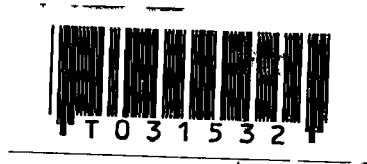


การประเมินผลของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางเพื่อนำไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ  
AN EVALUATION OF THINNING ALGORITHMS FOR FINGERPRINT IMAGE



นายเอกรัตน์ จูลวรรณ์  
MR. AEKARAT JOOLAWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2541

ISBN 974-622-271-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ณ  
ณ 8-11  
เลขที่.....  
เลขทะเบียน..... 31532  
วัน, เดือน, ปี..... 11 พ.ค. 2541

**AN EVALUATION OF THINNING ALGORITHMS FOR FINGERPRINT IMAGE**

**AEKARAT JOOLAWAN**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**1998**

**ISBN 974-622-271-6**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางเพื่อนำไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ
นักศึกษา	นายเอกรัตน์ จุลวรรณ
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. ครรชิต โมตรี
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
พ.ศ.	2541

### บทคัดย่อ

การทำลายเส้นให้บางนั้นจะเป็นการลดทอนขนาดข้อมูลของภาพ ทำให้ขนาดข้อมูลที่ต้องจัดเก็บและใช้ในการประมวลผลนั้นน้อยลงไปได้มาก ในงานวิจัยนี้จะทำการตรวจสอบเพื่อประเมินผลขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยจะทำการศึกษารายละเอียดของขั้นตอนวิธีทั้ง 5 แบบ คือ ขั้นตอนวิธีของ Zhang and Suen<sup>[1]</sup>, ขั้นตอนวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI<sup>[2]</sup>, ขั้นตอนวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG<sup>[3]</sup>, ขั้นตอนวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN<sup>[4]</sup> ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3, และขั้นตอนวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin<sup>[5]</sup> ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน ซึ่งทั้ง 5 แบบนี้จะกระทำกับภาพขาวดำทั้งสิ้น โดยภาพขาวดำจะได้รับการแปลงภาพระดับเทาโดยใช้วิธีการเลือกขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ปริมาณค่าเอนโทรปี (entropy) หรือสารของภาพโดยเฉลี่ยต่อระดับเทาแต่ละระดับที่มีค่ามากที่สุด เมื่อได้ภาพขาวดำ จะนำภาพขาวดำที่ได้ไปทำการแปลงเป็นภาพลายเส้น โดยผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 5 ขั้นตอนวิธีที่ได้กล่าวมา โดยทดสอบกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือทั้งหมด 10 รูปแบบ พบว่า ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI มีจุดเด่นคือ ใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อยและให้ภาพลายเส้นที่มีความบางเพียง 1 จุดภาพได้ชัดและวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG มีจุดเด่นคือ ให้ภาพลายเส้นที่มีเส้นกึ่งเกิดขึ้นน้อยและมีความไวในการตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพที่น้อยมาก รวมทั้งใช้ช่วงเวลาในการประมวลผลที่ไม่มาก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางขึ้นมา โดยดัดแปลงขั้นตอนวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI และ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG แล้วนำมารวมกัน และได้เพิ่มเติมขั้นตอน การทำพร็โพรเซสหรือการปรับแต่งภาพให้สมบูรณ์ โดยทำการกำจัด

สัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ภายในลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ และการทำโพสโพรเซสหรือ การตกแต่งภาพ โดยเพิ่มเติมขั้นตอน คือ

- การทำลายเส้นหยักในภาพให้เรียบ
- การกำจัดเส้นสะพาน, เส้นกิ่ง และเส้นสั้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีตัดตามลายเส้น<sup>[27],[28]</sup>

- การกำจัดจุด ที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ
- การกำจัดเส้นขาด ซึ่งใช้วิธีการเชื่อมต่อเส้นขาด โดยใช้ขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮม<sup>[6]</sup> ซึ่งในการทำโพสโพรเซสนี้ จะมีการทำงานเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งใช้ตัวบุคคลเป็นผู้

พิจารณาประกอบกับการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์

จากการประเมินผลของการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งจะทำการ พิจารณาจากค่ามาตรฐานต่างๆ คือ

- การวัดความกว้างของลายเส้น ( $m_1$ )
- การวัดความรู้สึกละเอียดต่อสัญญาณรบกวน ( $m_2$ ) ที่ขอบภาพ
- ช่วงเวลา ( $t$ ) ที่ใช้ในการประมวลผล
- การวัดมูลค่าการคำนวณ ( $m_3$ ) ซึ่งคิดจากจุดภาพของวัตถุในภาพ จุดภาพสเกลเลตัน และ

จำนวนรอบของการกระทำซ้ำ

จากการใช้ค่ามาตรฐานที่ได้กล่าวมา เมื่อเปรียบเทียบขั้นตอนที่ได้ทำการปรับปรุงกับขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI และ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG จะมีข้อดี, ข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี คือ

1. ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพได้น้อย
2. ภาพลายเส้นที่ได้มีความบางของลายเส้นเพียง 1 จุดภาพ ก่อนข้างสมบูรณ์
3. ภาพลายเส้นที่ได้ มักจะไม่เกิดเส้นลูป
4. ภาพลายเส้นที่ได้ จะเกิดเส้นกิ่งที่น้อยมาก

ข้อเสีย คือ

1. ใช้เวลาในการประมวลผลที่นานพอสมควร
2. ใช้จำนวนรอบในการกระทำซ้ำที่มาก จึงทำให้ประสิทธิภาพในการคำนวณน้อยลง ซึ่งสังเกตได้จากมูลค่าการคำนวณโดยคิดจากจุดภาพของวัตถุในภาพ จุดภาพสเกลเลตัน และจำนวนรอบในการกระทำซ้ำ

<b>Thesis Title</b>	An Evaluation of Thinning Algorithm for Fingerprint Image
<b>Student</b>	Mr. Aekarat Joolawan.
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Kanchit Maitree. D. Eng.
<b>Level of study</b>	Master of Engineering in Electrical Engineering
<b>Department</b>	Computer Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
<b>Year</b>	1998

### Abstract

Thinning is a method that can reduce the size of data in order to make it easy for processing. In this research, we evaluated thinning algorithms for fingerprint image by comparing the detail of five algorithms. These are Zhang and Suen's<sup>[1]</sup> algorithm, A. DATTA and S. K. PAURI's<sup>[2]</sup> algorithm, FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG's<sup>[3]</sup> algorithm, BEN-KWEI JANG and ROLANG T. CHIN's<sup>[4]</sup> algorithm which using a size of template 3 x 3, Ben K. Jang and Roland T. Chin's<sup>[5]</sup> algorithm which using various sizes of template. All algorithms operate on binary image. The binary image converted from gray level image by selecting a threshold value that gives maximum entropy. Then, the binary image is converted into a thinned image by five thinning algorithms operated on ten patterns of fingerprint images. We found that A. DATTA and S. K. PARUI's algorithm uses the less time and gives one pixel width of line, and FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG's algorithm gives the less branches, and not sensitive to boundary noises, it also uses optimum time.

Next, we developed a thinning algorithm by mixing of improved A. DATTA and S. K. PARUI's algorithm and FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG's algorithm. We add a step of removing noise inside of ridges into preprocessing and some parts into postprocessing. These are

- Smoothing the ridges,
- Removing bridges, branches and short lines by line following,<sup>[17],[28]</sup>
- Removing points which considered to be noises,
- Creating lines from the short cut lines by Bresenham's algorithm.<sup>[6]</sup>

In this research, the postprocessing is semi-automatic process (needing interaction with a person). We calculated the improvement of parallel thinning algorithm by

- Measuring of convergence ( $m_p$ ) to unit width,
- Measuring of boundary noise sensitivity ( $m_c$ ),
- Measuring of running time ( $t$ ),
- Measuring of computation cost ( $m_d$ ) which calculated from image point, skeleton points and a number of iterations.

Finally, we compared our thinning algorithm with A. DATTA and S. K. PARUI's algorithm and FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG's algorithm, we found that it has many advantages and many disadvantages as the following:

- Advantages:
1. The thinned image has less of noise sensitivity.
  2. The thinned image has one pixel width.
  3. The thinned image has less loop lines.
  4. The thinned image has less branches.

- Disadvantages:
1. Consuming a long time.
  2. Using most iterations comparing with others.

From the second disadvantages, it makes the performance of calculation decreased. The performance is considered from the measure of computational cost that calculated from image points, skeleton points and the number of iterations.

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความอนุเคราะห์ของ รศ. ดร. ครรชิต ไมตรี อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา คอยให้กำลังใจ คำแนะนำและชี้แนะแนวทางวิธีการ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินการวิจัย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาอบรม ดูแลและเอาใจใส่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณเกรียงไกร โขวเจริญสุข ที่ช่วยให้ความรู้เกี่ยวกับภาษานี้มีอันมีประโยชน์ต่อการวิจัยเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณชลัฐ ทองเจือ ที่ให้ยืมอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่น พี่ๆ และน้องทุกคนที่ได้ช่วยเหลือและให้กำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทางบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ไว้ ณ. ที่นี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบพระคุณแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกรัตน์ จุลวรรณ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	XI
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....	5
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	6
1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	7
2. ความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนนิ้วมือ.....	9
2.2 ชีดเริ่มเปลี่ยนระดับสี.....	14
2.3 การทำลายเส้นให้บาง.....	15
2.4 การกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆ ในภาพ.....	16
2.5 เทคนิคทางคณิตศาสตร์.....	17
2.6 บทสรุป.....	26
3. การทำงานของแต่ละขั้นตอนวิธี.....	27
3.1 ทำทreshold ภาพหรือการหาค่าชีดเริ่มเปลี่ยนระดับสี.....	28
3.2 คำนียามต่างๆ ที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บาง.....	35
3.3 ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางแบบวิธีต่างๆ.....	36
3.3.1 ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen.....	37
3.3.2 ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S.K. PARUI.....	40

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3.3	ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG.....44
3.3.4	ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin แบบใช้โครงสร้างแม่แบบขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 เป็นหลัก.....52
3.3.5	ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T.Chin แบบใช้โครงสร้างแม่แบบหลายขนาด.....56
3.4	บทสรุป .....61
4.	การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง .....63
4.1	การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพ(noise) ที่อยู่ภายในลายเส้น ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ.....66
4.2	การทำลายเส้นให้บาง ซึ่งได้ดัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้น ให้บาง ตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG.....68
4.3	การทำลายเส้นให้บาง ซึ่งได้ดัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้น ให้บาง ตามวิธีของ DATTA and S. K. PARUI.....69
4.4	ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นหยักในภาพให้เรียบ.....70
4.5	การกำจัดเส้นสะพาน เส้นกึ่ง และเส้นสั้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีติดตามลายเส้น.....71
4.6	การกำจัดจุด ที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ .....85
4.7	การกำจัดเส้นขาด ซึ่งใช้วิธีการเชื่อมต่อเส้นขาด โดยใช้ขั้นตอนวิธี ของเบเซนแฮม .....86
4.8	สรุปขั้นตอนในการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่คิดพัฒนา.....88
4.9	บทสรุป .....98
5.	ผลการทดลอง.....99
5.1	ผลการทดลอง.....107
5.1.1	การทดลองการใช้งานของการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพ.....107
5.1.2	การทดลองการใช้งานของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง.....118
5.2	สรุปผลการทดลอง.....156

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
การหาขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสี.....	156
5.2.1 การพิจารณาการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยอัตโนมัติ ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพและการทำงานเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดย วิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี.....	156
5.2.2 การทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหา ค่าเอนโทรปี ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์ต่างๆ กัน.....	158
การทำลายเส้นให้บาง.....	159
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	172
สรุปผลงานวิจัย.....	172
ข้อเสนอแนะ.....	173
บรรณานุกรม.....	175
ภาคผนวก .....	178
ภาคผนวก ก. การคำนวณหาค่าเอนโทรปีของภาพ.....	179
ภาคผนวก ข. ภาพขาวดำที่ได้จากการแปลงภาพระดับเทา.....	192
ภาคผนวก ค. การพิจารณาภาพลายเส้นที่ได้.....	195
ภาคผนวก ง การใช้โปรแกรม .....	205
ประวัติผู้เขียน .....	214

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงค่าการจำแนกของค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยี $x_0$ .....	18
2. แสดงตารางที่ใช้ในการพิจารณาจุดปลอดภัย(safe-point).....	48
3. แสดงค่าโทโปโลยีของจุดภาพ.....	73
4. แสดงค่าของ $Nc^4, Nc^3, Nc^4$ และ $Nc^3$ ที่หาได้จากแต่ละกรณีในภาพที่ 51.....	76
5. แสดงค่าของ $Nc^4, Nc^3, Nc^4$ และ $Nc^3$ ที่หาได้จากแต่ละกรณีในภาพที่ 52.....	77
6. แสดงค่าของ $Nc^4, Nc^3, Nc^4$ และ $Nc^3$ ที่หาได้จากแต่ละกรณีในภาพที่ 58.....	82
7. แสดงช่วงเวลา(วินาที) ที่ใช้ในการประมวลผล.....	118
8. แสดงรายละเอียดจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ แบบโค้งกระโจน ตัวอย่างที่ 3.....	126
9. แสดงรายละเอียดจากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจน ตัวอย่างที่ 3.....	128
10. แสดงรายละเอียดจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ แบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา.....	133
11. แสดงรายละเอียดจากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา.....	135
12. แสดงรายละเอียดจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ แบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1.....	140
13. แสดงรายละเอียดจากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1.....	141
14. แสดงรายละเอียดจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ แบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2.....	146
15. แสดงรายละเอียดจากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2.....	148
16. แสดงรายละเอียดจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ แบบมัดหวายปิดซ้าย.....	153

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
17. แสดงรายละเอียดจากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักชาย.....	154
18. แสดงค่าของ $m_d, m_c, m_t, t$ ที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG.....	164
19. แสดงค่าของ $m_d, m_c, m_t, t$ ที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI.....	165
20. แสดงค่าของ $m_d, m_c, m_t, t$ ที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง.....	166
21. แสดงผลการทดสอบของคุณสมบัติของสเกลเลตันที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธีจากภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักขวา ตัวอย่างที่ 1.....	202

## สารบัญภาพ

		หน้า
1.	แสดงขั้นตอนการทำงานอย่างคร่าวๆ ในการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ.....	4
2.	แสดงลักษณะของจุดลักษณะสำคัญพิเศษของแต่ละแบบ.....	10
3.	แสดงลักษณะของเส้นขอบ.....	11
4.	แสดงสันคอนลักษณะต่างๆ.....	11
5.	แสดงลักษณะของจุดใจกลาง.....	11
6.	แสดงลักษณะของบริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน.....	12
7.	แสดงลักษณะของลายนิ้วมือทั้ง 4 กลุ่มใหญ่ๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 12 แบบย่อย.....	13
8.	แสดงขั้นตอนในการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยใช้คอมพิวเตอร์.....	14
9.	แสดงลักษณะมิനുทีชปปลอมที่เกิดขึ้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ.....	16
10.	แสดงตัวอย่างเส้นแกนกลางของวัตถุในภาพทั้ง 3 แบบ.....	17
11.	แสดงหน้าค่าขนาด 3 x 3 บิต.....	18
12.	แสดงให้เห็นคำนิยามบางอย่างของมอร์ฟโอโลยีคณิตศาสตร์.....	21
13.	แสดงการตรวจจับจุดมุมบนด้านขวาโดยใช้ส่วนประกอบโครงสร้าง.....	23
14.	แสดงการกัดเซาะและการขยายตัว.....	25
15.	แสดงขั้นตอนวิธีการหาค่าทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยอัตโนมัติ ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพ.....	30
16.	แสดงการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ โดยวิธีการทำทรซโฮลด์ของ ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพ.....	31
17.	แสดงขั้นตอนในการทำทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการ แบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี.....	32
18.	แสดงการเปรียบเทียบการใช้แมตริกซ์ขนาดต่างๆ กันที่ใช้กับการทำทรซโฮลด์ ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี.....	34
19.	แสดงจตุรรอบข้างแบบ 8 และจตุรรอบข้างแบบ 4 ของ $x_0$ .....	35
20.	แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen .....	39
21.	แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปีคขวา ตัวอย่างที่ 1 และ (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen.....	40

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

		หน้า
22.	แสดงแม่แบบ (ก)-(ง) ที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บางทั้ง 4 แบบและ วินโดว์ (จ) ขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 .....	41
23.	แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI.....	43
24.	แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 และ (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI.....	44
25.	แสดง (ก) แม่แบบขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 ที่มีค่าน้ำหนักที่แตกต่างกันในแต่ละ ตำแหน่งตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG และ (ข) ตัวอย่างการคำนวณ เลขคี่นี้.....	45
26.	แสดงแม่แบบที่ใช้ในการดำเนินการกำจัดสัญญาณรบกวนบริเวณขอบลายเส้น.....	49
27.	แสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพ.....	50
28.	แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG.....	51
29.	แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 และ (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG.....	52
30.	แสดงโครงสร้างแม่แบบที่ใช้ในการลบแต่ง.....	53
31.	แสดงโครงสร้างแม่แบบที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บาง โดย D จะใช้ในการ กำจัดจุดขอบภาพตามทิศทั้ง 4 และ E ใช้ในการกำจัดจุดภาพบริเวณหัวต่อ ของสเกลเลตัน .....	53
32.	แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3.....	54
33.	แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 และ (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. HIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3.....	56
34.	แสดงแม่แบบทั้ง 30 แบบที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บาง .....	57

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

หน้า

35.	แสดงสเกลเลตตันที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางกับเส้นกึ่งที่มีความกว้าง 2 จุดภาพ.....	58
36.	แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang And Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าค่างที่แตกต่างกัน.....	60
37.	แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 และ (ข) ภาพ ที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้ แม่แบบขนาดหน้าค่างที่แตกต่างกัน.....	61
38.	แสดงบางส่วนของภาพลายเส้นที่ได้จากวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ที่ยังคงมีความหนาอยู่.....	64
39.	แสดงการเกิดเส้นกึ่งปลอมที่ไม่ควรกำจัด ซึ่งเกิดจากการขาดหายของหมึกพิมพ์...66	66
40.	แสดงแม่แบบที่ใช้ในการดำเนินการกำจัดสัญญาณรบกวนภายในลายเส้น.....	66
41.	แสดงแม่แบบที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนภายในลายเส้น.....	67
42.	แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1, (ข) ภาพที่ ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนที่อยู่ภายในเส้น.....	68
43.	แสดงตัวอย่างลายเส้นบางส่วนที่ได้คัดลอกมาจากการทำลายเส้นขอบให้บาง ตามวิธีของ SUSAN.....	70
44.	แสดงแม่แบบในการทำลายเส้นหยักให้เรียบเป็นเส้นตรง.....	70
45.	แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการเติมจุดภาพที่ตรงกับแม่แบบในการทำลายเส้นหยัก ให้เรียบ เป็นเส้นตรง.....	71
46.	แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมีขนาดภาพ กว้าง 256 จุดภาพ ยาว 256 จุดภาพ, (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้ บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ที่มีเส้นสะพาน เกิดขึ้น.....	71
47.	แสดงลักษณะเส้นสะพาน (ก) ก่อนการแก้ไข, (ข) หลังการแก้ไข.....	72
48.	แสดง (ก) วินโดว์ขนาด 3 x 3 และ (ข) ทิศทางในการสแกนจุดภาพ.....	72
49.	แสดงแม่แบบที่ใช้บอกโทโปโลยีต่างๆ ของจุดภาพ.....	73
50.	แสดงตัวอย่างของจุดภาพที่ไม่สามารถจำแนกได้โดยค่า $Nc^4$ และ $Nc^5$ .....	74

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

หน้า

51.	แสดงแม่แบบขนาดเมตริกซ์ $3 \times 3$ ที่แสดงถึงจุดเชื่อมต่อ รวมทั้งสิ้น 12 กรณี.....	75
52.	แสดงแม่แบบขนาดเมตริกซ์ $3 \times 3$ ที่แสดงถึงจุดแยก ในแต่ละรูปแบบ เมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ $90^\circ$ จะได้เพิ่มอย่างละ 4 กรณี รวมทั้งสิ้น 16 กรณี.....	77
53.	แสดงตำแหน่งของจุดแยกที่อยู่บนเส้นสะพาน (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข.....	78
54.	แสดงขั้นตอนในการติดตามลายเส้นของการตัดเส้นสะพาน.....	78
55.	แสดงแม่แบบจุดแยก(ที่ได้จากการสังเกตภาพลายเส้น แล้วจัดเก็บทุกรูปแบบไว้) ใช้กำหนดตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามลายเส้น.....	79
56.	แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักขวา ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมีขนาดภาพกว้าง 256 จุดภาพ ยาว 256 จุดภาพ, (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ที่มีเส้นกึ่งเกิดขึ้น.....	81
57.	แสดงลักษณะเส้นกึ่ง (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข.....	81
58.	แสดงแม่แบบขนาดเมตริกซ์ $3 \times 3$ ที่แสดงถึงจุดปลาย รวมทั้งสิ้น 8 กรณี.....	82
59.	แสดงขั้นตอนในการติดตามลายเส้นของการตัดเส้นกึ่ง .....	83
60.	แสดงลักษณะเส้นสั้น (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข.....	84
61.	แสดงขั้นตอนในการติดตามลายเส้นของการตัดเส้นสั้น.....	85
62.	แสดงลักษณะจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพ (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข.....	85
63.	แสดงแม่แบบขนาดเมตริกซ์ $3 \times 3$ ที่แสดงถึงจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ.....	86
64.	แสดงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง.....	89
65.	แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักขวา ตัวอย่างที่ 1, (ข) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 1, (ค) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4, (ง) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางแบบขนานวิธีใหม่ ซึ่งใช้วิธีตัดเส้นกึ่งและตัดเส้น สะพาน .....	98
66.	แสดงแม่แบบที่ใช้ในการตรวจสอบความกว้างของสเกลลดต้น.....	100

## สารบัญภาพ(ต่อ)

		หน้า
67.	แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โค้งกระ โจม ตัวอย่างที่ 3 มาผ่าน การทำ เทรช โฮลด์ ภาพทั้ง 2 วิธี .....	108
68.	แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ ก้นหอย กระจ่างกลาง ปิดขวา มาผ่าน การทำ เทรช โฮลด์ ภาพทั้ง 2 วิธี .....	109
69.	แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ มัดหวาย ปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 มาผ่าน การทำ เทรช โฮลด์ ภาพทั้ง 2 วิธี .....	110
70.	แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ มัดหวาย ปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 มาผ่าน การทำ เทรช โฮลด์ ภาพทั้ง 2 วิธี .....	111
71.	แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ มัดหวาย ปิดซ้าย มาผ่านการทำ เทรช โฮลด์ ภาพทั้ง 2 วิธี .....	112
72.	แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โค้งกระ โจม ตัวอย่างที่ 3 มาผ่าน การทำ เทรช โฮลด์ ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าแอนโทรปีที่ใช้ขนาด เมตริกซ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน .....	113
73.	แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ ก้นหอย กระจ่างกลาง ปิดขวา มาผ่าน การทำ เทรช โฮลด์ ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าแอนโทรปีที่ใช้ขนาด เมตริกซ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน .....	114
74.	แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ มัดหวาย ปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 มาผ่าน การทำ เทรช โฮลด์ ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าแอนโทรปีที่ใช้ขนาด เมตริกซ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน .....	115
75.	แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ มัดหวาย ปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 มาผ่าน การทำ เทรช โฮลด์ ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าแอนโทรปีที่ใช้ขนาด เมตริกซ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน .....	116
76.	แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ มัดหวาย ปิดซ้าย มาผ่านการทำ เทรช โฮลด์ ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าแอนโทรปีที่ใช้ขนาดเมตริกซ์ที่มี ขนาดแตกต่างกัน .....	117
77.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โค้งกระ โจม ตัวอย่างที่ 3 ที่ไม่มีสัญญาณ รบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นทั้ง 6 วิธี .....	119

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

หน้า

78.	แสดงตัวอย่างของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โค้งกระ โจม ตัวอย่างที่ 3 ที่มีการ เติมรบกวนที่บริเวณขอบภาพที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ กัน .....	123
79.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โค้งกระ โจม ตัวอย่างที่ 3 ที่มีสัญญาณรบกวน บริเวณขอบภาพมาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี .....	124
80.	แสดงลักษณะของเส้นสะพานที่ควรถูกกำจัด .....	127
81.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โค้งกระ โจม ตัวอย่างที่ 3 มาผ่านการทำ ลายเส้นให้บางวิธีที่ 6 .....	128
82.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา ที่ไม่มีสัญญาณ รบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี .....	129
83.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา ที่มีสัญญาณรบกวน บริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี .....	131
84.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา มาผ่านการทำ ลายเส้นให้บางวิธีที่ 6 .....	135
85.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่ไม่มีสัญญาณ รบกวน บริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี .....	136
86.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่มีสัญญาณ รบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางวิธีทั้ง 6 วิธี .....	138
87.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 มาผ่านการทำ ลายเส้นให้บางวิธีที่ 6 .....	141
88.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 ที่ไม่มีสัญญาณ รบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี .....	142
89.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 ที่มีสัญญาณ รบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี .....	144
90.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 มาผ่านการทำ ลายเส้นให้บางวิธีที่ 6 .....	148
91.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณ ขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี .....	149

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

		หน้า
92.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี.....	151
93.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย มาผ่านการทำลายเส้นให้บางวิธีที่ 6.....	154
94.	แสดงบริเวณ <input type="checkbox"/> ที่เกิดความแตกต่างของการทำเทรซโฮลด์ภาพแต่ละวิธี เมื่อนำ ไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3 .....	157
95.	แสดงบริเวณ <input type="checkbox"/> ที่เกิดความแตกต่างของการทำเทรซโฮลด์ภาพแต่ละวิธี เมื่อนำ ไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา.....	157
96.	แสดงบริเวณ <input type="checkbox"/> ที่เกิดความแตกต่างของการทำเทรซโฮลด์ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี ซึ่งใช้เมตริกซ์ต่างๆ กันกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา .....	158
97.	แสดงบางส่วนของลายเส้น ที่ยังคงมีความหนาเหลืออยู่.....	159
98.	แสดงค่ามาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ (ซึ่งคิดจากคุณภาพของวัตถุในภาพ จุดภาพ สเกลเลตัน และจำนวนรอบของการกระทำซ้ำ) ที่ได้จากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 3 วิธี .....	167
99.	แสดงค่ามาตรฐานการวัดของความรู้สึกที่ไวต่อสัญญาณรบกวนที่ขอบภาพที่ได้จากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 3 วิธี .....	168
100.	แสดงค่ามาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้นที่ได้จากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 3 วิธี.....	168
101.	แสดงค่าช่วงเวลาในการประมวลผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 3 วิธี .....	169
102.	แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3 ที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามขั้นตอนที่ 1-4.....	170
103.	แสดงลักษณะของลายเส้นแต่ละแบบที่ควรจะมีการพัฒนาให้มีการแก้ไขเป็นอัตโนมัติ.....	174
104.	แสดงภาพลายเส้นที่ได้จากการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ .....	193

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

หน้า

105.	แสดงการนำภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่ได้ จากแปลงภาพพระคัมภีร์ไปเป็นภาพขาวดำ.....	194
106.	แสดงค่าโทโปโลยีที่ได้จากการพิจารณาจากภาพขาวดำเทียบกับภาพลายเส้น.....	196
107.	แสดงค่าเชื่อมต่อของลายเส้นที่ได้จากการพิจารณาจากภาพขาวดำเทียบกับ กับภาพลายเส้น.....	196
108.	แสดงภาพลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บาง .....	197
109.	แสดงการนิยามและตัวอย่างของเส้นแกนกลาง .....	198
110.	แสดงภาพสเกลเลตันของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1(เพียง บางส่วน) .....	198
111.	แสดงสเกลเลตันที่ได้จากภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณ ขอบภาพ.....	200
112.	แสดงสเกลเลตันที่ได้จากภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณ ขอบภาพ.....	200
113.	แสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่มีการติดตั้งโปรแกรม kmidl เสร็จแล้ว.....	205
114.	แสดงหน้าต่างของ โปรแกรมประมวลผล(KMITL AFIS SYSTEM).....	206
115.	แสดงการเปิดภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งเป็น เมนูย่อยที่อยู่ในเมนูไฟล์(File) .....	207
116.	แสดงเมนูย่อยที่อยู่ในเมนูการปรับเปลี่ยนภาพ(Modified Image) .....	208
117.	แสดงการทำเทรซโซลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่า เอนโทรปี ซึ่งเป็นเมนูย่อยที่อยู่ในเมนูการปรับแต่งภาพให้สมบูรณ์ (Preprocessing) .....	209
118.	แสดงการเพิ่มสัญญาณรบกวนในภาพ ซึ่งเป็นเมนูย่อยที่อยู่ในเมนูการจัดทำ เพิ่มเติม (Implement) .....	210
119.	แสดงการทำลายเส้นให้บางตามวิธีการของเอกรัตน์ จุลวรรณ์ ซึ่งเป็นเมนูย่อย ที่อยู่ในเมนูการทำลายเส้นให้บาง(Thinning).....	211
120.	แสดงการนำภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการลบแต่งภาพ(Postprocessing) .....	212

## สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

121.	แสดงเมนูย่อยของการปรับแต่งภาพให้สมบูรณ์ในส่วน of เมนูแสดง ตัวอย่าง(demo).....	212
122.	แสดงเมนูย่อยของการทำลายเส้นให้บางในส่วน of เมนูแสดง ตัวอย่าง(demo).....	213

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความจำเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน เมื่อเกิดคดีทางอาชญากรรมต่างๆ หลักฐานประกอบคดีที่พบในสถานที่เกิดเหตุ โดยส่วนมากคือ กลายนิ้วมือ ซึ่งสามารถที่จะใช้เป็นพยานหลักฐานได้อย่างดีในการสืบหาตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษ เนื่องมาจากลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลจะมีลักษณะสำคัญพิเศษของลายเส้นเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวและไม่เปลี่ยนแปลงตลอดชีวิต ซึ่งในปัจจุบันนั้น เทคโนโลยีการตรวจสอบลายนิ้วมือในปัจจุบันนั้น ยังใช้ของต่างประเทศอยู่(ที่ใช้อยู่ในกองทัพสูงน้หลักฐานของกรมตำรวจนั้นใช้ของบริษัท NEC และกองทะเบียนประวัติใช้ของบริษัท COGENT) ดังนั้นจึงทำให้เสียค่าใช้จ่ายในแต่ละปีเป็นจำนวนมากในการซื้อ-หามาใช้หรือการบำรุงรักษา ไม่ว่าจะเป็นค่าลิขสิทธิ์, ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ต่างๆ ตลอดจนการจัดหางบประมาณค่าใช้จ่ายในการว่าจ้างผู้ชำนาญการจากต่างประเทศมาแก้ไขฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เหล่านั้น เมื่อเกิดปัญหาการทำงานของระบบตรวจสอบลายนิ้วมือเกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการขจัดปัญหาเหล่านี้ให้ลดน้อยลงไป จึงมีผู้คิดพัฒนาสร้างระบบตรวจสอบลายนิ้วมือขึ้นมาเพื่อทดสอบใช้งานขึ้นภายในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก อย่างเช่น ระบบตรวจเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติโดยการใช้ฮิสโตแกรมทิศทางและโครงข่ายนิรอลเพื่อประโยชน์การนำมาใช้ควบคุมอุปกรณ์<sup>[21]</sup> โดยคิดพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์ ในส่วนฮาร์ดแวร์ จะทำการจัดหาเครื่องมือที่มีขายอยู่ในท้องตลาดมาทำประกอบเพื่อใช้งาน โดยขั้นตอนในการพัฒนาทางซอฟต์แวร์จะแบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. การรับภาพเข้ามา(input file)
2. การทำพรีโพรเซส(preprocessing)
3. การรู้จำลายนิ้วมือ(recognition)

จากการศึกษาผลงานวิจัยทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ จะสังเกตได้ว่าในแต่ละขั้นตอนในการพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์ จะพบปัญหาต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การรับภาพเข้ามา จะพบปัญหาคือ

■ การแปลงภาพจากระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ จะสูญเสียสาระของภาพไป

ในการรับภาพเข้ามานั้น จะทำการสแกนภาพเป็นระดับเทาที่มีค่าระดับสี 256 ระดับ คือ ตั้งแต่ระดับ 0 ไปถึง 255 ในการนำภาพไปวิเคราะห์ จะต้องมีการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพดิจิทัลที่มี 2 ระดับคือ ขาวกับดำ กล่าวคือ ให้ 0 แทนสีขาว ซึ่งแสดงสีของพื้นฉากในภาพ และให้ 1 แทนลายเส้นนิ้วมือ(ridge) หรือแทนสีดำ ซึ่งแสดงสีของวัตถุในภาพ จากการศึกษาและค้นคว้าผลงานวิจัยจากเอกสารต่างประเทศที่จะพหหาได้ในประเทศไทยนั้น มีหลายขั้นตอนวิธีด้วยกัน แต่ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอ การแปลงภาพขาวดำโดยใช้วิธีหาค่าอนโทรปีของ Kapur et al<sup>[6],[7],[8],[22]</sup>

## 2. การทำพรีโพรเซส

■ พรีโพรเซส เป็นการปรับแต่งภาพให้สมบูรณ์ที่สุด ก่อนที่จะนำภาพเหล่านั้นไปประมวลผลต่อไป โดยจะมีวิธีการต่างๆ เช่น การทำภาพให้เรียบ(smoothing) ,การทำลายเส้นให้บาง(thinning) ,การตัดกิ่ง(cutting branch)

หลังจากผ่านขั้นตอนในการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำแล้ว อาจจะมีสัญญาณรบกวนในภาพ(noise) ของภาพเกิดขึ้น ซึ่งเราจะต้องนำภาพที่มีสัญญาณรบกวนในภาพไปผ่านขั้นตอนการทำภาพให้เรียบ เพื่อทำการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพนั้นออกไป หลังจากนั้นจึงนำภาพที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการทำลายเส้นให้บาง(thinning)

ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ จะ ได้จากการนำนิ้วมือ ไปกดลงบนหมึกพิมพ์ก่อน แล้วจึงนำไปกดบนกระดาษสีขาว โดยในขณะที่ทำการกดนิ้วมือนั้น เราจะกดจากด้านข้างทางด้านซ้ายของนิ้ว กลิ้งไปทางด้านข้างทางด้านขวาของนิ้ว ภาพที่ได้จากการกดนิ้วมือ จึงอาจเป็นภาพที่ไม่สมบูรณ์ (ในการทำการวิจัยนี้ จะใช้ภาพลายนิ้วมือในลักษณะนี้) ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากการบิดตัวหรือการโค้งตัวของผิวหนัง นั่นเอง ภาพที่ได้จะมีลักษณะเป็นลายเส้น(ภาพที่ได้จากการแปลงเป็นภาพขาวดำ) ซึ่งประกอบด้วย 2 เส้นคือ เส้นสีขาว แทนเส้นร่อง, เส้นสีดำ แทนเส้นนูน ซึ่งเราจะนำภาพขาวดำที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการทำลายเส้นให้บางต่อไป เพื่อเป็นการลดทอนขนาดข้อมูลลงและช่วยในการประหยัดหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะช่วยให้ประมวลผลได้เร็ว โดยจะทำให้เกิดความสะดวกในการวิเคราะห์คุณลักษณะจำเพาะ(characteristic) ของภาพลายนิ้วมือและช่วยให้อประหยัดเวลาในการประมวลผล

การทำลายเส้นให้บาง เป็นการลดขนาดความกว้างของลายเส้นที่หนา ให้เหลือความกว้างของลายเส้นเพียงจุดเดียวเท่านั้น โดยไม่ให้มีการสูญเสียค่าความต่อเนื่องของลายเส้นไป ภาพที่ได้หลังจากการทำลายเส้นให้บางนี้เรียกว่า สเกเลตัน(skeleton)

จากการศึกษาผลงานวิจัยจากเอกสารต่างประเทศ จะเห็นได้ว่า การทำเส้นให้บางได้มีการพัฒนามาร่วม 30 ปี โดยจะใช้แม่แบบเป็นตัวดำเนินการกับภาพดิจิทัล เป็นหลัก ซึ่งการทำลายเส้น

ให้บาง ได้มีการนำมาใช้งานกันมากทางด้านการประมวลผลรูปภาพ(image processing) ไม่ว่าจะเป็นบอร์ดลายพิมพ์วงจร(printed circuit board), การวิเคราะห์โครโมโซม(analysis of chromosome), การจำแนกประเภทลายพิมพ์นิ้วมือ(classification of fingerprint), การจดจำตัวอักษร(recognition of character) แต่ในงานวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาเกี่ยวกับข้อดีและข้อเสียของการทำลายเส้นให้บางในแต่ละขั้นตอนวิธี จำนวนทั้งสิ้น 5 แบบที่จะนำมาเสนอ ซึ่งจะเป็นขั้นตอนวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเมื่อ 10 ปีที่ผ่านมา และในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการที่จะนำเอาขั้นตอนวิธีที่ดีที่สุดมาใช้กับภาพลายพิมพ์นิ้วมือ พร้อมทั้งนำเสนอวิธีการกำจัดเส้นกึ่งและการกำจัดเส้นสะพานที่เกิดขึ้นภายหลังการทำลายเส้นให้บาง เพื่อให้ได้ภาพที่ดีที่สุดในการนำไปรู้จำลายนิ้วมือต่อไป

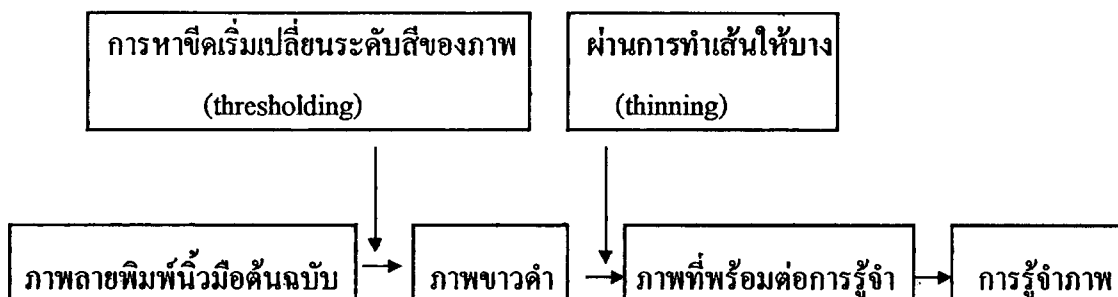
ในการทำลายเส้นให้บาง สำหรับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ(ซึ่งจะเน้นในงานวิจัยนี้) จะพบปัญหาต่างๆ ดังนี้

1. เมื่อภาพพิมพ์ลายนิ้วมือมีลายเส้นที่มีขนาดความกว้างเป็นจำนวนคู่ ในการทำลายเส้นให้บางจะกำจัดลายเส้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือเหล่านั้น จะถูกกำจัดออกทั้งหมด ทำให้เสียค่าความต่อเนื่องของลายเส้นไป
2. แม่แบบที่ใช้(template) ไม่ครอบคลุมทุกกรณี ทำให้ไม่สามารถทำลายเส้นในภาพให้เหลือความกว้างของลายเส้นเพียง 1 จุดภาพ
3. หลังจากที้นำภาพพิมพ์ลายนิ้วมือมาผ่านขั้นตอนการทำลายเส้นให้บางแล้ว จะพบว่า มีเส้นกึ่ง, เส้นสั้น, เส้นสะพานและเส้นลูปเกิดขึ้น ซึ่งเราจะนิยามให้เส้นกึ่ง, เส้นสั้น, เส้นสะพาน และเส้นลูป เหล่านี้เป็นสัญญาณรบกวนในภาพ ที่เราต้องกำจัดออกไป
4. ไม่สามารถบอกได้ว่า ลายเส้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้หลังจากผ่านการทำลายเส้นให้บางเป็นเส้นแกนกลางของลายเส้นนูนของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือหรือไม่ ซึ่งในสภาพเป็นจริง ลายเส้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้หลังจากผ่านขั้นตอนการทำลายเส้นให้บาง ควรจะเป็นเส้นแกนกลางของเส้นนูนของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

#### ทำไมปัญหานี้จึงน่าสนใจ

สาเหตุที่ปัญหาของการทำลายเส้นให้บางเป็นที่น่าสนใจ เนื่องจากว่า การทำลายเส้นให้บางนี้จะเป็นการลดทอนขนาดข้อมูลของภาพลายพิมพ์นิ้วมุดันฉบับให้น้อยลง เพื่อให้เกิดความง่ายต่อการประมวลผลและการรู้จำต่อไป ดังผังการทำงานข้างล่างนี้

ภาพที่ 1



แสดงขั้นตอนการทำงานอย่างคร่าวๆ ในการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

จากผังงานการทำงานข้างบนนี้ จะเห็นได้ว่า ถ้าการทำลายเส้นให้บางนั้นมีประสิทธิภาพมาก เราจะได้ภาพที่พร้อมต่อการรู้จำภาพและค่าความถูกต้องในการรู้จำภาพก็จะมีมาก ดังนั้น ถ้าเราต้องการให้การรู้จำภาพนั้นมีค่าความถูกต้องมาก เราจะต้องใช้ขั้นตอนวิธีในการทำลายเส้นให้บางที่มีประสิทธิภาพและมีค่าความถูกต้องที่มาก ดังนั้นเราจึงทำการวิจัยเรื่อง การประเมินผลขั้นตอนวิธีของการทำลายเส้นภาพพิมพ์ลายนิ้วมือให้บาง เพื่อนำไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือขึ้นมาเพื่อทำการศึกษาและค้นหาขั้นตอนวิธีในการทำเส้นให้บางที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ภาพที่พร้อมต่อการรู้จำที่ดีที่สุด

### 3. การรู้จำลายนิ้วมือ

จากการพิจารณาภาพลายนิ้วมือในแต่ละแบบ จะพบว่าแต่ละบุคคลจะมีลายนิ้วมือที่เป็นลักษณะเฉพาะแตกต่างกันไป ซึ่งจะทำให้เราสามารถระบุลายนิ้วมือว่าเป็นของบุคคลใด โดยใช้วิธีการจับคู่ลายนิ้วมือที่ได้จากที่เกิดเหตุเปรียบเทียบกับลายนิ้วมือที่ได้เก็บไว้เป็นฐานข้อมูล ซึ่งจากการพิจารณาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ สามารถจำแนกเป็น 12 แบบ คือ 1. โค้งราบ(Plain Arch-PA) 2. โค้งกระโจม(Tented Arch-TA), 3. มัดหวายปัดขวา(Right Slant Loop-RSL), 4. มัดหวายปัดซ้าย(Left Slant Loop-LSL), 5. มัดหวายแฝด แบบ 1 (Double Loop Type 1=D1), 6. มัดหวายแฝด แบบ 2(Double Loop Type 2=D2), 7. ก้นหอยธรรมดา(Plain Whorl=W), 8. ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา(Right Central Pocket-RCP), 9. ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย(Left Central Pocket-LCP), 10. ก้นหอยกระเป๋าช้างปัดซ้าย(Left Lateral Pocket-LLP), 11. ก้นหอยกระเป๋าช้างปัดขวา(Right Lateral Pocket-RLP), 12. จับซ้อน(Accidental Whorl-AW) ซึ่งในแต่ละแบบจะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันไป สามารถที่จะนำมาใช้ในการรู้จำรูปแบบลายนิ้วมือ โดยอาศัยการหาบริเวณสันคอน(core) และบริเวณจุดแยก(bifurcation) ตามเอกสารต่างประเทศของ B. S. SHERLOCK and D. M.

MONRO<sup>[9]</sup>, KALLE KARU and ANIL K. JAIN<sup>[10]</sup> และ V. S. SRINIVASAN and N. N. MURTHY<sup>[11]</sup> แต่ในงานวิจัยนี้จะไม่กล่าวรายละเอียดในส่วนการรู้จำลายนิ้วมือนี้ แต่จะเน้นทำการการวิจัยเฉพาะการทำลายเส้นให้บางในหัวข้อที่ 2 เท่านั้น

## 1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

ผลงานวิจัยเกี่ยวกับการประมวลผลลายนิ้วมือ ที่มีการพัฒนาและทำการวิจัยในประเทศไทย ได้มีนักวิจัย ผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่านได้ทำการศึกษา ค้นคว้า และทำวิจัยไว้ ซึ่งจะพอยกตัวอย่างพอสังเขปได้ดังนี้

1.2.1 ผลงานวิจัยของ รศ. ดร. ครรชิต ไมตรี, รศ. ดร. มนัส สังวรศิลป์ และนายสุรพันธ์ เอื้อไพฑูย์ เรื่อง “ระบบเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ”<sup>[23]</sup> ซึ่งได้นำเสนอระบบตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติที่ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น ได้แก่ การทำภาพให้เรียบ(smoothing), การตรวจจับสัญญาณรบกวนในภาพ(noise detection), การทำภาพขาวดำ(binanzation) และการตัดกิ่ง(branch cutting)

ส่วนที่ 2 การดึงลักษณะเฉพาะของภาพ(feature extration) ได้แก่ การทำลายเส้นให้บางแบบรวดเร็ว(fast thinning), กราฟแสดงชนิดของลายนิ้วมือ และฮิสโตแกรม(histogram)

ส่วนที่ 3 การรู้จำชนิดของลายนิ้วมือ(type recognition) ได้แก่ การใช้กราฟมาตรฐานต่างๆ ในการแยกแยะรูปแบบของลายนิ้วมือ

ส่วนที่ 4 การจับคู่ คือ การจับคู่จุดสำคัญต่างๆ โดยวิธีเชิงโต้ตอบ(interactive)

1.2.2 ผลงานวิจัยของ รศ. ดร. ครรชิต ไมตรี และเอกภรณ์ จุลวรรณ์ เรื่อง “การหาค่าเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ”<sup>[22]</sup> ซึ่งได้แสดงการหาค่าระดับสีที่จะเปลี่ยนภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ โดยใช้การเลือกค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ปริมาณค่าเอนโทรปี(entropy) หรือค่าของสาระ (information) เฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุด

1.2.3 ผลงานวิจัยของ สมคิด อุนการุณวงษ์, มัฆวาน จันทร์กอสอ และเกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ เรื่อง “เทคนิคการโพสโพรเซสซึ่งสำหรับระบบการจดจำลายนิ้วมือ”<sup>[24]</sup> ซึ่งได้เสนอเทคนิคต่างๆ ในการทำโพสโพรเซสซึ่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง เพื่อให้ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้ผ่านการทำโพสโพรเซสซึ่ง มีความเหมาะสมต่อการนำไปรู้จำลายนิ้วมือต่อไป

1.2.4 ผลงานวิจัยของ รศ. ดร. ครรชิต ไมตรี และเกรียงไกร โขวเจริญสุข เรื่อง “ระบบตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติโดยการใช้ฮิสโตแกรมทิศทางและโครงข่ายนิรโรค เพื่อประโยชน์การนำมาใช้ควบคุมอุปกรณ์”<sup>[21]</sup> ซึ่งได้แสดงการแก้ไขภาพลายนิ้วมือพร้อมทั้งปรับปรุงให้ดีขึ้นตามสภาพความเป็นจริง, ปรับปรุงเทคนิคการตรวจเทียบได้ถูกต้อง ซึ่งเป็นส่วนของการใช้งานและทำงานอย่างอัตโนมัติ จากการทดสอบกคลายนิ้วมือ แล้วเก็บภาพเป็นข้อมูลระดับเทาเข้ามาต่อมาได้แปลงข้อมูลภาพเป็นข้อมูลทิศทางของฮิสโตแกรมทิศทาง ไปคู่กับค่าที่ได้จดจำไว้(ค่านำหนัก) ด้วยวิธีการนิรโรคเน็ดและตรวจเทียบให้ผลออกมา ถ้าเอาร์ทพุตเป็น 1 จะมีสัญญาณออกไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก แต่ถ้าเอาร์ทพุตเป็น 0 จะ ไม่มีสัญญาณออกไปควบคุมอุปกรณ์ ซึ่งโปรแกรมใช้งานจะตัดสินใจโดยอัตโนมัติ สำหรับจำนวนผู้มีสิทธิใช้ระบบได้อาจใช้เพียง 1-10 คน โดยใช้ลายนิ้วหัวแม่มือจริง(สด) ซึ่งผลของการทำงานครั้งนี้สามารถใช้เวลาสั้นและรวดเร็ว

### 1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ในการวิจัยนี้ จะมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาและปรับปรุงขั้นตอนวิธีการเลือกขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพ(threshold value) เพื่อทำการแปลงภาพระดับเทาให้เป็นภาพขาวดำ เพื่อนำไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ
2. ทำการศึกษารายละเอียดของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง จำนวน 5 แบบ รวมทั้งวิเคราะห์ข้อดี, ข้อเสีย เมื่อนำไปใช้กับงานประมวลผลภาพ(image processing) รวมทั้งวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ที่จะนำเอาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางเหล่านี้ไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ
3. พัฒนาและปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางวิธีใหม่ที่มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ
4. ทำการพัฒนาและปรับปรุงขั้นตอนวิธีการตัดเส้นกิ่ง, เส้นสั้น, เส้นสะพาน และการเชื่อมต่อเส้นขาดที่อาจจะเกิดขึ้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ภายหลังจากที่นำภาพพิมพ์ลายนิ้วมือไปผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางแล้ว

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สำหรับประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัยนี้ คือ

1. ได้ขั้นตอนวิธีการเลือกขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพ(threshold value) เพื่อแปลงภาพระดับเทาให้เป็นภาพขาวดำ ได้เหมาะสมกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

2. ช่วยให้คัดลอกใจเลือกใช้ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่มีความเหมาะสม รวมทั้งได้รู้ข้อเสียที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ทั้ง 5 แบบนี้ เมื่อนำไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

3. ได้ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางวิธีใหม่ ซึ่งมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยเฉพาะ

4. ภายหลังจากการนำภาพพิมพ์ลายนิ้วมือไปผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง จะนำภาพที่ได้ไปทำการตัดเส้นกิ่ง, เส้นสั้น, เส้นสะพาน และทำการเชื่อมต่อเส้นขาดที่อาจจะเกิดขึ้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้หลังจากผ่านขบวนการเหล่านี้แล้ว จะได้ภาพที่สวยงามและมีค่าความถูกต้องตามทฤษฎีการตรวจสอบลายนิ้วมือ ซึ่งจะเป็นภาพที่มีความเหมาะสมต่อการนำภาพที่ได้นี้ไปสู่ขบวนการประมวลผลภาพและขบวนการรู้จำภาพต่อไป

## 1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย 6 ส่วน คือ

บทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่จะต้องทำงานวิจัย ผลงานวิจัยเกี่ยวกับลายนิ้วมือที่มีการพัฒนาในประเทศไทยที่สามารถจัดหาได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 ความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จะกล่าวถึง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือและทฤษฎีต่างๆ ที่ได้นำมาใช้ในการทำวิจัยนี้

บทที่ 3 การทำงานของแต่ละขั้นตอนวิธี จะกล่าวถึง รายละเอียดของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่จะทำการศึกษาทั้ง 5 วิธี

บทที่ 4 การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง จะมีขั้นตอนในการทำงาน ซึ่งประกอบด้วย 7 ขั้นตอนด้วยกัน คือ การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพ(noise) ที่อยู่ภายในลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ, การทำลายเส้นให้บาง ซึ่งได้ดัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG<sup>[3]</sup>, การทำลายเส้นให้บาง ซึ่งได้ดัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI<sup>[2]</sup>, การทำลายเส้นหลักในภาพให้เรียบ, การกำจัดเส้นสะพาน เส้นกิ่ง และเส้นสั้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีติดตามลายเส้น<sup>[19],[28]</sup>, การกำจัดจุด ที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ, การกำจัดเส้นขาด ซึ่งใช้วิธีการเชื่อมต่อเส้นขาด โดยใช้ขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮม<sup>[20]</sup>

บทที่ 5 ผลการทดลอง ในส่วนแรกจะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการทำทรานซ์โพลต์ภาพทั้ง 2 แบบและผลการทดลองที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางจากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้

บางทั้ง 5 แบบ รวมทั้งการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่ได้คิดพัฒนาขึ้นมา มาทำการทดสอบกับภาพแต่ละชนิด ในส่วนที่สอง จะกล่าวถึง การสรุปผลการทดลองที่ได้จากการทำทรซโสตค์ภาพและสรุปผลการทดลองที่ได้จากการใช้งานของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 5 แบบ รวมทั้งการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่คิดพัฒนาขึ้นมาและทำการประเมินเพื่อหาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือมากที่สุด

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ จะกล่าวสรุปงานวิจัย และข้อเสนอแนะของแนวทางการพัฒนาต่อไป

## บทที่ 2

### ความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ใช้ในการทำวิชันนี้ จะได้จากการนำนิ้วมือไปกดบนหมึกพิมพ์ก่อน แล้วจึงนำไปกดบนกระดาษสีขาว ในขณะที่กดนิ้วมือนั้น เราจะทำการกดจากด้านข้างทางด้านซ้ายของนิ้ว กลิ้งไปทางด้านข้างทางด้านขวาของนิ้ว จากนั้นจึงนำภาพพิมพ์ลายนิ้วมือไปผ่านเครื่องตรวจกวาดภาพ(Scanner) โดยจะทำการเก็บภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้ เป็นภาพระดับเทา จากนั้นจึงทำการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ การที่ไม่ทำการรับภาพขาวดำจากเครื่องตรวจกวาดโดยตรง เนื่องจากพบว่า จะมีรายละเอียดบางส่วน of ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือสูญเสียไป หรือได้บางส่วนที่ไม่ถูกต้องเพิ่มเข้ามา จากนั้นจึงนำภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ซึ่งเป็นภาพขาวดำไปผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งในงานวิชันนี้จะทำการศึกษา 5 แบบ แล้วคัดเลือกขั้นตอนวิธีที่ดี มาทำการศึกษารายละเอียดเพิ่มเติม แล้วดัดแปลงสร้างเป็นขั้นตอนวิธีอันใหม่ที่ดี พร้อมทั้งนำไปประยุกต์ใช้งานและศึกษาผลการทดลองที่ได้ ซึ่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้หลังจากผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง จะยังคงมีคุณลักษณะของลายนิ้วมือหลงเหลืออยู่ ตัวอย่างเช่น เส้นสะพาน เส้นรูป เส้นขาด เราจึงนำภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้หลังจากผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ไปผ่านขั้นตอนการตัดเส้นสะพาน เส้นรูป และทำการเชื่อมต่อเส้นขาด เพื่อให้ได้ภาพที่สมบูรณ์ มีความพร้อมต่อการรู้จำภาพพิมพ์ลายนิ้วมือต่อไป

โดยในการทำวิชันนี้ จะได้กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของลายนิ้วมือ, การทำลายเส้นให้บาง, การกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆ ในภาพ และยังสามารถเสนอเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่จะนำมาใช้ในการทำลายเส้นให้บาง โดยได้แบ่งแยกไว้เพื่อให้สะดวกในการอธิบายได้เป็น สเกลเลตัน, โทโปโลยี, มอร์โฟโลยี, การเปลี่ยนรูปแบบเดิม-ลบ, การกัดเซาะและการขยายตัว

#### 2.1 ความรู้เบื้องต้นของลายนิ้วมือ<sup>[25]</sup>

ลายนิ้วมือของบุคคล จะประกอบด้วยเส้นนูน(ridges) และเส้นร่องหรือรอยร่อง(furrows) ทั้งสองเส้นนี้ จะอยู่สลับกันไปตลอด มีขนาดความกว้างคงที่เสมอ ประมาณ 0.2-0.4 มิลลิเมตร และมีจุดลักษณะสำคัญพิเศษ ตามที่จะกล่าวต่อไปนี้

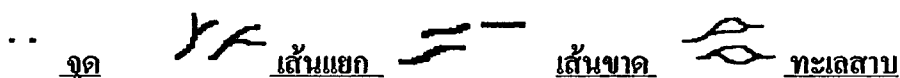
**เส้นนูน (Ridges)** คือ การเกิดของรอยนูนที่อยู่สูงขึ้นมาจากผิวหนังส่วนนอก

**เส้นร่อง (Furrows)** คือ รอยลึกที่อยู่ต่ำกว่าระดับของเส้นนูน

จุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Characteristics) เป็นตำหนิบนลายนิ้วมือ เช่น จุด เส้นแตก, เส้นขาด, เส้นทะเลสาบ

ซึ่งลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้จะประกอบกันขึ้นเป็นลายนิ้วมือ ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของแต่ละบุคคล โดยลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลจะไม่เหมือนกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะลายนิ้วมือไม่มีรูปแบบที่แน่นอนตายตัว ไม่มีกฎเกณฑ์ว่าลายนิ้วมือของคนหนึ่งคนใดจะเป็นเช่นใด ลายนิ้วมือไม่ขึ้นกับอะไรทั้งสิ้น ไม่ขึ้นกับกรรมพันธุ์ หญิงหรือชาย เชื้อชาติ นอกจากนั้นรูปร่างของลายนิ้วมือจะไม่เปลี่ยนแปลงไปจนตลอดชีวิต จึงมีการใช้ลายนิ้วมือมาเป็นเครื่องมือช่วยในการให้พนักงานสอบสวนสามารถเข้าถึงตัวผู้กระทำความผิดและสามารถใช้ยืนยันตัวบุคคลผู้กระทำความผิดได้

## ภาพที่ 2



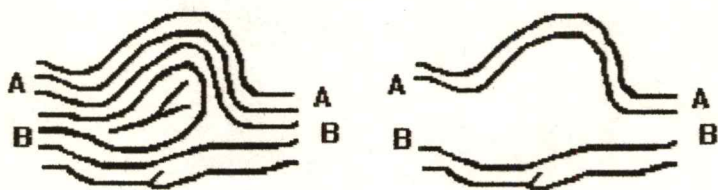
### แสดงลักษณะของจุดลักษณะสำคัญพิเศษแต่ละแบบ

วิธีการพิมพ์ลายนิ้วมือจะทำโดยการใช้หมึกสีดำทาบนนิ้วและกดนิ้วมือ ไปบนกระดาษขาว จะได้ลายเส้นสีดำสลับกับสีขาว โดยส่วนเส้นสีดำที่ปรากฏจะเป็นส่วนของเส้นนูน ส่วนสีขาวจะเป็นเส้นร่องเนื่องจากไม่ถูกกับน้ำหมึกและไม่ถูกกับกระดาษขาว ถ้าเป็นการถ่ายรูปหรือสแกนภาพเข้าไปต้องทำให้เป็นภาพ binary ก่อนจึงจะได้ลายเส้นสีดำกับสีขาวตามต้องการ

ในการศึกษาเรื่องงานแนกลายนิ้วมือ มีคำจำกัดความที่ผู้ศึกษาควรรู้จักอยู่ 4 แบบ คือ

**เส้นขอบ (Type Line)** หมายถึง เส้นคู่ขนานคู่ในสุด ซึ่งได้คั่นขนานกันมาพอสมควรแล้ว แยกตัวออกจากกัน เพื่อที่จะได้โอบล้อม หรือพยายามโอบล้อมบริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน โดยเส้นขอบไม่จำเป็นต้องเป็นเส้นยาวราบเรียบติดกันตลอดไป อาจจะเป็นเส้นขาดห้วงกลางคัน โดยจะถือว่าเส้นที่อยู่ด้านนอกของเส้นที่ขาดห้วงลงไปนั้นเป็นที่เดินหรือไหลต่อเนื่องกันไป เสมือนว่าเส้นขอบนั้นไม่ได้ขาด

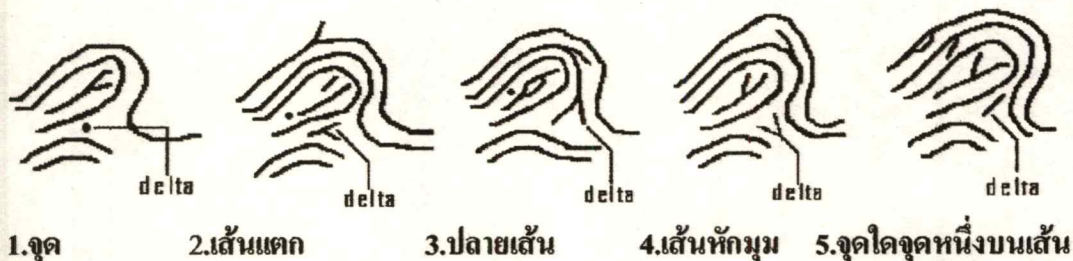
ภาพที่ 3



แสดงลักษณะของเส้นขอบ

สันคอง (Delta) หมายถึง ลายเส้นในลายนิ้วมือซึ่งอยู่ตรงหน้าและใกล้ที่สุดกับกึ่งกลางของปากทางแยกของเส้นขอบ

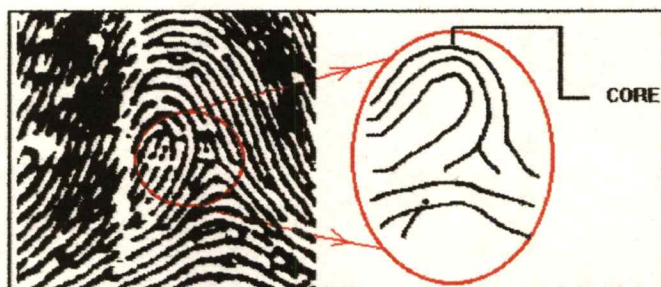
ภาพที่ 4



แสดงสันคองลักษณะต่าง ๆ

จุดใจกลาง(Core) หมายถึง จุดใดจุดหนึ่งบนปลายเส้นหรือบนบ่าหรือไหล่ของเส้นวกกลับ

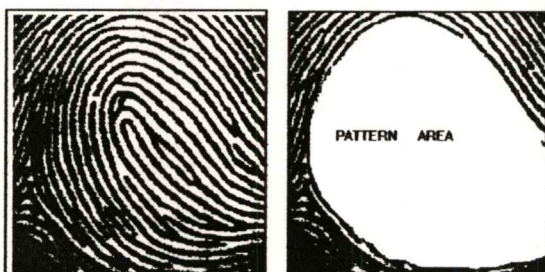
ภาพที่ 5



แสดงลักษณะของจุดใจกลาง

บริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน (Pattern Area) คือ พื้นที่บริเวณภายในของลายนิ้วมือที่ถูกเส้นขอบโอบล้อม

ภาพที่ 6



แสดงลักษณะของบริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน

ในการจำแนกลายนิ้วมือนั้น จะมีรูปแบบของลายนิ้วมือ ได้ถูกแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ 4 กลุ่ม และแบ่งย่อยได้ทั้งสิ้น 12 แบบ(ดูภาพที่ 7)

### 2.1.1 ที่มาของทฤษฎี Minutiae<sup>[25]</sup>

ในระยะแรกเริ่มของการนำลายพิมพ์นิ้วมือมาใช้ประโยชน์ ทำโดยการนำลายพิมพ์นิ้วมือที่ได้ไปทำการให้คำรหัสลายพิมพ์นิ้วมือระบบ Henry System ต่อมาได้มีการปรับปรุงให้ดีขึ้นตามระบบ F.B.I ซึ่งกระบวนการทั้งหมดก็ยังคงเป็นเพียงการจัดกลุ่มลายนิ้วมือของบุคคลจำนวนมากไว้ด้วยกัน แต่เมื่อเก็บสะสมไว้เป็นจำนวนหลายๆ ล้านคนก็เริ่มเกิดความยุ่งยากในการตรวจสอบค้นหา เพราะปริมาณงานที่มีเข้ามามากในวันหนึ่งๆ ทำให้ระบบการตรวจสอบด้วยแรงงานคนเริ่มเกิดความผิดพลาดมากขึ้น คุณภาพของงานไม่คงที่แน่นอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเอาลายนิ้วมือแฝงที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุเข้าตรวจสอบกับฐานข้อมูลซึ่งมีจำนวนนิ้วมือนับล้านนิ้วโดยระบบแรงงานคนจึงเป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้

กรมตำรวจในเมืองใหญ่ ต่างก็ทราบถึงปัญหานี้และพยายามมองหาวิธีการในการพิสูจน์ตัวบุคคลในระบบใหม่ ๆ จนกระทั่งเมื่อปี พ.ศ. 2503(ค.ศ. 1960) Pierre Thibault ตำรวจชาวฝรั่งเศสได้คิดค้นทฤษฎีมินูเทีย คือ เส้นแยก เส้นแตก เส้นขาดบนลายนิ้วมือโดยกำหนดจุดไหลเวียนของลายเส้นไว้ พร้อมทั้งความสัมพันธ์ของจุดใกล้เคียง ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวคนโดยไม่มีการซ้ำกับบุคคลอื่น ได้สร้างระบบฐานข้อมูลขึ้นทดลองการใช้ทฤษฎีขึ้น ต่อมาในปี พ.ศ.2510(ค.ศ.1967) หน่วยงานรัฐบาลสหรัฐได้แก่ U.S. National Bureau of Standards ร่วมกับ F.B.I ค่อย ๆ พัฒนาทฤษฎีของฝรั่งเศส(Pierre) มาจนเป็นที่รู้จักแพร่หลายใช้กันอยู่เรียกว่า The Minutiae Based AFIS.

ภาพที่ 7

กลุ่มที่ 1 เส้นโค้ง



โค้งราบ



โค้งกระโจม

กลุ่มที่ 2 รูปหรือมัดหวาย



มัดหวายปิดขวา



มัดหวายปิดซ้าย



มัดหวายแผด แบบ 1



มัดหวายแผด แบบ 2

กลุ่มที่ 3 ก้นหอย



ก้นหอยธรรมดา



ก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา



ก้นหอยกระเป๋ากลางปิดซ้าย

กลุ่มที่ 4 จับซ้อน



จับซ้อน



ก้นหอยกระเป๋าย่างปิดซ้าย



ก้นหอยกระเป๋าย่างปิดขวา

แสดงลักษณะของลายนิ้วมือทั้ง 4 กลุ่มใหญ่ ๆ ซึ่งแบ่งเป็น 12 แบบย่อย

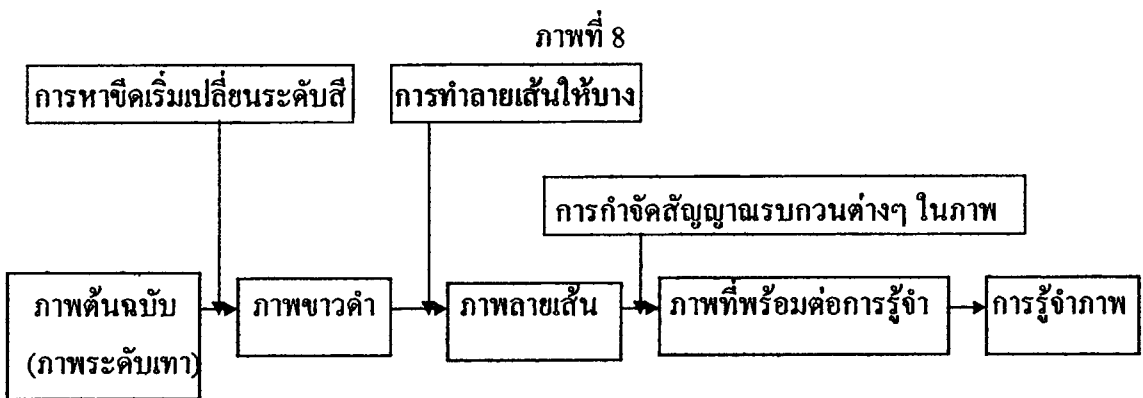
2.1.2 วิธีการแยกแยะลักษณะของลายนิ้วมือโดยอาศัยทฤษฎีมินูเทีย (Minutiae)<sup>[25]</sup>

เป็นวิธีการกำหนดจุดตำแหน่งซึ่งเป็นลักษณะโดดเด่นของแต่ละลายนิ้วมือ เนื่องจากเส้นลายนิ้วมือโดยส่วนใหญ่จะเป็นเส้นเดี่ยว เริ่มที่ด้านหนึ่งของนิ้วมือลากผ่านไปออกที่ปลายอีกด้านของนิ้วมือ แต่จะมีบางลายเส้นที่ไม่ได้เริ่มต้นหรือสิ้นสุดที่ข้างใดข้างหนึ่งของนิ้วมือ หรือเป็นเส้นสั้นๆ หรือไม่ได้เป็นเส้นเดี่ยวตลอดลายเส้น กล่าวคือ เป็นเส้นแยก เส้นแตก เส้นขาดหรือจุดใจกลางของลายเส้นในลายนิ้วมือแต่ละนิ้ว ซึ่งจุดที่กำหนดขึ้นนี้คล้ายจุดศูนย์กลางหัวและหาง แสดงการ

ไหลเวียนของลายเส้นนิ้วมือ เรียกว่า มินูเทีย และต้องตั้งอยู่บนแกน X (เส้นนอน) และแกน Y (เส้นตั้ง)

ตำแหน่งของจุดมินูเทียของแต่ละนิ้ว เมื่อลากเส้นตรงเข้าหากันจะแสดงถึงความสัมพันธ์ของจุดใกล้เคียงและสามารถวัดได้เป็นองศาของมุมต่าง ๆ รอบ ๆ จุดใจกลาง เสมือนหนึ่งสร้างแผนที่ลายเส้นบนนิ้วมือ ซึ่งลายนิ้วมือของแต่ละนิ้วและของแต่ละคนจะไม่มีซ้ำกันและสามารถกำหนดจุดได้ถึง 150 จุดบนหนึ่งนิ้วมือคน

ในการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ จะมีขั้นตอนในการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมืออย่างคร่าวๆ ดังภาพที่ 8



แสดงขั้นตอนในการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยใช้คอมพิวเตอร์

โดยรายละเอียดในแต่ละส่วนจะขอแยกกล่าวเป็นส่วนๆ ไป ดังนี้

## 2.2 ขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสี(thresholding)<sup>[6],[7],[13],[22]</sup>

รูปภาพขาวดำ(binary image) จะสะดวกในการวิเคราะห์มากกว่ารูปภาพระดับเทา(gray scale image) แต่รูปภาพที่ได้รับมาส่วนมากมักจะไม่ใช่รูปภาพขาวดำ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีจากภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ โดยทำการแบ่งส่วนของภาพเป็นบริเวณของพื้นฉาก(background) และบริเวณของวัตถุในภาพ(foreground)

### 2.2.1 การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีเทาของภาพ<sup>[6],[7],[22]</sup>

การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีเทาของภาพ คือ การเลือกค่าสีที่เหมาะสมค่าหนึ่งจากภาพระดับเทาที่อินพุตเข้ามา เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบกับค่าสีที่ได้จากการอ่านจากภาพระดับเทาที่อินพุตเข้ามาเพื่อทำการจำแนกสาระจากภาพออกเป็นวัตถุและพื้นฉากในภาพ เช่น

นิยามการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพ ดังนี้

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

โดยกำหนดให้

$f(x,y)$  คือ ค่าสีที่ได้จากการอ่านจากภาพเริ่มต้น

$T$  คือ ค่าสีที่เลือกจากภาพระดับเทาที่อินพุทเข้ามา เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบกับค่าสีที่ได้จากการอ่านภาพระดับเทาที่อินพุทเข้ามา

$g(x,y)$  คือ ค่าสีที่ผ่านจากการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพ

จากสมการที่ (1) จะได้ว่า 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

### 2.3 การทำลายเส้นให้บาง<sup>[3],[4]</sup>

การทำลายเส้นให้บาง เป็นวิธีการลดทอนข้อมูลขนาดความกว้างของลายเส้นให้เหลือเพียง 1 จุดภาพ โดยที่ยังคงรักษาค่าการเชื่อมต่อของลายเส้นไว้เหมือนเดิม โดยภาพที่ได้เรียกว่า สเกลเลตัน(skeleton) ซึ่งสเกลเลตันที่ได้เกิดจากการทำลายเส้นให้บาง จะถือว่าดีหรือเลวนั้น มีหลักการในการพิจารณาตามคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

1. ยังคงรักษาค่าโทโปโลยีตามรูปแบบของวัตถุในภาพ
2. ควรจะยังคงรักษาค่าเชื่อมต่อของลายเส้น
3. ควรจะไม่มีกัศเหาะมากเกินไป
4. ควรจะทำการลบจุดภาพได้อย่างสมมาตร
5. จะต้องเป็นเส้นแกนกลาง(medial axes) ของวัตถุในภาพ
6. จะต้องมีความหนาของลายเส้นเพียงจุดเดียว หรือบางที่สุดเท่าที่จะทำได้
7. ควรจะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ตามขอบภาพที่ไม่ราบเรียบ หรือ โผล่ยื่นออกมา
8. ถ้าเป็นไปได้ ควรมีจำนวนรอบของการกระทำซ้ำของการทำลายเส้นให้บาง เพียง 2-3 รอบ

หากจะเขียนการทำลายเส้นให้บางเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ จะได้

$$XOT = X / (X \otimes T) \quad \text{-----} \quad (2)$$

โดยที่ตัวดำเนินการ  $XOT$  เป็นการทำลายเส้นให้บาง และตัวดำเนินการ  $X \otimes T$  จะเป็นตำแหน่งของแม่แบบ  $T$  ที่เกิดขึ้นใน  $X$  ซึ่งจะมีการเปลี่ยนรูปแบบเดิม-ลบ และตัวดำเนินการ  $/$  จะทำการกำจัดจุดออกจาก  $X$  ตามตำแหน่งที่เกิด  $X \otimes T$  เพื่อให้ได้  $X$  ที่มีความบางตามลายเส้นสมมาตร เมื่อกระบวนการทำลายเส้นให้บางเป็นการทำลายเส้นให้บางของ  $X$  ที่เป็นแบบเรียงตามลำดับ (sequence- $T^n$ ) ซึ่งมีตัวดำเนินการต่อเนื่อง  $T^i$  โดยที่  $i$  เป็นค่าของ  $1, 2, 3, \dots, n$  แล้ว

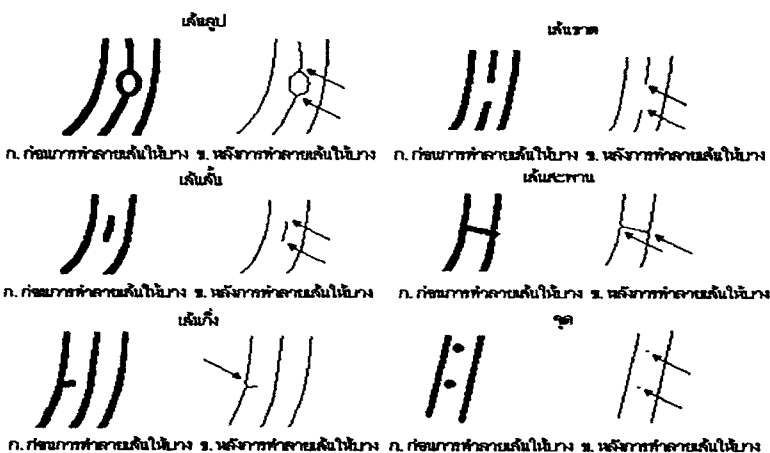
$$XOT = (((XOT^1)OT^2) \dots OT^n) \quad \text{-----} \quad (3)$$

### 2.4 การกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆ ในภาพ

ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้ภายหลังจากผ่านการทำลายเส้นให้บางแล้ว เมื่อสังเกตจากภาพพบว่า มีเส้นสะพาน, เส้นกิ่ง, จุด, เส้นลูป, เส้นขาด, เส้นสั้นเกิดขึ้น ซึ่งเราได้นิยามให้เป็นสัญญาณรบกวนในภาพหรือมีนุเทียปปลอมที่ต้องทำการกำจัดออกไป

มีนุเทียปปลอม<sup>[12],[24],[26]</sup> ที่เกิดขึ้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ เกิดขึ้นจากในขณะที่ทำการกด นิ้วมือของผู้กระทำความผิดลงบนหมึกพิมพ์ด้วยน้ำหนักมือของผู้กระทำความกดนิ้วมือที่ไม่สม่ำเสมอ เมื่อนำนิ้วมือของผู้กระทำความผิดไปกลิ้งบนกระดาษขาว จึงทำให้เกิดมีนุเทียปปลอม ซึ่งได้แสดงลักษณะของมีนุเทียปปลอม ไว้ดังภาพที่ 9

ภาพที่ 9



แสดงลักษณะมีนุเทียปปลอมที่เกิดขึ้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

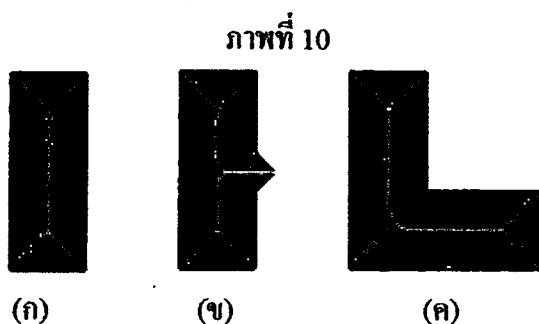
## 2.5 เทคนิคทางคณิตศาสตร์

ในการทำวิจัยนี้ มีเทคนิคที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาอธิบายไว้ เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับค่านิยามต่างๆ ด้วยกันคือ

### 2.5.1 สเกลเลตัน<sup>[1]</sup>

สเกลเลตัน เป็นวิธีการที่จะใช้นำเสนอโครงสร้างของรูปร่างของวัตถุในภาพ โดยการลดทอนให้เป็นกราฟเชิงเส้น ซึ่งการลดทอนนี้สามารถทำได้โดยผ่านการทำสเกลเลตันของขอบเขตวัตถุในภาพ โดยผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง สเกลเลตันของแต่ละขอบเขตจะถูกสร้างขึ้นมาโดยใช้การเปลี่ยนรูปเส้นแกนกลาง (median axis transformation-MAT) ตามทฤษฎีของบัม (Blum, 1967)<sup>[18]</sup> โดยการเปลี่ยนรูปเส้นแกนกลางของวัตถุในภาพ  $R$  ที่มีบริเวณขอบภาพ  $B$  หากทำได้ตามนี้ สำหรับแต่ละจุดภาพ  $p$  ที่อยู่ใน  $R$  เราจะหาจุดภาพ  $p$  ที่อยู่ใกล้ขีดบริเวณขอบภาพ  $B$  มากที่สุด ซึ่งในการหาจุดภาพ  $p$  ที่อยู่ใกล้ที่สุด จะคำนวณจากระยะห่างระหว่างจุดภาพ  $p$  ไปยังบริเวณขอบภาพ  $B$  ที่น้อยที่สุด ซึ่งจุดภาพ  $p$  นี้เรียกว่า จุดภาพสเกลเลตัน เมื่อรวมจุดภาพสเกลเลตันหลายๆ จุดเรียงกัน เป็นเส้นแกนกลางของวัตถุในภาพ ซึ่งตัวอย่างในภาพที่ 10 เป็นบางตัวอย่างของสเกลเลตันที่เกิดขึ้น โดยใช้ระยะทางของยูคลิเดียน (Euclidean distance)

ตัวอย่างของสเกลเลตันที่ได้ในภาพที่ 10 บริเวณที่เป็นสีดำ เป็นพื้นที่ภายในของวัตถุในภาพ เส้นที่มีสีเทาเป็นสเกลเลตันของวัตถุในภาพ



แสดงตัวอย่างเส้นแกนกลางของวัตถุในภาพทั้ง 3 แบบ

### 2.5.2 โทโปโลยี<sup>[25]</sup>

โทโปโลยี เป็นสาขาหนึ่งของวิชาคณิตศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของรูปลักษณะทางเรขาคณิต ลักษณะเฉพาะทางโทโปโลยีที่จะใช้จำแนกกลุ่มของจุดภาพในการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ จะมีจุดปลาย, จุดตัด, จุดแยก, จุดเชื่อมต่อ เป็นต้น

การหาค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยีนี้ สามารถหาได้จากการกำหนดหน้าต่าง 3 x 3 ครอบบิท ที่ต้องการหา(ดังภาพที่ 11 ซึ่งค่าของ  $x_0, x_1, \dots, x_8$  เป็นบิททางดิจิตอลมีค่าเป็น 0 หรือ 1) ซึ่งเรา พิจารณาเฉพาะเมื่อ  $x_0=1$  เท่านั้น

ภาพที่ 11

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

แสดงหน้าต่างขนาด 3 x 3 บิท

จากการหาค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยี โดยใช้ค่าตัวเลขคอนเนคเตด<sup>[27]</sup> (connected number-NC) ของ  $x_0$  ที่ได้จาก S. Tokoi, J. Toriwaki and T. Fukumura ซึ่งมีรายละเอียดตามสมการที่ 4, 5

$$Nc^{(4)} = \sum_{k \in S_1} (X_k - X_k X_{k+1} X_{k+2}) \quad (4)$$

$$Nc^{(8)} = \sum_{k \in S_1} (\bar{X}_k - \bar{X}_k \bar{X}_{k+1} \bar{X}_{k+2}) \quad (5)$$

$$S_1 = \{ 1, 3, 5, 7 \}$$

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 1

ตารางที่ 1

แสดงค่าการจำแนกของค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยีของ  $x_0$

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

### 2.5.3 มอร์โฟโลยี<sup>[6],[13]</sup>

โดยทั่วไปแล้ว มอร์โฟโลยี จะหมายถึง สันฐานวิทยา ซึ่งเป็นสาขาหนึ่งทางชีววิทยาที่ทำการศึกษเกี่ยวกับรูปร่าง ลักษณะโครงสร้างและพัฒนาการของพืชและสัตว์ แต่ในการประมวลผลภาพ เราจะใช้คำๆ เดียวกันนี้มาประยุกต์ใช้ในทางคณิตศาสตร์ที่เราเรียกว่า คณิตศาสตร์มอร์โฟโลยี

คณิตศาสตร์มอร์โฟโลยี เริ่มพัฒนามายาวนานกว่าศตวรรษที่ 60 ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ของรูปแบบที่แยกตัวออกมาเป็นการวิเคราะห์รูปภาพ ซึ่งได้กล่าวไว้ในเอกสารของ Matheron<sup>[14]</sup> and Serra<sup>[15]</sup> ที่อยู่ในหนังสือคณิตศาสตร์ขั้นสูง

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

การแปลงรูปทางมอร์โฟโลยี(morphological transformation) ที่ถูกนำมาใช้ มักจะประกอบด้วยการประมวลผลรูปภาพที่มีการพิจารณาแบบแยกเป็นส่วนตามลำดับ ในส่วนที่ 1 รูปภาพที่ใช้จะได้จากการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข(digitize) และทำการจัดเตรียมภาพก่อนการประมวลผล(pre-process) โดยใช้ตัวดำเนินการคอนโวลูชันเฉพาะที่(local convolution) และทำการแบ่งส่วนของวัตถุในภาพขาวดำแยกออกจากบริเวณของพื้นฉากในรูปภาพ(background) ในส่วนที่ 2 การกระทำทางมอร์โฟโลยีกระทำกับรูปทรงของวัตถุ ในส่วนสุดท้ายของมอร์โฟโลยี จะทำการประเมินผล โดยใช้ลักษณะทางตัวเลขที่แตกต่างกันหรือลักษณะเทียบเคียงทางวากยสัมพันธ์

การกระทำทางมอร์โฟโลยี มักจะถูกนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ดังนี้

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

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

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

คณิตศาสตร์มอร์โฟโลยีมีแหล่งกำเนิดในทฤษฎีเซต(set theory) และเกี่ยวข้องกับการศึกษารูปแบบและโครงสร้างภายในรูปภาพที่จะทำการวิเคราะห์ คณิตศาสตร์มอร์โฟโลยีจะเกี่ยวข้องกับ

รูปทรงและคุณสมบัติของวัตถุหรือขอบเขตของภาพ และเกี่ยวข้องกับการที่จะเปลี่ยนแปลงและดึงลักษณะสำคัญที่เป็นประโยชน์ของภาพออกมาใช้งาน

โดยที่รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีเซตจะมีคอมพลีเมนต์(complement), ผลรวม(union) และผลตัด(intersection) ในส่วนของตัวดำเนินการทางตรรกจะมี 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  $\{p | \langle condition(s) \rangle\}$  หมายถึง เซตของจุด  $p$  โดยที่  $\langle condition(s) \rangle$  ต้องเป็นจริง ตามภาพที่ 12 จะแสดงให้เห็นคำนิยามตามนี้ได้อย่างครบองค์ประกอบมากขึ้น

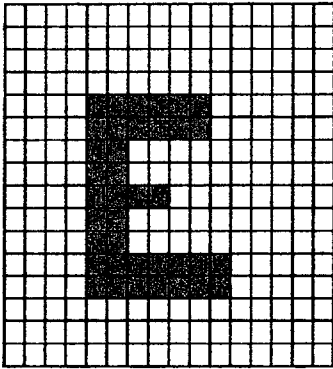
(ก) วัตถุขาวดำจะถูกระบุเป็นซับเซตของจุดภาพ  $A$  ที่ได้รับบรรจุหรือรวมอยู่(include) ภายในเซตทั้งหมดของจุดภาพในรูปภาพ  $N$  ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วย  $A \subset N$  ดังนั้น ถ้า  $p$  เป็นสมาชิกของ  $A$  ดังนั้น  $p$  จึงเป็นสมาชิกของ  $N$  นั่นคือ  $p \in A \Rightarrow p \in N$

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

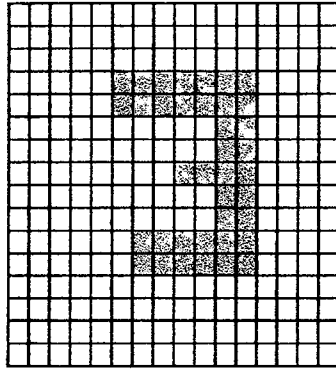
(ค) การสลับเปลี่ยน(tranposition) ของเซตของจุดภาพ  $A$  จะเป็นเซตที่แต่ละตำแหน่งของจุดภาพจะถูกสะท้อนลงตามการนิยามเริ่มต้น เมื่อเซต  $A$  ได้กำหนดไว้ภายในภาพที่ 12 (ก) จะถูกสะท้อนจากค่าเริ่มต้นไปยังจุดศูนย์กลางของรูปภาพได้ เซต  $A'$  ตามภาพที่ 12 (ข) ซึ่ง  $A' = B$  ดังนั้นเซต  $A$  เป็นเซตที่มีความสมมาตรของเซต  $A'$  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 12 (ค) ซึ่งจะแสดงผลรวมของภาพที่ 12 (ก) และ 12 (ข)

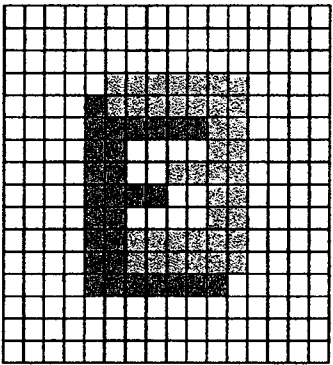
ภาพที่ 12



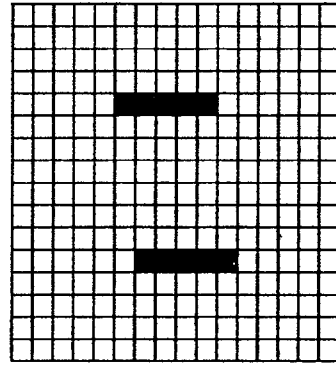
(ก)



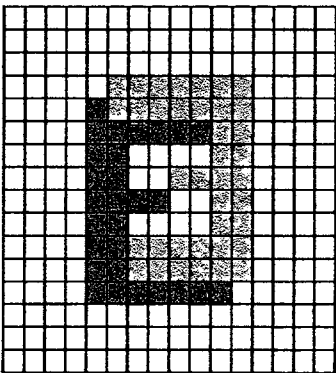
(ข)



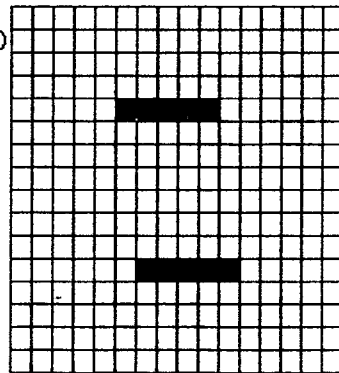
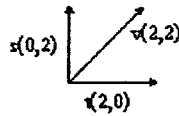
(ค)



(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  $v(2,2)$  ซึ่งได้จากการย้ายเซต A ไปตามแนวของเวกเตอร์  $v(2,2)$  สังเกตได้ว่า สีพื้นจากเป็นดังภาพ (ก) และ (ข) เป็นแถบเงาที่เน้นให้เห็นความแตกต่าง

แสดงให้เห็นค่านิยมบางอย่างของมอร์โฟโลยีคณิตศาสตร์

(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 12 (ง) ซึ่งจะแสดงผลตัดของภาพที่ 12 (ก) และ 12 (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 12 (จ) ซึ่งจะแสดงผลต่างของภาพที่ 12 (ก) และ 12 (ข)

(ช) การเปลี่ยนรูปแบบ(translation) สามารถที่จะพิจารณาได้ง่ายคือ การบวกเวกเตอร์ การเปลี่ยนรูปแบบของเซต  $A$  โดย  $v$  จะถูกแทนด้วย  $A_v$  ซึ่งจะเป็นเซตที่แต่ละสมาชิกจะถูกแปลงโดยเวกเตอร์  $v$  ในภาพที่ 12 (ฉ) แสดงผลลัพธ์ของการเปลี่ยนรูปแบบของเซต  $A$  โดยเวกเตอร์(2,2)

#### 2.5.4 การเปลี่ยนรูปแบบเติม-ลบ(hit-miss transform)<sup>[13]</sup>

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

สำหรับตัวอย่างในภาพที่ 13 (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 จะถูกเขียนเป็นอะเรย์เอาท์พุทที่สอดคล้องกันตามตำแหน่ง ดังนั้นภาพที่ได้จากการเคลื่อนภาพที่ 13 (ข) ผ่านภาพที่ 13 (ก) จะได้ภาพที่ 13 (ค)

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

$$A \otimes B = \{p \mid B_{fgd} \subset A; B_{bgd} \subset A^*\} \quad (6)$$

โดยที่  $A$  เป็นเซตของรูปภาพ  $A^*$  เป็นคอมพลิเมนต์ของเซตของรูปภาพ

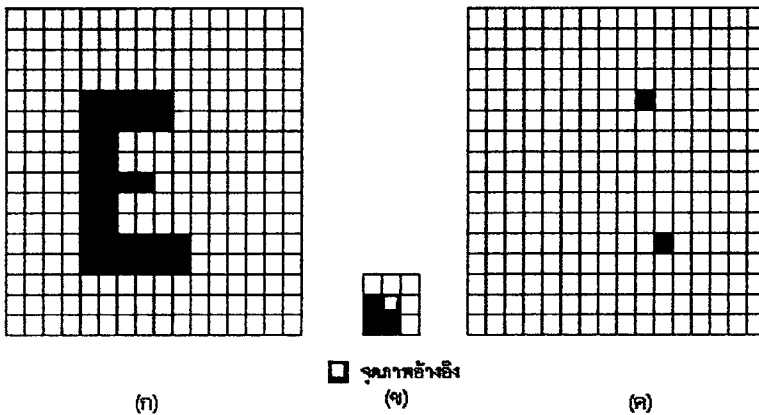
$B$  เป็นเซตของส่วนประกอบโครงสร้าง

$B_{fgd}$  แสดงจุดภาพแสดงบริเวณของวัตถุในรูปภาพของส่วนประกอบโครงสร้างที่ถูกเปลี่ยนแปลง

$B_{bgd}$  แสดงจุดภาพแสดงบริเวณของพื้นฉากในรูปภาพของส่วนประกอบโครงสร้างที่ถูกเปลี่ยนแปลง

$p$  เป็นตำแหน่งในปัจจุบันของจุดภาพอ้างอิงของส่วนประกอบโครงสร้าง

ภาพที่ 13



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

แสดงการตรวจจับจุดมุมบนด้านขวาโดยใช้ส่วนประกอบโครงสร้าง

### 2.5.5 การกัดเซาะ(erosion) และการขยายตัว(dilation)<sup>[13]</sup>

ตัวดำเนินการทั้งสองที่จะเป็นหลักการพื้นฐานที่จะทำการวิเคราะห์ทางมอร์โฟโลยีของรูปภาพ กล่าวคือ การกัดเซาะและการขยายตัว ซึ่งตัวดำเนินการทางมอร์โฟโลยีเกือบทั้งหมดจะถูกนิยามตามข้อตกลงของตัวดำเนินการพื้นฐานทั้งสอง

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

$$A \ominus B' = \{p | B_p \subset A\} \quad (7)$$

ซึ่ง  $B'$  เป็นรูปแบบที่ถูกสลับเปลี่ยนของเซตส่วนประกอบโครงสร้าง(structuring element set)

$B_p$  แสดงส่วนประกอบโครงสร้างที่มีศูนย์กลางอยู่ที่จุด  $p$

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

$$A \oplus B' = A^* \ominus B' \quad (8)$$

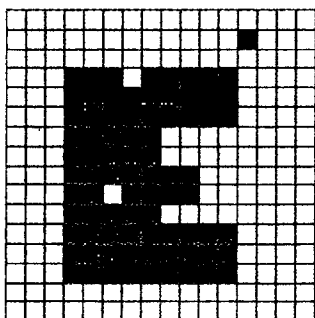
ตามวิธีทางคณิตศาสตร์แบบคู่กัน การขยายตัวสามารถเขียนแสดงโดยใช้การกัดเซาะคอมพลิเมนต์ของเซตโดยส่วนประกอบโครงสร้างอันเดียวกัน แต่ในทางปฏิบัติแล้วหมายถึง บริเวณของวัตถุในรูปภาพขาวดำ สามารถที่จะถูกขยายโดยการกัดเซาะบริเวณของพื้นฉากในรูปภาพด้วยส่วนประกอบโครงสร้างอันเดียวกัน ซึ่งการขยายตัวมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์อีกอย่างที่ถูกนิยามไว้คือ

$$A \oplus B' = \{p | B_p \cap A \neq \emptyset\} \quad (9)$$

การขยายตัวที่ได้นิยามทางคณิตศาสตร์ จะเป็นจุดภาพที่แสดงบริเวณของวัตถุในรูปภาพที่จะถูกเขียนเป็นเอาร์ทพุตของเซตที่ทุกตำแหน่งของส่วนประกอบโครงสร้างอ้างอิง(structuring

element reference) โดยที่บริเวณของวัตถุในรูปภาพใดๆ ที่ถูกส่วนประกอบโครงสร้างวางทับบนจุดภาพที่แสดงบริเวณของวัตถุในรูปภาพของเซตรูปภาพ(กล่าวคือ ส่วนของวัตถุในภาพ) ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นดังภาพที่ 14

ภาพที่ 14

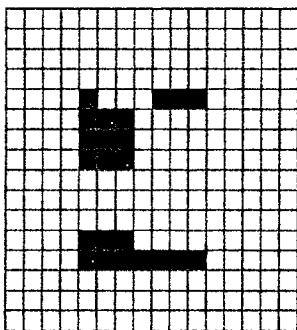


(ก)

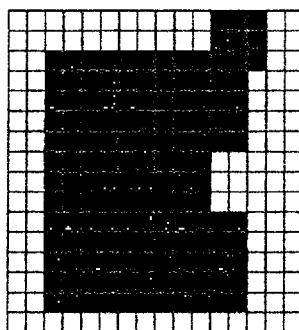


ส่วนประกอบโครงสร้างขนาดเมตริกซ์  
3 x 3 ที่มีจุดอ้างอิงอยู่ที่จุดศูนย์กลาง

(ข)



(ค)



(ง)

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

#### แสดงการกั้ดเซาะและการขยายตัว

จากภาพที่ 14 (ค) เกิดจากการกั้ดเซาะของภาพที่ 14 (ก) โดยใช้ส่วนประกอบโครงสร้างขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 โดยหาค่าได้จากการทำสแกนจุดภาพในภาพที่ 14 (ก) ที่มีโครงสร้างของจุดรอบข้างตามส่วนประกอบโครงสร้างขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 ในภาพที่ 14 (ข) แล้วเก็บจุดนั้นไว้ ส่วนจุดภาพ(ส่วนของวัตถุในภาพ) ใดที่มีโครงสร้างของจุดรอบข้างไม่ตรงตามโครงสร้างขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 ในภาพที่ 14 (ข) ให้ทำการลบจุดภาพนั้น

จากภาพที่ 14 (ง) เกิดจากการขยายตัวของภาพที่ 14 (ก) โดยใช้ส่วนประกอบโครงสร้างขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 โดยหาค่าได้จากการทำสแกนจุดภาพ(ส่วนของวัตถุในภาพ) ในภาพที่ 14 (ก) ที่มีโครงสร้างของจุดรอบข้างตามส่วนประกอบโครงสร้างขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 ในภาพที่ 14 (ข)

แล้วทำการเติมจุดรอบข้างของจุดภาพในขณะนั้นให้มีโครงสร้างตามส่วนประกอบโครงสร้างขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ในภาพที่ 14 (ข)

## 2.6 บทสรุป

จากที่ได้อธิบายมาทั้งหมด เราจะเห็นได้ว่าในขั้นตอนการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยใช้คอมพิวเตอร์ในภาพที่ 8 ในส่วนของขั้นตอนที่จะทำการแปลงภาพระดับเทาที่รับเข้าไปมาแปลงเป็นภาพขาวดำ จะต้องผ่านการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีหรือการทำเทรซโฮลด์ภาพ โดยจะใช้ความรู้ในส่วนของขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีที่ได้อธิบายมา ซึ่งขั้นตอนวิธีในการทำเทรซโฮลด์ภาพได้อธิบายไว้อย่างละเอียดในบทที่ 3 ถัดไป, ในส่วนของการแปลงภาพขาวดำมาไปเป็นภาพลายเส้น โดยผ่านการทำลายเส้นให้บาง จะใช้ความรู้ในส่วนของสเกลเลตัน, มอร์โฟโลยี, การเปลี่ยนรูปแบบเดิม-ลบ, การกัดเซาะและการขยายตัว มาประกอบกันเพื่อใช้ในการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งขั้นตอนวิธีในการทำลายเส้นให้บางทั้ง 5 วิธี ได้อธิบายไว้อย่างละเอียดในบทที่ 3 และการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่คิดสร้างขึ้นมาจากงานได้อธิบายไว้อย่างละเอียดในบทที่ 4, ในส่วนของขั้นตอนการทำลายเส้นให้เป็นภาพที่พร้อมต่อการรู้จำ จะต้องผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆ โดยใช้ความรู้ในส่วนความรู้เบื้องต้นของลายนิ้วมือ, โทโปโลยี, และการกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆ ในภาพ



### 3.1 ทำเทรซโสด์ภาพหรือการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสี

ในขั้นตอนของการแปลงภาพระดับเทา(ซึ่งเป็นภาพต้นฉบับที่รับเข้ามา) ให้เป็นภาพขาวดำ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือนั้น จะต้องผ่านขั้นตอนการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีหรือการทำเทรซโสด์ภาพเสียก่อน ในการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัยนี้มี 2 วิธีคือ ขั้นตอนวิธีที่ 1. การหาค่าเทรซโสด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลกอริทึม<sup>[22]</sup> และขั้นตอนวิธีที่ 2. การทำเทรซโสด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี

ขั้นตอนวิธีที่ 1. การหาค่าเทรซโสด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลกอริทึม วิธีนี้พิจารณาหาค่าเอนโทรปีของข้อมูลในภาพ โดยค่าเอนโทรปีหรือสาระของภาพ ซึ่งจะทำการศึกษาจากวิธีการหาค่าเอนโทรปีของคาเปอร์และเพื่อนๆ (Kapur et al's entropy<sup>[7],[8],[22]</sup>) แล้วพัฒนาเป็นขั้นตอนวิธีที่ทำงานโดยอัลกอริทึมแบบกระทำทีเดียวทั้งภาพ โดยไม่ต้องใช้บุคคลเข้าไปยุ่งเกี่ยว

คาเปอร์และเพื่อนๆ ได้แบ่งค่าความน่าจะเป็นของการกระจายของข้อมูล ออกเป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 (ชนิด A) คือ ค่าระดับเทาตั้งแต่ค่าเริ่มต้นจนมาถึงค่าเทรซโสด์  $k$   $[1,2,\dots,k]$  (ช่วงของกลุ่มพื้นฉากในภาพ)

ส่วนที่ 2 (ชนิด B) คือ ค่าระดับเทาที่มีค่ามากกว่าค่าเทรซโสด์  $[k+1,k+2,\dots,L]$  (ช่วงของกลุ่มวัตถุในภาพ)

$$\text{ชนิด A: } \frac{P_1}{P_k}, \frac{P_2}{P_k}, \dots, \frac{P_k}{P_k} \quad \text{-----} \quad (10)$$

$$\text{ชนิด B: } \frac{P_{k+1}}{1-P_k}, \frac{P_{k+2}}{1-P_k}, \dots, \frac{P_L}{1-P_k} \quad \text{-----} \quad (11)$$

$$\text{โดยให้ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i, \quad 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i$$

$$P_i = \frac{\text{อัตราการเกิดของค่าระดับเทา}}{\text{ความถี่ของจุดภาพในระดับเทา}} \\ = \frac{\text{จำนวนของจุดภาพในภาพ}}{\text{จำนวนของจุดภาพในภาพ}}$$

โดยมีค่าของเอนโทรปีของแต่ละชนิดเป็น

$$H(A) = -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} \quad \text{-----} (12)$$

$$H(B) = -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} \quad \text{-----} (13)$$

ซึ่งจะได้ค่าเอนโทรปีรวมเป็น

$$\psi_{(k)} = H(A) + H(B) \quad \text{-----} (14)$$

นำสมการการหาค่าเอนโทรปีรวม ไปหาค่าเอนโทรปีของค่าระดับเทา โดยตรวจดูค่า  $k$  ที่ให้ค่าเอนโทรปีรวมที่มีค่ามากที่สุด

$$\psi_{(k_{\max})} = \max_{k=1,2,\dots,L} (\psi_{(k)}) \quad \text{-----} (15)$$

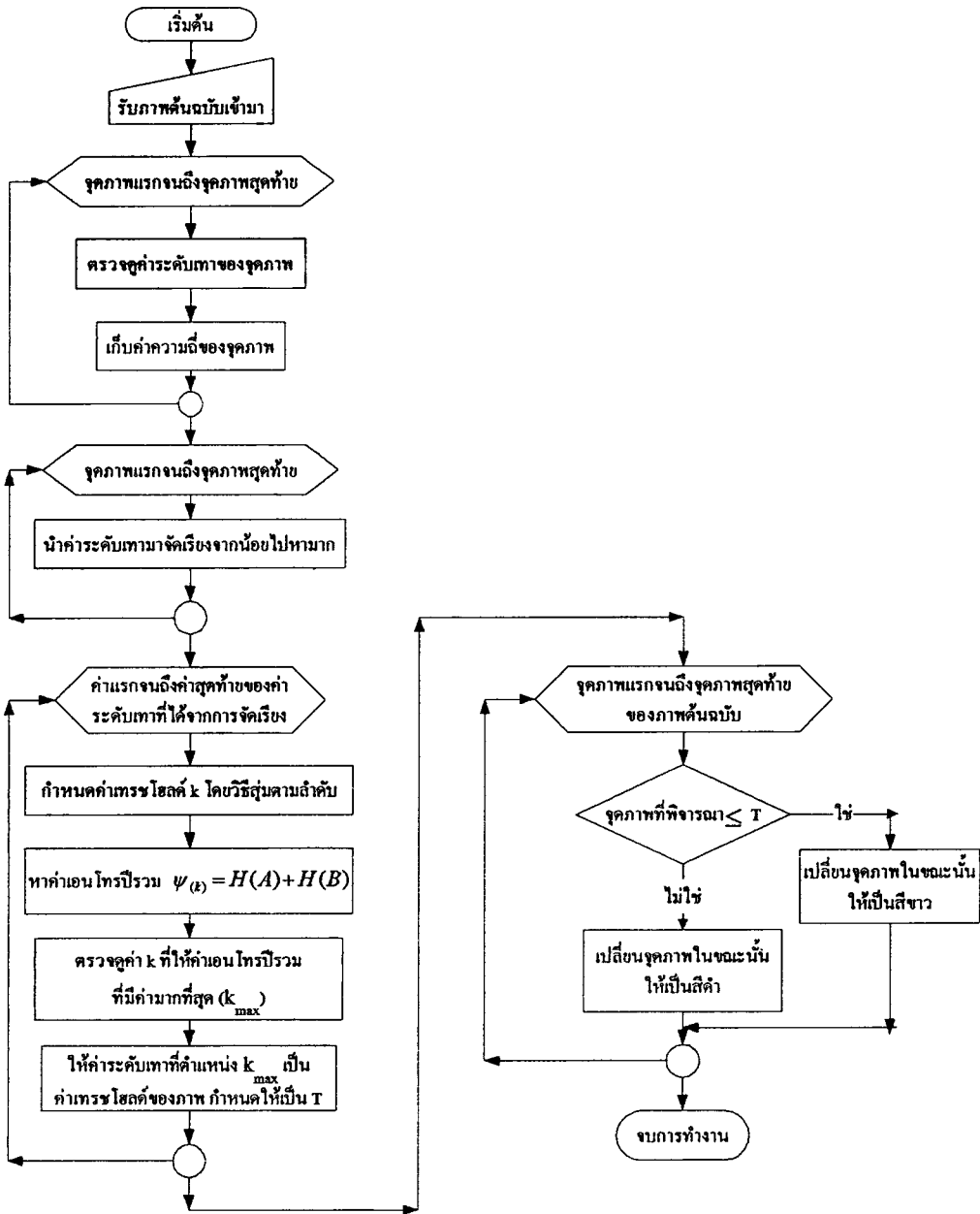
ซึ่งจะเลือกใช้ค่าเทรซโฮลด์ของภาพ(T) เมื่อ

$$T = k_{\max} \quad \text{-----} (16)$$

จากสมการหาค่าเอนโทรปีรวมนี้ สามารถนำมาพัฒนาเขียนเป็นขั้นตอนวิธีที่ทำการหาค่าเทรซโฮลด์แบบอัตโนมัติ โดยมีรูปแบบการทำงานตามภาพที่ 15

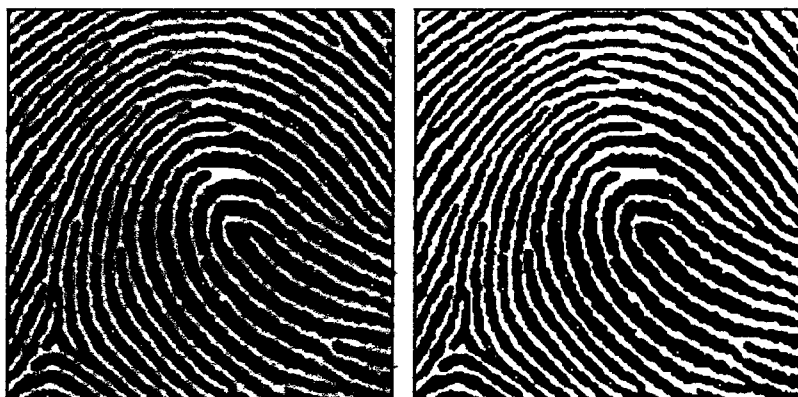
เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีที่ 1 นี้ไปทดลองใช้งานในการแปลงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่เป็นภาพระดับเทาที่รับเข้ามาไปเป็นภาพขาวดำ ได้ผลตามภาพที่ 16

ภาพที่ 15



แสดงขั้นตอนวิธีการหาค่าเทรชโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยอ็ด โนมัตติ ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพ

ภาพที่ 16



(ก)

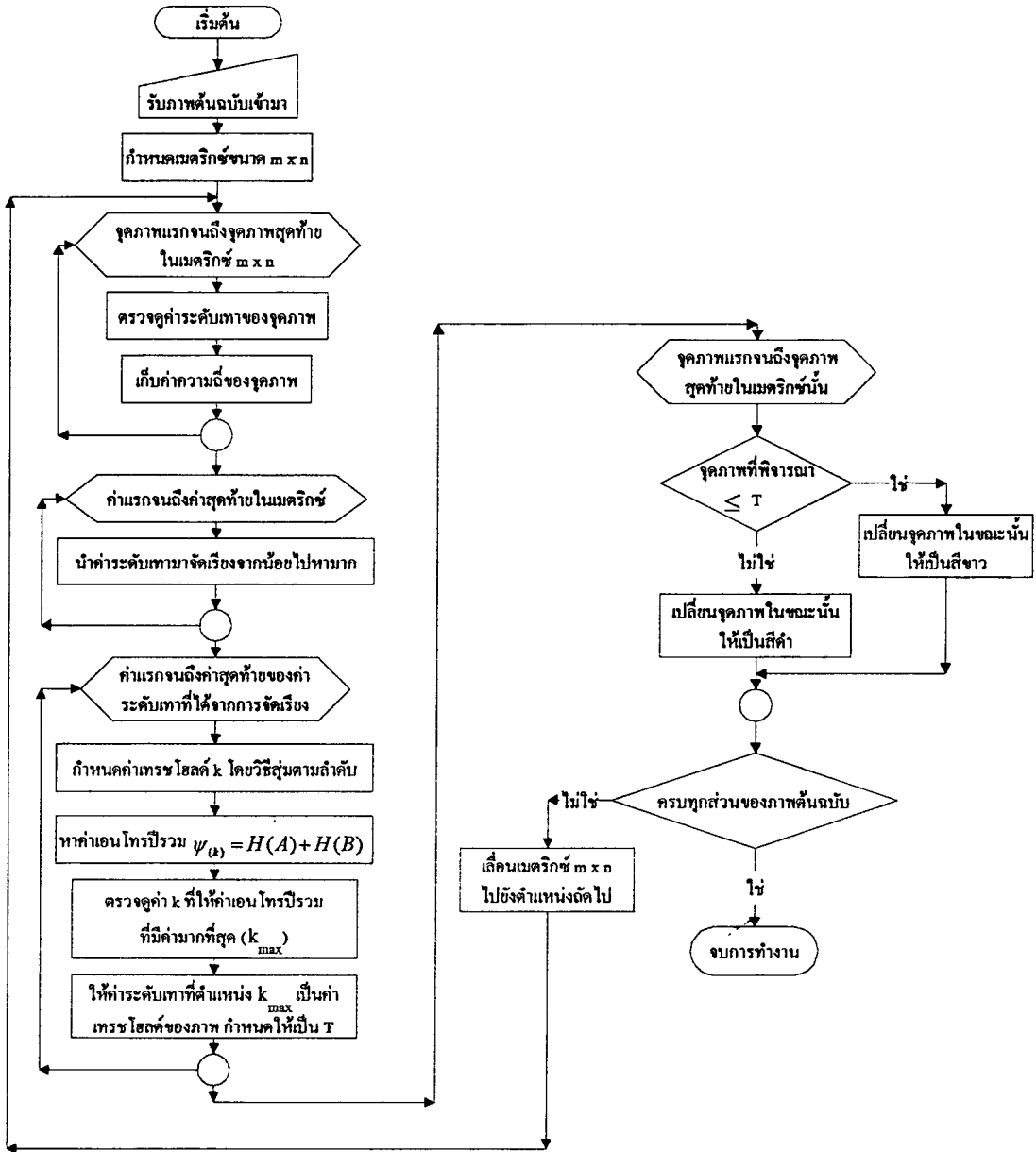
(ข)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมีขนาด  $256 \times 256$  จุดภาพ และ  
 (ข) ภาพที่ผ่านการทำ เทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลกอริทึม ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพ

แสดงการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ โดยวิธีการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ  
 ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพ

ขั้นตอนวิธีที่ 2. การทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี เป็นขั้นตอนวิธีการที่ได้ปรับปรุงมาจากขั้นตอนวิธีการหาค่าเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลกอริทึม โดยพิจารณาค่าเอนโทรปี ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแตกต่างกันคือ ขั้นตอนวิธีการหาค่าเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลกอริทึม จะทำการพิจารณาค่าเอนโทรปีแบบพิจารณาที่เดียวทั้งภาพ แต่การทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี จะนำสมการหาค่าเอนโทรปีรวม ซึ่งเป็นสมการที่ 14 มาใช้ในการพิจารณาค่าเอนโทรปี โดยจะกำหนดเมตริกซ์ขนาด  $m \times n$  เพื่อใช้ในการพิจารณาค่าเอนโทรปีแบบแยกพิจารณาทีละส่วนของภาพ โดยทำการตรวจค่า  $k$  ที่ให้ค่าเอนโทรปีรวมที่มีค่ามากที่สุด ในเมตริกซ์ เมื่อได้ค่า  $k$  ที่ให้ค่าเอนโทรปีรวมที่มีค่ามากที่สุด จะกำหนดให้เป็นค่าเทรซโฮลด์ในเมตริกซ์นั้น หลังจากนั้นจะทำการพิจารณาค่าเอนโทรปีแบบแยกพิจารณาทีละส่วนของส่วนที่เหลือในภาพต่อไป จนกระทั่งครบทุกส่วนของภาพ ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นขั้นตอนอย่างคร่าวๆ จะได้ภาพที่ 17

ภาพที่ 17



แสดงขั้นตอนในการทำเทรชโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี

ในภาพที่ 17 สามารถเขียนขั้นตอนในทำทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี ได้อย่างคร่าวๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. กำหนดเมตริกซ์ขนาด  $m \times n$  ในการพิจารณาหาค่าเอนโทรปี แบบแยกพิจารณาทีละส่วนของภาพ

ขั้นตอนที่ 2. ทำการตรวจค่าระดับเทาของจุดภาพในเมตริกซ์

ขั้นตอนที่ 3. เก็บค่าความถี่ของจุดภาพในเมตริกซ์

ขั้นตอนที่ 4. กำหนดค่าทรซโฮลด์  $k$  โดยวิธีสุ่มตามลำดับ(sequential random)

ขั้นตอนที่ 5. หาค่าเอนโทรปีรวม  $\psi_{(k)} = H(A) + H(B)$

ขั้นตอนที่ 6. ตรวจค่า  $k$  ที่ให้เอนโทรปีรวมที่มีค่ามากที่สุด  $k_{max}$  ในเมตริกซ์ขณะนั้น

ขั้นตอนที่ 7. กำหนดค่าระดับเทาที่มีค่า  $k_{max}$  เป็นค่าทรซโฮลด์ภาพของเมตริกซ์ที่กำลัง

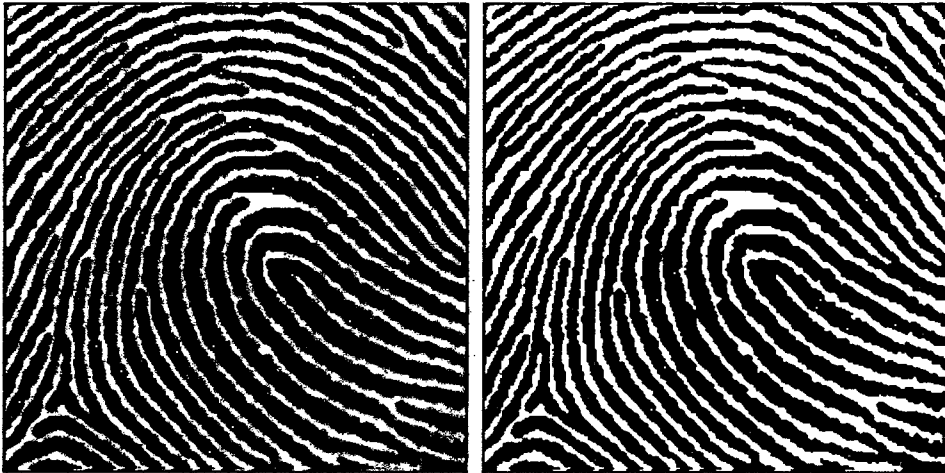
พิจารณาอยู่

ขั้นตอนที่ 8. เลื่อนเมตริกซ์  $m \times n$  ไปยังตำแหน่งถัดไปที่เหลือในภาพ และกลับไปทำขั้นตอนที่ 2-8

ขั้นตอนที่ 9. กระทำขั้นตอนที่ 8 จนกระทั่งครบทุกส่วนของภาพระดับเทา

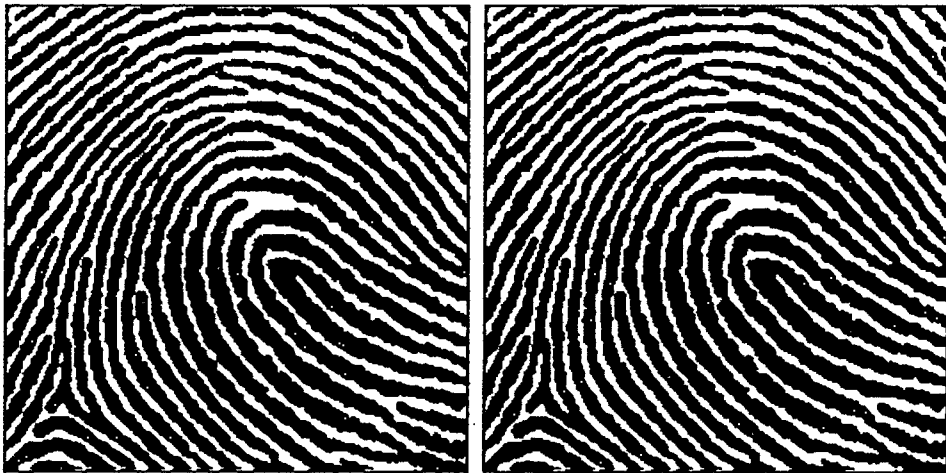
เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีที่ 2 นี้ไปทดลองใช้งานในการแปลงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่เป็นภาพระดับเทาที่รับเข้ามาไปเป็นภาพขาวดำ ได้ผลตามภาพที่ 18

ภาพที่ 18



(ก) ขนาด 256 x 256

(ข) ขนาด 16 x 16



(ค) ขนาด 32 x 32

(ง) ขนาด 64 x 64

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมีขนาด 256 x 256 จุดภาพ, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์ 16 x 16 จุดภาพ, (ค) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์ 32 x 32 จุดภาพในการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทโรปี, และ (ง) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทโรปีที่ใช้ขนาดเมตริกซ์ 64 x 64 จุดภาพในการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทโรปี

แสดงการเปรียบเทียบการใช้เมตริกซ์ขนาดต่างๆ กันที่ใช้กับการทำเทรซโฮลด์ภาพ  
โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทโรปี

### 3.2 คำนิยามต่างๆ ที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บาง

ในการทำลายเส้นให้บาง มีคำนิยามต่างๆ ที่ควรทำความเข้าใจเสียก่อน เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น ก่อนที่จะได้ศึกษาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางแบบวิธีต่างๆ ซึ่งคำนิยามที่ควรทำความเข้าใจมีดังนี้

ภาพที่ 19

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

แสดงจุดรอบข้างแบบ 8 และจุดรอบข้างแบบ 4 ของจุด  $x_0$

คำนิยามที่ 1: สังเกตจากภาพที่ 19 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  $x_0$  สามารถบอกรอกจากวัตถุในภาพได้ ถ้าการถูกกำจัดยังคงรักษาค่าเชื่อมต่อของวัตถุในภาพ

คำนิยามที่ 3: จุดภาพ  $x_0$  จะเป็นจุดวิกฤติ ถ้าการลบจุดนั้นเป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียการเชื่อมต่อของลายเส้นหรือเกิดเป็นช่องโหว่ขึ้นในลายเส้น

คำนิยามที่ 4: ขาของสเกเลตัน(skeleton leg) จะเป็นเส้นกิ่งของจุดภาพที่มีความหนา 1 จุดภาพกับจุดปลายจุดหนึ่ง

คำนิยามที่ 5: จุดภาพ  $x_0$  จะเป็นจุดปลาย ถ้ามีจุดภาพอยู่เพียง 1 จุดเท่านั้น ที่อยู่บนจุดรอบข้างแบบ 8 ซึ่งอาจจะเป็นตำแหน่งของ  $x_1$  หรือ  $x_2$  หรือ  $x_3$  หรือ  $x_4$  หรือ  $x_5$  หรือ  $x_6$  หรือ  $x_7$  หรือ  $x_8$

คำนิยามที่ 6: จุดภาพ  $x_0$  สามารถลบได้ ถ้าไม่ใช่จุดปลายหรือจุดวิกฤติ

คำนิยามที่ 7: จุดที่ผ่านการกัดเซาะมากเกินไป(excessive erosion point) เป็นจุดขอบภาพที่เมื่อถูกลบออกแล้ว ทำให้สูญเสียรูปทรงของวัตถุไป

คำนิยามที่ 8: จุดปลอดภัย(safe point) จะเป็นจุดใดจุดหนึ่งของจุดปลาย, จุดขาด, จุดที่ผ่านการกัดเซาะมากเกินไป แต่จะไม่ใช่จุดภาพที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพ

คำนิยามที่ 9: จุดขอบภาพ(border point) จะเป็นจุดภาพของวัตถุที่มีจุดรอบข้างอย่างน้อย 1 จุด ที่เป็นจุดภาพของพื้นฉากในภาพอยู่บนจุดรอบข้างแบบ 4

คำนิยามที่ 10: จุดขาด(break point) จะเป็นจุดขอบภาพที่เมื่อถูกลบออกแล้ว จะทำให้เสียค่าความเชื่อมต่อของลายเส้น

### 3.3 ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางแบบวิธีต่างๆ

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

สเตลเลตันที่ได้จะยังคงรักษาค่าโทโปโลยีของวัตถุไว้และแสดงข้อมูลรูปทรงของรูปแบบไว้ สเตลเลตันที่ได้จะต้องมีความกว้างเพียง 1 จุดภาพและเป็นเส้นแกนกลางของวัตถุในภาพ ซึ่งขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางหลายวิธีมักจะมีการกระทำซ้ำเป็นจำนวน  $n$  รอบ วิธีที่แตกต่างกันจะให้สเตลเลตันที่แตกต่างกัน ซึ่งตามปกติขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางจะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบตามลำดับ(sequential) และแบบขนาน(parallel) ซึ่งมักเชื่อกันว่า ขั้นตอนวิธีแบบตามลำดับจะทำงานได้เร็วกว่าขั้นตอนวิธีแบบขนาน เมื่อขั้นตอนวิธีทั้ง 2 แบบถูกใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบอนุกรม(serial computer) และขั้นตอนวิธีแบบขนานจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดเมื่อถูกใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบขนาน(parallel computer) หรือเครื่องคอมพิวเตอร์แบบไปป์ไลน์(pipeline computer)

สเตลเลตันดิจิทัล(digital skeleton) จะเกิดขึ้นภายหลังใช้ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งมักจะใช้แสดงวัตถุในภาพขาวดำดิจิทัล(binary digital image) ของการวิเคราะห์รูปทรงและการจำแนกประเภท(classification) มีขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางเป็นจำนวนมากที่ได้ถูกสร้างขึ้นโดยทั่วไป แต่ละขั้นตอนวิธีจะแตกต่างกันเนื่องจากการนิยามสเตลเลตันดิจิทัลและข้อบกพร่องของเครื่องมือต่างๆ ที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ของวิธีการทำลายเส้นให้บางที่ได้ออกแบบมาและการตรวจวัดประสิทธิภาพ

ในขั้นตอนของการแปลงภาพขาวดำ ให้เป็นภาพลายเส้น เพื่อที่จะนำไปใช้ในการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือนั้น จะต้องผ่านขั้นตอนการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งในการทำลายเส้นให้บางในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารายละเอียดของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีที่แตกต่างกัน เป็นจำนวน 5 ขั้นตอนวิธีด้วยกัน ซึ่งมีขั้นตอนวิธีที่ 1. เป็นขั้นตอนวิธีของ Zhang and Suen<sup>[1]</sup>, ขั้นตอน

วิธีที่ 2. เป็นขั้นตอนวิธีของ A. DATTA and S.K. PARUI<sup>[2]</sup>, ขั้นตอนวิธีที่ 3. เป็นขั้นตอนวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG<sup>[3]</sup>, ขั้นตอนวิธีที่ 4. เป็นขั้นตอนวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN<sup>[4]</sup> ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3 เป็นตัวดำเนินการหลัก, และ ขั้นตอนวิธีที่ 5. เป็นขั้นตอนวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin<sup>[5]</sup> ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3, 4 x 4, 5 x 5 โดยได้แสดงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนวิธีไว้ในงานวิจัย ดังต่อไปนี้

3.3.1 ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen<sup>[1]</sup>

ในขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีการของ Zhang and Suen ที่นำมาแสดงนี้ กระทำกับภาพขาวดำ โดยให้ 1 แทนจุดภาพของวัตถุในภาพ และ 0 แทนจุดภาพของพื้นฉากในภาพ ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางวิธีนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนที่ทำกับจุดคอนทัวร์(contour point) ของเนื้อวัตถุในภาพ โดยจุดคอนทัวร์เป็นจุดที่มีค่าเป็น 1 และมีจุดรอบข้างของ  $x_0$  อย่างน้อย 1 จุดที่มีค่าเป็น 0 โดยโครงสร้างของจุดรอบข้างของจุด  $x_0$  แสดงไว้ในภาพที่ 19

ขั้นตอนที่ 1จุดคอนทัวร์ของ  $x_0$  จะถูกลบ เมื่อมีเงื่อนไขดังนี้

$$\begin{array}{l}
 \text{(ก) } 2 \leq N(x_0) \leq 6 \\
 \text{(ข) } S(x_0) = 1 \\
 \text{(ค) } x_1, x_3, x_7 = 0 \\
 \text{(ง) } x_1, x_5, x_7 = 0
 \end{array}
 \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{(ก)} \\ \text{(ข)} \\ \text{(ค)} \\ \text{(ง)} \end{array}} \right\} \text{ (17)}$$

โดยที่  $N(x_0)$  เป็นจำนวนจุดรอบข้างของ  $x_0$  ที่ไม่เป็น 0 นั่นคือ

$$N(x_0) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \quad \text{-----(18)}$$

และ  $S(x_0)$  เป็นจำนวนจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก 0 → 1 ตามลำดับของ  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8$  ดังตัวอย่าง  $N(x_0)=4$  และ  $S(x_0)=3$  ข้างล่างนี้

$$\begin{array}{ccc}
 0 & 0 & 1 \\
 1 & x_0 & 0 \\
 1 & 0 & 1
 \end{array}
 \quad \begin{array}{l}
 \text{แสดงเงื่อนไข (ก) และ (ข) ในสมการที่ (17)} \\
 \text{ในกรณีนี้ } N(x_0)=4 \text{ และ } S(x_0)=3
 \end{array}$$

โดยเงื่อนไขของ (ค) เป็นการตรวจสอบผลคูณของ  $x_1, x_3, x_7=0$  และเงื่อนไขของ (ง) เป็นการตรวจสอบผลคูณของ  $x_1, x_5, x_7=0$  ซึ่งเงื่อนไขของ (ค) และ (ง) จะเป็นจริง เมื่อมีค่าใดค่าหนึ่งตามนี้คือ  $x_1=0$ , or  $x_7=0$  or  $(x_3=0 \text{ and } x_5=0)$

ขั้นตอนที่ 2 เงื่อนไข (ก) และ (ข) ยังคงเหมือนเดิม แต่เงื่อนไข (ค) และ (ง) ถูกเปลี่ยนเป็น

$$\left. \begin{array}{l} \text{(ก)} \quad 2 \leq N(x_0) \leq 6 \\ \text{(ข)} \quad S(x_0) = 1 \\ \text{(ค')} \quad x_1 \cdot x_3 \cdot x_5 = 0 \\ \text{(ง')} \quad x_3 \cdot x_5 \cdot x_7 = 0 \end{array} \right\} \quad (19)$$

เงื่อนไข (ก) และ (ข) จะมีวิธีในการหาค่าเหมือนกับเงื่อนไข (ก) และ (ข) ที่อยู่ในขั้นตอนที่ 1 โดยเงื่อนไขของ (ค') เป็นการตรวจสอบผลคูณของ  $x_1, x_3, x_5=0$  และเงื่อนไขของ (ง') เป็นการตรวจสอบผลคูณของ  $x_3, x_5, x_7=0$  ซึ่งเงื่อนไขของ (ค') และ (ง') จะเป็นจริง เมื่อมีค่าใดค่าหนึ่งตามนี้คือ  $x_3=0$  or  $x_5=0$  or  $(x_1=0 \text{ and } x_7=0)$

โดยจะมีขั้นตอนในการทำงานอย่างคร่าวๆ คือ

ในขั้นตอนที่ 1 จะประมวลผลกับจุดขอบภาพ(border point) ของเนื้อวัตถุในภาพขาวดำภายใต้การพิจารณา ถ้าไม่ตรงกับเงื่อนไขอันใดอันหนึ่งของ (ก)-(ง) จุดภาพที่พิจารณาอยู่ จะไม่ถูกลบ แต่ถ้าถูกต้องตามเงื่อนไข (ก)-(ง) จุดภาพที่พิจารณานั้นจะถูกลบ แต่จุดภาพที่ถูกพิจารณาทั้งหมดจะไม่ถูกลบจนกระทั่งจุดขอบภาพของทั้งภาพถูกประมวลผล โดยจะทำเครื่องหมาย(flag) ของจุดที่จะถูกลบไว้ก่อน ซึ่งจะป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของข้อมูลระหว่างการดำเนินการของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen ภายหลังจากขั้นตอนที่ 1 ได้ถูกประมวลผลกับทุกจุดขอบภาพแล้ว จุดที่ถูกทำเครื่องหมายไว้ จะถูกลบ(กล่าวคือ เปลี่ยนค่าเป็น 0) จากนั้นขั้นตอนที่ 2 จะประมวลผลกับภาพที่ได้จากการประมวลผลในขั้นตอนที่ 1 แล้วด้วยวิธีการที่เหมือนกับขั้นตอนที่ 1

โดยพื้นฐานของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen นี้ สังเกตได้ว่า ประกอบด้วยขั้นตอนอย่างคร่าวๆ ดังนี้ 1) ทำตามขั้นตอนที่ 1, 2) ลบจุดภาพ, 3) ทำตามขั้นตอนที่ 2 กับจุดขอบภาพที่ยังคงเหลือ, 4) ลบจุดขอบภาพ ซึ่งขั้นตอนทั้ง 4 ข้อนี้จะถูกกระทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่ง ไม่มีจุดภาพใดๆ จะถูกลบอีก ซึ่งจะเป็นช่วงเวลาดำเนินการสุดท้ายของขั้นตอนการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen ที่เราจะได้สเกลเลตันของเนื้อวัตถุในภาพ

เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen นี้ไปเขียนขั้นตอนอย่างคร่าวๆ ได้ดังภาพที่ 20

ภาพที่ 20

เงื่อนไขในขั้นตอนที่ 1

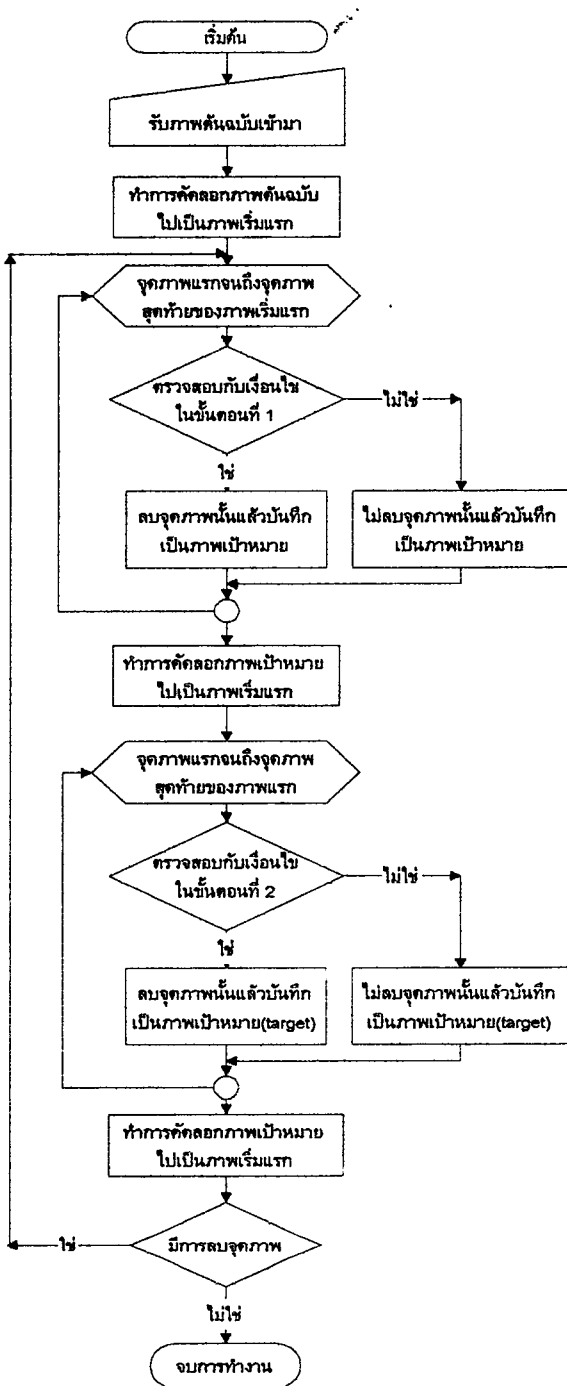
$$((2 \leq N(x_0) \leq 6) \text{ and } S(x_0) = 1)$$

$$\text{and } (x_1 \cdot x_3 \cdot x_7) = 0 \text{ and } (x_1 \cdot x_5 \cdot x_7) = 0$$

เงื่อนไขในขั้นตอนที่ 2

$$((2 \leq N(x_0) \leq 6) \text{ and } S(x_0) = 1)$$

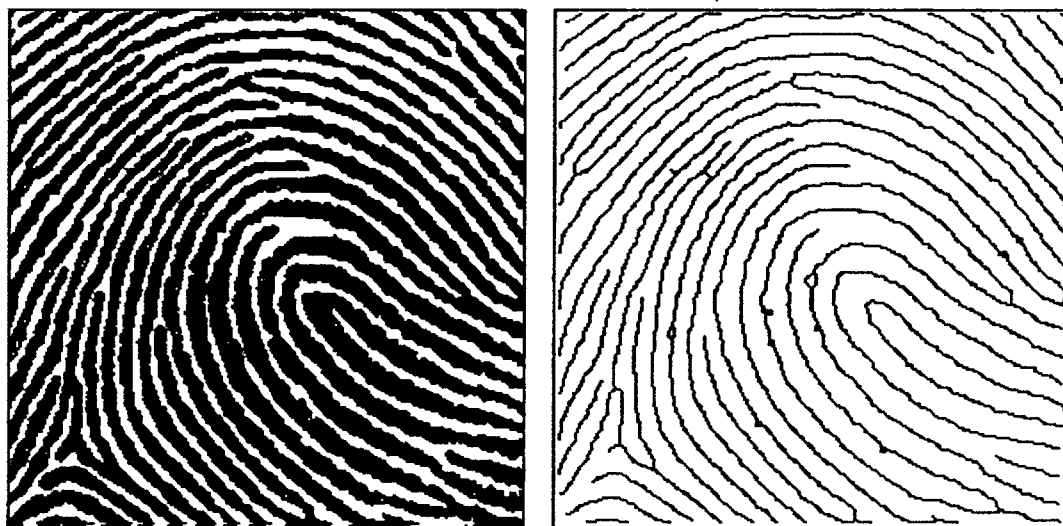
$$\text{and } (x_1 \cdot x_3 \cdot x_5) = 0 \text{ and } (x_3 \cdot x_5 \cdot x_7) = 0$$



แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen

เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen นี้ไปทดลองใช้งานกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ได้ผลตามภาพที่ 21

ภาพที่ 21



(ก)

(ข)

แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 และ (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen

### 3.3.2 ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI<sup>[2]</sup>

ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI จะทำการลบจุดภาพชั้นนอกในรอบต่างๆ และผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละรอบจะถูกนำไปใช้กับรอบถัดไปตามลำดับ ซึ่งจุดขอบภาพจะไม่ถูกลบ ถ้ามีเงื่อนไขตามนี้ คือ

1. ถ้าการถูกลบ จะไปเปลี่ยนแปลงค่าความเชื่อมต่อ(connectivity)

2. ถ้าการถูกลบ จะไปทำให้ขาของสเกลเลคตันสั้นขึ้น

และจะไม่ทำการลบจุดภาพ ที่มีเงื่อนไขตามนี้ คือ

1. เป็นส่วนที่เรียกว่า จุดภาพวิกฤต

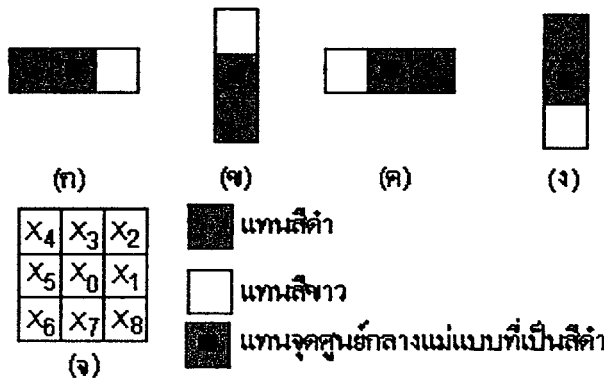
2. เป็นส่วนที่เรียกว่า จุดปลาย

ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI นี้ จะใช้แม่แบบขนาดเมตริกซ์  $1 \times 3$  จำนวน 2 อัน, แม่แบบขนาดเมตริกซ์  $3 \times 1$  จำนวน 2 อัน และการใช้วินโดวขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  จำนวน 1 อัน(ตามภาพที่ 22)

พิจารณาวินโดว์  $3 \times 3$  ซึ่งอยู่รอบจุดภาพ  $x_0$  จะเรียกแทนด้วย  $W$  โดยให้  $S$  เป็นเซตของ 8 จุดภาพในวินโดว์(ภาพที่ 22 (จ)) ยกเว้นจุด  $x_0$  นั่นคือ

$$S = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\}$$

ภาพที่ 22



แสดงแม่แบบ (ก)-(ง) ที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บาง ทั้ง 4 แบบและวินโดว์ (จ) ขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$

ถ้าเราสนใจภายในวินโดว์  $W$  เท่านั้น เราสามารถหาจุดวิกฤติได้จากทฤษฎีที่ 1 และจุดปลายได้จากทฤษฎีที่ 2

ทฤษฎีที่ 1 ถ้า  $x_0$  ตรงกับแม่แบบอันใดอันหนึ่งของทั้ง 4 แบบจากภาพที่ 22 (ก)-22 (ง) แล้วจุดวิกฤติจะมีค่าตามนี้

ก.  $x_0$  เป็นจุดวิกฤติ ถ้า  $(x_3=0 \text{ and } x_2=1) \text{ or } (x_7=0 \text{ and } x_8=1)$

ข.  $x_0$  เป็นจุดวิกฤติ ถ้า  $(x_5=0 \text{ and } x_4=1) \text{ or } (x_1=0 \text{ and } x_2=1)$

ค.  $x_0$  เป็นจุดวิกฤติ ถ้า  $(x_3=0 \text{ and } x_4=1) \text{ or } (x_7=0 \text{ and } x_6=1)$

ง.  $x_0$  เป็นจุดวิกฤติ ถ้า  $(x_5=0 \text{ and } x_6=1) \text{ or } (x_1=0 \text{ and } x_8=1)$

ทฤษฎีที่ 2 ถ้า  $x_0$  ตรงกับแม่แบบอันใดอันหนึ่งของทั้ง 4 แบบจากภาพที่ 22 (ก)-22 (ง) แล้วจุดปลายจะมีค่าตามนี้

ก.  $x_0$  เป็นจุดปลาย ถ้า  $x_2, x_3, x_4, x_6, x_7, x_8$  เป็น 0 (มีค่าเท่ากับ  $x_2+x_3+x_4+x_6+x_7+x_8=0$ )

ข.  $x_0$  เป็นจุดปลาย ถ้า  $x_1, x_2, x_4, x_5, x_6, x_8$  เป็น 0 (มีค่าเท่ากับ  $x_1+x_2+x_4+x_5+x_6+x_8=0$ )

ค.  $x_0$  เป็นจุดปลาย ถ้า  $x_2, x_3, x_4, x_6, x_7, x_8$  เป็น 0 (มีค่าเท่ากับ  $x_2+x_3+x_4+x_6+x_7+x_8=0$ )

ง.  $x_0$  เป็นจุดปลาย ถ้า  $x_1, x_2, x_4, x_5, x_6, x_8$  เป็น 0 (มีค่าเท่ากับ  $x_1+x_2+x_4+x_5+x_6+x_8=0$ )

ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI ตามธรรมชาติ จะมีการกระทำซ้ำ(iteration) โดยจะดำเนินการกำจัดจุดขอบภาพในแต่ละรอบการกระทำซ้ำทั้ง 4 รอบย่อย ในแต่ละรอบย่อยจะกำจัดจุดภาพที่ตรงกับแต่ละแม่แบบ กล่าวคือ แม่แบบ (ก)-(ง) จะถูกใช้ในการกำจัดจุดขอบภาพ วินโดว์ขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  จะใช้ในการตรวจสอบการลบจุดภาพนั้น เพื่อให้ยังรักษาความเชื่อมต่อและขาสเกลเลตันจะไม่หดสั้น ภายหลังจากการกระทำซ้ำ(จะขึ้นอยู่กับความหนาของรูปแบบวัตถุที่รับเข้าไป) รูปแบบวัตถุที่รับเข้าไปจะเข้าสู่สเกลเลตันที่มีความหนาท้องเพียง 1 จุดภาพและยังคงรักษาความเชื่อมต่อและขาสเกลเลตันไว้

ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนได้ 2 ขั้นตอนอย่างคร่าวๆ ได้ตามนี้

ขั้นตอนที่ 1 ลบทุกจุดภาพที่ตรงกับแม่แบบ (ก)-(ง) โดยแบ่งเป็น 4 รอบย่อยๆ คือ

รอบที่ 1 ลบทุกจุดภาพที่ตรงกับแม่แบบ (ก) โดยไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดวิกฤติตามทฤษฎีที่ 1 ก. และไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดปลายตามทฤษฎีที่ 2 ก.

รอบที่ 2 ลบทุกจุดภาพที่ตรงกับแม่แบบ (ข) โดยไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดวิกฤติตามทฤษฎีที่ 1 ข. และไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดปลายตามทฤษฎีที่ 2 ข.

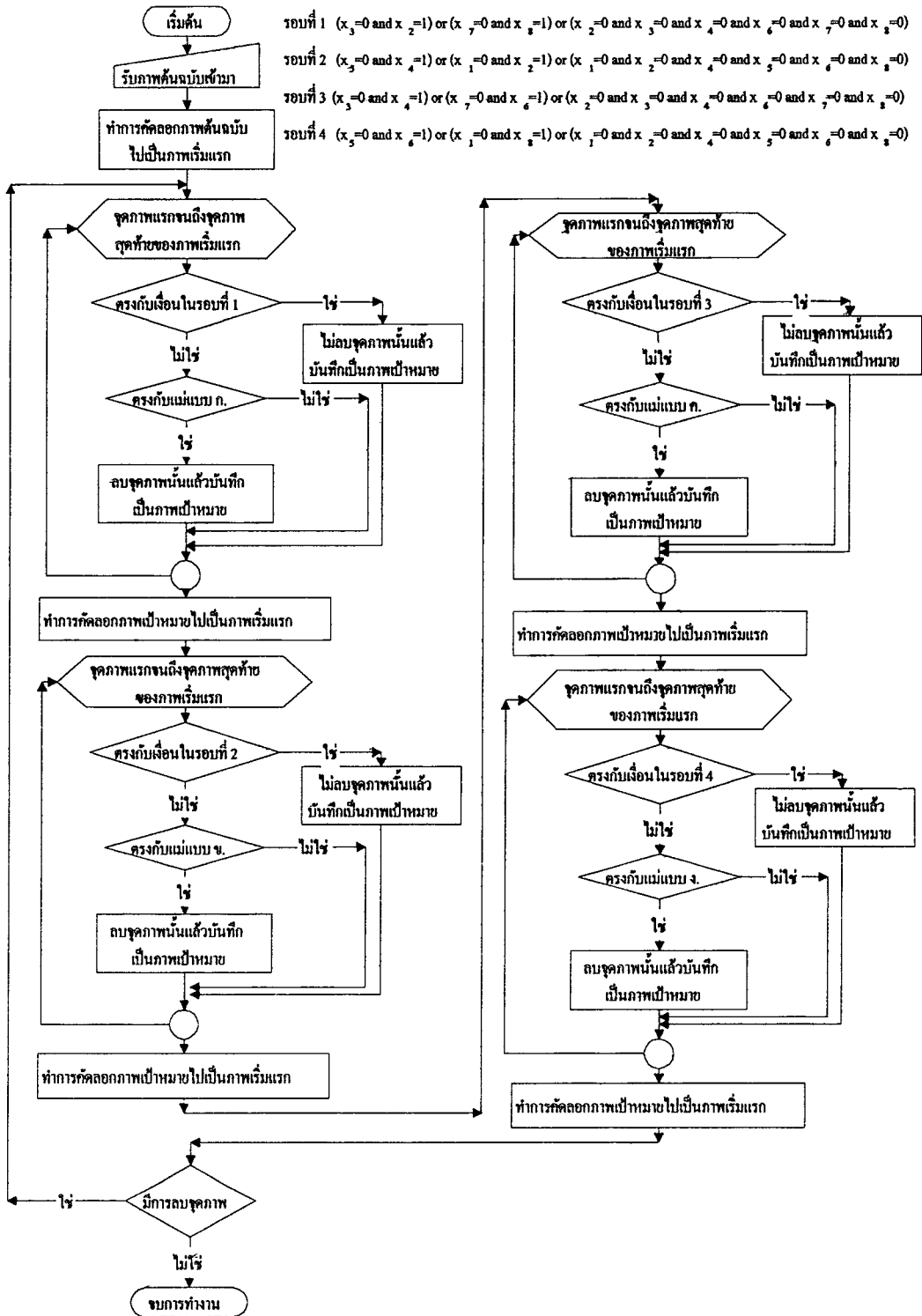
รอบที่ 3 ลบทุกจุดภาพที่ตรงกับแม่แบบ (ค) โดยไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดวิกฤติตามทฤษฎีที่ 1 ค. และไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดปลายตามทฤษฎีที่ 2 ค.

รอบที่ 4 ลบทุกจุดภาพที่ตรงกับแม่แบบ (ง) โดยไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดวิกฤติตามทฤษฎีที่ 1 ง. และไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดปลายตามทฤษฎีที่ 2 ง.

ขั้นตอนที่ 2 กลับไปทำขั้นตอนที่ 1 ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นในภาพ กล่าวคือ ไม่มีการลบจุดภาพเกิดขึ้น

เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI นี้ไปเขียนขั้นตอนการทำงานอย่างคร่าวๆ ได้ตามภาพที่ 23

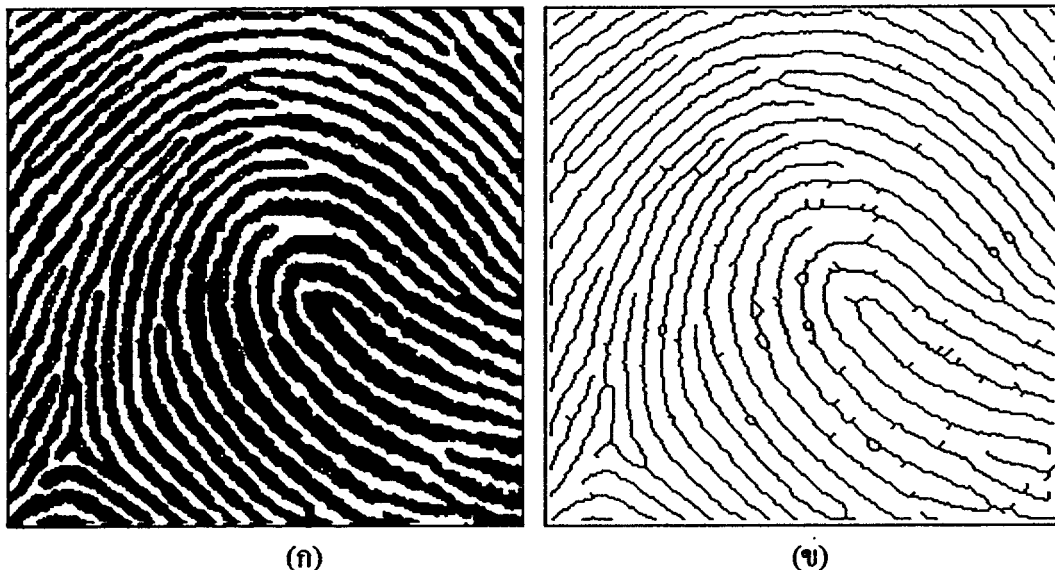
ภาพที่ 23



แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI

เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI นี้ไปทดลองใช้งานกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ได้ผลตามภาพที่ 24

ภาพที่ 24



แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดคหวยปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 และ (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI

### 3.3.3 ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK

WONG<sup>[3]</sup>

ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG นี้มีจุดเด่นคือ จะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ตามขอบภาพที่ไม่ราบเรียบหรือไหลื่นออกมา โดยจะมีรายละเอียดบางอย่างที่ควรรู้ คือ

แม่แบบที่ใช้แสดงค่านำหนักขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ในภาพที่ 25 (ก) จะถูกนำมาใช้เพื่อแสดงค่าเมียงเบนของจุดรอบข้างทั้ง 8 จุดที่สัมพันธ์กัน สังเกตได้ว่า จุดภาพของวัตถุจะแทนด้วย 1 (แทนสีดำ) และจุดภาพของพื้นฉากแทนด้วย 0 (แทนสีขาว) และได้แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าดัชนีไว้ในภาพที่ 25 (ข)

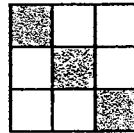
จากแม่แบบขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ในภาพที่ 25 (ก) ตำแหน่งตรงกลางจะเป็นจุดค่าเสมอ จุดรอบข้างที่เหลือทั้ง 8 จุด จึงมีโอกาที่จะเกิดจุดขาว และจุดดำสลับกันไป เมื่อนำมาเขียนเรียงกันจะได้ 8 บิต ที่มีโอกาสเกิดจุดขาวและจุดดำแตกต่างกันไป ครอบคลุมทั้ง 256 กรณีที่สามารถเกิดจุดค่าตามตำแหน่งของจุดรอบข้างทั้ง 8 โดยแต่ละจุดจะให้ค่านำหนักที่แตกต่างกันไป

1	2	3	เมื่อนำมาเขียนเรียงกันจะได้ 8 บิท	○	○	○	○	○	○	○	○
4		5	ตำแหน่งที่	8	7	6	5	4	3	2	1
6	7	8	มีโอกาสเกิดเป็น 0 กับ 1	$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
ค่านำหนัก				128	64	32	16	8	4	2	1

ซึ่งสามารถเขียนแสดงค่านำหนักตามตำแหน่งของจุดภาพที่อยู่ในแม่แบบขนาดเมตริกซ์ ได้ดังภาพที่ 25

ภาพที่ 25

1	2	4
8	0	16
32	64	128



(ก) ค่านำหนักตามตำแหน่งต่างๆ (ข) เลขดัชนี =  $4+1+128=129$

แสดง (ก) แม่แบบขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 ที่มีน้ำหนักที่แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG และ (ข) ตัวอย่างการคำนวณเลขดัชนี

สำหรับตารางที่ใช้ในการพิจารณาจุดพลอดกัยที่แสดงในตารางที่ 2 ได้แสดงรายละเอียดไว้ 2 หัวข้อคือ ดัชนีและเลขชายธง(index and flag number) โดยที่เลขดัชนีสามารถหาค่ามาได้จากการพิจารณาจากแม่แบบขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 ที่ครอบจุดภาพที่กำลังพิจารณา โดยมีวิธีคำนวณตามภาพที่ 25 (ข) สำหรับค่าของเลขชายธงจะเป็นตัวบอกว่า สามารถทำการลบจุดที่กำลังพิจารณาได้หรือไม่ โดยถ้าตรวจสอบจากค่าดัชนี แล้วได้ค่าเลขชายธงเป็น 1 แสดงว่า สามารถลบจุดภาพนั้นได้ แต่ถ้าค่าเลขชายธงเป็น 2 ให้ทำการตรวจสอบจุดภาพที่กำลังพิจารณาว่ามีโครงสร้างของจุดรอบข้างตามแม่แบบแสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพ ซึ่งอยู่ในภาพที่ 27 หรือไม่ ถ้าตรงกับรูปแบบอันใดอันหนึ่งของแม่แบบแสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพนั้น ให้ทำการลบจุดภาพที่กำลังพิจารณาได้ แต่ถ้าค่าดัชนีที่คำนวณได้ ไม่ตรงกับค่าในตารางที่ 2 ไม่ต้องทำการลบจุดภาพที่กำลังพิจารณานั้น

เงื่อนไขในการลบ

แม่แบบขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 อาจจะไม่ใช่เพียงพอที่จะใช้ในการอธิบายสัญญาณรบกวนในภาพได้ จึงต้องใช้แม่แบบขนาดเมตริกซ์ 5 x 5 นำมาใช้ในการตรวจสอบจุดพลอดกัยให้เป็นไปตามตาราง เมื่อค่าดัชนีของแม่แบบขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 ที่ถูกคำนวณได้ในตอนแรกนั้นมีค่าเท่ากับเลขดัชนีใดๆ ของจุดภาพที่มีเงื่อนไขที่จะลบจุดภาพนั้นได้ เราก็จะใช้แม่แบบขนาดเมตริกซ์ 5 x 5 มาทำ

การตรวจสอบอีกที ซึ่งแม่แบบขนาดเมตริกซ์  $5 \times 5$  ที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 27 เป็นตัวอย่างของ สัญญาครอบงวมในภาพ

FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ได้สร้างตัวดำเนินการบูลีนที่จะใช้พิจารณาจุดรอบข้าง เพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาเงื่อนไขในการลบจุดภาพ ดังนี้คือ

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

โดยดำเนินการ “AND แทนด้วย  $\wedge$ ” และ “OR แทนด้วย  $\vee$ ” โดยให้  $P_{a1}, P_{a2}, P_{a3}$  แทนจุดรอบข้างที่มีฉลาก “1” และให้  $p_{b1}, p_{b2}$  แทนจุดรอบข้างที่มีฉลาก “2” และให้  $P_{c1}, P_{c2}, P_{c3}$  แทนจุดรอบข้างที่มีฉลาก “0”

ตัวอย่างในการใช้ตัวดำเนินการบูลีนที่ใช้ในการลบจุดภาพ เช่น กรณีที่ 3.1 ซึ่งอยู่ในภาพที่ 27 เมื่อหาค่าดัชนีเป็น 9 แล้วจะมีการตรวจสอบจุดรอบข้างที่มีฉลาก “1” และ “2” เท่านั้น ดังนั้นตัวดำเนินการบูลีนที่จะนำมาพิจารณา คือ  $P_{a1} \wedge (p_{b1} \vee p_{b2})$  ซึ่งจากแม่แบบในกรณีที่ 3.1 ถ้าจุดรอบข้างที่มีฉลาก “1” เป็นจุดภาพของวัตถุ(แทนสีดำ) จะทำให้  $P_{a1}$  มีค่าเป็นจริง และถ้าจุดรอบข้างที่มีฉลาก “2” มีจุดใดจุดหนึ่งเป็นจุดภาพของวัตถุ จะทำให้  $p_{b1} \vee p_{b2}$  มีค่าเป็นจริง จึงทำให้ตัวดำเนินการ  $P_{a1} \wedge (p_{b1} \vee p_{b2})$  มีค่าเป็นจริง ดังนั้นจึงสามารถลบจุดภาพของวัตถุที่ตำแหน่งตรงกลางของแม่แบบได้ เช่นเดียวกับในกรณีที่ 32 และ 33 ก็ใช้หลักการเดียวกันที่ได้อธิบายมา สำหรับในกรณีที่ 32.1 ซึ่งอยู่ในภาพที่ 27 เมื่อหาค่าดัชนีเป็น 27 แล้วจะมีการตรวจสอบจุดรอบข้างที่มีฉลาก “1” และ “0” เท่านั้น ดังนั้นตัวดำเนินการบูลีนที่จะนำมาพิจารณา คือ  $(P_{a1} \wedge P_{a2}) \wedge (\bar{P}_{c1} \wedge \bar{P}_{c2} \wedge \bar{P}_{c3})$  จากแม่แบบในกรณี 32.1 ถ้าจุดรอบข้างที่มีฉลาก “1” เป็นจุดภาพของวัตถุ จะทำให้  $P_{a1}$  มีค่าเป็นจริง และ  $P_{a2}$  มีค่าเป็นจริง จึงทำให้  $P_{a1} \wedge P_{a2}$  มีค่าเป็นจริง เมื่อจุดรอบข้างที่มีฉลาก “0” เป็นจุดภาพพื้นฉากในภาพ จะทำให้  $\bar{P}_{c1}, \bar{P}_{c2}, \bar{P}_{c3}$  เป็นเท็จ เพราะฉะนั้น  $\bar{P}_{c1}, \bar{P}_{c2}, \bar{P}_{c3}$  เป็นจริง จึงทำให้  $\bar{P}_{c1} \wedge \bar{P}_{c2} \wedge \bar{P}_{c3}$  เป็นจริง ดังนั้น  $(P_{a1} \wedge P_{a2}) \wedge (\bar{P}_{c1} \wedge \bar{P}_{c2} \wedge \bar{P}_{c3})$  จึงมีค่าเป็นจริง ดังนั้นจึงสามารถลบจุดภาพของวัตถุที่ตำแหน่งตรงกลางของแม่แบบได้ ในกรณีอื่นๆ จะมีหลักในการตรวจสอบในทำนองนี้เช่นเดียวกัน สำหรับกรณีใดๆ ที่ไม่นำมากล่าวไว้ในภาพที่ 27 จะเป็นจุดไม่ปลอดภัย

สรุปขั้นตอนอย่างคร่าวๆ ในการทำลายเส้นให้บางตามวิธีนี้ มีดังนี้

(1) คำนวณหาค่าเลขดัชนีของจุดภาพแต่ละจุดในภาพ ซึ่งมีวิธีการในการคำนวณตามภาพที่

25 (ข)

(2) ถ้าค่าเลขดัชนีตรงกับแม่แบบที่ใช้ในการดำเนินการกำจัดสัญญาณรบกวนบริเวณขอบลายเส้น ซึ่งอยู่ในภาพที่ 26 ให้เติมจุดภาพตรงกลางให้เป็น “1”

(3) กลับไปทำข้อที่ 1

(4) ทำการตรวจสอบค่าเลขดัชนีกับตารางที่ 2 เพื่อหาค่าชายธง(flag number) เมื่อพิจารณาแล้ว เห็นว่ามีค่าชายธงเป็น “1” ให้ทำการลบจุดภาพในขณะนั้น แต่ถ้าค่าชายธงมีค่าเป็น 2 แล้วให้ทำการตรวจสอบดูว่า จุดภาพในขณะนั้นมีตำแหน่งของจุดรอบข้างตามโครงสร้างของแม่แบบแสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพ ซึ่งอยู่ในภาพที่ 27 หรือไม่ ถ้าจุดภาพในขณะนั้นมีตำแหน่งของจุดรอบข้างตามโครงสร้างของแม่แบบอันใดอันหนึ่งของแม่แบบแสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพ ให้ทำการลบจุดภาพในขณะนั้น ถ้าไม่ตรงตามแม่แบบอันใดอันหนึ่งของแม่แบบแสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพ ก็ไม่ต้องลบจุดภาพนั้น

(5) ให้กลับไปทำตามขั้นตอนที่ 1-2 อีกครั้ง

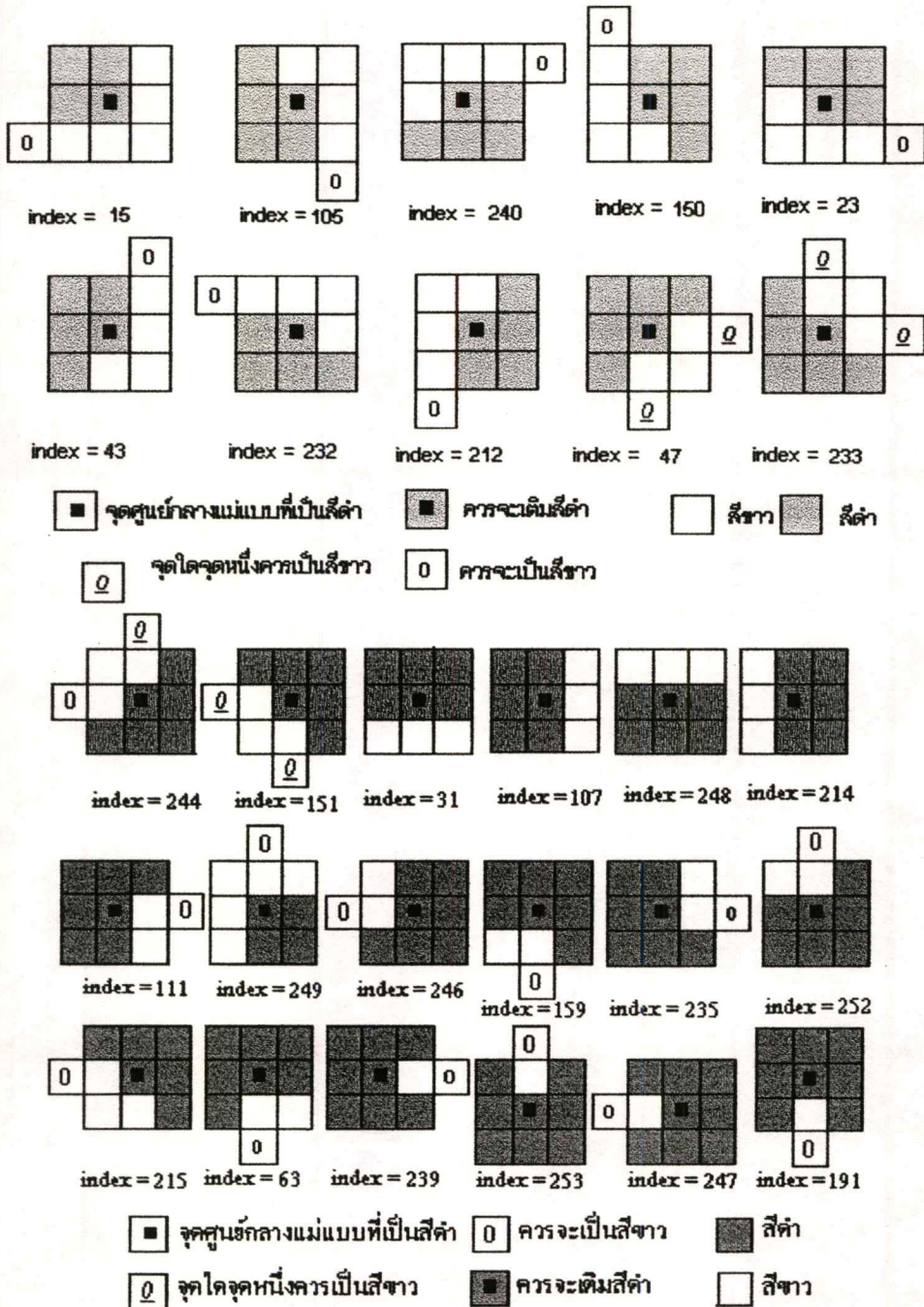
(6) ให้กลับไปทำตามขั้นตอนที่ 3-4 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีการลบจุดภาพใดๆ เกิดขึ้นอีก

ตารางที่ 2  
แสดงตารางที่ใช้ในการพิจารณาจุดปลอดภัย(safe-point)

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	2
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

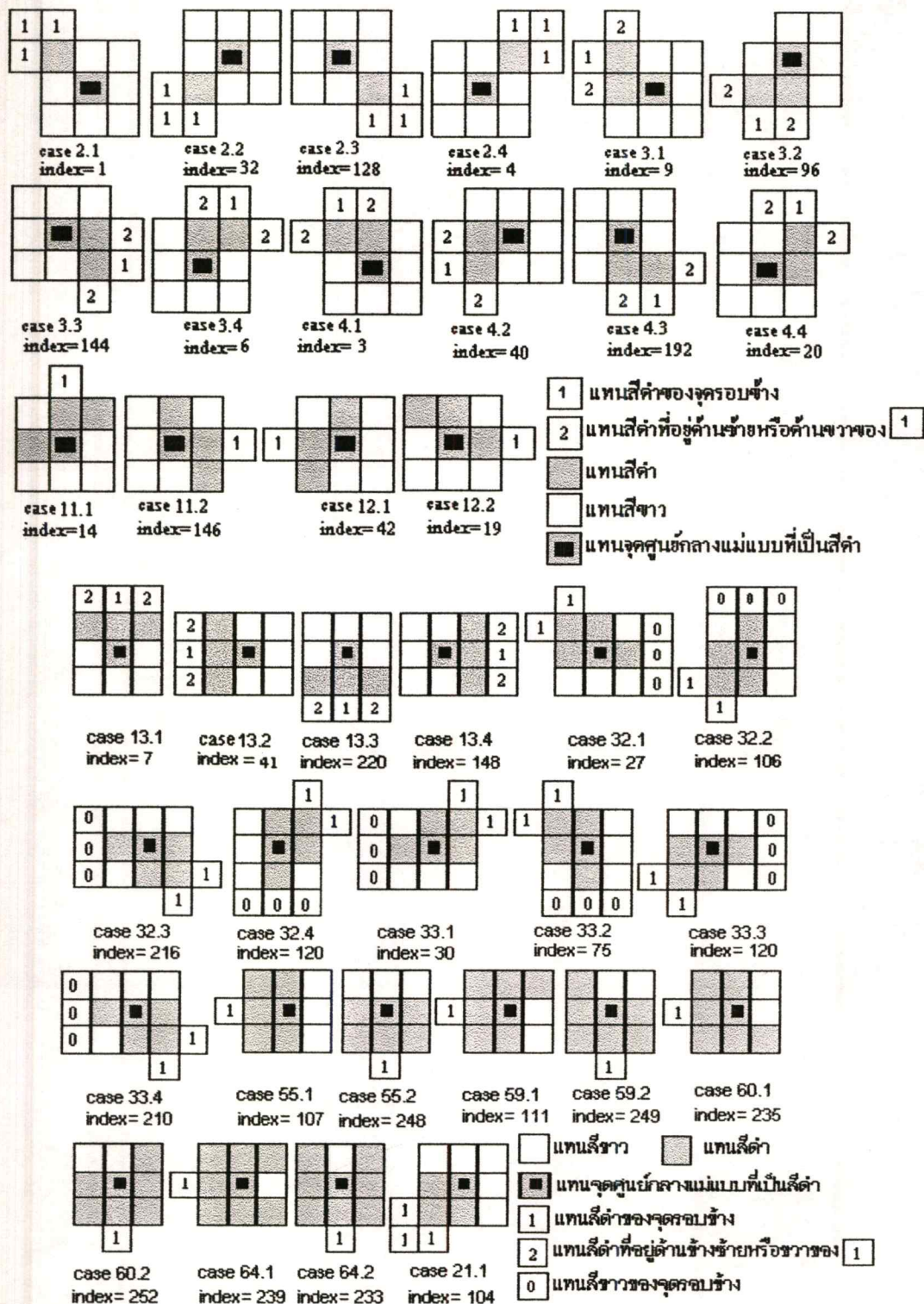
หมายเหตุ: (1) เลขชายธงมีค่า 1 บอกให้รู้ว่า สามารถลบจุดภาพได้ และเลขชายธงมีค่า 2 บอกให้รู้ว่า ควรจะทำการตรวจสอบจุดภาพกับแม่แบบแสดงเงื่อนไขในการลบ: (2) เลขดัชนีที่จะไม่อยู่ในรายการนี้จะเป็นจุดปลอดภัย

ภาพที่ 26



แสดงแม่แบบที่ใช้ในการดำเนินการกำจัดสัญญาณรบกวนบริเวณขอบลายเส้น

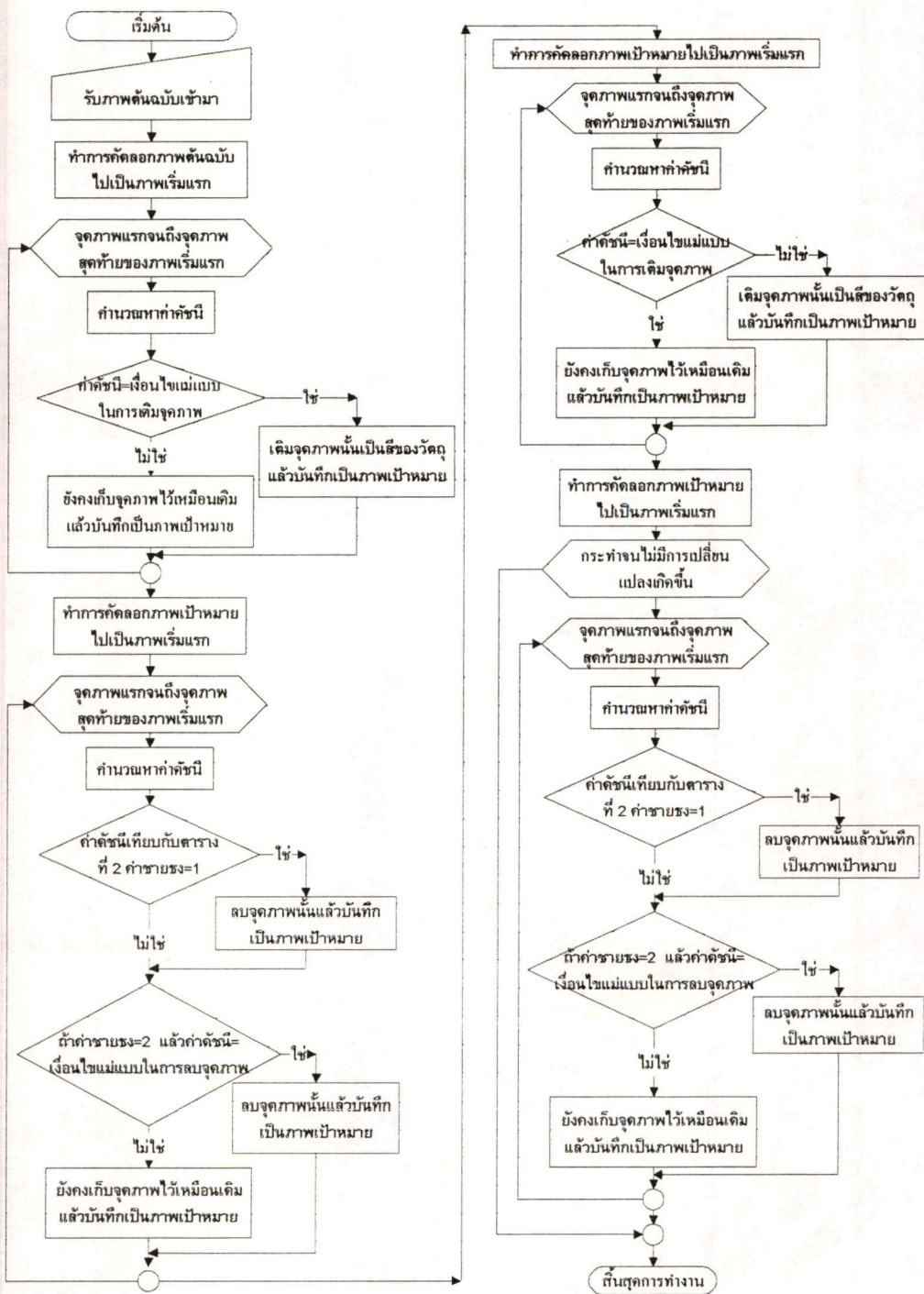
ภาพที่ 27



แสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพ

เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG นี้ไปเขียนขั้นตอนการทำงานอย่างคร่าวๆ ได้ตามภาพที่ 28

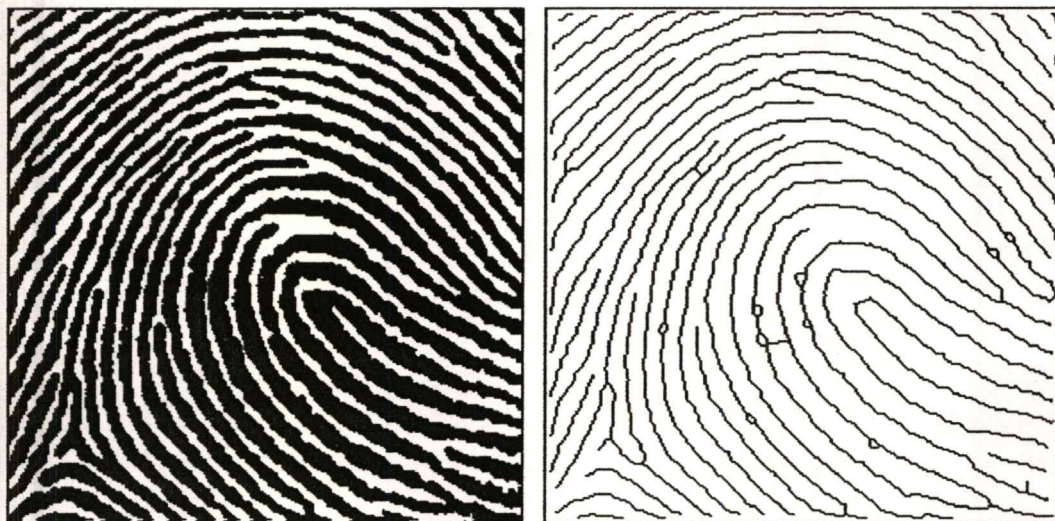
ภาพที่ 28



แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG นี้ไปทดลองใช้งานกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ได้ผลตามภาพที่ 29

ภาพที่ 29



(ก)

(ข)

แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 และ (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

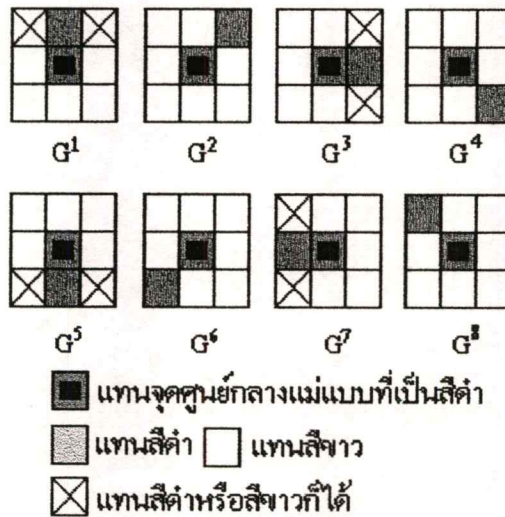
### 3.3.4 ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T.

CHIN<sup>[4]</sup> ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง  $3 \times 3$

สำหรับขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางโดยวิธีนี้ จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ ขั้นตอนที่ 1 จะทำการลบแต่งสัญญาณรบกวนที่อยู่บริเวณขอบภาพ ซึ่งจะทำการกำจัดจุดภาพที่เป็นสัญญาณรบกวนออกทั้ง 8 ทิศคือ ทิศเหนือ, ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ทิศตะวันออก, ทิศตะวันออกเฉียงใต้, ทิศใต้, ทิศตะวันตกเฉียงใต้, ทิศตะวันตก, ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ โดยใช้โครงสร้างแม่แบบ  $G$  ที่มีขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  นั่นคือ  $G = \{G^1, G^2, G^3, G^4, G^5, G^6, G^7, G^8\}$  ซึ่งได้แสดงไว้ในภาพที่ 30 ในขั้นตอนที่ 2 เป็นการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งประกอบด้วย 4 รอบย่อยๆ โดยในแต่ละรอบย่อยๆ จะใช้โครงสร้างแม่แบบขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  เพื่อกำจัดจุดขอบภาพตามทิศทางต่างๆ โดยจะใช้โครงสร้างแม่แบบ 4 แบบตามลำดับ โดยในแต่ละรอบจะทำการกำจัดจุดขอบภาพออกตามทิศทางของโครงสร้างแม่แบบ  $D$  ทั้ง 4 แบบ นั่นคือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ, ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ทิศตะวันตกเฉียงใต้, ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งได้แสดงไว้ในภาพที่ 31 ซึ่ง  $D = \{D^1, D^2, D^3, D^4\}$  และใช้โครงสร้างแม่แบบ  $E$  โดยจะเน้นการกำจัดจุดขอบภาพทางทิศเหนือ, ทิศตะวันออก, ทิศใต้

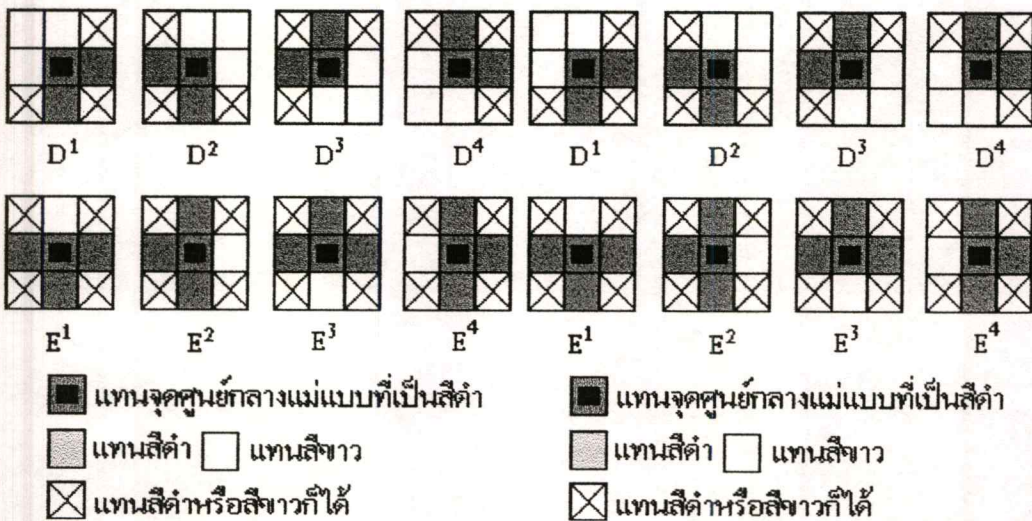
และทิศตะวันตก เพื่อทำการกำจัดจุดขอบภาพตามบริเวณหัวต่อ(กล่าวคือ จุดตัดของเส้นตรง 2 เส้น) ซึ่งใช้โครงสร้างแม่แบบ E ทั้ง 4 แบบ นั่นคือ  $E = \{E^1, E^2, E^3, E^4\}$  ซึ่งได้แสดงไว้ในภาพที่ 31

ภาพที่ 30



แสดงโครงสร้างแม่แบบที่ใช้ในการลบแต่ง

ภาพที่ 31



แสดงโครงสร้างแม่แบบที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บาง โดย D จะใช้ในการกำจัดจุดขอบภาพ ตามทิศทั้ง 4 และ E ใช้ในการกำจัดจุดบริเวณหัวต่อของสเกลเลตัน

สรุปขั้นตอนการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3 ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ

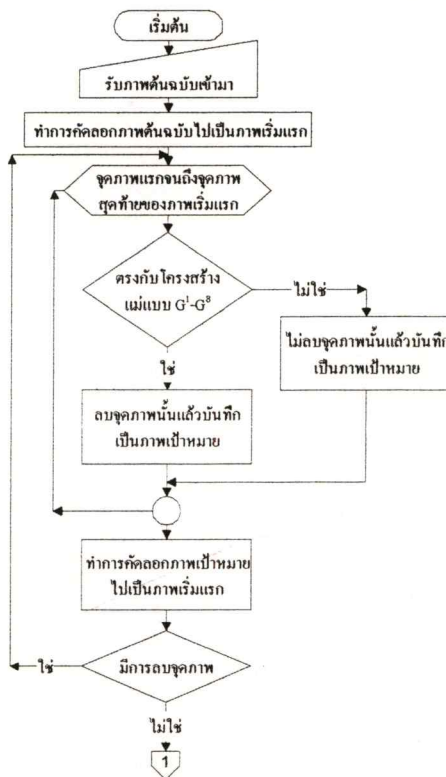
ขั้นตอนที่ 1 ทำการลบแต่งสัญญาณบริเวณขอบภาพ โดยใช้โครงสร้างแม่แบบ  $G^1-G^8$

ขั้นตอนที่ 2 ทำลายเส้นให้บาง โดยใช้โครงสร้างแม่แบบ D, E ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 4 รอบย่อยๆ คือ

- รอบที่ 1 กำจัดจุดภาพที่มีโครงสร้างตามแม่แบบ  $D^1, D^2, E^1$
- รอบที่ 2 กำจัดจุดภาพที่มีโครงสร้างตามแม่แบบ  $D^2, D^3, E^2$
- รอบที่ 3 กำจัดจุดภาพที่มีโครงสร้างตามแม่แบบ  $D^3, D^4, E^3$
- รอบที่ 4 กำจัดจุดภาพที่มีโครงสร้างตามแม่แบบ  $D^4, D^1, E^4$

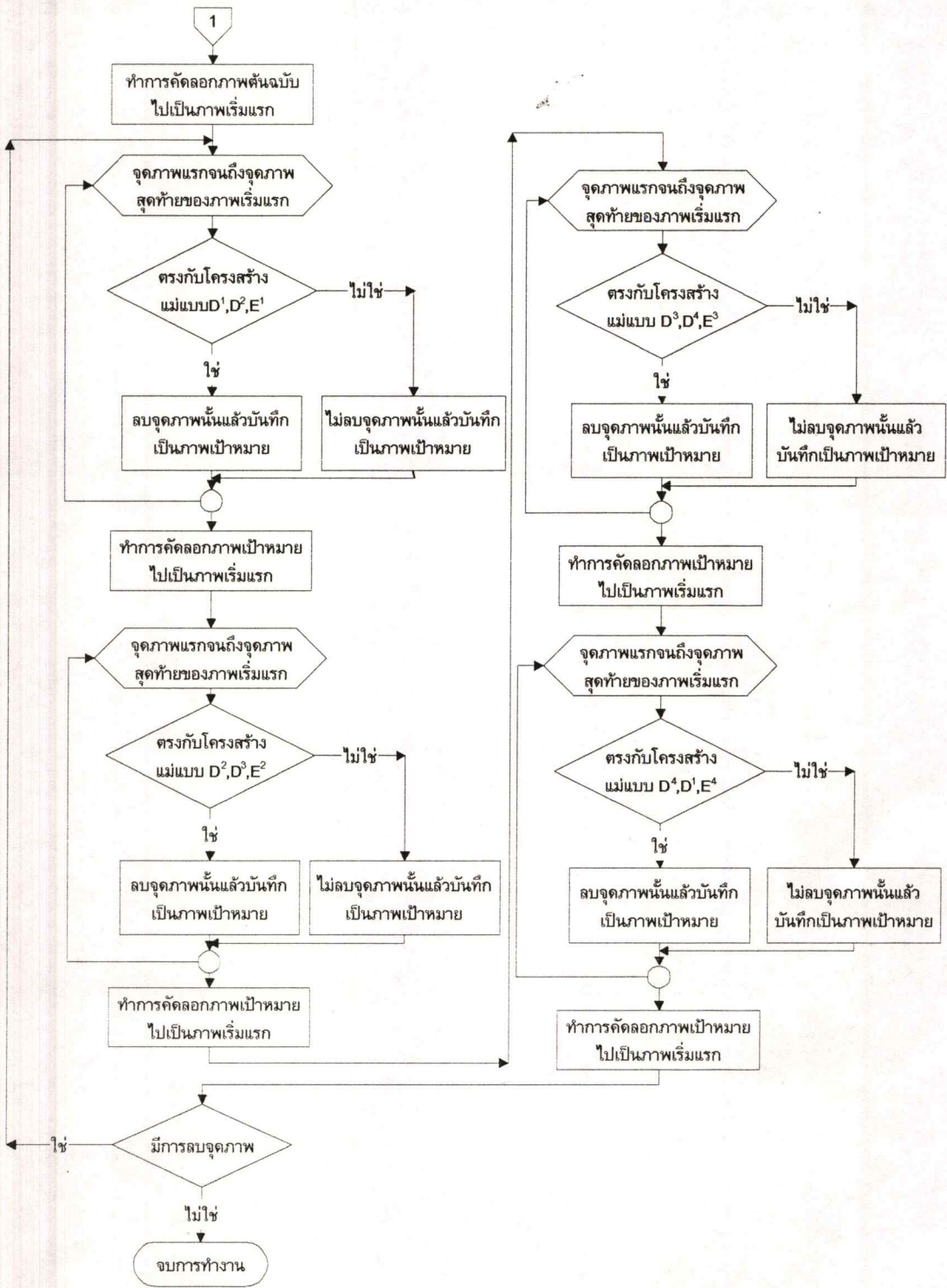
เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3 ไปเขียนขั้นตอนการทำงานอย่างคร่าวๆ ได้ตามภาพที่ 32

ภาพที่ 32



แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3

ภาพที่ 32(ต่อ)

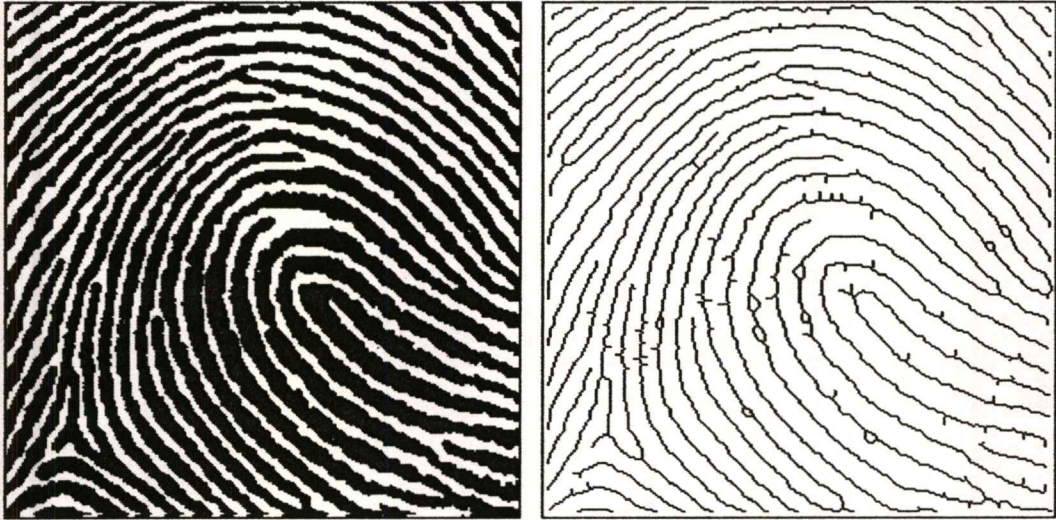


แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นไให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่ง

ใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3

เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้โครงสร้างแม่แบบขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  เป็นหลัก ไปทดลองใช้งานกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ได้ผลตามภาพที่ 33

ภาพที่ 33



(ก)

(ข)

แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 และ (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง  $3 \times 3$

### 3.3.5 ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin<sup>[5]</sup>

ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางวิธีนี้ ได้ออกแบบโดยยึดหลักตามกฎเกณฑ์ต่อไปนี้ คือ  
กฎเกณฑ์ที่ 1: ดำเนินการแบบวิธีขนานโดยใช้ทุกแม่แบบในการทำลายเส้นให้บางเพียงรอบเดียว (กล่าวคือ มีการตรวจสอบจุดภาพที่จะทำการลบกับแม่แบบทั้ง 30 แบบที่จะกล่าวถึงต่อไป)

กฎเกณฑ์ที่ 2: ค่าเชื่อมต่อ ควรจะเก็บค่าไว้ทั้งค่าเชื่อมต่อแบบ  $4(S^\circ)$  และค่าเชื่อมต่อแบบ  $8(S)$

กฎเกณฑ์ที่ 3: สเตกเลตันที่ได้ ควรจะไม่เปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนรูปและการหมุนตามมุม  $90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 360^\circ$

กฎเกณฑ์ที่ 4: สเตกเลตันควรจะประมาณ ได้ใกล้เคียงกับเส้นแกนกลาง

กฎเกณฑ์ที่ 5: สเตกเลตันที่ได้ ควรจะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนที่อยู่บริเวณขอบภาพ

ขั้นตอนวิธีที่จะกล่าวนี้ ให้ S เป็นส่วนประกอบที่เชื่อมต่อแบบ 8(8-connected component) โดยจะมีขั้นตอนในการทำลายเส้นให้บางแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ

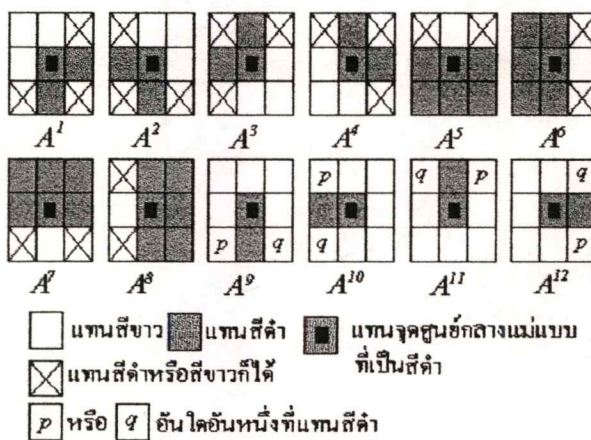
ขั้นตอนที่ 1 กำจัดทุกจุดภาพใน S ที่ตรงกับแม่แบบการทำลายเส้นให้บางอันใดอันหนึ่งของ  $A^1-A^{20}$  แต่จะเก็บจุดภาพที่ตรงกับแม่แบบในการเก็บค่า(restoring template)  $A^{21}-A^{30}$

ขั้นตอนที่ 2 กระทำขั้นตอนที่ 1 ซ้ำต่อเนื่องกันไป จนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นต่อไป

แม่แบบทั้ง 30 แบบได้แสดงไว้ในภาพที่ 34 โดยแม่แบบ  $A^1-A^{20}$  เป็นแม่แบบการทำลายเส้นให้บางเพื่อกำจัดจุดขอบภาพ รวมกันกับแม่แบบ  $A^{21}-A^{30}$  ซึ่งเป็นแม่แบบการเก็บ ได้ขบวนการทำลายเส้นให้บางเป็นแบบวิธีขนาน เป็นไปตามกฎเกณฑ์ข้อที่ 1 และในแต่ละแม่แบบ จะมีแม่แบบเพิ่มขึ้นมาจากการหมุนแม่แบบตามเข็มนาฬิกาเป็นมุม  $90^\circ, 270^\circ, 360^\circ$  ตรงตามกฎเกณฑ์ที่ 3

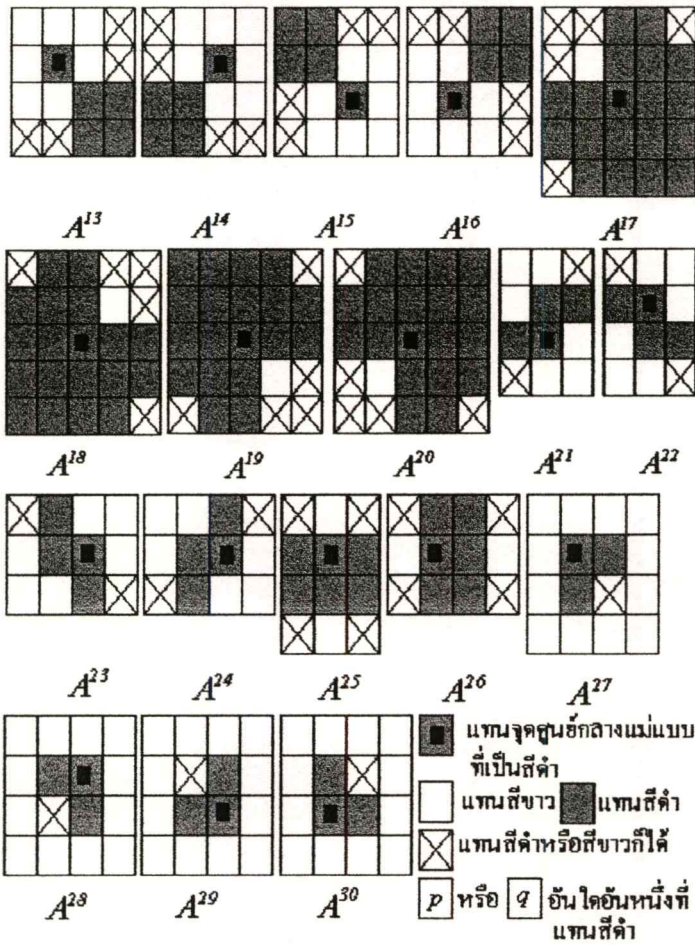
แม่แบบ  $A^1-A^4$  จะทำการกำจัดจุดมุมจาก 4 ทิศทางโดยที่แม่แบบ  $A^5-A^8$  จะทำการกำจัดจุดขอบภาพที่เชื่อมต่อแบบ 4(4-connected boundary pixel) ซึ่งจะกำจัดจุดภาพจากทุกทิศทาง ซึ่งได้ผลตามกฎเกณฑ์ที่ 5 โดยที่แม่แบบขนาดเมตริกซ์  $5 \times 5$  ของแม่แบบ  $A^{17}-A^{20}$  จะถูกนำมากำจัดจุดขอบภาพที่มุมทั่วไปตามขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง เป็นที่สังเกตได้ว่า กฎเกณฑ์ที่ 5 จะใช้ไม่ได้ผลในกรณีที่เป็นเส้นกึ่งที่มีความกว้าง 2 จุดภาพ (two-pixel-wide-limb) จะไม่สามารถทำให้บางตามศูนย์กลางสเกลเลตันแบบปิด(off-centered skeleton)ได้ เนื่องจากปัญหาของสแควร์กริดส์ สังเกตจากภาพที่ 35

ภาพที่ 34



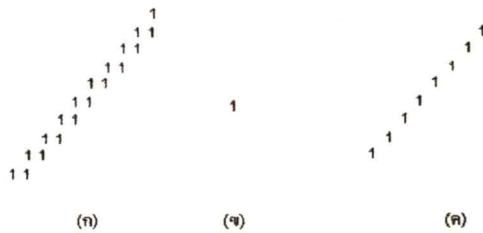
แสดงแม่แบบทั้ง 30 แบบที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บาง

ภาพที่ 34(ต่อ)



แสดงแม่แบบทั้ง 30 แบบที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บาง

ภาพที่ 35



(ก) เส้นทะแยงมุมที่มีความกว้าง 2 จุดภาพ, (ข) สเกลเลตันที่ได้ หลังจากที่ผ่านมาแม่แบบการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพโดยใช้แม่แบบ  $A^9 - A^{12}$  แบบวิธีตามลำดับ, (ค) รูปแบบของเส้นทะแยงมุมที่ได้ในการกระทำซ้ำเพียงครั้งเดียว โดยใช้ทุกแม่แบบ ซึ่งจะกระทำแบบวิธีขนาน

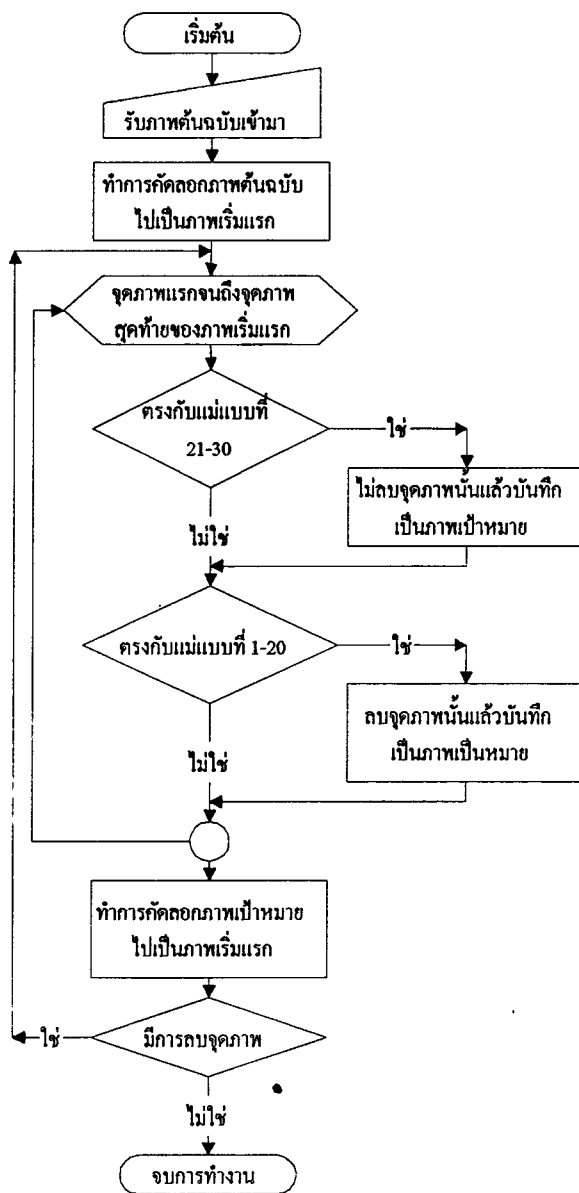
แสดงสเกลเลตันที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางกับเส้นกึ่งที่มีความกว้าง 2 จุดภาพ

เพื่อให้ได้ผลตามกฎเกณฑ์ที่ 5 กลุ่มของแม่แบบกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพ(noise-cleaning template)  $A^9-A^{16}$  จะถูกนำมาใช้ทำลายการเพิ่มจำนวนของสเกลเลตันที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพที่อาจจะเพิ่มขึ้นจากสัญญาณรบกวนในภาพตามบริเวณขอบภาพ ซึ่งจะถูกรับรูปแบบของภาพพร้อมกันกับแม่แบบการทำลายเส้นให้บางและแม่แบบการเก็บ โดยจะไม่เกิดโอเวอร์ซิงค์สเกลเลตัน (overshrink skeleton) จากแม่แบบที่แสดงจุดปลาย การโอเวอร์ซิงค์หรือการเกิดการกัดเซาะมากเกินไปเป็นความบกพร่องทั่วไปในขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่มีอยู่เดิมทั่วไป โดยที่จุดปลายจะถูกเก็บค่าไว้ ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 35 แม่แบบการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพ  $A^9-A^{16}$  เมื่อถูกใช้แบบวิธีตามลำดับ จะลดทอนรูปแบบเป็นจุดภาพโดด(single pixel) ซึ่งเมื่อถูกใช้ในแบบวิธีขนาน ตามกฎเกณฑ์ที่ 1 รูปแบบจะเบนเข้าหาเส้นทะแยงมุมในการกระทำซ้ำครั้งเดียวและจะไม่มีเกิดโอเวอร์ซิงค์เกิดขึ้น

ทุกแม่แบบจะถูกออกแบบเพื่อถูกนำมาใช้กับ S ตามกฎเกณฑ์ที่ 1 รูปแบบใดๆ ที่ตรงกับแม่แบบอันใดอันหนึ่งของแม่แบบ  $A^1-A^{20}$  จะถูกกำจัดจุดภาพที่อยู่ตรงจุดศูนย์กลางแม่แบบออกไป ซึ่งในการใช้งานแบบวิธีขนานของแม่แบบ  $A^1-A^{20}$  จะทำให้ค่าเชื่อมต่อของส่วนประกอบที่ถูกเชื่อมต่อ (connected component) ถูกทำลายไป เช่น สี่เหลี่ยมมุมฉากที่กว้าง 2 จุดภาพ(two-pixel-wide) จะสูญเสียความสมบูรณ์ไป ซึ่งไม่สามารถที่แก้ปัญหาค่าได้โดยใช้แม่แบบ  $3 \times 3$  เพื่อรักษาค่าเชื่อมต่อของสเกลเลตันตามกฎเกณฑ์ที่ 2 และในขณะเดียวกัน ให้ได้ผลตามกฎเกณฑ์ที่ 1 กลุ่มของแม่แบบการเก็บขนาดเมตริกซ์  $4 \times 4$  ของแม่แบบ  $A^{21}-A^{30}$  จะถูกนำมาใช้เพื่อทำการเก็บค่าจุดภาพที่อยู่ตรงจุดศูนย์กลางแม่แบบไว้

เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าตาที่แตกต่างกัน ไปเขียนขั้นตอนการทำงานอย่างคร่าวๆ ได้ตามภาพที่ 36

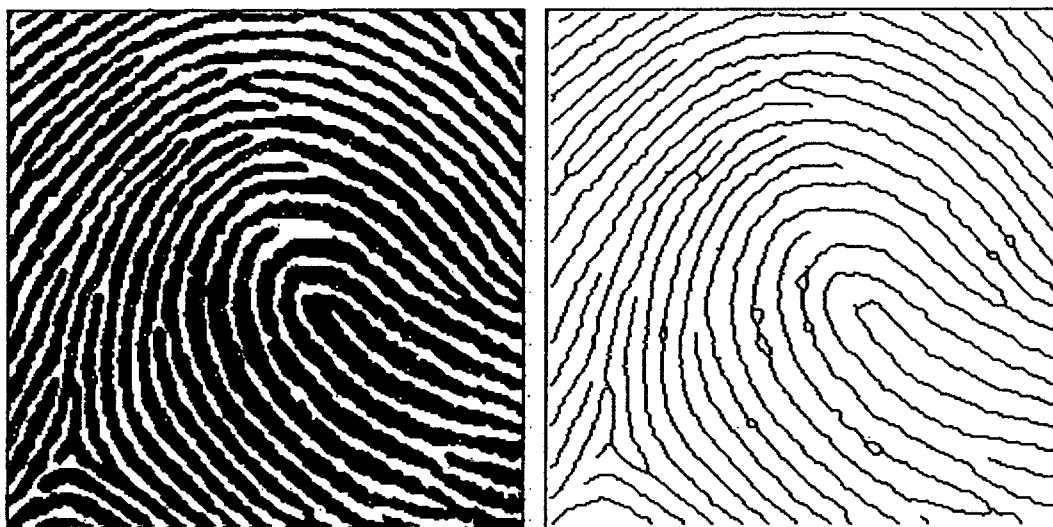
ภาพที่ 36



แสดงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบ  
ขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน

เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin  
แบบใช้โครงสร้างแม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน ไปทดลองใช้งานกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ได้  
ผลตามภาพที่ 37

ภาพที่ 37



(ก)

(ข)

แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 และ (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน

### 3.4 บทสรุป

จากที่ได้อธิบายมาข้างต้น ในการทำเทรซโฮลด์ภาพหรือการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสี เห็นได้ว่า การทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าแอนโทรปีสามารถนำมาใช้งานในการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำได้ดี และมีความสมบูรณ์ของสาระของภาพได้ดีกว่าการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลกอริทึม<sup>[22]</sup> ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพ และในการทำลายเส้นให้บาง จากขั้นตอนวิธีทั้ง 5 วิธีที่ได้อธิบายมา พบว่า ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen<sup>[1]</sup> และวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI<sup>[2]</sup> มีขั้นตอนที่ง่ายไม่ซับซ้อน อีกทั้งในขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI ใช้แม่แบบในการทำลายเส้นให้บางจำนวนน้อย ซึ่งทำให้เราคาดคะเนได้ว่า การทำลายเส้นให้บางทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมา ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย แต่เมื่อพิจารณาจากภาพลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen พบว่า มีบางส่วนของลายเส้นที่หนา และเมื่อพิจารณาจากภาพลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI พบว่า จะให้ลายเส้นที่บาง จึงทำให้เราทราบว่า การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI นั้นให้ผลที่ดีกว่าการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen นอกจากนี้เมื่อ

พิจารณาภาพลายเส้นที่ได้จากขั้นตอนการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG<sup>[3]</sup> จะมีเส้นกึ่งเกิดขึ้นน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนการทำลายเส้นให้บางทั้ง 5 วิธี ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาการทำลายเส้นให้บางแบบขนานวิธีใหม่ โดยทำการผสมผสานขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI กับการทำลายเส้นให้บางตามวิธี FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดในบทต่อไป

## บทที่ 4

### การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง

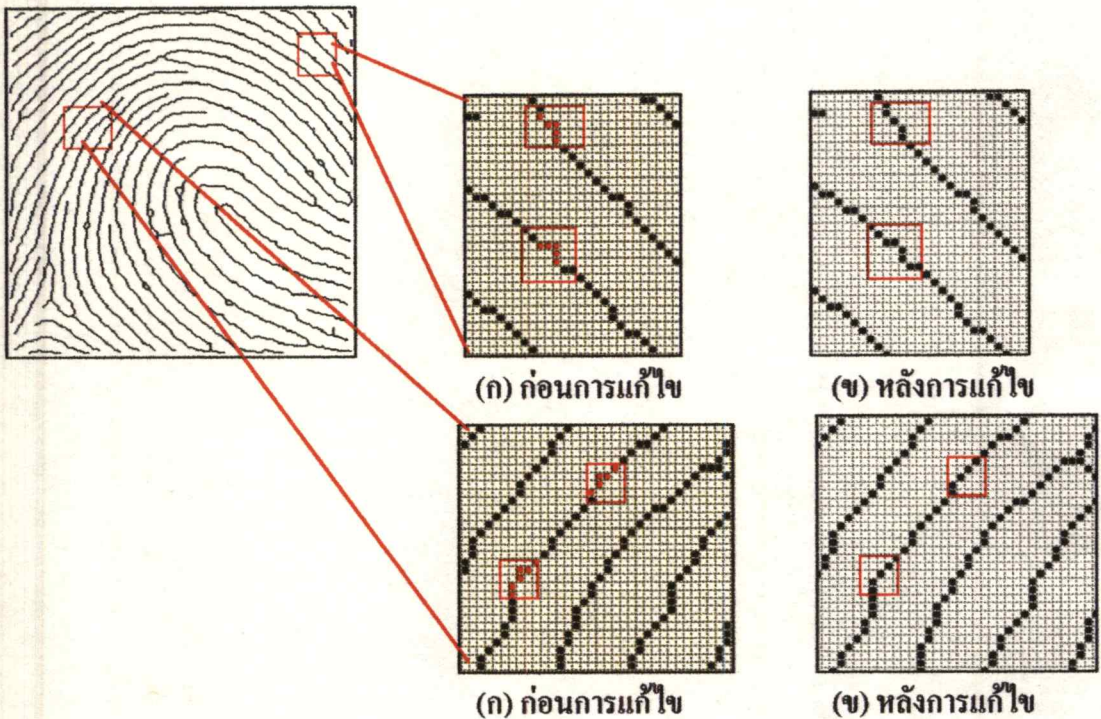
การทำลายเส้นให้บาง เป็นวิธีการลดทอนข้อมูลขนาดความกว้างของลายเส้นให้เหลือเพียง 1 จุดภาพ โดยที่ยังคงรักษาค่าการเชื่อมต่อของลายเส้นไว้เหมือนเดิม โดยภาพที่ได้เรียกว่า สเกเลตัน(skeleton) ซึ่งสเกเลตันที่เกิดขึ้นจากการทำลายเส้นให้บาง จะถือว่าดีหรือเลวนั้น มีหลักการในการพิจารณาตามคุณสมบัติ<sup>[3],[4]</sup> ดังต่อไปนี้

1. ยังคงรักษาค่าโทโปโลยีตามรูปแบบของวัตถุในภาพ
2. ควรจะยังคงรักษาค่าการเชื่อมต่อของลายเส้น
3. ควรจะไม่มีการกักเซาะมากเกินไป
4. ควรจะทำการลบจุดภาพได้อย่างสมมาตร
5. จะต้องเป็นเส้นแกนกลาง(medial axes) ของวัตถุในภาพ
6. จะต้องมีความหนาของลายเส้นเพียงจุดเดียว หรือบางที่สุคเท่าที่จะทำได้
7. ควรจะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ตามขอบภาพที่ไม่ราบเรียบ หรือ โผล่ยื่นออกมา
8. ถ้าเป็นไปได้ ควรมีจำนวนรอบของการกระทำซ้ำของการทำลายเส้นให้บาง เพียง 2-3 รอบ

เท่าที่ผ่านมา ยังไม่พบขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางวิธีใดที่ทำงานได้ครบตามคุณสมบัติที่กล่าวมาทั้ง 8 ข้อ โดยส่วนมาก ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางวิธีใดๆ ยังไม่มีวิธีใดที่มีคุณสมบัติตามข้อที่ 7 ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะเน้นขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ที่มีคุณสมบัติตามข้อที่ 7 และเกิดเส้นกึ่งน้อยกว่าวิธีอื่น ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางของ A. DATTA and S. K. PARUI ซึ่งมีจุดเด่นคือ รวดเร็วและทำการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพได้ดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงขอเสนอการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งเกิดจากการรวมเอาการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG กับวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI จากการสังเกตภาพลายเส้นที่ได้จากวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG พบว่า มีบางส่วนของลายเส้นที่มีความหนาอยู่ (ยกตัวอย่างเช่น ภาพที่ 38 (ก)) ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI มาทำลายเส้นให้บางมากยิ่งขึ้น(ดังภาพที่ 38 (ข)) ซึ่งในการทำลายเส้นให้บางตามวิธี FRANK Y. SHIH and

WAI-TAK WONG และวิธีของ A. DATTA and WAI-TAK WONG ได้ทำการคัดแปลงขั้นตอนบางอย่าง และได้เพิ่มเติมขั้นตอนการทำรีโพรเซสหรือการปรับแต่งภาพให้สมบูรณ์ โดยทำการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ภายในลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ และการทำโพสโพรเซสหรือการตกแต่งภาพ โดยเพิ่มเติมขั้นตอน คือ การทำลายเส้นหยักในภาพให้เรียบ, การกำจัดเส้นสะพาน, เส้นกิ่ง และเส้นสั้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีติดตามลายเส้น, การกำจัดจุด ที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ, การกำจัดเส้นขาด ซึ่งใช้วิธีการเชื่อมต่อเส้นขาด โดยใช้ขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮม ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้จากการทดลองใช้งานการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ปรากฏว่า ใช้งานได้ดีและให้ค่าความถูกต้อง

ภาพที่ 38



ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่ได้ผ่านการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG, (ก) บางส่วนของภาพลายเส้นที่ยังคงมีความหนาอยู่ (ลายเส้นสีแดง) ซึ่งสังเกตจากภาพ พบว่า 2 รูปแบบและ (ข) บางส่วนของลายเส้นของ (ก) ที่ได้นำมาผ่านการทำลายเส้นให้บางตามวิธี A. DATTA and S. K. PARUI เพื่อให้มีความบางของลายเส้นมากยิ่งขึ้น

แสดงบางส่วนของภาพลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ที่ยังคงมีความหนาอยู่

การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่คิดพัฒนาขึ้นมาใช้งานเอง<sup>[29]</sup>

จะมีขั้นตอนในการทำงาน ซึ่งประกอบด้วย 7 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

4.1 การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพ(noise) ที่อยู่ภายในลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

4.2 การทำลายเส้นให้บาง ซึ่งได้คัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธี

ของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG<sup>[3]</sup>

4.3 การทำลายเส้นให้บาง ซึ่งได้คัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธี

ของ A. DATTA and S. K. PARUI<sup>[2]</sup>

4.4 การทำลายเส้นหยักในภาพให้เรียบ

4.5 การกำจัดเส้นสะพาน, เส้นกึ่ง และเส้นสั้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีคิดตามลายเส้น<sup>[17], [28]</sup>

4.6 การกำจัดจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

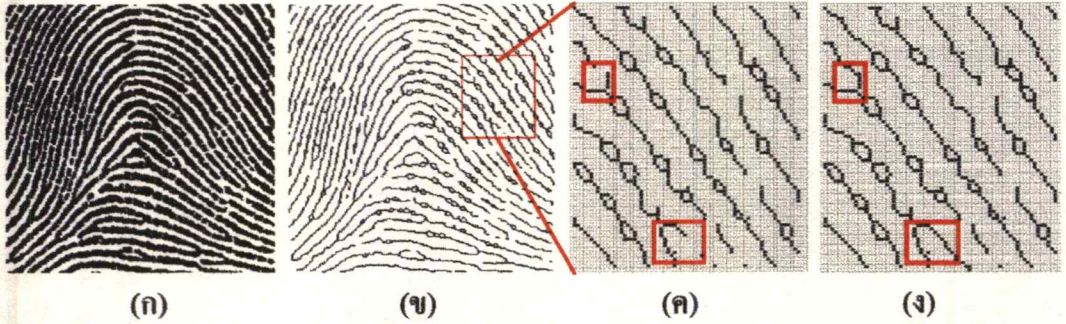
4.7 การกำจัดเส้นขาด ซึ่งใช้วิธีการเชื่อมต่อเส้นขาด โดยใช้ขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮม<sup>[20]</sup>

ซึ่งขั้นตอนในการทำงานของการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางนี้ จะแบ่งการทำงานเป็น 2 แบบด้วยกันคือ ในขั้นตอนที่ 4.1-4.4 มีการทำงานโดยคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติ ส่วนขั้นตอนที่ 4.5-4.7 นั้น จะใช้บุคคลเป็นผู้ตัดสินใจช่วยในกำหนดบริเวณที่จะทำการกำจัดเส้นกึ่ง, กำจัดเส้นสั้น, กำจัดจุด, กำจัดเส้นขาด และการกำจัดเส้นสะพาน ใช้บุคคลเป็นผู้กำหนดจำนวนครั้งของจุดภาพในการติดตามลายเส้น ในขั้นตอนของการกำจัดเส้นสะพาน หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์ จะทำการกำจัดเส้นกึ่ง, กำจัดเส้นสั้น, กำจัดจุด และกำจัดเส้นขาดเหล่านี้ โดยอัตโนมัติ ซึ่งจะได้อธิบายขั้นตอนอย่างละเอียดต่อไป

ในการกำจัดเส้นสะพาน, เส้นกึ่ง, เส้นสั้น, จุด และเส้นขาด จะใช้บุคคลเป็นผู้ตัดสินใจช่วยในการกำหนดบริเวณที่จะทำการกำจัด ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลที่ได้ ตามทฤษฎีลายนิ้วมือ จะมีจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่เป็นคำหีบับนลายนิ้วมือ เช่น จุด, เส้นแตก, เส้นขาด, เส้นทะเลยาว(ภาพที่ 2 หน้าที่ 10) และเส้นสั้น ยังใช้ในการหาตำแหน่งของสันคอน(ภาพที่ 4 หน้าที่ 11) ดังนั้นเส้นขาด, เส้นสั้น, จุด เหล่านี้จึงเป็นลายเส้นที่มีอยู่จริงบนลายนิ้วมือ จึงไม่ควรถูกลบ แต่เส้นขาด, เส้นสั้น, จุด ที่ไม่มีอยู่จริง แต่เกิดจากการเลอะเทอะของหมึกพิมพ์ ควรจะถูกกำจัดออกไป ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้บุคคลเป็นผู้ตัดสินใจช่วยในการกำหนดบริเวณที่จะทำการกำจัด โดยเปรียบเทียบภาพลายเส้นที่ได้กับภาพขาวดำ และใช้ทักษะของผู้เชี่ยวชาญประกอบ ในการกำจัดเส้นกึ่ง ไม่สามารถทำเป็นอัตโนมัติได้ เนื่องจาก ในการพิจารณาภาพลายเส้น บางบริเวณที่เป็นเส้นกึ่ง จะเป็นเส้นกึ่งปลอม ที่เกิดจากการขาดหายของหมึกพิมพ์ ซึ่งไม่ใช่เส้นกึ่งจริงๆ ดังภาพที่ 39 ดังนั้นในการ

กำจัดเส้นกึ่ง ในงานวิจัยนี้จึงใช้บุคคลเป็นผู้ตัดสินใจช่วยในการกำหนดบริเวณที่จะทำการกำจัด โดยทำการเปรียบเทียบภาพลายเส้นที่ได้กับภาพขาวดำ และใช้ทักษะของผู้เชี่ยวชาญประกอบ

ภาพที่ 39



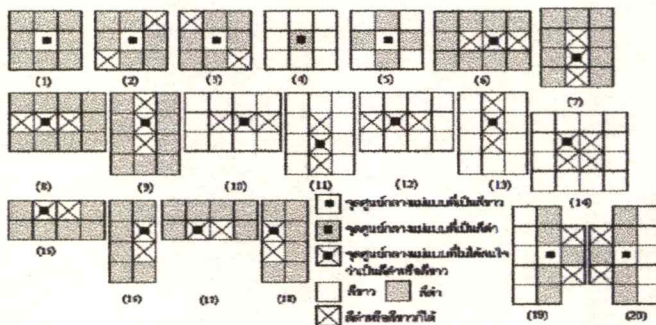
(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โค้งกระโอม ตัวอย่างที่ 3, (ข) ภาพลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG, (ค) บางส่วนของลายเส้นที่เกิดเส้นกึ่งปลอม ซึ่งเกิดจากการขาดหายของหมึกพิมพ์, (ง) เส้นกึ่งปลอมที่เกิด จะถูกแก้ไขเป็นเส้นแยกเมื่อทำการเปรียบเทียบกับภาพขาวดำ ซึ่งอาศัยทักษะและความเชี่ยวชาญของตัวบุคคล

แสดงการเกิดเส้นกึ่งปลอมที่ไม่ควรกำจัด ซึ่งเกิดจากการขาดหายของหมึกพิมพ์

#### 4.1 การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพ(noise) ที่อยู่ภายในลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

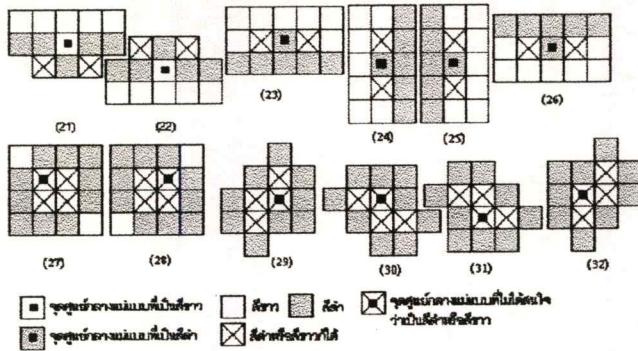
จากการพิจารณาลักษณะลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่เป็นภาพขาวดำ จะพบว่า บางลายเส้นจะมีช่องโหว่(hole) เกิดขึ้น ซึ่งหากไม่ทำการกำจัดออกไป เมื่อนำไปผ่านการทำลายเส้นให้บาง จะทำให้ได้ภาพลายเส้นที่มีเส้นลูปเกิดขึ้น ซึ่งเส้นลูปนี้เป็นมิมูเทียปลอมของลายนิ้วมือ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการพิจารณาบริเวณลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่เป็นภาพขาวดำ แล้วสร้างแม่แบบเพื่อทำการกำจัดช่องโหว่ออกไป โดยได้แม่แบบจากการสุ่มทดลอง ดังภาพที่ 40

ภาพที่ 40



แสดงแม่แบบที่ใช้ในการดำเนินการกำจัดสัญญาณรบกวนภายในลายเส้น

ภาพที่ 40(ต่อ)

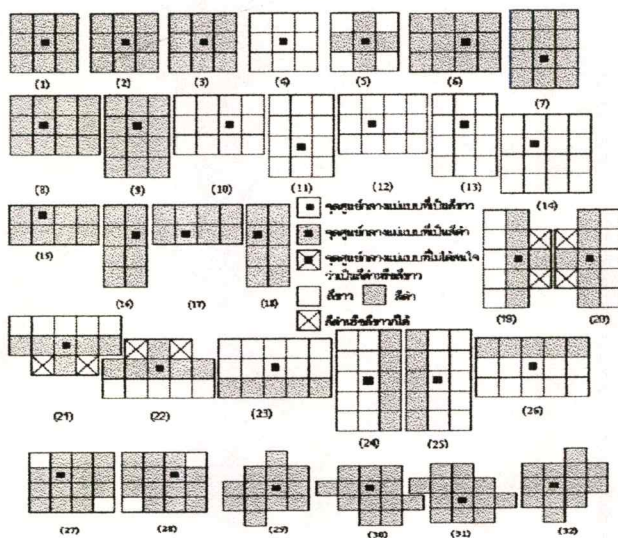


แสดงแม่แบบที่ใช้ในการดำเนินการกำจัดสัญญาณรบกวนภายในลายเส้น

ช่องโหว่ที่อยู่ภายในลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่เป็นภาพขาวดำ จะถูกนิยามให้เป็นสัญญาณรบกวนภายในลายเส้น ซึ่งจะถูกกำจัดโดยใช้แม่แบบทั้ง 32 แบบในภาพที่ 40 โดยจะมีขั้นตอนในการกำจัดสัญญาณรบกวนภายในลายเส้นคือ

1. ทำการตรวจหาจุดภาพที่มีโครงสร้างของจุดรอบข้างตามแม่แบบ 1-32 ในภาพที่ 40
2. ทำการเปลี่ยนแปลงจุดรอบข้างของจุดภาพและจุดภาพที่กำลังพิจารณาในขณะนั้น ให้มีโครงสร้างของจุดรอบข้างและจุดภาพที่กำลังพิจารณาตามแม่แบบ 1-32 ในภาพที่ 41
3. กลับไปทำตามขั้นตอนที่ 1-2 จนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นในภาพ หรือมีจำนวนรอบในการทำทั้งภาพไม่เกิน 4 รอบ(จากการทดลองใช้งาน คำนี้อาจให้ผลดีที่สุด)

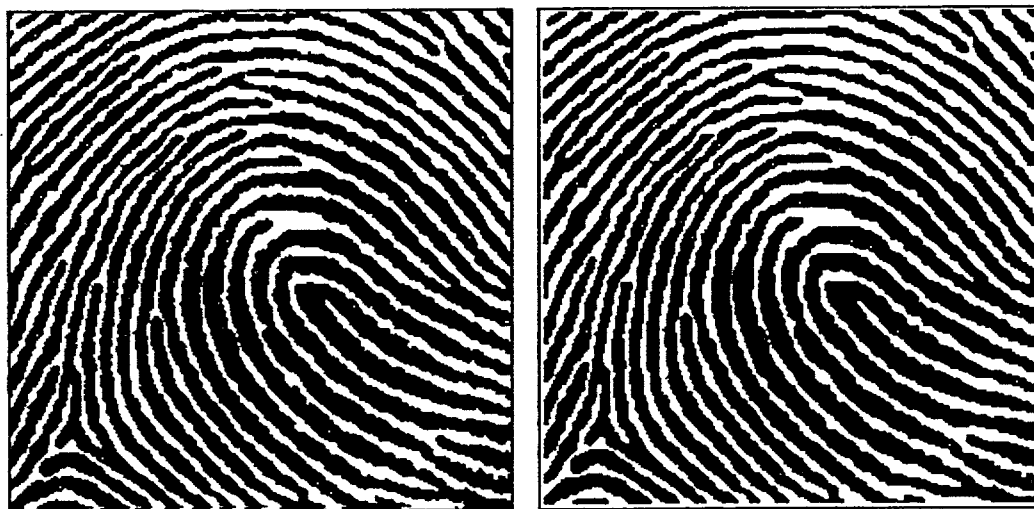
ภาพที่ 41



แสดงแม่แบบที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนภายในลายเส้น

เมื่อนำแม่แบบที่ใช้ในการดำเนินการกำจัดสัญญาณรบกวนภายในลายเส้นไปทดลองใช้  
งานกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ พบว่า สามารถกำจัดช่องโหว่ที่อยู่ภายในลายเส้น ได้อย่างดี

ภาพที่ 42



(ก)

(ข)

แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหว่ายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1, (ข) ภาพที่ผ่านการกำจัดสัญญาณ  
รบกวนที่อยู่ภายในลายเส้น

#### 4.2 การทำลายเส้นให้บาง ซึ่งดัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG<sup>[3]</sup>

ในขั้นตอนนี้ ได้ทำการดัดแปลงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ซึ่งจะมีขั้นตอนอย่างคร่าวๆ ดังนี้ คือ

1. คำนวณค่าเลขดัชนีของจุดภาพแต่ละจุดในภาพ ซึ่งมีวิธีการในการคำนวณตามภาพที่ 25 (ข)

2. ทำการตรวจสอบค่าเลขดัชนีกับตารางที่ 2 เพื่อหาค่าชายธง(flag number) เมื่อพิจารณาค่าแล้ว เห็นว่ามีค่าชายธงเป็น “1” ให้ทำการลบจุดภาพในขณะนั้น แต่ถ้าค่าชายธงมีค่าเป็น 2 แล้ว ให้ทำการตรวจสอบดูว่า จุดภาพในขณะนั้นมีตำแหน่งของจุดรอบข้างตาม โครงสร้างของแม่แบบ แสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพ ซึ่งอยู่ในภาพที่ 27 หรือไม่ ถ้าจุดภาพในขณะนั้นมีตำแหน่งของจุดรอบข้างตาม โครงสร้างของแม่แบบอันใดอันหนึ่งของแม่แบบแสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพ ให้ทำการลบจุดภาพในขณะนั้น ถ้าไม่ตรงตามแม่แบบอันใดอันหนึ่งของแม่แบบแสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพ ก็ไม่ต้องลบจุดภาพนั้น

3. คำนวณหาค่าเลขดัชนีของจุดภาพของวัตถุแต่ละจุด ซึ่งมีวิธีการในการคำนวณตามภาพที่ 25 (ข)

4. ถ้าค่าเลขดัชนีตรงกับแม่แบบที่ใช้ในการคำนวณการกำจัดสัญญาณรบกวนบริเวณขอบลายเส้น ซึ่งอยู่ในภาพที่ 26 ให้เติมจุดภาพตรงกลางให้เป็น “1”

5. กลับไปทำข้อที่ 3

6. ทำการตรวจสอบค่าเลขดัชนีกับตารางที่ 2 เพื่อหาค่าชายธง(flag number) เมื่อพิจารณาค่าแล้ว เห็นว่ามีค่าชายธงเป็น “1” ให้ทำการลบจุดภาพในขณะนั้น แต่ถ้าค่าชายธงมีค่าเป็น 2 แล้วให้ทำการตรวจสอบดูว่า จุดภาพในขณะนั้นมีตำแหน่งของจุดรอบข้างตามโครงสร้างของแม่แบบแสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพ ซึ่งอยู่ในภาพที่ 27 หรือไม่ ถ้าจุดภาพในขณะนั้นมีตำแหน่งของจุดรอบข้างตามโครงสร้างของแม่แบบอันใดอันหนึ่งของแม่แบบแสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพ ให้ทำการลบจุดภาพในขณะนั้น ถ้าไม่ตรงตามแม่แบบอันใดอันหนึ่งของแม่แบบแสดงเงื่อนไขในการลบจุดภาพ ก็ไม่ต้องลบจุดภาพนั้น

7. ให้กลับไปทำตามขั้นตอนที่ 5-6 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีการลบจุดภาพใดๆ เกิดขึ้นอีก

#### 4.3 การทำลายเส้นให้บาง ซึ่งได้ดัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI<sup>[2]</sup>

ในขั้นตอนนี้ ได้ทำการดัดแปลงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธี A. DATTA and S. K. PARUI ซึ่งจะมีขั้นตอนอย่างคร่าวๆ เป็น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการพิจารณาเพื่อลบจุดภาพ โดยมีเงื่อนไขการพิจารณาเพื่อลบจุดภาพ(ซึ่งจะทำการพิจารณาทีเดียวทุกเงื่อนไข ในขณะที่ทำการพิจารณาเพื่อลบจุดภาพเพียง 1 จุดภาพนั้น) คือ

ลบจุดภาพที่ตรงกับแม่แบบ (ก) โดยไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดวิกฤติตามทฤษฎีที่ 1 ก. และไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดปลายตามทฤษฎีที่ 2 ก.(หน้าที่ 41)

ลบจุดภาพที่ตรงกับแม่แบบ (ข) โดยไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดวิกฤติตามทฤษฎีที่ 1 ข. และไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดปลายตามทฤษฎีที่ 2 ข.(หน้าที่ 41)

ลบจุดภาพที่ตรงกับแม่แบบ (ค) โดยไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดวิกฤติตามทฤษฎีที่ 1 ค. และไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดปลายตามทฤษฎีที่ 2 ค.(หน้าที่ 41)

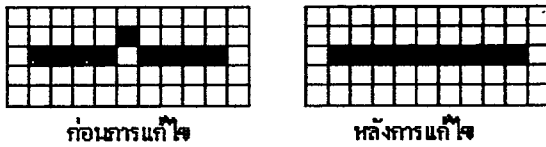
ลบจุดภาพที่ตรงกับแม่แบบ (ง) โดยไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดวิกฤติตามทฤษฎีที่ 1 ง. และไม่ลบจุดภาพที่เป็นจุดปลายตามทฤษฎีที่ 2 ง.(หน้าที่ 41)

ขั้นตอนที่ 2 กลับไปทำขั้นตอนที่ 1 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีการลบจุดภาพเกิดขึ้น

4.4 การทำลายเส้นหยักในภาพให้เรียบ

เมื่อได้ทำการพิจารณาจากภาพลายเส้นที่ได้จากการผ่านขั้นตอนที่ 4.1-4.3 พบว่า มีบางลายเส้นที่มีลักษณะเป็นเส้นหยักเกิดขึ้น จากการสังเกตภาพตัวอย่างของการทำลายเส้นขอบให้บางตามวิธีของ SUSAN<sup>[19]</sup> ในภาพตัวอย่างจะมีบางลักษณะของลายเส้นตรงกับลักษณะลายเส้นของภาพลายเส้นที่เป็นเส้นหยัก ดังภาพที่ 43

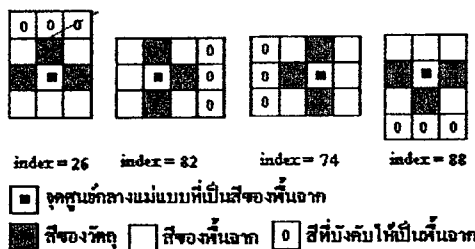
ภาพที่ 43



แสดงตัวอย่างลายเส้นบางส่วนที่ได้ตัดออกมาจากการทำลายเส้นขอบให้บางตามวิธีของ SUSAN จากภาพที่ 43 ผู้วิจัยได้สร้างแม่แบบขึ้นมา เพื่อทำการกำจัดลักษณะลายเส้นต่างๆ เหล่านี้ โดยอาศัยจากการพิจารณาลายเส้นเป็นหลัก ซึ่งได้แม่แบบทั้งหมด 4 แบบ แสดงไว้ในภาพที่ 44 ซึ่งจะมีขั้นตอนในการทำลายเส้นหยักในภาพให้เรียบ อย่างคร่าวๆ ดังนี้

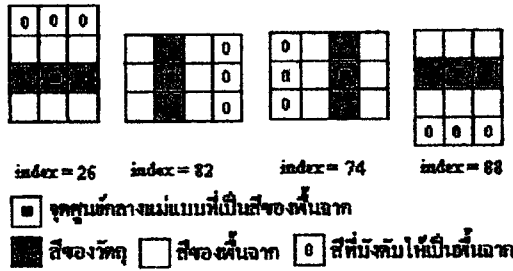
1. คำนวณหาค่าเลขดัชนีของจุดภาพแต่ละจุดในภาพ ซึ่งมีวิธีการในการคำนวณตามภาพที่ 25 (ข)
2. ตรวจสอบจุดภาพและจุดรอบข้างของจุดภาพที่กำลังพิจารณาว่ามีค่าดัชนีและโครงสร้างตามแม่แบบอันใดอันหนึ่งของภาพที่ 44 หรือไม่ ถ้าตรงกับแม่แบบอันใดอันหนึ่งของภาพที่ 44 ให้ทำการเปลี่ยนแปลงจุดรอบข้างของจุดภาพและจุดภาพที่กำลังพิจารณานั้นให้มีโครงสร้างตามแม่แบบที่อยู่ในภาพที่ 45
3. กลับไปทำตามขั้นตอนที่ 1-2 ไปจนกระทั่งครบทุกจุดภาพในภาพลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

ภาพที่ 44



แสดงแม่แบบในการทำลายเส้นหยักให้เรียบเป็นเส้นตรง

ภาพที่ 45




แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการเติมจุดภาพที่ตรงกับแม่แบบในการทำลายเส้นหยักให้เรียบเป็นเส้นตรง

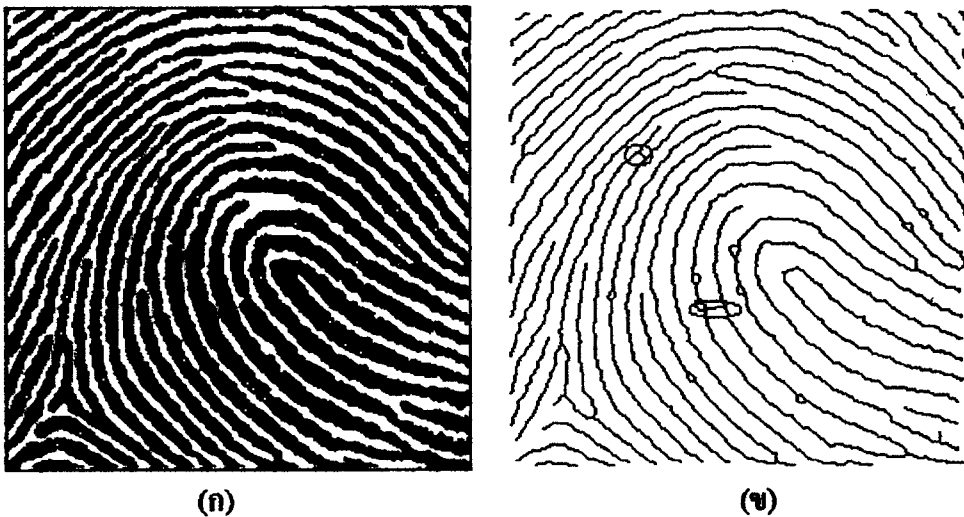
4.5 การกำจัดเส้นสะพานและเส้นกิ่งในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีติดตามลายเส้น

โดยจะขอแยกกล่าวในรายละเอียดเป็นส่วนๆ ไป ดังต่อไปนี้

ในส่วนที่ 1 เป็นการกำจัดเส้นสะพานในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีติดตามลายเส้น<sup>[28]</sup>

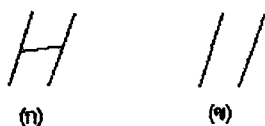
เมื่อพิจารณารูปภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ สังเกตจากภาพที่ 46 จะเห็นได้ว่ามีเส้นสะพานเกิดขึ้น (สังเกตจากภาพจะใช้สัญลักษณ์  ถัดมรอบบริเวณที่เกิดเส้นสะพาน) โดยเส้นสะพาน<sup>[12],[26]</sup> จะมีลักษณะเป็นลายเส้นสองลายเส้นที่อยู่ใกล้กันถูกต้องถึงกัน(ดูภาพที่ 47 ประกอบ) ซึ่งเป็นส่วนเกินที่จะต้องกำจัดออกไป โดยอาศัยจากการพิจารณาค่าโทโปโลยีของจุดภาพที่พิจารณาอยู่

ภาพที่ 46



แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมดห้วยปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมีขนาดภาพกว้าง 256 จุดภาพ ยาว 256 จุดภาพ, (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ที่มีเส้นสะพานเกิดขึ้น

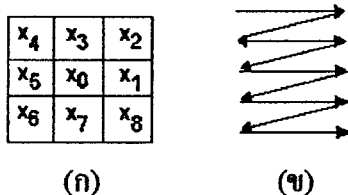
ภาพที่ 47



แสดงลักษณะเส้นสะพาน (ก) ก่อนการแก้ไข, (ข) หลังการแก้ไข

ในการสมการหาค่าโทโปโลยีของจุดภาพในรูปภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ จะทำการสมการจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา และจากด้านบนลงไปยังด้านล่างของรูปภาพ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 48 (ข) โดยในการพิจารณาค่าโทโปโลยี<sup>[16],[27]</sup> ของจุดภาพที่พิจารณาอยู่ จะเป็นการจำแนกเฉพาะค่าการเชื่อมต่อแบบ 4(4-connectivity) หรือการเชื่อมต่อแบบ 8(8-connectivity) เท่านั้น โดยใช้วินโดว์ขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  (ดังภาพที่ 48 (ก)) ครอบคลุมบริเวณจุดภาพที่ต้องการหา ซึ่งค่า  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_8$  เป็นค่าของทางดิจิทัลที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 ซึ่งเราจะพิจารณาเมื่อ  $x_0 = 1$  เท่านั้น

ภาพที่ 48



แสดง (ก) วินโดว์ขนาด  $3 \times 3$  และ (ข) ทิศทางในการสมการจุดภาพ

โดยสมการที่ใช้ในการหาค่าโทโปโลยีของจำนวนจุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อ (Connected Number-Nc) ของ  $x_0 = 1$  มีดังนี้

$$Nc^4 = \sum_{i \in S_1} (x_i - x_i x_{i+1} x_{i+2}) \quad (20)$$

$$Nc^8 = \sum_{i \in S_1} (\bar{x}_i - \bar{x}_i \bar{x}_{i+1} \bar{x}_{i+2}) \quad (21)$$

โดยที่  $S_1 = \{1, 3, 5, 7\}$

ค่าของ  $x_i$  เป็นตำแหน่งของจุดภาพต่างๆ ที่อยู่ในวินโดว์ขนาด  $3 \times 3$  ในภาพที่ 48 (ก) โดยค่าของ  $i$  จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 8 แต่จากสมการที่ 20, 21 ค่าของ  $i$  จะมีค่าเป็นสมาชิกของ  $S_1$  ซึ่ง  $i$  จะมีค่าได้ 4 ค่า คือ 1, 3, 5, 7 เมื่อค่าของ  $x_i \geq x_0$  ค่าจะถูกเปลี่ยนเป็น  $x_{i-8}$  ส่วนค่าของ  $\bar{x} = 1 - x$  และค่าด้วยกทางขวาที่อยู่เหนือ  $Nc$  ซึ่งก็คือค่าของ 4 หรือ 8 จะเป็นค่าที่บอกให้รู้ว่า เป็นค่าของจุด

ภาพที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 4 หรือแบบ 8 ตามลำดับ โดยสมการทั้งสองสามารถแบ่งแยกค่าทางโทโปโลยีของ  $x_0$  ได้ดังตารางที่ 3

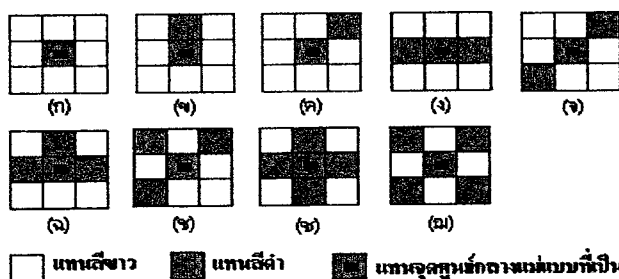
ตารางที่ 3

แสดงค่าโทโปโลยีของจุดภาพ

ค่าของ $Nc^4$ หรือ $Nc^8$	ค่าโทโปโลยีของจุดภาพ
0	Internal (จุดภายใน) หรือ isolate (จุดโดดเดี่ยว)
1	End (จุดปลาย)
2	Connect (จุดเชื่อมต่อ)
3	Branch (จุดแยก)
4	Cross (จุดตัด)

โดยที่จุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 4 จะเป็นการเชื่อมต่อของจุดภาพในแนวตั้ง และจุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 8 จะเป็นการเชื่อมต่อของจุดภาพในแนวเส้นทแยงมุมรวมกับจุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 4 ตามภาพที่ 49

ภาพที่ 49



(ก) แม่แบบขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ของจุดภาพที่มีค่า  $Nc^4 = 0$  หรือ  $Nc^8 = 0$

(ข), (ค) แม่แบบขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ของจุดภาพที่มีค่า  $Nc^4 = 1$  หรือ  $Nc^8 = 1$  ตามลำดับ โดยในแต่ละกรณี เมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ  $90^\circ$  จะได้เพิ่มกรณีละ 3 กรณี รวมทั้งสิ้น 8 กรณี

(ง), (จ) แม่แบบขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ของจุดภาพที่มีค่า  $Nc^4 = 2$  หรือ  $Nc^8 = 2$  ตามลำดับ โดยในแต่ละกรณี เมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ  $90^\circ$  จะได้เพิ่มกรณีละ 1 กรณี รวมทั้งสิ้น 4 กรณี

(ฉ), (ช) แม่แบบขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ของจุดภาพที่มีค่า  $Nc^4 = 3$  หรือ  $Nc^8 = 3$  ตามลำดับ โดยในแต่ละกรณี เมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ  $90^\circ$  จะได้เพิ่มกรณีละ 3 กรณี รวมทั้งสิ้น 8 กรณี

(ซ), (ฅ) แม่แบบขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ของจุดภาพที่มีค่า  $Nc^4 = 4$  หรือ  $Nc^8 = 4$  ตามลำดับ

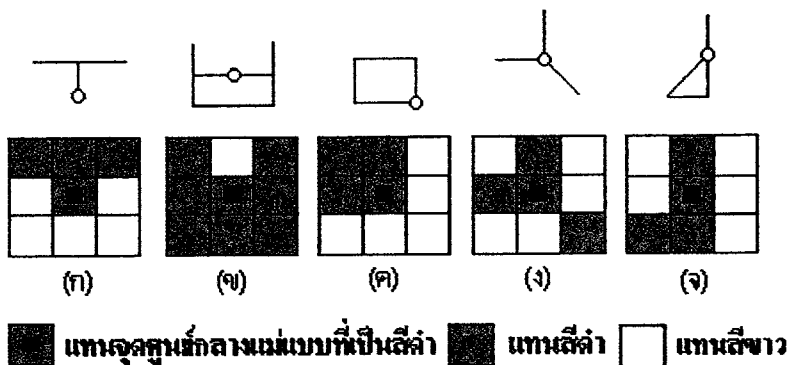
แสดงแม่แบบที่ใช้บอกโทโปโลยีต่างๆ ของจุดภาพ

ในทางปฏิบัติแล้ว ภาพคิติดอกจะประกอบด้วย จุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อทั้ง 2 ชนิด จึงไม่สามารถที่จะจำแนกความแตกต่างออกได้ทุกกรณี ซึ่งขอให้พิจารณาในภาพที่ 50

ค่าของ  $Nc^4$  และ  $Nc^8$  ของ  $x_0$  ในภาพที่ 50 (ก), 50 (ข), 50 (ค) คือค่าเดียวกัน กล่าวคือเป็นจุดปลาย แต่ค่าค่าโทโปโลยีจริงของ  $x_0$  ที่ได้จากการสังเกตของแม่แบบ ในภาพที่ 50 (ก), 50 (ข), 50 (ค) แตกต่างกัน คือในภาพที่ 50 (ก) ค่าโทโปโลยีของจุดปลาย แต่ค่าค่าโทโปโลยีของ  $x_0$  ในภาพที่ 50 (ข), 50 (ค) คือ จุดเชื่อมต่อ

เมื่อพิจารณาภาพที่ 50 (ง), 50 (จ) นั้น ค่าของ  $Nc^4$  และ  $Nc^8$  คือ จุดเชื่อมต่อ แต่ค่าค่าโทโปโลยีจริงของ  $x_0$  ทั้งสองต่างกัน ค่าค่าโทโปโลยีจริงของ  $x_0$  ที่ได้จากการสังเกตของแม่แบบ ในภาพที่ 50 (ง) คือ จุดแยก แต่ค่าค่าโทโปโลยีของ  $x_0$  ในภาพที่ 50 (จ) คือ จุดเชื่อมต่อ

ภาพที่ 50



แสดงตัวอย่างจุดภาพที่ไม่สามารถจำแนกได้โดยค่า  $Nc^4$  และ  $Nc^8$

ในภาพที่ 50(ง) เป็นตัวอย่างหนึ่งของค่าที่ถูกเชื่อมต่อแบบผสมผสาน(Mixed Connectivity) ซึ่งผสมเอาค่าที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 4 และแบบ 8 ไว้ด้วยกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ขึ้นมา ซึ่งคัดแปลงมาจากสมการที่ 20, 21 โดยมีการเปลี่ยนค่าสมาชิกของ  $S_1$  เป็น  $S_2$  ซึ่งมีรายละเอียด คือ

$$Nc^{4'} = \sum_{i \in S_2} (x_i - x_i x_{i+1} x_{i+2}) \tag{22}$$

$$Nc^{8'} = \sum_{i \in S_2} (\bar{x}_i - \bar{x}_i \bar{x}_{i+1} \bar{x}_{i+2}) \tag{23}$$

โดยที่  $S_2 = \{2,4,6,8\}$

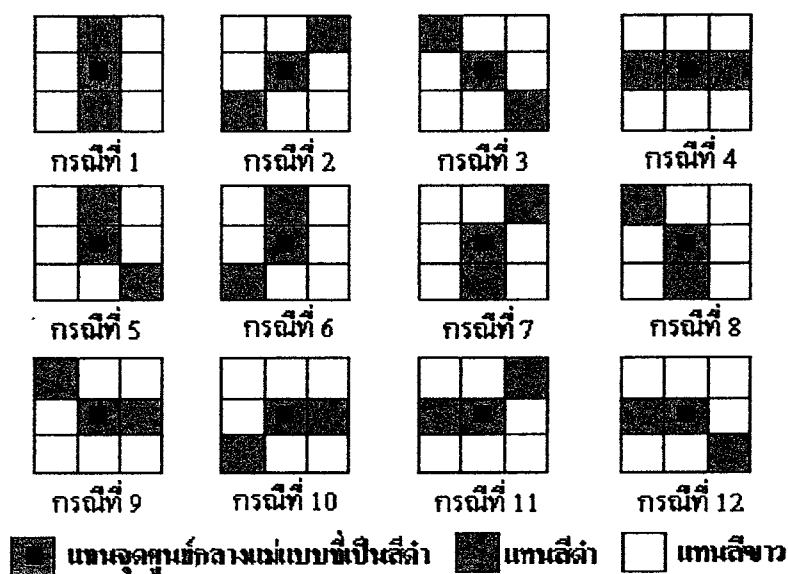
ค่าของ  $x_i$  เป็นตำแหน่งของจุดภาพต่างๆ ที่อยู่ในวินโดว์ขนาด  $3 \times 3$  ในภาพที่ 48 (ก) โดยค่าของ  $i$  จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 8 แต่จากสมการที่ 22, 23 ค่าของ  $i$  จะมีค่าเป็นสมาชิกของ  $S_2$  ซึ่ง  $i$  จะมี

ค่าได้ 4 ค่า คือ 2, 4, 6, 8 ซึ่งเป็นตำแหน่งของจุดภาพที่อยู่ตามมุมทั้ง 4 ของวินโดว์  $3 \times 3$  ในภาพที่ 45 (ก) เมื่อค่าของ  $x_i \geq x_j$  ค่าจะถูกเปลี่ยนเป็น  $x_{i-8}$  ส่วนค่าของ  $\bar{x} = 1 - x$  และค่าด้วยททางขวาที่อยู่เหนือ  $Nc'$  ซึ่งก็คือค่าของ 4' หรือ 8' จะเป็นค่าที่บอกให้รู้ว่า เป็นค่าของจุดภาพที่ถูกพิจารณาตามแนวทางการเชื่อมต่อแบบ 4 หรือแบบ 8 ตามลำดับ

โดยค่าโทโปโลยีของจุดภาพที่จะนำมาพิจารณาจะมีอยู่ด้วยกัน 2 จุดคือ จุดแยก และจุดเชื่อมต่อ ซึ่งจากการทดสอบหลายๆ ครั้ง จะสังเกตเห็นแม่แบบของจุดต่างๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรแสดงการเชื่อมต่อแบบผสมผสาน(Mixed Connectivity) ระหว่าง  $Nc^4, Nc^8, Nc^4'$  และ  $Nc^8'$  ดังนี้

จากผลการทดสอบหลายๆ ครั้ง จะสังเกตเห็นแม่แบบของจุดเชื่อมต่อ ดังภาพที่ 51

ภาพที่ 51



แสดงแม่แบบขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ที่แสดงถึงจุดเชื่อมต่อ รวมทั้งสิ้น 12 กรณี

จากภาพที่ 51 ในแต่ละกรณี สามารถหาค่าของ  $Nc^4, Nc^8, Nc^4'$  และ  $Nc^8'$  ได้จากสมการที่ 20, 21, 22 และ 23 ได้ค่าตารางที่ 4

## ตารางที่ 4

แสดงค่าของ  $Nc^4, Nc^8, Nc^{4'}$  และ  $Nc^{8'}$  ที่หาได้จากแต่ละกรณีในภาพที่ 51

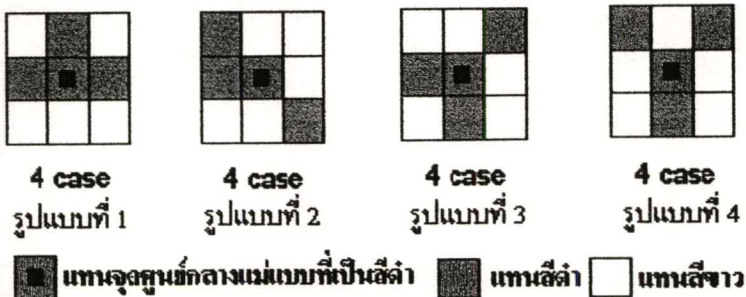
กรณีที่	$Nc^4$	$Nc^8$	$Nc^{4'}$	$Nc^{8'}$
1	2	2	0	2
2	0	2	2	2
3	0	2	0	2
4	2	2	0	2
5	1	2	1	2
6	1	2	1	2
7	1	2	1	2
8	1	2	1	2
9	1	2	1	2
10	1	2	1	2
11	1	2	1	2
12	1	2	1	2

จากค่าของ  $Nc^4, Nc^8, Nc^{4'}, Nc^{8'}$  ที่เกิดขึ้น เมื่อนำเขียนฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละกรณีในภาพที่ 51 จะได้ดังนี้

$$\text{จุดเชื่อมต่อ} = ((Nc^4 \neq 3 \text{ or } Nc^8 = 2) \text{ and } Nc^8 \neq 3) \text{ or } Nc^{8'} = 2 \text{ ————— (24)}$$

จากผลการทดสอบหลายๆ ครั้ง จะสังเกตเห็นแม่แบบของจุดแยก ดังภาพที่ 52

ภาพที่ 52



แสดงแม่แบบขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ที่แสดงถึงจุดแยก ในแต่ละรูปแบบ เมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกา ที่ละ  $90^\circ$  จะได้เพิ่มอย่างละ 4 กรณี รวมทั้งสิ้น 16 กรณี

จากภาพที่ 52 ในแต่ละรูปแบบ สามารถหาค่าของ  $Nc^4, Nc^8, Nc^{4'}$  และ  $Nc^{8'}$  ได้จาก สมการที่ 20, 21, 22 และ 23 ได้ค่าตารางที่ 5

ตารางที่ 5

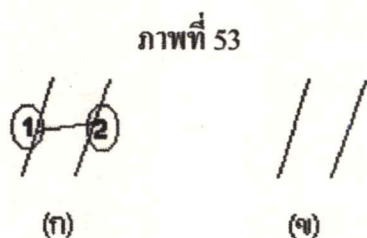
แสดงค่าของ  $Nc^4, Nc^8, Nc^{4'}$  และ  $Nc^{8'}$  ที่ทำได้จากแต่ละรูปแบบในภาพที่ 52

รูปแบบที่	$Nc^4$	$Nc^8$	$Nc^{4'}$	$Nc^{8'}$
1	3	1	0	4
2	1	3	2	2
3	2	2	1	3
4	1	3	2	2

จากค่าของ  $Nc^4, Nc^8, Nc^{4'}, Nc^{8'}$  ที่เกิดขึ้น เมื่อนำเขียนฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ เพื่อหา คุณลักษณะเฉพาะของแต่ละกรณีในภาพที่ 52 จะได้ดังนี้

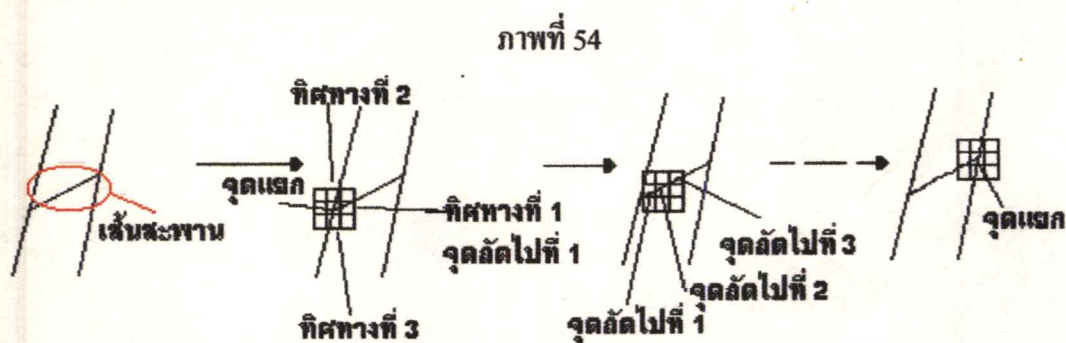
$$\begin{aligned}
 \text{จุดแยก} &= (Nc^4=2 \text{ and } Nc^{4'}=1 \text{ and } Nc^{8'}=3) \text{ or } (Nc^4=1 \text{ and } Nc^{4'}=2 \text{ and } Nc^8=3) \\
 &\text{or } (Nc^4=3 \text{ or } Nc^8=3 \text{ or } Nc^{8'}=3) \text{ or } (Nc^4=3 \text{ and } Nc^{4'}=0) \text{ or } (Nc^4 \neq 0 \\
 &\text{and } (Nc^{8'}=2 \text{ and } Nc^{4'}=2)) \text{-----} (25)
 \end{aligned}$$

ขั้นตอนวิธีในการติดตามลายเส้นที่คิดสร้างขึ้นมาเอง เพื่อใช้งานกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ เส้นสะพาน เป็นเส้นที่เชื่อมต่อเส้นสองเส้นที่อยู่ใกล้กัน ดังภาพที่ 53



แสดงตำแหน่งของจุดแยกที่อยู่บนเส้นสะพาน (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข

จากภาพที่ 53 จะสังเกตได้ว่า ที่ 1 และ 2 จะมีลักษณะเป็นจุดแยก ดังนั้นในการกำจัดเส้น สะพานโดยใช้วิธีติดตามลายเส้น จะใช้วิธีนับจำนวนจุดภาพที่อยู่ระหว่างจุด 1 และ 2 ถ้ามีจำนวน น้อยกว่าจำนวนที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นเอง ให้ลบเส้นสะพานนั้น โดยมีขั้นตอนในการติดตามลายเส้น อย่างคร่าว ๆ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 54

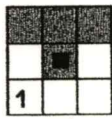


แสดงขั้นตอนในการติดตามลายเส้นของการตัดเส้นสะพาน

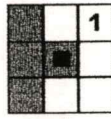
ซึ่งในการติดตามลายเส้นนั้น ในขณะที่ทำการพิจารณาจุดภาพจุดหนึ่งที่เป็นจุดแยกนั้น จะทำการติดตามลายเส้นทั้ง 3 ทิศทาง ทั้งนี้เนื่องมาจาก ไม่สามารถทราบได้ว่า ตำแหน่งที่จะเกิดเส้น สะพานจะเกิดขึ้นในทิศทางใดบ้าง

ในการติดตามลายเส้นนี้ เริ่มแรกจะทำการสแกนหาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามรูปที่ 55 ซึ่งจะ เห็นได้ว่าจะมีเลข 1, 2 และ 3 โดยค่าตัวเลขเหล่านี้จะแสดงถึงทิศทางที่ใช้ในการติดตามลายเส้น โดยจะมีทั้งหมด 3 ทิศทาง กล่าวคือ ทิศทางที่ 1, ทิศทางที่ 2 และทิศทางที่ 3 จากนั้นจึงแยกพิจารณา ทิศทาง โดยจะมีขั้นตอนในการติดตามลายเส้นสะพานอย่างคร่าว ๆ ดังนี้

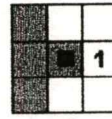
ภาพที่ 55



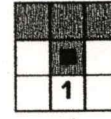
กรณีที่ 1  
ค่าดัชนี 39



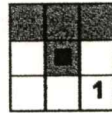
กรณีที่ 2  
ค่าดัชนี 45



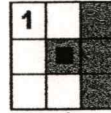
กรณีที่ 3  
ค่าดัชนี 57



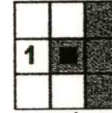
กรณีที่ 4  
ค่าดัชนี 71



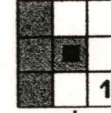
กรณีที่ 5  
ค่าดัชนี 135



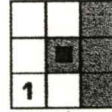
กรณีที่ 6  
ค่าดัชนี 149



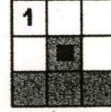
กรณีที่ 7  
ค่าดัชนี 156



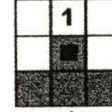
กรณีที่ 8  
ค่าดัชนี 169



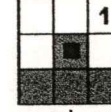
กรณีที่ 9  
ค่าดัชนี 180



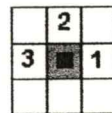
กรณีที่ 10  
ค่าดัชนี 225



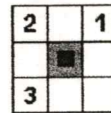
กรณีที่ 11  
ค่าดัชนี 226



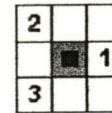
กรณีที่ 12  
ค่าดัชนี 228



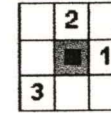
กรณีที่ 13  
ค่าดัชนี 26



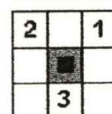
กรณีที่ 14  
ค่าดัชนี 37



กรณีที่ 15  
ค่าดัชนี 49



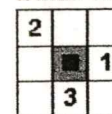
กรณีที่ 16  
ค่าดัชนี 50



กรณีที่ 17  
ค่าดัชนี 69



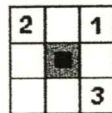
กรณีที่ 18  
ค่าดัชนี 76



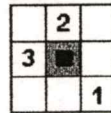
กรณีที่ 19  
ค่าดัชนี 81



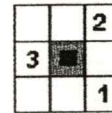
กรณีที่ 20  
ค่าดัชนี 88



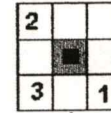
กรณีที่ 21  
ค่าดัชนี 133



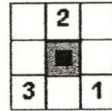
กรณีที่ 22  
ค่าดัชนี 138



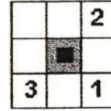
กรณีที่ 23  
ค่าดัชนี 140



กรณีที่ 24  
ค่าดัชนี 161



กรณีที่ 25  
ค่าดัชนี 162



กรณีที่ 26  
ค่าดัชนี 164

แทนสีดำ  
 แทนสีขาว  
 แทนจุดศูนย์กลางของวงแหวนที่เป็นสีดำ

- 1 แทนตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามวงแหวนในทิศทางที่ 1
- 2 แทนตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามวงแหวนในทิศทางที่ 2
- 3 แทนตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามวงแหวนในทิศทางที่ 3

แสดงแม่แบบจุดแยก(ที่ได้จากการสังเกตภาพลายเส้น แล้วจัดเก็บทุกรูปแบบไว้) ใช้กำหนดตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามลายเส้น

ขั้นตอนวิธีในการตัดเส้นสะพาน จะมีขั้นตอนแบ่งเป็น 3 รอบด้วยกันคือ

รอบที่ 1 ทำการติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 1 เพื่อทำการตรวจสอบว่า เส้นสะพานเกิดขึ้นในทิศทางนี้หรือไม่

1.1 หากจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 1-26 ตามภาพที่ 55 กำหนดค่าโคออร์ดิเนตที่ตำแหน่งเลข 1 ของแม่แบบเป็นค่าโคออร์ดิเนต  $x_0$  ภายในวินโดว์  $3 \times 3$  ทำการหาค่าตำแหน่งจุดถัดไปที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการติดตามลายเส้น(line following) ตามรูปที่ 54

1.2 ตั้งค่าจุดถัดไปให้เป็น  $x_0$  ในวินโดว์  $3 \times 3$  เพื่อหาจุดถัดไป เพื่อทำการติดตามลายเส้นไปเรื่อยๆ

1.3 ทำตามขั้นตอนที่ 1.2 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบจุดแยก

1.4 หาผลต่างของจุดแยกที่เริ่มต้นกับจุดแยกที่พบครั้งที่ 2 ถ้ามีค่าน้อยกว่าค่าจำนวนครั้งที่กำหนดขึ้นเอง ให้ทำการลบจุดภาพที่อยู่ระหว่างตำแหน่งจุดแยกที่เริ่มต้นกับจุดแยกที่พบครั้งที่ 2

รอบที่ 2 ทำการติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 2 เพื่อทำการตรวจสอบว่า เส้นสะพานเกิดขึ้นในทิศทางนี้หรือไม่

ทำตามข้อที่ 1.1-1.4 แต่เปลี่ยนข้อที่ 1.1 จากการหาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 1-26 ตามภาพที่ 55 มาเป็นการหาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 13-26 ตามภาพที่ 55 และกำหนดค่าโคออร์ดิเนตที่ตำแหน่งเลข 2 ของแม่แบบ เป็นค่า  $x_0$  ภายในวินโดว์  $3 \times 3$  แล้วทำการหาค่าตำแหน่งจุดถัดไปที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการติดตามลายเส้น ส่วนข้อที่ 1.2-1.4 นั้นคงเดิม

รอบที่ 3 ทำการติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 3 เพื่อทำการตรวจสอบว่า เส้นสะพานเกิดขึ้นในทิศทางนี้หรือไม่

ทำตามข้อที่ 1.1-1.4 แต่เปลี่ยนข้อที่ 1.1 จากการหาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 1-26 ตามภาพที่ 55 มาเป็นการหาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 13-26 ตามภาพที่ 55 และกำหนดค่าโคออร์ดิเนตที่ตำแหน่งเลข 3 ของแม่แบบ เป็นค่า  $x_0$  ภายในวินโดว์  $3 \times 3$  แล้วทำการหาค่าตำแหน่งจุดถัดไปที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการติดตามลายเส้น ส่วนข้อที่ 1.2-1.4 นั้นคงเดิม

ในส่วนที่ 2 เป็นการกำจัดเส้นกึ่งในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีติดตามลายเส้น

เมื่อพิจารณารูปภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ สังเกตจากภาพที่ 56 จะเห็นว่ามีส่วนกึ่งเกิดขึ้น (สังเกตจากภาพ จะใช้สัญลักษณ์  $\bigcirc$  ล้อมรอบบริเวณที่เกิดเส้นกึ่ง) โดยเส้นกึ่ง<sup>[17],[24]</sup> มีลักษณะเป็นลายเส้นสั้นๆ ที่ยื่นออกมาจากลายเส้นปกติ(ดูภาพที่ 57 ประกอบ) ซึ่งจะเป็นส่วนเกินที่จะต้องทำการกำจัดออกไป

ภาพที่ 56



(ก)



(ข)

แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมีขนาดภาพกว้าง 256 จุดภาพ ยาว 256 จุดภาพ, (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ที่มีเส้นกึ่งเกิดขึ้น

ภาพที่ 57



(ก)

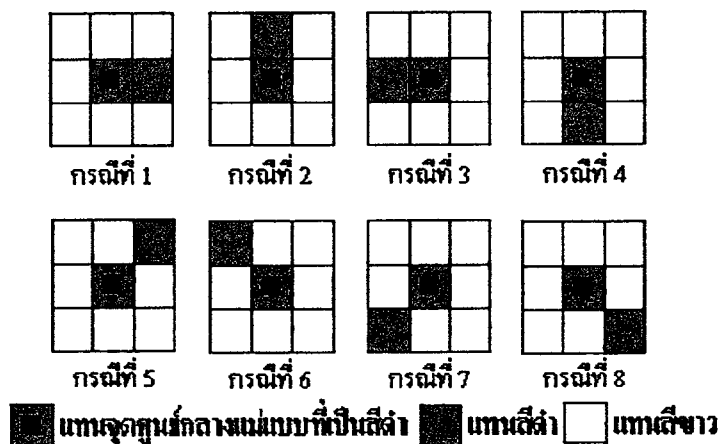


(ข)

แสดงลักษณะเส้นกึ่ง (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข

จากผลการทดสอบหลายๆ ครั้ง จะเห็นแม่แบบของจุดปลาย ดังภาพที่ 58

ภาพที่ 58



แสดงแม่แบบขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ที่แสดงถึงจุดปลาย รวมทั้งสิ้น 8 กรณี

จากภาพที่ 58 ในแต่ละกรณี สามารถหาค่าของ  $Nc^4, Nc^8, Nc^{4'}$  และ  $Nc^{8'}$  ได้จากสมการที่ 20, 21, 22 และ 23 ได้ค่าตารางที่ 6

ตารางที่ 6

แสดงค่าของ  $Nc^4, Nc^8, Nc^{4'}$  และ  $Nc^{8'}$  ที่หาได้จากแต่ละกรณีในภาพที่ 58

กรณีที่	$Nc^4$	$Nc^8$	$Nc^{4'}$	$Nc^{8'}$
1	1	1	0	1
2	1	1	0	1
3	1	1	0	1
4	1	1	0	1
5	0	1	1	1
6	0	1	1	1
7	0	1	1	1
8	0	1	1	1

จากค่าของ  $Nc^4, Nc^8, Nc^{4'}, Nc^{8'}$  ที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่า จากตารางที่ 6 จะมีการเปลี่ยนแปลงเพียง 2 ค่าเท่านั้น กล่าวคือ ค่าของ  $Nc^4, Nc^{4'}$  ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าของ 0 ไปเป็น 1

และจากค่า 1 ไปเป็น 0 ดังนั้นจึงนำลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ นำเขียนฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละกรณีในภาพที่ 58 จะได้ดังนี้

$$\text{จุดปลาย} = (Nc^4=1 \text{ and } Nc^4'=0) \text{ or } (Nc^4=1 \text{ and } Nc^4'=0) \text{_____} (26)$$

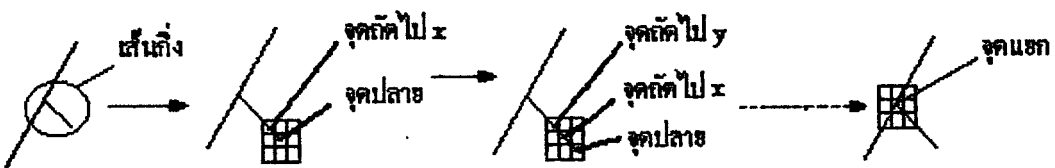
**ขั้นตอนวิธีในการติดตามลายเส้นที่คิดสร้างขึ้นมาเอง เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้**

ในการกำจัดเส้นกึ่งนี้ จะใช้บุคคลเป็นผู้กำหนดพื้นที่ของบริเวณที่เกิดเส้นกึ่ง ซึ่งวิธีในการกำจัดเส้นกึ่งนี้ จะใช้วิธีคิดตามลายเส้น โดยการติดตามลายเส้นนี้ เริ่มแรกจะทำการสแกนหาจุดปลายให้ได้ก่อน หลังจากนั้นใช้วินโดว์ขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 ครอบจุดปลายนั้น โดยให้ตำแหน่งของ  $x_0$  อยู่ที่ตำแหน่งโคออร์ดิเนตของจุดปลายที่หาได้ จากนั้นจึงหาจุดถัดไปที่อยู่บนวินโดว์ขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 ในทิศทวนเข็มนาฬิกา สมมติว่าได้จุด  $x_1$  (ซึ่งจะเป็นจุดเชื่อมต่อ) ให้สมมติจุด  $x_1$  เป็นจุดถัดไปที่ทำการติดตามลายเส้น ซึ่งในขณะนี้จะสมมติให้ค่า  $x_0$  มีค่าเป็นโคออร์ดิเนตของ  $x_1$  จากนั้นใช้วินโดว์ขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 ครอบจุด  $x_0$  แล้วหาจุดถัดไปที่อยู่บนวินโดว์ขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 ในทิศทวนเข็มนาฬิกาต่อไป ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบจุดแยก จึงจะสิ้นสุดการติดตามลายเส้น ซึ่งพอจะเขียนเป็นขั้นตอนวิธีที่มีขั้นตอนอย่างคร่าวๆ ดังนี้

ขั้นตอนวิธีในการกำจัดเส้นกึ่ง จะมีขั้นตอน

1. ใช้บุคคลเป็นผู้กำหนดพื้นที่ของบริเวณที่เกิดเส้นกึ่ง
2. สแกนหาจุดปลายในภาพ
3. ตั้งค่าโคออร์ดิเนตของจุดปลาย เป็นค่าของ  $x_0$  ที่อยู่ภายในวินโดว์ 3 x 3 ทำการหาตำแหน่งจุดถัดไปที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการติดตามลายเส้น(line following) ตามภาพที่ 59

ภาพที่ 59



แสดงขั้นตอนในการติดตามลายเส้นของการตัดเส้นกึ่ง

4. ตั้งค่าจุดถัดไปให้เป็น  $x_0$  ในวินโดว์ 3 x 3 เพื่อหาจุดถัดไป เพื่อทำการติดตามลายเส้นไปเรื่อยๆ

5. กลับไปทำตามขั้นตอนที่ 3 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบจุดแยก

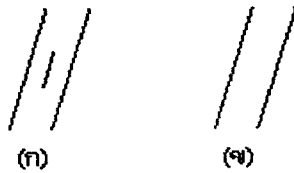
6. ลบจุดปลายและลบทุกจุดภาพที่อยู่ระหว่างจุดปลายกับจุดแยกที่ได้กระทำตามขั้นตอนที่

2-5

ในส่วนที่ 3 เป็นการกำจัดเส้นสั้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีติดตามลายเส้น

เมื่อเราพิจารณาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ในบางครั้ง จะเห็นได้ว่ามีเส้นสั้นที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น โดยเส้นสั้น<sup>[16],[24]</sup> มีลักษณะเป็นลายเส้นสั้นที่อยู่ระหว่างเส้นนูน(รูปภาพที่ 60 ประกอบ) ซึ่งเป็นส่วนเกินที่จะต้องทำการกำจัดออกไป

ภาพที่ 60



แสดงลักษณะเส้นสั้น (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข

ขั้นตอนวิธีในการติดตามลายเส้นที่คิดสร้างขึ้นมาจาก เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

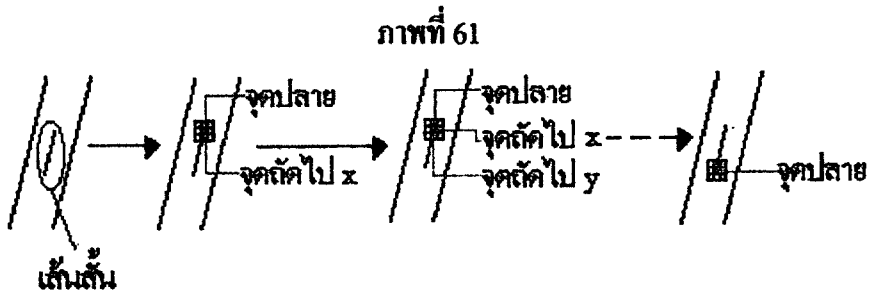
ในการกำจัดเส้นสั้นนี้ จะใช้บุคคลเป็นผู้กำหนดพื้นที่ของบริเวณที่เกิดเส้นสั้น ซึ่งวิธีในการกำจัดเส้นสั้นนี้ จะใช้วิธีติดตามลายเส้น ในการติดตามลายเส้นนี้ เริ่มแรกจะทำการแสกนหาจุดปลายให้ได้ก่อน หลังจากนั้นใช้วินโดว์ขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ครอบจุดปลายนั้น โดยให้ตำแหน่งของ  $x_0$  อยู่ที่ตำแหน่งโคออร์ดิเนตของจุดปลายที่หาได้ จากนั้นจึงหาจุดถัดไปที่อยู่บนวินโดว์ขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ในทิศทางเข็มนาฬิกา สมมติว่าได้จุด  $x_1$  (ซึ่งจะเป็นจุดเชื่อมต่อ) ให้สมมติจุด  $x_2$  เป็นจุดถัดไปที่ทำการติดตามลายเส้น ซึ่งในขณะนี้จะสมมติให้ค่า  $x_0$  มีค่าเป็นโคออร์ดิเนตของ  $x_2$  จากนั้นใช้วินโดว์ขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ครอบจุด  $x_0$  แล้วหาจุดถัดไปที่อยู่บนวินโดว์ขนาดเมตริกซ์  $3 \times 3$  ในทิศทางเข็มนาฬิกาต่อไป ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบจุดปลาย จึงจะสิ้นสุดการติดตามลายเส้น ซึ่งเขียนเป็นขั้นตอนอย่างคร่าวๆ ดังนี้

ขั้นตอนวิธีในการกำจัดเส้นสั้น จะมีขั้นตอน

1. ใช้บุคคลเป็นผู้กำหนดพื้นที่ของบริเวณที่เกิดเส้นสั้น

2. แสกนหาจุดปลายในภาพ

3. ตั้งค่าโคออร์ดิเนตของจุดปลาย เป็นค่าของ  $x_0$  ที่อยู่ภายในวินโดว์  $3 \times 3$  ทำการหาตำแหน่งจุดถัดไปที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการติดตามลายเส้น(line following) ตามภาพที่ 61



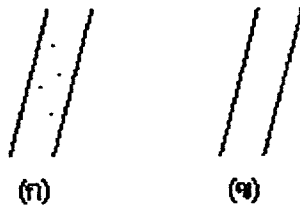
แสดงขั้นตอนในการติดตามลายเส้นของการตัดเส้นสั้น

4. ตั้งค่าจุดตัดไปให้เป็น  $x_0$  ในวินโดว์  $3 \times 3$  เพื่อหาจุดตัดไป เพื่อทำการติดตามลายเส้นไปเรื่อยๆ
5. กลับไปทำตามขั้นตอนที่ 3 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบจุดปลาย
6. ลบจุดปลายและลบทุกจุดภาพที่อยู่ระหว่างจุดปลายอันแรกกับจุดปลายอันสุดท้าย ที่ได้กระทำตามขั้นตอนที่ 2-5

#### 4.6 การกำจัดจุด ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

เมื่อพิจารณารูปภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ในบางครั้ง จะเห็นได้ว่า มีจุด ที่เป็นสัญญาณรบกวน ในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือเกิดขึ้น โดยจุดที่เกิดขึ้น มีลักษณะเป็นจุด เกิดขึ้นอยู่ระหว่างเส้นนูน(ดูภาพที่ 62 ประกอบ) ซึ่งเป็นส่วนเกินที่จะต้องทำการกำจัดออกไป

ภาพที่ 62



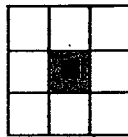
แสดงลักษณะจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพ (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข




#### ขั้นตอนวิธีการกำจัดจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

ในการกำจัดจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพนี้ จะใช้บุคคลเป็นผู้กำหนดพื้นที่ของบริเวณที่เกิดจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพ ซึ่งจะมีขั้นตอนในการกำจัดจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพดังนี้

1. ใช้บุคคลเป็นผู้กำหนดพื้นที่ของบริเวณที่เกิดจุด ที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ
2. สแกนหาจุดภาพที่มีโครงสร้างของจุดรอบข้างตามภาพที่ 63 แล้วทำการลบจุดภาพที่กำลังพิจารณานั้น

ภาพที่ 63



 แทนจุดศูนย์กลางแบบที่เป็นสีดำ  
 แทนสีดำ     แทนสีขาว

แสดงแม่แบบขนาดเมตริกซ์ 3 x 3 ที่แสดงถึงจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

4.7 การกำจัดเส้นขาด ซึ่งใช้วิธีการเชื่อมต่อเส้นขาด โดยใช้ขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮม<sup>[20]</sup>

ในการเชื่อมต่อเส้นขาด ในที่นี้จะใช้บุคคลเป็นผู้พิจารณาในการกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย โดยใช้การเคลื่อนเมาส์ไปคลิกตามตำแหน่งของจุดที่เป็นเส้นขาด จากนั้นคอมพิวเตอร์จะสร้างเส้นตรงเชื่อมต่อเส้นขาดโดยอัตโนมัติ โดยใช้ขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮม ซึ่งในขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮม จะใช้อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงทางแกน x และ y โดยใช้วิธีการบวกและลบกัน โดยหลักการพื้นฐานของขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮม ก็คือ การทำบันทึกหรือจำค่าผิดพลาดที่เกิดจากค่าระหว่างค่าในอุดมคติของแต่ละจุดและค่าที่ถูกแสดงผลออกมาจริงๆ ค่าที่ผิดพลาดระหว่างค่าในอุดมคติและค่าจริงของตำแหน่งจะเกิดขึ้นจากข้อจำกัดทางฮาร์ดแวร์ ดังนั้นจุดที่แท้จริงในการแสดงผลก็คือ ค่าประมาณที่ใกล้เคียงที่สุด ซึ่งเมื่อนำขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮมมาเขียนเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างเส้นตรง จะได้ดังนี้

/\* วาดเส้นตรงโดยใช้สีโดยอ้างขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮม \*/

Sub lined(startx, starty, endx, endy, color1, color2, color3 As Integer)

Dim t, distance As Integer

Dim X, Y, incx, incy, delta\_x, delta\_y As Integer

X = 0: Y = 0

‘ คำนวณระยะห่างตามแนวแกน x และ y

delta\_x = endx - startx

delta\_y = endy - starty

‘ คำนวณทิศทางในการเพิ่ม ถ้าค่าในการเพิ่มเป็น 0 หมายความว่า จะเป็นแนวตั้งหรือแนวดิ่ง

If delta\_x > 0 Then incx = 1

If delta\_x = 0 Then incx = 0

If delta\_x < 0 Then incx = -1

If delta\_y > 0 Then incy = 1

If delta\_y = 0 Then incy = 0

If delta\_y < 0 Then incy = -1

‘ เปรียบเทียบว่าระยะห่างไหนมากกว่า

delta\_x = Abs(delta\_x)

delta\_y = Abs(delta\_y)

If delta\_x > delta\_y Then distance = delta\_x

If delta\_x <= delta\_y Then distance = delta\_y

‘ ลากเส้น

For t = 0 To distance + 1

Target.PSet (startx, starty), RGB(color1, color2, color3)

Rem mark the color of target's pixel

target\_pixel(startx, YRes - starty - 1, 0) = color1

target\_pixel(startx, YRes - starty - 1, 1) = color2

target\_pixel(startx, YRes - starty - 1, 2) = color3

'-----

X = X + delta\_x

Y = Y + delta\_y

If X > distance Then

X = X - distance

startx = startx + incx

End If

If Y > distance Then

$Y = Y - \text{distance}$

$\text{starty} = \text{starty} + \text{incy}$

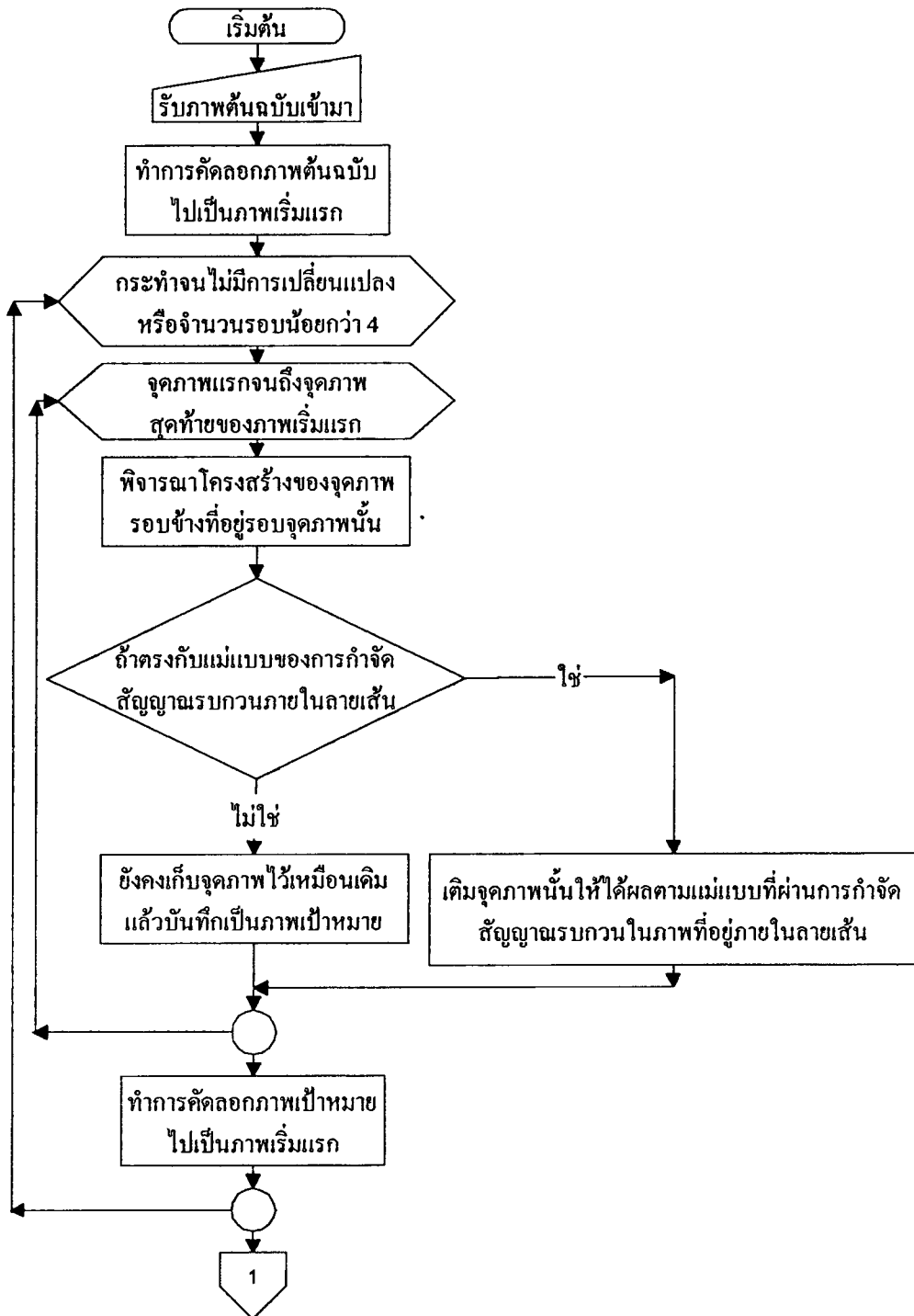
End If

Next

#### 4.8 สรุปขั้นตอนในการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่คิดพัฒนา จะมีขั้นตอนดังนี้

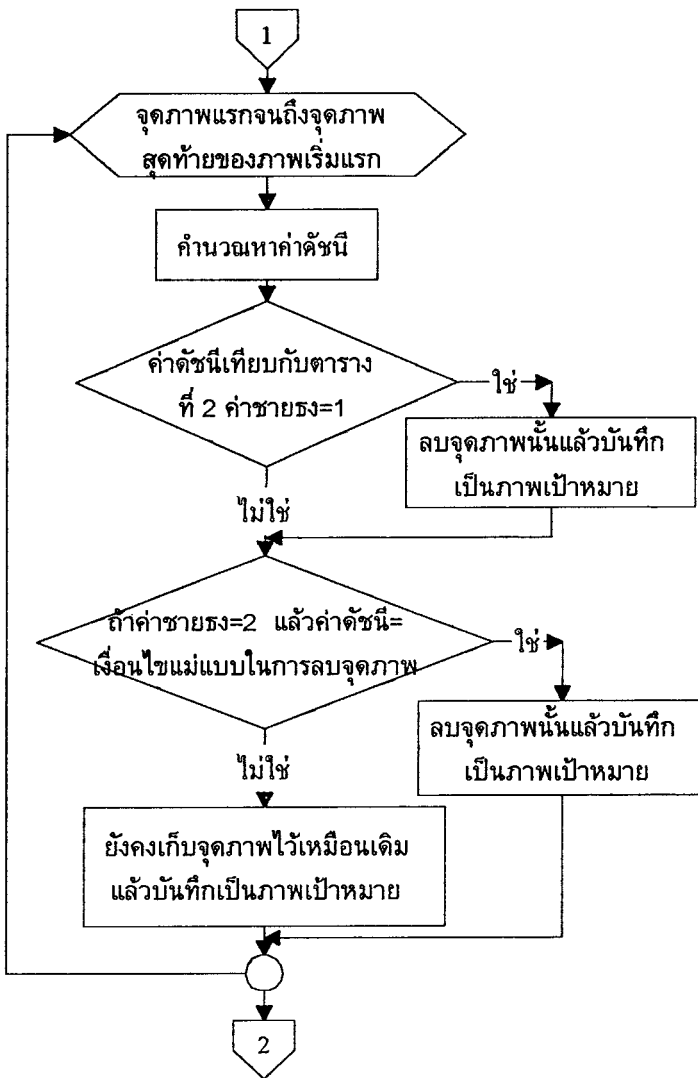
1. ทำการครอบแม่แบบที่ใช้ในการดำเนินการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ภายในลายเส้น
2. ถ้าตรงตามเงื่อนไขของแม่แบบที่ใช้ในการดำเนินการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ภายในลายเส้น(ดูภาพที่ 38 ประกอบ) ให้ทำการเติมสีดำลงบนจุดภาพที่กำลังพิจารณา
3. กระทำตามข้อที่ 1-2 ให้ครบทุกจุดภาพในภาพ และมีจำนวนรอบในการกระทำซ้ำไม่มากกว่า 4 รอบ
4. นำภาพที่ได้จากการดำเนินการตามข้อที่ 1-3 นี้ไปผ่านการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งดัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG
5. นำภาพที่ได้จากการกระทำตามข้อที่ 4 นี้ไปผ่านการทำลายเส้นให้บางตามวิธีการของ A. DATTA and S. K. PARUI
6. ภาพที่ได้จากการกระทำตามข้อที่ 5 สังเกตได้ว่า เป็นภาพลายเส้นที่มีบางแห่งเป็นลายเส้นหยัก จึงต้องทำการกำจัดลายเส้นหยักนี้ โดยใช้การครอบแม่แบบในการทำลายเส้นหยักให้เรียบเป็นเส้นตรงกับจุดภาพที่กำลังพิจารณา
7. ถ้าตรงตามเงื่อนไขของแม่แบบที่ใช้ในการทำลายเส้นหยักให้เรียบเป็นเส้นตรง(ดูภาพที่ 41 ประกอบ) ให้ทำการเติม-ลบจุดภาพนั้น
8. กระทำตามข้อที่ 7 จนกระทั่งครบทุกจุดภาพในภาพ
9. ทำการกำจัดเส้นสะพาน, เส้นกิ่ง และเส้นสั้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีคิดตามลายเส้น
10. ทำการกำจัดจุด ที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ
11. ทำการกำจัดเส้นขาด โดยใช้วิธีเชื่อมต่อเส้นขาด โดยใช้ขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮม ซึ่งขั้นตอนที่ 9-11 อาจจะทำสลับกันได้ ไม่จำเป็นต้องเรียงตามขั้นตอน โดยสามารถแสดงขั้นตอนในการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ดังภาพที่ 64

ภาพที่ 64



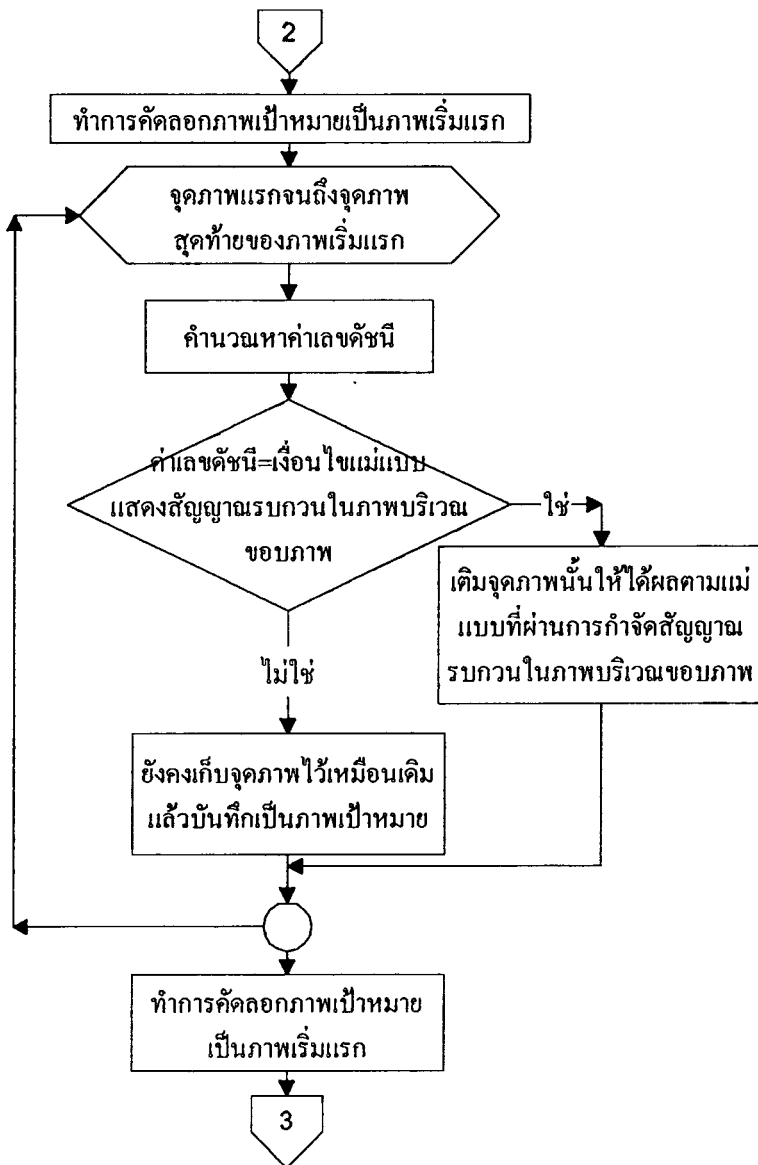
แสดงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง (ในส่วนการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ภายในลายเส้น)

ภาพที่ 64(ต่อ)



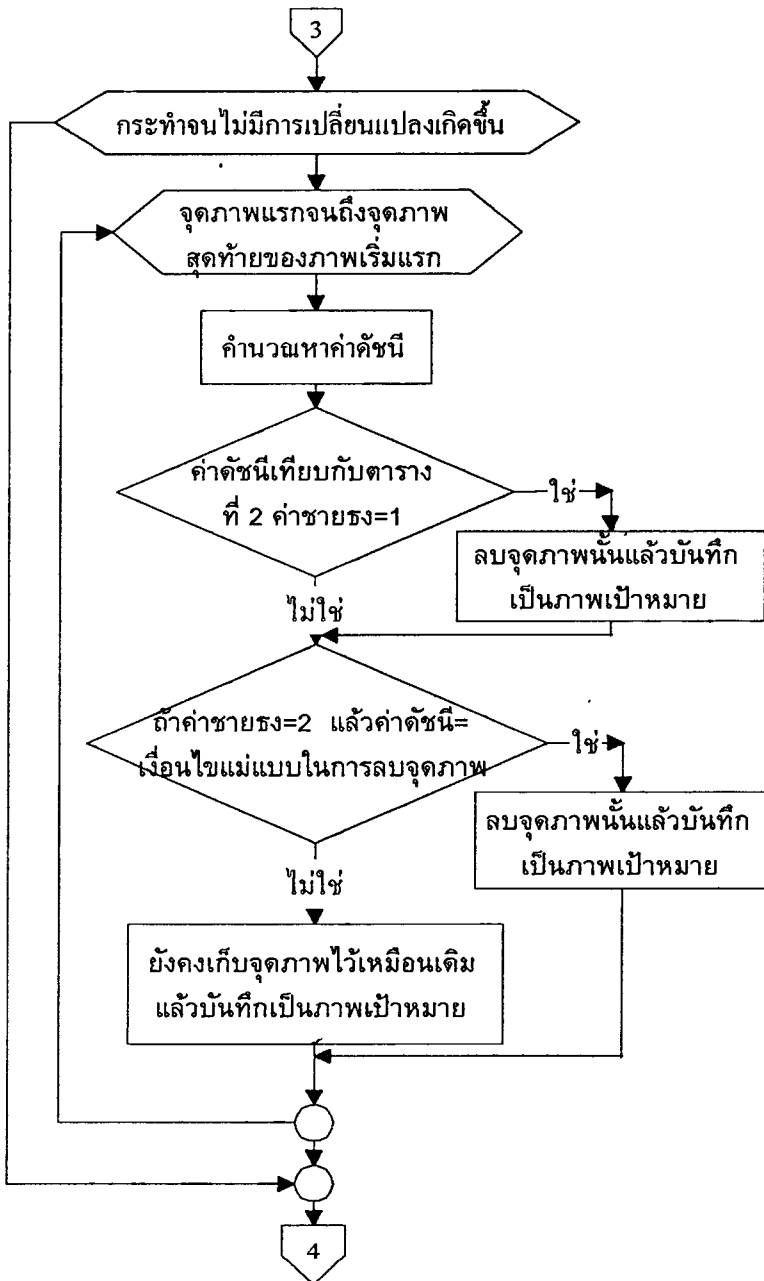
แสดงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง(ในส่วนการทำลายเส้นให้บางตามวิธีที่ได้คัด  
 แปลงมาจากขั้นตอนวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG)

ภาพที่ 64(ต่อ)



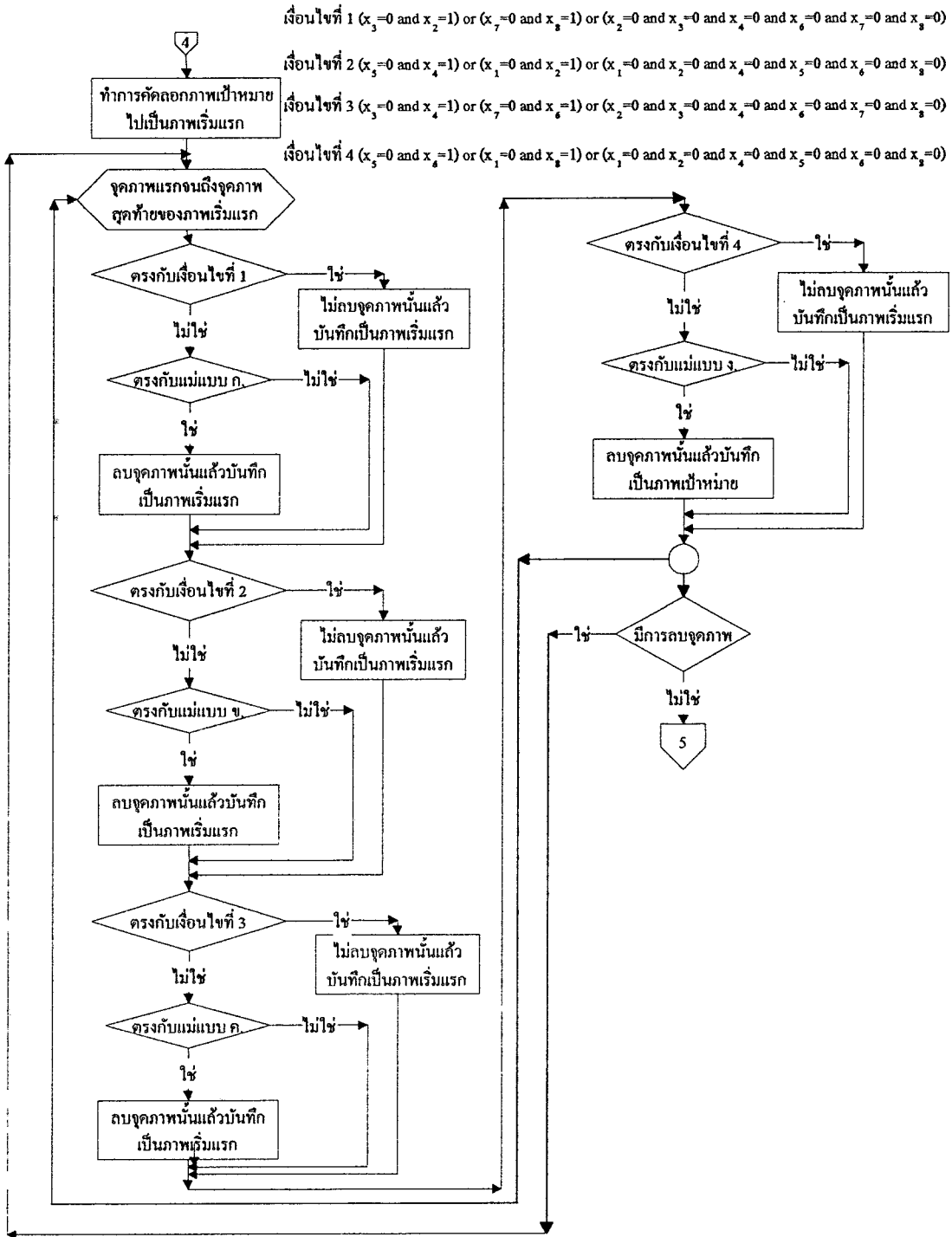
แสดงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง(ในส่วนการทำลายเส้นให้บางตามวิธีที่ได้ดัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG)

ภาพที่ 64(ต่อ)



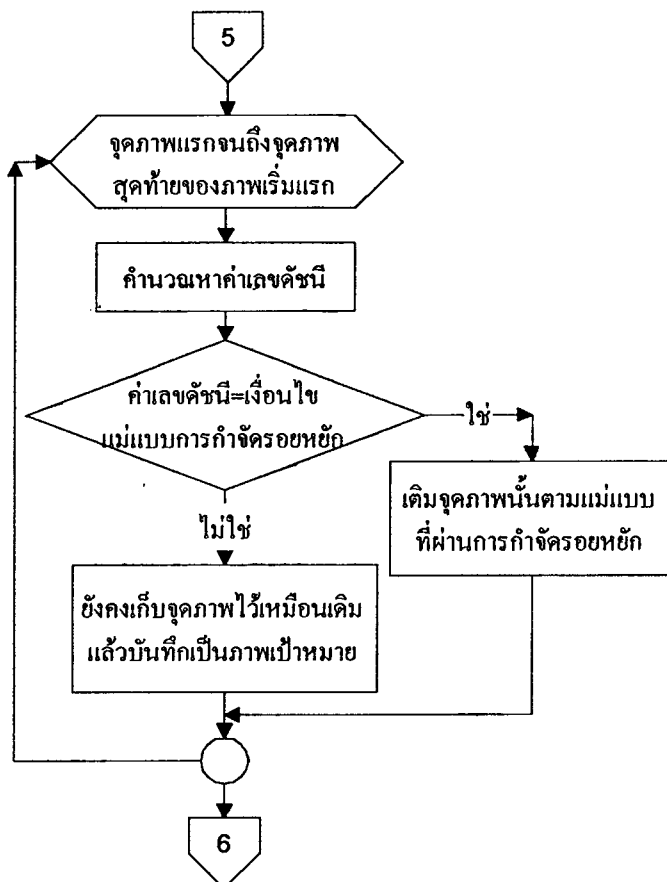
แสดงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง(ในส่วนการทำลายเส้นให้บางตามวิธีที่ได้ตัด  
 แปลงมาจากขั้นตอนวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG)

ภาพที่ 64(ต่อ)



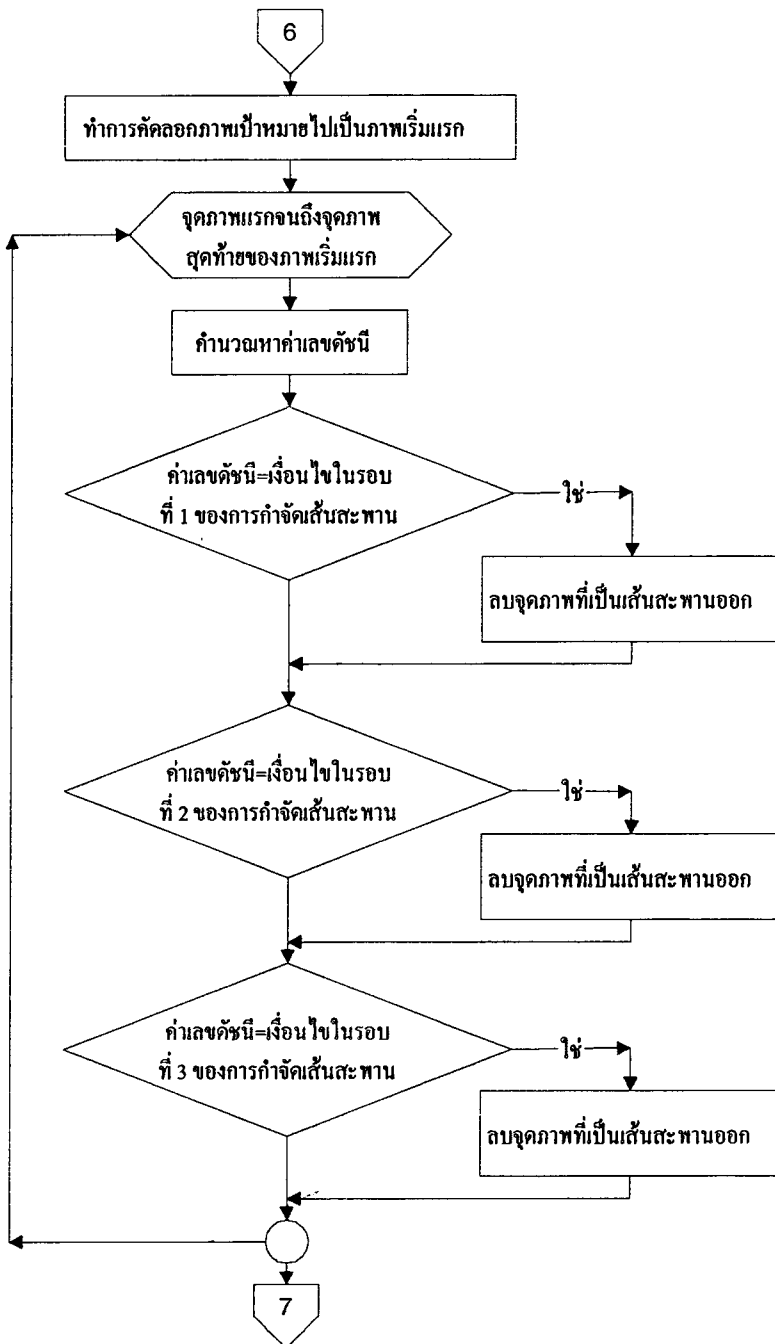
แสดงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง(ในส่วนการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ

ภาพที่ 64(ต่อ)



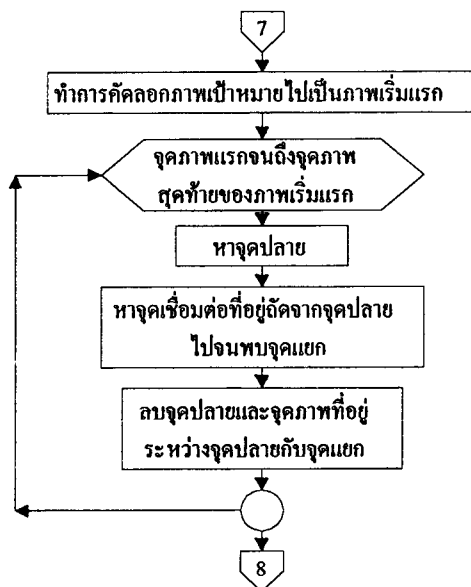
แสดงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง  
(ในส่วนการทำลายเส้นหยักให้เรียบ)

ภาพที่ 64(ต่อ)



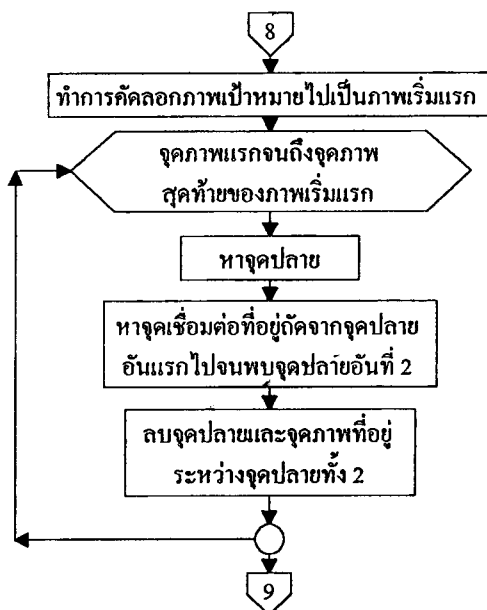
แสดงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง  
(ในส่วนของกำจัดเส้นสะพาน โดยใช้วิธีติดตามลายเส้น)

ภาพที่ 64(ต่อ)

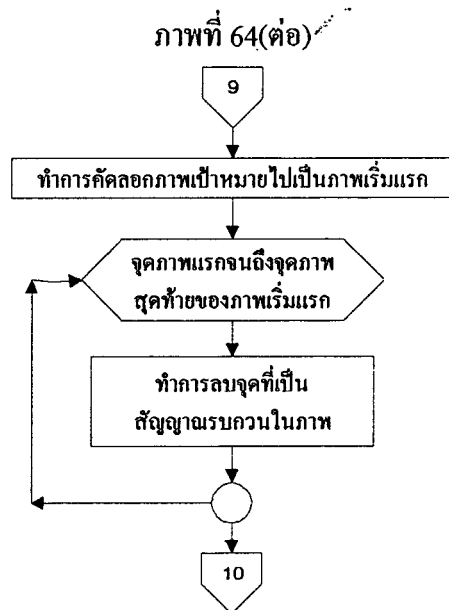


แสดงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง  
(ในส่วนของตัดเส้นกึ่ง ที่อยู่ ในบริเวณพื้นที่ที่กำหนด)

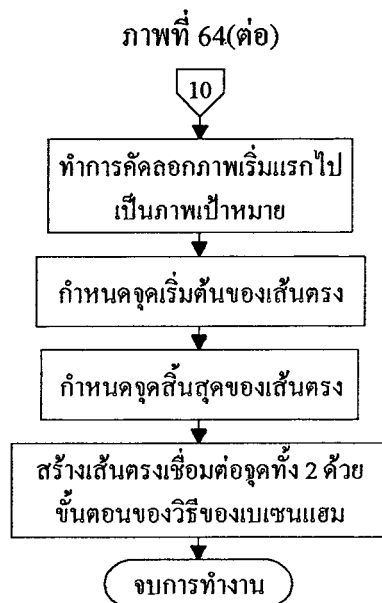
ภาพที่ 64(ต่อ)



แสดงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง  
(ในส่วนของตัดเส้นสั้น ที่อยู่ ในบริเวณพื้นที่ที่กำหนด)



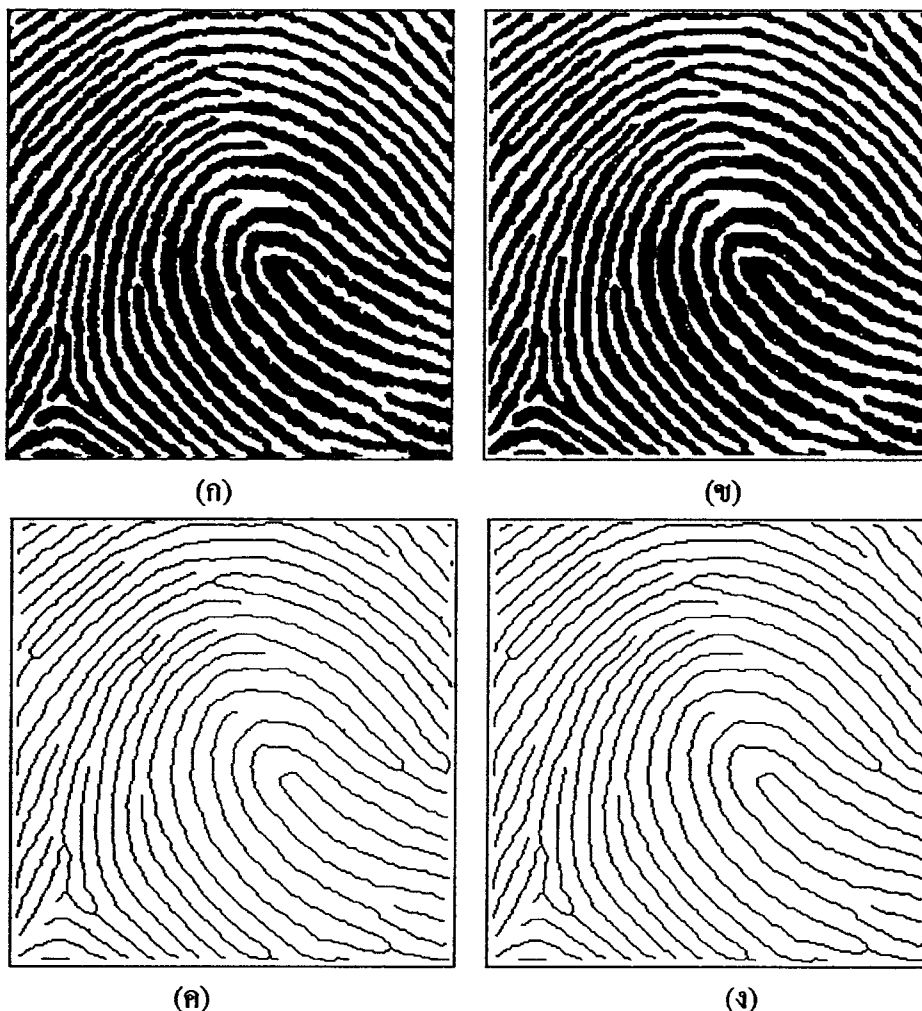
แสดงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง(ในส่วนการกำจัดจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพ ที่อยู่ในบริเวณที่กำหนด)



แสดงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง  
(ในส่วนการกำจัดเส้นขาด ที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ที่กำหนด)

เมื่อนำการปรับปรุงการทำลายเส้นให้บางแบบขนานวิธีใหม่ไปทดลองใช้งานกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ได้ผลดังภาพที่ 65

ภาพที่ 65



แสดง (ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1, (ข) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นใบบาง ตามขั้นตอนที่ 1, (ค) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นใบบาง ตามขั้นตอนที่ 2-4, (ง) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นใบบาง ซึ่งใช้วิธีการตัดเส้นกิ่งและการตัดเส้นสะพาน

#### 4.9 บทสรุป

จากการสังเกตภาพที่ 65 พบว่า การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นใบบางใช้งานกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือได้ดี ซึ่งมีการทำงานเป็น 2 แบบด้วยกันคือ ขั้นตอนที่ 1-4 คอมพิวเตอร์จะมีการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ และขั้นตอนที่ 5-7 จะมีการทำงานเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้บุคคลเป็นผู้พิจารณาประกอบกับการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งภาพที่ได้จากผ่านขั้นตอนที่ 5-7 ของการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นใบบางได้ภาพที่สมบูรณ์และถูกต้อง ขึ้นอยู่กับทักษะ และความเชี่ยวชาญของตัวบุคคลเป็นหลัก

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

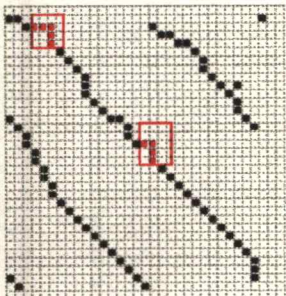
ในการเก็บภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ จะใช้วิธีการกลิ้งนิ้วมือ ไปบนหมึกพิมพ์สีดำ หลังจากนั้นนำนิ้วมือที่เป็นหมึกพิมพ์ไปกลิ้งบนกระดาษสีขาว นำกระดาษสีขาวที่มีลายนิ้วมือนี้นี้ไปถ่ายสำเนาให้มีขนาดใหญ่ขึ้นประมาณ 1.5 เท่า(ซึ่งจะให้ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่สังเกตเห็นชัดเจนได้ชัด) แล้วนำภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้ถ่ายสำเนานี้ไปเก็บเป็นข้อมูลของภาพโดยใช้สแกนเนอร์ เพื่อเก็บเป็นภาพตัวอย่างในรูปแบบของไฟล์ BMP ที่จะใช้ในงานวิจัยนี้

ในงานวิจัยนี้ เราสามารถแบ่งการทดลองได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 เป็นการใช้งานของการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพ หรือการทำเทรซโฮลด์ภาพและส่วนที่ 2 เป็นการใช้งานของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 5 แบบที่เป็นมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับกัน เปรียบเทียบกับการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ที่ได้คิดสร้างขึ้นมาใช้งาน เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ซึ่งจะทำการประเมินจากสเกลสดันที่ได้ โดยจะทำการตรวจสอบคุณสมบัติ 3 ข้อ ดังนี้

1. จะต้องมีความหนาของลายเส้นเพียงจุดเดียว หรือบางที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยจะพิจารณาจากมาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้น( $m_1$ )
2. ควรจะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ตามขอบภาพที่ไม่ราบเรียบ หรือโผล่ยื่นออกมา โดยจะพิจารณาจากมาตรฐานการวัดของความรู้สึกที่ไวต่อสัญญาณรบกวน( $m_2$ ) ที่ขอบภาพ
3. ถ้าเป็นไปได้ ควรจะมีจำนวนรอบของการกระทำซ้ำของการทำลายเส้นให้บางเพียง 2-3 รอบ โดยจะพิจารณาจากมาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ ( $m_3$ )

ซึ่งจะมีรายละเอียดของสูตรต่างๆ ดังนี้คือ

#### 1) มาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้น ( $m_1$ )<sup>[5]</sup>

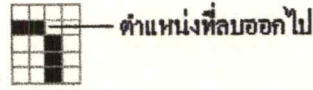


ในการสังเกตจากภาพลายเส้นที่ได้ จะมีบางส่วนของลายเส้นที่ยังคงมีความหนาอยู่ ดังภาพซ้ายมือ จะเห็นได้ว่า ยังมีบางส่วนของลายเส้นที่มีความหนาอยู่ ซึ่งสามารถทำให้บางได้อีก โดยตำแหน่งที่มีความหนาใน

ภาพ ที่พบเห็นมีอยู่รูปแบบเดียวคือ

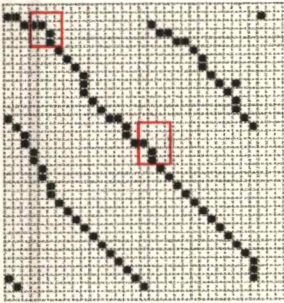


ตำแหน่งที่สามารถ  
ลบได้



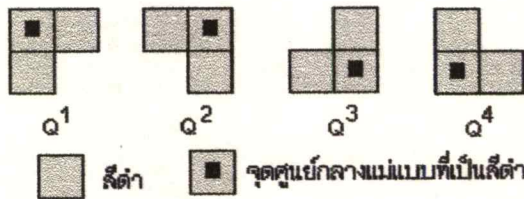
เมื่อกระทำ

เมื่อได้ทำการลบตำแหน่งที่มีความหนาออกไป จะได้  
ทั้งภาพจะได้ผลดังภาพข้างล่างนี้



แม่แบบที่ใช้ในการตรวจหาตำแหน่งของจุดภาพที่มีความหนาเกิน 1 จุดภาพ มีอยู่ 4 แบบ  
ตามภาพที่ 66

ภาพที่ 66



แสดงแม่แบบที่ใช้ในการตรวจสอบความกว้างของสเกลเลตัน

ในการประเมินว่า ภาพลายเส้นหรือภาพสเกลเลตันที่ได้มีความบางอยู่เพียง 1 จุดภาพ มี  
หลักการอย่างคร่าวๆ คือ ให้สูตรที่ใช้วัดความกว้างของลายเส้นในภาพสเกลเลตัน มีชื่อว่า มาตรฐาน  
การวัดความกว้างของลายเส้น แทนด้วย  $m_t$  โดยให้ภาพลายเส้นที่มีความกว้างของลายเส้นทุกเส้นมี  
ความหนาเพียง 1 จุดภาพ จะให้ค่า  $m_t = 1$  (ภาพสเกลเลตันที่ทางอุดมคติ) แต่ในทางปฏิบัติ โอกาสที่  
จะพบภาพลายเส้นที่ให้ค่า  $m_t = 1$  น้อยมาก ที่มักพบ ภาพลายเส้นจะมีค่า  $m_t$  เข้าใกล้ 1 ซึ่งสามารถ  
เขียนเป็นสูตรในทางคำนวณได้

$$\begin{aligned}
 m_t &= \frac{\text{สเกลเลตันที่มีความบางเพียง 1 จุดภาพในอุดมคติ} - \text{อัตราภาพตำแหน่งของ}}{\text{จุดภาพในภาพสเกลเลตัน (ซึ่งจะขอเรียกสั้นๆ ว่า จุดภาพสเกลเลตัน) ที่มีความหนาเกิน 1 จุดภาพ}} \\
 &= 1 - \frac{\text{จำนวนจุดภาพสเกลเลตันที่ตรงกับแม่แบบในภาพที่ 66}}{\text{จำนวนจุดภาพสเกลเลตัน}} \\
 &= 1 - \frac{\text{Area}[\bigcup_{1 \leq k \leq 4} S_M Q^k]}{\text{Area}[S_M]} \quad (27)
 \end{aligned}$$

โดยที่  $Area[.]$  เป็นตัวดำเนินการ(operator) ที่ใช้นับจำนวนจุดภาพ 1 จุด(1-pixels)

$S_M$  เป็นจำนวนจุดภาพสเกลเลตันที่ได้

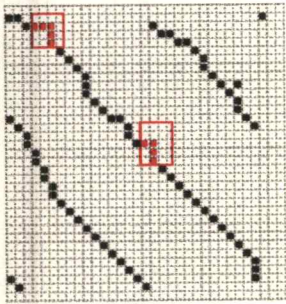
$Q^k$  เป็นแม่แบบที่ใช้ตรวจสอบความกว้างของสเกลเลตัน เมื่อ  $(1 \leq k \leq 4)$

ดังนั้น  $Area[\bigcup_{1 \leq k \leq 4} S_M Q^k]$  เป็นจำนวนจุดภาพสเกลเลตันที่ตรงกับแม่แบบ  $Q^1, Q^2, Q^3, Q^4$

ในภาพที่ 66

$Area[S_M]$  เป็นจำนวนจุดภาพสเกลเลตัน

มาตรฐานการวัดนี้จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยค่าที่ได้ยิ่งมาก บอกให้รู้ว่า สเกลเลตันที่ได้มีความกว้างของลายเส้นเพียง 1 จุดภาพอย่างสมบูรณ์



ตัวอย่างในการคำนวณ

จากภาพทางซ้ายมือ สามารถหาจำนวนจุดภาพสเกลเลตัน( $Area[S_M]$ )

มีค่าเท่ากับ 79 จุด จำนวนจุดภาพสเกลเลตัน  $Area[\bigcup_{1 \leq k \leq 4} S_M Q^k]$  ที่ตรง

กับแม่แบบ  $Q^1, Q^2, Q^3, Q^4$  ในภาพที่ 66 มีค่าเท่ากับ 2 จุด(จุดภาพที่อยู่

ภายใน  $\square$ ) ดังนั้น  $m_t = 1 - \frac{Area[\bigcup_{1 \leq k \leq 4} S_M Q^k]}{Area[S_M]} = 1 - \frac{2}{79} = 0.97468$

ค่า  $m_t = 0.97468$  บอกให้รู้ว่า ภาพสเกลเลตันหรือภาพลายเส้นที่ใช้ในการประเมินผลนี้ ทุกลายเส้น มักจะมีความบางเพียง 1 จุดภาพใกล้เคียงกับภาพสเกลเลตันในทางอุดมคติมาก แต่จะมีเพียงลายเส้นที่น้อยมาก ที่มีความหนาอยู่

2) มาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ ( $m_d$ )<sup>[5]</sup>

มาตรฐานการวัดนี้ เป็นการประเมินประสิทธิภาพในการลดทอนข้อมูลและมูลค่าการคำนวณ โดยจะคำนวณจากจำนวนของจุดภาพสเกลเลตัน, จำนวนของจุดภาพของวัตถุในภาพ และจำนวนรอบการกระทำซ้ำ ซึ่งนิยามไว้ดังนี้

$$m_d = \frac{\text{จำนวนจุดภาพที่หายไป}}{\text{จำนวนจุดภาพทั้งหมด}}$$

โดยที่ จำนวนจุดภาพที่หายไป ได้จาก จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพ - จำนวนจุดภาพสเกลเลตัน

$n$  เป็นจำนวนรอบของการกระทำซ้ำ

$Area[S]$  เป็นจำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพ

$Area[S_M]$  เป็นจำนวนจุดภาพสเกลเลตัน

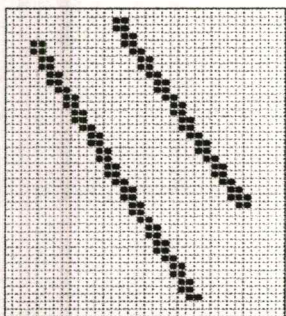
จำนวนจุดภาพทั้งหมด ได้จาก จำนวนรอบในการกระทำซ้ำ คูณกับ จำนวนจุดภาพของวัตถุ ในภาพ ซึ่งจะได้ค่า  $m_d$  ดังนี้

$$m_d = \frac{Area[S] - Area[S_M]}{n \times Area[S]}$$

จากการพิจารณาจากค่าที่ได้จากการคำนวณ จะมีค่า 0 ถึง 1 แต่จากการสังเกตค่า  $m_d$  จะมีค่า อินฟินิตี้( $\infty$ ) ในกรณีที่  $n$  มีค่าเป็น 0 (เกิดขึ้นในกรณีที่นำภาพหลายเส้นที่มีความบางเพียง 1 จุดภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บาง ในกรณีนี้  $n=0$  เนื่องจากจะไม่มีกรอบจุดภาพเกิดขึ้น) ดังนั้นจึงใช้ ฟังก์ชัน minimum มาใช้กับสมการหาค่า  $m_d$  เพื่อเป็นการจำกัดค่าที่ได้จากการคำนวณให้อยู่ระหว่าง 1 ถึง 0 ดังนั้นจะได้ค่า  $m_d$  ที่ใช้เป็นสูตรมาตรฐานในการคำนวณดังนี้

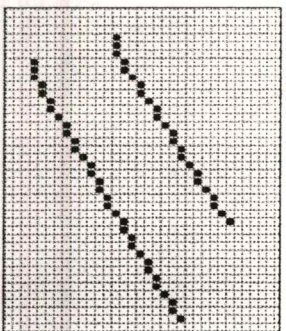
$$m_d = \min\left[1, \frac{Area[S] - Area[S_M]}{n \times Area[S]}\right] \quad (28)$$

มาตรฐานการวัดนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 ค่าที่มากจะแสดงถึง มีประสิทธิภาพในการ คำนวณที่สูง



ตัวอย่างในการคำนวณ

จากภาพทางซ้ายมือ เป็นภาพของลายเส้นที่ยังคงมีความหนาอยู่ สามารถหาจำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพ ( $Area[S]$ ) แทนด้วยจุดภาพสี่ คำ) มีค่าเท่ากับ 119 จุด



จากภาพทางซ้ายมือ เป็นภาพของลายเส้นที่ได้ผ่านการทำลาย เส้นให้บางตามวิธีการปรับปรุงการทำลายเส้นให้บางตามขั้นตอนที่ 2-4 สามารถนับหาจำนวนจุดภาพสเกลเลตัน ( $Area[S_M]$ ) แทนด้วยจุดภาพสี่ คำ) มีค่าเท่ากับ 57 จุด และมีจำนวนรอบ ( $n$ ) ในการกระทำซ้ำ เท่ากับ 1

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } m_d &= \min\left[1, \frac{Area[S] - Area[S_M]}{n \times Area[S]}\right] = \min\left[1, \frac{119 - 57}{1 \times 119}\right] \\ &= \min[1, 0.52101] = 0.52101 \end{aligned}$$

ค่า  $m_d = 0.52101$  บอกให้รู้ว่า ประสิทธิภาพในการลดทอนข้อมูลจากภาพลายเส้นที่ยังคงมีความหนาอยู่ไปเป็นภาพสเกลเลตันหรือภาพลายเส้นที่มีความบาง(หลังจากที่ได้ผ่านการทำลายเส้นให้บาง) สามารถลดทอนข้อมูลได้ 0.52101 เท่าจากภาพเดิม

### 3) มาตรฐานการวัดของความรู้สึทที่ไวต่อสัญญาณรบกวน ( $m$ )<sup>[5]</sup> ที่ขอบภาพ

ขั้นตอนวิธีการทำเส้นให้บางหลายวิธีที่ผ่านมามักจะสร้างสเกลเลตันได้ดีภายใต้เงื่อนไขที่ไม่มีสัญญาณรบกวน(noise-free conditions) แต่เมื่อมีสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่บริเวณขอบภาพ ผลลัพธ์สเกลเลตันที่ได้จะเกิดขาสเกลเลตัน(skeleton leg) หรือเส้นกึ่งที่ไม่ต้องการ ดังนั้น จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องทำการตรวจสอบค่าความไวของการตอบสนองของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่มีต่อสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่บริเวณขอบภาพ ซึ่งจะมีหลักการอย่างคร่าวๆ ดังนี้

ให้  $S$  เป็นจุดภาพของวัตถุในรูปภาพขาวดำที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพ(noise-free binary image) ที่บริเวณขอบภาพ และ  $S'$  เป็นจุดภาพของวัตถุในรูปภาพขาวดำที่มีสัญญาณรบกวนในภาพที่เกิดจากการรุ่ม โดยการบวกและการลบเป็นจำนวน  $k$  จุดภาพที่บริเวณขอบภาพของ  $S$  ซึ่งเราจะนิยามอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนขอบภาพ( $SBNR_k$  - signal-to-boundary-noise ratio) ตามนี้

$$SBNR_k = \frac{\text{จุดภาพที่บริเวณขอบภาพ}}{\text{ผลต่างของจุดภาพของวัตถุในภาพระหว่างภาพที่มีสัญญาณรบกวนกับภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวน}}$$

$$SBNR_k = \frac{Area[\partial S]}{Area[\frac{S'}{S}] + Area[\frac{S}{S'}]} \quad (29)$$

โดยที่  $\partial S$  แทนจุดภาพของวัตถุในภาพที่บริเวณขอบภาพของ  $S$  ดังนั้น  $Area[\partial S]$  จึงแทนจำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่บริเวณขอบภาพของ  $S$  ส่วน  $Area[\frac{S'}{S}]$  เป็นค่าผลต่างของจำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพระหว่างรูปภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพกับรูปภาพที่มีสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพ ตามลำดับ ในทางกลับกัน และ  $Area[\frac{S}{S'}]$  เป็นค่าผลต่างของจำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพระหว่างรูปภาพที่มีสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพกับรูปแบบที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพ ตามลำดับ ดังนั้น ค่า

ความผิดพลาดของสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่บริเวณขอบภาพจะมีลักษณะเฉพาะ  $SBNR_k$  ที่สามารถวัดค่าได้ โดยนิยามเป็น  $m_c$  จะได้ดังนี้

$$m_c(SBNR_k) = \frac{\text{ชนิดของกริดส์} \times \text{จำนวนจุดภาพสเกลเลตัน}}{\text{ผลต่างของจุดภาพสเกลเลตันระหว่างภาพที่มีสัญญาณรบกวนกับภาพที่ไม่สัญญาณรบกวน}}$$

$$m_c(SBNR_k) = \frac{G \times \text{Area}[S_M]}{\text{Area}[\frac{S_M}{S'_M}] + \text{Area}[\frac{S''_M}{S_M}]}$$

โดยที่  $S_M$  และ  $S''_M$  เป็นจุดภาพสเกลเลตันที่ได้จาก  $S$  และ  $S''$  ตามลำดับ

$\text{Area}[\frac{S_M}{S'_M}]$  และ  $\text{Area}[\frac{S''_M}{S_M}]$  เป็นค่าของผลต่างของจุดภาพสเกลเลตันที่ได้จาก  $S_M$  และ  $S''_M$  ตามลำดับ

จากค่าที่ได้จากการคำนวณ มีค่าเป็นจำนวนบวกที่มากกว่า 1 เสมอ เมื่อกลับเศษเป็นส่วนจะได้ปริมาณนอร์มัลไลซ์(normalized quantity) ที่ไม่เกิน 1

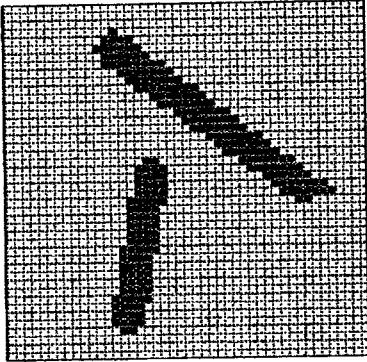
$$m_c(SBNR_k) = \frac{\text{Area}[\frac{S_M}{S'_M}] + \text{Area}[\frac{S''_M}{S_M}]}{G \times \text{Area}[S_M]}$$

ยกเว้นกรณีที่หาสเกลเลตันไม่ได้ คือ  $\text{Area}[S_M] = 0$  ทำให้  $m_c$  มีค่าเป็น  $\infty$  จึงได้ใช้ฟังก์ชัน minimum เพื่อเป็นการจำกัดค่าที่ได้ให้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

$$m_c(SBNR_k) = \min\left[1, \frac{\text{Area}[\frac{S_M}{S'_M}] + \text{Area}[\frac{S''_M}{S_M}]}{G \times \text{Area}[S_M]}\right] \quad (30)$$

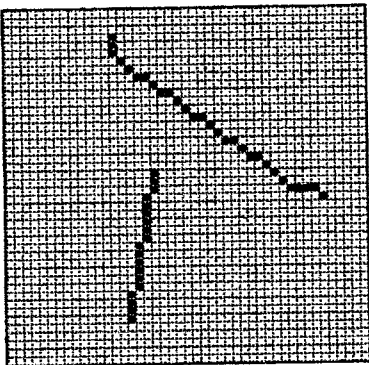
มาตรฐานการวัดนี้ตามปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 ขั้นตอนวิธีที่มีความไวของการตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนที่สูง(highly noise-sensitive algorithm) จะให้ค่าของ  $m_c$  ที่มีค่ามากใกล้

เคียง 1 โดยที่  $G$  คือ ชนิดของกริดส์ ซึ่งถ้าเป็นสแควร์กริดส์  $G$  จะมีค่าเป็น 1<sup>[5]</sup> และถ้าเป็นคิไรท์กริดส์  $G$  จะมีค่าเป็น 2<sup>[5]</sup>

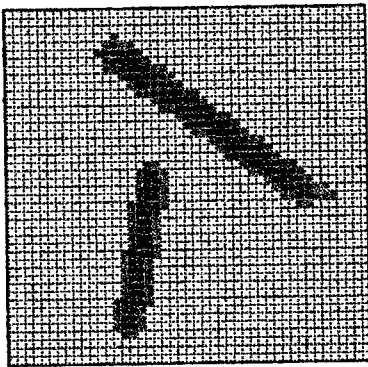


#### ตัวอย่างการคำนวณ

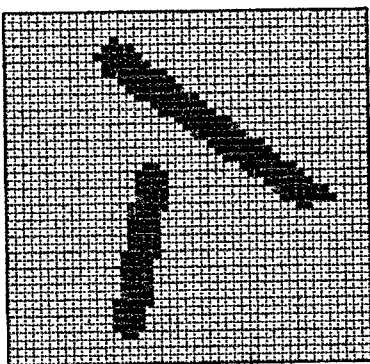
จากภาพด้านซ้ายมือ เป็นภาพขาวดำของลายเส้นที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพ ซึ่งสามารถนับจำนวนจุดภาพ  $S$  (เป็นจำนวนจุดภาพของวัตถุในรูปภาพขาวดำที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ) หรือ  $Area[S]$  (จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวน) ได้เท่ากับ 226 จุด



จากการนำภาพขาวดำของลายเส้นที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพ ไปผ่านการทำลายเส้นให้บาง จะได้ภาพลายเส้นหรือภาพสเกลเลตันตามภาพทางด้านซ้ายมือ ซึ่งสามารถนับจุดภาพ ( $S_M$ ) สเกลเลตันหรือจำนวนจุดภาพ ( $Area[S_M]$ ) สเกลเลตันได้ทั้งหมด 48 จุด

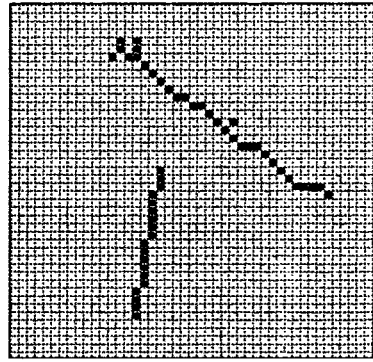


จากภาพด้านซ้ายมือ เป็นภาพขาวดำของลายเส้นที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพ ซึ่งบริเวณที่เป็นสีเทา แสดงถึงจุดภาพของวัตถุในภาพที่บริเวณขอบภาพ ( $\delta S$ ) ดังนั้นจำนวนจุดภาพ ( $Area[\delta S]$ ) ของวัตถุในภาพที่บริเวณขอบภาพที่สามารถนับได้จากภาพทางซ้ายมือนี้ มีค่าเท่ากับ 103 จุด



จากภาพด้านซ้ายมือ เป็นภาพขาวดำของลายเส้นที่มีการเติมสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพ ซึ่งเกิดจากการสุ่ม โดยการบวก (จุดภาพสีเทา) และการลบ (จุดภาพสีเขี้ยว) เป็นจำนวน ( $k$ ) ทั้งหมด 20 จุด ซึ่งในขั้นตอนนี้สุดท้ายจะทำการลบจุดภาพสีเขี้ยวออกไป ส่วนจุดภาพสีเทาจะเก็บค่าไว้เหมือนเดิม แล้วเก็บภาพไว้เป็นภาพเริ่มแรกที่จะใช้ในการทำลายเส้นให้บางต่อไป ซึ่งในขณะนี้สามารถนับจำนวนจุดภาพ  $S''$  (เป็นจำนวน

จุดภาพของวัตถุในรูปภาพขาวดำที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ) หรือ  $Area[S'']$  (จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่มีสัญญาณรบกวน) ได้เท่ากับ 220 จุด



จากการนำภาพขาวดำของลายเส้นที่มีสัญญาณรบกวน ในภาพที่บริเวณขอบภาพ ไปผ่านการทำลายเส้นให้บาง จะได้ ภาพลายเส้นหรือภาพสเกลเลตันตามภาพทางด้านซ้ายมือ ซึ่ง สามารถนับจุดภาพ ( $S_M''$ ) สเกลเลตันหรือจำนวนจุดภาพ ( $Area[S_M'']$ ) สเกลเลตันได้ทั้งหมด 51 จุด

จากภาพที่ผ่านมา สรุปค่าต่างๆ ได้ดังนี้

$$Area[S]=226; Area[S_M]=48; Area[\partial S]=103; Area[S'']=220; Area[S_M'']=51; k=20$$

จากสูตรการคำนวณหาค่า

$$SBNR_k = \frac{Area[\partial S]}{Area[\frac{S'}{S}] + Area[\frac{S}{S'}]}$$

โดยที่  $Area[\frac{S}{S''}]$  เป็นค่าผลต่างของจำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพระหว่างรูปภาพที่ไม่มี

สัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพกับรูปภาพที่มีสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพ ตามลำดับ ในทางกลับกัน และ  $Area[\frac{S'}{S}]$  เป็นค่าผลต่างของจำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพ ระหว่างรูปภาพที่มีสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพกับรูปแบบที่ไม่มีสัญญาณรบกวนใน ภาพที่บริเวณขอบภาพ ตามลำดับ ดังนั้น  $Area[\frac{S}{S''}] = |Area[S] - Area[S'']| = |226 - 220| = 6$  และ

$$Area[\frac{S'}{S}] = |Area[S''] - Area[S]| = |220 - 226| = 6$$

$$Area[\partial S] = \text{แทนจำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่บริเวณขอบภาพ} = 103$$

$$\text{เมื่อแทนค่า จะได้ } SBNR_{20} = \frac{103}{6+6} = 8.533$$

ในการคำนวณหาค่า

$$m_c(SBNR_k) = \min\left[1, \frac{Area[\frac{S_M}{S_M''}] + Area[\frac{S''_M}{S_M}]}{G \times Area[S_M]}\right]$$

โดยที่  $Area[\frac{S_M}{S_M}]$  และ  $Area[\frac{S_M''}{S_M}]$  เป็นค่าของผลต่างของจุดภาพสเกลเลตันที่ได้

จาก  $S_M$  และ  $S_M''$  ตามลำดับ ดังนั้น  $Area[\frac{S_M}{S_M}] = |Area[S_M] - Area[S_M'']| = |48 - 51| = 3$  และ

$$Area[\frac{S_M''}{S_M}] = |Area[S_M''] - Area[S_M]| = |51 - 48| = 3$$

$Area[S_M]$  เป็นจำนวนจุดภาพสเกลเลตัน = 48

G คือ ชนิดของกริดส์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้สแควร์กริดส์ G จะมีค่าเป็น 1<sup>[5]</sup>

$$\text{เมื่อแทนค่า จะได้ } m_c(SBNR_k) = \min[1, \frac{3+3}{1 \times 48}] = \min[1, 0.125] = 0.125$$

## 5.1 ผลการทดลอง

ในการทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ

5.1.1 การทดลองการใช้งานของการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพหรือการทำเทรซโฮลด์ภาพ

5.1.2 การทดลองการใช้งานของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง

### 5.1.1 การทดลองการใช้งานของการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพ

ซึ่งจะเน้นที่การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพที่ใช้งานกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ เพื่อทำการแปลงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่รับภาพเข้ามา ซึ่งจะเป็นภาพระดับเทาให้เป็นภาพขาวดำ เพื่อนำไปใช้ในการทำลายเส้นให้บางต่อไป โดยตัวอย่างของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่จะนำมาทดลองนี้ ได้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท จำนวน 10 ภาพด้วยกัน กล่าวคือ ประเภทเส้นโค้ง จำนวน 4 ภาพ, ประเภทกันหอยจำนวน 3 ภาพ, ประเภทมัดหอย จำนวน 3 ภาพ แต่ในผลการทดลองนี้จะขอยกตัวอย่างไว้เพียงบางรูป

ในการทดลองการใช้งานของการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพหรือการทำเทรซโฮลด์ของภาพ ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ

ส่วนที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ระหว่างการหาค่าเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ<sup>[22]</sup> ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพกับการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปี

ส่วนที่ 2 เป็นการพิจารณาเฉพาะการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปี ซึ่งจะใช้นาขนาดของเมตริกซ์ที่แตกต่างกันในการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปีของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

ซึ่งจะแยกพิจารณาเป็นส่วนๆ ไป ตามนี้

ส่วนที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ระหว่างการหาค่าเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลกอริทึม<sup>[22]</sup> ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพกับการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ภาพที่ 67



(ก)



(ข)



(ค)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลกอริทึม ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพ ซึ่งมีขนาด 256 x 256 จุดภาพ, (ค) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ที่ใช้เมตริกซ์ขนาด 16 x 16 จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี

แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3 มาผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพทั้ง 2 วิธี

ภาพที่ 68



(ก)



(ข)



(ค)

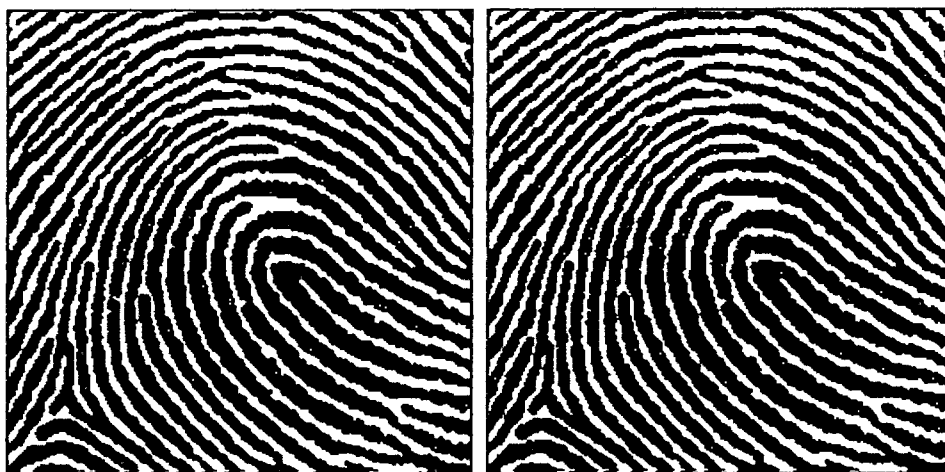
(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพ ซึ่งมีขนาด 256 x 256 จุดภาพ, (ค) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ที่ใช้เมตริกซ์ขนาด 16 x 16 จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี

แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา มาผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพทั้ง 2 วิธี

ภาพที่ 69



(ก)



(ข)

(ค)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลกอริทึม ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพ ซึ่งมีขนาด 256 x 256 จุดภาพ, (ค) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ที่ใช้เมตริกซ์ขนาด 128 x 128 จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าเอ็นโทรปี

แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 มาผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพทั้ง 2 วิธี

ภาพที่ 70



(ก)



(ข)

(ค)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยอัลกอริทึมที่กระทำที่เดียวทั้งภาพ ซึ่งมีขนาด 256 x 256 จุดภาพ, (ค) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ที่ใช้เมตริกซ์ขนาด 16 x 16 จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าแอนโทรปี

แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 มาผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพทั้ง 2 วิธี

ภาพที่ 71



(ก)



(ข)

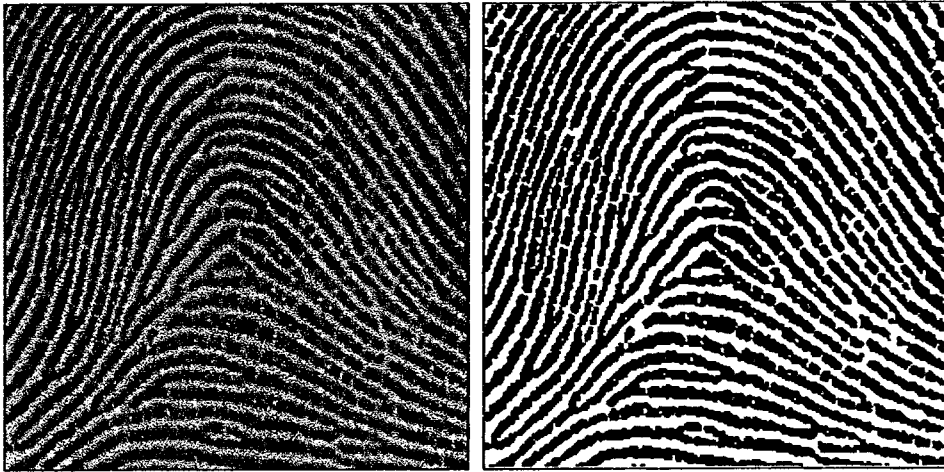
(ค)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรชโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลกอริทึม ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพ ซึ่งมีขนาด 256 x 256 จุดภาพ, (ค) ภาพที่ผ่านการทำเทรชโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ใช้เมตริกซ์ขนาด 16 x 16 จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี

แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย มาผ่านการทำเทรชโฮลด์ภาพทั้ง 2 วิธี

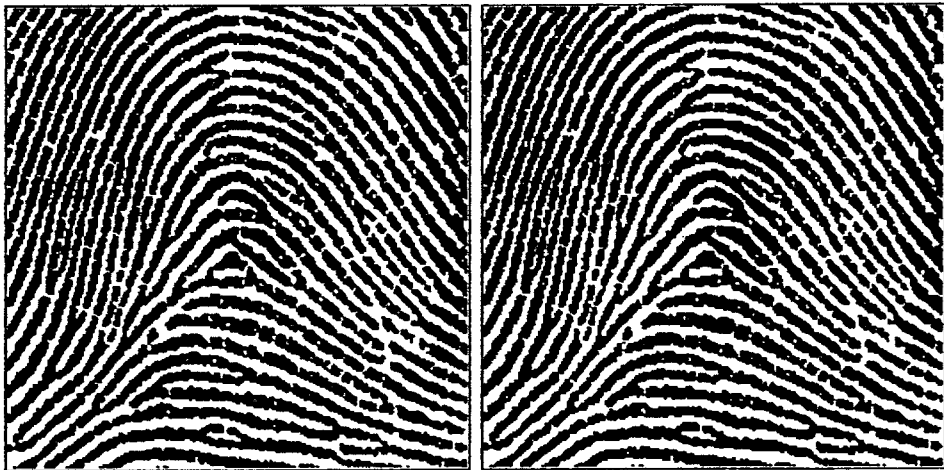
ส่วนที่ 2 เป็นการพิจารณาเฉพาะการทำเทรชโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี ซึ่งจะใช้นาขนาดของเมตริกซ์ที่แตกต่างกันในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปีของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ซึ่งจะได้อผลการทดลองดังต่อไปนี้

ภาพที่ 72



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

(ก) ภาพต้นแบบเป็นภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรชโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $16 \times 16$  จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปี, (ค) ภาพที่ผ่านการทำเทรชโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $32 \times 32$  จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปี, (ง) ภาพที่ผ่านการทำเทรชโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $64 \times 64$  จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปี

แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3 มาผ่านการทำเทรชโฮลด์ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปี ที่ใช้ขนาดเมตริกซ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน

ภาพที่ 73



(ก)

(ข)



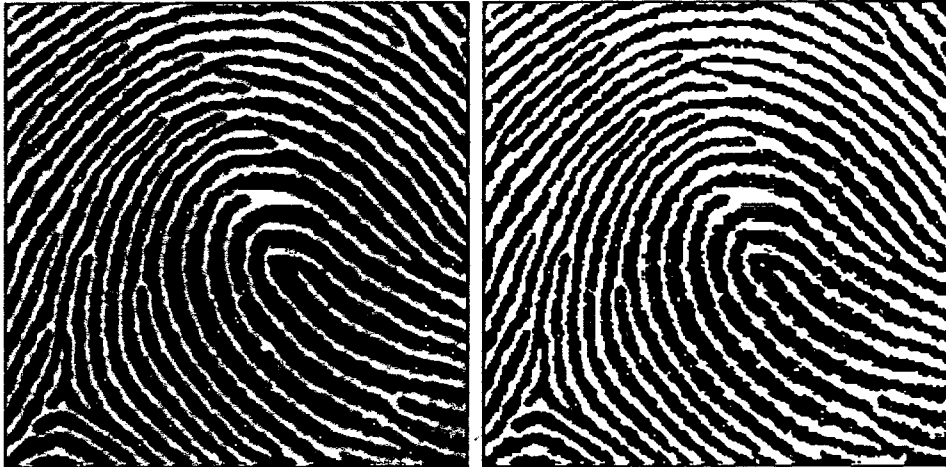
(ค)

(ง)

(ก) ภาพต้นแบบเป็นภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $16 \times 16$  จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี, (ค) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $32 \times 32$  จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี, (ง) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $64 \times 64$  จุดภาพในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี

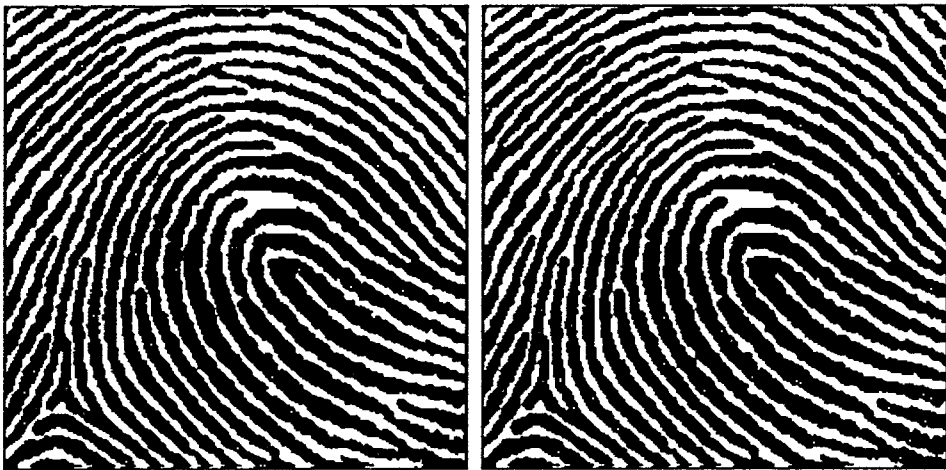
แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา มาผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี ที่ใช้ขนาดเมตริกซ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน

ภาพที่ 74



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

(ก) ภาพต้นแบบเป็นภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $8 \times 8$  จุดภาพ, (ค) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $16 \times 16$  จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปี, (ง) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $32 \times 32$  จุดภาพในการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปี

แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 มาผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปี ที่ใช้ขนาดเมตริกซ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน

ภาพที่ 75



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

(ก) ภาพต้นแบบเป็นภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2, (ข) ภาพที่ผ่านการทำ  
 เทรชโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $8 \times 8$  จุดภาพ, (ค) ภาพที่ผ่านการทำเทรชโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้  
 ขนาดเมตริกซ์  $16 \times 16$  จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี, (ง) ภาพที่ผ่านการทำเทรชโฮลด์  
 ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $64 \times 64$  จุดภาพในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี

แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 มาผ่านการทำเทรชโฮลด์ภาพ  
 โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี ที่ใช้ขนาดเมตริกซ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน

ภาพที่ 76



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

(ก) ภาพต้นแบบเป็นภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรชโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $8 \times 8$  จุดภาพ, (ค) ภาพที่ผ่านการทำเทรชโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $16 \times 16$  จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปี, (ง) ภาพที่ผ่านการทำเทรชโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $64 \times 64$  จุดภาพในการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปี

แสดงการนำเอาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย มาผ่านการทำเทรชโฮลด์ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าอนโทรปี ที่ใช้ขนาดเมตริกซ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน

ตารางที่ 7  
แสดงช่วงเวลา(วินาที) ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ

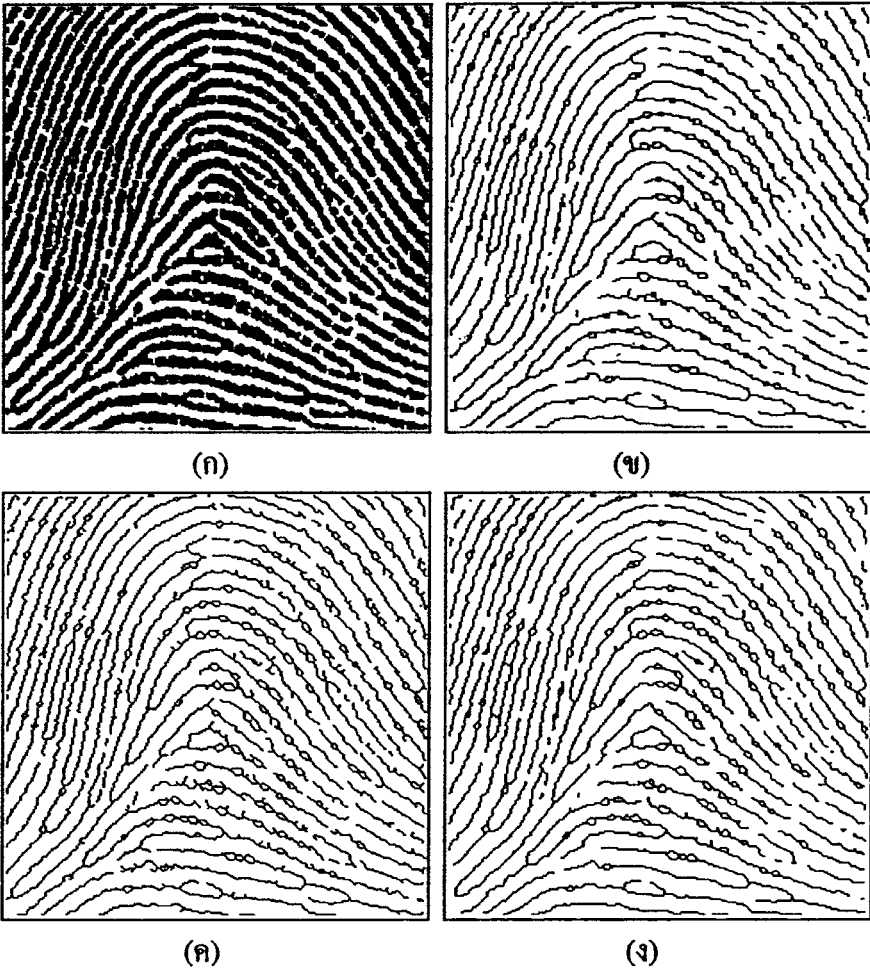
รูปแบบของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ	การทำเทรซโฮลด์ภาพ					
	โดยวิธีอัตโนมัติ (วินาที)	โดยวิธีแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี โดยใช้ขนาดเมตริกซ์(วินาที)				
		8x8	16x16	32x32	64x64	128x128
1. โค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 1	112	156	142	130	123	115
2. โค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 2	103	162	160	129	115	111
3. โค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3	94	168	167	123	111	109
4. โค้งราบ	56	127	107	81	72	69
5. ก้นหอยกระเป่ากลางปิดขวา	85	155	141	110	96	95
6. ก้นหอยกระเป่าข้างปิดซ้าย	84	159	146	112	99	96
7. ก้นหอยธรรมดา	101	180	175	139	120	118
8. มัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1	96	188	170	157	120	118
9. มัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2	66	133	101	78	71	70
10. มัดหวายปิดซ้าย	77	148	127	99	90	89

### 5.1.2 การทดลองการใช้งานของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง

ในการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือนี้ จะใช้ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่ทั้งหมด 6 แบบด้วยกัน คือ

1. ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen<sup>[1]</sup>
2. ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI<sup>[2]</sup>
3. ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG<sup>[3]</sup>
4. ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN<sup>[4]</sup> ซึ่งใช้แม่แบบขนาดเมตริกซ์ 3 x 3
5. ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin<sup>[5]</sup> ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน
6. การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง  
เมื่อนำขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางมาใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ได้ผลตามนี้

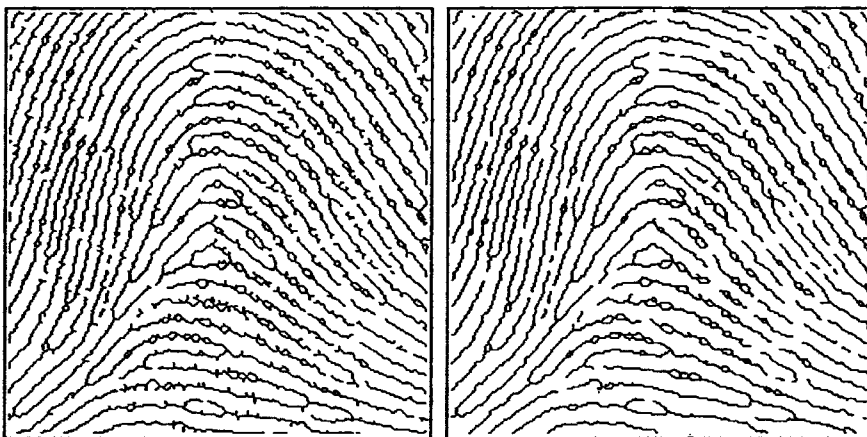
ภาพที่ 77



(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจนม ตัวอย่างที่ 3 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ และยังไม่ผ่านการลบแต่งภาพให้สมบูรณ์(preprocessing), (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen, (ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI, (ง) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

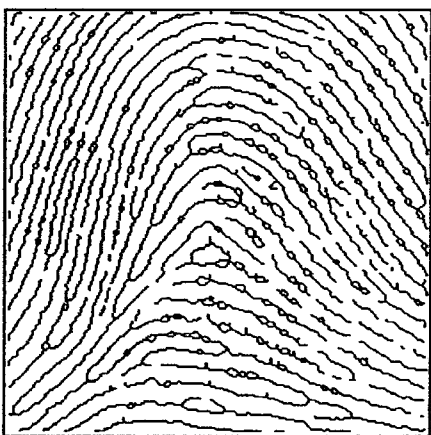
แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจนม ตัวอย่างที่ 3 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 77(ต่อ)



(จ)

(ฉ)



(ช)

(จ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3, (ฉ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน, (ช) ภาพที่การปรับปรุงการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจน ตัวอย่างที่ 3 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

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

การเติมสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพ จะใช้วิธีเติมสัญญาณที่จุดขอบภาพ ซึ่งในการหาจุดขอบภาพ ใช้วินโดว์ขนาด 3 x 3 ดังภาพซ้ายมือ ครอบไปตามตำแหน่งโคออร์ดิเนตตามแนวแกน x, y ที่ได้จากการสุ่ม แล้วพิจารณาว่า ณ ตำแหน่งที่กำลังพิจารณาเป็นจุดขอบภาพหรือไม่ ซึ่งมีหลักในการพิจารณาคือ

จากวินโดว์ขนาด  $3 \times 3$  นั้น จุดภาพ  $x_0$  ซึ่งเป็นจุดที่กำลังพิจารณา จะเป็นจุดขอบภาพ ก็ต่อเมื่อมีจุดรอบข้างที่ตำแหน่ง  $x_1$  หรือ  $x_3$  หรือ  $x_5$  หรือ  $x_7$  อย่างน้อย 1 จุดเป็นพื้นฉากในภาพ(แทนด้วยสี



ขาว) ซึ่งจะขอยกตัวอย่างเพียงบางส่วน เช่น จุดตรงกลางของวินโดว์จะเป็นจุดขอบภาพ เมื่อหาตำแหน่งจุดขอบภาพได้แล้ว จะทำการสุ่ม เพื่อทำการลบหรือเติมจุดขอบภาพในภาพ เมื่อนำมาเขียนเป็นโปรแกรม จะได้ดังนี้

```
Private Sub NoiseProc_Click()
```

```
Dim x, y, l, sum, k, tcolor As Integer
```

```
Dim tempy, tempx As Integer
```

```
Dim bloop As String
```

```
l = 0
```

```
' กำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มเพื่อหาตำแหน่งจุดขอบภาพ
```

```
    bloop = InputBox("Determine a number of point to randomzie?", "image processing")
```

```
    If bloop <> "" Then
```

```
Do
```

```
' สุ่มหาโคออร์ดิเนต x, y ของจุดขอบภาพ และสุ่มการเติมหรือลบจุดขอบภาพ
```

```
    Randomize
```

```
    tempx = Int(((XRes - 3) * Rnd) + 2): tempy = Int(((YRes - 3) * Rnd) + 2)
```

```
    tcolor = Int((2 * Rnd) + 1)
```

```
' ตรวจสอบว่า ณ. ตำแหน่ง x, y เป็นจุดขอบภาพหรือไม่
```

```
    template3 tempy, tempx
```

```
    If (sumbound >= 1 And sumbound <= 3 And num0 = 1) Then
```

```
' ตรวจสอบค่าที่สุ่มได้เพื่อเติมหรือลบจุดขอบภาพ
```

```
If tcolor = 1 Then
```

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

```
' เติมจุดขอบภาพ
```

```
        target_pixel(tempx, tempy, k) = 0
```

```
Next
```

```
l = l + 1
```

```

ElseIf tcolor = 2 Then
  For k = 0 To 2
' ลบจุดขอบภาพ
    target_pixel(tempx, tempy, k) = 255
  Next
  l = l + 1
  End If
  End If
  Loop Until l = bloop
End If
End Sub

```

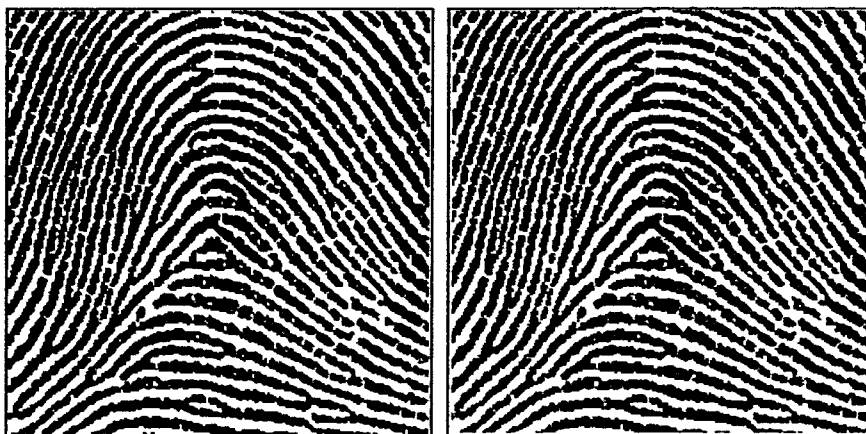
ในการเติมสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพ ใช้การเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ อย่างเช่น เติมสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพ 15% นั้นคิดจาก

ถ้ามีจำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพ 100 จุด จะมีการเติมสัญญาณรบกวน 15 จุด  
 ถ้ามีจำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพ 32,324 จุด จะมีการเติมสัญญาณรบกวน  $= \frac{15}{100} \times 32,324$   
 $= 4,848.6$  จุด

เนื่องจากจำนวนจุดภาพต้องเป็นจำนวนเต็มเสมอ จากค่า 4,848.6 จุด จึงต้องปัดเศษขึ้นเป็น 4,849 จุด

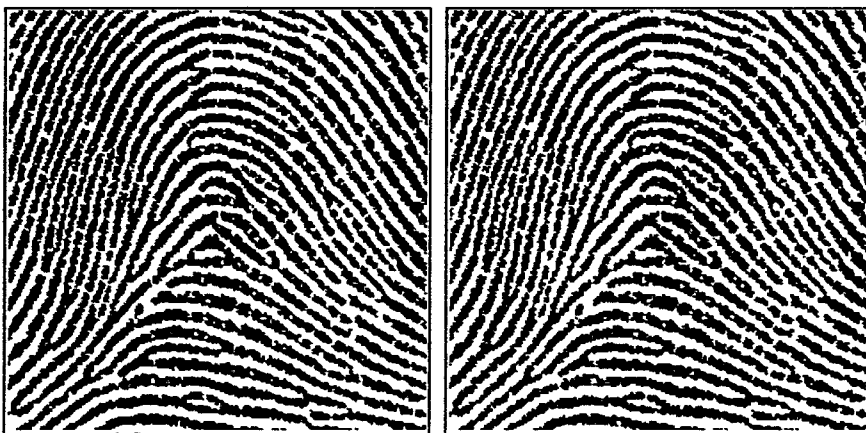
จากการทดลองเติมสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพที่ 5%, 15%, 25% จะได้ตามภาพที่ จากการสังเกตด้วยตา เห็นว่าสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพ จะเกิดขึ้นตามแนวจุดขอบภาพของลายเส้น ทำให้เกิดเป็นลายเส้นที่ขรุขระ ซึ่งรูปแบบของลายเส้นที่ขรุขระจะแปรเปลี่ยนไปตามการสุ่มที่ได้จากการเติมหรือลบจุดขอบภาพ เมื่อสังเกตทั้งภาพที่ได้จากการเติมสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพที่ 5%, 15%, 25% จะไม่เห็นความแตกต่างอย่างเด่นชัด แต่ในงานวิจัยนี้ จะใช้ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการเติมสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพที่ 15% (สังเกตเห็นว่า บริเวณขอบลายเส้นเริ่มเกิดเป็นเส้นขรุขระ ผิดเพี้ยนจากภาพตัวอย่าง (ก) อย่างเห็นได้ชัดเจน) เป็นภาพต้นแบบที่จะนำไปใช้ในการทำลายเส้นให้บาง เพื่อตรวจหาค่า  $m_c$  ต่อไป

ภาพที่ 78



(ก)

(ข)



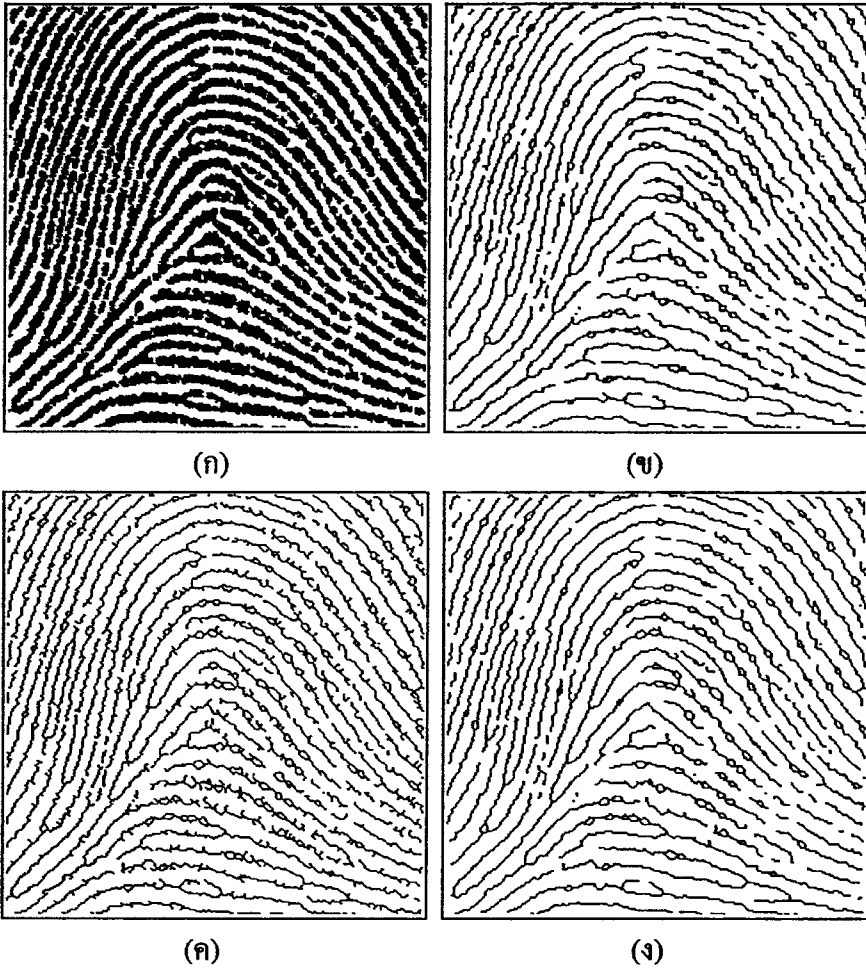
(ค)

(ง)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ, (ข) ภาพที่มีการเติมสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพที่ 5%, (ค) ภาพที่มีการเติมสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพที่ 15%, (ง) ภาพที่มีการเติมสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพที่ 25%,

แสดงตัวอย่างของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3 ที่มีการเติมสัญญาณรบกวนในภาพที่บริเวณขอบภาพที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ กัน

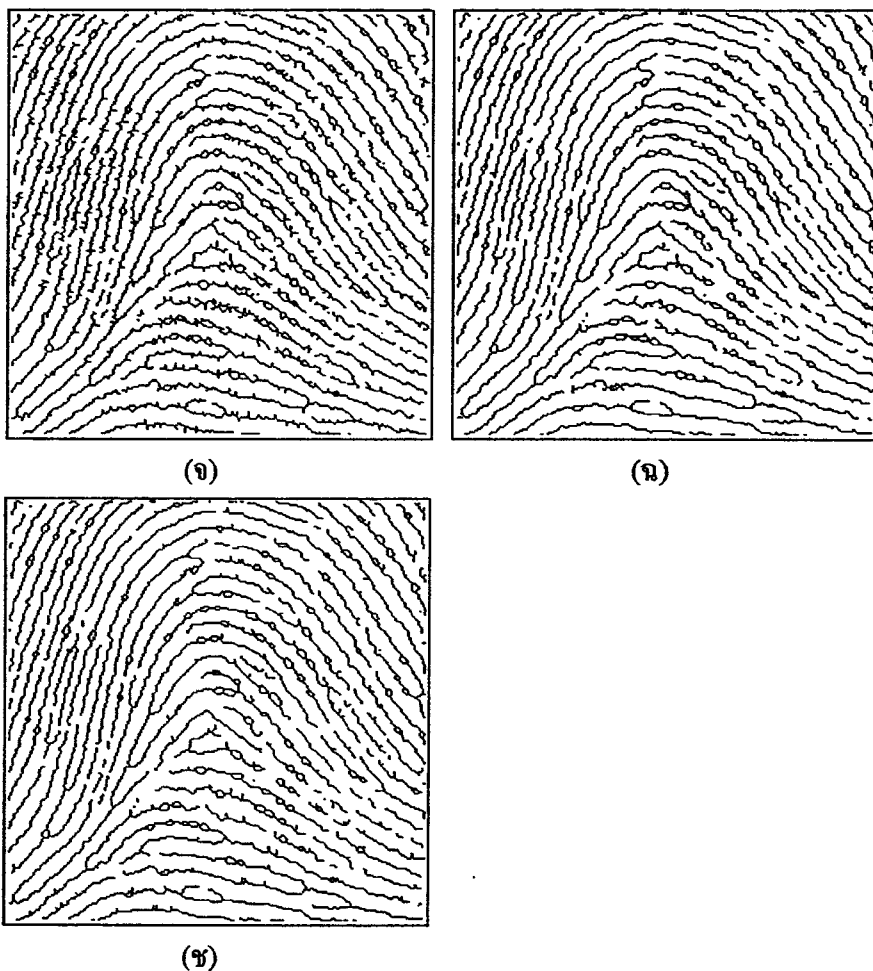
ภาพที่ 79



(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโอม ตัวอย่างที่ 3 ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพที่ 15%  
 (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen, (ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI, (ง) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโอม ตัวอย่างที่ 3 ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 79(ต่อ)



(จ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3, (ฉ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน, (ช) ภาพที่การปรับปรุงการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโอม ตัวอย่างที่ 3 ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

## ตารางที่ 8

แสดงรายละเอียดจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3

ขั้นตอนวิธีที่	n	$S_M \cdot Q^k$	Area[S]	Area[S'']	$m_d$	$m_t$	Area[S <sub>M</sub> ]
1	19	2,164	32,324	29,951	0.03946	0.73244	8,088
2	4	168	32,324	29,951	0.19128	0.97787	7,592
3	8	377	32,324	29,951	0.09656	0.94874	7,355
4	13	259	32,324	29,951	0.05858	0.96640	7,709
5	29	277	32,324	29,951	0.02674	0.96186	7,262
6	8	129	32,324	29,951	0.09721	0.98205	7,185

ขั้นตอนวิธี	Area[S <sub>M</sub> '']	$m_c$ (SNBR)	t(วินาที)
1	8,145	0.01409	480
2	7,988	0.10432	249
3	7,147	0.05656	319
4	7,786	0.01997	717
5	7,290	0.00771	4,163
6	7,199	0.00389	423

ขั้นตอนวิธีที่ 1 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen

ขั้นตอนวิธีที่ 2 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI

ขั้นตอนวิธีที่ 3 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

ขั้นตอนวิธีที่ 4 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN

ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3

ขั้นตอนวิธีที่ 5 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนวิธีที่ 6 คือ การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง

n คือ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำ

$S_M \cdot Q^k$  คือ จุดภาพสเกลเลตันที่ตรงกับแม่แบบที่ใช้ตรวจหาความกว้างของสเกลเลตัน เมื่อ  $1 \leq k \leq 4$

Area[S] คือ จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

Area[S''] คือ จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพที่ 15%

$m_a$  คือ มาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ

$m_s$  คือ มาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้น

$Area[S_M]$  คือ จำนวนจุดภาพสเกลเลตันของภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

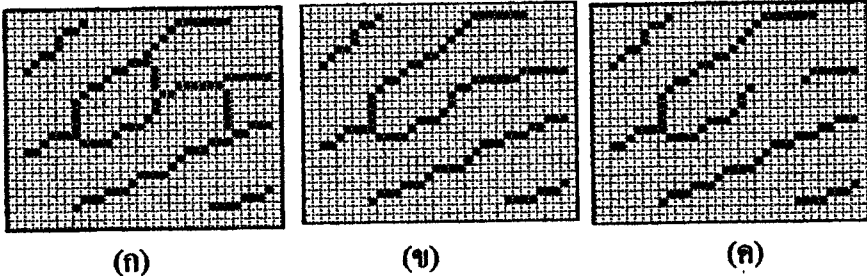
$Area[S''_M]$  คือ จำนวนจุดภาพสเกลเลตันของภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพที่ 15%

$m_c$  (SNBR) คือ มาตรฐานการวัดของความรู้สึกละเอียดต่อสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บางกับภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

ในการกำจัดเส้นสะพาน โดยใช้วิธีติดตามลายเส้นนั้น จะทำการติดตามลายเส้นทั้ง 3 ทิศทาง ที่ตำแหน่งจุดแยกหนึ่ง โดยกระทำที่เดียวทั้ง 3 ทิศทาง ซึ่งจะมีหลักการอยู่คร่าวๆ ตามภาพที่ 54 (หน้าที่ 78) ซึ่งมีขั้นตอนอย่างคร่าวๆ คือ ทำการตรวจสอบดูว่า ถ้าจำนวนจุดภาพที่อยู่ระหว่างจุดแยกที่ 1 กับจุดแยกที่ 2 มีจำนวนน้อยกว่าจำนวนจุดที่ใช้นับ (ซึ่งใช้บุคคลเป็นพิจารณาลายเส้น และทำการตั้งจำนวนจุดที่ใช้ นับ) ให้ทำการลบเส้นสะพานนั้น ในการตั้งจำนวนจุดที่ใช้ นับ เพื่อทำการกำจัดเส้นสะพานในแต่ละภาพลายเส้นนั้น ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลายเส้น ยกตัวอย่างเช่น

ภาพที่ 80



(ก) ลักษณะของเส้นสะพาน ลายเส้นสีแดง ควรถูกกำจัดและลายเส้นสีเขียว ไม่ควรถูกกำจัด, (ข) ลายเส้นที่ได้ เมื่อตั้งจำนวนจุดที่ใช้ นับเท่ากับ 6, (ค) ลายเส้นที่ได้ เมื่อตั้งจำนวนจุดที่ใช้ นับเท่ากับ 10

#### แสดงลักษณะของเส้นสะพานที่ควรถูกกำจัด

จากภาพที่ 80 (ก) บริเวณของเส้นสะพานที่จะถูกกำจัดคือ บริเวณลายเส้นสีแดง จากการสังเกตจากการใช้บุคคล (ดูจากภาพจำนวนจุดไม่เกิน 5) เห็น ได้ว่า ควรตั้งจำนวนจุดที่ใช้ นับไว้เท่ากับ 6 หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการกำจัดเส้นสะพานโดยอัตโนมัติ ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพจะได้ภาพที่ 80 (ข) แต่ถ้าตั้งจำนวนจุดที่ใช้ นับไว้มากๆ สมมติตั้งเป็น 10 บริเวณที่เป็นลายเส้นสีเขียวจะถูกกำจัดออกไป ดังภาพที่ 80 (ค) ดังนั้นค่าที่กำหนดเป็นการตั้งจำนวนจุดที่ใช้ นับในแต่ละภาพลายเส้นจึงไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลายเส้น และการกำหนดของตัวบุคคลที่ทำการสังเกตภาพลายเส้น

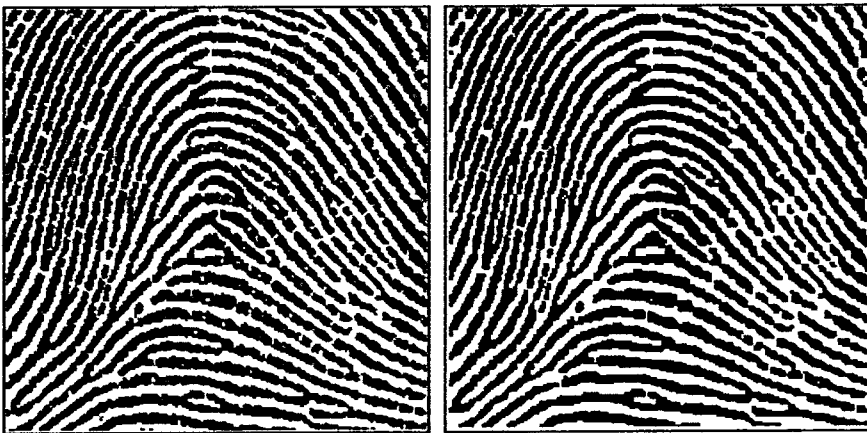
ในการตกแต่งภาพถ่ายเส้นที่ได้หรือทำโพสโพเรสซึ่ง ได้แก่การต่อเส้นขาด, ตัดเส้นสั้น, ตัดเส้นกิ่ง และการกำจัดจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพ มีการทำโดยพิจารณาเป็นส่วนใหญ่ ขึ้นอยู่กับการสังเกตภาพถ่ายเส้นของแต่ละบุคคลและความเชี่ยวชาญของตัวบุคคล ไม่กระทำที่เดียว ทั้งภาพเหมือนกับการกำจัดเส้นสะพาน ดังนั้นเมื่อนำภาพที่ผ่านการถ่ายภาพเส้นให้บางตามวิธีการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการถ่ายภาพเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4 มาผ่านการตกแต่งภาพ จะได้ผลตามตารางที่ 9

### ตารางที่ 9

แสดงรายละเอียดจากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการถ่ายภาพเส้นให้บางกับ  
ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โคงักระโจม ตัวอย่างที่ 3

ประเภทของการตกแต่งภาพ	ตั้งจำนวนจุดที่ใช้นับ	เวลาที่ใช้(วินาที)
ตัดเส้นสะพาน	9	81
การต่อเส้นขาด, ตัดเส้นสั้น, ตัดเส้นกิ่ง	ความเชี่ยวชาญของตัวบุคคล	

ภาพที่ 81



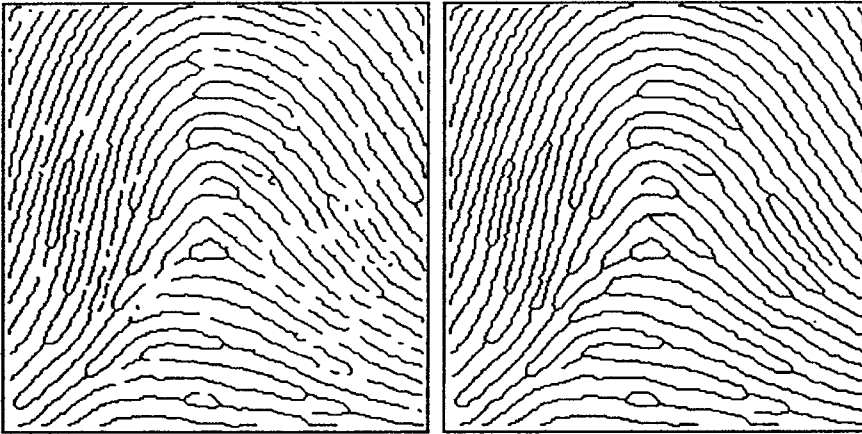
(ก)

(ข)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือประเภทแบบ โคงักระโจม ตัวอย่างที่ 3 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ, (ข) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการถ่ายภาพเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 1

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โคงักระโจม ตัวอย่างที่ 3 มาผ่านการถ่ายภาพเส้นให้บางวิธีที่ 6

ภาพที่ 81(ต่อ)



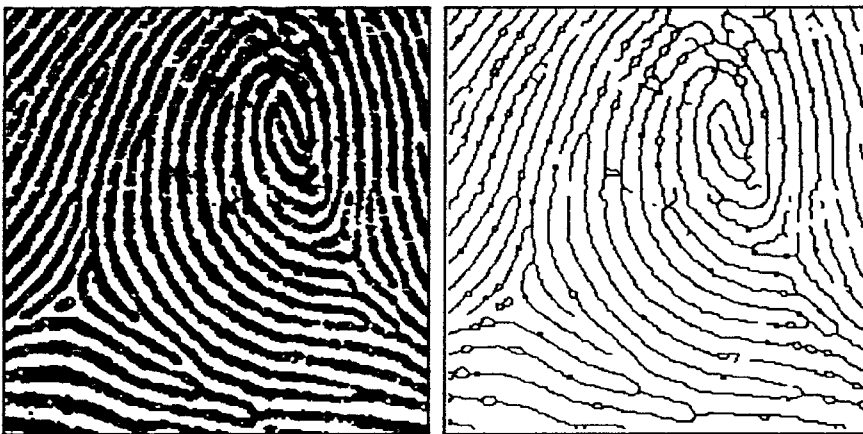
(ค)

(ง)

(ค) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4, (ง) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งใช้วิธีการตัดเส้นกิ่ง, ต่อเส้นขาด, ตัดเส้นสั้นและการตัดเส้นสะพาน

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโอม ตัวอย่างที่ 3 มาผ่านการทำลายเส้นให้บางวิธีที่ 6

ภาพที่ 82



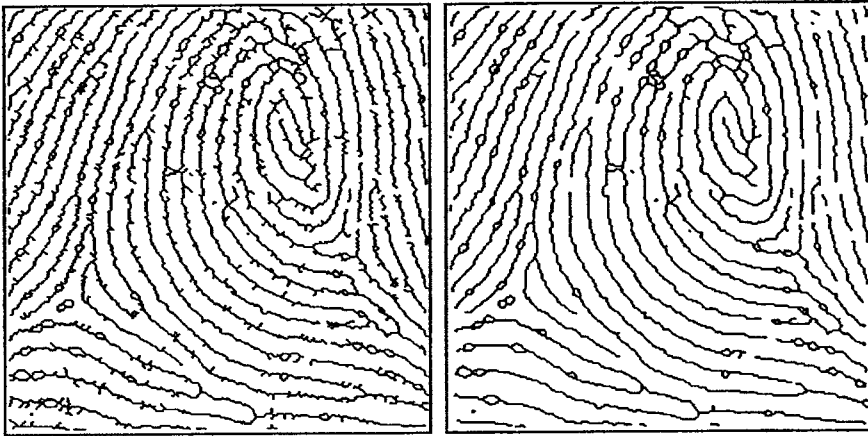
(ก)

(ข)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ และยังไม่ผ่านการคบแต่งภาพให้สมบูรณ์(preprocessing), (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen

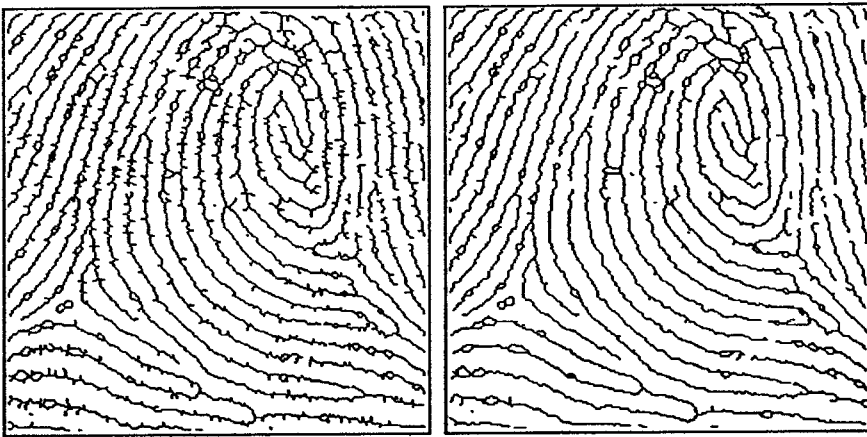
แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 82(ต่อ)



(ค)

(ง)



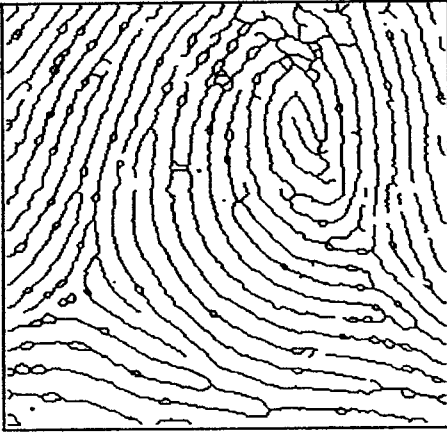
(จ)

(ฉ)

(ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI, (ง) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG, (จ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3, (ฉ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบกันหอยกระเป๋ากลางปิดขวา ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 82(ต่อ)

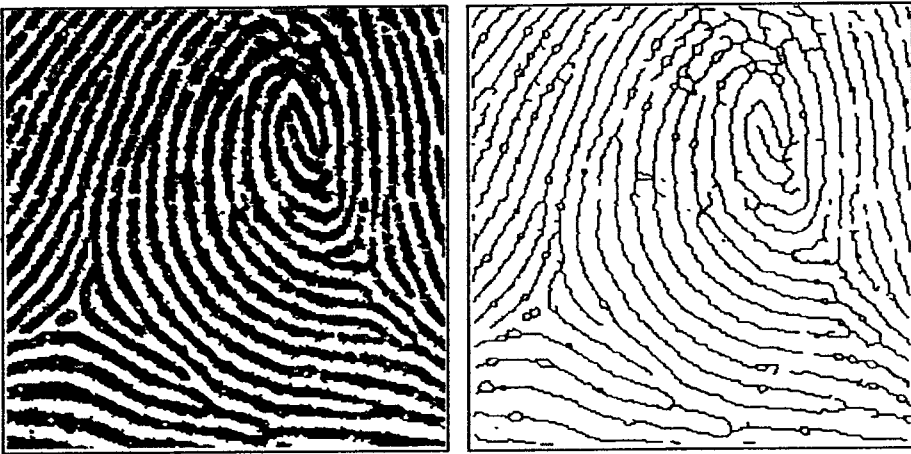


(ข)

(ข) ภาพที่การปรับปรุงการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 83



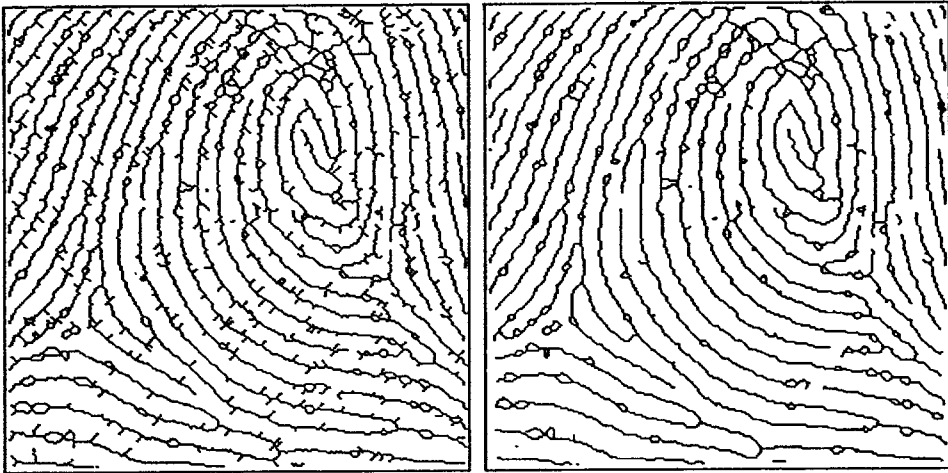
(ก)

(ข)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพที่ 15%, (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen

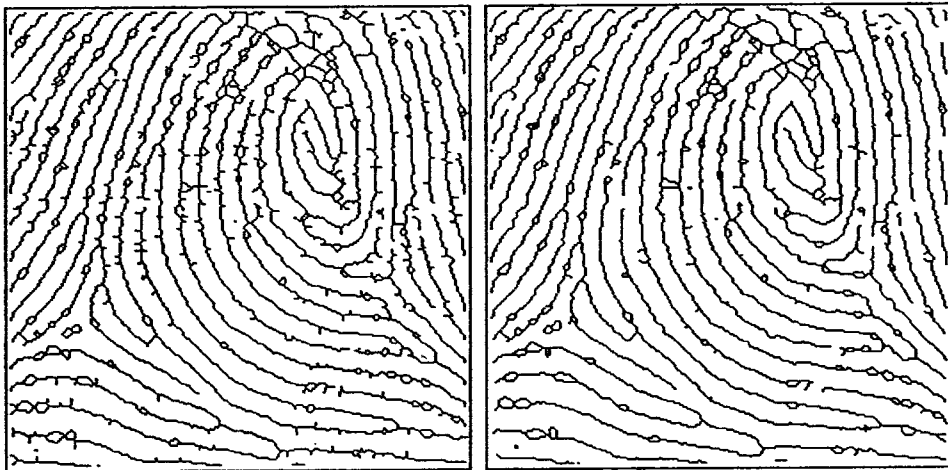
แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางวิธีทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 83(ต่อ)



(ค)

(ง)



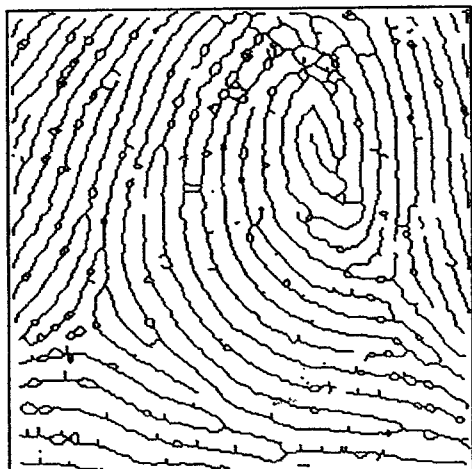
(จ)

(ฉ)

(ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI, (ง) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG, (จ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3, (ฉ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบกันหอยกระเป่ากลางปีดขวา ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ  
มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 83(ต่อ)



(ข)

(ข) ภาพที่การปรับปรุงการทำลายเส้นให้บาง ความชันตอนที่ 2-4

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป่ากลางปิดขวา ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ตารางที่ 10

แสดงรายละเอียดจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป่ากลางปิดขวา

ขั้นตอน วิธีที่	n	$S_M \cdot Q^k$	Area[S]	Area[S"]	$m_d$	$m_r$	Area[S <sub>M</sub> ]
1	10	1,620	31,229	33,960	0.07927	0.76939	7,025
2	5	115	31,229	33,960	0.16182	0.98223	6,470
3	10	245	31,229	33,960	0.08146	0.96101	6,284
4	13	168	31,229	34,960	0.06156	0.97519	6,771
5	9	205	31,229	34,960	0.09054	0.96734	6,276
6	9	82	31,229	34,960	0.09092	0.98668	6,158

## ตารางที่ 10(ต่อ)

แสดงรายละเอียดจากการทำลายเส้นให้บังกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบกั้นรอยกระเป่ากลางปิดขวา

ขั้นตอนวิธี	$Area[S_M]$	$m_c(SNBR)$	t(วินาที)
1	7,092	0.01907	266
2	7,002	0.16445	303
3	6,241	0.01368	401
4	7,064	0.08654	746
5	6,467	0.05991	1,384
6	6,295	0.04449	678

ขั้นตอนวิธีที่ 1 คือ การทำลายเส้นให้บังตามวิธีของ Zhang and Suen

ขั้นตอนวิธีที่ 2 คือ การทำลายเส้นให้บังตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI

ขั้นตอนวิธีที่ 3 คือ การทำลายเส้นให้บังตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

ขั้นตอนวิธีที่ 4 คือ การทำลายเส้นให้บังตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN

ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3

ขั้นตอนวิธีที่ 5 คือ การทำลายเส้นให้บังตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนวิธีที่ 6 คือ การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บัง

n คือ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำ

$S_M \cdot Q^k$  คือ จุดภาพสเกลเลตันที่ตรงกับแม่แบบที่ใช้ตรวจหาความกว้างของสเกลเลตัน เมื่อ  $1 \leq k \leq 4$

$Area[S]$  คือ จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

$Area[S']$  คือ จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพที่ 15%

$m_c$  คือ มาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ

$m_c$  คือ มาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้น

$Area[S_M]$  คือ จำนวนจุดภาพสเกลเลตันของภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

$Area[S'_M]$  คือ จำนวนจุดภาพสเกลเลตันของภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพที่ 15%

$m_c(SNBR)$  คือ มาตรฐานการวัดของความรู้สึกที่ไวต่อสัญญาณรบกวนที่ขอบภาพ

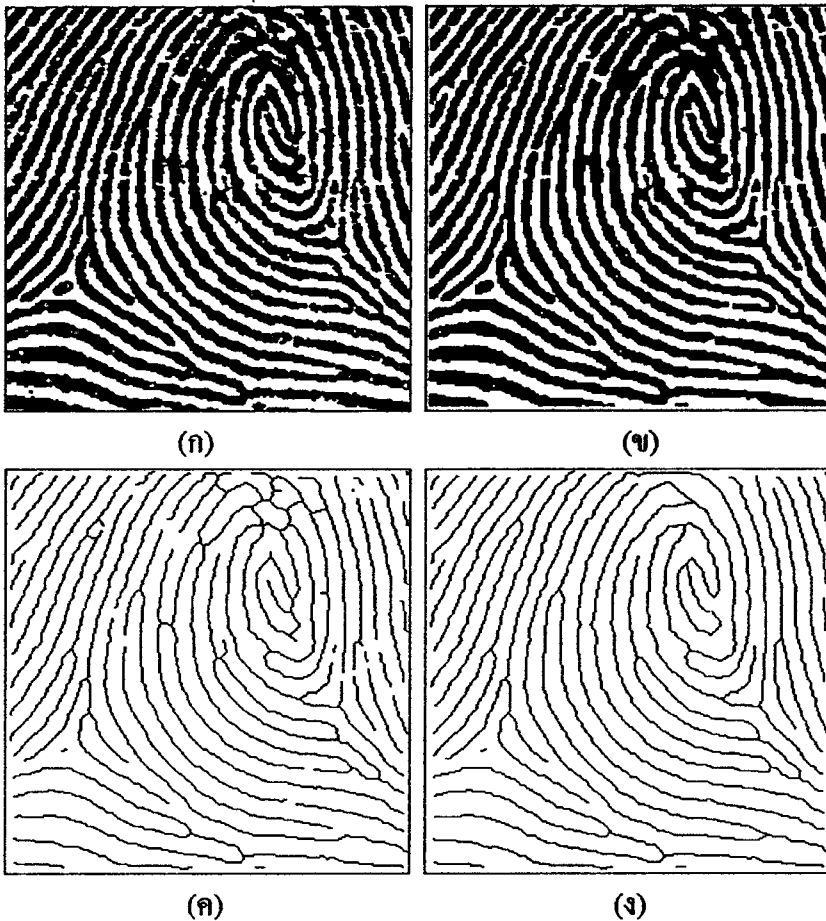
t คือ เวลาที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บังกับภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

## ตารางที่ 11

แสดงรายละเอียดจากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง  
กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา

ประเภทของการตกแต่งภาพ	ตั้งจำนวนจุดที่ใช้นับ	เวลาที่ใช้(วินาที)
ตัดเส้นสะพาน	12	86
การต่อเส้นขาด, ตัดเส้นสั้น, ตัดเส้นกิ่ง	ความเชี่ยวชาญของตัวบุคคล	

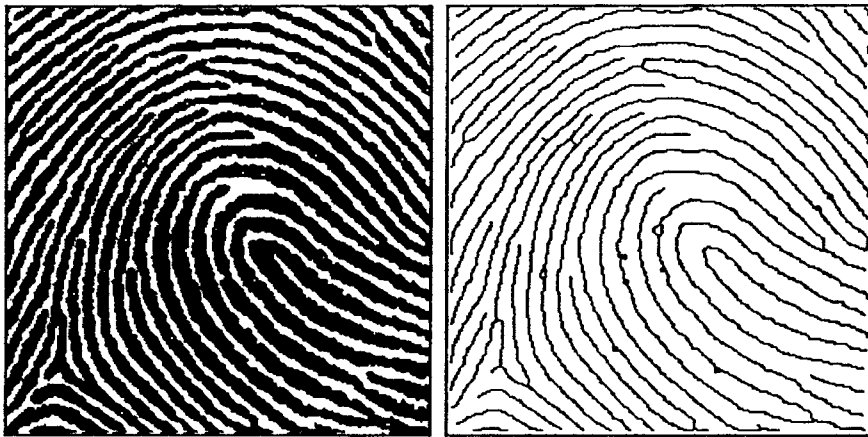
ภาพที่ 84



(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ,  
(ข) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 1, (ค) ภาพที่ผ่านการ  
ปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4, (ง) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอน  
วิธีการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งใช้วิธีการตัดเส้นกิ่ง, ต่อเส้นขาด, ตัดเส้นสั้นและตัดเส้นสะพาน

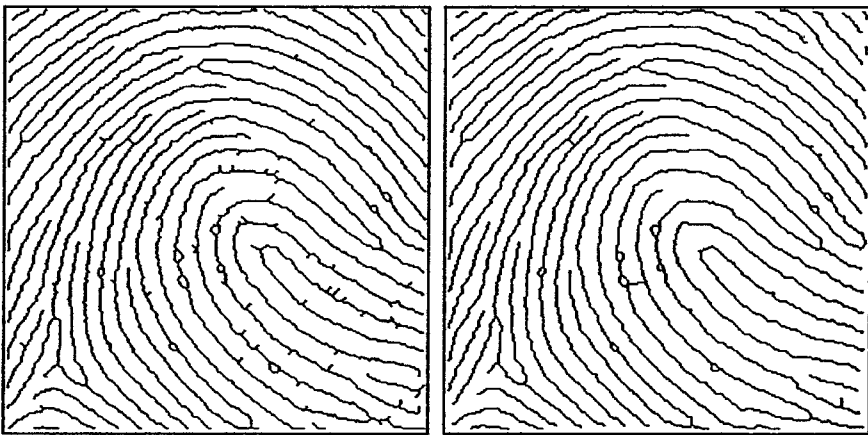
แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา มาผ่านการทำลายเส้นให้บางวิธีที่ 6

ภาพที่ 85



(ก)

(ข)



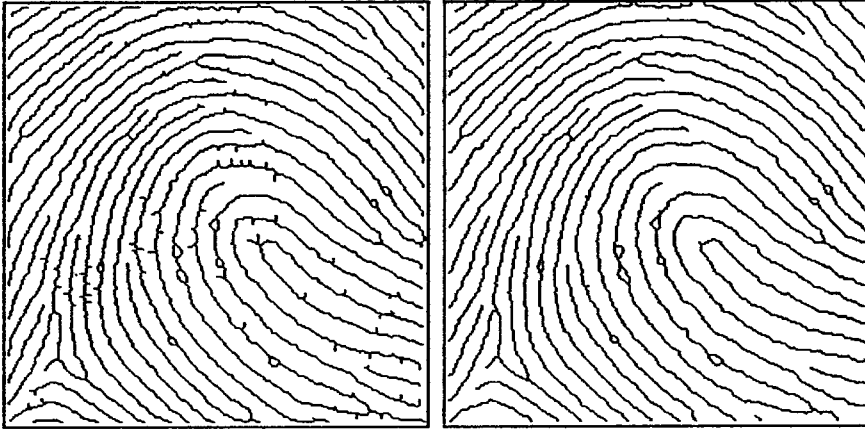
(ค)

(ง)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ และยังไม่ผ่านการคมแต่งภาพให้สมบูรณ์(preprocessing), (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen, (ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI, (ง) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

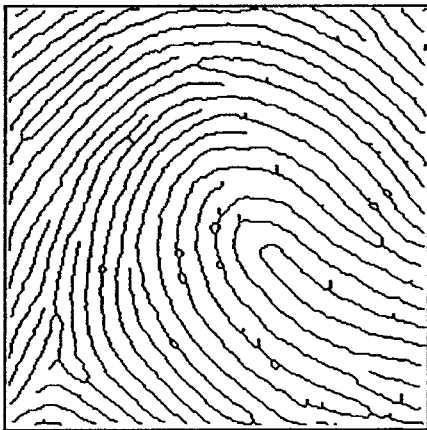
แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 85(ต่อ)



(จ)

(ฉ)

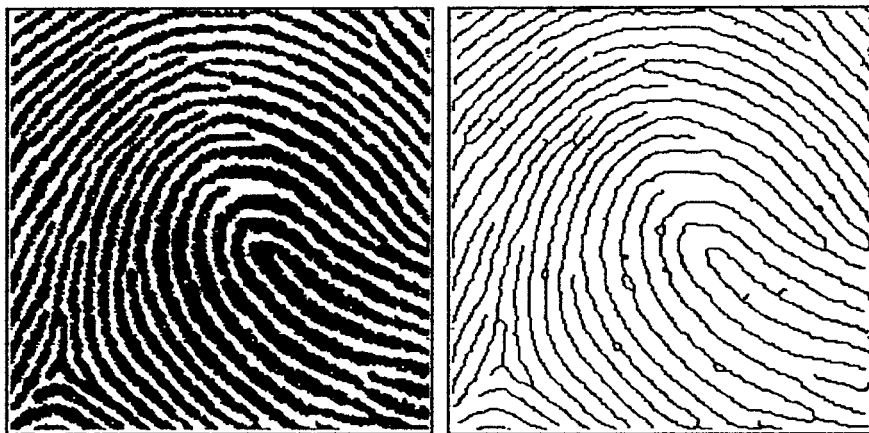


(ช)

(จ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3, (ฉ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน, (ช) ภาพที่การปรับปรุงการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4

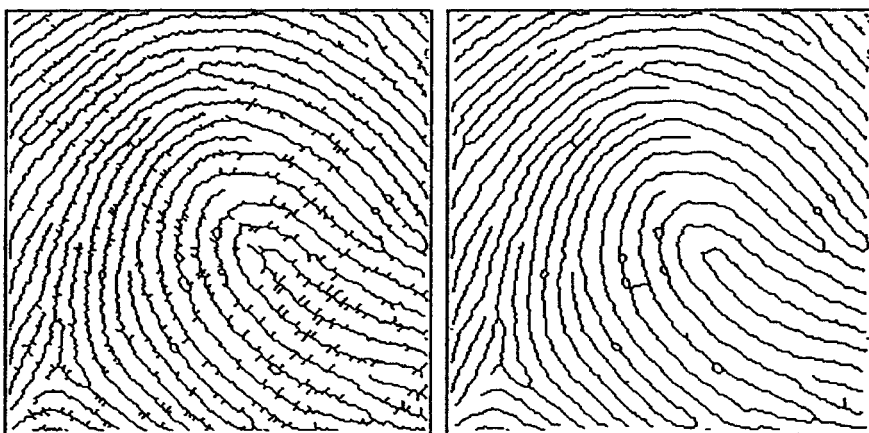
แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดควายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 86



(ก)

(ข)



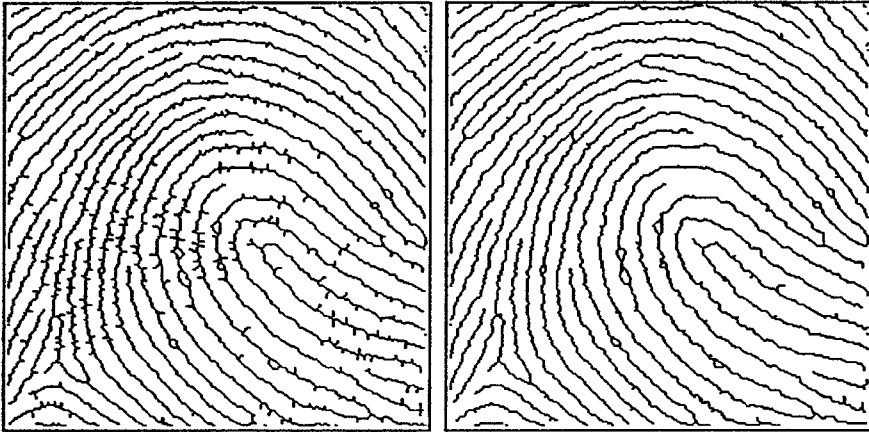
(ค)

(ง)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพที่ 15%, (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen, (ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI, (ง) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

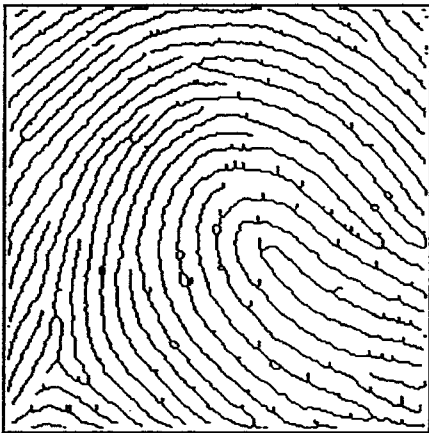
แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 86(ต่อ)



(จ)

(ฉ)



(ช)

(จ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3, (ฉ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน, (ช) ภาพที่การปรับปรุงการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

## ตารางที่ 12

แสดงรายละเอียดจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

แบบมัดหอยปีคขวา ตัวอย่างที่ 1

ขั้นตอนวิธี	n	$S_M \cdot Q^k$	Area[S]	Area[S']	$m_d$	$m_t$	Area[S <sub>M</sub> ]
1	11	1,898	36,925	34,206	0.07470	0.71177	6,585
2	6	39	36,925	34,206	0.14078	0.99320	5,735
3	10	57	36,925	34,206	0.08476	0.98967	5,628
4	12	40	36,925	34,206	0.07012	0.99317	5,856
5	7	28	36,925	34,206	0.12156	0.99491	5,506
6	10	23	36,925	34,206	0.08493	0.99587	5,565

ขั้นตอนวิธี	Area[S <sub>M</sub> ']	$m_t$ (SNBR)	t(วินาที)
1	5,730	0.04403	310
2	6,554	0.28561	370
3	5,602	0.00923	415
4	6,330	0.1188	769
5	5,835	0.11950	1,128
6	5,821	0.09200	518

ขั้นตอนวิธีที่ 1 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen

ขั้นตอนวิธีที่ 2 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI

ขั้นตอนวิธีที่ 3 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

ขั้นตอนวิธีที่ 4 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN

ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3

ขั้นตอนวิธีที่ 5 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่

แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนวิธีที่ 6 คือ การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง

n คือ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำ

$S_M \cdot Q^k$  คือ จุดภาพสเกลเลตันที่ตรงกับแม่แบบที่ใช้ตรวจหาความกว้างของสเกลเลตัน เมื่อ  $1 \leq k \leq 4$

$Area[S]$  คือ จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

$Area[S'']$  คือ จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพที่ 15%

$m_d$  คือ มาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ

$m_s$  คือ มาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้น

$Area[S_M]$  คือ จำนวนจุดภาพสเกลเลดต้นของภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

$Area[S''_M]$  คือ จำนวนจุดภาพสเกลเลดต้นของภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพที่ 15%

$m_c(SNBR)$  คือ มาตรฐานการวัดของความรู้สึกที่ไวต่อสัญญาณรบกวนที่ขอบภาพ

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บังกับภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

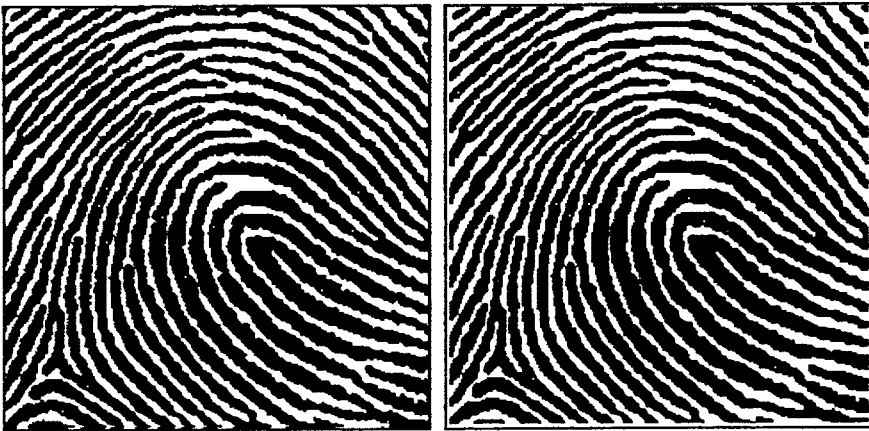
### ตารางที่ 13

แสดงรายละเอียดจากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บัง

กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักขวา ตัวอย่างที่ 1

ประเภทของการตกแต่งภาพ	ตั้งจำนวนจุดที่ใช้ยับ	เวลาที่ใช้(วินาที)
ตัดเส้นสะพาน	9	89
การต่อเส้นขาด, ตัดเส้นสั้น, ตัดเส้นกิ่ง	ความเชี่ยวชาญของตัวบุคคล	

ภาพที่ 87



(ก)

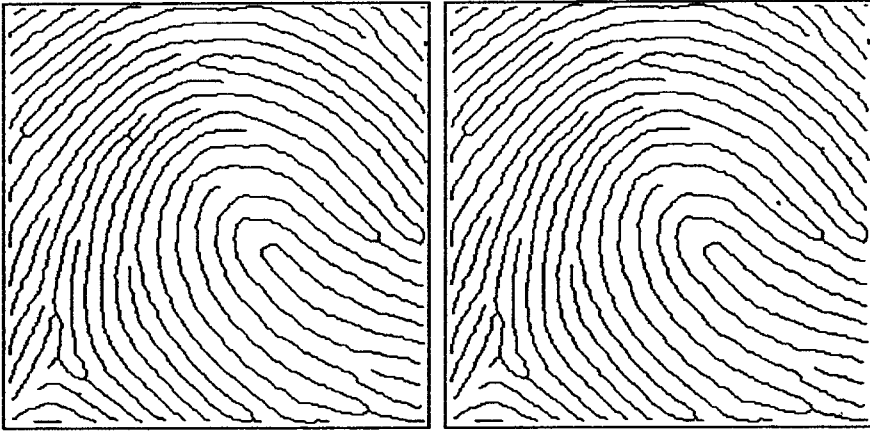
(ข)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ,

(ข) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บัง ตามขั้นตอนที่ 1

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักขวา ตัวอย่างที่ 1 มาผ่านการทำลายเส้นให้บังวิธีที่ 6

ภาพที่ 87(ต่อ)



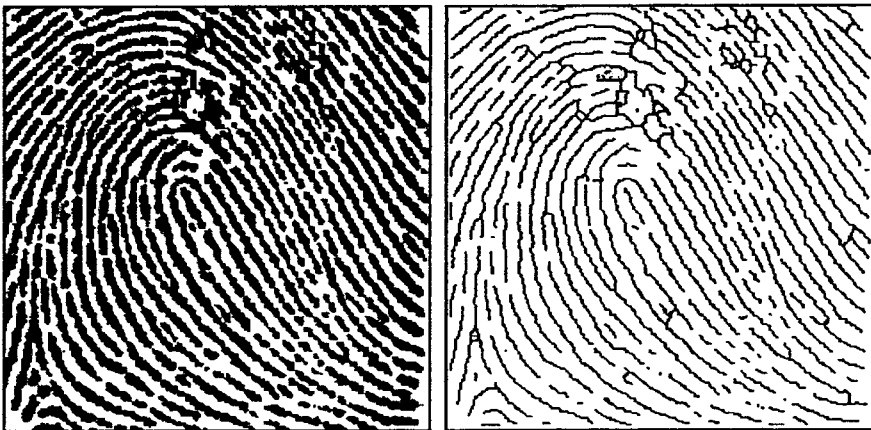
(ค)

(ง)

(ค) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4, (ง) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งใช้วิธีการตัดเส้นกิ่งและการตัดเส้นสะพาน

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัทหวายปักขวา ตัวอย่างที่ 1 มาผ่านการทำลายเส้นให้บางวิธีที่ 6

ภาพที่ 88



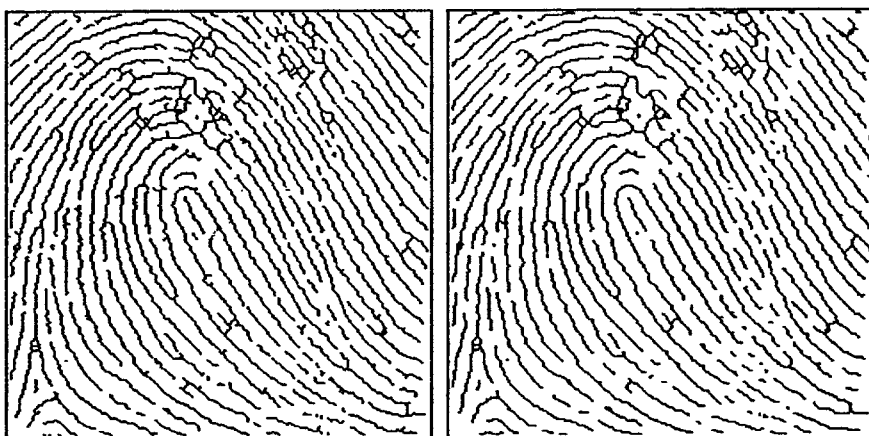
(ก)

(ข)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัทหวายปักขวา ตัวอย่างที่ 2 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ และยังไม่ผ่านการลบแต่งภาพให้สมบูรณ์(preprocessing), (ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen

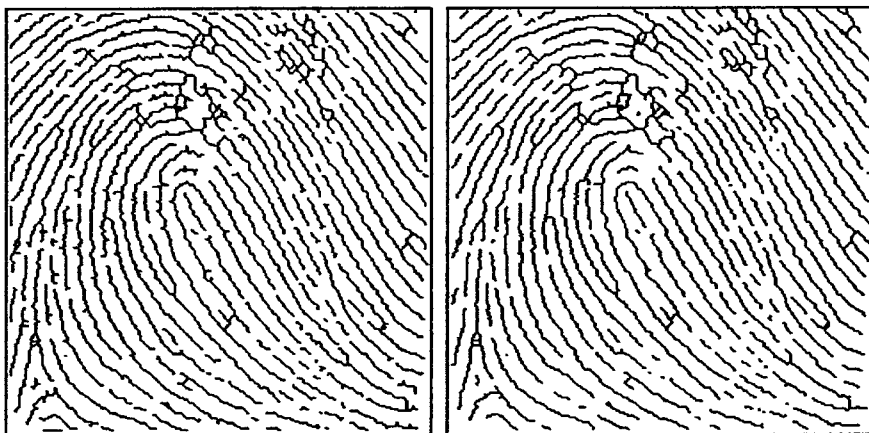
แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัทหวายปักขวา ตัวอย่างที่ 2 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 88(ต่อ)



(ค)

(ง)



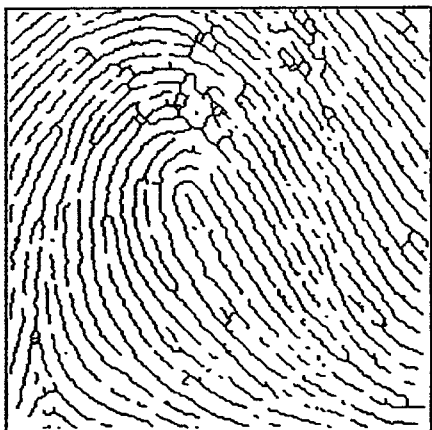
(จ)

(ฉ)

(ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI, (ง) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG, (จ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3, (ฉ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

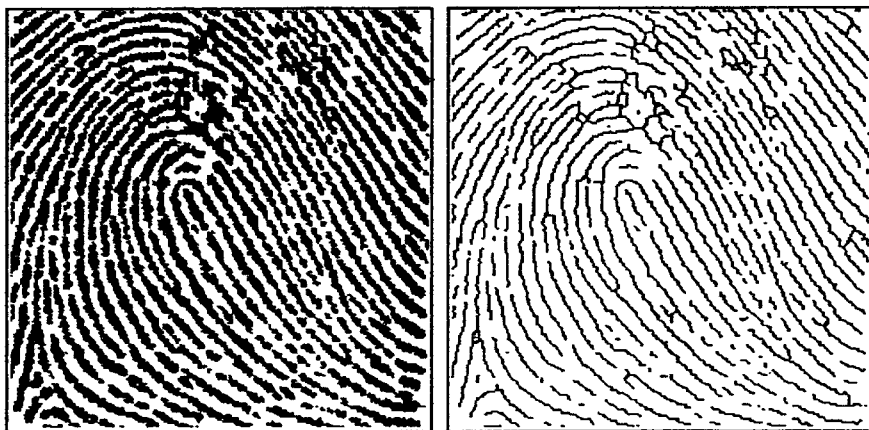
ภาพที่ 88(ต่อ)



(๕) ภาพที่การปรับปรุงการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ  
มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 89



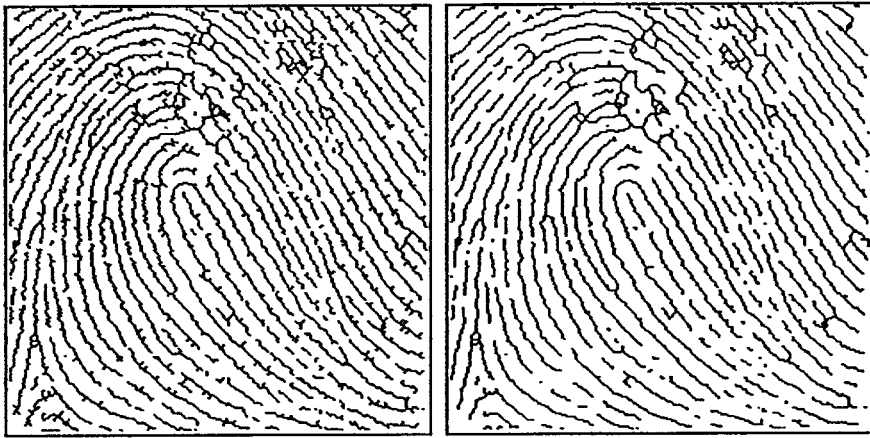
(ก)

(ข)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพที่  
15%, (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen

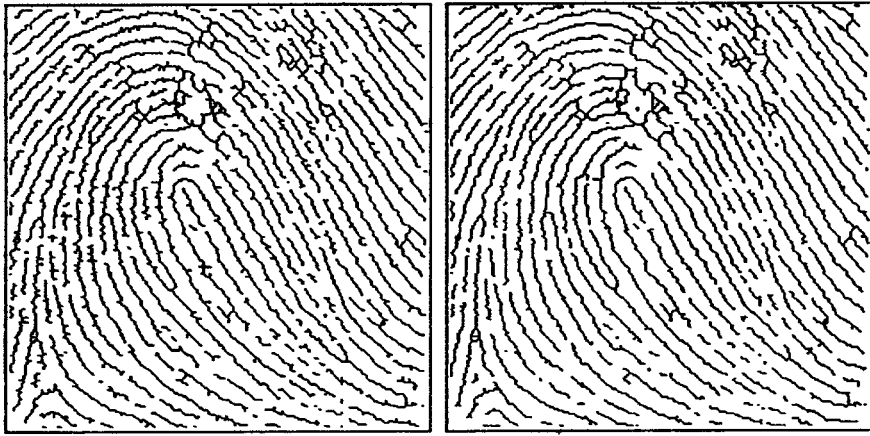
แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มา  
ผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 89(ต่อ)



(ค)

(ง)



(จ)

(ฉ)

(ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI, (ง) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG, (จ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3, (ฉ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 89(ต่อ)



(ข)

(ข) ภาพที่การปรับปรุงการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ตารางที่ 14

แสดงรายละเอียดจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2

ขั้นตอนวิธีที่	n	$S_M \cdot Q^k$	Area[S]	Area[S']	$m_a$	$m_r$	Area[S <sub>M</sub> ]
1	11	1,873	29,349	34,206	0.06776	0.74940	7,474
2	4	62	29,349	34,206	0.19231	0.99085	6,773
3	8	173	29,349	34,206	0.09791	0.97280	6,360
4	13	102	29,349	34,206	0.05917	0.98494	6,773
5	6	94	29,349	34,206	0.13052	0.98523	6,365
6	8	44	29,349	34,206	0.09786	0.99309	6,372

## ตารางที่ 14(ต่อ)

แสดงรายละเอียดจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

แบบมัดหวายปีกขวา ตัวอย่างที่ 2

ขั้นตอนวิธี	$Area[S_M^*]$	$m_c(SNBR)$	t(วินาที)
1	7,577	0.02756	291
2	7,274	0.14794	250
3	6,351	0.00283	320
4	6,947	0.05138	718
5	6,572	0.06504	971
6	6,503	0.04028	415

ขั้นตอนวิธีที่ 1 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen

ขั้นตอนวิธีที่ 2 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI

ขั้นตอนวิธีที่ 3 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

ขั้นตอนวิธีที่ 4 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN

ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3

ขั้นตอนวิธีที่ 5 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนวิธีที่ 6 คือ การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง

n คือ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำ

$S_M \cdot Q^k$  คือ จุดภาพสเกลเลตันที่ตรงกับแม่แบบที่ใช้ตรวจหาความกว้างของสเกลเลตัน เมื่อ  $1 \leq k \leq 4$

$Area[S]$  คือ จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

$Area[S^*]$  คือ จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพที่ 15%

$m_c$  คือ มาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ

$m_c$  คือ มาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้น

$Area[S_M]$  คือ จำนวนจุดภาพสเกลเลตันของภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

$Area[S_M^*]$  คือ จำนวนจุดภาพสเกลเลตันของภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพที่ 15%

$m_c(SNBR)$  คือ มาตรฐานการวัดของความถี่ที่ไวต่อสัญญาณรบกวนที่ขอบภาพ

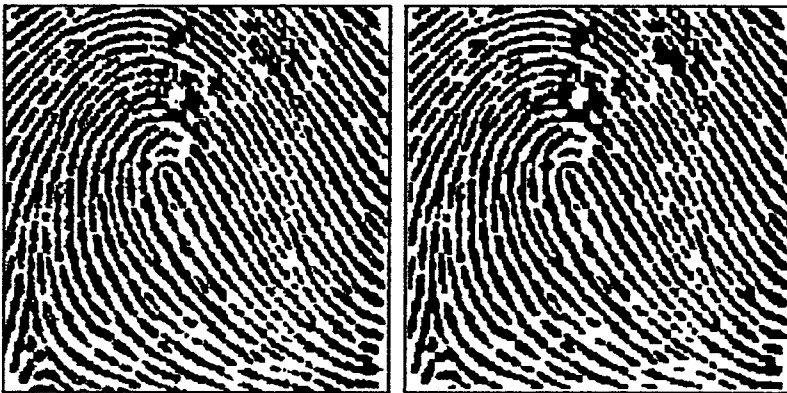
t คือ เวลาที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บางกับภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

## ตารางที่ 15

แสดงรายละเอียดจากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง  
กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2

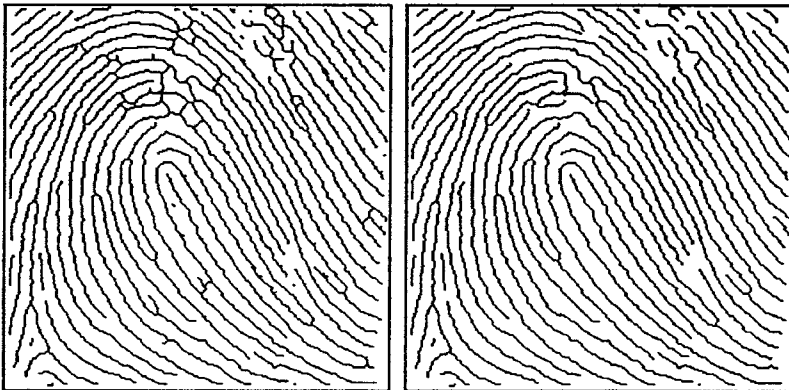
ประเภทของการตกแต่งภาพ	ตั้งจำนวนจุดที่ใช้นับ	เวลาที่ใช้(วินาที)
ตัดเส้นสะพาน	5	41
การต่อเส้นขาด, ตัดเส้นสั้น, ตัดเส้นกิ่ง	ความเชี่ยวชาญของตัวบุคคล	

ภาพที่ 90



(ก)

(ข)



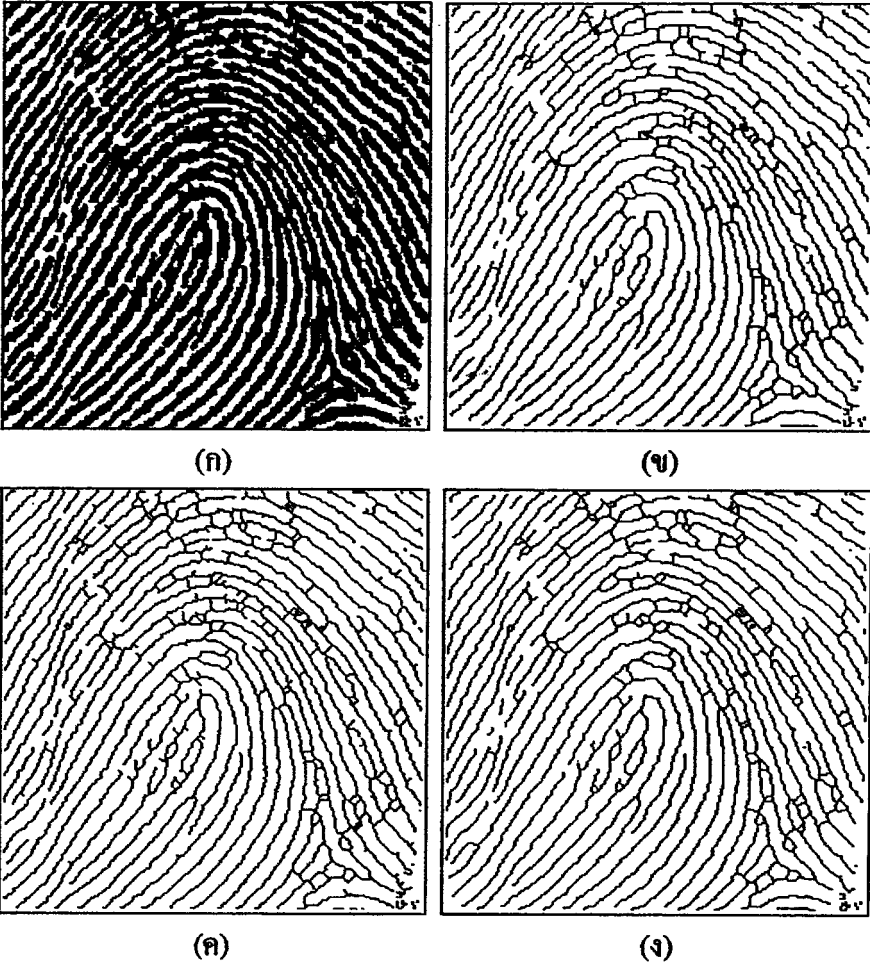
(ค)

(ง)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ,  
(ข) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 1, (ค) ภาพที่ผ่านการ  
ปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4, (ง) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอน  
วิธีการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งใช้วิธีการต่อเส้นขาด, ตัดเส้นสั้น, ตัดเส้นกิ่ง และตัดเส้นสะพาน

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 มาผ่านการทำลายเส้นให้บางวิธีที่ 6

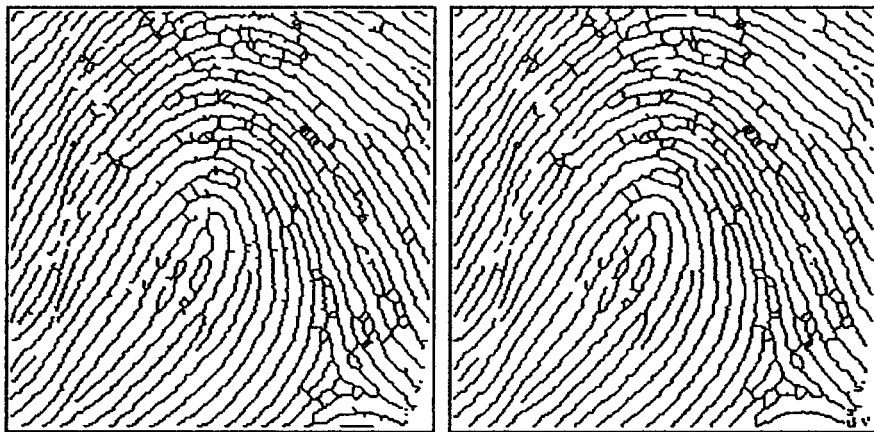
ภาพที่ 91



(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ และยังไม่ผ่านการลบแต่งภาพให้สมบูรณ์(preprocessing), (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen, (ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI, (ง) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

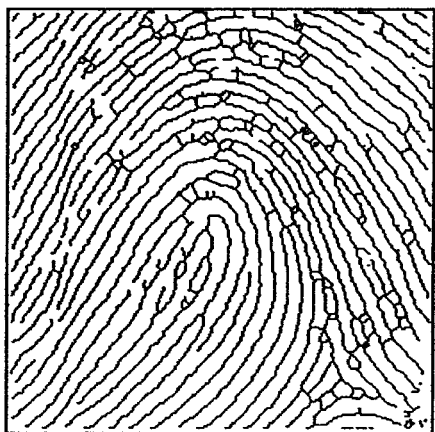
แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้ายที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

## ภาพที่ 91(ต่อ)



(จ)

(ฉ)

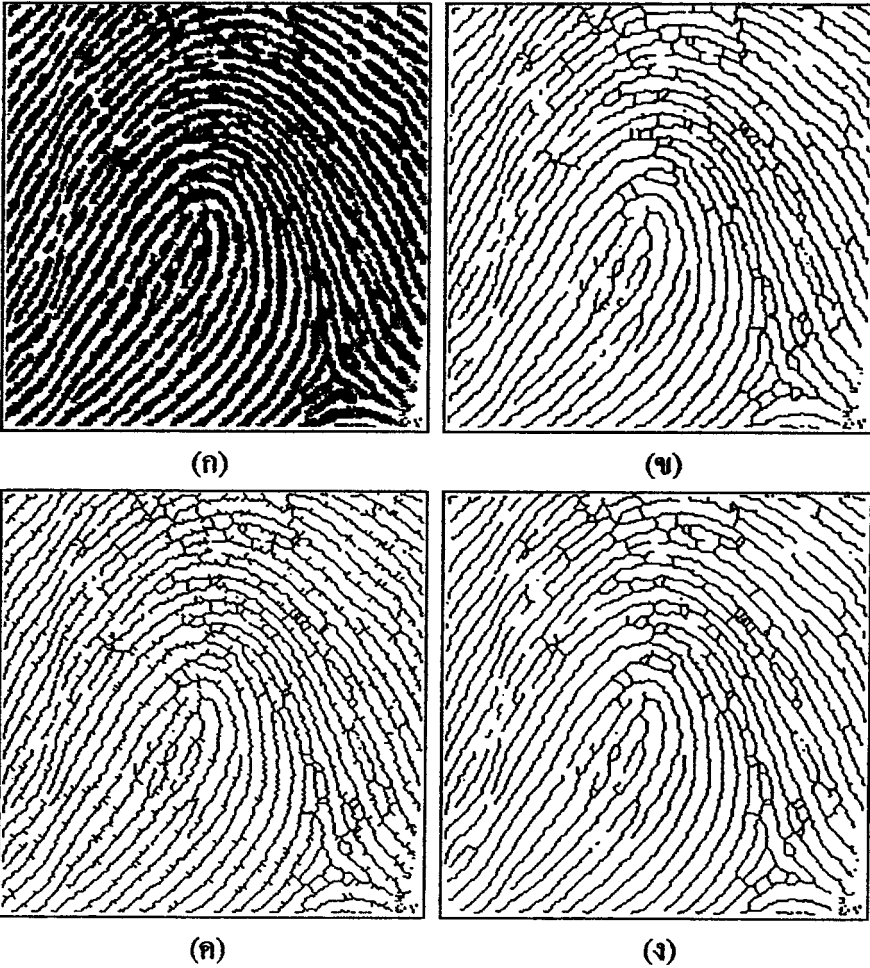


(ช)

(จ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3, (ฉ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน, (ช) ภาพที่การปรับปรุงการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้ายที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

ภาพที่ 92



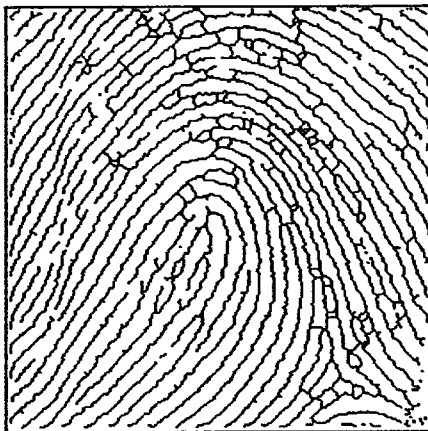
(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย ที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพที่ 15%, (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen, (ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI, (ง) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้ายที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

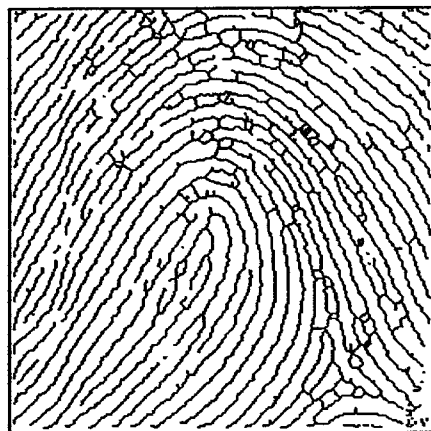
ภาพที่ 92(ต่อ)



(จ)



(ข)



(ค)

(จ) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3, (ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน, (ค) ภาพที่การปรับปรุงการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักชายที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ มาผ่านการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี

## ตารางที่ 16

แสดงรายละเอียดจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้าย

ขั้นตอนวิธีที่	n	$S_M \cdot Q^k$	Area[S]	Area[S'']	$m_d$	$m_t$	Area[S <sub>M</sub> ]
1	9	2,699	35,876	33,018	0.08349	0.69739	8,919
2	5	136	35,876	33,018	0.15744	0.98218	7,634
3	8	261	35,876	33,018	0.09903	0.96498	7,453
4	14	141	35,876	33,018	0.05623	0.98153	7,634
5	5	226	35,876	33,018	0.15809	0.96993	7,517
6	8	135	35,876	33,018	0.09915	0.98280	7,414

ขั้นตอนวิธี	Area[S'']	$m_t$ (SNBR)	t(วินาที)
1	9,012	0.02085	243
2	8,310	0.17710	303
3	7,436	0.00456	320
4	7,936	0.07911	759
5	7,700	0.04868	833
6	7,550	0.03668	414

ขั้นตอนวิธีที่ 1 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen

ขั้นตอนวิธีที่ 2 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI

ขั้นตอนวิธีที่ 3 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

ขั้นตอนวิธีที่ 4 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN

ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3

ขั้นตอนวิธีที่ 5 คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่

แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนวิธีที่ 6 คือ การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง

n คือ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำ

$S_M \cdot Q^k$  คือ จุดภาพสเกลเลตันที่ตรงกับแม่แบบที่ใช้ตรวจหาความกว้างของสเกลเลตัน เมื่อ  $1 \leq k \leq 4$

Area[S] คือ จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

$Area[S']$  คือ จำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพที่ 15%

$m_d$  คือ มาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ

$m_t$  คือ มาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้น

$Area[S_M]$  คือ จำนวนจุดภาพสเกลเลคันของภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

$Area[S''_M]$  คือ จำนวนจุดภาพสเกลเลคันของภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพที่ 15%

$m_c(SNBR)$  คือ มาตรฐานการวัดของความรู้สึกที่ไวต่อสัญญาณรบกวนที่ขอบภาพ

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บางกับภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

ตารางที่ 17

แสดงรายละเอียดจากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง

กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักซ้าย

ประเภทของการตกแต่งภาพ	ตั้งจำนวนจุดที่ใช้ยับ	เวลาที่ใช้(วินาที)
ตัดเส้นสะพาน	8	40
ตัดเส้นสะพาน	15	40
การต่อเส้นขาด, ตัดเส้นสั้น, ตัดเส้นกิ่ง	ความเชี่ยวชาญของตัวบุคคล	

ภาพที่ 93



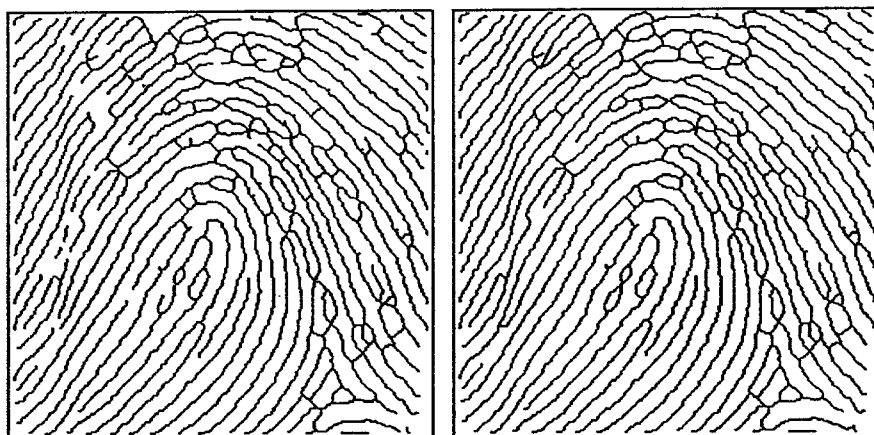
(ก)

(ข)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักซ้าย ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ, (ข) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 1

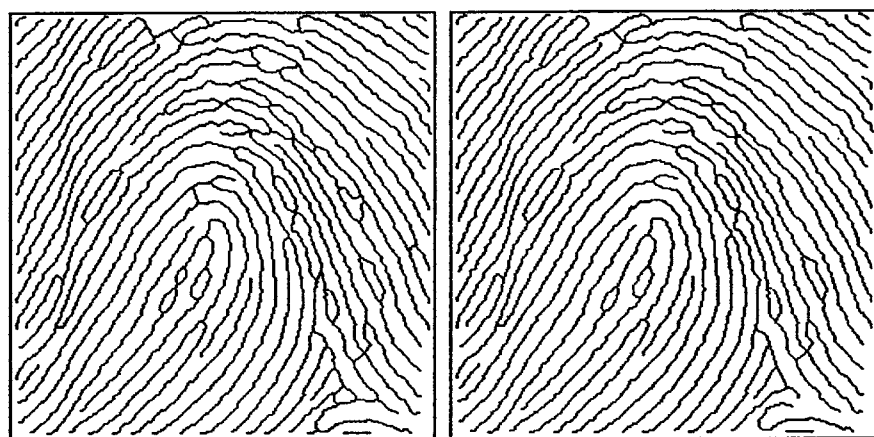
แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักซ้าย มาผ่านการทำลายเส้นให้บางวิธีที่ 6

ภาพที่ 93(ต่อ)



(ค)

(ง)



(จ)

(ฉ)

(ค) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4, (ง) ภาพที่ผ่านการ  
 คัดเส้นขาด, (จ) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งใช้วิธีการตัดเส้นกิ่ง  
 และการตัดเส้นสะพาน ซึ่งตั้งจำนวนจุดที่นับไว้ที่ 8, (ฉ) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการ  
 ทำลายเส้นให้บาง ซึ่งใช้วิธีการตัดเส้นกิ่งและการตัดเส้นสะพาน ซึ่งตั้งจำนวนจุดที่นับไว้ที่ 15

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปักช้าย มาผ่านการทำลายเส้นให้บางวิธีที่ 6

## 5.2 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษารายละเอียดที่ได้จากผลการทดลองที่ผ่านมา ทำให้สามารถสรุปผลการทดลองได้เป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ การหาขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีหรือการทำเทรซโฮลด์ภาพ และการทำลายเส้นใบบาง ซึ่งจะมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

### การหาขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพ

จากผลการทดลองการใช้งานของการหาขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพหรือการทำเทรซโฮลด์ภาพ พบว่า ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

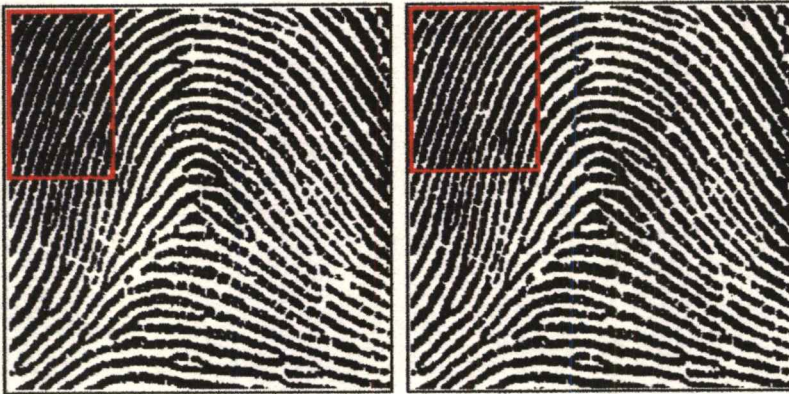
5.2.1 การพิจารณาการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพและการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี

เมื่อได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพและการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี โดยใช้ขนาดของเมตริกซ์ที่แตกต่างกันในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปีของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ พบว่า ภาพขาวดำที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี จะให้สาระของภาพที่สมบูรณ์มากกว่า ซึ่งจะขอยกตัวอย่าง เช่น

จากภาพที่ได้จากการทดลอง ในภาพที่ 67 จากการสังเกตด้วยบุคคล สาระของภาพที่ได้มีความสมบูรณ์ได้ใกล้เคียงกันกันมาก แต่ภาพที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี จะมีสาระของภาพที่สมบูรณ์มากกว่า ซึ่งจะสังเกตได้จากบริเวณที่ได้  ไว้ในภาพที่ 94

จากภาพที่ได้จากการทดลอง ในภาพที่ 68 จากการสังเกตด้วยบุคคล ภาพที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี จะมีสาระของภาพที่สมบูรณ์มากกว่าการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะสังเกตได้จากบริเวณที่ได้  ไว้ในภาพที่ 95 ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดจากการกดนิ้วมือของผู้ถูกบันทึกลายพิมพ์นิ้วมือด้วยน้ำหนักของแต่ละบริเวณที่ไม่เท่ากัน หรืออาจเกิดรอยขุ่นของลายนิ้วมือ จึงทำให้เกิดการเลอะเทอะของผ้าหมักขึ้น

ภาพที่ 94



(ก)

(ข)

(ก) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลกอริทึม<sup>[5]</sup> ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพซึ่งมีขนาด 256 x 256 จุดภาพ, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ซึ่งใช้เมตริกซ์ขนาด 16 x 16 จุดภาพในการแบ่งส่วนและหาค่าแอนโทรอปี้

แสดงบริเวณ  ที่เกิดความแตกต่างของการทำเทรซโฮลด์ภาพแต่ละวิธี  
เมื่อนำมาใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3

ภาพที่ 95



(ก)

(ข)

(ก) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลกอริทึม<sup>[5]</sup> ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพซึ่งมีขนาด 256 x 256 จุดภาพ, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ซึ่งใช้เมตริกซ์ขนาด 16 x 16 จุดภาพในการแบ่งส่วนและหาค่าแอนโทรอปี้

แสดงบริเวณ  ที่เกิดความแตกต่างของการทำเทรซโฮลด์ภาพแต่ละวิธี  
เมื่อนำมาใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา

จากการสังเกตเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในตารางที่ 7 จะพบว่า การทำเทรซโฮลด์ ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ ซึ่งกระทำทีเดียวทั้งภาพ จะใช้ช่วงเวลานที่น้อยกว่า การทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี

### 5.2.2 การทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์ต่างๆ กัน

จากผลการทดลอง พบว่า มีการเปรียบเทียบความสมบูรณ์ของสาระของภาพที่ได้จากการใช้ขนาดของเมตริกซ์ที่แตกต่างกันในการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี ซึ่งจากการสังเกตด้วยตัวบุคคล สาระของภาพที่ได้จะมีความสมบูรณ์แตกต่างกันตามขนาดของเมตริกซ์ที่เปลี่ยนไป ยกตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 96 ซึ่งได้คัดลอกจากภาพที่ 73 สังเกตได้ว่า เมื่อใช้ขนาดเมตริกซ์  $16 \times 16$  ให้สาระของภาพที่สมบูรณ์กว่าแบบอื่น

ภาพที่ 96



(ก)

(ข)

(ค)

(ก) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $16 \times 16$  จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี, (ข) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $32 \times 32$  จุดภาพ ในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี, (ค) ภาพที่ผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์  $64 \times 64$  จุดภาพในการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี

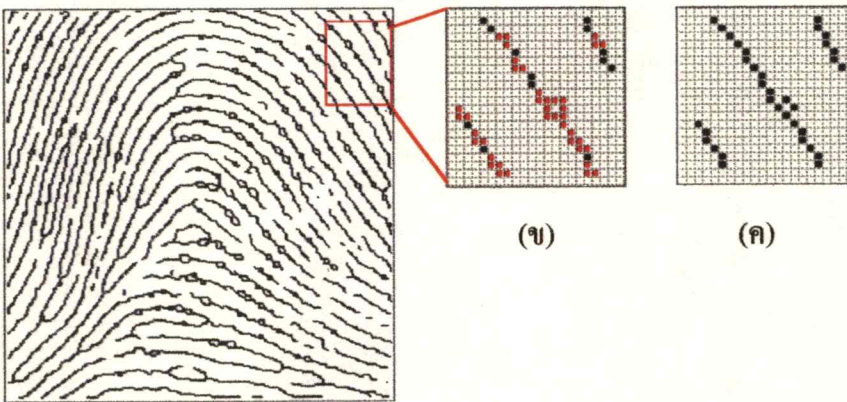
แสดงบริเวณ  ที่เกิดความแตกต่างของการทำเทรซโฮลด์ภาพ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี ซึ่งใช้ขนาดเมตริกซ์ต่างๆ กัน กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบกันหอยกระเป่ากลางปีดขวา

จากการสังเกตเวลาที่ใช้ในการประมวลผล จากตารางที่ 7 พบว่า เมื่อกำหนดขนาดเมตริกซ์ที่ใช้ในการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปีให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็จะมีแนวโน้มในการประมวลผลที่น้อยลง แปรผกผันกับขนาดของเมตริกซ์ที่ใช้

### การทำลายเส้นให้บาง

จากการประเมินผลที่ได้จากการสังเกตภาพลายเส้นที่ได้จากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 5 วิธี จากทั้ง 10 ภาพที่ได้ทำการทดลอง พบว่า ภาพลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen มีบางส่วนของลายเส้นที่ยังคงมีความหนาอยู่(ยกตัวอย่างเช่น บริเวณลายเส้นสีแดงที่อยู่ใน □ ดังภาพที่ 97) ดังนั้นขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางวิธีนี้จึงไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ และจากการสังเกตจากภาพลายเส้นที่ได้จากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 4 วิธีที่เหลือ ภาพลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3 จะทำให้เกิดเส้นกึ่งขึ้นในภาพเป็นจำนวนมาก แตกต่างจากวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกันและวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ซึ่งภาพลายเส้นที่ได้จะมีเส้นกึ่งเกิดขึ้นน้อยกว่าวิธีอื่นๆ ดังนั้น ในขณะนี้จึงเหลือขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง 3 วิธีที่น่าสนใจ

ภาพที่ 97

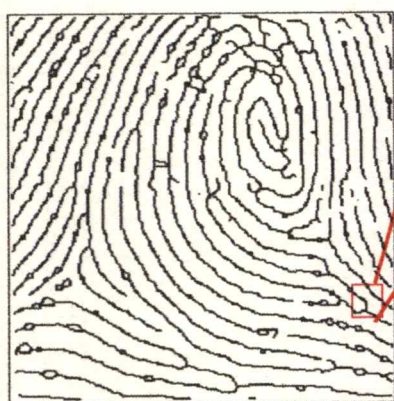


(ก)

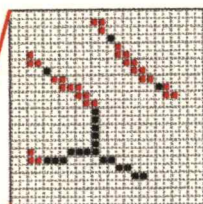
(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโอม ตัวอย่างที่ 3 ที่ผ่านการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen, (ข) บางส่วนที่ตัดมา เพื่อแสดงว่าลายเส้นยังคงมีความหนาเหลืออยู่(ลายเส้นสีแดง), (ค) ลายเส้นที่บางมากขึ้น ได้จากวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI

แสดงบางส่วนของลายเส้น ที่ยังคงมีความหนาเหลืออยู่

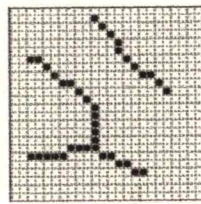
ภาพที่ 97(ต่อ)



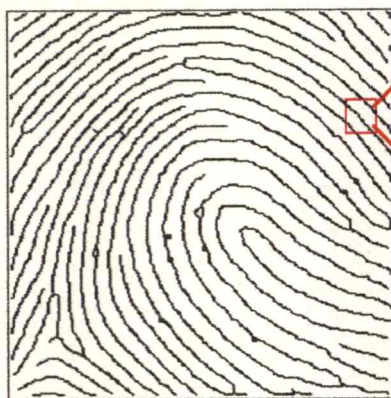
(ค)



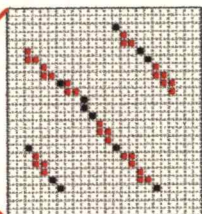
(ง)



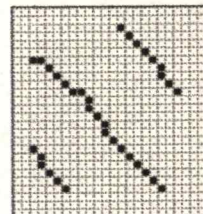
(จ)



(ด)



(ช)



(ซ)

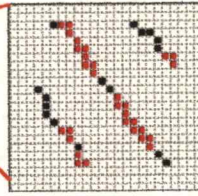
(ค),(ด) เป็นภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา และมัดหวยปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่ผ่านการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen ตามลำดับ, (ง) และ (ช) เป็นบางส่วนที่คัดมา เพื่อแสดงว่าลายเส้นยังคงมีความหนาเหลืออยู่(ลายเส้นสีแดง), (จ) และ (ซ) เป็นลายเส้นที่บางมากขึ้น ได้จากวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI

แสดงบางส่วนของลายเส้น ที่ยังคงมีความหนาเหลืออยู่

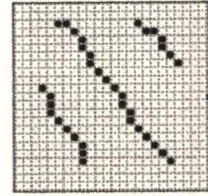
ภาพที่ 97(ต่อ)



(ฉ)



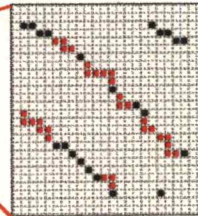
(ข)



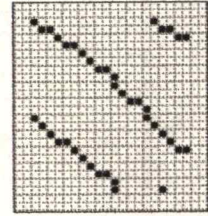
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

(ฉ),(ง) เป็นภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2 และมัดหวายปิดซ้าย ที่ผ่านการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen ตามลำดับ, (ข) และ (จ) เป็นบางส่วนที่คัดมา เพื่อแสดงว่าลายเส้นยังคงมีความหนาเหลืออยู่(ลายเส้นสีแดง), (ค) และ (ฉ) เป็นลายเส้นที่บางมากขึ้นได้จากวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI

แสดงบางส่วนของลายเส้น ที่ยังคงมีความหนาเหลืออยู่

จากผลการทดลองการทำลายเส้นให้บางที่ได้จากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 3 วิธี กล่าวคือ ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าตาที่แตกต่างกัน, ขั้นตอนวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI และขั้นตอนวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG จะพบว่าขั้นตอนวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าตาที่แตกต่างกัน จะใช้เวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ยมากกว่า

ขั้นตอนวิธีที่เหลือทั้ง 2 วิธีเป็นเวลาหลายเท่าตัว ดังนั้น จึงเหลือขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นใบบาง อยู่ 2 วิธีที่น่าสนใจ กล่าวคือ ขั้นตอนวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI และขั้นตอนวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ซึ่งมีจุดเด่นที่แตกต่างกันคือ ขั้นตอนวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI จะใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อยและให้ภาพลายเส้นที่มีความบางเพียง 1 จุด ภาพ(สังเกตจากภาพที่ 86) และขั้นตอนวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG จะให้ภาพลายเส้นที่มีเส้นกึ่งเกิดขึ้นน้อยและมีความไวในการตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพที่น้อย รวมทั้งใช้ช่วงเวลาในการประมวลผลที่ไม่มากนัก

จากข้อดีของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นใบบางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG และขั้นตอนวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI เหล่านี้ ผู้ทำวิจัยจึงได้ปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นใบบาง โดยรวมขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นใบบางทั้ง 2 วิธีนี้เข้าด้วยกัน และเพิ่มการทำรีโพรเซส โดยทำการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ภายในลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ และการทำโพสโพรเซส โดยเพิ่มเติมขั้นตอนการทำลายเส้นหยักในภาพให้เรียบ, การกำจัดเส้นสะพาน, เส้นกึ่ง และเส้นสั้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีคิดตามลายเส้น, การกำจัดจุด ที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ, การกำจัดเส้นขาด ซึ่งใช้วิธีการเชื่อมต่อเส้นขาด โดยใช้ขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮม

สรุปโดยย่อ การปรับปรุงขั้นตอนการทำลายเส้นใบบาง สามารถแบ่งได้เป็น 7 ขั้นตอน คือ

1. การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ภายในลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ
2. การทำลายเส้นใบบาง ซึ่งได้ดัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นใบบางตามวิธีของ

FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

3. การทำลายเส้นใบบางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI
4. การทำลายเส้นหยักในภาพให้เรียบ
5. การกำจัดเส้นสะพาน, เส้นกึ่ง และเส้นสั้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีคิดตามลายเส้น

6. การกำจัดจุด ที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

7. การกำจัดเส้นขาด ซึ่งใช้วิธีการเชื่อมต่อเส้นขาด โดยใช้ขั้นตอนวิธีของเบเซนแฮม

ซึ่งขั้นตอนที่ 1-4 คอมพิวเตอร์จะทำงานโดยอัตโนมัติ และขั้นตอนที่ 5-7 จะใช้ตัวบุคคลเป็นผู้กำหนดพื้นที่ของบริเวณที่จะให้คอมพิวเตอร์ทำการกำจัดเส้นกึ่ง, เส้นสั้น, จุด ที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ, เส้นขาดโดยอัตโนมัติ ซึ่งในการกำหนดพื้นที่ของบริเวณที่จะให้คอมพิวเตอร์ทำการกำจัด จะกระทำโดยตัวบุคคลทำการคลิกเมาส์ปุ่มซ้ายค้างไว้แล้วลากไป เพื่อทำการสร้างวินโดว์หรือพื้นที่สี่เหลี่ยมคลุมบริเวณที่ต้องการ หลังจากนั้นปล่อยเมาส์ปุ่มซ้าย จากนั้น

คอมพิวเตอร์จะทำการกำจัดเส้นกิ่ง, เส้นสั้น, จุด ที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยอัตโนมัติ และในการกำจัดเส้นขาด จะใช้ตัวบุคคลเป็นผู้กำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นตรงที่จะสร้างเพื่อเชื่อมต่อเส้นขาด หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์ จะสร้างเส้นตรงเชื่อมต่อจุดทั้ง 2 โดยอัตโนมัติ และในการกำจัดเส้นสะพาน จะใช้บุคคลเป็นผู้กำหนดจำนวนครั้งของจุดภาพที่ใช้ในการติดตามลายเส้น(สังเกตจากลายเส้น โดยใช้บุคคลเป็นผู้ตัดสินใจ) ที่อยู่ในขั้นตอนการกำจัดเส้นสะพาน

ซึ่งจากการประเมินผลที่ได้จากการวัดค่า โดยทำการพิจารณาค่ามาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้น( $m_x$ ), มาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ( $m_y$ ) ซึ่งคิดจากจุดภาพของวัตถุในภาพ จุดภาพสเกลเลตัน และจำนวนรอบของการกระทำซ้ำ, มาตรฐานการวัดของความรู้สึกลูกที่ไวต่อสัญญาณรบกวน( $m_z$ ) ที่ขอบภาพ, และช่วงเวลา( $t$ ) ที่ใช้ในการประมวลผล ที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG, วิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI เปรียบเทียบกับการปรับปรุงการทำลายเส้นให้บางแบบขนานวิธีใหม่ จะได้ผลตามตารางที่ 18, 19 และตารางที่ 20

## ตารางที่ 18

แสดงค่า  $m_d$ ,  $m_c$ ,  $m_t$ ,  $t$  ที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ

FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG

รูปแบบของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ	$m_d$	$m_c$	$m_t$	t (วินาที)
โค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 1	0.09917	0.00459	0.95094	321
โค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 2	0.09402	0.00376	0.98251	360
โค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3	0.09656	0.03915	0.94874	319
โค้งราบ	0.08617	0.01483	0.98371	407
ก้นหอยกระเป๋ากลางปิดขวา	0.08146	0.01368	0.96101	401
ก้นหอยกระเป๋าย่างปิดซ้าย	0.11160	0.00781	0.94712	280
ก้นหอยธรรมดา	0.06876	0.01781	0.97493	482
มัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1	0.08476	0.00923	0.98967	415
มัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2	0.09791	0.00283	0.97280	320
มัดหวายปิดซ้าย	0.09903	0.00456	0.96498	320

โดยที่  $m_d$  คือ มาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ ซึ่งคิดจากจุดภาพของวัตถุในภาพ, จุดภาพสเกลเลตัน และจำนวนรอบของการกระทำซ้ำที่ได้จากภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพ

$m_c$  คือ มาตรฐานการวัดของความรู้สึกที่ไวต่อสัญญาณรบกวนที่ขอบภาพ โดยสัญญาณรบกวนในที่บริเวณขอบภาพ เกิดจากการสุ่มเป็นจำนวน 15 เปรอร์เซ็นต์ของจุดภาพทั้งหมดในภาพ

$m_t$  คือ มาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้นที่ได้จากภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพ

t คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลกับภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพ

## ตารางที่ 19

แสดงค่า  $m_d$ ,  $m_c$ ,  $m_r$ ,  $t$  ที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ

A. DATTA and S. K. PARUI

รูปแบบของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ	$m_d$	$m_c$	$m_r$	$t$ (วินาที)
โค้งกระโอม ตัวอย่างที่ 1	0.15143	0.11785	0.97118	303
โค้งกระโอม ตัวอย่างที่ 2	0.20920	0.21162	0.99096	251
โค้งกระโอม ตัวอย่างที่ 3	0.19128	0.09773	0.97787	249
โค้งราบ	0.17136	0.35892	0.99241	305
ก้นหอยกระเป่ากลางปิดขวา	0.16182	0.16445	0.98223	303
ก้นหอยกระเป่าข้างปิดซ้าย	0.19010	0.13856	0.97585	251
ก้นหอยธรรมดา	0.13655	0.14289	0.98816	357
มัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1	0.14078	0.28561	0.99320	370
มัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2	0.19231	0.14794	0.99083	250
มัดหวายปิดซ้าย	0.15744	0.17710	0.98218	303

โดยที่  $m_d$  คือ มาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ ซึ่งคิดจากจุดภาพของวัตถุในภาพ, จุดภาพสเกลลดต้น และจำนวนรอบของการกระทำซ้ำที่ได้จากภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพ

$m_c$  คือ มาตรฐานการวัดของความรู้สึกละเอียดที่ไวต่อสัญญาณรบกวนที่ขอบภาพ โดยสัญญาณรบกวนในที่บริเวณขอบภาพ เกิดจากการสุ่มเป็นจำนวน 15 เปรอร์เซ็นต์ของจุดภาพทั้งหมดในภาพ

$m_r$  คือ มาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้นที่ได้จากภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพ

$t$  คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลกับภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพ

## ตารางที่ 20

แสดงค่า  $m_d$ ,  $m_c$ ,  $m_t$ ,  $t$  ที่ได้จากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง

รูปแบบของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ	$m_d$	$m_c$	$m_t$	$t$ (วินาที)
โค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 1	0.08795	0.03781	0.98152	548
โค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 2	0.08462	0.10272	0.99323	513
โค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3	0.09721	0.02171	0.98205	423
โค้งราบ	0.08619	0.15189	0.99367	501
ก้นหอยกระเป่ากลางปิดขวา	0.09092	0.04449	0.98668	461
ก้นหอยกระเป่าข้างปิดซ้าย	0.08719	0.06167	0.98321	459
ก้นหอยธรรมดา	0.07514	0.02040	0.98980	539
มัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1	0.08493	0.09200	0.99587	518
มัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2	0.09786	0.04028	0.99309	415
มัดหวายปิดซ้าย	0.09915	0.03668	0.98280	414

โดยที่  $m_d$  คือ มาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ ซึ่งคิดจากจุดภาพของวัตถุในภาพ, จุดภาพสเกลเลตตัน และจำนวนรอบของการกระทำซ้ำที่ได้จากภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพ

$m_c$  คือ มาตรฐานการวัดของความรู้สึกที่ไวต่อสัญญาณรบกวนที่ขอบภาพ โดยสัญญาณรบกวนในที่บริเวณขอบภาพ เกิดจากการสุ่มเป็นจำนวน 15 เปรอร์เซ็นต์ของจุดภาพทั้งหมดในภาพ

$m_t$  คือ มาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้นที่ได้จากภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพ

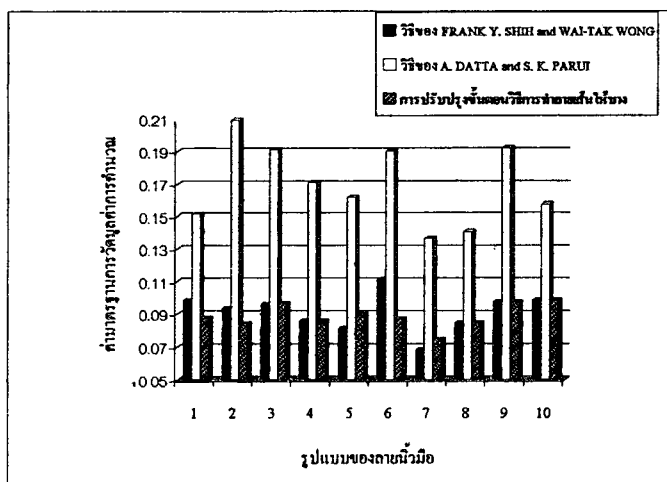
$t$  คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลกับภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพ

เมื่อนำเอาค่ามาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้น( $m_t$ ), มาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ( $m_d$ ) ซึ่งคิดจากจุดภาพของวัตถุในภาพ จุดภาพสเกลเลตตัน และจำนวนรอบของการกระทำซ้ำ, มาตรฐานการวัดของความรู้สึกที่ไวต่อสัญญาณรบกวน( $m_c$ ) ที่ขอบภาพ และช่วงเวลา( $t$ ) ที่ใช้ในการประมวลผล ที่ได้จกตารางที่ 18, 19 และตารางที่ 20 มาเขียนกราฟจะได้ผล ดังภาพที่ 98, 99, 100, 101

โดยรูปแบบของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่นำมาเขียนกราฟ จะประกอบด้วย 10 แบบ ดังนี้

1. ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โค้งกระ โจม ตัวอย่างที่ 1
2. ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โค้งกระ โจม ตัวอย่างที่ 2
3. ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โค้งกระ โจม ตัวอย่างที่ 3
4. ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ โค้งราบ
5. ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ ก้นหอยกระเป่ากลางปิดขวา
6. ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ ก้นหอยกระเป่ากลางปิดซ้าย
7. ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ ก้นหอยธรรมดา
8. ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ มัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1
9. ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ มัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 2
10. ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบ มัดหวายปิดซ้าย

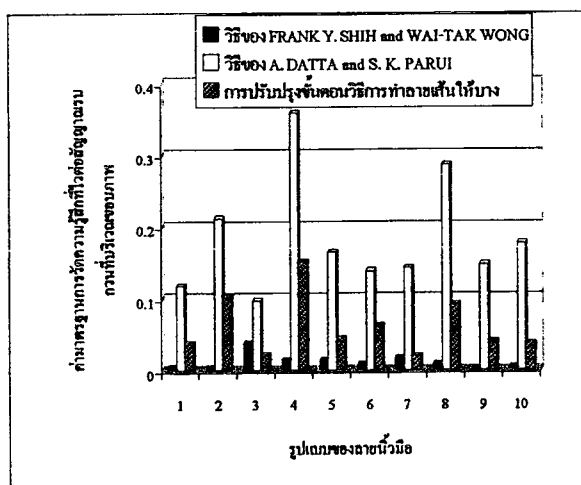
ภาพที่ 98



แสดงค่ามาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ (ซึ่งคิดจากจุดภาพของวัตถุในภาพ จุดภาพสเกลเลตัน และจำนวนรอบของการกระทำซ้ำ) ที่ได้จากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 3 วิธี

จากกราฟในภาพที่ 98 ถ้าค่ามาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณที่ได้มีค่ามาก บอกถึงประสิทธิภาพในการลดทอนข้อมูลหรือการคำนวณที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางแต่ละวิธีมีมาก ในตรงกันข้าม ถ้ามีค่าน้อย จะบอกถึงประสิทธิภาพในการลดทอนข้อมูลมีน้อย

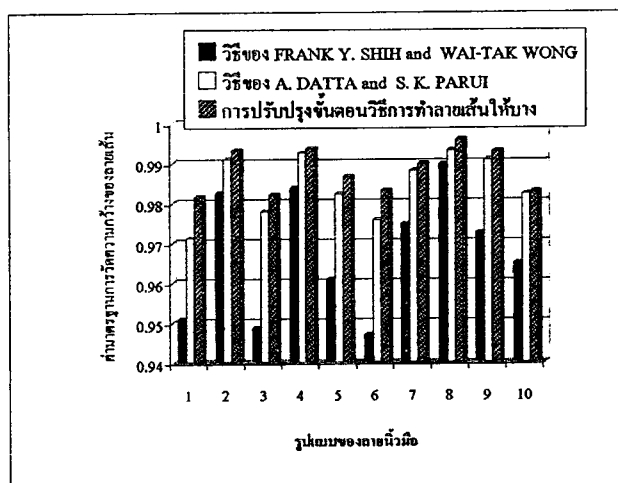
ภาพที่ 99



แสดงค่ามาตรฐานการวัดความรู้สึกที่ไวต่อสัญญาณรบกวนที่ขอบภาพ ที่ได้จาก  
ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 3 วิธี

จากกราฟในภาพที่ 99 ถ้าค่ามาตรฐานการวัดความรู้สึกที่ไวต่อสัญญาณรบกวนที่ขอบภาพ มีค่ามาก บอกให้รู้ว่า ลายเส้นที่เกิดในภาพลายเส้น จะเปลี่ยนรูปแบบไปตามสัญญาณรบกวนที่ บริเวณขอบภาพได้ผิดเพี้ยนจากเดิมมาก ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าการวัดนี้มีค่าน้อย บอกให้รู้ว่า ลายเส้นที่เกิด จะคล้ายคลึงจากเดิม

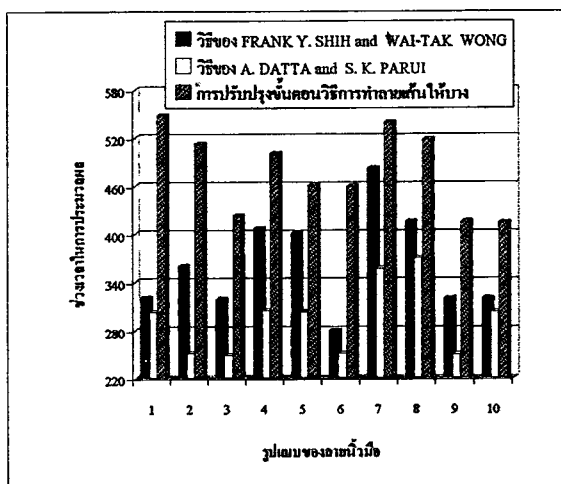
ภาพที่ 100



แสดงค่ามาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้น ที่ได้จากขั้นตอนวิธี  
การทำลายเส้นให้บางทั้ง 3 วิธี

จากกราฟในภาพที่ 100 ถ้าค่ามาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้นที่ได้มีค่ามาก ใกล้เคียง 1 บอกให้รู้ว่า ภาพลายเส้นที่ได้ ทุกลายเส้นในภาพจะมีความบางเพียง 1 จุดภาพ ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าการวัดนี้มีค่าน้อย บอกให้รู้ว่า ภาพลายเส้นที่ได้ มีหลายส่วนของภาพลายเส้นที่มีลายเส้นที่หนาเกิน 1 จุดภาพอยู่เป็นจำนวนมาก

ภาพที่ 101



แสดงค่าช่วงเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ที่ได้จากขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 3 วิธี

จากกราฟในภาพที่ 101 ถ้าค่าช่วงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลมีค่าน้อย บอกให้รู้ว่า ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางวิธีนั้น มีการประมวลผลที่รวดเร็ว ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าช่วงเวลานี้มีค่ามาก บอกให้รู้ว่า ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางวิธีนั้น มีการประมวลผลที่เชื่องช้า

จากตารางที่ 18, 19, 20 และกราฟภูมิแท่งในภาพที่ 98, 99, 100 และ 101 พบว่าเวลา (t) ในการประมวลผลภาพ(เริ่มจับเวลา เมื่อเริ่มดำเนินการทำลายเส้นให้บางตามขั้นตอนที่ 2-4) ของการทำลายเส้นให้บางตามวิธีการปรับปรุงการทำลายเส้นให้บางใช้เวลาที่มากกว่าการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI และวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG และประสิทธิภาพที่วัดได้จากค่ามาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ ( $m_p$ ) ซึ่งคิดจากจุดภาพของวัตถุในภาพ, จุดภาพสเกลเลตัน และจำนวนรอบของการกระทำซ้ำ มีค่าน้อยกว่าการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI แต่มีค่าโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ซึ่งบอกให้ทราบว่า ประสิทธิภาพในการลดทอนข้อมูลของการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางจะคล้ายคลึงกับวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG แต่จะดีกว่าวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI และจากการประเมินผลของค่ามาตรฐานการวัดความรู้สึกที่ไวต่อสัญญาณรบกวน( $m_s$ ) ที่ขอบภาพ พบว่า การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง จะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and

WAI-TAK WONG และจะให้ภาพถ่ายเส้นที่มีความหนา (m) เพียง 1 จุดภาพได้ดีว่าการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI และวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG (ทั้งนี้เนื่องจากแม่แบบทั้ง 4 แบบของ A. DATTA and S. K. PARUI มีครอบคลุมในการกำจัดความหนาของลายเส้นได้ดีกว่าการทำลายเส้นให้บางแบบวิธีอื่นๆ จากการทดลองนำเอาภาพถ่ายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางทั้ง 4 วิธี มาผ่านการทำลายเส้นให้บางอีกครั้ง โดยวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI พบว่า ภาพถ่ายเส้นที่ได้มีความบางมากกว่า (สังเกตจากค่า m) ภาพถ่ายเส้นที่ผ่านเพียงวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI เพียงอย่างเดียว ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกเอาการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG มาผสมผสานกับวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI เนื่องจากวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG มีจุดเด่นคือ จะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพและใช้เวลาไม่มากนัก) อีกทั้งจากการพิจารณาจากภาพถ่ายเส้นที่ได้มักจะไม่เกิดเส้นลูปและเส้นกึ่ง ซึ่งจะขอยกตัวอย่างไว้เพียงบางภาพ ดังภาพที่ 102

ภาพที่ 102



(ก)

(ข)

(ค)

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือประเภทโค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ, (ข) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 1, (ค) ภาพที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามขั้นตอนที่ 2-4,

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจม ตัวอย่างที่ 3 ที่ผ่านการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามขั้นตอนที่ 1-4

จากที่กล่าวมาทั้งหมด ทำให้สามารถสรุปอย่างย่อๆ ได้ว่า การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา โดยการรวมขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG และ A. DATTA and S. K. PARUI เข้าไว้ด้วยกันนี้ สามารถนำมาใช้ในการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ควรจะมีการพัฒนาให้

ดียิ่งขึ้นต่อไป ซึ่งจะมีข้อดีและข้อเสียเกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้  
 บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG และ A. DATTA and S. K. PARUI ดังนี้  
 ข้อดี คือ

1. ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพได้น้อย(ตามวิธีของ FRANK Y. SHIH  
 and WAI-TAK WONG)
2. ภาพลายเส้นที่ได้มีความบางของลายเส้นเพียง 1 จุดภาพ ค่อนข้างสมบูรณ์(ตามวิธีของ A.  
 DATTA and S. K. PARUI)
3. ภาพลายเส้นที่ได้ มักจะ ไม่เกิดเส้นคู่
4. ภาพลายเส้นที่ได้ จะเกิดเส้นกึ่งที่น้อยมาก

ข้อเสีย คือ

1. ใช้เวลาในการประมวลผลที่นานพอสมควร
2. ใช้จำนวนรอบในการกระทำซ้ำที่มาก(เมื่อเทียบวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI)  
 จึงทำให้ประสิทธิภาพในการคำนวณมีน้อยลง ซึ่งสังเกตจากมูลค่าการคำนวณ โดยคิดจากจุดภาพ  
 ของวัตถุในภาพ จุดภาพสเกลเลตัน และจำนวนรอบในการกระทำซ้ำ

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ การประเมินผลของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง เพื่อนำไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่รับเข้ามาเป็นต้นแบบ จะรับเข้ามาเป็นภาพระดับเทา แล้วทำการแปลงเป็นภาพขาวดำ โดยผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพโดยใช้วิธีการพิจารณาค่าเอนโทรปีที่ได้จากภาพระดับเทา หลังจากนั้นนำภาพขาวดำที่ได้นี้ไปผ่านการทำลายเส้นให้บาง โดยผ่านขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางแบบต่างๆ ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงหรือแตกต่างกันไป ดังนั้นในบทนี้ จะได้สรุปเนื้อหาหลักๆ ของงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. ในการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่เสนอไว้ในงานวิจัยนี้มี 2 ขั้นตอนวิธีด้วยกัน คือ การทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ ซึ่งกระทำที่เคียวทั้งภาพ และการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี พบว่า การทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ ซึ่งกระทำที่เคียวทั้งภาพ มีความเหมาะสมกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ค่อนข้างชัดเจน มีความสม่ำเสมอของสี แต่การทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี มีความเหมาะสมกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือได้ดีกว่า กล่าวคือ สามารถนำวิธีนี้มาใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ไม่ค่อยชัดเจนและภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ดูเลอะเทอะ(ซึ่งเกิดจากน้ำหมึกในการกดนิ้วมือ ในขณะที่ทำการเก็บภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ) ได้ดีกว่า แต่จะใช้ช่วงเวลาในการประมวลผลที่มากกว่าการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ

2. ในการทำลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือให้บาง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง จำนวน 5 ขั้นตอนวิธีด้วยกัน พบว่า ภาพลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen มีบางส่วนของลายเส้นที่ยังคงมีความหนาอยู่เป็นจำนวนมาก และภาพลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่าง 3 x 3 ทำให้เกิดเส้นกึ่งเป็นจำนวนมาก แตกต่างจากวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน ภาพลายเส้นที่ได้จะเกิดเส้นกึ่งเป็นจำนวนน้อย แต่ใช้ช่วงเวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ยเป็นเวลานานหลายเท่าตัวกว่าวิธีการทำลายเส้นให้บางวิธีอื่นๆ วิธีการทำลายเส้นให้บางที่ผู้วิจัยให้ความสนใจคือ การทำลายเส้นให้บาง

ตามขั้นตอนวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI มีการทำงานที่รวดเร็ว ใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อย และทำลายเส้นให้บางได้ดีที่สุด และการทำลายเส้นให้บางตามขั้นตอนวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG มีลักษณะเด่นในการทำงานคือ ไม่ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพได้ดี และใช้เวลาในการประมวลผลที่ไม่มากนัก ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึงได้ปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง โดยรวมการทำลายเส้นให้บาง 2 ขั้นตอนวิธีที่ได้กล่าวมา และเพิ่มเติมการทำรีโพรเซส โดยทำการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ภายในลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ และการทำโพสโพรเซส โดยเพิ่มเติมขั้นตอนการทำลายเส้นหยักในภาพให้เรียบ, การกำจัดเส้นสะพาน เส้นกึ่ง และเส้นสั้นในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีตัดตามลายเส้น, การกำจัดจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ, การกำจัดเส้นขาด ซึ่งใช้วิธีเชื่อมต่อเส้นขาด โดยใช้ขั้นตอนวิธีของเบนเซนแฮม พบว่า การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางนี้ ใช้งานได้ดีพอสมควร กล่าวคือ ทำให้ภาพลายเส้นที่ได้ จะไม่ค่อยมีเส้นรูปและเกิดเส้นกึ่งที่น้อย และภาพลายเส้นที่ได้มีความบางมากที่สุด แต่จะใช้เวลาในการประมวลผลที่นานพอสมควร

การทำวิจัยในครั้งนี้ ในการทดสอบการทำงานของแต่ละขั้นตอนวิธีนั้น ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมขึ้นมาใช้งาน โดยใช้ภาษาวิซวลเบสิก 4.0 รุ่นมืออาชีพ ทำงานบนเครื่องเพนเทียม 200 ใช้งานบนแรม 16 เมกกะไบต์ และทำการประมวลผลกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีรายละเอียดของจุดภาพเป็นระดับความเข้มของสีเทา 256 ระดับ

#### ข้อเสนอแนะ

การนำเสนอการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางที่ได้นำเสนอไว้ในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถนำไปใช้ในการทำลายเส้นให้บางกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือได้ดีในระดับหนึ่ง แต่จากการใช้งานของการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง พบว่า มีบางลักษณะที่เป็นมึนๆเยิ้มๆ(ดังภาพที่ 103) ที่ไม่สามารถทำการกำจัดได้ในงานวิจัยนี้ จึงขอเสนอแนะไว้ ให้มีการพัฒนาหาขั้นตอนวิธีที่จะทำการกำจัดมึนๆเยิ้มๆเหล่านี้ให้เป็นอัตโนมัติต่อไป

## ภาพที่ 103

ลักษณะสายเส้นแบบที่ 1



ก. ก่อนการแก้ไข



ข. หลังการแก้ไข

ลักษณะสายเส้นแบบที่ 2



ก. ก่อนการแก้ไข



ข. หลังการแก้ไข

ลักษณะสายเส้นแบบที่ 3



ก. ก่อนการแก้ไข



ข. หลังการแก้ไข

แสดงลักษณะของสายเส้นแต่ละแบบที่ควรจะมีการพัฒนาให้มีการแก้ไขเป็นอัตโนมัติ

### บรรณานุกรม

- (1) Rafael C. Gonzalez and Paul Wintz, DIGITAL IMAGE PROCESSING, Second Edition. ADDISION-WESLEY PUBLISHING COMPANY, 1992.
- (2) A. DATTA and S. K. PAURI, "A ROBUST PARALLEL THINNING ALGORITHM FOR BINAY IMAGES," Pattern Recognition, vol: 27, no. 9, pp. 1181-1192, 1994.
- (3) FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG, "FULLY PARALLEL THINNING WITH TOLERANCE TO BOUNDARY NOISE," Pattern Recognition, vol. 27, no. 12, pp. 1677-1695, 1994.
- (4) BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN, "Analysis of Thinning Algorithms Using Mathematical Morphology," IEEE TRANSCATION ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, vol. 12, no. 6, pp. 541-551, June 1990.
- (5) Ben K. Jang and Roland T. Chin, "One-Pass Parallel Thinning: Analysis, Properties, and Quantitative Evaluation," IEEE TRANSCATION ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, vol. 14, no. 11, pp. 1129-1140, November 1992.
- (6) Milan Sonka, Vaclav Hlavac and Roger Boyle, Image Processing, Analysis and Machine Vision. Chapman&Hall Computing, 1993.
- (7) Hussian, Zahid, Digital Image Processing, Practical Application of Parallel Processing technique. Elles Horwood, 1991.
- (8) IAN HANNAH, DEVESH PATEL and ROY DAVIES, "THE USE OF VARIANCE AND ENTROPIC THRESHOLDING METHODS FOR IMAGE SEGMENTATION," Pattern Recognition, vol. 28, no. 8, pp. 1135-1143, 1995.
- (9) B. G. SHERLOCK and D. M. MONRO, "A MODEL FOR INTERPRETING FINGERPRINT TOPOLOGY," Pattern Recognition, vol. 26, no.7, pp. 1047-1055, 1993.
- (10) KALLE KARU and ANIL K. JAIN, "FINGERPRINT CLASSIFICATION," Pattern Recognition, vol. 29, no. 3, pp. 389-404, 1996.
- (11) V. S. SRINIVASAN and N. N. MURTHY, "DETECTION OF SINGULAR POINTS IN FINGERPRINT IMAGE," Pattern Recognition, vol. 25, no. 2, pp. 139-153, 1992.

- (12) Toshibumi SAKATA and Haruhisa SHIMODA, A STUDY ON DIGITAL IMAGE PROCESSING DEVELOPMENT OF AUTOMATIC FINGERPRINT VERIFICATION SYSTEM. A DISSERTATION SUBMITTED TO THE GRADUATE FACULTY, TOKAI UNIVERSITY, BONG-L, KIM 1988.
- (13) G. J. Awcock and R. Thomas, Applied Image Processing, MACMILLAN PRESS LTD, 1995.
- (14) G Matheron. Element pour une Theorie del Milieux Poreux, Masson, Paris: 1967.
- (15) J Serra, Image Analysis and Mathematical Morphology, London: Ademic Press, 1982.
- (16) S. Yokoi, J. Toriwaki, and T. Fukumura, "Topological properties in digitized binary picture," Systems Comput.-Contr., vol. 4, pp. 32-39, 1973.
- (17) KANCHIT MAITREE, "Elimination of Redundancy," PROCEEDINGS OF THE IEEE, vol. 67, no. 8, pp. 1166-1168, August 1977.
- (18) B. Blum, A transformation for extracting new descriptors of shape. in Proc. Symp. Models perception Speech Visual From(Cambridge, MA), 1964.
- (19) S. M. Smith, "Edge thinning Used in the SUSAN Edge detector," DRA Technical Report TR955MS5, LS3, DRA Chertsey, Chobham Lane, Chertsey, KT160EE, Uk., 1995. Available at <http://www.dra.hmg.gb/ImageProcessing/smsmith/> for downloading.
- (20) เฮอร์เบิร์ต ซิดด์, ผู้เรียบเรียง ศิววัฒน์ ศิวะบวร พรชัย จักรธำรงค์ และจิรศักดิ์ ชัยวิริยะกุล. การประยุกต์ใช้งานภาษาซี. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2521.
- (21) เกริญไกร โขมเจริญสุข. ระบบตรวจเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติโดยการใช้ฮิสโตแกรมทิศทางและโครงข่ายนิวรอล เพื่อประโยชน์การนำมาใช้ควบคุมอุปกรณ์. ปรินูณานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2539.
- (22) ครรชิต ไมตรี และเอกรัตน์ จุลวรรณ. "การหาค่าเทรซโซลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ." NECTEC. ปีที่ 4, ฉบับที่ 14 (มกราคม-กุมภาพันธ์ 2540) : 17-25.
- (23) ครรชิต ไมตรี, มนต์ สัจวรศิลป์ และสุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์. "ระบบเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ." การประชุมวิชาการของ NECTEC ครั้งที่ 4 (2535) : 17-27.

- (24) สมคิด อุนการณวงษ์, มัฆวาน จันทร์กอสอย และเกษตร์ ศิริตันดิสัมฤทธิ์. “เทคนิคการโพสโพรเซสซึ่งสำหรับระบบการจดจำลายนิ้วมือ.” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 16 (25-26 พฤศจิกายน 2536) : 291-295.
- (25) ครรชิต ไมตรี และเอกรัตน์ จุลวรรณ. “การนับสวเส้นโดยอัตโนมัติสำหรับระบบตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือ.” คอมพิวเตอร์. ปีที่ 22, ฉบับที่ 117 (มกราคม-กุมภาพันธ์ 2539) : 55-68.
- (26) บุญชัย ฤกษ์สา, พันตำรวจตรี. ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ. ปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2540.
- (27) ครรชิต ไมตรี, ทรงชัย วีระทวีมาศ และเกรียงไกร โชวเจริญสุข. “การปรับปรุงการหาค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยีของภาพดิจิทัลทั่วไป.” การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 13 (ณ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2533) : 623-637.
- (28) ครรชิต ไมตรี และเอกรัตน์ จุลวรรณ. “การกำจัดเส้นสะพานในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยใช้วิธีติดตามลายเส้น.” วิศวกรรมสาร. ปีที่ 51, เล่มที่ 4 (เมษายน 2541) : 61-66.
- (29) ครรชิต ไมตรี และเอกรัตน์ จุลวรรณ. “การปรับปรุงการทำลายเส้นให้บางแบบขนานวิธีใหม่เพื่อนำไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ.” วิศวกรรมสาร “ฉบับวิจัยและพัฒนา”. ปีที่ 8, ฉบับที่ 2 (2540) : 70-95.

**ภาคผนวก**

## ภาคผนวก ก.

### การคำนวณหาค่าเอนโทรปีของภาพ

เอนโทรปี คือ ค่าๆ หนึ่งที่บ่งบอกถึงปริมาณข่าวสารเฉลี่ยต่อค่าระดับเทาในแต่ละระดับหรือสารของภาพโดยเฉลี่ยต่อระดับเทาแต่ละระดับ ในทางการประมวลผลภาพจะใช้ในการคำนวณหาค่าทรซโฮลด์ของภาพ เพื่อกำหนดช่วงที่เหมาะสมในการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ

ในการหาค่าทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัล โนมัดติ ซึ่งกระทำทีเดียวทั้งภาพ จะมีหลักการอย่างคร่าวๆ ดังนี้

สมมติว่า ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ มีขนาดภาพเป็นขนาดเมตริกซ์  $4 \times 4$  และมีค่าระดับเทาตามตำแหน่งต่างๆ ดังนี้คือ

$$\begin{bmatrix} 50 & 230 & 220 & 230 \\ 50 & 100 & 100 & 230 \\ 100 & 220 & 220 & 100 \\ 180 & 220 & 180 & 100 \end{bmatrix}$$

เมื่อทำทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัล โนมัดติ ซึ่งกระทำทีเดียวทั้งภาพ โดยการหาค่าแบ่งที่ค่าระดับเทา ให้ค่าเอนโทรปีรวมมากที่สุด จะมีวิธีการ ดังนี้คือ

จากเมตริกซ์ข้างบน จะมีค่าระดับเทาที่เรียงจากน้อยไปหามาก คือ 50, 100, 180, 220, 230

คำนวณหาอัตราการเกิดของค่าระดับเทา ( $P_i$ )

$$P_i = \frac{\text{อัตราการเกิดของค่าระดับเทา โดย } i \text{ คือ ค่าจำนวนเต็มใดๆ}}{\text{ความถี่ของจุดภาพในระดับเทา}} \\ = \frac{\text{จำนวนของจุดภาพในภาพ}}{\text{จำนวนของจุดภาพในภาพ}}$$

จากภาพระดับเทาที่มีขนาดเมตริกซ์  $4 \times 4$  เราจะกำหนดค่าต่างๆ ไว้ดังนี้

$$\text{ให้ค่าระดับเทา 50 มีค่า } P_1 = \frac{2}{16} = 0.125 \quad \text{โดยที่ } k=1$$

$$\text{ให้ค่าระดับเทา 100 มีค่า } P_2 = \frac{5}{16} = 0.3125 \quad \text{โดยที่ } k=2$$

ให้ค่าระดับเทา 180 มีค่า  $P_3 = \frac{2}{16} = 0.125$  โดยที่  $k=3$

ให้ค่าระดับเทา 220 มีค่า  $P_4 = \frac{4}{16} = 0.25$  โดยที่  $k=4$

ให้ค่าระดับเทา 230 มีค่า  $P_5 = \frac{3}{16} = 0.1875$  โดยที่  $k=5$

ดังนั้น จึงมีจำนวนครั้งในการคำนวณ เพื่อหาค่าเอนโทรปีรวมทั้งหมด 5 ครั้งด้วยกัน และ

$L=5$

ครั้งที่ 1 ให้  $k=1$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 50

$$H(A) = -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} \quad \text{โดยที่ } k=1 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i$$

$$\begin{aligned} &= -\sum_{i=1}^1 \frac{P_i}{P_1} \ln \frac{P_i}{P_1} \\ &= -\left[ \frac{0.125}{0.125} \ln \frac{0.125}{0.125} \right] = 0 \end{aligned}$$

$$H(B) = -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} \quad \text{โดยที่ } k=1 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i$$

$$\begin{aligned} &= -\sum_{i=2}^5 \frac{P_i}{P_2+P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_i}{P_2+P_3+P_4+P_5} \\ &= -\left[ \frac{P_2}{P_2+P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_2}{P_2+P_3+P_4+P_5} + \frac{P_3}{P_2+P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_3}{P_2+P_3+P_4+P_5} \right. \\ &\quad \left. + \frac{P_4}{P_2+P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_4}{P_2+P_3+P_4+P_5} + \frac{P_5}{P_2+P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_5}{P_2+P_3+P_4+P_5} \right] \\ &= -\left[ \frac{0.3125}{0.3125+0.125+0.25+0.1875} \ln \frac{0.3125}{0.3125+0.125+0.25+0.1875} \right. \\ &\quad + \frac{0.125}{0.3125+0.125+0.25+0.1875} \ln \frac{0.125}{0.3125+0.125+0.25+0.1875} \\ &\quad + \frac{0.25}{0.3125+0.125+0.25+0.1875} \ln \frac{0.25}{0.3125+0.125+0.25+0.1875} \\ &\quad \left. + \frac{0.1875}{0.3125+0.125+0.25+0.1875} \ln \frac{0.1875}{0.3125+0.125+0.25+0.1875} \right] \\ &= 1.3336 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_{(k=1)} &= H(A) + H(B) \\ &= 0 + 1.336 = 1.336 \end{aligned}$$

ครั้งที่ 2 ให้  $k=2$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 100

$$\begin{aligned}
 H(A) &= -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} && \text{โดยที่ } k=2 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i \\
 &= -\sum_{i=1}^2 \frac{P_i}{P_1+P_2} \ln \frac{P_i}{P_1+P_2} \\
 &= -\left[ \frac{P_1}{P_1+P_2} \ln \frac{P_1}{P_1+P_2} + \frac{P_2}{P_1+P_2} \ln \frac{P_2}{P_1+P_2} \right] \\
 &= -\left[ \frac{0.125}{0.125+0.3125} \ln \frac{0.125}{0.125+0.3125} + \frac{0.3125}{0.125+0.3125} \ln \frac{0.3125}{0.125+0.3125} \right] \\
 &= 0.5982
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H(B) &= -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} && \text{โดยที่ } k=2 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i \\
 &= -\sum_{i=3}^5 \frac{P_i}{P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_i}{P_3+P_4+P_5} \\
 &= -\left[ \frac{P_3}{P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_3}{P_3+P_4+P_5} + \frac{P_4}{P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_4}{P_3+P_4+P_5} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{P_5}{P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_5}{P_3+P_4+P_5} \right] \\
 &= -\left[ \frac{0.125}{0.125+0.25+0.1875} \ln \frac{0.125}{0.125+0.25+0.1875} \right. \\
 &\quad + \frac{0.25}{0.125+0.25+0.1875} \ln \frac{0.25}{0.125+0.25+0.1875} \\
 &\quad \left. + \frac{0.1875}{0.125+0.25+0.1875} \ln \frac{0.1875}{0.125+0.25+0.1875} \right] \\
 &= 1.0608
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \psi_{(k=2)} &= H(A) + H(B) \\
 &= 0.5982 + 1.0608 = 1.659
 \end{aligned}$$

ครั้งที่ 3 ให้  $k=3$  โดยมีค่าระดับทแยงเป็น 180

$$\begin{aligned}
 H(A) &= -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} && \text{โดยที่ } k=3 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i \\
 &= -\sum_{i=1}^3 \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3} \ln \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3} \\
 &= -\left[ \frac{P_1}{P_1+P_2+P_3} \ln \frac{P_1}{P_1+P_2+P_3} + \frac{P_2}{P_1+P_2+P_3} \ln \frac{P_2}{P_1+P_2+P_3} + \frac{P_3}{P_1+P_2+P_3} \ln \frac{P_3}{P_1+P_2+P_3} \right] \\
 &= -\left[ \frac{0.125}{0.125+0.3125+0.125} \ln \frac{0.125}{0.125+0.3125+0.125} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{0.3125}{0.125+0.3125+0.125} \ln \frac{0.3125}{0.125+0.3125+0.125} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{0.125}{0.125 + 0.3125 + 0.125} \ln \frac{0.125}{0.125 + 0.3125 + 0.125} ] \\
& = 0.9950 \\
H(B) & = - \sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} \quad \text{โดยที่ } k=3 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i \\
& = - \sum_{i=4}^5 \frac{P_i}{P_4+P_5} \ln \frac{P_i}{P_4+P_5} \\
& = - \left[ \frac{P_4}{P_4+P_5} \ln \frac{P_4}{P_4+P_5} + \frac{P_5}{P_4+P_5} \ln \frac{P_5}{P_4+P_5} \right] \\
& = - \left[ \frac{0.25}{0.25+0.1875} \ln \frac{0.25}{0.25+0.1875} + \frac{0.1875}{0.25+0.1875} \ln \frac{0.1875}{0.25+0.1875} \right] \\
& = 0.6829 \\
\psi_{(k=3)} & = H(A) + H(B) \\
& = 0.9950 + 0.6329 = 1.6779
\end{aligned}$$

ครั้งที่ 4 ให้  $k=4$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 220

$$\begin{aligned}
H(A) & = - \sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} \quad \text{โดยที่ } k=4 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i \\
& = - \sum_{i=1}^4 \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3+P_4} \ln \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3+P_4} \\
& = - \left[ \frac{P_1}{P_1+P_2+P_3+P_4} \ln \frac{P_1}{P_1+P_2+P_3+P_4} + \frac{P_2}{P_1+P_2+P_3+P_4} \ln \frac{P_2}{P_1+P_2+P_3+P_4} \right. \\
& \quad \left. + \frac{P_3}{P_1+P_2+P_3+P_4} \ln \frac{P_3}{P_1+P_2+P_3+P_4} + \frac{P_4}{P_1+P_2+P_3+P_4} \ln \frac{P_4}{P_1+P_2+P_3+P_4} \right] \\
& = - \left[ \frac{0.125}{0.125+0.3125+0.125+0.25} \ln \frac{0.125}{0.125+0.3125+0.125+0.25} \right. \\
& \quad + \frac{0.3125}{0.125+0.3125+0.125+0.25} \ln \frac{0.3125}{0.125+0.3125+0.125+0.25} \\
& \quad + \frac{0.125}{0.125+0.3125+0.125+0.25} \ln \frac{0.125}{0.125+0.3125+0.125+0.25} \\
& \quad \left. + \frac{0.25}{0.125+0.3125+0.125+0.25} \ln \frac{0.25}{0.125+0.3125+0.125+0.25} \right] \\
& = 1.3061
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H(B) & = - \sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} \quad \text{โดยที่ } k=4 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i \\
& = - \sum_{i=5}^5 \frac{P_i}{P_5} \ln \frac{P_i}{P_5}
\end{aligned}$$

$$= -\left[\frac{0.1875}{0.1875} \ln \frac{0.1875}{0.1875}\right]$$

$$= 0$$

$$\psi_{(k=4)} = H(A) + H(B) = 1.3061 + 0 = 1.3061$$

ครั้งที่ 5 ให้  $k=5$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 230

$$H(A) = -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} \quad \text{โดยที่ } k=5 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i$$

$$= -\sum_{i=1}^5 \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5}$$

$$= -\left[ \frac{P_1}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_1}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5} + \frac{P_2}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_2}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5} \right.$$

$$+ \frac{P_3}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_3}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5} + \frac{P_4}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_4}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5}$$

$$\left. + \frac{P_5}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5} \ln \frac{P_5}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5} \right]$$

$$= -\left[ \frac{0.125}{0.125+0.3125+0.125+0.25+0.1875} \ln \frac{0.125}{0.125+0.3125+0.125+0.25+0.1875} \right.$$

$$+ \frac{0.3125}{0.125+0.3125+0.125+0.25+0.1875} \ln \frac{0.3125}{0.125+0.3125+0.125+0.25+0.1875}$$

$$+ \frac{0.125}{0.125+0.3125+0.125+0.25+0.1875} \ln \frac{0.125}{0.125+0.3125+0.125+0.25+0.1875}$$

$$+ \frac{0.25}{0.125+0.3125+0.125+0.25+0.1875} \ln \frac{0.25}{0.125+0.3125+0.125+0.25+0.1875}$$

$$\left. + \frac{0.1875}{0.125+0.3125+0.125+0.25+0.1875} \ln \frac{0.1875}{0.125+0.3125+0.125+0.25+0.1875} \right]$$

$$= 1.5437$$

$$H(B) = -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} \quad \text{โดยที่ } k=4 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i$$

= ไม่สามารถหาค่าได้

$$\psi_{(k=5)} = H(A) + H(B)$$

= ไม่สามารถหาค่าได้

จากการทำการหาค่าเอนโทรปีรวมทั้ง 5 ครั้ง พบว่า ครั้งที่ 3 จะให้ค่าเอนโทรปีรวมมากที่สุด ซึ่งจะมีค่าระดับเทาเป็น 180 ดังนั้น ค่าระดับเทาที่ 180 จึงเป็นค่าเทรชโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือนี้ เพื่อใช้ในการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ

ในการหาค่าเอนโทรปีของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี จะมีหลักการอย่างคร่าวๆ ดังนี้

สมมติว่า ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ มีขนาดภาพเป็นขนาดเมตริกซ์  $4 \times 4$  และมีค่าระดับเทาตามตำแหน่งต่างๆ ดังนี้คือ

เมตริกซ์ A	50	230	220	230	เมตริกซ์ B
	50	100	100	230	
เมตริกซ์ C	100	220	220	100	เมตริกซ์ D
	180	220	180	100	

เมื่อทำการแบ่งส่วนเป็นเมตริกซ์ขนาด  $2 \times 2$  จะได้เมตริกซ์ย่อย 4 อันด้วยกันคือ เมตริกซ์ A, B, C, D

ในการทำเอนโทรปีภาพ จะทำการหาค่าเอนโทรปีเฉพาะเมตริกซ์นั้นๆ แล้วทำการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำในเมตริกซ์นั้นๆ โดยใช้ค่าระดับเทาในเมตริกซ์นั้นๆ ให้ค่าเอนโทรปีรวมมากที่สุด ซึ่งจะมีหลักในการคำนวณอย่างคร่าวๆ ดังนี้

เมตริกซ์ A จะมีค่าระดับเทาที่เรียงจากน้อยไปหามากคือ 50, 100, 230

คำนวณหาอัตราการเกิดของค่าระดับเทา ( $P_i$ )

$P_i$  = อัตราการเกิดของค่าระดับเทา โดย  $i$  คือ ค่าจำนวนเต็มใดๆ

=  $\frac{\text{ความถี่ของจุดภาพในระดับเทา}}{\text{จำนวนจุดภาพในภาพ}}$

จำนวนจุดภาพในภาพ

สมมติให้ระดับเทา 50 มีค่า  $P_1 = \frac{2}{4} = 0.5$  โดยมีค่า  $k=1$

สมมติให้ระดับเทา 100 มีค่า  $P_2 = \frac{1}{4} = 0.25$  โดยมีค่า  $k=2$

สมมติให้ระดับเทา 230 มีค่า  $P_3 = \frac{1}{4} = 0.25$  โดยมีค่า  $k=3$

ดังนั้นจำนวนครั้งในการคำนวณหาค่าเอนโทรปีทั้งหมดมี 3 ครั้งด้วยกัน นั่นคือ  $L=3$

ครั้งที่ 1 ให้  $k=1$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 50

$$H(A) = -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} \quad \text{โดยที่ } k=1 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i$$

$$= -\sum_{i=1}^1 \frac{P_i}{P_1} \ln \frac{P_i}{P_1}$$

$$\begin{aligned}
&= -\left[\frac{0.5}{0.5} \ln \frac{0.5}{0.5}\right] = 0 \\
H(B) &= -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} && \text{โดยที่ } k=1 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i \\
&= -\sum_{i=2}^3 \frac{P_i}{P_2+P_3} \ln \frac{P_i}{P_2+P_3} \\
&= -\left[\frac{0.25}{0.25+0.25} \ln \frac{0.25}{0.25+0.25} + \frac{0.25}{0.25+0.25} \ln \frac{0.25}{0.25+0.25}\right] \\
&= 0.6931 \\
\psi_{(k=1)} &= H(A) + H(B) \\
&= 0 + 0.6931 = 0.6931
\end{aligned}$$

ครั้งที่ 2 ให้  $k=2$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 100

$$\begin{aligned}
H(A) &= -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} && \text{โดยที่ } k=2 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i \\
&= -\sum_{i=1}^2 \frac{P_i}{P_1+P_2} \ln \frac{P_i}{P_1+P_2} \\
&= -\left[\frac{0.5}{0.5+0.25} \ln \frac{0.5}{0.5+0.25} + \frac{0.25}{0.5+0.25} \ln \frac{0.25}{0.5+0.25}\right] \\
&= 0.6365
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H(B) &= -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} && \text{โดยที่ } k=2 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i \\
&= -\sum_{i=3}^3 \frac{P_i}{P_3} \ln \frac{P_i}{P_3} \\
&= -\left[\frac{0.25}{0.25} \ln \frac{0.25}{0.25}\right] \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\psi_{(k=2)} &= H(A) + H(B) \\
&= 0.6365 + 0 \\
&= 0.6365
\end{aligned}$$

ครั้งที่ 3 ให้  $k=3$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 230

$$\begin{aligned}
H(A) &= -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} && \text{โดยที่ } k=3 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i \\
&= -\sum_{i=1}^1 \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3} \ln \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3}
\end{aligned}$$

$$= -\left[ \frac{0.5}{0.5+0.25+0.25} \ln \frac{0.5}{0.5+0.25+0.25} + \frac{0.25}{0.5+0.25+0.25} \ln \frac{0.25}{0.5+0.25+0.25} + \frac{0.25}{0.5+0.25+0.25} \ln \frac{0.25}{0.5+0.25+0.25} \right] = 1.0397$$

$$H(B) = -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} \quad \text{โดยที่ } k=3 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i$$

= หาค่าไม่ได้

$$\psi_{(k=3)} = H(A) + H(B)$$

= หาค่าไม่ได้

จากที่คำนวณมา เอนโทรปีรวมจะมีค่ามากที่สุด เมื่อ  $k=1$  ซึ่งกับค่าระดับเทาเป็น 50 ดังนั้นค่าระดับเทาที่ 50 จึงเป็นค่าทรซโสลด์ของภาพในเมตริกซ์ A

เมตริกซ์ B จะมีค่าระดับเทาที่เรียงจากน้อยไปหามากคือ 100, 220, 230

คำนวณหาอัตราการเกิดของค่าระดับเทา( $P_i$ )

$$P_i = \frac{\text{อัตราการเกิดของค่าระดับเทา}}{\text{จำนวนจุดภาพในภาพ}} \quad \text{โดย } i \text{ คือ ค่าจำนวนเต็มใดๆ}$$

= ความถี่ของจุดภาพในระดับเทา

สมมติให้ระดับเทา 100 มีค่า  $P_1 = \frac{1}{4} = 0.25$  โดยมีค่า  $k=1$

สมมติให้ระดับเทา 220 มีค่า  $P_2 = \frac{1}{4} = 0.25$  โดยมีค่า  $k=2$

สมมติให้ระดับเทา 230 มีค่า  $P_3 = \frac{2}{4} = 0.5$  โดยมีค่า  $k=3$

ดังนั้นจำนวนครั้งในการคำนวณหาเอนโทรปีทั้งหมดมี 3 ครั้งด้วยกัน นั่นคือ  $L=3$

ครั้งที่ 1 ให้  $k=1$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 100

$$H(A) = -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} \quad \text{โดยที่ } k=1 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i$$

$$= -\sum_{i=1}^1 \frac{P_i}{P_1} \ln \frac{P_i}{P_1}$$

$$= -\left[ \frac{0.25}{0.25} \ln \frac{0.25}{0.25} \right] = 0$$

$$H(B) = -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} \quad \text{โดยที่ } k=1 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i$$

$$= -\sum_{i=2}^3 \frac{P_i}{P_2+P_3} \ln \frac{P_i}{P_2+P_3}$$

$$= -\left[\frac{0.25}{0.25+0.5} \ln \frac{0.25}{0.25+0.5} + \frac{0.5}{0.25+0.5} \ln \frac{0.5}{0.25+0.5}\right]$$

$$= 0.6365$$

$$\psi_{(k=1)} = H(A) + H(B)$$

$$= 0 + 0.6365 = 0.6365$$

ครั้งที่ 2 ให้  $k=2$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 220

$$H(A) = -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} \quad \text{โดยที่ } k=2 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i$$

$$= -\sum_{i=1}^2 \frac{P_i}{P_1+P_2} \ln \frac{P_i}{P_1+P_2}$$

$$= -\left[\frac{0.25}{0.25+0.25} \ln \frac{0.25}{0.25+0.25} + \frac{0.25}{0.25+0.25} \ln \frac{0.25}{0.25+0.25}\right]$$

$$= 0.6931$$

$$H(B) = -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} \quad \text{โดยที่ } k=2 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i$$

$$= -\sum_{i=3}^3 \frac{P_i}{P_3} \ln \frac{P_i}{P_3}$$

$$= -\left[\frac{0.5}{0.5} \ln \frac{0.5}{0.5}\right]$$

$$= 0$$

$$\psi_{(k=2)} = H(A) + H(B)$$

$$= 0.6931 + 0$$

$$= 0.6931$$

ครั้งที่ 3 ให้  $k=3$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 230

$$H(A) = -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} \quad \text{โดยที่ } k=3 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i$$

$$= -\sum_{i=1}^3 \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3} \ln \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3}$$

$$= -\left[\frac{0.25}{0.25+0.25+0.5} \ln \frac{0.25}{0.25+0.25+0.5} + \frac{0.25}{0.25+0.25+0.5} \ln \frac{0.25}{0.25+0.25+0.5} + \frac{0.5}{0.25+0.25+0.5} \ln \frac{0.5}{0.25+0.25+0.5}\right] = 1.0397$$

$$H(B) = -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} \quad \text{โดยที่ } k=3 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i$$

= หาค่าไม่ได้

$$\psi_{(k=3)} = H(A) + H(B)$$

= หาค่าไม่ได้

จากที่คำนวณมา เอนโทรปีรวมจะมีค่ามากที่สุด เมื่อ  $k = 2$  ซึ่งกับค่าระดับเทาเป็น 220 ดังนั้น ค่าระดับเทาที่ 220 จึงเป็นค่าทรชโพลด์ของภาพในเมตริกซ์ B

เมตริกซ์ C จะมีค่าระดับเทาที่เรียงจากน้อยไปหามากคือ 100, 180, 220

คำนวณหาอัตราการเกิดของค่าระดับเทา( $P_i$ )

$P_i$  = อัตราการเกิดของค่าระดับเทา โดย  $i$  คือ ค่าจำนวนเต็มใดๆ

= ความถี่ของจุดภาพในระดับเทา

จำนวนจุดภาพในภาพ

สมมติให้ระดับเทา 100 มีค่า  $P_1 = \frac{1}{4} = 0.25$  โดยมีค่า  $k = 1$

สมมติให้ระดับเทา 180 มีค่า  $P_2 = \frac{1}{4} = 0.25$  โดยมีค่า  $k = 2$

สมมติให้ระดับเทา 220 มีค่า  $P_3 = \frac{2}{4} = 0.5$  โดยมีค่า  $k = 3$

ดังนั้นจำนวนครั้งในการคำนวณหาค่าเอนโทรปีทั้งหมดมี 3 ครั้งด้วยกัน นั่นคือ  $L = 3$

ครั้งที่ 1 ให้  $k = 1$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 100

$$H(A) = -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} \quad \text{โดยที่ } k = 1 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i$$

$$= -\sum_{i=1}^1 \frac{P_i}{P_1} \ln \frac{P_i}{P_1}$$

$$= -\left[ \frac{0.25}{0.25} \ln \frac{0.25}{0.25} \right] = 0$$

$$H(B) = -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} \quad \text{โดยที่ } k = 1 \text{ และ } 1 - P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i$$

$$= -\sum_{i=2}^3 \frac{P_i}{P_2 + P_3} \ln \frac{P_i}{P_2 + P_3}$$

$$= -\left[ \frac{0.25}{0.25 + 0.5} \ln \frac{0.25}{0.25 + 0.5} + \frac{0.5}{0.25 + 0.5} \ln \frac{0.5}{0.25 + 0.5} \right]$$

$$= 0.6365$$

$$\psi_{(k=1)} = H(A) + H(B)$$

$$= 0 + 0.6365 = 0.6365$$

ครั้งที่ 2 ให้  $k=2$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 180

$$\begin{aligned}
 H(A) &= -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} && \text{โดยที่ } k=2 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i \\
 &= -\sum_{i=1}^2 \frac{P_i}{P_1+P_2} \ln \frac{P_i}{P_1+P_2} \\
 &= -\left[ \frac{0.25}{0.25+0.25} \ln \frac{0.25}{0.25+0.25} + \frac{0.25}{0.25+0.25} \ln \frac{0.25}{0.25+0.25} \right] \\
 &= 0.6931
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H(B) &= -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} && \text{โดยที่ } k=2 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i \\
 &= -\sum_{i=3}^3 \frac{P_i}{P_3} \ln \frac{P_i}{P_3} \\
 &= -\left[ \frac{0.5}{0.5} \ln \frac{0.5}{0.5} \right] \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \psi_{(k=2)} &= H(A) + H(B) \\
 &= 0.6931 + 0 \\
 &= 0.6931
 \end{aligned}$$

ครั้งที่ 3 ให้  $k=3$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 200

$$\begin{aligned}
 H(A) &= -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} && \text{โดยที่ } k=3 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i \\
 &= -\sum_{i=1}^3 \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3} \ln \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3} \\
 &= -\left[ \frac{0.25}{0.25+0.25+0.5} \ln \frac{0.25}{0.25+0.25+0.5} + \frac{0.25}{0.25+0.25+0.5} \ln \frac{0.25}{0.25+0.25+0.5} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{0.5}{0.25+0.25+0.5} \ln \frac{0.5}{0.25+0.25+0.5} \right] = 1.0397
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H(B) &= -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} && \text{โดยที่ } k=3 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i \\
 &= \text{หาค่าไม่ได้}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \psi_{(k=3)} &= H(A) + H(B) \\
 &= \text{หาค่าไม่ได้}
 \end{aligned}$$

จากที่คำนวณมา เอนโทรปีรวมจะมีค่ามากที่สุด เมื่อ  $k=2$  ซึ่งกับค่าระดับเทาเป็น 180 ดังนั้น ค่าระดับเทาที่ 180 จึงเป็นค่าทรซโสดค์ของภาพในเมตริกซ์ C

เมตริกซ์ D

จะมีค่าระดับเทาที่เรียงจากน้อยไปหามากคือ 100, 180, 220

คำนวณหาอัตราการเกิดของค่าระดับเทา( $P_i$ )

$$P_i = \text{อัตราการเกิดของค่าระดับเทา} \quad \text{โดย } i \text{ คือ ค่าจำนวนเต็มใดๆ}$$

$$= \frac{\text{ความถี่ของจุดภาพในระดับเทา}}{\text{จำนวนจุดภาพในภาพ}}$$

สมมติให้ระดับเทา 100 มีค่า  $P_1 = \frac{2}{4} = 0.5$  โดยมีค่า  $k=1$

สมมติให้ระดับเทา 180 มีค่า  $P_2 = \frac{1}{4} = 0.25$  โดยมีค่า  $k=2$

สมมติให้ระดับเทา 220 มีค่า  $P_3 = \frac{1}{4} = 0.25$  โดยมีค่า  $k=3$

ดังนั้นจำนวนครั้งในการคำนวณหาค่าเอนโทรปีทั้งหมดมี 3 ครั้งด้วยกัน นั่นคือ  $L=3$

ครั้งที่ 1 ให้  $k=1$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 100

$$H(A) = -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} \quad \text{โดยที่ } k=1 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i$$

$$= -\sum_{i=1}^1 \frac{P_i}{P_1} \ln \frac{P_i}{P_1}$$

$$= -\left[ \frac{0.5}{0.5} \ln \frac{0.5}{0.5} \right] = 0$$

$$H(B) = -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} \quad \text{โดยที่ } k=1 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i$$

$$= -\sum_{i=2}^3 \frac{P_i}{P_2+P_3} \ln \frac{P_i}{P_2+P_3}$$

$$= -\left[ \frac{0.25}{0.25+0.25} \ln \frac{0.25}{0.25+0.25} + \frac{0.25}{0.25+0.25} \ln \frac{0.25}{0.25+0.25} \right]$$

$$= 0.6931$$

$$\psi_{(k=1)} = H(A) + H(B)$$

$$= 0.6931 + 0 = 0.6931$$

ครั้งที่ 2 ให้  $k=2$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 180

$$H(A) = -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} \quad \text{โดยที่ } k=2 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i$$

$$= -\sum_{i=1}^2 \frac{P_i}{P_1+P_2} \ln \frac{P_i}{P_1+P_2}$$

$$\begin{aligned}
&= -\left[\frac{0.5}{0.5+0.25} \ln \frac{0.5}{0.5+0.25} + \frac{0.25}{0.5+0.25} \ln \frac{0.25}{0.5+0.25}\right] \\
&= 0.6365
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H(B) &= -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} && \text{โดยที่ } k=2 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i \\
&= -\sum_{i=3}^3 \frac{P_i}{P_3} \ln \frac{P_i}{P_3} \\
&= -\left[\frac{0.25}{0.25} \ln \frac{0.25}{0.25}\right] \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\psi_{(k=2)} &= H(A) + H(B) \\
&= 0.6365 + 0 \\
&= 0.6365
\end{aligned}$$

ครั้งที่ 3 ให้  $k=3$  โดยมีค่าระดับเทาเป็น 220

$$\begin{aligned}
H(A) &= -\sum_{i=1}^k \frac{P_i}{P_k} \ln \frac{P_i}{P_k} && \text{โดยที่ } k=3 \text{ และ } P_k = \sum_{i=1}^k P_i \\
&= -\sum_{i=1}^1 \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3} \ln \frac{P_i}{P_1+P_2+P_3} \\
&= -\left[\frac{0.5}{0.5+0.25+0.25} \ln \frac{0.5}{0.5+0.25+0.25} + \frac{0.25}{0.5+0.25+0.25} \ln \frac{0.25}{0.5+0.25+0.25}\right. \\
&\quad \left.+ \frac{0.25}{0.5+0.25+0.25} \ln \frac{0.25}{0.5+0.25+0.25}\right] = 1.0397
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H(B) &= -\sum_{i=k+1}^L \frac{P_i}{1-P_k} \ln \frac{P_i}{1-P_k} && \text{โดยที่ } k=3 \text{ และ } 1-P_k = \sum_{i=k+1}^L P_i \\
&= \text{หาค่าไม่ได้}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\psi_{(k=3)} &= H(A) + H(B) \\
&= \text{หาค่าไม่ได้}
\end{aligned}$$

จากที่คำนวณมา เอนโทรปีรวมจะมีค่ามากที่สุด เมื่อ  $k=1$  ซึ่งกับค่าระดับเทาเป็น 100 ดังนั้น ค่าระดับเทาที่ 100 จึงเป็นค่าเทรชโฮลด์ของภาพในเมตริกซ์ D

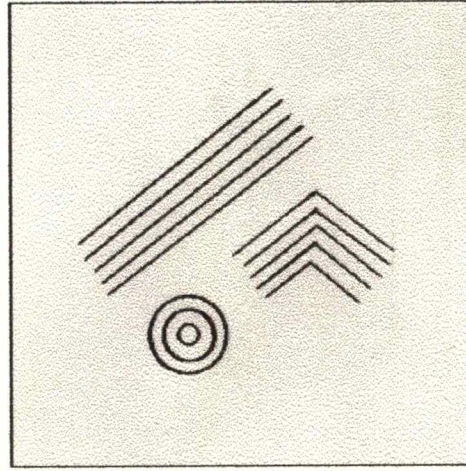
## ภาคผนวก ข.

### ภาพขาวดำที่ได้จากการแปลงภาพระดับเทา

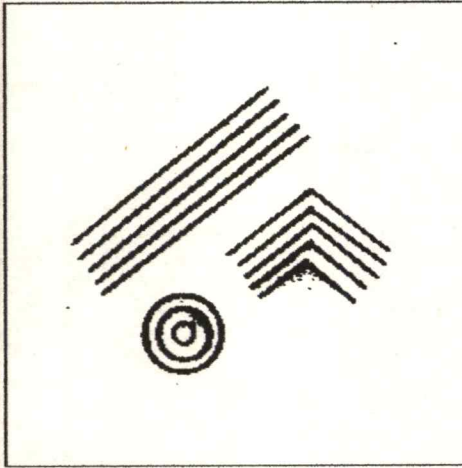
จากผลการทดลองในการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ โดยผ่านการทำเทรซโฮลด์ภาพ โดยใช้วิธีการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลโนมิตีและการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี พบว่า ภาพขาวดำที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี ยังคงรักษาความต่อเนื่องของลายเส้นไว้ดีเหมือนกับภาพขาวดำที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลโนมิตี โดยสังเกตได้จากรอยต่อที่อยู่ระหว่างขอบของแต่ละเมตริกซ์

สังเกตจากภาพที่ 104 ซึ่งเป็นการทดลองทำเทรซโฮลด์ภาพกับลายเส้นแบบต่างๆ พบว่า ภาพขาวดำที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยวิธีแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี ลายเส้นที่ได้ยังคงมีความต่อเนื่องเหมือนกับภาพขาวดำที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลโนมิตี ซึ่งสังเกตได้จากบริเวณเส้นที่แสดงรอยต่อระหว่างแต่ละเมตริกซ์ และเมื่อทำการทดลองทำเทรซโฮลด์ภาพกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ พบว่า ภาพขาวดำที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยวิธีแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี ลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือยังคงมีความต่อเนื่องเหมือนกับภาพขาวดำที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัลโนมิตี ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 105

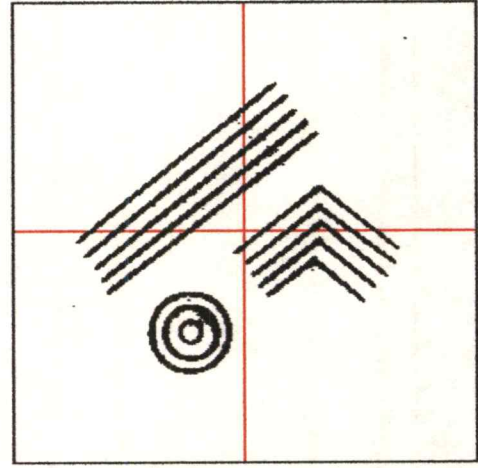
ภาพที่ 104



ภาพลายเส้นที่เป็นระดับเทา



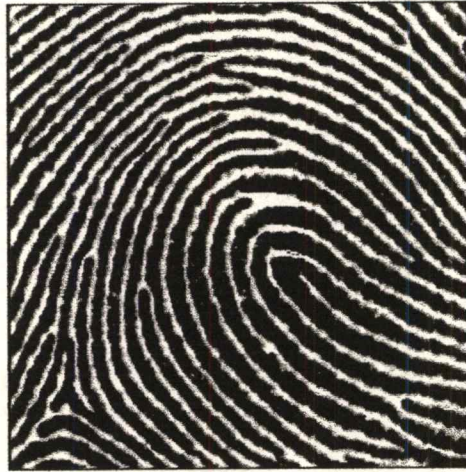
ภาพขาวดำที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์  
ลายนิ้วมือ โดยออต โนมัตติ ซึ่งกระทำทีเดียวทั้งภาพ  
ใช้เวลา 36 วินาที



ภาพขาวดำที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ภาพ  
พิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีแบ่งส่วนและหาค่า  
เอนโทรปี โดยใช้เมตริกซ์ 128 x 128 ใช้  
เวลา 59 วินาที

แสดงภาพของลายเส้นที่ได้จากการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ

ภาพที่ 105



ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1



ภาพขาวดำที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพ ใช้เวลา 13 วินาที



ภาพขาวดำที่ได้จากการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยวิธีแบ่งส่วนและหาค่าแอนโทโรปี โดยใช้เมตริกซ์ 128x128 ใช้เวลา 36 วินาที

แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่ได้จากการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ

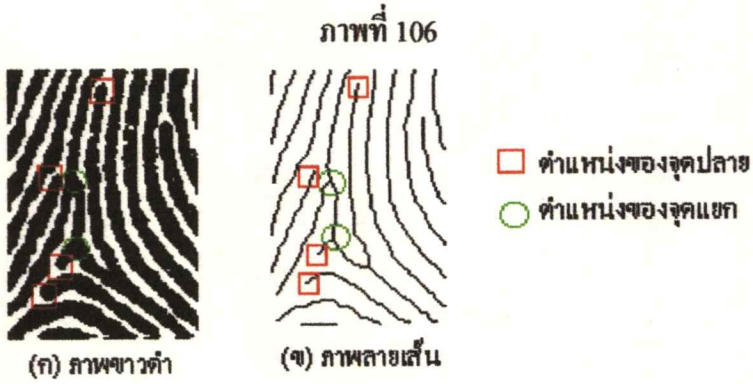
## ภาคผนวก ก. การพิจารณาภาพถ่ายเส้นที่ได้

ในการนำเอกภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่เป็นภาพขาวดำไปทำการแปลงเป็นภาพถ่ายเส้น โดยผ่านการทำลายเส้นให้บาง จะมีหลักในการพิจารณาคุณสมบัติของสเกลเลตันที่ได้จากการทำลายเส้นให้บาง ดังนี้คือ

1. ยังคงรักษาค่าโทโปโลยีตามรูปแบบของวัตถุในภาพ
2. ควรจะยังคงรักษาค่าเชื่อมต่อของลายเส้น
3. ควรจะไม่มีกัศเหาะมากเกินไป
4. ควรจะทำการลบจุดภาพได้อย่างสมมาตร
5. จะต้องเป็นเส้นแกนกลาง (medial axes) ของวัตถุในภาพ
6. จะต้องมีความหนาของลายเส้นเพียงจุดเดียว หรือบางที่สุดเท่าที่จะทำได้
7. ควรจะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ตามขอบภาพที่ไม่ราบเรียบ หรือ โผล่ยื่นออกมา
8. ถ้าเป็นไปได้ ควรมีจำนวนรอบของการกระทำซ้ำของการทำลายเส้นให้บาง เพียง 2-3 รอบ

เมื่อทำการพิจารณาภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่เป็นภาพขาวดำ เปรียบเทียบกับภาพถ่ายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บาง พบว่า ยังคงรักษาคุณสมบัติ ดังนี้

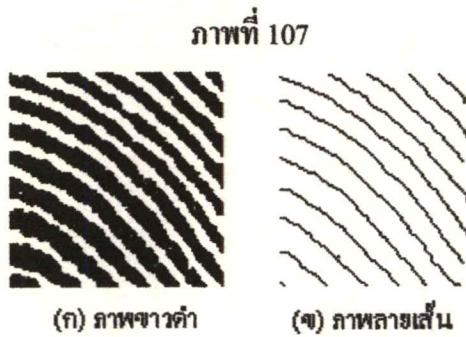
1. ยังคงรักษาค่าโทโปโลยีตามรูปแบบของวัตถุในภาพ
- โดยค่าโทโปโลยีที่จะใช้ในการประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ก็จะมีจุดภายใน, จุดปลาย, จุดเชื่อมต่อ, จุดแยก, จุดตัด เมื่อสังเกตจากภาพขาวดำของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งตัดแบ่งมาพิจารณาเพียงบางส่วนของรูป พบว่า ในภาพขาวดำที่ได้ จะมีจุดแยก 2 จุด และจุดปลาย 4 จุด เมื่อนำภาพขาวดำที่ได้นี้ไปผ่านการทำลายเส้นให้บาง ก็ยังคงมีจุดแยกอยู่ 2 จุด และจุดปลาย 4 จุดเหมือนเดิม แสดงให้เห็นดังภาพที่ 106



แสดงค่าโทโปโลยีที่ได้จากการพิจารณาจากภาพขาวดำเทียบกับภาพลายเส้น

2. ควรจะยังคงรักษาค่าเชื่อมต่อของลายเส้น

เมื่อสังเกตจากภาพขาวดำของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งตัดแบ่งมาพิจารณาเพียงบางส่วนของรูป จะเห็นได้ว่า ในภาพขาวดำที่ได้ ลักษณะของลายเส้นที่เป็นเส้นนูนจะมีลักษณะเป็นลายเส้นที่ยาวเชื่อมต่อทอดตัวยาวกันไป เมื่อนำภาพขาวดำที่ได้นี้ไปผ่านการทำลายเส้นให้บาง ลายเส้นที่ได้ยังคงเป็นลายเส้นที่เชื่อมต่อเป็นเส้นยาวเหมือนเดิม แสดงให้เห็นดังภาพที่ 107



แสดงค่าเชื่อมต่อของลายเส้นที่ได้จากการพิจารณาจากภาพขาวดำเทียบกับภาพลายเส้น

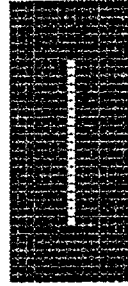
3. ควรไม่มีการกัดเซาะมากเกินไป

ในการทำลายเส้นให้บาง ภาพลายเส้นที่ได้ไม่ควรจะเกิดจากการกัดเซาะที่มากเกินไป ดังภาพที่ 108 โดยส่วนของสีดำเป็นบริเวณของวัตถุในภาพ และเส้นตรงสีขาวเป็นลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บาง

## ภาพที่ 108



(ก) ภาพลายเส้นที่เกิดจากการกัศเหาะมากเกินไป



(ข) ภาพลายเส้นที่เกิดจากการลบจุดภาพได้สมมาตรและได้สัดส่วนกัน

แสดงภาพลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บาง

จากภาพที่ 108 จะเห็นได้ว่า จากภาพ (ก) จะเกิดการกัศเหาะที่มากเกินไป จนเกิดเส้นตรงที่สั้นมากเกินไป ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ควรจะเป็นเส้นตรงที่มีความยาวของลายเส้นตรงตามภาพ (ข) เนื่องจากในการทำลายเส้นให้บางนั้น จะมีการกัศเหาะจากจุดขอบภาพนอกสุดเข้าไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเหลือจุดภาพบริเวณเส้นแกนกลางของวัตถุในภาพ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นดังภาพ (ข)

#### 4. ควรจะทำการลบจุดภาพได้อย่างสมมาตร

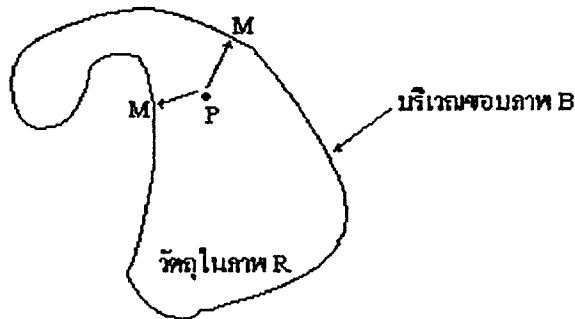
ในการทำลายเส้นให้บางนั้น จะมีหลักการอย่างคร่าวๆ คือ จะดำเนินลบจุดภาพของวัตถุบริเวณขอบภาพรอบนอกเข้าไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเหลือจุดภาพตามแนวเส้นแกนกลางที่เป็นเส้นสมมาตรของวัตถุในภาพ ดังภาพที่ 108 (ข) จะเห็นได้ว่า เส้นตรงที่เป็นสีขาว เป็นเส้นสมมาตรของวัตถุในภาพ ที่มีความสมมาตรทางแนวตั้ง

#### 5. จะต้องเป็นเส้นแกนกลาง (medial axes) ของวัตถุในภาพ

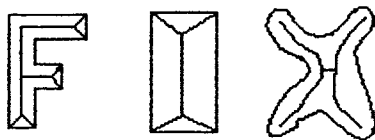
ในการหาเส้นแกนกลางของวัตถุในภาพ จะมีหลักการอย่างคร่าวๆ ดังภาพที่ 109

จากภาพที่ 109 นั้น สำหรับแต่ละจุดภาพ P ซึ่งอยู่ในบริเวณของวัตถุในภาพ R จะทำการหาจุดภาพ M ที่อยู่ใกล้ที่สุดตามบริเวณขอบภาพ B ซึ่งในการคำนวณหาจุดภาพ M ที่อยู่ใกล้ที่สุด จะคำนวณจากระยะห่างระหว่างจุดภาพ P ไปยังจุดภาพ M ที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจุดภาพ P นี้เรียกว่า จุดภาพสเกลเลตัน เมื่อรวมจุดภาพสเกลเลตันหลายๆ จุด เรียงกัน จะเป็นเส้นแกนกลางของวัตถุในภาพ

ภาพที่ 109



(ก) การนิยามเส้นแแกนกลาง

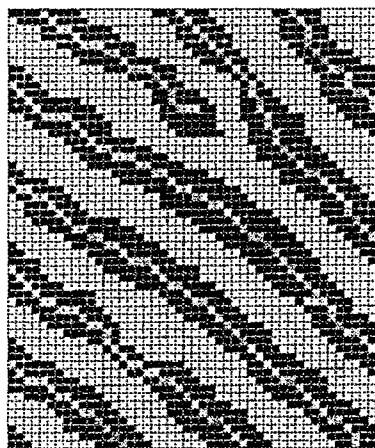


(ข) ตัวอย่างของเส้นแแกนกลาง

แสดงการนิยามและตัวอย่างของเส้นแแกนกลาง

เมื่อสังเกตจากภาพลายเส้นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งจะนำมาพิจารณาเพียงบางส่วนของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ดังภาพที่ 110 ส่วนที่เป็นสีดำเป็นส่วนของเส้นนูนของลายนิ้วมือ และเส้นสีเทาเป็นลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บาง จะเห็นได้ว่า ลายเส้นที่ได้จะเกิดจากการกัดเซาะที่ไม่มากเกินไป, มีการลบจุดภาพตามแนวสมมาตรของลายเส้น และลายเส้นที่ได้ขึ้นอยู่กับแนวเส้นแแกนกลางของลายเส้นนูน

ภาพที่ 110



แสดงภาพสเกลเลตันของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 (เพียงบางส่วน)

6. จะต้องมีความหนาของลายเส้นเพียงจุดเดียว หรือบางที่สุดเท่าที่จะทำได้

ในการพิจารณาภาพลายเส้น มีความบางเท่าไร? สามารถคำนวณได้จากสูตรมาตรฐาน การวัดความกว้างของลายเส้น( $m_t$ )<sup>[5]</sup>

$$m_t = 1 - \frac{\text{จำนวนจุดภาพสเกลเลตันที่ตรงกับแม่แบบที่ใช้ตรวจหาความกว้างของสเกลเลตัน}}{\text{จำนวนจุดภาพสเกลเลตัน}}$$

$$= 1 - \frac{\text{Area}[\bigcup_{1 \leq k \leq 4} S_M Q^k]}{\text{Area}[S_M]} \quad (27)$$

มาตรฐานการวัดนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 ค่าที่มากจะแสดงถึง สเกลเลตันที่ได้มีความกว้างของลายเส้นเพียง 1 จุดภาพอย่างสมบูรณ์

ซึ่งจะยกตัวอย่างในการหาค่า  $m_t$  ของการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ดังนี้ จากการพิจารณารางที่ 12 ค่าของ  $S_M Q^k$  โดยที่  $1 \leq k \leq 4$  มีค่า 23 และ  $\text{Area}[S_M] = 5,565$  เมื่อแทนค่าในสูตรที่ 27 จะได้

$$m_t = 1 - \frac{23}{5,565} = 0.99587$$

ดังนั้น การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง มีค่า  $m_t = 0.99587$  บอกให้รู้ว่า สเกลเลตันที่ได้ เกือบทุกลายเส้นจะมีความกว้างเพียง 1 จุดภาพ

7. ควรไม่ตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ตามขอบภาพที่ไม่ราบเรียบ หรือไหลย่นออกมา

เป็นการพิจารณาว่าเมื่อมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นตามขอบภาพ ซึ่งเป็นภาพขาวดำของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแล้ว ภาพลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางยังคงมีลักษณะเหมือนเดิมกับภาพขาวดำของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ปราศจากสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรการคำนวณหามาตรฐานการวัดของความรู้จักที่ไวต่อสัญญาณรบกวน( $m_c$ )<sup>[5]</sup> ที่ขอบภาพ

$$m_c(SBNR_x) = \min\left[1, \frac{\text{Area}[\frac{S_M}{S_M''}] + \text{Area}[\frac{S_M''}{S_M}]}{G \times \text{Area}[S_M]}\right] \quad (30)$$

$$= \frac{\min[1, \text{ผลต่าง Area}[S_M] \text{ กับ Area}[S_M''] + \text{ผลต่าง Area}[S_M''] \text{ กับ Area}[S_M]]}{\text{ชนิดของกริดส์ } x \text{ จำนวนจุดภาพ } S_M}$$

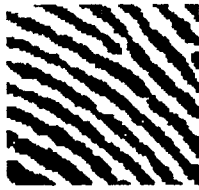
โดยที่  $Area[S_M]$  คือ จุดภาพสเกลเลตันของภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ  
 $Area[S_M']$  คือ จำนวนจุดภาพสเกลเลตันของภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ  
 $k$  คือ จำนวนจุดภาพที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพที่เกิดจากการสุ่ม โดยการบวกและลบตามบริเวณขอบของวัตถุในภาพ

ชนิดของกริดส์ ซึ่งถ้าเป็นสแควร์กริดส์  $G$  จะมีค่าเป็น 1<sup>[5]</sup> และถ้าเป็นดีไรท์ กริดส์  $G$  จะมีค่าเป็น 2<sup>[5]</sup> ดังนั้นในงานวิจัยนี้ บนหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นสแควร์กริดส์ จึงใช้  $G=1$

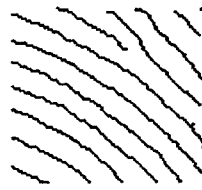
มาตรฐานการวัดนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 ค่าที่มากจะแสดงถึง มีความไวของการตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนที่สูง

ซึ่งจะยกตัวอย่างในการหาค่า  $m_c$  ของการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ดังนี้

ภาพที่ 111



(ก)



(ข)

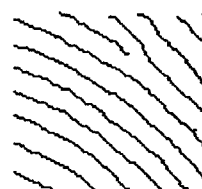
(ก) บางส่วนของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่ขอบภาพ, (ข) สเกลเลตันที่ได้จากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามขั้นตอนที่ 2-4

แสดงสเกลเลตันที่ได้จากภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ไม่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

ภาพที่ 112



(ก)



(ข)

(ก) บางส่วนของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ที่มีสัญญาณรบกวนที่ขอบภาพ เป็นจำนวน 15% ของจุดภาพของวัตถุในภาพ, (ข) สเกลเลตันที่ได้จากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามขั้นตอนที่ 2-4

แสดงสเกลเลตันที่ได้จากภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพ

จากการพิจารณาตารางที่ 12 ค่าของ  $Area[S_M] = 5,565$  และ  $Area[S_M''] = 5,821$  และ  $k = 15 \times \frac{36,925}{100} = 5,538.75$  เมื่อทำเป็นจำนวนเต็ม(เนื่องจากเป็นจำนวนจุดภาพ) จะได้ 5,539 จุด เมื่อแทนค่าในสูตรที่ 30 จะได้

$$m_c(SBNR_{5,539}) = \min\left[1, \frac{|5,565 - 5,821| + |5,821 - 5,565|}{1 \times 5,565}\right]$$

$$= \min[1, 0.09200] = 0.09200$$

ดังนั้น การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง มีค่า  $m_c = 0.09200$  บอกให้รู้ว่า มีการตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ตามขอบภาพที่ไม่ราบเรียบน้อยมาก เพียง 0.09200

8. ถ้าเป็นไปได้ ควรจะมีจำนวนรอบของการกระทำซ้ำของการทำลายเส้นให้บาง เพียง 2-3 รอบ

ในการทำลายเส้นให้บาง ถ้ามีจำนวนรอบของการกระทำซ้ำในการดำเนินการทำลายเส้นให้บางที่น้อย จะบอกถึง ช่วงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลที่น้อย มีความรวดเร็ว ในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาค่าของจำนวนรอบของการกระทำซ้ำได้จากค่า  $n$  ซึ่งใช้ในสูตรการคำนวณหามาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ( $m_d$ )

$$m_d = \min\left[1, \frac{Area[S] - Area[S_M]}{n * Area[S]}\right] \quad (28)$$

โดยที่  $n$  เป็นจำนวนรอบของการกระทำซ้ำ

$Area[S]$  เป็นจำนวนจุดภาพของวัตถุในภาพ

$Area[S_M]$  เป็นจำนวนจุดภาพสเกลเลตัน

มาตรฐานการวัดนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 ค่าที่มากจะแสดงถึง มีประสิทธิภาพในการคำนวณที่สูง

ซึ่งจะยกตัวอย่างในการหาค่า  $m_d$  ของการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ดังนี้ จากการพิจารณาตารางที่ 12 ค่าของ  $n = 10$ ,  $Area[S] = 36,925$  และ  $Area[S_M] = 5,565$  เมื่อแทนค่าในสูตรที่ 28 จะได้

$$m_d = 1 - \frac{36,925 - 5,565}{10 \times 36,925} = 0.08493$$

ดังนั้น การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง มีค่า  $m_d = 0.08493$  บอกให้รู้ว่า มีประสิทธิภาพในการลดทอนข้อมูลที่น้อย เพียง 0.08493

จากที่ได้กล่าวมา เมื่อนำขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี คือ การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าค่าง 3 x 3, การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าค่างที่แตกต่างกัน, การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI, การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG, การทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen และการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง มาทดสอบกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ(จะขอยกเพียงบางตัวอย่างของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ) พบว่า ได้ผลตามตารางที่ 21

### ตารางที่ 21

แสดงผลการทดสอบของคุณสมบัติของสเกลเลตันที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี จากภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดทวยปีคขวา ตัวอย่างที่ 1

คุณสมบัติข้อที่	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4	วิธีที่ 5	วิธีที่ 6
1	มี	มี	มี	มี	มี	มี
2	มี	มี	มี	มี	มี	มี
3	มี	มี	มี	มี	มี	มี
4	มี	มี	มี	มี	มี	มี
5	มี	มี	มี	มี	มี	มี
6	มี	มี	มี	มี	มี	มี
7	ไม่มี	ไม่มี	มี	มี	มี	มี
8	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

โดยที่

1. ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen<sup>[1]</sup>
2. ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI<sup>[2]</sup>
3. ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG<sup>[3]</sup>
4. ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ BEN-KWEI JANG and ROLAND T. CHIN<sup>[4]</sup> ซึ่งใช้แม่แบบขนาดมมคริกซ์ 3 x 3
5. ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin<sup>[5]</sup> ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าค่างที่แตกต่างกัน
6. การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง

จากตารางที่ 21 บอกให้ทราบว่า ภาพลายเส้นที่ได้จากการทำลายเส้นให้บางตามขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธี พบว่า มีคุณสมบัติของสเกลเลตันตามข้อที่ 1-6 และคุณสมบัติข้อที่ 8 เหมือนกันหมด(ซึ่งได้จากการสังเกตภาพลายเส้น และผลการทดลองที่ได้เป็นหลัก) ส่วนคุณสมบัติในข้อที่ 7 จะมีเพียง 3 ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางเท่านั้นที่มีคุณสมบัติในข้อนี้ ซึ่งก็คือ ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG, ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบ 3 x 3 จะทำให้เกิดเส้นกึ่งมาก ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าตัดที่แตกต่างกัน และการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง และจากผลการทดลองพบว่า ในขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 6 วิธีนั้น จะมีอยู่ 3 วิธีด้วยกันที่ใช้งานได้ดี กล่าวคือ ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG ซึ่งจะมีจุดเด่นคือ คอปสนองต่อสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ตามขอบภาพที่ไม่ราบเรียบหรือโผล่ยื่นออกมาได้น้อย ภาพลายเส้นที่ได้เกิดเส้นกึ่งน้อย และใช้เวลาในการประมวลผลที่ไม่มากนัก กล่าวคือ ใช้นเวลาน้อยกว่าขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Ben K. Jang and Roland T. Chin ซึ่งใช้แม่แบบขนาดหน้าตัดที่แตกต่างกัน, ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI ซึ่งจะมีจุดเด่นคือ ใช้นเวลาในการประมวลผลที่น้อย ทำงานได้รวดเร็ว กำจัดสัญญาณรบกวนในภาพได้ดี และขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางทั้ง 3 วิธี โดยทำการพิจารณาคุณสมบัติของสเกลเลตันตามข้อที่ 6 จากค่าของมาตรฐานการวัดความกว้างของลายเส้น( $m_1$ ), ทำการพิจารณาคุณสมบัติของสเกลเลตันตามข้อที่ 7 จากค่ามาตรฐานการวัดความรู้สึกละเอียดที่ไวต่อสัญญาณรบกวน( $m_2$ ) ที่ขอบภาพ และทำการพิจารณาคุณสมบัติของสเกลเลตันตามข้อที่ 8 จากค่าจำนวนรอบการกระทำซ้ำ( $m$ ) ที่อยู่ในสูตรการคำนวณหามาตรฐานการวัดมูลค่าการคำนวณ( $m_3$ ) พบว่า การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG และวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI(ประกอบกับการพิจารณาจากภาพลายเส้นที่ได้) จะมีข้อดีและข้อเสีย คือ

ข้อดี คือ

1. คอปสนองต่อสัญญาณรบกวนที่บริเวณขอบภาพได้น้อย(ตามวิธีของ FRANK Y. SHIH and WAI-TAK WONG)

2. ภาพลายเส้นที่ได้มีความบางของลายเส้นเพียง 1 จุดภาพ ค่อนข้างสมบูรณ์(ตามวิธีของ

A. DATTA and S. K. PARUI)

3. ภาพลายเส้นที่ได้ มักจะไม่เกิดเส้นคู่

4. ภาพลายเส้นที่ได้ จะเกิดเส้นกึ่งที่น้อยมาก

ข้อเสีย คือ

1. ใช้เวลาในการประมวลผลที่นานพอสมควร

2. ใช้จำนวนรอบในการกระทำซ้ำที่มาก(เมื่อเทียบวิธีของ A. DATTA and S. K. PARUI)

จึงทำให้ประสิทธิภาพในการคำนวณมีน้อยลง ซึ่งสังเกตจากมูลค่าการคำนวณ โดยคิดจากจุดภาพของวัตถุในภาพ จุดภาพสเกลเลตัน และจำนวนรอบในการกระทำซ้ำ

## ภาคผนวก ง. การใช้โปรแกรม

ในส่วนของภาคผนวก ง. จะได้อธิบายวิธีการใช้โปรแกรม และส่วนต่างๆ ของโปรแกรม การประมวลผลภาพ(KMITL AFIS SYSTEM) ที่ได้เขียนขึ้นมาใช้งาน พร้อมทั้งบอกประโยชน์ ของการทำงานและการใช้งานของแต่ละส่วนของโปรแกรม ดังนี้

สำหรับแผ่นดิสก์จะประกอบด้วยตัวติดตั้งโปรแกรมที่ชื่อ kmitl จำนวน 2 แผ่น และไฟล์ตัวอย่างภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ชื่อ datademo จำนวน 1 แผ่น ซึ่งวิธีการในการติดตั้งโปรแกรม kmitl คือ ให้ใส่แผ่นดิสก์ แผ่นที่ 1 ลงในไดรฟ์ 3 นิ้วครึ่ง แล้วเรียกไฟล์ setup หลังจากนั้นทำตามขั้นตอนที่ แสดงอยู่บนหน้าจอ จนกระทั่งติดตั้งเสร็จ เมื่อติดตั้งเสร็จจะเห็นมีไฟล์ kmitl ที่มีไอคอนเป็นรูป หนังสือที่กำลังถูกเปิด ปรากฏอยู่บนเมนูย่อยของ program ดังรูปที่ 113

ภาพที่ 113

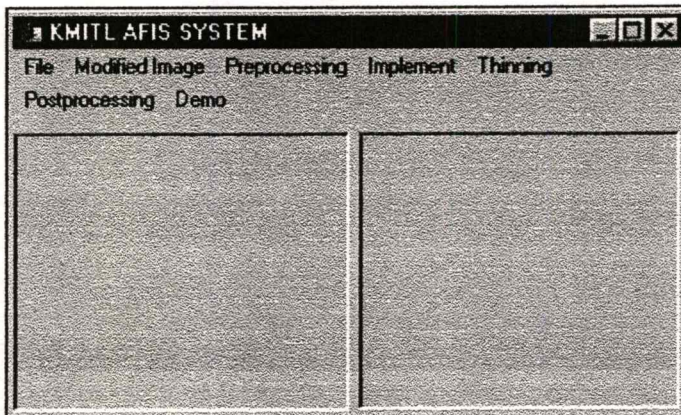


แสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่มีการติดตั้งโปรแกรม kmitl เสร็จแล้ว

สำหรับไฟล์ตัวอย่างภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ชื่อ datademo ซึ่งจะมีสกุลไฟล์เป็น zip ซึ่งจะต้องใช้โปรแกรม winzip ช่วยในการติดตั้ง เมื่อทำการติดตั้ง datademo ด้วย winzip เรียบร้อยแล้วไฟล์ตัวอย่างภาพพิมพ์ลายนิ้วมือทั้งหมดที่ได้จะอยู่ในไดเรกทอรีของ demo ในไดร์ฟ C

เมื่อเราใช้โปรแกรมประมวลผลภาพ จะปรากฏหน้าต่างของโปรแกรมเป็นดังภาพที่ 114

ภาพที่ 114



แสดงหน้าต่างของโปรแกรมประมวลผลภาพ(KMITL AFIS SYSTEM)

ภายในเมนูบาร์จะประกอบด้วยเมนูที่ชื่อ ไฟล์(File), การปรับเปลี่ยนภาพ(Modified Image), การปรับแต่งภาพให้สมบูรณ์(Preprocessing), การจัดทำเพิ่มเติม(Implement), การทำลายเส้นให้บาง(Thinning), การตกแต่งภาพ(Postprocessing) และแสดงตัวอย่าง(demo) ดังภาพที่ 115 ซึ่งภายในเมนูไฟล์ จะมีเมนูย่อยคือ การเปิดภาพ(Open), การจัดเก็บภาพ(Save As), การจบการทำงานของโปรแกรม(Exit), ประวัติผู้เขียน(KMITL AFIS SYSTEM)

ในแต่ละเมนูย่อยจะมีการใช้งานที่แตกต่างกัน คือ

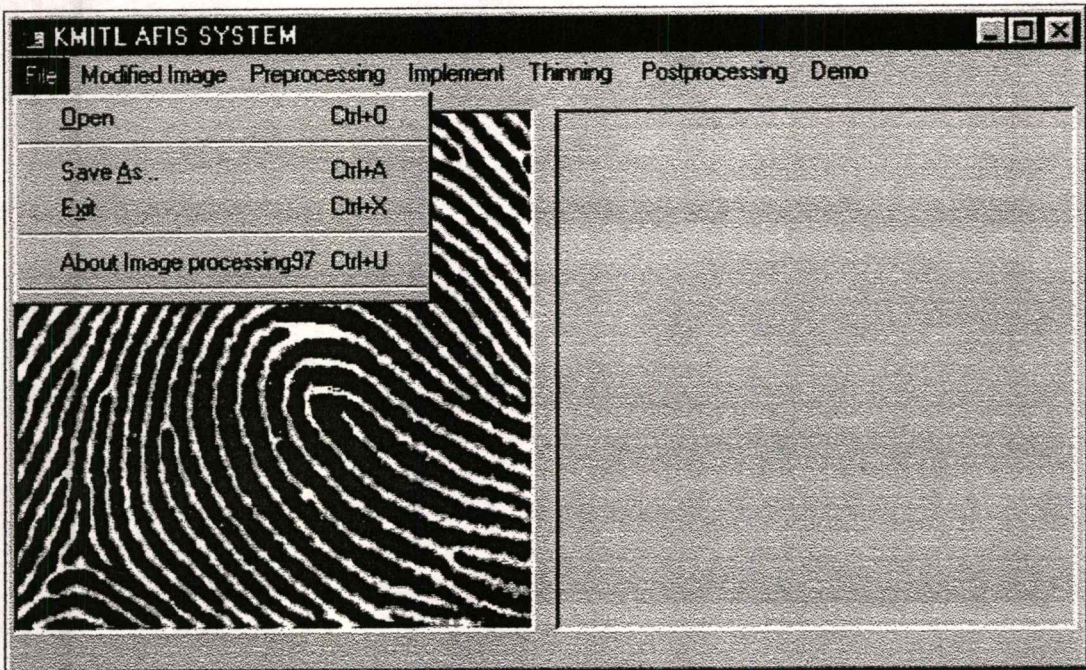
การเปิดภาพ ใช้ในการเปิดภาพขึ้นมาใช้งาน ซึ่งมีคีย์ลัดในการทำงานคือ Ctrl+ O

การจัดเก็บภาพ ใช้ในการเก็บภาพที่ผ่านการประมวลผลภาพไปเก็บไว้เป็นไฟล์ ซึ่งมีคีย์ลัดในการทำงานคือ Ctrl + A

การจบการทำงานของโปรแกรม ใช้ในการออกจากการทำงานของโปรแกรม ซึ่งมีคีย์ลัดในการทำงานคือ Ctrl+X

ประวัติผู้เขียน ใช้ในการดูประวัติผู้เขียนโปรแกรม ซึ่งมีคีย์ลัดในการทำงานคือ Ctrl + U

ภาพที่ 115



แสดงการเปิดภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดขวา ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งเป็นเมนูย่อย  
ที่อยู่ภายในเมนู ไฟล์(File)

ภายในเมนู การปรับเปลี่ยนภาพ(Modified Image) ดังภาพที่ 116 จะมีเมนูย่อยคือ การทำ  
ภาพใช้คมชัด (Sharpen), การทำอคมบอสภาพ(Emboss), การทำแอนกราฟ(Engrave), การทำโมเสค  
ภาพ(Mosaic), การทำคิฟฟิว(Diffuse), การทำนีออนภาพ(Neon) ซึ่งจะไม่นำมาใช้งานและไม่ขอ  
กล่าวถึงการใช้งานไว้ ณ. ที่นี้

ภายในเมนู การปรับแต่งภาพให้สมบูรณ์(Preprocessing) ดังภาพที่ 117 จะมีเมนูย่อยคือ  
การแปลงภาพสีไปเป็นภาพระดับเทา(ColorToMono), การทำอินเวอร์สภาพ(Invert), การทำภาพให้  
เรียบ(Smoothing), การแปลงภาพขาวดำโดยคาเปอร์(B&W image by Kapur), การแปลงภาพขาวดำ  
โดยเอกรัตน์(B&W image by Aekarat)

ในแต่ละเมนูย่อยจะมีการใช้งานที่แตกต่างกัน คือ

การแปลงภาพสีไปเป็นภาพระดับเทา ใช้ในการแปลงภาพสีมาเป็นภาพระดับเทา

การทำอินเวอร์สภาพ

ใช้ในการแปลงภาพขาวดำ ให้เป็นภาพที่มีสีใน

ลักษณะตรงกันข้าม กล่าวคือ แปลงสีดำไปเป็นสี

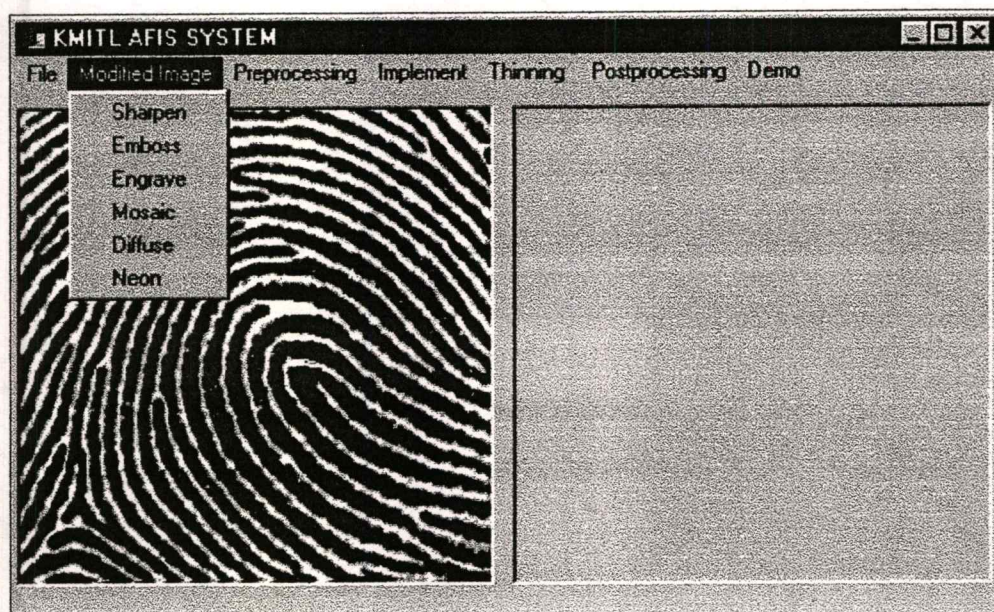
ขาวและแปลงสีขาวไปเป็นสีดำ

การทำภาพให้เรียบ

ใช้ในการทำภาพให้เรียบ ปราศจากสัญญาณรบกวน  
ในภาพ

- การแปลงภาพขาวดำโดยคาเปอร์ ใช้ในการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำที่ใช้วิธีการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติ ซึ่งกระทำที่เดียวทั้งภาพ
- การแปลงภาพโดยเอกรัตน์ ใช้ในการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำที่ใช้วิธีการทำเทรซโฮลด์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าแอนโทรปี

ภาพที่ 116



แสดงเมนูย่อยที่อยู่ในเมนู การปรับเปลี่ยนภาพ(Modified Image)

ภายในเมนู การจัดทำเพิ่มเติม(Implement) ดังภาพที่ 118 จะมีเมนูย่อยคือ สร้างสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ(Create some boundary-noise), การนับจำนวนสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ(Counting many boundary points)

ในแต่ละเมนูย่อยจะมีการใช้งานที่แตกต่างกัน คือ

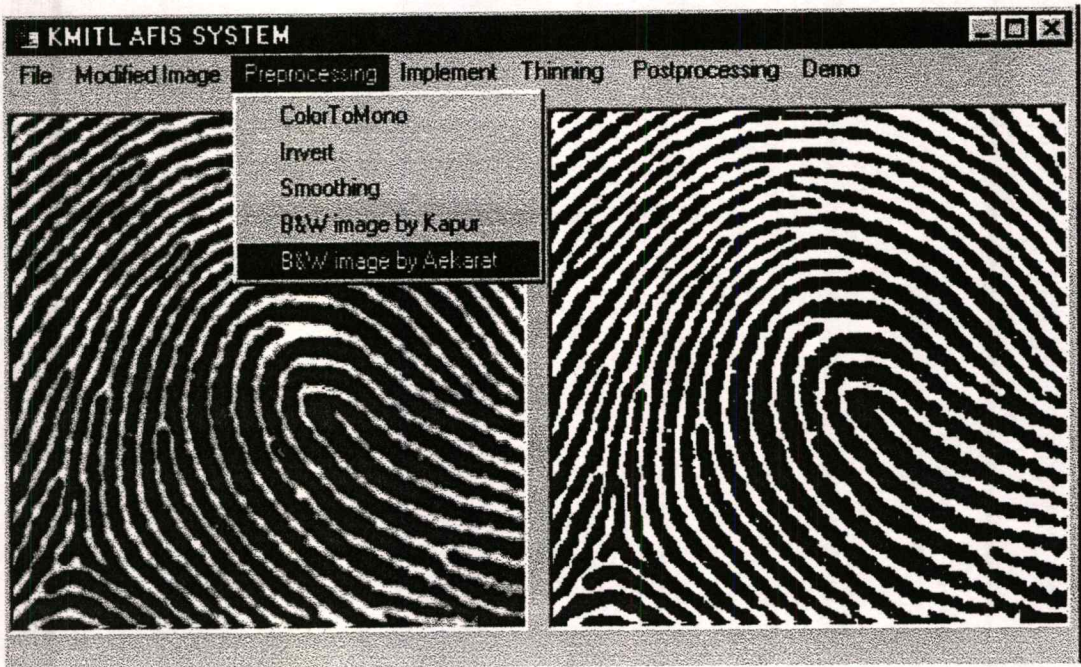
สร้างสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ

ใช้ในการสร้างสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่บริเวณขอบภาพขึ้นมาในภาพที่จะทำการทดลอง

การนับจำนวนสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ

ใช้ในการนับจุดภาพที่เป็นสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่บริเวณขอบภาพ

ภาพที่ 117



แสดงการทำเทรซโฮลด์ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการแบ่งส่วนและหาค่าเอนโทรปี  
ซึ่งเป็นเมนูย่อยที่อยู่ในเมนู การปรับแต่งภาพให้สมบูรณ์(Preprocessing)

ภายในเมนู การทำลายเส้นให้บาง(Thinning) ดังภาพที่ 119 จะมีเมนูย่อยคือ โดยเบนไกและโรแลน ที่ แบบ 3 x 3 (by BEN-KWEI AND ROLAND T. BY 3 x 3), โดยเบนไกและโรแลน ที่แบบ 5 x 5 (by BEN-KWEI AND ROLAND T. BY 5 x 5), โดยดาต้าและเอส เค พารีย์ (by Datta and S. K. Parui), โดยเอกรัตน์ จุลวรรณ์ (by Aekarat Joolawan), โดยแฟงค์ วาย ชีช และไว ตัก ว่อง (by FRANK Y. SHIH AND WAI-TAK WONG), โดยซาง และเชน (by Zhang and Suen)

ในแต่ละเมนูย่อยจะมีการใช้งานที่แตกต่างกัน คือ

โดยเบนไกและโรแลน ที่ แบบ 3 x 3

เป็นขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามวิธีของเบนไกและโรแลน ที่ ที่ใช้ขนาดหน้าต่าง 3 x 3 เป็นหลักในการดำเนินการทำลายเส้นให้บาง

โดยเบนไกและโรแลน ที่ แบบ 5 x 5

เป็นขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามวิธีของเบนไกและโรแลน ที่ ที่ใช้ขนาดหน้าต่างที่แตกต่างกัน อย่างเช่น 3 x 3, 4 x 4, 5 x 5 เป็นหลักในการดำเนินการทำลายเส้นให้บาง

โดยคாத้าและเอส เค พาร์ย์

เป็นขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามวิธี  
ของคาท้าและเอส เค พาร์ย์ ที่ใช้ขนาดเมตริกซ์  
 $1 \times 3$ ,  $3 \times 1$  และ  $3 \times 3$  เป็นหลักในการดำเนินการ  
การทำลายเส้นให้บาง

โดยแฟงค์ วาย ซิช และไว ตัก ว่อง

เป็นขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามวิธี  
ของแฟงค์ วาย ซิช และไว ตัก ว่อง

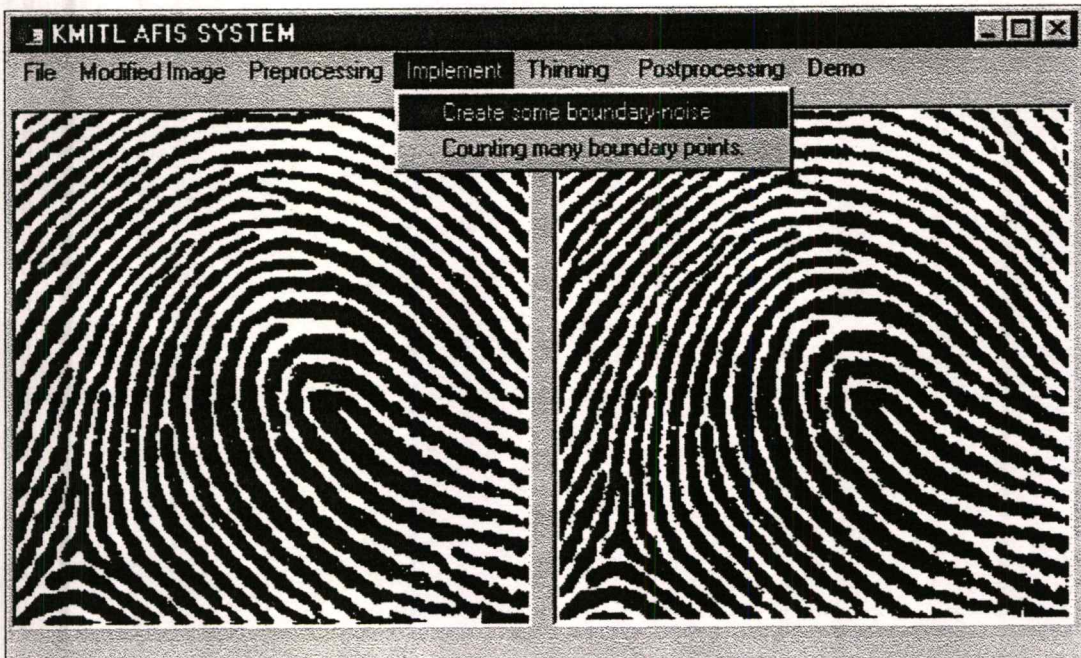
โดยซาง และเซน

เป็นขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามวิธี  
ของซาง และเซน

โดยเอกรัตน์ จุลวรรณ์

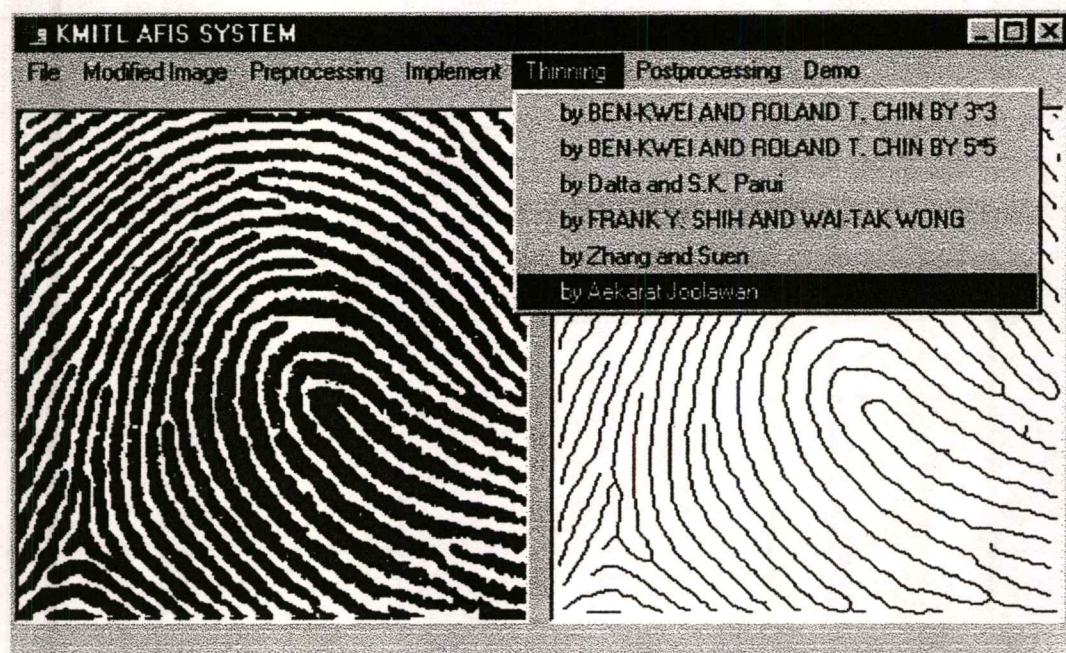
เป็นขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ตามวิธี  
ของเอกรัตน์ จุลวรรณ์ ที่ได้คิดสร้างขึ้นมามีใช้  
งาน โดยได้เสนอรายละเอียดต่างๆ ไว้ในงาน  
วิจัยนี้

ภาพที่ 118



แสดงการเพิ่มสัญญาณรบกวนในภาพ ซึ่งเป็นเมนูย่อยที่อยู่ภายในเมนู  
การจัดทำเพิ่มเติม(Implement)

ภาพที่ 119



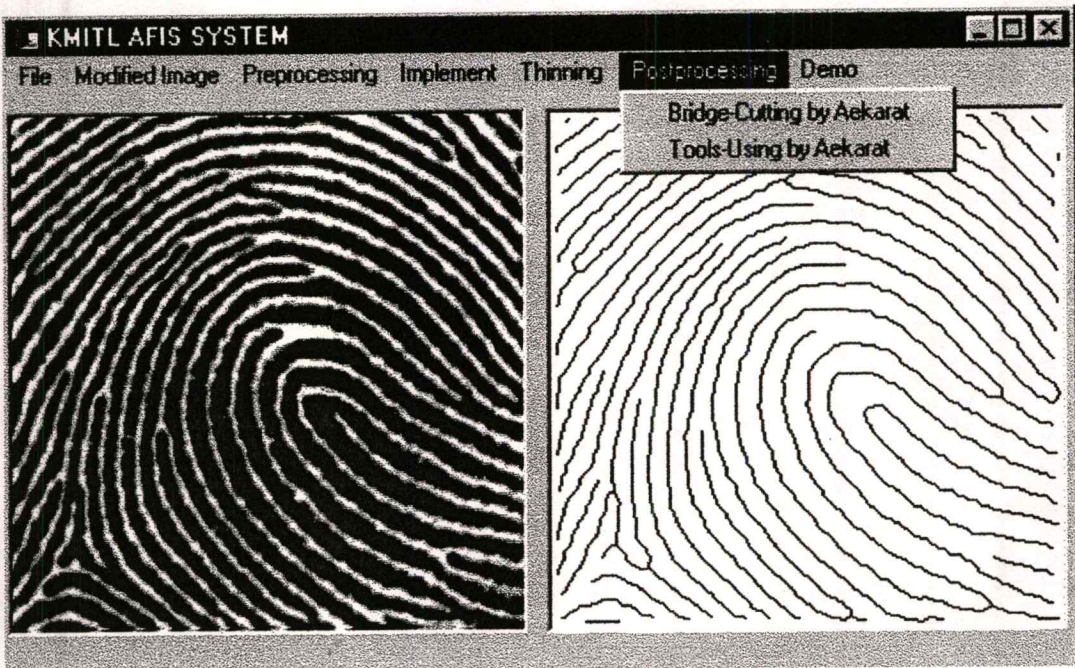
แสดงการทำลายเส้นให้บางตามวิธีการของ เอกรัตน์ จุลวรรณ์ ซึ่งเป็นเมนูย่อย  
ที่อยู่ในเมนูการทำลายเส้นให้บาง(Thinning)

ภายในเมนู การตกแต่งภาพ(Postprocessing) ดังภาพที่ 120 จะมีเมนูย่อย คือ การตัดเส้นกิ่ง  
โดยเอกรัตน์(Branch-Cutting by Aekarat), การใช้เครื่องมือ โดยเอกรัตน์(Tools-Using by Aekarat)  
ในแต่ละเมนูย่อยจะมีการใช้งานที่แตกต่างกัน คือ

การตัดเส้นสะพาน โดยเอกรัตน์	เป็นวิธีการตัดเส้นสะพาน ตามวิธีการของเอกรัตน์
การใช้เครื่องมือ โดยเอกรัตน์	เป็นการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นมาใช้งาน ตามวิธีการ ของเอกรัตน์ ดังภาพที่ 120 ซึ่งจะมีการต่อเส้นตรง (Extend line), การสร้างขนาดสี่เหลี่ยมครอบคลุมบริเวณที่ ต้องการลบ(Erase box), การตัดเส้นกิ่ง(Erase banch), ตัดเส้นสั้น(Erase Short line), การตกแต่งเส้นหยัก (Emblishment line) และการกำจัดจุด(Erase point)

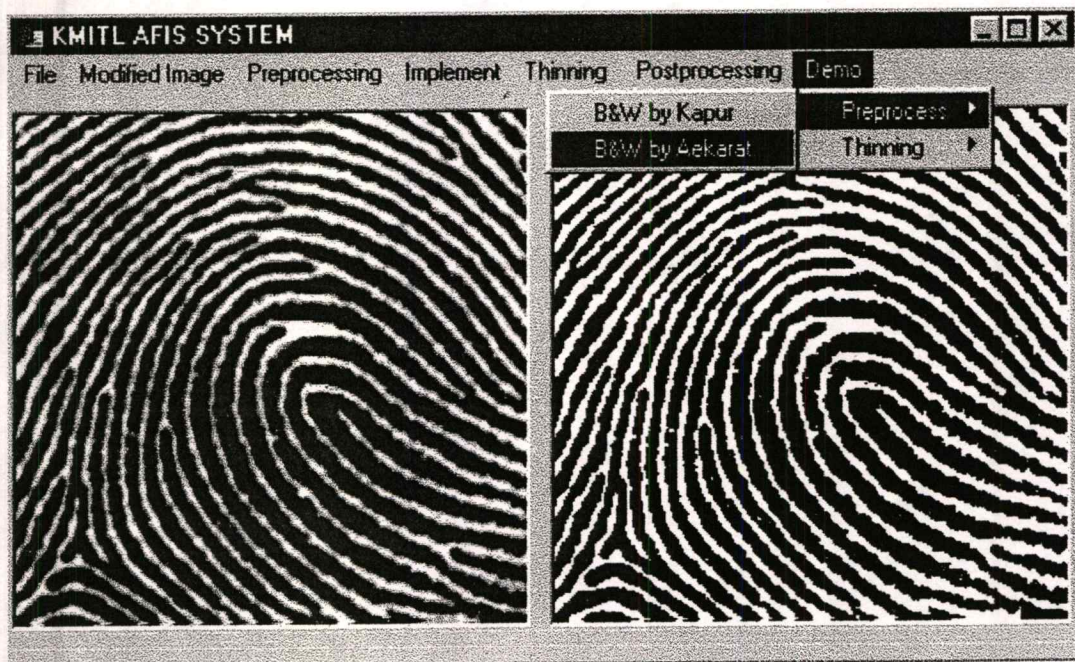
ภายในเมนูย่อยแสดงตัวอย่าง(demo) จะเป็นการขอดูตัวอย่างภาพพิมพ์ลายนิ้วมือรูปแบบ  
ต่างๆ ที่ได้ผ่านขบวนการต่างๆ ซึ่งที่มีให้เลือกคือ การปรับแต่งภาพให้สมบูรณ์ ดังภาพที่ 121 ละ  
การทำลายเส้นให้บาง ดังภาพที่ 122

ภาพที่ 120



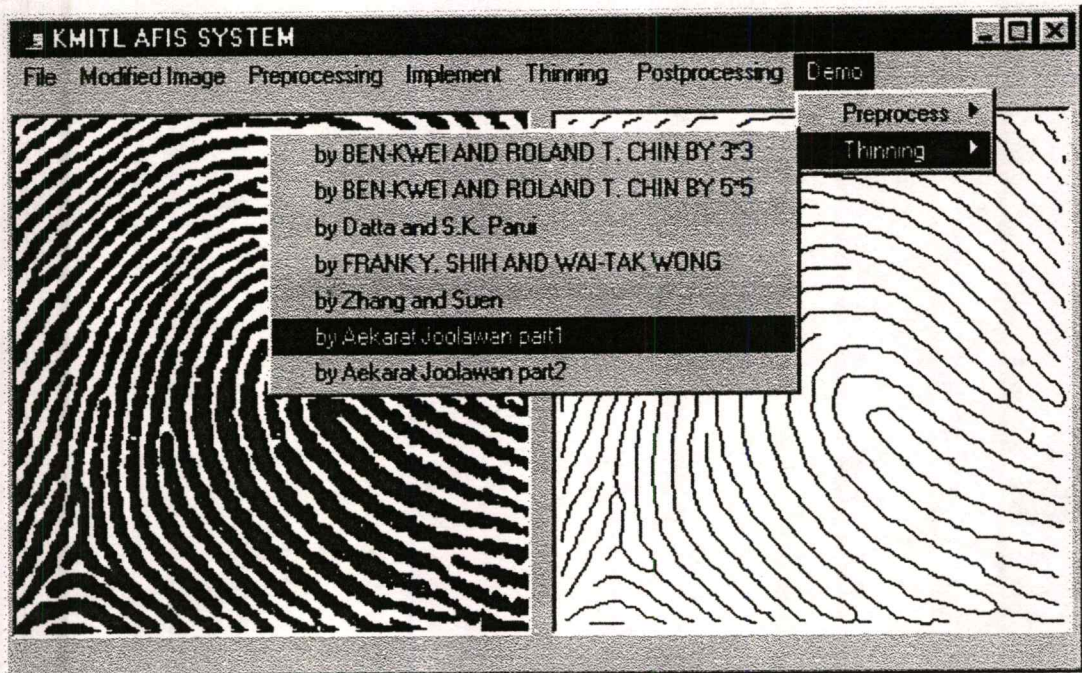
แสดงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการตกแต่งภาพ(Postprocessing)

ภาพที่ 121



แสดงเมนูย่อยของการปรับแต่งภาพให้สมบูรณ์ในส่วนของเมนูแสดงตัวอย่าง(demo)

ภาพที่ 122



แสดงเมนูย่อยของการทำลายเส้นให้บางในส่วนของเมนูแสดงตัวอย่าง(demo)

### ประวัติผู้เขียน

นายเอกรัตน์ จุลวรรณ เกิดวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2514 ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำเร็จ  
การศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2536 เข้าศึกษาต่อใน  
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรม  
ไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2538