

Zernike 모멘트와 Wavelet을 이용한 홍채인식

최창수¹, 박종천¹, 전병민^{1*}
¹충북대학교 컴퓨터공학과

A Iris Recognition Using Zernike Moment and Wavelet

Chang-Soo Choi¹, Jong-Cheon Park¹ and Byoung-Min Jun^{1*}

¹Department of Computer Engineering, Chungbuk National University

요 약 홍채인식은 홍채의 무늬 패턴 정보를 이용하는 생체인식 기술로 안정성, 보안성과 같은 특징을 가지고 있기 때문에 높은 보안을 요구하는 환경에 특히 적합하다. 최근 들어 홍채정보를 이용하여 출입통제, 정보보안등의 분야에 많이 활용되고 있다. 홍채 특징 추출시 크기, 조명, 회전에 무관한 홍채 특징을 추출하는 것이 바람직하다. 홍채크기 및 조명 문제는 전처리를 통해 쉽게 해결할 수 있지만 회전에 무관한 홍채 특징 추출은 여전히 문제가 된다. 본 논문에서는 회전 보정으로 인한 인식을 및 속도 저하를 개선하기 위해 Zernike 모멘트와 Daubechies Wavelet을 이용한 홍채인식 방법을 제안한다. 제안한 방법은 회전에 불변한 Zernike 모멘트의 통계적 특성을 이용하여 회전된 홍채에 대해서 1단계로 유사홍채를 분류함으로써 홍채인식에 필요한 시간을 단축하였고, 인식성능 역시 기존 방법과 대등함을 보였다. 따라서 제안한 방법이 대용량의 홍채 인식 시스템에 효과적인 적용이 가능함을 확인할 수 있었다.

Abstract Iris recognition is a biometric technology that uses iris pattern information, which has features of stability, security etc. Because of this reason, it is especially appropriate under certain circumstances of requiring a high security. Recently, using the iris information has a variety uses in the fields of access control and information security. In extracting the iris feature, it is desirable to extract the feature which is invariant to size, lights, rotation. We have easy solutions to the problem of iris size and lights by previous processing but there is still problem of iris feature extract invariant to rotation. In this paper, To improve an awareness ratio and decline in speed for a revision of rotation, it is proposed that the iris recognition method using Zernike Moment and Daubechies Wavelet. At first step, the proposed method groups rotated iris into similar things by statistical feature of Zernike Moment invariant to a rotation, which shortens processing time of iris recognition and looks equal to an established method in the performance of recognition too. therefore, proposed method could confirm the possibility of effective application for large scale iris recognition system.

Key Words : Biometrics, Iris Recognition, Zernike Moment, Daubechies Wavelet

1. 서론

생체인식이란 얼굴, 지문, 홍채, 망막, 손등혈관, 목소리 등과 같은 개인의 신체적 고유한 특징이나 서명, 걸음걸이 방식등과 같은 고유한 행동 양식을 이용하여 개인을 식별하는 방식이다. 이러한 생체특징은 모든 사람마다 고유하고 변하지 않는다는 특징을 가지고 있기 때문에 개인 식별을 위해 좋은 수단이 될 수 있다. 이중 홍채는

다음과 같은 장점을 가지고 있기 때문에 최근에 많은 연구가 이루어지고 있다. 첫째로 홍채는 각 개인의 고유한 특징을 포함하는 매우 풍부하고 복잡한 패턴을 가지고 있다. 홍채 패턴이 사람마다 고유하다는 사실은 미국의 두 안과의사인 레오나르드 플로머(Leonard Flom)와 알란 사피르(Alan Safir)에 의해 1980년대 중반에 발견되었다 [1]. 이는 같은 사람의 왼쪽 눈과 오른쪽 눈의 패턴이 다르며 일관성 쌍둥이라 하더라도 홍채 패턴은 모두 다르

본 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*교신저자 : 전병민(bmjun@cbnu.ac.kr)

접수일 10년 09월 08일

수정일 10년 10월 18일

게재확정일 10년 11월 19일

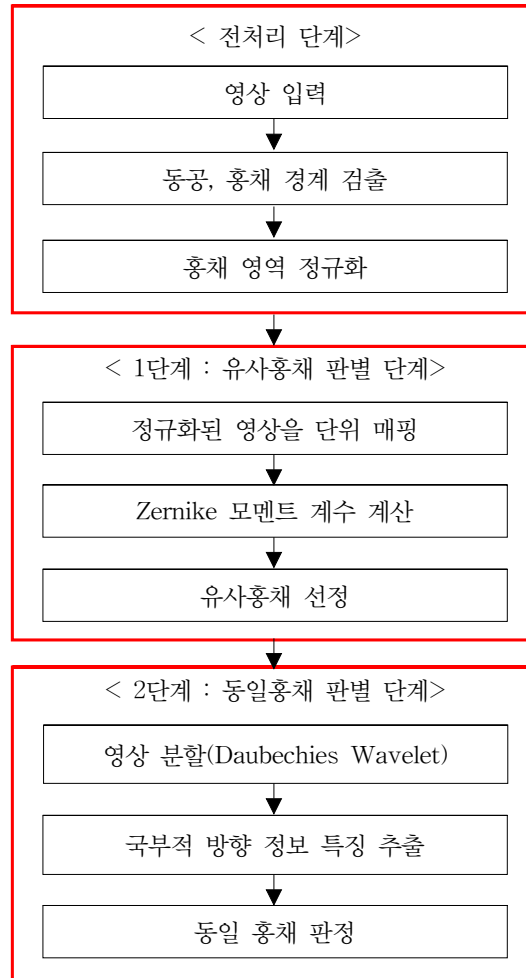
다는 사실을 알 수 있다. 홍채의 패턴은 유전적인 영향을 받는 것이 아니라 태아의 초기 환경에 의해서만 영향을 받기 때문이다. 두 번째로 홍채 패턴은 만 3세가 되기 전에 대부분 형성되고 외부적인 상해가 없다면 거의 불변이다. 세 번째로 홍채는 다른 생체 특징과 달리 각막에 의해 외부 환경으로부터 보호되는 특징을 지닌다. 지문의 경우 마모가 될 수 있고 상처나 습진 등에 의해 패턴이 변경 될 수 있지만 홍채는 내부 기관이므로 눈에 질병이 없는 한 패턴에 영향을 받지 않는다. 이러한 홍채의 장점을 이용한 연구는 지금까지 Dugman[2-6], Wildes[7,8], Boles[9] 등에 의해 활발한 연구가 수행되어 왔다. 1993년에 영국 캠브리지 대학의 J. Daugman에 의해 2차원 가버(Gabor) 변환을 기반으로 하여 홍채코드를 256바이트로 해밍(Hamming) 부호화한 결과를 특징으로 사용하는 알고리즘으로 제안되었으며 현재 상용화된 제품들은 이 알고리즘에 기반을 두고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 위에서 언급한 홍채인식 방법들은 회전에 무관한 인식을 위해 인식을 수행하고자 할 때 입력 홍채의 특징 값을 추출한 후 이것을 회전에 예상되는 범위 내에서 좌우로 이동시켜가며 비교하는 방식을 통해 회전에 무관한 홍채 인식을 시도하였다. 이러한 방법의 문제점은 사전에 회전 각도의 범위를 정해 놓아야 하기 때문에 이를 벗어나는 범위에 대해서는 인식이 불가능하다. 본 논문에서는 회전 보정으로 인한 인식을 및 속도 저하를 개선하기 위해 Zernike 모멘트[10-12]와 Daubechies Wavelet[13,14]을 이용한 홍채인식 방법을 제안한다. 1단계로 Zernike 모멘트의 통계적 특성을 이용하여 유사홍채를 판별한 후 Daubechies Wavelet을 이용하여 홍채 영상의 국부적 방향정보[15,16]를 특징으로 추출하여 이를 비교해 동일 홍채인지 여부를 판단하였다. 제안된 방법은 1단계로 유사홍채를 분류함으로써 홍채인식에 필요한 시간을 단축하였고, 인식성능 역시 기존 방법과 대등한 특징을 가진다.

2. 제안된 홍채 특징 추출 알고리즘

2.1 전체 흐름

홍채 인식은 크게 영상 취득, 홍채 영역 추출, 특징값 추출, 특징값 비교의 단계를 통해 이루어지는데 홍채 영역을 추출하여 홍채 영역만을 직사각형의 형태로 정규화하는 것은 일반적인 시스템에서 공통적으로 수행하는 단계이다. 본 논문에서 제안하는 특징값 추출과 비교는 2단계로 이루어지는데, 이는 다수의 사용자가 등록되어 있는

경우에도 빠른 시간 내에 인식을 수행하기 위함이다. 그림 1과 같이 1단계에서는 Zernike 모멘트의 통계적 특성을 이용하여 회전에 무관한 유사 홍채를 판별하고, 2단계에서는 Daubechies Wavelet Level 3의 수평 방향 성분(LH)과 수직방향성분(HL)을 이용해 홍채 영상의 국부적 방향정보를 특징으로 추출하고 이를 비교해 동일인의 홍채인지 여부를 판정하게 된다.



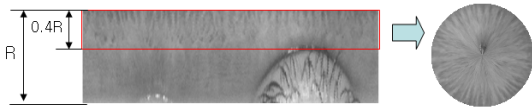
[그림 1] 제안하는 방법의 흐름도

2.2 Zernike 모멘트의 통계적 특성을 이용한 유사홍채 판별

Zernike 모멘트 값을 구하기 전에 고려해야 하는 것은 홍채의 경우 동공 주변에 대부분의 정보가 포함되어 있고 동공 경계에서 멀어질수록 눈꺼풀과 눈썹의 영향을 받을 가능성이 높아지기 때문에 홍채의 전 영역을 사용

하기 보다는 동공 경계 쪽의 일부만을 사용하는 것이 더 좋은 성능을 나타낸다. 본 논문에서는 그림 2와 같이 정규화된 영상의 영역 중 0.4R에 해당하는 영역을 홍채 인식에 사용하였다.

1단계에서 유사홍채 판별을 위해 먼저 홍채영역을 360×80의 크기로 정규화된 영상을 단위원 상으로 매핑한다. 360×80의 크기를 90도 간격으로 분할하여 1/4원으로 매핑한다. 이때 주의할 점은 그림 2와 같이 동공 경계가 원의 바깥이 되고 홍채/공막의 경계는 원의 안쪽으로 매핑이 되어야 한다. 이는 Zernike 모멘트는 단위원(Unit Circle)상에서만 정의되는데 동공 경계 쪽에 더 많은 정보가 포함되는 것을 반영하기 위한 것이다.



[그림 2] 정규화된 영상의 단위원 매핑

단위원 상으로 매핑된 홍채 영상에서 Zernike 모멘트 계수를 추출한다. Zernike 모멘트는 단위원 안에서 정의되며, 방사 다항식 $R_{nm}(\rho)$ 는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$R_{nm}(\rho) = \sum_{s=0}^{(n-|m|)/2} (-1)^s \frac{(n-s)!}{s! \left(\frac{n+|m|}{2} - s\right)! \left(\frac{n-|m|}{2} - s\right)!} \rho^{n-2s} \quad (1)$$

여기서 n은 차수를 나타내고, m은 반복수를 나타낸다. n, m은 음수가 아닌 정수이고, n-|m|은 짝수이어야 하며, $|m| \leq n$ 을 만족해야 한다. 그리고 2차원 영상 $f(\rho, \theta)$ 의 Zernike 모멘트는 극좌표계에서 식(2)와 같이 정의된다.

$$Z_{nm} = \frac{n+1}{\pi} \int_{unit\ disk} V_{nm}^*(\rho, \theta) f(\rho, \theta) \quad (2)$$

여기서 $V_{nm}(\rho, \theta)$ 는 식(3)과 같이 정의되는 Zernike 모멘트의 기저 함수(Basis Function)이며 V^* 는 켈레 복소수이다.

$$V_{nm}(\rho, \theta) = R_{nm}(\rho) \exp(jm\theta), \quad \rho \leq 1 \quad (3)$$

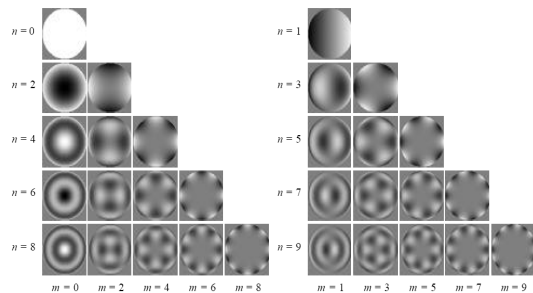
각 차수에 따른 Zernike 모멘트들의 개수는 각각 다르

며 표 1에 각 차수에 따라 생성되는 Zernike 모멘트들이 나와 있다.

[표 1] 차수에 따른 Zernike 모멘트 리스트

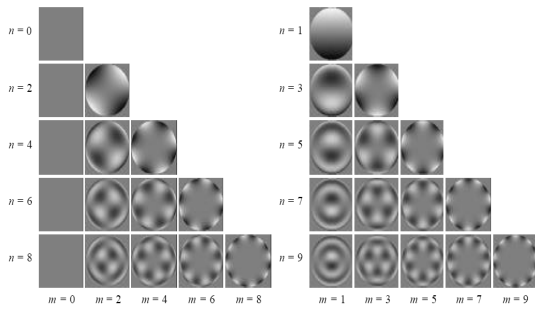
| 차수 | Zernike 모멘트 | 모멘트 개수 |
|----|--|--------|
| 0 | Z_{00} | 1 |
| 1 | Z_{11} | 1 |
| 2 | Z_{20}, Z_{22} | 2 |
| 3 | Z_{31}, Z_{33} | 2 |
| 4 | Z_{40}, Z_{42}, Z_{44} | 3 |
| 5 | Z_{51}, Z_{53}, Z_{55} | 3 |
| 6 | $Z_{60}, Z_{62}, Z_{64}, Z_{66}$ | 4 |
| 7 | $Z_{71}, Z_{73}, Z_{75}, Z_{77}$ | 4 |
| 8 | $Z_{80}, Z_{82}, Z_{84}, Z_{86}, Z_{88}$ | 5 |

또한 Zernike 기저 함수는 n과 m 두개의 파라미터에 의해 결정된다. 각 차수의 기저 함수는 방사 다항식 R에 위상 항을 곱해 계산된다. 그림 3을 보면 n과 m의 차 n-m이 커질수록 방사 다항식에서 고주파 성분이 높아진다.



[그림 3] 8차까지의 Zernike 기저 함수의 실수부

따라서 계산된 Zernike 모멘트 중 n-m이 큰 차수에서 모멘트 값이 크다는 것은 이미지의 방사 방향 고주파 성분이 많이 포함되어 있음을 나타낸다. 즉 이미지가 방사 상으로 복잡한 패턴을 가지고 있음을 뜻한다. 이에 반해 그림 4에서 볼 수 있듯이 기저 함수는 m에 따라서 시계 방향으로 m번 대칭되는 패턴을 가진다. 따라서 특정 m의 차수에서 Zernike 모멘트의 값이 크게 나타나는 경우 영상은 회전축을 중심으로 m번 반복되는 형태를 띠고 있다는 의미이다.



[그림 4] 8차까지의 Zernike 기저 함수의 허수부

이렇게 계산된 Zernike 모멘트는 영상 f 에 대해 회전에 불변하는 특성을 지니게 된다. 이는 식(4),(5)를 통해 알 수 있다. 영상 $f(\rho, \theta)$ 의 α 만큼 회전된 영상을 $f(\rho + \alpha)$ 라고 하고, 회전된 영상의 Zernike 모멘트를 Z_{nm}^r 이라고 했을 때 다음이 성립한다.

$$Z_{nm}^r = Z_{nm} \exp(jm\alpha) \tag{4}$$

$$|Z_{nm}^r| = |Z_{nm}| \tag{5}$$

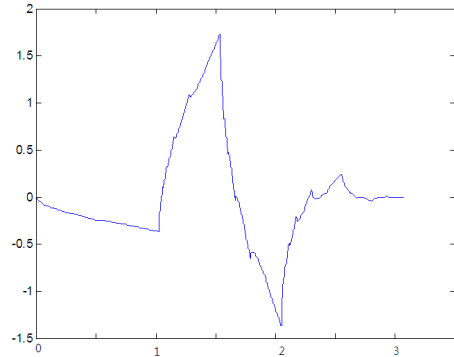
각 차수에 따른 Zernike 모멘트들의 개수는 각각 다르며 본 논문에서는 8차수까지 25개의 모멘트 계수를 추출하였다. 두 홍채가 회전에 무관하게 유사한 패턴인지를 판별하는 것은 모멘트의 절대값을 이용하여 계산한다. 입력된 홍채 Q에서 계산한 Zernike 모멘트의 절대값 $|Z_{nm}^Q|$ 과 데이터베이스에 저장된 Zernike 모멘트의 절대값 $|Z_{nm}^R|$ 의 차이를 각 n 과 m 에 대해 합하여 유사도의 차이 D 를 구하고, 이 값이 기준치보다 작으면 유사 홍채로 분류한다.

$$D = \sum abs(|Z_{nm}^R| - |Z_{nm}^Q|) \tag{6}$$

2.3 Daubechies Wavelet을 이용한 국부적 방향 정보 추출

2단계에서는 유사홍채로 분류된 홍채 영상에 대하여 Daubechies Wavelet 변환을 이용하여 Level 3의 영상으로 분할한다 기존의 홍채인식에서는 Harr Wavelet[17-19] 변환을 많이 사용하지만 본 논문에서는 특징추출 방법으로 Harr Wavelet의 단점을 보완하여 보다 정확한 특징 추출이 가능해 최근 많이 사용되어 지고 있는 Daubechies Wavelet을 사용하였다. Daubechies Wavelet을 사용한 이

유는 Harr Wavelet은 불연속적으로 값이 급격히 변하는 단점이 있는데 반해 Daubechies Wavelet은 연속함수이기 때문에 보다 정확하고 정교한 특징값을 추출하는 것이 가능하기 때문이다. 본 논문에서는 특징값 추출시 4계수 Daubechies Wavelet 함수를 사용하였다. 그림 5와 식 (7),(8)은 4계수 Daubechies Wavelet 함수의 그림과 식을 나타낸다.



[그림 5] Daubechies Wavelet 함수

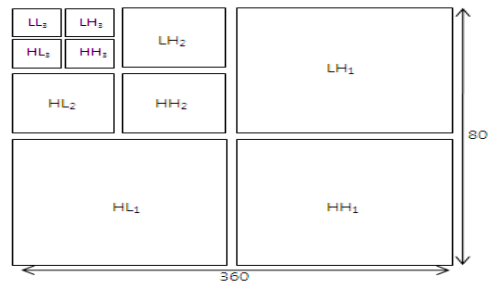
$$\phi(t) = h_0\phi(2t) + h_1\phi(2t-1) + h_2\phi(2t-2) + h_3\phi(2t-3) \tag{7}$$

$$\psi(t) = -h_0\phi(2t-1) + h_1\phi(2t) - h_2\phi(2t+1) + h_3\phi(2t+2) \tag{8}$$

$$h_0 = \frac{1 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, h_1 = \frac{3 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$$

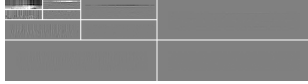
$$h_2 = \frac{3 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, h_3 = \frac{1 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$$

그림 6은 Daubechies Wavelet 변환을 이용한 영상분할을 그림으로 나타낸 것이다. L은 Low Pass Filter를 나타내고, H는 High Pass Filter를 나타낸다. 아래 첨자의 숫자는 영상분할의 단계를 나타낸다. 예를 들면, LH₂의 경우 2단계의 Wavelet 분할에서 X방향으로 Low Pass Filter를 통과시키고, y방향으로 High Pass Filter를 통과시킨것을 의미한다.



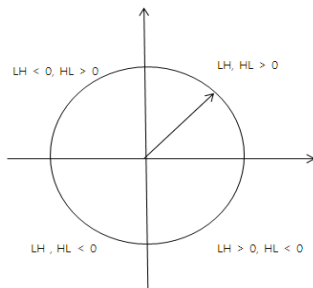
[그림 6] Wavelet을 이용한 Level3 영상 분할

그림 7과 같이 분할된 홍채 영상에서 국부적 방향정보는 Daubechies Wavelet Level 3의 LH₃(수직)와 LH₃(수평) 성분을 이용해 다음과 같이 추출한다.



[그림 7] 실제 분할된 홍채 영상

360x80의 홍채 영상에 대한 Level 3의 각 성분의 크기는 45x10의 크기가 된다. 국부적 방향정보를 이용해 추출하는 정보는 1 pixel당 2 bit로 encoding되어 총 900 bit로 특징값이 구성된다. 그림 8과 같이 수평, 수직 방향 성분이 모두 양수인 경우는 11로, 수평이 양이고 수직 방향이 음인 경우는 10으로, 수평, 수직이 모두 음인 경우는 00으로, 수평이 음이고 수직방향이 양인 경우는 01로 encoding된다.



[그림 8] 양자화 방법

이렇게 구해진 900 bit의 특징은 식 (9)와 같이 Hamming Distance를 이용하여 유사도를 판별한다.

$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} A_j \oplus B_j \quad (9)$$

여기서 N은 총 비트수를 나타내며, A_j 와 B_j 는 두 비교 홍채의 j번째 비트이고 \oplus 는 exclusive-OR이다.

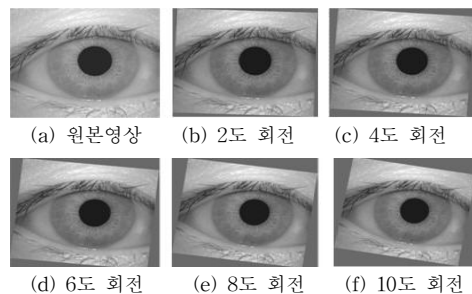
3. 실험 및 결과

제안한 홍채 인식 방법의 성능을 분석하기 위해 CASIA 데이터베이스를 이용한다. Zernike 모멘트의 유사홍채 분류 인식 성능에 대해 실험하고, Daubechies

Wavelet을 통해 기존 방법의 인식 성능과 각도 보정에 따른 인식 속도 성능을 비교 실험한다. 기존의 방법으로 Duagman이 제안한 Gabor 변환을 이용한 방법과 비교 평가를 수행한다.

3.1 실험 방법

본 논문에서는 홍채 연구에서 가장 널리 사용되는 CASIA 데이터베이스[20]를 사용하여 제안한 방법에 대한 성능 평가를 수행하였다. CASIA DB는 8비트 그레이 영상으로 320x280 픽셀의 해상도를 가진 총 756장의 영상으로 구성되어 있다. 이 영상들은 108개의 서로 다른 눈(108개의 클래스)에서 각 7장씩 한 달 간격으로 취득한 홍채영상으로 구성되었다. 회전에 대한 인식 성능 측정을 위해 원본 영상을 2도씩 시계방향으로 회전시켜가며 원본 영상과 회전된 영상들을 하나의 셋으로 구성하여 실험을 진행하였다. 즉 2도 회전된 영상에 대한 성능 평가를 위해 원본 영상(756장)과 2도 회전영상(756장)으로 데이터셋 cw-2(1512장)를 구성하였다. 마찬가지로 방식으로 4, 6, 8, 10도 회전된 영상에 대해서도 원본 영상과 회전된 영상으로 각 1512장으로 구성된 데이터셋 cw-4, cw-6, cw-8, cw-10 을 구성하여 인식 성능을 측정하였다. 그림 9는 실험에 사용된 데이터셋의 예이다.



[그림 9] 실험에서 사용된 회전된 영상

3.2 인식 성능 평가 방법

인식이란 입력된 홍채 영상이 데이터베이스에 저장된 여러 홍채 중에 어떤 홍채인지를 찾아내는 것이다. 실험에서 평가한 방법은 1단계에서 Zernike 모멘트를 통한 유사홍채의 분류 성능을 평가하고 2단계에서 제안 알고리즘의 성능 평가를 위한 방법으로는 인식 성능을 식 (10)과 같이 인식률로 평가하였다.

$$\text{인식률}(\%) = \frac{(\text{총실험영상수} - \text{에러영상수})}{\text{총실험영상수}} \times 100 \quad (10)$$

3.3 유사홍채 분류시 Zernike 모멘트 개수에 따른 성능

제안하는 방법에서 사용하는 Zernike 모멘트의 개수에 따라서 유사홍채 분류 성능에 영향을 미치게 되는데 Zernike 모멘트의 개수가 적어지면 찾고자 하는 홍채가 누락될 확률이 작아지게 되지만 후보의 수가 늘어나 다음 단계에서 처리해야 할 데이터가 많아지게 되어 속도가 느려지는 결과를 낳게 된다. 표 2는 사용하는 Zernike 모멘트의 개수에 따라 유사홍채의 개수와 누락될 확률을 보여준다.

[표 2] Zernike 모멘트 개수에 따른 유사홍채 수와 찾고자 하는 홍채가 누락될 확률

| Zernike 모멘트 개수 | 유사 홍채 수 | 누락될 확률(%) |
|----------------|---------|-----------|
| 22 | 550 | 0 |
| 23 | 428 | 0 |
| 24 | 301 | 0 |
| 25 | 251 | 0 |
| 26 | 226 | 0.8 |
| 27 | 188 | 1.9 |
| 28 | 136 | 2.8 |
| 29 | 104 | 3.6 |

실험 결과를 살펴 보면 Zernike 모멘트의 개수가 25개 이상이 되면 찾고자 하는 홍채가 누락되는 경우가 발생하기 시작한다. Zernike 모멘트의 개수가 작아지면 후보 홍채의 수가 증가해 다음 단계인 결정 단계에서 처리해야 할 홍채 수가 많아지므로 유사홍채 분류시 사용하는 최적의 Zernike 모멘트 개수는 25개임을 알 수 있다.

3.4 기존 방법과의 비교 평가

표 3은 CASIA DB에 대한 기존의 알고리즘의 인식을 이다[21]. 기존의 방법에 비해 성능에서 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다.

[표 3] CASIA DB에 대한 인식을 비교

| 특징 추출 방법 | 인식률 |
|----------|--------|
| Daugman | 99.37% |
| Boles | 92.61% |
| Li Ma | 94.33% |
| Y.Wang | 98.21% |
| proposed | 96.72% |

회전 각도 보정에 따른 인식 수행 시간에 대한 성능은 Daugman의 방법과 제안된 방법을 C++ (Visual Studio 2008)로 구현하여 비교 측정하였다. 평가가 수행된 환경은 Pentium4-3.4GHz, 1GB RAM의 컴퓨터에 OS는 윈도 XP이다.

표 4의 회전 각도 보정에 따른 인식 수행 시간을 살펴 보면 Daugman 방식의 경우 회전 범위가 넓어짐에 따라 인식 수행 시간도 함께 늘어나는 것을 확인할 수 있다. 이것은 앞에서 언급한 것처럼 Daugman 방식의 경우 추출된 특징값을 이동시켜가며 비교를 수행하기 때문에 회전 범위가 늘어날수록 이에 비례해 특징 비교 시간도 증가하기 때문이다.

[표 4] 회전 각도 보정에 따른 인식 수행 시간

| 인식 시간(sec) (클래스당 3장) | Proposed | Gabor 변환 |
|-------------------------|----------|----------|
| -5~5도 이내 | 0.40 | 0.45 |
| -10~10도 이내 | 0.46 | 0.59 |
| -15~15도 이내 | 0.52 | 0.73 |

이에 반해 제안하는 방법은 Zernike 모멘트의 회전 불변 특성을 이용하기 때문에 분류된 유사홍채에 대해서만 회전 보정을 하기 때문에 인식 수행 시간이 줄어든다.

4. 결론

본 논문에서는 회전 보정으로 인한 인식을 및 속도 저하를 개선하기 위해 1단계로 Zernike 모멘트의 통계적 특성을 이용하여 유사홍채를 판별한 후 Daubechies Wavelet을 이용하여 홍채 영상의 국부적 방향정보를 특징으로 추출하여 이를 비교해 동일 홍채인지의 여부를 판단하는 새로운 방식을 제안하였다. 기존의 방법들의 경우 회전에 불변한 홍채 인식을 위해 입력된 홍채에서 추출한 특징값을 회전각도마다 일일이 이동시켜 비교하는 방법을 택했기 때문에 데이터베이스가 커질수록 검색 시간이 그에 비례하여 증가될 수 밖에 없었다. 제안한 방법은 회전에 불변한 Zernike 모멘트의 통계적 특성을 이용하여 회전된 홍채에 대해서 1단계로 유사홍채를 분류함으로써 홍채인식에 필요한 시간을 단축하였다. 따라서 제안한 방법이 대용량의 홍채 인식 시스템에 효과적인 적용이 가능함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Flom, L. and Safir, A. U.S. Patent No.4641 349, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1987.
- [2] John G. Daugman, "High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence", IEEE Trans Pattern Anal MachineIntell, Vol.15, No.11, pp.1148-1161, 1993.
- [3] John G. Daugman and Cathryn Downing, "Recognizing Iris Texture by Phase Demodulation", The Institution of Electrical Engineers, 1994.
- [4] John G. Daugman, "Biometrics personal identification system based on iris analysis", U.S Patent5291560, 1994.
- [5] J. G. Daugman, "High confidence Recognition fo Persons by Rapid Analysis of Iris Texture", IEEE Conference Publication, No.408, pp.244-251, May 1995
- [6] John G. Daugman, "New Methods in Iris Recognition", IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, vol. 37, no. 5, Oct. 2007.
- [7] R.P. Wildes, "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology", Proceedings of the IEEE, vol.85, pp.1348-1363, Sept. 1997.
- [8] R.P. Wildes, J.C. Asmuth, and G.L. Green, "A system for automated iris recognition", in Proc.IEEE Workshop on Application of Computer Vision, Sarasota, pp.121-128, 1994.
- [9] W.W. Boles, and B. Boashah, "A Human Identification Technique Using Images of the Iris and Wavelet Transform", IEEE Trans. on Signal Processing, vol.46, pp.1185-1188, April 1998.
- [10] A. Khotanzad, Y.H. Hong, "Invariant Image Recognition by Zernike Moments", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 12, no. 5, pp. 489-497, May 1990.
- [11] Whoi-Yul Kim, and Yong-Sung Kim "A region-based shape descriptor using Zernike moments", Signal Processing: Image Communication Vol 16, Issues 1-2, pp 95-102, September 2000,
- [12] R. Mukundan, and K. R. Ramakrishnan "Fast computation of Legendre and Zernike moments" , Pattern Recognition, Vol 28, Issue 9, pp 1433-1442, September 1995,
- [13] James Ze Wang, Gio Wiederhold, Oscar Firschein and Sha Xin Wei "Content-based image indexing and searching using Daubechies wavelets", International Journal on Digital Libraries, Vol 1, pp 311-328, Number 1998.
- [14] Poursaberi, Araabi, "A half-eye wavelet based method for iris recognition", ISDA '05. Proceedings. 5th International Conference, pp. 262 - 267, September 2005.
- [15] Poursaberi, Araabi, "A Novel Iris Recognition System Using Morphological Edge Detector and Wavelet Phase Features", GVIP, Vol 6, pp. 9-15, 2005.
- [16] A. Poursaberi and B.N. Araabi (2007). "Iris Recognition for Partially Occluded Images: Methodology and Sensitivity Analysis", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Vol 2007.
- [17] Y. Chen, S. Dass, and A. Jain, "Localized Iris Image Quality Using 2D Wavelets", Proceedings of International Conference on Biometrics, 2006.
- [18] E. Rydgren, T. Ea, F. Amiel, F. Rossant, and A. Amara. "Iris Feature Extraction Using Wavelet Packets", IEEE International Conference on Image Processing. Vol. 2, pp. 861-864, 2004.
- [19] C. Sanchez-Avila, R. Sanchez-Reillo, and D. De Martin-Roche. "Iris-Based Biometric Recognition Using Dyadic Wavelet Transform", IEEE AESS System Magazines, Vol. 17, no. 10, pp. 3-6. 2002.
- [20] "CASIA Iris Image Database", <http://www.sinobiometrics.com/Databases.htm>, 2007.
- [21] Y. Wang and J. Han, "Iris Recognition Using Independent Component Analysis", Int. Conf. Machine Learning and Cybernetics, pp. 18-21, 2005.

최 창 수(Chang-Soo Choi)

[정회원]



- 1999년 2월 : 한국기술교육대학교 정보통신공학과 졸업
- 2004년 2월 : 한국기술교육대학교 전기전자공학과 졸업(공학석사)
- 2008년 2월 ~ 현재 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야>

생체인식, 영상처리, 컴퓨터 비전

박 종 천(Jong-Cheon Park)

[정회원]



- 1994년 2월 : 한밭대학교 전자계산학과 졸업
- 1998년 2월 : 숭실대학교 전자계산학과 졸업
- 2004년 2월 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사수료
- 2004년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 시간강사

<관심분야>

디지털 신호처리, 컴퓨터비전, 인공지능

전 병 민(Byoung-Min Jun)

[정회원]



- 1976년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1979년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1986년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자정보대학 컴퓨터공학과 교수

<관심분야>

디지털 신호처리, 영상처리, 컴퓨터 비전