

모델링과 Sobel Operator 의 결합을 통한 지문 영상의 방향성 추출 알고리즘 개선

최영*, 이성환**

*고려대학교 컴퓨터정보통신대학원

**고려대학교 정보통신대학 컴퓨터·통신공학부

e-mail : ychoi@image.korea.ac.kr, swlee@image.korea.ac.kr

Improvement of Fingerprints Orientation Field using Model-based algorithm and Sobel Operator

Young Choi* Seong-Whan Lee

* Dept. of Computer Science & Engineering, Korea University

** Division of Computer and Communication Engineering

College of Information and Communications, Korea University

요 약

특징점 추출 기반의 지문인식 알고리즘에서 방향정보는 이진화 과정 및 지문 분류, 인증에 쓰이므로 매우 중요하다. 모델기반의 방향정보를 추정하는 방법은 영상 전체에 있는 노이즈에 대하여 매우 강건하지만, 상처와 같이 국부적으로 존재하는 노이즈 정보의 추출에는 취약하다. Sobel Operator 의 경우에는 국부적인 노이즈 요소에는 민감한 특성을 보인다. 따라서 본 논문에서는 모델링된 방향정보와 Sobel Operator 의 방향 정보를 벡터에 의한 상호 결합하여 영상의 방향 정보를 개선하고 노이즈 블록을 추정하는 방법을 제안한다.

1. 서론

지문을 이용한 사용자 인증은 생체 정보를 이용한 인증 방식 중에서 가장 오래되었을 뿐만 아니라 가장 보편화된 방식이다.

전통적인 지문 인식 알고리즘은 특징점 기반의 인증 알고리즘으로써 지문 영상을 구성하는 용선의 형태에 의해 나타나는 끝점(End Point)과 분기점(bifurcation), 중심점(Core), 삼각주(Delta)라고 불리는 특이점을 추출하여 인증하는 방식이다. (그림 1)

일반적인 특이점 추출과정은 노이즈 제거, 블록의 방향 정보추출, 이진화(Binarization), 세선화(Thinning), 후처리(Post-Processing)의 단계를 거친다.

이 중에서 지문영상의 블록방향의 정보를 추출하는 알고리즘은 이진화 필터의 선택과, 중심점과 삼각주를 추출하는데 사용하므로 매우 중요하다. 또한 방향 정보는 지문영상의 분류나 인증작업에서 사용하기도 한다.



(그림 1) 지문의 특이점

본 논문에서는 모델을 이용한 블록의 방향정보 추

정 알고리즘[1][2]과 Sobel Operator[3]를 이용한 방향정보 추정 알고리즘을 결합하여 성능을 개선하는 방법을 제안한다.

기존의 Jie Zhou 과 Jinwei Gu [2]가 제안한 모델 기반의 방법은 지문영상의 전체 융선의 흐름에 대한 정보를 뛰어나게 추출하여 영상 전체에 걸쳐있는 노이즈에 대하여 매우 강건하다.

그러나 Singular point 와 거리가 많이 떨어진 영역의 방향정보는 국부적인 노이즈에 영향력이 너무 커서 부분적인 개선이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 모델링 기법으로 추출한 방향 정보와 각 영상 블록에 Sobel Operator 를 통해 얻은 방향 정보를 결합하여 효율적인 영상의 방향정보를 추정하는 방법을 제안한다. 또한 이 방법을 이용하여 국부적으로 발생하는 노이즈를 찾아내어 전반적인 지문 인증율을 향상시킬 것이다.

2. 관련 연구

특징점 기반의 지문인식 알고리즘에서 영상 블록의 방향정보는 이진화 과정에 중요 정보를 제공할 뿐더러, 지문 분류나 인증에 사용할 수 있어 다양한 연구가 진행되어 왔다.

FFT 나 Gabor filter[4]의 분석에 의한 방향정보를 추출은 노이즈에 매우 우수하지만 높은 연산량을 필요로 하므로 실질적인 적용이 매우 어렵고, Lin Hong[3]이 제안한 Sobel Operator 와 Low Pass Filter 를 이용한 방법은 적은 연산량에 비하여 정확한 방향 정보를 얻을 수 있어서 많이 사용되어 왔다.

그러나 영상의 변화가 심한 Singular-point 근처에서는 방향정보를 제대로 표현할 수 없고, 낮은 품질의 지문영상에서 사용의 한계점이 지적되었다.

최근 들어 Core 와 Delta 를 각각 Zero 와 Pole 로 가정하여 방향정보를 추정하는 모델링 기법[1][2][5]이 제안되었다.

2.1 Model-Based 알고리즘-Point Charge Model

가장 대표적인 모델기반의 알고리즘은 Jie Zhou 과 Jinwei Gu[2]가 제안한 방법으로 Singular-point 의 영향력을 블록간의 거리에 따라 다르게 제한한 점에서 특이하다.

즉, Zherlock 과 Monro 의 방법[1]처럼 모델링을 사용한 것은 동일하나, 영상 전체가 아니라 Core 와 Delta 근처의 특징범위에만 적용하고, 거리가 먼 나머지 부분은 Vizcaya 와 GerHardt[5]의 piecewise linear approximation model 을 사용하였다.

또한 이 방법은 Singular-point 와 영상 블록간의 거리에 따라서 각각의 Singular-point 가 미치는 영향력에 가중치를 두는 이른바, point-charge (PC) Model 을 적용하였다.

방향 값의 범위를 $[0, \pi)$ 라고 할 때 0 과 π 는 같은 값이므로 방향정보를 복소평면상의 함수로 표기하는 것이 적절하다.(식 (1))

$$U = RE + iIM = \cos 2\theta + i \sin 2\theta$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2RE \cdot IM}{RE^2 - IM^2} \right) \quad (1)$$

블록의 방향은 영상 내에 존재하는 모든 core 와 delta 에 영향을 받으므로 Core 와 Delta 가 영향을 미치는 범위 R 내의 블록(x,y)에 대한 영향력을 표현하면 (2), (3)와 같다.

$$PC_{Core} = H_1 + iH_2 = \frac{y-y_0}{r} Q - i \frac{x-x_0}{r} Q, (r \leq R) \quad (2)$$

$$PC_{Delta} = H_1 + iH_2 = -\frac{y-y_0}{r} Q - i \frac{x-x_0}{r} Q, (r \leq R) \quad (3)$$

여기서 r 은 Core/Delta 의 영향력 내에 있는 블록 (x,y) 와의 거리 $\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$ 이고, Q 는 각각의 Singular-point 가 해당 블록에 미치는 영향을 의미한다.

상기 모델을 Point Charge(PC) 모델이라고 하는데, 각각의 Singular point 가 블록에 미치는 영향력은 거리에 반비례하는 Weight factor 에 의해 결정된다.(식(4))

$$\alpha^k PC(x,y) = 1 - \frac{r^k(x,y)}{R^k} \quad (4)$$

여기서 k 는 각각의 Singular point 를 의미하고, 영향력이 미치는 최대 범위 R 내에 존재하는 각각의 블록 (x,y) 에 대한 가중치를 α 로 표현한 것이다.

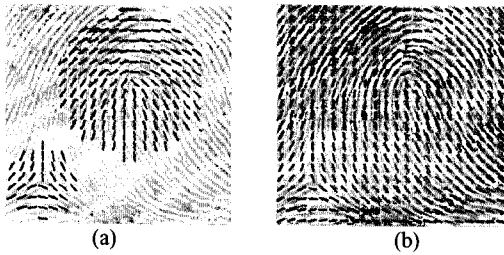
Singular point 와의 거리가 R 이상 떨어진 영역의 방향 정보는 다항식 모델을 적용하였는데, 식(1)로 부터 각각의 RE 와 IM 을 n 차 (Core/delta 의 수) 모델로 계산한다.

$$PR(x,y) = (1x \cdots x^n) \cdot P_1 \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ y \\ \vdots \\ y^n \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$PI(x,y) = (1x \cdots x^n) \cdot P_2 \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ y \\ \vdots \\ y^n \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서 n 은 다항식의 차수를 의미하며, 행렬 $P_i \in R^{n \times n}, \forall i=1,2$ 로 정의한다.

그림 2 (a)은 PC 모델을 이용하여 블록의 방향을 구한 것이고, (그림 2 (b))는 다항식 모델을 적용하여 나머지 블록의 방향을 구한 것이다.



(그림 2) 모델기반의 블록방향 추출 알고리즘의 적용

3. Combination 알고리즘

본 논문에서 제안하는 방법은 PC 모델과 Sobel Operator 로 구한 방향 정보를 상호 결합하는 것으로서, 두 모델의 장점을 합하여 국부적으로 나타나는 노이즈의 검출과 PC 모델에 의한 방향오차를 줄이는데 매우 효율적이다.

3.1. 벡터를 이용한 방향정보의 결합

PC 모델을 이용하여 구한 방향 정보를 \vec{V}_{PC} 이라고 할 때 식 (2)와 (3)으로부터 식(5)로 표현된다.

$$\vec{V}_{PC} = O_{PC}(x, y) = \arg(\alpha PC_{Core} + (1 - \alpha) PC_{Delta}) \quad (5)$$

또한 Sobel Operator 를 이용하여 계산한 영상의 방향정보는 식(6)으로 나타낸다.

$$\vec{V}_{Sobel} = O_{Sobel}(x, y) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^W 2G_x(i, j)G_y(i, j)}{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^W (G_x^2(i, j)G_y^2(i, j))} \right) \quad (6)$$

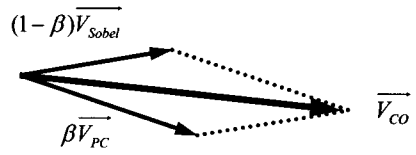
여기서 $G_x(i, j)$ 와 $G_y(i, j)$ 는 Sobel Operator 의 x 방향, y 방향 Convolution Kernel 의 영상에 대한 응답이다.

영상 블록의 방향정보는 식(5)와 식(6)의 벡터 합에 의하여 얻을 수 있으므로 식(7)과 같이 정리한다.

$$\vec{V}_{CO} = \beta \vec{V}_{PC} + (1 - \beta) \vec{V}_{Sobel} \quad (7)$$

여기서 β 는 가중치로써 Singular Point 와의 거리 r ($=\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}$)과 반비례 한다. 즉, Core 와 Delta 와 거리가 가까울수록 PC 모델의 영향력이 커지고 거리가 멀수록 Sobel Operator 를 통해 얻은 영향력이 커진다.

이것을 도식화 하면 (그림 3)과 같이 벡터의 형태로 구성됨을 알 수 있다.



(그림 3) 두 방향 정보의 벡터 합

3.2. 노이즈 정보의 추출

지문 영상의 노이즈 분석은 입력 영상의 품질과 센서의 종류에 따라 많이 구분되므로, 입력 장치인 지문센서의 종류에 맞는 방법을 고려해야 한다.

대표적인 것으로는 Gabor Filter[4]나 FFT Spectrum 분석을 통해 주파수 응답의 분포를 측정하는 방법[7], 방향성 흐름을 분석(Local Orientation Quality)하는 법이 있다.

본 논문에서는 두 방향 정보간의 차이를 비교하여 노이즈를 분석하는 방법을 사용하였다.

PC 모델은 영상 전체의 노이즈에 대하여 매우 강건하지만, Core 와 Delta 정보에 대한 의존성이 높아 Local 블록이 갖는 특징을 적절하게 표시할 수 없다. 즉, 국부적인 노이즈를 고려하지 못한다. (그림 4)



(a)로컬 노이즈 (b)PC 모델
(그림 4) Local Noise 와 PC 모델에 의한 방향 추출

그와 반면에 Sobel Operator 에 의한 방법은 Local 블록의 방향정보를 그대로 표현하므로 두 값의 차이를 비교하여 노이즈 블록을 추정할 수 있다.

노이즈가 지문 인증율에 미치는 영향은 Roddy 와 Stosz[6]에 의하여 연구된 바 있다. 지문의 특징점을 오추출, 정추출, 미추출 특징점으로 분류한 후, 노이즈에 의해 발생하는 오추출 특징점과 미추출 특징점의 수가 많을수록 인증율이 떨어지고 반대로 정추출 특징점의 수가 많을수록 인증율이 높아진다.

식(8)은 PC 모델로 나온 방향 정보와 Sobel Operator 를 추출한 방향정보의 차이를 계산하여 노이즈 블록을 추정한 방법이다.

$$\begin{aligned} \text{If } \angle \vec{V}_{Diff} = \angle \vec{V}_{PC} - \angle \vec{V}_{Sobel} > \theta_{thr}, \text{ Noise} \\ \text{else,} \text{ Normal} \end{aligned} \quad (8)$$

θ_{thr} 는 노이즈 여부를 판단하는 임계 값으로 실험에서는 $\pi/3$ 이상이 적절하다.

4. 실험 결과

실험을 통하여 PC 모델을 통한 방법과 본 논문에서 제안한 Combination 모델간의 차이를 지문 인증을 통해 비교하였다.

시험에 사용한 DB는 500 DPI, 288x320 pixels 크기의 광학식 센서를 사용하여 20대에서 40대 남녀 총 66명 지문 좌우 세손가락씩 총 396개의 지문을 채집한 것이다.

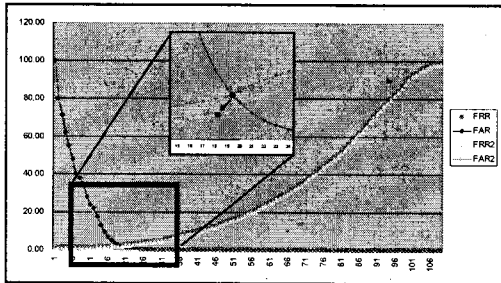
특징점 추출에 있어서 이진화 알고리즘은 Gabor Filter를 이용한 방법을 적용하였으며, 세선화는 SPTA를 사용하였다.

또한 인증 알고리즘은 Lin Hong[2]이 제안한 Aligned Point Pattern 매칭 알고리즘과 특징점을 그룹화하여 매칭하는 방법을 혼합하였다.

실험 결과, 노이즈가 심한 블록을 제거하였을 때가 그렇지 않은 경우에 비하여 ZeroFAR의 경우에는 약 0.6%, EER의 경우에는 약 0.5% 정도의 성능 향상을 보였다.(표 1, (그림 5))

<표 1> 인증을 실험 결과

	PC Model	Combination Model
ZeroFAR	6.7%	5.9%
EER	2.89%	2.42%

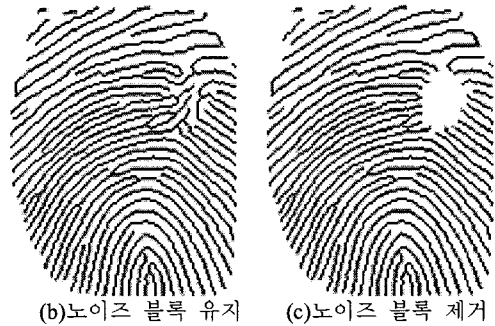


(그림 5) EER의 향상

그림 (6)에서 보는 바와 같이 노이즈 블록이 제거된 것을 알 수 있다.



(a) 원영상



(b)노이즈 블록 유지 (c)노이즈 블록 제거

(그림 6) 노이즈 블록의 제거 여부

5. 결론 및 향후 연구 계획

본 논문에서 제안한 Combination 알고리즘을 이용하여 영상의 방향을 효과적으로 개선하고, 아울러 로컬 영역에 존재하는 노이즈를 제거하는 것을 확인하였다.

성능의 차이가 현격하게 나타나지 않은 이유는 상치 있는 지문데이터가 전체 DB에서 차지하는 비율이 작기 때문인 것으로 추정되므로, FVC2004의 DB나 NIST의 표준 DB를 이용하면 더욱 높은 성능 차이를 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

본 알고리즘은 두개의 방향추정알고리즘을 구현하여 벡터 값을 비교하는 것으로써, 연산시간이 매우 많이 걸리는 단점이 있다. 따라서 연산량을 줄이는 방법이 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] B. Sherlock and D. Monro, "A model for interpreting fingerprint topology," *Pattern Recognit.*, vol. 26, no. 7, pp. 1047-1055, 1993.
- [2] Jie Zhou and Jinwei Gu, "A Model-Based Method for the Computation of Fingerprints' Orientation Field," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 6, pp. 821-835, 2004.
- [3] Lin Hong, Yifei Wan and Anil Jain, "Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 8, pp. 777-789, 1998.
- [4] Chih-Jen Lee, and Sheng-D. Wang, "Fingerprint feature reduction by principal Gabor basis function," *Pattern Recognition*, vol. 34, pp. 2245-2258, 2001
- [5] P.Vizcaya and L. Gerhardt, "A nonlinear orientation model for global description of fingerprints," *Pattern Recognit.*, vol. 20, no. 7, pp. 1221-1231, 1996.
- [6] Roddy, A.R. and Stosz, J.D, "Fingerprint Features-Statistical Analysis and System Performance Estimates," *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, Issue 9, pp. 1390-1421, 1997
- [7] Bhanu, B., and Tan, Xuejun, "Computational Algorithms for Fingerprint Recognition," *Kluwer Academic Pub.*, 2004