

---

# 능동적 적외선 조명을 이용한 실시간 3차원 얼굴 방향 식별

박호식\* · 배철수\*

## Real Time 3D Face Pose Discrimination Based On Active IR Illumination

Ho-sik Park\* · Cheol-soo Bae\*

### 요 약

본 논문에서는 능동적 적외선 조명을 이용한 3차원 얼굴 방향 식별을 위한 새로운 방법을 제안하고자 한다. 적외선 조명 하에서 밝게 나타나는 동공을 효과적으로 실시간 검출하여 추적할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 다른 방향의 얼굴들에서 동공의 기하학적 왜곡을 탐지하여, 3차원 얼굴 방향과 동공의 기하학적 특성 사이의 관계를 나타낸 학습 데이터를 사용하여 고유한 눈 특징 공간을 구축하였고, 입력된 질의 영상에 대한 3차원 얼굴 방향을 고유한 눈 특징 공간을 사용하여 실시간으로 얼굴 방향을 측정할 수 있었다. 실험결과 카메라에 근접한 실험 대상자들에 대하여 최소 94.67%, 최고 100%의 식별 결과를 나타내었다.

### ABSTRACT

In this paper, we introduce a new approach for real-time 3D face pose discrimination based on active IR illumination from a monocular view of the camera. Under the IR illumination, the pupils appear bright. We develop algorithms for efficient and robust detection and tracking pupils in real time. Based on the geometric distortions of pupils under different face orientations, an eigen eye feature space is built based on training data that captures the relationship between 3D face orientation and the geometric features of the pupils. The 3D face pose for an input query image is subsequently classified using the eigen eye feature space. From the experiment, we obtained the range of results of discrimination from the subjects which close to the camera are from 94.67%, minimum from 100%, maximum.

### 키워드

Pupil Detection, Pupil Tracking, Face Pose Discrimination

### 1. 서 론

얼굴의 방향 식별은 인간과 컴퓨터 상호작용 연구의 중요한 분야 중 하나로 자리 잡아 가고 있다. 이는 얼굴의 방향에 따라 그 사람의 주의, 필요, 시선 및 피로 정도와 같은 중요한 정보를 파악 할 수

있기 때문이다. 얼굴의 방향 측정을 위한 방법은 크게 모델을 이용한 방법, 외관을 이용한 방법 및 특징을 이용한 방법으로 구분 할 수 있다. 모델을 이용한 방법은 일반적으로 3차원 얼굴 모델과 모델의 2차원 투영도 사이의 관계를 나타냄으로써 얼굴 방향을 탐지하고([2],[4],[8]), 외관을 이용한 방법은 시선 보간을 이용하여 외관과 얼굴 방향 사이

---

\*관동대학교

의 연관성을 계산한다([3],[6],[7]). 외관을 이용한 방법은 모델을 이용한 방법에 비해 정확성은 떨어지지만 보다 간편하기에 주로 일반적인 방향 식별에 사용되어지고 있다. 특징을 이용한 방법은 얼굴 특징을 사용하여 얼굴의 방향을 파악하는 것이다. 특징을 이용한 방법의 가장 어려운 점은 다양한 조명 조건, 얼굴 표정 및 여러 다른 머리 방향 하에서 필요로 하는 얼굴 특징을 각각의 프레임에서 찾아내고 추적하는 것이다.

본 논문에서는 모델을 이용하여 입력되는 영상에서 얼굴의 3차원 방향을 탐지하는 새로운 방법을 제안하고자 한다. 제안한 방법은 사용자의 눈에 능동적 적외선을 조사하여 밝은 동공 효과를 얻어 동공을 검출하고 Kalman 필터에 의해 동공을 실시간으로 추적한다. 그리고 3차원 얼굴 방향과 동공의 크기, 동공 간 거리 및 동공 모양과 같은 동공의 기하학적 특징 사이에 직접적인 상관 관계가 있으므로, 추적된 동공에 대한 기하학적 동공 특성을 측정하여 얼굴 방향과의 상관관계에 대한 학습 데이터를 만들었다. 그리고 학습 데이터를 이용하여 3차원 얼굴 방향과 동공의 기하학적 특성들 사이의 관계를 나타내는 고유한 특징 공간을 구축하여, 3차원 얼굴 방향 분류를 분류하는데 사용되어질 수 있음을 나타내었다.

## II. 영상 획득

동공의 기하학적 특성에 기초한 얼굴 방향 식별을 위하여 본 논문에서는 Hutchinson[5]의 연구 내용에 따라, 영상 획득을 위하여 880nm 파장의 적외선 LED를 두 개의 고리모양으로 구성한 적외선 조명기를 제작하여 40nm 파장에서 32mW의 파워로 적외선을 조사하였다. 이 적외선 광원은 밝은 동공 영상과 어두운 동공 영상을 생성하였는데, 밝은 동공 영상은 안쪽 고리의 적외선 LED들이 켜졌을 때 생성되었으며, 어두운 영상은 바깥쪽 고리의 적외선 LED들이 켜졌을 때 생성되었다. 적외선 조명 이외의 광원들로부터 간섭을 최소화하여 영상의 질을 개선하기 위하여, 10nm 파장만을 통과시키는 광학 대역 필터를 사용하였고 필터를 사용함으로써 신호 대 잡음비를 20 이상 증가시켰었다. 이에 따라 동공의 탐지 및 추적이 가능하였다. 그림 1은 중심이 같은 2개의 적외선 LED 고리와 대역 필터로 이루어져 있는 적외선 조명기를 나타내었다.

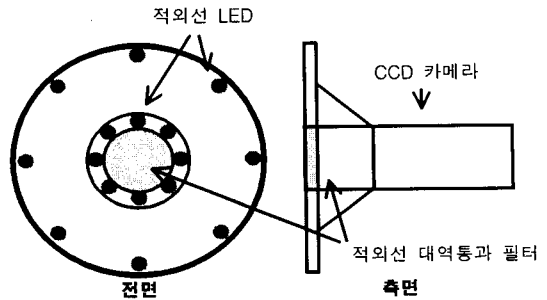


그림 1. 하드웨어 구성: 능동적 적외선 조명 카메라  
Fig 1. Hardware setup: the camera with an active IR illuminator.

## III. 동공 탐지 및 추적

동공의 탐지 및 추적의 목적은 이후에 있을 얼굴 방향 측정을 위한 것이다. 따라서 확실하고 정확한 실시간 동공 탐지는 매우 중요하다. 동공의 탐지 및 추적은 동공의 탐지로부터 시작된다. 그림 2는 제안된 눈동자 추적 시스템에 대한 순서도이다. 동공의 추적은 두 단계로 나뉘어지는데 동공의 탐지와 동공 추적이다.

동공 탐지는 영상에서 동공의 위치를 찾아내는 일이다. 적외선 조명기 이외의 조명원으로부터의 간섭을 최소화하기 위해 전처리가 실시되어진다. 이 작업은 태양 빛 및 주변 빛의 간섭을 포함한다.

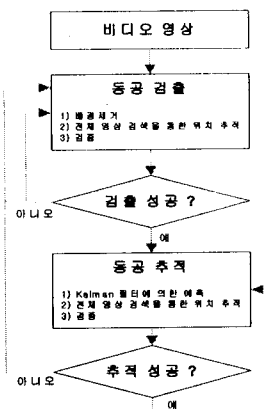


그림 2. 동공 탐지 및 추적 시스템 순서도

Fig 2. Pupil detection and tracking system flow chart



(a) (b) (c)

그림 3. 영상 삭제를 통한 배경 제거:

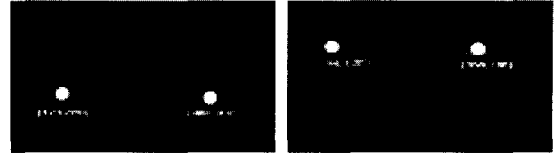
- (a) 주변 빛과 적외선조명으로 얻은 영상 (짝수 필드)
- (b) 단지 주변 빛으로 얻은 영상 (홀수 필드)
- (c) (a)로부터 (b)를 제거하여 얻은 영상

Fig 3. Background Removal via Image Subtraction:  
 (a) the image obtained with both ambient and IR light (even field);  
 (b) the image obtained with only ambient light (odd field);  
 (c) the image resulted from subtraction (b) from (a)

그림3은 배경의 일부가 매우 밝아 동공만큼 밝게 보이는 곳에서의 영상을 보여주고 있다. 이것이 제거되지 않으면 동공 탐지에 역효과를 일으킬 수 있으므로, 이것들을 제거하기 위해서는 적외선 조명기와 주변 빛으로 조명된 영상으로부터 주변 빛으로만 조명된 영상을 제거하면 된다. 그 결과로 얻어지는 영상은 그림 3(c)에서 보는 바와 같이 단지 적외선 조명기로부터의 조명 효과만을 포함한 다. 실제 영상 제거를 위해 비디오 디코더가 포함된 마이크로 컨트롤러를 만들었다. 이 컨트롤러는 카메라로 얻은 비월주사된 영상 프레임에 홀수 필드와 짝수 필드로 분리하여 안쪽 고리의 LED를 번갈아가며 짝수 필드에 대해 켜고 홀수 필드에 대해 끈다. 그런 다음 짝수 필드부터 홀수 필드를 뺀으로써 차이 영상을 생성하였다.

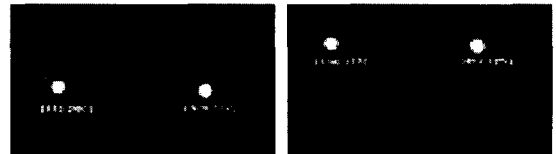
배경 제거 절차를 통해 영상을 획득한 후, 동공의 크기, 모양 및 거리 제약 조건들을 충족하는 두 밝은 지점을 찾아내기 위해 그 전체 영상을 조사하여 탐지할 수 있다. 최초 프레임에서 동공이 탐지되었을 때, 이 동공은 각 프레임에서 실시간으로 추적될 수 있다. 두 연속되는 프레임에서 한 사람의 동공은 상당한 위치적 변화를 갖지 않는다는 가정 하에, Kalman 필터링[1]에 기초하여 이후의 프레임에서의 얼굴 위치를 예측하기 위해 이전 프레임의 동공 위치를 사용할 때 추적이 보다 효율적으로 이루어질 수 있었다. 이 Kalman 필터 추적기는 거의 실시간에 가깝게 (초당 25 프레임) 구현되었으며, 여러 다른 얼굴 방향, 거리 및 조명 하에서 효과적인 것으로 밝혀졌다. 샘플 추적 결과는 그림 4에 나타내었는데, 이것은 안경을 쓴 사람의 눈동

자 추적을 보여주고 있다.



프레임 101

프레임 106



프레임 102

프레임 107

그림 4. Kalman 필터링 추적 방식을 이용한 연속적 프레임에 대한 추적 결과

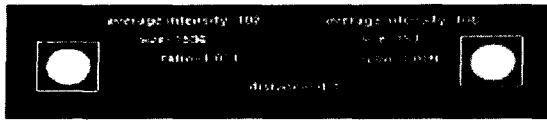
Fig 4. Tracking result in consecutive frames with Kalman filtering track scheme.

#### IV. 3차원 얼굴 방향 식별

본 논문에서는 3차원 얼굴 방향과 동공 크기, 동공 간 거리 및 동공 모양과 같은 동공 특성 사이에 직접적인 상관 관계가 있음을 보여주고자 하였다. 그림5는 다른 여러 가지 머리 방향에서의 동공 측정치를 보여준다. 이 영상들로부터 다음과 같은 사실들이 확인할 수 있다.

- 얼굴이 전면으로부터 측면으로 회전함에 따라 동공 간 거리는 좁아진다.
- 두 동공의 평균 명암 비율은 얼굴이 좌우 또는 상하로 회전하는 동안 1보다 커지거나 1보다 작아진다.
- 두 동공의 모양은 얼굴이 좌우 또는 상하로 회전하면서 보다 타원형이 된다.
- 동공의 크기는 얼굴이 좌우 또는 상하로 회전하면서 작아진다.

위와 같은 관찰 결과는 동공으로부터 얼굴 방향을 추정하기 위한 기초로 사용되었다.



(a) 전면을 향한 머리  
(a) frontal head position



(b) 좌측으로 회전  
(b) turn head left



(c) 우측으로 회전  
(c) turn head right

그림 5. 서로 다른 머리 방향에 대한 동공 영상. 크기, 명암 및 모양과 같은 동공 특성이 얼굴 방향에 따라 달라진다.

Fig 5. Pupil images for different head orientations. It is clear that pupil properties such as size, intensity, and shape vary with face orientations.

위의 관찰에 기초하여, 본 논문에서는 얼굴 방향과 동공 매개변수들 사이의 관계를 이용하여 얼굴 방향 분류 알고리즘을 개발하였다. 본 논문에서는 동공 특징 공간(Pupil Feature Space: PFS)을 구축하였다. 동공특징공간은 7가지 동공 특징들, 즉 동공 간 거리, 좌우 동공 사이의 거리, 좌우 동공의 명암, 좌우 동공의 타원비율 등을 이용하였다. 이와 같은 특징들이 일관성을 가질 수 있도록 이 매개변수들을 얼굴 전면에서의 측정값으로 나누어줌으로써 표준화하였다. 그림6은 3차원 동공특징공간에서의 샘플 데이터 투영도들을 보여준다. 5가지 얼굴 방향에 해당하는 명확하게 구분 할 수 있는 5개의 클러스터들이 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 단지 3차원 공간만을 나타내었지만, 동공특징공간은 7가지 특성에 의해 구축되어지므로 클러스터들은 더욱 뚜렷하게 구별되어 질 수 있다. 따라서 얼굴의 방향은 얼굴특징공간에서의 동공의 특성에 대한 투영을 통해 결정 할 수 있다.

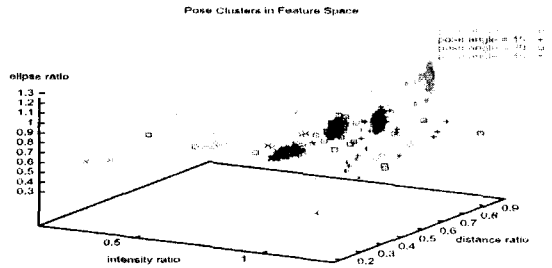


그림 6. 동공 특징 공간에서의 얼굴 방향 클러스터들  
Fig 6. Face pose clusters in pupil feature space

서로 다른 클러스터들 사이의 구분을 최대화하기 위해서 다른 방향의 클래스들이 서로에 대해 가능한 멀리 떨어지도록 동공특징공간을 표시하여야 하므로 PCA(Principal Component Algorithm) 알고리즘과 고유공간 알고리즘을 사용하였다. 이것은 방향 분포의 주요 요소들을 찾기 위한 것으로서, 고유 벡터들에 순서를 매김으로서, 그 각각의 방향들 사이의 서로 다른 변화량을 설명하며, 각 개별 방향은 고유 벡터들의 선형 결합으로 나타낼 수 있도록 하였다. 고유 동공 특징 공간을 구축하기 위해 학습 데이터를 수집하였으며, 전형적인 방향을 나타내는 여러 모델들을 저장했다. 실험에서 사용된 전형적인 모델들은 45°에서 45°사이의 모델이었다. 그림7은 고유 동공 특징 공간에서의 모델들의 분포를 보여준다. 여기서도 다시 고유 동공 특징 공간은 실제로 7차원이지만 3차원 투영도가 사용된다. 입력 얼굴의 방향은 각 클러스터의 중심까지의 유클리디안 거리에 기초하여 클러스터들 중 하나로 분류된다.

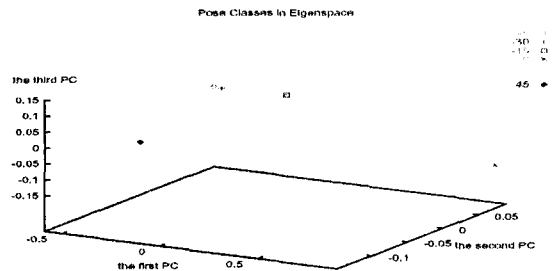


그림 7. 고유 동공 특징 공간에서 방향 클래스들의 투영도

Fig 7. Projection of pose classes in eigen PFS

제안된 방법의 문제점은 동공이 눈꺼풀로 가려

질 때 동공의 식별이 이루어지지 않을 수 있다는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서, 특정 시점에 대한 얼굴 방향을 그 전후 프레임들에 대한 얼굴 방향 측정치들을 포함한 평균치로 계산하여야 한다. 또한 머리의 움직임이 자연스럽다는 가정 하에, 전후 시점에 대해 측정된 얼굴 방향 등과 같은 경험적인 제약 조건이 필요하다. 그리고 그림8에 얼굴 방향 식별에 대한 알고리즘을 순서도로 나타내었다.

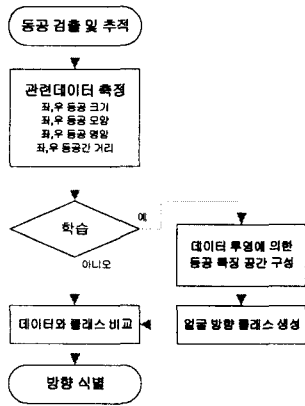


그림 8. 얼굴 방향 식별 알고리즘 순서도

Fig 8. Face Pose

Discrimination Algorithm flow chart

### V. 실험 결과

실험에서 피실험자의 얼굴을 다른 여러 방향에서 얻기 위하여 얼굴을 좌우로 움직이도록 하였다. 각 방향을 측정하기 위해 제안된 얼굴 방향 측정 방법을 사용하였다. 얼굴 방향은 7가지 방향, 즉 45, 30, 15, 0, 15, 30 및 45 각도로 정량화 하였다. 그리고 각 얼굴 방향에 대해 총 300 개의 데이터를 수집하였다. 각 데이터는 7가지 기본 특성들(동공 간 거리, 좌우 동공의 크기, 좌우 동공의 명암, 좌우 동공의 타원비율)로 구성되어 있다. 수집된 데이터들의 극한값을 제거하기 위해 평균 필터를 통해 전처리 되었고, 사전 처리된 데이터는 각 특성 데이터를 전면에서의 측정 데이터로 나눔으로써 표준화 할 수 있었다. 알고리즘을 학습하고 실험하기 위해 데이터의 일부는 학습하고, 나머지 부분은

실험을 위해 반복적으로 사용하였다. 모든 데이터가 학습 데이터 및 실험 데이터로 사용될 때까지 반복하였다. 본 논문에서는 각각의 반복 회차에서 95%의 데이터를 학습에 5%의 데이터를 실험에 사용하였다. 그 결과 기존의 방법들이 평균 92%의 얼굴 방향을 식별한 것에 비해 제안된 방법은 얼굴 방향을 실시간으로 측정할 수 있었으며 얼굴 방향에 따라 최소 94.67%, 최고 100%의 식별 결과를 나타내었다. 이 실험 결과를 표1에 나타내었다.

표 1. 전체적 성능: 방향 측정 결과.

Table 1. Overall performance: statistics of pose estimation output.

얼굴 방향	전체 데이터	실험에 사용한 데이터	감지 성공	감지 성공율(%)
45	300	15	15	100.00
30	300	15	14.95	99.67
15	300	15	14.9	99.33
0	300	15	14.8	98.67
15	300	15	14.45	96.33
30	300	15	15	100.00
45	300	15	14.2	94.67

### VI. 결 론

본 논문에서는 능동적 적외선 조명 하에서의 동공의 기하학적 특성에 기초한 3차원 얼굴 방향 분류 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 사용자의 눈에 능동적 적외선을 조사하여 밝은 동공 효과를 얻어 동공을 검출하고 Kalman 필터에 의해 동공을 실시간으로 추적하여, 동공의 크기, 동공 간 거리 및 동공 모양과 같은 동공의 기하학적 특징과 3차원 얼굴 방향과의 관계를 나타내는 고유한 특징 공간을 구축하여, 3차원 얼굴 방향 분류를 분류하는데 사용하였다.

제안된 방법은 얼굴 방향을 실시간으로 측정할 수 있었으며 카메라에 근접한 실험 대상자들에 대하여 얼굴 방향에 따라 최소 94.67%, 최고 100%의 식별 결과를 나타내었다. 향후에는 얼굴 방향에 대한 분류를 좌우 7개의 방향보다 더 세분화 하고 상하분류까지 확대할 계획이다.

참고문헌

[1] A. Blake, R. Curwen, and A. Zisserman. A framework for spatio-temporal control in the tracking of visual contours. *Int. Journal of Computer Vision*, 11(2):127-145, 1993.

[2] A. Gee and R. Cipoll. Determining the gaze of faces in images. *Image and Vision Computing*, 30:639-647, 1994.

[3] S. Gong, E. Ong, and S. McKenna. Learning to associate faces across views in vector space of similarities of prototypes. *Proc of British Machine Vision*, 1998.

[4] T. Horprasert, Y. Yacoob, and L. Davis. Computing 3d head orientation from a monocular image. *Proc. of Int. Conf. on automatic face and gesture recognition*, pages 242-247, 1996.

[5] T. E. Hutchinson. Eye movement detection with improved calibration and speed. U.S. patent 4950069, April, 1990.

[6] A. Pentland, B. Moghaddam, and T. Starner. View based and modular eigenspaces for face recognition. *CVPR 94*, pages 84-91, 1994.

[7] R. Rae and H. Ritter. Recognition of human head orientation based on artificial neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 9(2):257-265, 1998.

[8] A. Tsukamoto, C. Lee, and S. Tsuji. Detection and pose estimation of human face with synthesized image models. *ICPR 94*, pages 754-757, 1994.

저자소개

박호식(Ho-Sik Park)

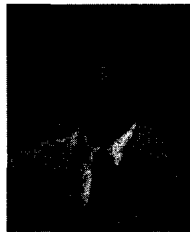


1994년 2월 연세대학교 의용전자공학과 졸업(공학사)  
 2001년 2월 관동대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)  
 2001년 3월 ~ 현재 관동대학교 대학원 전자통신공학과 박사과

정 재학중

※ 관심분야 : 영상처리, 신호처리시스템, 영상압축

배철수(Cheol-Soo Bae)



1979년 2월 명지대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1981년 2월 명지대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1988년 8월 명지대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1991년 3월 ~ 현재 산업자원부 공업기술기반 평가 위원 및 심의위원

1998년 3월 ~ 현재 강원도 정보화위원회 위원

1999년 3월 ~ 2001년 5월 관동대학교공과대학 학장

2000년 3월 ~ 2002년 2월 관동대학교 양양캠퍼스 창업보육센터 소장

2001년 6월 ~ 2003년 8월 관동대학교 평생교육원장

2001년 3월 ~ 현재 해양정보통신학회 강원지부장

2001년 11월 ~ 현재 기초과학연구소 운영위원

2002년 5월 ~ 현재 중소기업 정보화 혁신 컨소시엄 추진위원

2003년 1월 ~ 현재 한국통신학회 국내저널 편집부 위원장

2003년 1월 ~ 현재 대한전자공학회 이사

1981년 ~ 현재 관동대학교 정보통신공학부 교수

※ 관심분야 : 영상처리, 신호처리시스템, 영상압축