

대칭성 검출에 의한 회전된 얼굴검출

원보환*, 구자영*

Rotated Face Detection Using Symmetry Detection

Bo Whan Won*, Ja Young Koo*

요약

보안 시스템을 비롯한 많은 얼굴 인식의 응용들에서 수직 방향의 얼굴이 입력된다고 가정한다. 그러나 보다 일반적인 환경에서 인물에 대한 인식을 하려면 기울어진 얼굴의 검출이 가능해야 한다. 기존의 많은 방식들에서 영상 내에 존재하는 회전된 얼굴을 검출하기 위해 얼굴 검출을 위한 윈도우를 반복적으로 회전시키며 얼굴검출기를 적용함으로써 얼굴의 회전각을 구한다. 그러나 이러한 방식은 많은 계산량을 필요로 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 점들의 집합이 주어질 때 그 점들의 대칭축을 검출하는 방법을 제안한다. 또한 얼굴이 대칭이라는 점에 착안해서 얼굴검출 윈도우 내의 에지 포인트들로 부터 대칭축을 추출함으로써 검출된 대칭축 방향에 대해서만 얼굴 검출기를 적용함으로써 얼굴의 회전각을 빠르고 정밀하게 검출하는 방법을 제안한다. 실험에 사용된 데이터베이스의 경우 제안된 알고리즘이 평균 0° , 표준편차 3° 의 오차 범위에서 얼굴의 대칭축을 검출함을 보였다.

▶ Keyword : 얼굴 검출, 회전된 얼굴 검출, 대칭축 검출

Abstract

In many face recognition applications such as security systems, it is assumed that upright faces are given to the system. In order for the system to be used in more general environments, the system should be able to deal with the rotated faces properly. It is a generally used approach to rotate the face detection window and apply face detector repeatedly to detect a rotated face in the given image. But such an approach requires a lot of computation time. In this paper, a method of extracting the axis of symmetry for a given set of points is proposed. The axis of symmetry for the edge points in the face detection window is extracted in a way that is fast and accurate, and the face detector is applied only for that direction. It is shown that the mean and standard deviation of the symmetry detection error is 0° and 3° respectively, for the database used.

▶ Keyword : Face detection, Rotated face detection, Axis of symmetry detection

• 제1저자 : 원보환 교신저자 : 구자영

• 투고일 : 2010. 10. 29, 심사일 : 2010. 11. 05, 게재확정일 : 2010. 11. 12.

* 단국대학교 컴퓨터 공학과(Dept. of Computer Engineering, Dankook University)

※ 본 연구는 2010년 단국대학교 교내연구비에 의해 연구되었음.

I. 서론

컴퓨터를 이용한 얼굴의 인식은 비밀번호를 입력하거나 지문 입력장치에 손을 대는 등 사용자의 능동적인 인증 절차 없이 사용될 수 있어서 사용자의 거부감이 적고 편의성이 높은 생체 인식방법이다. 이러한 편의성 때문에 최근 20여 년간 활발하게 연구되어 왔고, 많은 얼굴 인식 기법들이 제시되었다. 이러한 얼굴 인식 과정의 핵심 요소는 얻어진 영상 안에서 얼굴의 위치와 크기를 판단해서 배경과 분리하는 얼굴 검출의 과정이다. 이 과정은 이후의 인식 과정의 성능에 중대한 영향을 미치게 된다.

주어진 영상 내에서 얼굴 영역을 분할해 내는 다양한 얼굴 검출 방법들이 제안되었다. 이 방법들은 크게 두 부류로 나뉘는데 하나는 영상 기반의 방식이고 다른 하나는 특징 기반의 방식이다[1]. 영상 기반의 방식에서는 신경망[2,3], Eigenface [4,5,6], AdaBoost[7,8] 등 예처처럼 영상 전체에 대한 통계적 학습 알고리즘이 대표적으로 사용된다. 특징 기반의 방식에서는 얼굴을 눈, 코, 입과 같은 주요 구성 요소의 조합으로 간주한다. 이 방식에서는 이러한 특징들을 먼저 추출하고 이 특징들 간의 상호 관계를 분석함으로써 얼굴을 검출한다[9,10].

보안이나 특정한 목적을 위한 인식에 사용되는 입력 영상은 제한된 조건에서 수직으로 서있는 인물을 대상으로 하기 때문에 회전에 대한 고려가 필요 없지만, 일반적인 환경에서 인물에 대한 인식은 인물의 다양한 포즈 때문에 얼굴의 회전에 대한 고려가 필요하다. 회전된 얼굴 검출 기능을 포함하는 인식 방식은 많은 계산량을 필요로 함으로 인식 속도에 영향을 주게 된다. 위에 언급한 대부분의 방식들은 수직 방향의 얼굴을 검출하는데 적합한 방식들이다. 따라서 위의 방법들이 기울어진 얼굴을 검출하기 위해 사용될 때에는 주어진 윈도우의 크기와 위치에서 윈도우를 회전 시켜 가면서 가장 적합도가 높은 각도에서 얼굴을 검출하는 방식을 택한다. 이러한 방식에서는 윈도우의 크기, 위치, 및 회전각에 대해서 반복을 시행해야 함으로 많은 계산량을 필요로 한다.

본 논문에서는 가능한 모든 회전각에 대해서 반복적으로 적합도를 계산함으로써 얼굴의 회전각을 찾아내는 대신 얼굴이 대칭을 이룬다는 점에 착안해서, 주어진 윈도우 안의 에지 포인트들을 이용해서 찾아진 대칭축 방향에 대해서만 적합도를 계산함으로써 얼굴의 회전각을 빠르고 정밀하게 검출하는 방법을 제안하고 있다.

2장에서는 점들의 집합이 주어질 때 그 집합의 대칭축을 가장 잘 묘사하는 직선을 2 개의 매개변수로 나타내어 검출하

는 방식을 제안한다. 또한 대칭축이 통과하여야 하는 위치를 제약조건으로 추가함으로써 대칭축을 1 개의 매개변수로 나타내어 검출하는 방식을 제안한다. 3장에서는 2장에서 제안된 방식을 회전된 얼굴의 검출에 적용한 실험결과를 보이고 4장에서는 결론을 기술하고 있다.

II. 대칭축 검출

2.1 2계수 대칭축 검출

직선 R 에 대한 점 p 의 대칭변환을 $q = M_R(p)$ 로 나타낼 때, 주어진 점의 집합 $S = \{p_1 \dots p_k\}$ 에 속한 모든 p_i 에 대해서 $M_R(p_i) \in S$ 인 R 이 존재하면 S 는 R 에 대해서 대칭이다. 점의 집합 $E = \{e_1 \dots e_N\}$ 가 주어질 때 대칭축 검출문제는 E 의 가장 큰 대칭 부분 집합과 이에 대한 대칭축 R 을 구하는 것이다.

E 에 속한 두 점 $e_i(x_i, y_i)$ 와 $e_j(x_j, y_j)$ 가 R 에 대해서 대칭인 두 점이라면, R 은 두 점의 수직 이등분선이 되고 $y = mx + h$ 로 표시될 수 있다. 따라서 xy 공간에서 한 쌍의 점은 mh 공간에서 하나의 점으로 사상된다. R 을 중심으로 한 모든 쌍의 대칭점들은 같은 계수를 공유함으로써, 모든 점들의 쌍에 대한 계수를 mh 공간에서 누적시키면 R 의 계수를 중심으로 군집을 이루게 될 것이다. 직선을 양함수 형식으로 나타낼 때 기울기가 무한대가 되는 경우를 처리할 수 없으므로 식 (1) 과 같이 r 과 θ 로 나타내어 이러한 문제를 해결한다(그림 1).

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta \dots \dots \dots (1)$$

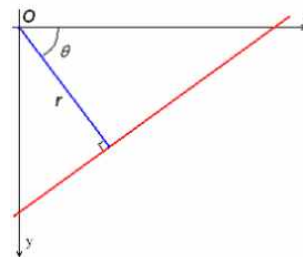


그림 1. θ 와 r 을 이용한 직선의 표현
Fig. 1. Description of a line using θ and r

대칭축의 2 계수 검출 알고리즘은 다음과 같다.

1. 초기화

주어진 영상으로부터 에지 포인트의 집합

$E = \{e_1, \dots, e_N\}$ 를 추출한다.

$TBL_{\theta_r}[k, l] = 0$ 로 초기화한다. TBL_{θ_r} 은 직선의 계수공간을 표현하는 2차원 배열이다.

2. 대칭축 후보의 계수추출 및 누적

각각의 $(e_i, e_j) \in E \times E$ 에 대해서 다음의 과정을 반복.

두 점의 수직이등분선을 $ax + by + c = 0$ 로 표시할 때,

$$a = x_j - x_i$$

$$b = y_j - y_i$$

$$c = -\frac{1}{2}(x_j^2 - x_i^2 + y_j^2 - y_i^2)$$

$$y = mx + h \text{ 일 때, } m = -\frac{a}{b}, h = -\frac{c}{b}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right), r = \frac{|c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

if $\theta > 0$ and $h < 0$ then $\theta = \theta + \pi$

if $\theta < 0$ and $h < 0$ then $\theta = \theta + 2\pi$

if $\theta < 0$ and $h > 0$ then $\theta = \theta + \pi$

$$k = \left\lfloor \frac{180}{\pi} \theta \right\rfloor, l = \lfloor r \rfloor$$

$$TBL_{\theta_r}[k, l]++$$

3. 대칭축 계수의 결정

$$(\theta_{sym}, r_{sym}) = \operatorname{argmax}_{(k, l)} (TBL_{\theta_r}[k, l])$$

그림 2와 3은 각각 인공적인 도형과 표준 얼굴에 대한 대칭축 검출과정을 보인다. 그림 2(a)는 나비 모양의 인공도형이고, 2(b)는 에지 포인트들의 집합과 $\theta_{sym} = 60^\circ, r_{sym} = 183$ 으로 검출된 대칭축을 보이며, 그림 2(c)는 θ_r 공간에서 검출된 대칭축의 계수를 보인다.

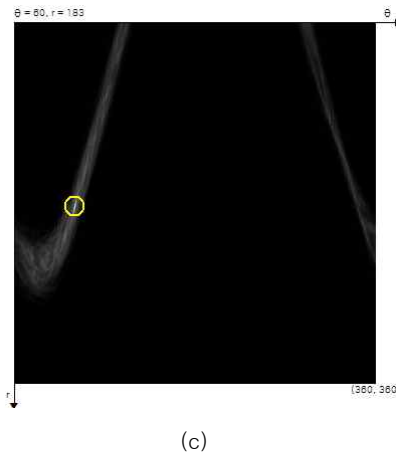
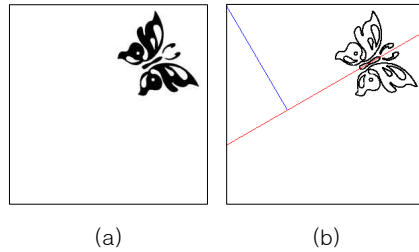
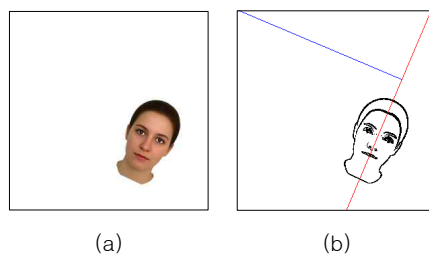
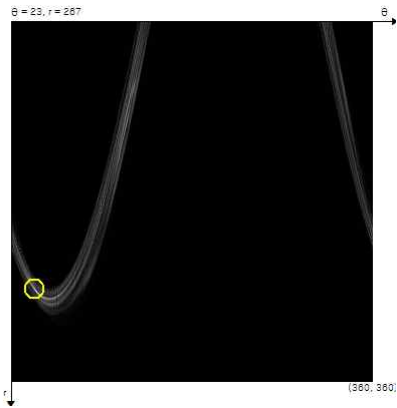


그림 2 인공적인 도형에 대한 대칭축 검출과정 (a) 입력영상 (b) 에지 포인트의 집합과 검출된 대칭축 (c) θ_r 공간에서 검출된 대칭축의 계수
Fig. 2. Detection of the axis of symmetry for an artificial figure. (a) Input image (b) Set of edge points and detected axis of symmetry (c) Detected parameter of the axis of symmetry in θ_r space.

그림 3(a)는 회전된 표준 얼굴 영상이고, 3(b)는 에지 포인트들의 집합과 $\theta_{sym} = 23^\circ, r_{sym} = 267$ 로 검출된 대칭축을 보이며, 그림 3(c)는 θ_r 공간에서 검출된 대칭축의 계수를 보인다.





(c)

그림 3. 회전된 표준 얼굴 대한 대칭축 검출과정.(a)입력영상 (b)에지 포인트의 집합과 검출된 대칭축 (c) θ -r 공간에서 검출된 대칭축 계수
 Fig. 3. Detection of the axis of symmetry for the rotated standard face image (a)Input image (b)Set of edge points and detected axis of symmetry (c)Detected parameter of the axis of symmetry in θ -r space.

2.2 1계수 대칭축 검출

대칭축이 영상 내의 특정한 점을 반드시 지난다는 조건이 추가되면 대칭축은 하나의 매개변수 θ 로 표현된다. 예를 들어 얼굴 검출의 경우 얼굴이 윈도우의 중심에 위치하게 되는 윈도우를 찾게 되므로 얼굴의 대칭축이 윈도우의 중심을 지난다는 조건이 적용될 수 있다. 이러한 경우에는 계수공간을 표현하는 배열이 1차원이 되고 문제는 더욱 간단해진다. 대칭축이 윈도우의 중앙을 지난다고 가정하고 이 점을 (x_0, y_0) 라고 할 때 대칭축은 $ax_0 + by_0 + c = 0$ 을 만족하고, 대칭축 검출 문제는 수직 이등분선이 이 식을 만족하는 점들의 쌍들을 구하고 가장 많은 쌍들에 의해 공유되는 θ 값을 구하는 것이다. 대칭축의 1 계수 검출 알고리즘은 다음과 같다.

1. 초기화

주어진 영상으로부터 에지 포인트의 집합

$$E = \{e_1, \dots, e_N\}$$

를 추출한다.

$TBL_\theta[k]=0$ 로 초기화한다. TBL_θ 는 직선의 계수공간을 표현하는 1차원 배열이다.

2. 대칭축 후보의 계수추출 및 누적

각각의 $(e_i, e_j) \in E \times E$ 에 대해서 다음의 과정을 반복
 두 점의 수직이등분선을 $ax + by + c = 0$ 로 표시할 때,

$$a = x_j - x_i$$

$$b = y_j - y_i$$

$$c = -\frac{1}{2}(x_j^2 - x_i^2 + y_j^2 - y_i^2)$$

if $ax_0 + by_0 + c = 0$ then

$$\text{대칭축의 기울기 } \theta = \tan^{-1}\left(-\frac{a}{b}\right)$$

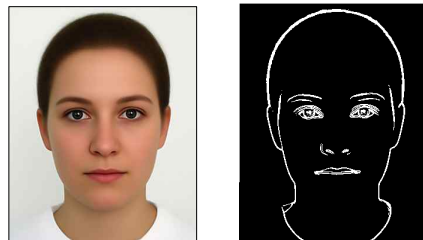
$$k = \left\lfloor \frac{180}{\pi}\theta + 90 \right\rfloor$$

$$TBL_\theta[k]++$$

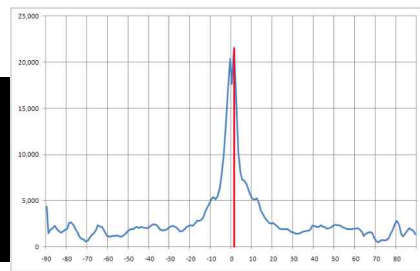
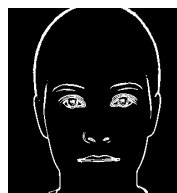
3. 대칭축 계수의 결정

$$\theta_{sym} = \text{argmax}_k (TBL_\theta[k])$$

그림 4는 기울어진 표준 얼굴의 대칭축 검출 과정을 보인다. 그림 4(a)는 표준 얼굴 영상과 추출된 에지 포인트의 집합을 나타낸다. 그림 4(b)는 회전되지 않은 얼굴 영상과 대칭축의 1 계수 검출 알고리즘으로 검출된 회전각을 보인다. 그림 4(c)는 좌측으로 20도 회전된 얼굴 영상과 대칭축의 1 계수 검출 알고리즘으로 검출된 회전각을 보인다. 그림 4(d)는 우측으로 30도 회전된 얼굴 영상과 대칭축의 1 계수 검출 알고리즘으로 검출된 회전각을 보인다.



(a)



(b)

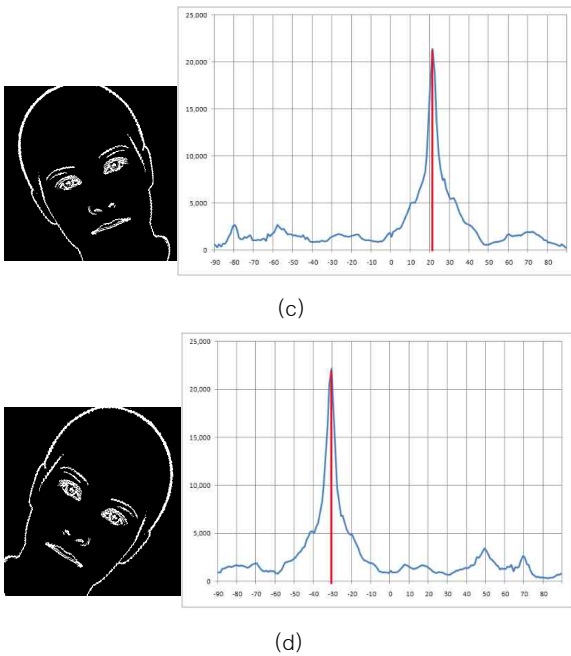


그림 4. 회전된 표준 얼굴 대한 회전각 검출과정 (a)표준 얼굴과 추출된 에지 포인트의 집합 (b)회전되지 않은 얼굴과 θ 공간에서 검출된 회전각 (c)좌측으로 20도 회전된 얼굴과 θ 공간에서 검출된 회전각 (d)우측으로 30도 회전된 얼굴과 θ 공간에서 검출된 회전각

Fig. 3. Detection of rotation angle of standard face image.(a) standard face and the set of edge points (b) upright face and detected rotation angle in θ space (c) 20° left rotated standard face and detected rotation angle in θ space (d) 30° right rotated standard face and detected rotation angle in θ space

그림 5는 얼굴을 포함하는 일반적인 영상에서 1 계수 대칭축 검출 알고리즘을 이용하여 회전된 얼굴들을 검출한 결과이다.



그림 5. 1계수 대칭축 검출 알고리즘을 이용한 회전된 얼굴 검출
Fig. 5. Rotated face detection using single coefficient symmetry finding algorithm

180°를 N 으로 나눈 해상도 범위에서 회전각을 검출하는

경우, 얼굴 검출기의 동작 시간을 T_f 라고 할 때 기존의 방식에서는 NT_f 의 시간이 소요된다. 제안된 방식에서는 대칭축 검출 시간 T_s 가 검출하고자 하는 각도 해상도에 무관하므로 총소요시간은 $T_s + T_f$ 이다. 따라서 보다 정밀한 해상도에서 회전각을 검출하거나 많은 계산량을 필요로 하는 고성능의 얼굴 검출기를 사용할수록 제안된 방식의 상대적 동작 속도가 기존 방식에 비해 빨라진다.

III. 실험 및 결과

제안된 방법의 성능 평가를 위해 LFW(Labeled Faces in the Wild) 얼굴 데이터베이스[11]가 사용되었다. LFW 데이터베이스에는 웹에서 수집된 13,000개의 영상이 포함되어 있으며, 크기(250x250)와 얼굴의 중심이 정규화 되어 있다.

실험을 위해 영상 데이터베이스로부터 149개의 서로 다른 인물의 영상을 선택하였다. 선택된 영상은 $-10^\circ \sim 10^\circ$ 정도의 회전된 얼굴 영상을 포함하고 있다. 선택된 영상이 $-90^\circ \sim 90^\circ$ 까지 15° 단위로 회전시킴으로써 실험 데이터 집합을 구성하였다. 하나의 얼굴마다 13개의 회전된 영상을 가지게 되므로 총 1,937개가 실험 대상으로 사용되었으며 이들 중 회전 각도가 $-90^\circ \sim 90^\circ$ 사이를 벗어나는 153개는 제외하고 1,784개가 실험 데이터로 사용되었다.

윈도우의 크기가 큰 경우 머리카락이나 배경이 윈도우 내에 포함되어 대칭축 검출의 오류가 커질 수 있으므로, 눈과 코를 포함하는 작은 크기의 원형 윈도우를 사용함으로써 회전된 얼굴을 안정되게 검출하도록 하였다.

제안된 대칭축 검출 알고리즘을 이용하여 검출한 회전각과 실제 얼굴의 회전각의 차이를 오차로 하여 성능을 평가하였다. 각 얼굴의 실제 회전각은 양 눈의 위치를 이용해서 측정하였다. 결과는 표 1에 보이는 바와 같다. 실험 데이터에 대칭축 검출 알고리즘을 적용한 결과 평균 0° , 표준편차 3° 의 오차 범위에서 얼굴의 대칭축을 검출함을 보였다. 그림 6은 몇 개의 데이터에 대해서 검출된 대칭축의 예를 보인다.

표 1. 대칭축의 검출오류

Table 1. The error of axis of symmetry detection

회전각도	개수	오차평균	표준편차
-15°~15°	295	-0.10	2.03
±15°~±30°	298	-0.04	2.49
±30°~±45°	298	-0.19	3.84
±45°~±60°	298	0.15	3.89
±60°~±75°	298	0.01	2.86
±75°~±90°	297	-0.12	2.53
전체	1,784	-0.04	3.02



그림 6. 대칭축 검출의 몇 가지 사례
Fig. 6. Some examples of axis of symmetry detection

IV. 결론

본 논문에서는 주어진 점의 집합에 대해서 2 개의 자유도를 갖는 대칭축의 검출 방법과 하나의 제약 조건을 추가함으로써 1 개의 자유도를 갖는 대칭축의 검출 방법을 제안하였다. 얼굴이 대칭을 이룬다는 점에 착안하여 제안된 방법을 기울어

진 얼굴을 검출하는데 적용하였다. 가능한 모든 회전각만큼 회전된 얼굴 검출 윈도우에 대해서 반복적으로 적합도를 계산함으로써 얼굴의 회전각을 결정하는 대신 주어진 윈도우 안의 에지 포인트들을 이용해서 검출된 대칭축 방향에 대해서만 적합도를 계산함으로써 얼굴의 회전각을 빠르고 정밀하게 검출하는 방법을 제안하였다. LFW 얼굴 데이터베이스에서 추출한 1,784 개의 실험 데이터에 대해서 실험한 결과 제안된 알고리즘이 평균 0°, 표준편차 3° 의 오차범위에서 얼굴의 대칭축을 검출함을 보였다.

참고문헌

- [1] E. Hjelmas and B. K. Low, "Face Detection: A survey," CVIU 83, pp.236-274, 2001
- [2] C. C. Tsai et al., "Face Detection Using Eigenface and Neural Network," IEEE Intl. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, vol.5, pp.4343-4347, 2006
- [3] A. Mohamed et al., "Face detection based neural networks using robust skin color segmentation," IEEE Intl. Conf. on Systems, Signals and Devices, pp.1-5, 2008
- [4] P. Viola and M. J. Jones, "Robust Real-time Object Detection," Technical Report Series, Cambridge Research Lab. 2001
- [5] A. R. Mohan and N. Sudha, "Fast face detection using boosted eigenfaces," IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications, vol.2, pp.1002 -1006, 2009
- [6] Kyoung-sik Cho, Ja Young Koo, "An acceleration method of face detection using forecast map", Journal of The Korea Society of Computer and Information, v.8, no.2, pp.31-36, 2003
- [7] S. Ma and T. Du, "Improved Adaboost Face Detection," Intl. Conf. on Measuring Technology and Mechatronics Automation, vol. 2, pp. 434-437, 2010
- [8] P. Deng and M. Pei, "Multi-View Face Detection Based on AdaBoost and Skin Color," Intl. Conf. on Intelligent Networks and Intelligent Systems, pp.457 -460, 2008
- [9] K. C. Yow and R. Cipolla, "Feature-based Human Face Detection," CUED/FINFENG/TR 249. Aug. 1996.
- [10] Jin-Yong Kim, Jae-Hwi Yoo, "A generation

methodology of facial expressions for avatar communications”, Journal of The Korea Society of Computer and Information, v.10, no.3, pp.55-64, July 2005.

[11] <http://vis-www.cs.umass.edu/lfw/>

저 자 소 개



원 보 환

단국대학교 화학과 학사
 단국대학교 컴퓨터과학전공 석사
 현재 : 단국대학교 컴퓨터과학전공 박사과정
 관심분야 : 컴퓨터 비전
 Email : wonbbo@gmail.com



구 자 영

서울대학교 전자공학과 학사
 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
 현재 : 단국대학교 컴퓨터학부 교수
 관심분야 : 컴퓨터 비전
 Email : jykoo@dankook.ac.kr

