Journal of the Korea Industrial Information Systems Research Vol. 23 No. 2, Apr. 2018 :1-9
http://dx.doi.org./10.9723/jksiis.2018.23.2.001 ISSN:1229-3741

적외선과 깊이 영상을 이용한 얼굴 인식 방법

(Face Recognition Method by Using Infrared and Depth Images)

이 동 석[1], 한 대 현[2], 권 순 각[3]*
(Dong-Seok Lee, Dae-Hyun Han, and Soon-Kak Kwon)

요 약 본 논문은 조명변화에 민감하지 않고, 사진에 대한 오인식을 방지하기 위한 얼굴인식 방법을 제안한다. 제안한 방법은 적외선과 깊이 영상을 동시에 이용하며, 적외선 영상으로 조명변화의 민감성을 해결하고, 깊이 영상으로 사진과 같은 2차원 영상에 대한 오인식을 방지한다. 적외선과 깊이 영상을 동시에 이용한 얼굴 검출 방법과 얼굴 인식을 위한 특징 추출 및 매칭 방법을 구현하였으며, 모의실험을 통하여 기존 방법에 비해 얼굴인식의 정확도가 증가함을 보인다.

핵심주제어 : 얼굴 인식, 이진 지역 패턴, 깊이 영상, 적외선 영상

Abstract In this paper, we propose a face recognition method which is not sensitive to illumination change and prevents false recognition of photographs. The proposed method uses infrared and depth images at the same time, solves sensitivity of illumination change by infrared image, and prevents false recognition of two - dimensional image such as photograph by depth image. Face detection method using infrared and depth images simultaneously and feature extraction and matching method for face recognition are realized. Simulation results show that accuracy of face recognition is increased compared to conventional methods.

Key Words : Face Recognition, Local Binary Pattern, Depth Image, Infrared Image

1. 서 론

최근 생체 인식을 이용한 사용자 인증 및 제어 시스템에 대한 연구와 활용이 점차 늘어가고 있는 가운데 이중에서 얼굴인식이 주목을 받고 있다. 얼굴인식은 비공격적이며 비강압적인 인증 방식으로, 사용자가 따로 인증을 위한 특별한 동작을 할 필요 없이 인증을 할 수 있다는 장점이 있다. 또한 영상 기반의 얼굴인식을 통한 신원인식 기술은 보안, 마케팅 분야 등 다양한 분야에 응용할 수 있다는 장점을 가지고 있어 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 하지만 기존 얼굴 인식 방법은 외부 환경에 취약하고 인쇄된 사진 등을 통해 거짓인식이 될 수 있는 보안상의 위험성을 가지는 단점으로 인해 추가적인 인증 수단이 필요하다는 단점이 있다.

얼굴을 인식하기 위한 알고리듬으로는 PCA

* Corresponding Author : skkwon@deu.ac.kr
+ 이 논문은 2018년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역신산업선도인력양성사업 성과임 (No. 2018043621).
Manuscript received March 9, 2018 / accepted March 26, 2018
1) 동의대학교 컴퓨터소프트웨어공학과, 제1저자
2) 동의대학교 전자공학과
3) 동의대학교 컴퓨터소프트웨어공학과, 교신저자

(Principal Component Analysis), SIFT(Scale Invariant Feature Transform), Haar-like feature, LBP(Local Binary Pattern)등이 쓰인다. PCA를 이용한 얼굴인식 방법[1,2]은 얼굴인식에는 대상의 특징을 추출하여 그것의 주성분을 분석하는 방법으로 고유 얼굴(Eigenfaces)를 추출하여 이를 얼굴 검출에 사용하는 방법이다. PCA는 고차원의 특징벡터를 저차원의 특징벡터로 정보의 손실이 최소화되도록 차원을 축소시키는 대표적인 알고리듬으로, 훈련용 얼굴 영상들에서 유사성을 찾아 얼굴이미지의 차원을 축소하여 평균 얼굴을 구한 후, 훈련 영상과 비교하고자 하는 영상의 가중치를 구해 NN(Nearest Neighbor) 방법을 사용하여 얼굴을 식별한다. PCA는 알고리듬이 단순하고 속도가 빠른 장점이 있지만, 얼굴의 포즈, 조도 등의 영향을 받아 정확도가 낮아지는 문제점이 있다. SIFT를 이용한 얼굴인식 방법[3,4]은 모서리나 꼭지점과 같이 영상에서 식별이 용이한 특징점들을 선택한 후 벡터성분을 추출하는 알고리듬으로, 특징점 주변의 블록에 속한 픽셀들의 그라디언트(Gradient) 방향과 크기에 대한 히스토그램을 구한 후 이 히스토그램 값들을 일렬로 쭉 연결한 벡터를 사용하여 얼굴 비교에 사용한다. SIFT는 비교 영상의 크기 변화 또는 회전으로 인한 변형에 대해서도 정확도가 유지되는 장점이 있지만, 대용량의 데이터가 생성되고 반복적으로 이를 연산하는 과정이 많아 실시간으로 얼굴 인식을 하기가 어렵다는 단점이 있다. Haar-like 특징을 이용한 얼굴검출 방법[5]은 영상내의 영역과 영역의 밝기차를 이용한 Haar-like 특징을 이용한 것으로, 사각형 형태의 밝은 영역과 어두운 영역의 사각형들로 구성된 다양한 형태의 Elementary 특징을 정의한 후, 각 영역에 포함된 화소 값들의 차이를 통해 의미있는 특징점을 찾는 방법이다. 여기서 의미있는 특징의 선별은 Boosting등의 자동 학습 알고리듬을 통해 이루어진다. Haar-like 특징을 이용한 방법은 영역 내 형태변화 및 위치변화에 대해서도 정확도가 유지되는 장점이 있지만, 광원이 변화 혹은 회전에 따라 정확도가 떨어지는 단점이 있다. LBP를 이용하여 얼굴을 검출하는 방법[6-10]은 주변 화소들과의 화소 값을 비교하여 부호화를 한 후, 이를 히스토그램으로 나타내어 비교를 하는 방법이다. LBP는 영상의 밝기 변화에 강건하다는 장점이 있지만, Haar-like 특징에 비해 세부적인 영상 내 패턴의 변화를 표현할 수 없고, 회전에 따라 정확도가 낮아지는 단점이 있다.

얼굴인식을 하기 위한 영상으로 주로 색상영상을 이용하고 있다. 색상영상 기반 얼굴인식 방법은 기존 영상을 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 색상영상 기반의 얼굴인식 방법은 조명의 변화 또는 표정의 변화에 취약하다는 단점이 있다. 또한 색상영상 기반 방법은 실제의 얼굴과 인쇄된 색상 사진을 구분하는데 있어 취약하여 보안 분야에 단독으로 사용되지 못한다는 결함이 있다. 이러한 색상영상 기반 방법의 단점을 극복하고자 적외선 영상이나 깊이 영상을 사용하는 방법이 연구되고 있다. 적외선 영상은 색상 영상에 비해 조명의 변화에도 화소의 변화가 적다는 장점이 있지만, 색상영상에 비해 명암대비가 낮다는 단점이 존재한다. 또한 적외선 영상은 색상영상과 같이 인쇄된 색상 사진에 대해 얼굴인식이 되어버리는 문제가 있다. 깊이 영상은 적외선 영상과 비슷하게 조명의 영향을 적게 받고, 색상영상이나 적외선 영상에서 얻을 수 없었던 거리 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 하지만 깊이 영상은 영상 내 잡음이 색상 영상이나 적외선 영상에 비해 많이 포함되어있다는 단점이 존재한다. 이러한 영상의 특성을 이용하여 적외선 영상을 이용하여 얼굴을 인식하는 방법[11,12]과 깊이 영상을 이용하여 얼굴을 인식하는 방법[13,14]이 연구되고 있다. 하지만 이러한 방법들은 각 영상의 특징을 고려하지 않고, 단순히 색상영상에서 쓰이던 알고리듬을 그대로 적용하여 색상영상에 비해 낮은 정확도를 보인다는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 적외선 영상과 깊이 영상의 특성을 고려한 얼굴인식 방법을 제안하고자 한다. 본 논문에서는 깊이 영상과 적외선 영상을 같이 이용하여 얼굴을 인식함으로써 두 영상의 장점을 극대화하고, 단점을 최소화하여 정확한 얼굴 인식을 하고자 한다. 먼저 얼굴을 촬영한 적외선 영상 및 깊이 영상에서 깊이 정보를 통해 얼굴을 추출한 후 깊이 기반 정규화를 수행한다. 그 후 3D-LBP를 이용하여 깊이 영상 및 적외선 영상

에서 해당 특징을 제일 잘 나타낼 수 있는 레이어를 선택하여 특징을 추출한다. 그 후 적외선 영상의 히스토그램을 통해 기존에 저장된 히스토그램과 카이제곱거리를 측정하여 제일 유사한 얼굴을 찾은 뒤 깊이 영상의 히스토그램을 통해 해당 얼굴과의 유사도를 측정한다. 본 논문에서 제안하는 방법을 통해 얼굴 인식의 정확도를 높일 수 있고, 색상 사진등과 같은 기존 얼굴 인식에서 거짓인식을 하게 되는 위험을 줄일 수 있다.

2. 관련 연구

2.1 Local Binary Pattern

영상 내 어느 특정 화소 위치에서의 LBP는 반지름이 R인 P개의 이웃 화소을 한 방향(시계 방향 또는 반시계 방향)으로 탐색하여 각각의 이웃 화소와 비교하여 비교결과를 부호화한 값이다. 이 때 현재 위치의 화소에 대해 이웃 화소보다 크면 해당 이웃 화소에 대해 1을 부여하고, 그렇지 않다면 0을 부여한다. 그 후 모든 이웃 화소에 대해 부여된 값들을 한 방향으로 수집하여 LBP를 결정한다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다. 식 (1)에서 p_c는 LBP를 구하고자 하는 화소의 값이고, p_i는 i번째 이웃 화소이다.

$$\mathrm{LBP}_{P,R}(x,y)=\sum_{i=0}^{M-1}s(p_i-p_c)2^i \qquad (1)$$

$$s(x)=\begin{cases}1, x \geqq 0\\ 0, otherwise\end{cases}$$

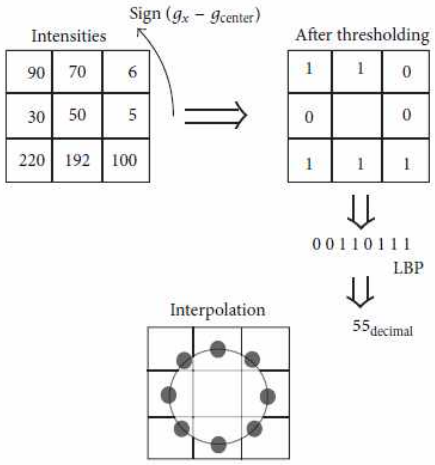

Fig. 1 Derivation of Local Binary Patterns [10]

이 때 이웃 화소들은 P=8, R=1의 경우 현재 화소와 맞닿은 8개의 점이다. 하지만 P, R의 값을 다르게 하여 사용할 수도 있는데, 이 때 양선형 보간법(Bilinear Interpolation)를 이용할 수 있다.

2.2 Uniform LBP

LBP에서 나타낼 수 있는 특징의 차원수는 2^P개로, P가 커질수록 계산 복잡도가 급격하게 증가한다는 문제점이 있다. 또한 LBP는 그 특성상 가우시안 노이즈에 취약한 단점이 있다. Ojala는 영상에서 구해진 LBP 중 일부의 LBP 코드가 대다수를 차지한다는 것을 실험적으로 밝혀내고, 이러한 특성을 이용하여 부호화를 하는 방법을 제안했다[15]. Uniform LBP는 LBP 과정에서 부호화를 하는 단계에서 Uniform 패턴과 non-

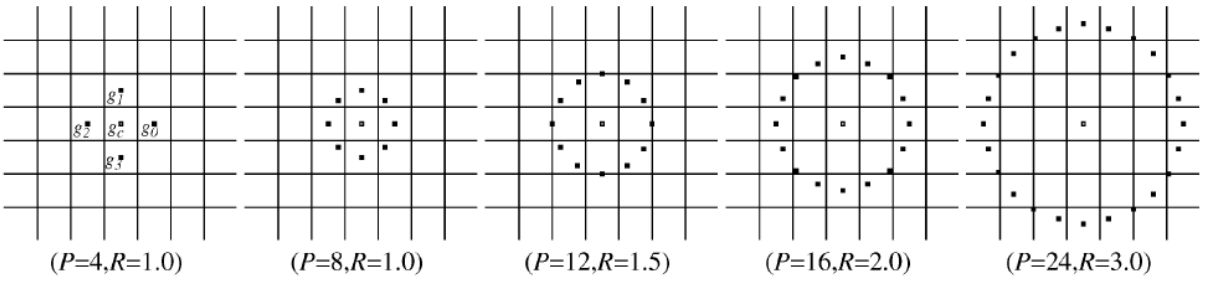

Fig. 2 Circularly Symmetric Neighbor Sets for Different (P, R) [15]

Uniform 패턴을 고려하여 부호화를 하는 방법이다. Uniform 패턴은 한 코드내에서 0-1 혹은 1-0으로 변하는 경우가 2번 이하로 일어나는 경우이다. 그렇지 않을 경우에는 non-Uniform 패턴으로 지정한다. 그 후 Uniform의 경우에는 각각의 패턴의 경우에 따라 하나의 라벨을 부여한다. non-Uniform 패턴의 경우에는 전체에 대해 하나의 라벨을 부여한다. 즉 각각의 Uniform 패턴과, non-Uniform 패턴의 경우에 대해 부호화를 함으로써 특징의 차원을 줄이는 방법이다. 이 때 특징의 차원은 $P(P-1)+3$으로, 기존 LBP에 비해 특징의 차원을 줄일 수 있다.

2.3 3D-LBP

LBP는 현재 화소의 값과 이웃 화소간의 크거나 작은 여부만을 고려한다. 이러한 방법은 텍스처를 서술하는데 있어서는 강력한 방법이지만, 깊이 영상에서는 적합하지 않다. 깊이 영상에서는 영상 내 잡음이 많이 포함되어 있기 때문에, LBP를 이용한다면 각 화소의 특징이 잘못 검출될 위험성이 있다. 이러한 깊이 영상에서의 잡음을 극복하기 위해 현재 화소와 이웃화소의 비교 정보뿐만 아니라, 차이 정보의 크기도 고려한 3D-LBP가 제안되었다.

Huang[16]는 깊이 영상에서 93% 이상의 화소에 대해 경우에 R=2의 전체 영역에서 현재 화소와 이웃화소의 차이인 DD의 절대값은 7이하라고 주장했다. 이 경우 DD의 절대값을 식 (2)와 같이 3개의 이진 부호 i_2, i_3, i_4로 표현할 수 있다. i_1는 식 (1)에서의 $s(x)$로 정의된다.

$$|DD| = i_2 \times 2^2 + i_3 \times 2^1 + i_4 \times 2^0 \quad (2)$$

그 후 i_1, i_2, i_3, i_4를 각각 기존 LBP 방법으로 부호화를 한다. 그럼 Fig. 3처럼 4개의 LBP 부호값을 얻을 수 있다.

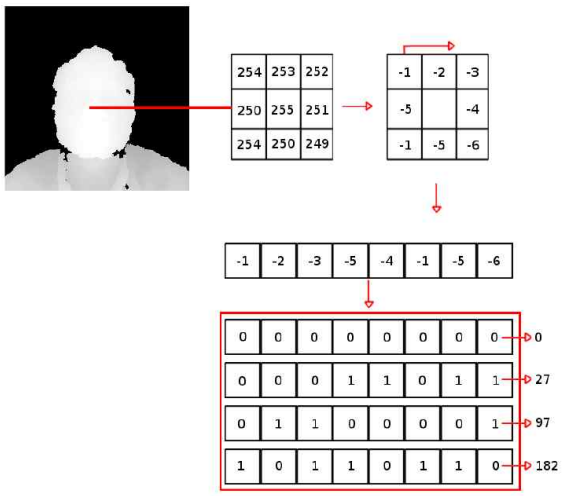

Fig. 3 Full Process of 3D-LBP [17]

3. 지역 이진 패턴을 이용한 적외선 영상과 깊이 영상에서의 얼굴 인식 방법

본 논문에서는 적외선 영상과 깊이 영상을 함께 이용하여 얼굴 인식을 하는 방법을 제안하고자 한다. 적외선 영상은 색상 영상과 달리 조명의 영향을 적게 받기 때문에 색상영상을 이용하는 방법보다 얼굴 인식의 정확도가 높다. 하지만 적외선 영상은 색상 사진 등의 잘못된 영상에 대해서도 거짓인식을 할 수 있다는 결함이 있다. 깊이 영상은 적외선 영상과 같이 조명의 영향을 적게 받고, 거리의 정보를 얻기 때문에 색상 사진 등의 잘못된 영상에 대해서 인식을 하지 않는다는 장점이 있다. 하지만 깊이 영상은 색상 영상이나 적외선 영상에 비해 잡음이 많이 포함되어 있어 단독으로 얼굴인식에 쓰일 때는 인식률이 떨어진다는 단점이 있다[13]. 본 논문에서는 이러한 두 영상의 장점을 살리고 단점을 보완하는 얼굴 인식 방법을 제안한다.

제안하는 적외선 영상과 깊이 영상을 이용한 얼굴 인식 방법의 흐름도는 Fig. 4와 같다. 먼저 촬영된 깊이 영상을 통해 얼굴영역을 추출한다. 그 후 얼굴 영상의 특징들을 찾기 위해 깊이 영상과 적외선 영상에 각각 3D-LBP를 이용하여

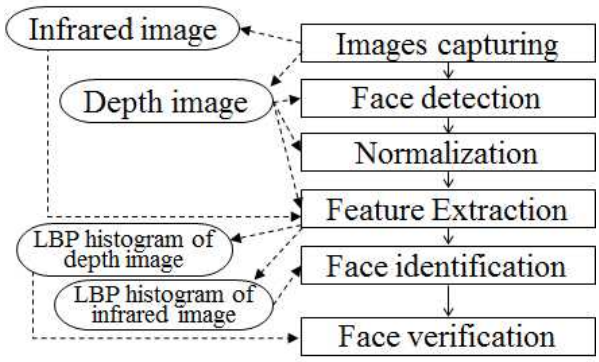

Fig. 4 Flowchart of Proposed Method

부호화한 후 히스토그램을 구함으로써 깊이 영상과 적외선 영상 각각에 대한 LBP 히스토그램을 구한다. 그 후 DB에 저장된 기존 사람들의 적외선 영상의 LBP 히스토그램과 촬영된 적외선 영상의 LBP 히스토그램의 유사도를 측정하여 유사도가 제일 높게 나온 인물을 선정한다. 그리고 해당 인물에 대해 깊이 영상의 LBP 히스토그램의 유사도를 측정하여 일정 수치보다 높으면 얼굴에 대해 해당 인물로 인식함으로써 얼굴 인식을 하게 된다.

얼굴을 추출하는 방법은 사람의 얼굴에서 제일 특징점이 되는 코끝을 기준으로 사람의 얼굴 영역을 검출한다. 이는 사람의 얼굴에서 코끝이 가장 돌출된 부위라는 점을 착안하여 깊이 영상에서 깊이 값이 가장 작은 화소, 즉 카메라에서 제일 가까이 있는 부분을 탐색한 후, 그 화소의 인접화소를 검사하여 실제 코인지를 확인함으로써 코를 검출한다. 그 후 코 끝을 중심으로 하는 wWx wH 크기의 영역을 설정한다[18]. 이 때 W, H는 각각 55, 56으로 설정된 얼굴 크기의 고정된 크기이며, w는 깊이 값에 따라 영역이 커지고 작아지는 가중치로써 식 (3)을 통해 계산된다. 식 (3)에서 d_{nose}는 코의 깊이 값이며, α와 β는 일종의 깊이카메라에 따른 상수로써 본 논문에서는 각각 2.83, 456으로 설정했다[14]. 이 방법을 통해 정규화시 기존 방법과 달리 얼굴의 크기 정보를 유지시킬 수 있게 된다. 그 후 얼굴 영역에 대해 깊이 영상과 적외선 영상에 대해 자름으로써 얼굴 영역의 깊이 영상과 적외선 영상을 획득한다.

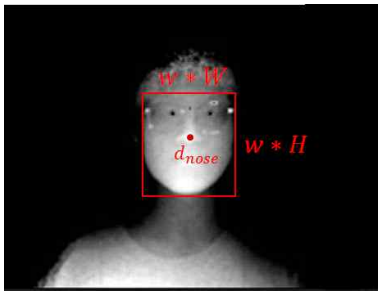

Fig. 5 Face Detection through Nose Detection Using Depth Image

$$w = \alpha - \frac{d_{nose}}{\beta} \quad (3)$$

그 후, 잘라진 크기의 적외선 및 깊이 얼굴 영상에 대해 55x56 크기로 정규화한다. 그 후 3D-LBP를 이용하여 얼굴 영역의 깊이 영상 및 적외선 영상에 대해 특징을 추출한다. 이 때 3D-LBP의 모든 레이어를 사용하지 않고 특징을 가장 잘 나타낼 수 있는 일부 레이어만을 사용하여 특징 차원을 축소할 수 있다. Fi.g. 6는 깊이 얼굴 영상에 대해 탐색할 이웃 화소와의 거리 R를 달리하여 부호화된 3D-LBP를 각 층 별로 영상화 한 것이다. 이 때 깊이 영상에 대해서는 R=2의 경우의 1, 2계층의 값이 제일 얼굴의 특징을 잘 표현한다. 적외선 영상에서는 1계층에서의 R=2와 R=6에서 얼굴의 특징을 잘 나타난다. 따라서 3D-LBP의 전체의 결과를 이용할 필요 없이 해당 결과만을 특징으로 이용할 수 있다. 이는 깊이 영상과 적외선 영상, 두개의 영상을 이용하고, 3D-LBP를 이용한다는 측면에서 생기는

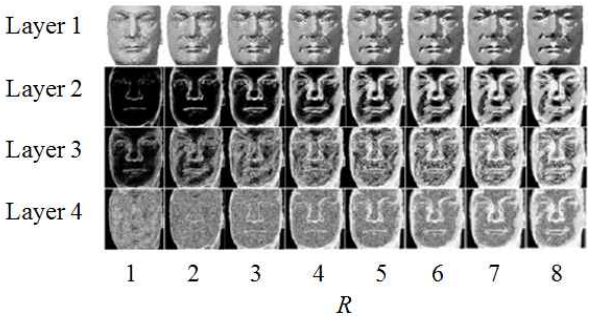

Fig. 6 Layer Images for 3D-LBP

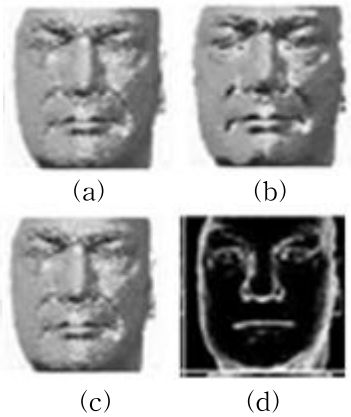

Fig. 7 3D-LBP Figure Image: (a) R=2, Layer 1 in IR Picture, (b) R=6, Layer 1 in IR Picture, (c) R=2, Layer 1 in Depth Picture, and (d) R=2, Layer 2 in Depth Picture

특징 차원의 개수가 커진다는 단점을 해결한다.

깊이 영상과 적외선 영상에 대해 3D-LBP를 통해 각각 2번의 LBP 연산을 한 후, 이를 Uniform LBP 방법으로 부호화한 후 각각에 대해 히스토그램을 구하여 각각 2개의 LBP 히스토그램을 구한다. 여기서 적외선 영상에서 구한 특징은 저장된 얼굴 특징과 비교하여 정확도가 가장 높은 사람을 찾는데 이용하고, 깊이 영상에서 구한 특징은 실제 동일 인물인지 판별하는 과정에 이용한다.

얼굴의 특징을 통해 얼굴을 인식하는 과정은 다음과 같다. 적외선 영상에서의 2개의 3D-LBP 히스토그램을 DB에 저장된 히스토그램과 비교한다. 이 때 카이제곱거리를 이용하여 각각의 히스토그램의 유사도를 측정하여 평균한다. 그 후 유사도가 가장 높은 인물을 선정한다. 식 (4)는 히스토그램간의 카이제곱거리를 구하는 식으로, S, M은 히스토그램이다.

$$\chi^2(S,M)=\sum_i \frac{(S_i-M_i)^2}{(S_i+M_i)} \quad (4)$$

그 후 선정된 인물에 대해 깊이 영상에서의 2개의 3D-LBP 히스토그램의 유사도를 식 (4)을 통해 측정한다. 이 때 유사도가 T이상일 경우 해당 인물로 얼굴 인식을 수행한다. 만약 유사도가 T 미만일 경우 선정된 인물에 대한 얼굴 인식이 실패했다고 간주하고 그대로 얼굴 인식 과정을 종료할 수도 있고, 인물 선정 과정에서의 후순위 인물로 재시도할 수도 있다.

4. 모의실험결과

4.1 결정변수와 환경요인의 설정

실험에 사용한 깊이카메라는 Kinect v2이다. 해당 깊이 카메라는 색상 영상과 깊이 영상, 적외선 영상 촬영 모드를 지원하며, 해상도는 깊이 영상과 적외선 영상의 경우 512x424이다. 깊이 값을 획득할 수 있는 거리 범위는 실제로는 0.5m ~ 8.0m이지만, 실험에서는 0.6m~2.6m의 범위에서 얼굴 인식을 수행하였다.

먼저 깊이 영상을 이용한 얼굴 검출 방법의 수행 시간을 기존 색상 영상 기반의 Haar-like 특징을 이용한 얼굴 검출 방법[19]의 수행 시간과 비교하였다. 이 때 수행 속도를 측정하기 위해 2.5Ghz의 4코어 프로세서를 장착한 컴퓨터를 사용하였다. 수행 시간을 비교해 본 결과 본 논문에서 제안된 방법이 기존 Haar 특징을 이용한 얼굴 검출 방법보다 수행시간이 개선되었다는 것을 Table 1과 같이 알 수 있다.

Table 1 Processing Time of Face Detection

Method of Face Detection	Average of Processing Time
Haar-like Feature	85.72 ms
Proposed	77.05 ms

얼굴 인식 실험을 위한 얼굴 데이터 셋은 나이와 성별이 다른 100명의 학생으로부터 깊이 얼굴 영상을 1장 촬영하였고, 일부 안경 착용자의 경

우 착용, 미착용으로 나누어 총 2장 촬영하였다. Fig. 8은 데이터 셋 중 일부이다.

기존 LBP 방법과 본 논문에서 제안된 LBP를 이용하여 카메라 정면에서 얼굴 촬영을 하여 얼굴인식을 한 결과의 정확도를 Table 2와 같이 비교하였다. 그 결과 기존 LBP 방법은 깊이 영상의 특징을 살리지 못하여 정확도가 떨어진 반면, 제안하는 방법은 정확도가 높게 나타났다.

Table 2 The Simulation Result of Face Recognition Accuracy Compared with Existed LBP Methods

Method	Accuracy(%)
LBP	88
Uniform LBP	84
CS-LBP	72
3D-LBP	98
Proposed	99

카메라와 얼굴의 각도를 수평으로 -10°~10°의 각도로 회전하면서 얼굴 인식의 정확도를 측정하였다. 측정 결과 적외선 영상을 이용한 얼굴 선정 단계의 경우에는 높은 정확도로 올바른 인물을 선정하였지만, 깊이 영상을 이용한 신원 검증 단계에서는 카메라와 얼굴의 각도가 클수록 신원 검증에 실패하는 경우가 증가하였다. 이는 깊이 영상의 경우 색상 영상이나 적외선 영상과 달리 얼굴의 회전으로 인해 영상 내 화소의 값이 급격히 변화하여 신원 검증 정확도에 영향을 주기 때문이다.

Table 3 Accuracy of Face Identification and Face Verification by Face Poses

Processing step	Accuracy(%)				
	-10°	-5°	0°	5°	10°
Face identification	97	98	99	99	98
Face verification	87	96	99	94	85

5. 결 론

본 논문에서는 적외선/깊이 영상의 특성을 이용한 새로운 얼굴인식 방법을 제안하였다. 이 방법을 통해 기존의 색상 영상에서 적용되었던 방법을 그대로 다른 유형의 영상에 쓰지 않고, 깊이 영상과 적외선 영상 각각의 특징에 맞는 얼굴의 특징 검출 방법을 적용함으로써 얼굴 인식 정확도가 높아졌다. 또한 필요하지 않은 특징의 차원을 줄임으로써, 연산속도를 높일 수 있었다. 실험 결과 기존에 쓰이던 얼굴 인식 방법보다 높은

Fig. 8 Dataset for Simulation

인식률을 보였다. 카메라와 얼굴과의 각도에 따라서는 정면에서는 정확하게 얼굴 인식이 되었으나, 얼굴이 회전했을 경우에는 정확도가 떨어졌는데, 이는 얼굴 회전에 대한 얼굴 영역의 깊이 값을 보상해주는 방법에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서 제안된 얼굴인식 방법을 적용하여 휴대장치 잠금제어, 보안시스템, 출입통제, 근퇴관리 분야 등에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] Turk, M. A., and Pentland, A. P., "Face Recognition Using Eigenfaces," *Proceeding of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and pattern Recognition*, 1991, pp. 586-591.

[2] Paul, L. C., and Sumam, A. A., "Face Recognition Using Principal Component Analysis Method," *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, Vol. 1, No. 9, 2012, pp. 135-139.

[3] Lowe, D. G., "Object Recognition from Local Scale-Invariant Features," *Proceeding of the International Conference on Computer Vision*, Vol. 2, 1999, pp. 1150-1157.

[4] Geng, C. and Jiang, X., "Face Recognition Using Sift Features," *Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing*, 2009, pp. 3313-3316.

[5] Viola, P. and Jones, M. J., "Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features," *Proceeding of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001, pp. 511-518.

[6] Ojala, T., Pietikäinen, M., and Harwood, D., "A Comparative Study of Texture Measures with Classification Based on Feature Distributions," *Pattern Recognition*, Vol. 29, No. 1, 1996, pp. 51-59.

[7] Ahonen, T., Hadid, A., and Pietikinen, M., "Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 28, No. 12, 2006, pp. 2037-2041.

[8] Liao, S., Zhu, X., Lei, Z., Zhang, L., and Li, S. Z., "Learning Multi-scale Block Local Binary Patterns for Face Recognition," *Proceeding of International Conference on Biometrics*, 2007, pp. 828-837.

[9] Pietikainen, M., Hadid, A., Zhao, G., and Ahonen, T., Computer Vision Using Local Binary Patterns, *Springer*, Berlin, Germany, 2011.

[10] Lahdenoja, O., Poikonen, J., and Laiho, M., "Towards Understanding The Formation of Uniform Local Binary Patterns," *ISRN Machine Vision*, 2013, pp. 1-20.

[11] Kim, S. M., Lee, D. J., Song, C. K., and Chun, M. G., "Robust Face Recognition Against Illumination Change Using Visible and Infrared Images," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 24, No. 4, 2014, pp. 343-348.

[12] Kong, S. G., "Design of an Observer-based Decentralized Fuzzy Controller for Discrete-Time Interconnected Fuzzy Systems," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 25, No. 5, 2015, pp. 437-443.

[13] Kwon, K. H., "Evaluation of Depth Image of IR Range Sensor with Face Recognition Algorithms," *Journal of The Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 13, No. 8, pp. 3666-3671, 2012.

[14] Kwon, S. K., Kim, H. J., and Lee, D. S., "Face Recognition Method Based on Local Binary Pattern Using Depth Images," *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 22, No. 6, 2017, pp. 39-45.

[15] Ojala, T., Pietikainen, M., and Maenpaa, M., "Multiresolution Gray-scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, No.

7, 2002, pp. 971-987.

[16] Huang, Y., Wang, Y., and Tan, T., "Combining Statistics of Geometrical and Correlative Features for 3D Face Recognition," *Proceeding of the British Machine Vision Conference*, 2006, pp. 90.1-90.10.

[17] Neto, J. B. C., and Marana. A. N., "3DLBP and HAOG Fusion for Face Recognition Utilizing Kinect as a 3D Scanner," *Proceeding of the 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. ACM, 2015, pp. 66-73.

[18] Kim, H. J., Lee, D. S., and Kwon, S. K., "Implementation of Nose and Face Detections in Depth Image," *Journal of Multimedia Information System*, Vol. 4, No. 1, 2017, pp. 43-50.

[19] Viola, P. and Jones, M., "Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features," *Proceeding of the 2001 IEEE Computer Society Conference on*, Vol. 1, 2001, pp. 511-518.

이 동 석 (Dong-Seok Lee)

- 정회원
- 동의대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 공학사
- 동의대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 석사과정
- 관심분야 : 멀티미디어 신호처리, 영상 인식

한 대 현 (Dae-Hyun Han)

- 정회원
- 경북대학교 전자공학과 공학사
- 포항공대 전자전기공학과 공학석사
- 포항공대 전자전기공학과 공학박사
- 동의대학교 전자공학과 교수
- 관심분야 : 무선통신 소자 및 시스템

권 순 각 (Soon-Kak Kwon)

- 정회원
- 경북대학교 전자공학과 공학사
- KAIST 전기및전자공학과 공학석사
- KAIST 전기및전자공학과 공학박사
- 동의대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수
- 관심분야 : 멀티미디어처리, IOT