

지문 Pattern 인식 Algorithm

김정규 · 김봉일
한국과학기술원 시스템공학센터
(1987년 2월 10일 받음; 1987년 2월 15일 수리)

Fingerprint Pattern Recognition Algorithm

Chung-Kyue Kim and Bong-II Kim
Systems Engineering Research Institute, KAIST
(Received February 10, 1987; Accepted February 15, 1987)

Abstract

The purpose of this research is to develop the Automatic Fingerprint Verification System by digital computer based on specially in PC level. Fingerprint is used as means of personal identity verification in view of that it has the high reliability and safety.

Fingerprint pattern recognition algorithm is constitute of 3 stages, namely of the preprocessing, the feature extraction and the recognition. The preprocessing stage includes smoothing, binarization, thinning and restoration. The feature extraction stage includes the extraction of minutiae and its features. The recognition stage includes the registration and the matching score calculation which measures the similarity between two images.

Tests for this study with 325 pairs of fingerprint resulted in 100% of separation which in turn is turned out to be the reliability of this algorithm.

1. 서론 (Introduction)

개인을 확인하기 위한 방법^{1),2)}은,

- 1) 개인의 소유물(ID Card, 도장 등)에 의한 방법,
- 2) 기억하고 있는 내용(암호, 압증 번호 등)에 의한 방법,
- 3) 개인의 신체에 부수되어 있는 특징(지문, 손 모양, 동공 Pattern 등)에 의한 방법

등의 세가지로 분류할 수 있다. 이들 방법 중 신뢰성(Reliability : 본인 거부율이 적음)과 안정성(Safety : 타인 수락률이 적음)이 높다는 면에서 단연 3)의 방법이 security가 높다. 3)의 특징 중에서도, 지문은 '만인 부동', '중생 불변'의 특성을 지니고 있어, 개인 확인의 수단으로서 타의 특징과는 비교할 수 없는 장점을 지니고 있다.

고대 중국에 있어서 개인의 확인에 지문이 이용되었다는 기록³⁾이 있다. 경찰 수사에 있어서 지문이 이용되어 온 것은 잘 알려진 일이다. 경찰에 있어서 검색해야 하는 Data 양이 증가되어 이에 대한 수작업 처리는 한계에 달하여 지문 인식 처리의 자동화가 강력히 요구되고 있다.

지문 자동 인식 시스템은 크게 Identification System과 Verification System으로 나눌 수 있다.¹⁾ Identification System은 경찰에서 사용하는 것과 같은 System으로, 수많은 등록 지문 Data 중에서 입력 지문이 어느 Data에 해당되는가를 가려내는 '1 : 다수'의 검색 System을 말한다. Verification System은 ID#와 지문을 입력하여 등록된 지문과의 동일 여부를 가리는 '1 : 1'의 판정 System을 말한다. Verification System은 중요 시설의 입·출입 통제에 활용할 수 있다.

현재 Identification System의 처리 Algorithm^{2),4),5)}은 거의 정립되어 실용화 단계에 이르고 있다. Verification System^{6),7),8)}은 몇 개의 시스템이 개발되어 있으나 정확도 및 가격 면에서 실용화까지는 몇 가지 문제점을 안고 있다.

본 연구는 위와 같은 문제점의 개선을 목표로 하였으며, 저가격이며 고성능인 지문 Input System과 PC level에서 행할 수 있는 인식 Algorithm의 Prototype이 완성되었기에 보고한다.

2. 지문 인식 처리의 개요(Outline of Processing)

지문인식처리 전반적인 Flow를 Fig. 1에 표시한다. 처리는 크게 3단계로 나눌 수 있다.

제 1단계는 CCD Camera를 이용, 지문을 입력하여 복원 처리까지의 전처리(Preprocessing) 단계이다. 전처리의 내용은 Input System에 의해 얻어지는 화상의 화질에 크게 영향을 받는다.

제 2단계는 특징 추출(Feature Extraction) 단계로, 지문의 특징점(Minutiae)인 단점(Ridge Ending)과 분기점(Bifurcation)의 위치 및 방향, Relation 등의 특징량 추출 과정이 포함된다. 각 특징 및 특징량은 Fig. 2에 표시한 바와 같다. 지문은 융선(Ridge)과 골(Valley)으로 구성되어 있으며, 융선이 끝나는 점을 단점, 나누어지는 점을 분기점이라 한다. Relation이란 한 특징점을 중심으로 하고, 그 특징점의 방향을 Y축으로 하는 국소 좌표계의 각 상한에 있어서 가장 인접한 특징점 간에 존재하는 융선수를 말한다.²⁾

제 3단계는 인식(Recognition) 단계로서, 동일인의 지문 여부를 판정하고자 하는 2매의 지문 화상을 동일 좌표계에 변환하는 Registration처리와, 2매의 화상 간의 Similarity를 측정

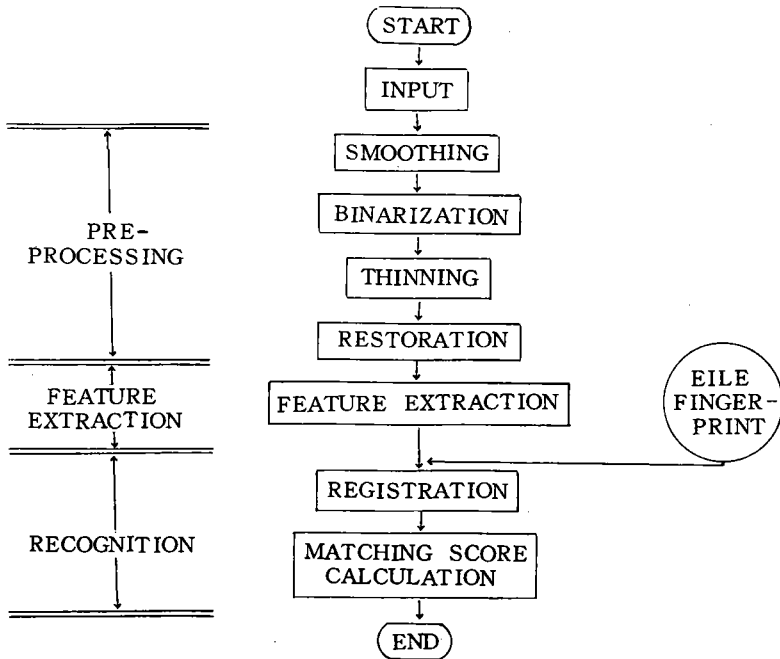


Fig. 1. Flow of Automatic Fingerprint Verification System.

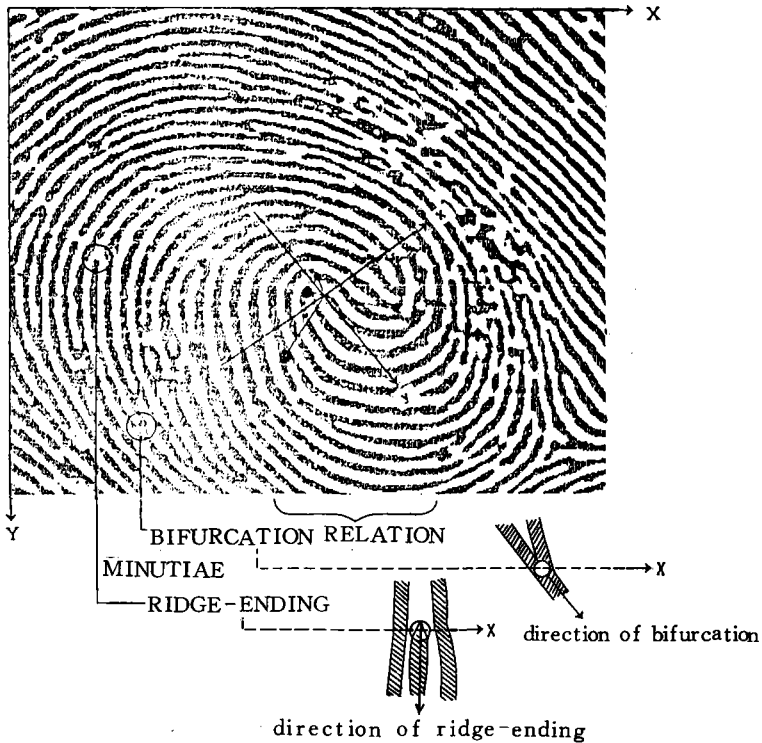


Fig. 2. Minutiae and its Features.

하는 Matching Score 계산과정이 포함된다.
 각 단계의 자세한 처리 내용은 아래와 같다.

3. 전처리 (Preprocessing)

3.1. 지문의 입력 장치 (INPUT SYSTEM)

Input System의 실용화에 있어서 고려해야 할 사항은 높은 S/N (Signal by Noise) Ratio, 소형, 경량 및 저가격의 시스템이어야 한다는 점이다.

Input 방식으로는

- 1) Sensor에 지문을 직접 입력하는 방식,⁷⁾
- 2) Prism의 광로분리법 및 전반사법에 의한 방식,^{6),9)}
- 3) Laser 광에 의해 용선과 곡의 거리차를 이용하는 방식⁸⁾

등의 세가지가 있다. 본 연구에서는 이 중 위의 제조조건을 고려하여 Prism의 전반사법에 의한 Input System을 채택, 개발하였다.

Input System의 Configuration을 표시하면 Fig. 3과 같다. 광원으로는 2개의 LED

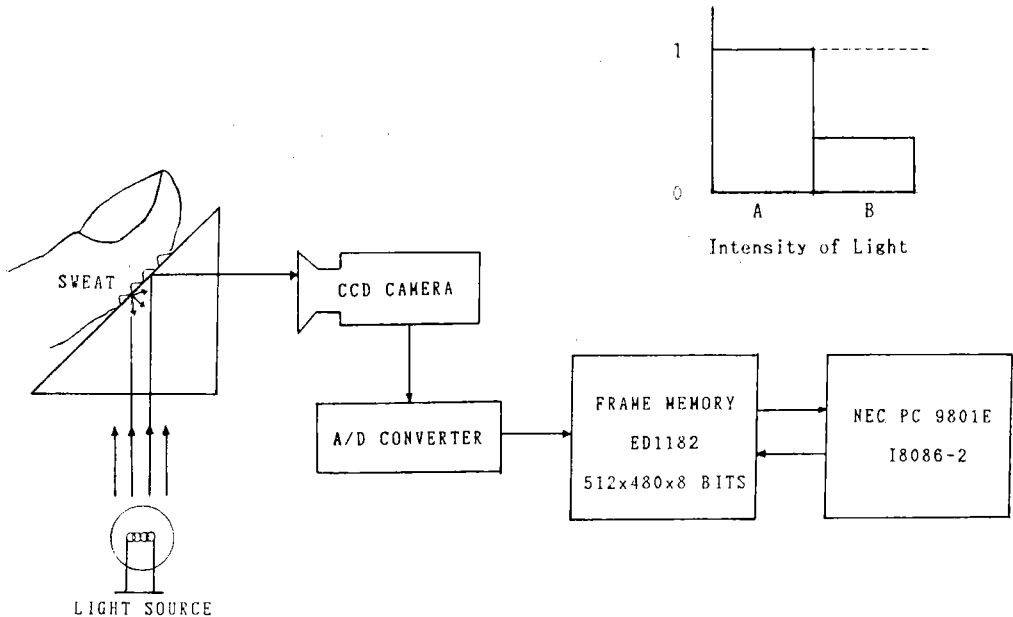


Fig. 3. Configuration of Input System.

를 사용하고 있다. 입력화상은 CCD (Charge Coupled Device) Camera를 이용, $512 * 400$ Pixel, 한 Pixel 당 8 Bit로 얻어진다. CCD Camera에 입력되는 빛의 Level은 Prism면과 손가락의 비접촉부(꼭부분)에 있어서는 강하고, 접촉부(응선부)에서는 땀, 기름 등으로 인해 광원으로부터 Prism면에 입력된 빛이 산란 및 흡수되므로 약하다.

이 시스템에 의해 얻어진 Original Image는 Fig. 4와 같다. 그림에서 어두운 부분은 응선부이며, 밝은 부분은 꼭부이다.

3. 2. 잡음 제거(Smoothing)

원화상에는 Sensor와 입력 신호 전송제에 기인하는 내부적인 잡음과 손가락의 땀구멍, Prism표면의 먼지 등에 의한 외부적인 잡음이 포함되어 있다. 이들 잡음을 제거하기 위해 $3 * 3$ Pixels Window의 Average Filter를 이용하였다.

Smoothing의 결과는 Fig. 5와 같다.



Fig. 4. Original Image.

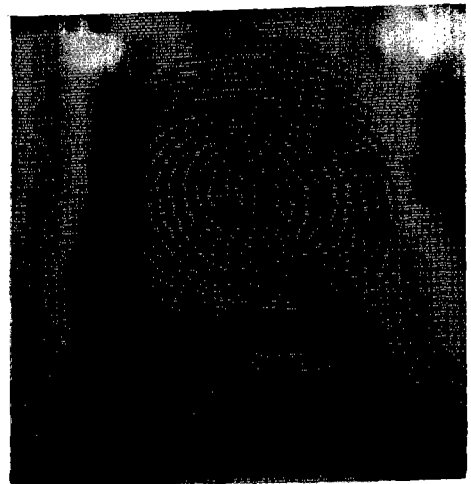


Fig. 5. Smoothed Image.

3. 3. 이치화(Binarization)

Smoothing처리 후의 화상에는 Input System의 광원 및 손가락 압력의 불균일로 인해 부분적인 Shading이 존재한다. 이들의 영향을 고려하여 Local Threshold Value에 의한 Binarization을 행하였다.

전체 화상을 $12 * 12$ Pixel 크기의 국소영역으로 구분하여, 2단계의 Binarization을 행한다. 즉, 제 1 단계로, 국소영역의 평균 및 분산치를 계산하여 분산치로서 지문 영역과 배경 부분을 구분한 다음, 제 2 단계로 지문영역으로 판별된 국소영역마다 그 평균치를 Threshold Value로 하여 응선과 꼭을 분리하였다.

Binarization의 결과는 Fig. 6과 같다.

3. 4. 세신화(Thinning)

Binarization 화상에서 직접 특징점을 추출할 수도 있으나, 그 Algorithm이 복잡하고, 처리 시간이 길며, Accuracy가 낮다. 따라서 계속되는 처리를 효과적으로 행하기 위해 Hilditch Algorithm¹⁰⁾에 의해 용선의 세신화를 행하였다.

처리 결과를 Fig. 7에 나타낸다.

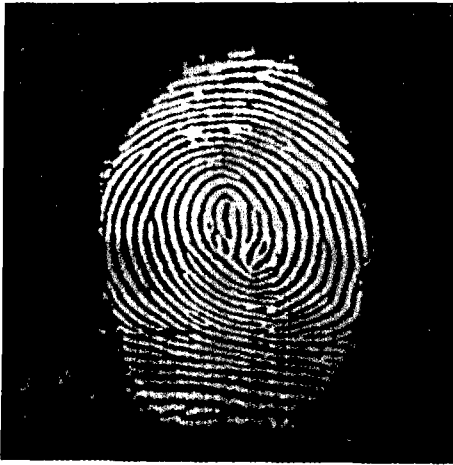


Fig. 6. Binary Image.

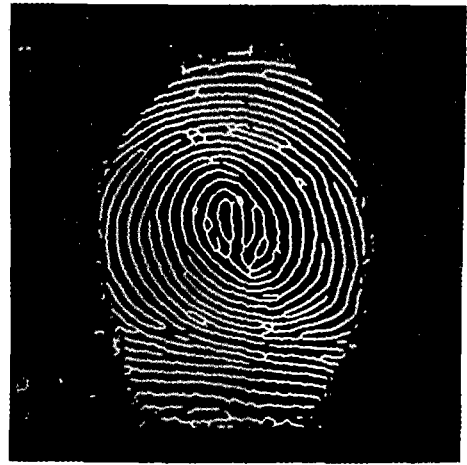


Fig. 7. Thin Image.

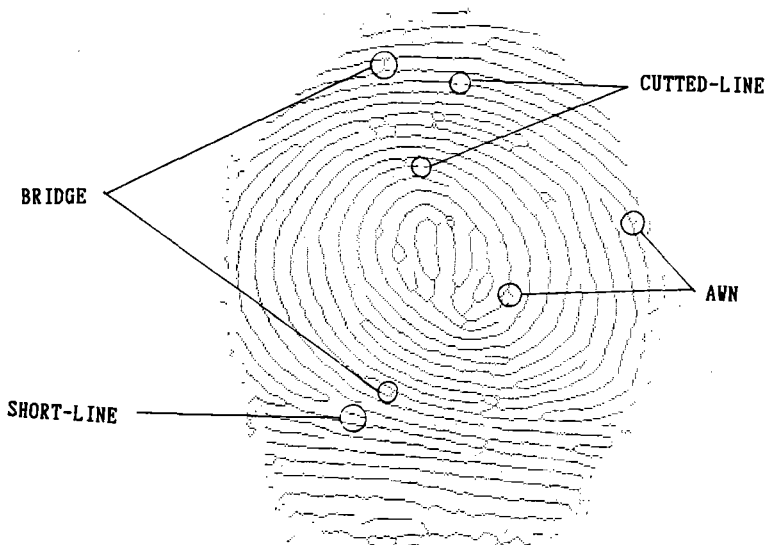


Fig. 8. Example of Pseudo-Minutiae.

3. 5. 복원 처리(Restoration)¹⁾

전화상에 있어서는 원래의 지문 화상에는 존재하지 않는 구조가 화상의 입력 단계 및 전처리를 행하는 과정에서 나타난다. 이러한 구조는 Fig. 8에 표시한 바와 같이 의사(Pseudo) 단점과, 의사 분기점으로 대별되며, 각각 일정 거리 T1 이내에 있어서,

- 1) 절단선 : 원래의 하나의 용선이 끊어져 나타난 단점의 쌍
- 2) 단선분 : 고립된 선에 의해 생긴 단점의 쌍
- 3) 수염 : 단점 및 분기점의 쌍
- 4) Bridge : 분기점, 분기점의 쌍

으로 나눌 수 있다. 이러한 구조를 정상대로 복원하는 처리가 이 단계에서 행해진다.

본 연구에서는 전화상을 61 * 61 Pixel의 단위영역으로 분할하여 처리하고, 화질이 좋은 영역부터 복원처리를 시작하여, 각 구조에 적합한 처리를 단계적으로 행하였다. 화질의 평가는 각 단위 영역에 존재하는 특징점의 수를 기준으로 하였으며, 그 수가 적은 영역일수록 화질이 좋다고 평가하였다.

각 영역의 단계적 복원 처리내용은 다음과 같다.

<제1단계> 절단선의 제거

Fig. 9에 표시한 바와 같이 거리 T2 이하의 두 단점에 대하여, 하나의 단점의 방향에 의해 결정되는 국소 좌표계에 있어서 다음 식(3. 1)

$$Y_i \geq a * X_i^b \dots\dots\dots (3. 1)$$

여기서 a, b : 상수

X_i, Y_i : 단점 i의 국소 좌표

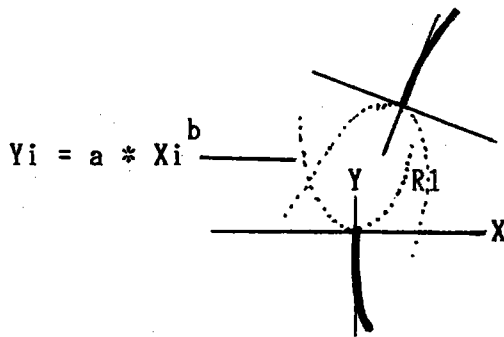


Fig. 9. Joining of the Cutted-Line. $Y_i = a * X_i^b$ Y R1 X

로 국한되는 범위 내에 다른 단점이 존재하고, 그 단점의 관점으로부터도 (3. 1)이 성립되면, 두 단점을 연결한다.

<제 2 단계> 단선분 및 수염의 제거

어느 단점으로부터 용선을 추적하여 거리 T3 이내에 단점이 연결되어 있을 때는 단선분으로, 분기점으로 연결되어 있을 경우에는 '수염'으로 간주하고, 양 특징점 간의 연결선을 제거한다.

<제 3 단계> Bridge의 제거

분기점의 경우는 다음 식 (3. 2)에 의해 복잡도를 계산하여, 복잡도가 작은 순으로 복원처리를 행한다.

$$A = 2 * FB1 - \frac{1}{2} * FB2 - 1 \dots\dots\dots (3. 2)$$

여기서, A : 복잡도

FB1 : 분기점을 구성하는 3개의 용선이 다른 분기점과 연결된 용선 수

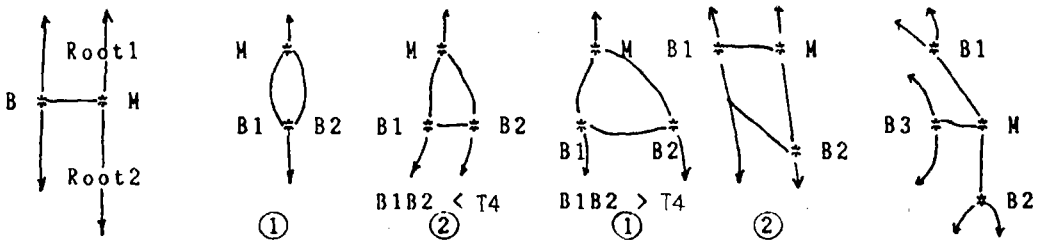
FB2 : 분기점이 두 개 이상일 때, 두 분기점 간의 직선거리가 T4 이하인 분기점의 수

복잡도가 낮은 특징점부터 복원 처리를 행하는 이유는,

- i) 복잡도가 낮을수록 각 특징점의 방향 정보가 충실히 추출되어, 정확한 복원이 가능하고,
- ii) 한 특징점을 처리한 후 인접된 특징점의 복잡도 또한 낮아진다는 두 점을 들 수 있다.

복잡도에 따른 구조의 예를 Fig. 10에 나타낸다. 여기서 M은 처리 시점을, B1, B2, B3는 이에 연결된 다른 분기점을 나타낸다.

- (1) A = 1 MB를 제거
- (2) A = 2 MB1, MB2 중에서 보다 많은 화소 수를 갖는 선을 제거
- (3) A = 3 1) B1, B2가 연결되어 있는 경우 ... B1B2 제거
2) 연결되어 있지 않은 경우 ... MB1, MB2 중 root와의 방향차가 큰 연결선 (MB1)을 제거



--- (A = 1) ----- (A = 2) ----- (A = 3) ----- (A = 4) ---

Fig. 10. Classification of Bridge by Complexity.

- (4) A = 4 …… MB1, MB2, MB3 중 가장 큰 내각을 이루는 두 선을 제외한 다른 한 선분 MB3을 제거한다.

Fig. 11에 복원처리 결과를 표시한다.

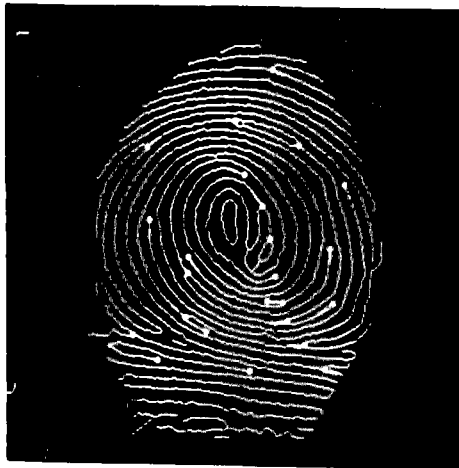


Fig. 11. Restoration Image.

4. 특징추출 (Feature Extraction)

4. 1. 특징점 추출 (Minutiae Extraction)

지문 자동 인식에 사용되는 지문의 특징점은 다음 식 (4. 1)에 의해서 구한다.

$$CN = \sum_{i=1}^8 |M(i) - M(i+1)| \dots\dots\dots (4. 1)$$

여기서, CN : CROSSING COUNT NUMBER

M(i) = 1 : 융선상의 화소

0 : 배경의 화소

M(9) = M(1)

i 는 Fig. 12에 표시된 것과 같은 순서이며, 단점, 분기점은 각각 CN = 2, 6 이다.

1	2	3
8	M	4
7	6	5

Fig. 12. 3 x 3 MASK.

4. 2. 특징량의 추출 및 분류(Features and its Classification)

특징점으로부터 구할 수 있는 특징량은 다음과 같다.

1) 하나의 특징점으로부터의 특징량

i) 종류 ... 분기점, 혹은 단점

ii) 좌표 ... 화상 왼쪽 위를 원점으로 하고, 주사 방향을 X축으로 하는 절대 좌표계상에서 구한 각 특징점의 좌표

iii) 방향

· 단점의 방향

단점의 좌표를 (X1, Y1)이라 하고, 그 단점으로부터 출발하여 용선을 추적하여 거리 T4 이상 되는 점의 좌표를 (X2, Y2)라 할 때,

$$\theta = \text{COS}(D1/D) \dots \dots \dots (4. 2)$$

여기서, $D1 = X1 - X2$

$D2 = Y1 - Y2$

$D = \sqrt{D1^2 + D2^2}$

분기점의 방향

Fig. 13에 표시된 바와 같이 분기점을 이루는 용선의 각도 α, β, r 중 최소치를 구하여, 그 각도를 이루는 용선과 관계가 없는 용선의 방향을 분기점의 방향으로 함. Fig. 13의 경우에 분기점의 방향은 화살표로 표시된 방향

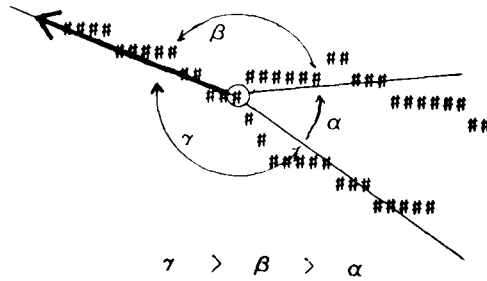


Fig. 13. Direction of Bifurcation.

2) 특징점 간에 존재하는 특징량

각 상한에 있어서 Relation을 구한 특징점을 관계점이라 할 때, 관계점으로부터 구할 수 있는 특성

- i) Relation ... 각 특징점을 중심으로 하고 그 방향을 Y축으로 하는 국소 좌표계의 각 상한에 있어서 가장 거리가 짧은 특징점 사이의 용선 수
- ii) 관계점의 방향 ... 주목 특징점을 중심으로 하고, 그 방향을 Y축으로 할 때의 국소 좌표계에 있어서 특징점과 관계점이 X축과 이루는 각

iii) 관계점 자체의 특성

- a) 종류
- b) 좌표
- c) 방향

이들 특징량은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 1) CLASS - 1 : 변위 및 회전에 불변하는 양
 - 1) - i, 2) - ii, 2) - iii - a
- 2) CLASS - 2 : 변위에 불변하는 양
 - 1) - iii, 2) - iii - c
- 3) CLASS - 3 : 변위 및 회전에 영향을 받는 특징량
기타

5. 인식 (Recognition)

5. 1. 좌표변화

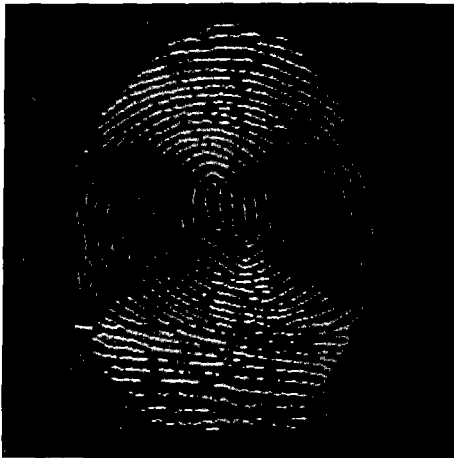
비교하고자 하는 2매의 화상을 동일 좌표계 상에 변환하는 처리를 Registration이라 한다. 좌표변환의 계수를 구하기 위한 기준점으로는 특징량이 일치하는 특징점의 Pair를 이용한다.

분류된 특징량을 이용하여, 다음과 같은 단계에 의해 입력 지문을 등록되어 있는 지문의 좌표계에 변환시킨다.

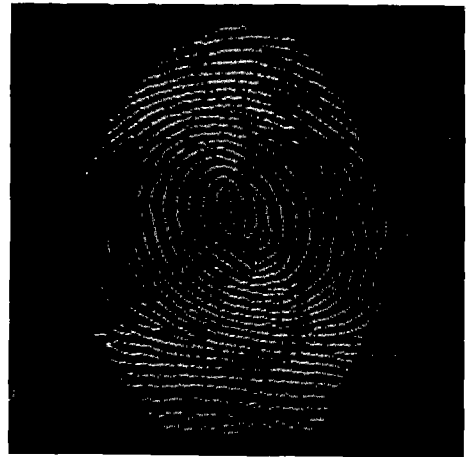
제 1단계 : CLASS - 1의 특성을 이용하여 종류가 일치하고 Relation 및 방향차가 일정 Threshold 이내인 기준점 후보를 검출

제 2단계 : CLASS - 2의 특성을 이용, 각 기준점 후보의 회전각을 검출, 가장 밀집도가 높은 회전각 Cluster의 평균과 일정 Threshold 이상의 방향차를 갖는 기준점 후보를 제거

제 3단계 : CLASS - 3에 의해 가능성이 낮은 기준점을 제거. 최후에 남은 기준점을 이용하여 LSE (Least Square Error) Method에 의해 Affine Transform의 계수를 구하여 좌표변환을 행한다.



(A) Before Registration



(B) After Registration

Fig. 14. Comparison Between Before and After Registration.

$$X' = X \cos \theta + Y \sin \theta + \Delta x$$

$$Y' = -X \sin \theta + Y \cos \theta + \Delta y \dots\dots\dots (5.1)$$

여기서, X, Y : 변환전의 좌표

- X', Y' : 변환후의 좌표
- θ : 회전각
- Δx : X축 방향의 변위량
- Δy : Y축 방향의 변위량

좌표전환처리 이전과 이후의 입력 화상과 등록 화상을 중첩시킨 결과를 Fig. 14에 표시한다.

5. 2. Matching Score Calculation

최종 Matching Score는 가장 신뢰할 수 있는 특징량인 각 특징점인 위치 및 방향에 의하여, 다음 식 (5. 2)을 이용하여 구하였다.

$$S = (2 * S1) / (F1 + F2) \dots\dots\dots (5. 2)$$

여기서, S1 : 입력 화상과 등록 화상의 특징점 간에 좌표 및 방향의 차가 일정 Threshold Value 이하의 특징점 Pair의 수

F1 : 입력 화상의 특징점의 수

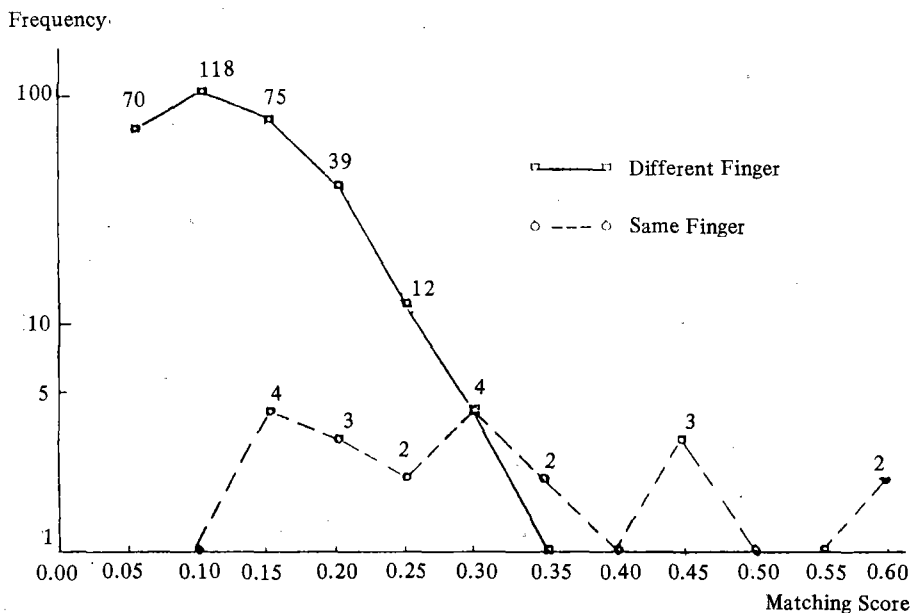
F2 : 등록 화상의 특징점의 수

6. 고찰 (Discussion)

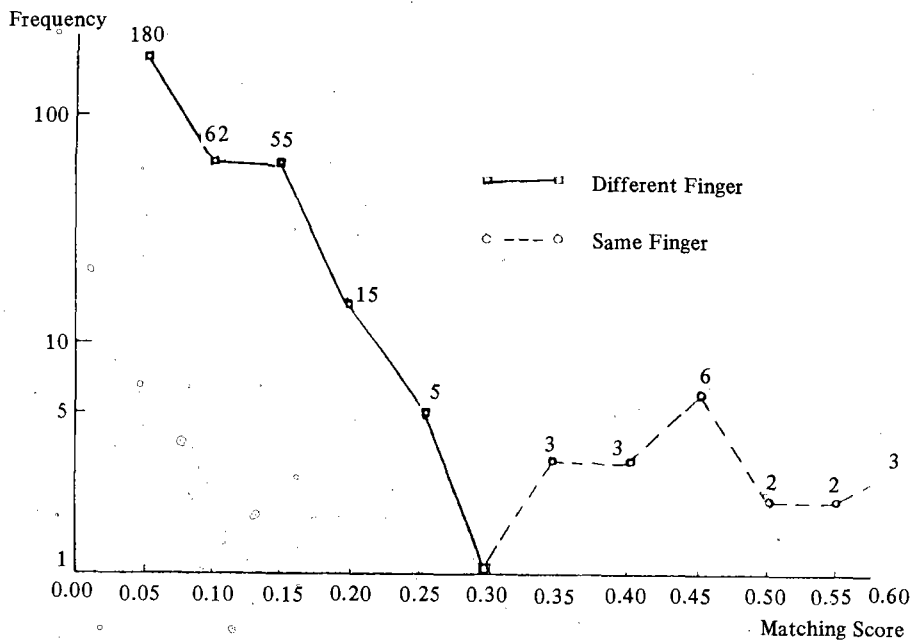
본 수법의 유효성을 확인하기 위하여 325조(동일지문 : 13조, 상이지문 : 312조)의 지문 화상을 대상으로 Matching Score 계산을 행하였다. 그 결과를 Fig. 15에 나타내었다. X축

Table 1. Processing Time

Step	time
Smoothing	2 min.s 30 sec.s
Binarization	4 min.s
Thinning	10 min.s
Restoration	20 min.s
Feature Extraction	10 sec.s
Registration	5 sec.s
Matching	10 sec.s
Total	36 min.s 55 sec.s



(A) Before Registration



(B) After Registration

Fig. 15. Distribution of Matching Scores.

은 (5.2)식에 의해 산출한 Matching Score를, Y축은 그 빈도를 Log Scale로서 표시한 것이다. 좌표변환전에는 동일지문과 상이지문의 Matching Score의 분포가 겹쳐 동일지문의 30%(전체 13조 중 4조)만이 상이 지문과 분리되었으나, 좌표변환후에는 100% 분리도를 나타내 본 수법의 유효성이 판명되었다.

각 처리 단계별 처리시간은 Table 1에 표시한 바와 같다. NEC PC 9801 E을 사용하여 약 30분 소요된다. 처리 시간의 단축은,

- 1) 고속 Image Processor의 사용과
- 2) 입력 Guide의 설치로 Registration 과정의 간략화,
- 3) 지문을 등록할 때의 처리와 입력지문과 등록지문의 유사도를 측정하는 조합 처리를 분리하여 조합 처리시에는 등록된 Data를 최대한 이용하여 처리과정을 단순화하는 방안 등으로 가능하다고 사료된다.

Reference

- 1) 김봉일·김정규, 1986, 컴퓨터에 의한 개인 인증 기술, 정보과학회지, 제 4권 3호, pp. 55~64.
- 2) Misao Kawashima, Kazuo Kiji, 1984, Personal Identification By Fingerprint or Palm-Print (Japanese), *Information Processing*, Vol. 25, No. 6, pp. 599-605.
- 3) Institute of Applied Science, 1971, *Fingerprint, F.B.I., U.S.A.*
- 4) Japan National Police Agency, 1983, *FIS Automated Fingerprint Identification System*.
- 5) Printrak, 1984: *Automated Fingerprint Identification System*, De la Rue Printrak Inc., CA. U.S.A.
- 6) Koichiro Morita, Ko Asai, 1985, Fingerprint Identification for Personal Verification (Japanese), *Conf. on Electronic Comm.*, AC 85-56, pp. 97-104.
- 7) Fuminobu Komura, Shimbu Yamagata & Akihiro Kondo, 1984, Real Time Fingerprint Identification System Using Multi-Microprocessor(Japanese), *13th Conf. on Image Eng.*, pp. 173-174.
- 8) Finger Matrix, 1986, *Readge Reader*, Finger Matrix Inc., U.S.A.
- 9) Akihiro Shimizu, Masahiko Hase, 1985, Entry Method of Fingerprint Image with Prism (Japanese), *Electronic Comm.*, Vol. J68-DNO, 3, pp. 414-415.
- 10) C.J. Hilditch, 1969, Linear Skeleton From Square Cupboards, *Machine Intelligence 4*, American Elsevier, N.Y., pp. 403-420.
- 11) 김봉일·이상선·김정규, 1987, 세션화된 지문 화상의 단계적 복원 처리, 정보과학회 논문지, 제 14권 1호.
- 12) Bong Il Kim, Chung Kyue Kim, Jae Yoen Lee, 1987, Coordinates Transform by Using Features Invariant to Translation & Rotation(Japanese), *Electronic Imagies*.