

개선된 Anisotropic Gaussian 필터를 이용한 지문 영상 향상

조희덕, 김상희, 박원우
금오공과대학교 전자공학부, Tel : (054)467-4381

Fingerprint Image Enhancement using a Modified Anisotropic Gaussian Filter

Hee Duk Jo, Sang Hee Kim, Won Woo Park
Dept. of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology
E-mail: johd498@naver.com, shkim@kumoh.ac.kr, wwpark@kumoh.ac.kr

Abstract

The enhancement of fingerprint image is necessary to improve the performance of fingerprint recognition. The enhancement of fingerprint image with Gabor Filter(GF) is widely used. However, GF has the weakness such as long processing time and the sensitivity to ridge frequency. To overcome these weaknesses, we propose a Modified Anisotropic Gaussian Filter(MAGF) which is modified from Anisotropic Filter proposed by S. Greenburg's(SAF). This proposed MAGF can reduce the calculation time of ridge frequency and improve the weakness of sensitivity to ridge frequency. We also explained that MAGF is better than others mathematically and experimentally.

I. 서론

사회가 발전하면서 보다 안전한 개인 식별의 방법에 대한 필요성이 커지고 있다. 일반적인 개인 식별의 방법으로서 열쇠, 비밀번호, 카드와 같은 것들이 사용되고 있지만, 그 특성상 분실, 훼손의 우려가 있다. 이러한 이유로 신뢰성과 편리성에서 월등한 생체특징을 이용한 개인 식별이 연구되고 있다. 최근에 들어서는 생체 인식에 대한 관심이 커지고 있다. 생체인식을 이용한 개인 식별에는 지문, 얼굴, 홍채, 정맥 등이 연구되고 있다. 그중에서 지문은 개인유일성 및 불변성을 지니면서 획득 및 처리가 상대적으로 용이한 장점이 있으며 실제로 범죄수사 및 보안 장치 등에 이용되고 있다.

가장 일반적이고 신뢰할 수 있고 빠른 시간을 요하는 지문 인식의 방법으로 특징점 기반 알고리즘이 사용되어진다. 올바른 특징점을 추출하기 위해서는 영상 개선이 필요하다. 가장 일반적으로 사용되는 영상 개선의 방법으로 방향성 필터[2][7]를 이용한 방법이 있다. 본 논문에서는 Gabor Filter[2]와 S. Greenburg가 제안한 Anisotropic Filter(SAF)[7]를 사용한 마스크를 적용할 경우에 발생하는 문제점을 개선하기 위해서 원형 마스크를 제안하고 이를 응용하여 Modified Anisotropic Gaussian Filter(MAGF)를 제안한다.

II. 지문 영상의 특징

일반적으로 지문의 구조는 융선(ridge)과 골(valley)로 구성되어 있다. 또한 융선의 끝나는 점인 단점(end point)과 두 융선의 만나는 점을 분기점(bifurcation)이라 정의한다. 끝점과 분기점을 합하여 특징점(minutiae)라 정의한다. 지문 영상에서는 몇 가지 특성이 있다. 첫째 특성은 융선이 지역적으로 단일한 방향성과 간격을 갖는다는 것이다. 지역적으로는 선형성(linearity)을 갖는 특성이 있다. 이런 특성 때문에 능동 필터를 사용하여 쉽게 융선을 추출할 수 있게 된다.

두 번째 특성은 여러 외부 환경(피부 상태, 날씨 등)에 의해 센서에 입력되는 지문 영상은 다양한 상태를 갖는다는 것이다. 지문영상의 상태는 크게 중성(neutral), 건조(dry), 습한(oily)상태로 나눈다. 지문영상의 상태가 습하거나 건조한 경우 지문 영상의 향상과정에서 잘못된 구조의 융선을 생성하게 된다.

지문의 마지막 특성으로는 지문에는 땀구멍(pore)이 존재한다. 땀구멍은 융선 내부의 작은 구멍들을 말한다. 이런 땀구멍은 특징점을 추출하는 과정에서 잘못된 특징점을 생성하게 한다. 이러한 이유로 지문 영상 향상 모듈을 설계할 때는 건조하거나 습한 상태의 지문 영상에서도 융선들을 안정적으로 생성할 수 있으며, 땀구멍에 의해 융선 내부에 생기는 구멍(hole)들을 제거할

수 있어야 한다.

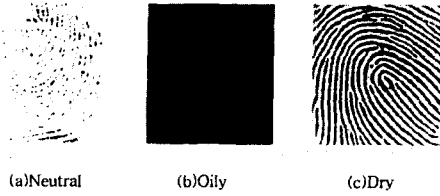


그림 1. 지문 영상의 상태

III. 지문의 방향성 측정

지문영상에 방향성 필터를 적용하기 위해서는 용선의 방향성을 알아야 한다. 본 논문에서는 지문의 용선을 구하기 위해 다음과 같이 A. K. Jain 이 제안한 방법(1)을 사용하였다.

- ① W×W(16×16)크기의 블록들로 지문 영상을 나눈다.
- ② 블록내의 pixel(x,y)에 대하여 Sobel 연산자를 사용하여 경도(gradient) $G_x(x,y)$, $G_y(x,y)$ 를 계산한다.
- ③ 계산된 경도들을 이용하여 식 (1)을 사용하여 블록들의 방향성을 구한다.

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{u=i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{v=j+\frac{W}{2}} 2G_x(u, v) G_y(u, v)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{u=i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{v=j+\frac{W}{2}} (G_x^2(u, v) - G_y^2(u, v))$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{V_x(i, j)}{V_y(i, j)} \right) \quad (1)$$

식 (1)에서 $\theta(i, j)$ 는 블록의 중심(i,j)에서 평균경도의 방향성(the average gradient direction)을 나타낸다.

IV. 방향성 필터의 비교

일반적으로 GF, SAF는 식 (2),(3)와 같으며, 본 논문에서 제안하고자 하는 MAGF는 식(4)와 같다.

$$G(x, y, f, \theta) = \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x'}{\delta_x^2} + \frac{y'}{\delta_y^2} \right) \right) \cos(2\pi f x') \quad \dots\dots (2)$$

$$S(x, y, \theta) = V + S \cdot \rho(x, y) \cdot \exp \left[-\left(\frac{x'}{\delta_x^2} + \frac{y'}{\delta_y^2} \right) \right] \quad \dots\dots (3)$$

$$M(x, y, \theta) = \rho(x, y) \cdot \left[V + S \cdot \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x'}{\delta_x^2} + \frac{y'}{\delta_y^2} \right) \right) \right] \quad \dots\dots(4)$$

위에서 $x' = x \sin \theta + y \cos \theta$, $y' = x \cos \theta - y \sin \theta$, θ 는 용선의 방향, δ_x , δ_y 는 용선에 수직인 방향과 용선에 수평인 방향에 따른 가우시안 표준 편차를 나타낸다. 식 (2)에서 f 는 x 축으로부터 θ 방향에 따라 발생하는 사

인파의 주파수를 나타낸다. 식 (3)과 식 (4)에서 V, S 는 각각 $V \leq 0, S \geq 0$ 인 실수를 나타낸다. 그리고 $\sqrt{x'^2 + y'^2} \leq r$ 이면 $\rho(x, y) = 1$ 이고 그렇지 않으면 $\rho(x, y) = 0$ 을 적용한다.

다음은 GF, SAF, MAGF를 비교하여 본다.

먼저 L. Hong이 제안한 GF를 이용한 영상 개선 알고리즘(2)의 경우에 영상개선이 용선의 주파수 (ridge frequency)의 영향을 많이 받고 용선 주파수 측정 알고리즘의 성능에 따라 영상 개선이 상당한 차이를 보이며, 용선 주파수를 측정하는데 시간이 많이 소요된다. 잘못된 주파수를 영상에 적용했을 경우 의사 특징점이 발생하는 단점이 있다. <그림 2>에서는 용선 주파수의 적용에 따른 영상개선을 보여준다. $\delta_x = 4.0, \delta_y = 4.0$ 로 하고 마스크 크기는 15×15 로 하였을 경우의 예를 보여준다.

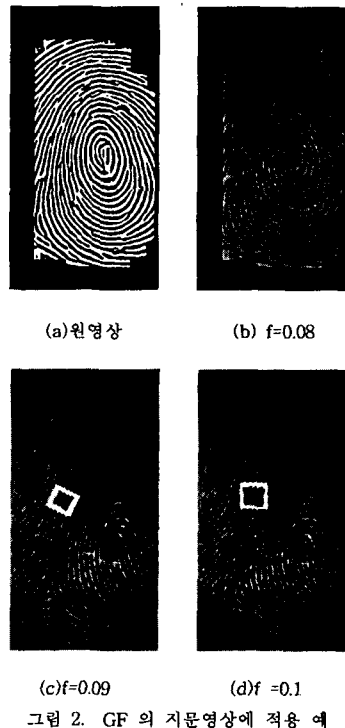


그림 2. GF의 지문영상에 적용 예

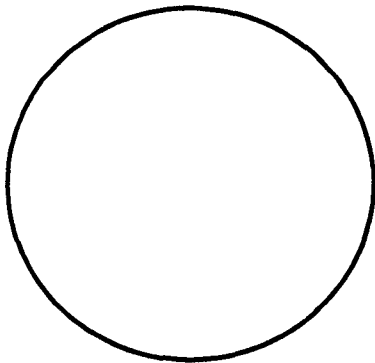
GF의 경우 <그림 2>에서와 같이 용선의 주파수에 따라 영상개선이 상당히 차이가 남을 알수 있다. 이 점을 개선하기 위한 S. Greenburg는 변형된 Anisotropic Filter (SAF)를 제안하였다. 그러나 실제 마스크를 만들어 사용할 경우 다음과 같은 단점을 지닌다. 일반적으로 마스크를 적용하는 경우는 지문의 방향에 따라 마스크의 회전이 필요한 경우인 <그림 3(a)>(6)와 마스크의 회전이 없이 용선의 방향에 따라 마스크를 달

리 적용하는 경우인 <그림 3.(b)>가 있다. 첫 번째의 경우는 계산 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 두 번째의 경우는 계산 시간이 빠른 대신 마스크가 지문 영상의 방향성에 따른 영상개선의 정확도가 떨어진다.



(a) (b)
그림 3. 마스크의 적용 예

- (a) 마스크 자체를 회전하여 적용한 경우
- (b) 마스크 자체에 방향성을 고려한 경우



0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

그림 4. 원형 마스크의 예

이런 점을 개선하기 위해서 본 논문에서는 원형 마스크를 제안한다. 본 논문에서 제안한 원형 마스크방법은 일

반적으로 마스크 안에 마스크 크기의 1/2 만큼의 반경을 가지는 내부원이 있다고 가정하고 내부원 바깥의 값은 적용하지 않는 방법이다. 즉 내부원 안의 값만 적용시키고 정규화 시키는 방법이다. <그림 4>에서 원형 마스크 기법의 예를 들어 본다. 마스크 내부의 값 중에 유효한 값은 1, 유효하지 않은 값은 0 으로 표시한다.

SAF와 MAGF를 이론적으로 비교 해본다. 첫 번째의 경우 마스크 자체를 <그림 3.(a)>와 같이 적용할 경우 방향에 따른 마스크를 회전해서 적용함으로 인해서 계산 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 두 번째의 경우 <그림 3.(b)>와 같이 마스크 자체에 방향성을 내포하여 계산하는 경우의 예를 들어 보자. SAF의 식은 다음과 같다. 식 (3)에서 $\sqrt{x^2+y^2} \leq r$ 이면 $\rho(x,y) = 1$ 이고 그렇지 않으면 $\rho(x,y) = 0$ 이다. 지수항 $S \cdot \rho(x,y) \cdot \exp(X)$ 는 일종의 원의 형태라고 생각 할 수 있다. 지수항의 경우는 용선의 방향 변화에 따라 능동적으로 변화 하지만, $\sqrt{x^2+y^2} > r$ 인 경우는 방향에 따라서 필터를 적용할 경우 용선의 방향에 따라 변화하지 못하는 단점이 있다. 지문 영상이 회전된 경우 특징점의 정보를 잘 보존하지 못하는 경우가 생긴다. 반면에 원형 마스크를 사용한 MAGF 의 경우는 $\sqrt{x^2+y^2} > r$ 이면 0의 값을 가지게 하여 값이 영향을 미치지 못하게 하여 SAF 보다 지문의 회전이나 방향성 변화에 따른 영상개선의 정확도를 높였다. <그림 5>에서 MAGF를 공간 좌표 상에 투시한 경우 방향에 따른 필터의 특성을 보여준다.

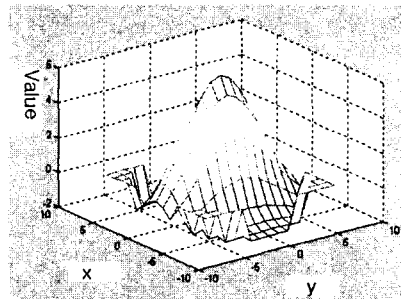


그림 5. MAGF(orientation =0°, mask size=15×15, V=-2, S=10, $\delta_x=2.0, \delta_y=4.0$)

V. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 GF, SAF, MAGF의 성능을 비교하는 실험에 사용한 이미지는 가장 구하기 쉽고 일반적으로 사용되어 지는 FVC 2002의 DB2 - B (296×560)를 사용하였다. 본 논문에서는 지문의 영상 개선 정도를 평가하기 위해 L. Hong 이 제안한 GI(the goodness index)^[2]를 사용하지 않는다. 그 이유는 지문 인식 전문가들이 정

의한 특징점과 비교하는 방법은 정확성과 신뢰성이 떨어지기 때문이다. MAGF가 GF, SAF보다 영상 개선의 성능이 우수한 이유를 본논문 IV장에서 설명하였다. 실험 결과 MAGF, SAF는 $\delta_x=2.0$, $\delta_y=4.0$ 이고, MAGF는 S=8.0, V=-3.0 일 때, SAF 는 S=8.0, V=-2.0 일 때 개선의 효과가 가장 뛰어났다.

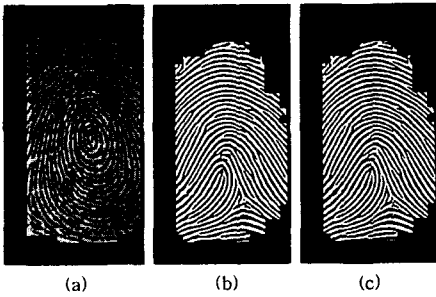


그림 6. (a) 원 영상 (b) SAF를 적용한 영상
(c) MAGF 를 적용한 영상

[5] A. M . Bazen and S.H. Gerez, "Directional field computation for fingerprints based on the principal component analysis of local gradients", In Proceedings of ProRISC2000.
 [6] S. Prabhakar, A. K. Jain, and S. Pankanti, "Learning Fingerprint Minutiae Location and Type", Pattern Recognition, Vol. 36, No. 8, pp.1847-1857, 2003.
 [7] S. Greenberg, M. Aladjem, D. Kogan, I. Dimitrov, "Fingerprint Image Enhancement using Filtering Techniques", 15th International Conference on pattern Recognition, Vol. III, 326- 329, 2000.
 [8] D. Maio, D. Maltoni, R. Cappelli, J. L. Wayman and A. K. Jain, "FVC2002: Second Fingerprint Verification Competition", <http://bias.csr.unibo.it/fvc2002/>

VI. 결론

대부분의 지문 인식 시스템에서는 용선의 특징들을 이용한다. 그렇기 때문에 안정적으로 용선을 추출하도록 지문영상을 향상시켜야 한다. 또한 온라인 환경에서 사용하기 위해서는 보다 빠르고 정확하게 용선을 추출할 필요가 있다. 본 논문에서는 이러한 이유로 GF와 SAF를 개선하여 MAGF를 제안하였다. IV 장에서 MAGF 가 SAF 와 GF 보다 영상 개선이 잘되는 이유를 설명하였다. 원형 마스크 기법에 대해 정의하고 MAGF 에 적용하였다. 본 논문에서는 여러 논문에서 사용하였지만 객관성과 신뢰성이 떨어지는 GI(the goodnese index)에 대신에 논리를 바탕으로 MAGF 가 SAF 보다 우수성에 대한 근거를 제시하고 실험하였다.

참고 문헌

[1] A. K. Jain, L. Hong and R. Bolle, "On-line Fingerprint Verification", IEEE Transactions on PAMI, Vol. 19, No. 4, pp. 302-314, 1997.
 [2] L. Hong, Y. Wan and A. K. Jain, "Fingerprint Image Enhancement: Algorithms and Performance Evaluation", IEEE Transactions on PAMI, Vol. 20, No. 8, pp.777-789, August 1998.
 [3] A. Ross, J. Reisman and A. K. Jain, " Fingerprint Matching Using Feature Space Correlation", Proc. of Post-ECCV Workshop in Biometric Authentication, LNCS 2359, pp. 48-57, Copenhagen, Denmark, June 1, 2002.
 [4] D. Miao and D. Maltoni, "Direct Gray-Scale Minutiae Detection in Fingerprints", IEEE Trans. PAMI, Vol. 19, No. 1, 1997