

## 지역 일치를 이용한 지문 정합 방법

\*이 동 재(李東宰), 이 상 준(李尙俊), 김 재 희(金在熙)  
\*(주)알파엔지니어링, 연세대학교 전기·전자공학과  
전화 : (02) 2123-4537 / 팩스 : (02) 312 - 4584

### Fingerprint Minutia Matching Using Local Alignment

\*DongJae Lee, SangJun Lee, Jaihie Kim  
School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University  
E-mail : poseldon@seraph.yonsei.ac.kr, poseldon@korea.com

#### Abstract

We proposes a new fingerprint minutia matching algorithm which matches the fingerprint minutiae by using local alignment. In general, fingerprint is deformed by pressure and orientation when a user presses his fingerprint to the sensor. These nonlinear deformations change the position and the orientation of minutiae which decrease reliability of minutiae. Matching by using global alignment uses one alignment point. But, the problem with this method is that, due to the deformation, matching reliability of a minutia decreases as the distance from the alignment minutia increases. Matching by using local alignment overcomes this problem by considering minutiae which are located in a short distance boundary. Experimental results show that the performance of the proposed algorithm is superior to that of using global alignment.

#### I. 서론

지문은 융선(ridge)과 골(valley)로 구성되어 있고, 융선과 골의 모양이 이루는 형태에 따라 여러 가지 특징점(minutiae)들이 형성되며, 그 중 지문 인식 시스템에서 가장 많이 사용되는 특징점은 그림 1과 같은 끝점(end-point)과 분기점(bifurcation)이다[1][2]. 온라인 센서 입력 방식에 의해 획득된 지문은 입력 창의 크기



(a) 끝점 (b) 분기점  
그림 1. 지문의 특징점

에 따라 다소 차이는 있지만 대략 30~60개 정도의 특징점을 포함하고 있다. 이러한 특징점들은 동일인이 입력하더라도 입력되는 시간, 센서에 손가락을 누르는 압력 그리고 손가락이 눌리는 방향 등에 따라 지문의 모양이 변형되어 위치와 형태가 변할 뿐만 아니라 지문 부위에 나는 상처, 손가락에 묻은 이물질 그리고 손가락의 습도 상태 등에 의해서 잘못된 특징점들이 생성 될 수 있기 때문에 입력되는 두 지문에 대해서 동일인인지 아닌지를 판별하는 것은 매우 어려운 문제이다.

두 지문의 동일성 여부를 판단하기 위하여 많은 연구자들이 알고리즘을 제안하였는데, A. K. Jain 등은 Hough 변환을 이용하여 두 지문의 회전(rotation)과 이동(translation)량을 구하여 일치시킨 다음 정합상자(matching box)를 이용한 정합방법을 제안하였고[3], A. Wahab 등은 특징점들 사이의 관계를 이용하여 지역적 구조(local feature)를 이용하여 일치한 다음 정합하는 방법을 제안하였다[4]. 이들 방법들은 두 지문 영상을 정합시키기 위해서 하나의 변환 매개변수를 이용하는 전체일치(Global Alignment)방법을 사용하고 있다. 그러나, 지문은 센서에 입력될 때의 손가락의 압력 변화, 힘의 방향 등 상황의 변화에 의해서 변형되어지므로 특징점의 위치와 특징점의 방향이 변하게 될 뿐만 아니라 두 특징점 사이의 거리가 멀수록 그 변형되는 정도도 커지므로 정합 성능이 저하되는 문제점이 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 A. K. Jain 등은 일치점을 찾은 다음 Dynamic Programming을 이용하여 정합상자 크기를 조절함으로써 전체일치에 의한 문제점을 개선시켰으나, 정합상자가 커짐에 따라 올바른 특징점(true minutia)뿐만 아니라 잘못된 특징점(false minutia)까지 포함될 위험이 있다[5]. 또한, X. Luo 등도 지문이 일치점으로부터의 거리가 멀어질수록 변형이 심해지는 성질을 이용하여 일치점으로부터의 거리에 따라 다른 크기의 정합상자를 이용하는 방

법을 제안하였으나, 이 또한 일치점으로부터 멀리 떨어진 부분에서는 큰 정합상자를 이용하게 되므로 잘못된 특징점이 포함될 수 있으므로 여전히 문제점을 포함하고 있다[6]. X. Jiang 등은 Wahab 등이 제안한 방법을 향상시켰는데, 일치점을 구하는 방법을 좀 더 세밀하게 하였고 정합 시에도 일치점을 기준으로 하여 정합상자 내에 포함되는 특징점의 지역적 구조를 비교함으로써 정합의 성능을 향상시켰다. 이 방법은 질이 좋은 영상에서는 성능 개선이 뚜렷하지만 질이 나쁜 영상에 대해서는 여전히 문제점을 가지고 있다[7].

본 논문에서는 전체 일치 방법에 의한 정합 방법들의 문제점을 개선하기 위하여 지역 일치점을 이용한 정합 방법을 제안한다. 2장에서는 초기 일치점을 구하는 방법을 설명하고, 3장에서는 제안하는 지역 일치에 의한 정합방법을 다룬다.

## II. 두 지문의 초기 일치 기준점 구하기

두 지문을 정합하기 위한 지역일치를 위해서 처음 시작하는 일치 기준점이 필요하다. 이 초기 일치 기준점을 구하는 방법은 [7]에 사용된 방법을 변형하여 사용하였다.

지문으로부터 검출된 특징점  $P_k$ 는 다음과 같은 특징 벡터로 구성되어 진다.

$$FV_k = (x_k \ y_k \ \phi_k \ t_k)^T \quad (1)$$

여기서  $(x_k \ y_k)$ 는 특징점의 좌표,  $\phi_k$ 는 특징점의 방향(orientation),  $t_k$ 는 특징점의 형태(끝점 혹은 분기점)를 나타낸다. 일치 기준점은 두 지문의 지역적 구조를 비교하여 가장 유사한 구조로 판단된 구조의 중심 특징점을 일치 기준점으로 결정하는데, 지역적인 구조(Local Feature)  $LF_k$ 는 하나의 특징점(k)을 중심으로 이웃하는 m개의 특징점(1,2,...m)을 이용하여 그림 2와 같이 구성된다.

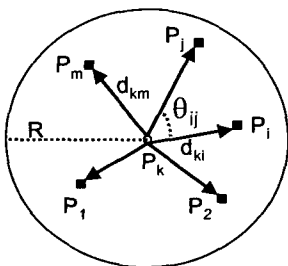


그림 2 지역적 구조(Local Feature)

여기서  $d_{ki}$ 는 상대적인 거리,  $\theta_{ij}$ 는 상대적인 각도(relative angle),  $\phi_k$ 는 특징점의 상대적인 방향(relative orientation)을 나타내며, 중심 특징점  $P_k$ 와 m-nearest neighbor인 특징점  $P_i$  사이에서 다음과 같이 계산되어 진다.

$$d_{ki} = \sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2} \quad (2)$$

$$\theta_{ij} = \tan^{-1}\left(\frac{y_k - y_i}{x_k - x_i}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_k - y_j}{x_k - x_j}\right) \quad (3)$$

$$\phi_k = \phi_k - \phi_i \quad (4)$$

특징점  $P_k$ 에서 지역적인 구조를 형성할 경우 다음과 같은 형태가 얻어진다.

$$LF_k = (d_{k1}..d_{km}, \theta_{12}.. \theta_{im}, \phi_{k1}.. \phi_{km}, t_{k1}..t_{km})^T \quad (5)$$

여기서  $P_1$ 은 특징점 k에 가장 가까운 특징점이고,  $P_2$ 는 두 번째로 가까운 특징점인 경우이다.

등록된 지문 영상의 지역적인 구조  $LF_k^R$ , 입력된 지문 영상의 지역적인 구조  $LF_k^I$ 라고 가정하면, 각 지역적 구조들의 유사도는 다음과 같이 정의된다.

$$SIM(i, j) = \frac{W_D \cdot D(i, j) + W_\theta \cdot \Theta(i, j) + W_\phi \cdot \Phi(i, j) + W_T \cdot T(i, j)}{W_D + W_\theta + W_\phi + W_T} \quad (6)$$

여기서  $D(i, j)$ 는 거리에 대한 차이,  $\Theta(i, j)$ 는 특징점의 상대적인 방향 차이를 그리고  $\Phi(i, j)$ 는 상대적인 각도 차이를 각각 나타낸다.

$$D(i, j) = \begin{cases} \frac{T_D - |LF_i^I - LF_j^R|}{T_D}, & \text{if } |LF_i^I - LF_j^R| < T_D \\ 0, & \text{Others} \end{cases} \quad (7)$$

$$\Theta(i, j) = \begin{cases} \frac{T_\theta - |LF_i^I - LF_j^R|}{T_\theta}, & \text{if } |LF_i^I - LF_j^R| < T_\theta \\ 0, & \text{Others} \end{cases} \quad (8)$$

$$\Phi(i, j) = \begin{cases} \frac{T_\phi - |LF_i^I - LF_j^R|}{T_\phi}, & \text{if } |LF_i^I - LF_j^R| < T_\phi \\ 0, & \text{Others} \end{cases} \quad (9)$$

$$T(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{if } LF_i^I = LF_j^R \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (10)$$

등록된 지문과 입력된 지문을 비교하여 유사도가 가장 높은 지역적인 구조의 중심 특징점을 초기 일치 기준점으로 설정한다.

등록 영상에서의 중심 특징점  $P_i^R$ 과 입력 영상에서의 중심 특징점  $P_j^I$ 를 중심으로 하는 지역 구조가 가장 유사도가 높을 경우 일치 벡터  $AV_{IR}$ 은 다음 식으로 표현된다.

$$AV_{IR} = (X = x_i^I - x_j^R, Y = y_i^I - y_j^R, \Theta = \theta_i^I - \theta_j^R) \quad (11)$$

여기서  $(X, Y)$ 는 평행이동(translation)에 대한 매개변수이고,  $\Theta$ 는 회전(rotation)에 대한 매개변수이다.

### III. 지역 일치를 이용한 정합

지문은 센서에 입력될 때의 손가락의 압력, 누리는 힘의 방향 등에 의해 변형되기 때문에 특징점들의 위치와 방향 그리고 형태까지도 변형되게 된다. 지문에서의 두 특징점 사이의 상대적인 위치는 서로 거리가 멀수록 변화가 심하다. 그림 3은 약 40화소 떨어져 있는 특징점 쌍(pair1)과 약 100화소 떨어져 있는 특징점 쌍(pair2) 그리고 약 200화소 떨어져 있는 특징점 쌍(pair3)을 대상으로 위치관계를 실험한 결과이다. 동일인의 지문 100장을 다른 조건에서 입력하여 선택된 쌍의 위치관계를 나타냈다. 각각의 쌍은 하나를 기준으로 하고 나머지 다른 하나의 변화된 위치를 기록하였다. 특징점 쌍의 위치 변화는 거리가 멀어질수록 더 심해지는 것을 볼 수 있는데 pair1의 거리에 따른 분산은 2.09, pair2의 분산은 19.27, pair3의 분산은 48.44로 나타났다.

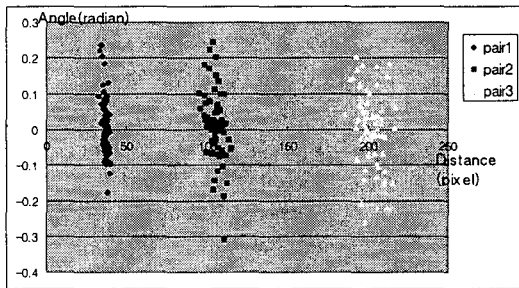


그림 3. 특징점 쌍 사이의 거리에 따른 위치변화

지문의 변형 특성상 두 특징점간의 위치가 일직선상에서의 거리변화만 있는 것이 아니라 위아래로 어느 정도 회전되어 나타나기도 하는데 회전 각도에 따른 분산 또한 pair1은 0.005, pair2는 0.008, pair3는 0.010으로 이 역시 거리가 멀어질수록 변화가 심해지는 것을 알 수 있다. 이는 지문의 변형이 가까운 거리 사이에서는 적게 일어나지만 먼 거리에서는 조그만 변형들이 누적되어 결국 큰 변형을 만든다는 것을 알 수 있다. 그러므로, 등록 영상과 입력 영상을 정합하기 위하여 하나의 일치 기준점을 사용하는 방법들에서는 일치 기준점으로부터 멀리 떨어진 특징점일수록 정합에 신뢰성이 떨어지게 된다.

본 논문에서 제안하는 지역 일치를 이용한 정합방법은 다음과 같다.

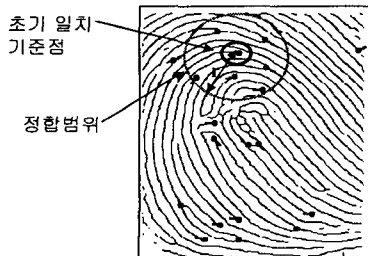


그림 4 초기 일치 기준점과 정합범위

- 2장의 방법을 통해 초기 일치 기준점( $RP_0$ )을 결정한다.
- 초기 일치 기준점으로부터 일정 거리( $r$ ) 이내에 있는 특징점( $P_i$ )들을 정합한다. 이 때, 정합상자를 2중으로 설정하여 특징점이 내부상자에 포함될 경우 정합점수( $MS$ )를 증가시키고 다음 지역 일치 기준점( $RP_i$ )으로 선정하며, 외부상자에는 포함되나 내부상자에는 포함되지 않을 경우에는 정합점수만 증가시키고 해당 특징점은 다음 일치 기준점에 포함하지 않는다.

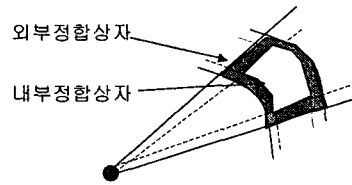
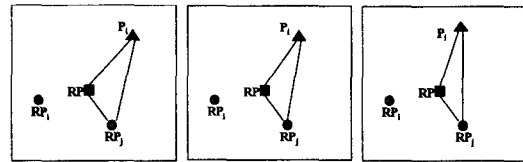


그림 5 이중 정합상자의 설정

- 세 번째 정합되는 특징점부터는 이미 정합되어진 신뢰성 있는 특징점들과의 지역적인 관계를 이용하여 검증하는 단계를 거친다. 이전에 일치 기준점으로 선정된 특징점들 중 가장 가까이에 있는 특징점으로부터의 위치관계와 특징점의 방향 등을 식 (12~15)를 통해 비교하여 올바른 특징점인가를 검증한다. 식 (14~15)에서 임계치보다 큰 경우 변화가 크다고 판단하여 대상 특징점을 정합되지 않는다고 판단한다.



(a) 등록영상 (b) 입력영상1 (c) 입력영상2

그림 6 특징점의 검증

그림 6에서 (a)는 등록영상에서 RP를 중심으로 P를 정합할 경우를 나타내고, (b)와 (c)는 이에 해당하는 특징점이 입력 영상에서 있을 경우 가장 인접한  $RP_j$ 와의 관계를 살펴본다. 이 때, (b)와 같이  $RP_j$ 와의 관계도 일치하면 이 특징점을 일치하는 것으로 하고, (c)처럼 일치하지 않는 경우는 특징점을 제거한다.

$$dist_{ref} = |RP_j^{Ref} - P_i^{Ref}| \quad (12)$$

$$dist_{in} = |RP_j^{in} - P_i^{in}| \quad (13)$$

$$|dist_{ref} - dist_{in}| > T_{dist} \quad (14)$$

$$|\angle RP_j^{Ref} P_i^{Ref} RP^{Ref} - \angle RP_j^{in} P_i^{in} RP^{in}| > T_{\theta} \quad (15)$$

- 반경 이내의 특징점을 모두 정합하였을 경우 새로 선택된 일치 기준점을 중심으로 2,3의 과정을 반복한다.
- 모든 특징점들이 정합에 사용되었는지를 검사하고,

- 정합에 사용되지 않은 특징점은 가장 인접한 지역 일치 기준점을 이용하여 정합한다.
6. 모든 특징점들이 정합에 사용되었을 경우 최종 정합 점수를 산출한다.

#### IV. 실험 결과

본 실험은 50명의 지문 각 10개씩, 총 500개의 지문 영상에 대해서 실시하였다. 지문 영상은 광학방식 지문센서로 취득하였다(영상 크기 : 248\*292, 실험 환경 : Pentium III - 450Mhz).

제안한 정합방법의 검증 성능은 다음 표4-1과 같다. 여기서, reject\_num은 reject된 영상의 수를 나타내고 correct\_num은 올바르게 검증된 영상의 수를 나타내며 false\_num은 잘못 검증된 영상의 수를 나타낸다고 하면, verification rate와 reject rate는 다음의 식으로 계산되어 진다.

$$verification\ rate = \frac{correct\ num}{correct\ num + false\ num} \times 100\% \quad (16)$$

$$reject\ rate = \frac{reject\ num}{total\ image\ num} \times 100\% \quad (17)$$

표 4-1 Reject rate에 따른 Verification rate의 변화

Verification Rate	Reject Rate
99.99%	12.1%
99.98%	9.7%
99.72%	4.3%
99.58%	0.0%

본 논문에서 제안한 지역 일치를 사용했을 때의 검증률과 Wahab[4] 등이 제안한 전체일치를 사용했을 때의 검증률을 비교하기 위하여 FAR(False Acceptance Rate)를 고정시킨 상태에서 검증률을 비교하는 ROC(Receiver Operating Curves)를 이용하였다.

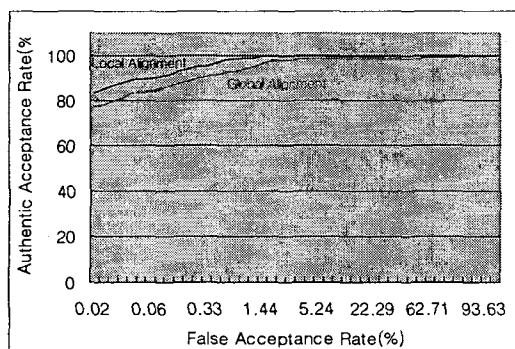


그림 7 Receiver Operating Curves

ROC 결과는 그림 7과 같이 제안한 알고리즘에 의한 정합방법이 전역 일치를 이용해 정합 했을 때보다 검증 성능이 향상되었음을 보여준다.

제안하는 정합방법의 처리 시간을 알아보기 위해 사용한 지문 영상 중 100개를 무작위로 추출해서 정합한 평균 처리 시간을 구하였으며, 평균 처리 시간은 0.05초였다.

#### V. 결론

본 논문에서는 지문의 변형에 따른 특징점 사이의 거리변화 때문에 생기는 전역 일치 방법의 문제점을 해결하기 위하여 지역 일치를 이용한 새로운 정합 알고리즘을 제안하였다. 실험결과, 새로 제안한 방법은 전역 일치를 사용했을 때의 일치 기준점으로부터의 거리가 먼 특징점들의 정합 신뢰성을 높였고, 근접하는 다른 일치 기준점으로 검증함으로써 시스템의 성능을 개선할 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] L. Hong, Y. Wan, and A. Jain, "Fingerprint Images Enhancement Algorithm and Performance Evaluation," IEEE Trans. on PAMI Vol.20, No.8, pp 777-789, 1998
- [2] A.K. Jain, R. Bolle and S. Pankanti, "BIOMETRICS: Personal Identification in Networked Society," Kluwer Academic Publishers Group, 1999
- [3] N. Ratha, K. Karu, C. Shaoyun, and A.K. Jain, "A Real-Time Matching System for Large Fingerprint Databases," IEEE Trans. on PAMI Vol.18. No.8, pp799-813, 1996
- [4] A. Wahab, S. H. Chin and E. C. Tan, "Novel approach to automated fingerprint recognition," IEE Proc.-Vis. Image Signal Process., Vol. 145, no. 3, pp. 160-166, June 1998
- [5] A.K. Jain, L. Hong and R. Bolle, "On-Line Fingerprint Verification," IEEE Trans. PAMI vol. 19, no. 4, pp. 302-314, 1997
- [6] X. Luo, J. Tian, Y. Wu, "A Minutia Matching Algorithm in Fingerprint Verification," IEEE 15th International Conference on Pattern Recognition, Vol. 4, pp. 833-836, Sep. 2000
- [7] X. Jiang, W. Y. Yau, "Fingerprint Minutiae Matching Based on the Local And Global Structures," IEEE 15th International Conference on Pattern Recognition, Vol. 2, pp. 1042-1045, Sep. 2000