สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

ระบบเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ *

(Altomatic Fingerprint Verification System)

RCH
TA
1639
ร451

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 21336
วัน, เดือน, ปี - 8 ก.ย. 2537

* ได้รับทุนวิจัยและพัฒนาทางอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์จาก NECTEC สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ของปีงบประมาณ 2534 ภายใต้โครงการร้หลัก ปัญญาประดิษฐ์

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ

(Altomatic Fingerprint Verification System)

โดย

รศ. ดรรชิต ไมตรี , รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์ , สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์ , ทรงชัย วีระทวีมาศ
เกรียงไกร โชวเจริญสุข , สุขสถิต สุขใจ , อัศวิน วัฒนะทรัพย์ , เรืองวุฒิ บุตรโยจันโท

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ABSTRACT

In this paper, we applied digital image processing system for developing of fingerprint structural detection. The structure of ridges in fingerprint are defected randomly after copying or grasping by video camera, it needs some enhancement before storing in database. Then, to recognize an unknown fingerprint, it is compared with stored fingerprints in the database to verify their assimilation. The verification is performed by type recognition and focal points matching with each fingerprint.

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ เราได้ประยุกต์ระบบทางด้าน Digital Image Processing กับภาพลายนิ้วมือ เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับ detect โครงสร้างลายเส้นของสัน (Ridge) บนนิ้วมือที่ได้มีการหักเหอย่างอิสระจากหมึกลายนิ้วมือทั้งหมดและหรือจากการถ่ายลายนิ้วมือจริง โดยใช้กล้องวีดีโอดิจิภาพและแก้ไขภาพให้ชัดพร้อมทั้งปรับปรุงให้ดีขึ้นตามความเป็นจริง และเก็บข้อมูลเป็น file หนึ่งไว้ในฐานข้อมูล แล้วทำการเปรียบเทียบระหว่างลายนิ้วมือใหม่ลายหนึ่งกับลายนิ้วมือเก่าลายหนึ่งว่า เป็นลายนิ้วมือเดียวกันหรือไม่ โดยตรวจสอบลักษณะแบบลายนิ้วมือแล้วทำการตรวจสอบ จุดสำคัญของลายนิ้วมือของแต่ละลายนิ้วมืออีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

	หน้า
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีและความเป็นมาของลายนิ้วมือ	
2.1 ประวัติโดยย่อของเครื่องอ่านลายนิ้วมือ	1
2.2 ชนิดและความรู้เบื้องต้นทั่วๆไปของลายนิ้วมือ	2
2.3 ส่วนประกอบหลักพร้อมทั้งการวิเคราะห์โดยละเอียดของระบบ AFVS	15
2.3.1 วงจรและอุปกรณ์การรับภาพ,ส่งภาพ	15
2.3.2 ส่วนประมวลผลภาพ	22
3. การทดลองและผลที่ได้	48
4. สรุปและข้อเสนอแนะ	54
5. เอกสารอ้างอิง	58
6. กิตติกรรมประกาศ	59

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	แสดงการหาตำแหน่งเริ่มต้นค้นหาโดยใช้ตาราง	29
ตารางที่ 2	การแสดงผลของฮิสโตรแกรมของบุคคลคนเดียวกันจำนวน 5 ครั้งพร้อมทั้งข้อมูลทดสอบ	51
ตารางที่ 3	การเปรียบเทียบข้อมูลตัวเลขของฮิสโตรแกรมระหว่างรูปแบบมาตรฐานและรูปแบบทดสอบ(2 นิ้วมือ/แบบ)	52
ตารางที่ 4	การเปรียบเทียบข้อมูลตัวเลขของฮิสโตรแกรมระหว่างรูปแบบมาตรฐานและรูปแบบทดสอบ(5 นิ้วมือ/แบบ)	54

สารบัญภาพ

รูปที่ 1	แสดงตัวอย่างแบบต่างๆของลายนิ้วมือ	2
รูปที่ 2	แสดงลายเส้นที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นนูนกับเส้นร่อง	3
รูปที่ 3	แสดงจุดลักษณะสำคัญพิเศษบนนิ้วมือ	3
รูปที่ 4	แสดงการเดินของลายเส้น	4
รูปที่ 5	แสดงลักษณะสันดอน	5
รูปที่ 6	แสดงลักษณะจุดใจกลาง	5
รูปที่ 7	แสดงลักษณะบริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 8 แสดงลักษณะโค้งราบ 6

รูปที่ 9 แสดงลักษณะโค้งกระโจม 6

รูปที่ 10 แสดงลักษณะมัดหวายปัดขวา 7

รูปที่ 11 แสดงลักษณะมัดหวายปัดซ้าย 7

รูปที่ 12 แสดงลักษณะก้นหอยธรรมดา 7

รูปที่ 13 แสดงลักษณะก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา 8

รูปที่ 14 แสดงลักษณะก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย 8

รูปที่ 15 แสดงลักษณะก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา 8

รูปที่ 16 แสดงลักษณะก้นหอยกระเป๋าข้างปัดซ้าย 9

รูปที่ 17 แสดงลักษณะมัดหวายคู่แบบ1 9

รูปที่ 18 แสดงลักษณะมัดหวายคู่แบบ2 10

รูปที่ 19 แสดงลักษณะซับซ้อน 10

รูปที่ 20 แสดงลักษณะเส้นวกกลับ 11

รูปที่ 21 แสดงการนับเส้นลายนิ้วมือ 12

รูปที่ 22 แสดงการสาวเส้นลายนิ้วมือ 13

รูปที่ 23 แสดงการสาวเส้นสันตอนซ้ายไปยังสันตอนขวามือ 14

รูปที่ 24 อุปกรณ์สำหรับรับภาพและส่งภาพ 15-16

รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์และวงจรภายนอกที่มีต่อ Cardและวงจรภายใน CPU. 17

รูปที่ 26 วงจรโซลิดสเตทรีเลย์ 19

รูปที่ 27 แผนภาพขั้นตอนในการทำ Preprocessing 23

รูปที่ 28 แสดงตำแหน่งของจุดที่จะทำการ smoothing 24

รูปที่ 29 แสดงตัวแปรบนหน้าต่างขนาด 3*3 26

รูปที่ 30 แสดงจุดภาพที่มีความหนาเพียง 1 จุดภาพ(d หมายถึงเป็นอะไรก็ได้) 26

รูปที่ 31 แสดงสัญญาณรบกวนที่ไม่ควรจัดให้เป็นจุดภาพที่มีความหนา 1 จุดภาพ 27

รูปที่ 32 แสดงการติดตามหาจุดภาพที่เป็นขอบ 28

รูปที่ 33 แสดงรหัสลูกโซ่ใช้สำหรับการติดตามขอบภาพ 29

รูปที่ 34 แสดงวิธีสแกนในขั้นตอนแรก 30

รูปที่ 35 แสดงอัลกอริทึม thinning ในขั้นตอนที่ 2 31-32

รูปที่ 36 แสดงกรณีที่การติดตามขอบภาพไม่สามารถกลับมาอยู่ในตำแหน่งเดิมได้ 33

รูปที่ 37 แสดงเงื่อนไขที่ทำให้ไม่สามารถกลับมาที่ตำแหน่งเริ่มต้นได้(d หมายถึงเป็นอะไรก็ได้) 33

รูปที่ 38 ภาพแสดงการอ่านและการตรวจสอบทิศทางตามแกน x และแกน y 36

รูปที่ 39 การส่งผ่านฟังก์ชัน หนึ่ง gray-level 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
รูปที่ 40	ความหนาแน่นที่เป็นไปได้ของฟังก์ชันในระดับ gray	38
รูปที่ 41	แสดงทิศทางที่เป็นไปได้ 4 ทิศทาง	39
รูปที่ 42	แสดงขั้นตอนการทดลอง	41
รูปที่ 43	แสดงรูปลายนิ้วมือมัดหวายปัดขวา	42
รูปที่ 44	แสดงภาพทิศทางที่ได้จากฮิสโตรแกรมทิศทาง	43
รูปที่ 45	แสดงรูปกราฟความถี่ของทิศทาง	43
รูปที่ 46	แผนผังแสดงการประมวลผลการเก็บข้อมูลกราฟ	44
รูปที่ 47	กราฟทั้ง 3 ชนิดที่ได้ภายหลังการทำ preprocessing	45-47
รูปที่ 48	แผนผังของข้อมูลทดสอบกับข้อมูลแต่ละแบบ	48
รูปที่ 49	แสดงลักษณะการเปรียบเทียบของลายนิ้วมือบุคคลคนเดียวกันโดยพิมพ์ต่างครั้งกัน	50

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้

PA (Plain Arch)	= โค้งราบ	6
TA (Tented Arch)	= โค้งกระโจม	6
RSL (Right Slant Loop)	= มัดหวายปัดขวา	7
LSL (Left Slant Loop)	= มัดหวายปัดซ้าย	7
W (Plain Whorl)	= ก้นหอยธรรมดา	7
RCP (Right Central Pocket)	= ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา	8
LCP (Left Central Pocket)	= ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย	8
RLP (Right Lateral Pocket)	= ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา	8
LLP (Left Lateral Pocket)	= ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดซ้าย	9
D1 (Double Loop Type1)	= มัดหวายคู่หรือมัดหวายแฝดแบบ1	9
D2 (Double Loop Type2)	= มัดหวายคู่หรือมัดหวายแฝดแบบ2	10
AW (Accidental Whorl)	= ซับซ้อน	10
I (INNER)	= การสาวเส้นไปอยู่หน้าสันดอนขวามือ	13
O (OUTER)	= การสาวเส้นไปอยู่หน้าสันดอนซ้ายมือ	14
M (MEETING)	= การสาวเส้นไปพบสันดอนขวามือพอดี	14
R&D Card	= แผงวงจร DigiIMAGE	19
A/D	= การแปลงข้อมูลอนาล็อกไปเป็นข้อมูลดิจิตอล	21
NO	= 0 แสดงว่าจุดนั้นมีความหนาของจุดภาพเพียง 1 จุดภาพ	27
Ns	= จำนวนครั้งของการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบโดยรอบๆจาก 1->0หรือ0->1	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

Pn-1 = ตำแหน่งของขอบภาพที่ผ่านมา 28

P = ตำแหน่งของขอบภาพที่กำลังพิจารณา 28

Pn = ตำแหน่งของขอบภาพต่อไป 28

S = ตำแหน่งเริ่มต้นค้นหาขอบภาพ 28

r = ระดับความเข้มตั้งแต่ ขาว->ดำ 37

s = T(r) = ค่าความเข้มที่ปรับปรุงแล้ว โดยผ่าน Tranformation function และ Inverse tranformation 37

$P_s(s)$ = วิธีการปรับปรุงภาพโดย Histogram อาศัยพื้นฐานของการควบคุมความหนาแน่น ของ probability ของระดับสีเทา โดยใช้ transformation function T(r) 37

L = จำนวนของ Level ทั้งหมด 38

$P_r(r_k)$ = probability ของระดับ k^{th} grey level 38

n_k = จำนวนครั้งที่ระดับนั้นปรากฏในภาพ image 38

$s_k = T(r_k)$ = ค่า Transformation function 38

$r_k = T^{-1}(s_k)$ = inverse tranformation 38

D = ทิศทางของจุด (pixel) ระดับสีเทาในภาพ G (ขนาด g*g) 39

d = ตัวเลขบอกทิศทางที่เลือกใช้ 39

N = จำนวนของทิศทางที่ใช้และให้มีค่าได้ เท่ากับ 4 ทิศทาง 39

M = จำนวนจุด (pixel) ที่ถูกใช้ในการคำนวณ 40

S_d = ผลรวมของความถี่ของความแตกต่างของระดับสีเทาตามทิศทางของd 40

G(i,j) = ค่าของระดับสีเทาในแต่ละสัน 40

Q = จำนวนปริมาณโดยเฉลี่ยระหว่างค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุดของกลุ่มรูปแบบนั้น 49

f_{max} (maximum frequency) = ความถี่สูงสุด 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นการพัฒนา algorithm ของระบบเปรียบเทียบลายนิ้วมือ โดยใช้กล้องวีดิโอและอุปกรณ์ทางซอฟแวร์เพื่อช่วยในการ detect ลายนิ้วมือของบุคคลทั่วๆไป และ แก้ไขให้อยู่ในรูปขาวดำ(binary) พร้อมทั้งปรับการแก้ไขภาพจนชัดเจน , การต่อเส้นให้สมบูรณ์ใกล้เคียงกับความเป็นจริง และ พิจารณาจุดสำคัญบนลายนิ้วมือเพื่อเป็นประโยชน์ ในการวิเคราะห์ภาพตลอดจนเทคนิคต่างๆ ในการพิสูจน์ลายนิ้วมือของบุคคลคนหนึ่งต่อลายนิ้วมือที่มีอยู่ จากนั้นเก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อใช้เป็นแบบตรวจสอบ และกำหนดให้เป็นชื่อ file หนึ่งๆซึ่งแตกต่างกันออกไปตามกลุ่มแบบ โดยมีทั้งหมด 12 แบบมาตรฐาน ซึ่งมีข้อมูลเป็นจำนวนมากที่ได้นำมาเก็บบันทึกไว้เป็นหลักฐาน

2. ทฤษฎีและความเป็นมาของลายนิ้วมือ

2.1 ประวัติโดยย่อของเครื่องอ่านลายนิ้วมือ

เครื่องอ่านลายนิ้วมือ (Fingerprint Reader) ได้ใช้ประโยชน์ในกิจการที่เกี่ยวกับความปลอดภัย และ การพิสูจน์หลักฐานของกรมตำรวจเป็นส่วนมาก เครื่องอ่านชนิดนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แบบที่ใช้ในระบบ Fingerprint Identificationและระบบ Fingerprint Verification ทั้งสองระบบ มีความแตกต่างกันคือระบบ Identification จะเป็นระบบที่ทำการเปรียบเทียบลายนิ้วมือที่ป้อนเข้ามา กับ ลายนิ้วมือที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของระบบทั้งหมด แล้วหาลายนิ้วมือที่ใกล้เคียงกันที่สุด พร้อมทั้งดึงข้อมูลของบุคคล ที่ตรงกันกับลายนิ้วมือนั้นออกมาระบบนี้จะเป็นการเปรียบเทียบ (Matching) แบบ One-to-Many เครื่องอ่านลายนิ้วมือแบบนี้ ส่วนมากอ่านจากกระดาษที่พิมพ์ลายนิ้วมือเอาไว้ด้วยหมึกพิมพ์ มักใช้ในกิจการกองพิสูจน์หลักฐานกรมตำรวจ ส่วนแบบ Verification นั้น จะเปรียบเทียบลายนิ้วมือ ที่ป้อนเข้ามากับลายนิ้วมือที่อยู่ในฐานข้อมูลไปทีละอัน เมื่อได้อันที่ตรงกันก็จะดึงเอาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกัน ออกมา ระบบนี้ถือว่า เป็นการ Matching แบบ One-to-One โดยเครื่องอ่านลายนิ้วมือที่ได้ออกแบบในการอ่านแบบ Total Reflection Method ได้โดยตรง แล้วทำการประมวลผลเบื้องต้น (Preprocessing) และ Matching แบบ Real Time ใช้เวลา เพียงชั่วครู่ ก็สามารถตอบกลับมาได้ ว่าเป็นลายนิ้วมือที่ต้องการหรือไม่ ระบบนี้มักใช้ใน กิจการด้านรักษาความปลอดภัย เช่น เชื่อมกับระบบเปิดปิดประตูใหญ่ของสถานที่สำคัญ หรือ ใช้ในกิจการธนาคาร เป็นต้น

ปัจจุบันระบบเหล่านี้มีราคาแพงมาก เพราะ เป็นเทคโนโลยีนำเข้าทั้งหมด และในประเทศไทยก็เริ่มที่จะใช้ระบบเหล่านี้ ในกิจการด้านต่าง ๆ มากขึ้น ประเทศที่ได้ส่งออกเทคโนโลยี ประเภทนี้ เช่น ญี่ปุ่น มีระบบ AFIS-NEC และ ระบบ AFVS-HITACHI , อเมริกามีระบบ PRINTRAX PIV100,Ridge Reader และ IDX-40 เป็นต้น หากประเทศไทย สามารถสร้างระบบเหล่านี้ขึ้นมาเอง ก็จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและงบประมาณลงอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ชนิดและความรู้เบื้องต้นทั่วๆไปของลายนิ้วมือ

โค้งราบ

(Plain Arch = PA)

โค้งกระโจม

(Tented Arch = TA)

มัดหวายปัดขวา

(Right Slant Loop = RSL)

มัดหวายปัดซ้าย

(Left Slant Loop = LSL)

ก้นหอยธรรมดา

(Plain Whorl = W)

ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา

(Right Central Pocket=RCP)

ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย

(Left Central Pocket=LCP)

ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา

(Right Lateral Pocket=RLP)

ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดซ้าย

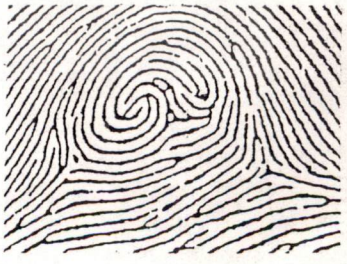
(Left Lateral Pocket=LLP)

มัดหวายคู่หรือมัดหวายแฝดแบบ1

(Double Loop Type1 = D1)

มัดหวายคู่หรือมัดหวายแฝดแบบ2

(Double Loop Type2 = D2)



ซับซ้อน

(Accidental Whorl=AW)

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างแบบต่างๆของลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปที่ 1 แบบต่างๆจะเห็นว่าที่ผิวหนังบริเวณปลายนิ้วมือ ประกอบด้วยลายเส้นสองชนิด ชนิดหนึ่งเราเรียกว่า เส้นนูน อีกชนิดหนึ่งเราเรียกว่า รอยร่องหรือเส้นร่อง เส้นนูนกับเส้นร่อง จะอยู่สลับกันไปตลอด

2.2.1 เส้นนูน(Ridges) คือ การเกิดของรอยนูนที่อยู่สูงขึ้นมาจากผิวหนังส่วนนอก

2.2.2 รอยร่องหรือเส้นร่อง(Furrows) คือ รอยลึกที่อยู่ต่ำกว่าระดับของเส้นนูน

เส้นนูนกับเส้นร่องนี้อยู่สลับกันไปดังนั้นจะแลเห็นได้ว่าที่ผิวหนังบนนิ้วมือ จะมีเส้นหนึ่งสูงขึ้นมาและเส้นหนึ่งอยู่ลึกต่ำลงไป(สลับกัน) โดยถ้าเราใช้หมึกสีดำทาไปบนนิ้ว และ กดนิ้วมือไปบนกระดาษขาว จะมีลายเส้นสีดำกับสีขาวสลับกันไป เราเรียกลายสีดำว่า เส้นนูนเพราะคือ ส่วนของรอยนูนที่ถูกกับน้ำหมึก ดังนั้นเส้นร่องไม่ถูกกับน้ำหมึกและไม่ถูกกับกระดาษจึงเป็นสีขาว และ ถ้าเป็นการถ่ายรูปหรือ scan ภาพเข้าไปต้องทำให้เป็นภาพ binary ก่อนจึงจะได้ลายนิ้วที่เป็นลายเส้นสีดำกับสีขาวตามต้องการดังรูปที่2(ก) และลายเส้นของลายนิ้วมือจะไม่มีการวิ่งหรือไหลเรียบร้อยไปตลอด ตามรูปที่ 2(ข)

รูปที่ 2 แสดงลายเส้นที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นนูนกับเส้นร่อง

แต่ลายนิ้วมือจะต้องวิ่งขาดตอน,บางทีเป็นรอยแตก,บางทีเกิดเป็นทะเลสาป , บางทีก็ เป็นจุด ดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 แสดงจุดลักษณะสำคัญพิเศษบนนิ้วมือ

2.2.3 **จุด, เส้นแตก, เส้นขาด, เส้นทะเลสาบ** คือตำหนิบนลายนิ้วมือตำหนินี้ เรียกว่า จุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Characteristics) จุดลักษณะสำคัญพิเศษเหล่านี้จึงนำมาใช้เป็นหลักฐานสำคัญในการตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันตัวบุคคล

ข้อควรจำ ลายเส้นในลายนิ้วมือเป็นหลักฐานสำคัญในการตรวจพิสูจน์ด้วยเหตุผล 2 ประการคือ

(1) ลายเส้นของนิ้วมือ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลยตั้งแต่เกิดจนกระทั่งตาย

(2) ไม่มีบุคคลใดๆที่จะมีลายนิ้วมือที่เหมือนกันหรือซ้ำกันได้เลย

2.2.4 **คำจำกัดความที่สำคัญ 4 ข้อ** ในลายนิ้วมือ ได้แก่

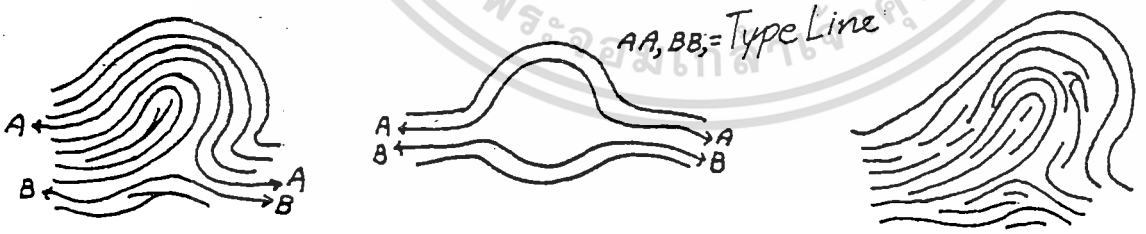
[ก] เส้นขอบ (Type Line)

[ข] สันดอน (Delta)

[ค] จุดใจกลาง (Core)

[ง] บริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน (Pattern Area)

[ก] **เส้นขอบ (Type Line)** คือ เส้นคู่ขนานคู่ในสุดซึ่งได้เดินขนานคู่กันมาพอสมควรแล้วแยกตัวออกจากกัน เพื่อที่จะโอบล้อมหรือพยายามโอบล้อมบริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน ดังรูปที่ 4(ก) และเส้นขอบไม่จำเป็นจะต้องเป็นเส้นยาวและราบเรียบติดต่อกันไปตลอด อาจจะเป็นเส้นที่ขาดห้วนกลางคันอย่างเห็นได้ชัด ถ้าเป็นกรณีนี้ เส้นที่อยู่ด้านนอกของเส้นขอบที่ขาดห้วนลงไปนั้น ถือว่าเป็นเส้นที่เดินหรือไหลต่อเนื่องกันไปเสมือนหนึ่งว่า เส้นขอบนั้นมิได้ขาดลงนั่นเอง ดูรูปที่ 4(ข)

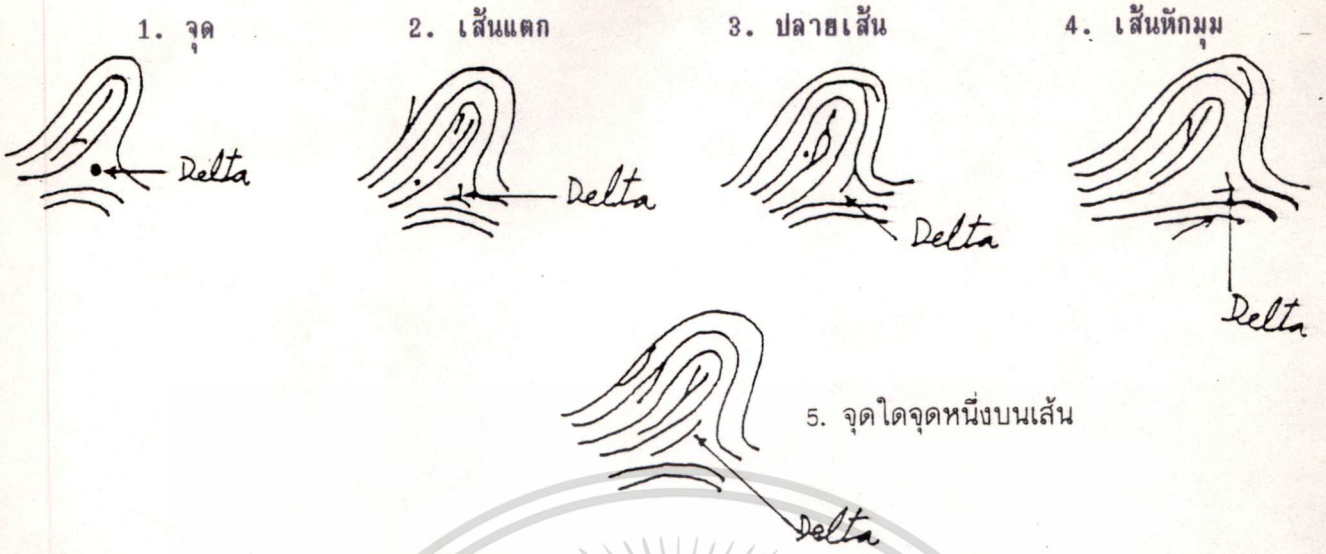


(ก) (ข)

รูปที่ 4 แสดงการเดินของเส้นขอบ

[ข] **สันดอน (Delta)** คือ ลายเส้นในลายนิ้วมือ ซึ่งอยู่ตรงหน้า และ ใกล้ที่สุดกับกึ่งกลางของปากทางแยกของเส้นขอบ โดยสันดอนมีลักษณะตามรูปที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

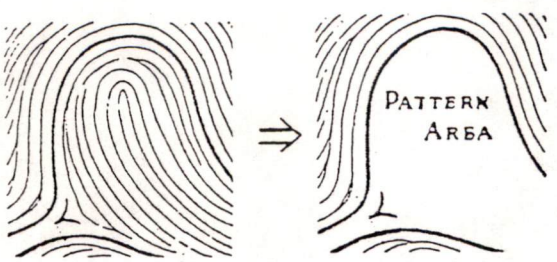


รูปที่ 5 แสดงลักษณะสันดอน

[ค] จุดใจกลาง (Core) คือ จุดใดจุดหนึ่งบนปลายเส้นหรือบนบ่า หรือ ไหล่ของเส้นวกกลับ ดูรูปที่ 6

รูปที่ 6 แสดงลักษณะจุดใจกลาง

[ง] บริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน (Pattern Area) คือ พื้นที่บริเวณภายในของลายนิ้วมือที่ถูกเส้นขอบโอบล้อม ดูรูปที่ 7

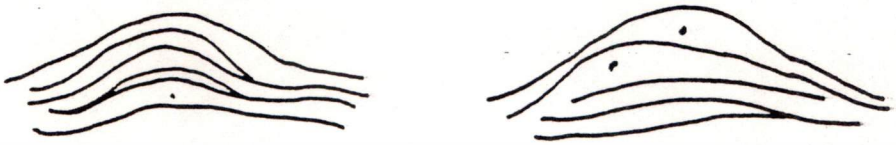


รูปที่ 7 แสดงลักษณะบริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 แบบของลายนิ้วมือ แบ่งออกเป็น 12 แบบ คือ

[1] **โค้งราบ (Plain Arch = PA)** คือ ลักษณะของลายเส้นในลายนิ้วมือ ที่ตั้งต้นจากขอบเล็บข้างหนึ่งแล้ววิ่งหรือไหลออกไปอีกข้างหนึ่ง ลักษณะลายเส้นดูง่าย ไม่มีเส้นเกือกมาไม่เกิดมุมแหลมคมที่เห็นได้ชัดตรงกลาง หรือไม่มีเส้นพุ่งสูงขึ้นตรงกลาง ดูรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงลักษณะโค้งราบ

[2] **โค้งกระโจม (Tented Arch = TA)** คือ ลักษณะลายเส้นในลายนิ้วมือชนิดโค้งราบ แต่แตกต่างจากโค้งราบทั่วไป อาทิเช่น

(ก) มีลายเส้นเส้นหนึ่งหรือมากกว่า ซึ่งอยู่ตรงกลางไม่ได้วิ่งหรือไหลออก ไปยังอีกข้าง

(ข) ลายเส้นที่อยู่ตรงกลางของลายนิ้วมือเส้นหนึ่ง หรือ มากกว่าเกิดเป็นเส้นพุ่งขึ้นจากแนวนอน,หรือ

(ค) มีเส้นสองเส้นมาพบกันตรงกลางเป็นมุมแหลมคมหรือมุมฉาก

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 9 แสดงลักษณะโค้งกระโจม

[3] **มัดหวายปัดขวา (Right Slant Loop = RSL)** หมายถึง ลายนิ้วมือแบบมัดหวายมีอยู่ประมาณ 65% ของลายนิ้วมือมนุษย์ ซึ่งมากกว่าลายนิ้วมือชนิดอื่นๆ โดยมีกฎเกณฑ์ดังนี้

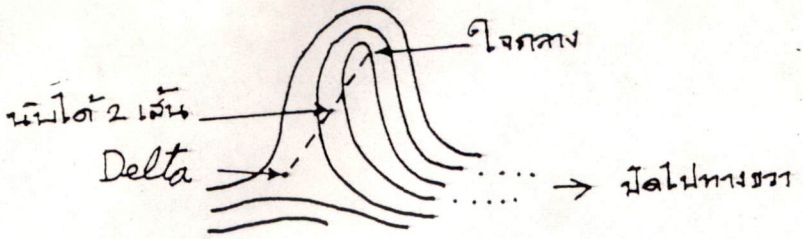
(ก) ต้องมีสันดอนข้างใดข้างหนึ่งเพียงข้างเดียว

(ข) ต้องมีเส้นวกกลับที่เห็นได้ชัดอย่างน้อยหนึ่งรูป

(ค) ต้องมีจุดใจกลางและต้องนับเส้นจากจุดสันดอนไปถึงจุดใจกลางได้อย่างน้อย 1 เส้น โดยเส้นที่นับนี้ต้องเป็นเส้นวกกลับที่สมบูรณ์อย่างน้อย 1 เส้น

ดังนั้นมัดหวายรูปใดที่มีปลายเส้นเกือกม้าปัดปลายไปทางมือขวาหรือด้านขวามือ เรียกว่า **มัดหวายปัดขวา**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 แสดงลักษณะมัดหวายปัดขวา

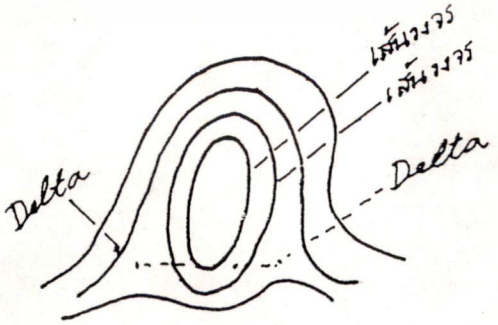
[4] มัดหวายปัดซ้าย (Left Slant Loop = LSL) คือ มัดหวายรูปใดที่มีปลายเส้นเกือกม้าปัดปลายไปทางมือซ้าย หรือทางด้านซ้าย เรียกว่า มัดหวายปัดซ้าย

รูปที่ 11 แสดงลักษณะมัดหวายปัดซ้าย

[5] ก้นหอยธรรมดา (Plain Whorl = W) คือ ลายนิ้วมือที่มีเส้นเวียนรอบเป็นวงจร วงจรนี้อาจมีลักษณะเหมือนลานนาฬิกา เหมือนรูปไข่ เหมือนวงกลม หรือลักษณะอื่นๆ

(1) ต้องมีจุดสันดอน 2 แห่งและหน้าจุดสันดอนเข้าไปจะต้องมีรูปวงจร หรือ เส้นเวียนอยู่ข้างหน้าจุดสันดอนทั้ง 2 จุด

(2) ถ้าลากเส้นสมมติจากจุดสันดอนข้างหนึ่งไปยังสันดอนอีกข้างหนึ่ง เส้นสมมติจะต้องสัมผัสเส้นวงจร หน้าจุดสันดอนทั้ง 2 ข้างอย่างน้อย 1 เส้น



รูปที่ 12 แสดงลักษณะก้นหอยธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[6] ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา (Right Central Pocket = RCP) คือ ลายนิ้วมือแบบก้นหอยธรรมดา แต่ผิดกันตรงที่ลากเส้นสมมติ จากสันดอนหนึ่งไปยังสันดอนหนึ่ง เส้นสมมติจะไม่สัมผัสกับเส้นวงจรที่อยู่ตอนใน

รูปที่ 13 แสดงลักษณะก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา

[7] ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย (Left Central Pocket = LCP) คือ ลักษณะที่ตรงข้ามกับปัดขวาโดยปัดไปทางซ้าย

รูปที่ 14 แสดงลักษณะก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย

[8] ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา (Right Lateral Pocket = RLP) คือ ลายนิ้วมือที่มีจุดใจกลางต่างจากก้นหอยทั้ง 3 แบบที่กล่าวมาแล้ว และสันดอนมีเพียงข้างเดียวโดยที่มีลายเส้นจากก้นปัดไปทางขวามือ

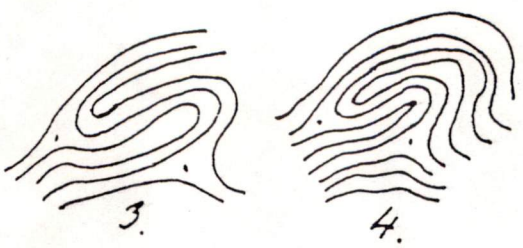
รูปที่ 15 แสดงลักษณะก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[9] ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดซ้าย (Left Lateral Pocket = LLP) คือ ลายนิ้วมือที่มีจุดใจกลางต่างจากก้นหอยทั้ง 3 แบบที่กล่าวมาแล้ว และสันดอนมีเพียงข้างเดียว โดยที่มีลายเส้นจากก้นปัดไปทางซ้ายมือ

รูปที่ 16 แสดงลักษณะก้นหอยกระเป๋าข้างปัดซ้าย

[10] มัดหวายคู่หรือมัดหวายแฝดแบบ1 (Double Loop Type1 = D1) คือ ลายนิ้วมือที่มีรูปคล้ายกับลายนิ้วมือแบบมัดหวาย 2 รูป มากอดหรือมากล้ำกันเป็นลายนิ้วมือที่มีสันดอน 2 สันดอน ,รูปมัดหวาย 2 รูปมัดหวาย และ สองรูปที่ปรากฏอยู่นี้ ไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากัน



รูปที่ 17 แสดงลักษณะมัดหวายคู่แบบ1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] มัดหวายคู่หรือมัดหวายแฝดแบบ2 (Double Loop Type2 = D2) คือ ลายนิ้วมือที่มีรูปคล้ายกับลายนิ้วมือแบบมัดหวาย 2 รูป มากอดหรือมากล้ำกันเป็นลายนิ้วมือที่มีสันดอน 2 สันดอน ,รูปมัดหวาย 2 รูปมัดหวาย และ สองรูปที่ปรากฏอยู่นี้ ไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากัน แต่ตรงข้ามกับแบบ1 ตรงที่ลายนิ้วมือจะพลิกกลับ

รูปที่ 18 แสดงลักษณะมัดหวายคู่แบบ2

[10] ซับซ้อน (Accidental Whorl = AW) คือ ลายนิ้วมือที่ไม่เหมือนลายนิ้วมือชนิดอื่นๆ มีลักษณะพิเศษเห็นได้ง่ายไม่จัดเข้าเป็นลายนิ้วมือชนิดหนึ่งชนิดใดโดยเฉพาะ เป็นลายนิ้วมือที่ประกอบด้วยลายนิ้วมือ 2 แบบมาผสมกันและมีสันดอน 2 สันดอนหรือมากกว่า

รูปที่ 19 แสดงลักษณะซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

ลายนิ้วมือของบุคคลบางรายอาจมีลักษณะพิเศษซึ่งน้อยมากที่จะมีลายเส้นแบบนี้ คือ

เส้นเกือกม้าหรือเส้นวกกลับ คือ เส้นที่วิ่งหรือไหลเข้าไปในบริเวณภายในของลายนิ้วมือ ซึ่งอยู่หน้าสันดอนเข้าไปแล้วโค้งกลับมาหรือวกกลับมาทางเดียวกับที่วิ่งหรือไหลเข้าไปและได้จำแนกออกไปดังนี้ เส้นวกกลับเพียงเส้นเดียว, เส้นวกกลับหลายเส้น และ ไม่มีเส้นวกกลับเลย (ซึ่งในที่นี้ไม่ได้นำมาพิจารณามากนักเพราะลายนิ้วมือประเภทนี้มีน้อย นอกจากนี้เรายังสามารถมองไปเป็นแบบมัดหวายได้) ดังรูปที่ 20

เส้นวกกลับ 1 เส้น เส้นวกกลับหลายเส้น ไม่มีเส้นวกกลับเลย

รูปที่ 20 แสดงลักษณะเส้นวกกลับ

2.2.6 หลักในการนับเส้นลายนิ้วมือ ได้วางหลักเกณฑ์ที่แน่นอนในชั้นต้นไว้ดังนี้

(1) ใช้เส้นสมมติซึ่งมีอยู่ใต้แว่นขยาย ทาบจากสันดอนไปยังใจกลาง

(2) ให้สันดอนเป็นจุดเริ่มต้น และใจกลางเป็นจุดหมายปลายทาง

(3) ให้นำจำนวนเส้นทุกเส้นที่เส้นสมมติใต้แว่นขยาย ผ่าน หรือ แตะ ยกเว้นสันดอนและใจกลางไม่ต้องนับ

(4) ถ้าเป็นเส้นแตก หรือ เส้นเกาะ เส้นสมมติที่ทาบไปแตะหรือผ่านตรงจุดเริ่มแตกพอดีให้นับเป็น 2 เส้น

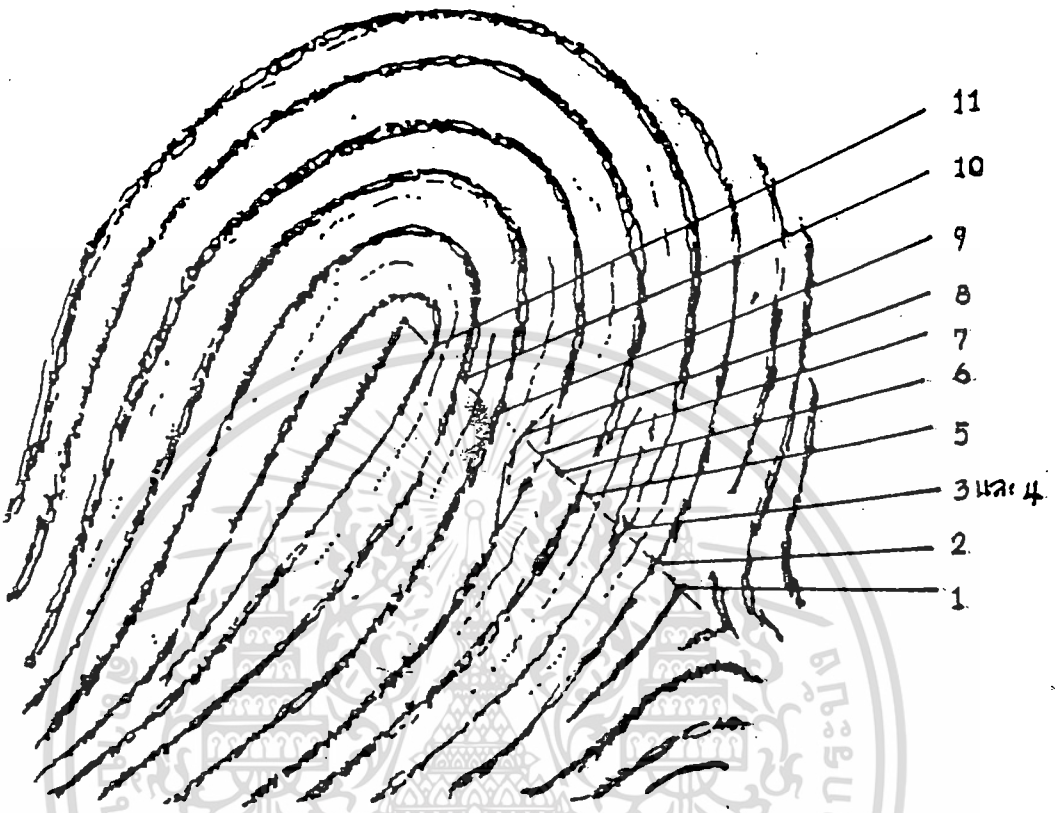
(5) ถ้าเป็นจุดให้พิจารณาว่า จุดนั้นๆมีความหนาเท่ากับเส้นหรือไม่ และเป็นจุดที่แท้จริงหรือ เปล่า ถ้าใช่และมีความหนาเท่ากับเส้นให้นับจุดนั้นรวมไปด้วย

(6) เส้นที่บางกว่าลายเส้นที่แท้จริง ไม่นับ

(7) ทุกเส้นที่นับต้องมีช่องว่างขาวพอจึงจะนับได้

ดูรูปที่ 21 ประเภทมัดหวาย ในการนับเส้น

นี้เป็นไฟล์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. ปลายเส้น, 2. เส้น, 3.และ4. เส้นแตก, 5. เส้น, 6. จุด, 7.และ8. เส้นเกาะ 9.,10และ11. เส้น

รูปที่ 21 แสดงการนับเส้นลายนิ้วมือ

2.2.7 หลักการสาวเส้นลายนิ้วมือ (ประเภทก้นหอย) ได้วางหลักเกณฑ์ไว้ดังนี้

(1) ให้สันดอนซ้ายเป็นจุดเริ่มต้นและสันดอนขวาเป็นจุดหมายปลายทาง

(2) ถ้าสันดอนเป็นจุดเริ่มต้น ให้สาวจากจุด แล้วสาวเส้นล่างที่ต่ำหรือถัดลงมา

(3) ถ้าสันดอนเป็นลายเส้น ให้สาวจากลายเส้นซึ่งเป็นที่ตั้งจุดสันดอนนั้น

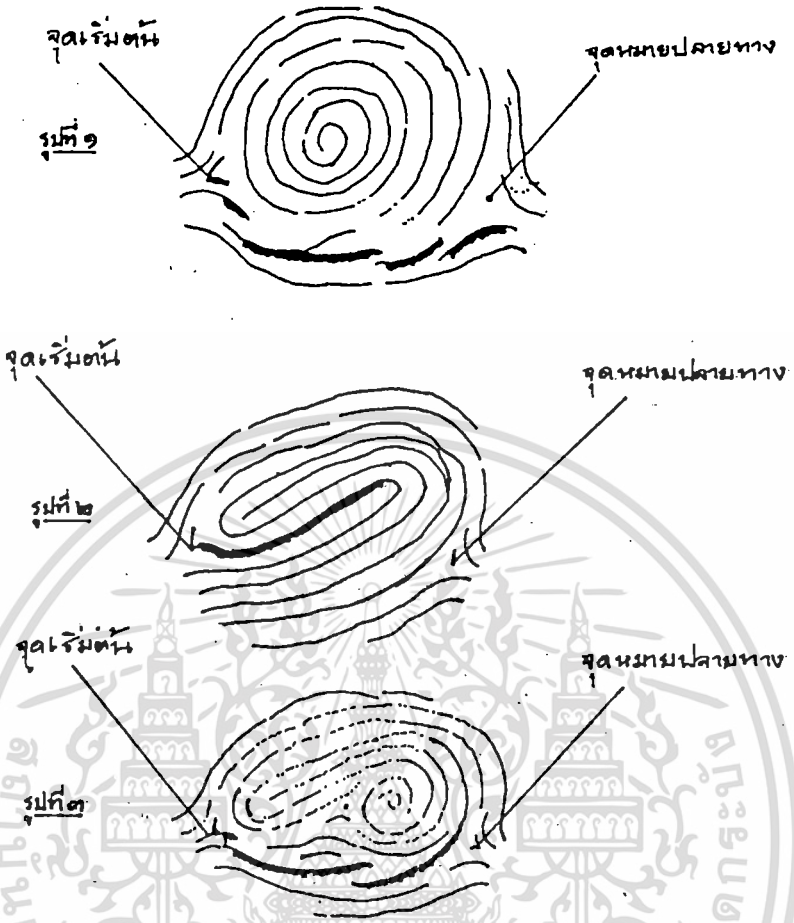
(4) ถ้าสันดอนเป็นเส้นแตก ให้สาวจากจุดเริ่มแตก

(5) เมื่อสาวเส้นไปแล้ว เส้นที่สาวไปขาดลง ให้สาวเส้นที่ถัดลงมาต่อไป

(6) ถ้าเส้นที่สาวไปแล้วเป็นเส้นแตกเกิดขึ้น ให้สาวเส้นแตกเส้นล่างสุด

ดูรูปที่ 22

นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 แสดงการสาวเส้นลายนิ้วมือ

ในการสาวเส้นลายนิ้วมือก้นหอยชับซ้อน ที่มีสันดอน 3 สันดอน จงจำไว้ว่า ต้องสาวจากสันดอนซ้ายสุด ไปหาสันดอนขวาสุดเสมอ สันดอนกลางนั้นไม่ต้องพะวงถึง

การสาวเส้นลายนิ้วมือประเภทก้นหอยทั้ง 4 ชนิด เส้นที่สาวไปแล้วนั้นอาจจะไปพบกับสันดอนขวามือที่เป็นจุดหมายปลายทาง หรืออาจจะเข้าไปอยู่ภายในหน้าสันดอนขวามือ หรือ อาจจะออกไปอยู่นอกสันดอนขวามือก็ได้ ไม่แน่นอน แล้วแต่ลายเส้นที่สาวไปนั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกฎเกณฑ์ เพื่อถือเป็นหลักปฏิบัติในการแยกประเภท ดังต่อไปนี้

เมื่อสาวเส้นจากสันดอนซ้ายมือไปยังสันดอนขวามือ

(1) ให้นับจำนวนลายเส้นระหว่างเส้นที่สาวไป กับสันดอนว่ามีจำนวนเท่าใด ยกเว้นเส้นที่สาวและสันดอนไม่ต้องนับรวมไปด้วย

(2) ถ้าเส้นที่สาวไปแล้ว เข้าไปอยู่ข้างในหน้าสันดอนขวามือนับได้ 3 เส้นหรือมากกว่า ใช้อักษรย่อว่า "I" (INNER)

(3) ถ้าเส้นที่สาวไปแล้วออกไปอยู่ข้างนอกสันดอนขวามือ นับได้ 3 เส้น หรือมากกว่า ใช้อักษร

เอกสารนี้เป็นสิ่งที่ได้รับการคุ้มครองลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ผู้ใดนำไปใช้ในการแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อว่า "O" (OUTER)

(4) ถ้าเส้นที่สาวไปแล้ว เข้าไปอยู่ข้างในหน้าสันดอนขวามือหรือออกไปอยู่ นอกสันดอนขวามือ นับได้ 2 เส้น หรือน้อยกว่าหรือพบกับสันดอนขวามือพอดีใช้อักษรย่อว่า "M" (MEETING) ดูรูปที่ 23

รูป (ก) เส้นที่สาวไปนั้นเข้าไปอยู่หน้าสันดอนขวามือ นับได้ 3 เส้นระหว่างเส้นที่สาวกับสันดอน ฉนั้นลายนิ้วมือรูปนี้จึงต้องมีค่าเป็น "I" (ถ้าน้อยกว่า 3 เส้น เป็น M)

รูป (ข) ถ้าเส้นที่สาวไปนั้น ออกไปอยู่นอกสันดอนขวามือ นับได้ 3 เส้น ฉนั้นลายนิ้วมือรูปนี้จึงมีค่าเป็น "O" (ถ้าน้อยกว่า 3 เส้นเป็น M)

รูป (ค) เส้นที่สาวไปนั้นพบกับสันดอนขวามือพอดี ฉะนั้นรูปลายนิ้วมือรูปนี้ จึงมีค่าเป็น "M"

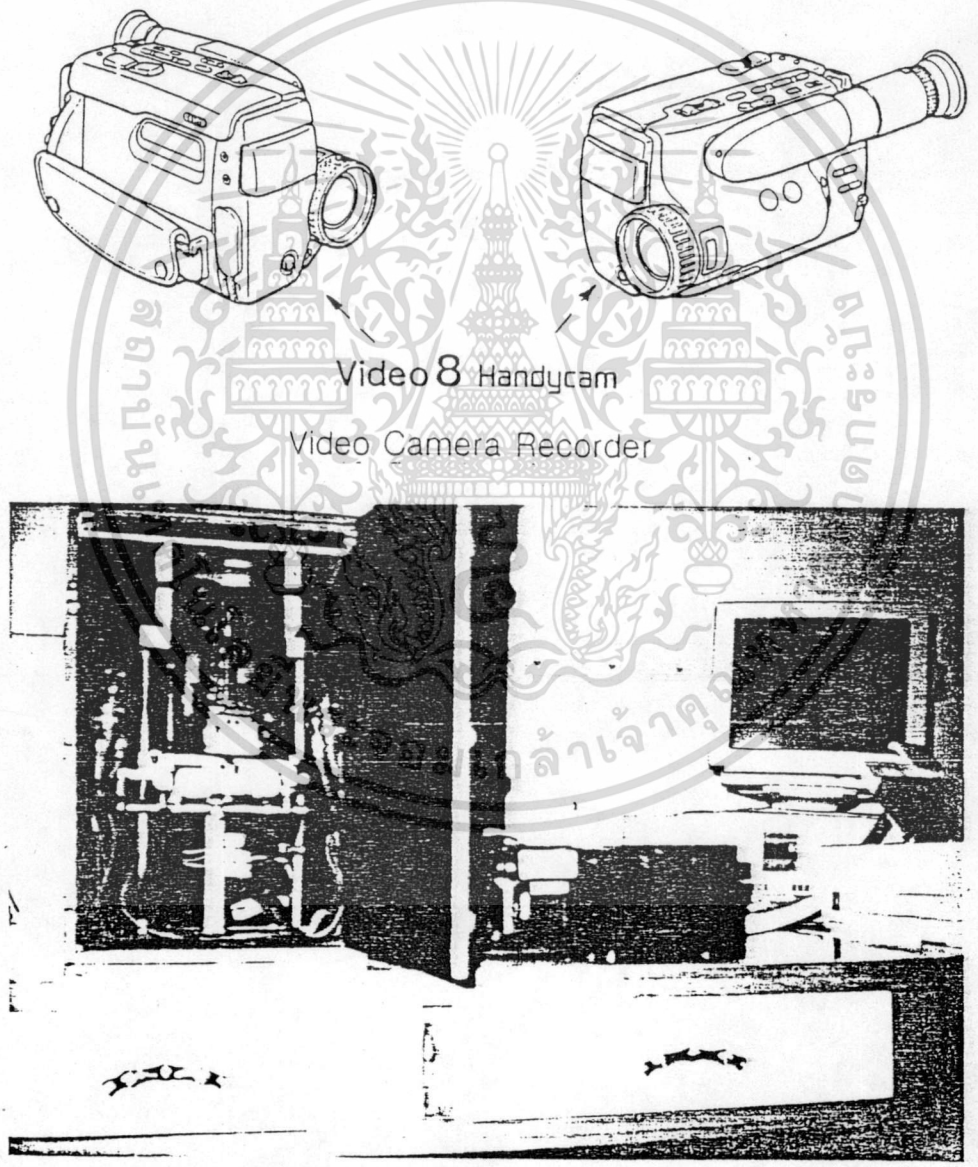
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 23 แสดงการสาวเส้นสันดอนซ้ายไปหาสันดอนขวามือ

2.3 ส่วนประกอบหลักพร้อมทั้งการวิเคราะห์โดยละเอียดของระบบ AFVS

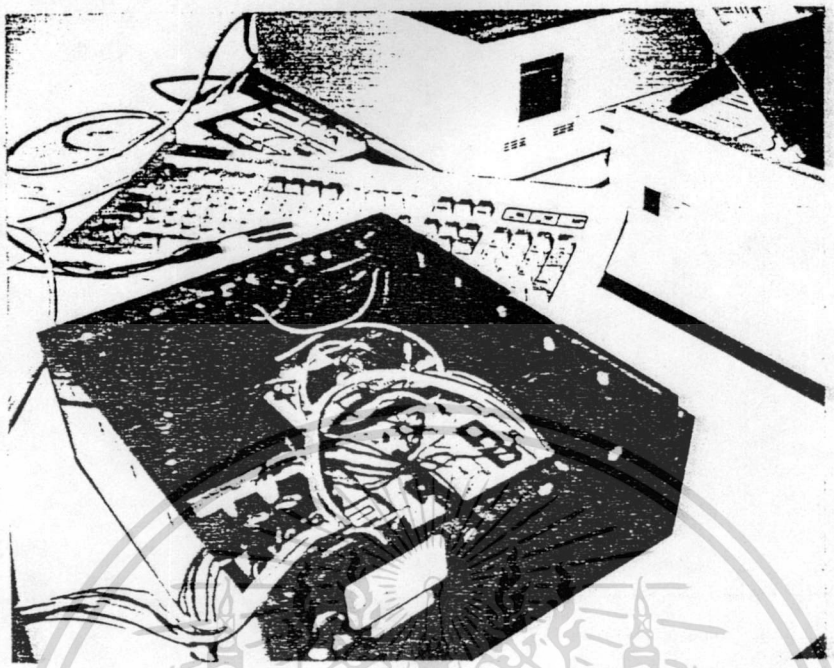
2.3.1 วงจรและอุปกรณ์การรับภาพ,ส่งภาพ ซึ่งระบบนี้ทำขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบอันแรก เพื่อการทดลองให้ทำงานได้จริงเสียก่อน โดยต้นแบบนี้ยังต้องพัฒนาต่อไปเพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่ผลิตได้จริง ประกอบด้วย

(ก) อุปกรณ์สำหรับการรับภาพและส่งภาพ ดังรูปที่ 24

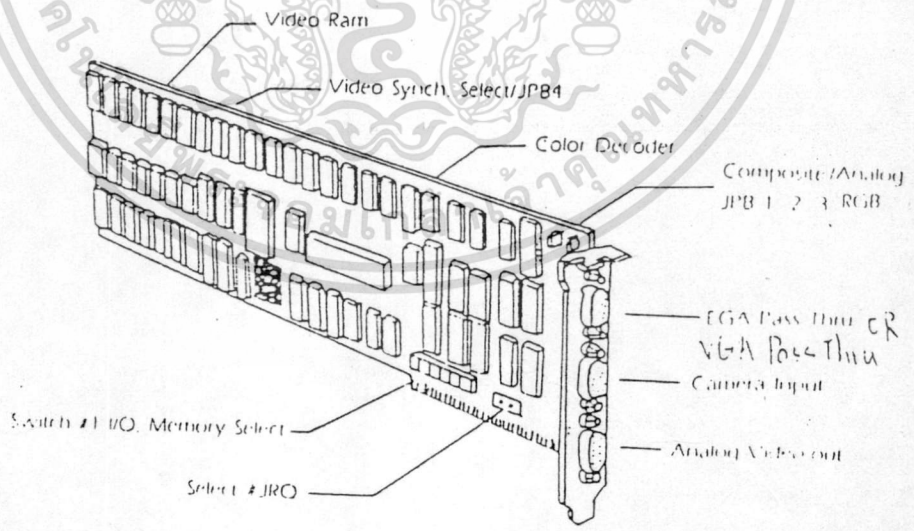


รูป (ก) กล้องวิดีโอพร้อมตู้รับและส่งภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป (ข) อุปกรณ์แผงวงจรภายนอก



รูป (ค) Image Card

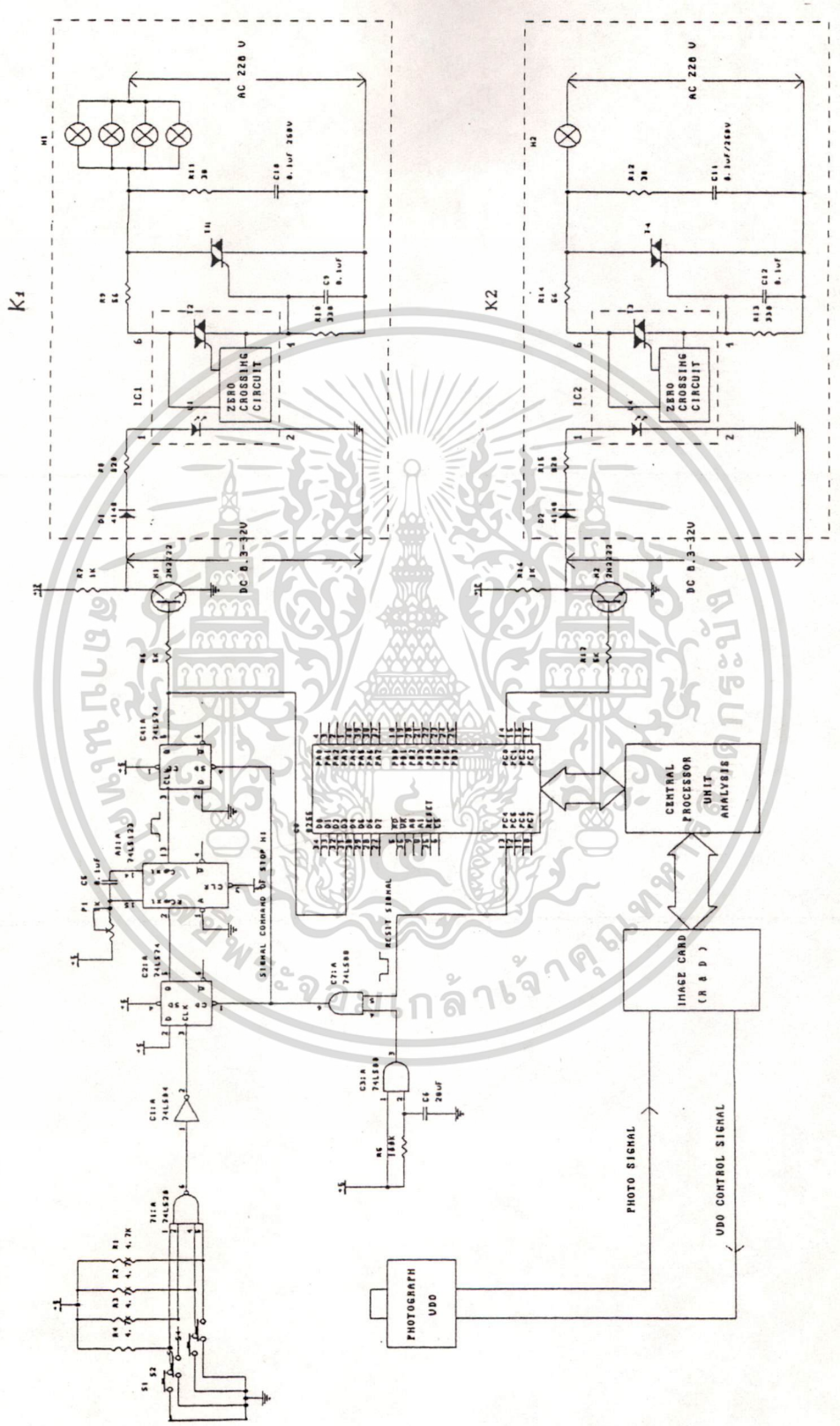
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 24 อุปกรณ์สำหรับการรับภาพและส่งภาพ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

(ข) วงจรภายนอกซึ่งเป็นดิจิตอลสวิทช์โดยรับสัญญาณเข้าและส่งสัญญาณออกไปใช้งาน ดู

รูปที่ 25



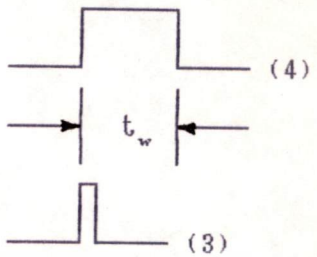
รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์และวงจรภายนอกที่มีต่อ Cardรับภาพและวงจรภายใน CPU.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21336

หลักการทำงาน

(ก) เมื่อมีการกดแป้นสวิทช์ 4 ตัว และผ่าน NAND GATE ณ. ที่ (1)เป็นโลจิก "0" และ เมื่อผ่าน inverter ณ.ที่ (2) เป็นโลจิก "1" และ เข้าที่ขา clock ของ D/FF ขา D เป็น "1" ดังนั้นที่ (3)เป็นโลจิก "1"



(ข) จาก (ก)สัญญาณเข้า Monostable และออก ณ.ที่ (4) จะเกิดการทริกขึ้นส่งเป็นโลจิก "1"

1

(ค) จาก (ข) เมื่อสัญญาณเข้า clock ,ขา D ลง ground ณ.ที่(5) จะส่งโลจิก "0"ไปสองทาง

(ค.1) ส่งผ่านวงจรโซลิตสเตทรีเลย์ มีผลทำให้ไฟที่ H_1 เปิดสว่างค้างไว้

(ค.2) ส่งสัญญาณเข้าขาที่ 31ของ 8255(Interface Card) ซึ่งได้ติดต่อสัมพันธ์กันกับ card ใน CPU. เพื่อรับภาพโดยใช้ Image Card เช่น R & D card และวงจรภายใน CPU. ที่ใช้ ในการวิเคราะห์ประมวลผลภาพ

(ง) จาก (ค) เมื่อไฟที่ H_1 สว่าง,สัญญาณควบคุมกล้องถูกส่งมาจาก Image Card , กล้องวีดีโอจะรับภาพเป็นสัญญาณส่งกลับไปยัง Image Card อีกทีและถูกส่งเข้าไปสู่ส่วนที่ใช้ ในการวิเคราะห์ และประมวลผลภาพและตัดสินใจว่าว่าใช่ลายนิ้วมือที่ต้องการหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะไปสั่งให้ (10)มีโลจิก "1"โดยให้ออกขาที่ 14 โหลดที่ H_2 ทำงาน และในขณะเดียวกัน (8)ขาที่ 13 ก็มีสัญญาณไปเคลียร์ H_1 ให้ดับโดยการเคลียร์และพรีเซต (9)จึงส่งโลจิก "0" ไปยัง D/FF ทั้งสองตัว ดังนั้น (5) จะส่งโลจิก "1" H_1 ก็จะดับ ส่วน H_2 ก็จะหยุดการทำงานเมื่อมีคำสั่งมาและเข้ากับระยะเวลาของโหลด H_2 พอดี

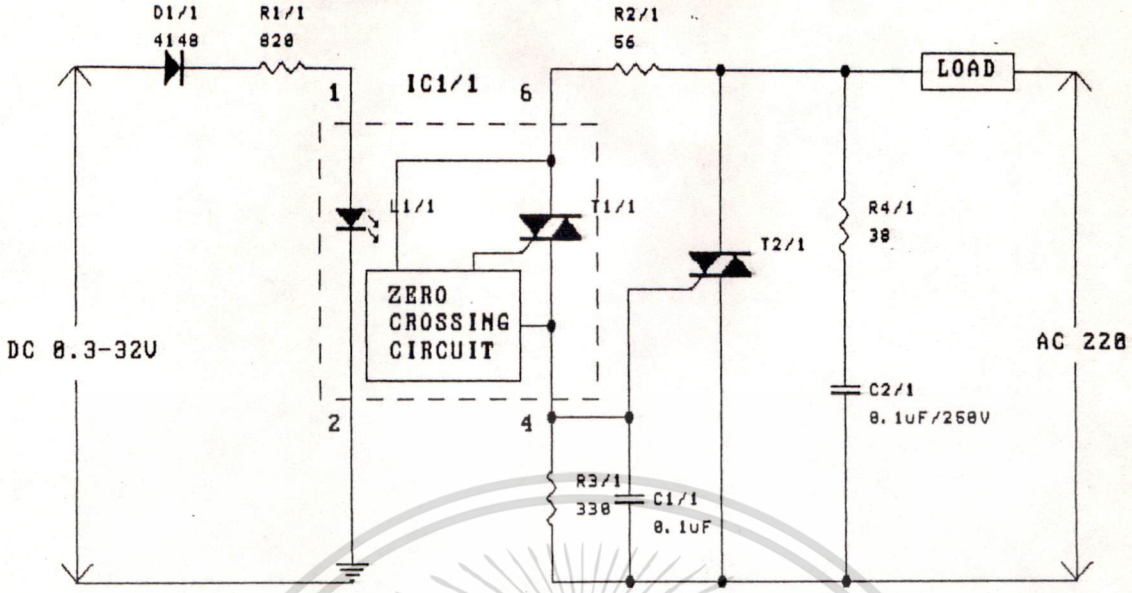
<u>หมายเหตุ</u>

(1) กำหนดไฟสว่างณ.ที่ H_1 เมื่อสัญญาณผ่านวงจรโซลิตสเตทรีเลย์ให้โลจิก "0" ไฟสว่าง และโลจิก "1" ไฟดับ และ ที่โหลด H_2 เมื่อสัญญาณออกจาก 8255 (interface card) ผ่านวงจรโซลิตสเตทรีเลย์ให้โลจิก "0" ไฟดับ และ โลจิก "1" ไฟสว่าง

(2) ข้อดีและวิธีการทำงานของวงจร รีเลย์มีดังนี้

ข้อดีของโซลิตสเตทรีเลย์มีมากกว่ารีเลย์แบบกลไก เช่น จะไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหวขณะทำงานและไม่เกิดเสียงดัง ไม่เกิดประกายไฟฟ้าขณะใช้งานติดต่อวงจรไฟฟ้า อายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า สามารถนำไปใช้งานต่ออินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงและที่พิเศษต่างจากรีเลย์แบบกลไกก็ คือมีวงจรตรวจจับแรงดันศูนย์อยู่ภายใน เพื่อช่วยในการกำหนดจุดป้อนกระแสเกทของไตรแอค ให้นำกระแสที่แรงดันศูนย์เท่านั้น ทำให้ไม่สามารถส่งสัญญาณรบกวนเข้าไปในสายไฟที่ใช้ในบ้านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 26 วงจรโซลิดสเตทรีเลย์

การทำงานของวงจรรีเลย์

จากรูปที่ 26 ในส่วนแรกจะเป็นส่วนควบคุมการทำงานของโซลิดสเตทรีเลย์ โดยใช้แรงดันไฟต่ำเป็นตัวคอนโทรลตัวเชื่อมโยงทางแสง (Opto coupler) แบบ LED กับไตรแอค ทางด้าน LED จะมี R_1 เป็นตัวจำกัดกระแสที่ไหลผ่าน LED ไม่ให้เกินค่าสูงสุดซึ่งมีค่าประมาณ 50 มิลลิแอมป์ ส่วน D_1 เป็นตัวป้องกันการเสียหายของตัวเชื่อมโยงจากการป้อนแรงดันควบคุมกลับขั้ว

ภายในตัวเชื่อมโยงทางแรงดันนี้จะมีวงจรตรวจจับแรงศูนย์ เมื่อเราป้อนแรงดันควบคุมเข้าไป R_1 จะควบคุมให้กระแสไหลผ่าน LED ภายใน IC_1 ให้มีค่าระหว่าง 3-40 มิลลิแอมป์ LED ที่อยู่ภายใน IC_1 จะทำให้ไฟในโฟโตไตรแอคภายในนำกระแส แต่โฟโตไตรแอคจะนำกระแสเมื่อแรงดันในสายมีค่าเริ่มจากศูนย์เพิ่มขึ้นทางบวกหรือทางลบ เมื่อไฟโฟโตไตรแอคนำกระแส ก็จะไปทริกขาเกทของไตรแอค Q_1 ทำงานที่จุดนี้ทุกครั้ง ส่วน R_2 และ R_3 จะเป็นตัวแบ่งกระแสที่ไหลผ่านเกท ของไตรแอคไม่ให้สูงเกินไป C_1 เป็นป้องกันการทำงานผิดพลาด จากสัญญาณรบกวนจากภายนอก R_4 และ R_2 เป็นตัวป้องกันทรานเซี้ยนต์จากการเพิ่มแรงดันของโหลดอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ไตรแอคเสียหายได้ นอกจากนี้ C_2 ยังเป็นตัวลดสัญญาณรบกวน กระแสแรงดันกระชากในสายไฟด้วย R_4 เป็นตัวจำกัดกระแสที่ผ่าน C_2

(ค) **Image Card หรือ Digitizer** ที่ใช้เสียบลงไปใน SLOT เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อเปลี่ยนสัญญาณภาพเป็นรหัสของข้อมูลซึ่งในที่นี้ใช้ R&D Card กับเครื่อง 386 หรือกับ เครื่อง 486 โดยจะอธิบายการทำงานของ R&D Card มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R&D Card เป็น แผงวงจร DigiIMAGE รุ่น DZ-II นี้ ช่วยเสริมสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์

IBM PC/XT/AT/PS2 model 30 หรือเครื่องเทียบเท่า โดยจะช่วยให้ไมโครคอมพิวเตอร์สามารถถ่ายภาพจากสัญญาณวิดีโอ เช่น สัญญาณจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด เก็บไว้สำหรับนำมาแสดงในภายหลังได้ภาพที่ถ่ายได้ด้วยแผงวงจร DigiIMAGE นี้มีอยู่ด้วยกัน 2 FORMAT คือ TIFF ตามมาตรฐานของ PC PAINTBRUSH IV และ PIC สำหรับ STORY BOARD PLUS ซอฟแวร์ ที่ผู้ใช้ได้รับพร้อมกับแผงวงจร DigiIMAGE จะเป็นโปรแกรมอรรถประโยชน์ทั่วไปที่ใช้ในการถ่ายภาพ แสดงภาพ พิมพ์ภาพ เป็นต้น

คุณสมบัติของแผงวงจรรับภาพ DigiIMAGE รุ่น DZ-II

(1) การถ่ายภาพ

- บนแผงวงจรมีหน่วยความจำสำหรับภาพขนาด 192K ไบต์ ซึ่งไมโครคอมพิวเตอร์สามารถติดต่อกับหน่วยความจำนี้ได้โดยตรง
- วงจรถ่ายภาพเป็นแบบ REAL TIME สำหรับภาพขาวดำและเกือบ REAL TIMEสำหรับภาพสี
- สามารถดูภาพ LIFE TIME จากจอ VGA ได้ขณะถ่าย (digitize)
- การปรับแต่งภาพสามารถควบคุมความสว่าง(brightness),ความชัดเจน(contrast) และความเข้มของสี (saturation) ได้จากซอฟท์แวร์
- รับสัญญาณอินพุท แบบ COMPOSITE ขาวดำ หรือสี (ระบบ PAL) ก็ได้เช่นสัญญาณจากกล้องถ่ายวีดีโอ

(2) ความละเอียดของภาพ (ที่ได้จากการถ่ายด้วยด้วยโปรแกรม DZ2DI.COM)

- ความละเอียดของภาพสีได้ถึง 320*200 จุด 256 สี (สีจริง)
- ความละเอียดของภาพขาวดำได้ถึง 320*200 จุด 64 ระดับเทา
- ภาพที่ถ่ายได้สามารถเก็บในรูปแบบ PIC ของ PC STORY BOARD PLUS หรือ TIFF

หลักการทำงานของแผงวงจร DigiIMAGE

ประกอบด้วยส่วนต่างๆที่สำคัญ ดังนี้ คือ

(1) หน่วยความจำสำหรับภาพอิมเมจ(RAM) 3 Bank Bank ละ 64K ไบต์

(2) ส่วนแปลงสัญญาณวิดีโอจากอนาล็อกให้เป็นข้อมูลดิจิตอล (A/D)

(3) ส่วนแยกสัญญาณสี

(4) ส่วนปรับ contrast,brightness,saturation

(5) ส่วนควบคุมการติดต่อระหว่างส่วนต่างๆ จากคอมพิวเตอร์

เมื่อถ่ายภาพสีสัญญาณสีจากกล้องวีดีโอ จะเข้ามาทางอินพุทของวงจรไปเข้าส่วนแยก สัญญาณสีออกมาเป็นสี 3 สีคือ แดง(R), เขียว(G), น้ำเงิน(B) แล้วจึงส่งออกไปส่วนแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิจิตอล(A/D) เพื่อนำสัญญาณภาพไปเก็บในหน่วยความจำ(RAM) ในส่วนของวงจรแยกสีนี้ เราสามารถควบคุมระดับความเข้มสีจากไม่มีสี ไปจนถึงมีสีเข้มมากได้เรียกว่า การปรับ SATURATION ซึ่งควบคุมได้ด้วยซอฟท์แวร์ ส่วนในวงจร A/D เราสามารถควบคุมความชัดเจนของภาพได้ด้วยการปรับ Reference+ (Ref+) และ Rrference- (Ref-) ซึ่งโดยทั่วไป Ref+ จะอยู่สูงกว่าสัญญาณภาพ และ Ref- จะอยู่ต่ำกว่าสัญญาณภาพ ซึ่งเราควบคุมด้วยซอฟท์แวร์

ลักษณะของการนำสัญญาณภาพที่ถูกแปลงเป็นดิจิตอลแล้วไปเก็บลง ในหน่วยความจำนั้น จะทำการเก็บทีละสีลงในหน่วยความจำสีละ BANK จนครบ 3 BANK ตามลำดับ

เมื่อถ่ายภาพขาวดำ (สิ่งจากซอฟท์แวร์หรือจากภาพขาวดำจริง) สัญญาณภาพ จะนำไปเข้าส่วนวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอลเลย ดังนั้นการเก็บข้อมูลภาพจึงอาจเก็บไว้ในหน่วยความจำเพียง BANK เดียวเท่านั้น

ข้อบันทึกเพิ่มเติม

สำหรับในช่วงนี้การติดตั้ง,การติดต่อและการทำงานต่างๆจะถ่ายภาพออกเป็นขาวดำก่อน

การติดตั้งระบบฮาร์ดแวร์

แผงวงจร DigiIMAGE รุ่น DZ-II สามารถกำหนดตำแหน่งของ พอร์ท และหน่วยความจำได้โดยผู้ใช้ในขณะนี้ได้ติดตั้งแอดเดรสของพอร์ทไว้ที่ 210H และแอดเดรสของหน่วยความจำไว้ที่ D000H

สำหรับการเลือกสัญญาณจาก inputเพื่อให้เหมาะสมกับแผงวงจร DigiIMAGEตำแหน่งที่เลือกใช้กับกล้องที่ให้สัญญาณออกมาเป็น ขาว/ดำ และสัญญาณวีดีโอที่ต้องการเป็น INPUT IMPEDANCE สูง

การติดต่อกับ card DZ-II

บนแผงวงจร DigiIMAGE DZ-II มีพอร์ท Output Port อยู่ 4 Port, Input port อยู่ 2 Port โดยเซทด้วย CtrlPort ซึ่งมีความหมายดังนี้

CtrlPort : เป็นพอร์ทคำสั่งในการถ่ายภาพ รวมทั้งการเลือก BANK,PAGE ของหน่วยความจำ และสีที่ต้องการถ่าย ตำแหน่งของพอร์ท อยู่ที่ 210h,2a0h,310h,3a0h

ขั้นตอนการควบคุม DZ-II

1. ก่อนที่เราจะสั่งถ่ายภาพ ต้องส่งคำสั่งออกไปทาง Output Port ก่อน เพราะต้องคำนวณ Contrast และ Brightness ก่อน และคำนึงถึงค่า Saturation ด้วย

2. ในการ Inputต้องตรวจสัญญาณให้เป็นขอบขาขึ้นและสั่ง digitize ให้ถ่ายและเลือกถ่ายไปเข้า A/D และเลือกหน่วยความจำ BANK

3. และตรวจสัญญาณถัดมาจะไม่เกิน 20ms แล้วรอสัญญาณนี้เป็น 0 คือถ่ายภาพครบ 1 frame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สั่งให้หยุด digitize ให้ส่งคำสั่งหยุดภาพออก ControlPort

5. การอ่านข้อมูลบนหน่วยความจำ เราอ่านได้ 16 K byte/ครั้ง หรือ 1 PAGE

ขั้นตอนต่างๆสามารถเขียนกระบวนความได้ดังนี้

1. ตรวจสัญญาณของคาร์ดและสแกนหา Address ของ CtrlPort เป็นการตรวจหาพอร์ททั้ง 4 ตำแหน่ง เพื่อดูว่าเป็นคาร์ด DZ-II

2. การสั่งถ่ายภาพ เลือกได้ทั้ง โหมดสีและขาวดำ โดย PROCEDURE Digitize_B&W เป็นการถ่ายภาพ ขาว-ดำ ขนาด 256*256 จุดหน่วยความจำ BANK 0 เพียง BANK เดียว โดยถ่ายแต่ละครั้งจะต้องทำการตรวจสัญญาณเสมอ คือ ถ่ายครบเฟรม

3. การปรับค่าของ Contrast,Brightness และ Saturation ซึ่งเปลี่ยนค่านี้ได้ตั้งแต่ 0-63 ระดับ

4. การอ่านตำแหน่ง Address ของหน่วยความจำบน Card DZ-II

5. การติดต่อกับหน่วยความจำของ DZ-II สำหรับPROCEDURE Read_Y จะอ่านดาต้า จากหน่วยความจำ BANK 0 ที่เก็บข้อมูลของ ภาพขาว-ดำไว้เพียง BANK เดียว ซึ่งจองไว้ 64 K byte

ลักษณะของข้อมูลภาพ

ภาพขาว-ดำที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำ ขนาด 256*256 จุด โดยใช้จำนวนบิททั้งหมด 6 บิทคือ บิท 2 ถึง บิท 7 แบ่งระดับเทาเป็น 0-63 ระดับ และแต่ละจุดจะต้องใช้เนื้อที่ขนาด 1 ไบต์เรียงกันไปในหน่วยความจำขนาด 64K ไบต์ ของ BANK 0 โดยข้อมูลภาพจุดแรกจะอยู่แอดเดรสแรกคือ 0 ถัดมาเป็น 1 เรียงจนจบเป็น 65535 หรือ OFFFFH

2.3.2 ส่วนประมวลผลภาพ ประกอบด้วย เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 386 หรือ 486 และซอฟแวร์ ที่ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

(ก) Image Preprocessing

เป็นส่วนที่ทำการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือให้มีคุณภาพดีขึ้น ได้แก่ Binarization , Noise Reduction ขจัดส่วนที่รบกวน ,Thinning ทำให้เส้นลายนิ้วมือบาง และ ต่อเส้นของลายนิ้วมือให้สมบูรณ์

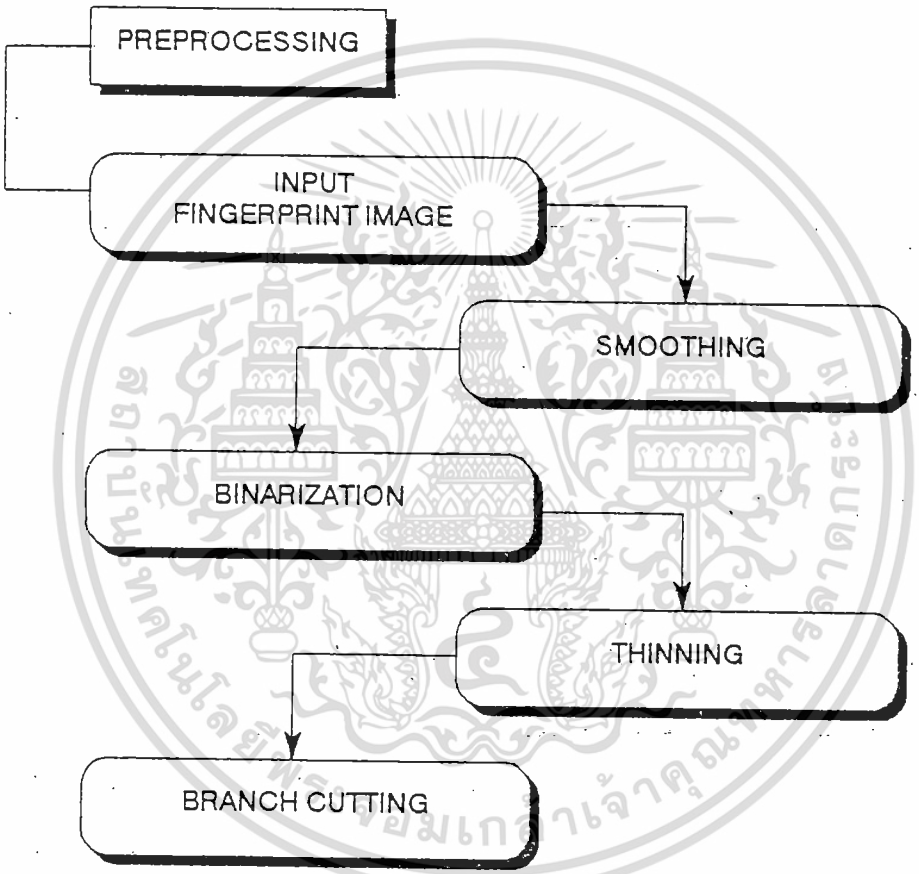
เนื่องจากในปัจจุบันการทำงานของระบบจดจำลายนิ้วมือแบบอัตโนมัติ ส่วนใหญ่จะมีการประมวลผลภาพเป็นแบบดิจิตอล โดยจากขั้นตอนแรกคือการนำภาพเข้ามาโดยการ ใช้อุปกรณ์อินพุทต่างๆ เช่น สแกนเนอร์, กล้องวีดีโอ ฯลฯ ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงคุณสมบัติทางกายภาพ(ระดับความเข้มของแสง) ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

เมื่อแปลงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแล้ว อาจเกิดมีสัญญาณอื่น ๆ มาแทรก หรือ รบกวน(มี Noise

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้น) ทำให้สัญญาณที่ได้ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง ซึ่งจะทำให้เป็น การยากลำบากต่อการที่จะแยกรายละเอียดของภาพลายนิ้วมือออกมาได้ เพราะฉะนั้นควรที่ จะมีกระบวนการทำให้ภาพเหมือนเดิม

กระบวนการดังกล่าวเรียกว่า "Preprocessing" ซึ่งจะเป็นกระบวนการที่ทำให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยมีการขจัดสัญญาณรบกวนออก และ ลดข้อมูลให้มีขนาดที่น้อยลง ขั้นตอนต่างๆ ในการทำ Preprocessing จะประกอบด้วยขั้นตอนดังแผนภาพข้างล่างนี้



รูปที่ 27 แผนภาพขั้นตอนในการทำ Preprocessing

(ก).(1) <u>Smoothing & Noise reduction</u>

ในภาพ (digitized image) ที่ได้มา อาจมีข้อผิดพลาดในบางจุด เนื่องจากเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ การจัดเก็บ (เกิด noise) เช่น ในภาพที่มีพื้นดำ แต่ปรากฏจุด สีขาวบนพื้นที่สีดำนั้น ทั้งๆ ที่ไม่น่าจะมีจุดสีขาวอยู่ที่ตำแหน่งนั้น หรือ ภาพที่มีบางจุดที่มี ความสว่าง หรือ มืด (ในภาพขาว ดำ) แตกต่างจากจุดรอบ ๆข้างมาก เป็นต้น ดังนั้น การที่จะนำภาพไป process ทันที ในบางครั้ง อาจเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาตามมาก็ได้ หรือ อาจมีผลทำให้การ ประมวลผลได้ผลไม่ถูกต้องตามต้องการได้

การ smoothing เป็นเทคนิคในการช่วยลดข้อผิดพลาดเหล่านั้นโดยอาศัย หลักการที่ว่า จุดใดๆในภาพ จะต้องมีความสว่างสัมพันธ์กันรอบๆ(neighboring point) ในการนำไปใช้จริงนั้นสามารถทำได้ หลายวิธี เช่น การเฉลี่ยค่ากับจุดรอบ ๆ(local averaging),การใช้กฎต่างๆ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภาพที่จะกระทำ ว่า ภาพที่เหมาะสมกับวิธีใด เช่น ภาพมีความแตกต่าง 2 ระดับ, ภาพสี

วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้มาก คือ การแทนจุดใด ๆ ใน array ของภาพด้วยค่าเฉลี่ย กับ ค่าของจุดรอบๆสามารถกระทำได้โดย ใช้ filter mask ซึ่งนิยมแบ่ง maskเป็น 2 ชนิดคือ 4 และ 8 จุดรอบ

โดยในแบบ 4 จุดรอบ จะคำนึงถึง จุดที่อยู่ติดกับจุดที่สนใจ ด้านบน,ด้านซ้าย,ด้านขวา และด้านล่าง ส่วนในแบบ 8 จุดรอบ จะสนใจเพิ่มจากแบบ 4 จุดรอบโดยจะสนใจจุดเพิ่มขึ้น คือ บนซ้าย, บนขวา , ล่างซ้าย และ ล่างขวา หรือจะแสดงในระบบคู่ลำดับได้ดังนี้

ในแบบ 4 จุดรอบ (4 neighboring pixel) ถ้าตำแหน่งของจุดคือ (x,y) จุดที่สนใจด้านบน , ด้านล่าง , ด้านซ้าย , ด้านขวา จะมีคู่ลำดับเป็น (x,y-1),(x,y+1), (x-1,y) และ (x+1,y) ตามลำดับ

ส่วนในแบบ 8 จุดรอบ เพิ่ม (x-1,y-1) , (x-1,y+1) , (x+1,y-1), (x+1,y+1) คือจุด บนซ้าย,บนขวา,ล่างซ้าย,ล่างขวา ตามลำดับ

1/32	3/32	1/32
3/32	1/2	3/32
1/32	3/32	1/32

8 neighbors mask

	1/8	
1/8	1/2	1/8
	1/8	

4 neighbors mask

รูปที่ 28 แสดงตำแหน่งของจุดที่จะทำการ smoothing

ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้แสดงตำแหน่งของจุดที่จะทำการ smoothing

วิธีการ smooth โดยการนำ mask ไปทาบบน array ของภาพในทุกๆ จุดจะทำกับจุดใด ให้นำตำแหน่งนั้น ให้ตรงกับตำแหน่งกึ่งกลาง ของ mask (ตำแหน่งที่ขีดเส้นใต้)เสร็จแล้วคำนวณ หาผลรวมของผลคูณ ค่าของจุดกับ weight ของตำแหน่งนั้น (ค่าบน mask คือ weight) ทุก ๆ จุดที่อยู่รอบ ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ถ้าใช้แบบ 4 จุดรอบ ก็ผลรวมของ 5 จุด แต่ถ้าใช้แบบ 8 จุดรอบก็ คือ ผลรวมของ 9 จุด) หลังจากนั้น แทนค่าใน array ตำแหน่งนั้น(ตำแหน่งที่ตรงกับกึ่งกลางของmask)ด้วยค่าผลรวมที่คำนวณได้

8-neighbor points

(x,y) = (x,y)/2 +((x-1,y)+(x+1,y)+(x,y-1)+(x,y+1))*3/2+((x-1,y-1)
+(x+1,y-1)+(x-1,y+1)+(x+1,y+1))/32

4-neighbor points

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

(x,y) คือค่าที่ปรากฏใน array ตำแหน่ง (x,y)

ข้อเสียของการทำ smoothing นี้ อาจทำให้ภาพไม่คมชัด (blur)

(ก).(2) Thinning

เนื่องจากระบบ AFVS ต้องการผลตอบสนองเป็นแบบ Real time แต่ว่าในการทำ Thinning เพื่อหา Tracing ของลายนิ้วมือ จะต้องเสียเวลาในการคำนวนมาก จึงใช้เทคนิคแบบ Fast Algorithm [8,9] มาแทนเพราะใช้เวลาน้อย เมื่อได้ Tracing สมบูรณ์แล้วจึงทำการหาคุณสมบัติทางโทโปโลยี (ตำแหน่งของจุดสำคัญต่าง ๆ) บนลายนิ้วมือ เช่น Ridge , Core , Delta, Branch, Island และ Short line โดยใช้วิธี interaction แล้วทำการคำนวณหากราฟ ซึ่งได้แสดงแบบของลายนิ้วมือออกมา

ภาพที่ใช้สำหรับทำ thinning เป็นภาพไบนารี่ มีเพียงสองระดับเท่านั้น ส่วนมากจะได้มาจากการหาขอบภาพเรียบร้อยแล้ว แต่ขอบภาพยังมีความหนาอยู่ หากนำไปใช้เพื่อการรู้จำรูปแบบจะต้องทำให้ขอบภาพนั้นบางก่อน

วิธีทำ thinning ที่จะกล่าวต่อไปนี้ จะใช้หน้าต่างขนาด 3*3 เลื่อนไปยังจุดที่ต้องการหาแต่ละจุด แล้วใช้หลักการหา คุณสมบัติทางโทโปโลยีของจุดภาพ (Topological Properties) เพื่อแยกแยะว่าจุดภาพนั้นมีความหนาเพียง 1 จุดภาพแล้วหรือยัง หากยังมีความหนาเกิน 1 จุดภาพ จะต้องลบจุดนั้นออก หลังจากนั้นจึงเลื่อนไปยังจุดภาพใหม่โดยใช้วิธีติดตามขอบภาพ (Contour Following) [7] ในขณะเดียวกันจะต้องเก็บสถานะของจุดภาพที่มีความบางเพียง 1 จุดแล้วไว้ เพื่อจะไม่นำมาทำอีก รายละเอียดต่าง ๆ จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

การตรวจเช็คความหนาของจุดภาพ

ภาพที่ผ่านการ thinning แล้วจะมีความหนาของภาพเพียง 1 จุดภาพเท่านั้น ดังนั้นจะต้องมีวิธีการตรวจเช็คที่จุดภาพนั้น ๆ ในที่นี้จะนำหลักการหาคุณสมบัติทางโทโปโลยีของจุดภาพมาใช้ประกอบการตรวจเช็ค โดยกำหนดหน้าต่างขนาด 3*3 ขึ้นมา แล้วกำหนดให้แต่ละจุดภายในภาพแทนด้วยตัวแปรที่มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เพื่อแทนจุดภาพที่เป็นพื้นหรือเนื้อของวัตถุตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X_3	X_2	X_1
X_4	X_0	X_8
X_5	X_6	X_7

รูปที่ 29 แสดงตัวแปรบนหน้าต่างขนาด 3*3

เพื่อให้สามารถแยกแยะจุดภาพให้ชัดเจนขึ้น เราจึงต้องรู้ว่าคุณสมบัติที่สามารถบอกได้ว่าเป็นจุดภาพที่มีความหนาเพียง 1 จุดภาพ โดยดูจากรูปที่ 30 ประกอบ

d	d	d
0	1	0
d	d	d

d	0	d
d	1	d
d	0	d

(a)

1	0	d
0	1	d
d	d	d

d	0	1
d	1	0
d	d	d

d	d	d
0	1	d
1	0	d

d	d	d
d	1	0
d	0	1

(b)

รูปที่ 30 แสดงจุดภาพที่มีความหนาเพียง 1 จุดภาพ (d หมายถึงเป็นอะไรก็ได้)

จากรูปที่ 30(a) หากมี 0 ทั้งสองข้างของจุดภาพที่พิจารณา ไม่ว่าจะเป็นบนล่าง หรือซ้ายขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดนั้นจะมีความหนาของจุดภาพเพียง 1 จุดภาพเท่านั้น การหาคุณสมบัติดังกล่าวสามารถเขียนแทนฟังก์ชั่นได้ดังนี้

$$N_0 = (X_2 + X_8) * (X_4 + X_6)$$

หาก $N_0 = 0$ แสดงว่าจุดนั้นมีความหนาของจุดภาพเพียง 1 จุดภาพ

ส่วนในรูปที่ 30(b) หากมุมใดมุมหนึ่งในสี่มุม มีค่าเป็น 1 และมีส่วนประกอบทั้งสองข้างเป็น 0 แสดงว่าจุดนั้นมีความหนาของจุดภาพเพียง 1 จุดภาพ ซึ่งสามารถเขียนแทนฟังก์ชั่นได้ดังต่อไปนี้

$$N_1 = X_1 + (X_8 + X_2)*2$$
$$N_3 = X_3 + (X_2 + X_4)*2$$
$$N_5 = X_5 + (X_4 + X_6)*2$$
$$N_7 = X_7 + (X_6 + X_8)*2$$

เมื่อ N_1, N_3, N_5 และ N_7 เป็นฟังก์ชั่นที่ใช้สำหรับตรวจเช็คมุม X_1, X_3, X_5 และ X_7 ตามลำดับ

จากทั้ง 4 ฟังก์ชั่น คือ N_1 ถึง N_4 หากมีฟังก์ชันใดฟังก์ชันหนึ่งมีค่าเท่ากับ 1 แล้ว แสดงว่าที่จุดที่พิจารณานั้นมีความหนาของจุดภาพเพียง 1 จุดภาพ

1	1	1
0	1	0
0	0	0

รูปที่ 31 แสดงสัญญาณรบกวนที่ไม่ควรจัดให้เป็นจุดภาพที่มีความหนา 1 จุดภาพ

จากรูปที่ 30(a) จะมีบางกรณีที่รูปแบบเกิดเป็นส่วนเกิน คือมีลักษณะดังรูปที่ 31 ซึ่งไม่สมควรจะจัดให้เป็นจุดภาพที่มีความหนา 1 จุดภาพ วิธีแก้ไขจะต้องหาฟังก์ชั่นที่สามารถแยกส่วนเกินนี้ออกจากกลุ่มของภาพที่มีความหนาของจุดภาพ 1 จุดภาพ ดังนั้นจึงขอยกฟังก์ชั่นที่ได้มีการกำหนดขึ้นมาใช้สำหรับการหาคุณสมบัติทางโทโปโลยีของจุดภาพ [8] คือ Ns เป็นตัวบอกจำนวนครั้งของการเปลี่ยนแปลงของ ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบรอบ ๆ จากค่า 1 ไปเป็น 0 หรือจากค่า 0 ไปเป็น 1 ฟังก์ชั่นนี้เขียนได้ดังนี้

$$Ns = \sum_{k=1}^{8} \left| X_k - X_{k-1} \right|$$

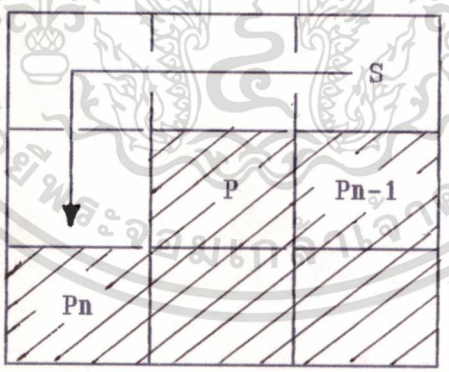
ถ้า Ns=2 แสดงว่าจุดที่พิจารณาเป็นสัญญาณรบกวน และถ้า Ns>2 จุดภาพนั้นจะไม่ใช่สัญญาณรบกวน หากนำเอาฟังก์ชั่นต่าง ๆ ที่กล่าวมานำมาเขียนเป็นเงื่อนไขการตัดสินใจ สามารถเขียนได้ดังนี้

ถ้า (N_1=1 หรือ N_3=1 หรือ N_5=1 หรือ N_7=1 หรือ (N_0=0 และ Ns>2))

แล้ว แสดงว่าจุดภาพนั้นมีความหนาของจุดภาพเท่ากับ 1 จุดภาพ

วิธีการติดตามขอบภาพ

ในที่นี้ได้ใช้วิธีติดตามขอบภาพ เพื่อค้นหาขอบภาพที่ยังไม่ประมวลผล วิธีติดตามขอบภาพนี้จะต้องสแกนทวนเข็มนาฬิกา เพื่อหาขอบภาพ(เปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1) แล้วเปลี่ยนตำแหน่งที่พิจารณาไปที่จุดนั้นๆ ดังรูปที่ 32



รูปที่ 32 แสดงการติดตามหาจุดภาพที่เป็นขอบ

เมื่อ Pn-1 เป็นตำแหน่งของขอบภาพที่ผ่านมา

P เป็นตำแหน่งของขอบภาพที่กำลังพิจารณา

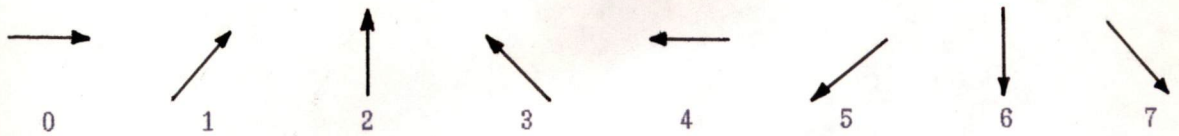
Pn เป็นตำแหน่งของขอบภาพต่อไป

S เป็นตำแหน่งเริ่มต้นค้นหาขอบภาพ

อัลกอริทึมของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ ได้กำหนดให้แต่ละทิศทางเป็นเป็นตัวเลขเหมือนกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

รหัสลูกโซ่ (chain code) [7] แสดง ดังรูปที่ 33



รูปที่ 33 แสดงรหัสลูกโซ่ใช้สำหรับการติดตามขอบภาพ

วิธีการติดตามขอบภาพจะนำรหัสลูกโซ่ในรูปที่ 33 ของทิศทางการติดตามขอบภาพที่ผ่านมา นำไปเปิดตารางเพื่อหาตำแหน่งเริ่มต้นค้นหา (S) ตามรูปที่ 32 รหัสที่ตำแหน่ง S นี้จะมีค่าตั้งแต่ X_1 ไปจนถึง X_8 ตามรูปที่ 30 ตารางที่กล่าวถึงแสดงดังตารางที่ 1

ทิศทางการติดตามขอบภาพที่ผ่านมา	รหัสตำแหน่งเริ่มต้นค้นหาใหม่ (S)
0	X_5
1	X_6
2	X_7
3	X_8
4	X_1
5	X_2
6	X_3
7	X_4

ตารางที่ 1 แสดงการหาตำแหน่งเริ่มต้นค้นหาโดยใช้ตาราง

จะมีอยู่กรณีหนึ่งที่การค้นหาไม่พบขอบภาพเลย กรณีนี้เป็นกรณีของจุดภาพที่พิจารณานี้มีคุณสมบัติเป็นจุดโดดเดี่ยวหรือที่เรียกว่าสัญญาณรบกวน ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจเช็คในเงื่อนไขนี้ด้วย โดยหากเกิดกรณีนี้ขึ้น จะต้องออกจากขั้นตอนการทำ thinning ในช่วงนั้นก่อน

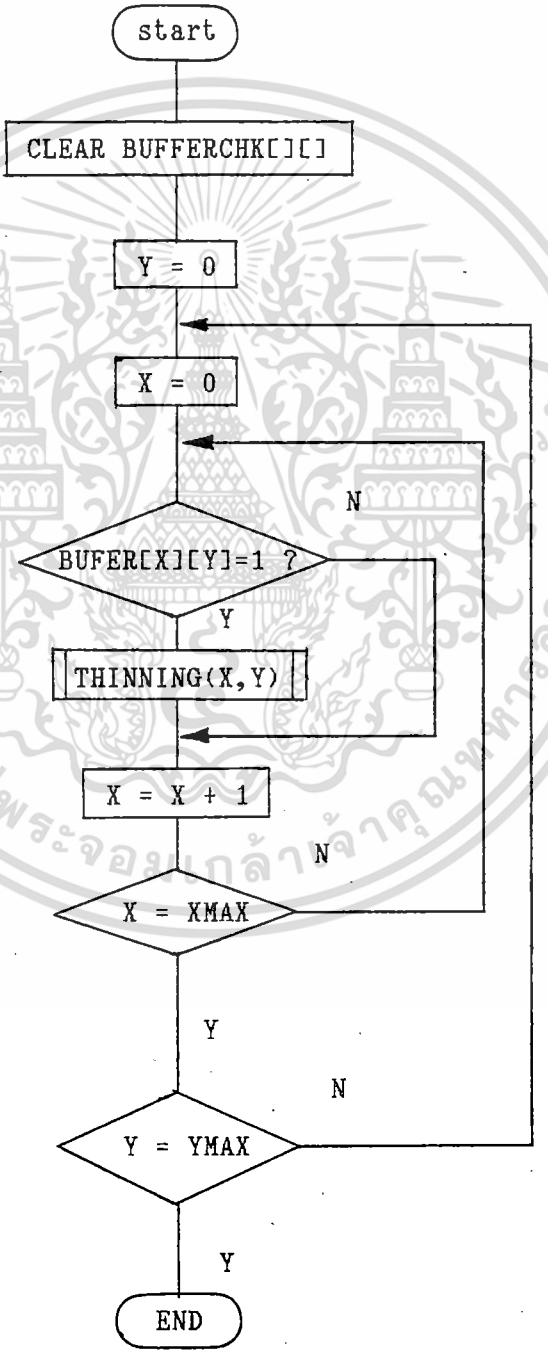
อัลกอริทึมสำหรับการ thinning

อัลกอริทึมการ thinning นี้นำเอาขั้นตอนในหัวข้อที่กล่าวมาแล้วมารวมเข้าอย่างเป็น ขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

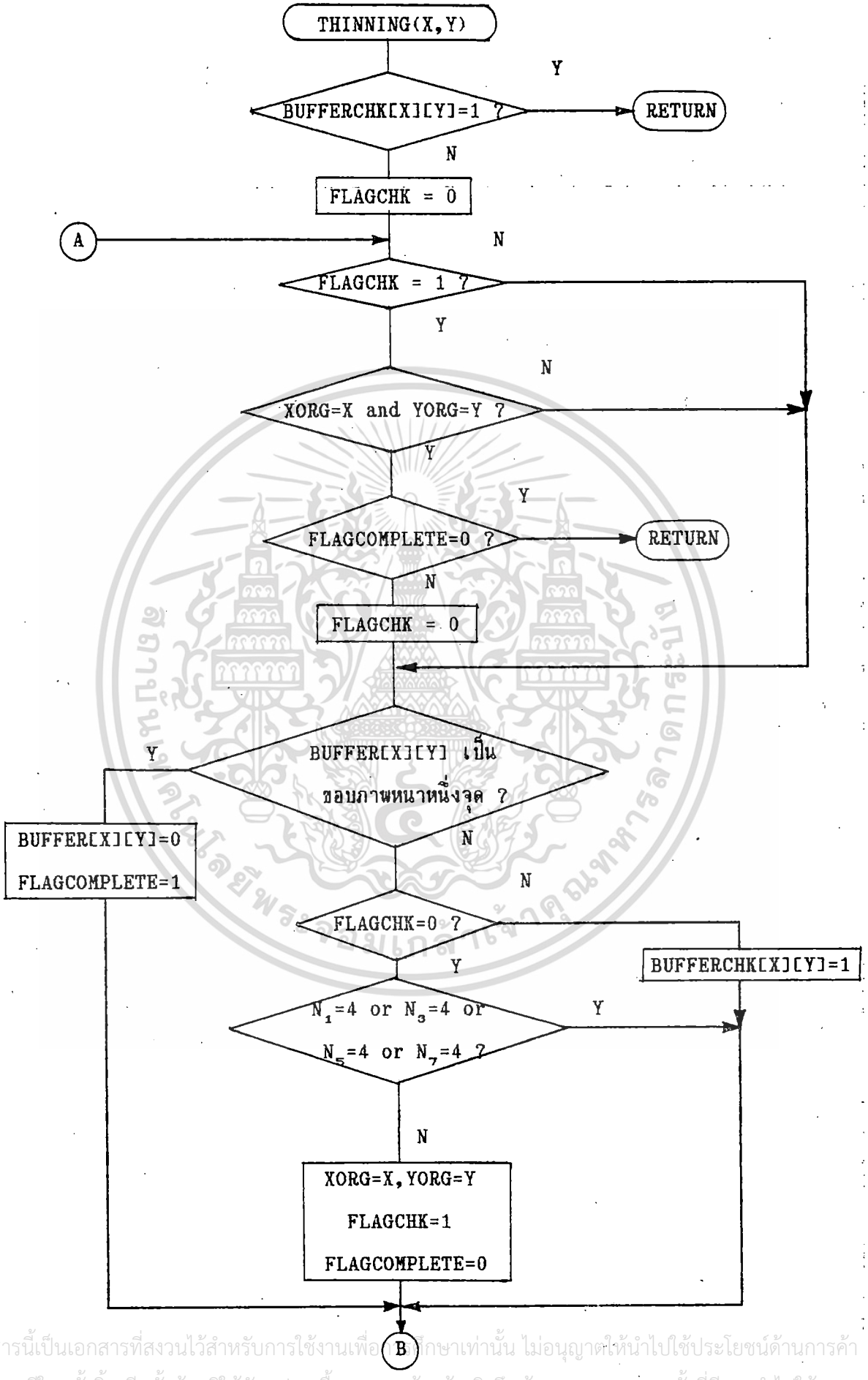
ทำให้การทำงานได้รวดเร็วขั้นตอนการทำ thinning แสดงดังรูปที่ 31 และ 32 โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นแรกจะเป็นวิธีการสแกนจุดภาพจากบนลงล่างและซ้ายไปขวาทีละจุด โดยในแต่ละรอบของการสแกนก็จะนำเอาตำแหน่งแนวตั้งและแนวนอนส่งไปให้โปรแกรมในขั้นตอนที่ 2 อีกทีหนึ่ง

ที่เก็บข้อมูลภาพจะอยู่ใน array ชื่อ BUFFER ส่วน array ที่มีชื่อ BUFFERCHK ใช้สำหรับเก็บขอบภาพที่มีความหนาเพียง 1 จุดภาพ เพื่อใช้ตรวจเช็คจุดภาพที่ผ่านการประมวลผลแล้ว จึงไม่มีการทำงานซ้ำ การทำงานจึงมีความรวดเร็ว

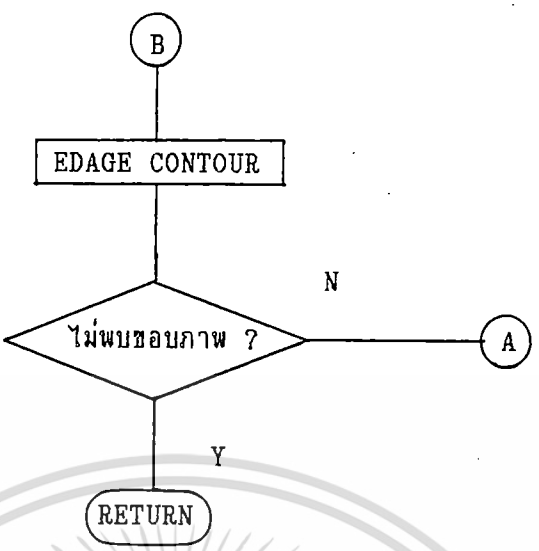


รูปที่ 34 แสดงวิธีสแกนในขั้นตอนแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

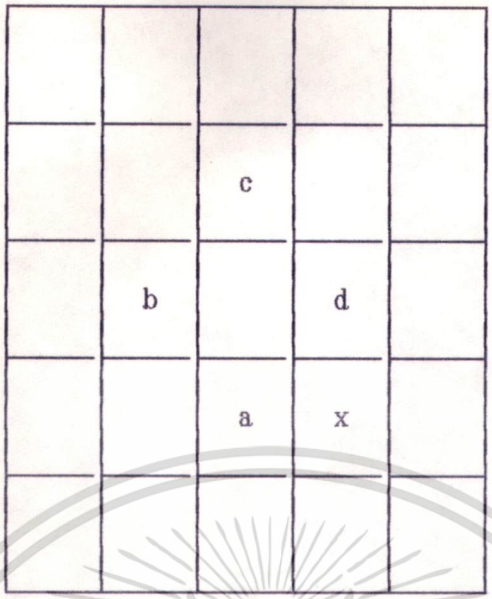


รูปที่ 35 แสดงอัลกอริทึม thinning ในขั้นตอนที่ 2

ในรูปที่ 35 เป็นอัลกอริทึม thinning จะเริ่มจากการตรวจเช็คว่า จุดภาพที่จะทำการประมวลผลเป็นขอบภาพที่มีความหนา 1 จุดภาพใช่หรือไม่ หากใช่ให้กลับไปที่ขั้นตอนที่ 1 แต่หากไม่ใช่ก็จะลงมาทำการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปร FLAGCHK ให้เท่ากับ 0 ตัวแปรนี้ใช้สำหรับเป็นตัวบอกว่าได้เก็บตำแหน่ง X และ Y เริ่มต้น (XORG และ YORG) ซึ่งตำแหน่งนี้ ขอบภาพจะมีความหนา 1 จุดภาพ ในขั้นตอนถัดไป จะตรวจสอบ FLAGCHK ว่าถูกเซตหรือยัง หากเซตแล้วก็จะไปตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น XORG และ YORG ที่เก็บไว้ว่าตรงกับตำแหน่งที่ทำปัจจุบันหรือไม่ หากตรงแล้วแสดงว่าการติดตามขอบภาพได้วนมาครบรอบแล้ว จากนั้นก็จะตรวจสอบ FLAGCOMPLETE ว่ายังคงเป็น 0 อยู่หรือเปล่า ถ้ายังคงเป็น 0 อยู่แสดงว่าขอบภาพที่วนมาครบรอบนี้มีความหนาเท่ากับ 1 หมดทุกจุด จึงหยุดแล้วกลับไปที่ ขั้นตอนที่ 1 และหาก FLAGCOMPLETE ถูกเซตเป็น 1 แสดงว่าขอบภาพเหล่านี้ ยังมีบางขอบภาพที่มีความหนาไม่เท่ากับ 1 จุด จึงต้องเซต FLAGCHK ให้เป็น 1 ให้มันเริ่มวนรอบขอบภาพใหม่อีกครั้ง

ขั้นถัดไปเป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลที่อยู่ใน BUFFER ตำแหน่งปัจจุบันว่ามีความหนาเท่ากับ 1 ใช่หรือไม่ หากไม่ใช่ก็จะเคลียร์จุดภาพนั้นให้เป็น 0 และเซต FLAGCOMPLETE แต่ถ้าหากใช่ก็จะต้องตรวจสอบ FLAGCHK ว่าเป็น 0 หรือไม่ ถ้าหากไม่ใช่ 0 แล้วจะต้องไปเซตข้อมูลใน BUFFERCHK ให้เป็น 1 แสดงว่าจุดนี้มีความหนาเท่ากับ 1 จุดแล้ว ถ้าหากการตรวจสอบ FLAGCHK มีค่าเป็น 0 แล้วแสดงว่ายังไม่มีการเก็บตำแหน่งเริ่มต้น มันก็จะเก็บตำแหน่งนี้ไว้ใน XORG และ YORG จากนั้นก็เซต FLAGCHK ให้เป็น 1 ไว้ แต่เนื่องจากวิธีการติดตามขอบภาพดังที่กล่าวมาแล้ว มีบางเงื่อนไขที่เมื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นแล้ว แต่มันไม่สามารถจะวนกลับมายังตำแหน่งเดิมได้ เพื่อให้เข้าใจยิ่งขึ้นจึงขอให้ ดูรูปที่ 35 ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 36 แสดงกรณีที่การติดตามขอบภาพไม่สามารถกลับมาอยู่ในตำแหน่งเดิมได้

จากรูปที่ 36 กำหนดให้ช่องที่มีอักษรมีข้อมูลภาพอยู่ ส่วนช่องว่างจะไม่มีข้อมูลภาพอยู่ ให้ตำแหน่งเริ่มต้นอยู่ที่ x การติดตามขอบภาพจะวิ่งจาก x -> a -> b -> c -> d และจะไปที่ a ไม่ไปที่ x ดังนั้นมันจึงวนไม่มีที่สิ้นสุด การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยเพิ่มการตรวจเช็คก่อนที่จะเก็บตำแหน่งเริ่มต้น การตรวจเช็คจะต้องหาฟังก์ชั่นที่สามารถตรวจจับเงื่อนไขดังกล่าวได้ เงื่อนไขนี้จะเป็นดังรูปที่ 37

0	1	d
1	1	d
d	d	d

(ก)

d	1	0
d	1	1
d	d	d

(ข)

d	d	d
1	1	d
0	1	d

(ค)

d	d	d
d	1	1
d	1	0

(ง)

รูปที่ 37 แสดงเงื่อนไขที่ทำให้ไม่สามารถกลับมาที่ตำแหน่งเริ่มต้นได้ (d หมายถึงเป็นอะไรก็ได้)

จากฟังก์ชั่น N_1, N_3, N_5 และ N_7 ค่าเหล่านี้สามารถใช้ตรวจเช็คเงื่อนไขในรูปที่ 37ได้โดย หากค่าใดมีค่าหนึ่งเท่ากับ 4 แล้ว จะเข้ากับเงื่อนไขดังกล่าวทันที ดังนั้นจึงสามารถนำค่าเหล่านี้มาใช้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอบก่อนการเก็บตำแหน่งเริ่มต้น ได้ ดังรูปที่ 35

หลังจากการทำขั้นตอนที่กล่าวที่กล่าวในรูปที่ 35 ขั้นต่อไปเป็นการติดตามขอบภาพ และถ้าหากพบว่าเมื่อวนแล้วไม่พบขอบภาพ แสดงว่าจุดที่พิจารณานี้เป็นจุดโดดเดี่ยว ไม่สามารถทำต่อไปได้ให้กลับไปทำขั้นตอนที่หนึ่ง แต่ถ้าหากวนแล้วพบขอบภาพ จะกระโดดไปเริ่มทำการประมวลผลที่ตำแหน่งข้อมูลภาพใหม่ดูรูปที่ 37(ก)

(ก).(3) Cutbranch

หลังจากได้ภาพโครงร่าง เราต้องมีการทำตัด เส้นกิ่งสั้น ๆ ที่ไม่ใช่ส่วนของลายนิ้วมือ ที่อาจเกิด เพราะ วิธีการถ่ายภาพ หรือ อื่น ๆ โดย จะ scan หาจุดปลายของ เส้นใดๆ แล้วไล่ตามเส้นนั้นจนถึงจุดที่เป็น จุดแยก หรือ จุดตัด ซึ่งจะมีการนับจำนวนจุดที่ไล่นั้น ถ้ามีเกินค่าที่กำหนดค่าหนึ่ง (หาความยาวของกิ่ง) เพราะ กิ่งที่เป็นข้อผิดพลาดนี้ จะเป็นกิ่งที่มีลักษณะยาวไม่มาก ในการใช้งาน เราอาศัย window เหมือนกับในการทำให้บาง (thinning) ซึ่งมีประโยชน์มากหลังจากทำ thinning เสร็จแล้ว ซึ่งจะทำให้ภาพคมชัดมากขึ้น

algorithm ในการตัดกิ่งส่วนที่เกินออก

/* scan หาจุดดำที่มี จุดรอบๆอีกแค่จุดเดียว(จุดปลาย) */

(1) หาผลรวมของ $X_0+X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7$ ถ้าเป็น 1 แสดงว่าเป็นจุดปลาย

(2) ถ้าไม่เป็นจุดปลาย ให้ไปทำจุดต่อไป

/* เมื่อพบจุดปลาย */

(3) จำตำแหน่งปัจจุบัน,ตั้งค่าตัวนับเป็น 1

(4) เลื่อน window ไปตำแหน่งจุดที่ติดกันนั้น พร้อมทั้งเพิ่มค่าตัวนับ (เลื่อนไปตามกิ่ง)

/* หาจุดที่ไม่เป็นจุดต่อ */

(5) หาผลรวมของ $X_0+X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7$

ถ้าเป็น 2 แสดงว่าเป็นจุดต่อ ไปทำ step 8

(6) ถ้าไม่เป็นจุดต่อ ตรวจว่า ถ้าค่าตัวนับยังไม่ถึงค่าที่กำหนด ให้กลับไปทำ step 4

(7) ถ้าไม่เป็นจุดต่อ แต่ค่าตัวนับมีค่าถึงที่กำหนด แสดงว่าไม่เป็นกิ่ง ให้หาจุดปลายอันต่อไป

/* ลบกิ่งที่ต้องการจะลบ */

(8) เลื่อน window ไปตำแหน่งที่จำไว้ในข้อ 3

(9) เปลี่ยนจุดนั้นให้เป็นจุดขาว พร้อมทั้งลดค่าตัวนับลง 1

(10) ถ้าค่าตัวนับมีค่าถึง 0 แสดงว่าลบกิ่งเสร็จ ให้ไปหาจุดปลายอันต่อไป

(11) เลื่อน window ไปตำแหน่งที่ติดกันนั้น แล้วกลับไปทำ step 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) Feature Extraction

(ข).(1) การบันทึกจุดสำคัญ

โปรแกรมส่วนนี้จะทำการค้นหาจุดสำคัญของลายนิ้วมือ อันได้แก่ core, delta, island,.. เป็นต้นแล้วทำการบันทึกตำแหน่งเหล่านั้นไว้ในฐานข้อมูล การค้นหาจุดสำคัญนี้จะทำในลักษณะinteraction คือให้คนทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ โดยการใช้เมาส์เลื่อน cursor ไปมาแล้วคลิ๊กทำเครื่องหมายจุดสำคัญนั้นพร้อมกับป้อนแบบของจุดสำคัญนั้นทางคีย์บอร์ด โดยโปรแกรมจะทำการเก็บตำแหน่งพิกัด x,y และแบบของจุดลงไปยังฐานข้อมูล เพื่อไว้ใช้เปรียบเทียบกับ unknown อินพุทของลายนิ้วมือที่จะป้อนเข้ามาต่อไป

(ข).(2) วิธีการสร้างกราฟแสดงแบบลายนิ้วมือ

ในการหาตำแหน่งจุดสำคัญบนลายนิ้วมือจำเป็นต้องทำให้ภาพนั้นคมชัดโดยสมบูรณ์ก่อนโดยวิธีการตามข้อ(ก).(2)และ ข้อ(ก).(3) เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนต่อไปนี้เป็นการสร้างกราฟทิศทางบนลายนิ้วมือโดยดึงความเข้มของลายเส้นตามทิศทางเฉลี่ยไปบนแกน x และแกน y ดังนี้

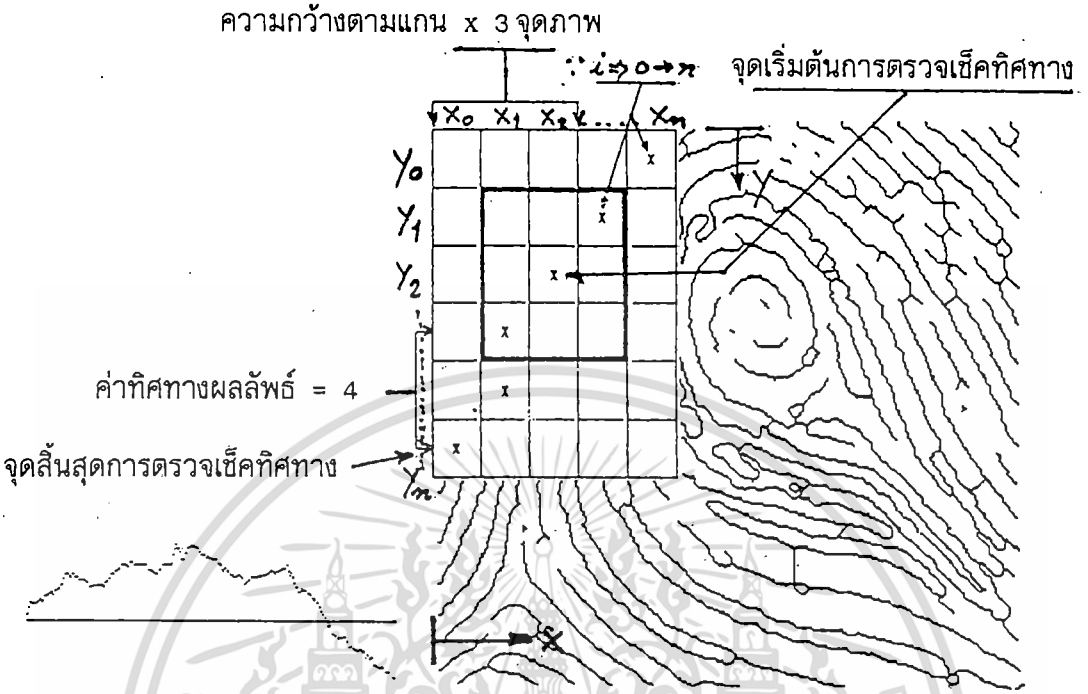
อ่านและตรวจสอบทิศทาง แต่ละแนวตามแกน x และแกน y ใช้การตรวจสอบทิศทางของหน้าต่างขนาด 3*3 ครอบไปยังจุดที่ต้องการตรวจสอบแล้วใช้การติดตามขอบภาพ วนตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกา โดยกำหนดความกว้างของพื้นที่ติดตามขนาด 3 จุดภาพ เมื่อเริ่มติดตามจะอยู่ด้านขวามือ เมื่อกำหนดความกว้างตามแนวแกน x และอยู่ทางด้านล่างเมื่อกำหนดความกว้างตามแนวแกน y เมื่อได้ทิศทางของแต่ละเส้นตามแนวแกนทั้ง 2 นำค่าของทิศทางแต่ละแนวมาเฉลี่ย ค่าที่ได้จะเป็นค่าทิศทางที่จุดตามแนวแกนนั้น ส่วนทิศทางเฉลี่ยรวม เป็นผลรวมเฉลี่ยของแต่ละแนวแกนแล้วหารด้วยจำนวนจุดทุกแนวแกน ดังนั้นจะได้สมการดังนี้

$$\text{ทิศทางเฉลี่ยตามแนวแกน } x_i = \frac{\text{ค่าทิศทางผลลัพธ์ของจุดที่เป็น"1"ตามแนวแกน } y}{\text{จำนวนจุดที่เป็น"1" ตามแนวแกน } y}$$

$$\text{ทิศทางเฉลี่ยตามแนวแกน } y_i = \frac{\text{ค่าทิศทางผลลัพธ์ของจุดที่เป็น"1"ตามแนวแกน } x}{\text{จำนวนจุดที่เป็น"1" ตามแนวแกน } x}$$

$$\text{ทิศทางเฉลี่ยรวม}_i = \frac{\text{ทิศทางเฉลี่ยตามแนวแกน } x_i + \text{ทิศทางเฉลี่ยตามแนวแกน } y_i}{n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 38 ภาพแสดงการอ่านและตรวจสอบทิศทางตามแกน x และแกน y

(ข).(3) ฮิสโตรแกรม (Histogram)

เป็น การทดสอบอีกวิธีหนึ่งที่จะนำมาใช้เทียบได้ระหว่างลายนิ้วมือที่ทดสอบกับลายนิ้วมือในฐานข้อมูล ซึ่งอาจตรวจดูภายหลังจากวิธีการที่กล่าวมาแล้ว โดยแสดงออกดังนี้

(ข).(3.1) การใช้ฮิสโตรแกรมแบบ gray-frequency level

(1) แสดง histogram บนเส้นกราฟระหว่าง ความถี่กับgray level พร้อมทั้งแสดงภาพออกมาเป็น 2 มิติ(two-dimension) และทั้งบอกค่าสูงสุด(maximum) และ ค่าต่ำสุด(minimum) ของ gray scale แต่ละภาพและเก็บไว้พร้อมกับภาพดั้งเดิม

(2) ทดสอบและเปรียบเทียบ โดยดึงลายนิ้วมือที่สงสัยนำมาตรวจสอบ กับ ลายนิ้วมือเดิมซึ่งเก็บไว้เป็นมาตรฐาน โดยดูลักษณะลายเส้นตรงกันหรือไม่, ค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุด ว่าใกล้เคียงกันหรือเปล่า ถ้าได้ histogram เหมือนกันแสดงว่าอาจเป็นลายนิ้วมือเดียวกัน จากนั้นตรวจสอบกราฟแต่ละประเภท ว่าเป็นแบบไหนและนำไปตรวจจุดสำคัญ โดยใช้เทคนิคการตรวจสอบจากที่กล่าวมาแล้ว และนอกจากนี้ยังอาจใช้ Histogram ในการปรับปรุงภาพได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข).(3.1.1) การปรับปรุงภาพโดยใช้วิธีการของ Histogram

หลักการ

กำหนดให้ r เป็นระดับความเข้มตั้งแต่ ขาว ถึง ดำ โดยที่

$$0 <= r <= 1$$

r=0 แสดงค่าสีดำสนิท

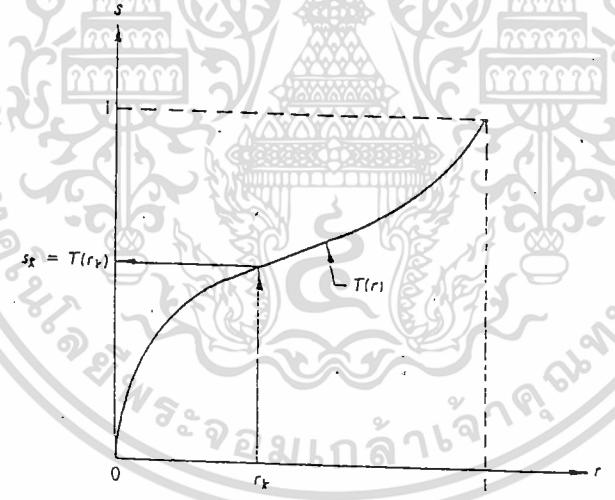
r=1 แสดงค่าสีขาว

และ สำหรับค่า r ใด ๆ เรากำหนดสมการ

$$s = T(r)$$

โดยที่ T เป็น Tranformation function

s คือ ค่าความเข้มที่ปรับปรุงแล้ว โดยผ่าน Tranformation function และ Inverse tranformation จาก s ไป r คือ $r = T^{-1}(s)$



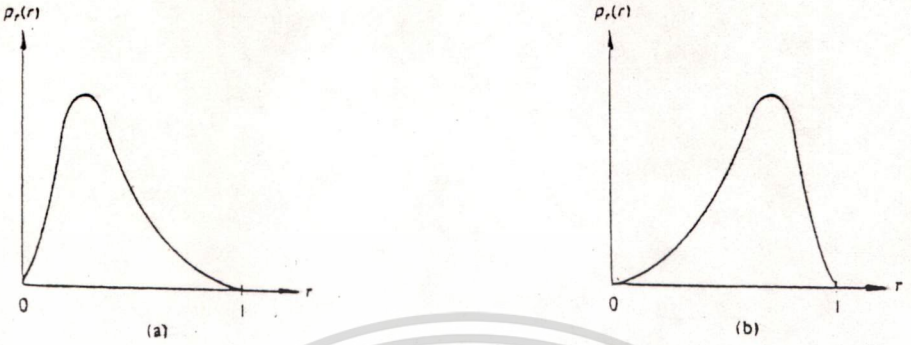
รูปที่ 39 การส่งผ่านฟังก์ชันของ หนึ่ง gray-level

ค่าของภาพดั้งเดิม และ ภาพที่ทำการแปลงแล้ว สามารถบอกคุณสมบัติ ได้โดย $P_r(r)$ และ $P_s(s)$ ซึ่งเป็นตัวบอกถึง ความหนาแน่นของระดับสีเทา เช่น ความสัมพันธ์ของ $P_r(r)$,$P_s(s)$ และ T_r คือ

$$P_s(s) = p_r(r)\, dr/ds \qquad \{ r=T^{-1}(s) \}$$

ดังนั้นวิธีการปรับปรุงภาพโดย Histogram นั้น อาศัยพื้นฐานของ การควบคุมความหนาแน่นของprobability ของระดับสีเทา ก็โดยการใช้ transformation function T(r)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการแสวงหาผลประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) ภาพค่อนข้างมืด (b) ภาพค่อนข้างสว่าง

รูปที่ 40 ความหนาแน่นที่เป็นไปได้ของฟังก์ชันในระดับ gray

(ข).(3.1.2) Histogram Equalization

กำหนด function

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(w)\,dw \quad \text{เมื่อ} \quad 0 <= r <= 1$$

$P_r(w)\,dw$ เรียกว่า Cumulative distribution function (CDF) ในการประมวลผลแบบไม่ต่อเนื่อง ค่า probability หาได้โดย

$$P_r(r_k) = n_k/n$$

โดยที่ $0 <= r_k <= 1$

$k=0,1,\ldots,L-1$

L เป็นจำนวนของ Level ทั้งหมด

$P_r(r_k)$ เป็น probability ของระดับ k^{th} grey level

n_k เป็น จำนวนครั้งที่ระดับนั้นปรากฏในภาพ image

ค่า Transformation function สามารถเขียนได้เป็น

$$s_k = T(r_k) = n_j/n$$
$$= P_r(r_j)$$

โดยที่ $0 <= r_k <= 1$

$k = 0,1,\ldots,L-1$

และ inverse tranformation คือ

$$r_k = T^{-1}(s_k) \quad ; \quad 0 <= s_k <= 1$$

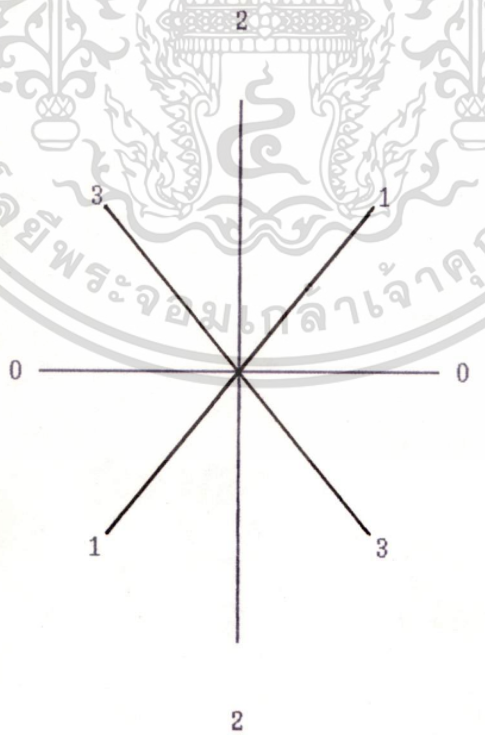
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข).(3.2) การใช้ฮิสโตรแกรมของทิศทาง

เราได้ทำการค้นหาทิศทางของเส้นของสัน(ridge) ในลายพิมพ์นิ้วมือ เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาอัลกอลิทึมสำหรับหาทิศทางโดย การค้นหาคำนวณทิศทางโครงสร้างที่สำคัญของลายเส้นของสัน(ridge) โดยลายเส้น นั้นจะถูกอ่านเข้ามาเป็นระดับของสีเทาของกราฟิก จากนั้นเราจะทำการเปรียบเทียบระดับเทาจากตำแหน่งในแต่ละจุด โดยที่ตำแหน่งใดของจุดที่มีความแตกต่างน้อยที่สุดของระดับเทาของภาพจะถูกบันทึกไว้พร้อมกับทิศทางของมัน เราจะกำหนดเส้นทางออกเป็น 4 ทิศทาง ดังนั้น จึงเป็นการทำให้รูปภาพของสันในลายพิมพ์นิ้วมือมีความเป็นระเบียบของทิศทางมากขึ้น และ สามารถที่จะกำหนดตำแหน่งที่สำคัญของลายนิ้วมือโดยอัตโนมัติได้ง่ายขึ้นด้วย

(ข).(3.2.1) วิธีการคิดค้นหาทิศทางเดินของจุด

ถ้าให้ D เป็นทิศทางของจุด (pixel) ระดับสีเทาในภาพ G (ขนาด g*g) และ ลายพิมพ์นิ้วมือนั้นประกอบไปด้วย ทางเดินของจุดที่ทำให้เกิด เป็น สันและร่อง ดังนั้นทิศทางของแต่ละจุดจะแทนทิศทางของสันด้วย ในแต่ละจุดของจะมีทิศทาง D(i,j) ที่จุด (i,j) โดยให้ d เป็นตัวเลขบอกทิศทางที่เลือกใช้ และ N เป็นจำนวนของทิศทางที่ใช้ เมื่อให้ที่ N มีค่า เท่ากับ 4 ดังนั้น ทิศทางจะมีได้เพียง 4 ทิศทางเท่านั้น ดังรูปภาพที่ (41) คือ



รูปที่ 41 แสดงทิศทางที่เป็นไปได้ 4 ทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ M เป็นจำนวนจุด (pixel) ที่ถูกใช้ในการคำนวณ

S_d คือ ผลรวมของความถี่ของความแตกต่างของระดับสีเทาตามทิศทางของd โดยมีการเปรียบเทียบกันระหว่างจุด ถ้าในจุดที่อยู่ใกล้เคียงกัน มีระดับความเข้มที่เหมือนกัน หรือใกล้เคียงกันก็แสดง ได้ว่ามีทิศทางไปทางเดียวกัน

ดังนั้น Sd ในทิศทางใดที่มีค่าน้อยจะแสดงทางเดินของจุดสัน หรือ ร่องในทิศทาง d นั้น

ค่า Sd ทั้งหมดจึงเปรียบเสมือนเป็นฮิสโตรแกรมที่แสดงความ เป็นไปได้ของทิศทางต่างๆ นั่นเอง

$$S_d = \sum_{m=0}^{M-1} \left| G(i_m, j_m) - G(i,j) \right| \quad \text{สำหรับ } d=1..N$$

จากการกำหนดจุดที่ G(i,j) แล้วนั้นทำการเปรียบเทียบกับจุด G (i_m,j_m) ที่เป็นค่าของระดับสีเทาในแต่ละสัน ถ้าผลของความแตกต่างระหว่างระดับสีเทาของจุด G(i,j) กับจุด G(i_m,j_m) มีความแตกต่างกันน้อยมากหรือใกล้เคียงกัน ทางเดินของจุดนั้นๆ จะแสดงทิศทางของสันนั่นเองดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณหา S_0 ถึง S_3 เพื่อจะเลือกว่าสันควรจะเป็นทิศทางใดในค่าของ d แล้วจึงนำมาพล็อตลงเป็นรูปแสดงทิศทาง อีกรูปหนึ่ง เราจะทำการเปรียบเทียบ M จุดในแต่ละทิศทางของ d ในที่นี้เราให้ค่าของ M มีค่า เท่ากับ 8 โดยคิดรวมกับจุด G(i,j) ด้วย เมื่อแบ่งภาพให้เป็นบล็อกๆก็จะทำการหาทิศทางของแต่ละบล็อก (b_g*b_g) แทนการหาทิศทางของแต่ละจุด เพื่อลดการประมวลภาพให้น้อยลงจาก g*g รอบเหลือเป็น (g/b_g*g/b_g) รอบ การกำหนดขนาดของบล็อก ถ้าขนาดของบล็อกใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องขึ้นกับลักษณะเฉพาะภายในขอบเขตนั้น คือการไม่ต่อเนื่อง ของทิศทาง ถ้าขนาดของบล็อกเล็กเกินไปจะทำให้ทิศทางของแต่ละจุดเหล่านี้มี ความสม่ำเสมอไม่มีทิศทางที่เด่นชัดของ แต่ละบล็อก จำนวน N ของทิศทาง และจำนวนของจุด M จะถูกพิจารณาสำหรับการคำนวณของทิศทาง ที่มีความสัมพันธ์กัน ค่าส่วนใหญ่สำหรับ N ควรมีความสัมพันธ์กับ M เพราะเป็นค่า สำหรับที่จะใช้คำนวณการแทนทิศทางในการทดลองของเรา การเลือก N=4 พบว่ามีความเหมาะสมดี ถ้าเลือกค่าที่สูงกว่า 4 พบว่าจะต้องการคำนวณที่ เพิ่มขึ้นมากในแต่ละรอบ แต่ผลที่ได้ยังคงมีลักษณะ ใกล้เคียงกับ N = 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข).(3.2.2) ขั้นตอนการทดลอง

รูปที่ 42 แสดงขั้นตอนการทดลอง

การทดลองโดยใช้ภาษา C บน 486 เริ่มต้นจากการเรียกรูปภาพขึ้นมา ต่อจากนั้นก็ทำให้ภาพแสดงออกทางหน้าจอ โดยจะทำการดึงภาพ เข้ามาในขนาด (256*256) แล้วทำให้ภาพนั้นแบ่งเป็นระดับของสีเทา โดยจะเริ่มจากดำจนไปถึงขาวตามความเข้มของภาพที่ถูกอ่านเข้ามา ต่อจากนั้นก็แบ่งภาพออกเป็นบล็อกขนาด (16*16) แล้วหาทิศทางของแต่ละบล็อก โดยทิศทางนั้น จะถูกกำหนดเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 ทิศทาง ตามรูปที่ (41) การกำหนดทิศทางว่าควรจะอยู่ทางทิศใด จะทำการเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดทุกๆ จุดในแต่ละบล็อกนั้นๆ โดยดูจากผลของการลบกันระหว่างจุดในระดับของสีเทาในภาพ ถ้าผลต่างกัน ระหว่างจุดมีความแตกต่างกันน้อยที่สุดก็แสดงทิศทาง ว่าควรจะไปในทิศทางใดใน 1 ถึง 4 ทิศ ต่อจากนั้นก็ให้ทำในแต่ละบล็อก จนครบทั้งภาพ ก็จะได้รูปลายพิมพ์นิ้วมือที่มีทิศทางที่เป็นระเบียบเพียง 4 ทิศทางเท่านั้น

(ข).(3.2.3) ผลที่ได้

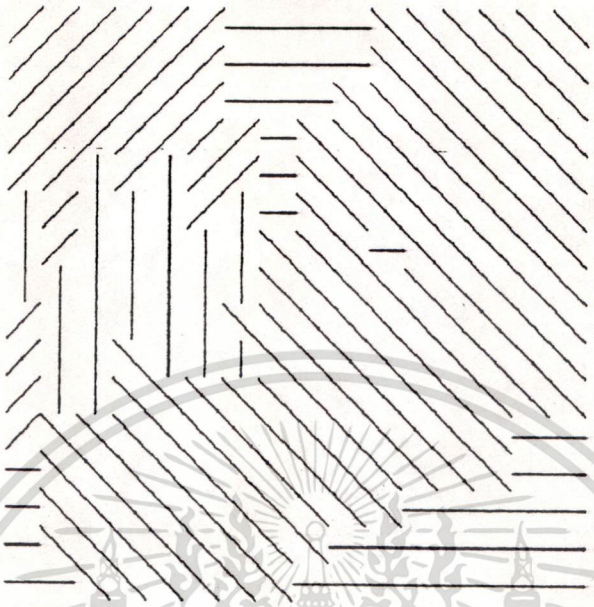
รูปที่ 43 เป็นรูปลายพิมพ์นิ้วมือที่เรียกว่า " มัดหวายปัดขวา "

รูปที่ 44 เป็นรูปของทิศทางของบล็อกที่ได้จากการคำนวนหาฮิสโตรแกรมทิศทางของบล็อก จะเห็นว่า ในรูปจะมีทิศทางอยู่เพียง 4 ทิศทางเท่านั้น

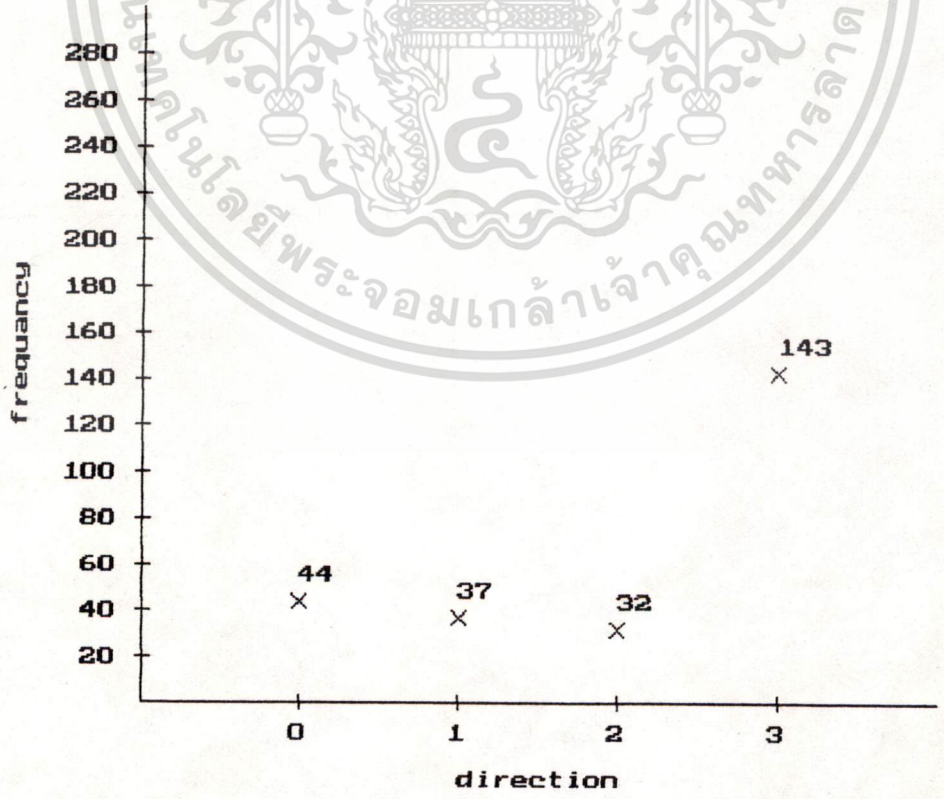
และรูปที่ 45 เป็นรูปของกราฟซึ่งแสดงความถี่ของทิศทางของบล็อกของรูปที่ (43) เราอาจจะจำแนกลักษณะลายพิมพ์นิ้วมือออกอย่างหยาบ ได้จากรูปความถี่ของทิศทางนี้ เช่น ในกรณีของ รูปที่(43) นั้น จะเห็นได้ว่าความถี่ของทิศทางที่ 3 มีปริมาณค่อนข้างมากดังนั้นก็อาจจะเป็น ลายเส้นสันของมัดหวายปัดขวาก็ได้

รูปที่ 43 แสดงรูปลายพิมพ์นิ้วมือมัดหวายปัดขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 44 แสดงภาพทิศทางที่ได้จากฮิสโตรแกรมทิศทาง



รูปที่ 45 แสดงรูปกราฟความถี่ของทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข).(3.3.4) ประโยชน์ในการหาทิศทางจากฮิสโตรแกรมคำนวณทิศทางนี้

(1) ทำให้ความละเอียดของลายพิมพ์นิ้วมือมีความละเอียดน้อยลง,ช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อน และทำให้มีทิศทางที่เป็นระเบียบมากขึ้น จึงเป็นการง่ายในการกำหนดเงื่อนไข และ ง่ายต่อการพิจารณาลักษณะเด่นของสัน (ridge)ในการหาจุดที่สำคัญของลายพิมพ์นิ้วมือ

(2) รูปทิศทางนี้ได้ เป็นพื้นฐานเบื้องต้นในการค้นหาตำแหน่งที่สำคัญของลายพิมพ์นิ้วมือเช่น core , deltaฯลฯ ต่อไป

(3) สามารถที่จะจำแนกประเภทของลายพิมพ์นิ้วมือได้อย่างคร่าวๆ โดยใช้การสังเกต จากกราฟความถี่ของทิศทาง

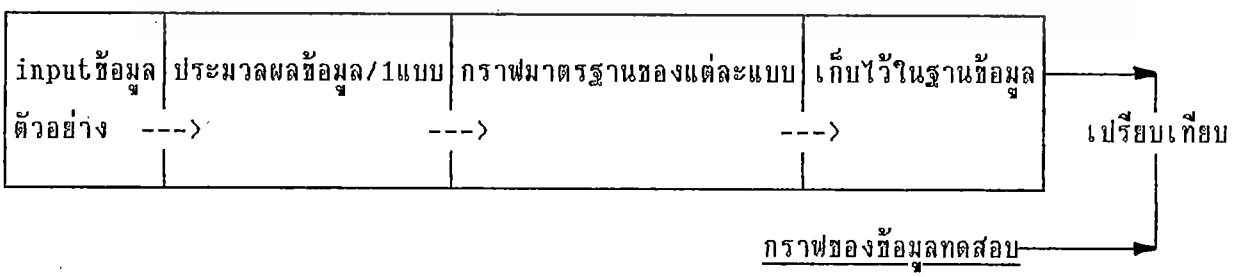
(ค) Type recognition

เป็น การจดจำแบบของลายนิ้วมือซึ่งแบ่งออกเป็น 12 แบบ โดยการเก็บข้อมูลตัวอย่าง ตามแบบต่างๆที่ได้อธิบายมาแล้ว โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) สร้างแบบมาตรฐานโดยการสร้างกราฟเฉลี่ย จากวิธีการทับซ้อนกัน ของ กราฟระหว่างภาคตัดขวางตามแกน x และแกน y บนลายนิ้วมือของบุคคลต่างๆในแบบหรือกลุ่มเดียวกัน โดยใช้เทคนิคตาม (ข).(2)

(2) เผื่อเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไว้บนกราฟมาตรฐานนั้น

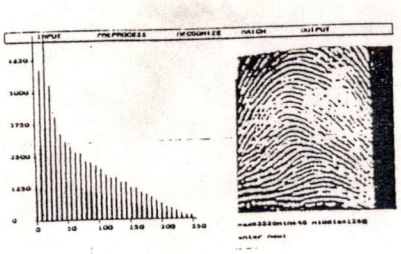
(3) เก็บมาตรฐานกราฟของแบบต่างๆไว้ในฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการทดสอบเมื่อมีข้อมูลที่ต้องการเปรียบเทียบเข้ามา

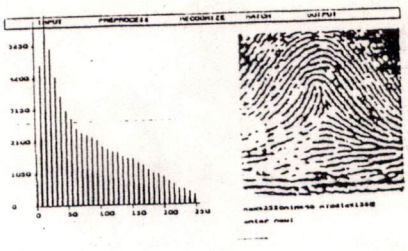


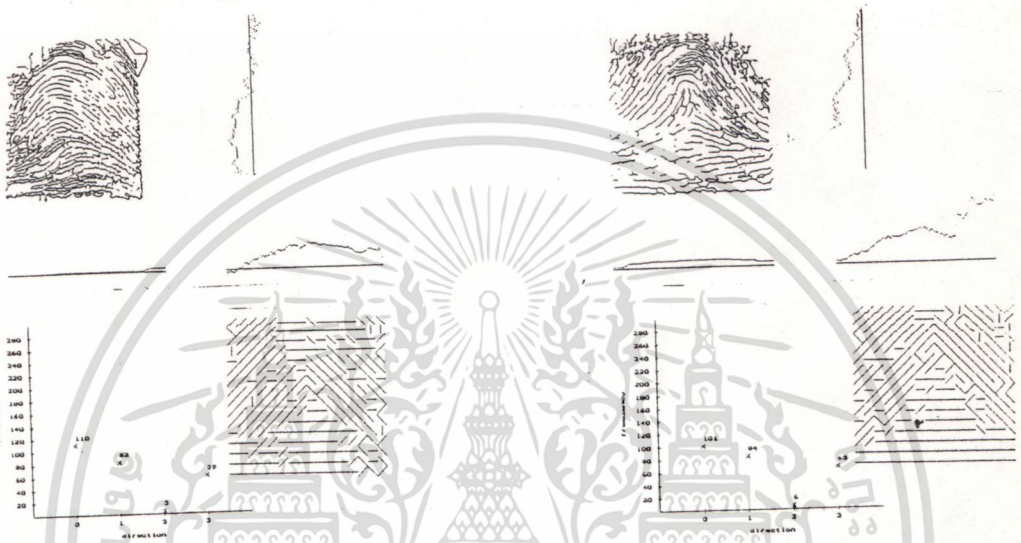
รูปที่ 46 แผนผังแสดงการประมวลผลการเก็บข้อมูลกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างข้อมูลและกราฟที่ได้จากลายนิ้วมือทั้ง 12 แบบ ดังรูปที่ 47

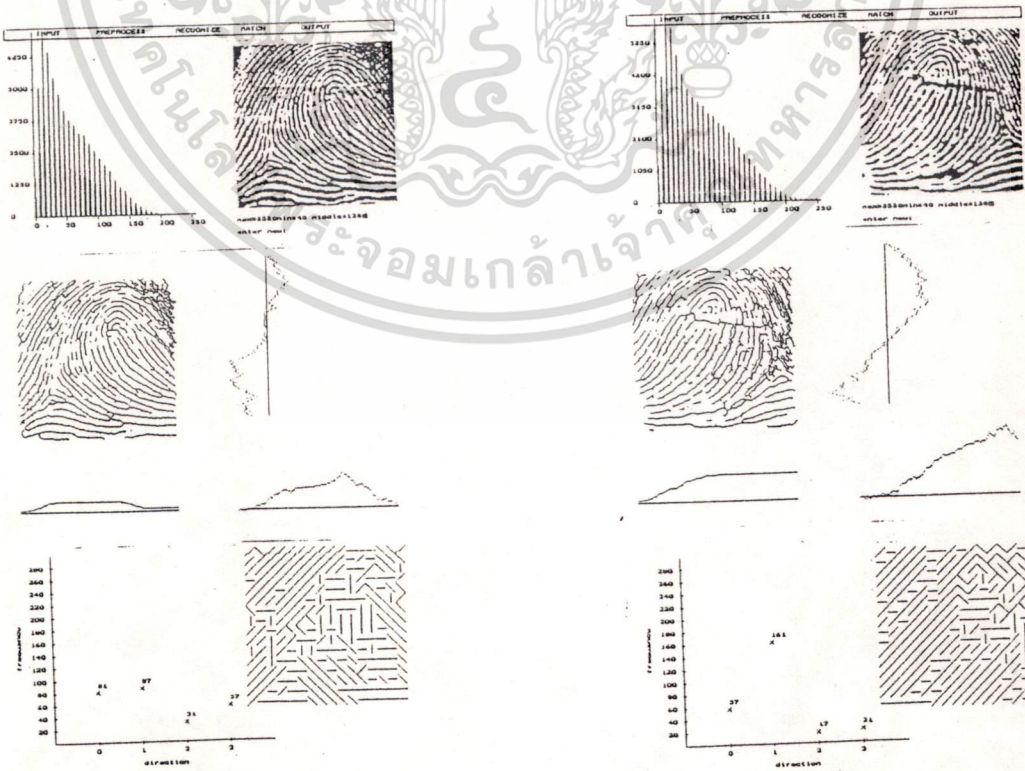






[1] แบบโค้งราบ(PA)

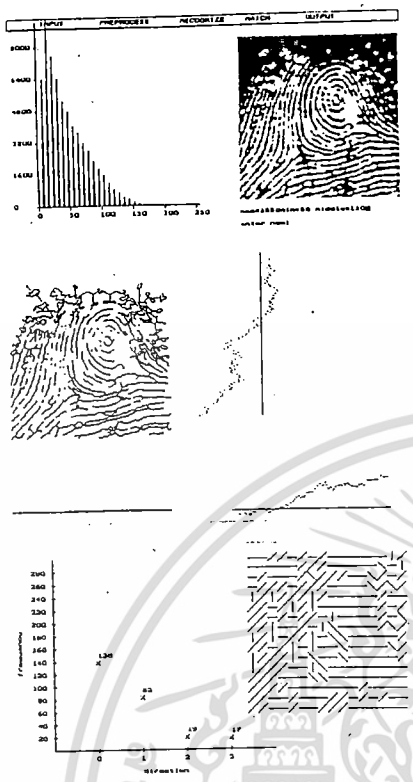
[2] แบบโค้งกระโจม(TA)



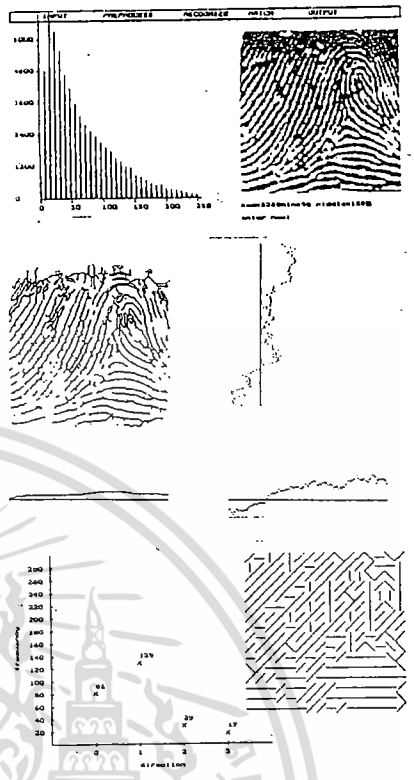
[3] แบบมัดหวายปัดขวา(RSL)

[4] แบบมัดหวายปัดซ้าย(LSL)

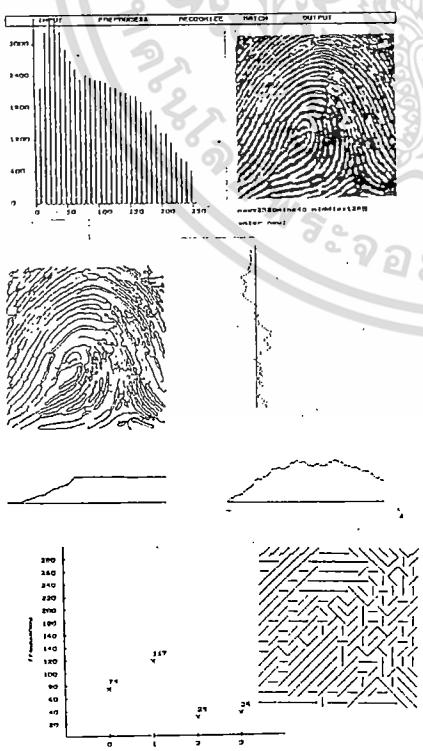
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



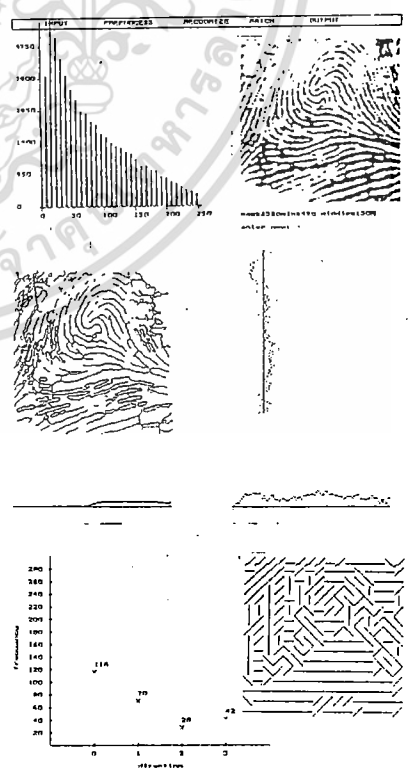
[5] แบบก้นหอยธรรมดา(W)



[6] แบบก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา(RCP)

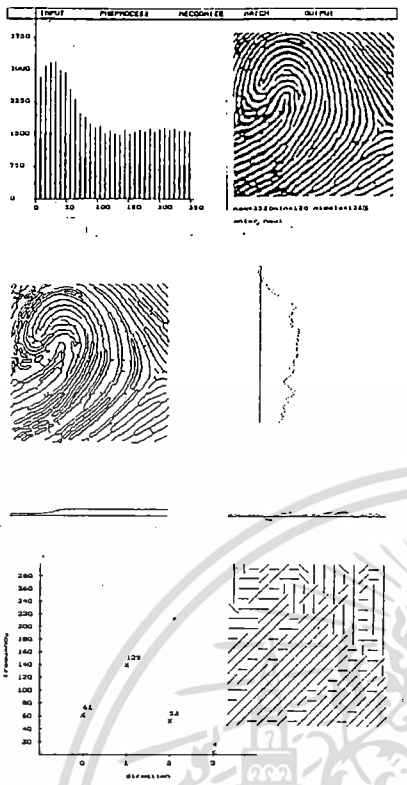


[7] แบบก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย(LCP)

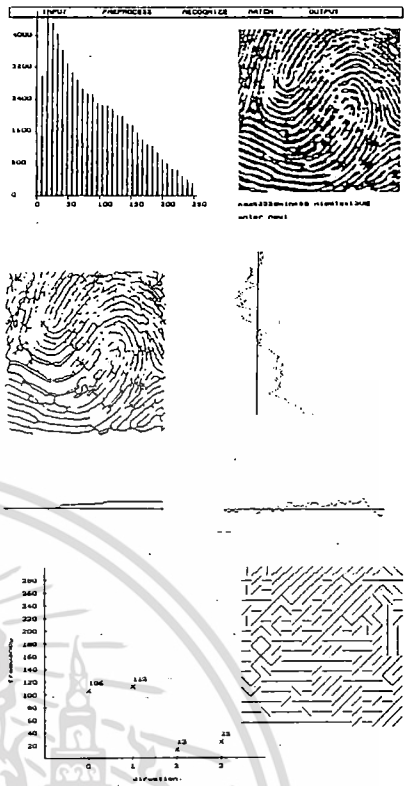


[8] แบบก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา(RLP)

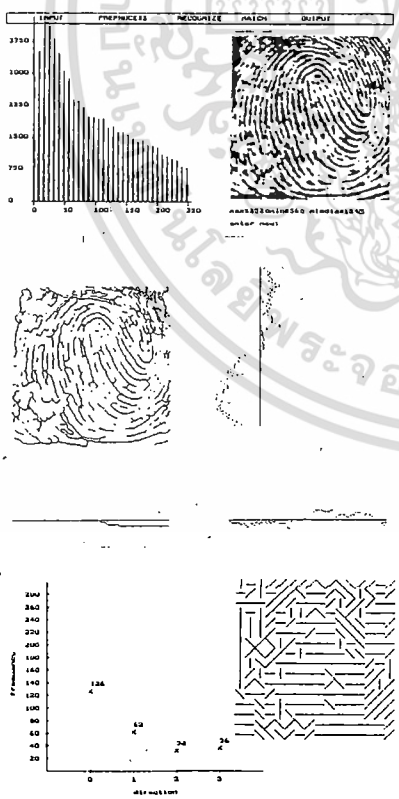
เอกสารนี้มีไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



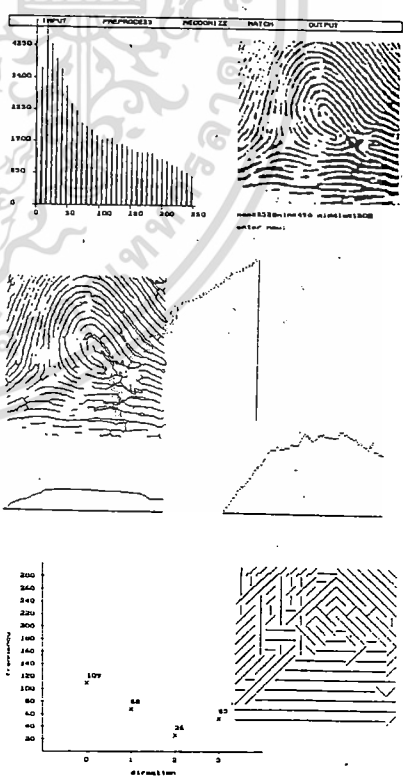
[9] แบบก้นหอยกระเป๋าข้างปัดซ้าย(LLP)



[10] แบบมัดหวายคู่หรือแฝดแบบ1(D1)



[11] แบบมัดหวายคู่หรือแฝดแบบ2(D2)



[12] แบบซับซ้อน(AW)

รูปที่ 47 กราฟทั้ง 3 ชนิดที่ได้ภายหลังการทำ preprocessing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ง) Matching

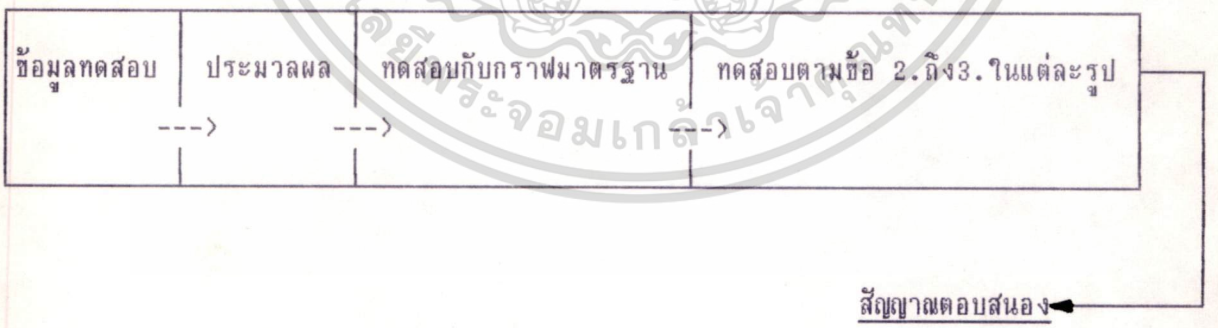
การ matching จะทำได้โดยตรวจสอบจุดสำคัญที่ตรงกัน โดยวิธี interaction และส่งสัญญาณตอบสนองเมื่อได้ลายนิ้วมือที่ตรงกัน

(1) ใช้หลักการประมวลผลภาพและสร้างกราฟเมื่อมีการ inputข้อมูลทดสอบเข้ามา

(2) นำเข้าไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่อยู่ในฐานข้อมูลลายนิ้วมือ โดยวิธีการทับซ้อนและหรือดูด้วยสายตาประกอบกัน (เมื่อได้ขยายภาพให้ใหญ่ขึ้น)

(3) เมื่อตรวจพบว่าลายนิ้วมืออยู่ลักษณะในกลุ่มของแบบนี้ ขั้นต่อไปคือการหาจุดสำคัญของแต่ละลายนิ้วมือ ซึ่งถ้าตรงกันหรือใกล้เคียงกันมาก จะขยายให้ใหญ่ขึ้นแล้วเปรียบเทียบให้แน่ใจ

(4) การตรวจสอบให้ละเอียดขึ้น ต้องพิจารณาจุดสำคัญอาทิเช่น ลายเส้น(Type Line), สันดอน(delta), จุดใจกลาง(Core), บริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน (Pattern Area) และจากนั้นพิจารณาการนับจำนวนเส้น เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.6 แล้วหาตำแหน่งสูงสุด(peak) ของกราฟมาตรฐานเพราะที่ตำแหน่งนั้นจะเป็นตำแหน่งจุด core ของภาพลายนิ้วมือพอดี จากตำแหน่ง core ลากเส้นมายัง delta และหาว่าผ่านจุดสำคัญอะไรบ้าง นอกจากนี้อาจพิจารณาข้อมูลอีกครั้ง โดยมองดูจุดสำคัญว่ามีอะไรบ้างบนลายนิ้วมือ เช่นถ้ามีจุดใจกลาง(core) เราอาจจะกำหนดบล็อกสี่เหลี่ยมขนาดเล็กๆ โดยดึงเอาจุดสูงสุด(peak) จากกราฟที่ถูกสร้างขึ้นมา เป็นเกณฑ์ในการกำหนดจุดกึ่งกลางบล็อค แล้วปรับให้เข้าหาจุดสำคัญ จากนั้นขยาย (zoom) ภาพออกมา ขนาด 256 row*256 column และเทียบระหว่างลายนิ้วมือซึ่งกันและกัน



รูปที่ 48 แผนผังของข้อมูลทดสอบกับข้อมูลแต่ละแบบ

3. การทดลองและผลที่ได้

(1) input ลายนิ้วมือหนึ่งจากภาพพิมพ์,ภาพถ่ายหรือภาพวาดขนาดจริงหรือภาพจากนิ้วมือจริง (นิ้วที่ใช้เป็นนิ้วหัวแม่มือ) แปลงเป็นภาพขาวดำ (binary) , ผ่านกระบวนการ Image Processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และFeature Extractionเพื่อปรับปรุงแก้ไขภาพ และหาคุณสมบัติที่สำคัญจากนั้นจึงนำไปทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับภาพในฐานข้อมูลย่อย ตามลำดับขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยขอยกตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่างการเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมือด้วยหมึกของบุคคลคนเดียวกันไว้ 5 ครั้ง

ก่อนที่พิจารณาจากลายนิ้วมือของแต่ละคนแต่ละกลุ่มแบบ จะต้องพิสูจน์ลายนิ้วมือของบุคคลคนเดียวกัน ว่ามีความผิดพลาดจากความผิดเพี้ยนของข้อมูลที่ได้มาเป็นอย่างไร โดยทำทั้งหมด 5 ครั้ง ได้ผลลัพธ์ออกมาดังรูปที่ 49 (ก),(ข)และตารางที่ 2 จากการคำนวณจะได้ดังนี้

$$Q = \frac{\text{ค่า error ต่ำสุด} + \text{ค่า error สูงสุด}}{2}$$

Q = จำนวนปริมาณโดยเฉลี่ยระหว่างค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุดของกลุ่มรูปแบบนั้น

$$\text{gray-frequency level} = \frac{4746 + 10267}{2}$$

$$= 7506$$

เปอร์เซนต์ความผิดพลาด = $\pm$ 37 % ของ 7506 หรือ ข้อมูลทดสอบต้องอยู่ระหว่าง4746->10267

ฮิสโตรแกรมของทิศทาง d_0 = $\pm$ 27 % ของ 79

d_1 = $\pm$ 20 % ของ 94

d_2 = $\pm$ 18 % ของ 34

d_3 = $\pm$ 10 % ของ 52

เมื่อพิจารณาค่าตัวเลขตามตารางที่ 2 จะเห็นว่าข้อมูลทดสอบทั้งสองข้อมูลได้ผลที่แตกต่างกันดังนี้

(ก) ข้อมูลทดสอบ มัดหวายคู่(D1) $f_{max.}$ = 10620 โดยไม่อยู่ในกลุ่ม 4746->10267 เลย และฮิสโตรแกรมทิศทางเช่นกัน d_0 = 73

d_1 = 135

d_2 = 26

d_3 = 22

จึงสรุปได้ว่า ไม่อยู่ในกลุ่ม ก้นหอยธรรมดา(W)

(ข) ข้อมูลทดสอบ ก้นหอยธรรมดา(w) $f_{max.}$ = 10087 อยู่ภายในกลุ่ม 4746->10267

ส่วนฮิสโตรแกรมทิศทาง d_0 = 131 ไม่อยู่ในกลุ่ม

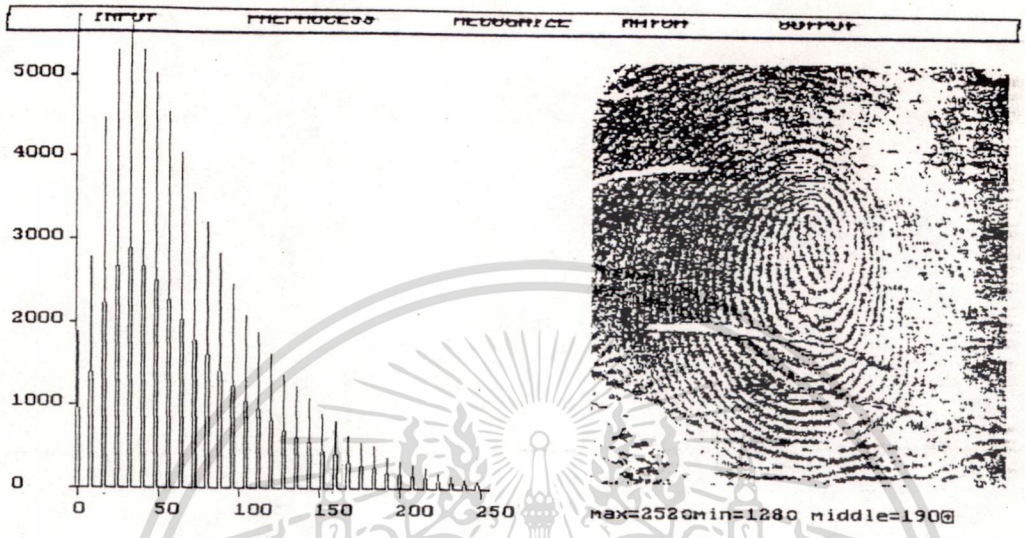
d_1 = 77 อยู่ในกลุ่ม

d_2 = 36 อยู่ในกลุ่ม

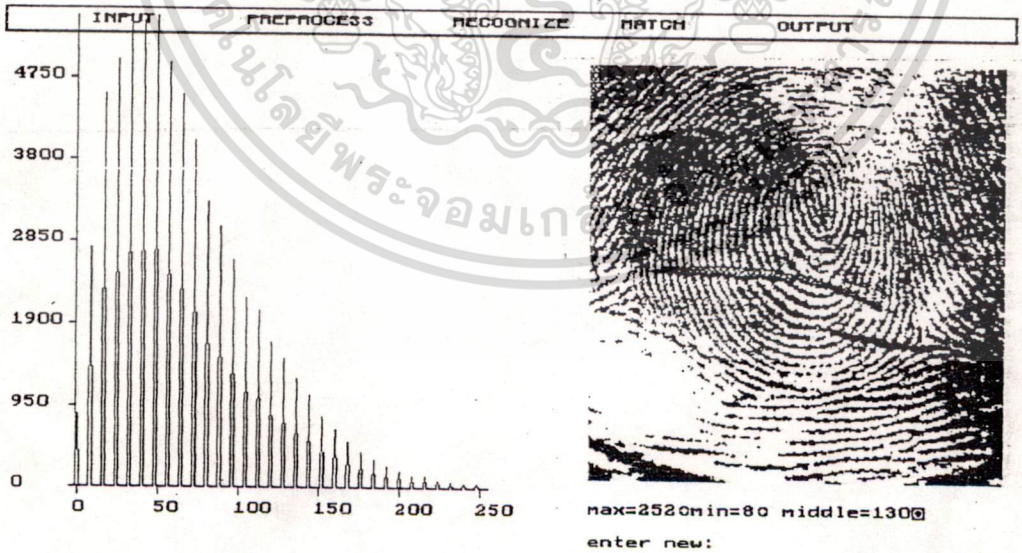
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d_3 = 12 ไม่อยู่ในกลุ่ม

สรุปได้ว่า ข้อมูลนี้มีความใกล้เคียงกับ กลุ่มก้นหอยธรรมดา(W) มาก



(ก) ลายนิ้วมือที่พิมพ์ไว้ครั้งแรก



(ข) ลายนิ้วมือที่พิมพ์ไว้ครั้งที่ 2

รูปที่ 49 (ก),(ข) แสดงลักษณะการเปรียบเทียบของลายนิ้วมือบุคคลคนเดียวกันโดยพิมพ์ต่างครั้งกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันดับ	กลุ่มแบบ	ระหัส	ผลของฮิสโตรแกรมภายหลังการทำ preprocessing												
			gray-frequency level			ฮิสโตรแกรมของทิศทาง									
			เผื่อ % ความผิดพลาด	<-- ข้อมูลมาตรฐาน (พิจารณาเฉพาะ $f_{max.}$)	ข้อมูลทดสอบ	เผื่อ % ความผิดพลาด	<-- ข้อมูลมาตรฐาน 0	1	2	3	ข้อมูลทดสอบ 0	1	2	3
1	กันหอยธรรมดา	W	±37 % ของ 7506	4746	10087 กันหอย(W)	±7%ของข้อมูลมาตราฐาน	80	90	30	56	131	77	36	12
2				8313			59	111	37	49	<กันหอยธรรมดา(W)>			
3				5510	10620 มัดหวายคู่(D1)		100	77	30	49	73	135	26	22
4				5733			100	74	29	53	<-มัดหวายคู่(D1)->			
5				10267			79	82	40	55				

ตารางที่ 2 การแสดงผลของฮิสโตรแกรมของบุคคลคนเดียวกันจำนวน 5 ครั้งพร้อมทั้งข้อมูลทดสอบ

(2) จากการทดลองบุคคลคนเดียวแล้วก็ได้ทดสอบลายนิ้วมือต่างๆ ในหลายบุคคลแต่ละกลุ่มโดยได้ทำดังนี้

(2.1) การทดลองได้ผลถูกต้องในส่วนที่มีข้อมูลน้อยนั่นคือ ระบบสามารถเปรียบเทียบลายนิ้วมือที่ป้อนเข้าไปกับลายนิ้วมือที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลย่อย ขณะนี้มีข้อมูลรูปอยู่ 2 นิ้วมือ/1แบบ ในจำนวน 12 แบบ รวมทั้งสิ้น 24 นิ้วมือ โดยปรากฏว่าความผิดพลาดมีไม่มากนัก อันเนื่องมาจากข้อมูลลายนิ้วมือทำเป็นมาตรฐานมีลายนิ้วหัวแม่มือเพียง 24 นิ้วมือ/12 แบบ เท่านั้น ดังนั้นโอกาสที่จะถูกต้องเป็นไปได้มากกว่าข้อมูลที่ทำเป็นมาตรฐานจำนวนมาก แต่ในขณะเดียวกันถ้าข้อมูลทดสอบมีความผิดเพี้ยน การทดสอบก็ไม่ถูกต้อง ทั้งนี้เพราะข้อมูลที่เป็นมาตรฐานมีความแคบ ซึ่งอาจจะทำให้ข้อมูลทดสอบตกออกไปนอกกลุ่มได้ และในช่วงนี้ทำถูกต้องได้เฉพาะ $f_{max.}$ ของ gray-frequency level ถ้าข้อมูลทดสอบดี สำหรับการคำนวณก็ คือ สมการ Q ทำเช่นเดียวกับ (1) แต่ต่างกันที่ช่องของตัวเลขข้อมูลมาตรฐานเป็ค่าของ Q เรียบร้อยแล้ว ส่วนผลลัพธ์ที่ได้มีข้อมูลอยู่สองกลุ่มแบบเป็นดังนี้ (ดูตารางที่ 3 ประกอบ)

(ก) ข้อมูลทดสอบ โค้งกระโจม(TA) $f_{max.}$ = 6210 อยู่ภายในกลุ่ม ±1.2%ของ 6230

หรือ 6160->6300

และฮิสโตรแกรมทิศทาง d_0 = 87, d_1 = 99, d_2 = 20, d_3 = 50

ปรากฏว่าจุดทิศทางไม่อยู่ในกลุ่มเลย ,จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลทดสอบยังไม่เข้ากลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ข้อมูลทดสอบ ก้นหอยธรรมดา(W) ปรากฏว่า $f_{max.}$ ไม่อยู่ในกลุ่มใดเลย และฮิสโตรแกรมทิศทาง ถูกเพียงตำแหน่งเดียวคือ $d_2 = 29 \Rightarrow Q(d_2) = 30$ สรุปได้ว่า ข้อมูลทดสอบนี้ไม่อยู่ในกลุ่มเช่นกัน รวมทั้งไม่เข้าในกลุ่มอื่นๆด้วย

อันดับ	กลุ่มแบบ	ระหัส	ผลของฮิสโตรแกรมภายหลังการทำ preprocessing												
			gray-frequency level			ฮิสโตรแกรมของทิศทาง									
			เผื่อ % ความผิดพลาด	<--ข้อมูลมาตรฐาน (พิจารณาเฉพาะ $f_{max.}$)	ข้อมูลทดสอบ	เผื่อ % ความผิดพลาด	<-- ข้อมูลมาตรฐาน 0	1	2	3	ข้อมูลทดสอบ 0	1	2	3
1	โค้งราบ	PA	±3 %	5488		±7%มาตรฐาน	110	82	5	59				
2	โค้งกระโจม	TA	±1.2 %	6230	6210 โค้งกระโจม (TA)	±7%มาตรฐาน	81	118	16	41	87	99	20	50
3	มัดหวายปัดขวา	RSL	±2 %	7226		±7%มาตรฐาน	125	55	27	49	<โค้งกระโจม(TA)>			
4	มัดหวายปัดซ้าย	LSL	±4.5 %	8581		±7%มาตรฐาน	90	136	14	16				
5	ก้นหอยธรรมดา	W	±1.5 %	9641	5733 ก้นหอย(W)	±7%มาตรฐาน	136	59	30	31	100	74	29	53
6	ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา	RCP	±1 %	6563		±7%มาตรฐาน	111	86	4	55	<--ก้นหอย(W)--->			
7	ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย	LCP	±4.5 %	6544		±7%มาตรฐาน	93	113	33	17				
8	ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา	RLP	±10.5 %	3845		±7%มาตรฐาน	63	81	32	80				
9	ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดซ้าย	LLP	±2 %	3312		±7%มาตรฐาน	61	139	52	4				
10	มัดหวายคู่แบบ1	D1	±1 %	4680		±7%มาตรฐาน	97	103	39	17				
11	มัดหวายคู่แบบ2	D2	±1.5 %	4400		±7%มาตรฐาน	90	58	28	80				
12	ซับซ้อน	AW	±0.5 %	4786		±7%มาตรฐาน	113	99	15	29				

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบข้อมูลตัวเลขของฮิสโตรแกรมระหว่างรูปแบบมาตรฐานและรูปแบบทดสอบ(2 น้ำมือ/แบบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ผลของการเพิ่มข้อมูล จากการทดลองโดยใช้วิธีที่กล่าวมาแล้วได้ผลผิดพลาด โดยได้นำลายนิ้วมือป้อนเข้าไปแล้วทำตามขั้นตอน วิเคราะห์และประมวลผลเก็บไว้ในฐานข้อมูลย่อย มีจำนวนข้อมูลรูปอยู่ประมาณ 5 นิ้วมือ/1 แบบ ในจำนวน 12 แบบ โดยปรากฏว่าเมื่อมีการทดสอบจริงโดย unknown fingerprint จากหัวแม่มือหนึ่งจะเห็นว่าความผิดพลาดเห็นชัดขึ้น อันเนื่องมาจากข้อมูลลายนิ้วมือที่ทำเป็นมาตรฐานมีจำนวนเพิ่มขึ้น 60 นิ้วมือ/12 แบบ ดังนั้นโอกาสที่จะผิดพลาดจึงเป็นไปได้อย่างมากมาย จากผลในตารางที่ 4 เป็นดังนี้

(ก) ข้อมูลทดสอบ โค้งกระโจม(TA) $f_{max.}$ = 5933 อยู่ภายในกลุ่ม ของ
โค้งราบ $\pm$17 % ของ 6378 => ไม่ถูกต้องของกลุ่มแบบ
โค้งกระโจม $\pm$7 % ของ 5968 => ถูกต้องของกลุ่มแบบ
และซับซ้อน $\pm$30 % ของ 6688 => ไม่ถูกต้องของกลุ่มแบบ
และฮิสโตรแกรมทิศทาง d_0 = 86, d_1 = 118, d_2 = 25, d_3 = 27
ปรากฏว่าจุดทิศทางอยู่ในกลุ่มเพียง d_0 และ d_1 ส่วนกลุ่มแบบอื่นๆแม้ถูกบางจุดแต่ไม่ถือว่าเข้ากับกลุ่มแบบนั้น
จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลทดสอบยังไม่เข้ากลุ่มและยังไปเข้ากับกลุ่มแบบอื่นอีกด้วย

(ข) ข้อมูลทดสอบ ก้นหอยธรรมดา(W) ปรากฏว่า $f_{max.}$ = 5733 ไม่อยู่ในกลุ่มแบบของก้นหอยเลยแต่กลับไปอยู่ในกลุ่มโค้งราบ,โค้งกระโจมและแบบซับซ้อน
ส่วนฮิสโตรแกรมทิศทาง คือ d_0 = 100, d_1 = 74, d_2 = 29 และ d_3 = 53
ผลคือ ไม่เข้าในกลุ่มแบบก้นหอยธรรมดา(W)เลย แต่กลับไปเข้ากับกลุ่มอื่นและถูกต้องทุกตำแหน่ง ได้แก่ มัดหวายปัดขวา(RPL), ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา(RLP)และมัดหวายคู่แบบ2(D2)
สรุปได้ว่า ข้อมูลทดสอบนี้ยังชี้ไม่ได้ว่าอยู่ในกลุ่มใดเพราะจะต้องถูกต้องทั้ง $f_{max.}$ และตำแหน่งทิศทางคือ d_0, d_1, d_2, d_3 ด้วย

เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนมากขึ้น ความผิดแผกหลากหลายย่อมมากขึ้น ทำให้หามาตรฐานที่ชัดเจนของแต่ละกลุ่มได้ยาก ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการที่สามารถหาเป็นมาตรฐาณที่ชัดเจนได้ และเมื่อมีการทดสอบความผิดพลาดจากลายนิ้วมือจริงจะไม่มี แสดงว่ามาตรฐานที่ใช้อยู่ถูกต้องแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ การจดจำจุดสำคัญบนลายนิ้วมือซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบ และ สรุปผลออกมาว่าเป็นลายนิ้วมือของบุคคลเดียวกัน คอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณตอบสนองออกไป ผ่านอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้นมาและ/หรือซื้อเป็นการ์ดมาติดตั้ง ใช้ร่วมกับซอร์ฟแวร์ และถ้าไม่มีลายนิ้วมือที่ตรงกันเลย อาจพูดได้ว่าไม่มีลายนิ้วมือของบุคคลคนนั้นอยู่ จะไม่มีสัญญาณออกมา โดยโปรแกรมจะกลับไปที่จุดเริ่มต้นใหม่ทุกครั้ง สำหรับความผิดพลาดต่างๆ ต้องทำการแก้ไขปรับปรุงต่อไปและจากตารางที่ 4 ได้ชี้ให้เห็นถึงข้อที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันดับ	กลุ่มแบบ	ระหัส	ผลของฮิสโตรแกรมภายหลังการทำ preprocessing											
			gray-frequency level			ฮิสโตรแกรมของทิศทาง								
			เผื่อ % ความผิดพลาด	<-- ข้อมูลมาตรฐาน (พิจารณาเฉพาะ f_{max})	ข้อมูลทดสอบ	เผื่อ % ความผิดพลาด	ข้อมูลมาตรฐาน 0	1	2	3	ข้อมูลทดสอบ 0	1	2	3
1	โค้งราบ	PA	±17 %	6378		±?%มาตรฐาน	104	83	7	56				
2	โค้งกระโจม	TA	±7 %	5968	5933 โค้งกระโจม (TA)	±?%มาตรฐาน	83	115	18	39	86	118	25	27
3	มัดหวายปัดขวา	RSL	±7 %	7620		±?%มาตรฐาน	106	67	26	53	<โค้งกระโจม(TA)>			
4	มัดหวายปัดซ้าย	LSL	±18 %	8306		±?%มาตรฐาน	86	136	17	15				
5	ก้นหอยธรรมดา	W	±12 %	9071	5733 ก้นหอย(w)	±?%มาตรฐาน	147	66	22	24	100	74	29	53
6	ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา	RCP	±5 %	6863		±?%มาตรฐาน	101	90	20	33	<--ก้นหอย(w)--->			
7	ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย	LCP	±7 %	6505		±?%มาตรฐาน	94	117	19	21				
8	ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา	RLP	±25 %	4538		±?%มาตรฐาน	89	75	30	61				
9	ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดซ้าย	LLP	±9 %	3300		±?%มาตรฐาน	49	142	60	6				
10	มัดหวายคู่แบบ1	D1	±4 %	4827		±?%มาตรฐาน	108	99	27	26				
11	มัดหวายคู่แบบ2	D2	±19 %	5365		±?%มาตรฐาน	112	58	42	60				
12	ซับซ้อน	AW	±30 %	6688		±?%มาตรฐาน	130	83	15	33				

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบข้อมูลตัวเลขของฮิสโตรแกรมระหว่างรูปแบบมาตรฐานและรูปแบบทดสอบ(5 นิ้วมือ/แบบ)

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

ระบบตรวจลายนิ้วมืออัตโนมัติ(Automatic Fingerprint Verification system:AFVS) เป็นระบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ งานต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น ระบบรักษาความปลอดภัย, ใช้พิสูจน์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายนิ้วมือ เป็นต้น

การวิจัยนี้ ได้พัฒนาโปรแกรมของระบบ ในส่วนของการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing)ของ AFVS โปรแกรมที่จัดทำงานในส่วนที่ 1 นี้ คือ Smoothing,Noise detection ,Binarization และ Branch cutting; ส่วนที่ 2 Feature Extraction คือFast Thinning , กราฟแสดง Typeและ Histogram ; ส่วนที่ 3 Type Recognition คือ การใช้กราฟมาตรฐานต่าง ๆ ในการแยกแยะแบบของลายนิ้วมือ ; ส่วนที่ 4 Matching คือ การ matching จุดสำคัญ โดยวิธี interaction

แนวทางความคิดพื้นฐานของระบบการจดจำรูปแบบลายนิ้วมือที่ได้นำมาใช้ คือ หลักการทดสอบตามลำดับชั้น (Stepwise refinement testing) เช่น หลักการของมนุษย์ที่จะค้นหาคำ คำหนึ่งที่เป็นอักษรประกอบกันซึ่งมีอยู่ในพจนานุกรมหรือเรียกทั่วไปว่า Dictionary ก่อนอื่นต้องดูอักษรตัวหน้าเป็นหลักก่อนเช่น ถ้าเป็นภาษาไทยต้องการค้นหาคำว่า ความรัก เราก็ต้องไปดูหมวด ค ซึ่งเป็นกลุ่มแบบ ค นั่นเองจึงทำให้ง่ายและรวดเร็วต่อการค้นหา และในทำนองเดียวกันถ้าเป็น ภาษาอังกฤษเช่น คำว่า cub ก็ไปเปิดกลุ่ม c และนี่คือ ขั้นตอนแรกของการจดจำกลุ่มแบบ ถัดมาก็ไปค้นภายใน โดยคำว่าความรัก เราก็มาดูการออกเสียงสระ ในที่นี้เป็นสระอา (า) ส่วนคำว่า cub ก็ค้นที่สระ u จึงทำให้พบง่ายและเร็ว ต่อการค้นหาคำ และนี่เป็นขั้นตอนที่ 2 ของการตรวจสอบภายใน ซึ่งเป็นการจดจำรูปแบบสำหรับลายนิ้วมือก็เช่นเดียวกัน กล่าวคือ การจดจำกลุ่มแบบซึ่งมี 12 กลุ่มแบบ ซึ่ง unknown finger จะถูกตรวจสอบให้เข้ากลุ่มได้อย่างถูกต้องได้เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น จากนั้นก็ตรวจสอบภายในกลุ่มบนลายนิ้วมือ ด้วยจุดสำคัญที่มีอยู่บนนิ้วมือของแต่ละบุคคล โดยหลักการ Matching จุดสำคัญและวิธีอื่นๆที่จะนำมาใช้

ในการศึกษาทำวิจัยนี้ ได้ประสบปัญหาต่าง ๆเช่น เนื่องจากในปัจจุบัน ระบบตรวจลายนิ้วมือ AFVS มีราคาแพงมาก และ เป็นเทคโนโลยีนำเข้าทั้งหมด และ อาจกล่าวได้ว่าเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับประเทศไทย ประกอบกับเอกสารเทคนิค การทำงานเกี่ยวกับ AFVS นี้เป็นความลับ ไม่มีการเผยแพร่เท่าที่ควร เอกสารที่ค้นได้จะมีการบอกเทคนิคคร่าว ๆเท่านั้น การพัฒนาจึงเกิดปัญหาล่าช้าเพราะ ต้องมีการทดลองหาวิธีการต่าง ๆ ทาง Image Processing ว่าจะนำมาใช้ได้ผลหรือไม่

ผลจากการตรวจสอบลายนิ้วมือจากหน่วยงานบางหน่วยงาน อาทิเช่น กรมตำรวจซึ่งได้มีการนำเอาลายนิ้วมือ ตรวจสอบเพื่อนำไปเก็บไว้เป็นหลักฐาน และเพื่อทำแผนคดีอาชญากรรม เป็นต้น โดยผลลัพธ์ที่ออกมามีประโยชน์ช่วยในการตรวจสอบลายนิ้วมือให้สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีเดิม (การตรวจด้วยสายตาคนพร้อมแว่นขยายที่มีต่อลายหมึกนิ้วมือ) รวมทั้งสามารถเก็บข้อมูลต่างๆได้อย่างมากมาย นอกจากนี้อาจนำไปประยุกต์ใช้ ในการควบคุมเครื่องมือบางอย่าง โดยออกแบบวงจรเชื่อมต่อ(interface)กับ hardware เช่น เครื่องมือปั๊มลมที่ใช้เปิดปิดประตู ซึ่งเราจะเอาลายนิ้วมือแทนกุญแจ เป็นต้น

การปรับปรุงระบบที่จะทำต่อไปได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Algorithm ของ Image Processing ที่ทำการปรับปรุงและใช้งานอยู่นั้นเหมาะกับการ

Process ภาพ Image ทั่วไป แต่เมื่อนำมา Process กับภาพลายนิ้วมือ จะได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร เช่น การปรับปรุงภาพโดยใช้ Algorithm Median Filtering ใช้ไม่ได้ผลกับภาพลายนิ้วมือ เพราะระดับความเข้มของแสงใกล้เคียงกันมากเกินไป

- อุปกรณ์ถ่ายภาพที่ใช้ในการทำวิจัยนี้ เป็นกล้องวิดีโอสี การใช้โครงสร้างของข้อมูลฐานจะทำให้เกิดความ ซับซ้อนมากขึ้น มีผลทำให้เสียเวลามากขึ้น เมื่อเปลี่ยนไปใช้ mode ขาวดำหมด จะช่วยลดความซับซ้อนได้มาก

- การทำงานโดยรวมนั้นยังใช้งานจริงไม่ได้ เพราะ ใช้เวลาในการ Process นาน ถ้าจะนำไปประยุกต์ใช้กับงาน แบบ Real time ควรที่จะต้องมีอุปกรณ์ Hardware เร่งความจำ เพิ่มและใช้ Algorithm ที่มีการประมวลผลได้เร็วแม้ว่าจะให้ความแม่นยำน้อยกว่า

- การปรับปรุงข้อเสียเบื้องต้น ในที่นี้หมายถึง

(ก) Threshole จะต้องมีการแก้ไขปรับปรุงโปรแกรมกันอีกครั้ง เพื่อให้ภาพที่ถูกดึงเข้าไปและเก็บเอาไว้พร้อมทั้งแสดงออกมาหน้าจออยู่ในสภาพที่ดีเหมือนกับต้นแบบ นอกจากนี้ปริมาณความเข้มของแสงมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมาก เพราะการตั้ง Threshole มีส่วนเกี่ยวข้องกับแสงเป็นอย่างมาก เช่น ภาพอาจจะมืดหรือสว่าง , ภาพคมชัดหรือภาพมัว ซึ่งทำให้การตั้งค่าตัวเลข Threshole แตกต่างกันดังนั้น การแก้ไข คือ การทำห้องมืดขึ้นมาเพื่อติดตั้งกล้องวิดีโอภายใน และในขณะนี้ได้ทำเสร็จเรียบร้อยแล้วแต่ยังต้องปรับปรุงเรื่องแสงอีกเล็กน้อย นอกจากนี้อาจจะใช้วิธีอื่นที่ไม่ต้องมีการตั้ง Threshole ถ้าเป็นไปได้ หรือตั้งให้ Threshole อัตโนมัติตามความเข้มของแสงและภาพขึ้นมา

(ข) การทำ Preprocessing เนื่องจากผลของข้อ (ก) มีส่วนทำให้ประมวลภาพออกมาไม่ดีเช่นการทำ thinning ซึ่งถ้าภาพเบื้องต้นขุ่นมัวเส้นไม่ชัดไม่คมหรือบางจุดมีความสว่าง บางจุดมืด,ดำ หรือเลอะ ซึ่งถ้าไม่แก้ไขจุดนี้ผลการคำนวณจะผิดไปด้วยทำให้ภาพที่ออกมาโยงเป็นตาข่ายไม่เป็นเส้นตามลายนิ้วมือ จึงเป็นส่วนที่ทำให้การเก็บตัวเลขเอาไว้เป็นมาตรฐานทางสถิติ โดยเก็บไว้ในหน่วยความจำย่อยมีความผิดพลาด ดังนั้นจะต้องแก้ไขในส่วนนี้ด้วยเพื่อความถูกต้องของลายเส้น อาทิเช่น การติดตั้งของหลอดไฟเพื่อให้ปริมาณของแสงตกลงบนพื้นที่ของภาพที่เท่ากันทุกๆจุดบนพื้นที่ภาพที่รับเข้ามาคือ 256*256 จุด โดยไม่ให้มีจุดใดสว่างบางมืดบ้าง และ ควรปิดหรือลบบางจุดที่มีลักษณะมัวไม่ให้มาเกี่ยวข้อง ที่กล่าวมานี้มีมีผลต่อการคำนวณทั้งสิ้น รวมทั้งเป็นส่วนช่วยในการเก็บข้อมูลที่ดีเพื่อใช้ในการตรวจสอบ

- ผลลัพธ์ทางซอร์ฟแวร์ ภายหลังจากการทำ preprocessing แล้วเมื่อใช้การคำนวณและกราฟประกอบกันได้แก่ วิธีการสร้างกราฟแสดงแบบลายนิ้วมือตัวอย่าง,ฮิสโตรแกรมแบบgray-frequency level และฮิสโตรแกรมทิศทาง เมื่อได้ผลออกมาก็จะเก็บไว้เป็นสถิติแล้วสร้างเป็นมาตรฐานไว้ใช้ในการตรวจสอบลายนิ้วมือทดสอบ แต่เมื่อลายนิ้วมือมีจำนวนเพิ่มขึ้นความละเอียดของมาตรฐานจะมีความผิดพลาดเพิ่มขึ้นด้วยทำให้การจดจำรูปแบบไม่ถูกต้อง ระบบจึงต้องใช้เวลาในการตรวจสอบเปรียบเทียบเพิ่มขึ้นจากหนึ่งแบบเป็นหลายแบบซึ่งเสียเวลาและไม่เหมาะกับการใช้งานในยุคปัจจุบัน จึงต้องหาวิธีที่ดีกว่านี้มาแก้ไข (ขณะนี้กำลังคิดวิธีใหม่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลงานการวิจัยที่ได้วางเอาไว้ได้แบ่งออกเป็น 2 วิธีการ นั่นคือ

ก. การ scan ภาพลายนิ้วมือที่พิมพ์ด้วยหมึกสีดำบนกระดาษขาว โดยเป็นขั้นเริ่มต้นก่อนเพราะง่ายต่อการวิจัยเนื่องเป็นภาพขาวดำ และในขณะนี้กำลังใช้วิธีการนี้อยู่ ดูได้จากตารางที่ 2,3และ4 ตามลำดับ

ข. การ scan ภาพลายนิ้วมือจากนิ้วจริงด้วยอุปกรณ์ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และได้ทำคู่ไปข้อ (ก.) ซึ่งยังไม่ได้ผลตามที่ต้องการ สาเหตุอาจมีอยู่หลายประการด้วยกันอาทิเช่น แสง, เลนส์ที่ต้องมีกำลังขยายมากกว่านี้ , เมื่อนิ้วอยู่หลังกระจกจะต้องเห็นลายนิ้วมือ อาจเนื่องมาจากวัตถุโดยรอบข้างมีส่วนช่วยซึ่งจะต้องพิจารณาในขั้นต่อไป

- ผลลัพธ์ที่ได้ในครั้งนี้บางส่วนเกิดจากการ interaction ซึ่งต้องใช้คน ร่วมทำงานกับคอมพิวเตอร์ และใช้คนเป็นผู้ตัดสินใจ ซึ่งในงานตามโครงการวิจัยปีต่อไป ต้องพยายามเปลี่ยนให้เป็นการทำงานของคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติทั้งหมดดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้าง algorithm สำหรับการทำงานอย่างอัตโนมัติขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เอกสารอ้างอิง

(1) DOUGLAS A. O'HANDLEY AND WILLIM B. GREEN,California Institute of Technology,Pasadina,Calif,"Recent Developments in Digital Image Processing at the Image Processing Laboratory at the Jet Propulsion Laboratory", Proc. IEEE, vol.60, pp.821-828, July 1972.

(2) Catherine ANDRE and Renaud REITTER," FINGERPRINT VERIFICATION FOR ACCESS CONTROL IN THE CASE OF MUTI-BIOMETRIC VERIFICATION ", Proc. IEEE, vol.1of2, pp.179-182, 5-8 September 1989.

(3) UNITED STATES DEPARTMENT OF JUSTICE FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION," THE SCIENCE OF FINGERPRIENTS Classification and Uses ",by the Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office:1979,Washington D.C. 20402, pp. 1-85.

(4) Rafael C. Gonzalez,Paul Wintz,"Digital Image Processing : Second Edition ",Addison-Wesley Publishing Company,1987.

(5) T. Pavlidis: " Structural Pattern Recognition ", Springer Series in Electrophysics 1, 1977

(6) Michael P. Ekstrom : " Digital Image Processing Technique ", Academic Press Inc. , 1984

(7) Robert J. Schalkoff, " Digital image processing and computer vision ", John Wiley & Sons, Singapore, 1989.

(8) V.S. Srinivasan and N.N. Marthy," Detection of Singular Points in Finger Images " Pattern Recognition Vol 25 No 2 pp 139 - 153 , 1992 Printed in Great Britain.

(9) C. V. Kameshwara Roo. B. Prasad and K.R. Shama , " Automatic fingerprint-a syntactic approach".Proc. 3rd Int. Conf.on Pattern Recognition. San Diego. pp. 778-782, November 1976.

(10) B. M.Mehtre , N. N. Murthy, S. Kapoor and B. Charterjee, " Segmentation of fingerprint image ". Pattern Recognition 20. 429-435, 1987

(11) ทรงชัย วีระทวีมาศ , ครรชิต ไมตรี และ เกรียงไกร โชวเจริญสุข, "การปรับปรุงวิธีการหาค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยีของภาพดิจิตอลทั่วไป ", บทความการประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13 ณ.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 629-637, พ.ศ.2533.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(12) ทรงชัย วีระทวีมาศ , ดร. กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ , "อัลกอริทึมในการทำให้วัตถุในภาพบางอย่างรวดเร็ว ", บทความการประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2534 ณ.กรุงเทพมหานคร 31 ตุลาคม - 3 พฤศจิกายน 2534 , หน้า 781-790

(13) รศ. ครรชิต ไมตรี , อัศวิน วัฒนะทรัพย์ , สุขสถิต สุขใจ , " การหาฮิสโตรแกรมคำนวณทิศทางของลายพิมพ์นิ้วมือ ", บทความการประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 ณ.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หน้า (6-48)-(6-50), 3-4 ธันวาคม พ.ศ.2535.

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการค้นคว้าวิจัยนี้ ได้รับการช่วยเหลือและให้ข้อมูลทางทฤษฎีตลอดจนให้คำปรึกษาทางด้านลายนิ้วมือเบื้องต้น จาก พ.ต.อ. อนันต์ อุณหนันท์ และ พ.ต.ต.(ญ) วิวรรณ สุวรรณสัมฤทธ์ กองพิสูจน์หลักฐานกรมตำรวจ(ปทุมวัน) กรุงเทพฯ คณะผู้ค้นคว้าวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ.โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้ค้นคว้าวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้