

강인한 홍채 인식 시스템을 위한 효율적인 눈 영상 검사 알고리즘¹⁾

장자인^o, 김귀주^{*}, 손진호 이일병
^{*} 연세대학교 컴퓨터과학과 인공지능연구실
"Biometrics Engineering Research Center"
{jjjang^o, darkotto, kamang98, yblee}@csai.yonsei.ac.kr

The Efficient Eye Image Check Algorithm for The Robust Iris Recognition System

Jain Jang^o, Jinho Son, Kwijoo Kim, And Yillbyung Lee
Dept. of Computer Science, Yonsei Univ.
Biometrics Engineering Research Center, Seoul, Korea

요약

홍채 인식 시스템의 성능향상을 위해서는 전처리 단계에서 위조된 데이터나 잡음이 섞인 데이터를 걸러내는 과정이 매우 중요하다. 이 논문에서는, 강인한 홍채 인식 시스템을 위해서 두 단계로 이루어진 눈 영상 검사 알고리즘을 제안한다. 알고리즘의 첫 번째 단계에서는 동공 반지름과 눈꺼풀 움직임 변화량의 상관계수(coefficient)와 2차원 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform) 스펙트럼을 이용해 위조된 데이터를 찾아낸다. 두 번째 단계에서는 눈 영상에 눈 깜박임이나 속눈썹의 홍채영역 침범, 홍채 영상이 부분적으로 잘렸을 경우 등의 시스템의 성능저하의 원인이 되는 부적절한 데이터를 찾아낸다. 111명의 1734개의 눈 영상을 대상으로 실험한 결과, 제안된 알고리즘의 성공률은 96.5%였고, 이러한 전처리 과정을 통해서 전체적인 시스템의 정확률을 향상시킬 수 있다.

1. 서론

생체 인식 시스템은 사람의 신체적, 행동적 특징을 기반으로 개인을 인증하는 방법이다. 이러한 생체 인식 시스템 중, 홍채 인식 시스템의 경우, 홍채의 패턴이 3세 이전에 형성된 후 일생동안 변하지 않으며, 모든 사람의 홍채 패턴이 동일하지 않다는 특징을 가지고 있기 때문에, 생체 인식 시스템 중 가장 신뢰할 수 있는 시스템으로 인정받고 있다.[1]

홍채 인식 시스템 중, 영상 획득과 전처리 부분에서 위조된 데이터나 시스템 성능 저하의 원인이 되는 부적절한 데이터를 제거함으로써 홍채인식 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 실시간으로 홍채영상의 품질을 검사하고 위조된 데이터를 찾아내기 위한 효율적인 눈 영상 검사 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 두 단계로 구성되어있다. 첫 번째 단계에서는, 위조된 데이터를 찾아내기 위하여 동공의 반지름 변화량의 상관계수와 눈꺼풀 영역 움직임 변화량의 상관계수 값, 2차원 고속 푸리에 스펙트럼을 이용하고, 두 번째 단계에서는 눈 영상 품질평가 알고리즘을 통해 눈 깜박임과 홍채영역의 속눈썹 침범, 홍채 영상의 부분적인 잘림 등과 같은 부적절한 영상을 걸러낸다. 눈 영상 검사 알고리즘의 결과물로, 홍채 인식 시스템의 동복과 인증을 위한 고품질의 눈 영상을 얻게 된다.

2. 위조된 눈 영상 데이터의 검사

홍채 인식 시스템의 첫 과정인 영상 획득 부분에서는, 각 사

용자의 눈 영상을 빠른 속도의 일정한 시간 간격으로 240×320의 크기로 10~15장 획득하여 보관한다. 이 데이터를 대상으로 위조된 눈 영상 데이터를 검사하기 위해서, 첫 단계로 동공 반지름 변화량의 상관계수를 계산하고, 두 번째 단계로 눈꺼풀 움직임 변화량의 상관계수 값을 구한다. 마지막 방법으로 홍채 패턴이 인쇄된 콘택트렌즈 영상을 찾아내기 위해서 2차원 고속 푸리에 변환을 사용한다. 눈 영상 데이터가 첫 번째 단계의 모든 검사과정을 통과하게 되면 실제적인 눈 영상 데이터로 간주되어, 두 번째 단계에서 영상 품질 검사를 위한 테스트를 받게 된다.

2.1 동공 반지름의 변화량 평가

동공의 반지름 변화량에 의한 위조 데이터 판별을 위해서는 동공 부분을 추출하기 위해 bisection 방법에 기반한 2차원 허브 변환(2-D Hough Transform)과 케니 경계 검출자(Canny edge operator)[4]를 사용한다. 이 방법은 먼저 케니 경계 검출 연산자를 이용하여 눈 영상의 경계 부분을 추출한후, 원 중심의 후보점을 찾기 위해, 외곽선의 연결 요소들 중, 특징 거리에 위치한 두점을 연결하여 그 연결선을 양분하는 각 수직선들 사이의 교차점의 빈도수를 계산한다. 이 과정에서 동공의 중심과 반지름을 결정하기 위해서 최대 빈도수 결정(maximal frequency determination) 방법을 이용한다[2]. [그림 1]는 위 알고리즘에 의해 결정된 동공 경계의 추출 결과이다.

위조된 데이터를 테스트하기 위해서, 식(1)을 이용해 반지름 변화량을 계산한다. 변화량의 상관계수가 반지름 변화량의 최대값과 최소값 사이에 있다면 그 데이터는 실제적인 눈 영상 데이터로 판단되어 다음 단계로 진행된다. [식 1]에서 C_n 는 전체 홍채 데이터의 변화량을, C_n 은 현재 사용자의 데이터의 변화량을 나타낸다. 또한, m_n 은 현재 사용자의 평균값을 r_n 은 현

1) 이 연구는 부분적으로 과기부 지정 생체인식 연구센터의 지원을 받아 이루어 졌습니다.



그림 1. 동공 경계 추출 결과

재 사용자의 각 데이터의 동공 반지름을 나타낸다.

$$C_n = \frac{\sqrt{\sum_i r_i^2 - m_i^2}}{\sum_i r_i} \quad (1)$$

$$MinC_i \leq C_n \leq MaxC_i$$

2.2 눈꺼풀 움직임의 변화량 평가

두 번째 방법으로 눈꺼풀의 움직임을 추적하여 움직임 변화량의 상관계수 값을 구하여 이용한다. 눈 영상에서 눈꺼풀 부분을 추출하기 위해서, 영역 기반 블렌딩 기법과 케니 경계 검출 방법, 마스크링 방법을 사용한다[3]. 이 방법은 눈모양의 템플릿을 케니 경계 검출 방법으로 추출된 눈 영역 경계 영상에서 눈꺼풀 부분의 경계만을 검출하기 위한 마스크로 사용하는 것이다. 눈꺼풀 영역을 추출한 후, 동공의 중심으로부터 동공 중심을 지나는 축의 좌우 15° 범위에 있는 윗 눈꺼풀 경계에 위치한 픽셀들까지의 거리의 평균을 계산한다. [그림 2(a)]는 눈 템플릿을, [그림 2(b)]는 눈꺼풀 경계 검출을 위한 마스크, [그림 2(c)]는 검출된 눈꺼풀 경계 영역을 보여준다.

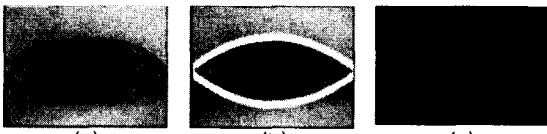


그림 2. (a) 눈 템플릿 (b) 눈꺼풀 경계 검출을 위한 마스크 (c) 검출된 눈꺼풀 경계 영역

눈꺼풀 움직임 변화량의 상관계수는 식 (2)로 계산할 수 있다. D_{avr} 은 동공 중심 (x_c, y_c) 로 부터 윗 눈꺼풀 영역의 특징위치 (x_i, y_i) 까지의 평균 거리이며, n 은 해당 영역에 있는 픽셀들의 개수이다. C 는 눈꺼풀 움직임의 변화량의 상관계수를, m 은 이전과 현재 프레임 사이의 차이의 평균을 의미한다. D_p 와 D_c 는 이전과 현재 프레임의 거리의 평균을 뜻한다.

$$D_{avr} = \frac{\sum_i \sqrt{(x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2}}{n} \quad (2)$$

$$C = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (D_p - D_c)^2 - m^2}}{\sum_{i=1}^n |D_p - D_c|}$$

2.3 홍채패턴이 인쇄된 콘택트렌즈 검사

홍채패턴이 인쇄된 콘택트렌즈는 홍채인식 시스템에 대한 위조 데이터로 사용될 수 있다. 이러한 데이터는 주파수 도메인에서 인쇄과정에서 발생하는 특유의 신호를 탐지함으로써 찾을 수 있다. 이 실험을 위하여 홍채 패턴이 인쇄된 칼라 콘택트렌즈를 이용하였다. 2차원 고속 푸리에 변환 방법을 콘택트렌즈

이미지에 적용하면, [그림 3(c)]와 같이 푸리에 공간상에 4개의 불요(spurious) 에너지 점이 대칭적으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 실제 살아있는 눈 이미지 데이터에서는 푸리에 공간상에 4개의 에너지 점이 나타나지 않는다[5].

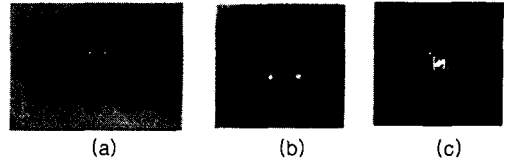


그림 3. (a) 홍채패턴이 인쇄된 콘택트렌즈를 착용한 눈영상 (b) 홍채 영역의 추출 (c) 2차원 고속 푸리에 변환 스펙트럼

3. 눈 영상의 품질평가

위조 데이터 평가를 위한 테스트를 통과한 눈 영상의 경우, 실제적인 눈 영상으로 간주되어 품질 평가 과정을 거치게 된다. 일관성 있는 특징 추출과 홍채 인식 시스템의 등록/인증 과정을 위해서, 품질 평가 과정에서는 홍채 영역이 선명하며 눈꺼풀이나 눈썹에 의한 잡영이나 홍채 일부가 잘리는 등의 변형에 영향을 받지 않은 [그림 4]와 같은 영상을 선택한다.

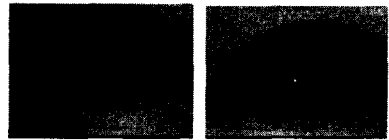


그림 4. 홍채 인식 시스템에 적절한 눈 영상

품질평가 알고리즘에서 적절한 눈 영상을 선택하기 위해 다음의 세가지 과정을 거친다. 첫 번째, [그림 5(a)]와 같이 눈 영상에 눈 깜박임이 포함되어 있는지 검사한다. 이 과정이 끝나면 두번째로 [그림 5(b)]와 같이 속눈썹이 홍채 영역을 침범했는지의 여부를 검사한다. 마지막으로 [그림 5(c)]와 같은 홍채 영역의 잘림 여부를 검사한다.



그림 5. 부적절한 눈 영상의 예 (a) eye blink (b) 속눈썹 침범 (c) 홍채영역의 잘림

[그림 5]의 첫 번째와 세 번째 경우 우리가 원하는 홍채 영역이 영상에 나타나지 않아 홍채 영역 추출 자체가 불가능하며, 두 번째 경우는 눈썹이 홍채 영역을 침범함으로써 눈썹에 의한 잡영이 특징 추출 과정에 영향을 미치게 된다. 특히 동양인의 경우, 서양인에 비해 눈썹 침범에 의한 잡영 문제가 빈번히 발생하기 때문에 이러한 영상평가 과정은 인식시스템의 성능 향상을 위해서 매우 중요하다.

3.1 눈 깜박임 판단

눈 깜박임 영상은 두 가지의 과정을 통하여 검사한다. 첫 번째는 눈꺼풀 영역 영감 값의 임계값을 기준으로 판단한다. 일반적으로 눈꺼풀 영역은 홍채 영역이나 동공 영역에 비하여 밝은 영감값을 가지고 있다. 그러므로 원 영상에서 눈꺼풀 영역의 픽셀값의 평균 ($MeanOfLid$)을 계산하여 임의의 임계치

(T) 이상이면 눈의 깜박임이 존재하는 것으로 판단한다 [식 3].

$$MeanOfLid = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N g(i, j)}{M \times N} \quad [3]$$

$$MeanOfLid > T$$

$g(i, j)$: (i, j) 에 위치한 픽셀값

M : Width, N : Height

두 번째 방법은 동공의 크기를 기준으로 눈의 깜박임 여부를 판단하는 것이다. 대부분의 경우 동공의 모양이 원에 가깝기 때문에 가로와 세로의 반지름 비는 1:1에 가깝다. 그러나 눈의 깜박임이 심한 경우 동공 영역의 눈꺼풀에 의한 변형으로 인하여 가로대 세로의 비율이 달라지게 되므로, 가로와 세로의 비율이 2:3 이하인 경우는 사용이 불가능한 영상으로 판단한다.

3.2 홍채 영역의 눈썹 침범

홍채 인식에 있어서, 눈썹이 홍채 영역에 침범하는 경우가 많아 인식 성능의 저하를 가져오게 된다. 이를 방지하기 위해서 동공 영역으로부터 좌/우 일정 영역에 대하여 선 검출 기법을 이용하여 선 성분들을 조사한다. [그림 6]은 선 성분 검출을 위해 사용된 마스크로 이것을 이용하여 선 성분들을 조사하고 그 선 성분의 길이가 동공 중심보다 아래쪽에 위치하면 눈썹이 홍채 영역에 침범한 것으로 판단한다[6].

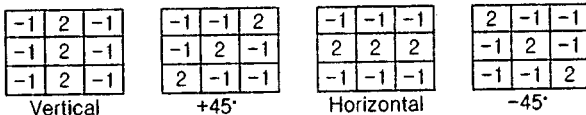


그림 6. 선 성분 검출 마스크

3.3 홍채 영역의 잘림

눈의 깜박임과 눈썹의 홍채 영역 침범이 발견되지 않았다면 마지막 단계로 홍채 영역이 일정 범위 내에 존재하는지 확인한다. 본 실험에 사용된 눈 영상 데이터에서는 실험에 의해 값의 평균을 낸 결과, 동공의 지름은 40~56 화소, 반지름은 20~28 화소의 크기를 가지고 있었고, 홍채 영역은 32 화소 안에 표현이 되었다. 그러므로 획득된 눈 영상에서 홍채 영역의 출현 여부는 원 영상의 가장자리에서 동공의 반지름과 홍채 영역 크기의 합만큼을 제외한 부분에 동공의 중심 영역이 위치하고 있는지의 여부로 판단할 수 있다. 실험치에 의해 획득된 시각 영역 밖에 동공의 중심이 위치하게 되면, 홍채 영역의 잘림이 있는 것으로 보고 부적합한 영상으로 판단한다.

4. 실험 결과

실험을 위해 111명의 1734개의 눈 영상 데이터를 사용하였다. 나안 영상 1423개, 안경 착용 영상 160개, 렌즈 착용 영상 151개에 대하여 본 논문에서 제안한 방법으로 실험한 결과 96%의 성공률을 보였다. 이중 위조 데이터 판별을 위해 나안 영상 20개는 중이에 인쇄하여 사용하였고, 렌즈 영상중 20개는 칼라렌즈를 착용하고 획득한 영상을 사용하였다.

영상 평가 과정에서 발생한 오류는 사용 가능한 영상임에도 불구하고 사용 불가능 영상으로 판단하는 경우(오류 1), 사용 불가능 영상을 사용 가능한 영상으로 판단하는 경우(오류 2)이다. 전체 실패율에서 오류 1은 1.17%, 오류 2는 2.83%의 결과를 나타내었다. 전체 데이터에 관한 사용 가능, 불가능 영상 판단에 관한 결과 분석은 [표 1]과 같다.

표 1. 영상 평가 결과 분석

| 구분 | 오류 1 | 오류 2 |
|-----|-------|-------|
| 실패율 | 1.17% | 2.83% |

오류 2의 경우 오류 1에 비하여 높은 오류율을 보여주고 있었는데, 오류 2의 주요 요인은 다음과 같은 몇 가지 경우로 분석된다. 첫째 처리된 영상 중, 안경 렌즈의 상태가 좋지 않아 렌즈 자체에 잡영이 심한 경우, 둘째는 안경 렌즈에 카메라 조영의 LED 패턴이 홍채 영역에 맺히는 경우이다. 이중 획득 영상의 밝기가 전체적으로 어두운 경우 눈썹을 나타내는 그레이 레벨의 값이 주변의 홍채 영역과의 명암차이가 뚜렷하지 않아 정확한 눈썹 검출이 정확하게 이루어지지 못했다. 또한 안경에 조영 LED 패턴이 맺히는 경우 눈썹이 홍채 영역을 침범함에도 불구하고 눈썹보다 높은 그레이 레벨을 가지는 LED 패턴에 의해 눈썹의 끝을 확인 할 수가 없어 오류 2가 오류 1에 비해 높게 나타났다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는, 입력된 눈영상 데이터중 위조 데이터와 부적절한 영상을 걸러내기 위한 효율적인 눈 영상 평가 알고리즘을 제안하였다. 먼저 위조된 데이터를 찾아내기 위해 동공 반지름 변화량과 눈꺼풀 움직임 변화량의 상관계수를 구하였고, 2차원 고속 푸리에 변환 방법을 통해 홍채 패턴이 인쇄된 콘택트렌즈 데이터를 찾아냈다. 첫 번째 알고리즘에서 위조 데이터가 아니라고 판명될 경우, 눈 영상의 품질평가 알고리즘을 통하여 눈 깜박임, 눈썹의 홍채 영역 침범, 홍채영역 잘림 등의 잡음을 포함하고 있는 영상을 찾아냈다. 제안된 눈 영상 평가 알고리즘은 96%의 정확률을 보였다. 알고리즘의 실패 원인을 분석한 결과는 안경 렌즈의 상태가 좋지 않아 렌즈 자체에 잡영이 심한 경우와 안경 렌즈에 카메라 조영의 LED 패턴이 홍채 영역에 맺히는 경우로 분석되었다.

눈 영상 검사 알고리즘이 특징 추출과 시스템의 성능 향상에 좋은 결과를 보임에도 불구하고, 2차원 고속 푸리에 변환시의 시간소비문제와, 눈썹에 의한 잡음 문제를 해결하기 위한 방법의 보완이 향후연구에서 요구되어 진다.

6. 참고문헌

- [1] James L. Wayman: Fundamentals of Biometric Authentication Technologies. *International Journal of Image and Graphics* 1(1): 93-113 (2001)
- [2] G. Kee., Iris Recognition System Using Wavelet Packet and Support Vector Machines. *Ph. D thesis, Yoinsei University*, 2003
- [3] J. Deng and F. Lai., Region-Based Template Deformation and Masking for Eye-Feature Extraction and Description. *Pattern Recognition*, 30(3): 403-419, Mar. 1997
- [4] J. Canny., A Computational Approach to Edge Detection, *IEEE Trans. Pattern Analysis Mach. Intell.* 8(6), 679-698, 1986
- [5] J. Daugman., Recognizing Persons by Theirs Iris Patterns. *Biometrics Personal Identification in Networked Society*, A. Jain, R. Bolle and S. Pankanti, eds., Kluwer Academy Publishers, 1999
- [6] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd Ed., Prentice Hall, 2001