

PCA를 이용한 얼굴인식 기법의 신뢰도에 관한 분석

조현중, 강민구, 문승빈
 세종대학교 컴퓨터공학과

Analysis on the reliability of PCA-based face recognition

Hyunjong Cho, Minkoo Kang, Seungbin Moon
 Dept. of Computer Engineering, Sejong University

Abstract - 얼굴인식 분야에서 PCA(Principal Component Analysis) 기반 알고리즘은 비교적 간단한 구조와 높은 인식률로 인해 많이 사용되고 있지만 조명이나 얼굴 포즈 변화에 민감하다는 단점이 있다[1]. 이런 단점을 해결하기 위한 노력으로 PCA를 다른 얼굴인식 알고리즘과 결합함으로써 조명과 포즈 변화에 강한 얼굴인식을 위한 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 본 논문은 PCA기반 얼굴인식에서 조명이 다양하게 변할 때 이에 따른 인식률의 변화와, 인식이 실패했을 경우에 인식 대상이 유사도 상위 후보군에 들어가는지를 조사함으로써 PCA기반 알고리즘의 신뢰도를 확인하고자 한다. 이를 위해 Yale Face Database B와 Extended Yale Face Database B를 이용하여 실험한 결과 약 93%의 인식 성공률을 확인했으며, 7%의 인식 실패한 영상의 경우 그 인식하고자 했던 얼굴이 유사도를 기준으로 정렬된 학습 영상에서 상위 후보군에 속한다는 실험 결과를 얻음으로써 PCA기반 얼굴 인식 알고리즘의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

얼굴인식은 생체 인식의 한 분야로서 최근 몇 년 전부터 많은 관심을 받아 왔고, 이를 바탕으로 컴퓨터 비전을 통한 얼굴인식에 많은 노력과 연구가 있어 왔다. 하지만 최근의 이런 빠른 기술 성장에도 불구하고 조명, 포즈, 표정 등의 변화로 인한 인식률 저하 문제는 여전히 해결해야 할 어려운 문제로 남아있다. 이런 변화는 얼굴 외모를 크게 변화시키기 때문에 환경 변화에 강한 얼굴 인식 시스템을 만들기 위해선 이런 변화들에 따른 문제들을 반드시 해결해야만 한다[2]. 이런 문제들을 해결하기 위해서, 한 사람당 여러 조명 조건 영상을 학습 영상으로 이용하는 방법[3], 얼굴 3차원 모델을 이용하는 방법[4], 근적외선(near-infrared)을 이용하는 방법[5] 등 다양한 방법들이 제시되고 있다.

한편 PCA(Principal Component Analysis)는 패턴인식, 통계학, 신호처리 분야 등에서 많이 쓰이는 방법으로, 고차원의 입력 데이터를 분산을 고려하여 선택적인 몇 개의 축으로 투사(projection) 시켜서 저차원으로 줄이는 것이다. 이렇게 PCA에 의해 축소 표현된 입력 데이터는 미리 PCA에 의해 투사되어 있던 학습 데이터들과 각각 유사도 측정(similarity measures) 후 입력 데이터와의 유사도가 가장 큰, 즉 입력 데이터와의 거리(distance)가 가장 작은 학습 데이터가 인식의 결과로 선택된다. 이런 PCA기반 알고리즘을 얼굴인식에 적용하면, 학습과 입력 영상이 주로 정면 얼굴 영상일 때 높은 인식률을 보이지만 조명이나 얼굴 포즈 변화가 심한 영상을 인식하고자 할 경우엔 인식률이 현저하게 떨어지는 단점이 있다. 이런 단점을 극복하기 위해 LDA(Linear Discriminant Analysis) 등 다른 알고리즘과 결합해서 PCA기반 알고리즘만 사용할 때 보다 인식률을 높이고자 하는 노력이 있어 왔다[7].

본 논문에서는 PCA기반 얼굴인식에서 조명의 변화로 인한 인식률의 변화와, 인식이 실패했을 경우 입력 영상과의 거리를 오프차순으로 정렬했을 때 거리가 작은 상위 몇 개의 학습 영상 안에 인식하고자 하는 사람의 영상이 있는지를 확인함으로써 PCA를 이용한 얼굴인식이 조명이 변하는 환경에서 어느 정도의 신뢰도를 갖는지 확인하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 실험을 위해 선택된 얼굴 데이터베이스와 그에 대한 전처리 과정을 소개하고, 3절에서 PCA의 세부 설정 사항을 기술하며, 4절에서 실험 방법과 결과를 나타내고, 5절에서 결론을 맺고 향후 연구 방향에 대해 제시한다.

2. 얼굴 데이터베이스

얼굴 데이터베이스의 선택과 그에 대한 전처리는 실험 결과에 큰 영향을 미친다. 이 논문에서 사용된 Yale Face Database B[8]와 Extended Yale Face Database B[9]는 38명의 촬영자 각각에 대해서 9개의 얼굴 포즈 변화와 64개의 조명 변화 상황에서 촬영된 것으로 총 21,888개의 영상으로 이뤄져 있다. 본 실험에서는 조명변화에 따른 인식률과 PCA의 신뢰도를 알아 보기 위해 전체 영상 중 정면얼굴을 제외한 다른 포즈의 얼굴 영상은 제외하였고, 조명 변화는 광원의 위치가 촬영자를 중심으로 좌우 $-35^{\circ} \sim +35^{\circ}$, 상하 $-20^{\circ} \sim +45^{\circ}$ 에 해당하는 왜곡 없는 831개의 영상을 선택하여 실험을 진행하였다. 그림 1은 이렇게 선택된 영상들 중 학습과 입력을 위해 선택된 영상과 그 전처리 후 모습을 보여준다.

선택된 모든 영상들에 대해 다음과 같은 전처리 작업이 수행되었다[6].

- Face alignment - 양 눈의 위치를 기준으로 얼굴 위치 정렬

- Window resizing - 영상 크기를 30×30 pixel로 변환
- Image masking - 얼굴의 외각 요소를 가리기 위해 마스크 처리
- Histogram equalization - 영상 내의 모든 픽셀 값의 에너지를 분산
- Normalization - 모든 입력 영상 벡터가 동일한 에너지를 갖도록 함



<그림 1> Yale Face Database B와 전처리 과정 후 영상[8]

3. PCA 설정

통계적 차원 축소 기법인 PCA를 얼굴 인식에 적용하기 위해서는 설정해야 할 사항들이 몇 가지 있다. 이 설정 사항들을 어떻게 결정하느냐가 PCA기반 얼굴인식의 인식률에 큰 영향을 미치게 된다[1]. 이 실험에서는 아래와 같은 설정 사항들이 적용되었다.

- 학습 과정에서 eigenvalue를 구한 후 가장 큰 eigenvalue에 대응되는 eigenvector 제거
- eigenvalue를 내림차순으로 정렬한 후 값이 작은 하위 40%의 eigenvalue에 대응되는 eigenvector 제거
- 인식 과정에서 유사도 측정 방법으로 angle + Mahalanobis distance 적용[1]

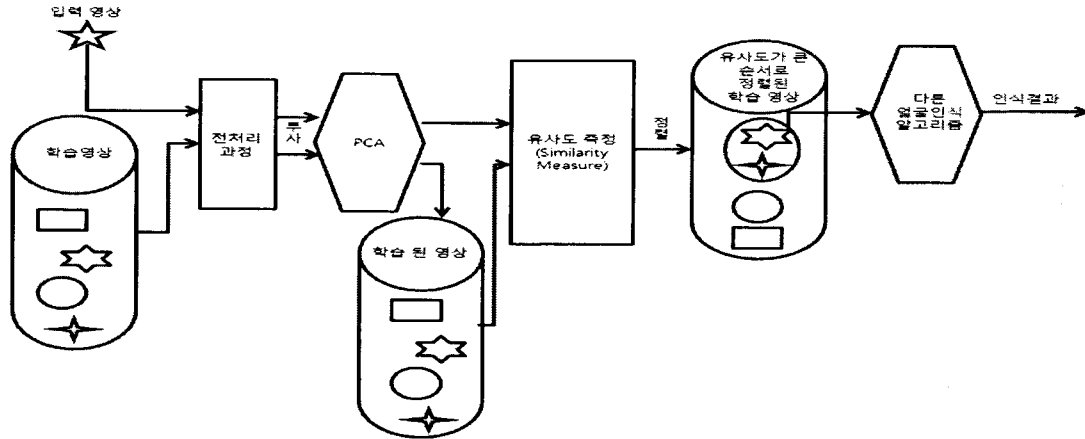
이런 설정 사항은 어떤 얼굴 데이터베이스를 사용하느냐에 따라 조금씩 변할 수 있다. 본 논문에서는 이 실험을 위해 선택된 데이터베이스에 적합한 설정을 찾기 위해 가장 큰 2개의 eigenvalue에 대응되는 eigenvector 1과 2를 i) eigenvector 1 제거, ii) eigenvector 2 제거, iii) eigenvector 1과 2 동시 제거의 세 가지 경우로 나누어 실험 하였고 유사도 측정 방법에서는 angle + Mahalanobis 외에 Euclidean distance, Mahalanobis distance를 이용하여 실험하였다. 그 결과 위와 같은 설정을 했을 때 가장 높은 인식률을 얻게 된다는 것을 알 수 있었다.

4. 실험

본 실험에서는 Yale Face Database B와 Extended Yale Face Database B의 38명의 얼굴 촬영자에 대한 총 21,888개의 영상 중 831개를 선택해서 실험을 진행하였다. 총 4개의 실험이 수행되었고, 831개의 영상 중 각 사람당 1개씩 38개의 동일한 조명 조건을 갖는 영상이 학습 영상으로 선택되었으며 이 38개의 영상은 4개의 실험에서 동일하게 쓰였다. 831개에서 학습 영상을 제외한 793개가 입력 영상으로 사용되었다. 각 실험에서 사용된 입력 영상의 조명 범위는 표 1과 같고 표 2에는 이 입력 영상을 이용한 실험 결과가 나와 있다.

<표 1> 입력 영상에 사용된 조명의 범위[8][9]

실험번호	조명 방향	입력 영상의 조명 범위
실험1	좌우	$-35^{\circ} \sim +35^{\circ}$
	상하	$-20^{\circ} \sim +45^{\circ}$
실험2	좌우	$-25^{\circ} \sim +25^{\circ}$
	상하	$-20^{\circ} \sim +20^{\circ}$
실험3	좌우	$-20^{\circ} \sim +20^{\circ}$
	상하	$-20^{\circ} \sim +20^{\circ}$
실험4	좌우	$-10^{\circ} \sim +10^{\circ}$
	상하	$-10^{\circ} \sim +10^{\circ}$



〈그림 2〉 신뢰도 측정을 위한 블록 다이어그램

〈표 2〉 조명 변화에 따른 인식률의 변화

실험 번호	학습영상 개수	입력영상 개수	성공	실패	인식률(%)
실험1	38	793	628	165	79.2
실험2	38	678	581	97	85.7
실험3	38	603	531	82	88.1
실험4	38	222	205	17	92.4

표 2에 나와 있듯이 조명 변화가 작을수록 인식률이 높아지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 PCA기반 얼굴인식 알고리즘의 인식률 보다는 신뢰도를 확인하는 것에 중점을 두고자 한다. 여기서 신뢰도 확인은 그림 2와 같이 이루어진다. 즉 PCA기반 알고리즘으로 얼굴을 인식하려고 할 때 인식이 실패한 경우라도, 그 인식하고자 했던 사람에 해당하는 학습 영상이 정렬된 학습 영상들 중에서 유사도가 높은 그룹에 속한다는 것이 사실이라면 PCA기반 알고리즘은 인식률뿐만 아니라 그 신뢰도 역시 뛰어나다고 할 수 있을 것이다. 예를 들어, 현재 38명의 사람 각각의 동일한 조명 조건 A, 즉 1-A, 2-A, ..., 38-A로 표현되는 영상이 학습 영상으로 선택되어 있고 3-B 영상을 인식하려는 상황이라면, 이 입력 영상은 학습 영상이 투사되었던 동일한 eigenspace에 투사된 후 38개의 학습 영상과 각각 유사도 측정을 통해 유사도가 가장 큰, 즉 거리가 가장 작은 학습 영상의 사람으로 인식되게 된다. 만약 3-A 영상의 거리가 가장 작았다면 인식이 성공한 것이지만 2번째 이상이 된다면 그 인식은 실패한 것이다. 하지만 인식이 실패했다고 하더라도 만약 3-A 학습 영상의 거리가 가장 작은 거리를 갖는 학습 영상의 거리와 비교했을 때 큰 차이가 나지 않았다면 다른 알고리즘과의 결합 등을 통해 인식이 성공할 수 있는 가능성이 높다는 것을 의미한다. 앞에서 언급되었듯이, PCA는 조명조건에 민감하기 때문에 다른 알고리즘과 결합함으로써 조명에 강건한 얼굴인식을 하기 위한 시도가 많이 이루어지고 있다.

표 3은 각 실험에서 인식이 실패한 입력 영상에 대하여, 그 인식하고자 했던 사람의 학습 영상이 각 거리 순서에 포함되는 누적 비율을 나타낸 것이다. 즉 실험4에서 인식이 실패한 17개의 입력 영상 중 12개의 입력 영상은, 그 인식하고자 했던 사람의 학습 영상이 유사도 상위 2번째에 존재했고, 나머지 5개의 입력 영상에 해당하는 학습 영상은 3번째에 존재함으로써, 상위 3번 이내의 유사도에 17개의 인식이 실패한 입력 영상에 해당하는 학습 영상이 모두 존재했다. 실험 2, 3의 경우 인식이 실패한 97개와 82개의 입력 영상에 해당하는 학습 영상은 거리순서 8번째 이내에 모두 존재한다는 것을 알 수 있다. 즉 실험 1처럼 조명 변화가 아주 큰 경우가 아니라면 실험 2, 3, 4의 결과에서 보듯이, PCA기반 얼굴인식 알고리즘이 인식에 실패해도 인식하고자 하는 입력 영상에 해당하는 학습 영상이 유사도 상위 2~3번째 혹은 2~8번째 안에는 존재한다고 해석할 수 있으므로 그림 2의 마지막 단계처럼 이 범위 내에 해당하는 영상에 대해서만 다른 얼굴 인식 알고리즘을 이용해 다시 인식함으로써 전체적인 인식률을 높일 수 있다는 것을 나타낸다.

실험 번호	실패	인식하고자 했던 학습영상의 거리 순서											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	32	
실험1	165	78	99	117	125	132	142	147	147	152			165
실험2	97	55	73	81	88	93	95	97					
실험3	82	52	70	75	79	80	81	82					
실험4	17	12	17										

〈표 3〉 거리 순서에 따른 학습 영상의 누적 분포

5. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 PCA기반 얼굴인식의 결과가 조명이 다양하게 변하는 환경에서 얼마나 신뢰할 수 있는가를 알아보았다. 여기서 그 신뢰도는 인식률이 아닌, 인식이 실패한 경우 그 인식하고자 했던 사람의 학습 영상이 유사도 상위 몇 번째에 존재하는가로 측정되었다. 표 1의 실험 2, 3, 4에 나와 있듯이 조명의 범위가 좌우 $-25^\circ \sim +25^\circ$, 상하 $-20^\circ \sim +20^\circ$ 인 입력 영상에 대해 인식이 실패했을 경우, 인식하고자 했던 학습 영상이 유사도 상위 2~3번째 혹은 2~8번째 이내에 존재한다는 것을 확인할 수 있었다.

앞서 언급되었듯이, PCA기반 알고리즘은 조명변화에 민감하기 때문에 다른 얼굴인식 알고리즘과의 결합을 통해 조명변화에 강건한 시스템을 만들고자 하는 노력이 계속되고 있다.

위와 같은 사실을 근거로, PCA를 통해 얼굴인식을 하고 인식 결과를 결정하는 것이 아니라 우선 PCA기반 알고리즘으로 인식하고자 하는 사람일 가능성이 높은 유사도 상위 2~3번째 혹은 2~8번째 이내의 학습 영상들을 선택해서 인식 대상을 줄인 후, 이렇게 줄여진 인식 대상 영상들에 대해서 조명에 강건한 알고리즘을 사용해서 집중적으로 얼굴 인식을 함으로써 조명 변화에 강건한 얼굴인식 시스템을 현재 연구 중이다.

참고 문헌

- [1] Hyeonjoon Moon, P Jonathon Phillips, "Computational and performance aspects of PCA-based face-recognition algorithms", *Perception*, vol. 30, pp. 303-321, 2001
- [2] Kuang-Chih Lee, Jeffrey Ho, David Kriegman, "Acquiring linear subspaces for face recognition under variable lighting", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 27, pp. 1-15, 2005
- [3] A.S. Georghiades and P.N. Belhumeur, and D.J. Kriegman, "From few to many: Illumination cone models for face recognition under variable lighting and pose," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 23, 2001
- [4] T. hong, H. Kim, H. Moon, Y. Kim, J. Lee, and S. Moon, "Face representation method using Pixel-to-Vertex Map(PVM) for 3D model based face recognition," in lecture notes in Computer Science 3979, pp. 21-28, 2006
- [5] Stan Z. Li, RuFeng Chu, ShengCai Liao, Lun Zhang, "Illumination invariant face recognition using near-infrared images", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 29, pp. 627-639, 2007
- [6] Javier Ruiz-del-Solar, Pable Navarrete, "Eigenspace-based face recognition: A comparative study of different approaches", *IEEE Trans. Systems, Man, And Cybernetics*, vol. 35, pp. 315-325, 2005
- [7] 홍은혜, 고병철, 변해란, "PCA와 LDA를 이용한 실시간 얼굴 검출 및 검증 기법" 정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용, vol. 31, pp. 213-223, 2004
- [8] Yale Face Database B: <http://cvc.yale.edu/projects/yalefacesB/yalefacesB.html>
- [9] Extended Yale Face Database B: <http://vision.ucsd.edu/~lfeck/ExtYaleDatabase/ExtYaleB.htm>