

얼굴과 헤어영역의 기하학적 정보를 이용한 얼굴 검출

정회원 이우람*, 황동국*, 종신회원 전병민**°

Face Detection Using Geometrical Information of Face and Hair Region

Woo-Ram Lee*, Dong-Guk Hwang* *Regular Members*,
Byoung-Min Jun**° *Lifelong Member*

요약

본 논문은 영상의 얼굴과 헤어영역이 가지는 기하학적 정보를 이용한 얼굴 검출 알고리즘을 제안한다. 영상에서 얼굴과 헤어영역은 기하학적으로 인접하는 특성을 가지고 있고, 이러한 특성은 정면을 향하는 얼굴뿐만 아니라 회전된 얼굴이나 옆얼굴에서도 존재한다. 따라서 이러한 특징은 얼굴 검출을 위하여 사용될 수 있다. 제안한 알고리즘은 우선 영상에서 컬러정보를 이용하여 영상내의 피부영역과 헤어영역을 검출한다. 이렇게 검출된 피부영역의 특징을 분석하여 여러 피부영역 중 얼굴 후보영역을 찾는다. 이후 얼굴 후보영역과 헤어영역 사이의 교차영역을 생성한다. 마지막으로 검출된 여러 얼굴 후보영역 중 교차영역을 포함하고 있는 영역을 얼굴로 판단한다. 실험 결과는 정면 및 측면 얼굴 영상뿐만 아니라 기하학적으로 왜곡된 영상에서도 높은 검출률을 보였다.

Key Words : Face, Hair, Face detection, Computer vision

ABSTRACT

This paper proposes a face detection algorithm that uses geometrical information on face and hair region. This information that face adjoins hair regions can be the important one for face detection. It is also kept in images with frontal, rotated and lateral face. The face candidates are founded by the analysis of skin regions after detecting the skin and hair color regions in an image. Next, the intersected regions between face candidates and hair's are created. Finally, the face candidates that include the subsets of these regions turn out to be face. Experimental results showed the high detection rates for frontal and lateral faces as well as faces geometrically distorted.

I. 서론

영상에 존재하는 얼굴은 많은 정보를 포함하고 있기 때문에 보안, 인식시스템 등과 같은 다양한 HCI분야의 중요한 입력으로 사용되고 있다. 하지만 영상 내에서 얼굴은 빛의 조건, 카메라의 종류, 표정의 변화 등의 여러 원인으로 인하여 다양한 형태와 컬러로 표현되기 때문에 검출의 어려움이 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 얼굴

검출 알고리즘 관련 연구가 수행되고 있다^[1,2,3,4]. Ye peng Guan와 Lin Yang는 얼굴내의 눈, 입과 같은 특징점들의 분포를 이용한 알고리즘^[5]을 제안하였으며, Krishnan Nallaperumal et al.은 템플릿 매칭(template matching)에 기반한 얼굴 검출 방법^[6]을 제안하였다. 또한 신경망과 퍼지이론과 같은 의사결정 알고리즘을 기반으로 하는 연구들^[7,8]도 수행되었다.

그 중에서 Agus Santoso Lie et al.은 헤어는 검은

※ 이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

* 충북대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터비전 연구실(minayosi@nate.com), ** 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(bmjun@cbnu.ac.kr)° : 교신저자
논문번호 : KICS-2008-08-366, 접수일자 : 2008년 8월 21일, 최종논문접수일자 : 2009년 1월 12일

색이라는 가정과 얼굴과 헤어는 뒤집혀 있지 않다는 가정을 기반으로 얼굴과 헤어영역 사이의 기하학적 분석에 기반한 얼굴 검출 알고리즘을 제시하였다⁹⁾. Lie는 영상내의 컬러와 무채색 정보를 이용하여 피부색 영역과 헤어색 영역들을 추출하였다. 그리고 추출된 여러 영역들 중 얼굴과 헤어 후보영역을 선택하기 위하여 영역의 크기, 모양, 이심률(eccentricity) 그리고 영역들의 상대적인 크기 등의 많은 기준을 사용하였다. 이후, 선택된 얼굴과 헤어 후보영역들 중 실제 얼굴을 찾기 위하여 영역의 형태학적인 기준과 영역들 사이의 기하학적인 기준을 사용하였다. Lie는 이러한 두 가지 기준을 만족하는 얼굴과 헤어후보영역의 쌍을 얼굴 영역으로 판단하였다. 하지만 Lie가 제안한 알고리즘은 얼굴과 헤어 후보영역을 잡기 위하여 사용하는 기준이 복잡하기 때문에 검출에 많은 비용이 소모된다. 또한 헤어영역은 얼굴보다 항상 위에 존재한다고 가정하였기 때문에 영상자체가 틀어지거나 영상내의 얼굴이 기하학적으로 회전되어 있을 경우에는 얼굴 검출의 어려움이 존재한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 얼굴과 헤어의 기하학적인 정보를 이용하는 얼굴 검출 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 얼굴과 헤어 영역의 후보영역을 검출 한 후, 연산 속도의 향상을 위하여 복잡한 기준이 아닌 얼굴과 헤어영역 사이의 교차영역 정보를 이용하여 영상내의 얼굴을 검출한다. 제안한 알고리즘은 Lie의 방법보다 간단한 형태학적 기준을 사용하였기 때문에 빠른 수행이 가능하다. 또한 제안한 알고리즘에서 사용하는 얼굴과 헤어의 교차영역 정보는 기하학적으로 회전된 얼굴에서도 존재하기 때문에 기울어진 얼굴, 뒤집힌 얼굴, 정면을 바라보지 않는 얼굴이 존재하는 영상에서도 얼굴 검출이 가능하다.

본 논문의 II장에서는 영상에서 존재하는 얼굴과 헤어영역에 대해 살펴본다. III장에서는 피부색 영역과 헤어색 영역 추출 단계부터 최종 얼굴영역 판단까지 얼굴 검출의 전체 과정을 설명한다. IV장에서는 여러 종류의 대상으로 제안한 알고리즘의 결과를 보이고, V장에서 결론 및 향후 연구에 대해 논의한다.

II. 얼굴과 헤어의 교차영역

영상에서 얼굴은 조명 조건, 표정, 얼굴의 각도 등 여러 가지 조건에 의하여 다른 형태와 컬러로 나타난다. 이러한 현상은 영상내의 피부색 영역을

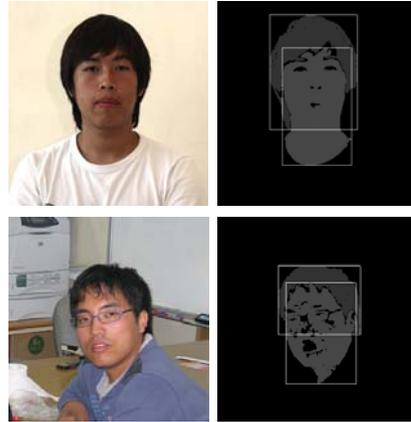


그림 1. 얼굴과 헤어의 교차영역

추출한 후 영역의 형태학적 정보나 눈, 코, 입과 같은 얼굴 내의 특징점을 분석하는 얼굴 검출 과정에서 장애요인이 된다. 이러한 문제의 해결을 위하여 제안한 알고리즘에서는 영상 내에 존재하는 얼굴영역과 헤어영역 사이의 교차영역 정보를 이용한다. 영상 내의 교차영역 C 는 다음과 같이 정의되며 그림 1과 같이 나타난다.

$$C = Rect(S_i) \cap Rect(H_i) \quad (1)$$

S_i 와 H_i 는 각각 원 영상에서 피부색과 헤어색 정보를 이용하여 추출된 피부색 영역들과 헤어색 영역들을 나타낸다. $Rect(A)$ 는 하나의 영역 A 를 포함하는 최소사각영역을 나타낸다. 그림 1에서처럼 실제 얼굴영역은 헤어영역과 근접해 있기 때문에 두 영역이 공통으로 포함하는 교차영역이 존재하게 된다. 하지만 이러한 교차영역은 성별, 얼굴의 각도, 조명 등의 다양한 조건에 의하여 다른 형태로 나타날 수 있다. 이러한 다양성 때문에 제안한 알고리즘에서는 헤어영역의 컬러를 검은색이라고 가정한다.

하지만 제안한 알고리즘은 헤어영역의 형태에는 독립적으로 수행 될 수 있다.

III. 교차영역을 이용한 얼굴 검출

제안한 알고리즘은 컬러 정보를 이용하여 원 영상에서 피부색 영역과 헤어색 영역을 추출하는 단계부터 시작한다. RGB 영상은 물체의 컬러 정보뿐만 아니라 물체를 비추는 조명정보도 함께 포함하고 있기 때문에 동일한 물체라도 조명에 따라 다른 값으로 표현 될 수 있다. 따라서 조명 정보를 제외

한 컬러성분을 얻기 위하여 아래와 같은 변환공식을 통해 RGB 컬러공간을 YCbCr 컬러공간으로 변환한다. YCbCr 컬러 공간에서 Y 성분과 Cb, Cr 성분은 각각 조명과 컬러 정보를 나타낸다. YCbCr 컬러공간의 각 성분은 영상 내에 존재하는 피부색 픽셀 Sp와 헤어색 픽셀 Hp를 얻는데 사용된다. YCbCr 컬러 공간으로 변환된 입력 영상을 I(x,y)라 할때, Sp와 Hp는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} Sp &= \{I(x,y) | 100 < Cb < 125, 138 < Cr < 160\} \\ Hp &= \{I(x,y) | 123 < Cb < 134, \\ &\quad 123 < Cr < 134, Y < 70\} \end{aligned} \quad (2)$$

Sp는 영상 내에서 얼굴을 비롯한 팔, 다리와 같은 피부색을 가지는 위치에 영역 형태로 나타나게 되며, 이러한 영역들의 집합은 Si로 표현한다. 마찬가지로 Hp는 영상 내에서 헤어나 어두운 영역에서 나타나며 이러한 영역들의 집합은 Hi로 표현한다. 하지만 영상에서는 작은 Si와 Hi도 존재할 수 있기 때문에 제거(opening)연산의 수행으로 작은 Si와 Hi를 제거하여 일정 크기 이상의 Si와 Hi만을 남긴다. 이렇게 추출된 Si에는 실제 얼굴영역 뿐만 아니라 피부색을 가지는 배경 영역, 팔, 다리와 같은 얼굴이 아닌 피부색 영역도 포함될 수 있기 때문에, 이러한 영역을 제거하는 과정이 수행되어야 한다. 이를 위하여 하나의 영역 A에 대한 다음과 같은 여러 속성을 사용한다.

- A의 픽셀수 Pix(A)
- A의 장축의 길이 Major(A)
- A의 단축의 길이 Minor(A)
- A를 포함하는 최소사각형 Rect(A)

위와 같은 하나의 영역 A에 대한 여러 속성들에 관해 다음과 같은 기준을 사용하여 여러 Si중 얼굴 후보영역 FSi을 선택한다.

$$C_1 = \{S_i | Pix(S_i) > \alpha\} \quad (3)$$

$$C_2 = \{S_i | Major(S_i) / Minor(S_i) > \beta\} \quad (4)$$

$$C_3 = \{S_i | Rect(S_i) / Pix(Rect(A)) > \gamma\} \quad (5)$$

$$FS_i = \{S_i | S_i \in C_1 \cap C_2 \cap C_3\} \quad (6)$$

첫 번째 기준 C1은 얼마나 많은 픽셀들로 영역이

이루어졌는가를 고려한다. 영상에서의 얼굴은 아주 작은 영역형태로 나타나지 않기 때문이다. 두 번째 조건 C2에서 Major(Si)는 Si를 포함하는 사각형 영역에서 가로와 세로 중 더 큰 값을 나타내며 Minor(Si)는 반대로 작은 값을 나타낸다. 두 값의 비가 크게 나타난다면 해당영역은 정사각형이 아닌 길쭉한 형태를 이루게 된다. 하지만 대부분의 얼굴은 타원 형태를 이루고 있기 때문에 이러한 길쭉한 형태의 영역은 얼굴이 아닌 다른 피부색 영역이거나 배경영역일 가능성이 높다. 다음의 조건 C3는 영역을 포함하는 사각형내의 총 픽셀수와 영역의 픽셀수의 비를 고려한다. 일반적으로 얼굴은 타원 형태이므로 피부색 영역 Si를 포함하는 최소 사각영역 안에는 많은 피부색 픽셀이 존재한다. 따라서 여러 Si중 자신을 포함하는 최소 사각영역 내에 피부색 픽셀을 많이 포함하지 않는 Si는 얼굴 후보영역으로 선택되지 않는다. 여러 Si중 C1, C2, C3를 모두 만족하는 Si들을 얼굴 후보영역 FSi로 선택한다. 마찬가지로 방법으로, 여러 Hi중 헤어 후보영역 FHj를 다음의 조건을 이용하여 선택한다.

$$FS_i = \{H_i | Pix(H_i) > \delta\} \quad (7)$$

여러 FSi 중 실제 얼굴영역을 검출하기 위해 2장에서 설명한 교차영역 C를 이용한다. 교차영역 C는 영상 내의 여러 부분에 존재한다. 실제로 얼굴은 헤어와 근접하기 때문에 얼굴 후보영역 FSi중 실제 얼굴영역은 교차영역 C가 포함되어야 한다. 따라서 아래와 같은 식을 사용하여 얼굴 후보영역 FSi중 얼굴 영역 Fi을 검출한다.

$$F_i = \{FS_i | Pix(Rect(FS_i)) \cap Pix(C) > \epsilon\} \quad (8)$$

그림 2는 제안한 알고리즘의 각 단계별 결과영상을 나타낸다. 그림 2의 (b)영상은 원 영상 (a)을 이용하여 얻은 Si와 Hi를 나타낸다. (b)영상 내의 Si에는 얼굴을 비롯한 다른 피부색 영역이 나타나 있는 것을 확인 할 수 있다. 이렇게 얻은 Si와 Hi는 앞서 설명한 여러 기준을 사용하여 (c)와 (d)영상에서 보는 것과 같이 얼굴 후보영역 FSi와 헤어 후보영역 FHj로 나타난다. 이미지에 나타난 3개의 Si중 오른쪽 영역은 C2 조건에 해당하지 못해 제거된다. 실제

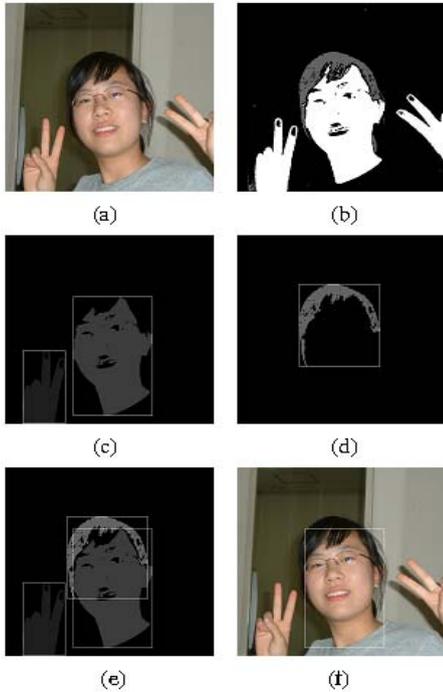


그림 2. 제안한 알고리즘의 각 단계 영상

얼굴을 검출하기 위해 사용될 얼굴과 헤어의 교차영역 C 는 (e)영상에 나타나 있다. 마지막으로 (f)영상은 FS_i 와 C 를 분석하여 검출된 얼굴영역 F_i 을 나타낸다. (c)영상에서 나타난 두 개의 얼굴 후보영역 FS_i 중 오른쪽은 교차영역의 정보를 많이 포함하고 있어 얼굴로 검출되지만 왼쪽은 교차영역 정보를 포함하고 있지 않기 때문에 얼굴로 검출되지 않는다.

IV. 실험 결과 및 고찰

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 다양한 종류의 실험 영상을 사용하였다. 실험 영상에는 하나의 얼굴만을 포함하는 단일 영상, 두개 이상의 얼굴을 포함하고 있는 다수 얼굴 영상, 정면을 향하고 있지 않은 옆얼굴이 존재하는 영상, 기하학적으로 기울어진 영상 등이 포함되었다. 제안한 알고리즘의 성능은 표 1에 있는 여러 기준을 이용하여 평가되었다.

표 1. 성능 평가 기준

기준	TP	TN	FP
얼굴 유무	O	O	X
판단 유무	O	X	O

표 2. 사용된 파라미터

파라미터	타입	값
α	최소 픽셀 수	1200
β	장/단축의 비율	0.34
γ	픽셀의 응집성	0.5
δ	최소 픽셀 수	500
ϵ	교차영역의 비율	0.1

표 3. 제안한 알고리즘의 성능(%)

영상 \ 기준	TP	TN	FP
단일 얼굴 영상	0.91	0.09	0.18
다수 얼굴 영상	0.87	0.13	0.04
옆 얼굴 영상	0.86	0.14	0.08
기울어진 영상	0.90	0.10	0.06

TP는 영상 내에 존재하는 얼굴 영역을 정확히 검출한 경우이며, 반대로 TN은 영상 내의 얼굴을 검출하지 못한 경우이다. 마지막으로 FP는 얼굴이 아닌 영역을 얼굴로 오검출한 경우를 나타낸다. 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 표 2와 같은 파라미터들을 사용하여 총 187개의 얼굴을 대상으로 제안한 알고리즘을 수행하였다.

각 영상군의 FP는 실험 영상의 총 얼굴 수를 기준으로 계산되었다. 제안한 알고리즘의 성능은 표 3에 나타나 있는 것처럼, 다양한 종류의 영상들을 대상으로 높은 TP와 낮은 TN, FP를 나타냈다. 또한 제안한 알고리즘과 다른 알고리즘과의 성능 비교를 위하여 컬러와 형태학적 정보 기반의 알고리즘들^[10,11,12]을 선택하였다. 성능 비교 기준으로는 DR과 FR을 사용하였다. DR은 영상내의 얼굴을 정확히 찾은 경우이며 FR은 찾은 얼굴이 실제 얼굴이 아니거나 실제 얼굴을 검출하지 못한 경우이다. 그림 3에서 보는 것과 같이 제안한 알고리즘은 다른 얼굴 검출 알고리즘에 비해 높은 DR과 낮은 FR을 나타냈다.

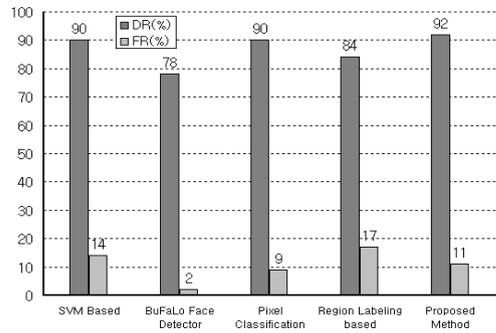


그림 3. 얼굴 검출 알고리즘의 성능 비교

그림 4는 다양한 영상들에 대한 실험 결과를 보여 준다. 제안한 알고리즘은 영상내의 얼굴의 개수에 관계없이 얼굴 검출이 가능하다. 또한 제안한 알고리즘은 Lie의 알고리즘과는 달리 얼굴과 헤어의 교차영역의 정보를 사용하기 때문에 그림 4의 아래에 있는 영상처럼 기울어진 영상이나 정면이 아닌 얼굴이 포함되어 있는 영상에서도 얼굴 영역을 검출 할 수 있다. 그림 5에는 잘못된 얼굴 검출 결과가 나타나 있다. 위의



그림 4. 여러 실험 영상과 검출 결과



그림 5. 잘못된 결과 영상

영상에 존재하는 피부색을 가지는 배경 영역은 헤어영역과 인접하여 있기 때문에 얼굴로 판단되었다. 또한 아래의 영상에서 오른쪽 얼굴은 최종 얼굴 후보영역으로 판단되지만 헤어영역이 존재 하지 않기 때문에 최종적으로 얼굴로 판단하지 않는다.

V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 얼굴과 헤어의 기하학적 정보를 이용한 얼굴 검출 알고리즘을 제안하였다. 컬러 정보를 이용하여 검출된 얼굴 후보영역들 중 얼굴이 아닌 영역은 여러 가지 파라미터를 사용하여 제거 되었고, 얼굴과 헤어의 교차영역을 이용하여 얼굴 후보영역들 중 실제 얼굴영역을 판단하였다. 제안한 알고리즘에서 사용한 교차영역은 많은 연산을 필요로 하지 않아 간단히 추출 될 수 있었다. 또한 얼굴의 각도나 기하학적인 회전에 상관없이 교차영역은 나타나기 때문에 정면을 응시한 얼굴이 아니더라도 검출이 가능하였다.

하지만 본 논문에서는 검은색 헤어만을 대상으로 하였기 때문에 다른 색을 가지는 헤어나 염색된 헤어 그리고 조명으로 인해 밝아진 헤어와 얼굴 영역은 검출이 불가능하다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 다양한 헤어색에도 제안한 알고리즘을 적용할 수 있도록 헤어색에 대한 연구와 조명의 종류에 관계없이 물체의 색을 결정할 수 있는 컬러 항상성(color constancy)에 관한 차후의 연구가 수행되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] Vadakkepat P., Lim P., De Silva L.C., Liu Jing and Li Li Ling, "Multimodal Approach to Human-Face Detection and Tracking," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, Vol.55, Issue 3, pp.1385-1393, Mar. 2008.

[2] Hadid A., Heikkila J.Y., Silven O. and Pietikainen M., "Face and Eye Detection for Person Authentication in Mobile Phones," *Distributed Smart Cameras 2007*, pp.101-108, Sept. 2007.

[3] Delong P., Polikarpov B. and Krumnkl M., "Face Detection by DSP Using Directly Connected Camera," *Radioelektronika 2007*, pp.1-3, Apr. 2007.

[4] Berbar M. A., Kelash H. M. and Kandeel A. A., "Faces and Facial Features Detection in Color Images," *Geometric Modeling and Imaging--New Trends 2006*, pp.209-214, Jul. 2006.

[5] Yepeng Guan and Lin Yang, "An unsupervised face detection based on skin color and geometric information," *Intelligent Systems Design and Applications 2006*, Vol.2, pp.272-276, Oct. 2006.

[6] Krishnan Nallaperumal, Ravi Subban, Krishnaveni K., Lenin Fred and R.K. Selvakumar, "Human face detection in color images using skin color and template matching models for multimedia on the Web," *Wireless and Optical Communications Networks 2006*, p.5, Apr., 2006.

[7] Shahrin Azuan Nazeer, Nazarruddin Omar, Khairol Faisal Jumari and Marzuki Khalid, "Face Detecting Using Artificial Neural Network Approach," *Modelling & Simulation 2007*, pp.394-399, Mar., 2007.

[8] Heesung Lee, Sungjun Hong, Kyongsae Oh, Euntai Kim and Mignon Park, "TSK Fuzzy modeling approach for Face detection," *SICE-ICASE 2006*, pp.3941-3944, Oct. 2006.

[9] Agus Santoso Lie, Kunio Goharam and Toshiaki Ejima, "Face Detection From Geometrical Analysis of Skin and Hair Color Regions," *Gazo Denshi Gakkai Nenji*

Taikai Yokoshu, Vol.31, pp.71-72, 2003.

[10] Son Lam Phung, Bouzerdoum A., Chai D., Kuczborski W., "A color-based approach to automatic face detection," *Signal Processing and Information Technology 2003*, pp.531-534, Dec. 2003.

[11] Hongliang Jin, Qingshan Liu, Hanqing Lu, "Face detection using one-class-based support vectors," *Automatic Face and Gesture Recognition 2004*, pp.457-462, May 2004.

[12] Albiol A., Bouman C. A., Delp E. J., "Face detection for pseudo-semantic labeling in video databases," *Image Processing, 1999*, pp.607-611, Vol.3, Oct. 1999.

이 우 람 (Woo-Ram Lee)

정회원



2003년 2월 충북대학교 컴퓨터 공학과 학사
 2005년 2월 충북대학교 컴퓨터 공학과 석사
 2006년 3월~현재 충북대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 색 일관성, 얼굴 검출, 컴퓨터비전 등

황 동 국 (Dong-Guk Hwang)

정회원



1998년 2월 충북대학교 컴퓨터 공학과 학사
 2000년 2월 충북대학교 컴퓨터 공학과 석사
 2000년~현재 충북대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 색 일관성, 시각시스템, 객체 인식 등

전 병 민 (Byoung-Min Jun)

종신회원



1976년 한국항공대학교 전자공학과 학사
 1979년 연세대학교 전자공학과 석사
 1988년 연세대학교 전자공학과 박사
 1986년~현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수
 <관심분야> 디지털신호처리, 영상처리, 컴퓨터비전