

---

# 얼굴 특징 실시간 자동 추적

박호식\* · 배철수\*

## Real-Time Automatic Tracking of Facial Feature

Ho-sik Park\* · Cheol-soo Bae\*

### 요 약

본 논문에서는 실시간으로 눈과 눈썹주위의 특징을 추적하는 새로운 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안된 알고리즘은 적외선 LED와 적외선카메라로 밝은 동공 효과를 만들어 동공을 추적 한 후, 템플릿은 얼굴 특징을 매개변수화 하기 위해, 동공 좌표는 각각의 프레임에서 눈과 눈썹 영상을 추출하기 위하여 사용한다. 또한, 템플릿 변수는 표본 영상을 가지고 학습하는 과정에서 구성된 PCA기저를 이용하여 추출된 영상을 PCA 분석하여 구한다. 제안된 시스템은 초당 30 프레임의 영상에서 초기 설정 및 교정 작업 없이 머리 움직임이 많거나 폐색이 있는 경우에도 견실하게 동작하였다.

### ABSTRACT

Robust, real-time, fully automatic tracking of facial features is required for many computer vision and graphics applications. In this paper, we describe a fully automatic system that tracks eyes and eyebrows in real time. The pupils are tracked using the red eye effect by an infrared sensitive camera equipped with infrared LEDs. Templates are used to parameterize the facial features. For each new frame, the pupil coordinates are used to extract cropped images of eyes and eyebrows. The template parameters are recovered by PCA analysis on these extracted images using a PCA basis, which was constructed during the training phase with some example images. The system runs at 30 fps and requires no manual initialization or calibration. The system is shown to work well on sequences with considerable head motions and occlusions.

### 키워드

Feature Extraction, Eye Tracking, Facial Feature Parameterization, Pupil Tracking

## 1. 서 론

얼굴 특징 추적은 얼굴 애니메이션이나 가상 회의 등과 같이 얼굴의 움직임을 주요 내용으로 하는 응용 분야에서 매우 중요한 역할을 함으로 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 얼굴 표정 분석, 애니메이션 같은 경우에는 얼굴 특징의 위치뿐만 아니라 특징의 형태 정보 또한 필요로 한다. 그러나 기존

의 방법으로는 자세나 조명, 얼굴 표정 변화에 의해 얼굴의 특징 형태가 변화함으로 견실하고 효율적인 추적이 수월하지 않았고, 대다수 기존 방법은 얼굴 특징의 위치만을 추적하거나 초기설정이나 교정작업을 필요로 하였다.

본 논문에서는 초기설정이나 교정 작업 없이 견실하게 초당 30프레임의 영상에서 템플릿을 이용하여 얼굴 위 부분의 특징을 실시간으로 추적 하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

기존에 대다수의 얼굴 특징을 검출하고 추적하는 방법들은 변형 가능한 템플릿을 기반으로 하였으나 실시간으로 추적이 어려웠고 초기설정을 필요로 하였다. Tian은[1,2] 다중 상태 템플릿을 이용하여 눈 특징을 추적하였으나, 순차 영상의 첫 프레임에서 템플릿을 수동으로 초기 설정을 해야 할 필요가 있었다. Essa[3]는 얼굴 피부와 근육 구조를 기술하고 있는 물리 모델의 프레임워크에서 광류(Optical Flow)를 사용하여 얼굴의 표정을 분석하였으나 얼굴 특징을 세부적으로 나타내지는 못하였다.

세부적인 얼굴 특징을 나타내기 위해서는 특징의 형태를 나타내는 매개 변수를 구해야만 한다. 그러나 기존의 대다수 방법들은 영상 정합 방법에 의하여 형태를 직접 찾아내는 방법을 사용하고 있다. Jones와 Poggio[4]는 확률적 그라디언트 감소를 이용하여 형태와 구조 매개변수를 구하였고, Cootes[5]는 영상 정합을 위해 구조 변동 모델과 형태 변동 모델을 조합하여 생성된 통계적 외관 모델을 사용하였다. 그러나 이와 같은 방법은 초기 설정에 의하여 성능이 좌우되므로 실시간 사용에 제약이 있었다. Covell[6,7]은 외형 사이의 결합과 제어점과 함께 분류된 영상을 사용하여 구조 매개변수를 구하였다. 고유분석을 사용하여 형태를 구하였으나 얼굴 영상에서 중요한 특징의 위치를 실시간으로 추정하기가 어려웠다. Morimoto [8]는 밝은 동공 효과를 사용하여 동공을 검출하고 추적하였고 Haro[9]는 칼만 필터와 확률적 PCA(Principal Component Analysis)로 밝은 동공 효과 방법을 개선하였다.

본 논문에서는 이러한 방법들의 장점을 결합하고자 하였다. 형태와 구조를 추정하는 Covells [6,7]의 방법에 적외선 LED를 장착한 적외선 카메라를 이용한 동공을 검출하고 추적하는 방법을 결합하였다.

## II. 동공 검출과 추적

제안된 시스템의 전체 시스템 구조를 그림1에 나타내었다. 적외선 LED와 함께 동기화된 적외선에 민감한 카메라는 감지기로서 사용되었고, 밝은 동공 영상을 만들어 낸다. 감지기로부터 얻은 영상은 동공의 위치를 추출하기 위해 사용된다. 그리고 동공의 위치는 다른 얼굴의 특징의 위치를 결정하고,

PCA를 사용하여 형태 정보를 구하기 위해 사용된다. 제안된 시스템은 매우 효율적이고, 초당 30 프레임으로 실시간으로 특징 추적이 가능하였다.

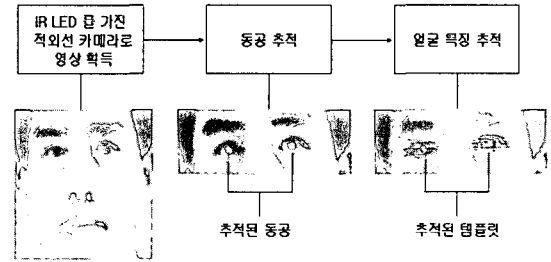


그림 1. 전체 시스템 구조  
Fig 1. The Overall System.

### 2.1. 적외선 감지기

동공 추적을 위한 적외선 감지기를 그림 2에서와 같이 적외선 카메라와 두 개의 적외선 LED로 구성하였다. LED 교대로 켜다 키면서 그림 3의 (a)와 (b)같은 밝고 어두운 동공 효과를 만들어 내었다. 안쪽과 바깥쪽의 LED고리를 영상의 짝수 필드와 홀수 필드에 맞추어 키고 끄기 위한 동기화 회로를 개발하였다. 짝수 필드를 읽어 들일 때, 안쪽 LED가 켜지고 바깥쪽 LED가 꺼지도록 하였으며, 반대로 홀수 필드를 읽어 들일 때는 바깥쪽 LED가 켜지고 안쪽 LED가 꺼지도록 하였다. 교차된 입력 영상은 비디오 디코더에 의하여 잔상을 제거하여 그림3의 (a), (b)와 같은 짝수 필드 영상과 홀수 필드 영상을 만들고 그림 3의 (c)와 같은 차영상을 만들어낸다. 그러므로 간단하게 동공을 검출할 수 있었다.

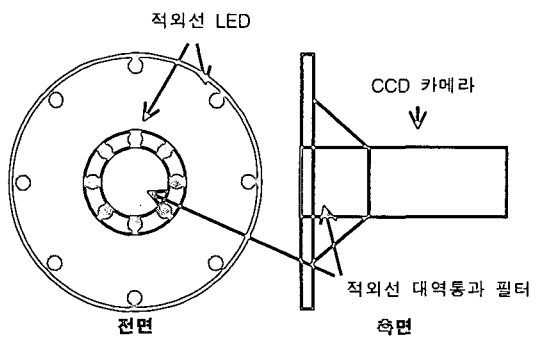


그림 2. IR LED 를 가진 적외선 감지 카메라  
Fig 2. Hardware setup: the camera with an active IR illuminator.

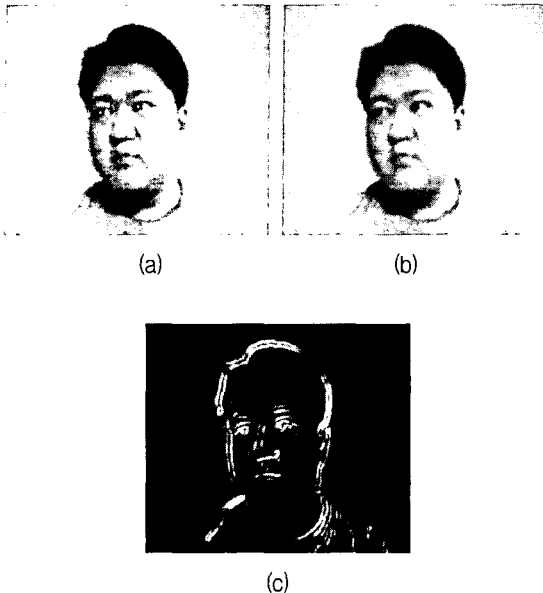


그림 3. 적외선 카메라를 이용한 동공 검출  
 (a) 밝은 동공(짝수 필드) 영상  
 (b) 어두운 동공(홀수 필드) 영상 (c) 차영상  
 Fig 3. Pupil tracking using the infrared camera.  
 (a) bright pupil(even field) image  
 (b) dark pupil(odd field) image  
 (c) the difference image

2.2. 동공 추적 알고리즘

초기 프레임에서 동공을 검출하게 되면 동공을 다음 프레임에서 연속적으로 추적할 수 있다. 동공 추적을 위한 기존의 방법[9]은 Kalman 필터를 이용하여 밝은 동공을 추적하는 것이었다. 그러나 이러한 방법은 얼굴 방향이나 외부 조명의 간섭으로 동공이 밝게 빛나지 않으면 동공은 차영상에서 제거되어 추적을 할 수 없게 된다. 그래서 본 논문에서는 차영상에서 밝은 동공을 찾지 못한 경우 바깥쪽 적외선 LED에 의한 독특한 패턴을 이용할 수 있다는 점에 착안하여 명암 분포 패턴을 이용한 방법과 밝은 동공 효과를 혼합한 동공 추적 방법을 제안한다. 그림4에 제안된 추적 방법을 순서도로 나타내었다.

제안된 동공 추적 방법은 2 단계로 이루어져 있다. 첫 번째 단계에서 밝은 동공 효과[9]를 이용한 Kalman 필터를 이용하고, 만약 추적에 실패할 경우, 두 번째로 어두운 동공 영상에서 평균이동 알고리즘을 이용한 명암 분포에 근거하여 이전 프레임의 동공 부근에서 동공을 추적한다.

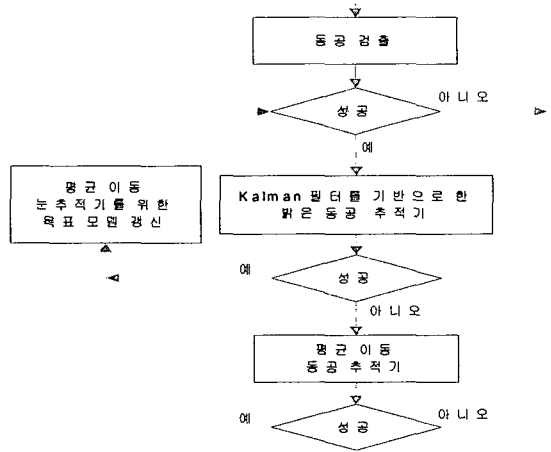


그림 4. 동공 추적 알고리즘 순서도  
 Fig 4. The Pupil tracking Algorithm.

2.2.1 추적 모델

동공 표적의 특징 확률 분포를 표현한 m 과 회색조의 어두운 동공 영상을 끌어낸 1차원 히스토그램을 사용하였다. 히스토그램을 계산하기 전에, 동공 표적의 중심에서 먼 위치일수록 가중을 작게 할당하는 볼록하고 단조 감소하는 커널 프로파일 k 를 선택하였다. {x<sub>i</sub>}<sub>i=1...n<sub>s</sub></sub> 를 이전 프레임에서 y 의 중심인 동공 표적의 화소 위치라 하면, 동공 표적에 대한 명암의 분포 u 는 다음으로 구할 수 있다.

$$\hat{q}_n(y) = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} k \left( \left\| \frac{y-x_i}{h} \right\|^2 \right) \delta[b(x_i)-u]}{\sum_{i=1}^{n_s} k \left( \left\| \frac{y-x_i}{h} \right\|^2 \right)} \quad (1)$$

여기서, b(xi) 는 히스토그램의 지표이고, h는 커널 프로파일의 반지름, δ는 크로네커 델타 함수이다. 표적 후보 분포 p 는 유사한 형태로 구축할 수 있었다.

2.2.2 알고리즘

이전 프레임에서 동공의 위치를 정한 후에, 이전 프레임에 발견된 동공을 근거로 하여 표적 동공 모형 q를 구성한다. Kalman 필터를 이용하여 현재 프레임에서 동공의 위치  $\hat{y}_0$ 를 예측하고, 다음의 알고리즘을 이용하여 초기 위치를  $\hat{y}_0$ 로 설정하고 평균 이동을 반복하여 현재 프레임에서 동공 후보와 가장 유사한 곳을 찾는다.

1. 현재 프레임에서 표적의 위치를  $\hat{y}_0$  를 설정하고 분포  $\{\hat{p}_u(\hat{y}_0)\}_{u=1..m}$ 를 계산하고 값을 구한다.

$$\rho[\hat{p}(\hat{y}_0), \hat{q}] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(\hat{y}_0) \hat{q}_u} \quad (2)$$

2. 다음에 의하여 가중치  $\{w_i\}_{i=1..n_b}$  얻는다.

$$w_i = \sum_{u=1}^m \delta[b(x_i) - u] \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(\hat{y}_0)}} \quad (3)$$

여기서  $\delta$  는 크로네커 델타 함수이다

3. 평균 이동 함수를 이용하여 동공 표적의 새로운 위치를 얻는다.

$$\hat{y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_b} X_i w_i g\left(\left\|\frac{\hat{y}_0 - x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^{n_b} w_i g\left(\left\|\frac{\hat{y}_0 - x_i}{h}\right\|^2\right)} \quad (4)$$

여기서  $\{\hat{p}_u(\hat{y}_1)\}_{u=1..m}$ 를 갱신하고, 값을 구한다.

$$\rho[\hat{p}(\hat{y}_1, \hat{q})] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(\hat{y}_1) \hat{q}_u} \quad (5)$$

4.  $\rho[\hat{p}(\hat{y}_1, \hat{q})] < \rho[\hat{p}(\hat{y}_0, \hat{q})]$  인 경우  $\hat{y}_1 \leftarrow 0.5(\hat{y}_0 + \hat{y}_1)$ 를 실행한다.
5. 만약  $\|\hat{y}_1 - \hat{y}_0\| < \epsilon$  이면 중지하고 다른 경우엔,  $\hat{y}_0 \leftarrow \hat{y}_1$  로 설정하여 단계 1로 돌아간다.

현재 프레임에서 새로운 동공의 위치는 이전 동공 위치 근처를 전부 검색하는 상관관계를 이용한 방법에 비해 적은 반복 횟수로 찾을 수가 있었다. 또한 계산들의 단순화하여, 상관관계에 비해 빠르게 동작하였다.

### III. 얼굴 특징 추적

본 논문에서는 템플릿을 얼굴의 특징의 세밀한 형상 정보를 나타내기 위해 사용하였다. 제안된 시

스템에서 사용되는 눈과 눈썹 템플릿을 그림 5에 나타내었다. 눈 윤곽에 배치된 8 개의 점은 눈의 형태를 나타내고, 이 들 중 2개는 눈 양쪽 끝을 나타내고, 나머지는 윤곽 위에서 같은 거리에 있다. 마찬가지로 3개의 점은 눈썹의 형태를 나타내기 위해 사용된다. 도합 22개의 점(각 눈을 위한 8개와 각 눈썹을 위해 3개)는 얼굴 위 부분의 특징의 위치와 형태를 나타낸다. Tian [1,2]는 눈꺼풀 위에서 눈 양끝과 중앙지점에서 템플릿 매개 변수 만을 추출하여 사용하였으나, 본 논문에서는 눈 양 끝과 중앙지점보다 더 많은 특징점을 추적함으로써, 특징 형태에 대해 더욱 세밀하고 정확하게 표시할 수 있었다.

동공 위치로부터 중요 영역(눈: 140 x 80 화소, 눈썹: 170 x 80 화소) 잘라내어 사용하였다. 특징을 위한 템플릿 매개변수는 표본 영상을 가지고 학습하는 과정에서 구성된 PCA 기저를 사용하여 추출된 영상에서 PCA 분석에 의해 구한다.

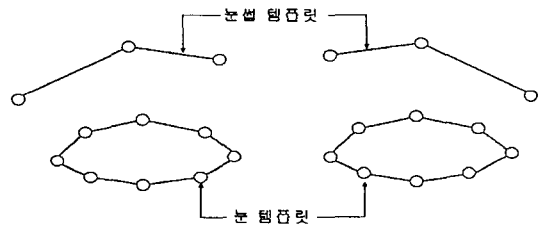


그림 5. 눈과 눈썹 템플릿  
Fig 5. Eye and Eyebrow Templates.

#### 3.1 템플릿 매개변수

제안된 시스템은 영상에서 얼굴의 특징의 위치를 매우 건설하게 추정할 수 있다. 그리고 얼굴 특징 위치로부터 눈과 눈썹에 대응하는 대상 영역을 잘라내고 분석하여 형태를 구한다. 표본 영상에 형태를 나타낼 수 있는 제어점을 표시하여 학습 데이터로 사용하여, 표본의 선형 결합으로 새로운 특징 영상을 표현하고자 하였다. 표시한 제어점을 선형 결합하여 새로운 영상을 위한 제어점을 구한다. 표본 영상의 수가 많아짐으로 PCA를 템플릿 매개변수를 구하기 위해 사용하였다. 표본 영상  $I_i$  의 수  $n$  이 주어지고,  $p_i$  ( $i=1, \dots, n$ )를 각 영상에서 대응하는 표시한 제어점에 대응하는 벡터라고 하고, 만일  $I$ 가 평균 영상이라면 학습 영상의 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Lambda = A \cdot A^T \quad \text{여기서 } A = [I_1 - \bar{I}, I_1 - \bar{I}, \dots, I_1 - \bar{I}] \quad (6)$$

$\Lambda$ 의 고유벡터는  $A \cdot A^T$ 를 위한 고유벡터를 처음 연산하여 구할 수 있다. 만약  $V = [v_1, v_2, \dots, v_n]$ 에서  $v_i$ 가  $A \cdot A^T$ 의 고유벡터를 표현한다면,  $\Lambda$ 의 고유벡터  $u_i$ 는 다음에 의해 구할 수 있다.

$$U = [u_1, u_2, \dots, u_n] = A \cdot V \quad (7)$$

고유벡터로서 표본 영상의 선형 결합을 나타내고, 같은 선형 결합을 이용하여 고유영상에 제어점을 나타낼 수 있다.  $\bar{p}$ 를 표본 영상에서의 제어점에 대응하는 벡터의 평균이라 하고,  $Ep_i (i=1, \dots, n)$ 를 고유벡터에서 제어점에 해당하는 벡터라 하면

$$[Ep_1, Ep_2, \dots, Ep_n] = [p_1 - \bar{p}, \dots, p_n - \bar{p}] \cdot V \quad (8)$$

새로운 영상에서 제어점의 벡터를 구하기 위해 우선 최상의 대부분의 고유 벡터를 위에 투영하여 고유 벡터들의 선형 결합으로 표현한다.

$$I_{new} = \sum_i a_i u_i + \bar{I} \quad (9)$$

여기서  $a_i = (I_{new} - \bar{I}) \cdot u_i^T$ 이고  $u_i$ 는  $i$  번째 고유벡터이다. 같은 선형 결합은 고유 벡터 위에서 제어점의 벡터에 새로운 제어점을 구하기 위해 적용한다.

$$P_{new} = \sum_i a_i Ep_i + \bar{p} \quad (10)$$

이러한 비반복적인 성질은 실시간 추적을 가능하게 한다. 제안된 시스템에서는 다른 얼굴 표정과 다른 조명 조건하에서 150개의 눈과 눈썹 영상에 제어점을 표기하여 학습에 사용하였다. 그리고 고유 벡터와 고유 벡터 위의 제어점을 계산하였다. 실시간 추적 동안 추출된 특징 영상은 40개의 고유 벡터를 투영하였고 새로운 영상에서 제어점을 찾기 위하여 사용되어진다.

#### IV. 실험 결과 및 고찰

제안된 시스템을 다른 조명 조건하에서 초당 30 프레임 영상을 얻어 실험하였다. 학습에 사용하였던 영상에서 시스템은 특히 효율적으로 동작하였고, 새로운 프레임에서 특징을 폐색이 있는 경우에도 매우 효율적이고 견실하고, 매우 신속하게 발견

하였다. 그림 6에 추적 결과의 일부를 나타내었다.

실험 결과 피검자가 눈을 깜빡임으로써 동공이 나타나지 않은 경우에는 특징이 검출되지 않았지만 다음 프레임에서는 동공이 다시 보이면서 신속하게 추적이 다시 가능하였다. 100 프레임의 영상에 각 특징을 손으로 표기 한 후 자동 추적 데이터와의 평균 화소 차이를 비교하여 그림 7에 나타내었다. 그 결과 화소당 평균 0.78화소 정도의 차이를 나타내었다.

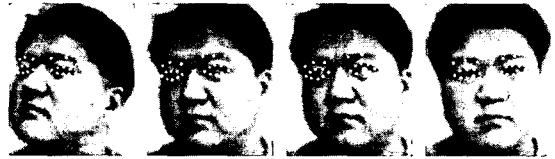


그림 6. 추적 결과 예  
Fig 6. Tracking Result

실험 결과 제안된 시스템은 매우 효율적이고, 초당 30프레임의 영상에서 머리 움직임이 많거나 폐색이 있는 경우에도 실시간으로 견실하게 특징을 추적하였다.

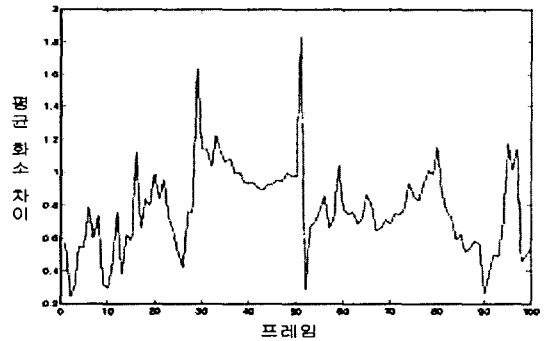


그림7. 추적 데이터의 평균 화소 차이  
Fig 7. Average Difference of Pixel for Tracking Data

#### V. 결 론

본 논문에서는 초기설정이나 교정 작업 없이 견실하게 초당 30프레임의 영상에서 템플릿을 이용하여 얼굴 위 부분의 특징을 실시간으로 추적하는 방법을 제안하였다. 기존에 대다수의 얼굴 특징을 검출하고 추적하는 방법들은 변형 가능한 템플릿을 기반으로 하였으나 실시간으로 추적이 어려웠고 초기설정을 필요로 하였다. 그래서 본 논문에서

는 적외선 LED를 갖추고 있는 적외선 카메라는 동공을 추적하기 위해 사용되었고, 동공 위치는 눈과 눈썹의 영상을 추출하기 위해 사용하였다. 또한, PCA 분석은 템플릿 매개 변수를 구하기 위해 사용하였다.

실험 결과 제안된 시스템은 매우 효율적으로 초당 30프레임의 영상에서 머리 움직임이 많거나 폐색이 있는 경우에도 실시간으로 견실하게 특징을 추적할 수가 있었다.

본 논문에서는 자동으로 얼굴 표정을 분석하는 시스템을 구현하기 위한 방법의 일환으로 얼굴 위 부분의 특징점을 실시간 추적하는 방법을 제안하였고, 앞으로는 얼굴 아래 부분의 특징점까지 시스템을 확장할 계획이다.

참고문헌

[1] Y. Tian, T. Kanade, and J. F. Cohn. Dual-state parametric eye tracking. In Proceedings of Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2000.

[2] Y. Tian, T. Kanade, and J. F. Cohn. Recognizing upper face action units for facial expression analysis. In Proceedings of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 2000.

[3] I. Essa, S. Basu, T. Darrell, and A. Pentland. Modeling, tracking and interactive animation of faces and heads using input from video. In Proceedings of Computer Animation Conference, 1996.

[4] M. J. Jones and T. Poggio. Multidimensional morphable models. In Proceedings of International Conference on Computer Vision, 1998.

[5] T. F. Cootes, G. J. Edwards, and C. J. Taylor. Active appearance models. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 23(6), June 2001.

[6] M. Covell. Eigen-points. In Proceedings of International Conference Image Processing, September 1996.

[7] M. Covell. Eigen-points: control-point location using principal component analyses. In Proceedings of Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, October 1996.

[8] C. Morimoto, D. Koons, A. Amir, and M.

Flickner. Pupil detection and tracking using multiple light sources. Technical report, IBM Almaden Research Center, 1998.

[9] A. Haro, I. Essa, and M. Flickner. Detecting and tracking eyes by using their physiological properties. In Proceedings of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 2000.

저자소개

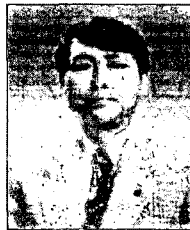
박호식(Ho-Sik Park)



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

대학원 전자통신공학과 박사과정 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 평가위원 및 심의위원  
1998년 3월~현재 강원도 정보화위원회 위원  
1999년 3월~2001년 5월 관동대학교 공과대학 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