정맥인식을 위한 Separable Symmetric Gabor 필터

신상우*, 장경식*
*한국기술교육대학교 전기전자공학과
e-mail:s1012sc@kut.ac.kr

Separable Symmetric Gabor Filter for Vein Identification

Sang-Woo Sin*, Kyung-Sik Jang*
*Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Korea University of Technology and Education

요 약

Separable Gabor 필터는 기존의 2D Gabor 필터를 x축 성분과 y축 성분만을 지니는 두 개의 1D 필터로 나누어 각각 적용하는 방법으로 속도 향상을 가져왔으며, 지문인식 등에서 사용되어왔다. 하지만 정맥과 같은 경우에는 지문의 융선들 보다 더 굵기 때문에 필터의 크기 또한 매우 커진다. 따라서 Separable Gabor 필터의 경우도 지문에서만큼의 빠른 속도를 내지는 못한다. 본 논문에서는 Separable Gabor 필터 보다 더욱 고속의 연산이 가능한 Separable Symmetric Gabor 필터를 제안하였다. 이 필터는 사선 방향으로의 특징을 강조함에 있어 동시에 대칭이 되는 각도의 특성까지 강조하고, 회선 과정에서 필터의 방향 값을 고려하지 않기 때문에 인덱스 계산이 매우 단순해져 기존의 Separable Gabor 필터보다 처리 속도를 향상시킬 수 있다.

1. 서론

오랫동안 생체인식에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 이는 열쇠, 비밀번호, 보안카드 등과 같은 기존 인증 방법에서 분실 및 도용과 같은 단점을 보완하기 위한 방법으로 생체인식이 많은 관심을 받고 있기 때문이다. 이러한 생체인식의 방법으로 가장 많이 사용되어온 방법으로 지문과 홍채의 패턴을 이용한 방법을 들 수 있다. 하지만 지문의 경우 지문 영상을 획득하는 과정에서 영상의 품질 문제로 인하여 발생하는 잦은 오류가 단점으로 지적되어 왔다. 또한, 홍채의 경우에는 인증을 받기 위해서 눈을 스캐너에 바짝 붙여야 하는 방법 때문에 많은 사용자로부터 거부감과 불안감을 발생 시키는 것이 가장 큰 단점으로 지적되어왔다. 이러한 단점을 해결하기 위한 대안으로 최근 정맥의 패턴을 이용한 방법이 많은 관심을 받고 있다.

기존에 알려진 정맥인식의 방법으로는 손가락 정맥, 손바닥 정맥, 손등 정맥을 이용한 방법이 있다. 손가락 정맥과 손바닥 정맥을 이용한 병법은 각각 일본 업체인 HITACHI 社와 FUJITSU 社에서 상품화 하였고[5,6], 또 하나의 방법인 손등 정맥은 한국 업체인 테크스피어 社와 ID ONE 社에서 상품화 하였다. 이러한 방법들 중 본 논문에서는 비교적 영상의 취득 방법이 쉬운 손등 정맥인식을 기반으로 연구를 진행하였다.[1]

일반적으로 생체인식은 영상획득, 전처리, 후처리, 정합의 4과정으로 나눌 수 있다. 영상획득 과정은 센서 또는 카메라로 영상을 가져오는 과정이고, 영상의 품질을 향상시키고 특징들을 강조하는 부분이 전처리 과정이다. 후처리 과정은 특징을 찾아 추출하는 과정으로 정합 방법에 따라 생략될 수 있다. 정합과정은 DB에 저장된 데이터와 비교하여 인증하는 과정을 말한다. 이들 중 전처리 과정은 영상획득 후 처음 이루어지는 변형으로 이후 후처리 과정과 정합 과정에 매우 큰 영향을 미치는 중요한 과정이기 때문에 매우 많은 연구가 진행되어 왔다. 하지만 지문이나 홍채에 비해 정맥에 적용되어진 연구는 매우 적은 편이다.

본 논문에서는 기존의 전처리 방법 중 Separable Gabor 필터보다 연산량을 줄일 수 있는 Separable Symmetric Gabor(이후 SSGabor) 필터를 제안하여 전처리 속도를 더욱 향상시켰다. 이후 내용에서는 기존의 전처리에 대한 연구와 SSGabor에 대하여 설명하고, 정맥에 적용한 실험 결과의 비교를 통해 성능차이에 대하여 기술하였다.

2. 관련 연구

생체인식에서 전처리 과정은 인증 결과에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 다양한 연구가 진행되어 왔다. 그 방법 중 하나로 영상을 여러 작은 블록으로 나누고, 각각의 블록을 서로 다른 Threshold로 이진화하는 방법이 있다.[2] 이 방법은 비교적 시간 소요가 짧다는 장점이 있지만 잡음이 많은 영상이나 고르지 못한 조명에서의 카메라 영상과 같은 경우에 매우 취약하다. 또한 정맥과 같이 비어있

는 공간이 많아 블록 안에 특징이 없는 경우가 많이 발생하는 경우에는 잘못된 Threshold값을 계산하게 될 위험이 있어 절절하지 못하다. 방향성 필터를 이용하는 방법은 영상의 방향 특성을 향상시키는 능력은 우수하지만, 많은 시간이 소요된다는 단점이 있다.[3] 영상을 여러 블록으로 나누어 퓨리에 변환을 이용하여 주파수 영역에서 자기 상관관계를 이용하는 방법은 지역적으로 선형을 갖는 지문의 경우에는 매우 유용할 수 있으나 방향이 불규칙적이며 평행하지 않은 분기 또는 교차가 많이 발생하는 정맥과 같은 경우에는 적합하지 않다.[4] 정맥인식과 관련해서는 고역통과 필터를 이용한 방법이 연구된 바 있는데, 이 방법은 매우 간단하여 구현이 쉽고 빠르다는 장점이 밝기 대비가 좋지 않은 영상에서는 특징을 잘 강조하지 못하고 작은 크기의 노이즈에 매우 민감한 단점이 있다.[1]

이러한 전처리 과정을 거쳐 얻어진 영상은 후처리 과정을 거쳐 정합 과정에서 인증의 성공과 실패가 결정된다. 이 정합 과정은 크게 후처리 과정을 통하여 추출한 특징들을 비교하는 특징점 비교와 후처리 과정을 생략하고 전처리 과정에서 얻어진 영상의 자체를 픽셀단위 또는 작은 블록 단위로 비교하는 패턴정합을 이용한 방법이 있다. 특징점 비교 방법은 영상으로부터 많은 특징을 추출할 수 있는 경우에 적합하며, 특징만을 비교하기 때문에 비교적 빠르다는 장점이 있다. 하지만 그러한 특징을 추출하는 후처리 과정을 추가로 수행해야 하는 단점이 있고, 특징에 따라 구현이 어려울 수 있다는 단점이 있다. 패턴 정합을 이용한 방법은 정합 과정에서 많은 비교연산이 들어간다는 단점이 있지만, 구현이 쉽고 특징점이 적은 경우에 적합하며 후처리 과정을 생략할 수 있다는 특징이 있다. 그동안 많이 연구되어왔던 지문에서의 특징점들은 정맥의 경우에는 그 수가 적거나 전혀 없는 경우도 있어 적합하지 않고, 정맥에 적용된 특징점 추출에 대한 연구 또한 많지 않기 때문에 본 논문에서 패턴 정합을 이용하여 전처리 알고리즘의 성능을 평가하였다.

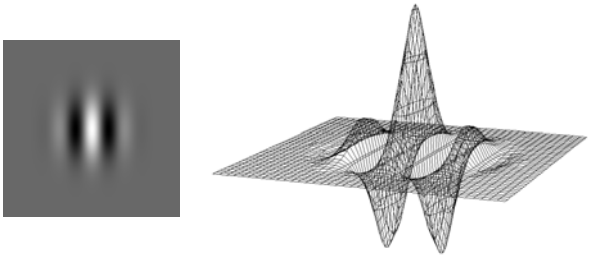
3. SSGabor 필터를 이용한 전처리

영상의 방향 특성을 강조하는데 Gabor 필터가 좋은 성능을 보인다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 일반적인 2D Gabor 필터는 다음과 같은 수식을 사용한다.[7]

$$G(x,y,\theta,f_0)=\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_\theta^2+y_\theta^2}{\sigma^2}\right)\right\}\cos(2\pi f_0 x_\theta), \quad (1)$$

$$x_\theta = x\cos\theta + y\sin\theta,\ y_\theta = -x\sin\theta + y\cos\theta$$

여기서 θ는 필터의 방향이고, f_0는 주파수이며, σ는 가우시안 특성의 분포를 나타낸다. 이 수식을 이용하여 (그림 1)과 같은 2D Wavelet을 생성할 수 있다. 이 Wavelet과 회선 과정을 거치면 세로 방향 특성이 강조되는 효과가 나타난다. 따라서 이러한 필터를 여러 방향으로 적용하면 다양한 방향으로의 방향성을 강조할 수 있다.



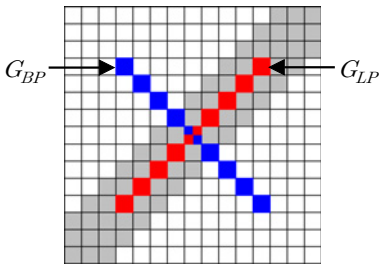
(a) (b)

(그림 1) 2D Gabor 필터의 wavelet의 평면영상(a)과 입체영상(b)

하지만 Gabor 필터는 회선 과정에서 매우 많은 연산을 필요로 하기 때문에 매우 많은 연산 시간을 요구하며, 이러한 점이 단점으로 지적되어왔다. 이러한 단점을 개선하기 위해 제안된 방법이 Separable Gabor 필터이다.[8] 이 방법에서는 위의 Gabor 필터 수식을 다음과 같이 x축 성분과 y축 성분의 수식으로 나눈다.

$$G_{BP}(x,f_0)=\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_\theta^2}{\sigma_x^2}\right)\right\}\cos(2\pi f_0 x)$$
$$G_{LP}(y)=\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_\theta^2}{\sigma_y^2}\right)\right\} \quad (2)$$

여기서 G_{BP}는 x축 방향으로의 Band pass 가우시안 특성을 가지게 되고 G_{LP}는 y축 방향으로의 Low pass 가우시안 특성을 가지게 된다.

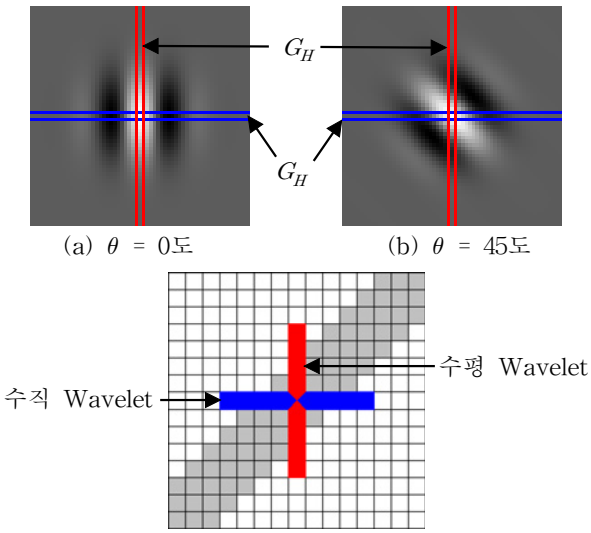


(그림 2) Separable Gabor필터의 회선

이 두 수식으로부터 얻어진 n×1 크기의 G_{BP}와 1×m 크기의 G_{LP}의 Wavelet을 (그림 2)에서와 같이 각각 x축과 y축을 기준으로 θ만큼 회전시켜 회선을 한 결과는 (1)의 수식을 이용한 n×m 크기의 2D Gabor 필터로 회선한 영상과 비슷한 결과를 얻을 수 있으면서, 그 회선에서의 연산의 양은 매우 줄어 보다 적은 시간에 방향 특성이 강조된 영상을 얻을 수 있다. 하지만 정맥의 경우에는 지문에

비하여 특징이 굵기 때문에 그만큼 Gabor 필터의 Wavelet 크기도 커지고, 지문에서보다 처리 시간도 많이 필요하게 된다.

따라서 본 논문에서는 보다 적은 연산으로 비슷한 결과를 낼 수 있는 SSGabor 필터를 제안한다. 이 필터는 (그림 3)의 (a),(b)와 같이 기존의 2D Gabor 필터의 Wavelet으로부터 방향 특성인 θ값과 상관없이 수직필터 G_V와 수평필터 G_H로 두 개의 1D Wavelet을 추출하고, (c)에서와 같이 수직과 수평 방향의 Wavelet을 각각 영상에 회선과정을 거쳐 적용하는 것이다.



(a) θ = 0도 (b) θ = 45도

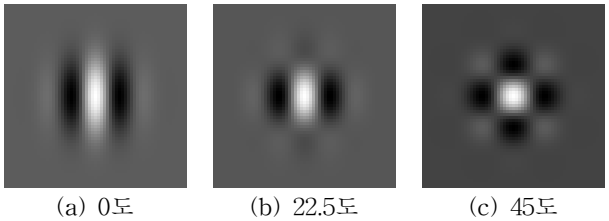
(c) SSGabor 필터의 회선

(그림 3) 0도와 45도 Gabor 필터에서 SSGabor 필터 추출방법과(a,b) 회선방법(c)

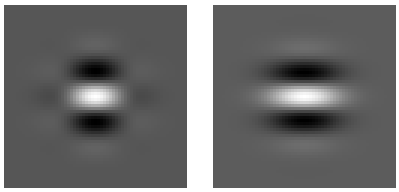
이때 G_V와 G_H의 크기가 $2n+1$일 때 다음 (3)의 수식을 거쳐 회선 과정을 거친다. 이때 I_0, I_1, I_2는 각각 원본 영상, G_H가 적용된 영상, G_H와 G_V 모두 적용된 영상이다.

$$I_1(x,y)=\sum_{i=-n}^{n} I_0(x+i,y)\times G_H(n+i)$$
$$I_2(x,y)=\sum_{i=-n}^{n} I_1(x,y+i)\times G_V(n+i) \quad (3)$$

이렇게 추출된 두 1D Wavelet 행렬을 서로 곱하면 (그림 4)에서와 같은 형태가 되고, 이는 0도와 90도를 제외한 사선 방향으로의 필터에서는 동시에 y축을 기준으로 대칭된 방향 특성까지 강조하게 되는 효과를 가져 온다. 즉 22.5도의 필터에서는 -22.5도의 방향 특성까지 강조하는 효과를 볼 수 있다. 따라서 기존의 Separable Gabor 필터에서 8방향의 특성을 강조하기 위해서는 총 $2\times8=16$개의 1D Wavelet과 회선 연산을 했던 반면에, SSGabor 필터에서는 사선 방향으로의 연산이 절반으로 줄어 $2\times((8\div2)+1)=10$개의 1D Wavelet과의 회선 연산으로 8방향의 특성 강조가 가능하다. 또한 회선 과정에서 매우 많은 연산이 이루어지는 픽셀 인덱스 계산 부분에 있어서도 필터의 각도를 고려하지 않기 때문에 구조가 매우 단순해져 구현이 쉽고, 속도가 향상되는 장점이 있다.

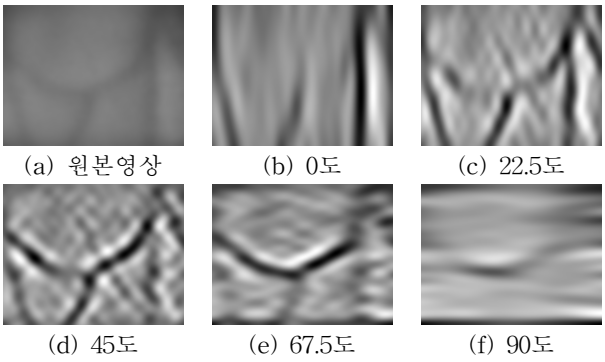


(a) 0도 (b) 22.5도 (c) 45도



(d) 67.5도 (e) 90도

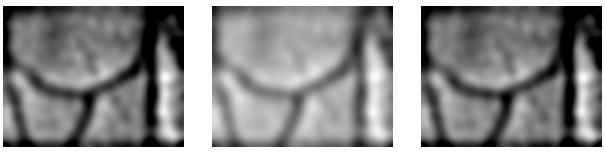
(그림 4) 여러 각도에서의 SSGabor 필터에서 두 1D Wavelet간의 곱 영상



(a) 원본영상 (b) 0도 (c) 22.5도

(d) 45도 (e) 67.5도 (f) 90도

(그림 5) 정맥 원본 영상과 방향별로 SSGabor 필터를 적용한 영상



(a) (b) (c)

(그림 6) 각각 2D Gabor 필터(a), Separable Gabor 필터(b), SSGabor 필터(c) 적용 영상

(그림 5)는 SSGabor 필터를 22.5도 간격으로 적용한 영상이고, (그림 6)은 각각 22.5도 간격으로 8방향의 2D Gabor 필터, 8방향의 Separable Gabor 필터, 그리고 5방향의 Symmetrical Gabor 필터를 적용한 영상이다.

4. 실험

성능평가는 각각 고역통과 필터, 2D Gabor 필터,

Separable Gabor 필터, SSGabor 필터를 사용하여 전처리 과정을 거친 후 패턴 정합을 이용하여 FMR, FNMR, EER, FMR100, FMR1000, ZeroFMR, 전처리 시간 등을 비교하였다.[9] FMR(False Match Rate)은 잘못된 인증을 올바른 인증으로 판단할 확률이고, FNMR(False Non-Match Rate)는 그 반대의 의미이며, EER(Equal Error Rate)는 FMR과 FNMR이 같아질 때의 FMR 또는 FNMR의 값을 나타낸다. 또한 FMR100, FMR1000, ZeroFMR은 각각 FMR이 1%이하, 0.1%이하, 0%가 될 때 FNMR의 값을 나타낸다. 사용한 영상은 암실의 역할을 하는 경통을 만들고 내부에서 적외선 LED를 조명으로 하여 흑백 NTSC방식의 CCD카메라와 비디오 캡쳐 보드를 이용하여 영상을 취득하였다. 영상은 총 82명으로부터 각각 8회씩 총 656장을 취득하였으며 656×(656-8)=425,088회의 비교를 통하여 FMR을 측정하고, 656×(8-1)=4,592회의 비교를 통하여 FNMR을 측정하였다. <표 1>은 각 알고리즘을 사용하여 테스트한 결과이다. A, B, C, D는 각각 고역통과 필터, 2D Gabor 필터, Separable Gabor 필터, SSGabor 필터이다.

<표 1> 오인식률 (단위 : %)

	A	B	C	D
EER	5.161	3.776	3.907	3.809
FMR100	16.050	9.037	8.841	9.059
FMR1000	30.697	16.463	17.356	16.485
ZeroFMR	78.680	49.848	55.858	49.782

<표 1>의 결과에서 SSGabor 필터는 2D Gabor 필터를 사용한 경우와 매우 비슷한 결과를 보이며, Separable Gabor 필터와도 FMR100을 제외하고는 모두 좋은 결과를 나타내고 있다.

<표 2> 처리시간 (단위 : 초)

	A	B	C	D
최대	0.012	5.512	2.766	0.127
최소	0.008	5.503	2.763	0.124
평균	0.009	5.508	2.764	0.125

<표 2>는 각 알고리즘의 처리 시간을 나타낸 것이다. 이 실험은 Mobile용 Pentium 1.6GHz 노트북에서 Visual C++ 6.0을 사용하였다. Gabor 마스크의 크기는 61×61이고 영상의 크기는 180×140이다. 정맥 특징의 굵기가 지문의 융선에 비하여 매우 크기 때문에 마스크의 크기 또한 매우 커져, 회선과정에서 Boundary 영역을 무시하 않고 최외각 픽셀의 값을 그대로 사용하는 방법으로 회선 과정을 처리하였다. 위의 결과를 보면 SSGabor 필터가 2D Gabor 필터나 Separable Gabor 필터에 비하여 매우 빠른 속도를 가지고 있는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 정맥인식에서 방향 특성을 강조하기 위해 기존의 Separable Gabor 필터의 속도를 향상시킨 SSGabor 필터를 사용하였고, 그로인하여 필터링 처리속도를 향상시켰다. 하지만 생체인식 장비가 일반적으로 부동소수점 연산을 하드웨어로 지원하지 않는 임베드드시스템을 이용하여 만들어진다는 점에서 많은 부동소수점 연산을 필요로 하는 필터는 여전히 큰 부담일수 밖에 없다. 따라서 이러한 알고리즘이 실제로 사용 되려면 좀 더 빠른 연산이 가능하도록 하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] 최환수, "손등 혈관분포패턴을 이용한 생체인식 기술", 정보과학회지, 제19권, 제7호, 7. 2001.

[2] I. Emiroglu, and M. B. Akhan, "Pre-processing of fingerprint images", Security and Detection, ECOS 97., pp.147-151, 1997.

[3] B. G. Sherlock, D. M. Monro, and K. Millard, "Fingerprint enhancement by directional Furier filtering", Vision, Image and Signal Processing, IEEE Proceedings, Vol. 141, pp.87-94, Apr. 1994

[4] C. I. Watson, G. T. Gandela, and P. J. Grother, "Comparison of FFT Fingerprint Filtering Methods for Neural Network Classification", NIST, Technical Report NISTIR 5493, Sept. 1994.

[5] Hitachi, Ltd. "Door-access-control System Based on Finger-vein Authentication", http://hitachi.com/rev/archive/2004/2006642_12604.html

[6] Masaki Watanabe, Toshio Endoh, Morito Shiohara, and Shigeru Sasaki, "Palm vein authentication technology and its applications", Fujitsu Laboratories Ltd., 1-1, Kamikodanaka 4-chome, Nakahara-ku, Kawasaki, 211-8588, Japan

[7] J.G. Daugman: Uncertainty relations for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters, Journal of the Optical Society of America A, 1985, vol. 2, pp.1160-1169.

[8] Vutipong Areekul, Ukrit Watchareeruetai, and Sawasd Tantaratana, "Fast Separable Gabor Filter for Fingerprint Enhancement", Proceeding International Conference on Biometric Authentication (ICBA2004), LNCS3072, Springer, pp.403-409, 2004.

[9] http://bias.csr.unibo.it/fvc2006/perfeval.asp

[10] 심현보, 박영배, "Gabor 필터를 이용한 지문 인식", 정보처리학회논문지B 제9-B권 제5호(2002.10), pp.653-662.