

# 조명에 강인한 얼굴인식을 위한 텍스처 정보와 깊이 에지 기반의 퓨전 벡터 생성기법

안 병 우, 성 원 제, 이 준 호

성균관대학교 정보통신공학부

Fusing texture and depth edge information for face recognition

Byung-Woo Ahn, Won-Je Sung, June-Ho Yi

School of Information and Communication Engineering,

Sungkyunkwan University

{bwahn, wjsung}@vision.skku.ac.kr, jhyi@skku.edu

## 요 약

얼굴의 중요한 특징부분을 잘 나타내는 깊이 에지 정보를 사용하면 표정과 조명변화로 인한 얼굴 픽셀의 밝기 값 변화에 대해 강인한 특징벡터를 생성할 수 있다. 본 논문에서는 깊이 에지(depth edge)를 이용한 새로운 특징벡터를 제안하고 그 유용성에 대하여 실험하였다. 새롭게 제안한 특징벡터는 얼굴의 깊이 에지 영상을 수평과 수직 방향으로 투영하여 얻어지는 에지 강도 히스토그램을 이용하기 때문에 얼굴의 움직임으로 인한 변형에 영향을 받지 않는다. 또한, 실시간 검출과 인식이 매우 용이하다. 제안한 깊이 에지 기반 특징벡터와 백색광 영상의 픽셀 값 기반 특징벡터에 대해 부공간 투영기반의 얼굴인식 알고리즘을 적용하여 성능을 비교 평가하였다. 실험 결과, 얼굴의 깊이 에지에 기반한 얼굴인식이 기존의 백색광만을 이용한 방법에 비해 높은 인식성능을 보였다

## I. 서론

부공간 투영기반의 얼굴인식 알고리즘은 얼굴영역에 속하는 픽셀들의 밝기 값을 이용하여 얼굴을 표현하고 인식하는데 사용되어왔다. 대표적인 알고리즘으로는 PCA[1], ICA[2][3], LFA[5]등이 있다. 이러한 알고리즘들은 픽셀들의 밝기 값을 이용하기 때문에 조명, 표정변화와 같은 외부환경에의 영향을 지대하게 받는다 [7][8]. 따라서 조명 또는 표정변화로 인한 픽셀들의 밝기변화에 강인한 깊이 에지에 기반한 얼굴인식 방법이 필요하다. 깊이 에지는 물체의 형태 정보를 갖는다. 물체의 형태 정보는 물체를 인식하는데 매우 중요한 요소이다. 얼굴의 깊이 에지를 이용한 얼굴인식 방법은 얼굴의 중요한 특징부분만을 잘 나타내는 얼굴의 형태

정보만을 사용함으로써 조명변화 등으로 인한 얼굴 픽셀의 변화에 대해 강인한 방법이다.

본 연구에서는 효율적으로 얼굴의 깊이 에지를 검출하는 방법[9]에 기반하여 깊이 에지 정보만을 이용하는 특징벡터를 제안한다. 얼굴영역의 모든 깊이(depth) 값을 구하는 것은 계산이오래 걸리고 정확도가 많이 떨어지기 때문에 깊이 에지의 위치 만을 효율적으로 검출하는 방법이 필요하다. 사용한 깊이 에지 검출방법은 검출하고자 하는 깊이 차이(depth difference)의 파라미터를 조정할 수 있어서 얼굴 영상의 깊이 에지 검출에 효과적으로 적용할 수 있는 방법이다. 제안하는 특징벡터는 얼굴 깊이 에지 영상의 수평과 수직 방향의투영을 통해 얻어지는 에지 강도 히스토그램(edge

intensity histogram)을 이용하기 때문에 얼굴의 상하 또는 좌우 방향의 움직임에 강인하다. 실험결과 간단한 특징벡터임에도 불구하고 뛰어난 인식성을 보일 뿐만 아니라 단순한 특징 벡터를 사용하기 때문에 계산적으로 매우 효율적이므로 실시간 얼굴 검출과 인식이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 구조광을 이용하여 얼굴의 깊이 에지를 검출하는 방법에 대해 설명하고, 3절에서는 제안한 깊이 에지에 기반한 얼굴인식 방법에 대해 기술한다. 4절에서는 부공간 투영기반의 얼굴인식 알고리즘을 통해서 본 논문에서 제안한 방법과 백색광 영상을 사용한 기존의 방법에 대한 성능을 비교한다.

## II. 구조광을 이용한 얼굴의 깊이 에지 검출

본 절에서는 구조광에 기반한 얼굴의 깊이 에지를 검출하는 방법[9]에 대해서 살펴본다. 그림 1은 얼굴의 깊이 에지 맵 생성 과정을 단계별로 보여준다. 첫 번째 단계에서는 그림 1의 (a)에서와 같이 깊이 에지를 검출하고자 하는 곳에 일반 프로젝터를 사용하여 연속적으로 백색광과 구조광을 투영하고 그 영상을 획득한다. 본 논문에서는 일정간격을 갖는 단순한 흑백 가로줄의 구조광을 사용하였다. 세로줄 영상 역시 사용이 가능하며 가로줄 영상의 경우와 동일한 분석이 적용된다. 두 번째 단계에서는, 백색광 영상과 구조광 영상의 차영상을 계산함으로써 가로줄 패턴만을 추출한 영상을 얻게 된다(그림 1의 (b) 참조). 이를 이하에서 "패턴 영상"이라고 정의한다. 세 번째 단계에서는 패턴 영상과 백색광 영상의 에지 정보로부터 깊이 에지 맵을 생성하게 된다(그림 1의 (c) 참조). 우선, 패턴 영상에서 깊이 에지를 따라 가로줄 패턴이 어긋나는 왜곡 발생 지점을 찾게 된다. 패턴은 일정한 주파수를 갖는 주기 신호로 볼 수 있으며, 획득한 패턴 영상에 2D 가보 필터(gabor filter)를 적용함으로써 필터 응답의 앰플리튜드가 달라지는 왜곡 발생 지점을 찾을 수 있다[10]. 마지막으로 백색광 영상의 에지맵

을 이용하여 깊이 에지의 위치를 정확하게 결정하게 되면 그림 1의 (d)와 같은 얼굴의 깊이 에지 맵을 얻게 된다.

그림 1의 (a)의 구조광 영상에서 나타나는 패턴 한 줄의 폭  $w$ 는  $\frac{3fd}{2a(a+r)}$ 로 정의 된다[9]. 여기서  $d$ 는 카메라와 프로젝터간의 거리,  $f$ 는 카메라로부터 가상 영상 면까지의 거리,  $a$ 는 얼굴볼과 프로젝터간의 거리,  $r$ 은 코끝과 얼굴 볼간의 거리로 정의 된다. 본 논문에서는  $f=3m$ ,  $d=0.173m$ ,  $a=3m$ ,  $r=0.02m$ 로 설정하였으며, 이에 따라 패턴 한 줄의 폭  $w$ 는  $0.0017m$ 로 결정된다.

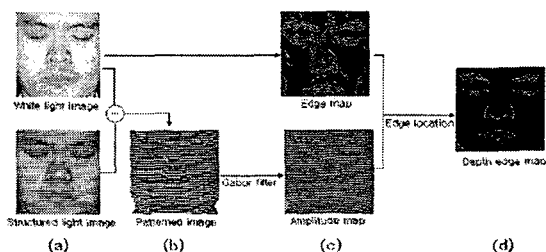


그림 1. 백색광 영상과 구조광 영상을 이용하여 깊이 에지 맵을 구하는 과정: (a) 백색광 영상과 구조광 영상의 획득, (b) 가로줄 패턴만을 추출한 패턴 영상, (c) 백색광 영상의 에지 맵과 가보필터 앰플리튜드 맵, (d) 최종 깊이 에지 맵

위의 과정과 같이 얼굴의 깊이 에지는 구조광을 사용하여 얼굴 볼과 눈, 코, 입사이의 깊이 차에 의해 발생하는 경계로부터 구해진다. 실험결과 얼굴의 요소를 이루는 눈, 코, 입 부분들이 깊이 에지 검출구간 내에 위치해 있으므로 그것들의 깊이 에지 검출이 가능하였다.

## III. 깊이 에지에 기반한 얼굴인식 방법

깊이 에지에 기반한 얼굴인식 방법은 중요한 얼굴의 특징부분만을 나타내는 깊이 에지 정보를 사용함으로써 조명변화 등으로 인한 얼굴 그레이(gray) 값의 변화에 대해서는 영향을 받지 않도록 하는 방법이다. 구조광에 기반한 에

지 검출방법을 이용하여 얼굴의 깊이 에지를 추출하고, 깊이 에지 영상은 얼굴의 수평과 수직 방향으로 투영된 간단한 특징벡터로 저장되어 얼굴인식 방법에 적용된다.

얼굴의 깊이 에지 영상을 얼굴 벡터로 변환하는 방법을 그림 2에 개략적으로 나타내었다. 깊이 에지에 해당하는 픽셀은 그 값이 1이 되고, 그 외의 영역은 0이 되는 2진영상으로 깊이 에지 영상을 얻는다. 깊이 에지 영상을 수평과 수직 방향으로 투영하여 에지 강도 히스토그램을 생성하여 특징벡터를 만들어낸다. 본 연구에서는  $600 \times 700$ 크기의 정규화된 얼굴 영상을 사용하였으므로 특징벡터는 1300차원을 갖는다. 이러한 특징벡터를 부공간(subspace) 투영기반의 얼굴인식 알고리즘에 적용하였다.

새롭게 제안한 특징벡터는 조명변화와 같은 주변환경 요인에 의해 얼굴 픽셀 값의 변화에 민감한 기존의 백색광에 기반한 인식방법의 단점을 효과적으로 극복할 수 있다. 또한 사진 등을 이용한 위조된 얼굴을 검출하는데 매우 유용하며 실시간으로 검출과 인식하는데 적합한 특징벡터이다.

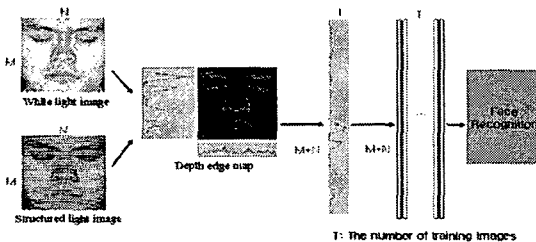


그림 2. 얼굴의 깊이 에지를 이용한 특징 벡터의 생성과정

#### IV. 실험

본 절에서는 실험에 사용된 얼굴인식 알고리즘과 실험결과에 대해서 살펴본다.

##### 4.1 실험에 사용된 얼굴인식 알고리즘

본 논문에서 제안한 깊이 에지에 기반한 특징벡터의 유용성을 평가하기 위해서 부공간 투영기반의 얼굴인식 알고리즘을 적용하였다. 부

공간 투영기반의 얼굴인식 알고리즘은 얼굴의 기하학적 특징만을 사용한 방법보다 일반적으로 더 좋은 성능을 보여 왔다. 사용된 알고리즘으로는 PCA(Principal Component Analysis)[1], ICA(Independent Component Analysis)[2], LFA(Local Feature Analysis)[5]등이 있다. ICA는 국부적 표현 방법과 전역적 표현 방법의 서로 다른 두 가지 표현으로 얼굴인식에 사용된다[2]. 여기서 국부적 특징 추출방법을 ICA-I으로, 전역적 특징 추출방법을 ICA-II로 정의한다.

##### 4.2 실험결과

얼굴의 구조광 영상을 획득하기 위해서 HP x31 DLP 프로젝트와 Cannon 300D DSLR 카메라를 사용하였다. 실험에 사용된 데이터베이스는 25명의 사람에 대해 각각 6개의 백색광 영상과 6개의 구조광 영상을 가지고 있다. 그림 3은 한 사람에 대한 얼굴 영상을 보여주고 있다. 데이터베이스의 얼굴 영상은 웃거나 놀라거나 찡그릴 때의 표정 변화를 담고 있는 영상군, 그리고 좌, 우 조명의 영향을 받은 영상군으로 이루어져 있다. 그림 3의 (a)는 백색광 얼굴 영상이며 (b)는 구조광이 포함된 얼굴 영상이다. 그림 3의 (a)와 (b)영상을 이용하여 한 사람에 대한 6개의 얼굴의 깊이 에지 영상을 구한다.

실험에서 영상들의 전체 셋  $U$ 를 훈련 집합  $T$ 와 갤러리(Gallery) 영상 집합  $G$ , 그리고 테스트(Probe) 영상 집합  $P$ 로 구분하였다. 공정한 성능평가를 위해  $T$ 와  $G$ ,  $P$ 는 중복되지 않도록 설계하였다. 다시 말하자면, 훈련 집합  $T$ 에 속한 사람은 아무도  $G$  혹은  $P$ 에 속하지 않는다. 학습 방법에 기반하는 얼굴인식 방법은 훈련집합의 선택에 의해서도 영향을 받기 때문에, 이의 영향을 최소화하기 위해서, 매 실험마다 전체 25명중에서, 80%인 20명을 무작위로 선택하여 훈련집합  $T$ 에 할당하게 된다. 나머지 5명의 영상은  $G$ 와  $P$ 에 할당한다.  $G$ 는 표정변화가 없는 얼굴 영상이 사용되었고  $P$ 는 표정변화와 조명변화를 포함하고 있다. 정확한 성능평가를 위해 인식성능의 변화를 30번 이상의

반복 실험을 통해 비교 평가하였다.



(a)



(b)

그림 3. 실험에 사용된 얼굴 데이터베이스의 한 예: (a)는 백색광 얼굴 영상이고, (b)는 구조 광이 포함된 얼굴 영상이다.

그림 4와 5에서는 표정변화를 갖는 영상과 조명변화를 갖는 영상 각각에 대해 제안된 방법을 PCA, ICA-I, ICA-II, LFA의 얼굴인식 알고리즘에 적용한 인식결과를 나타내고 있다. 각각의 영상을 ICA-II 알고리즘에 적용했을 때 상대적으로 높은 인식 결과를 보였다. 모든 결과에서 깊이 에지 기반의 특징벡터를 사용한 얼굴인식 방법이 백색광만 사용한 인식 방법보다 더 우수함을 보여준다. 제안한 깊이 기반 특징벡터를 이용한 얼굴인식 방법이 표정, 조명변화를 갖는 영상에 대해 좋은 성능을 보인 이유는 표정, 조명 변화에 민감한 얼굴의 불과 이마와 같은 부위가 제거되고, 얼굴의 중요한 형태 정보를 나타내는 에지 정보만을 사용하였기 때문으로 분석된다. 이는 얼굴 형상의 에지 분포 정보가 얼굴인식에 있어 좋은 특징을 가지고 있음을 실험적으로 보여주는 것이다. 특히, 저차원(low dimension)에서 성능차이가 더욱 큼을 알 수 있는데, 그 이유는 차원을 축소할 경우 표정변화 등으로 인해 생긴 아웃라이어(outlier)들이 다른 클래스의 얼굴분포 영역에 포함되는 오류가 발생하지만, 제안한 특징벡터를 사용하면 얼굴의 중요한 특징의 분포정보를 상대적으로 저차원의 벡터로 표현하기 때문이다. 예를 들어 입력영상의 크기가  $600 \times 700$  이라고 하면, 얼굴인식 방법에서 백색광 영상을 사용하였을 때의 특징벡터는 420,000차원이 된다. 이를 저차원으로 차원을 감소시켰을 때 인식을 위한 중요한 정보의 손실이 크게 발생할

가능성이 크다. 반면에 제안한 깊이 에지 기반 특징벡터는 1300차원이 되고, 차원을 감소시켜도 백색광 영상을 사용한 방법에 비해 정보의 손실이 크게 발생되지 않는다.

## V. 결론

얼굴의 깊이 에지를 이용한 얼굴인식 방법은 얼굴의 전체 화소가 아닌 깊이 에지로만 이루어진 얼굴의 형태정보만을 사용함으로써 조명변화와 표정변화 등으로 인한 얼굴 픽셀의 변화에 대해 강인한 방법이다. 본 논문에서 제안한 깊이 에지를 사용한 특징벡터는 얼굴의 중요한 특징 분포를 효율적으로 표현하게 되어 백색광 얼굴 영상만을 사용한 방법에 비해 더 나은 얼굴인식 성능을 보인다. 또한 얼굴형태 정보를 상대적으로 저차원의 벡터로 나타내므로 얼굴 영상을 저장, 전송, 검색하는데 계산량이 감소하여 실시간 처리가 용이하다. 위조된 영상의 검출도 가능하다. 추후에는 깊이 에지를 사용한 더 나은 특징벡터를 구현하고, 백색광과 구조광을 동시에 이용하는 센서 퓨전(sensor fusion)기반 얼굴인식 방법을 연구할 것이다.

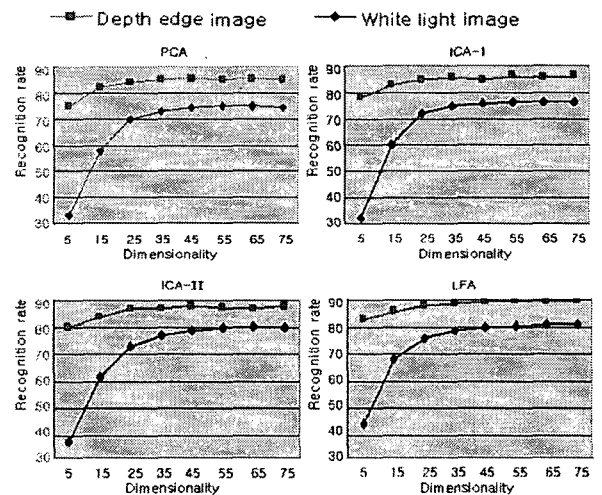


그림 4. 표정변화를 갖는 백색광 영상과 깊이 에지 영상을 PCA, ICA-I, ICA-II, LFA 방법에 각각 적용한 인식을 비교

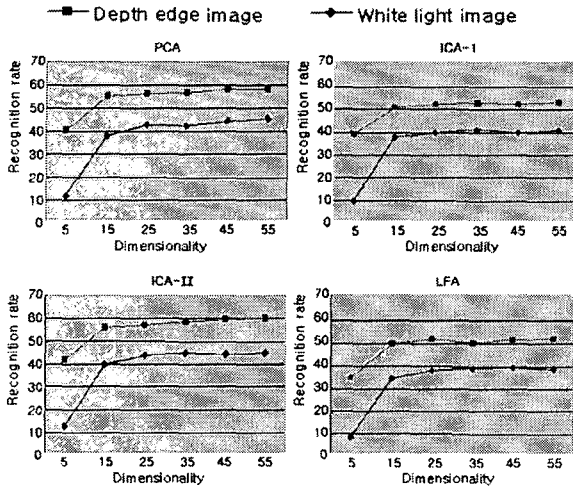


그림 5. 조명변화를 갖는 백색광 영상과 깊이 에지 영상을 PCA, ICA-I, ICA-II, LFA 방법에 각각 적용한 인식률 비교

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 생체인식연구센터(BERC)의 지원으로 수행되었습니다.

### [참고문헌]

[1] M. A. Turk and A. P. Pentland, "Eigenfaces for recognition," *Cognitive Neuroscience*, vol. 3, no. 1, pp. 71-86, 1991.

[2] M. S. Bartlett, J. R. Movellan, and T. J. Sejnowski, "Face Recognition by Independent Component Analysis," *IEEE Transactions Neural Networks*, vol. 13, no. 6, pp. 1450-1464, 2002.

[3] Aapo Hyvarinen and Erki Oja, "Independent component analysis: a tutorial," [http://www.cis.hut.fi/~aapo/papers/IJCNN99\\_tutorialweb/](http://www.cis.hut.fi/~aapo/papers/IJCNN99_tutorialweb/), 1999.

[4] A. Hyvärinen, "The Fixed-point Algorithm and Maximum Likelihood

Estimation for Independent Component Analysis," *Neural Processing Letters*, vol. 10, pp. 1-5, 1999.

[5] P. Penev and J. Atick, "Local Feature Analysis: A general statistical theory for object representation," *Network: Computation in Neural Systems*, vol. 7, no. 3, pp. 477-500, 1996.

[6] J. Wilder, P. J. Phillips, C. Jiang, and S. Wisener, "Comparison of Visible and Infra-Red Imagery for Face Recognition," in *Proceedings of 2nd International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition*, pp. 182-187, 1996.

[7] Y. Adini, Y. Moses, and S. Ullman, "Face Recognition: The Problem of Compensating for Changes in Illumination Direction," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 19, no. 7, pp. 721-731, July 1997.

[8] W. Zhao, R. Chellappa, P. J. Jonathon Phillips, and A. Rosenfeld, "Face Recognition: A Literature Survey," *ACM Computing Survey*, vol. 35, no. 4, pp. 399-458, 2003.

[9] J. Y. Park, C. H. Kim, J. H. Yi, and M. A. Turk, "Efficient Depth Edge Detection Using Structured Light," *International Symposium on Visual Computing*, vol. 3804, pp. 737-744, 2005.

[10] A. C. Bovik, M. Clark, and W. S. Geisler, "Multichannel Texture Analysis Using Localized Spatial Filters," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 55-73, 1990.