

# PCA와 LDA를 이용한 실시간 얼굴 검출

홍은혜<sup>0</sup>, 고병철, 변혜란  
연세대학교 컴퓨터과학과  
{u23047, ByoungChul, hrbyun}@cs.yonsei.ac.kr

## Real-time Face Detection based on PCA and LDA

EunHye Hong<sup>0</sup> ByoungChul Ko Hyeran Byun  
Dept. of Computer Science, Yonsei University

### 요 약

본 논문에서는 실시간 카메라 입력 영상에 적합한 얼굴 검출을 위해 다양한 외부적 환경에 덜 민감한 새로운 알고리즘을 제안한다. 빛이나 조명의 영향에 의한 오류를 방지하기 위해 전처리 과정을 포함시키고 형판 정합방법의 단점을 개선하기 위해 얼굴 인식에서 주로 쓰이는 방법인 주성분 분석(PCA: Principal Component Analysis) 변환을 적용하고, 생성된 주성분(Principal Component)을 선형 판별 분석(LDA: Linear Discriminant Analysis)의 입력으로 사용하는 방법을 통해 얼굴을 검출하도록 하였다. 실험을 위해 실제 환경과 같은 6개 카테고리의 동영상을 중심으로 실험한 결과, 본 논문에서 제안하는 방법이 기존의 PCA만을 이용한 방법보다 좋은 성능을 보여줌을 알 수 있었다.

### 1. 서 론

얼굴 검출기술은 얼굴 인식, 표정 인식 등의 얼굴 관련 연구의 핵심 기술로 많은 연구들이 수행 되어 왔을 뿐만 아니라, 화상회의, 보안 통제 시스템, 내용기반 비디오 색인 등과 같은 많은 상업적인 분야에서 중요한 연구 과제로 인식되어 왔다.

얼굴 영역 추출을 위한 기존의 방법은 계층적 지식기반 방법 [1], 얼굴의 색상 정보를 이용한 방법 [2], 신경망을 이용한 방법 [3], 형판(template) 정합을 이용한 방법 [4] 등이 있다. 첫째로, 계층적 지식 기반 방법은 얼굴 모양의 패턴을 찾음으로써, 얼굴 규칙을 생성한다. 하지만, 다양한 얼굴 패턴을 정의 할 수 있는 일반적인 규칙을 만들기가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 둘째로, 얼굴의 색상 정보를 이용한 연구는 빠르고, 쉽게 쓰일 수 있는 방법이다. 하지만, 이 방법은 색상 정보가 빛의 강도와 방향에 매우 민감하고, 얼굴색과 비슷한 색이 배경에 존재할 경우, 잘못된 결과를 나타내는 한계를 가지고 있다. 셋째로, 신경망(neural network)을 이용한 방법은 다중 계층 신경망에 학습시켜 얼굴과 얼굴이 아닌 패턴으로 구분하는 방법이다. 이는 정면 및 측면 얼굴 검출에는 비교적 만족할만하나 계산량이 많고 다양한 회전 얼굴 검출에는 좋은 결과를 주지 못하고 있다 [5]. 마지막으로 형판(template)정합을 이용한 방법은 비교적 복잡한 배경에서 얼굴영역을 추출하기 위해서는 효과적이다. 하지만, 얼굴이 개인간의 차이가 크고, 개인에 있어서도 표정이 나, 나이등에 따른 변화가 다양하기 때문에, 이를 대표할 수 있는 형판생성이 상당히 어렵다는 단점을 가지고 있다.

본 연구에는 실시간 카메라 입력 영상에 적합한 얼굴 검출을, 적절한 전처리 과정을 통해 조명 변화에 민감한 주성분 분석의 단점을 해결하였다. 그런 뒤에, 얼굴이 가진 복잡한 패턴을 몇 개의 주성분 값으로 나타낼 수 있는 주성분 분석 (Principal Component Analysis) 방법과 클래스간의 특징 벡터들을 비교적 정확하게 분류하는 선형 판별 분석(Linear Discriminant Analysis) 방법을 결합하여, 얼굴 검출 성능을 향상 시키도록 하였다.

### 2. 얼굴 영역 검출

#### 2.1 전처리

얼굴 검출에서 조명의 변화는 얼굴 검출 성능을 좌우하는 중요한 요인이다. 따라서, 정확한 얼굴 검출을 위해서는 전처리로 조명을 보정해주는 작업이 필요하다. 본 논문에서는 전처리 과정으로 수식 (1)과 같은 최소-최대 정규화 (Min\_max normalization) 방법을 사용한다. 최소-최대 정규화 방법은 원 영상을 새롭게 정의된 데이터 범위로 변형 시켜주는 선형적인 변형방법으로, 어둡거나 아주 밝은 입력 영상을 특정 밝기 영역 안에 존재할 수 있도록 변화 시켜 줄 수 있다. 하지만, 예외적으로 영상의 밝기 값이 작은 어두운 영상에 대해서는 (영상의 그레이 값 평균이 70이하) 전처리로 최소-최대 정규화 방법이 아닌 히스토그램 평활화를 적용한다.

$$y' = \left( \frac{y - \min_1}{\max_1 - \min_1} \right) (\max_2 - \min_2) + \min_2 \quad (1)$$

식(1)에서  $\min_1$ 과  $\max_1$ 은 입력 영상의 최소, 최대 밝기 값이며,  $\min_2$ 와  $\max_2$ 는 새로운 범위의 최소, 최대 밝기 값이다.

#### 2.2 형판 생성

본 연구에서는 형판정합 방법을 이용하여 얼굴 검출을 하도록 설계되었다. 평균영상 (그림 1-(c))은 연세대학교 컴퓨터과학과에서 수집한 얼굴 데이터베이스를 이용하여 만들어졌다. 형판(template) 생성은 눈썹부터 입술까지 40x40 영상을 사용한다. 형판은 영상의 명암에 관계없이 얼굴 요소 특징을 부각시키기 위해, 전처리로 히스토그램 평활화를 이용한다. 본 연구에서는 영상과 형판의 각각 화소들이 1대1 정합 할 경우 속도가 느려지므로, 실시간 얼굴 검출에 적합하지 않은 단점을 보완하기 위해 형판을 그대로 사용 하지 않고, 4x4 모자의 영상으로 변환하는 과정을 추가 하였다(그림 1-(b)).



그림 1. 얼굴 형판 생성 과정, (a) 원 영상 (b) 4x4 모자의 영상 (c) 모자의 평균 영상

2.3 학습과정

본 연구에서는 PCA변환을 통해 생성된 주성분을 LDA의 입력 값으로 사용하는 방식을 사용한다. LDA는 지금까지 얼굴 인식을 위해 사용한 방법이지만, 이를 PCA와 결합하여 성능을 개선하도록 하였다. PCA변환과정에서 고유 벡터의 개수가 얼굴 영역 검출에 큰 영향을 미침으로, 본 연구에서는 고유 벡터의 수에 따른 얼굴 검출 정확도를 계산하여 가장 좋은 성능을 보여주는 값으로 고유벡터의 개수를 가변적으로 설정 하였다. 즉, 영상의 밝기 평균값이 70 이하인 어두운 영상에서는 고유 벡터 개수가 전체 고유벡터의 40%를 가질 때, 가장 정확율이 높고, 그 외의 상황에서는 고유 벡터 개수가 전체 고유벡터의 30%를 가질 때, 가장 정확율이 높다는 것을 실험을 통해 발견하였다. 따라서 본 연구에서는 고유 벡터의 개수를 영상의 빛 성분의 평균값에 따라 적용하도록 하였다. 이렇게 구해진 주성분을 LDA로 변환하는 과정에서 클래스의 개수와 표본 데이터 개수 또한 얼굴 영역 검출에 영향을 미친다. 이미 각 클래스의 표본 데이터는 2개 혹은 4개가 좋다는 것으로 알려져 있으므로 [8], 본 연구에서는 각 클래스의 표본 데이터로 2개를 사용하고, 클래스의 개수는 40개를 사용함으로써 전체 80개의 학습 데이터를 사용 하였다.

2.4 PCA와 LDA

2.4.1 PCA(Principal Component Analysis)

주성분 분석(Principal Component Analysis)은 고 차원 입력 벡터를 저 차원의 벡터로 표현하여 몇 개의 주성분 값으로 나타내어 주는 방식이다. 다음과 같은 n 차원의 벡터 x가 존재할 때,

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$$

이를 식 (2)와 (3)에 적용하여 나온 평균벡터와 공분산 행렬(covariance matrix)을 통해 고유 벡터를 구한 뒤에 대응되는 고유 값의 크기에 따라 고유벡터를 정렬하여 새로운 행렬 A 를 만든다.

$$m_x = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M x_k \tag{2}$$

$$C_x = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M x_k x_k^T - m_x m_x^T \tag{3}$$

이 새로운 행렬 A 를 변환행렬로 사용하여 벡터 x를 벡터 y로 변환한다. 이는 식(4)로 표현할 수 있다.

$$y = A(x - m_x) \tag{4}$$

2.4.2 LDA(Linear Discriminant Analysis)

선형 판별 분석(Linear Discriminant Analysis)은 식 (5)와 같이, 클래스내의 데이터 분산을 나타내는 행렬 (within class scatter matrix) 과 식 (6)과 같이, 클래스간 데이터 분산을 나타내는 행렬 (between class scatter matrix)을 고려하는 방법이다.

$$S_w = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^{N_j} (x_i^j - \mu_j)(x_i^j - \mu_j)^T \tag{5}$$

$$S_b = \sum_{j=1}^c (\mu_j - \mu)(\mu_j - \mu)^T \tag{6}$$

이런 선형 판별 분석 방법은 클래스 분리를 최대화 시켜 주므로, 클래스간의 특징 벡터들을 비교적 정확하게 분류하는 장점이 있다[7].

2.4.3 주성분의 LDA 변환

각 클래스들의 특징을 정확히 분류해주는 LDA는 얼굴 인식에서 흔히 쓰이는 방법으로, PCA보다 좋은 성능을 가진다. 얼굴 인식에서, PCA 변환에 의해 생성된 주성분을 LDA변환하는 것은, LDA변환만을 이용하는 것보다 더 좋은 인식율을 가진다고 알려져 있다[8,9]. 본 연구에서는 이를 얼굴 영역 검출에 이용하였다. 즉, 학습 과정에서 PCA변환에서 생성된 주성분을 가지고 LDA 변환 시 원하는 수만큼의 클래스를 만들어준다.

$$y = \Phi(x - m) \tag{7}$$

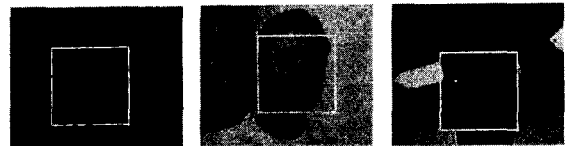
$$z = W_y^T y \tag{8}$$

$$z = W_x^T (x - m) \tag{9}$$

식 (7),(8)의  $\Phi$  는 PCA 변환,  $W_y$  은 LDA 변환을 의미한다. 각 클래스는 얼굴 영상의 집합으로 이루어졌으므로, 테스트 과정에서 얼굴 영상이 들어오면 각 클래스와의 거리가 작으므로, 전체적인 거리 값이 작지만, 얼굴 영역이 아닌 영상이 들어오면 각 클래스와의 거리가 크므로, 전체적인 거리 값이 커진다. 이렇게 구해진 거리 값을 이용해서 얼굴 영역을 검출할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 방법을 이용할 경우, PCA만을 이용한 얼굴 검출보다 더 나은 결과를 보여줄을 실험을 통해 알 수 있었다(그림 4).

2.5 얼굴 영역 매칭

형판을 이용한 얼굴 영역 검출은 일반적으로 형판의 크기를 변화시키는 멀티 스케일(multi-scale)방법과 형판의 크기를 한 개로 고정시키고 영상의 크기를 변화시키는 다해상도(multi-resolution) 방법으로 구분된다. 전자에 해당하는 방법은, 얼굴 검출을 위해 형판과 입력 영상을 PCA 변환할 때, 형판이 가지 여러 개의 고유 공간으로 변환하여야 하므로, 실시간 얼굴 검출에는 적합하지 못하다. 따라서, 본 연구에서는 한 개의 형판을 가지고서, 입력 영상의 크기를 변화시키는 후자의 방법을 사용 하였다. 입력 영상의 크기를 원 영상의 90%, 70%, 50%로 줄이고, 얼굴 형판과 마찬가지로 4x4 모자의 영상을 만든다. 크기가 변환된 입력 영상과 형판을 모두 PCA로 변환하고, 거기서 나온 주성분 값을 LDA 변환한 후에 값의 차이(MAE)가 가장 작은 영역을 얼굴 영역으로 선택한다. 본 논문에서 사용한 입력 영상 크기 변환 방법을 사용할 경우 최소 40x40, 부터 최대 80x80 까지의 얼굴 크기를 검출해 낼 수 있다.



(a) (b) (c)

그림 2. 다양한 조명을 갖는 입력 영상에 대한 실험 결과 (a) 전체적으로 어두운 영상, (b)전체적으로 밝은 영상, (c) 후광 영상

### 3. 얼굴 크기 변화

찾아진 얼굴 영역으로 부터 정확한 얼굴 크기를 추정해 내기 위해, 찾아진 얼굴 영역의 전체 화소들 중, 밝기 성분이 하위20% 이하인 영역을 얼굴 영역으로 간주하고 이 영역을 이진화 시킨다. 다음으로 해당 이진화 영역에 대해 모폴로지 불림 연산(Morphological Dilation)을 적용하여 얼굴 성분을 뚜렷이 구분하게 해준다. 남은 부분을 투영해서 수평 성분보다 수직 성분의 값이 큰 부분과 레이블링을 통해 가장 큰 부분을 제거함으로써, 눈이 아닌 부분 및 머리 부분을 제거한다. 이 때, 남은 영역 중에 중심점의 높이 값이 큰 두 개의 영역을 선택하면, 눈 혹은 눈썹 부분만 남게 된다. 두 눈썹 혹은 두 눈이 남겨지면, 양쪽 눈썹 사이의 거리를 이용, 얼굴의 크기를 알 수 있다. 혹은 한쪽 눈썹과 눈만이 남겨져 있다면, 눈썹과 눈의 중심점의 거리 이용해서, 얼굴의 크기를 알 수 있다.

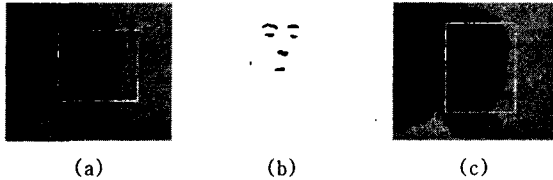


그림 3. 얼굴 크기변화에 따른 얼굴 영역 크기 조정(a) 얼굴 영역 검출 (b) 남겨진 얼굴 요소 (c) 조정된 얼굴 영역

### 4. 실험결과 및 결론

본 연구를 위한 실험은 펜티엄 III 866 MHz PC에서 QCIF(176x144) 입력 영상을 대상으로 진행하였고 초당 약 6프레임의 처리 속도를 나타내었다. 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 실험하기 위하여 다음과 같이 6개의 카테고리를 갖는 테스트 영상을 제작하고 이를 이용하여 실험하였다:

- (a) 낮은 밝기 영상
- (b) 높은 밝기 영상
- (c) 정면 광 영상
- (d) 보통 밝기 영상
- (e) 측면광 영상
- (f) 후광 영상

본 연구에서 사용된 테스트 동영상은 <http://vip.yonsei.ac.kr/facetracking> 에서 확인 할 수 있다. 본 연구의 실험결과를 그림 4와 같다. 본 실험에서는 6개의 동영상에 대해서 PCA를 이용한 방법과 본 논문에서 제안하는 PCA와 LDA를 결합하는 방식을 비교하여 보았다.

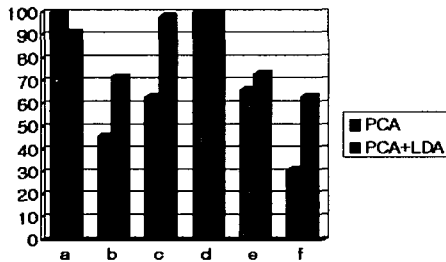


그림 4. PCA 와 PCA+LDA를 이용한 얼굴 검출율 비교

그림에서 보는 것과 같이 본 논문에서 제안하는 방법이 PCA를 이용하는 방법보다 우수한 얼굴 검출 결과를 보여주는 것을 알 수 있다. PCA만을 이용했을 때, 64%의 결과를 보이는 반면에, PCA와 LDA를 결합한 방식은 약 81%의 얼굴 검출율을 보인다. 그러나 전처리를 사용하지 않았을 때는 약 64%의 얼굴 검출율을 보임으로써, 이 실험에서 전처리가 중요한 역할을 했음을 알 수 있다.

### 5. 참고문헌

- [1] G.Yang, T.S. Huang, " Human Face Detection in a Complex Background" ,*Pattern Recognition, Vol. 27, No.1*, pp 53-63,1994.
- [2] Haiyuan WU,Qian CHEN, " Detecting Human Face in Color Images" , *Proc. of IEEE*, pp.2232-2236,1996
- [3] H.A Rowley,S.Baluja,T.Kanade, " Rotational Invariant Neural Network Based Face Detection" ,*In Proc. of IEEE Conference on Computer Vision Pattern Recognition*, pp. 38-44, 1998
- [4] V. Govindaraju, S.N. Srihari, and D. B. Sher, " A computational model for face location," *The third IEEE International conference on Computer Vision*, pp. 718-721, 1990.
- [5] Kin C. Yow, Roberto Cipolla, " Feature-Based Human Face Detection," *Second International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 1996*.
- [6] 고재필, " 고유얼굴 기반의 얼굴 형판을 이용한 얼굴 영역 추출" , 연세대학교 컴퓨터과학과 석사학위 논문
- [7] Martinez, A.M.; Kak, A.C., " PCA versus LDA" , *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on , Volume: 23 Issue: 2 , Feb. 2001 Page(s):228-233*
- [8] W. Zhao, R. Chellappa, " Discriminant Analysis of Principle Components for Face Recognition" , *Automatic Face and Gesture Recognition, 1998. Proceedings. Third IEEE International Conference on , 1998*
- [9] J. Ross Beveridge and Kai She , "Fall 2001 Update to CSU PCA Versus PCA+LDA Comparison", <http://www.cs.colostate.edu/evalfacerec/papers.html>, December 2001
- [10] Menser, B.; Muller, F, " Face detection in color images using principal components analysis" , *Image Processing and Its Applications, 1999. Seventh International Conference on (Conf. Publ. No. 465) , Volume: 2 , 1999*
- [11] Liming Zhang; Lenders, P, " Knowledge-based eye detection for human face recognition" , *Knowledge-Based Intelligent Engineering Systems and Allied Technologies, 2000. Proceedings. Fourth International Conference on , Volume: 1 , 2000*