

# 점진적 융선 정합을 통한 지문 영상 정렬 방법

최경택\*, 최희승\*\*, 김재희\*\*\*

연세대학교 공과대학 전기전자공학과 생체인식 연구센터

## Fingerprint Images Registration Method by Recursive Ridge Mapping

Kyoungtaek Choi\*, Heeseung Choi\*\*, Jaihie Kim\*\*\*

Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

Biometrics Engineering Research Center, Seoul, Korea

E-mail : \*maninquestion@yonsei.ac.kr, \*\*mcnas@yonsei.ac.kr,

\*\*\*jhkim@yonsei.ac.kr

### Abstract

This paper presents a fingerprint image registration method. In the fingerprint system, the insufficiency of mutual information between a template and a query fingerprint is one of major factors to deteriorate recognition performance. To overcome this problem, we need to register multiple impressions and integrate their information. Our method matches the ridges from multiple impressions recursively and then registers the impressions to minimize the registration error calculated from the Distance map. Our method use regularized TPS model as the transformation model to compensate for the plastic deformation. We compare our method with 3 prior arts (ICP, Distance Map, Ross's method). Our registration error and its' variance is the smallest and also the average registration error is below 3 pixels.

### I. 서론

지문인식 시스템에서 성능을 저하시키는 주된 요인 중의 하나는 등록된 지문과 인식 시 취득되는 지문간의 상호 정보의 부족이다. 이러한 정보 부족은 영상 취득 시 달라지는 손가락의 위치와 센서 크기의 소형화에 의해 기인한다. 특히 요즘은 응용 분야확대를 위해 센서의 크기가 소형화되면서 문제는 더욱 커지고 있다.

본 논문은 한국과학기술원 지정 생체인식연구센터(BERC)의 지원을 받아 이루어졌습니다.

이러한 정보 부족 문제를 해결하기 위해 등록 시 다수의 영상을 입력 받아 이를 융합함으로써 정보량을 늘리는 방법들이 연구되어 왔다. 지문의 정보를 융합하기 위해서는 지문들의 좌표 계를 일치시키기 위한 변환 식을 구해야 하는데 변환 식의 종류에 따라 표 1 과 같이 변위와 회전만을 고려한 선형변환과 지문이 센서에 접촉 시 발생하는 마찰력에 의한 왜곡을 고려한 비 선형변환이 있다.

표 1. 지문 정보 융합 방법

저자	변환식 종류	알고리즘	참고문헌
Jain	선형	ICP	1
이동재	선형	거리지도	2
Ross	비 선형	TPS	3
Our	비 선형	TPS	

선형변환을 이용한 방법에는 Jain 교수가 사용했던 ICP(Iterative Closest Points)방법과 이동재 박사과정의 사용했던 거리지도(Distance Map)를 이용하는 방법이 있다[1,2]. 비 선형 방법에는 Ross 교수가 사용했던 TPS(Thin Plate Spline)방법이 있는데 Ross 교수는 영상에서 추출된 특징점을 정합하고 정합된 특징점과 연결된 융선들을 정합하여 영상간의 상호 일치점들을 구하고 이를 통해 TPS의 계수 값들을 구했다[3].

기존의 선형 방법들은 지문 취득 시 발생하는 비 선형 왜곡을 고려하지 않아 영상간의 좌표 계를

일치시킬 때 정렬(alignment)오차가 크다. 또한 Ross 가 제안했던 비 선형 방법도 정합된 특징점의 수가 적거나 특징점들이 잘못 정합된 경우에는 정렬오차가 커지게 된다.

기존의 방법들은 정렬오차가 커서 영상 자체를 융합하는 것이 불가능하고 대부분 추출된 특징점들만 융합한다. 이는 원래 지문이 가지고 있는 정보량을 대폭 축소하는 결과를 가지므로 본 논문에서는 비 선형 모델을 적용하여 영상을 정밀하게 융합하는 방법에 대해서 제안하고 기존의 방법들과 정확성을 비교 실험하였다.

본 논문은 총 4 장으로 구성되어 있고 2 장에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 설명하고 3 장에서는 실험 결과 4 장에서는 결론을 언급한다.

## II. 지문 영상 정렬 방법

본 논문에서 제안한 방법도 Ross 교수가 제안한 방법과 유사하게 용선을 정합하고 정합된 용선을 통해서 얻은 일치점들로 TPS 모델의 계수 값을 계산한다. 하지만 정합된 특징점과 연결된 용선 뿐만 아니라 다른 용선들도 점진적으로 융합함으로써 두 영상간의 비 선형 변환을 정확히 계산한다. 본 논문에서 제안한 방법의 전개도는 그림 1 과 같다.

### 2.1 전처리

우선 용선을 정합하기 이전에 정확히 용선을 추출해야 하는데 이를 위해 본 논문에서는 Gabor 필터를 사용하였다[4]. Gabor 필터 시 Gabor 필터의 주파수가 잘못 추정되었거나 영상의 잡음으로 인해 검은 용선 부분에 흰색 구멍(hole)이 생길 수 있다. 이를 제거하기 위해 흰색 영역 찾아내어 이 중에 면적이 작은 것은 잡음의 영향으로 간주하고 제거한다. 이 후에 세선화 과정을 거쳐 용선을 획득한다. 세선화된 용선에도 영상의 품질에 따라 그림 2 과 같이 의사 용선(False Ridge)들이 추출될 수 있는데 이 또한 각 용선의 길이와 다른 용선과 연결된 관계를 고려해 제거한다. 이렇게 얻어진 용선 정보를 이용해 각 지문 영상마다 정규화된 거리지도 (Normalized Distance Map)을 생성한다. 거리지도는 영상의 각 픽셀에서 가장 가까운 용선까지의 거리를 나타낸다[2]. 본 논문에서는

이웃하는 용선 간의 최단거리가 2 가 되도록 즉 거리지도의 값이 0~1 사이의 값을 갖도록 정규화하여 사용한다. 정규화된 거리지도를 사용하는 이유는 제안한 알고리즘이 지문 영상을 정렬 시 정렬오차를 거리지도를 이용해서 측정하는데 일반 거리지도를 사용할 경우 용선 간의 간격이 큰 영역에서는 오차가 커지고 용선 간의 간격이 좁은 영역에서는 오차가 적어져 두 영상을 고르게 정렬하지 못하는 문제가 발생하기 때문이다. 또한 지문 인식 시 특징점과 함께 거리지도를 사용할 수 있는데 사람마다 용선의 간격이 달라서 그 간격이 좁은 사람의 경우 용선의 불일치도가 낮아져 잘못된 인식 될 수 있다. 지문 영상에서 세선화된 용선정보와 정규화된 거리지도를 얻으면 이 정보들을 이용해 지문 영상을 정렬한다.

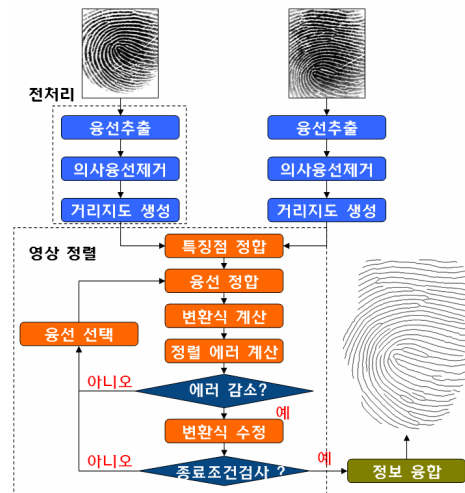


그림 1. 알고리즘 전개도

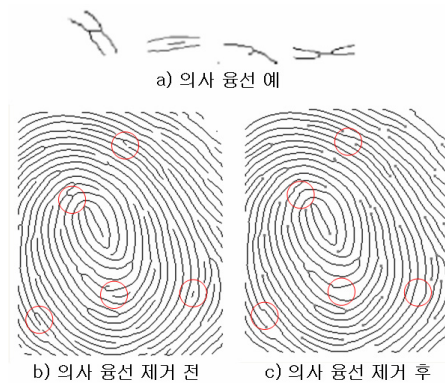


그림 2. 의사 용선 제거

### 2.2 영상 정렬(Image Alignment)

두 영상을 정렬하기 위해서 우선 특징점을 정합하고 특징점과 연결된 용선을 정합하여 초기

일치점 쌍을 구한다. 용선을 정합하는 방법은 DP(Dynamic Programming) 정합방법을 사용하여 용선상의 정합될 점들 간의 거리와 각도의 차가 최소가 되도록 정합한다[5]. 정합된 특징점 쌍에는 잘못 정합된 특징점 쌍이 존재할 수 있다. 이를 제거하기 위해 일반적으로 일치점 쌍이 많을수록 두 지문의 정렬오차가 감소하므로 일치점 쌍을 제거 시 정렬오차가 오히려 감소하면 이는 잘못 일치된 점으로 판단하고 제거한다. 용선  $i$  에 대한 정렬오차는 식(1)과 같다.

$$E_T(i) = w_1 RE_p(i) + w_2 E_c^P(i) \quad (1)$$

$$RE_p(i) = \frac{1}{N_p^c(i)} \sum_{n=1}^{N_p^c(i)} D_Q(\vec{x}_p') \quad (2)$$

$$E_c^P(i) = \frac{1}{N_c^P(i)} \sum \|\vec{x}_p - F^{-1}(F(\vec{x}_p))\| \quad (3)$$

식 (1)에서  $w$ 는 가중치이며  $RE_p(i)$ 는 영상 P의 용선  $i$ 에 대한 정렬의 정확도를 나타내고  $E_c^P(i)$ 는 구해진 변환식이 얼마나 일관성(Consistency)이 있는지를 나타낸다. 식(2)의  $D_Q$ 는 이미지 Q의 정규화된 거리지도이고  $N_c^P(i)$ 는 영상 P의 용선  $i$ 의 점들 중 영상 P와 Q의 공통영역에 속하는 점의 개수를 의미한다.  $\vec{x}_p'$ 은 식 (3)의 변환식  $F$ 에 의해 변환된 좌표이다. 정합된 용선 쌍 각각에 대해 정렬오차를 식 (1) 통해 구한 후 정렬오차가 큰 순서대로 정렬하고 정합된 용선 쌍의 정합 후와 전의 전체 오차의 증감에 따라 잘못 정합된 용선 쌍을 제거한다. 전체 오차는 식(4)와 같다.

$$E_T = w_1(RE_p + RE_Q) + w_2(E_c^P + E_c^Q) \quad (4)$$

$$RE_p = Avg(RE_p(i)), E_c^P = Avg(E_c^P(i)) \quad (5)$$

전체오차는 영상 P를 Q의 좌표로 반대로 영상 Q를 P의 좌표로 정렬 시의 정렬의 정확도와 일관성 오차를 합한 것이다. 위의 식을 통해서 잘못 정합된 특징점과 용선의 쌍을 제거한 결과는 그림 3에

나와있다. 그림 3에서 영상 융합은 영상 P와 영상 Q의 용선을 겹쳐서 그린 것이다. 초기의 일치점들을 구하면 이를 기준으로 영상 P의 용선들 중에 식 (1)의 오차가 임계치 이상이고 기존의 일치점들과 거리가 가장 가까우며 길이가 50 화소 이상인 용선을 선택하여 영상 Q에서 선택된 용선과 정합될 후보들을 찾고 정합한다. 이때 전체 오차가 감소되면 변환식을 수정하고 그렇지 않으면 다른 후보 용선과 정합한다. 변환식 F는 지문의 비 선형 왜곡을 고려할 수 있도록 정규화된 TPS(Thin Plate Spline) 모델을 사용한다[6].

위의 과정을 식 (6)의 종료 조건이 만족할 때까지 반복하고 최종 오차  $E_T^C$ 와 각 용선의 오차

$E_T^C(i)$ 가 임계치 이하이면 영상 정렬이 성공한 것으로 판단한다. 임계치는 실험에 의해 구할 수도 있지만 정규화된 거리 정렬지도의 최대 평균오차가 1이므로 각 용선의 오차가 0.3 이하이면 각 용선들이 특정 용선과 서로 정합되었다고 볼 수 있다. 그림 3, 4에서 용선의 색이 파랑, 연두, 빨강 색으로 표현되었는데 이는 각 용선의 오차를 표시한 것으로 파랑색 일수록 오차가 적음을 의미한다. 그림 4는 알고리즘을 수행함에 따라 지문 영상에서 오차가 심한 부분에 대해 그 오차가 감소되는 과정을 보여준다.

$$|E_T^C - E_T^P| \leq th1 \text{ or } \forall i E_T^C(i) \leq th2 \quad (6)$$

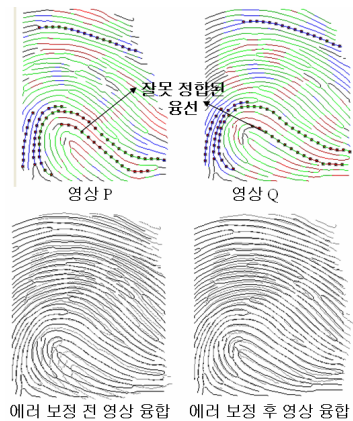


그림 3. 잘못 정합된 용선 보정 예  
영상 정렬 과정이 완료되면 두 영상의 용선을 융합하거나 영상 자체를 융합 할 수 있다. 본 논문은 지문 영상 정렬 방법에 관한 논문이므로 용선을 융합하는 방법이나 영상을 융합하는 방법에 대해서는 생략하겠다.

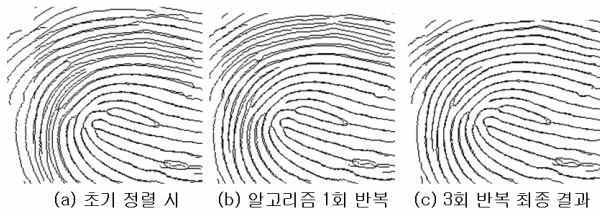


그림 4. 알고리즘 수행과정에 따른 오차 감소 예

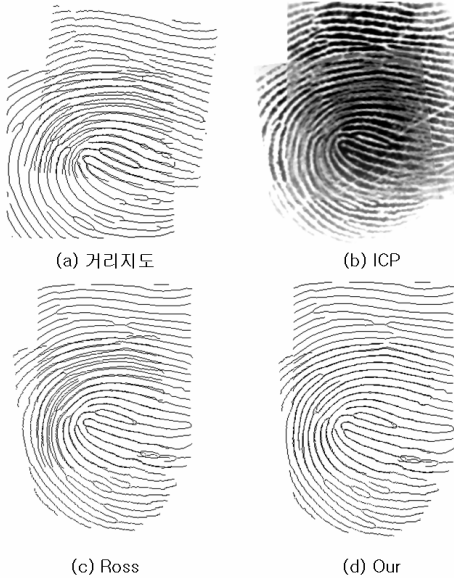


그림 5. 알고리즘 별 정확도 비교 영상

### III. 실험 결과

본 논문에서 사용된 지문 영상은 100 개의 지문에 대해 2 장씩 니트젠 광학식 센서(FDU 01)로 취득했다. 각 영상 쌍 마다 수작업으로 일치점 10 쌍씩을 찍고 ICP, 거리지도, Ross 가 제안한 방법, 그리고 본 논문의 알고리즘의 비교했다.

표 2. 알고리즘 별 영상 정렬 오차 비교

	최소오차	최대오차	평균오차	오차의분산
거리지도	15.841	36.861	25.713	150.222
ICP	6.672	25.407	15.503	110.540
Ross	0.683	13.691	4.050	41.029
Our	0.686	7.008	2.955	5.220

표 2 에서 각 오차는 100 쌍의 지문에 대한 평균치를 구한 것으로 지문 영상을 정렬 후 수작업으로 찍은 일치점의 거리를 구해서 화소 단위로 표시했다. 본 논문에서 제안한 알고리즘이 가장 오차가 적고 오차의 분산도 적다. 또한 오차가 작아 이 오차는 수작업에 의해 발생하는 오차의 영향이 크다고 할 수 있다. 그림 5 은 각 알고리즘 별로 두 영상을 정렬 시킨 결과로 예시 된 두 영상간에 비 선형 왜곡이 심함을 알

수 있다. 기존의 방법들은 이렇게 비 선형 왜곡이 심한 영상에서는 정렬 오차가 큰 반면 제안한 방법 거의 정확하게 두 영상을 정렬 시켰다.

### IV. 결론

본 논문에서 제안한 지문 영상 정렬 방법은 비 선형 왜곡을 고려하여 기존의 다른 방법들에 비하여 거의 오차가 없도록 두 영상을 정렬 할 수 있고 정렬 시 정규화된 거리지도를 사용하여 지문의 영역별 융선 간격의 차이에 상관없이 고르게 영상이 정렬되도록 한다.

기존의 방법들은 오차가 커서 단지 특징점 정보만을 융합 할 수 있었지만 제안한 방법은 융선이나 영상 자체를 융합하는 데에도 적용할 수 있어 향후 지문인식과정에서 특징점이외에 융합된 융선정보등을 이용하여 인식률을 향상시킬 수 있다. 또한 범죄 수사 시 단편적인 잔여지문들을 융합하여 하나의 큰 지문영상을 얻기 위해서도 활용될 수 있다.

### 참고문헌

- [1] A. K. Jain and A. Ross, "Fingerprint Mosaicking", *Proc. International Conference on Acoustic Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Orlando, Florida, May 13-17, 2002.
- [2] Dongjae Lee, Kyoungtaek Choi, Sanghoon Lee, and Jaihie Kim, "Fingerprint fusion based on minutiae and ridge for enrollment", *LNCS on AVBPA*, Vol. 2688, pp.478~485
- [3] Arun Ross, "Information Fusion in Fingerprint Authentication", Ph.D. Thesis, 2003.
- [4] A.K. Jain, L. Hong and R. Bolle, "On-line Fingerprint Verification", *IEEE Transactions on PAMI*, Vol. 19, No. 4, pp. 302-314, 1997.
- [5] Sergios Theodoridis and Konstantinos Koutroumbas, "Pattern Recognition", Academic Press, pp. 283~304, 1999
- [6] Haili Chui and Anand Rangarajan, "A new point matching algorithm for non-rigid registration" *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 89, Issue 2-3, pp.114~141, 2003.