

위치이동에 무관한 웨이블릿 변환을 이용한 패턴인식

Patterns Recognition Using Translation-Invariant Wavelet Transform

김국진* · 조성원* · 김재민* · 임철수**

Kukjin Kim · Seongwon Cho · Jaemin Kim · Cheolsu Lim

* 홍익대학교 전자전기공학부

** 서경대학교 컴퓨터공학과

요 약

웨이블릿 변환(Wavelet Transform)은 공간-주파수 영역에서 신호의 국소특성을 효율적으로 구현할 수 있다. 하지만, 웨이블릿 변환을 패턴 인식을 위한 특징 추출에 적용할 경우, 입력 신호의 위치 이동에 따라 추출된 특징 값이 변화하게 되어 인식률이 낮아지는 결함이 있다. 본 논문에서는 웨이블릿 변환을 패턴 인식에 적용할 경우 발생하는 입력 신호의 위치 이동에 따른 문제점을 보완하여 노이즈에 강인한 홍채인식 알고리즘을 제안한다. 실험을 통하여 제안한 알고리즘의 우수성을 보여준다.

Abstract

Wavelet Transform can effectively represent the local characteristics of a signal in the space-frequency domain. However, the feature vector extracted using wavelet transform is not translation invariant. This paper describes a new feature extraction method using wavelet transform, which is translation-invariant. Based on this translation-invariant feature extraction, the iris recognition method, based on this feature extraction method, is robust to noises. Experimentally, we show that the proposed method produces super performance in iris recognition.

Key Words : translation-invariant wavelet transform, robust pattern recognition, feature extraction, iris recognition

1. 서 론

현재에는 인간의 다양한 생물학적인 특징을 이용하여 개인의 신분을 확인하려는 생체인식에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 생체 인식 시스템 중 홍채 인식은 다른 생체 인식 시스템보다 오 인식률이 낮아 고 신뢰도를 요구하는 보안 시스템에 적용하기에 적합하다[2].

홍채 인식 시스템은 크게 CCD 카메라를 통한 영상 획득, 획득한 영상에서 홍채 영역을 찾고 그것의 극좌표 변환과 정규화 과정을 수행하는 전처리, 홍채 영역에 대한 특징 추출, 그리고 추출된 특징으로 특징 벡터를 생성하고 이를 이용하여 검증 또는 인식을 하는 단계로 구성된다[3]. 이러한 단계 중에서 샘플들 간의 유사도 비교에 이용되는 특징을 추출하는데 많이 사용되는 방법으로는 가버 변환(Gabor Transform)과 웨이블릿 변환(Wavelet Transform) 등이 있다. 가버 변환을 사용할 경우 노이즈(noise)에 민감하며[4], 다중해상도 웨이블릿 변환을 사용할 경우 입력 영상의 위치 이동(translation)에 따라 특징 값이 변화하는 문제점이 있다[4]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 노이즈에 강인하며, 위치 이동에 무관한 웨이블릿 변환을 이용한 홍채 인식의 개선된 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 홍채 인식과 관

련한 기존의 대표적인 연구들을 살펴보고, 3장에서는 제안하는 알고리즘에서 사용되는 방법에 대해서 설명한다. 그리고 4장에서는 실험 결과를 살펴보고, 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 기존 관련 연구

홍채 인식과 관련된 기존의 대표적인 연구 사례들에 대해 영상 획득, 전처리, 특징 추출, 검증 및 인식의 단계별로 살펴보고자 한다.

영상 획득을 위한 기본 장치는 CCD 카메라, 렌즈, 그리고 프레임 그래버(frame grabber) 보드로 구성된다[6][7]. 홍채 패턴을 보다 명확히 획득하기 위해서는 별도의 조명 장치가 필요하다. 또한 분광기(Beam splitter)와 함께 설치된 LCD(Liquid Crystal Display)를 이용하여 사용자가 눈을 적당히 위치시키는데 도움을 주어 영상 획득을 용이하게 하며, 편광기(Polarizer)를 이용하여 영상 획득 장치를 구성하기도 하였다[7].

영상이 획득되면 특징 추출을 하기 위한 전처리 과정을 거치게 되는데, 우선 동공의 정확한 위치를 찾고 이를 기준으로 처리 대상이 되는 홍채 영역을 추출한다. 추출된 홍채 영역은 홍채영역 크기의 변화를 보상하기 위하여 동공의 중심으로부터의 거리인 반지름 R 과 중심각 θ 로 표현되는 극좌표 방식으로 추출된 홍채 영역을 변환한다. 이렇게 변환된 홍채 영역 중에서 조명에 의한 반사광이 생기는 동공의 영역은 실제적인 처리에서 제외된다[7][8].

접수일자 : 2002년 12월 2일

완료일자 : 2003년 4월 10일

앞서 살펴 본 영상 획득과 전처리는 모든 연구에서 공통적으로 행해지고 있으며, 거의 대부분의 연구 내용이나 결과가 비슷하다. 단지 특징을 추출하는 방법에서 가버 변환(Gabor transform)을 사용한 경우[4][6][7][8][9]와 웨이블릿 변환을 사용한 경우[3][10][11][12]로 나누어 볼 수 있다.

가버 변환은 2D 가버 필터를 통과한 신호의 값을 특징 벡터(feature vector)로 사용하고 있으며, 코드(code)의 용량을 줄이기 위하여 이진(binary)화한 값을 최종적으로 사용하고 있다[8]. 가버 변환을 사용할 경우 홍채 영역의 위치를 찾는 전처리 과정의 결과 등 노이즈에 민감하기 때문에[4], 가버 변환을 사용하여 특징 추출을 할 경우 높은 인식률을 가지기 위해서는 균등한 고화질을 필요로 하며, 이를 위해서는 고가의 장비가 필요하다고 알려져 있다[13]. 가버 변환을 사용하여 특징을 추출할 때, 항상 똑같은 환경에서 영상 획득을 하여 영상의 품질이 좋은 경우에는 결과가 좋은데 반해, 상대적으로 그렇지 못한 경우에는 결과가 좋지 않은 것을 알 수 있다 [4].

이러한 가버 변환을 이용한 특징 추출의 문제점을 보완하기 위한 방법으로 웨이블릿 변환을 이용한 특징 추출 방법이 제안되었다[3][10][11][12]. 이 외에 특징 추출과 별도로 인식률을 증가시키기 위하여 신경 회로망이 사용되기도 하였다 [9]. 이는 검증이 아닌 인식에 사용되는 것으로써 사용자가 소수일 경우에 적합한 방법이다.

3. 홍채 인식 시스템

3.1 영상 획득

영상 획득 단계에서는 홍채 인식에 필요한 영상을 CCD 카메라를 통하여 얻는다. 영상 획득 장치는 <그림 1>과 같이 구성하였다.

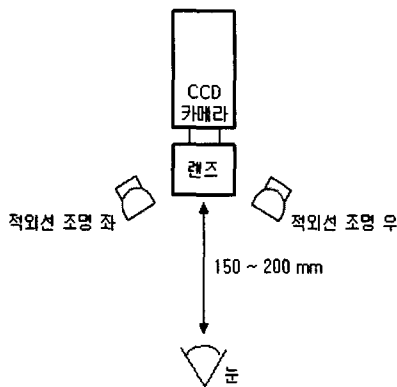


그림 1. 홍채 영상 획득 장치의 구성
Fig. 1. Iris Image Acquisition Equipment

다양한 홍채 무늬의 패턴은 인식을 위한 충분한 정보를 가지고 있기 때문에, 흑백 CCD 카메라를 사용하였다. 홍채 영상을 획득하는 과정에서 사람에게 감압적이지 않도록 하기 위하여 자동 초점 카메라를 사용하여 획득(capture)하였다. 실험에서 일반 자연광의 조명 상태에서 영상을 획득하였더니, 주변의 물체가 각막에 반사되어 반사광 등의 노이즈가

생기게 되어 좋은 품질의 영상을 얻을 수 없었다. 따라서 보다 선명하고 좋은 품질의 영상을 얻기 위하여 수 개의 발광 다이오드(LED)로 구성된 적외선 조명을 사용하였으며, 조명 반사에 의하여 생기는 영상은 동공 안에 맺히도록 하였다. 이러한 경우 안경을 쓴 사람의 경우 반사가 문제가 되는데, 이것은 방향성 있는 조명(directional LED)을 사용하여 안경 렌즈의 반사광이 CCD 카메라에 들어가지 않도록 함으로써 해결하였다. 또한 렌즈 앞에 적외선 통과 필터를 사용하여 주위의 다른 조명에 대한 영향을 없앴다. 그리고 카메라 렌즈 앞에 반사경이 있어서 사람이 카메라를 보면서 자신의 눈을 볼 수 있도록 하여, 더욱 정확한 위치의 영상을 획득할 수 있게 하였다. 캡처한 영상의 사이즈는 320 픽셀(pixel) * 240 픽셀이다.

3.2 전처리

영상 획득 장치를 통해 획득된 영상을 처리하기 위해서는 우선 홍채 영역만을 분리하는 과정이 필요하다. 그리고 추출된 홍채 영역의 특성에 기존의 웨이블릿 변환을 적용하기 위해서, 직각 좌표계가 아닌 동공의 중심으로부터의 거리 R 과 중심각 θ 로 표현되는 극좌표계로의 변환을 수행한다.

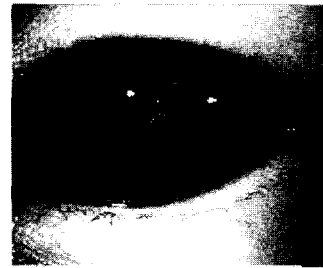


그림 2. 캡처하여 획득된 눈 영상
Fig. 2 Captured Eye Image

또한 극좌표계로의 변환 시 동공의 크기 변화에 따른 홍채 영역의 크기를 일정하게 맞추어 주고, 영상의 크기 변화에 대한 보정을 하기 위하여 정규화 과정을 거친다. <그림 3>은 이러한 전처리 과정을 통하여 나오는 영상을 잘 보여 준다.

3.2.1 홍채 영역 찾기

홍채 영역을 찾기 위해서 동공의 위치와 내부 경계 그리고 홍채의 외부 경계를 찾아야 한다. 동공의 경계는 원형의 폐곡선으로 표현이 가능하며, 다른 부분에 비하여 매우 어렵다. 이러한 특징을 이용하여 동공의 위치를 찾았다. 다음으로 홍채의 외부 경계를 찾아야 하는데 외부 경계를 찾는 것은 내부 경계와 달리, 경계의 안팎의 변화가 적다. 그리고 일반적으로 동공의 경계를 이루는 원과 동심원이 아니기 때문에 내부 경계, 즉 동공의 경계를 찾는 것보다 어려웠다. 홍채의 외부 경계는 원의 형태를 가지고 있다는 가정 하에서 외부 경계에 가장 근접한 원을 찾았다. 이때 눈꺼풀이 홍채 영역의 일부를 가리게 되면 정확한 경계 추출이 어렵게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 히스토그램(histogram) 분석을 통해서 눈꺼풀에 의하여 가려지는 부분을 따로 검출하였다. <그림 4>는 다른 환경에서 획득한 다양한 형태의 눈 영상에 대해서 홍채 영역을 찾은 결과를 표현한 것이다.

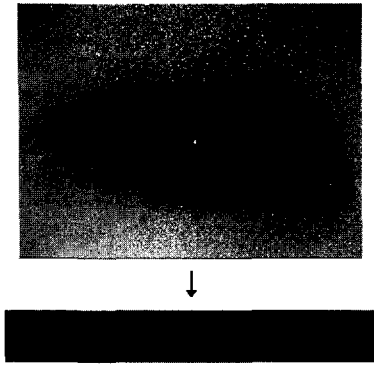


그림 3. 전처리 결과
Fig. 3 Result of Preprocessing

3.2.2 극좌표 변환 및 정규화

앞서 추출한 홍채 영역에서 특징을 추출하기 위해서 식(1)과 식(2)와 같이 극좌표 변환을 한다. 극좌표 변환을 하면 기존 2D 웨이블릿 변환을 쉽게 적용할 수 있다. 하지만, 동공이 정확한 원형이 아니기 때문에 R의 값을 θ 값에 따라 바꾸어 주면서 좌표 변환을 하였다.

$$I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta) \quad (1)$$

$$x(r, \theta) = (1 - r) x_p(\theta) + r x_s(\theta) \quad (2)$$

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

- $(x_p(\theta), y_p(\theta))$: 동공상의 횡축으로부터 θ 만큼 + 방향으로 회전된 점의 좌표
- $(x_s(\theta), y_s(\theta))$: 동공상의 횡축으로부터 정해진 특징의 범위 만큼 나아간 점의 좌표

3.3 특징 추출

특징 추출은 전처리가 끝난 홍채 영상에 대하여 각 변환을 통해서 특징 값을 추출하여 이를 검증 및 인식을 위한 특징 벡터로 생성하는 단계이다.

3.3.1 기존의 웨이블릿 변환을 이용한 특징 추출

신호의 공간과 주파수 영역에서의 국소 특징을 표현할 수 있는 웨이블릿 변환을 이용한 홍채 특징의 효과적인 추출 방법이 사용되고 있다[3]. 웨이블릿 변환을 이용한 특징 추출 방법은 <그림 5>와 같이 필터 뱅크를 통과한 신호를 다운 샘플링(down sampling)하여 서브 밴드(subband)로 분해하고 각각의 서브 밴드에서 특징을 추출한다. 하지만 이러한 웨이블릿 변환은 입력 신호의 위치 이동이 있을 경우, 특징 값이 변화하는 문제점이 있다[5].

<그림 6>에서 (a1)과 (b1)은 위치 이동이 된 동일한 입력 신호이다. 입력 영상 (a1)을 필터 뱅크에 통과시켜 신호를 다운 샘플링하고 서브 밴드로 분해한 후, 각각의 서브 밴드에서 특징 값을 추출하며 각각 (a2), (a3), (a4)와 같이 나온다. 하지만, 입력 신호 (b1)으로 이전과 똑같은 과정을 수행하면 (b2), (b3), (b4)와 같이 나온다. 이는 입력 신호의 위치 이동에 따라 특징 값이 달라지는 단적인 예이다. 이러한 문제점으로 인하여 웨이블릿 변환을 홍채 인식의 특징 추출에 그대로 사용한다면 인식이 낮아질 수밖에 없다.

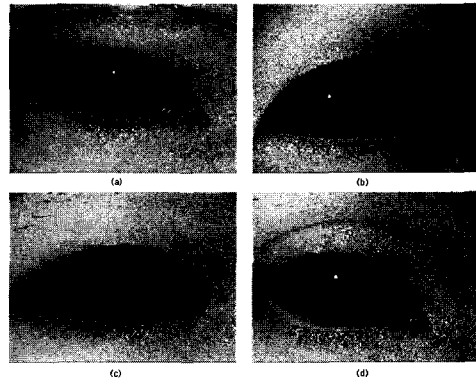


그림 4. 홍채 영역을 찾은 영상 (a) 안경 (b) 콘택트렌즈 (c) 작은 동공 (d) 큰 동공
Fig. 4 Iris Localization (a) Glass (b) Contact Lens (c) Small Pupil (d) Big Pupil

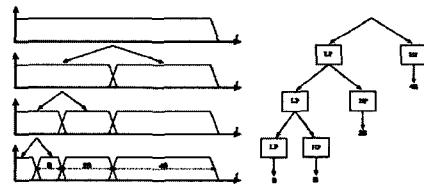


그림 5. 웨이블릿 변환
Fig. 5 Wavelet Transform

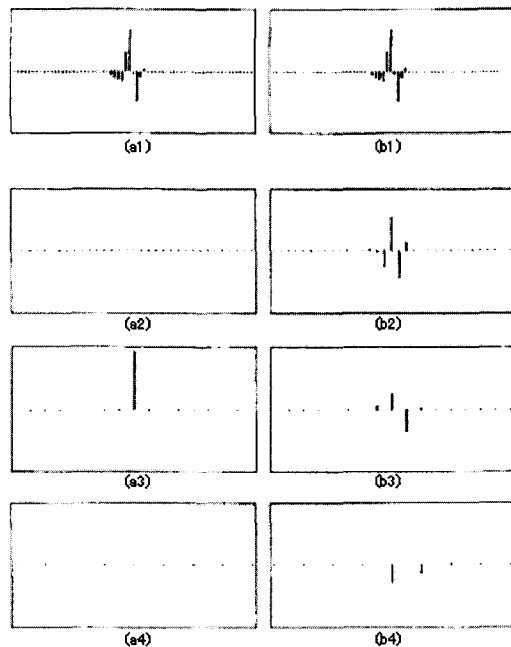


그림 6. 위치이동에 따른 웨이블릿 변환의 변화
Fig. 6 Translation-Variant Wavelet Transform

3.3.2 위치이동에 무관한 웨이블릿 변환을 이용한 특징 추출

카메라를 통하여 사람의 홍채 영상을 획득할 때, 카메라를 향한 눈의 자세가 일정하지 않은 경우 극좌표 변환과 정규화를 거친 홍채 영상은 수평 방향으로의 위치 이동이 발생하게 된다. 반면에 정교하게 정규화 된다면 수직방향으로의 위치 이동은 없다. 이러한 위치 이동이 있는 경우 웨이블릿 변환된 각각의 서브 밴드에서 그 값이 일정하지 않다는 단점이 있다[5].

<그림 7>에서 HH_4 서브 밴드는 스케일링 함수에 해당하는 저역 필터를 통과한 신호에서 <그림 8>과 같이 수평 및 수직 방향으로 2^3 의 배수에 해당하는 신호를 샘플링 (sampling)하고 여기에 웨이블릿 함수에 해당하는 필터를 적용한 것과 동일하게 된다. <그림 8>에서 각각의 A점에서 B점으로 1화소씩 이동하는 것과 같이, 수평 방향으로 1화소씩 이동하여 2^3 의 배수를 샘플링하여 같은 필터를 적용하여 서브 밴드를 생성한다면, 하나의 HH_4 서브 밴드에 대하여 해당하는 2^3 가지의 서브 밴드가 생성된다. 이 때, 서브 밴드에서 수직 방향으로의 위치 이동은 고려하지 않아도 되는데, 이는 원 홍채 영상에서 6 방향으로의 위치 이동이 일어나지만, R 방향으로의 일어나지 않기 때문이다.

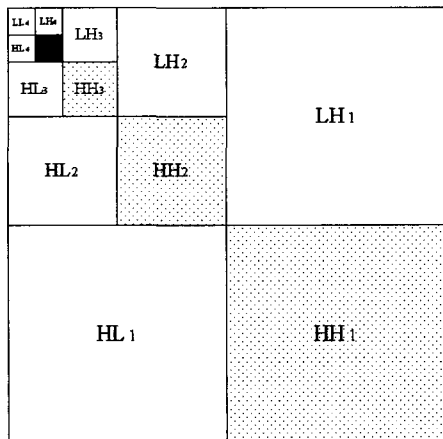


그림 7. 웨이블릿 변환의 서브 밴드
Fig. 7 Sub-Band of Wavelet Transform

홍채 영상이 수평 방향으로 2^3 개 화소만큼 이동한다면 HH_3 에서는 동일한 한 화소만큼의 위치 이동이 있게 되며, 이때 이동한 HH_3 의 파형의 원래의 HH_3 와 동일한 파형을 얻는다. 반면에 1~7개 화소만큼 이동한다면, HH_3 에서 이 값들은 서브 픽셀 위치이동(sub-pixel translation)에 해당되어 표현될 수 없으며, <그림 6>에서와 같이 파형의 왜곡이 발생하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 일반적인 웨이블릿 변환을 사용하는 대신, 위에서 설명한 방법과 같이 동일한 서브 밴드에 대하여 위치 이동에 따라 변화할 수 있는 모든 경우를 고려한 다수의 서브 밴드를 생성하고 이들 모든 서브 밴드에서 특징을 추출하고 등록된 값과 비교하여 최적의 특징 값을 선택하는 방법을 사용하였다. 위치 이동에 따라 변화할 수 있는 모든 경우를 고려한 다수의 서브 밴드는 풀밴드(full-band)영상에 확장된 기본 웨이블릿(dilated mother

wavelet)을 직접 적용하고 LL_3 밴드에 해당하는 7개의 서브 밴드를 생성하였다. 수직 방향으로의 위치 이동이 없기 때문에 수평 방향으로만 <그림 8>과 같이 서브 샘플링(subsampling)하면 된다.

마더 웨이블릿(mother wavelet)은 Quadratic B-Spline을 사용하였으며, 7개의 생성된 LL_3 서브 밴드에서 특징을 추출하기 위하여 라플라시안(Laplacian) 함수를 사용하여 HH_4 에 해당하는 서브 밴드를 생성하였다.

이러한 과정으로 나온 특징 값을 특징 벡터로 만든다. 본 논문에서는 특징 값의 부호와 크기를 정보로 사용하기 위하여 특징 값의 분포가 0을 기준으로 나누어지는데 착안하여, 4레벨(level) 양자화(quantization)를 사용하였다. 이렇게 나온 특징 벡터를 저장하고, 검증 및 인식에 사용한다.

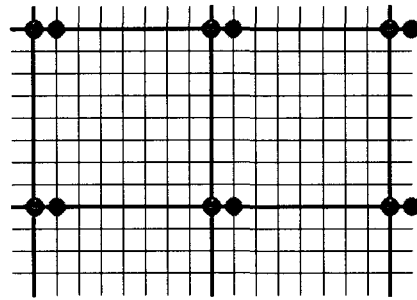


그림 8. 저역 필터를 통과한 영상에서의 다운샘플링
Fig. 8 Downsampling for Images through Low Pass Filtering

4. 실험 결과

실험은 기존 웨이블릿 변환을 이용한 것과 제안한 알고리즘을 이용한 것의 결과를 비교하였다. 또한 제안한 알고리즘에 대하여 좋은 환경에서 획득한 영상에 대하여도 실험을 하여 주변의 환경, 카메라, 조명 등이 좋아짐으로 인하여 더욱 좋은 품질의 영상을 얻을 수 있으면 더욱 결과가 향상될 수 있음을 보여준다.

본 실험에서는 두 종류의 홍채 영상 DB를 사용하여, 첫 번째 경우는 실제 발생할 수 있는 환경에서 획득한 영상에 대한 일치도 총 1296개와 두 번째 경우는 주변 환경 등의 조건을 고정하여 획득한 좋은 품질의 영상에 대한 일치도 총 1296개를 사용하였다.

4.1 일치도 분포

<그림 9>와 <그림 10>에서 보듯이, 본 논문에서 제안한 위치 이동에 무관한 웨이블릿 변환을 사용한 알고리즘이 자신에 대한 일치도 분포와 타인에 대한 일치도 분포에서 기존에 사용되어온 웨이블릿 변환을 사용한 것 보다 더욱 향상됨을 알 수 있다. 또한 <그림 11>에서 보듯이, 좋은 영상을 획득하여 실험한 결과를 보면 앞서 살펴 본 결과에 비하여 월등히 좋아짐을 볼 수 있다. <그림 9>와 <그림 10>은 첫 번째 DB로 실험한 결과이며, <그림 11>은 두 번째 DB로 실험한 결과이다.

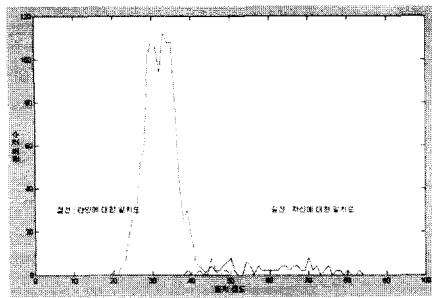


그림 9. 기존 알고리즘의 일치도 분포
Fig. 9 Result of the Previous Algorithm

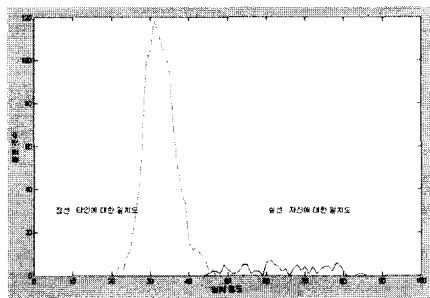


그림 10. 제안한 알고리즘의 일치도 분포
Fig. 10 Result of the Proposal Algorithm

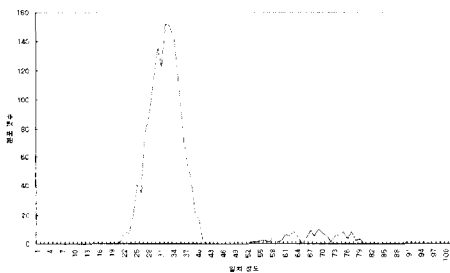


그림 11. 제안한 알고리즘의 좋은 데이터에 대한 일치도 분포
Fig. 11 Result of the Proposal Algorithm for Good Data

4.2 FRR과 FAR

사용자가 자신의 ID를 입력하고 홍채를 통하여 신원 확인 요청을 할 경우 시스템은 본인임을 확인하고 사용자의 요청을 받아들여야 한다. 또한 타인에 대하여는 사용자의 요청을 거절하여야 한다. 이에 대한 시스템의 성능은 FRR(False Reject Rate)과 FAR(False Accept Rate)을 통하여 알 수 있다.

표 1과 표 2 는 각각 첫 번째 DB로 기존 알고리즘을 통한 실험 결과의 FRR / FAR과 같은 DB를 사용하여 본 논문에서 제안하는 노이즈에 강인한 웨이블릿 변환을 이용한 알고리즘을 통한 실험 결과의 FRR / FAR이다. 본 논문에서 제안한 위치 이동에 무관한 웨이블릿 변환을 사용한 알고리즘은 FRR과 FAR의 값이 기존 알고리즘의 값보다 작아졌음을 알 수 있다. 또한 <그림 10>에서 1개의 데이터가 겹치는데, 이는 분석 결과 반사광에 의한 노이즈(reflective noise)로 인한 것이었다. <그림 12>는 주변 장치 등의 향상으로 데이터의 품질이 좋아지면 FRR과 FAR이 월등히 향상될 수도 있음을 보여준다.

표 1. 기존 알고리즘의 FRR과 FAR

Table 1. FRR and FAR of the Previous Algorithm

경계값	FRR	FAR
40	0.694	2.257
45	2.778	0.521
50	6.944	0.087

표 2. 제안한 알고리즘의 FRR과 FAR

Table 2. FRR and FAR of the Proposal Algorithm

경계값	FRR	FAR
40	0.000	1.736
45	1.389	0.087
50	6.250	0.000

5. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 패턴 인식에 적용할 경우 발생하는 입력 신호의 위치 이동에 따른 문제점을 보완하여 노이즈에 강인한 홍채인식 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법은 적은 용량의 코드로 특징을 표시할 수 있으며, 노이즈에 강인하다. 다양한 영상을 이용한 실험을 통하여 제안한 방법을 우수성을 입증하였다.

참고문헌

- [1] Anil Jain et al, "Introduction to biometrics", Biometrics-Personal Identification in Networked Society, Kluwer Academic Publishers, pp. 1-41, 1999.
- [2] F. H. Adler, Physiology of the Eye : Clinical Application, The C. V. Mosby Company, 1995.
- [3] 이종인, "특징 벡터 간 유사도 측정을 통한 홍채 검증", 홍익대학교 석사학위 논문, 2001.
- [4] John Daugman, "High Confidence Recognition of Persons by Iris Patterns", IEEE, pp. 254-263, 2001.
- [5] Huilin Xiong, Tianxu Zhang, and Y. S. Moon, "A Translation- and Scale-Invariant Adaptive Wavelet Transform", IEEE Transactions on Image Processing. Vol. 9, No. 12, pp. 2100-2108, December 2000.
- [6] Gerold O. Williams, "Iris Recognition Technology", IEEE AES Systems Magazine 1997, pp. 23-29, April 1997.
- [7] Richard P. Wildes, "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology", Proceedings of the IEEE, Vol. 85, No. 9, pp. 1348-1363, 1997.
- [8] John G. Daugman, "High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical

Independence", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 15, No. 11, pp. 1148-1161, 1993.

- [9] 조성원, 성혁인, "Gabor 변환과 신경회로망을 이용한 홍채인식", 한국 퍼지 및 지능시스템 학회, Vol. 7, No. 2, pp. 397-401, 1997.
- [10] 조문수, "Haar 웨이블릿 변환과 참조벡터를 이용한 홍채검증(Human Iris Verification Using Haar Wavelet Transform and Reference Vector)", 홍익대학교 석사학위 논문, 2000.
- [11] W. W. Boles and B. Boashash, "A Human Identification Technique Using Images of the Iris and Wavelet Transform", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 46, No. 4, pp. 1185-1188, April 1998.
- [12] W. W. Boles, "A Security System Based on Human Iris identification Using Wavelet Transform", IEEE First International conference on Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems, pp. 533-541, May 1997.
- [13] Shinyoung Lim, Kwanyoung Lee, Okhwan Byeon, and Taiyun Kim, "Efficient Iris Recognition through Improvement of Feature Vector and Classifier", ETRI Journal, Vol. 23, No. 2, June 2001.
- [14] P. Scheunders, H. Van Hove, S. Livens, "On the Local Optimality of Image Quantizers", IEEE Proceedings of ICPR, pp.664-668, 1996.



조성원(趙成元)

1982년 : 서울대 전기공학과 졸업.
1992년 : Purdue Univ. 전기공학과 졸업
(공박)
현재 홍익대 전자전기공학부 부교수

Phone : 02-320-1493
Fax : 02-320-1110
E-mail : swcho@wow.hongik.ac.kr



김재민(金載敏)

1984년 : 서울대 전기공학과 졸업.
1994년 : R. P. I. 전기공학과 졸업(공박).
현재 홍익대 전자전기공학부 조교수

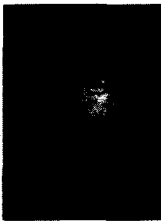
Phone : 02-320-1634
Fax : 02-320-1110
E-mail : jaemin@hongik.ac.kr

임철수(林喆壽)

1985년 : 서강대 계산통계학과 졸업.
1995년 : 서강대 전자계산학과 졸업(공박).
현재 서경대 컴퓨터공학과 조교수

Phone : 02-553-6610
Fax : 02-553-4247
E-mail : cslim@seokyeong.ac.kr

저 자 소 개



김국진(金國鎭)

2001년 : 홍익대 전자전기공학부 졸업.
2001년~현재 동 대학원 전기정보제어공학과 석사과정

Phone : 02-320-1493
Fax : 02-320-1110
E-mail : koreakukjin@hanmail.net