범죄자 얼굴 인식 시스템에 관한 연구

김민선*, 김현정**, 원일용*
*서울호서전문학교 사이버해킹보안과
**건국대학교 컴퓨터공학과
e-mail : minseon90@nate.com, nygirl@konkuk.ac.kr, clccclcc@shoseo.ac.kr

A Study of Criminals Facial Recognition System

Min-seon Kim*, Hyun-jung Kim**, Il-young Won*
*Cyber Hacking Security, Seoul Hoseo Technical College
**Dept. of Computer Science, KonKuk University

요 약

강력 범죄의 심각성이 사회적 이슈가 되면서 효과적인 범죄자 검거의 필요성이 증가되고 있다. 범죄자의 정보 중에서 가장 많이 알려지는 것은 얼굴이다. 따라서 등록되어 있는 범죄자의 얼굴을 자동으로 인식할 수 있는 기술의 연구가 중요해지고 있다.

본 연구는 범죄자 얼굴 인식 시스템에 관한 것이다. 우리는 기존 얼굴인식 알고리즘의 단점인 조명을 개선하여, 범죄자 얼굴 인식률을 향상시키는데 연구를 집중하였다. 제안된 알고리즘의 유용성은 실험을 통하여 검증하였다.

1. 서론

강력 범죄의 심각성이 사회적 이슈가 되면서 효과적인 범죄자 검거의 필요성이 증가하고 있다. 범죄자를 검거하고자 다양한 방법이 이용되고 있는데, 특히 최근 들어 디지털 영상기기(CCTV, 카메라 등) 및 생체 인식 보안을 이용하여 자동으로 범죄자의 얼굴을 인식할 수 있는 시스템이 각광 받고 있다[1]. 생체 인식 중에서도 특히 얼굴 인식은 타 인식(지문, 홍채, 정맥 등) 기술에 비해 거부감 없고 분실할 위험도 없으며 도용할 수도 없어 그 중요성을 높이 인정받고 있다[2].

일반적으로 수집할 수 있는 범죄자의 얼굴 영상은 각도가 일정하지 않으며, 데이터의 품질이 전체적으로 낮은 특징을 가지고 있다. 또 기준으로 지정한 영상과 실제 상황에서 수집되는 영상은 대부분 빛의 조건이 많이 다르다. 따라서 전통적인 얼굴인식 알고리즘을 적용하면 좋은 성과를 기대하기 어려운 점이 있다.

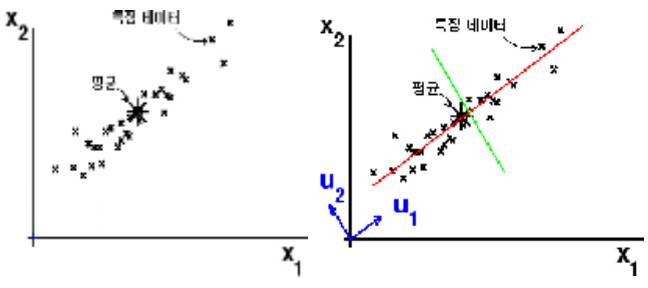
본 연구는 일반적으로 확보한 범죄자의 얼굴 영상과 실제 현장에서 습득할 수 있는 얼굴 영상에서 빛의 차이에 무관하게 동일인을 인식할 수 있는 얼굴인식 알고리즘에 관련된 것이다. 제안된 알고리즘은 얼굴인식 분야에서 가장 광범위하게 사용되는 주성분 분석(PCA: Principal Component Analysis)을 기반으로 명암의 차이를 극복할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

본 논문의 2장에서는 관련 연구를 서술하였고, 3장에서는 제안된 범죄자 얼굴 인식 알고리즘을 소개하였다. 4장에서는 제안된 알고리즘의 효용성을 확인하기 위해 실험 및 결과를 기술하였다. 5장에서는 결론 및 향후 과제를 언급하였다.

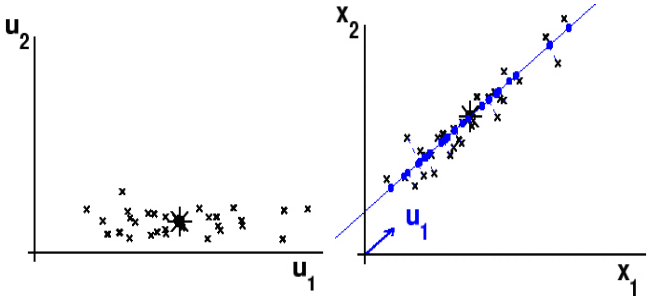
2. 관련 연구

2.1 Principal Component Analysis(PCA)

KL(Karhunen-Loeve, 카루넨-루베)변환 또는 Hotelling (호텔링)변환[3]이라고 불리는 주성분 분석(PCA: Principal Component Analysis)은 템플릿 정합 방식의 대표적인 방식 중의 하나로 고유 얼굴(Eigenface)의 가중치 조합을 통해 원본 영상에 가깝게 영상을 복원할 수 있다는 점에서 가장 효율적인 기법으로 인식되고 있다[4]. 이 PCA는 현재 얼굴 인식 분야에서 가장 널리 알려져 있고, 많이 쓰이는 기법이다. 원래의 데이터를 완전히 표현하기 위해 n개의 주성분(N차원)이 필요하지만 정보의 손실이 최소가 되도록 k개의 주성분(K차원)으로 요약함으로써 차원을 줄이되, 원본 데이터와의 차이를 최소화 할 수 있다. 또한 PCA 기법은 얼굴의 전체적인 형태를 잘 반영한다. 그러나 얼굴의 표정, 조명, 변장(안경, 마스크, 모자) 등에 민감하고 얼굴은 카메라와 범죄자 사이의 거리, 범죄자의 자세에 따라서 그 크기와 회전 그리고 위치의 이동 등의 변화가 발생하므로 인식률이 크게 달라지는 단점이 있다[5].



(a) (b)



(c) (d)

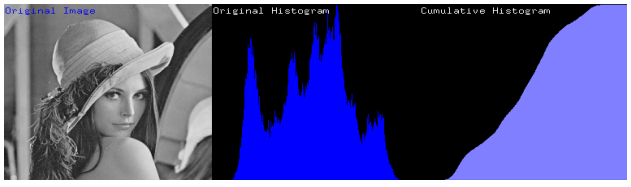
(그림 1) Principal Component Analysis

(그림 1)은 2차원의 데이터를 1차원의 데이터로 축소하는 과정을 나타낸 것이다. (a)는 원본 PCA 데이터이고, (b)는 주성분 계산 및 주축을 확인하는 과정이다. (c)는 주성분이 주축을 이루도록 데이터를 회전을 한 결과이며, (d)는 원본 데이터를 주성분으로 사상시켜 1차원 데이터로 차원을 축소한 결과이다.

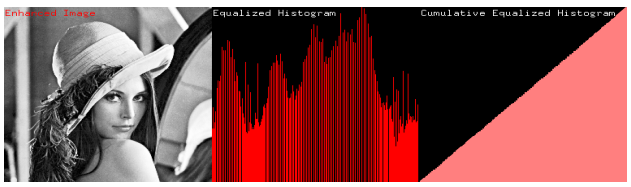
2.2 Histogram Equalization

히스토그램 평활화(또는 히스토그램 균등화)로 불리는 Histogram Equalization은 영상 픽셀 값의 동적 영역을 변경시키는 방법 중 하나이다. 히스토그램 평활화는 히스토그램을 평균화하는 것이 아니라 명암도의 분포를 균일하게 해주는 것으로써, 명암도 분포가 고르지 않고 한쪽으로 치우쳐 있는 히스토그램을 인위적으로 재분배 과정을 통해 일정한 분포를 가진 히스토그램으로 만드는 알고리즘이다[4].

히스토그램 평활화는 궁극적으로 평탄한 분포를 가지는 히스토그램을 생성하기 위한 것이다. 그러나 히스토그램 변환 함수에 너무 의존한 나머지 변환 영상의 밝기 값이 과도하게 변한다는 문제점이 발생한다. 즉, 원 영상 내에서 어두운 부분에 대하여 변환함수를 적용할 땐 유용하나, 밝은 부분에 대하여 변환함수를 적용했을 때에는 오히려 화질이 떨어지는 역효과를 일으킨다.



(a)



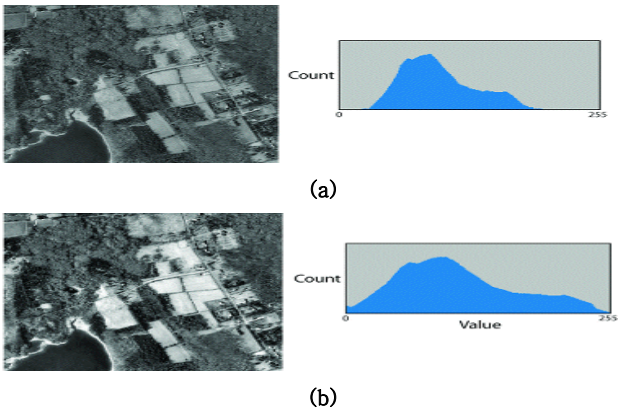
(b)

(그림 2) (a) 원 영상, (b) Histogram Equalization을 적용한 결과 영상

2.3 Contrast Stretching

명암대비 스트레칭으로 불리는 Contrast Stretching은 영상의 명암대비를 조절하여 눈, 코, 입 등의 특징 부분을 강조할 수 있다. 영상의 명암도 분포를 최대한 활용하도록 히스토그램 픽셀 분포를 펼쳐주는 역할을 한다.

낮은 명암 대비에서 히스토그램의 화소가 양 끝 또는 중앙에 밀집되어 나타나거나, 높은 명암 대비에서 히스토그램의 왼쪽과 오른쪽에 큰 마루가 생기는 데 이런 경우에 Contrast Stretching을 사용하여 히스토그램의 분포를 넓힐 수 있다[6].



(그림 3) (a) 원영상, (b) Contrast Stretching을 적용한 결과 영상

Contrast Stretching은 크게 기본 명암 대비 스트레칭과 엔드-인 탐색 기법(End-In Search)이 있다. 기본 명암 대비 스트레칭은 특정 부분에 명암도가 치우쳐있는 영상에 적용하는 기법이고, 엔드-인 탐색기법은 영상의 명암도가 넓게 분포하고 있지만 히스토그램에서 특정한 골이나 마루가 있을 때 사용하는 기법이다[7].

(1)은 기본 명암 대비 스트레칭의 공식이고, (2)는 엔드-인 탐색 기법의 공식이다.

$$I_{NewPixel} = \frac{I_{OldPixel} - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \times (L-1) \qquad (1)$$

$$I_{NewPixel} = \begin{cases} 0 & I_{OldPixel} \le I_{\min} \\ \dfrac{I_{OldPixel} - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \times (L-1) & I_{\min} \le I_{OldPixel} \le I_{\max} \\ L-1 & I_{max} \le I_{OldPixel} \end{cases} \qquad (2)$$

(1), (2)에서 $I_{NewPixel}$은 결과 영상 화소의 명암도이고, $I_{OldPixel}$은 원 영상 화소의 명암도이다. 그리고 I_{min}, I_{max}는 각각 원 영상의 최소 명암도와 최대 명암도이며 L-1은 결과 영상의 최대 명암도이다.

Contrast Stretching은 Histogram Stretching 또는 Normalization, Dynamic Range Expansion이라고도 불린다[8].

3. 범죄자 얼굴 인식 알고리즘

PCA 기법은 조명에 민감해서 작은 조명의 변화에도 인식률이 크게 달라지는 단점이 있다. 이를 범죄자 데이터의 특성과 함께 고려했을 때, 범죄자 얼굴 인식 시스템에 그대로 적용하면 좋은 성능을 기대하기 어렵다. 그러므로 PCA를 기반으로 하되 조명 문제를 해결할 수 있는 알고리즘을 고려해야 한다.

본 논문에서는 조명을 개선하기 위해서 Histogram Equalization과 Contrast Stretching을 적용했다. 아래는 범죄자 얼굴 인식 시스템의 알고리즘을 간략하게 나타낸 것이다.

1. 범죄자 영상을 입력 받는다.
2. PCA를 이용해 가장 가까운 후보자와의 거리를 구한다.
   2.1 구한 거리가 α 값 범위 내에 있으면 해당 후보자를 선택하고 종료한다.
   2.2 구한 거리가 α 값 범위를 초과하면 다음 단계로 간다.
3. 입력된 영상에 Histogram Equalization을 수행한 후 가장 가까운 후보자와의 거리를 구한다.
   3.1 구한 거리가 β 값 범위 내에 있으면 해당 후보자를 선택하고 종료한다.
   3.2 구한 거리가 β 값 범위를 초과하면 다음 단계로 간다.
4. 입력된 영상에 Contrast Stretching을 수행한 후 가장 가까운 후보자를 선택한다.

(그림 4) 범죄자 얼굴 인식 알고리즘

제안된 범죄자 얼굴 인식 알고리즘은 테스트 영상을 범죄자 데이터베이스와 비교한다. 테스트 영상과 주성분이 가장 유사한 범죄자 영상을 찾을 때 유사도 값을 정량적으로 계산하여 지정된 Threshold 값 범위 내에 있으면 범죄자로 판단하고, 그렇지 않으면 입력된 영상에 변화를 준다. 입력된 영상의 명암을 변화시키기 위하여 Histogram Equalization과 Contrast Stretching을 적용한다. 이 두 기법을 적용하는 이유는 현재 입력된 영상을 기준으로 명암을 더욱 높이거나 낮추어 우리가 가지고 있는 원본 영상에 가깝도록 하기 위해서다. 변경된 영상이 원본 영상에 가까워질수록 높은 상관관계를 가지므로 얼굴 인식률은 상대적으로 높아진다.

4. 실험 및 결과

경찰청 홈페이지에 게시된 주요 지명 수배자들의 데이터는 특정한 조건에서의 이미지 1장만 습득이 가능하므로 다양한 조건에서 이미지를 얻기에는 어려움이 있다. 실험을 위해 본 논문에서는 10명의 피실험자를 선정하고 명암의 변화가 다양한 4가지 환경을 조성하여 데이터를 수집하였다. (그림 5)는 실험을 위해 습득한 자료 중 한 예이다.

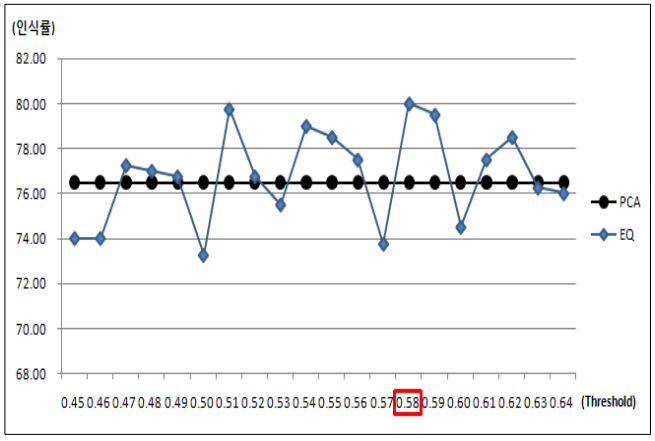
(그림 5) 다양한 조명 환경에서의 데이터

40개의 데이터 중에서 무작위로 한 사람 당 하나의 얼굴씩 총 10개의 데이터를 선택하여 PCA로 학습(Learning)을 한다. 이 학습된 결과로 범죄자 데이터베이스를 만든 후 40개의 데이터로 성능을 테스트했다.

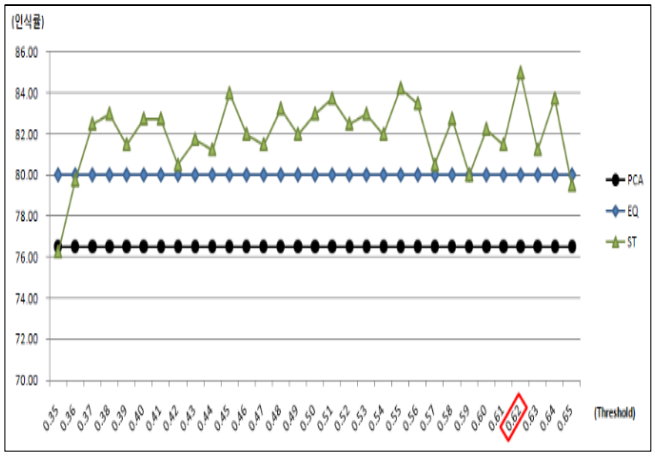
제안된 알고리즘에서 최적의 Threshold 값을 찾기 위해 0.01단위로 세밀하게 실험을 실시하였다. 알고리즘의 얼굴 인식률은 아래와 같이 평가했다.

$$\text{인식률} = \frac{Success}{Success + Failed} \times 100$$

Success는 범죄자 데이터베이스와 일치하는 데이터 개수이고, Failed는 범죄자 데이터베이스와 일치하지 않는 데이터 개수이다. 이러한 실험을 각 Threshold 당 10회씩 실행했고, 그 평균으로 최종 인식률을 측정했다.



(그림 6) α 값의 변화에 따른 얼굴 인식률의 변화



(그림 7) β 값의 변화에 따른 얼굴 인식률의 변화

(그림 6), (그림 7)에서 가로축은 Threshold이고, 세로축은 인식률이다. (그림 6)은 PCA와 Histogram Equalization을 수행했을 때, 인식률을 가장 많이 향상시킬 수 있는 최적의 Threshold(α)를 찾기 위한 과정이다. 그림에서 PCA는 기존의 PCA를 적용했을 때의 인식률을 나타낸 것이다. PCA의 인식률은 Threshold에 관계없이 76.50%로 고정되어 있다. EQ는 PCA를 수행한 후 Histogram Equalization 하는 과정에서 Threshold(α)에 따른 인식률을 나타낸 것이다. α 가 달라지면 인식률에도 변화가 생긴다는 것을 확인 할 수 있다. (그림 7)은 PCA와 Histogram Equalization, Contrast Stretching을 수행했을 때, 인식률이 가장 향상될 수 있는 최적의 Threshold(β)를 찾기 위한 과정이다. 그림에서 PCA는 (그림 6)의 PCA와 동일하다. EQ는 (그림 6)에서 최적화된 α 를 찾은 후 그 값을 설정한 것이다. ST는 PCA, Histogram Equalization을 수행하고 난 후, Contrast Stretching을 수행하면서 Threshold(β)에 따른 인식률을 나타낸 것이다.

실험한 결과, PCA를 했을 때 Histogram Equalization을 수행하기 위한 최적의 α 는 0.58이고, Histogram Equalization을 수행한 후 Contrast Stretching을 하기 위한 최적의 β 는 0.62이다. 이 때, 전체 인식률은 약 85%로 측정되었다.

5. 결론 및 향후 과제

범죄자의 정보 중에서 가장 많이 알려진 것은 얼굴 영상이다. 따라서 범죄자의 얼굴을 미리 등록해놓고 자동화된 방법으로 인식하는 알고리즘 연구는 중요성이 증가하고 있다. 실제의 범죄자의 얼굴 영상은 대체적으로 그 질이 낮고 또 제한된 환경에서의 수집된 영상만 확보할 수 있다. 따라서 기존의 얼굴 인식 알고리즘을 이용한 단편적인 적용은 그 성능에 많은 한계를 지니고 있다.

이러한 환경 요소 중에서 빛의 변화에 대응하여 다양한 환경에서 동일인을 인식할 수 있는 알고리즘을 제안하였으며 실험으로 제안된 알고리즘의 성능을 측정했다. 실험결과 제안된 알고리즘은 다양한 환경에서 단순히 PCA만 사용하는 것 보다 고려할 만한 성능을 보여주었다.

범죄자 자동 인식 시스템이 실제 환경에서 사용되려면 빛의 문제 뿐 아니라 다양한 각도에서의 얼굴 인식을 자연스럽게 수행할 수 있어야 하며, 분장 등에 의한 변형도 인지할 수 있어야 한다는 요구 조건이 있다. 또 범죄자가 아닌 사람들의 처리에 대해서도 고려해야 한다. 추후 과제는 이러한 문제를 해결할 수 있도록 알고리즘을 확장하는 것이다.

참고 문헌

[1] 박창욱 외 2명, “패턴인식을 적용한 디지털 영상 분류기법”, 한국방송공학회 학술발표대회 논문집, 2008, pp.187~190
[2] 배경율, "인터넷 뱅킹의 사용자 인증을 위한 얼굴인식 시스템의 설계", 한국지능정보시스템학회논문지, 2003, 12월, pp.193~205
[3] Z.Sun, G.Bebis, X.Yuan, S.J.Louis, "Genetic Feature Subset Selection for Gender Classification : A Comparison Study", Applications of Computer Vision, 2002(WACV 2002). Proceedings Sixth IEEE Workshop on, Dec.2002, pp.165-170
[4] 신상일, "PCA 기법과 히스토그램 평활화를 이용한 얼굴 인식에 관한 연구(A Study on the Face Recognition using PCA and Histogram Equalization)", 광운 대학교 정보 통신 대학원 컴퓨터 공학 전공, 석사학위 논문, 2006
[5] 경북대학교 전자기술 연구소, 초고속 통신망에서 인간 시각 시스템 특성에 기반한 신원확인 시스템 개발에 관한 연구, 1999, pp.17-18
[6] 장준영, “미술품의 양식과 도상학의 분석을 위한 이미지 블랜딩”, 세종대학교대학원 디지털 콘텐츠 학과, 2008, pp.22-23
[7] 유명현, 박정선 등, “얼굴 기반 생체 인식 기술의 현황과 전망”, 정보과학회 논문지, 19권 7호(2001), 22-31
[8] http://en.wikipedia.org/wiki/Normalization_(image_processing)