้นตอนที่ 3 แต่ใช้การเหลื่อมกันของข้อมูล

ภาพที่ 37

## (1) ภาพต้นแบบปกติ

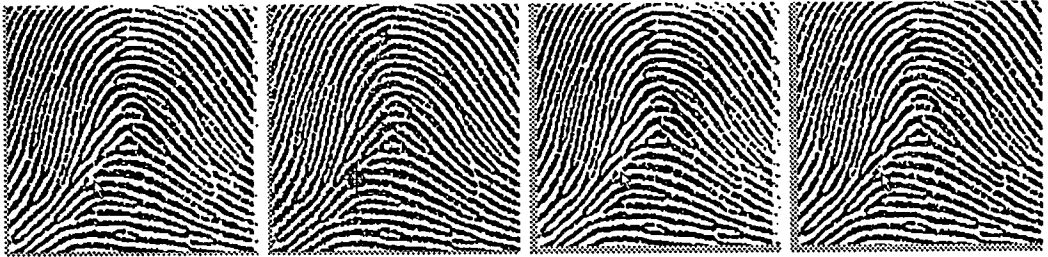


(ก) Grey

(ข) Manual

(ค) LB\_mean\_4\*4\_OVL

(ง) LB\_median\_4\*4\_OVL



(จ) LB\_mean\_8\*8\_OVL (ฉ) LB\_median\_8\*8\_OVL (ช) LB\_mean\_16\*16\_OVL (ฅ) LB\_median\_16\*16\_OVL

## (2) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้ม

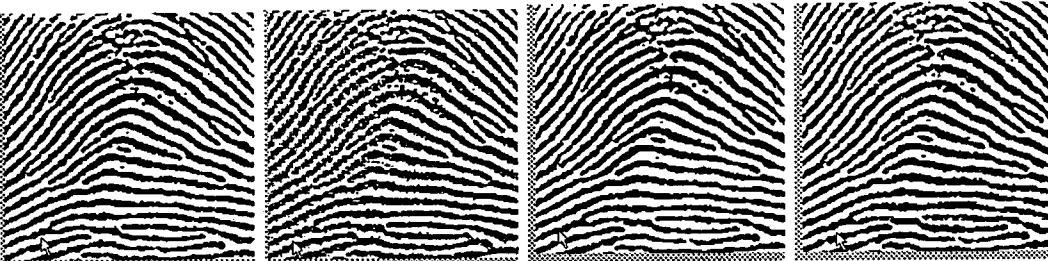


(ก) Grey

(ข) Manual

(ค) LB\_mean\_4\*4\_OVL

(ง) LB\_median\_4\*4\_OVL



(จ) LB\_mean\_8\*8\_OVL (ฉ) LB\_median\_8\*8\_OVL (ช) LB\_mean\_16\*16\_OVL (ฅ) LB\_median\_16\*16\_OVL

แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับที่ได้จากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วนด้วยหน้าต่างขนาดต่าง ๆ

โดยกำหนดพื้นที่ในการหาค่าเทรซโวลต์ให้เหลื่อมกัน  $N/2$

ภาพที่ 37 (ต่อ)

(3) ภาพต้นแบบที่พิมพ์จาง



(ก) Grey

(ข) Manual

(ค) LB\_mean\_4\*4\_OVL

(ง) LB\_median\_4\*4\_OVL



(จ) LB\_mean\_8\*8\_OVL (ฉ) LB\_median\_8\*8\_OVL (ช) LB\_mean\_16\*16\_OVL (ซ) LB\_median\_16\*16\_OVL

(4) ภาพต้นแบบที่พิมพ์กดไม่เท่ากัน

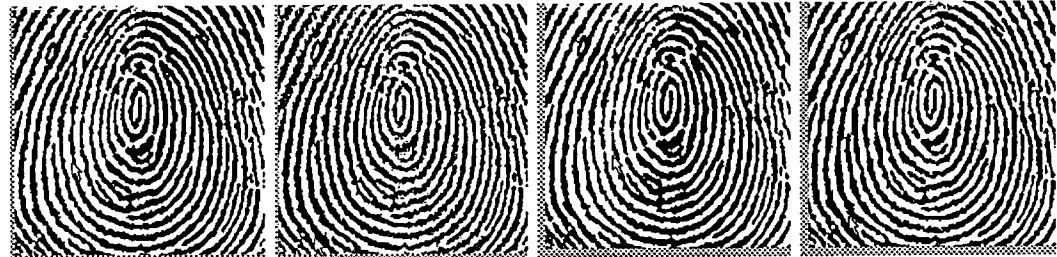


(ก) Grey

(ข) Manual

(ค) LB\_mean\_4\*4\_OVL

(ง) LB\_median\_4\*4\_OVL



(จ) LB\_mean\_8\*8\_OVL (ฉ) LB\_median\_8\*8\_OVL (ช) LB\_mean\_16\*16\_OVL (ซ) LB\_median\_16\*16\_OVL

แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับที่ได้จากการดำเนินการกับภาพที่ละส่วนด้วยหน้าต่างขนาดต่าง ๆ

โดยกำหนดพื้นที่ในการหาค่าเทรสโลดให้เหมือนกัน  $N/2$

ภาพที่ 37 (ต่อ)

(5) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้มและน้ำหนักไม่เสมอ



(ก) Grey

(ข) Manual

(ค) LB\_mean\_4\*4\_OVL

(ง) LB\_median\_4\*4\_OVL



(จ) LB\_mean\_8\*8\_OVL (ฉ) LB\_median\_8\*8\_OVL (ช) LB\_mean\_16\*16\_OVL (ซ) LB\_median\_16\*16\_OVL

แสดงภาพลายนิ้วมือสองระดับที่ได้จากการดำเนินการกับภาพทีละส่วนด้วยหน้าต่างขนาดต่าง ๆ โดยกำหนดพื้นที่ในการหาค่าเทรสโวลด์ให้เหมือนกัน  $N/2$

(ก) ภาพระดับเทา

(ข) ภาพสองระดับที่ใช้การหาเทรสโวลด์ด้วยการใช้คนพิจารณาฮิสโตแกรม

(ค) ภาพสองระดับจากการดำเนินการกับภาพทีละส่วน, หน้าต่าง 4\*4, เทรสโวลด์=ค่าเฉลี่ย, เลื่อนหน้าต่างให้เหลื่อมกัน  $N/2$  ( $N = 4$ )

(ง) ภาพสองระดับจากการดำเนินการกับภาพทีละส่วน, หน้าต่าง 4\*4, เทรสโวลด์=ค่ามัธยฐาน, เลื่อนหน้าต่างให้เหลื่อมกัน  $N/2$  ( $N = 4$ )

(จ) ภาพสองระดับจากการดำเนินการกับภาพทีละส่วน, หน้าต่าง 8\*8, เทรสโวลด์=ค่าเฉลี่ย, เลื่อนหน้าต่างให้เหลื่อมกัน  $N/2$  ( $N = 4$ )

(ฉ) ภาพสองระดับจากการดำเนินการกับภาพทีละส่วน, หน้าต่าง 8\*8, เทรสโวลด์=ค่ามัธยฐาน, เลื่อนหน้าต่างให้เหลื่อมกัน  $N/2$  ( $N = 8$ )

(ช) ภาพสองระดับจากการดำเนินการกับภาพทีละส่วน, หน้าต่าง 16\*16, เทรสโวลด์=ค่าเฉลี่ย, เลื่อนหน้าต่างให้เหลื่อมกัน  $N/2$  ( $N = 16$ )

(ซ) ภาพสองระดับจากการดำเนินการกับภาพทีละส่วน, หน้าต่าง 16\*16, เทรสโวลด์=ค่ามัธยฐาน, เลื่อนหน้าต่างให้เหลื่อมกัน  $N/2$  ( $N = 16$ )

#### ผลการทดลองขั้นตอนที่ 4

จากภาพผลลัพธ์ตามภาพที่ 37 พบว่า

- ด้วยขนาดหน้าต่างเท่า ๆ กับการทดลองที่แล้ว แต่ใช้การเหลื่อมกันของข้อมูล ไม่ว่าจะใช้ค่าสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต ( mean ) หรือมัธยฐาน ( median ) ในการหาค่าเทรชโวลด์ จะช่วยลดการเกิดสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพที่เป็นรอยต่อของส่วนย่อยแต่ละส่วน ทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีสัญญาณรบกวนน้อยลงและมีความต่อเนื่องของข้อมูลมากยิ่งขึ้น

- เมื่อพิจารณาภาพผลลัพธ์จากภาพที่ค่อนข้างมีความสมบูรณ์และมีความเสมอกันของน้ำหนักภาพพบว่า แม้ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีสัญญาณรบกวนน้อยลงแต่ในกรณีหน้าต่างขนาด  $4 \times 4$  ยังคงมีปัญหาจากสัญญาณรบกวนบริเวณรอยต่อของหน้าต่างอยู่บ้าง ทำให้เป็นอุปสรรคที่ไม่สามารถพิจารณาเปรียบเทียบผลลัพธ์ได้ ส่วนภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้หน้าต่างขนาด  $8 \times 8$  และ  $16 \times 16$  ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้คนพิจารณาอีโสดแกรม โดยทั้งสองกรณีมีผลกระทบจากสัญญาณรบกวนบริเวณขอบรอยต่อของหน้าต่างน้อยมาก

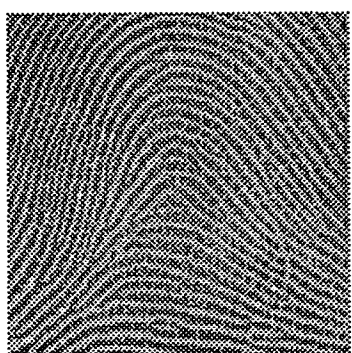
- เมื่อพิจารณาภาพผลลัพธ์จากภาพที่มีความบกพร่องอยู่บ้างซึ่งเป็นภาพส่วนใหญ่ที่มักพบในการทำงานจริงพบว่า แม้ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีสัญญาณรบกวนน้อยลงแต่ในกรณีหน้าต่างขนาด  $4 \times 4$  ยังคงมีปัญหาจากสัญญาณรบกวนบริเวณรอยต่อของหน้าต่างอยู่บ้าง ทำให้เป็นอุปสรรคที่ไม่สามารถพิจารณาเปรียบเทียบผลลัพธ์ได้ ส่วนภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้หน้าต่างขนาด  $8 \times 8$  และ  $16 \times 16$  พบว่า ทั้งสองแบบต่างก็ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้คนพิจารณาอีโสดแกรม โดยหน้าต่างขนาด  $8 \times 8$  จะให้ข้อมูลผลลัพธ์ที่มีความสมบูรณ์ครบถ้วนเมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบที่เป็นภาพระดับเทามากกว่าการใช้หน้าต่างขนาด  $16 \times 16$  โดยทั้งสองกรณีมีผลกระทบจากสัญญาณรบกวนบริเวณขอบรอยต่อของหน้าต่างน้อยมาก

#### 5.4.3 สรุปผลการทดลองการแปลงภาพลายพิมพ์นิ้วมือระดับเทาเป็นภาพสองระดับ

จากผลการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมดข้างต้น ทำให้ได้ข้อสรุปว่า ในกระบวนการแปลงภาพลายพิมพ์นิ้วมือระดับเทา เป็นภาพแบบสองระดับควรเลือกใช้วิธีการแปลงเป็นภาพสองระดับโดยดำเนินการกับภาพทีละส่วน (Local Binarization) ด้วยหน้าต่างขนาด  $8 \times 8$  และเลื่อนหน้าต่างด้วยวิธีการเหลื่อมขอบภาพขนาด 4 และใช้ค่าสถิติเฉลี่ยเลขคณิตเป็นค่าเทรชโวลด์ เนื่องจากให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดทั้งกับภาพที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะในภาพที่ไม่สมบูรณ์จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าและมีข้อมูลครบถ้วนมากกว่าการดำเนินการกับทั้งภาพโดยใช้ค่าเทรชโวลด์เดียวและการใช้หน้าต่างขนาดอื่นซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนดังที่นำมาขยายไว้ตามภาพที่ 38

ภาพที่ 38

## (1) ภาพต้นแบบปกติ



ภาพระดับเทา

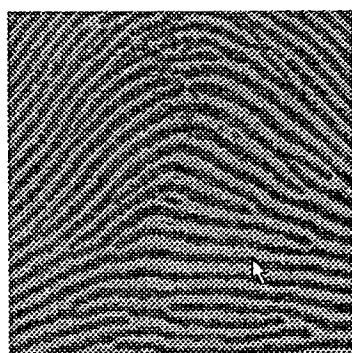


ไม่เหลื่อมหน้าต่าง



เหลื่อมหน้าต่าง

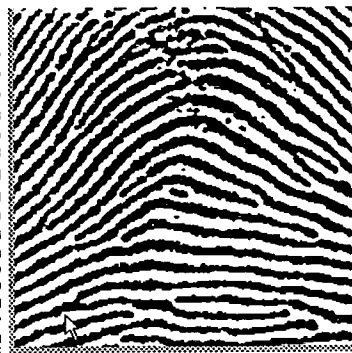
## (2) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้ม



ภาพระดับเทา

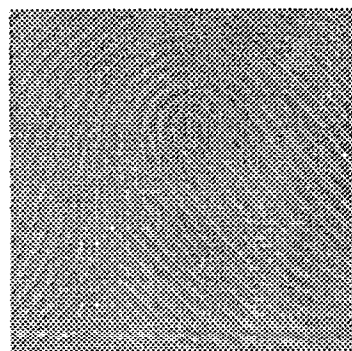


ไม่เหลื่อมหน้าต่าง



เหลื่อมหน้าต่าง

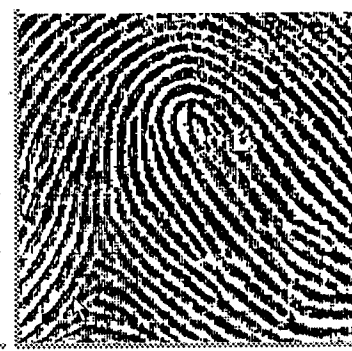
## (3) ภาพต้นแบบที่พิมพ์จาง



ภาพระดับเทา



ไม่เหลื่อมหน้าต่าง



เหลื่อมหน้าต่าง

แสดงภาพลายพิมพ์นิ้วมือสองระดับที่ได้จากการดำเนินการกับทีละส่วนของภาพโดยเลื่อนหน้าต่าง  
ขนาด 8\*8 แบบไม่เหลื่อมและเหลื่อมโดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นค่าเทรโซลด์

ภาพที่ 38 (ต่อ)

(4) ภาพต้นแบบที่พิมพ์กดไม่เท่ากัน



(5) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้มและน้ำหนักไม่เสมอ



แสดงภาพลายพิมพ์นิ้วมือสองระดับที่ได้จากการดำเนินการกับที่ละส่วนของภาพโดยเลื่อนหน้าต่าง  
ขนาด 8\*8 แบบไม่เหลื่อมและเหลื่อมโดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นค่าเทรชโวลต์

5.5 การทำให้วัตถุในภาพบาง

5.5.1 ปัญหาการศึกษา

5.5.1.1 ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการในการทำให้วัตถุในภาพบางเมื่อนำมาใช้งานร่วมกับกระบวนการในการประมวลผลภาพที่ได้ศึกษามาแล้ว มีคุณภาพเป็นประการใดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้คนลอกลายเส้น

5.5.1.2 กระบวนการในการทำให้วัตถุในภาพบางสามารถนำมาใช้งาน      ภายในระบบ  
ตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติทดแทนการใช้คนลอกลายเส้นได้หรือไม่ อย่างไร

5.5.2 วิธีการทดลอง

นำภาพตัวอย่างมาผ่านกระบวนการแปลงเป็นภาพสองระดับโดยวิธีการดำเนินการกับภาพทีละส่วนและด้วยวิธีการหาค่าเทรสโซลด์ตามที่ได้ข้อสรุปแล้วว่าดีที่สุดในการทดลองขั้นตอนที่แล้ว คือ การแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพสองระดับด้วยวิธีการดำเนินการกับภาพทีละส่วนด้วยขนาดหน้าต่าง 8\*8 เลื่อนหน้าต่างด้วยการเลื่อนหน้าต่างแล้วใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นค่าเทรสโซลด์ในการแปลงจุดภาพจากระดับเทาเป็นจุดภาพสองระดับ จากนั้นนำภาพผลลัพธ์ที่ได้มาผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางด้วยอัลกอริธึมแบบขนานของ Guo และ Hall<sup>[19]</sup> ซึ่งได้มีการประยุกต์ด้วยการเพิ่มเติมขั้นตอนการทำให้เรียบตามวิธีการของ Frank Y. Shih และ Wai-Tak Wong<sup>[18]</sup> แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับภาพลายเส้นที่ได้จากการนำภาพตัวอย่างมาผ่านกระบวนการลอกลายเส้นโดยใช้คอนทราสต์ที่มีขนาดหนึ่งจุดภาพ ทับไปบนเส้นสันของภาพต้นแบบระดับเทา

5.5.3 ผลการทดลอง

จากภาพที่ 39 สังเกตเห็นได้ว่า ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางตามภาพที่ 39 (2) และ (4) จะให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับภาพลายเส้นที่ได้จากการลอกลายเส้นทับไปบนภาพระดับเทา ส่วนภาพที่ 39 (1) และ (5) จะให้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพด้อยกว่าเล็กน้อย สำหรับภาพที่ 39 (3) จะมีคุณภาพต่ำใช้การไม่ได้ เนื่องจากภาพต้นแบบพิมพ์หมึกจางไม่ชัดเจน

ภาพที่ 39

(1) ภาพต้นแบบปกติ



ภาพระดับเทา

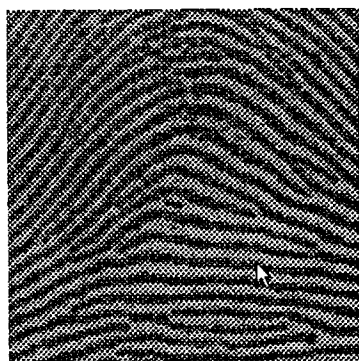
ภาพลายเส้นด้วยมือ

ภาพจากการทำให้วัตถุในภาพบาง

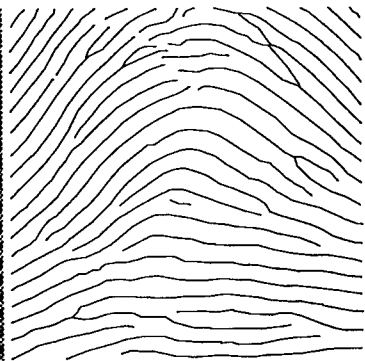
แสดงภาพผลลัพธ์จากการใช้คอนทราสต์เปรียบเทียบ  
กับภาพที่ได้จากกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบาง

ภาพที่ 39 (ต่อ)

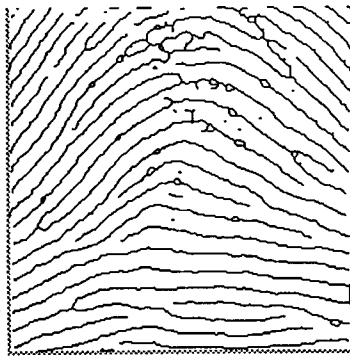
(2) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้ม



ภาพระดับเทา

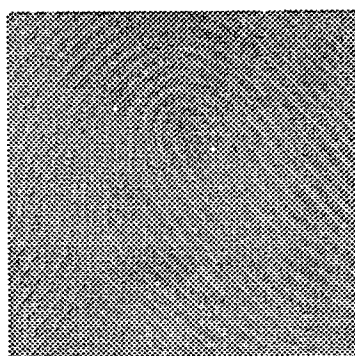


ภาพลายเส้นด้วยมือ



ภาพจากการทำให้วัตถุในภาพบาง

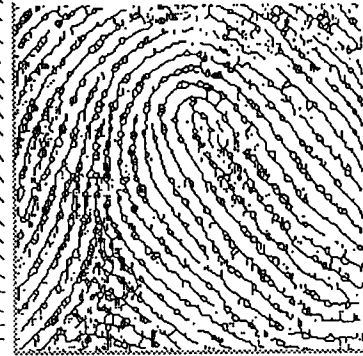
(3) ภาพต้นแบบที่พิมพ์จาง



ภาพระดับเทา

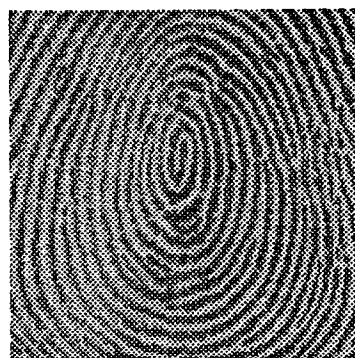


ภาพลายเส้นด้วยมือ

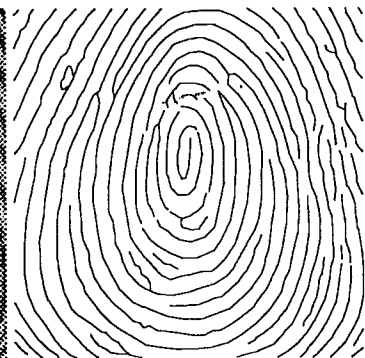


ภาพจากการทำให้วัตถุในภาพบาง

(4) ภาพต้นแบบที่พิมพ์กดไม่เท่ากัน



ภาพระดับเทา



ภาพลายเส้นด้วยมือ



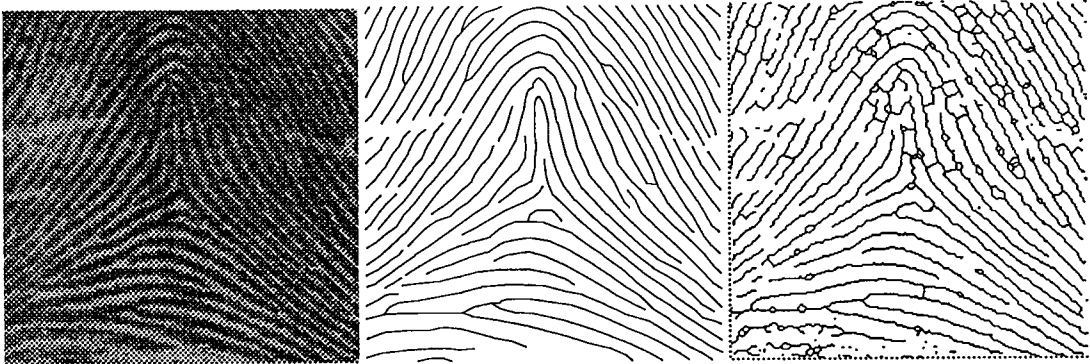
ภาพจากการทำให้วัตถุในภาพบาง

แสดงภาพผลลัพธ์จากการใช้คนลอกลายเส้นเปรียบเทียบ

กับภาพที่ได้จากกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบาง

### ภาพที่ 39 (ต่อ)

#### (5) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้มและน้ำหนักไม่เสมอ



ภาพระดับเทา

ภาพลายเส้นด้วยมือ

ภาพจากการทำให้วัตถุในภาพบาง

แสดงภาพผลลัพธ์จากการใช้คนลอกลายเส้นเปรียบเทียบ

กับภาพที่ได้จากกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบาง

#### 5.5.4 สรุปผลการทดลองการทำให้วัตถุในภาพบางสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ

ภาพลายเส้นที่ได้จากกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางยังคงเก็บข้อมูลสำคัญโดยส่วนใหญ่ของภาพลายพิมพ์นิ้วมือไว้ได้ ทั้งในเรื่องของทิศทางของลายเส้นและจุดลักษณะเฉพาะ อย่างไรก็ตามพบว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้ยังคงมีปัญหาจากสัญญาณรบกวนซึ่งน่าจะปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ ดังนั้นจึงทำการทดลองต่อไปโดยเพิ่มกระบวนการทำให้เรียบเพื่อจัดสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบประมวลผลภาพเบื้องต้นสำหรับระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ

#### 5.6 การจัดสัญญาณรบกวนภายในรูปภาพลายพิมพ์นิ้วมือ

##### 5.6.1 ปัญหาการศึกษา

การจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการทำให้เรียบ จะช่วยลดสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในภาพลายพิมพ์นิ้วมือได้จริงหรือไม่ หากได้ควรใช้การดำเนินการกับตัวกรองชนิดใดจึงจะเหมาะสม

##### 5.6.2 วิธีการทดลองและผลที่ได้

###### 5.6.2.1 ขั้นตอนที่ 1

###### วิธีการทดลอง

เริ่มต้นทำการศึกษาว่า สัญญาณรบกวนที่ทำให้เกิดเป็นแอ่งจั่นบนภาพลายเส้นเป็นผลข้างเคียงที่เกิดมาจากการขยายสัญญาณรบกวนในขั้นตอนการดำเนินการก่อนหน้านี้หรือไม่ โดยเลือกภาพตัวอย่างที่มีคุณภาพดี ซึ่งให้ผลที่ไม่แตกต่างกันมากนักระหว่างการแปลงเป็นภาพสองระดับด้วยการใช้เทรโซลด์เดียวดำเนินการกับทั้งภาพ เมื่อเทียบกับการแปลงเป็นภาพสองระดับ

โดยวิธีการหาค่าเทรสโวลต์เฉพาะส่วน จากนั้นนำภาพผลลัพธ์ที่ได้มาผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางตามขั้นตอนที่ 5.5 นำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกันโดยใช้ภาพลายเส้นที่ได้จากการนำภาพตัวอย่างมาผ่านกระบวนการลอกลายเส้นโดยใช้คนลากเส้นทับไปบนเส้นสันของภาพต้นแบบระดับเทาเป็นภาพอ้างอิง สังเกตผลที่ได้แล้วหาข้อสรุปเพื่อทำการหาวิธีการแก้ไขที่ต้นเหตุ

ภาพที่ 40

(1) ภาพต้นแบบปกติ



ภาพระดับเทา      ค่าเทรสโวลต์ = mean = 140      ภาพสองระดับจากการแบ่งหาเป็นส่วน

(2) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้ม



ภาพระดับเทา      ค่าเทรสโวลต์ = mean = 102      ภาพสองระดับจากการแบ่งหาเป็นส่วน

แสดงภาพสองระดับของภาพตัวอย่างที่นำมาทดลอง

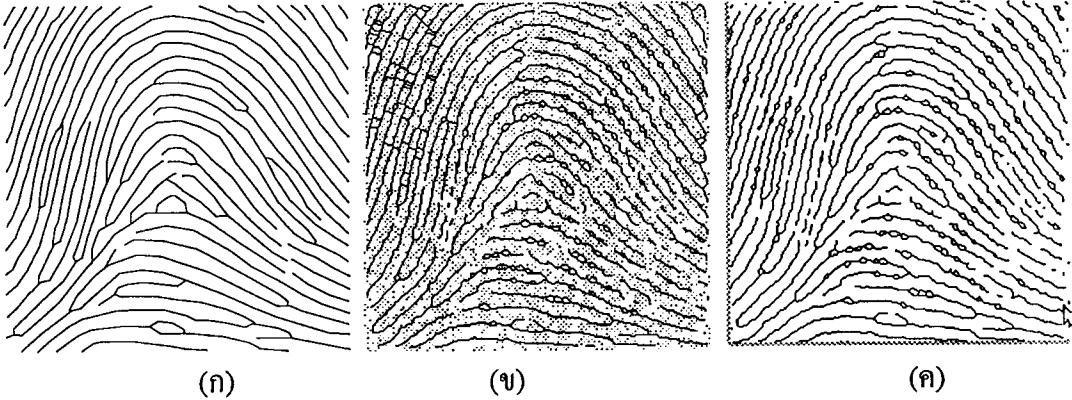
ผลการทดลองขั้นตอนที่ 1

จากผลลัพธ์ตามภาพที่ 41 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบภาพลายพิมพ์นิ้วมือจากกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางที่นำภาพสองระดับจากการหาเทรสโวลต์เป็นส่วน ๆ กับภาพสองระดับที่ได้จากการใช้ค่าเทรสโวลต์เดียวตลอดภาพมาเป็นภาพเริ่มต้น จะมีปริมาณของแอ่ง(Loop) บนลายเส้นใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนในส่วนของเส้นสะพาน(Bridge) โดยภาพผลลัพธ์ของกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางที่เริ่มต้นด้วยภาพสองระดับที่ได้จากการหาเทรสโวลต์โดย

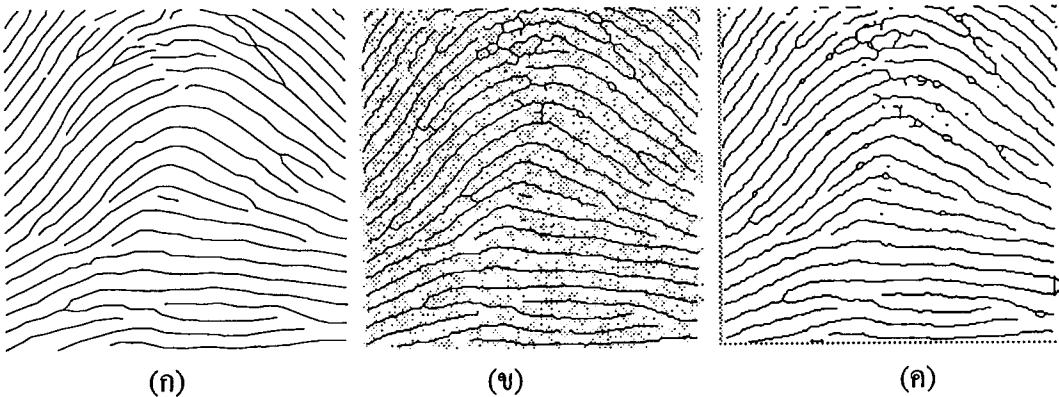
แบ่งภาพระดับเทาเป็นส่วนจะให้ภาพลายเส้นที่มีเส้นสะพานน้อยกว่ามาก เมื่อเทียบกับภาพผลลัพธ์ที่เริ่มต้นจากภาพสองระดับที่ได้จากการหาค่าเทรโซลด์จากภาพทั้งภาพ

ภาพที่ 41

(1) ภาพต้นแบบปกติ



(2) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้ม



แสดงภาพผลลัพธ์จากการนำภาพสองระดับจาก ภาพที่ 32 มาผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางเปรียบเทียบกับภาพลายเส้นที่ได้จากการใช้คอนทราสต์

(ก) ภาพลายเส้นที่ได้จากการใช้คอนทราสต์กับเส้นสันของภาพระดับเทา

(ข) ภาพลายเส้นที่ได้จากการนำภาพผลลัพธ์จากการแปลงเป็นภาพสองระดับดำเนินการกับทั้งภาพมาผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบาง

(ค) ภาพลายเส้นที่ได้จากการนำภาพผลลัพธ์จากการแปลงเป็นภาพสองระดับดำเนินการ โดยแบ่งภาพเป็นส่วนมาผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบาง

ดังนั้นในการทดลองขั้นตอนนี้จึงได้ข้อสรุปว่า กระบวนการแปลงภาพจากระดับเทาเป็นภาพสองระดับโดยใช้การดำเนินการกับภาพเป็นส่วน ๆ ด้วยวิธีการที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ผ่านมา ไม่มีผลเป็นการเพิ่มหรือขยายสัญญาณรบกวนภายในภาพ ในการจัด

สัญญาณรบกวนภายในภาพลายพิมพ์นิ้วมือ จึงทำการทดลองในขั้นตอนต่อไปได้เลยโดยไม่จำเป็นต้องปรับปรุงวิธีการแปลงภาพลายพิมพ์นิ้วมือระดับเทาเป็นภาพสองระดับ

### 5.6.2.2 ขั้นตอนที่ 2

#### วิธีการทดลอง

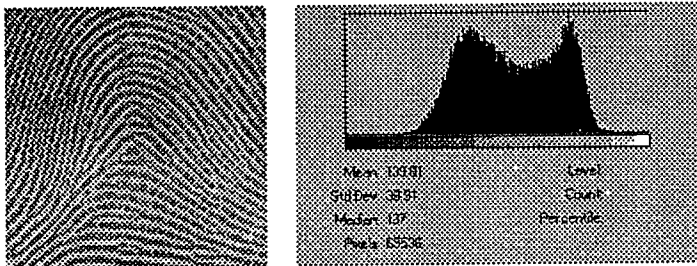
จากภาพลายพิมพ์นิ้วมืตัวอย่างที่เลือกมาทดลอง ทำการทดลองโดยการนำผ่านกระบวนการทำให้เรียบด้วยวิธีการเฉลี่ยค่ารอบย่าน และวิธีการใช้ตัวกรองแบบมัธฐาน โดยใช้หน้ากากขนาด  $3 \times 3$  และ  $5 \times 5$  เปรียบเทียบแล้วพิจารณาหาข้อสรุปโดยดูจากฮิสโตแกรมที่เปลี่ยนแปลงไป และผลลัพธ์ที่เป็นภาพลายเส้นทั้งที่ได้จากการผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบเพื่อขจัดสัญญาณรบกวน โดยใช้ฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับและภาพลายเส้นจากการลากโดยคนเป็นตัวอ้างอิง สังเกตผลที่ได้แล้วหาข้อสรุป

#### ผลการทดลองขั้นตอนที่ 2

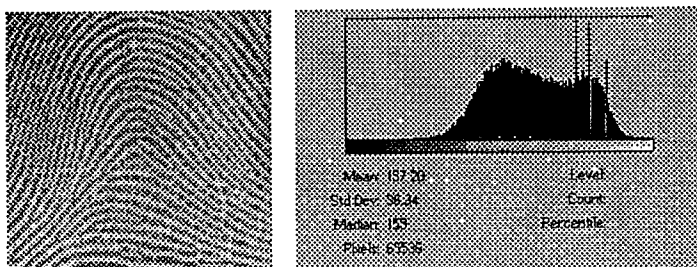
ภาพที่ 42 แสดงภาพผลลัพธ์และฮิสโตแกรมรวมทั้งข้อมูลภาพที่ได้จากการนำภาพลายพิมพ์นิ้วมือรระดับเทามาผ่านกระบวนการทำให้เรียบเพื่อขจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่านและวิธีการใช้ตัวกรองแบบมัธฐานด้วยหน้าต่างขนาด  $3 \times 3$  และ  $5 \times 5$

ภาพที่ 42

#### (1) ภาพต้นแบบปกติ



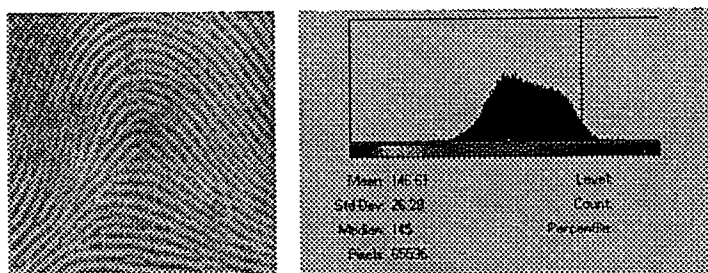
(ก) ภาพอ้างอิง



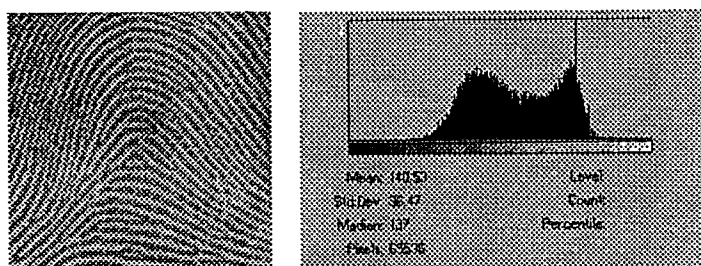
(ข) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่านใช้หน้ากาก  $3 \times 3$

แสดงภาพระดับเทาและฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบแบบต่าง ๆ

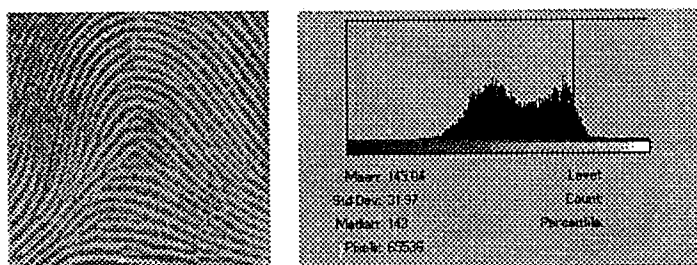
ภาพที่ 42 (ต่อ)



(ค) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่านใช้น้ำกอก 5\*5

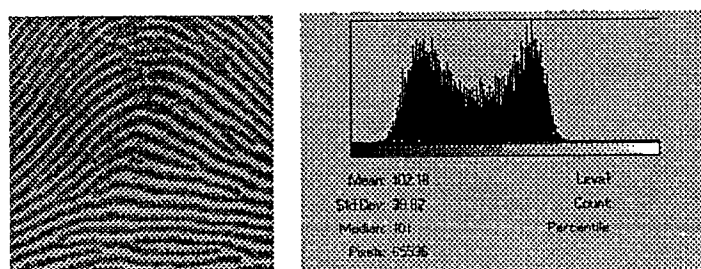


(ง) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยตัวกรองมรรยฐานใช้น้ำกอก 3\*3



(จ) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยตัวกรองมรรยฐานใช้น้ำกอก 5\*5

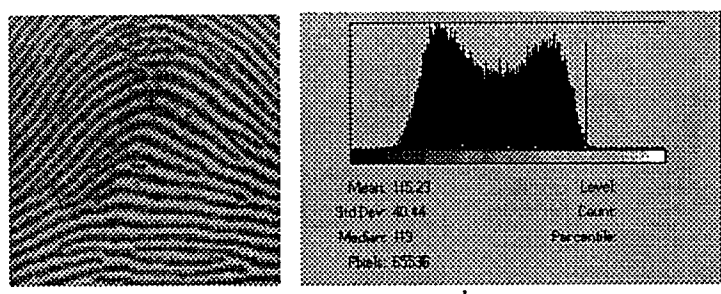
(2) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้ม



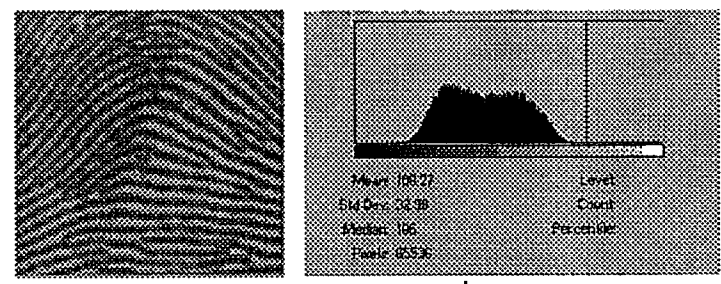
(ก) ภาพอ้างอิง

แสดงภาพระดับเทาและฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบแบบต่าง ๆ

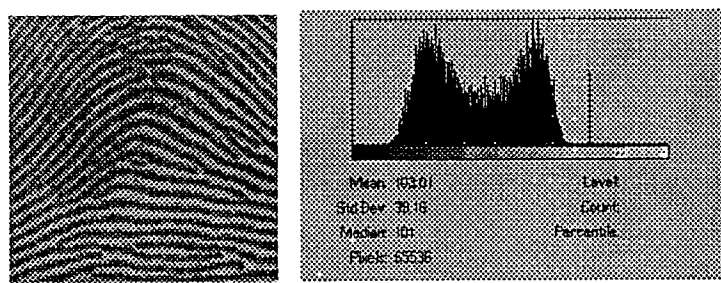
ภาพที่ 42 (ต่อ)



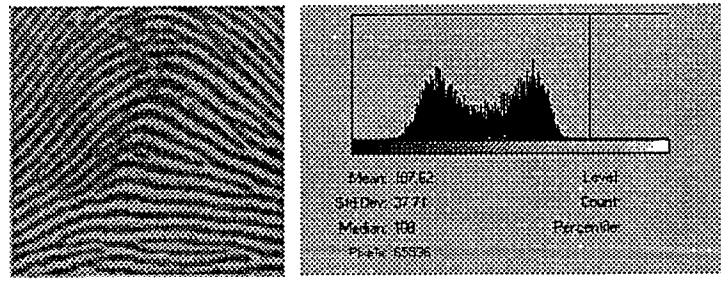
(ข) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่านใช้น้ำกาศ 3\*3



(ค) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่านใช้น้ำกาศ 5\*5



(ง) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยตัวกรองมัธฐานใช้น้ำกาศ 3\*3

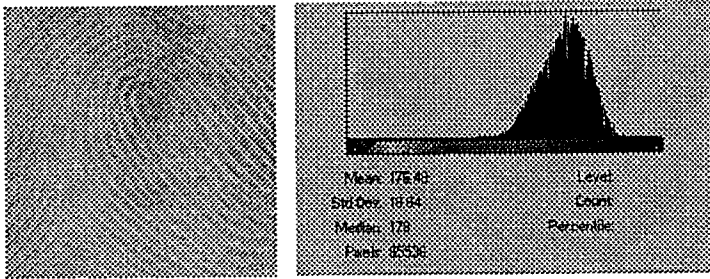


(จ) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยตัวกรองมัธฐานใช้น้ำกาศ 5\*5

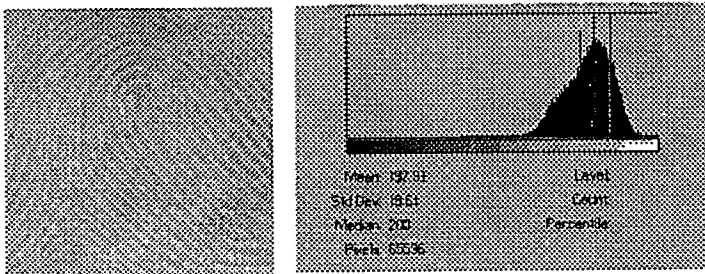
แสดงภาพระดับเทาและฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบแบบต่าง ๆ

ภาพที่ 42 (ต่อ)

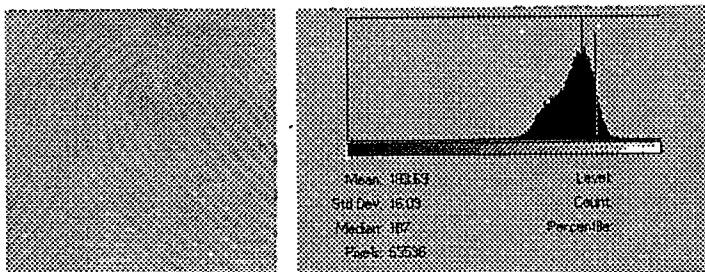
(3) ภาพต้นแบบที่พิมพ์จริง



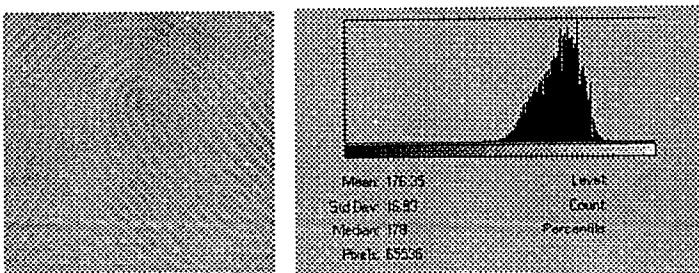
(ก) ภาพอ้างอิง



(ข) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่านใช้น้ำกาก 3\*3



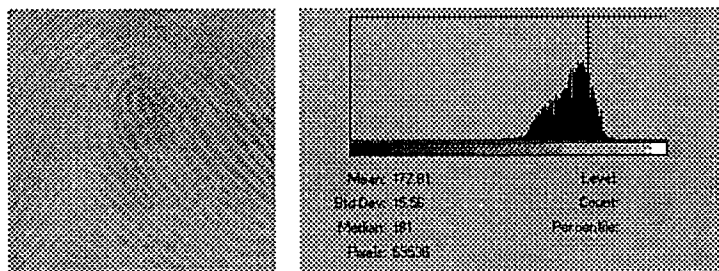
(ค) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่านใช้น้ำกาก 5\*5



(ง) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยตัวกรองมัธยฐานใช้น้ำกาก 3\*3

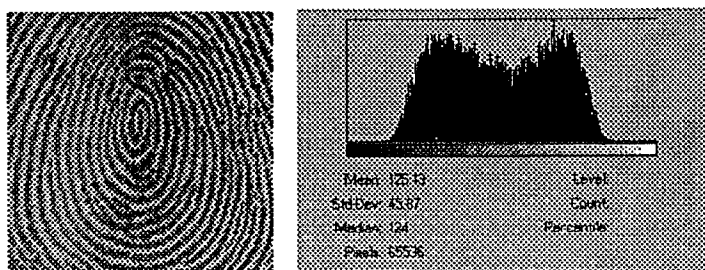
แสดงภาพระดับเทาและฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบแบบต่าง ๆ

ภาพที่ 42 (ต่อ)

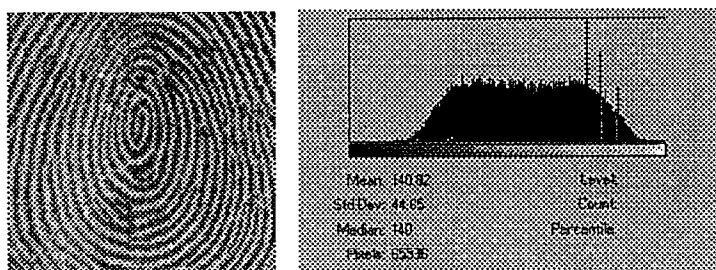


(จ) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยตัวกรองมัธยฐานใช้น้ำกาก 5\*5

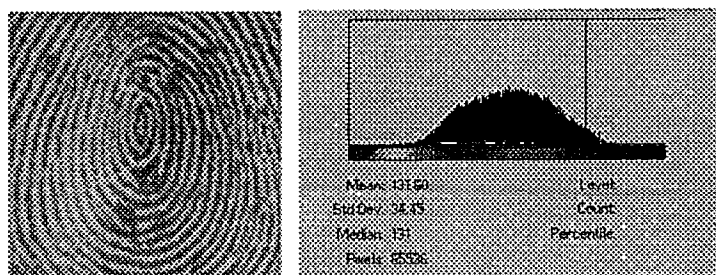
(4) ภาพต้นแบบที่พิมพ์คัดไม่เท่ากัน



(ก) ภาพอ้างอิง



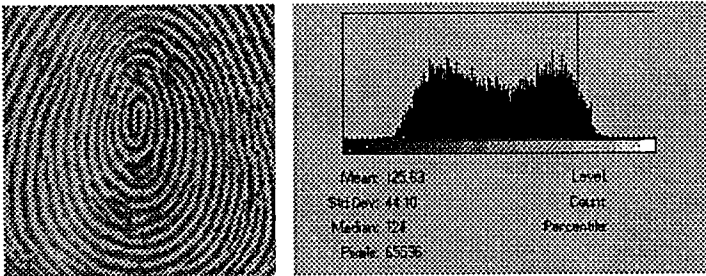
(ข) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่านใช้น้ำกาก 3\*3



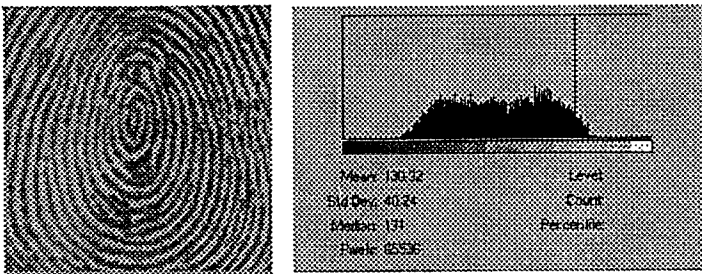
(ค) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่านใช้น้ำกาก 5\*5

แสดงภาพระดับเทาและฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบแบบต่าง ๆ

ภาพที่ 42 (ต่อ)

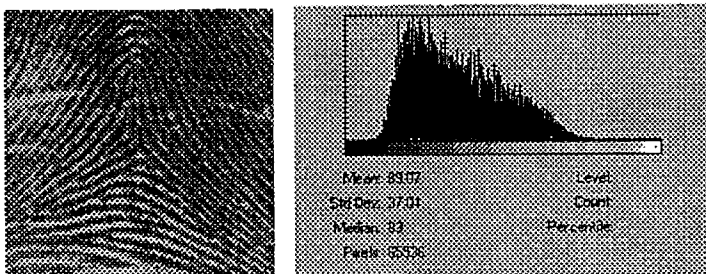


(ง) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยตัวกรองมัธยฐานใช้น้ำกาก 3\*3

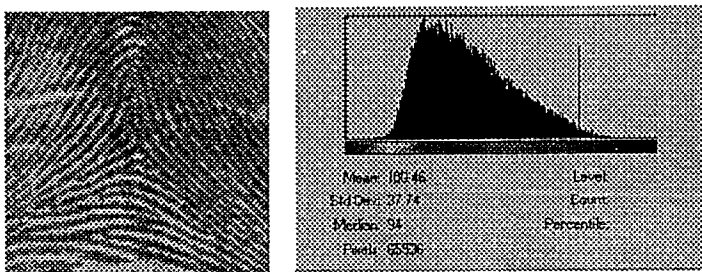


(จ) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยตัวกรองมัธยฐานใช้น้ำกาก 5\*5

(5) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้มและน้ำหนักไม่เสมอ



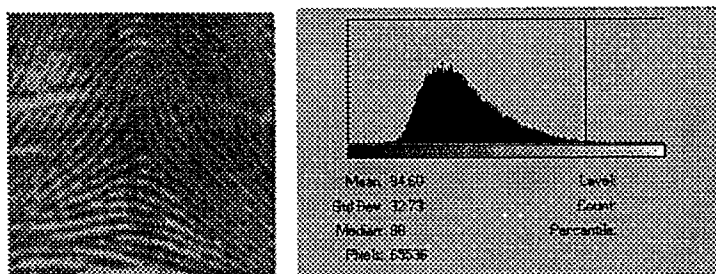
(ก) ภาพอ้างอิง



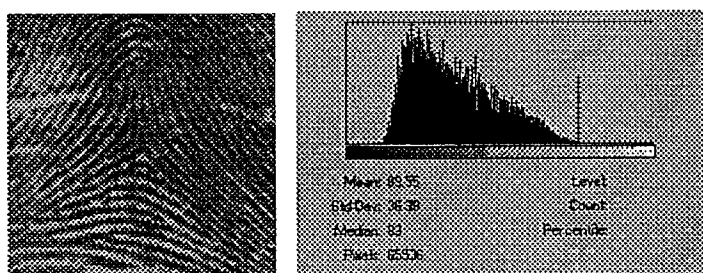
(ข) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่านใช้น้ำกาก 3\*3

แสดงภาพระดับเทาและฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบแบบต่าง ๆ

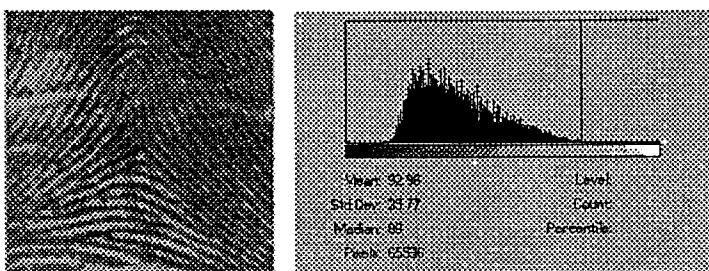
ภาพที่ 42 (ต่อ)



(ค) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่านใช้น้ำกา 5\*5



(ง) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยตัวกรองมัธยฐานใช้น้ำกา 3\*3



(จ) ภาพจากกระบวนการทำให้เรียบด้วยตัวกรองมัธยฐานใช้น้ำกา 5\*5

แสดงภาพระดับเทาและฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบแบบต่าง ๆ

จากภาพที่ 42 เห็นได้ว่า ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการทำให้เรียบด้วยวิธีการใช้ตัวกรองแบบมัธยฐานขนาด 3\*3 มีความเบลอของภาพน้อยที่สุด และที่สำคัญคือการใช้ตัวกรองแบบนี้ยังคงอนุรักษ์รูปร่างและคุณลักษณะแยกเป็นสอง(Bi-Model) ของฮิสโตแกรมเอาไว้ใกล้เคียงกับภาพต้นแบบมากที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ซึ่งสามารถดูได้จากฮิสโตแกรมตามภาพที่ 42

เมื่อเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์จากกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบาง โดยเพิ่มเติมกระบวนการทำให้เรียบเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนเข้าไว้ก่อนหน้ากระบวนการแปลงเป็นภาพสองระดับ ตามภาพที่ 43 พบว่า การนำภาพระดับเทาไปผ่านกระบวนการทำให้เรียบจะช่วยลดสัญญาณรบกวนภายในภาพลายพิมพ์นิ้วมือ จะมีผลให้อำนาจของสัญญาณลดลง แต่ผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นคือ ถ้าใช้น้ำกาที่มีขนาดใหญ่จะทำให้เนื้อหาภายในภาพมีการเปลี่ยนแปลง สังเกตได้จากการ

เปรียบเทียบระหว่างภาพลายเส้นที่ใช้คนลอกลายกับภาพจากกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางที่เพิ่มขึ้นตอนการทำให้เรียบโดยใช้หน้ากากขนาด  $5 \times 5$  พบว่า การใช้หน้ากากขนาด  $5 \times 5$  สำหรับการทำให้เรียบไม่ว่าจะด้วยวิธีการเฉลี่ยค่ารอบย่านหรือโดยวิธีการใช้ตัวกรองแบบมัธยฐาน จะให้ข้อมูลผลลัพธ์ที่มีการบิดเบี้ยวของจุดลักษณะเฉพาะไปอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับภาพลายเส้นที่ได้จากการใช้คนลอกและภาพลายเส้นจากกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางที่ไม่ผ่านการทำให้เรียบ เช่น ทำให้เกิดเส้นเชื่อมระหว่างเส้นสันทำให้เกิดจุดลักษณะเฉพาะ “เส้นแยก” และ บางครั้งทำให้เส้นสันที่เชื่อมต่อกันซึ่งเป็นคุณลักษณะของจุดลักษณะเฉพาะ “เส้นแยก” หายไป ซึ่งผลทั้งสองแบบ เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ จากการทดลองพบว่า ข้อผิดพลาดดังกล่าวจะยังเห็นได้ชัดเจนถ้าเพิ่มขนาดของหน้ากากให้ใหญ่ขึ้น ส่วนผลลัพธ์จากการใช้หน้ากากขนาด  $3 \times 3$  จะให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ทั้ง ๆ ที่ข้อมูลตามฮิสโตแกรมมีความแตกต่างกันมาก สาเหตุเนื่องมาจากในขั้นตอนการแปลงเป็นภาพสองระดับใช้วิธีการดำเนินการกับส่วนของภาพ (Local Binarization) ซึ่งถ้าใช้วิธีการแปลงเป็นภาพสองระดับด้วยวิธีการดำเนินการกับภาพทั้งภาพ (Global Binarization) จะให้ความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

ภาพที่ 43

(1) ภาพต้นแบบปกติ



(ก) ภาพลายเส้นใช้คนลอก



(ข) 1\_0\_Lb\_Th



(ค) 1\_Smean3\_Lb\_Th



(ง) 1\_Smean5\_Lb\_Th



(จ) 1\_Smedian3\_Lb\_Th

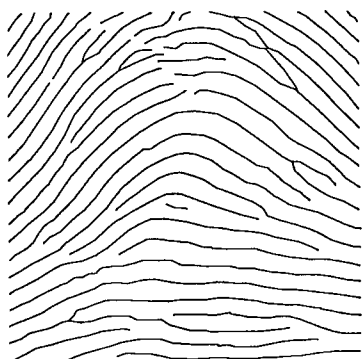


(ฉ) 1\_Smedian5\_Lb\_Th

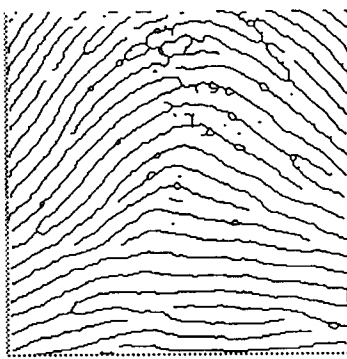
แสดงผลจากการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบแบบต่าง ๆ

ภาพที่ 43 ( ต่อ )

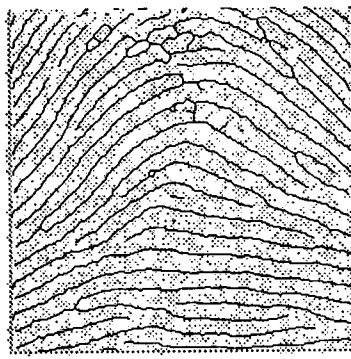
(2) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้ม



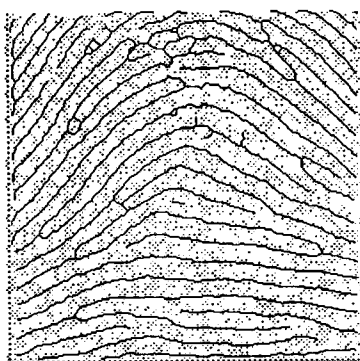
(ก) ภาพลายเส้นใช้คนลาก



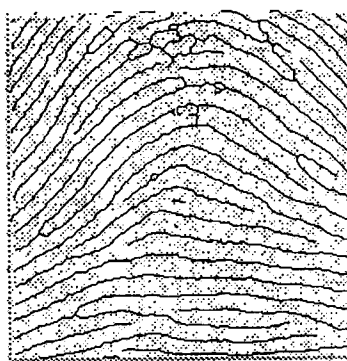
(ข) 1\_0\_Lb\_Th



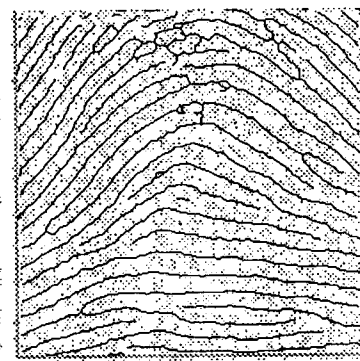
(ค) 1\_Smean3\_Lb\_Th



(ง) 1\_Smean5\_Lb\_Th



(จ) 1\_Smedian3\_Lb\_Th



(ฉ) 1\_Smedian5\_Lb\_Th

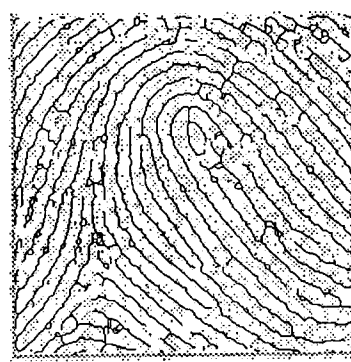
(3) ภาพต้นแบบที่พิมพ์จาง



(ก) ภาพลายเส้นใช้คนลาก



(ข) 1\_0\_Lb\_Th



(ค) 1\_Smean3\_Lb\_Th

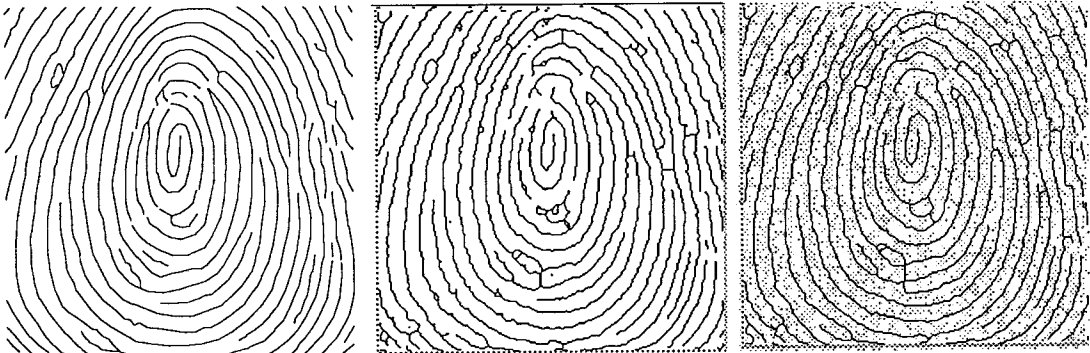
แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบแบบต่าง ๆ

ภาพที่ 43 (ต่อ)



(ง) 1\_Smean5\_Lb\_Th                      (จ) 1\_Smedian3\_Lb\_Th                      (ฉ) 1\_Smedian5\_Lb\_Th

(4) ภาพต้นแบบที่พิมพ์คัดไม่เท่ากัน



(ก) ภาพลายเส้นใช้คนลาก                      (ข) 1\_0\_Lb\_Th                      (ค) 1\_Smean3\_Lb\_Th

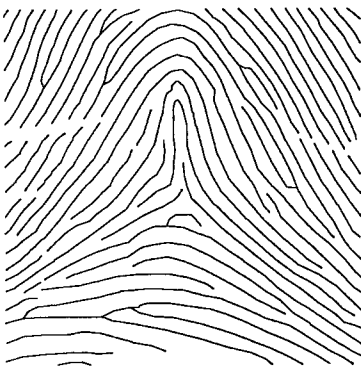


(ง) 1\_Smean5\_Lb\_Th                      (จ) 1\_Smedian3\_Lb\_Th                      (ฉ) 1\_Smedian5\_Lb\_Th

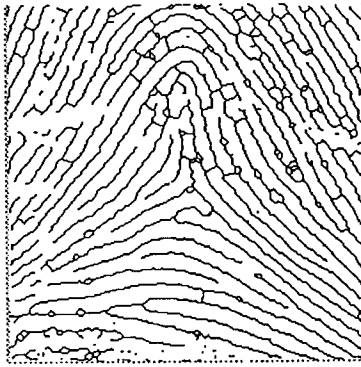
แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบแบบต่าง ๆ

ภาพที่ 43 (ต่อ)

## (6) ภาพต้นแบบที่พิมพ์เข้มและน้ำหนักไม่เสมอ



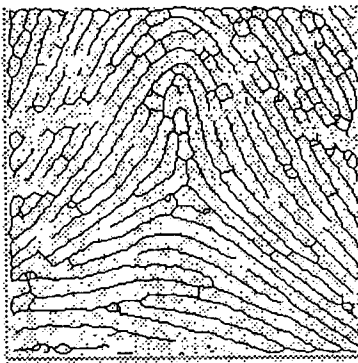
(ก) ภาพลายเส้นใช้คนลาก



(ข) 1\_0\_Lb\_Th



(ค) 1\_Smean3\_Lb\_Th



(ง) 1\_Smean5\_Lb\_Th



(จ) 1\_Smedian3\_Lb\_Th



(ฉ) 1\_Smedian5\_Lb\_Th

แสดงผลจากการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบแบบต่าง ๆ

(ก) ภาพลายเส้นที่ได้จากการใช้คนลอกลายทับบนเส้นสันของภาพระดับเทา

(ข) ภาพลายเส้นที่ได้จากการนำภาพผลลัพธ์จากการแปลงเป็นภาพสองระดับดำเนินการโดยแบ่งภาพเป็นส่วน มาผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางโดยไม่ผ่านกระบวนการทำให้เรียบ (Smoothing)

(ค) ภาพลายเส้นที่ได้จากการนำภาพผลลัพธ์จากการแปลงเป็นภาพสองระดับดำเนินการโดยแบ่งภาพเป็นส่วน มาผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางโดยผ่านกระบวนการทำให้เรียบ (Smoothing) ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่ารอบย่านโดยใช้หน้ากาก (Mask) ขนาด 3\*3

(ง) ภาพลายเส้นที่ได้จากการนำภาพผลลัพธ์จากการแปลงเป็นภาพสองระดับดำเนินการโดยแบ่งภาพเป็นส่วน มาผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางโดยผ่านกระบวนการทำให้เรียบ (Smoothing) ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่ารอบย่านโดยใช้หน้ากาก (Mask) ขนาด 5\*5

- (จ) ภาพลายเส้นที่ได้จากการนำภาพผลลัพธ์จากการแปลงเป็นภาพสองระดับดำเนินการโดยแบ่งภาพเป็นส่วน                    มาผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางโดยผ่านกระบวนการทำให้เรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองแบบมัลติฐานโดยใช้หน้ากาก (Mask) ขนาด 3\*3
- (ฉ) ภาพลายเส้นที่ได้จากการนำภาพผลลัพธ์จากการแปลงเป็นภาพสองระดับดำเนินการโดยแบ่งภาพเป็นส่วน                    มาผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางโดยผ่านกระบวนการทำให้เรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองแบบมัลติฐานโดยใช้หน้ากาก (Mask) ขนาด 5\*5

### 5.6.3 สรุปผลการทดลองการปรับให้เรียบเพื่อขจัดสัญญาณรบกวนในภาพลายพิมพ์นิ้วมือ

เพื่อให้ได้ผลดีที่สุดสำหรับการขจัดสัญญาณรบกวนภายในภาพลายพิมพ์นิ้วมือ และมีผลต่อข้อมูลภายในรูปภาพน้อยที่สุด วิธีการและขนาดหน้ากากที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพภาพลายพิมพ์นิ้วมือสำหรับกระบวนการทำให้เรียบสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ คือ ใช้ตัวกรองแบบมัลติฐานและใช้หน้ากากขนาด 3\*3

## 5.7 สรุปผลการทดลอง

การประมวลผลภาพเบื้องต้นที่เหมาะสมสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือซึ่งได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้ ควรมีลำดับการดำเนินการและรายละเอียดดังนี้

(1) เริ่มต้นด้วยการนำภาพระดับเทาผ่านกระบวนการทำให้เรียบเพื่อลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการใช้ตัวกรองแบบมัลติฐานขนาด 3\*3

(2) แปลงเป็นภาพสองระดับด้วยการใช้วิธีการแบ่งภาพออกเป็น ส่วนมีขนาด 8\*8 จุดภาพ แล้วหาค่าเทอร์สโวลต์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละส่วนของภาพที่แบ่งจากค่าสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต โดยการใช้การเลื่อนหน้าต่างแบบเคลื่อนขอบหน้าต่างไปครั้งละ 4 จุดภาพ

(3) นำภาพสองระดับตาม (2) มาผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางด้วยวิธีการของ Guo และ Hall ซึ่งได้เพิ่มเติมขั้นตอนการเติมจุดภาพเพื่อขจัดสัญญาณรบกวนตามวิธีการของ Frank Y. Shit และ Wai-Tak Wong

กระบวนการทั้งหมดข้างต้นสามารถนำมาดำเนินการได้โดยอัตโนมัติกับภาพทุกภาพโดยให้คุณภาพของภาพผลลัพธ์ที่ผ่านกระบวนการเท่าเทียมหรือดีกว่าการใช้คนเป็นผู้พิจารณา ทั้งนี้ไม่ต้องใช้การพิจารณาของเจ้าหน้าที่ที่มีประสบการณ์และความรู้ความสามารถ ผลคือ จะช่วยลดการทำงานโดยคน, เพิ่มความสะดวกในการปฏิบัติงาน, เพิ่มความเร็วในการทำงาน, เพิ่มความเป็นอัตโนมัติและลดภาพเสียที่ถูกนำออกจากระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือนิติ ทำให้ระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือนิติมีความเร็วมากขึ้นทั้งระบบ

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและแนวทางในการพัฒนา

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

การประมวลผลภาพเบื้องต้นสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติตามแนวทางของงานวิจัยนี้ เริ่มต้นด้วยการใช้นาฬิกาพระดับเทามาผ่านกระบวนการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการทำให้เรียบด้วยการใช้ตัวกรองแบบมัธยฐานขนาด  $3 \times 3$  จากนั้นนำไปแปลงเป็นภาพสองระดับด้วยการดำเนินการกับภาพทีละส่วนด้วยขนาด  $8 \times 8$  และใช้ค่าสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นค่าเทรชโวลด์โดยเลื่อนหน้าต่างด้วยวิธีการเหลื่อมกันตามแนวดิ่งและแนวนอนแนวละ 4 จุดภาพ นำภาพสองระดับผลลัพธ์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางเพื่อเหลือเก็บไว้เฉพาะข้อมูลลายเส้น โดยวิธีการของ Guo และ Hall ที่ปรับปรุงเพิ่มวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนตามวิธีการของ Frank Y. Shit และ Wai-Tak Wong สามารถพิจารณาผลที่ได้จากภาพตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองได้ดังนี้

6.1.1 ความถูกต้อง ( Accuracy ) ภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่พิมพ์ชัดเจนและคุณภาพดี จะให้ผลลัพธ์ที่เท่าเทียมกับการใช้คนเป็นผู้ดำเนินการ ส่วนภาพที่มีคุณภาพรองลงมาก็จะให้คุณภาพที่ใกล้เคียงกันแต่ยังน้อยกว่าการใช้คนเป็นผู้พิจารณา อย่างไรก็ตามสำหรับภาพตัวอย่างที่นำมาทดลองพบว่า ความถูกต้องที่ได้เพียงพอต่อการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากในการใช้งานจริงสำหรับการตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือด้วยระบบจุดลักษณะเฉพาะต้องการจุดลักษณะเฉพาะที่ถูกต้องตรงกันเพียงประมาณ 8 จุดต่อหนึ่งสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือทั่วไปและ 20 จุดต่อหนึ่งภาพสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือแฝงในการชี้ถึงความเหมือนและความแตกต่าง

6.1.2 ความมีเสถียรภาพ ( Stability ) การใช้การประมวลผลภาพเบื้องต้นด้วยระบบอัตโนมัติจนได้ภาพลายเส้น จะมีความมีเสถียรภาพมากกว่าการใช้คนเป็นผู้ดำเนินการ เนื่องจากการใช้คนเป็นผู้ดำเนินการจำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์และดุลยพินิจในการพิจารณา ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันไปขึ้นกับประสบการณ์และความรู้ความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน โดยภาพลายนิ้วมือภาพเดียวกันเมื่อใช้คนเป็นผู้ดำเนินการอาจให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างเมื่อเวลาและผู้ปฏิบัติงานเปลี่ยนแปลงไป ส่วนการใช้คอมพิวเตอร์ในการดำเนินการตามงานวิจัยนี้จะให้ผลเหมือนกันในทุกครั้งสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือภาพเดียวกัน

6.1.3 ความเร็ว ( Speed ) การใช้การประมวลผลภาพเบื้องต้นสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือด้วยระบบอัตโนมัติมีความเร็วกว่าการใช้คนเป็นผู้ดำเนินการหลายเท่า เนื่องจากทุกขั้นตอน

สามารถดำเนินการจนแล้วเสร็จด้วยระบบอัตโนมัติภายในเครื่องคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียว ซึ่งนอกจากมีความเร็วในการทำงานที่เร็วกว่าการใช้คนมากแล้ว ยังไม่ต้องผ่านขั้นตอนการปฏิบัติงานที่อาจมีอุปสรรคเนื่องจากความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน

6.1.4 ความเชื่อถือได้ ( Reliability ) ในปัจจุบัน จากการที่กฎหมายลักษณะพยานวางข้อกำหนดในเรื่องการรับรองเอกสาร และข้อกำหนดเกี่ยวกับผู้ชำนาญการพิเศษและผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งกำหนดให้ต้องใช้บุคลากรที่ได้รับการยอมรับจากศาลเป็นผู้พิจารณาและรับรองผลลัพธ์ในขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่จะนำไปใช้เป็นพยานหลักฐานในชั้นศาล เป็นเครื่องชี้ได้ว่า ยังไม่มีวิธีการ และเครื่องมือใด ที่มีคุณภาพเพียงพอที่จะใช้เป็นตัววัดและแสดงให้ศาลสถิตยุติธรรมและประชาชนทั่วไปยอมรับได้ว่า การใช้เครื่องจักรในการประมวลผลภาพเบื้องต้นสำหรับระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติจะสร้างความเชื่อถือได้เท่าเทียมหรือดีกว่าการใช้คนเป็นผู้พิจารณา ดังนั้นการพิจารณาเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือได้จึงเป็นข้อจำกัดและยังไม่สามารถหาข้อยุติได้ของงานวิจัยนี้

จากข้อพิจารณาทั้ง 4 ข้อดังกล่าว ทำให้สรุปผลได้ว่า วิธีการและลำดับขั้นตอนของการประมวลผลภาพเบื้องต้นในงานวิจัยนี้สามารถใช้เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับเพิ่มความเร็วและความเป็นอัตโนมัติให้กับระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ โดยต้องใช้งานภายใต้การควบคุมและท้ายที่สุดยังคงขึ้นอยู่กับความคิดเห็นของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานที่มีประสบการณ์เท่านั้น

## 6.2 ผลการวิจัยเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่มีผู้ทำไว้แล้ว

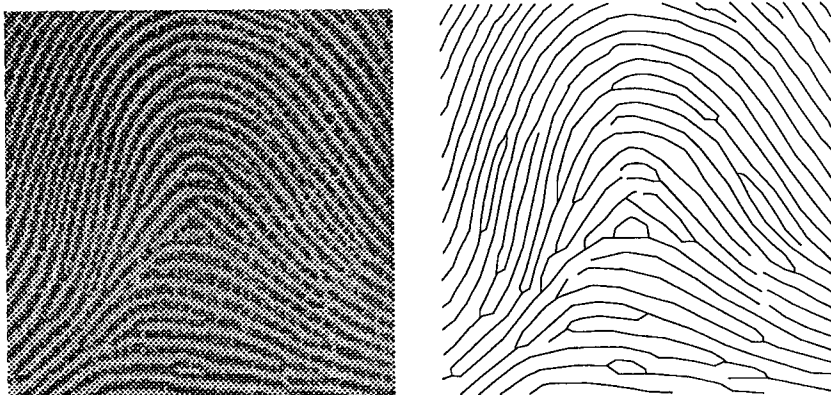
จากผลการวิจัยสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยใกล้เคียงกันที่มีผู้ทำไว้แล้ว แต่ใช้วิธีการอื่น โดยการทดสอบกับข้อมูลเข้าชุดเดียวกันและด้วยอุปกรณ์ชุดเดียวกันซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่า

5.7.1 ผลลัพธ์ที่เป็นภาพสองระดับจะใกล้เคียงกัน แต่ภาพที่ได้จากการหาค่าเทรโซลด์โดยใช้พีซีเซตจะมีบางพื้นที่ที่เกิดการสูญหายของข้อมูล ( เป็นหน้าดำว่างสีขาว ) ส่วนวิธีการหาค่าเทรโซลด์โดยใช้วิธีการตามงานวิจัยนี้จะให้ผลลัพธ์ที่มีความสมบูรณ์ครบถ้วนมากกว่า

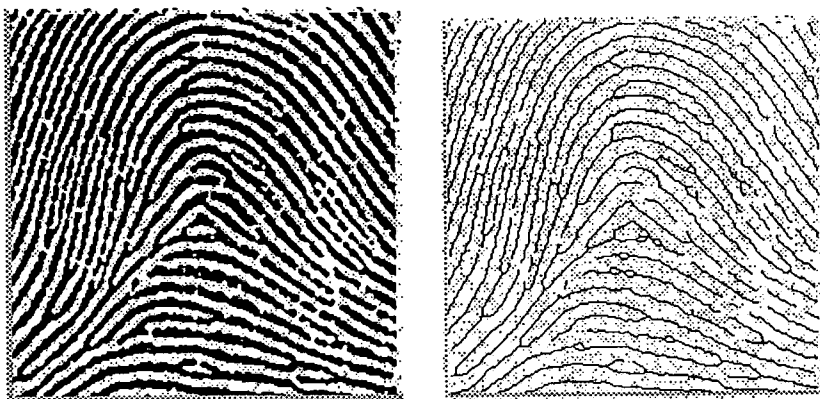
5.7.2 ภาพลายเส้นที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ซึ่งแม้จะยังไม่ได้ศึกษารวมถึงกระบวนการ Post processing ก็ยังให้คุณภาพผลลัพธ์ที่ดีกว่า ทั้งในแง่ของความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูลจุดลักษณะเฉพาะ การรักษารูปร่างของภาพ และปริมาณของจุดลักษณะเฉพาะเทียมซึ่งเป็นผลข้างเคียงของการดำเนินการ

ซึ่งสามารถพิจารณารายละเอียดข้างต้นได้จากภาพตัวอย่างที่พิมพ์ปกติดังแสดงไว้ตามภาพที่ 44 นอกจากนั้นเมื่อทดลองกับรูปภาพแบบอื่น ๆ ต่างก็ให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกัน ซึ่งยืนยันได้ว่า ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานแทนที่ในระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมือมากกว่า การประมวลผลภาพเบื้องต้นที่เคยมีผู้ทำการวิจัยไว้

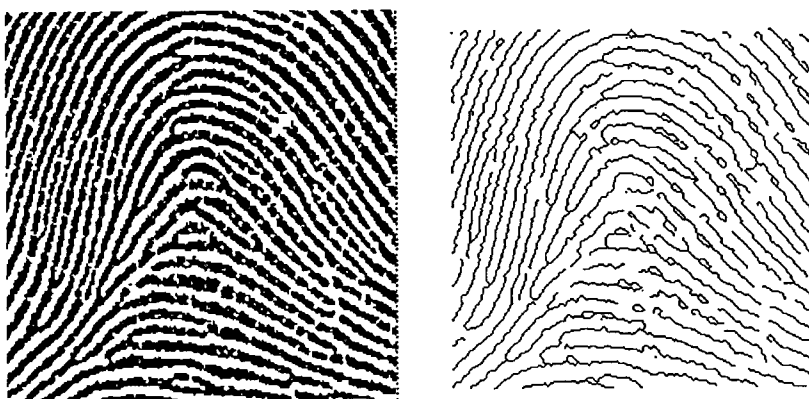
ภาพที่ 44



(ก) ภาพระดับเทาต้นแบบ และภาพลายเส้นที่ได้จากการใช้คอนทราสต์



(ข) ภาพสองระดับและภาพลายเส้นที่ได้จากงานวิจัยนี้



(ค) ภาพสองระดับที่ได้จากการใช้ Fuzzy Set และภาพลายเส้นจากกระบวนการที่มีผู้ทำการวิจัย (ใช้กรรมวิธีของ Che and Suen ระบุ จุดมุมและจุดขอบ ของลายเส้นลายนิ้วมือตามหลักการ Label ให้เป็นจุดวิกฤติ จากนั้นพิจารณาเงื่อนไขในการลบได้ตามหลักการของ Hilditch และสิ้นสุดด้วยกระบวนการ Post processing เพื่อขจัดสัญญาณรบกวนและต่อลายเส้น)

แสดงภาพเปรียบเทียบผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่มีผู้เคยศึกษาไว้

### 6.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

6.3.1 ปัญหาในงานวิจัยนี้เกิดขึ้นเนื่องจากในขั้นตอนของการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของอัลกอริธึมที่พัฒนาขึ้น ผู้ทำวิจัยได้เขียนชุดคำสั่งโดยใช้ VISUAL BASIC for windows รุ่น 4.0 เป็นเครื่องมือและในบางส่วนใช้โปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประมวลผลภาพเข้าช่วย เช่น การดูค่าสถิติของข้อมูลภาพ ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาและความยุ่งยากที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความไม่ชำนาญในการใช้ตัวแปลภาษาของผู้วิจัย ทำให้การทำงานของชุดคำสั่งช้ากว่าที่ควรจะเป็นมาก ดังนั้นก่อนที่จะนำไปใช้งานจริงควรนำวิธีการและอัลกอริธึมจากงานวิจัยนี้ไปสร้างเป็นชุดคำสั่งด้วยตัวแปลภาษาที่เหมาะสม เช่น C++ หรือ PASCAL ฯลฯ

6.3.2 แม้ว่างานวิจัยนี้จะพยายามเลือกใช้วิธีการและอัลกอริธึมที่จะช่วยลดจุดลักษณะเฉพาะเทียม (Pseudo-Minutiae) โดยใช้การแปลงภาพเป็นภาพสองระดับด้วยวิธีการหาเทอร์สโพลด์จากส่วนของภาพซึ่งจะช่วยลดเส้นสะพาน (Bridge), การใช้กระบวนการทำให้เรียบเพื่อขจัดสัญญาณรบกวนซึ่งจะช่วยลดปริมาณของรูปแบบลายเส้น แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่า สำหรับภาพทดลองที่มีคุณภาพต่ำ ยังคงมีจุดลักษณะเฉพาะเทียมปรากฏขึ้นในภาพผลลัพธ์อาจเนื่องจากข้อบกพร่องในการพิมพ์ลายนิ้วมือหรือผลข้างเคียงของกระบวนการต่าง ๆ ในการประมวลผลภาพเบื้องต้น ซึ่งจุดลักษณะเฉพาะเทียมดังกล่าวประกอบด้วย ลูป (Loop), เส้นกิ่ง (Awn), เส้นสะพาน (Bridge), เส้นสั้น (Short Line) และเส้นขาด (Cutted Line) เห็นได้จากผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการทำให้วัตถุในภาพบางของภาพต้นแบบซึ่งมีคุณภาพค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามวิธีการในการกำจัดจุดลักษณะเฉพาะเทียมเหล่านี้ เพื่อให้ผลดีจำเป็นต้องใช้ข้อมูลขนาดและทิศทางของจุดลักษณะเฉพาะซึ่งจะได้จากการไล่ทิศทางของลายเส้นและกระบวนการแยกแยะจุดลักษณะเฉพาะ (Minutiae Extraction) อันเป็นขั้นตอนหนึ่งของระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ ซึ่งวิธีการดังกล่าวไม่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพและอยู่นอกเหนือขอบเขตของวิทยานิพนธ์นี้ จึงไม่ได้กล่าวถึงไว้ในงานวิจัยนี้

6.3.3 ก่อนที่จะนำผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ไปใช้งานจริงกับระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ ควรนำวิธีการและเครื่องมือที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปออกแบบเครื่องมือวิจัยเชิงปริมาณเพื่อวัดและหาข้อสรุปในการใช้งานกับประชากรจริง เนื่องจากในงานวิจัยนี้คัดเลือกมาเฉพาะภาพทดลองที่มีลักษณะต่าง ๆ กันเพียงเพื่อทดสอบวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาเท่านั้น ซึ่งการทดสอบและยืนยันการนำไปใช้กับประชากรจริงจำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลองให้ถูกต้องตามหลักสถิติ โดยจะต้องทำการกำหนดสมมุติฐานและกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามประเภทลายพิมพ์นิ้วมือน้อยด้วยปริมาณที่มากเพียงพอก่อนจึงจะสามารถสรุปได้ว่า ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้งานร่วมกับระบบและข้อมูลจริงได้หรือไม่

6.3.4 ควรมีการศึกษาและพัฒนาระบบต่อไปจนสามารถใช้งานได้อย่างจริงในการ matching และ identify ตัวบุคคล เพื่อให้เกิดเป็นระบบตรวจพิสูจน์ลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติที่มีขนาดกระทัดรัดเหมาะสมต่อการใช้งานภายในพื้นที่สถานีตำรวจแต่ละแห่ง เพื่อเก็บข้อมูลของผู้กระทำผิดเฉพาะถิ่น ซึ่งจะเป็นการใช้เทคโนโลยีช่วยในการสืบสวนเบื้องต้นเพื่อพิสูจน์ตัวผู้ต้องสงสัยและหาตัวผู้กระทำผิดได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในกรณีผู้ต้องสงสัยกระทำความผิดซ้ำซากในคดีความผิดเกี่ยวกับทรัพย์

## บรรณานุกรม

- [1] กัลยา วาณิชย์บัญชา, การวิเคราะห์สถิติ : สถิติเพื่อการตัดสินใจ. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [2] เกรียงไกร โชวเจริญสุข และ ครรชิต ไมตรี, “ระบบตรวจลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติโดยการใช้โครงข่ายนิวรอล เพื่อประโยชน์การนำมาใช้ควบคุมอุปกรณ์”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 18 : หน้า 1020 – 1026
- [3] ครรชิต ไมตรี, ทรงชัย วีระทวิมาศ และเกรียงไกร โชวเจริญสุข, การปรับปรุงการหาค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยีของภาพดิจิทัลทั่วไป, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 13 ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2533.
- [4] ครรชิต ไมตรี, มนต์ สังวรศิลป์ และ สุรพันธ์ เอื้อไพบูรณ์, “ระบบเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ”, การประชุมวิชาการของ NECTEC ครั้งที่ 4, (2535) : หน้า 17 - 27
- [5] ครรชิต ไมตรี, วิเชียร ศรีเสือขาม และ อุกฤษฏ์ ศรีเสือขาม, “การประมวลลายพิมพ์นิ้วมือเบื้องต้นสำหรับระบบตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ”, ผลงานวิจัย การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19 ณ หาดใหญ่ สงขลา 27-29 ตุลาคม 2536, หน้า 878 - 879
- [6] ครรชิต ไมตรี และ เอกรัตน์ จุลวรรณ “การหาค่าเทรตโซลด์ของภาพลายพิมพ์นิ้วมือโดยอัตโนมัติ”, NECTEC. ปีที่ 4, ฉบับที่ 14 (ม.ค.-ก.พ.40): 17-28
- [7] ครรชิต ไมตรี และ เอกรัตน์ จุลวรรณ “การปรับปรุงการทำลายเส้นให้บางแบบขนานวิธีใหม่เพื่อนำไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ.”, วิศวกรรมสาร “ฉบับวิจัยและพัฒนา”, ปีที่ 8, ฉบับที่ 2 (2540): 70-95.
- [8] บุญชัย ฤกษ์สา, ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ, ปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.
- [9] ทรงชัย วีระทวิมาศ และ กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ, “อัลกอริทึมในการทำวัตถุในภาพบางอย่างรวดเร็ว”, บทความการประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2534 ณ กรุงเทพมหานคร, 31 ต.ค. – 3 พ.ย.34, หน้า 781 - 790
- [10] อรุณ กำเหนิดนนท์, มัฆวาน จันทร์กอสอ และ เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ “การจดจำลายพิมพ์นิ้วมือโดยวิธีเข้าหาระบบทรี”, การประชุมทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 : หน้า 926 – 932

- [11] Adrian Low, Introductory Computer Vision and Image Processing, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1991.
- [12] Edward R.Dougherty and Charles R.Giardina, Matrix Structured Image Processing, Prentice-Hall, Inc., 1987.
- [13] G.J.Awcock and R. Thomas, Applied Image Processing, MACMILLAN Press LTD.,1995.
- [14] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publish Company, Inc., 1992.
- [15] A. Datta and S.K.Parui, Robust Parallel Thinning Algorithm for Binary Images, Pattern Recognition, Vol.27, No.9, March 1994 : PP.1181-1192
- [16] Ben K. Jang and Roland T.Chin, One-Pass Parallel Thinning: Analysis, Properties, and Quantitative Evaluation, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.11, November 1992 : PP.1129-1140
- [17] B. Moayer and K.S.Fu, A Tree System approach for Fingerprint Pattern Recognition, Pattern Recognition ,Vol.6, May 1976.
- [18] Frank Y. Shih and Wai-Tak Wong, Fully Parallel Thinning with Tolerance to Boundary Noise, Pattern Recognition, Vol.27, No.12, May 1994 : PP.1677-1695
- [19] Guo Zicheng and Hall Richard W., Parallel Thinning with two-subiteration algorithms , Communications of the ACM, Vol.32, No.3, March 1989 : PP.359-373
- [20] J Serra, Image Analysis and Mathematical Morphology, Academic Press, London, 1982.
- [21] KALLE KARU and ANIL K. JAIN, FINGERPRINT CLASSIFICATION, Pattern Recognition, Vol.29, No.3, pp.389-404, 1996.
- [22] Masahiro Kawagoe and Akio Tojo, Fingerprint Pattern Classification, Pattern Recognition, Vol.17, No.3, 1984 : PP.295- 303.
- [23] M.R.Verma, A.K.Majumdar and B.Chatterjee, Edge Detection in Fingerprints, Pattern Recognition, Vol.20, No.5, Febuary 1986 : PP.513-523
- [24] S. Yokoi, J. Toriwaki, and T. Fukumura, Topological properties in digitized binary picture, Systems Comput.-Contr., vol. 4, pp 32-39, 1973.

## ภาคผนวก

### ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

ครรชิต ไมตรี วิเชียร ศรีเสือขาม และ อุกฤษฏ์ ศรีเสือขาม, “การประมวลลายพิมพ์นิ้วมือเบื้องต้นสำหรับระบบตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ”, ผลงานวิจัยตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19 ณ หาดใหญ่ สงขลา 27-29 ตุลาคม 2536

878

F- 08

รื้อ-ตฤ ผู้บริหารงานวิจัย ร.ต.ท.อุกฤษฏ์ ศรีเสื้อขาม

นาย ☐ น.อ. ☐ น.อ. ☐ น.อ. ☐ น.อ. ☐ น.อ. ☐ น.อ. ☐ น.อ.

ที่ทำงาน กก. 3 บก.อก. สำนักงานส่งกำลังบำรุง กรมตำรวจ อาคาร 33

ปทุมวัน กรุงเทพฯ

โทร 250-1638

สาขาวิชา:

☐ ภาพภาพ☐ เกษตร☐ จีวภาพ☒ วิศวกรรม☐ วิทย-ศึกษา☐ ทรัพยากร-แวดล้อม☐ แพทย์☐ ทั่วไป**Fingerprint Input Preprocessor for Automated Fingerprint Verification System****Kunchit Mitree and Ukrit Srisuakam**Department of Mathematics and Computer Science, Faculty of Science,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Low quality ridge, blur and nonclear fingerprint can be improve after reject from Input subsystem(I-SUB) of fingerprint reader(FR) by applying appropriate digital image processing method . The result is higher quality fingerprint image that will return to input subsystem again. The advantage of this research is to reduce usage of machine, instrument, time, man power and sophisticated process by integrate all subprocess to microcomputer. Digital image processing techniques use on this research compose of filtering, binarization, thinning and zooming utility.

การประมวลผลลายพิมพ์นิ้วมือเบื้องต้นสำหรับระบบตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ

กรรชิต ไมตรี และอุกฤษฏ์ ศรีเสื้อขาม

ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลายพิมพ์นิ้วมือที่ผ่านระบบย่อยป้อนข้อมูลของเครื่องตรวจเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติแล้วถูกส่งกลับเนื่องจากคุณภาพของลายเส้นต่ำ พวามัว ไม่ชัดเจน จะถูกมาปรับปรุงคุณภาพโดยใช้วิธีการทางการประมวลผลภาพที่เหมาะสมกับลายพิมพ์นิ้วมือ เพื่อให้ได้ภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่มีคุณภาพสูงขึ้น ก่อนจะส่งกลับเข้าสู่ระบบย่อยป้อนข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยจะลดการใช้เครื่องจักร, อุปกรณ์, เวลา, จำนวนผู้ปฏิบัติงาน, ความซับซ้อนของกระบวนการทำงานและยังเป็นการทำให้ระบบมีความเป็นอัตโนมัติมากขึ้น ขึ้นตอนทั้งหมดจะถูกรวมทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์ โดยใช้วิธีการทางการประมวลผลภาพที่นำมาใช้ประกอบด้วย การกรองสัญญาณภาพ, การแปลงภาพเป็นภาพแบบไบนารี, การทำให้วัตถุในภาพบางและลดการปะโยชน์ในการขยายภาพ

INDEX KEY WORDS: fingerprint; image processing; filtering; binarization; thinning.

ข้อเรื่อง (ไทย) การประมวลลายพิมพ์นิ้วมือเบื้องต้นสำหรับระบบตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ

ในระบบตรวจเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ (Automated Fingerprint Verification System) ลายพิมพ์นิ้วมือที่ไม่ผ่านระบบย่อยของการป้อนข้อมูล (Input Subsystem (I-SUB) Fingerprint Reader (FR)) จะถูกนำกลับมาปรับปรุงคุณภาพด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ที่ยุ่งยาก ใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ ผู้ปฏิบัติงานและเวลามาก ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้สามารถนำมาปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยใช้วิธีการทางการประมวลผลภาพ (Image Processing) ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี แต่ละวิธีก็จะเหมาะสมกับรูปภาพลักษณะต่าง ๆ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการทางการประมวลผลภาพที่เหมาะสมกับการประมวลผลลายพิมพ์นิ้วมือเพื่อนำมาใช้ปรับปรุงภาพลายพิมพ์นิ้วมือให้มีคุณภาพสูงขึ้นก่อนที่จะส่งกลับเข้าสู่ระบบย่อยของการป้อนข้อมูล (I-SUB FR) อีกครั้งหนึ่ง โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ใช้สแกนเนอร์ (scanner) ชนิดระดับเทาเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนลายพิมพ์นิ้วมือมาเป็นภาพในแบบดิจิทัลความสว่างขนาด 0-255 ระดับ แล้วเพิ่มความชัดเจนของรูปภาพโดยวิธีการกรองสัญญาณภาพขั้นต้น (filtering) ด้วย ด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่าน (Neighborhood Average)
  2. เพิ่มความชัดเจนของภาพด้วยการลดระดับความสว่างของแต่ละนิเซลให้เหลือเพียง 2 ระดับในรูปแบบของภาพแบบไบนารี (Binary Image) โดยการตัดค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ด้วยวิธีฮิสโตแกรม (Histogram)
  3. กำจัดความหนาของลายนิ้วมือแต่ละเส้นให้เหลือเป็นเส้นลายนิ้วมือเส้นเดียว โดยใช้วิธีการทำให้วัตถุในภาพบาง (Image Thinning)
  4. ใช้อรรถประโยชน์ขยายภาพด้วยวิธีการขยายภาพแบบต่อเนื่อง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและแก้ไขโดยใช้เมาส์ (mouse) แล้วทำการย่อภาพให้เหลือขนาดเท่าของจริง
  5. พิมพ์ภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ได้ออกมาทางเครื่องพิมพ์เลเซอร์ (Laser Printer) เพื่อนำกลับเข้าสู่ระบบย่อยของการป้อนข้อมูลของระบบตรวจเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติต่อไป
- การดำเนินการทั้งหมดจะกระทำโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งจะลดการใช้อุปกรณ์, คน, เวลา และขั้นตอนต่าง ๆ แบบเดิมที่ยุ่งยากซับซ้อนลงได้ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความแม่นยำให้กับระบบ ตรวจเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ (Automated Fingerprint Verification System)

#### Reference

1. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image Processing : Second Edition", Addison-Wesley Publishing Company, 1992
2. Adrian Low, "Introductory Computer Vision and Image Processing, McGRAW-Hill Book Company, 1991
3. ทรงชัย วีระหวัณษ, กิตติ ไนทวิวัฒน์กิจ, "อัลกอริทึมในการทำให้วัตถุในภาพบางอย่างรวดเร็ว" บทความการประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2534 ณ กรุงเทพมหานคร 31 ตุลาคม - 3 พฤศจิกายน 2534, หน้า 781-790

## การประมวลลายพิมพ์นิ้วมือเบื้องต้นสำหรับระบบตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ

(Fingerprint Input Preprocessor for Automated Fingerprint Verification System)

करचित 'मैत्री' विचेयर श्रीसुखाम  
Kanchit Maitree Vichein Srisuakam

อุกฤษฏ์ ศรีสุสุขาม  
Ukrit Srisuakam

### บทคัดย่อ

ภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ผ่านระบบย่อยป้อนข้อมูลของเครื่องตรวจเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ แล้วถูกส่งกลับเนื่องจากคุณภาพของลายเส้นต่ำ พรางมัว ไม่ชัดเจน จะถูกนำมาปรับปรุงคุณภาพโดยใช้วิธีการทางการประมวลผลภาพที่เหมาะสมกับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ เพื่อให้ได้ภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่มีคุณภาพสูงขึ้น ก่อนจะส่งกลับเข้าสู่ระบบย่อยป้อนข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยจะลดการใช้เครื่องจักร, อุปกรณ์, เวลา, จำนวนผู้ปฏิบัติงาน, ความซับซ้อนของกระบวนการทำงานและยังเป็นการเพิ่มความเป็นอัตโนมัติให้กับระบบมากขึ้น ขั้นตอนทั้งหมดจะถูกรวมทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์ วิธีการทางการประมวลผลภาพที่นำมาใช้ประกอบด้วย การกรองสัญญาณภาพ, การแปลงภาพเป็นภาพแบบไบนารี, การทำให้วัตถุในภาพบางและอรรถประโยชน์ในการขยายภาพ

### ABSTRACT

Low quality ridge, blur and nonclear fingerprint can be improve after reject from input subsystem(I-SUB) of Fingerprint reader(FR) by applying appropriate digital image processing method. The result is higher quality fingerprint image that will return to input subsystem again. The advantage of this research is to reduce usage of machine, instrument, time, man power and sophisticated process by integrate all subprocess to microcomputer. Digital image processing techniques use on this research compose of filtering, binarization, thinning and zooming utility.

ร.ศ.ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ร.ศ.ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์

นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## 1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันการทำงานของระบบเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ ส่วนใหญ่จะมีการประมวลผลภาพเป็นแบบดิจิทัล โดยจากขั้นตอนแรกคือ การนำภาพเข้ามาโดยใช้อุปกรณ์อินพุตต่าง ๆ เช่น สแกนเนอร์, กล้องวิดีโอ ฯลฯ ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงคุณสมบัติทางกายภาพ(ระดับความเข้มของแสง) ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

เมื่อแปลงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วอาจเกิดมีสัญญาณอื่น ๆ มาแทรก หรือรบกวน (มี noise เกิดขึ้น) ทำให้สัญญาณที่ได้ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง ซึ่งจะทำให้เป็นการยากลำบากต่อการที่จะแยกรายละเอียดของภาพลายนิ้วมือออกมาได้ เพราะฉะนั้นควรที่จะมีกระบวนการที่ทำให้ภาพเหมือนเดิม กระบวนการดังกล่าวเรียกว่า "Preprocessing" ซึ่งจะเป็นกระบวนการที่ทำให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติดีขึ้น โดยมีการจัดสัญญาณรบกวนออก และลดข้อมูลให้มีขนาดที่น้อยลง งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนา algorithm ทางการประมวลผลภาพ ( image processing ) ที่เหมาะสมกับขั้นตอนต่าง ๆ ข้างต้น

## 2. INPUT FINGERPRINT IMAGE

เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนลายพิมพ์นิ้วมือมาเป็นภาพในแบบดิจิทัล ความสว่างขนาด 0-255 ระดับเทา เราต้องพิมพ์ลายนิ้วมือก่อนแล้วนำลายพิมพ์นิ้วมือที่ได้มาเปลี่ยนเป็นภาพดิจิทัล เนื่องจากเราต้องการข้อมูลที่ถูกต้องมากที่สุด ลายพิมพ์นิ้วมือที่ได้จึงควรชัดเจนสมบูรณ์ มีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด เพราะการเกิดข้อผิดพลาดขึ้น อาจเป็นการทำให้เราได้ข้อมูลผิด ซึ่งอาจนำไปสู่ผลการวินิจฉัยที่ผิดพลาดได้ ข้อผิดพลาดที่สำคัญ ได้แก่ ลายขนาบกันที่ติดกันเนื่องจากหมึกพิมพ์เลอะ และลายไม่ติดติดกันเนื่องจากหมึกพิมพ์ไม่ติด

## 3. Smoothing & Noise reduction

### 3.1 Grey-level Transformations

ปัญหาที่เกิดขึ้นประการหนึ่งในขั้นตอนการรับรู้ภาพคือ ในการนำภาพเข้ามาโดยใช้อุปกรณ์อินพุตต่าง ๆ เช่น สแกนเนอร์, กล้องวิดีโอ ฯลฯ ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงคุณสมบัติทางกายภาพ(ระดับความเข้มของแสง) ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า บางครั้งอาจให้ภาพที่มีความสว่างมากหรือน้อยเกินไป เนื่องจากเซตอุปกรณ์ไม่ดี เราก็สามารถทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพได้ โดยการทำ histogram เพื่อหาว่าความเข้มแสงโดยเฉลี่ย ( average intensity) ของภาพอยู่ที่ระดับเทาที่เท่าไร สูงหรือต่ำกว่ามาตรฐานที่ตั้งไว้ จากนั้นก็ใช้เทคนิค Global alterations in brightness [1] เพื่อเพิ่มหรือลดค่าคงที่ให้กับทุกพิกเซลผลที่ได้จึงเป็นการเพิ่มหรือลดความสว่างให้กับภาพทั้งภาพ ซึ่ง code ที่ใช้ คือ

```
for (row = 0; row < rowmax; row++)
    for (col=0; col<colmax; col++) image[row][col]+=constant;
```

### 3.2 Histogram Equalization

ภาพ (digitized image) ลายพิมพ์นิ้วมือที่ได้มาเราอาจนำมาเพิ่ม contrast เพื่อให้เห็นรายละเอียดที่ซ่อนอยู่ได้มากขึ้น เช่น กรณีที่ลายเส้นสองเส้นอยู่ชิดกันมากเนื่องจากเส้นหมึกที่หนาเกินไป โดยเราจะใช้เทคนิค Histogram equalization[1]

ให้จำนวนของพิกเซลในภาพ = rowmax \* colmax

ระดับเทาที่ใช้ = g\_levels

จากนั้นหาความถี่ (frequency) และผลรวมความถี่ (cumulative frequency) ที่แต่ละระดับเทา ผลของการปฏิบัติการที่ได้จะได้

$$F(g) = \max\{0, \text{round}(g\_levels * t(g)/(rowmax*colmax)) - 1\}$$

โดย  $F(g) = F(\text{old grey level}) = \text{new grey level}$

$t(g)$  = the actual number of pixels at old grey level g or less

### 3.3 smoothing

ในภาพ (digitized image) ที่ได้อาจมีข้อผิดพลาดในบางจุด เนื่องจากเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ การจับเก็บ (noise) เช่น ในภาพที่มีพื้นดำแต่ปรากฏจุดสีขาวบนพื้นที่สีดำนั้น ทั้ง ๆ ที่ไม่น่าจะมีจุดสีขาวอยู่ที่ตำแหน่งนั้น หรือภาพที่มีบางจุดที่มีความสว่าง หรือมืด (ในภาพขาวดำ) แตกต่างจากจุดรอบ ๆ ข้างมาก เป็นต้น ดังนั้นการที่จะนำภาพไปประมวลผลเลย อาจทำให้ผลที่ได้จากการประมวลไม่ถูกต้องตามต้องการก็ได้

เทคนิคที่ใช้ในการ smoothing สามารถช่วยลดข้อผิดพลาดเหล่านั้นโดยอาศัยหลักการที่ว่า จุดใด ๆ ในภาพจะต้องมีความสว่างสัมพันธ์กับรอบ ๆ (neighboring point) ในการทดลองนี้เราจะทำการแทนจุดใด ๆ ใน array ของภาพด้วยค่าเฉลี่ยกับค่าของจุดรอบ ๆ โดยใช้ filter mask ขนาด 4 จุดรอบ ซึ่งจะใช้จุดที่อยู่ติดกับจุดสนใจ (interest point) [3] ประกอบด้วย ซ้าย ขวา บน ล่าง ดังนั้น mask ที่ได้จะมีลักษณะ ดังนี้

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
|     | 1/8 |     |
| 1/8 | 1/2 | 1/8 |
|     | 1/8 |     |

ดังนั้น ถ้าให้  $(x,y)$  เป็นจุดที่เราสนใจแล้วผลลัพธ์ที่ได้คือ

$$(x, y) = (x, y)/2 + ((x-1,y)+(x+1,y)+(x,y-1)+(x,y+1))/8$$

โดยที่  $(x, y)$  คือ ค่าที่ปรากฏใน array ตำแหน่ง  $(x,y)$

ข้อเสียของการทำ smoothing นี้บางครั้งจะทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะ blur

3.4 ผลพลอยได้ที่ไม่ต้องการจากการดำเนินการตามกรรมวิธีข้อ 3.3 คือ การเกิดความเบลอร์ของภาพ และรายละเอียดสัญญาณรบกวนที่ชัดเจนขึ้น อาจแก้ไขได้โดยการใช้เทรซโซลด์

threshold) แต่ปัญหาคือการกำหนดเทรชโวลด์ (threshold) ที่มีความเป็นทั่วไปกับทุกภาพของลายนิ้วมือทำได้ยาก จึงใช้ฟิลเตอร์แบบมัลติฐานแทนระดับสีเทาของแต่ละพิเซล โดยการใช้ค่ามัธยฐานของระดับสีเทาในรอบย่านนั้น ๆ ของพิเซลแทนการเฉลี่ย จะทำให้ภาพที่ได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

median filtering[3] นี้เป็นฟิลเตอร์ชนิดความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter) ทำได้โดยการกำหนดกรอบซึ่งในที่นี้ใช้กรอบขนาด  $3 \times 3$  ครอบคลุมไปทุก ๆ จุดในภาพจากนั้น นำค่าที่ได้มาทำการเรียงลำดับจากน้อยไปหามากแล้วนำค่าที่อยู่ตรงกลางนั้นมาใช้แทนค่า

#### 4. การแปลงภาพเป็นภาพแบบไบนารี (Binarization)

ทำได้โดยการเปลี่ยนความสว่างของทุกพิเซล ให้เหลือเพียง 2 ระดับ (binary pattern) โดยการตัดค่าเทรชโวลด์ซึ่งใช้วิธีฮิสโตแกรม[1] โดย code ที่ใช้คือ

```
for (row = 0; row < rowmax; row++)
for (col = 0; col < colmax; col++)
    if (image[row][col]>threshold)
        image[row][col] = MAX;
    else
        image[row][col] = MIN;
```

ปัญหาคือค่า threshold ที่เหมาะสมควรเป็นเท่าไร ซึ่งวิธีที่น่าจะนำมาประยุกต์ใช้ได้ได้แก่ การทำ automatic thresholding[1] ซึ่งมีวิธีการดังนี้

ถ้า  $f(g)$  เป็น ความถี่ของ grey level ที่ระดับ  $g$   
 $t(g)$  เป็น ผลรวมของความถี่ที่ระดับ  $g$  หรือ ต่ำกว่า

$$\text{จะได้ cumulative distribution function } t(g) = \sum_{i=0}^g f(i)$$

ถ้า จำนวน ค- +@ -

ได้การพิจารณาเป็น  $P$  ( โดยทั่วไปคือ  $N \times M$  ) และ  $m(g)$  คือ ค่าเฉลี่ยของระดับเทาสำหรับพิเซลเหล่านั้นระหว่าง 0 ถึง  $g$

$$m(g) = \frac{\sum_{i=0}^g g f(i)}{t(g)}$$

และถ้าจำนวนสูงสุดของระดับเทาคือ  $G$  (0, ...,  $G-1$ ), แล้ว สามารถหา Threshold ที่เหมาะสมได้จากสมการ

$$T = \max\{ \text{part A} , \text{part B} \}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \text{part A} &= t(g)/(P-t(g)) \\ \text{part B} &= [m(g) - m(G-1)]^2 \end{aligned}$$

### 5. การทำให้วัตถุในภาพบาง (Thinning)

จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้เพื่อทำให้รายละเอียดของภาพลายพิมพ์นิ้วมือ เหลือแต่รายละเอียดที่จำเป็น ไม่ให้มีรายละเอียดที่มากเกินไปจนความจำเป็น เนื่องจากโดยข้อเท็จจริง ลายนิ้วมือแต่ละเส้นจะมีลักษณะเป็นเส้นหนา และความหนาของแต่ละลายไม่เท่ากันทุกเส้น แต่ความหนาของลายเส้นเป็นข้อมูลที่จะช่วยในการวินิจฉัยไม่สนใจพิจารณา ดังนั้นเราจึงลดข้อมูลให้น้อยลงได้โดยการแทนเส้นลายนิ้วมือด้วยเส้น ๆ เดียว นั่นคือ การกำจัดความแตกต่างของความหนา

การทำ thinning นี้เป็นการลดวัตถุที่มีรูปร่างในระนาบให้เป็นกราฟ กล่าวคือ เหลือแต่ส่วนที่เป็นแกนจริง ๆ บางครั้งจึงเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า skeletonizing ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่เราจะเลือกใช้ในที่นี้เป็นวิธีที่ใช้กันแพร่หลายและรู้จักกันดีในชื่อ skeleton หรือ medial axis algorithm[2] โดยจะนำเสนอวิธีการนี้ในรูปของ matrix operation ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะของภาพลายพิมพ์นิ้วมือ

1. เริ่มต้นจากการกำหนด "square disks" ซึ่งแต่ละรูปจะทำหน้าที่เป็นอิมเมจคงที่ หรือ เทมเพลต โดยให้มีจุดเริ่มต้น (origin) อยู่บริเวณใกล้เคียงกับจุดศูนย์กลางของโดเมน

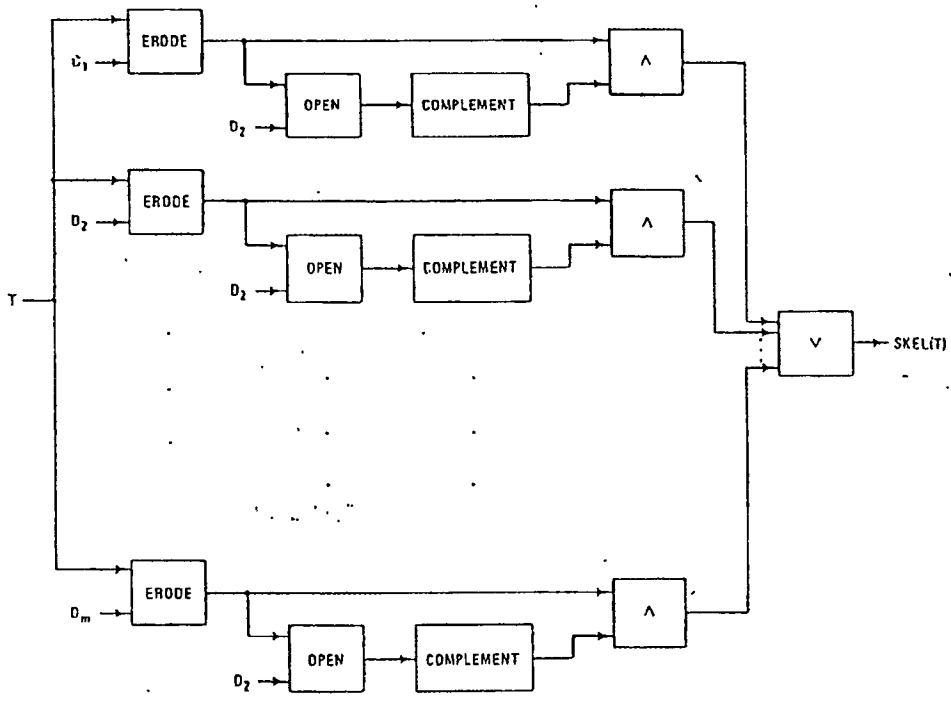
$$\begin{aligned}
 D_1 &= \begin{pmatrix} 1 \end{pmatrix} & \begin{matrix} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{matrix} \\
 D_2 &= \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \\
 D_3 &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \\
 D_4 &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \\
 D_5 &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \\
 &\text{etc}
 \end{aligned}$$

Square Disks of Increasing Size

2. ถึงตอนนี้เราจะแสดงโอเปอเรเตอร์ SKEL ได้ดัง block diagram ดังนี้

$$f \longrightarrow | \text{SKEL} | \longrightarrow \text{SKEL}(f)$$

ซึ่งการดำเนินการของโอเปอเรเตอร์ SKEL สามารถแสดงได้ดังรูป



รูปแสดง block diagram of SKEL

ตามรูป  $m$  คือ จำนวนที่น้อยที่สุดระหว่างจำนวนของ row และ column ของ matrix  $T$

ERODE คือ การนำ square template  $D_n$  ไปทาบบน  $T$  ใน subimage ที่มีจำนวนจุดสว่าง เท่ากับ square template  $D_n$  แล้วลบจุดอื่นออกเหลือไว้แต่ส่วนที่เป็น origin ของ template

OPEN คือ การนำ square template  $D_n$  ไปทาบแล้วลบจุดที่ไม่พอดีกับ template ออก

## 7. การทดลองและผลที่ได้

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดลองโดยนำแผ่นภาพลายพิมพ์นิ้วมือ 10 นิ้วมาทำการอ่านเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย scanner และกล้องวิดีโอ พบว่า สำหรับภาพเดียวกันคุณภาพของภาพที่ได้จาก scanner จะให้คุณภาพที่สูงกว่าเนื่องจากไม่ขึ้นกับสภาวะของแสงที่ใช้ในขณะที่ทำการ scan และในการทดลองกับกระบวนการต่าง ๆ ถัดไปได้ทดลองกับภาพที่ผ่าน scanner เท่านั้น โดยกระบวนการที่นำมาทดลองประกอบด้วย กรรมวิธี Global alterations in brightness, Histogram Equalization, smoothing ด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่าน, binarization โดยการกำหนดค่า threshold ขึ้นเอง, การทำ thinning ด้วยอัลกอริธึมในการทำให้วัตถุในภาพบางอย่างรวดเร็ว[7], และทดลองอรรถประโยชน์ในการย่อและขยายภาพ ผลที่ได้พอจะสรุปได้ดังนี้

1. กรรมวิธี Global alterations in brightness จะให้ผลได้เป็นอย่างดีในการเพิ่มหรือลดความสว่างของภาพ

2. การเพิ่มหรือลด contrast ของภาพจะไม่มีผลกระทบต่อการประมวลผลในขั้นตอนอื่น ๆ เลย(ไม่รวมเรื่องการปรับค่า threshold ในตอนทำ binarization)
3. สำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ผ่านการเพิ่มความชัดเจนด้วยวิธีเฉลี่ยค่ารอบย่านโดยใช้ filter mask ชนิด 8 จุดรอบจะให้ภาพที่มีความ blur สูงมากกว่า การใช้ filter mask ชนิด 4 จุดรอบ
4. ในขั้นตอนการทำ binarization ควรตั้ง Threshold ไว้ใกล้ grey level ด้านสว่าง เพื่อไม่ให้เกิดกรณี type I error ซึ่งจะทำลายลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ
5. กระบวนการ smoothing ที่ใช้จะเพิ่มความ blur ให้กับภาพซึ่งจะมีผลต่อเนื่องในขั้นตอนการทำ binarization โดยภาพที่ผ่านการ smoothing แล้วมาทำ binarization จะมีการเกิด Type I error สูงกว่าภาพที่ไม่ผ่านการ smoothing เมื่อใช้ค่า threshold เดียวกัน
6. กระบวนการ thinning ที่ทำโดยใช้ อัลกอริธึมในการทำให้อัตราในภาพบางอย่างรวดเร็ว เมื่อนำมาใช้กับภาพลายพิมพ์นิ้วมือจะไม่ค่อยได้ผล(อาจเนื่องจากในลายพิมพ์นิ้วมือมีรูปแบบที่ทำให้การทำ contour following ไม่สามารถกลับมาจุดเริ่มต้นได้)
7. ถ้าจำเป็นต้องมีการขยายขนาดของภาพเพื่อใช้ในการตัดสินใจของผู้ชำนาญการในบางกรณีที่เกิดขึ้น ควรดำเนินการขยายภาพกับภาพไบนารีและด้วย scale ที่ไม่ควรเกิน 2X ความคมของภาพจึงจะยังคงอยู่ในลักษณะที่สามารถวินิจฉัยได้

## 8. สรุปและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในปัจจุบันสำหรับประเทศไทยเทคโนโลยีของระบบตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติเป็นเทคโนโลยีทั้งหมด และเอกสารเทคนิคการทำงานเกี่ยวกับระบบนี้มักเป็นความลับทางธุรกิจไม่ค่อยมีการเผยแพร่ เอกสารที่ค้นได้จะมีการบอกเทคนิคการทำงานแบบคร่าว ๆ เท่านั้น ดังนั้นการวิจัยจึงประสบปัญหาในเรื่องของความล่าช้าเพราะต้องมีการทดลองหาวิธีการต่าง ๆ ทาง image processing ว่าจะนำมาใช้ได้ผลหรือไม่

จากการทดลองในครั้งนี้ได้ให้ความสำคัญกับทุก ๆ อัลกอริธึมอย่างเท่า ๆ กัน แต่จากการทำการทดลองหลาย ๆ ครั้งโดยมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของกระบวนการหนึ่งแล้วให้กระบวนการอื่นดำเนินการต่อไปภายใต้เงื่อนไขเดิม พบว่า กระบวนการที่มีความสำคัญที่สุดในการประมวลผลภาพลายพิมพ์นิ้วมือเบื้องต้นคือ กระบวนการแปลงภาพให้เป็นภาพแบบไบนารีเนื่องจากค่า Threshold ที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างของภาพต้นแบบและการประมวลผลในขั้นตอนก่อนหน้า ดังนั้นการจะทำให้การทดลองนี้สมบูรณ์ได้จำเป็นต้องหา Automatic Thresholding algorithm ที่เหมาะสมกับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ โดยอาจเริ่มต้นจาก function ที่ให้ไว้ในข้อ 4 แล้วทำการทดลองต่อไป ซึ่งหากทำได้จึงจะสามารถนำไปใช้เป็นส่วนของ input subsystem ( I-SUB )ร่วมสำหรับระบบ AFVS ได้ต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Adrian Low, "Introductory Computer Vision and Image Processing, McGRAW-Hill Book Company, 1991.
- [2] Dougherty, Edward R, "Matrix structured image processing", Prentice-Hall, Inc.,1987.
- [3] Rafael C. Gonzalex, Richard E. Woods, "Digital Image Processing : Second Edition", Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [4] B. Moayer and K.S. Fu, " A Tree System approach for Fingerprint Pattern Recognition, "Pattern Recognition vol. 6, May 1976.
- [5] ครรชิต ไมตรี, มนัส สังวรศิลป์ และสุรพันธ์ เอื้อไพฑูรย์, "ระบบเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ", บทความ.
- [6] ครรชิต ไมตรี, ทรงชัย วีระทวีมาศ และ ศราวุฒิ จินตนาสุนทรศิริ, " ระบบเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ", บทความ.
- [7] ทรงชัย วีระทวีมาศ, ดร.กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ, "อัลกอริธึมในการทำให้วัตถุในภาพบางอย่างรวดเร็ว", บทความการประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2534 ณ กรุงเทพมหานคร 31 ตุลาคม - 3 พฤศจิกายน 2534, หน้า 781-790.

### ประวัติผู้เขียน

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ                           | ร้อยตำรวจเอกอุกฤษฏ์ ศรีเสือขาม                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| เกิดวันที่                     | 21 กรกฎาคม 2509 ที่จังหวัดอุทัยธานี                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| การศึกษาก่อนเข้ารับราชการ      | <p>ปี 2526 คุณวุฒิ มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย</p> <p>ปี 2531 คุณวุฒิ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยขอนแก่น</p>                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| การศึกษาเมื่อเข้ารับราชการแล้ว | <p>ปี 2534 คุณวุฒิ วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คอมพิวเตอร์) มหาวิทยาลัยมหิดล</p> <p>ปี 2538 คุณวุฒิ นิติศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช</p> <p>หลักสูตรการสืบสวนสอบสวนคดีอาญา รุ่นที่ 65 สถาบันพัฒนาข้าราชการตำรวจ</p> <p>หลักสูตรสารวัตร รุ่นที่ 47 สถาบันพัฒนาข้าราชการตำรวจ</p>                                                                                                                                  |
| รายการแสดงการรับราชการ         | <p>1 ก.ย.2531      เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการลงทุน 3 สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน สำนักงานรัฐมนตรี</p> <p>1 พ.ย.2534      วิศวกร 3 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม</p> <p>2 ก.ค.2535      รอง สว.ผ.โทรศัพท์ กก.2 บก.สส.</p> <p>                  ม.ค.2536      รอง สว.งาน 1 กก.3 บก.อก.สภ.</p> <p>16 เม.ย.2538      รอง สว.ส. ภ.จว.นครปฐม</p> <p>14 มี.ค.2539      รอง สว.ป.สน.จรเข้เน้อย</p> |
| ปัจจุบัน                       | รองสารวัตรป้องกันปราบปราม สถานีตำรวจนครบาลจรเข้เน้อย                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |