

이웃한 두 Delaunay 삼각형이 만드는 특징점 사각형에 기반한 지문 인증

*차 순 백, *조 상 현, **성 효 경, *최 흥 문

*경북대학교 전자 전기공학부

**삼성전자 주식회사

Fingerprint Authentication Based on Minutiae Quadrangle Defined by Neighboring Two Delaunay Triangles

*Soon_Back Cha, *Sang-Hyun Cho, **Hyo-Kyung Sung, and *Heung-Moon Choi

*School of Electronics and Electrical Engineering, Kyungpook National University

**Samsung Electronics Co. Ltd, Gumi

E-mail : pdp@eeg.knu.ac.kr

Abstract

This paper presents fingerprint authentication method based on minutiae quadrangle defined by neighboring two Delaunay triangles. In this method, we first make minutiae triangle through Delaunay triangulation which adaptively connect neighboring minutiae according to the local minutiae density distribution, and then use feature vectors in authentication which is extracted from the minutiae quadrangle formed by neighboring two minutiae triangles. This prevents the degradation of matching ratio caused by the errors in image processing or local deformation of the fingerprint, and we can authenticate more discriminately as this method reflects wider local area's topological features than the features extracted from the individual minutiae triangles.

To evaluate the proposed algorithm's performance, experiment are conducted on 120 fingerprints, of which size is 256 x 364 with 500dpi resolution. Robust authentications are possible with low FRR.

1. 서 론

최근 전자 뱅킹, 스마트 카드, 및 여러 데이터베이스 정보 등의 보안 유지 및 접근 제어에 대한 요구 증대로 얼굴, 음성, 홍채, 지문 등 각 개인 고유의 생체적 특징을 이용한 개인 인증 시스템 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1]. 이들 생체 특징 중 지문은 융선 패턴들이 개인마다 독특하고 시 불변이므로 이를 개인

인증 시스템에 널리 활용하고 있으며, 특히 융선의 구조적인 특징점인 단점, 분기점 등을 이용한 인증 방법이 널리 사용되고 있다 [1, 2]. 이러한 특징점들을 이용하는 방법은 점 집합의 매칭문제로 단순화 할 수 있다. 그러나 지문은 특정 모델 기반 인증이 불가능하므로 이웃 특징점에 대한 명확한 정의 및 이들 특징점들간의 상대적인 정보를 반영하는 구조적인 설명자(descriptor)가 필요하다 [3].

특징점의 구조적 특징을 이용하는 지문 인증 방법으로 Hrechak 등[2]은 일정한 반경 내 (fixed radius)의 특징점을, Wahab 등[4]은 최근점 k개 (k-nearest)의 특징점을 이웃 집합으로 정의하여 이들 이웃 특징점들의 위상 구조적 특징인 상대거리, 상대 각도 및 특징점 타입 등을 추출하여 인증에 이용하였다. 하지만, 지문의 특징점은 분포밀도가 영역에 따라 일정치 않기 때문에 전술한 연구에서 사용한 이웃 특징점 정의방법으로는 특징점의 분포밀도가 밀하거나 성긴 정도에 따라 적용적으로 국부영역의 위상 특징을 반영하기가 어렵다 [3]. 한편, Bebis 등[5]은 대용량 지문 데이터 베이스로부터 후보 지문들을 효과적으로 검색하기 위하여 특징점집합을 Delaunay 삼각화하고, 개별 특징점 삼각형의 각 변의 길이 비와 사이 각을 특징 정보로 하여 색인(index)하였다. 이 방법은 특징점의 국부적 분포 밀도 변화에 따른 위상 구조를 적용적으로 반영하기는 하나, 특징점의 미세한 위치변화에 따라 기존의 일부 이웃 두 삼각형 대신 새로운 이웃 삼각형이 만들어질 경우 정합도가 저하되고, 개별 삼각형에서 추출한 특징의 변별정보가 적어 일대일 인증에 사용하기에는 부족하다.

본 논문에서는 지문 특징점의 Delaunay 삼각형에서 개별 삼각형 대신 이웃 두 삼각형이 만드는 특징점 사각형으로부터 특징벡터를 추출하여 인증에 사용함으로써 영상 처리 과정의 오차나 지문의 국부적인 변형에

따른 일부 개별삼각형 변화로 인한 정합도 저하를 줄였다. 특징점 변동에 따른 이웃 두 삼각형 구성에 변화가 있어도 특징점 집합의 변화가 상대적으로 적은 특징점 사각형으로부터 특징 벡터를 추출함으로써 특징점의 국부적 이동에 둔감하게 지문 인증을 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 개별 삼각형에서 추출한 특징보다 좀 더 넓은 국부영역의 위상구조 특징을 반영하여 지문 인증의 변별력을 높였다. 제안한 방법의 성능을 평가하기 위해 256×364 크기의 120개 지문 데이터베이스에 대해 실험하였다.

2. Delaunay 삼각형이 만드는 특징점 사각형을 이용한 지문인증

본 논문에서는 Delaunay 삼각화를 이용하여 이웃한 특징점을 분포 밀도 변화에 따라 적응적으로 연결하고, 이웃한 두 Delaunay 삼각형이 만드는 특징점 사각형에서 특징점의 타입정보, 길이비 정보, 및 내각 정보를 이용하여 지문을 인증하였다. 제안한 알고리즘의 흐름도를 그림 1에 나타내었다.

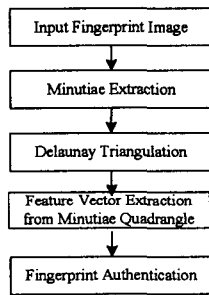


그림 1. 제안한 알고리즘의 흐름도
Fig. 1. Flow chart of proposed algorithm.

2.1 특징점 추출

지문영상은 취득시의 조건이나 지문에 존재하는 상처, 주름 등으로 인해 취득 영상의 변화가 많고 용선의 패턴이 끊어진 경우도 발생한다. 이러한 다양한 지문영상의 변화에도 특징점을 정확하게 찾기 위해 Gabor 필터를 이용하여 지문영상의 질을 향상시킨 후 이진화 및 세션화처리를 하였다. Wahab 등[4]이 사용한 주변의 픽셀 값의 변화 개수를 이용하여 특징점인 단점과 분기점을 찾았다. 세션화된 지문영상에 3x3의 창을 적용해서 특정 픽셀(M)에 대해 주변의 8픽셀(X_1, \dots, X_8)을 시계방향 순서로 그림 2와 같이 정한 뒤 X_n 이 검은 픽셀이면 1, 흰 픽셀이면 0을 가지는 함수 $R(n)$ 을 정의하면, 픽셀(M)이 단점일 경우는 주변픽셀의 변화 개수

$$C_n = \sum_{k=1}^8 |R(k+1) - R(k)| = 2 \quad (1)$$

를 가지게 되고, 분기점일 경우는

$$C_n = \sum_{k=1}^8 |R(k+1) - R(k)| = 6 \quad (2)$$

을 가지게 된다. 여기에 $R(9) = R(0)$ 이다. 특징점 추출의 각 과정을 그림 3에 나타내었다.

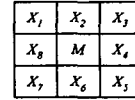


그림 2. 특징점 추출을 위한 3x3 창.
Fig. 2. 3x3 window for minutiae extraction.

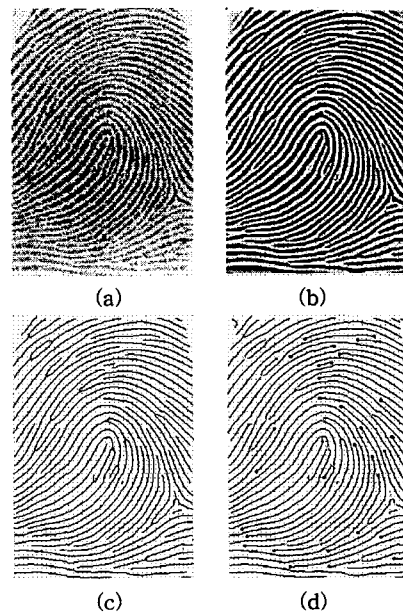


그림 3. 특징점 추출 과정 (a) 원 영상, (b) Gabor 필터링한 영상, (c) 세션화 영상, 및 (d) 특징점 추출 결과 영상

Fig. 3. Procedure for minutiae extraction. (a) Original image, (b) Gabor filtered image, (c) thinned image, and (d) result of minutiae extraction.

2.2 Delaunay 삼각화의 특징

Delaunay 삼각화를 통해 만든 특징점 삼각형은 특징점의 분포밀도에 적응적으로 이웃한 특징점들을 연결해 주기 때문에 특징점들의 밀도변화가 있는 국부적 영역의 위상특징을 잘 반영한다. 하지만, 지문에서 특징점들은 영상처리의 과정에서 나타나는 오차나 지문취득시의 누름정도, 피부의 상태등에 따라 이들 특징점의 위치가 미소하게 이동하게 되고 이로 인한 이웃 삼각형 구성에 변화가 생기게 된다. 이러한 변화의 예를 그림 4에 나

타내었다. 그림에서 보는바와 같이 D점이 D'로 미소하게 이동함으로써 Delaunay 삼각형 구성이 $\triangle ABD$, $\triangle BCD$ 에서 $\triangle ABC$, $\triangle ACD'$ 로 바뀔 수 있음을 볼 수 있다.

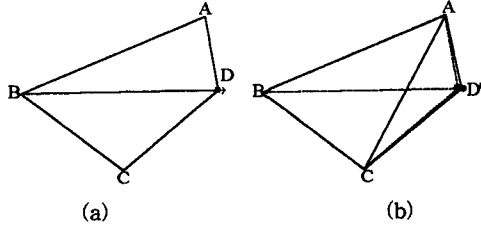


그림 4. 특징점의 미소이동에 의한 Delaunay 삼각형 구성의 변화 예
 Fig. 4. An example of Delaunay triangle's configuration change caused by some minor movement of minutiae position

이와 같이 개별 Delaunay 삼각형에서 추출한 특징은 특징점이 미소 이동하면 그로 인한 국부적인 삼각형 구성에 변화가 생겨 정합도가 저하된다. 본 논문에서는 이러한 일부 삼각형 구성에 변화가 있어도 특징점 집합의 변화가 적도록 이웃한 두 삼각형이 만드는 특징점 사각형에서 특징벡터를 추출하였다. 제안한 방법으로 특징점 집합을 정의하면 그림 4 (a)에서와 같이 공유 변 BD에 대해 이웃한 두 삼각형이 만드는 특징점 사각형 $\square ABCD$ 와 그림 4 (b)와 같이 공유 변 AC에 대해 이웃한 두 삼각형이 만드는 특징점 사각형 $\square ABCD$ 는 동일한 특징점 집합으로 변함이 없으므로 국부적 삼각형 구성의 변화에도 불구하고 강건하게 정합 할 수 있다. 그림 5는 실제 지문 영상에 대해 실험한 결과를 나타낸다.

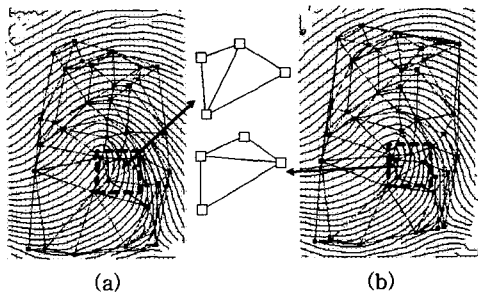
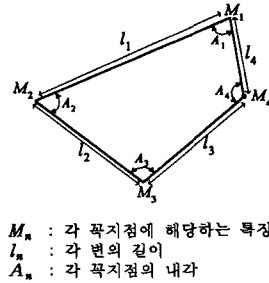


그림 5. 실제 지문에서 Delaunay 삼각형 구성 변화 예
 Fig. 5. The example of Delaunay triangle's configuration change in fingerprint

2.3 특징 벡터 추출

이웃한 두 삼각형이 만드는 각 특징점 사각형에서 회전, 이동, 및 크기변화에도 영향을 받지 않는 각 변의

길이 비, 각 특징점의 타입정보, 및 각 꼭지점의 내각 정보를 특징벡터로 정의하여 인중에 사용하였다. 그림 6는 특징점 M_1, M_2, M_3, M_4 가 만드는 사각형에 대해 특징 벡터로 이용한 위상 정보인 길이, 내각, 및 특징점 타입을 나타낸다.



M_n : 각 꼭지점에 해당하는 특징점
 l_n : 각 변의 길이
 A_n : 각 꼭지점의 내각

그림 6. 특징 벡터에서 사용한 위상 정보
 Fig. 6. Feature vector using topological information .

사각형의 길이 중 가장 긴 변의 길이 L_{max} 는

$$L_{max} = \max\{l_1, l_2, l_3, l_4\} \quad (3)$$

이고, 각 꼭지점의 특징점 타입정보는

$$T(M) = \begin{cases} 0, & \text{if } M \text{ is ending point} \\ 1, & \text{if } M \text{ is bifurcation} \end{cases} \quad (4)$$

로 정의하였다.

각 변에 대해 이웃한 두 삼각형이 만드는 특징점 사각형에서 각 변의 길이를 그대로 사용하지 않고 최대길이 L_{max} 에 대한 길이 비, 각 꼭지점에 해당하는 특징점의 타입 정보(단점, 분기점) 및 내각 정보를 사용함으로써 동일한 특징점 사각형에 대한 일치 여부를 정확히 판단할 수 있게 하였다. 사용한 특징 정보는 길이비 정보로서

$$V_L : \left\{ \frac{l_1}{L_{max}}, \frac{l_2}{L_{max}}, \frac{l_3}{L_{max}}, \frac{l_4}{L_{max}} \right\} \quad (5)$$

를 사용하였고, 특징점 타입 정보로서

$$V_T : \{T(M_1), T(M_2), T(M_3), T(M_4)\} \quad (6)$$

를 사용하였으며, 사각형의 내각 정보로서

$$V_A : \{A_1, A_2, A_3, A_4\} \quad (7)$$

를 사용하였다.

2.4 정합과 유사도

인증을 하기 위해 입력 지문 영상의 국부 특징 벡터를 추출한 뒤 등록 지문의 국부 특징 벡터와 일치하는 특징 벡터의 수를 구한다. 등록 지문과의 정합을 위한 유사도 (Similarity)로

$$S = \frac{2n}{m + q} * 100 \quad (8)$$

을 이용하였다. 여기서 n 은 두 지문에서 일치한 특징 벡터의 수, m 은 입력 지문의 특징 벡터 수, 그리고 q 는 등록 지문의 특징 벡터 수를 각각 나타낸다.

3. 실험 결과 및 고찰

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 8명으로부터 5개씩 세 차례 얻은 총 120개의 지문 데이터 베이스를 이용해서 실험을 수행하였다. 그림 7은 이동 및 회전이 있는 지문에 대한 정합결과이다. 그림 (d)에서 진한 삼각형이 등록지문과 일치하는 삼각형을 나타낸다.

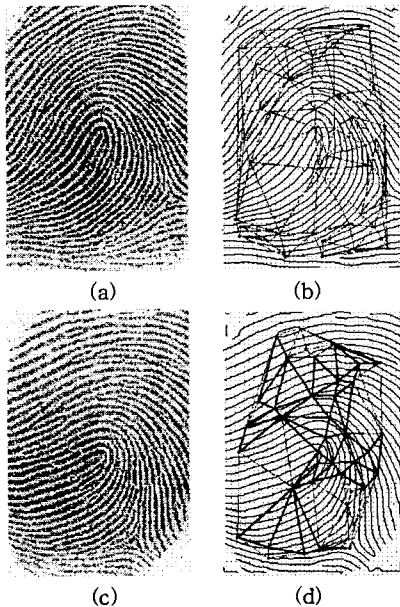


그림 7. 이동, 회전이 있는 지문에 대한 정합 결과. (a) 등록 지문 영상, (b) 등록 지문의 Delaunay 삼각형 (c) 이동, 회전이 있는 입력 지문 영상, (d) 등록지문과의 정합 결과

Fig. 7. The matching result with translated and rotated fingerprint. (a) registered fingerprint, (b) Delaunay triangles of registered fingerprint, (c) translated and rotated input fingerprint, (d) matched triangles with registered fingerprint.

실험 결과, 사각형에서 추출한 특징벡터가 개별 삼각형에서 추출한 특징벡터보다 변별력이 높았다. 표 1은 120개의 지문 데이터베이스에 대해 오인식율 (FAR)이 0%가 되도록 인증 실험한 결과로 삼각형에서 특징벡터를 추출해서 인증했을 때 보다 사각형에서 특징을 추출한 경우가 더 강건하게 인증함을 볼 수 있다.

표 1. 지문 인증 실험 결과

Table 1. Result of fingerprint authentication

Feature Extraction	Genuine Acceptance	False Rejection
Triangle	72.6%	27.4%
Quadrangle	83.3%	16.7%

4. 결론

본 논문에서는 Delaunay 삼각형에서 이웃 두 삼각형이 만드는 사각형을 이용한 지문의 국부적 변형에 강건한 지문 인증 방법을 제안하였다.

제안한 인증 방법은 영상 처리의 오차나 지문의 국부적 변형으로 인한 이웃 삼각형 구성의 변화에도 강건하게 인증을 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 개별 삼각형보다 국부영역의 위상구조 특징을 더 많이 반영함으로써 변별력있게 인증함을 확인하였다.

참고문헌

- [1] A.K. Jain, S. Prabhakar, and Lin Hong, "Fingercode: a filterbank for fingerprint representation and matching," *In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2, pp. 187-193, 1999.
- [2] A.K. Hrechak and J.A. Mchugh, "Automated fingerprint recognition using structural matching," *Pattern Recognition*, vol. 23, no. 8, pp. 893-904, 1990.
- [3] N. Ahuja, "Dot pattern processing using Voronoi neighborhoods," *IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 4, no. 3, pp. 336-343, 1982.
- [4] A. Wahab, S.H. Chin, and E.C. Tan, "Novel approach to automated fingerprint recognition," *IEE Proceedings of Vision, Image and Signal Processing*, vol. 145, no. 3, pp. 160-166, June 1998.
- [5] G. Bebis, T. Deaconu, and M. Georgiopoulos, "Fingerprint identification using Delaunay triangulation," *Proceedings of IEEE Information Intelligence and Systems*, pp. 452-459, 1999.