

# 임베디드시스템을 위한 고속 눈검출 알고리즘

## (Fast Eye-Detection Algorithm for Embedded System)

이 승 익\*

(Lee Seung-Ik)

**요약** 본 논문에서 임베디드시스템에 적용 가능한 눈 검출 알고리즘을 제안하였다. 특히, 감시카메라나 자동현금인출장치 또는 운전자의 졸음운전방지를 위한 눈 검출에서는, 주로 정면얼굴에서의 눈 검출이 이루어지므로 본 논문에서는 이러한 조건을 목표로 눈 검출 알고리즘을 제안하였다. 눈영역을 검출하기 위해, 특성벡터를 먼저 추출하고 그 다음, 주성분 분석법 및 진폭투시법에 의해 전체 특성벡터를 구성한다. 이렇게 구성된 특성벡터들의 공분산을 구한 후, 판별단계에서 베이즈 방법에 의해 구해진 확률분포함수를 이용하여 정면얼굴의 눈 영역 부분을 검출한다. 또한 본 논문에서 제안한 판별 알고리즘을 이용하여 입력 영상의 눈영역을 찾기 위한 실험식도 제안하였다. 모의 실험결과 정면얼굴에서의 눈검출율은 매우 높았으며 계산을 위한 특성벡터 또한 적음으로써 실시간 특성을 요하는 임베디드시스템에 적용 가능함을 알 수 있었다.

**핵심주제어** : 눈검출, 실시간 임베디드시스템, 특성벡터, 주성분 분석법

**Abstract** In this paper, we propose the eye detection algorithms which can apply to the Real-Time Embedded systems. To detect the eye region, the feature vectors are obtained at the first step and then, PCA(Principal Component Analysis) and amplitude projection method is applied to composite the feature vectors. In the decision state, the estimated probability density functions (PDFs) are applied by the proposed Bayesian method to detect eye region in an image from the CCD camera. The simulation results show that our proposed method has a good detection rate on the frontal face and this can be applied to the embedded system because of its small amount of the mathematical complexity.

**Key Words** : Eye detection, Embedded system, Feature vector, Principal Component Analysis.

### 1. 서론

눈검출은 생체인식뿐만 아니라 다양한 응용시스템에 적용되는 알고리즘이다. 최근에는 이러한 눈 검출을 이용한 졸음운전 방지시스템, 홍채를 이용한 생체인식의 전 단계, 감시카메라 등 다양한 분야에 이용되는 얼굴검출과 함께 각광받는 연구 분야로 인식되고 있다. 이러한 눈 검출은 컬러영상을 이용한 알고리즘, 흑백영상을 이용한 알고리즘, 또

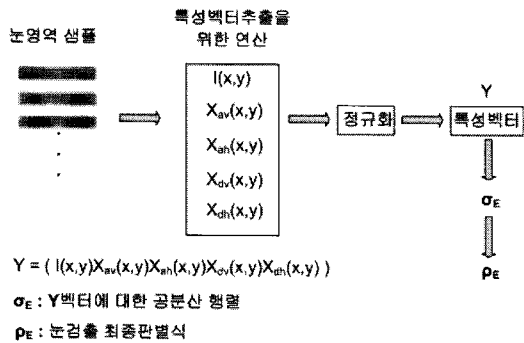
는 적외선 카메라를 이용한 눈 검출 알고리즘 등 여러 가지 눈 검출 알고리즘이 있으며 적외선 카메라를 이용한 눈 검출은 비교적 높은 눈 검출 인식률을 보이고 있으나 적외선 카메라를 이용해야 한다는 단점이 있다. 본 논문에서는 일반적으로 널리 사용되고 있는 흑백 감시카메라를 이용한 눈 검출 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안한 알고리즘은 기존의 눈 검출 알고리즘에서 발생할 수 있는 계산의 복잡도를 줄임으로써, 실시간 시스템에 적용 가능한 눈 검출 방법을 제안하였다.

\* 경일대학교 전자정보통신공학부 전임강사

## 2. 제안한 눈검출 알고리즘

본 논문에서는 정면얼굴에서의 눈 검출을 위해, 주성분 분석법 및 진폭투시법등으로 얼굴검출알고리즘을 이용하였다. Liu등[1,2,3]이 제안한 알고리즘에서 주성분분석법을 이용하기 전 특성벡터를 구하기 위해 얼굴전체에 대한 크기만큼을 구성하였지만 이러한 특성벡터의 크기는 많은 계산량을 요구하게 됨으로써 실질적인 시스템적용에서 단점을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 사람얼굴의 특성 중 눈 검출에 필요한 부분만을 추출하고 그 특성에 따른 실험적인 문턱값을 구함으로써 눈검출 시 보다 빠르고 정확한 알고리즘을 제안하였다.

(그림 1)은 특성벡터를 구하기 위한 전체 블록도를 나타내었다.



(그림 1) 특성벡터를 구하기 위한 블록도

제안한 알고리즘에서는 우선 800개의 눈으로 구성된 입력영상을 이용하여, 특성벡터를 구하기 위한 진폭투시법, 인접한 픽셀을 가로 및 세로가 뺀 벡터, 그리고 원래의 벡터로 구성된 벡터 Y를 구한후 정규화 과정을 거쳐 특성벡터를 구성하였다. 눈 검출을 위한 훈련영상은 BioID데이터베이스에서 검출하였으며, 눈 검출을 위한 사이즈는 4×14 사이즈로 설정하였으며 검출한 400개의 눈 훈련영상으로 구성하여 다시 그 영상의 거울영상을 구성하여 800개의 눈 훈련 영상을 구성하였다. 본 논문에서의 특성벡터의 크기는 입력영상이 56개의 차수를 가지고, 진폭투시법에 의해 발생하는 벡터의 크기가 18개, 그리고 인접벡터를 뺀 특성벡터의 차수는 94개를 가진다. 따라서 최종 특성벡터 Y는 모두 168개의 일차원 벡터를 가지게 되며, 그 벡터의 공분산 행렬  $\sigma_E$ 는 168 × 168개로 이루어진 벡

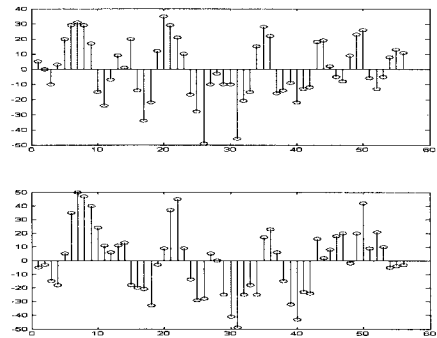
터가 됨을 알 수 있다. 주성분 분석법의 임베디드 시스템 적용시 가장 큰 문제점은 공분산행렬의 차수가 크므로써 발생하는 계산량이 될 수 있으나 제안한 알고리즘은 168×168의 공분산 중 오직 5개의 주성분만을 이용하고 나머지 공분산행렬은 식 (4)와 같이 간략화 하여 표현할 수 있음으로써 비교적 적은 계산량이 필요함을 알 수 있다.

(그림 2)는 BioID에서 검출한 눈 훈련영상의 예이다.



(그림 2) 눈검출을 위한 훈련영상의 예

또한 눈부위의 영상 분석을 위해 4×14 벡터의 크기를, 일차원 배열로 정렬하여 그 밝기의 정도를 정규화 하여 나타내면 (그림 3)와 같으며, 이러한 특성을 이용하여 눈 영상을 훈련시켜 눈검출을 행하면 적은 벡터의 계산량으로 눈 검출을 효율적으로 행할 수 있다.



(그림 3) 눈영상의 정규화된 밝기분포

(그림 3)와 같이 눈 부위의 영상들의 정규화된 일차원 벡터의 밝기 분포는 그림과 같이 비슷한 형태를 나타내며 이러한 분포의 형태를 분석하여 얼굴에서의 눈 검출을 수행할 수 가 있다. 그러나 영상마다 밝기에 대한 값이 모두 다르므로 눈 검출을 위해 먼저 평균밝기를 구하여 입력영상에서 그 값을 빼고 정규화 하여 눈 검출을 수행하면 주변 환경으로 인한 밝기의 감도에 훨씬 덜 민감한

결과 값을 얻을 수가 있다[4,5].

눈 검출을 위한 특성벡터의 검출은 진폭투시법을 이용하여 먼저 수평 및 수직 값들을 구하며, 그 값들은 식(1)과 같이 구한다.

$I(i, j)$  를  $4 \times 14$ 의 크기를 가지는 입력영상이라고 가정한다면, 수평 및 수직에 대한 각각의 진폭투시법의 각각의 값들은 다음과 같이 정의된다.

$$X_{av}(j) = \sum_{i=1}^4 I(i, j) \quad 1 \leq j \leq 14$$

$$X_{ah}(i) = \sum_{j=1}^{14} I(i, j) \quad 1 \leq i \leq 4 \quad (1)$$

또한 눈 검출 성능을 높이기 위해 수평 및 수직 방향의 픽셀을 각각의 방향으로 뺀 벡터를 구하여 전체 벡터를 구성하며, 식(2)는 차 벡터를 구하기 위한 수식이다.

$$X_{dv}(j) = I(i+1, j) - I(i, j)$$

where  $1 \leq i \leq 14, 1 \leq j \leq 4$

$$X_{dh}(j) = I(i, j+1) - I(i, j)$$

where  $1 \leq i \leq 4, 1 \leq j \leq 14 \quad (2)$

각각의 값들이 식(2) 의해 구하여지면, 각 벡터의 평균값을 빼고 난 후에 다시 표준 편차로 나누어 구해진 각각의 평균화 벡터들을 구한다. 또한 이렇게 구하여진 식들과 원래의 입력 영상 벡터와 일차원으로 연결시킨 벡터를 만든 후 최종적으로 평균화된 값들로 이루어진 최종적인 특성 벡터  $Y$ 를 구한다. 이렇게 구하여진 최종벡터  $Y$ 에서 눈검출 연산을 위한 공분산 행렬  $\sigma_E$ 을 구한다.

또한 최종특성벡터는 그 차수가 비교적 적으나, 훈련영상을 구하는 과정에서 차수의 증대를 가져오며 이러한 과정은 계산량을 증가시키는 결과를 가져오게 된다. 따라서 본 논문에서는 계산량의 증가를 감소시키기 위해 최종 벡터를 주성분분석법[1,5]을 이용하여 그 차수를 감소시켜 실시간시스템에 적용할 수 있도록 계산량을 감소시켰다. 공분산행렬의 주성분은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = \Phi^t(I - M_E) \quad (3)$$

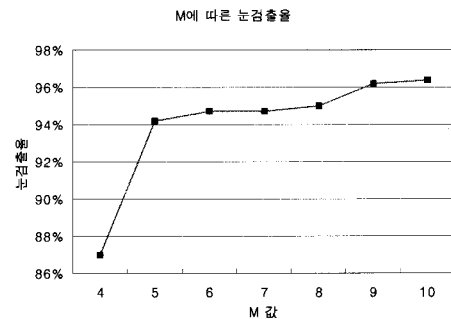
여기서,  $I$ 는 최종특성벡터를 나타내며  $M_E$ 는 눈 영역의 평균행렬을 나타낸다.

식(3)에서 구하여진 공분산행렬에서 오직 5개의 주성분만으로도 눈 검출을 위한 특성을 나타냄을 실험을 통해 확인하였으며, 나머지 성분 값들은 식(4)와 같이 간략화 하여 표현할 수 있다.

$$\rho_E = \frac{1}{N-M} \sum_{k=M+1}^N \lambda_k \quad (4)$$

여기서,  $\lambda_k$ 는 공분산행렬의 대각선 고유벡터의 요소를 나타낸다.

(그림 4)은  $M$ 값의 변화에 따른 눈 검출율을 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 주성분을 5개 이상으로 선택하면 눈 검출율은 높아지나 계산량과 같은 시스템 성분에 영향을 미침으로써 본 논문에서는 5개의 주성분으로 최적화 하였다.



(그림 4) M에 따른 눈검출율

또한 식(5)는 최종적인 눈검출을 위한 계산식을 나타낸다.

$$\sigma_E = -\frac{1}{2} \left\{ \sum_{i=1}^5 \frac{C_i}{\lambda_i} + \frac{\|I - M_E\| - \sum_{i=1}^5 C_i^2}{\rho_E} \right. \\ \left. + \ln \left( \prod_{i=1}^5 \lambda_i \right) + (N - M) \ln(\rho_E) \right\} \quad (5)$$

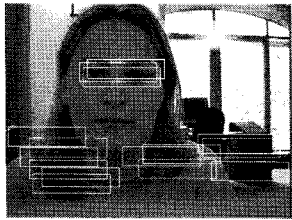
여기서, 얼굴검출을 위한 최종벡터의 차수는 262가 되며,  $M$ 값을 정하기 위해 4부터 10까지의 값들로 모의실험을 한 결과 5에서 가장 최적의 값을 얻을 수 있었다. 또한  $\lambda$ 는, 공분산행렬에서직교 고유벡터와 대각선 고유벡터로 표현된 벡터에서의

대각선 고유벡터의 값들을 나타낸다.  
또한, 눈 검출을 위한 조건식은 식(6)과 같다.

$$\text{Vector } I \text{ is eye region iff} \quad (6)$$

$$\sigma_E \leq 350 \text{ and } \sigma_E \geq 120$$

따라서, 식(6)을 만족하는 입력벡터는 눈 영역의 후보군이 되며, 식(6)에서 문턱값 350 및 120의 상수값은 모의실험에 의해 구해진 실험값들이다. 여기서 350보다 큰 값을 이용하여 모의실험을 한 경우는 눈이 아닌 부분을 눈 영역으로 판단하는 발생빈도가 높게 나왔으며, 120보다 적은 값일 경우는 눈 영역임에도 불구하고 눈이 아닌 부분으로 판단되는 빈도의 수가 증가 하게 됨을 실험을 통해 확인할 수 있었으며, (그림 5)는 문턱값이 350보다 클 때의 실험 결과를 나타낸다.

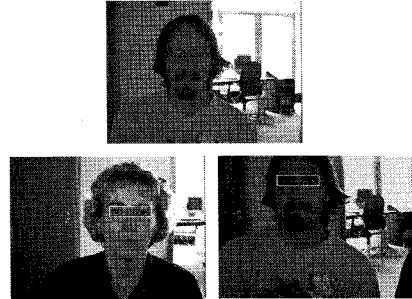


(그림 5) 문턱값이 500일때의 결과영상

### 3. 모의실험 및 결과

제안한 눈 검출 알고리즘 성능평가를 위해 정면 얼굴 데이터베이스인 BioID를 이용하여 평가하였다. 또한 다수의 정면얼굴영상에서 제안한 눈 검출 알고리즘을 이용하여 모의실험을 하였으며 이는 고정된 정면얼굴에서의 각도 변화가 거의 없는 상황, 즉 모의실험결과 BioID의 정면얼굴에서의 눈 검출율은 매우 높음을 알 수 있었으나, 안경을 쓴 얼굴에서의 눈검출율은 안경이 없는 얼굴에서의 눈검출율보다 다소 떨어짐을 알 수 있었다. 그 이유는 안경에서 반사되는 불빛으로 인해, 특성벡터로 구성된 제안한 알고리즘으로는 검출이 어려웠으나 그렇지 않은 경우는 눈검출율이 매우 높음을 알 수 있었다. (그림 6)는 제안한 눈 검출 알고리즘을 이용한 모의실험결과를 나타낸다. 모의실험 결과 (그림 6)에서 2개의 정면얼굴영상에서의 눈

검출은 제안한 방법으로 성공적으로 이루어 졌음을 알 수 있으나 안경을 착용한 사람의 눈에서 강하게 반사된 정면얼굴에서는 눈검출이 이루어지지 않음을 알 수 있다.



(그림 6) 얼굴검출의 결과영상

이러한 문제점은 주변 밝기에 의해 생기는 노이즈의 영향은 제안한 알고리즘에 영향을 미치지 못하나, 눈 부분에서 강하게 반사가 된 영역은 특성벡터에 영향을 미치므로 인해 생기는 결과라 할 수 있다. 모의실험결과 BioID에서 추출한 다양한 밝기변화에 따른 200개의 영상에서 193개의 눈영역을 검출하였으며, 이는 정면얼굴에서의 눈영역 검출율이 약 96.5%임을 확인하였다.

### 4. 결 론

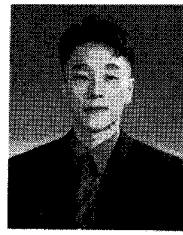
본 논문에서는 임베디드시스템에 적용가능한 눈 검출 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘에서는 눈검출을 위해 적은 수의 특성벡터를 구성하여 공분산을 구하고, 다시 주성분분석법을 이용한 공분산의 차수를 낮춤으로써 눈검출 알고리즘을 구성하였다. 또한 눈검출을 위한 제안한 판별식을 통해 정면얼굴에서의 눈검출이 잘 이루어짐을 모의 실험을 통해 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] C. Liu, "A Bayesian Discrimination Features Method for Face Detection," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence,

vol. 25, no. 6, pp 725-740, June 2003.

- [2] S.I. Lee, D.G. Kim, "The Feature Vector Selection for Robust Multiple Face Detection," PCI 2005, LNCS3746, pp.757-764, 2005.11.
- [3] 이승익, 원철호, 임성운, 김덕규, "노이즈에 강인한 정면얼굴 검출을 위한 특성벡터 추출법", 대한전자공학회 논문지, 제2권 제6호, pp.457-464, 2005.11.
- [4] Embedded Systems Architecture, First Edition : A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers
- [5] Satyanadh Gundimada and Vijayan Asari, "Face detection technique based on rotation invariant wavelet features," Information Technology: Coding and Computing, 2004. Proceedings. ITCC 2004. International Conference on Volume 2, 2004 Page(s):157 - 158 Vol.2.
- [6] Manoj Seshadrinathan and J. Ben-Arie, "Pose invariant face detection," Video/Image Processing and Multimedia Communications, 2003. 4th EURASIP Conference focused on Volume 1, 2-5 July 2003 Page(s):405-410 vol.1.
- [7] Waring, C.A. and Xiuwen Liu, "Face detection using spectral histograms and SVMs," Systems, Man and Cybernetics, Part B, IEEE Transactions on Volume 35, Issue 3, June 2005 Page(s):467 - 476.



이 승 익 (Lee Seung-Ik)

- 1994년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1997년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2001년 8월 Colorado State University 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2006년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 2005년 3월~현재 경일대학교 전자정보통신공학부 전임강사
- 관심분야 : 임베디드 시스템, 영상처리, 얼굴인식