

홍채 인식을 위한 1차원 신호 분석

송명섭(宋明燮), 박영규(朴永奎), 변혜란(卞惠蘭), 김재희(金在熹)
연세대학교 전기컴퓨터공학과
전화 : (02) 361-2869 / 팩스 : (02) 312 - 4584

Analysis of 1-D Iris Signature for Recognition

MyoungSeop Song, YeungGyu Park, HyeRan Byun, Jaihie Kim
School of Electrical and Computer
Engineering, Yonsei University
E-mail : songms@seraph.yonsei.ac.kr

Abstract

In this paper, to perform iris recognition, the iris is changed to 1-D iris signature and methods of efficient iris pattern transformation are discussed. To represent iris signature's frequency characteristics, Fourier transform, Gabor filtering, and wavelet transform are proposed. The consistency between same person's iris and the discrimination between different person's iris are defined by using correlation. Based on these, three transform methods are compared and analyzed.

I. 서론

현대 정보화 사회에서 정보통신수단의 비약적 발전과 함께 어떤 사람이 중요한 정보에 접근할 수 있는 권한여부를 결정하는 사용자 신원 검증 문제에 대한 관심이 커지고 있다. 기존에 많이 사용되고 있는 비밀번호나 패스워드는 사용자가 기억을 해야 하고 잊거나 타인에게 노출될 위험이 있다. 또한, 사용자 인증을 위한 카드는 항상 소지하고 있어야 하며 분실할 위험이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 개인의 고유한 생물학적 특성을 이용하여 신원을 검증하는 생체(biometrics) 인식에 관한 연구가 오랫동안 진행되어 왔다.

특히 인간의 생체적인 특징 가운데 홍채는 카메라를 이용해 비접촉식으로 얻을 수 있으며 그 고유성이 뛰어나 신원확인에 우수한 것으로 알려져 있다. 또한 지문이나 목소리, 얼굴, 서명 등보다 일생 변하지 않는 높은 일관성을 가지는 특징으로 평가되고 있다. 홍채의 모양은 개개의 독립성이 높아 신원 확인 시스템에서 높은 신뢰성을 가지는 특징으로 사용될 수 있다. [1][3]

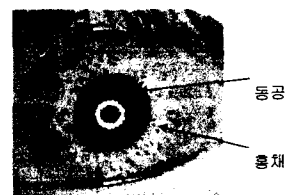


그림1. 홍채 영상

기존의 홍채 인식 시스템은 2차원 영상의 텍스처(texture) 정보를 이용하여 홍채 코드를 생성, 인식한다.[1][3] 이러한 영상을 사용하는 방법은 텍스처 정보를 추출하기 위해 사용되는 2차원 가보 필터의 설계가 어렵고 계산량이 많다는 단점이 있다. 보다 간단하고 신속한 인식을 위하여 1차원 홍채 신호를 인식에 이용할 수 있다. 홍채 신호의 미세한 변화에 대한 정보는

주파수 성분의 분석을 통해 얻을 수 있고, 이를 위해서는 신호를 주파수 분석이 용이한 형태로 바꾸어 줄 필요가 있다. 이러한 방법으로 푸리에 변환, 가보 필터링, 웨이블릿 변환을 제안하였다. 또한 동일인의 홍채 신호들의 일관성과 다른 사람의 홍채 신호들과의 변별력을 상관도(correlation)를 이용하여 정의하고, 이를 기준으로 각각의 방법을 비교·분석하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 홍채 영역의 검출 방법을 설명하고 3장에서는 1차원 홍채 신호의 추출 및 변환 방법에 대해 제시하였다. 또한 4장에서는 각 신호가 인식에 유용한지를 판단하는 일관성과 변별력의 측정 방법을 제시하고, 5장에서 실험 결과와 그 분석을 제시하였다.

II. 홍채 영역 검출 과정

홍채 분석은 입력 영상에서 어디에 홍채가 위치하고 있고, 또한 안쪽 경계(동공과 홍채의 경계)와 바깥쪽 경계(홍채와 각막의 경계)를 정확하고 신뢰성 있게 찾는 것으로부터 시작한다. 홍채는 원으로 모델링되는 것이 가장 타당하기 때문에 경계 영역 검출은 다음과 같은 원형 경계 검출기(Circular Edge Detector)를 통해 이루어진다.[1][3]

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|$$

$G_\sigma(r)$: σ 의 scale을 갖는 가우시안 평활 함수

즉, 중심 (x_0, y_0) 와 반지름 r 을 변화시켜가면서 각 중심과 반지름에 의해 만들어지는 원의 둘레를 따라 픽셀들의 그레이 레벨 값들을 더한 뒤, 반지름이 변화하는 경우 그 차이가 최대값을 갖는 경우에 원형의 경계를 검출하는 미적분 연산을 사용한다. 일단 미적분 연산의 최대값을 찾으면 평활 정도를 결정하는 가우시안의 폭(Gaussian scale)을 점점 작게 하는 반복적인 방법을 사용하여 정확한 경계를 찾을 수 있다.

분석의 대상이 되는 홍채 영역은 2차원 극 좌표계로 변환되어지는데, 이는 카메라와 사용자의 거리에 의해 변하는 홍채 영상 자체의 크기나 주위 환경에 의해 변하게 되는 동공의 크기에 관계없이 항상 같은 영역에서 특징을 추출하기 위해서이다.

(r, θ) 에 의해 이루어지는 이 좌표계는 r 은 항상 $[0, 1]$ 사이에 존재하게 되고, θ 는 $[0, 2\pi]$ 내에 존재하게 된다. 홍채 영상 $I(x, y)$ 가 이러한 극 좌표계로 바뀌는 것은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$x(r, \theta) = (1-r)x_p(\theta) + rx_s(\theta)$$

$$y(r, \theta) = (1-r)y_p(\theta) + ry_s(\theta)$$

III. 1차원 홍채 신호의 추출 및 변환

3.1. 홍채 신호의 추출

II장에서 소개된 방법으로 찾아진 홍채 영역 내에서 1차원 신호를 추출하게 된다. 1차원 신호는 동공의 중심과 홍채의 중심, 그리고 특정 반지름에 의해 만들어지는 원의 그레이 레벨(gray level)값들로 이루어진다.

또한 동일인의 다른 홍채 영상의 같은 추출 위치에서 추출한 신호들도 그 모양이 다르게 나타나게 되는데, 영상을 입력할 때마다 사용자의 위치 및 자세가 달라지기 때문에 동공의 중심과 반지름, 그리고 홍채의 중심과 반지름이 미세하게 달라지기 때문이다. 신호의 모양 자체는 그 차이가 크게 나타나지는 않지만 지역적인 미세한 모양들은 많이 달라지게 된다. 이것은 뒤의 비교 및 판단 과정에서 오류를 범하게 되는 원인이 될 수 있기 때문에 이를 보완하기 위해 연속적인 세 홍채 신호의 평균을 취하는 전처리 과정이 필요하다.

$$f_r(x) = \frac{s_{r-1}(x) + s_r(x) + s_{r+1}(x)}{3}$$

$s_r(x)$: 반지름 r 에서의 홍채 signature

$f_r(x)$: 반지름 $r-1, r, r+1$ 의 평균 신호

너무 큰 범위에서 홍채 signature들의 평균을 취하게 되면 특징이 사라지기 때문에 실험을 통해 연속적인 세 반지름의 평균을 취하는 것이 홍채 신호의 특징을 큰 왜곡 없이 반영하면서 동일인의 신호의 차이도 줄일 수 있는 적절한 범위인 것으로 판단되었다.

3.2. 홍채 신호의 변환

홍채 신호는 매우 복잡하고, 환경 의존적인 DC 성분을 가지기 때문에 신호 자체를 비교하는 것은 어렵다. 이를 위해서 신호의 주파수 정보에 대한 분석이 필요하다. 따라서 푸리에 변환, 가보 필터링, 웨이블릿 변환 등을 통해 신호의 주파수 성분을 분석하는 방법을 제안한다.

3.2.1. 푸리에 변환

신호의 주파수 성분 분석 방법으로 널리 쓰이고 있는 푸리에 변환을 통하여 홍채 신호를 특성을 분석해 보았다. 그림 2는 푸리에 변환된 홍채 신호이다.

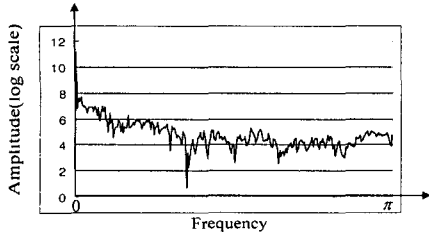


그림 2. 푸리에 변환된 홍채 신호

3.2.2. 가보 필터링

1차원 가보 필터는 신호에서 원하는 특정 주파수 성분을 추출할 수 있는 대역 통과 필터의 하나이다. 1차원 가보 필터는 정현파와 가우시안 함수를 변조(modulation)함으로써 만들어진다.[4]

$$G(t) = e^{-\frac{(t-t_0)^2}{a^2}} e^{j\omega t}$$

가우시안 함수는 필터의 크기를 결정하고 정현파의 주파수는 필터가 추출하는 주파수 성분을 결정한다. 다음은 가보 필터링된 홍채 신호이다.

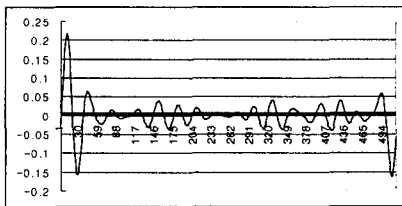


그림 3. 가보 필터링된 홍채 신호

3.2.3. 웨이블릿 변환

홍채 신호를 웨이블릿 변환하기 위해서 Harr 웨이블릿을 사용하였다. Haar 웨이블릿은 가장 간단한 형태이나 웨이블릿 모든 특징을 가지고 있기 때문에 널리 사용되고 있다.[5][6]

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq \frac{1}{2} \\ -1, & \frac{1}{2} \leq t \leq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

모든 기저 함수들은 위의 모웨이블릿을 전이시키고 그 크기를 변화시킴으로써 얻어질 수 있다. Scaling 상수 m 과 Translation 상수 n 에 의해 다음과 같이 기저함수들을 만들 수 있다.

$$\Psi_{m,n}(t) = 2^{-2m}\psi(2^{-m}t-n) \quad m, n \in \mathbb{Z}$$

그림 4는 Haar 웨이블릿 변환된 홍채 신호이다.

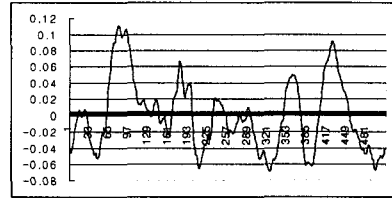


그림 4. Haar 웨이블릿 변환된 홍채 신호

IV. 일관성과 변별력

인식 시스템에서 발생 가능한 오류는 등록된 사용자를 거부하는 유형 I 오류(False Rejection Error)와 등록되어 있지 않은 사용자를 받아들이는 유형 II 오류(False Acceptance Error)의 두가지가 있다. 이러한 두 가지 형태의 오류를 최소화하기 위해서는 일관성과 변별력을 동시에 갖춘 특징의 추출이 필요하다. 이 장에서는 일관성과 변별력을 판단하기 위해 상관도를 사용하는 방법을 제안한다.

4.1. 일관성

일관성이란 동일인의 신호가 얼마나 유사하게 나타나는가를 판단할 수 있는 기준이다. 일관성이 결여된 특징들은 남의 특징을 자신의 것으로 잘못 인식하는 오류가 커지게 된다.

홍채 신호의 일관성을 판단하기 위해서 동일인의 신호들간의 상관도 값 중 최대값의 평균과 분산을 사용하였다. 상관도는 신호들간의 유사 정도가 얼마인지를 간단히 판단할 수 있는 척도이다. 즉 상관도의 평균값이 클수록 두 신호가 유사하다고 해석할 수 있다. 그러나 그림 5와 같이 같은 평균을 갖는다 하여도 분산이 다르면 두 클래스의 일관성은 같다고 할 수 없다. 따라서 평균값과 표준편차를 동시에 사용하여 일관성을 판단하는 방법이 고려되어야 한다.

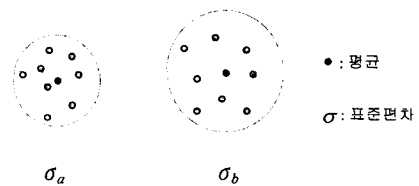


그림 5. 표준편차에 의한 일관성의 차이

일관성 S 는 다음 식과 같이 정의한다.

$$S_i = \frac{m}{\sigma + 1}$$

S_i : i 번째 사람의 홍채 신호의 일관성

4.2. 변별력

변별력은 서로 다른 두 클래스의 신호가 얼마나 다른가를 판단할 수 있는 기준이다. 변별력이 없는 특징을 사용하는 경우 다른 클래스와의 경계가 모호해지기 때문에 에러율이 증가하게 된다.

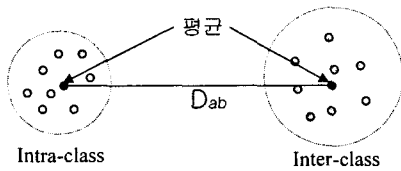


그림 6. 변별력의 판단

변별력은 신호들간의 상관도의 최대값을 구한 후, 자기 자신의 클래스(Intra-class)내의 신호들과의 상관도의 평균과 다른 클래스(Inter-class)의 신호들과의 상관도의 평균간의 거리를 변별력 판단의 기준으로 사용한다.

$$D_i = m_{Intra} - m_{Inter}$$

V. 실험 결과 및 분석

Pentium pro 200MHz, RAM 128MByte의 컴퓨터에서 Visual C++ 6.0을 사용하여 실험을 수행하였으며, 각 모듈은 처리 속도를 최적화시켰다. 10명의 사람에 대하여 각각 5개의 홍채 영상을 획득하여 총 50개의 홍채 영상에 대하여 실험을 수행하였다. 신호 추출 위치와 가보 필터링 및 웨이블릿 변환할 주파수 성분은 실험을 통해 선택하였다.

홍채 신호와 같은 비정상 신호는 순간적인 변화가 큰 특징이 된다. 그러나 푸리에 변환은 이러한 변화가 어디에서 일어나는지의 공간적인 정보를 잃기 때문에 홍채 신호보다 오히려 더 낮은 일관성과 변별력을 가지는 것을 볼 수 있다. 또한 홍채 신호의 웨이블릿 변환이 일차원 가보 필터링에 비해 일관성과 변별력이 뛰어나 인식 시스템에 사용이 적합한 것을 알 수 있다.

가공 방법	일관성(S)	변별력(D)	
홍채 신호	0.853	0.347	
푸리에 변환	0.772	0.055	
Gabor 필터링	$\omega_0 = \pi/32$	0.923	0.465
	$\omega_0 = \pi/16$	0.881	0.534
	$\omega_0 = \pi/8$	0.796	0.527
Haar 웨이블릿 변환	$\omega_0 = \pi/32$	0.953	0.492
	$\omega_0 = \pi/16$	0.911	0.575
	$\omega_0 = \pi/8$	0.847	0.591

그림 7. 각 방법으로 변환된 신호의 일관성과 변별력

참고문헌

- [1] J. G. Daugman, "High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. 15, No.11, pp. 1148-1161, 1993.
- [2] W. W. Boles and B. Boashash, "A Human Identification Technique Using Images of the Iris and Wavelet Transform," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 46, No. 4, pp. 1185-1188, 1998.
- [3] Wildes, Richard P., "Iris recognition: An emerging biometric technology," Proceedings of the IEEE, vol. 85, No. 9, pp. 1348-1363, 1997.
- [4] J. G. Daugman, "Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters," J. Opt. Soc. Amer. A., vol. 2, pp. 1160-1169, 1985.
- [5] Oliver Rioul and Martin Vetterli, "Wavelets and Signal, Processing," IEEE SP Magazine, pp. 14-38, Oct. 1991.
- [6] I. Daubechies, "The wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 36, No. 5, pp. 961-1005, 1990.