

# 효과적인 검출기와 칼만 필터를 이용한 강인한 얼굴 추적 시스템

성치영<sup>†</sup>, 강병두<sup>\*\*</sup>, 전재덕<sup>\*\*\*</sup>, 김종호<sup>\*\*\*\*</sup>, 김상균<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## 요 약

본 논문은 연속적으로 입력되는 비디오 영상에서 효과적인 얼굴 검출기와 칼만 필터를 이용하여 강인하게 얼굴을 추적하는 시스템을 제안한다. 효과적인 얼굴 검출기를 구성하기 위해 간단한 다섯 가지 타입의 Haar-like 특징값들을 이용하여 얼굴 특징을 추출한다. 추출된 특징값들은 PCA(Principal Component Analysis)를 이용하여 재해석되고, 해석된 주성분들을 SVM(Support Vector Machine)의 입력값으로 사용하여 얼굴과 배경으로 분류한다. 검출된 얼굴의 정적정보와 프레임간 변화량을 이용한 동적정보를 칼만 필터(Kalman Filter)에 적용하여 얼굴을 추적한다. 실시간에 적용 가능한 시스템을 구현하기 위하여 얼굴 검출 회수를 조정하여 처리속도를 향상시켰다. 실험결과, 평균 95.5%의 추적 성공률과 초당 15 프레임 처리 성능으로 강인한 실시간 얼굴 추적이 가능함을 보여주었다.

## A Robust Face Tracking System using Effective Detector and Kalman Filter

Chi-Young Seong<sup>†</sup>, Byoung-Doo Kang<sup>\*\*</sup>, Jae-Deok Jeon<sup>\*\*\*</sup>,  
Jong-Ho Kim<sup>\*\*\*\*</sup>, Sang-Kyoon Kim<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

We present a robust face tracking system from the sequence of video images based on effective detector and Kalman filter. To construct the effective face detector, we extract the face features using the five types of simple Haar-like features. Extracted features are reinterpreted using Principal Component Analysis (PCA), and interpreted principal components are used for Support Vector Machine (SVM) that classifies the faces and non-faces. We trace the moving face with Kalman filter, which uses the static information of the detected faces and the dynamic information of changes between previous and current frames. To make a real-time tracking system, we reduce processing time by adjusting the frequency of face detection. In this experiment, the proposed system showed an average tracking rate of 95.5% and processed at 15 frames per second. This means the system is robust enough to track faces in real-time.

**Key words:** Face Tracking(얼굴 검출), Face Detection(얼굴 검출), PCA(주성분 분석), SVM(서포트 벡터 머신), Kalman Filter(칼만 필터)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김종호, 주소: 경남 김해시 어방동 607번지 인제대학교 컴퓨터공학부(621-749), 전화 : 055)320-3269, FAX : 055)322-3107, E-mail : lucky@cs.inje.ac.kr

접수일 : 2006년 7월 11일, 완료일 : 2006년 8월 28일

<sup>†</sup> 준회원, 에버테크노(주) Vision 개발그룹 연구원  
(E-mail : cy1224@gmail.com)

<sup>\*\*</sup> 준회원, 인제대학교 전산학과 대학원  
(E-mail : deweyman@netsgo.com)

<sup>\*\*\*</sup> 준회원, 인제대학교 컴퓨터공학부  
(E-mail : whitey22@nate.com)

<sup>\*\*\*\*</sup> 준회원, 인제대학교 전산학과 대학원

<sup>\*\*\*\*\*</sup> 종신회원, 인제대학교 컴퓨터공학부 부교수  
(E-mail : skkim@cs.inje.ac.kr)

## 1. 서 론

실시간 얼굴 추적 시스템은 사용자 식별을 통한 출입 통제 시스템, 특정 사용자 인식 및 추적을 통한 사용자 행위 인식 등 매우 광범위한 분야에 걸쳐 응용되고 있다. 이러한 얼굴 추적의 중요한 전제 조건으로 첫 번째는 영상 내에서 얼굴이 어디에 위치하고 있는지를 찾아내는 얼굴 검출 단계이다. 그리고 두 번째는 검출된 얼굴을 지속적으로 추적하는 단계이다. 이에 따라 최근 실시간에 효과적으로 얼굴을 검출하고 추적하기 위한 다양한 방법론이 활발히 연구되고 있다.

기존의 얼굴 추적 방법으로는 컬러, 형태, 컬러와 형태 정보를 결합한 방법 그리고 얼굴 특징 기반 등이 있다. 컬러 기반 추적은 가우시안 혼합 모델(Gaussian-Mixture Model)을 사용하여 시간에 따라 스킨 컬러 모델을 갱신하는 방법으로 얼굴을 추적한다[1,2]. 그러나 급격한 조명 변화 또는 피부색과 유사한 물체가 배경에 존재하는 경우 다루기 어려운 단점이 있다. 형태기반 방법 중 하나로 머리 부분의 경계선을 검출하고 2계 도함수가 목 부분에서 가장 크다고 가정하여 차영상을 이용한 얼굴 추적 방법이 있다[3]. 이 방법은 연산량이 적다는 장점을 가지고 있다. 그러나 경계선을 이용하므로 머리의 국부적인 폐색이 발생할 시 좋은 성능을 보장 할 수 없으며, 차영상을 이용하기 때문에 일정 시간 내에 얼굴의 움직임이 없을 경우 또는 순간적인 조명 변화에 취약하다. 위 두 가지 방법의 단점을 극복하기 위해 컬러와 형태정보를 결합한 방법이 제시 되었다[4]. 이 방법은 형태 정보를 획득하기 위해 타원형을 갖는 얼굴의 경계에서 그래디언트 규모(gradient magnitude)의 합을 측정한 그래디언트 모듈(Gradient module)과 그 타원 내부의 칼라 히스토그램을 측정한 칼라 모듈(Color module)을 사용하였다. 그러나 이 방법은 복잡한 배경 영상이나 타원 주의에 피부색이 많이 분포하는 영상에서는 두 모듈 정보를 결합하기 어려운 단점을 가지고 있다. 얼굴 내 특징 정보를 이용한 추적으로 얼굴내의 눈, 코, 입 등의 기하학적 위치 정보를 이용하는 방법이 있다[5]. 이 방법은 효과적인 추적을 위해서 각 특징들에 대해 독립적인 추적기를 구성해야 하는 단점이 있다. 또 다른 특징기반 추적 중 하나로 확장된 Haar-like 특징을 이용한 얼굴

검출기와 변형된 DP(Dynamic Programming) 매칭 기법을 이용하는 방법이 있다[6]. 이 방법은 검출기의 재학습이 필요 없이 다양하게 변화하는 각도의 얼굴에 대한 추적이 가능하다. 그러나 일정 시간동안 정면 얼굴이 입력되지 않거나, 눈 또는 입의 위치가 매칭 영역을 벗어나는 경우 추적에 실패하게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 연속적으로 입력되는 영상에서 효과적인 검출기와 칼만 필터를 이용하여 강인하게 실시간으로 얼굴을 추적하는 방법을 제안한다. 먼저 학습데이터 양에 영향을 받지 않는 PCA[7]와 SVM[8]을 이용한 효과적인 얼굴 검출기를 구성한다. 이 검출기는 소량의 학습 데이터를 사용하므로 시스템 구축에 따르는 노력과 시간을 줄일 수 있다. 검출기를 통해 획득된 정적정보와 이전과 현재 프레임 간의 변화량을 이용한 동적 정보를 칼만 필터에 적용하여 얼굴을 추적한다. 검출 시 부가되는 연산량을 줄이기 위해 단위 프레임당 검출 수행 빈도에 따른 추적 성능을 실험하였다.

제안하는 시스템은 추출된 Haar-like 특징값을 PCA를 통해 얼굴과 배경에 대한 설명비율이 높은 특징값으로 정규화하고 이진분류에 높은 성능을 가진 SVM을 이용하여 검출률을 높인다. 얼굴 검출기와 최적 예측을 수행하는 칼만 필터를 이용하여 시간에 따른 변화량을 잡음으로부터 안정화시켜 추적률을 높인다.

## 2. 얼굴 추적 시스템 개관

본 논문에서 제안하는 시스템의 전체 흐름도는 그림 1과 같다. 첫 번째 단계는 입력 영상에서 PCA와

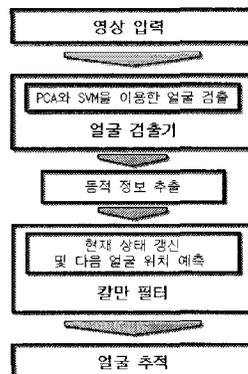


그림 1. 얼굴 추적 시스템의 전체 구조

SVM을 이용한 검출기로 얼굴을 검출한다. 다음으로 검출된 프레임에서 정적정보와 동적정보를 획득한다. 마지막으로 획득된 정보를 조합하여 칼만 필터의 입력 값으로 사용하여 얼굴을 추적한다.

### 3. 얼굴 검출기 구성

연속적으로 입력되는 영상에서 얼굴 추적의 정확도를 높이기 위해서는 높은 검출 성능을 보장하는 검출기가 필요하다. 본 논문에서는 높은 검출률을 보장함과 동시에 효과적으로 구성할 수 있는 검출기를 사용하였다. 먼저 얼굴 영상에서 Haar-like 특징을 추출한다. 두 번째 단계는 추출된 Haar-like 특징값을 PCA를 이용하여 얼굴과 얼굴이 아닌 영역들을 잘 판별하는 특징들을 선별한다. PCA를 통해 선별된 특징들은 SVM 분류기의 특징 벡터로 사용한다. 최종적으로 SVM 분류기는 학습된 패턴을 이용하여 얼굴과 비얼굴 부분을 분류한다.

#### 3.1 특징 추출 및 분류기 학습

본 논문에서는 얼굴 특징을 추출하기 위해 그림 2와 같은 다섯 종류의 심플한 Haar-like 특징을 이용하였다. 이 Haar-like 특징은 각 영역들 간의 평균에 대한 차를 나타내기 때문에 픽셀 기반의 특징 보다 연산이 간단하고 효율적이다. 그러나 이 특징들은 매우 많은 양의 학습 데이터를 필요로 한다. 따라서 우리는 PCA를 이용하여 특징 값을 분석하기 위하여 학습데이터(그림 4) 중에서 얼굴 영상 100개와 비얼굴 영상 100개를 사용하였다.

각 5개의 특징들로부터 모든 가능한 특징 값을 추출하고 PCA를 통해 설명 비율이 90% 이상 되는 유용한 12개의 주성분을 사용하였다. 12개의 주성분들을 사용하여 모든 가능한 162,336개의 Haar-like 특징값들 중에서 288차원의 유용한 Haar-like 특징을 선별한다. 선별된 288차원의 특징 값들은 SVM 분류기의 입력 벡터로 사용되어진다. 그림 3은 PCA를 이용하여 선별된 288차원의 유용한 특징들을 보여준다.

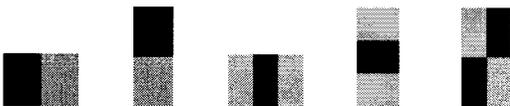


그림 2. 특징 추출에 사용된 5가지 Haar-like 특징 타입

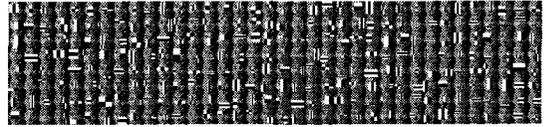
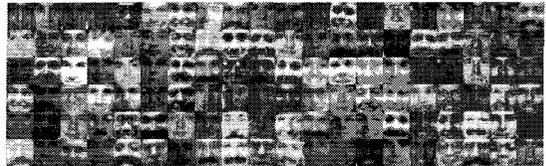


그림 3. 선별된 288차원의 유용한 특징들

본 논문에서는 학습데이터를 구성하기 위해 총 6977개의 MIT CBCL 학습 Face Data Set[9] 중 얼굴 영상 1000개, 얼굴이 아닌 영상 1000개를 랜덤으로 추출하고 각 이미지를 24×24로 정규화 하였다. 그림 4는 본 논문에서 사용한 학습데이터를 보여준다.

그림 5는 심플한 특징 추출, 특징 분석, 그리고 분류기 구성에 대한 전체 과정을 나타낸다. 먼저 PCA를 통해 추출된 Haar-like 특징들로부터 유용한 특징들을 선별한다. 선별된 288 차원의 유용한 특징들을 그림 4의 얼굴 1000개, 비얼굴 1000개의 전체 학습 영상에 적용하여 입력 벡터로 변환한다. 마지막으로 변



(a) 얼굴 데이터



(b) 비얼굴 데이터

그림 4. 학습에 사용된 총 2000개의 MIT-CBCL 얼굴 데이터와 비얼굴 데이터의 일부분

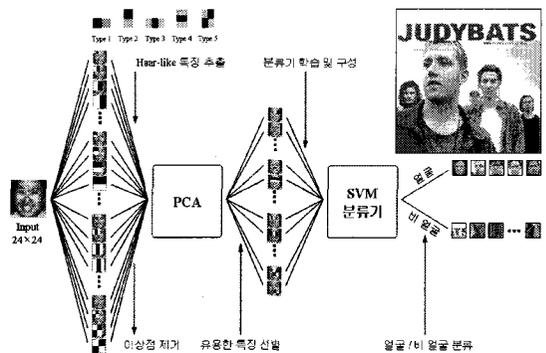


그림 5. 얼굴 검출기 구성의 전체 과정





5.1 검출기의 수행 빈도에 따른 추적 성능

표 1은 검출기의 수행 빈도에 따른 검출 성공률과 추적 성공률을 수치적으로 나타내었다. 그림 10은 표 1의 각 검출 수행 빈도에 따라 칼만 필터를 통해 추적된 얼굴의 중심  $x$ 좌표를 그래프로 나타내었다. (a)는 모든 프레임에 대해 검출을 수행하고 얼굴을 추적한 결과이다. (b)는 두 프레임 간격으로 검출을 수행한 추적 결과이다. 비록 두 프레임 간격으로 검출을 수행 하더라도 모든 프레임에 대해 검출을 수행한 (a)와 유사한 추적 성능을 보였다. 세 프레임 간격으로 검출을 수행한 (c)의 경우 검출 정보 손실에 기인한 칼만 필터 연산 시 예측 오차로 인해 낮은 추적률을 보여주었으며, 그래프와 같이 다소 불안정한 추적 결과를 보여주었다.

그림 11은 동일한 입력 영상에서 PCA와 SVM을 이용한 검출기의 수행 빈도에 따른 추적 결과를 보여 주고 있다. 각 그림의 홀수 행은 얼굴 검출 결과를 나타내었다. 짝수 행은 칼만 필터를 적용하여 얼굴을 추적한 결과를 나타내었다. 그림 11의 (a)는 모든 프레임에 대해 검출을 수행하고 추적한 결과이다. (b)는 두 프레임 간격으로 검출을 수행하고 추적한 결과이다. 그림 11에서 보여주는 결과와 같이 두 프레임 간격으로 검출을 수행 하더라도 성공적인 추적이 가

표 1. 검출 수행 빈도에 따른 얼굴 검출 및 추적 결과

| 검출 수행 빈도     | 얼굴 검출    |         | 얼굴 추적    |         |
|--------------|----------|---------|----------|---------|
|              | 검출 실패    | 검출률 (%) | 추적 실패    | 추적률 (%) |
| (a) 모든 프레임   | 261/2490 | 89.5    | 129/2490 | 94.9    |
| (b) 2 프레임 간격 | 120/1245 | 90.4    | 134/2490 | 94.6    |
| (c) 3 프레임 간격 | 85/830   | 89.8    | 433/2490 | 82.6    |

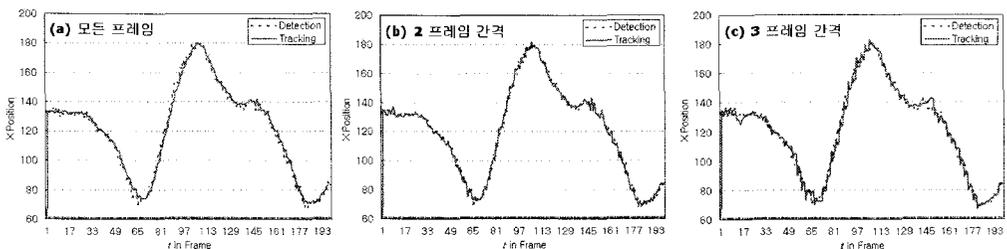
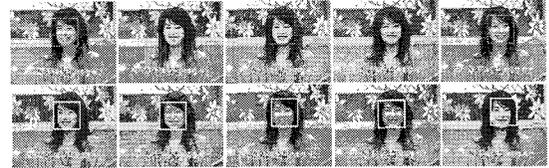


그림 10. 프레임별 검출 수행 빈도에 따른 얼굴 중심  $x$ 좌표 추적 그래프

Frame323 324 325 326 327



(a) 입력되는 모든 프레임의 검출 수행 및 추적 결과



(b) 두 프레임 간격으로 검출 수행 시 추적 결과

그림 11. 동일 입력 영상에서 검출 수행 빈도에 따른 얼굴 추적 결과

능함을 보여 준다. 또한 검출 시에 부가되는 연산부하를 50%로 줄일 수 있기 때문에 전체적인 추적 시스템의 속도 또한 증가되는 이점을 얻을 수 있었다.

5.2 다양한 조건의 영상에서의 추적 실험

그림 12, 13, 14는 다양한 조건의 입력 영상에서 얼굴을 검출하고 추적한 결과를 보여준다. 그림 12는 검출기 구성 시 학습 영상에 포함 되지 않은 얼굴의 기울기 변화가 심한 입력 영상에서 얼굴 검출이 실패 하더라도 성공적으로 추적이 가능함을 보여준다. 그림 13은 101과 103 프레임에서 얼굴영역의 부분적인 폐색으로 인해 얼굴을 검출하지 못하더라도 성공적으로 추적이 가능함을 보여준다. 그림 14는 얼굴을 정확히 검출함과 동시에 얼굴 이외의 부분이 검출 되더라도 기존 얼굴을 지속적으로 추적하는 결과를 보여준다.

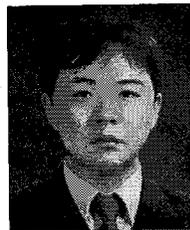




- [3] C. Wang and M.S. Berstein, "A Hybrid Real-Time Face Tracking System," *Proc. IEEE Int'l Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol. 6, pp. 12-15, 1998
- [4] S. Birchfield, "Elliptical Head Tracking using Intensity Gradient and Color Histogram," *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 232-237, 1998.
- [5] G. Hager and K. Toyama, "X Vision: A Portable Substrate for Real-Time Vision Applications," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 69, No. 1, pp. 23-37, 1998.
- [6] Z. Yao and H. Li, "Tracking a Detected Face with Dynamic Programming," *Image and Vision Computing*, Vol. 24, No. 6, pp. 573-580, 2006.
- [7] R.A. Johnson and D.W. Wichern, *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Prentice Hall, pp. 356-395, 2002.
- [8] V. Vapnik, *The Nature of Statistical Learning Theory 2nd Edition*, Springer, 2002.
- [9] MIT CBCL(Center for Biological and Computation Learning) Face Database, <http://www.ai.mit.edu/projects/cbcl>
- [10] CMU Image Data Base: Face, [http://vasc.ri.cmu.edu/idb/html/face/frontal\\_images/](http://vasc.ri.cmu.edu/idb/html/face/frontal_images/)
- [11] P. Viola and M. Jones, "Robust Real-Time Face Detection," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 57, No. 2, pp. 137-154, 2004.
- [12] B.K.P. Horn, *Robot Vision*, MIT Press, 1986.
- [13] D. Comaniciu, V. Ramesh, and P. Meer "Real Time Tracking of Non-Rigid Objects Using Mean Shift" *Proc. IEEE Int'l Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 2, pp. 142-149, 2000.
- [14] M. Isard and A. Blake, "CONDENSATION-Conditional Density Propagation for Visual Tracking" *International Journal of Computer Vision*, Vol. 29, No. 1, pp. 5-28, 1998.
- [15] C.K. Chui and G. Chen, "Kalman Filtering

with Real-Time Application," *Springer-Verlag*, pp.42-45, 1991.

- [16] G. Welch and G. Bishop, *An Introduction to the Kalman Filter*, University of North Carolina at Chapel Hill, Department of Computer Science, TR 95-041.
- [17] Open-Video, <http://www.open-video.com>
- [18] Boston University IVC Head Tracking Video Set, <http://www.cs.bu.edu/groups/ivc/>
- [19] R. Lienhart and J. Maydt, "An Extended Set of Haar-like Features for Rapid Object Detection," *Proc. IEEE Int'l Conf. Image Processing*, Vol. 1, pp. 22-25, 2002.



**성치영**

2005년 인제대학교 컴퓨터공학부 졸업(공학사)  
 2005년~현재 인제대학교 대학원 전산학과 석사과정  
 2006년 8월~현재 에버테크노(주) Vision 개발그룹 근무

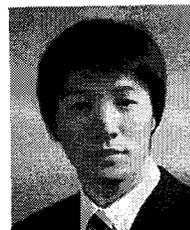
관심분야 : 패턴인식, 머신비전, 정보보호



**강병두**

2001년 인제대학교 정보컴퓨터학부 졸업(정보컴퓨터학사)  
 2003년 인제대학교 대학원 전산학과 졸업(전산학석사)  
 2003년~현재 인제대학교 대학원 전산학과 박사과정

관심분야 : 정보검색, 정보보호, 패턴인식, 컴퓨터비전



**전재덕**

1999년~현재 인제대학교 컴퓨터학부 재학

관심분야 : 정보검색, 정보보호, 패턴인식, 컴퓨터비전



김 종 호

2002년 인제대학교 정보컴퓨터학  
부 졸업(정보컴퓨터학사)  
2004년 인제대학교 대학원 전산  
학과 졸업(전산학석사)  
2004년~현재 인제대학교 대학원  
전산학과 박사과정

관심분야 : 정보검색, 패턴인식, 컴퓨터비전



김 상 균

1991년 경북대학교 통계학과 졸  
업(이학사)  
1994년 경북대학교 대학원 컴퓨  
터공학과 졸업(공학석사)  
1996년 경북대학교 대학원 컴퓨  
터공학과 졸업(공학박사)  
1996년~현재 인제대학교 컴퓨터  
공학부 부교수

관심분야 : 패턴인식, 정보검색, 정보보호