

รายงานโครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2536

เรื่อง

การจดจำลายนิ้วมือโดยวิธีเข้าหาระบบทรี

Fingerprint Recognition using Tree System Approach Method

หัวหน้าโครงการ นายเกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

RCH

TK

๗๘๘๒

๗๑

๓๗๘๕๖

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 32232

วัน, เดือน, ปี 1 1 ส.ค. 2542

โครงการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การจดจำลายนิ้วมือโดยวิธีเข้าหาระบบทรี

Fingerprint Recognition using Tree System Approach Method

ผู้ดำเนินงานวิจัย

นายเกษตร ศิริสันติสัมฤทธิ์

หัวหน้าโครงการ

นายมัชวาน จันทรกอฮอ

ผู้ช่วยนักวิจัย

โครงการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

<u>เนื้อเรื่อง</u>	<u>หน้า</u>
0 บทคัดย่อ	1
1 บทนำ	2
2 ระบบจดจำลายนิ้วมือ	2
2.1 การ์ดดิจิทัลเซอร์	3
2.2 กระบวนการเบื้องต้น	11
2.3 กระบวนการหลัง	15
2.4 การอธิบายรูปแบบลายนิ้วมืด้วยไวยากรณ์ตรี	24
3 ผลการทดลอง	34
4 สรุปงานวิจัย	36
5 เอกสารอ้างอิง	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทคัดย่อ

การพิสูจน์ชี้ตัวบุคคลโดยใช้ลายนิ้วมือ เป็นสิ่งที่ต้องการในงานหลายๆ ด้าน เช่น งานทะเบียนราษฎร ของกรมการปกครอง งานอาชญากรรมของกรมตำรวจ และงานด้านการรักษาความปลอดภัย แต่เนื่องจากในปัจจุบันประชากรมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น การพิสูจน์แยกแยะโดยมนุษย์จะทำให้เกิดความล่าช้าและยากลำบาก ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาระบบจดจำลายนิ้วมืออัตโนมัติขึ้น

งานวิจัยนี้ได้เสนอการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการจดจำลายนิ้วมืออัตโนมัติ โดยทำการพัฒนาส่วนประกอบทั้งทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในส่วนของระบบทางฮาร์ดแวร์ ได้กล่าวถึงโครงสร้างระบบโดยรวมและกล่าวถึงการพัฒนาการ์ดดิจิทัลเซอร์ชาวดำความละเอียด 256x256 พิกเซล ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม การ์ดดิจิทัลเซอร์จะทำการแปลงภาพลายนิ้วมือเชิงอุปมานให้เป็นภาพลายนิ้วมือเชิงเลข ซึ่งใช้ประมวลผลในคอมพิวเตอร์ต่อไป ในส่วนของระบบทางซอฟต์แวร์ เราได้อธิบายขั้นตอนการประมวลผลทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการเบื้องต้น (Preprocessing) กระบวนการหลัง (Postprocessing) และส่วนของการจดจำ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาระบบการหลังและขั้นตอนวิธีในการจดจำขึ้นเอง โดยส่วนของการจดจำได้ประยุกต์ใช้ไวยากรณ์ตรีใน การบรรยายโครงสร้างของลายนิ้วมือ ซึ่งเทคนิคนี้ทำให้เกิดการลดข้อมูลลงอย่างมาก ในส่วนของการวิเคราะห์และสรุปผล ได้ทำการทดสอบกับลายนิ้วมือตัวอย่าง 60 ลาย

## ABSTRACT

Fingerprint identification has been used for many classes of works, such as registration, law enforcement and security. At this present since a number of citizen is large, the manual fingerprint recognition systems are difficult and slow to operate. So development of automatic fingerprint recognition systems is proposed on this paper.

The paper is presented the automatic fingerprint recognition based on computers. The system is developed both hardware and software. On the hardware, we describe the overview of system architecture and the development of 256x256 pixels of the black and white digitizer card, which is controlled by computer. Digitizer card acts as a converter to convert the fingerprint (analog) to digital image. On the software, the process consists of preprocessing, postprocessing and recognition. In proposed recognition on this paper applies tree grammar to describe the structure of fingerprint, which image data can strictly be reduced. On experiment, 60 fingerprints are tested to analyse and conclude.

## 1. บทนำ

โดยธรรมชาติแล้ว มนุษย์แต่ละคนจะมีลักษณะเฉพาะบางอย่าง ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการพิสูจน์บุคคลว่าเป็นคนเดียวกันหรือไม่ ซึ่งลักษณะเฉพาะแต่ละอย่างจะมีระดับความน่าเชื่อถือแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ลายนิ้วมือ และรหัสทางพันธุกรรม (genetic code) ระดับความน่าเชื่อถือจะเรียงลำดับจากต่ำไปสูง ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว ทั้งในอดีตและปัจจุบันดูเหมือนว่า ลายนิ้วมือจะเป็นลักษณะเฉพาะที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยลายนิ้วมือได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานหลายด้าน เช่นงานทะเบียนราษฎรของกรมการปกครอง งานอาชญากรรมของกรมตำรวจ และงานด้านความปลอดภัยเป็นต้น ซึ่งการดำเนินการในอดีต จะใช้ผู้เชี่ยวชาญในการพิสูจน์และแยกแยะลายนิ้วมือ โดยลายนิ้วมืออาจถูกพิมพ์ด้วยหมึก แล้วเก็บลงบนการ์ดสำหรับเป็นฐานข้อมูล ในขั้นตอนของการพิสูจน์ว่าเป็นลายนิ้วมือของบุคคลคนเดียวกันหรือไม่ จะใช้วิธีการเปรียบเทียบลักษณะเด่น (minutiae) และที่ตั้งของลักษณะเด่นว่าเหมือนกันและตรงกันหรือไม่ ถ้าเหมือนกันหรือตรงกันก็แสดงว่า ลายนิ้วมือทั้งสองนั้นเป็นของบุคคลคนเดียวกัน แต่ถ้าไม่เหมือนกันก็แสดงว่าไม่ใช่ ลักษณะเด่นที่ใช้เพื่อการพิสูจน์และจดจำ เช่น จุดปลายของลาย และจุดแยกเป็นต้น แต่เนื่องจากในปัจจุบันนี้ ประชากรมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น การพิสูจน์และแยกแยะลายนิ้วมือโดยใช้มนุษย์จึงดำเนินการไปได้ด้วยความยากลำบากและใช้เวลานาน ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการพัฒนาระบบจดจำลายนิ้วมืออัตโนมัติขึ้น

ในงานวิจัยนี้ มุ่งเสนอการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการจดจำลายนิ้วมืออัตโนมัติ โดยใช้กระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) ด้วยวิธีเข้ารหัสระบบทรี ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ต้องการจะเก็บไว้เป็นฐานข้อมูล และใช้ในการพิสูจน์และจดจำ จะถูกส่งเข้าระบบจดจำลายนิ้วมืออัตโนมัติผ่านทางอุปกรณ์อินพุท เช่น กล้องถ่ายภาพหรือสแกนเนอร์ (scanner) จากนั้นข้อมูลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือถูกนำมาผ่านขั้นตอนปรับปรุงคุณภาพของภาพ และจัดการให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ข้อมูลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือยังมีสิ่งบร่รบกวนปรากฏอยู่อันเนื่องมาจากขั้นตอนการพิมพ์ลายนิ้วมือ เราจึงได้นำข้อมูลภาพมาเข้าสู่กระบวนการหลัง (postprocessing) ที่มีประสิทธิภาพเพื่อกำจัดสิ่งบร่รบกวนที่เกิดขึ้นดังกล่าว หลังจากนั้น จะทำการแทน (representation) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยเวกเตอร์ทรี เพื่อเก็บไว้เป็นฐานข้อมูล ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนี้ จะทำให้ขนาดของหน่วยความจำลดลงเป็นอย่างมาก จึงเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานพิสูจน์และจดจำลายนิ้วมือที่มีฐานข้อมูลขนาดใหญ่

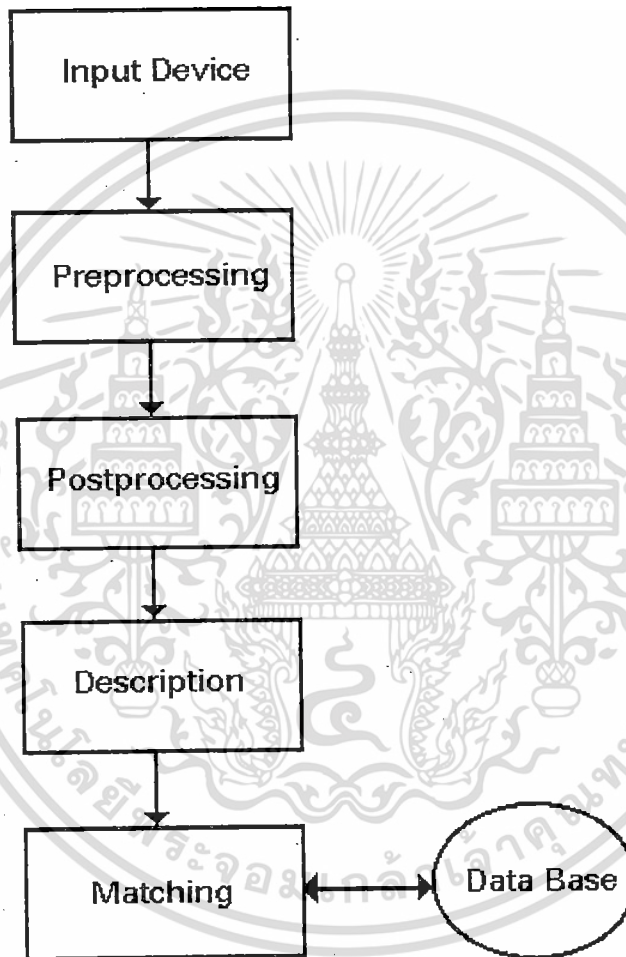
## 2. ระบบจดจำลายนิ้วมือ

ระบบจดจำลายนิ้วมือที่นำเสนอนี้ จะมีบล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 1 ระบบจะทำการอ่านภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ (fingerprint pattern) โดยผ่านทางอุปกรณ์อินพุท เช่น กล้องถ่ายภาพที่วิ้งจระปิดที่ต่อร่วมกับการ์ดดิจิทัลไอเซอร์ (digitizer card) หรือสแกนเนอร์ ข้อมูลภาพที่ได้รับจากอุปกรณ์อินพุท จะเป็นข้อมูลดิจิทัล 256 ระดับสีเทา (gray level) ขนาด 256x256 จุดภาพ ข้อมูลภาพดังกล่าว จะนำมาผ่านกระบวนการประมวลผลภาพเบื้องต้น ซึ่งเราเรียกว่า กระบวนการเบื้องต้น (preprocessing) ในขั้นตอนนี้ จะนำข้อมูลภาพมาหาฮิสโตแกรม (histogram) เพื่อดูการกระจายค่าความเข้มของแสงตลอดทั้งภาพ ถ้าข้อมูลภาพมีความมืดหรือความสว่างมากเกินไป หรือมีความแตกต่างของสีขาวและดำต่ำ (low contrast) เราต้องทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพก่อน โดยอาจใช้วิธีฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน (histogram equalization) และถ้าข้อมูลภาพมีสิ่งรบกวน (noise) ก็จำเป็นต้องนำข้อมูลภาพไปเข้ากระบวนการกรอง (filter) ในขั้นตอนถัดมา ทำการแปลงข้อมูลภาพจากระดับสีเทาเป็นข้อมูลภาพสองระดับ (binary image) และเข้าสู่กระบวนการหาโครงสร้างของลายนิ้วมือ

ต่อจากนั้น นำข้อมูลภาพโครงสร้างลายนิ้วมือมาทำการประมวลผลในกระบวนการหลัง (post processing) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อจัดการแก้ไขสิ่งบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการพิมพ์ลายนิ้วมือลงบนการ์ด อันเนื่องมาจากหมึกพิมพ์มีมากเกินไปหรือน้อยเกินไป หรือแรงกดไม่เพียงพอ เป็นต้น ซึ่งอาจมีผลทำให้ลักษณะเด่นผิดไปจากความเป็นจริง และลายนิ้วมือมีการต่อกันอย่างไม่ถูกต้อง ในขั้นตอนนี้จะมีการวิเคราะห์การต่อกันของลายและทำการแก้ไข โดยใช้วิธีทั้งทางโครงสร้างและสถิติ (structural and statistical approach) ร่วมกัน

ในขั้นตอนต่อไปจะใช้ tree grammar แทนภาพลายนิ้วมือ ซึ่งจะทำให้เกิดการลดขนาดของข้อมูลในหน่วยความจำลงอย่างมาก หลังจากนั้นภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ต้องการพิสูจน์และจดจำ ซึ่งผ่านขั้นตอนต่างๆที่กล่าวมาแล้ว จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล ถ้าภาพพิมพ์ลายนิ้วมือนั้นมีอยู่ในฐานข้อมูลก็จะแสดงให้เห็นว่าภาพพิมพ์ลายนิ้วมือนั้นเป็นของใคร แต่ถ้าไม่มีจะสอบถามว่าต้องการเก็บข้อมูลนั้นไว้เป็นฐานข้อมูลหรือไม่



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมระบบจดจำลายนิ้วมือ

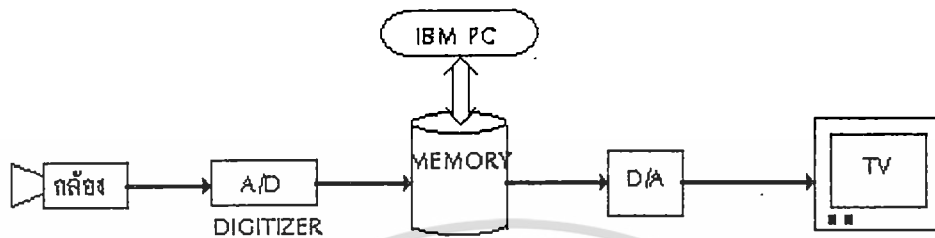
## 2.1 การ์ดดิจิทัลไอเซอร์ (Digitizer Card)

ในส่วนของชุดอุปกรณ์อินพุท อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นหัวใจของระบบ คือ การ์ดดิจิทัลไอเซอร์โดยจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากกล้องวิดีโอซึ่งเป็นสัญญาณเชิงอุปมาน (Analog Signal) ให้เป็นสัญญาณเชิงเลข (Digital Signal) ซึ่งจะถูกใช้ประมวลผลต่อไป

ส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่น่าเสนอนี้ คือ การพัฒนาการ์ดดิจิทัลไอเซอร์ที่ใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ในตระกูล IBM PC การ์ดดิจิทัลไอเซอร์จะทำงานเป็นเสมือนช่องแปลงสัญญาณ โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมสั่งงาน ดังแสดงในรูปที่ 2 การทำงานที่เป็นไปได้ ของการ์ดนี้ มี ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ส่งผ่านสัญญาณจากกล้องวิดีโอ ไปแสดงผลบนจอมอนิเตอร์
2. ทำการแปลงสัญญาณเชิงอุปมานจากกล้องวิดีโอเป็นสัญญาณเชิงเลขแล้วนำไปเก็บในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลต่อไป
3. ทำการแปลงสัญญาณเชิงเลขจากหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณเชิงอุปมานแล้วส่งไปแสดงผลที่จอมอนิเตอร์



รูปที่ 2 โครงสร้างของระบบ

เนื่องจากในการจดจำหรือแยกแยะลายนิ้วมือ ข้อมูลภาพแบบระดับสีเทาก็เพียงพอต่อความต้องการของระบบ ดังนั้นการ์ดดิิจิตาไลเซอร์ที่พัฒนานั้น จึงทำงานกับข้อมูลภาพระดับเทาเท่านั้น อย่างไรก็ตาม จากแนวความคิดทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ สามารถทำการปรับปรุงเป็นการ์ดดิิจิตาไลเซอร์สีได้โดยง่าย

### 2.1.1 ทฤษฎีทั่วไปของระบบโทรทัศน์

ภาพที่ตาคนเรามองเห็นได้นั้นเกิดขึ้นจาก มีแสงไปกระทบวัตถุแล้วสะท้อนมาเข้าตาเรา และการที่เราสามารถมองเห็นวัตถุมีสีต่างกัน ก็เนื่องจากวัตถุมีการดูดกลืนและสะท้อนแสงของแต่ละสีไม่เท่ากัน ในการเปลี่ยนคลื่นแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้านั้นสามารถทำได้โดยใช้กล้องทีวีชนิดวีดีคอน หรือชนิด CCD ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากกล้องทีวีเหล่านี้จะประกอบด้วยสัญญาณหลายๆสัญญาณรวมกัน ซึ่งเรียกว่า สัญญาณโทรทัศน์ (composite video signal)

ภาพที่ได้จากกล้องทีวีจะประกอบไปด้วยจุดภาพ (picture elements) ที่เป็นสีขาวหรือดำเป็นจำนวนมาก ซึ่งจัดเรียงตัวกันเป็นภาพขึ้นมา สำหรับความคมชัดของภาพจะขึ้นอยู่กับระดับสีเทาของจุดภาพ ถ้ามีความแตกต่างของระดับสีเทามากความคมชัดก็จะมีมาก

การสแกนของกล้องทีวีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 2 ระบบคือระบบ NTSC ซึ่งใช้เส้นสแกน 525 เส้นต่อภาพ 30 ภาพต่อวินาทีที่มีความถี่ 15,750 Hz และระบบ PAL จะใช้เส้นสแกน 625 เส้นต่อภาพ 25 ภาพต่อวินาทีที่มีความถี่ 15,625 Hz สำหรับวิธีการสแกนมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ สแกนแบบก้าวหน้า (Progressive Scanning) และสแกนแบบสลับเส้น (Interlaced Scanning)

การสแกนแบบก้าวหน้า จะเริ่มสแกนจากมุมบนด้านซ้ายมือไปทางด้านขวามือสุด แล้วสลับกลับมาทางด้านซ้ายมือ และเริ่มสแกนเส้นใหม่ไปทางด้านขวามือสุดแล้วสลับกลับ เพื่อเริ่มสแกนเส้นถัดลงมาและจะเป็นเช่นนี้ไปตลอดทั้งภาพ ส่วนการสแกนแบบสลับเส้นจะมีการสแกนภาพ 2 ครั้ง โดยครั้งแรกจะสแกนเฉพาะเส้นคี่ (Odd Field)จนตลอดทั้งภาพ จากนั้นจึงจะสแกนเฉพาะเส้นคู่ (Even Field) ภาพที่ได้จากการสแกนในแต่ละ field จะมีจำนวน 312.5 เส้น สำหรับดิิจิตาไลเซอร์การ์ดที่เราออกแบบไว้จะมีขนาด 256 จุดภาพ x 256 เส้น ดังนั้น เราจึงเลือกการสแกนด้วยระบบ PAL เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบสลับเส้นเฉพาะเส้นคู่หรือเส้นคี่ก็ได้

สัญญาณโทรทัศน์ที่เรากล่าวถึงจะประกอบด้วยสัญญาณต่างๆดังต่อไปนี้

1. สัญญาณภาพและสัญญาณเสียง (Video and Audio Signal)

สัญญาณภาพคือสัญญาณที่ทำให้เกิดภาพในลักษณะต่างๆ ส่วนสัญญาณเสียงไม่ได้นำมาใช้งาน

2. Blanking Pulse

เป็นสัญญาณที่ใช้เพื่อลบช่วงการสับกลับทั้งแนวนอนและแนวตั้งในการสแกนภาพสำหรับระบบการสแกนทั้ง 2 ระบบ จะมีขนาดของสัญญาณ Blanking ในแนวนอนประมาณ  $10\mu s$  และสัญญาณ Blanking ในแนวตั้งประมาณ  $1,250\mu s$

3. Sync Pulse

เป็นสัญญาณที่ช่วยให้วงจรหักเหทางแนวนอนและแนวตั้งในเครื่องส่งและเครื่องรับโทรทัศน์มีความถี่ตรงกันตลอดเวลา ในระบบ PAL สัญญาณ Sync ทางแนวนอน มีความถี่  $15,625\text{ Hz}$  และทางแนวตั้งมีความถี่  $50\text{ Hz}$  เนื่องจากความถี่ของสัญญาณ Sync และ สัญญาณ Blanking มีค่าเท่ากัน จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันการรบกวนกันที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยการกำหนดขนาดของ Sync Pulse ให้น้อยกว่าขนาดของ Blanking Pulse นั่นคือ Sync Pulse ทางแนวนอนมีขนาด  $5\mu s$  และทางแนวตั้งมีขนาด  $190\mu s$  นอกจากนี้ยังสามารถส่ง Sync Pulse ไปกับ Blanking Pulse ได้ โดยให้ฐานของ Sync Pulse ทับขอบบนของ Blanking Pulse สัญญาณ Sync ทางแนวนอนจะเกิดขึ้นทุกๆ  $64\mu s$  ซึ่งสัญญาณนี้เป็นตัวบอกถึงการสิ้นสุดของการสแกนในแต่ละเส้น ดังนั้น เมื่อลบด้วยเวลาที่มีสัญญาณ Blanking แล้วจะเหลือเวลาในการแสดงภาพจริงประมาณ  $52\mu s$  สำหรับในแต่ละเส้นสแกน

4. Equalizing Pulse

เป็นสัญญาณที่ใช้เพื่อช่วยให้สัญญาณ Sync ทางแนวตั้งยังมีรูปร่างดีเหมือนเดิม หลังจากถูกแยกออกจากสัญญาณ Sync ทางแนวนอน ช่วยให้การสแกนแบบไขว้กันเป็นไปโดยเรียบร้อยสม่ำเสมอ ช่วยให้สัญญาณ Sync ทางแนวนอนไม่ขาดหายไปในช่วงเวลาของสัญญาณ Sync ทางแนวตั้งและช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากการสับกลับผิดตำแหน่งของการสแกนแบบสลับ อย่างไรก็ตามเราไม่ได้ใช้สัญญาณพัลซันนี้ในดิจิทัลเซอร์กิต

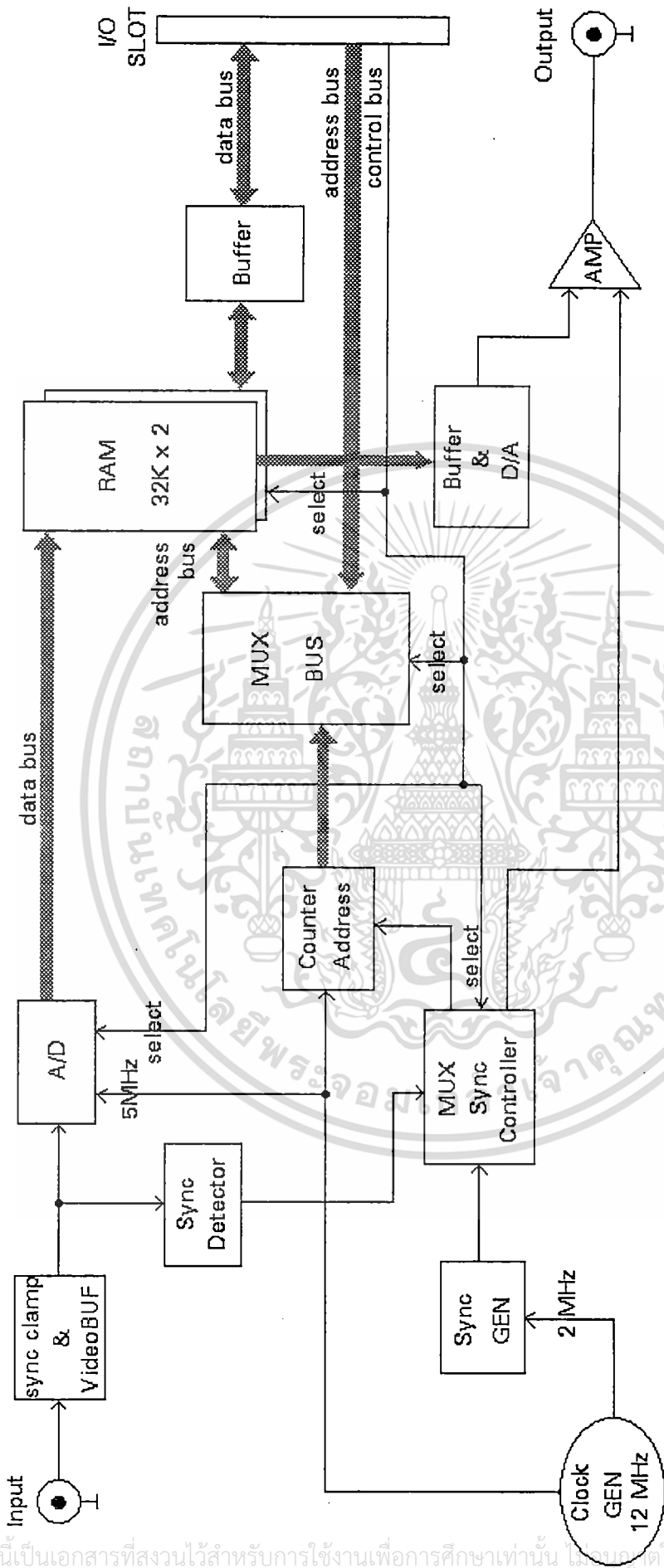
2.1.2 หลักการออกแบบ

บล็อกไดอะแกรมของระบบจะแสดงดังรูปที่ 3 หลักการทำงานของระบบคือนำสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องที่วิววงจรปิด มาผ่านขบวนการแปลงสัญญาณภาพเป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ และเมื่อต้องการแสดงผลข้อมูลในหน่วยความจำก็สามารถทำได้ โดยการนำข้อมูลมาผ่านการแปลงข้อมูลจากดิจิตอลเป็นสัญญาณภาพแล้วส่งไปยังมอนิเตอร์ ข้อมูลในหน่วยความจำบนดิจิทัลเซอร์กิต สามารถนำไปเก็บบนฮาร์ดดิสของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางบัสข้อมูลหรือในทางกลับกัน เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของดิจิทัลเซอร์กิต และใช้ประมวลผลภาพตามออกอริซิมที่กำหนดไว้ สำหรับการออกแบบดิจิทัลเซอร์กิตสามารถอธิบายเป็นส่วนๆได้ดังนี้

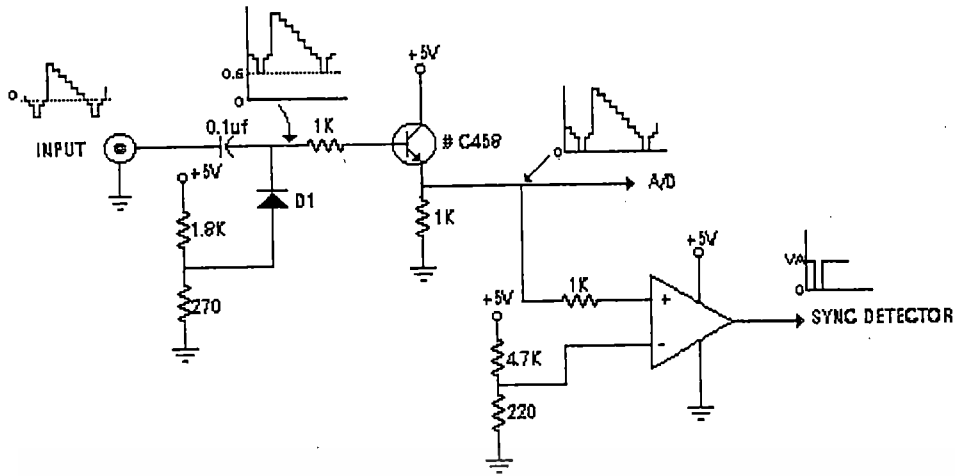
Sync Clamp & Video Buffer

ในส่วนนี้จะเป็นการแยกสัญญาณ Sync ออกจากสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องที่วิววงจรปิดและนำไปผ่านชุด Sync Detector เพื่อสร้าง Sync Pulse ไว้ใช้ในการควบคุมต่อไป ส่วนสัญญาณภาพจะส่งไปยัง A/D Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

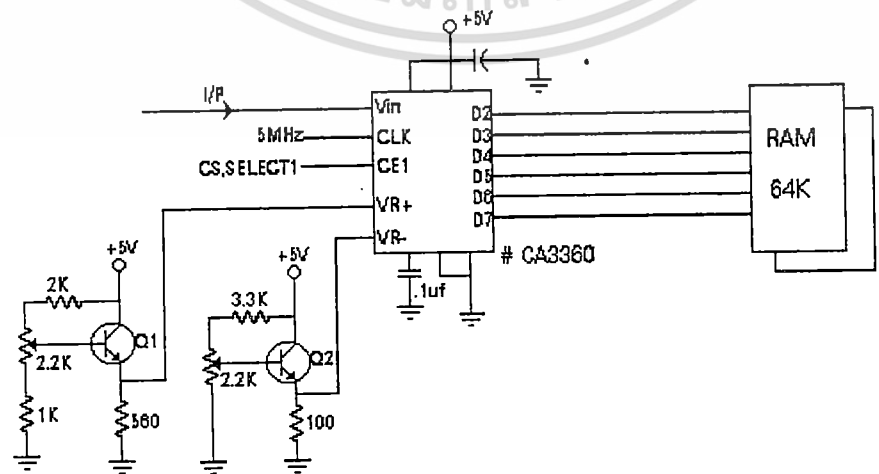


รูปที่ 4 วงจร Sync Clamp & Video Buffer

**วงจรแปลงสัญญาณภาพเป็นสัญญาณดิจิทัล**

วงจร A/D Converter จะใช้ Flash A/D เบอร์ CA3306 ซึ่งสามารถเปลี่ยนระดับสัญญาณภาพในช่วงที่กำหนดให้เป็นสัญญาณดิจิทัลได้ถึง 64 ระดับ ซึ่งมีความเร็วในการ Sampling ได้สูงสุด 15 MHz แต่ในที่นี้จะใช้ อัตราการ Sampling ที่ 5 MHz เท่านั้น ดังนั้น ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ต้องใช้เพื่อกำหนดความเร็วในการ Sampling จะเท่ากับ 5 MHz ด้วย เหตุผลที่เราเลือกความเร็วในการ Sampling ที่ 5 MHz เพราะ ว่าจำนวนจุดที่ต้องการเก็บข้อมูล คือ 256 จุด และช่วงเวลาที่เป็นสัญญาณภาพจริงในหนึ่ง เส้นสแกนคือ 52 µs ดังนั้น เมื่อหารจำนวนจุดที่ต้องการเก็บด้วยช่วงเวลาของการสแกน หนึ่งเส้นจะมีค่าประมาณ 5 MHz เนื่องวงจรที่เราออกแบบไว้จะได้ข้อมูลภาพเพียง 64 ระดับ แต่เราต้องการข้อมูลภาพ 256 ระดับ เราจึงมีโปรแกรมที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลภาพจาก 64 ระดับเป็น 256 ระดับ

ไอซีเบอร์ CA3306 จะมีขาควบคุมสองขาคือขา CE<sub>1</sub> และ CE<sub>2</sub> ซึ่งตามโครงสร้าง ขา CE<sub>1</sub> ต้องมีสถานะเป็น "0" และ CE<sub>2</sub> ต้องเป็น "1" จึงจะมีการแปลงสัญญาณภาพ เป็นสัญญาณดิจิทัล ดังนั้น เราจึงออกแบบให้ขา CE<sub>2</sub> ต่อเข้ากับไฟ +5 โวลต์ ส่วนขา CE<sub>1</sub> จะต่อเข้ากับสัญญาณ CS (Chip Select) และสัญญาณควบคุม Select1 โดยสัญญาณ CS นี้จะควบคุมไม่ให้ A/D มีเอาท์พุท ในขณะที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์กำลังติดต่อกับ RAM บนการ์ด ส่วนสัญญาณ Select1 จะใช้ควบคุม A/D ในขณะที่เก็บข้อมูลภาพลง RAM และขณะแสดงภาพหนึ่ง

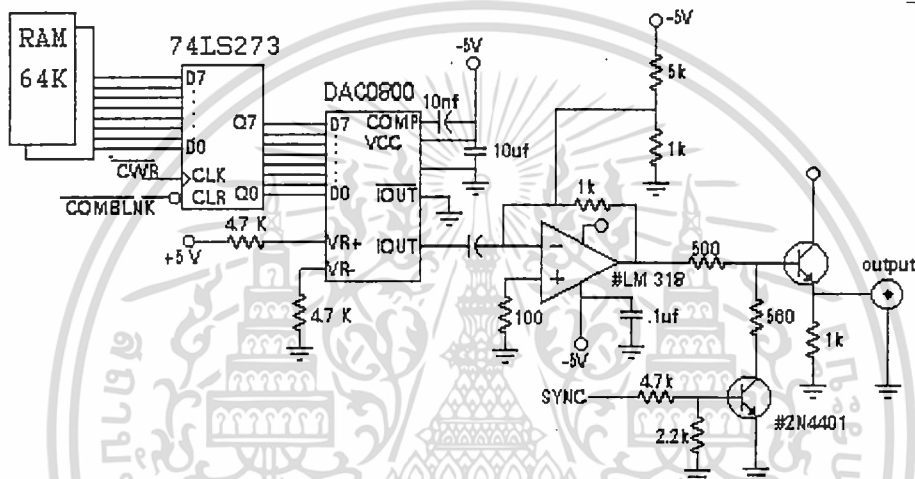


รูปที่ 5 วงจรแปลงสัญญาณภาพเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณโทรทัศน์

วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณภาพจะใช้ไอซีเบอร์ DAC0800 ร่วมกับ LM318 ดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่อต้องการแสดงผลข้อมูลภาพที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำ ข้อมูลจะถูกส่ง ออกมาผ่านไอซีเบอร์ 74LS273 ซึ่งทำหน้าที่ Buffer ข้อมูล จากนั้น ข้อมูลจะถูกส่งเข้า ขา D<sub>0</sub> ถึง D<sub>7</sub> ของ DAC0800 และแปลงข้อมูลจากสัญญาณดิจิทัลเป็น สัญญาณกระแสที่ขา 4 (I<sub>OUT</sub>) แต่เนื่องจากสัญญาณกระแสที่ออกมาเป็นค่าเป็นลบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกลับขั้วสัญญาณ ให้เป็นบวกและอยู่ในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยใช้ไอซีเบอร์ LM318 ทำหน้าที่เป็น Inverting Amp. ที่มีอัตราขยายเท่า กับหนึ่ง จากนั้นสัญญาณนี้จะถูกส่งไปยังวงจรรวมสัญญาณซิงค์ ซึ่งมีทั้งสัญญาณซิงค์ทางแนวตั้งและแนวนอน สัญญาณซิงค์เหล่านี้มาจากสองทางด้วยกัน คือ ในขณะที่ทำการดิจิติไลซ์จะใช้สัญญาณซิงค์ที่แยกได้จากสัญญาณโทรทัศน์ และในขณะที่แสดงภาพจากไฟล์ จะใช้สัญญาณที่กำเนิดขึ้นโดยวงจรนับ สัญญาณภาพเมื่อรวมกับสัญญาณซิงค์ แล้วจะได้เป็นสัญญาณโทรทัศน์ที่สามารถต่อเข้ากับมอนิเตอร์ได้

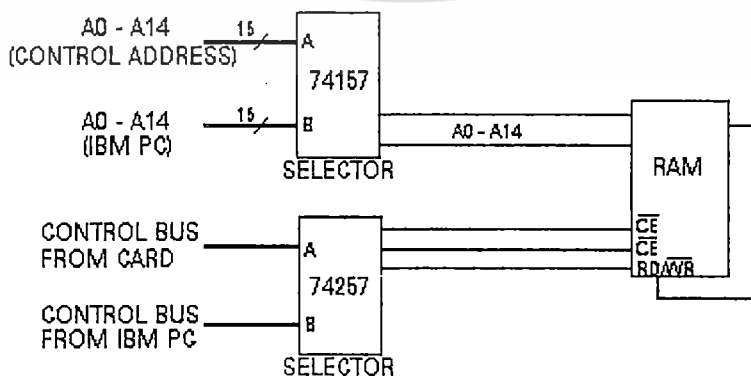


รูปที่ 6 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณโทรทัศน์

### การควบคุมหน่วยความจำ

เนื่องจากเราต้องการเก็บภาพขนาด 256x256 จุดภาพ x 8 บิต ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำ ขนาด 64Kbyte ซึ่งในที่นี้เราใช้ RAM เบอร์ 84256 ซึ่งเป็น 32K x 8 Static RAM จำนวน 2 ตัว

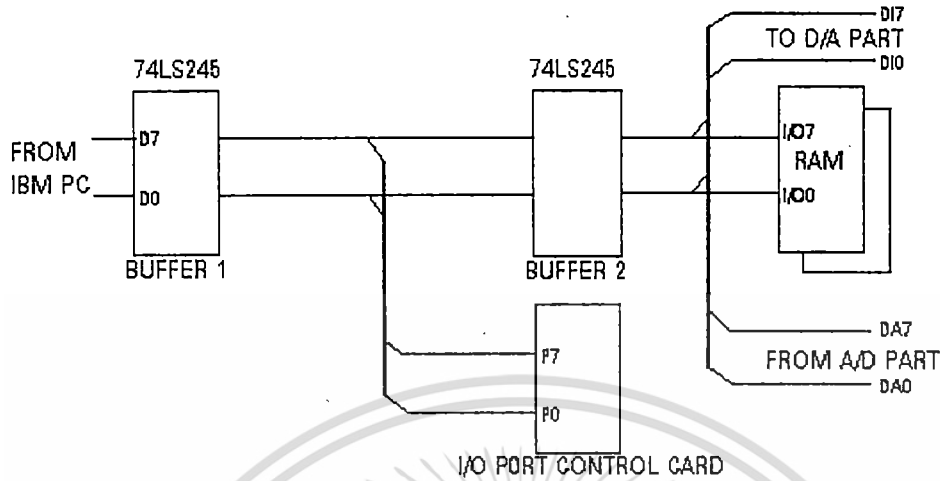
การอ้างตำแหน่ง Address ของหน่วยความจำทั้งสองตัวจะต้องใช้วิธี Multiplex ในการจัดที่เราสร้างขึ้นมานี้ จะใช้ไอซีเบอร์ 74LS157 และ 74LS257 เป็นตัวเลือกสัญญาณ Address Bus และสัญญาณควบคุมที่มาจากการ์ดเอง หรือเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเลือกสัญญาณควบคุมและสัญญาณ Address Bus ของหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเชื่อมต่อข้อมูล จากหน่วยความจำเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์นั้นจะต้องต่อโดยผ่าน Buffer ไอซีเบอร์ 74LS245 สองตัว เนื่องจากเราจำเป็นต้องสร้าง พอร์ทอินพุตและเอาต์พุตมาควบคุมการทำงานของวงจรด้วย ดังรูปที่ 8

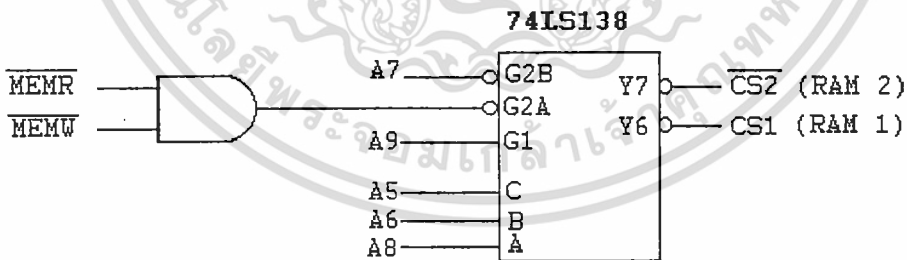


รูปที่ 8 การเชื่อมต่อข้อมูลกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

การติดตั้งตำแหน่งของหน่วยความจำ

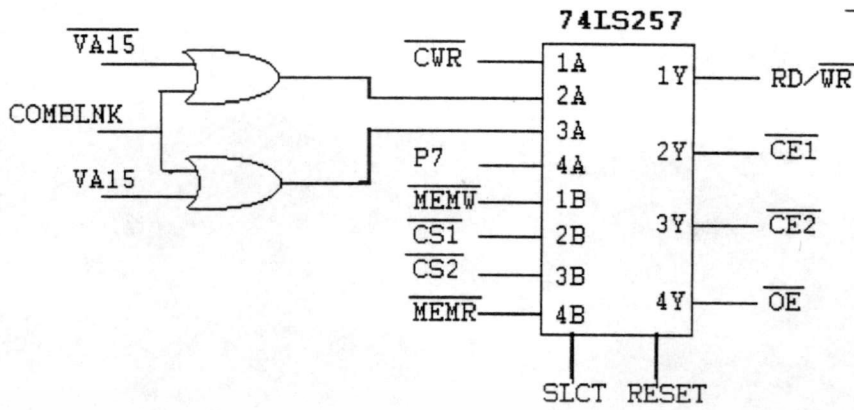
การติดตั้งตำแหน่ง Address ของหน่วยความจำของการ์ดนี้ใช้เพียงค่าเชกเมนต์ แต่การอ้างตำแหน่ง Address ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะใช้ทั้งเชกเมนต์และออฟเซต เนื่องจากหน่วยความจำที่ต้องติดตั้งมีขนาด 64 Kbyte ค่าเชกเมนต์ที่ใช้ คือ D000H ซึ่งเป็นเชกเมนต์ที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ไม่ได้ใช้งาน (ดูได้จากหนังสือคู่มือชื่อ IBMPC/XT Technical Reference) ดังนั้น กำหนดให้ RAM ตัวที่หนึ่งเป็นหน่วยความจำ 32 K byte แรก มีค่าออฟเซตแอดเดรสอยู่ในช่วง 0000H-7fffH และ RAM ตัวที่สองมีค่าออฟเซตแอดเดรสอยู่ในช่วง 8000H-ffffH

วงจรดีค็อดจะใช้ไอซีเบอร์ 74LS138 เป็นตัวดีค็อด เอาต์พุตที่ได้คือ Y6 และ Y7 จะนำไปเป็นสัญญาณ CS (Chip Select) ของ RAM แต่ละตัว

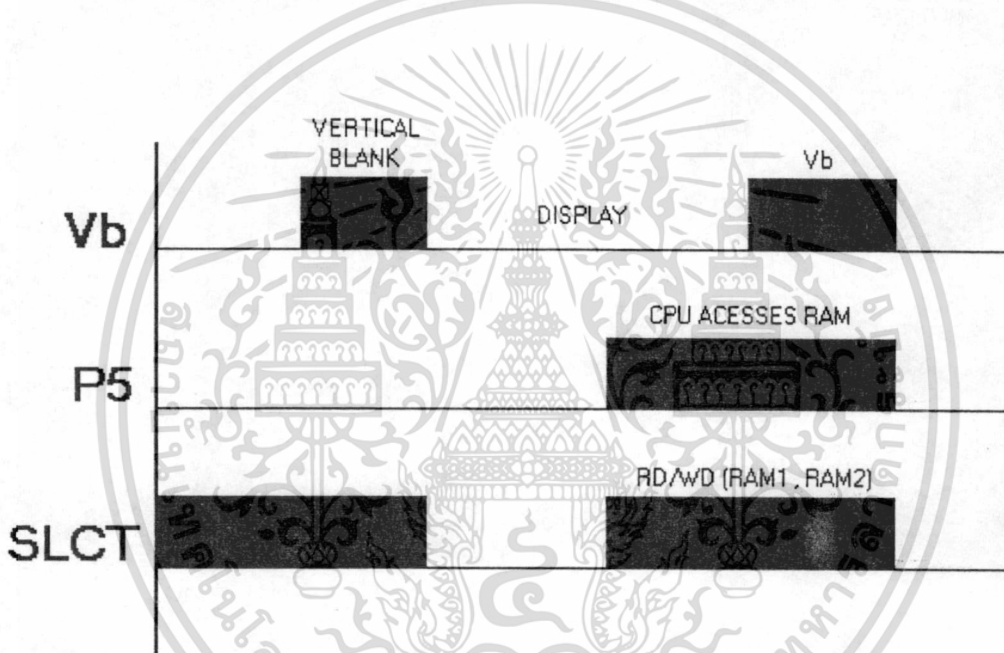


รูปที่ 9 วงจรสร้างสัญญาณ Chip Select ของ RAM แต่ละตัว

ดังนั้น เมื่อเราต้องการติดต่อกับ RAM ตัวใดตัวหนึ่งจะต้องให้แอดเดรสและต้องทำการ Enable ควบคุม RAM ทั้งสามขา คือ CE (Chip Enable) ซึ่งใช้สัญญาณที่ได้จากวงจรดีค็อด ขา OE (Output Enable) และขา RD/WR (Read or Write) สัญญาณ ที่ใช้ควบคุมหน่วยความจำจะถูก Multiplex โดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS257 ดังแสดงในรูปที่ 10 สำหรับสัญญาณ SLCT ถูกใช้เป็นสัญญาณเลือกอินพุตของ 74LS257 รูปที่ 11 แสดง Timing Diagram ของสัญญาณ Vertical Blank สัญญาณ Access RAM และสัญญาณ SLCT



รูปที่ 10 การ Multiplex สัญญาณที่ใช้ควบคุมหน่วยความจำ



รูปที่ 11 Timing Diagram ในการควบคุมหน่วยความจำ

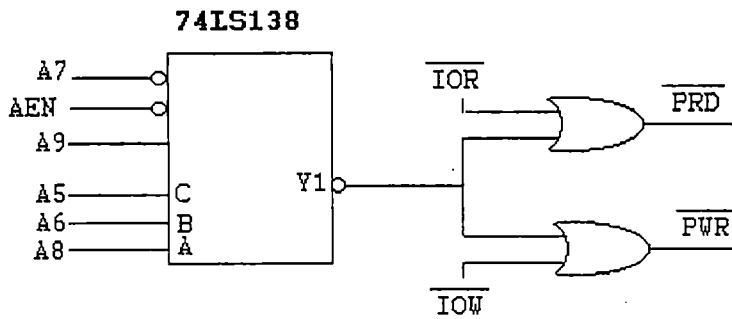
**การตีโค้ดตำแหน่งแอดเดรสของอินพุตและเอาต์พุตพอร์ต**

การอ้างตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ตต่าง ๆ บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะใช้แอดเดรสบัสเพียง 10 เส้น คือ A0 - A9 จะได้แอดเดรสของพอร์ตสูงสุด 1024 พอร์ต ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1. เมื่อ A9 มีสถานะเป็น "0" จะเป็นพอร์ตที่อยู่บนเมนบอร์ดเท่านั้น คือ พอร์ต 0-1ffH (512 พอร์ต)
2. เมื่อ A9 มีสถานะเป็น "1" จะเป็นพอร์ตที่อยู่บนการ์ดต่าง ๆ คือ พอร์ต 200H-3ffH (512 พอร์ต)

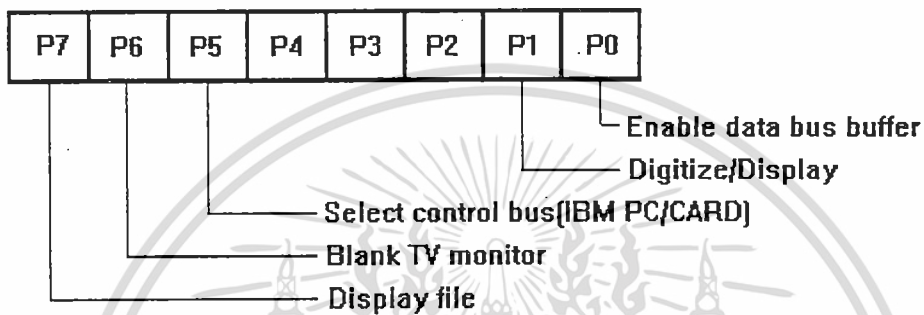
อย่างไรก็ตาม ดิจิตัลเซอร์กิตที่สร้างขึ้นมานี้จะใช้พอร์ต 300H - 31fH ซึ่งเป็นพอร์ตที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เตรียมไว้สำหรับการ์ดอื่น ๆ แท้จริงแล้ว เราต้องการใช้เพียงแอดเดรสเดียว แต่เพื่อความประหยัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการตีโค้ดแอดเดรสจึงใช้วิธีนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 วงจรดีโคเดอร์ 300H-3ffH

สำหรับ Byte ควบคุมพอร์ทแต่ละบิตมีความหมายดังนี้



บิต P<sub>0</sub> ควบคุมการติดต่อระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับหน่วยความจำ ถ้าเป็น "1" เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้

บิต P<sub>1</sub> ควบคุมการดิจิไทซ์หรือการแสดงผล ถ้าเป็น "1" คือทำการดิจิไทซ์และถ้าเป็น "0" คือการแสดงผลในหน่วยความจำ

บิต P<sub>2</sub> - P<sub>4</sub> ไม่ใช้

บิต P<sub>5</sub> ควบคุมบัสข้อมูลถ้าเป็น "1" ทำการต่อหน่วยความจำ (RAM) บนการ์ดเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยบิตนี้จะใช้ร่วมกับบิต P<sub>0</sub>

บิต P<sub>6</sub> ควบคุมจอภาพ ถ้าเป็น "1" จะเป็นการเคลียร์จอภาพหรือทำให้จอภาพมืด

บิต P<sub>7</sub> ควบคุมการแสดงผลถ้าเป็น "1" enable การอ่าน RAM ของ Counter

ส่วน Byte แสดงสถานะ จะใช้เพียง 2 บิตคือ

บิต P<sub>0</sub> แสดงสถานะการทำงานของวงจร ถ้าเป็น "1" กำลังทำการดิจิไทซ์

บิต P<sub>1</sub> แสดงสถานะของสัญญาณ Vertical blanking (VB)

ถ้าเป็น "1" ให้ VB เป็น High

ถ้าเป็น "0" ให้ VB เป็น Low

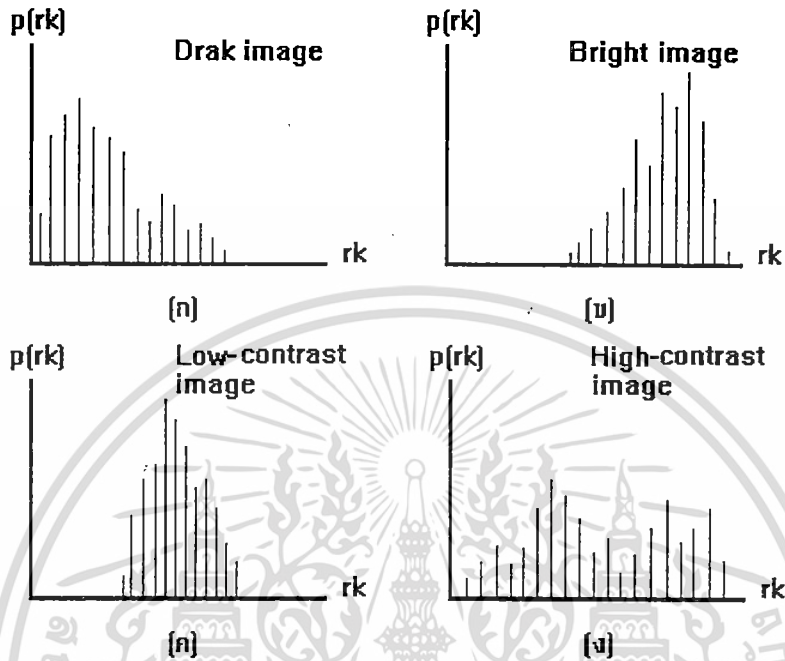
## 2.2 กระบวนการเบื้องต้น (Preprocessing)

ในขั้นตอนนี้ ข้อมูลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือดิจิตอล 256 ระดับสีเทา ขนาด 256x256 จุด ภาพ ที่ได้จากอุปกรณ์อินพุทจะนำมาหาฮิสโตแกรมเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพ จากนั้น เปลี่ยนข้อมูลภาพจาก 256 ระดับสีเทาเป็นข้อมูลภาพสองระดับ (binary) และทำการหาโครงสร้างของลายนิ้วมือ โดยกระบวนการทำให้บาง (thinning) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ 11 ใช้

## 2.2.1 กระบวนการฮิสโตแกรม

ฮิสโตแกรมของข้อมูลภาพดิจิทัลที่มีระดับสีเทาอยู่ในย่าน  $[0, L-1]$  คือฟังก์ชันฟังก์ชัน (discrete function)  $p(r_k) = n_k/n$  เมื่อ  $r_k$  คือสีเทาที่มีจำนวน  $k$  ระดับ  $n_k$  คือจำนวนจุดภาพในข้อมูลภาพที่มีระดับสีเทาเหมือนกัน  $n$  คือจำนวนของจุดภาพในข้อมูลภาพทั้งหมด และ  $k = 0, 1, 2, \dots, L-1$



รูปที่ 13 ฮิสโตแกรมที่สอดคล้องกับข้อมูลภาพพื้นฐานสี่ชนิด

อย่างไรก็ตาม เมื่อกำหนดให้  $p(r_k)$  ก็คือการหาความน่าจะเป็นของการเกิด ขึ้นของระดับสีเทา  $r_k$  และเมื่อนำฟังก์ชันนี้ไปพล็อตสำหรับทุกๆค่าของ  $k$  จะทำให้เราทราบลักษณะโดยรวมทั้งหมดของข้อมูลภาพ ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 2 แสดงถึงฮิสโตแกรมของข้อมูลภาพพื้นฐาน 4 ชนิด ฮิสโตแกรมที่แสดงในรูปที่ 13(ก) แสดงว่าระดับสีเทาได้รวมกันอยู่ในส่วนที่ดำของสเกลสีเทาซึ่งฮิสโตแกรมนี้จะสอดคล้องกับภาพค่อนข้างจะดำมืดเกือบทั้งหมด และในทางกลับกันสำหรับภาพที่สว่างมากจะมีฮิสโตแกรมดังแสดงในรูปที่ 13(ข) ฮิสโตแกรมที่แสดงในรูปที่ 13(ค) มีรูปร่างที่แคบซึ่งแสดงว่ามีย่านการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทาเพียงเล็กน้อย และอันนี้เองสอดคล้องกับภาพที่มีความแตกต่างของระดับสีเทาน้อย (low contrast) เมื่อระดับสีเทาทั้งหมดเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของสเกลสีเทา ภาพจะปรากฏเป็นสีเทาดำ (murky gray) อันสุดท้ายรูปที่ 13(ง) แสดงฮิสโตแกรมที่มีการกระจายของระดับสีเทาอย่างเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่มีความแตกต่างของระดับสีเทาสูง (high contrast)

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แม้ว่าจะเป็นการสังเกตลักษณะโดยรวมทั้งหมดของข้อมูลภาพ ซึ่งยังไม่ได้พิจารณาถึงรายละเอียดของภาพก็ตาม รูปร่างของฮิสโตแกรมของข้อมูลภาพก็ได้ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพ

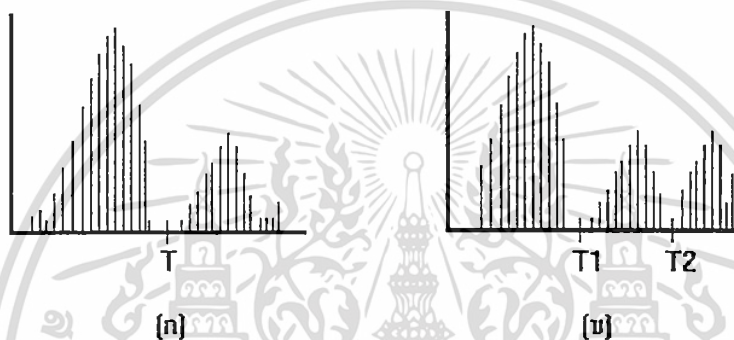
ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพ เมื่อเราพิจารณาฮิสโตแกรมของข้อมูลภาพแล้วปรากฏว่าข้อมูลภาพมีความแตกต่างของระดับสีเทาไม่เหมาะสม อาจทำการปรับปรุงแก้ไขข้อมูลภาพได้โดยใช้วิธีฮิสโตแกรมอิกวอลไลเซชัน (histogram equalization) หรือฮิสโตแกรมสเปคิฟิเคชัน (specification) ใน[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ข้อมูลภาพมีสัญญาณรบกวน จำเป็นต้องนำข้อมูลภาพไปผ่านกระบวนการกรอง (filter) เสียก่อนที่จะนำข้อมูลภาพนั้นมาเข้าสู่กระบวนการฮีสโตแกรม ซึ่งการกรองสัญญาณรบกวนบนข้อมูลภาพจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิดคือการกรองบนโดเมนความถี่ (frequency domain filtering) โดยใช้ฟูเรียรทรานส์ฟอร์ม (fourier transform) และ การกรองที่เรียกว่า spatial filtering โดยใช้หน้าต่างขนาดต่างๆ เช่น ตัวกรองมัธยฐาน (median filter) เป็นต้น

### 2.2.2 การแปลงข้อมูลภาพระดับสีเทาเป็นข้อมูลภาพสองระดับ

ข้อมูลภาพระดับสีเทากายหลังจากผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพแล้ว จะถูกแปลงเป็นข้อมูลภาพสองระดับ (binary image) ทั้งนี้ก็เพื่อลดขนาดของข้อมูลภาพลงและใช้ในขั้นตอนถัดไป อย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องให้ฮีสโตแกรมของข้อมูลภาพพร้อมกับการกำหนดค่า threshold



รูปที่ 14 ฮีสโตแกรมของข้อมูลภาพที่สามารถแบ่งออกเป็น (ก) มี threshold ระดับเดียว และ (ข) มี threshold หลายระดับ

สมมติว่าฮีสโตแกรมของข้อมูลภาพเป็นดังที่แสดงในรูปที่ 14(ก) สอดคล้องกับข้อมูลภาพ  $f(x,y)$  ที่ประกอบด้วยวัตถุที่สว่างบนฉากหลังที่ดำมืด ในกรณีเช่นนี้จุดภาพของวัตถุและฉากหลังจะมีกลุ่มของระดับสีเทาสองกลุ่ม วิธีหนึ่งที่จะแยกวัตถุออกจากฉากหลังก็คือการเลือกค่า threshold  $T$  ค่าหนึ่ง เพื่อแยกกลุ่มของจุดภาพทั้งสอง ด้วยเหตุนี้จุด  $(x,y)$  ใดๆ ที่ซึ่ง  $f(x,y) > T$  ถูกเรียกว่า "จุดวัตถุ" ในทางตรงกันข้าม จุดที่  $f(x,y) \leq T$  ถูกเรียกว่า "จุดฉากหลัง" รูปที่ 14(ข) แสดงฮีสโตแกรมที่มีกลุ่มของจุดภาพสามกลุ่ม แสดงว่ามีวัตถุ 2 ชนิด ที่มีความสว่างแตกต่างกันบนฉากหลังที่ดำมืด วิธีการแยกกลุ่มของจุดภาพ  $(x,y)$  จะใช้พื้นฐาน อันเดียวกันเมื่ออยู่ในกลุ่มของวัตถุอันหนึ่ง ถ้า  $T_1 < f(x,y) \leq T_2$  และอยู่ในกลุ่มวัตถุอีกอัน หนึ่งถ้า  $f(x,y) > T_2$  และเป็นฉากหลังถ้า  $f(x,y) \leq T_1$  threshold หลายระดับนี้โดยทั่วไปจะให้ความเชื่อถือน้อยกว่า threshold ระดับเดียว ทั้งนี้เพราะความยุ่งยากในการกำหนด threshold หลายระดับให้สามารถแยกขอบเขตได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากหลักการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การกำหนดค่า threshold อาจดูคล้ายกับ การทำงานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบเทียบกับฟังก์ชัน  $T$  ในรูปแบบ

$$T = T[x,y,p(x,y),f(x,y)] \quad (1)$$

เมื่อ  $f(x,y)$  คือระดับสีเทาของจุด  $(x,y)$  และ  $p(x,y)$  ใช้แทนคุณสมบัติเฉพาะที่จุดนั้นข้อมูลภาพที่ผ่านการกำหนดค่า threshold แล้ว  $g(x,y)$  ถูกกำหนดเหมือนกับ

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } f(x,y) > T \\ 0 & \text{ถ้า } f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (2)$$

ดังนั้นจุดภาพที่ตรงกับวัตถุจะถูกแทนด้วยหมายเลข 1 หรือระดับความเข้มอื่นๆที่ต้องการ ในทำนองเดียวกัน จุดแยกสีารนเป็นอีกสีารหลังสีารทวิบการเงานเพอการศอกษาเทานัน เมอญูญูเตหนาเบเชบระเยชนดานการค้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดภาพที่เป็นฉากหลังจะถูกแทนด้วยหมายเลข 0 ภาพที่มีลักษณะเป็น 0 กับ 1 หรือสองระดับเช่นนี้ เราเรียกว่า'ภาพสองระดับ' รูปที่ 15 แสดงข้อมูลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ถูกเปลี่ยนเป็นข้อมูลภาพสองระดับ โดยส่วนที่เป็นลายเส้นจะถูกกำหนดให้เป็น '1'หรือ สีดำและส่วนที่ไม่เป็นลายเส้นเป็น '0'หรือสีขาว



(ก)

(ข)

รูปที่ 15 (ก)ข้อมูลภาพระดับเทา (ข)ข้อมูลภาพสองระดับที่ผ่านการกำหนดค่า threshold แล้ว

### 2.2.3 การหาโครงสร้างของลายนิ้วมือ

การหาโครงสร้างของลายนิ้วมือ (skeleton) เพื่อให้เราทราบถึงรูปร่างและลักษณะ ของลายนิ้วมือที่แท้จริง โดยใช้ thinning algorithm ที่นำเสนอโดย Zhang และ Suen ใน [2] ซึ่งการหาโครงสร้างของลายนิ้วมือโดยวิธีนี้จะมีข้อดีเหนือกว่าการใช้เส้นขอบลายนิ้วมื่อด้านใดด้านหนึ่งที่น่าสนใจโดย B.Moayer และ K.S.Fu ใน[3] เพราะว่าการใช้เส้นขอบลายนิ้วมื่อด้านซ้ายหรือขวาจะให้โครงสร้างของลายนิ้วมือต่างกัน เนื่องจากอิทธิพลของหมึกพิมพ์ทำให้เส้นขอบลายนิ้วมือมีสภาพคล้ายกับมีสิ่งรบกวนอยู่เป็นจำนวนมาก

ขั้นตอนของกระบวนการทำให้บาง(thinning) มีดังต่อไปนี้

1. สแกนจากซ้ายไปขวา และจากบนลงล่าง
- 2.จุดภาพจุดใดที่มีค่า 1 จุดภาพนั้นจะเป็นจุดที่ต้องการตรวจสอบ โดยการนำ mask operator ขนาด 3x3 (ในรูปที่ 16 ไปวางทับบนข้อมูลภาพ โดยให้ตำแหน่ง p1 ตรงกับตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบ

P9	P2	P3
P8	P1	P4
P7	P6	P5

รูปที่ 16 mask operator ขนาด 3x3

3. ให้ flag จุดที่อยู่บนเส้นรอบรูป p1 ถ้าเงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริงทุกข้อ

1.  $2 \leq N(p1) \leq 6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.  $s(p1) = 1$
3.  $p2.p4.p6 = 0$
4.  $p4.p6.p8 = 0$

เมื่อ  $N(p1) = p2 + p3 + \dots + p8 + p9$ , เครื่องหมาย . แทนโลจิก AND

และ  $s(p1) =$  จำนวนจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก 0->1 โดยเรียงตามลำดับจาก  $p2, p3, p4, \dots, p9$

4.ปฏิบัติตามขั้นตอนในข้อ 2 และ 3 ตามลำดับ จนกระทั่งสแกนครบทั้งภาพ จากนั้นให้ทำการตรวจสอบหาจุดภาพที่ถูก flag ถ้าจุดภาพใดถูก flag ให้ทำการลบจุดภาพนั้นหรือทำการเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 แต่ถ้าไม่ ให้คงจุดภาพนั้นไว้

5. ปฏิบัติตามข้อ 1 และ 2

6. flag จุด  $p1$  ถัดเงื่อนไขดังต่อไปนี้เป็นจริงทุกข้อ

1.  $2 \leq N(p1) \leq 6$
2.  $s(p1) = 1$
3.  $p2.p4.p8 = 0$
4.  $p2.p6.p8 = 0$

7.สแกนตำแหน่งถัดไป แล้วปฏิบัติตามขั้นตอนในข้อ 5 และ 6 และทำการสแกนไปตลอดทั้งภาพ จากนั้นตรวจสอบว่าจุดภาพนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ โดยพิจารณาเช่นเดียวกับข้อที่ 4 แล้ววนทำข้อ 1 ใหม่ จนกระทั่งไม่มีการ flag เลยจึงจะจบกระบวนการ ตัวอย่างของข้อมูลภาพสองระดับที่ผ่านกระบวนการทำให้บางแล้ว แสดงได้ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ภาพโครงสร้างของลายนิ้วมือ

### 2.3 กระบวนการหลัง(Post processing)

ข้อมูลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ผ่านกระบวนการเบื้องต้นแล้ว จะได้ภาพโครงสร้างของลายนิ้วมือ อย่างไรก็ตาม ก่อนที่เราจะพิจารณาถึงสาเหตุของการทำกระบวนการหลังและเทคนิคการทำกระบวนการหลัง เราจะมาพิจารณาถึงรูปแบบของลายนิ้วมือ คุณลักษณะของลักษณะเด่น (minutiae characteristics) และการใช้ลักษณะเด่นในการพิสูจน์ลายนิ้วมือก่อน

#### 2.3.1 รูปแบบลายนิ้วมือ

ลายนิ้วมือเป็นลักษณะพิเศษเฉพาะตัวของแต่ละบุคคล มีลักษณะเป็นลายเส้นนูนจำนวนมาก ซึ่งไม่มีรูปแบบแน่นอน ไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัว และไม่ขึ้นอยู่กัพันธุกรรม หญิงหรือชาย เชื้อชาติและภาษา ด้วยเหตุนี้เองจึงมีการใช้ลายนิ้วมือในงานหลายๆประเภท อย่างไรก็ตาม Marce Eleccion ใน [4] ได้จำแนกรูปแบบของลายนิ้วมือออกเป็น 4 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Plain Arch



Tented Arch

ก) แบบเส้นโค้ง



Loop



Central Pocket Loop



Double Loop

ข) แบบลูป



ค) แบบก้นหอย



ง) แบบลายรวม

รูปที่ 18 รูปแบบลายนิ้วมือแบบต่างๆ

### 2.3.2 คุณสมบัติของลักษณะเด่น

ในการพิสูจน์และจดจำลายนิ้วมือที่นิยมใช้กันในปัจจุบันนี้ จะใช้วิธีการเปรียบเทียบชุดของลักษณะเด่นที่มืออยู่บนลายนิ้วมือ ซึ่งลักษณะเด่นใดๆที่มืออยู่บนลายนิ้วมือจะต้องมีคุณสมบัติสองประการดังนี้

1. มันเป็นกลุ่มเล็กๆที่มีจำนวนแน่นอน
2. มันกระจายอยู่ทั่วไปตลอดทั้งภาพและเป็นสิ่งพิเศษที่ไม่เหมือนใคร

ลักษณะเด่นบนลายนิ้วมือที่พบโดยทั่วไป จะเป็นสิ่งที่ขัดขวางทางเดินของลายปกติในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ เช่นลายจุด(dot) ลายสั้น(shortridge) จุดปลายของลาย(ridge ending) และจุดแยก(bifurcation) เป็นต้น ซึ่งลายปกติจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ลายมีความต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในอินเทอร์เน็ตโดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ตำหนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

## สัญลักษณ์และนิยาม

ข้อมูลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้ภาพโครงสร้างของลายนิ้วมือ ตำแหน่งโคออดิเนต  $(x,y)$  ของภาพจะเริ่มสแกนจากมุมบนด้านซ้ายมือ  $(0,0)$  ไปจนถึงด้านล่างขวามือ  $(255,255)$  ในทิศทางตามแกน x การหา รูปแบบของลักษณะเด่นจะพิจารณาจุดรอบข้าง 8 จุดของจุดตรวจสอบ  $(p1)$  ดังแสดงในรูปที่ 16 และสามารถนิยามจุดปลายจุดแยกทิศทางของลายและอื่นๆ ได้ ดังต่อไปนี้

### นิยามของจุดปลาย (end point)

จุด  $p1$  จะถือว่าเป็นจุดปลายก็ต่อเมื่อ  $s(p1) = 1$

### นิยามของจุดแยก (bifurcation)

จุด  $p1$  จะถือว่าเป็นจุดแยกก็ต่อเมื่อ  $s(p1) = 3$

ทิศทางของลาย (ridge direction) หรือ  $D$  แต่ละลายสามารถหาได้โดยนำจุดสองจุดที่อยู่บนลายเดียวกัน มาคำนวณหา ตามสมการ (3)

$$D = \tan^{-1} [(y_1 - y_2) / (x_1 - x_2)] \quad (3)$$

ทิศทางของลักษณะเด่น (minutiadirection) หรือ  $D_m$  มีอยู่สองลักษณะคือที่จุดปลาย ซึ่งจะหาเช่นเดียวกับการหาทิศทางของลายโดยใช้จุดปลายเป็นจุดเริ่มต้น ในกรณีของจุดแยกจะต้องหาทิศทางตามสาขาที่ออกจากจุดแยก โดยใช้จุดแยกเป็นจุดเริ่มต้นทุกสาขา

ทำการเปรียบเทียบทิศทางของลักษณะเด่นสองลักษณะเพื่อหาค่าความแตกต่างของมุม  $\lambda$  ในที่นี้ใช้สมการที่ (4) ถ้าค่าความแตกต่างที่ได้มีค่ามากกว่า  $\pi/2$  ( $\lambda > \pi/2$ ) เราถือว่าลักษณะเด่นทั้งสองหันหน้าเข้าหากัน (minutia facing pair) หรือ  $D_{m1} \Leftrightarrow D_{m2}$  แต่ถ้า  $\lambda \leq \pi/2$  เราถือว่าลักษณะเด่นทั้งสองไม่หันหน้าเข้าหากัน  $D_{m1} \nrightarrow D_{m2}$  โดยกำหนดให้สัญลักษณ์  $\Leftrightarrow$  แทนการหันหน้าเข้าหากันและสัญลักษณ์  $\nrightarrow$  แทนการไม่หันหน้าเข้าหากันของลายสองลาย

$$\lambda = \text{Min}(|D_{m1} - D_{m2}|, 2\pi - |D_{m1} - D_{m2}|) \quad (4)$$

ความสัมพันธ์ในการเชื่อมต่อลาย (connected relation) หรือ  $C_{mm}$  หมายถึงความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อลายสองลายเข้าด้วยกัน โดยพิจารณาจากลักษณะเด่นสองลักษณะ เช่น จุดปลายกับจุดแยก ( $C_{ob}$ ) หรือจุดแยกกับจุดแยก ( $C_{bb}$ ) เมื่อ  $e$  หมายถึงจุดปลาย และ  $b$  หมายถึงจุดแยก

ความยาวของลาย (ridge length) หรือ  $L$  คือ ระยะทางระหว่างจุดต้นและจุดปลายของลายเดียวกัน มีหน่วยเป็นจุดภาพ สามารถหาได้โดยการสแกนตามแนวลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การแก้ไขลักษณะเด่นที่ผิดปกติ

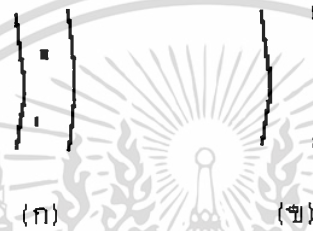
ในการวิเคราะห์และแก้ไขลักษณะเด่นที่ผิดปกติในข้อมูลภาพลายนิ้วมือ เราจะค้นหาลักษณะเด่นต่าง ๆ เช่น จุดปลายและจุดแยก ตลอดทั้งภาพและทำเครื่องหมายไว้ที่จุดนั้นๆ จากนั้นจึงวิเคราะห์และแก้ไขลักษณะเด่นที่ผิดปกติที่ละรูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

### 1. ลายจุด (dot ridge)

ลายลักษณะนี้จะไม่มีการขรุขระหรือจุดรอบข้างมีค่าเป็น '0' ซึ่งสามารถใช้วิธีเดียวกันกับการวิเคราะห์ลักษณะเด่น โดยมีเงื่อนไขดังนี้

$$1. s(p1) = 0$$

ถ้าลายใดเป็นไปตามเงื่อนไขข้างบน ลายนั้นจะถูกกำจัดออกไป ซึ่งสามารถกำจัดออกไปได้ในขั้นตอนการหาลักษณะเด่น



รูปที่ 20 ลักษณะลายจุด (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข

### 2. ลายสั้น (short ridge)

โครงสร้างของลายสั้นจะมีจุดปลายสองจุดต่อถึงกัน และมีความยาวของลายน้อยกว่าระยะห่างระหว่างลาย ในที่นี้กำหนดให้เป็นค่าคงที่  $\gamma$  ในการวิเคราะห์และตรวจสอบจะค้นหาจุดปลาย(ที่ทำเครื่องหมายไว้)และสแกนตามลาย ถ้ามีเงื่อนไขถูกต้องลายนั้นจะถูกกำจัดหรือลบออกไป

$$1. C_{ee}$$

$$2. L_{ee} < \gamma \text{ เมื่อ } \gamma = \text{ระยะห่างระหว่างลาย}$$



รูปที่ 21 ลักษณะลายสั้น (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข

### 3. ลายขาด (broken ridge)

การตรวจสอบลายขาดจะทำการค้นหาจุดปลายที่ทำเครื่องหมายไว้และสร้างหน้าต่างเล็กๆ (ขนาดของหน้าต่างจะต้องใหญ่พอที่จะครอบคลุมจุดขาด แต่ถ้าใหญ่เกินไปก็จะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณ) ครอบคลุมบริเวณนั้น โดยจุดปลายที่อยู่ภายในหน้าต่างทั้งหมดจะถูกวิเคราะห์หาทิศทางและตรวจสอบเงื่อนไข ถ้าจุดปลายคู่ใดตรงตามเงื่อนไขจะถูกต่อถึงกัน ในกรณีมีจุดปลายมากกว่าหนึ่งจุดตรงตามเงื่อนไขทั้งสามข้อ ให้พิจารณาเชื่อมต่อจุดที่มีค่า  $|(D_{e1}-D_{c1}) - (D_d-D_{e1})|$  น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

$e_1$  = จุดตรวจสอบ

$D_c$  = ทิศทางในการต่อจากจุด  $e_1$  ไปหาจุด  $e_i$  ใดๆ ( $e_i$ =จุดปลายที่อยู่รอบข้างใดๆ)

$D_d$  = ทิศทางในการต่อจากจุด  $e_i$  ใดๆ ไปหาจุด  $e_1$

เงื่อนไข

1.  $D_{e_1} \Leftrightarrow D_{e_i}$  เมื่อ  $e_i$  = จุดปลายรอบข้าง

2.  $D_{e_1} \Leftrightarrow D_c$

3.  $||D_{e_1}-D_c| - |D_d-D_{e_i}|| < \pi/4$



(ก)

(ข)

รูปที่ 22 ลักษณะลายขาด (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข

#### 4. ลายรูป (loop ridge)

ลายรูปมีลักษณะเป็นจุดแยกสองจุดถูกตอถึงกันด้วยลายสองลาย โดยมีความยาวของลายทั้งสองน้อยกว่า วิธีการหาโครงสร้างลักษณะนี้จะค้นหาจุดแยกที่ทำเครื่องหมายไว้และทำการสแกนตามสาขาต่างๆ ที่ออกจากจุดแยกเป็นระยะทาง  $\lambda$  จุด แล้วตรวจสอบเงื่อนไข ซึ่งถ้าตรงตามเงื่อนไขจะกำจัดหรือลบลายเชื่อมจุดแยกทั้งสองออกและต่อลายเชื่อมจุดแยกใหม่

1.  $C_{bb}$

2. จุดแยก  $b_1$  มีลายเชื่อมกับจุดแยก  $b_2$  สองลาย

3.  $L_{bb} < \gamma$



(ก)

(ข)

รูปที่ 23 ลักษณะลายรูป (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข

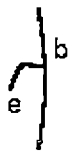
#### 5. ลายเบอ (bur ridge)

ลายเบอมีลักษณะเป็นลายสั้นๆ ( $L_{be} < \gamma$ ) ยื่นออกมาจากลายปกติ วิธีการหาโครงสร้างลายลักษณะนี้จะค้นหาจุดแยกที่ทำเครื่องหมายไว้และสแกนตามสาขาต่างๆ ที่ออกจากจุดแยกและตรวจสอบเงื่อนไข ถ้าตรงตามเงื่อนไขจะกำจัดลายที่เบอออก

1.  $C_{be}$

2.  $L_{be} < \gamma$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

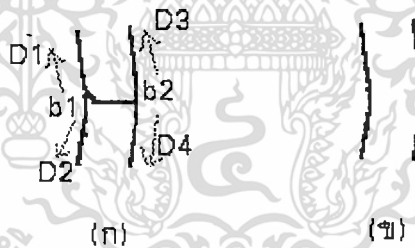
2.

รูปที่ 24 ลักษณะลายเบอ (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข

### 6. ลายสะพาน (bridge ridge)

ลายสะพานมีลักษณะเป็นลายสองลายที่อยู่ใกล้กันขนานกันและถูกต้องถึงกัน ซึ่งในการวิเคราะห์จะพิจารณาที่จุดแยกเหมือนกับการวิเคราะห์ลายรูป และถ้าตรงตามเงื่อนไขจะกำจัดลายเชื่อมจุดแยกออก

1.  $C_{bb}$
2.  $L_{bb} < Y$
3.  $(D_1 \Leftarrow D_2) \&\& (D_3 \Leftarrow D_4)$  เมื่อ  $\&\&$  = โลจิก AND
4.  $(D_1 \nrightarrow D_3) \parallel (D_2 \nrightarrow D_4)$  เมื่อ  $\parallel$  = โลจิก OR
5.  $(D_2 \nrightarrow D_3) \parallel (D_2 \nrightarrow D_4)$



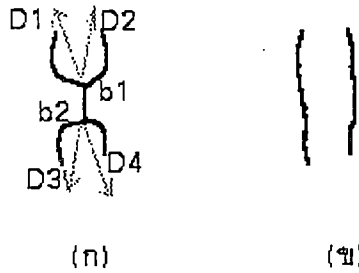
รูปที่ 25 ลักษณะลายสะพาน (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข

### 7. ลายส้อม (fork ridge)

แบบที่ 1 ลายมีลักษณะเป็นลายสองมาติดกัน ซึ่งลายลักษณะนี้จะมีโครงสร้างและการวิเคราะห์เช่นเดียวกับลายสะพาน ต่างกันที่ทิศทางที่ออกจากจุดแยก ในการแก้ไขลายลักษณะนี้ จะกำจัดลายที่เป็นสาขาของจุดแยกทั้งสองจุดออกทั้งหมด และทำการต่อเชื่อมลายใหม่

1.  $C_{bb}$
2.  $L_{bb} < Y$
3.  $(D_1 \nrightarrow D_2) \&\& (D_3 \nrightarrow D_4)$
4.  $(D_1 \Leftarrow D_3) \parallel (D_2 \Leftarrow D_4)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

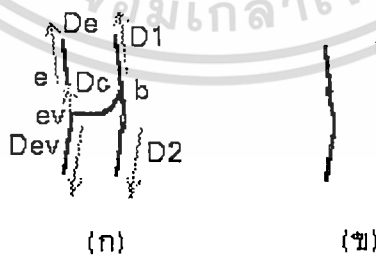


รูปที่ 26 ลักษณะลายส้อม แบบที่ 1 (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข

แบบที่ 2 ลายมีลักษณะเป็นลายขาดและมาต่อกับลายข้างเคียง ในการวิเคราะห์จะค้นหาจุดแยกที่ทำให้เครื่องหมายไว้และสร้างหน้าต่างเล็กๆ (ขนาดของหน้าต่างจะต้องใหญ่พอที่จะครอบคลุมจุดขาด แต่ถ้าใหญ่เกินไปก็จะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณ) วางทาบบริเวณนั้น จากนั้นจะสแกนหาจุดปลายภายในหน้าต่าง ถ้าพบก็จะหาลายหลักของจุดแยกโดยนำทิศทางที่ออกจากจุดแยก ทั้งสามมาเปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างของมุมที่ละคู่ (ใช้สมการที่ 4) ทิศทางคู่ใดมีค่าความแตกต่างของมุมเข้าใกล้  $\pi$  มากที่สุดให้ถือเป็นลายหลัก หลังจากนั้นจะกำหนดจุดบนลายที่มีไข่ลายหลักและมีความยาวจากจุดแยก  $\gamma$  จุด ให้เป็นจุดปลายเสมือน และตรวจสอบเงื่อนไขเช่นเดียวกับการต่อลายขาด ซึ่งถ้าตรงตามเงื่อนไข จะทำการกำจัดลายจากจุดแยกถึงจุดปลายเสมือนออก และต่อลายจากจุดปลายเสมือนออกไปยังจุดปลายที่ตรวจสอบ

เงื่อนไขการตรวจสอบมีดังนี้

1.  $D_{ev} \Leftrightarrow D_e$  เมื่อ  $D_{ev}$  = ทิศทางของจุดปลายเสมือน
2.  $D_{ev} \Leftrightarrow D_c$
3.  $||D_{ev} - D_c| - |D_d - D_e|| < \pi/4$



รูปที่ 27 ลักษณะลายส้อมแบบที่ 2 (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข

### 8. ลายสามเหลี่ยม (triangle ridge)

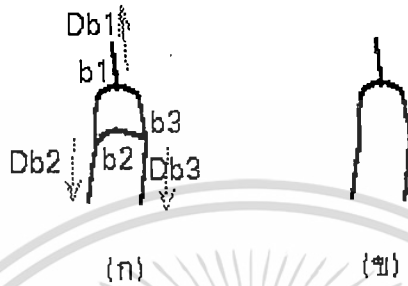
ลายมีลักษณะเป็นจุดแยกสามจุดต่อกัน เมื่อการตรวจสอบตรงตามเงื่อนไขจะต้องวิเคราะห์หาลายที่ออกจากจุดแยกทั้งสาม และมีทิศทางไม่หันหน้าเข้าหากัน เพื่อกำจัดลายที่เชื่อมจุดแยกทั้งสองจุดนี้ออก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขการวิเคราะห์และตรวจสอบมีดังต่อไปนี้

1.  $C_{bb}$
2. มีจุดแยกต่อกันสามจุด
3.  $L_{bb} < \gamma$

เงื่อนไขการกำจัดคือ

1.  $D_{b2} \neq D_{b3}$



รูปที่ 28 ลักษณะลายสามเหลี่ยม (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข

### 9. ลายชั้นบันได (ladder ridge)

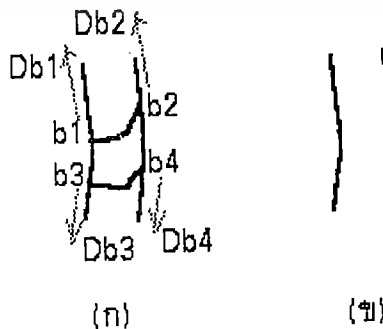
ลายชั้นบันไดมีลักษณะโครงสร้างเป็นลายสะพานสองลายอยู่ใกล้กัน การวิเคราะห์จะเหมือนกับลายสามเหลี่ยมแต่มีจุดแยกต่อกันสี่จุด ในการแก้ไขจะต้องวิเคราะห์หาทิศทางของลายที่ออกจากจุดแยกและไม่หันหน้าเข้าหากันสองคู่ เพื่อกำจัดลายเชื่อมจุดแยกทั้งสองคู่นั้นออกไป

เงื่อนไขการวิเคราะห์และตรวจสอบมีดังนี้

1.  $C_{bb}$
2. มีจุดแยกต่อกันสี่จุด
3.  $L_{bb} < \gamma$

เงื่อนไขการกำจัด

1.  $D_{b1} \neq D_{b2}$
2.  $D_{b3} \neq D_{b4}$



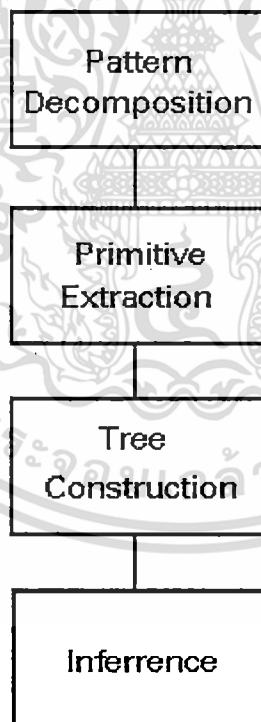
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 29 ลักษณะลายชั้นบันได (ก) ก่อนการแก้ไข (ข) หลังการแก้ไข  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การอธิบายรูปแบบลายนิ้วมือด้วยไวยากรณ์ตรี(Tree Grammar Description)

จากลักษณะของข้อมูลภาพลายนิ้วมือ พบว่าข้อมูลมีลักษณะที่ซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ ดังนั้นการเก็บข้อมูลภาพเป็นฐานข้อมูลโดยตรง จะทำให้ฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และต้องการเนื้อที่หน่วยความจำมาก นอกจากนี้กระบวนการเปรียบเทียบ (matching) ถ้ากระทำกับข้อมูลโดยตรงแบบจุดต่อจุด เปรอร์เซ็นต์ของการเปรียบเทียบที่ได้จะมีค่าต่ำไม่ตรงกับความเป็นจริง ทั้งนี้เป็นผลมาจากสัญญาณรบกวน ซึ่งเกิดจากสภาพแวดล้อมในขั้นตอนของการเก็บภาพ เช่น ค่าความเข้มแสงไม่เพียงพอ เป็นต้น

แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาเหล่านี้ คือ การอธิบายรูปแบบลายนิ้วมือโดยใช้ไวยากรณ์ตรี งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการอธิบายรูปแบบลายนิ้วมือด้วยไวยากรณ์ตรี ซึ่งกระบวนการทั้งหมดสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 30 ซึ่งสามารถอธิบายโดยย่อได้ดังต่อไปนี้

ในขั้นตอนแรกข้อมูลภาพโครงสร้างลายนิ้วมือที่ผ่านการแก้ไขในกระบวนการหลัง จะถูกแบ่งออกเป็นหน้าต่างเล็กๆ 16 ช่อง ขนาดช่องละ 64x64 จุดภาพ ภาพโครงสร้างลายนิ้วมือแต่ละช่องจะถูกนำไปประมวลผลในขั้นตอนถัดไป ในลักษณะที่เป็นอิสระจนครบทั้ง 16 ช่อง ทั้งนี้ก็เพื่อลดความซับซ้อนของข้อมูลภาพ ในขั้นตอนถัดไปจะเป็นการดึง primitive ของโครงสร้างของลักษณะเด่น แล้วทำการแทนภาพโครงสร้างลายนิ้วมือด้วย primitive เหล่านั้น ขั้นตอนที่สามจะทำการสร้างโครงสร้างตรี แล้วทำการแปลงให้อยู่ในรูปของไวยากรณ์ในขั้นตอนที่สี่



รูปที่ 30 การอธิบายรูปแบบลายนิ้วมือด้วย tree grammar

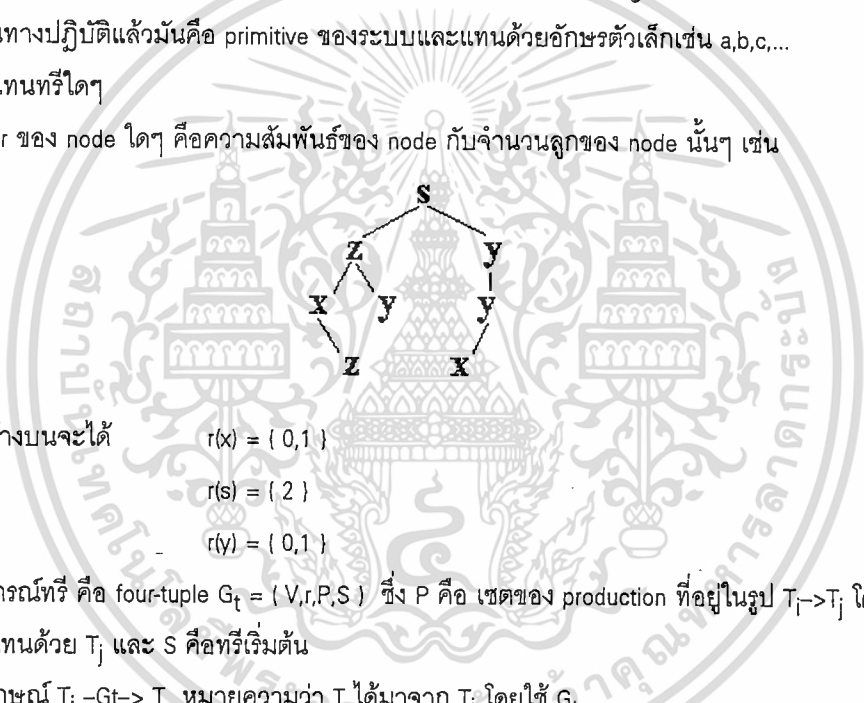
### 2.4.1 ไวยากรณ์ตรี

การที่มนุษย์สามารถแยกแยะวัตถุต่างๆ ออกจากกันได้ ก็เพราะว่าวัตถุต่างๆ มีรูปแบบ (pattern) เฉพาะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าของมัน โดยรูปแบบต่างๆ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ รูปแบบเชิงปริมาณและรูปแบบเชิงโครงสร้างไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของรูปแบบเชิงปริมาณคือ สีและความเข้มของแสงเป็นต้น ส่วนในกรณีของรูปแบบเชิงโครงสร้างได้แก่ สันฐานของวัตถุเป็นต้น ในการอธิบายเชิงโครงสร้าง โครงสร้างหลักของภาพจะถูกแบ่งออกเป็นโครงสร้างย่อยๆ ซึ่งเมื่อนำโครงสร้างย่อยๆ เหล่านี้ มาประกอบกันด้วยความสัมพันธ์บางอย่างก็จะได้โครงสร้างหลักกลับคืน โครงสร้างย่อยๆ เหล่านี้ถูกเรียกว่า "primitive" ไวยากรณ์ตรีเป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์แบบดิสครีต (Discrete Mathematics) ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการอธิบายรูปแบบเชิงโครงสร้าง โดยแต่ละโนด(node)ของทรีจะแสดงถึง primitive ของโครงสร้างนั้นๆ และความสัมพันธ์ของทรีจะแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละ primitive ซึ่งจะขอสรุปโดยย่อดังนี้

**นิยาม**

1. Alphabet  $V$  คือ เซตจำกัดของสัญลักษณ์ซึ่งถูกใช้ในระบบทั้งหมด ซึ่ง  $V = N \cup \Sigma$  โดย  $N$  คือเซตจำกัดของ nonterminal หรือ variable และจะแทนด้วยอักษรตัวใหญ่เช่น  $A, B, \dots, S, \dots$  สัญลักษณ์เหล่านี้สามารถถูกแทนด้วยสัญลักษณ์อื่นๆ ทั้งหมดในระบบ  $\Sigma$  คือ เซตจำกัดของ terminal หรือ constant สัญลักษณ์ชนิดนี้ไม่สามารถแทนด้วยสัญลักษณ์ใดๆ ในทางปฏิบัติแล้วมันคือ primitive ของระบบและแทนด้วยอักษรตัวเล็กเช่น  $a, b, c, \dots$
2.  $T$  ใช้แทนทรีใดๆ
3. Rank  $r$  ของ node ใดๆ คือความสัมพันธ์ของ node กับจำนวนลูกของ node นั้นๆ เช่น



จากโครงสร้างทรีข้างบนจะได้

$$r(x) = \{0, 1\}$$

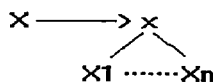
$$r(s) = \{2\}$$

$$r(y) = \{0, 1\}$$

4. ไวยากรณ์ตรี คือ four-tuple  $G_t = (V, r, P, S)$  ซึ่ง  $P$  คือ เซตของ production ที่อยู่ในรูป  $T_i \rightarrow T_j$  โดยมีความหมายว่า  $T_i$  จะถูกแทนด้วย  $T_j$  และ  $S$  คือทรีเริ่มต้น
5. สัญลักษณ์  $T_i \rightarrow T_j$  หมายความว่า  $T_j$  ได้มาจาก  $T_i$  โดยใช้  $G_t$
6. ภาษาที่ถูกสร้างขึ้นโดย  $G_t$  คือ  $L(G_t) = \{ T \text{ โดย } T \text{ อยู่ใน } \Sigma, T_i \rightarrow T_j \text{ สำหรับ } T_i \text{ บางต้นใน } S \}$
7. ประโยคทรี  $T$  คือ สมาชิกต่างๆ ใน  $L(G_t)$  ซึ่งประโยคเหล่านี้ก็คือ โครงสร้างต่างๆ ที่ถูกอธิบายด้วย  $G_t$

**ไวยากรณ์ตรีแบบขยาย (EXPANSIVE TREE GRAMMAR)**

จะถูกเรียกว่าเป็นไวยากรณ์ตรีแบบขยาย ก็ต่อเมื่อ production ของมันอยู่ในรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง  $X, X_1, X_2, \dots, X_n$  เป็นสมาชิกของ  $N$

$x$  เป็นสมาชิกของ  $\Sigma$

$n$  เป็นสมาชิกของ  $r(x)$

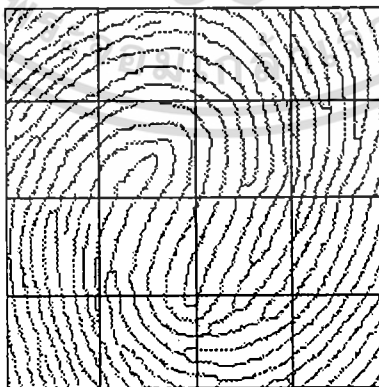
ในงานวิจัยนี้ ไวยากรณ์ทรีที่เราใช้จะอยู่ในรูปของไวยากรณ์ทรีแบบขยายเสมอและในส่วนต่างๆของบทความนี้ไวยากรณ์ทรีแบบขยาย จะถูกเขียนแทนสั้นๆ ด้วยไวยากรณ์

#### 2.4.2 Pattern Decomposition

โดยทั่วไปแล้วลายนิ้วมือจะมีรูปแบบค่อนข้างซับซ้อน และในแต่ละลายนิ้วมือจะมี primitive ปรากฏอยู่ประมาณ 100 รูปแบบ ด้วยเหตุนี้การอธิบายภาพลายนิ้วมือตลอดทั้งภาพโดยใช้ไวยากรณ์จึงทำได้ยากลำบากและมีความซับซ้อน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ เราจึงทำการลดความซับซ้อนของรูปแบบลงก่อน ซึ่งวิธีที่ใช้ลดความซับซ้อนของระบบโดยทั่วไป ทำได้โดยแยกรูปแบบเป็นโครงสร้างย่อยๆตามองค์ประกอบของรูปแบบที่มักปรากฏซ้ำกันและมีความเด่นชัดสูง แต่เนื่องจากในธรรมชาติของลายนิ้วมือ ลักษณะที่กล่าวข้างต้นไม่มี ดังนั้นเราจึงใช้วิธีแบ่งลายนิ้วมือเป็นตารางหน้าตาต่างๆแทน โดยขนาดของหน้าตาที่ใช้จะต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์ 2 ประการ คือ

1. ขนาดของหน้าตาจะต้องไม่เล็กเกินไปจนทำให้มี primitive ไม่เพียงพอ
2. ขนาดของหน้าตาจะต้องไม่ใหญ่และมี primitive มากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดความซับซ้อนและยากในการบรรยายโดยใช้ไวยากรณ์

ด้วยเหตุนี้เราจึงทำการแบ่งข้อมูลภาพลายนิ้วมือออกเป็นตารางหน้าตาขนาด  $4 \times 4$  โดยแต่ละช่องจะมีขนาด  $64 \times 64$  จุดภาพ ซึ่งการดำเนินการอธิบายโครงสร้างจะกระทำในแต่ละหน้าตาแยกอิสระกันจนครบทั้ง 16 ช่อง ในรูปที่ 31 แสดงข้อมูลภาพลายนิ้วมือซึ่งถูกแบ่งเป็น 16 ช่อง

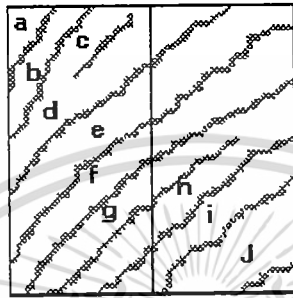


รูปที่ 31 แสดงข้อมูลภาพลายนิ้วมือซึ่งถูกแบ่งเป็น 16 ตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 Primitive Extraction

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า การจดจำลายนิ้วมือจะใช้วิธีการพิจารณาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ ซึ่งในที่นี้คือจุดแยกและจุดปลาย ดังนั้นเราจึงกำหนด primitive ในรูปของชุดลักษณะเด่น โดยการกำหนดจะต้องคำนึงถึงหลักเกณฑ์ 3 ประการ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ดี ขอให้พิจารณารูปที่ 32 ซึ่งแสดงลายนิ้วมือบนหน้าต่างช่องทางหนึ่ง จากรูปจะเห็นว่าหน้าต่างถูกแบ่งครึ่งเป็น 2 ด้านด้วยเส้นสมมติเส้นหนึ่ง ลายนิ้วมือที่ปรากฏในหน้าต่างนี้มีทั้งหมด 10 ลาย คือ ลาย a-j และในจำนวนนี้มีลายซึ่งมีลักษณะเด่นอยู่ 2 ลาย คือ c,h



รูปที่ 32 แสดงลายนิ้วมือบนหน้าต่างช่องทางหนึ่ง

#### แนวความคิดในการออกแบบ Primitive

1. ต้องสามารถแสดงการเชื่อมโยงของลักษณะเด่นแต่ละชนิดที่เป็นไปได้ ตัวอย่างเช่น ที่ลาย c ต้องสามารถแสดงได้ว่ามีการเชื่อมโยงของจุดปลาย 2 จุด และที่ลาย h มีจุดปลายจุดเดียวเท่านั้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าการเชื่อมโยงของจุดปลายกับขอบของหน้าต่าง
2. ต้องสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งของลักษณะเด่นบนลายหนึ่งกับลายอื่นได้ เช่น ต้องสามารถแสดงได้ว่าจุดปลายบนลาย c ปรากฏอยู่บนด้านขวาของหน้าต่าง ส่วนจุดปลายบนลาย h ปรากฏอยู่บนด้านซ้ายของหน้าต่าง ซึ่งความสัมพันธ์ของตำแหน่งของลักษณะเด่นระหว่างลายใด ๆ อาจแสดงที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างลักษณะเด่นบนลายหนึ่งกับอีกลายหนึ่ง เช่น แสดงว่าตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างจุดปลายกับขอบบนลาย h อยู่ทางซ้ายมือของตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างจุดปลาย 2 จุดบนลาย c นอกจากนี้ยังพบอีกว่าระหว่างลักษณะเด่นบนลาย c กับ h มีลาย d,e,f,g ขวางกันอยู่
3. ต้องสามารถแสดงลักษณะของลายโดยรวม ซึ่งอยู่ในบริเวณที่พิจารณาได้ เช่น ในกรณีของลายในรูปที่ 32 สามารถบอกได้ว่าลักษณะทิศทางการวางตัวของลายส่วนใหญ่มีแนวเอียงประมาณ 45 องศา

จากข้อกำหนดทั้งสามข้อ เราจึงได้ออกแบบ primitive ขึ้นมาจำนวน 19ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 33 โดย primitive ที่ 1-10 ถูกเรียกว่า "Structure primitive" primitive ที่ 11-14 ถูกเรียกว่า "Prefix primitive" ส่วน primitive ที่เหลือคือ 15-19 ถูกเรียกว่า "Root primitive"

**หมายเหตุ** สัญลักษณ์ | แทนเส้นสมมติซึ่งแบ่งครึ่งหน้าต่างออกเป็น 2 ด้าน

B และ E แทนจุดแยกและจุดปลายตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X แทนขอบของหน้าต่าง  
 ปลายทึบ แสดงส่วนของลายที่กำลังพิจารณา(ใช้เฉพาะ primitive 1-10 เท่านั้น)

ลำดับ	สัญลักษณ์	รูปลักษณะ
1	e0	
2	e1	
3	eb0	
4	eb1	
5	ee0	
6	ee1	
7	b0	
8	b1	
9	bb0	
10	bb1	
11-12	R,L	ซ้าย , ขวา
13-14	r,rr	ขวาง 1 เส้น ขวางหลายเส้น
15-19	BK0,BK1,BK2,BK4	แนวขวางตัวของลายพื้น ซ้าย,ขวา,นอน,ตั้ง,นอกแบบ

รูปที่ 33 แสดงรูปแบบของ primitive ทั้ง 19 ชนิด

Structure primitive ถูกใช้แทนลายที่เชื่อมโยงลักษณะเด่นกับลักษณะเด่น หรือลักษณะเด่นกับขอบของหน้าต่างเข้าด้วยกัน ใน primitive pattern ปลายทึบแสดงลายที่กำลังทำการพิจารณาโดยสัญลักษณ์ B ,E ,X แทนจุดแยกจุดปลาย และขอบของหน้าต่างตามลำดับ สัญลักษณ์ | ให้แทนเส้นสมมุติซึ่งแบ่งครึ่งหน้าต่างออกเป็นสองด้านโดยไม่กำหนดว่าด้านใดเป็นซ้ายหรือขวาอย่างแน่นอน ดังนั้นลายนี้มีทั้งสองลายในรูปที่ 34 จึงมี primitive เหมือนกันคือ eb0



รูปที่ 34 แสดงลายนี้มีมือ 2 ลาย ซึ่งมี primitive เหมือนกัน

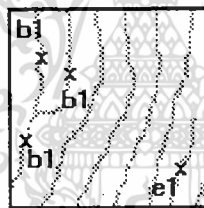
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเท่านั้นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

eb0 ถูกใช้แทนลายที่เชื่อมจุดปลายกับจุดแยกโดยลายนั้นตัดผ่านเส้นสมมุติ ส่วน eb1 ใช้ในความหมายเหมือนกับ eb0 แต่ลายอยู่ในด้านใดด้านหนึ่งของหน้าตัดเท่านั้นหรืออีกนัยหนึ่ง คือ จุดปลายและจุดแยกอยู่ในด้านเดียวกันทั้งคู่ primitive ที่เหลือ (3 - 10) ก็สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน

Prefix primitive ใช้แสดงความสัมพันธ์ทางตำแหน่งระหว่าง primitive โดย L,R แสดงว่า primitive อยู่ทางด้านซ้ายหรือด้านขวาของ primitive ที่ใช้อ้างอิง ส่วน r,rr ใช้แสดงว่าระหว่าง primitive ทั้งสองและมีลายชั้นอยู่หนึ่งลายหรือมากกว่าขึ้นไป

Root primitive ใช้แสดงทิศทางการวางตัวของลายส่วนใหญ่ในหน้าตัด โดยจะพิจารณาเฉพาะลายที่ไม่มีลักษณะเด่นเท่านั้น และจะเรียกลายเหล่านี้ว่าลายพื้น (background ridges) ในกรณี bk0 แสดงว่าลายพื้นส่วนใหญ่มีทิศทางเฉียงซ้าย bk1 เฉียงขวา ส่วน bk2 และ bk3 จะเฉียงในแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ ถ้าลายพื้นในหน้าตัดที่กำลังพิจารณาไม่เข้ากรณีของ bk0 ถึง bk3 ให้ทำการแทนด้วย bk4 ซึ่งในกรณีนี้อาจเกิดจากไม่มีลายพื้นปรากฏในหน้าตัด หรือเนื่องจากลายทุกๆลายมีลักษณะเด่น

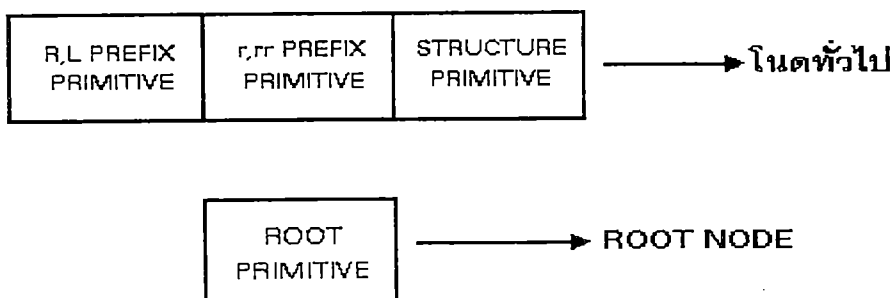
ในขั้นตอนของ primitive extraction ระบบจะทำการสแกนภาพลายนิ้วมือในแต่ละหน้าตัด เพื่อดึง structure primitive ซึ่งแสดงการเชื่อมโยงของลักษณะเด่น แล้วทำการแทน primitive เหล่านั้นด้วยรหัสของ primitive ที่ถูกต้อง โดยทำการแทนลงบนลายที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างจุดเด่น ดังแสดงในรูปที่ 35



รูปที่ 35 แสดงลักษณะเด่นในภาพลายนิ้วมือที่ถูกแทนด้วยจุดรหัส

#### 2.4.4 Tree Construction

ในขั้นตอนนี้จะทำการสร้างโครงสร้างทรีจากภาพลายนิ้วมือที่ได้จากขั้นตอน primitive extraction ในแต่ละโนดของทรีจะทำหน้าที่เก็บข่าวสารในรูปสตริงของรหัส primitive โดยรูปแบบของสตริงมีลักษณะดังต่อไปนี้



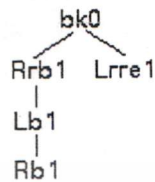
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.ปฏิบัติตามข้อที่ 2 และ 3 โดยกระบวนการในข้อ 3 จะทำการสแกนเฉพาะด้านที่เหลือเท่านั้น

จากขั้นตอนเหล่านี้จะได้ผลลัพธ์เป็นโครงสร้างทรี ซึ่งจะถูกนำไปสร้างเป็นไวยากรณ์ต่อไป ดังแสดงในรูป

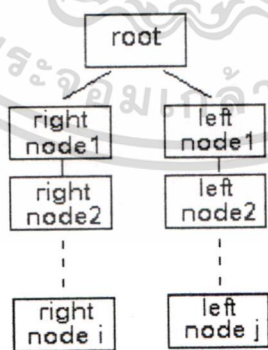
ที่ 38



รูปที่ 38 แสดงผลลัพธ์ที่เป็นโครงสร้างทรี

#### 2.4.5 Inference

ในกระบวนการนี้เป็นการแปลงโครงสร้างทรีให้อยู่ในรูปของไวยากรณ์ ซึ่งในงานวิจัยสาขา PATTERN RECOGNITION กระบวนการ Inference นี้ถือว่ามีค่ามาก จึงได้มีการพัฒนาวิธีการใหม่ๆ ขึ้นมาอย่างมาก โดยวิธีการแต่ละวิธีต้องการทำให้ไวยากรณ์ที่ได้ไม่มีความกำกวมเกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้การจดจำมีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือการ Inference โดยทั่วไปจะมีขั้นตอนที่ซับซ้อน และส่วนใหญ่จะมีพฤติกรรมที่เรียกว่า "SELF-EMBEDING" ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ต้องการพฤติกรรมดังกล่าวเพราะจะทำให้การจำแนกกลายเป็นเรื่องทำได้ไม่ละเอียดพอ เราจึงได้พัฒนากระบวนการ Inference เฉพาะงานขึ้นโดยมีขั้นตอนไม่ซับซ้อนและไม่พบพฤติกรรม SELF-EMBEDING ทั้งนี้เป็นผลมาจากชุด primitive ที่ออกแบบไว้ ซึ่งทำให้โครงสร้างทรีที่ได้มีลักษณะตายตัว จึงลดความซับซ้อน ของการ Inference ลง ลักษณะของโครงสร้างทรีที่ตายตัวซึ่งเกิดจากการ INFERENCE และ primitive ที่ออกแบบได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 39



รูปที่ 39 แสดงโครงสร้างของทรีซึ่งเกิดจาก primitive ที่ออกแบบ

ในการแสดงขั้นตอนของการ Inference ที่เสนอนี้ จะนิยามสัญลักษณ์ที่ใช้ในการ อธิบายและ Flow chart ของขั้นตอนดังต่อไปนี้

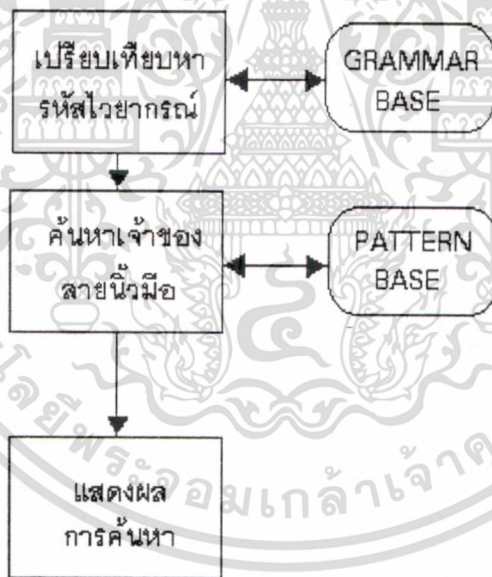
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การเปรียบเทียบ (Matching)

ในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบไวยากรณ์ของลายนิ้วมือที่นำมาตรวจสอบทั้ง 16 ช่องหน้าต่างกับฐานข้อมูล เพื่อทำการสรุปว่าลายนิ้วมือที่ทำการตรวจสอบนี้เป็นของผู้ใด หรือถ้าเป็นลายนิ้วมือใหม่ซึ่งยังไม่มีในฐานข้อมูล ระบบจะถามว่าต้องการเก็บข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะทำการเก็บข้อมูลเหล่านั้นเป็นฐานข้อมูลเพื่อขยายฐานข้อมูล ซึ่งเท่ากับว่าระบบสามารถเรียนรู้และปรับตัวเองให้ทันสมัยได้

ฐานข้อมูลที่ใช้ในระบบนี้มีอยู่ 2 ฐานคือ Grammar base กับ Pattern base โดย Grammar base เป็นฐานข้อมูลที่เก็บไวยากรณ์ของแต่ละโครงสร้างทรี โดยไวยากรณ์แต่ละตัวจะมีชื่อรหัสของตัวเอง ซึ่งจะขอเรียกว่ารหัสไวยากรณ์ ส่วน pattern base เป็นฐานข้อมูลที่เก็บข่าวสารลายนิ้วมือว่าเป็นของผู้ใดและในหน้าต่างทั้ง 16 ช่องเป็นรหัสไวยากรณ์อะไรบ้าง

บล็อกไดอะแกรมของการเปรียบเทียบถูกแสดงในรูปที่ 40 ในขั้นตอนแรก ระบบจะทำการเปรียบเทียบไวยากรณ์ในแต่ละช่องหน้าต่างของลายนิ้วมือทดสอบกับ grammar base เพื่อหาว่าลายนิ้วมือทดสอบนี้ประกอบด้วยรหัสไวยากรณ์อะไรบ้าง ถ้าหาไม่พบระบบจะทำการสร้างไวยากรณ์เพิ่มแล้วเก็บลงใน grammar base ในขั้นตอนต่อมา ระบบจะทำการค้นหาว่าลายนิ้วมือที่นำมาตรวจสอบนี้เป็นของผู้ใด โดยการเปรียบเทียบรหัสไวยากรณ์ทั้ง 16 ช่องของลายนิ้วมือกับ pattern base ถ้าการเปรียบเทียบไม่สำเร็จแสดงว่าลายนิ้วมือนี้เป็นลายใหม่ ซึ่งระบบไม่เคยจัดเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลระบบจะทำการเก็บลายนิ้วมือนี้เป็นฐานข้อมูลใน pattern base



รูปที่ 40 แสดงบล็อกไดอะแกรมการเปรียบเทียบ

### 3. ผลการทดลอง

ในส่วนของผลการทดลองงานวิจัยที่นำเสนอได้แยกดำเนินการเป็นสองส่วนด้วยกันคือ

1. การทดลองในส่วนของการทำงานกระบวนการหลัง
2. การทดลองในส่วนของการทำงานจดจำ โดยใช้เทคนิคของไวยากรณ์ตรี

ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอทั้งสองถูกดำเนินการงาน โดยใช้ภาษาซี(Turbo C Version 2.0) ซึ่งรันบนเครื่องคอมพิวเตอร์ 386SX 25MHz คอมแพคทิเบิล ข้อมูลภาพลายนิ้วมือได้จากการพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยหมึกพิมพ์ และใช้การ์ดดิิจิตาเซอร์ทำการแปลงสัญญาณภาพเชิงอุปมานเป็นสัญญาณภาพเชิงเลขขนาด 256x256 พิกเซล แล้วแยกทำการทดสอบดังนี้

#### 3.1 การทดลองเทคนิคการทำกระบวนการหลัง(Postprocessing)

ในการทดลองนี้ต้องการทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมของการแก้ไขลายนิ้วมือด้วยกระบวนการหลังที่นำเสนอ การทดสอบจะเริ่มจากการนำภาพลายนิ้วมือจำนวน 60 ลาย ซึ่งได้จากการ์ดิิจิตาเซอร์มาผ่านกระบวนการเริ่มต้นให้เป็นภาพไบนารี และทำการตรวจสอบจำนวนลักษณะเด่นที่ผิดทั้ง 10 รูปแบบ หลังจากนั้นนำไปทำกระบวนการหลัง เพื่อตรวจสอบจำนวนของลักษณะเด่นที่เหลือ แล้วจึงนำมาคิดค่าประสิทธิภาพการแก้ไข โดยกำหนดเป็นสูตรดังนี้

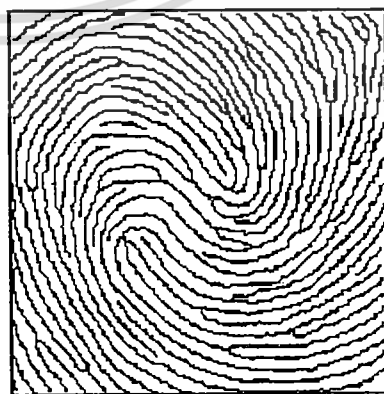
$$\text{ประสิทธิภาพการแก้ไข(\%)} = \left( \frac{\text{จำนวนลักษณะเด่นที่ผิดทดสอบ} - \text{จำนวนลักษณะเด่นที่ผิดผลลัพธ์}}{\text{จำนวนลักษณะเด่นที่ผิดทดสอบ}} \right) \times 100$$

อย่างไรก็ตาม ในบางกรณี เช่น ในบริเวณที่ลายนิ้วมือมีความโค้งเปลี่ยนแปลงสูง ค่าคงที่ต่างๆ ที่ตั้งไว้ในกระบวนการอาจไม่เหมาะสม ทำให้การแก้ไขผิดพลาด เกิดการต่อข้ามลายหรือลักษณะอื่นๆ ผลลัพธ์ที่ได้นี้ถือเป็นลักษณะเด่นที่ผิดพลาดและถูกนำมาคิดในการหาประสิทธิภาพด้วย โดยจำนวนของผลลัพธ์นี้ถูกแสดงในช่องรูปแบบอื่นๆของตารางที่ 1 ในรูปที่ 41 เป็นตัวอย่างของลายนิ้วมือก่อนและหลังผ่านกระบวนการหลัง ส่วนผลการทดลองของลายนิ้วมือทั้งหมดจำนวน 60 ลาย ได้ถูกบันทึกในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 สรุปได้ว่ามีลักษณะเด่นที่ผิดทดสอบทั้งหมด 3926 แห่ง และหลังจากผ่านกระบวนการหลังแล้วเหลือลักษณะเด่นที่ผิดผลลัพธ์จำนวน 352 แห่ง หาค่าประสิทธิภาพการแก้ไขได้ 91.03 %



(ก)



(ข)

รูปที่ 41 (ก) ลายก่อนผ่านกระบวนการหลัง (ข) ลายหลังจากผ่านกระบวนการหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ<sup>34</sup>ไปใช้

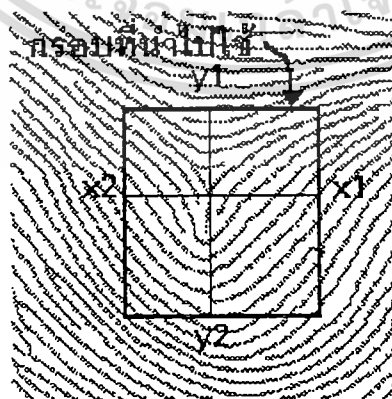
จำนวนลักษณะเด่นที่ผิด											
รูปแบบลาย	ลายจุด	ลายสัน	ลายขาด	ลายลูป	ลายเบอ	ลายบริดจ์	ฟอร์คแบบ1	ฟอร์คแบบ2	สามเหลี่ยม	แลตเตอร์	แบบอื่นๆ
ก่อนทำ	360	414	1614	506	260	470	14	14	130	144	-
หลังทำ	0	0	146	8	12	14	4	2	6	6	154

ตารางที่ 1

### 3.2 การทดลองการจดจำลายนิ้วมือโดยใช้ไวยากรณ์ทรี

จุดประสงค์ในการทดลองนี้ต้องการทดสอบความสามารถในการลดขนาดข้อมูลและความถูกต้องในการจดจำ ในขั้นตอนการทดลองจะทำการทดสอบกับลายนิ้วมือจำนวน 60 ลาย โดยทำการพิมพ์ลายนิ้วมือลงบนกระดาษ แต่ละลายจะถูกพิมพ์สองครั้ง สำหรับเป็นฐานข้อมูลและนำมาทดสอบเปรียบเทียบ ซึ่งในทางปฏิบัติ ภาพของลายนิ้วมือเดียวกันที่เก็บในแต่ละครั้งจะไม่เหมือนกันโดยสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากการวางตำแหน่งนิ้วมือในการพิมพ์แต่ละครั้งแตกต่างกัน เพื่อที่จะลดความผิดพลาดจากปัญหานี้ให้เหลือน้อยที่สุด โปรแกรม PhotoStyler ได้ถูกประยุกต์ใช้ทำกระบวนการต่อไปนี้

จุด CORE หรือจุด DELTA ของภาพลายนิ้วมือซึ่งถูกเก็บในแต่ละครั้ง (ทั้งสำหรับเป็นฐานข้อมูลและสำหรับเปรียบเทียบ) จะถูกกำหนดให้เป็นจุดอ้างอิง แล้วทำการสร้างหน้าต่างดังในรูปที่ 42 ซึ่งขนาดของหน้าต่างแต่ละด้านถูกกำหนดโดยจำนวนของสันลายนิ้วมือที่เส้นตรง  $x_1, x_2, y_1$  และ  $y_2$  ตัดผ่าน โดยกำหนดให้เท่ากับ 5 สัน อย่างไรก็ตามจำนวนสันในแต่ละด้านน้อยกว่า 5 สัน ให้ใช้จำนวนสันที่มากที่สุด ขอบหน้าต่างที่ถูกกำหนดขึ้นนี้ จะถูกตัดไปขยายหรือย่อเป็นขนาด 256x256 พิกเซล แล้วภาพเหล่านี้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการเบื้องต้น กระบวนการหลังและส่วนของการจดจำตามลำดับ ซึ่งสรุปผลได้ดังตารางที่ 2

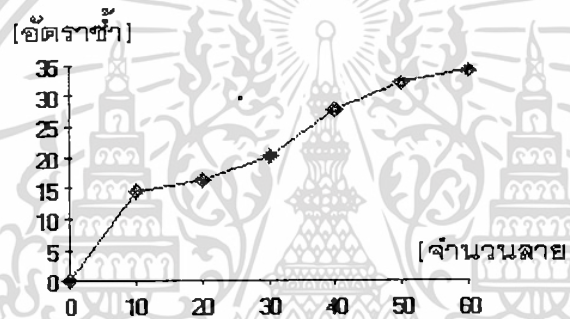


รูปที่ 42

จำนวน ลายทดสอบ	จำนวน ไวยากรณ์	ขนาด ข้อมูล(ไบท์)	ลายที่จดจำ ผิดพลาด
60	631	8424	13

ตารางที่ 2

จากตารางผลการทดลองที่ 2 พบว่าจำนวนไวยากรณ์ที่ใช้ในฐานข้อมูลเท่ากับ 631 ไวยากรณ์ ซึ่งน้อยกว่าจำนวนไวยากรณ์ทั้งหมดที่ควรจะเป็น คือ 960 ไวยากรณ์ (จำนวนหน้าต่างใน 1 ภาพ x จำนวนภาพลายนิ้วมือทั้งหมดในฐานข้อมูล) ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการซ้ำกันของไวยากรณ์ ทำให้สามารถลดจำนวนไวยากรณ์ลงได้ จากการทดลองพบว่าลดลง 34.2 % นอกจากนี้ระหว่างการทดลองยังพบว่า ยิ่งจำนวนลายนิ้วมือในฐานข้อมูลเพิ่มมากขึ้น การเกิดซ้ำของไวยากรณ์ก็จะมากขึ้นด้วยดังแสดงในรูปที่ 43 จากข้อสังเกตนี้อาจเป็นไปได้ว่า ถ้าในฐานข้อมูลมีจำนวนลายนิ้วมือมากพอ จะทำให้การเพิ่มของไวยากรณ์เป็นศูนย์



รูปที่ 43

จากตารางการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่าหน่วยความจำที่ใช้ทั้งหมดเท่ากับ 8424 ไบท์ ซึ่งถ้าเราใช้การเก็บเป็นจุดภาพจะต้องใช้หน่วยความจำถึง 3932160 ไบท์ (256x256xจำนวนภาพ) ดังนั้นการแทนโดยใช้ไวยากรณ์ที่จึงลดปริมาณหน่วยความจำไปได้ไปอย่างมาก โดยแต่ละลายจะใช้หน่วยความจำเฉลี่ยเท่ากับ 140.4 ไบท์ ในส่วนความถูกต้องของเทคนิคการจดจำนี้จะให้ความถูกต้องเท่ากับ 78.3% จากการทดลองความผิดพลาดเกิดปัญหาจากการวางนิ้วทั้งสิ้น ดังนั้นถ้าสามารถแก้ปัญหานี้ได้ เปรอเซ็นต์ความถูกต้องจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างแน่นอน

#### 4. สรุปงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการจดจำลายนิ้วมืออัตโนมัติ โดยได้เสนอโครงสร้างของระบบจดจำลายนิ้วมือทั้งทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์ได้ทำการพัฒนาการ์ดดิิจิตัลไอเซเซอร์ ซึ่งใช้ร่วมกับไมโครคอมพิวเตอร์ตระกูลพีซี ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณเชิงอุปมานของภาพขาวดำให้เป็นสัญญาณเชิงเลขเพื่อนำไปใช้ในคอมพิวเตอร์ต่อไป ในส่วนของซอฟต์แวร์ ได้มุ่งวิจัยหาวิธีการแก้ปัญหาสำคัญ 2 ข้อของระบบจดจำลายนิ้วมือ คือ กระบวนการหลังและส่วนของการจดจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคกระบวนการหลังที่นำเสนอนี้ ได้พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาลักษณะเด่นผิดพลาดที่พบบ่อยจำนวน 10 รูปแบบ ซึ่งเกิดจากจำนวนหมึกพิมพ์ที่ไม่พอเหมาะ และจะส่งผลให้การจดจำผิดพลาด การทดลองได้ทดสอบกับลายนิ้วมือ 60 ลาย โดยจำนวนลักษณะเด่นที่ผิดทั้งหมดมี 3926 แห่ง หลังจากทำกระบวนการหลังแล้ว ลักษณะที่ผิดเหลือเพียง 352 แห่ง ซึ่งสรุปเป็นค่าประสิทธิภาพการแก้ไขได้ 91.03% ในส่วนของการจดจำ งานวิจัยนี้ได้เสนอการประยุกต์ใช้ไวยากรณ์ตรี โดยภาพลายนิ้วมือจะถูกแบ่งเป็นตารางหน้าต่างจำนวน 16 ช่อง โครงสร้างของลายนิ้วมือในแต่ละหน้าต่างจะถูกบรรยายโดยไวยากรณ์นี้ แล้วถูกเก็บไว้เปรียบเทียบต่อไป จากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ว่าเทคนิคที่นำเสนอนี้ จะทำให้เกิดการลดขนาดข้อมูลลงอย่างมาก โดยขนาดข้อมูลเฉลี่ยใน 1 ลายนิ้วมือ เท่ากับ 140.4 ไบท์เท่านั้น ทั้งนี้เพราะการบรรยายลายนิ้วมือโดยใช้ไวยากรณ์ตรี จะทำการแทนลายนิ้วมือด้วยโครงสร้างที่จำเป็นสำหรับการจดจำเท่านั้น โดยรายละเอียดที่ไม่สำคัญจะถูกละทิ้ง นอกจากนี้ในแต่ละลายนิ้วมืออาจจะมีไวยากรณ์ของหน้าต่างซ้ำกับหน้าต่างในลายเดียวกันหรือลายอื่นๆ ทำให้ลดจำนวนของไวยากรณ์ลงอีก ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 34.2 % โดยไม่มีคู่ลายนิ้วมือใดๆ มีไวยากรณ์ซ้ำกันทั้ง 16 หน้าต่าง ดังนั้นหลักการของเทคนิคนี้จึงไม่ส่งผลให้เกิดการจดจำผิดพลาด แต่อย่างไรก็ตามปัญหาจากการเลื่อนตำแหน่งในขั้นตอนการเก็บภาพลายนิ้วมือจะมีผลอย่างมากต่อความถูกต้องของการจดจำ ซึ่งจากการทดลองความถูกต้องในการจดจำเท่ากับ 78.3% ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากปัญหาข้างต้นทั้งสิ้น ดังนั้นจึงเชื่อว่าถ้าสามารถแก้ปัญหานี้ได้ความถูกต้องในการจดจำจะต้องเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก

## 5. เอกสารอ้างอิง

- 5.1 RafaelC. Gonzalez and Richard E. Woods , " Digital Image Processing " Addison-Wesley Publishing Company; 1992
- 5.2 ZhangT.Y.and Suen C.Y. ; " A Fast Parallel Algorithm forThinning Digital Pattren "; Comm.ACM, Vol.27, no.3; pp.236-239; 1984
- 5.3 B. Moayer and K.S. Fu ; " A Tree System Approach for Fingerprint Pattern Recognition " ; IEEE Trans.Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.PAMI-8, no.3; 1986
- 5.4 Marace Elecion;"Automatic Fingerprint Identification";IEEESpectrum September; 1973
- 5.5 เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์,สมคิด อนุภากรณรงค์ และ มัชฌิม จันทร์กอสยอ ,เทคนิคการทำโพสทโพรเซสซึ่งสำหรับระบบจดจำลายนิ้วมือ" , การประชุมวิชาการทางไฟฟ้าครั้งที่ 16 , หน้า 291-296 , พฤศจิกายน 2536