

論文2003-40SP-6-2

다양한 지문 영상에 강인한 지문인식 시스템 개발

(Development of a Fingerprint Recognition System for Various Fingerprint Image)

李應逢*, 田盛旭*, 柳春雨*, 金學一*

(Eung-Bong Yi, Sung-Wook Jun, Choon-Woo Ryu, and Hak-Il Kim)

요약

현재 상용화된 지문인식 시스템은 지문 입력기를 구동하는데 필요한 함수가 표준화 되어있지 않기 때문에 입력기 사이의 호환이 불가능하다. 본 연구의 목적은 지문인식 시스템이 대중화됨에 따라 앞으로 지문인식 시장에서 수요가 예상되는 다양한 지문 입력기 사이의 지문인식이 가능한 시스템의 개발이다. 본 논문에서는 광학식, 반도체식, 열감지 방식의 지문 입력기를 대상으로 하여 지문인식 시스템을 설계 구현하였으며, 융선 개수 정보의 추출 방법과 융선 개수 정보를 이용한 정합 방법을 제안하였다.

Abstract

As the technical demand for biometrics is increasing, users expect that fingerprint recognition systems are operable with various fingerprint readers. However, current commercial off-the-shelf fingerprint recognition systems are no interoperable due to the lack of standardization in application program interfaces for fingerprint readers. A cross-matching fingerprint recognition system is a person authentication system based on fingerprints and utilizing different types of fingerprint readers. It should be able to overcome variations in fingerprint images acquired by different readers, such as the size, resolution, contrast of images. The purpose of this research is to develop across-matching fingerprint recognition system for fingerprint readers of different sensing mechanism. The fingerprint readers tested in this study are optical, semiconductor and thermal sensor modules, and the proposed cross-matching system utilizes both a minutiae-based similarity and a ridge count-based similarity in matching fingerprint images acquired by different sensors.

Keyword : Fingerprint, Cross-matching, Multiple-matcher, Ridge count

I. 서론

최근 보안의 필요성이 증대되면서 다양한 생체 인식 기술 연구가 활발히 진행되고 있다. 생체인식 산업이 성장기에 접어든 상황에서 생체인식 분야의 표준화 또

한 빠른 속도로 진행되고 있다. 이미 BioAPI^[1], CBEFF^[2], X9.84^[3]와 같은 표준안이 발표되었으며, 이 중 BioAPI가 ANSI에 제출되어 향후 생체인식 분야의 주도적인 입지를 가지고 있다. BioAPI는 어떠한 형태의 생체 인식 기술이든지 적용 할 수 있는 일반적인 상위계층 생체인증 모델을 제공할 계획이다. 이는 등록(enrollment), 인증(verification), 식별(identification)과 같은 기본적인 기능과 더불어 생체 인식 서비스 공급자 BSP(BioAPI Service Provider)가 식별 대상인원을

** 正會員, 仁荷大學校 情報通信大學院
(Graduate School of Information Technology & Telecommunication, INHA University
接受日字:2003年7月15日, 수정완료일:2003年11月1日

관리하는데 최적의 성능을 발휘하게 하는 데이터베이스 인터페이스를 포함한다. 또한 BioAPI는 한가지 생체인식 기술을 사용하는 인증 방법이나 여러 가지 생체인식 기술이 조합된 인증방법 모두를 지원 할 수 있도록 설계되었다. 이렇게 생체인식 분야의 표준화가 이루어져 지문 입력기의 호환성이 보장될 경우 인증수단으로 지문인식을 사용하는 전자상거래 기업은 모든 사용자를 수용하기 위해 다양한 지문영상 사이에 인증이 가능한 알고리즘이 필요할 것으로 예상된다. 본 연구는 이러한 필요성을 충족시키기 위한 시도이다.

온라인 지문인식에 사용되는 지문입력 장치는 제품마다 각기 고유의 특성을 가지고 있다. 특성으로는 지문 영상의 크기(image size), 해상도(resolution), 센서의

타입에 따른 지문 용선의 표현방법 등을 들 수 있으며 가장 큰 걸림돌로는 해상도를 들 수 있다. 다양한 지문 영상 사이의 정합에서 해상도 차이는 결국 용선 간격의 차이로 나타나고, 이로 인해 추출된 특징점의 위치 또한 틀려지게 된다. 다양한 지문 입력기를 사용해 획득한 동일 지문 영상은 <그림 1>과 같으며, 각 입력기의 사양을 정리하면 <표 1>과 같다. <그림 1>에 표시된 특징점쌍 사이의 화소거리를 측정하여 정리하면 <표 2>와 같이 동일 지문임에도 불구하고 입력기에 따라 두 특징점 사이의 화소거리가 다르다는 것을 알 수 있다. 이렇게 서로 다른 지문 입력기로 획득한 두개의 지문 영상 사이에는 비록 동일 지문의 같은 특징점이라 할지라도 주변 특징점들과의 거리가 모두 틀려지게 된다. 그렇기 때문에 기존의 기하학적인 방법을 사용하는 특징점 기반 알고리즘으로는 동일 지문이라 할지라도 서로 다른 기종의 입력기로 획득한 두 지문 영상을 가지고 인증하는데 어려움이 있다. <표 2>의 결과에서 NITGEN 지문영상과 ATMEL 지문영상의 2번 특징점쌍과 같이 두 특징점 사이의 화소 거리가 111.17에서 130.12로 18.95화소의 거리차를 보이고 있다. 그러므로 다양한 지문영상 사이에 인식을 위해서는 20화소 이상의 특징점 위치변화를 극복할 수 있는 새로운 지문인식 알고리즘이 필요하다.

본 연구는 지문입력 센서의 특성차이에 의해 발생하는 지문 영상간의 차이를 지문 영상의 왜곡으로 가정하고 이 문제를 해결하기 위하여 두 특징점 사이에 존재하는 용선 개수 정보를 이용하여 지문인식을 수행하고자 한다. 지문인식 과정은 크게 등록과 인증으로 나눌 수 있으며, 등록 과정에서는 특징 추출 알고리즘이 사용된다. 인증 과정에는 특징 추출 알고리즘과 정합 알고리즘이 모두 사용된다. 본 논문에서는 추출과 정합 알고리즘 모두를 연구 범위로 하고 있다.

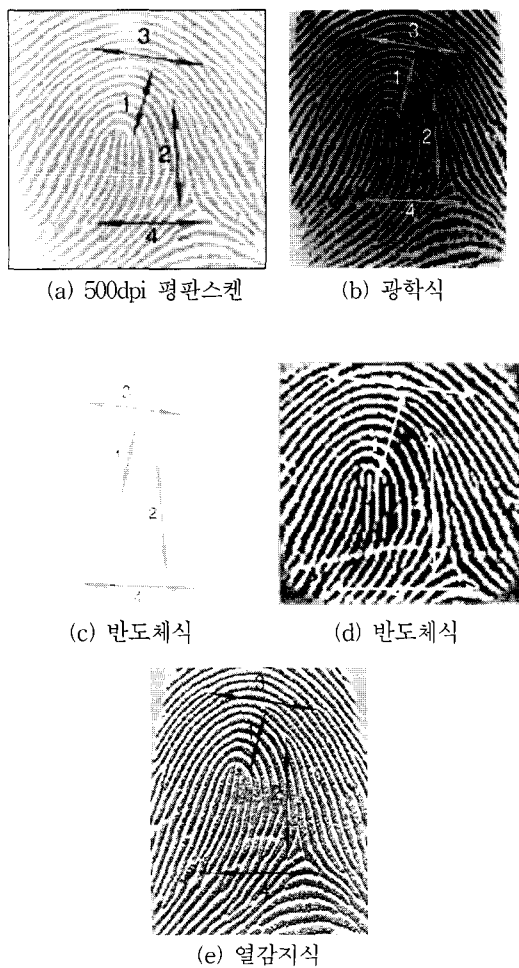


그림 1. 다양한 지문 입력기로 획득한 동일 지문 영상 예
Fig. 1. Fingerprint images of same finger that acquire by various types of fingerprint readers.

표 1. 다양한 기종의 입력기 사양 비교

Table 1. The specification of various types of fingerprint readers.

입력기 업체	센서 타입	영상크기 (W×H)	해상도
NITGEN	광학식	248×292	500dpi
Veridicom	반도체식	300×300	500dpi
AuthenTec	반도체식	256×256	500dpi
ATMEL	열감지식	312×452	500dpi

표 2. <그림 1>에 표시된 특징점쌍 사이의 화소거리

Table 2. The pixel distance between two minutiae as numbered at Fig.1.

특징점 쌍 번호	500dpi 평판스캔	NITGEN	Veridicom	Authen Tec	ATM EL
1	74.47(pixel)	70.88	73.25	70.36	79.10
2	114.16	111.17	115.21	112.11	130.12
3	109.49	110.31	112.01	115.09	119.20
4	111.00	111.00	113.00	116.02	116.90

앞으로 생체인식 분야의 표준화가 이루어져 지문 입력력의 호환성이 보장될 경우, 인증 수단으로 지문인식을 사용하는 전자상거래 기업 또는 인터넷뱅킹 서비스 사업자는 모든 사용자를 수용하기 위해 다양한 지문영상 사이에 인증이 가능한 알고리즘이 필요할 것으로 예상된다.

본 논문의 내용은 다음과 같다. II장에서는 기존의 융선 개수 측정 알고리즘의 장·단점을 비교하고 새로운 융선 개수 측정방법을 제안하였으며, III장에서는 특징점 기반의 정합 알고리즘을 간략히 소개하고 새롭게 제안한 정합방법을 기술하였고, IV장에서는 본 논문이 제안한 융선 개수 측정 알고리즘과 정합 알고리즘의 실험결과를 서술하였다. 마지막으로 V장에서는 결론을 기술하였다.

II. 융선 개수 측정 알고리즘

1. 기존연구

융선 개수 정보는 주로 대용량 지문 데이터베이스를 대상으로 지문감식을 하기 위해 AFIS(Automated Fingerprint Identification System)에서 사용하고 있다. 자동지문식별시스템의 입력 영상은 주로 잉크를 사용하여 종이에 회전 날인한 지문을 평판 스캐너를 이용하여 고해상도로 스캔한 영상이다^[4]. 자동지문식별시스템에서 지문영상의 왜곡을 극복하여 신뢰도 높은 정합 결과를 얻기 위해 융선 개수 정보를 사용하고 있다. 이와 관련된 선행 연구를 살펴보면 다음과 같다. NEC사의 알고리즘은 <그림 2>와 같이, 하나의 특징점을 선택하여 그 특징점의 방향을 기준으로 사분면에 존재하는 4개의 특징점을 선택한다. 그리고 기준이 되는 특징점과 각 사분면에 존재하는 특징점 사이의 융선 개

수 정보를 하나의 그룹으로 하여 이와 유사한 그룹의 존재 여부를 탐색하는 방법을 제안 하였다^[5]. 이 기술의 장점으로서는 지문의 일부만 남아있는 잔류 지문에서도 정합이 가능하다는 것과, 단점으로는 기준 특징점의 방향이 회전될 경우 사분면에 존재하는 특징점의 분포가 변할 수 있고, 정합시 입력 지문에서 등록지문과 동일한 5개의 특징점이 모두 추출될 재현성이 낮다는 약점을 가지고 있다. 또 다른 선행 연구로는 IBM사의 알고리즘이 있다. <그림 3>과 같이 두 특징점 사이를 화소 5개 또는 3개로 이루어진 가상의 직선을 사용하여 연결하고 화소 5개 또는 3개를 하나의 세그먼트로 하여 각 세그먼트가 융선인지 골인지를 검사하여 융선 개수 정보를 추출 하는 기술이 있다^[6].

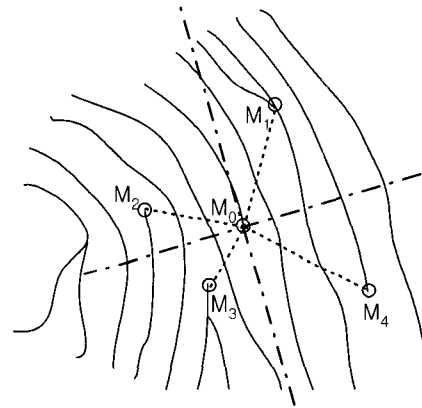


그림 2. NEC 융선 개수 측정방법^[5]
Fig. 2. NEC Ridge Count Metric^[5].

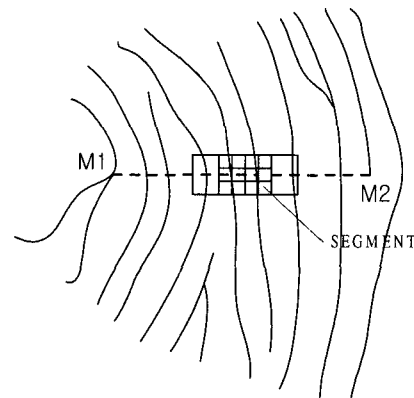


그림 3. IBM 융선 개수 측정방법^[6]
Fig. 3. IBM Ridge Count Metric^[6].

일반적으로 융선의 흐름이 급하게 변하는 부분에서

는 용선 개수 정보의 신뢰성이 떨어지는 경우가 발생하므로, 이 기술에서는 세그먼트를 사용하여 용선의 흐름이 일정한 방향으로 모두 평행한 경우에만 용선 개수 정보를 추출 하도록 하여 신뢰도를 높이는 방법에 치중한 기술이라 할 수 있다. 이 기술의 장점은 용선의 흐름이 일정한 영역에서 정확한 용선 개수 정보를 추출하기 때문에 용선 개수 정보의 신뢰도가 상당히 높고, 단점은 용선 흐름에 약간의 변형이 생겨도 용선 정보 추출에 실패하기 때문에, 정합식 등록지문에서 추출한 용선 개수 정보가 입력 지문에서도 동일하게 추출된다고 보장할 수 없다는 것이다.

2. 레이블링 용선 개수 측정

이기종 지문인식에서 해상도 차이와 용선 왜곡에 좀더 덜 민감한 인식 알고리즘을 위하여, 본 연구에서 제안하는 용선 개수 정보 추출 방법은 다음과 같다. 우선 세션화된 영상에서 추출한 모든 특징점에 대하여 임의의 두 특징점을 선택하는 모든 조합을 발생시키고 용선 개수 정보를 추출한다. 그 이유는 온라인 지문 입력기를 통해 획득한 지문영상에는 잉크회전날인 지문영상보다 상대적으로 획득되는 지문의 영역이 작아 존재하는 특징점의 개수 또한 적기 때문에, 가능한 모든 조합을 발생시켜 이용할 수 있는 용선 개수 정보를 증가시키기 위함이다. 임의의 두 특징점 사이의 용선 개수

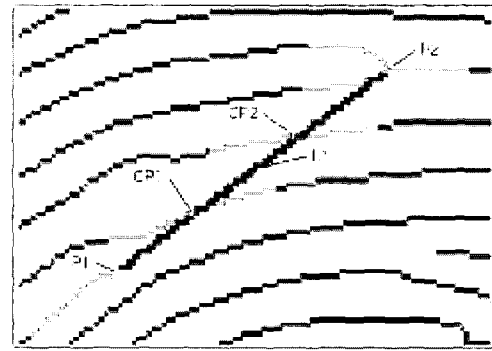


그림 5. 레이블링 용선 개수 추출 예
Fig. 5. Example of labeling ridge count metric.

를 카운트하기 위해 세션화 영상에서 두 특징점을 연결하는 직선을 설정하고, 그 직선을 따라 진행하면서 용선과 교차하는 횟수를 카운트 한다. 두 특징점이 속한 용선과 두 특징점 사이를 잇는 직선을 따라 진행하며 교차하는 용선을 레이블링하여 용선 흐름이 급격히 변하는 영역과, 분기점 주변에서 하나의 용선을 두번 카운트하지 않도록 하였다.

세션화 화상에서 두 특징점이 주어지면 각각의 특징점 좌표에서 시작하여 용선을 따라 일정 거리를 레이블링하고, 두 특징점을 잇는 가상의 직선을 따라 용선이 존재하는지 검사하게 된다. 가상의 직선은 Bresenham 알고리즘을 사용하였으며 한 특징점에서 다른 특징점으로 이동하며 용선과 교차하는 지점에서 용선을 따라 레이블링하고, 다음 용선을 찾아 진행하게 된다. 이러한 용선 개수 추출 과정을 정리하면 <그림 4>와 같으며, 세션화 화상에서 임의의 두 특징점 사이에 존재하는 용선 개수 정보 추출 예는 <그림 5>와 같다.

III. 정합 알고리즘

용선 개수 정보를 이용한 정합 방법으로는 세 개의 특징점을 하나의 그룹으로 하여 각 특징점의 방향과 세 특징점 사이의 용선개수 정보를 이용하는 기술^[7]이 있으나, 본 연구에서는 두 템플릿의 유사도를 결정하는 정합 방법으로 클릭 구조를 이용한 정합을 사용하였다^[8,9]. 두 지문을 정렬하기 위한 기준점을 찾기 위해 세 개의 특징점과 외접하는 원의 반경, 특징점의 방향, 타입, 사잇각 정보를 하나의 그룹으로한 클릭을 사용한다. 클릭 구조를 확장 시키면 앞에서 추출한 용선 개수 정

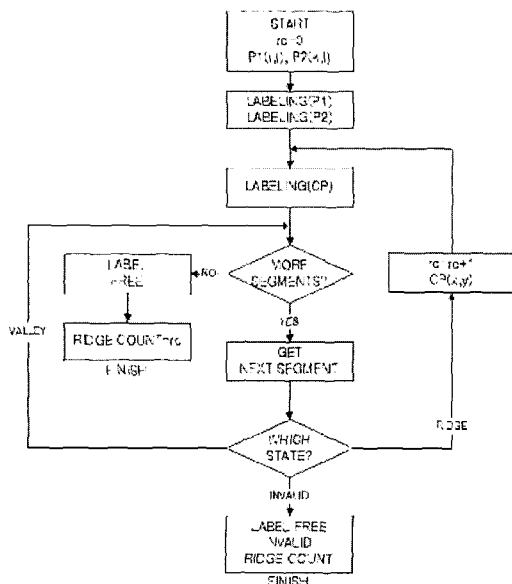


그림 4. 레이블링 용선 개수 측정 순서도
Fig. 4. Flowchart of labeling ridge count.

보를 정합에서 사용할 수 있고, 특징점 기반의 정합과 용선 개수 기반의 정합 결과의 비교가 가능하므로 클릭 구조를 선택하였다.

1. 다각형 확장 정합

클릭 자료구조에 용선 개수 정보를 추가하여 확장된 자료 구조를 사용한다. 클릭 자료구조는 <그림 6>과 같이 세 개의 특징점(M_a, M_b, M_c)과 외접원의 반경, 외접원의 중심점 사이의 사잇각(α, β), 특징점의 방향(d_a, d_b, d_c), 타입으로 이루어져 있다. 여기에 클릭을 이루는 세 특징점 사이의 용선 개수 정보를 추가하여 클릭 구조를 확장 하였다.

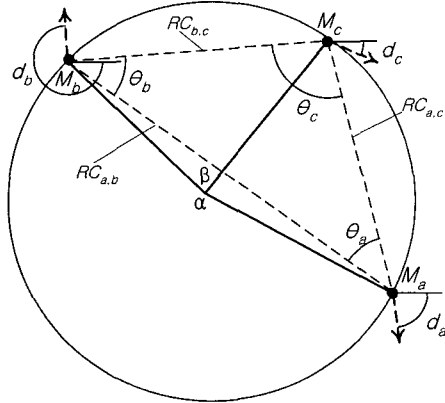


그림 6. 확장 클릭 구조
Fig. 6. Geometry of extended clique.

```

/* 확장 clique 정보 저장용 구조체 */
struct Clique{
    float radius;          /* clique의 외접원의 반경 */
    float Bt;             /* 가장 큰 각 (radian) */
    float St;             /* 시계방향 다음각 (radian) */
    float Ft;             /* [0, 2PI] */
    unsigned char i0;     /* 시작 특징점의 index */
    unsigned char i1;     /* 중간 특징점의 index */
    unsigned char i2;     /* 마지막 특징점의 index */
    int cx, cy;           /* clique 무게중심 */
    int rc_square;        /* ridge count 제곱의 합 */
}
    
```

기존의 특징점 기반의 정합 알고리즘은 다양한 지문 영상 사이의 정합에서 거리정보에 영향을 받기 때문에 유사도 점수가 낮고 변별력이 떨어진다는 문제점을 가

지고 있다. 특징점 기반 정합에서는 정렬 기준점을 정하고 특징점의 좌표계를 전체적으로 변환하기 때문에 정렬 기준점에서 멀어질수록 거리오차가 누적되어 등록 지문의 특징점과 입력 지문의 특징점 사이의 거리 차이가 커지게 된다. 제안하는 정합 알고리즘은 이러한 문제점을 극복하기 위해 특징점 사이의 거리정보는 제외하고 용선 개수 정보와 특징점들이 이루고 있는 각도와 타입, 특징점 방향을 이용하고 있다. 확장 클릭 검색을 통하여 다각형 확장의 시발점인 삼각형을 결정한다. 확장 클릭의 검색 조건은 아래와 같다.

단계 1: 용선 개수 정보 RC 가 아래 조건을 만족해야 한다.

$$\begin{aligned}
 |RC_{a,b}^T - RC_{a,b}^S| \leq RC_{th}, |RC_{b,c}^T - RC_{b,c}^S| \leq RC_{th}, |RC_{a,c}^T - RC_{a,c}^S| \leq RC_{th}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

단계 2: 사잇각 α, β 가 아래 조건을 만족해야 한다.

$$|\alpha^T - \alpha^S| \leq \alpha_{th}, |\beta^T - \beta^S| \leq \beta_{th}
 \tag{2}$$

단계 3: 특징점 각도 d_a, d_b, d_c 가 아래 조건을 만족해야 한다.

$$|d_a^T - d_a^S| \leq d_{th}, |d_b^T - d_b^S| \leq d_{th}, |d_c^T - d_c^S| \leq d_{th}
 \tag{3}$$

단계 4: 특징점 타입 $\zeta_a, \zeta_b, \zeta_c$ 가 아래 조건을 만족해야 한다.

$$\begin{aligned}
 T(\zeta_a^T, \zeta_a^S) &= \begin{cases} 1 & \text{if } \zeta_a^T \equiv \zeta_a^S \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 T(\zeta_a^T, \zeta_a^S) = T(\zeta_b^T, \zeta_b^S) = T(\zeta_c^T, \zeta_c^S) &= 1
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

여기서 위첨자 T 는 등록지문, S 는 입력지문을 의미하고 아래 첨자 a, b, c 는 특징점을 나타낸다. 위의 식 (1)부터 식 (4)는 용선 개수 정보, 사잇각, 특징점 각도, 특징점 타입이 모두 같은 경우에 등록지문과 입력지문의 클릭이 기하학적으로 동일함을 의미한다. 확장 클릭 검색 후에 클릭의 세 특징점이 이루고 있는 삼각형 각의 변을 기준으로 도형 외부에 존재하는 동일 특징점을 찾는다. 동일 특징점으로 결정된 특징점은 다각형의 새로운 꼭지점으로 등록된다. 확장의 기본이 되었던

삼각형은 새로 등록된 꼭지점의 의해 n 각형으로 새롭게 구성되며, n 각형의 각 변을 기준으로 동일 특징점을 찾는 과정을 반복하게 된다. 이렇게 동일 특징점을 찾고, 다각형을 확장하는 과정을 동일 특징점을 찾을 수 없을 때까지 반복한다. 이와 같은 다각형을 확장하는 과정을 정리하면 <그림 7>과 같다. 다각형의 외부에 존재하는 특징점 중 동일 특징점은 아래의 식 (5)부터 식 (7)을 모두 만족해야 한다. 여기서 아래 첨자 a, b 는 다각형의 이웃한 두 꼭지점(특징점)이며, c 는 다각형 외부에 존재하는 후보 특징점을 나타낸다.

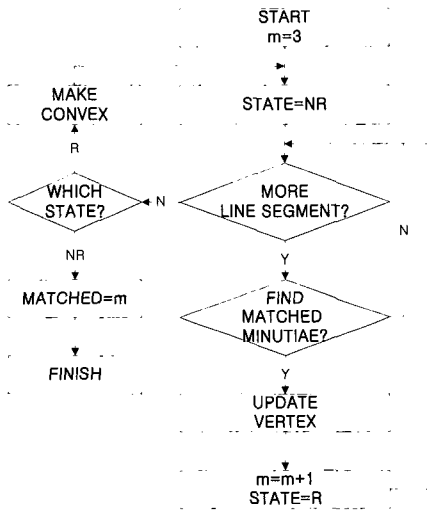


그림 7. 다각형 확장 정합 순서도
Fig. 7. Flowchart of Expandable Polygon Matching.

단계 1: 용선 개수 정보 RC 가 아래 조건을 만족해야 한다.

$$\left| RC_{a,c}^T - RC_{a,c}^S \right| \leq RC_{th}, \left| RC_{b,c}^T - RC_{b,c}^S \right| \leq RC_{th} \quad (5)$$

단계 2: 내각 $\theta_a, \theta_b, \theta_c$ 가 아래 조건을 만족해야 한다.

$$\left| \theta_a^T - \theta_a^S \right| + \left| \theta_b^T - \theta_b^S \right| + \left| \theta_c^T - \theta_c^S \right| \leq \theta_{th} \quad (6)$$

단계 3: 특징점 방향 d_c 가 아래 조건을 만족해야 한다.

$$\left| d_c^T - d_c^S \right| \leq d_{th} \quad (7)$$

<그림 8>은 수직방향의 변화가 큰 ATMEL 영상과 지문 획득 영역이 가장 작은 AuthenTec 영상 사이의

정합 결과를 나타내며, 세 개의 흰색 +자 표시의 특징점이 다각형 확장의 모태가 되는 삼각형이다. 확장 기준 클릭에서 멀어질수록 특징점 간의 거리차가 증가하지만 용선 개수 정보를 이용하여 정상적인 정합을 수행하고 있음을 보여주고 있다



(a) AuthenTec 영상 (b) ATMEL 영상

그림 8. 다각형 확장 정합 결과 영상 예
Fig. 8. Result of expandable polygon matching

2. 다중정합

본 연구에서 제안하는 다중정합은 생체인식의 다른 한 분야인 다중생체인식 기술을 응용한 것이며, 두 가지 정합기를 사용하여 지문 인증을 수행한다. 하나는 특징점 정보를 사용하여 유사도를 결정하며, 다른 하나는 다각형 확장 정합을 사용하여 유사도를 결정한다. 기존 특징점 기반 알고리즘의 약점을 보완하기 위한 방법으로, FingerCode^[10]를 개선한 Ridge Feature Map과 특징점 기반 정합 방법을 조합한 Hybrid Matcher^[11]가 있다. 그러나 본 연구가 대상으로 하고 있는 이기종 입력기 중 ATMEL 입력기와 같이 세로방향의 변이가 큰 센서에서는 부분영역의 용선 방향을 이용한 Feature Map이 약점을 가지게 된다. 다중정합의 개념을 도식화하여 표현하면 <그림 9>와 같다.

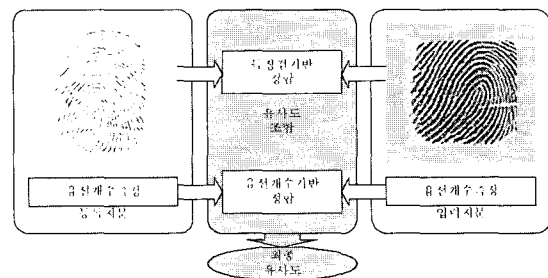


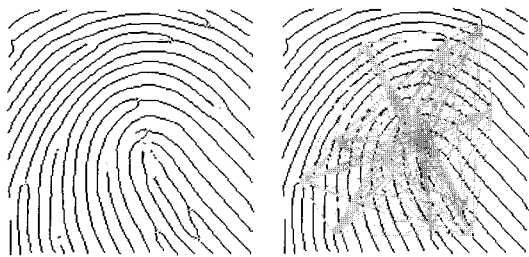
그림 9. 다중정합 절차
Fig. 9. Multiple-Matcher Process.

지문 영상에서 특징점 정보와 융선 개수 정보를 추출하고, 정합과정에서 특징점 기반의 유사도와 융선 개수 기반의 유사도 두 가지를 조합하여 새로운 유사도를 결정하는 방식이다. 특징점 정합 유사도는 0부터 1 사이의 실수이며, 융선 개수 정보를 이용한 정합의 유사도 역시 0부터 1사이의 실수이다. 이 두 점수를 하나의 점수로 조합하기 위하여 특징점 기반 스코어를 S_m , 융선개수정보 스코어를 S_r 이라 하고 최종 스코어를 S 라 하면 $S = aS_m + (1-a)S_r$ 과 같이 계산할 수 있다. 본 논문에서 a 는 실험에 의해 결정한 값 0.7을 사용하였다.

IV. 실험 결과

1. 추출 실험 결과

본 연구에서 제안한 레이블링 융선 개수 측정방법을 구현하여 실험한 결과는 <그림 10>과 같다. <그림 10(a)>는 특징점이 추출된 세션화 화상이며, (b)는 입의의 두 특징점을 선택하여 그 사이에 존재하는 융선 개수를 측정하는 결과를 나타내는 그림이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 모든 조합에 대하여 융선 개수를 측정하였으며, 그 결과는 <표 3>과 같이 정리 할 수 있다. <그림 10>의 경우는 특징점이 모두 18개이고 이들 간의 가능한 조합 153개 중에 4개의 융선 개수가 잘못 측정되었다. 실험에 사용된 지문영상은 AutenTec 입력기로 획득된 10명의 지문영상 10장을 사용하였다. 실험을 통해 각각의 영상에 대해 융선 개수 측정의 정확성을 정리한 결과는 <표 4>와 같다. 본 논문에서 제안한 레이블링 융선 개수 측정 방법은 평균적으로 122개의 특징점 쌍을 발생시키며, 측정된 융선 개수는 98.3%의 정확성을 가지고 있다. 앞에서 살펴본 NEC와 IBM사의 융선 개수 측정 방법과 본 연구에서 제안한 방법의 장



(a) 세션화 영상 (b) 레이블링 융선 개수 측정 영상

그림 10. 융선 개수 측정 방법 구현 예
Fig. 10. The result of labeling ridge count.

표 3. 융선 개수 측정 결과
Table 3. The ridge count matrix.

Minutiae Index	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	2	1	3	6	7	5	8	7	9	10	10	8	8	11	10	11	12
1	-	0	6	4	6	4	7	6	8	8	8	6	10	9	9	14	14
2	-	-	4	4	5	3	6	5	6	7	8	6	5	9	8	8	8
3	-	-	-	8	9	6	11	9	11	11	12	10	2	12	11	3	5
4	-	-	-	-	1	0	2	1	3	3	3	1	6	4	3	9	6
5	-	-	-	-	-	1	1	0	1	1	2	1	6	2	2	8	3
6	-	-	-	-	-	-	3	1	2	2	3	4	4	5	4	6	2
7	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	1	7	1	0	9	5
8	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	1	6	1	2	8	3
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	3	7	0	1	9	4
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	2	8	1	0	10	5
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	9	0	0	11	6
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	2	1	13	8
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	9	1	2
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	10	5
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	6
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4

표 4. 레이블링 융선 개수 정확성 측정 결과
Table 4. The accuracy of labeling ridge count.

지문번호	정추출개수 / 총추출개수	정확성(%)	지문번호	정추출개수 / 총추출개수	정확성(%)
1	149/153	97.4	6	104/105	99.0
2	118/120	98.3	7	132/136	97.1
3	168/171	98.2	8	66/66	100
4	135/136	99.3	9	118/120	98.3
5	117/120	97.5	10	89/91	97.8

표 5. 기존 융선 개수 측정 방법과 장단점 비교
Table 5. Comparison of ridge count metric.

	NEC	IBM	레이블링 융선 개수 측정
장점	-잡류지문 정합 가능	-높은 정보의 신뢰도	-높은 정보의 신뢰도 -높은 재현성
단점	-낮은 재현성 -주변 특징점과의 상호관계가 변할 수 있음	-낮은 재현성 -지나친 제약 조건으로 정보의 양이 적음	-템플릿의 크기 증가

단점을 비교하면 아래 <표 5>와 같다. 앞의 결과에서 알 수 있듯이 레이블링 융선 개수 측정 방법의 정확성은 높으나, 모든 융선 개수 정보를 추출하기 때문에 템플릿 구성을 위해 기존보다 많은 저장공간을 사용하는 단점이 있다.

2. 정합 실험 결과

본 연구의 이기종 정합 실험을 위해 모두 5개로 구성된 한국정보보호진흥원(KISA)의 지문영상 데이터 베이스를 사용하였다. 각 데이터 베이스는 1,400명, 8,400 개의 손가락으로 이루어지고, 한 손가락에 대하여 5개

의 영상을 가지고 있다. 본 논문의 실험 결과는 데이터 베이스를 구성하는 1,400명 중에 한국정보보호진흥원의 성능평가 플랫폼이 성별, 나이, 직업을 고려하지 않고 무작위로 선택한 100명의 지문영상을 사용하였다. 이기 중 정합 성능평가를 위해 선택된 데이터 베이스는 <표 6>과 같으며, 4개의 센서 중 임의의 2개 센서를 조합하는 모든 경우에 대하여 Off-Line 성능평가를 실시하였다. DB3는 광학방식이며 DB1, DB2의 지문영상과 큰 특성 차이를 보이지 않아 실험에서 제외하였다.

지문인식 성능은 FVC2002^[12]에서 사용된 EER(Equal Error Rate)과 FMR100, FMR1000을 평가 항목으로 사용하여 평가하였다. 특징점 기반과 용선 개수 정보 기반 알고리즘, Multiple-matcher의 EER, FMR100, FMR1000을 정리하면 <표 7>과 같으며, 다양한 지문 영상 사이의 정합에 있어 용선 개수 기반의 인식 알고리즘이 특징점 기반의 인식 알고리즘 보다 높은 성능을 보이고 있다. <표 7>의 결과에서 확인할 수 있듯이 두 특징점 사이에 존재하는 용선 개수 정보가 왜곡이

표 6. 한국정보보호진흥원 생체인식 데이터 베이스

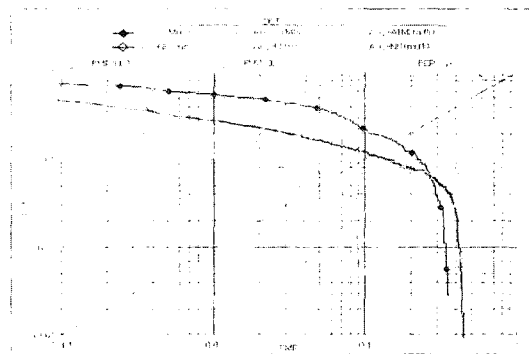
Table 6. KISA Biometric database.

	센서타입	모델명	영상크기-해상도
DB1	광학식	HUNNO Magic Secure 2500	288×320-500dpi
DB2	광학식	NITGEN Hamster	248×292-500dpi
DB4	열감지식	ATMEL Sweepce	440×440-nearly 500dpi
DB5	반도체식	AthenTec AES4000	192×192-500dpi

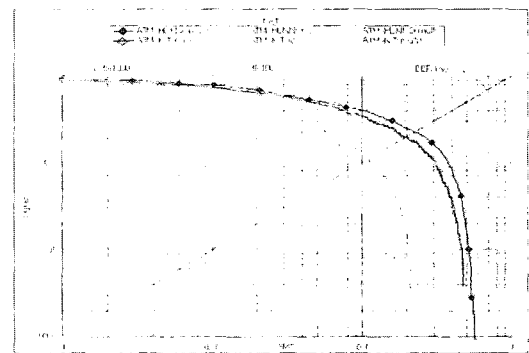
표 7. 용선 개수 기반과 특징점 기반 알고리즘의 인식 성능 비교

Table 7. EER of a Cross-Matching.

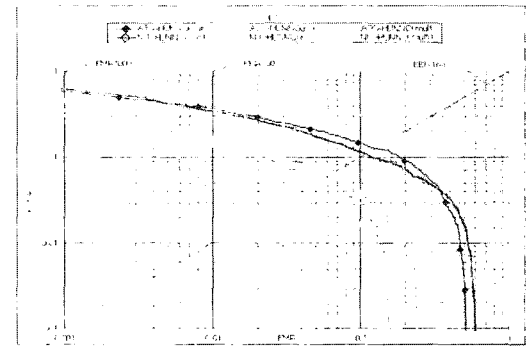
센서	AuthenTec			ATMEL			HUNNO			NITGEN		
	특정 점	용선 개수	다중 정합	특정 점	용선 개수	다중 정합	특정 점	용선 개수	다중 정합	특정 점	용선 개수	다중 정합
AuthenTec	7.4	2.5	1.7	EER (%)								
	13.9	5.0	4.1	FMR100 (%)								
	25.0	13.4	13.4	FMR1000 (%)								
ATMEL	16.4	5.8	3.9	14.0	6.4	5.4						
	55.1	25.0	19.0	45.2	18.1	17.1						
	73.0	46.3	46.3	74.0	35.8	34.5						
HUNNO	13.0	5.6	3.7	23.2	11.4	9.2	3.4	2.3	2.1			
	37.1	16.2	13.2	77.8	43.4	43.4	5.3	3.1	3.1			
	38.3	33.8	33.8	93.0	68.5	68.5	14.1	7.8	7.8			
NITGEN	11.6	5.7	4.2	19.9	9.2	7.6	11.1	6.3	5.6	3.4	1.9	1.8
	27.8	12.5	10.9	73.8	39.6	39.6	34.8	15.6	15.6	6.4	2.7	2.5
	47.6	27.2	27.2	89.2	63.5	63.5	62.6	35.8	35.8	16.4	7.8	6.2



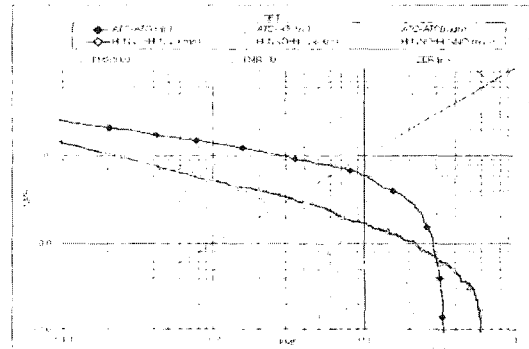
(a) AuthenTec-ATMEL, AuthenTec-NITGEN 사이의 정합



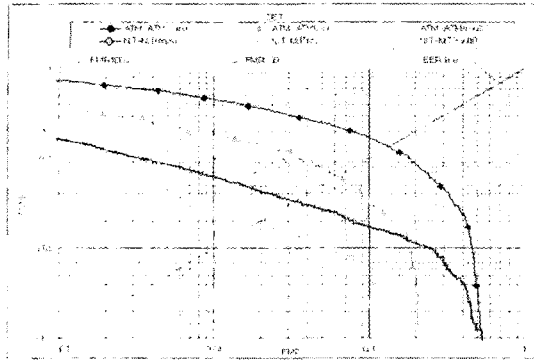
(b) ATMEL-HUNNO, ATMEL-NITGEN 사이의 정합



(c) AuthenTec-HUNNO, NITGEN-HUNNO 사이의 정합



(d) AuthenTec-AuthenTec, HUNNO-HUNNO 사이의 정합



(e) ATME-L-ATME-L, NITGEN-NITGEN 사이의 정합
 그림 11. 특징점, 용선 개수, 다중정합의 DET 곡선 비교
 Fig. 11. Comparison of DET curves.

있는 지문영상에 대하여 더 높은 변별력을 가진 특징 벡터라 할 수 있다. <그림 11>은 다양한 지문영상 사이의 정합과 동기중 정합 성능을 나타내는 DET (Detection Error Trade-off) 곡선이다^[14]. DET 곡선은 FMR(False Match Rate)에 대한 FNMR(False Non-match Rate)의 비율을 로그 스케일로 도시한 것으로 임계치 변화에 따른 성능을 확인 할 수 있다. FMR은 타인의 지문을 동일인의 지문으로 잘못 인식하는 비율이고, FNMR은 동일인의 지문을 타인의 지문으로 잘못 인식하는 비율이다. 그러므로 DET 곡선이 원점에 가까울수록 높은 성능을 보이는 알고리즘이다.

전체적으로 동기중 정합일 경우보다 다양한 지문영상 사이의 정합에서 성능 개선이 크게 이루어 졌음을 알 수 있다. 그리고 ATME-L 입력기의 경우 동기중 정합에서도 성능이 크게 개선되었다. 이것은 지문 입력기의 특성상 지문 영상의 수직 방향 왜곡이 빈번하게 일어나므로, 특징점 정보만을 가지고 정합을 시도하였을 경우 지문 영상의 왜곡을 극복하지 못하는 단점이 있었으나, 이러한 단점을 용선 개수 정보의 사용으로 극복했기 때문이다.

다양한 지문영상 사이의 정합에 있어서 본 논문에서 제안한 방법이 성능 향상에 큰 기여를 하였지만 아직 까지 동기중 정합보다 성능이 떨어지는 문제가 남아있다. 이것은 동기중 정합의 경우 획득되는 지문 영역이 일정하며, 다양한 지문영상 사이의 정합과 같이 지문 입력기가 바뀌면서 발생하는 왜곡이 없기 때문이다. 그리고 각각의 지문 입력기는 외관 설계가 다르므로 동일 지문이라 하더라도 기종에 따라 지문이 획득되는 영역이 다른 문제점이 있다.

V. 결 론

본 연구는 상용화된 많은 지문 입력기 중에 광학식, 반도체식, 열감지 방식의 대표적인 지문 입력기를 선택 하여, 서로 다른 지문 입력기 사이의 지문인식 시스템을 설계하고 구현한 최초의 연구이다. 본 논문에서 제안한 지문인식 알고리즘은 다양한 지문영상 사이의 왜곡을 극복하기 위해 자동지문식별시스템에서 사용하는 용선 개수 정보를 적용하였다. 지문 영상에서 부분적인 왜곡이 정합에 미치는 영향을 줄이기 위하여 다각형 확장 정합을 제안 하였으며, 성능이 향상됨을 보였다. 또한 기존의 특징점 기반 정합과 용선 개수 기반 정합을 모두 사용하여 두 지문의 최종 유사도를 결정하는 다중정합을 제안 하였다. 이기종 지문인식에 있어서 본 논문에서 제안한 방법이 성능 향상에 큰 기여를 하였지만, 앞에서 언급한 바와 같이 용선 개수 정보만으로 지문영상의 왜곡을 완벽히 극복하는데 한계가 있어 동기중 정합보다 성능이 떨어지는 문제가 남아있다. 그러므로 다양한 지문영상 사이의 정합에 있어서는 용선 개수 정보 이외에 왜곡을 극복할 수 있는 특징에 관한 연구와 특징점 기반과 패턴 기반 알고리즘을 사용하여 다중정합기를 구성하는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] BioAPI Specification, Version 1.1, Mar. 16, 2001. <http://www.bioapi.org>
- [2] Common Biometric Exchange File Format (CBEFF), Version 2.0, NIST Publication NISTIR 6529-A, Feb. 11, 2002.
- [3] ANSI X9.84-2000 Biometric Information Management and Security, Dec. 8, 2000. <http://www.x9.org>
- [4] A. K. Jain, L. Hong, and R. Bolle, "On-Line Fingerprint Verification," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 19, no. 4, pp. 302-314, Apr. 1997.
- [5] Y. Hoshino, and Ko Asai, "Identification system employing verification of fingerprints," U. Patent No. 4944021, Jul. 24, 1990.
- [6] R. M. Bolle, S. E. Colville, and S. U. Panka

"System and method for determining ridge counts in fingerprint image processing," U. S. Patent No. 6266433, Jul. 24, 2001.

[7] R. S. Germain, A. Califano and S. Colville, "Fingerprint Matching Using Transformation Parameter Clustering," IEEE Computational Science and Engineering, vol. 4, no. 4, pp. 42-49, Oct. 1997.

[8] 안도성, "클릭 구조를 이용한 지문인식 알고리즘 및 성능평가 시스템에 관한 연구," 인하대학교 대학원 박사학위 논문, 2001

[9] C. Ryu and H. Kim, "A Fast Fingerprint Matching Algorithm Using Parzen Density Estimation," LNCS vol. 2587, pp. 525-533, 2003.

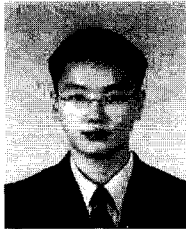
[10] A. Jain, and L. Hong, "Filterbank-Based Fingerprint Matching," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 9, No. 5, pp.846-859, 2000.

[11] A. Ross, A. Jain, and J. Reisman, "A hybrid fingerprint matcher," Proceedings of Pattern Recognition 2002, vol. 3, pp. 795-798, 2002.

[12] Fingerprint Verification Competition 2002, "http://bias.csr.unibo.it/fvc2002/".

[13] Best Practices in Testing and Reporting Performance of Biometric Devices Version 2.01, NPL Report CMSC, Aug. 2002.

저 자 소 개



李 應 逢(正會員)
2001년 : 인하대 자동화공학과(학사). 2001년 : 인하대 정보통신 대학원 입학. <주관심분야 : 생체인식(지문인식), 영상처리>



柳 春 雨(正會員)
1996년 : 인하대 자동화공학과(학사). 1998년 : 인하대 자동화공학과(석사). 1998년~현재 : 인하대 자동화공학과 박사과정. <주관심분야 : 지문인식, 생체인식, 패턴인식>



田 盛 旭(正會員)
2001년 : 인하대 자동화공학과(학사). 2001년 : 인하대 정보통신 대학원 입학. <주관심분야 : 생체인식(지문인식), 신호처리>



金 學 一(正會員)
1983년 : 서울대 공과대학 제어계측공학과 졸업. 1985년 : (미) Purdue Univ. 전기/컴퓨터 공학과 석사 학위 취득. 1990년 : (미) Purdue Univ. 전기/컴퓨터 공학과 박사 학위 취득. 1990년~현재 : 인하대 정보통신공학부 교수. <주관심분야 : 생체인식, 영상처리, 로봇비전>