

Object Contour Extraction Algorithm Combined Snake with Level Set

JaeYong Hwang[†] · Yingjun Wu^{**} · JongWhan Jang^{***}

ABSTRACT

Typical methods of active contour model for object contour extraction are snake and level. Snake is usually faster than level set, but has limitation to compute topology of objects. Level set on the other hand is slower but good at it. In this paper, a new object contour extraction algorithm to use advantage of each is proposed. The algorithm is composed of two main steps. In the first step, snake is used to extract the rough contour and then in the second step, level set is applied to extract the complex contour exactly. 5 binary images and 2 natural images with different contours are simulated by a proposed algorithm. It is shown that speed is reduced and contour is better extracted.

Keywords : Active Model, Snake, Level Set, Object Contour Extraction, Object Topology

스네이크와 레벨 셋 방법을 결합한 개체 윤곽 추출 알고리즘

황재용[†] · 오응준^{**} · 장종환^{***}

요약

능동 개체 윤곽 추출의 대표적인 방법은 스네이크(Snake)와 레벨 셋(Level Set) 기술이다. 일반적으로 스네이크는 속도는 빠르나 개체 위상을 처리하는 데 제약이 있다. 그러나 레벨 셋은 속도는 느리지만 개체 위상에 관계없이 잘 처리할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 빠르고 복잡한 위상을 처리하기 위해 두 방법의 장점을 이용한 알고리즘을 제안한다. 알고리즘은 2단계로 구성된다. 첫 번째 단계는 스네이크를 사용하여 빠르게 개체의 대략적인 윤곽을 추출한 후 레벨 셋을 두 번째 적용하여 복잡한 개체 윤곽을 정확하게 추출한다. 제안한 알고리즘은 다양한 위상을 갖는 5개의 이진영상 및 2개의 자연영상에 적용하여 속도 및 윤곽 추출이 개선된 것을 보여 준다.

키워드 : 능동 모델, 스네이크, 레벨 셋, 개체 윤곽 추출, 개체 위상

1. 서론

멀티미디어 데이터가 현재는 음성 및 문자로 대부분을 구성하고 있으나 향후에는 카메라, 컴퓨터 및 통신 기술의 발전으로 영상 정보가 급속히 증가할 것으로 예상된다. 카메라는 크게 2가지 모듈로 구성된다. 첫 번째 모듈인 렌즈의 기술은 광학적 성능 개선을 통해 높은 조리개 값을 갖는 다수의 렌즈 제작이 가능하여 어두운 영역에서 좋은 영상을 획득할 수 있다. 두 번째 모듈인 CMOS 및 CCD 영상센서 기술 발전으로 고해상도를 갖는 고성능 카메라가 탑재된 장

비를 범용으로 사용하는 것이 가능하다. 컴퓨터를 구성하는 모듈은 CPU, 메모리, 하드디스크로 구성되는데 각 모듈의 기술 발전으로 과거에는 엄두도 내지 못했던 고해상도 영상을 동시에 여러 장 띄워 놓고 복잡한 알고리즘을 거의 실시간으로 구현하는 것이 가능하다. 고성능 카메라가 최근 스마트폰, 태블릿 PC와 같은 휴대폰 기기들의 기술적 진보와 LTE-A 통신 기술의 발달로 인해 사람들은 언제 어디서든지 정보통신망에 접근할 수 있게 되었다. 이러한 휴대폰 기기를 통한 모바일 뱅킹, 모바일 쇼핑 등과 같은 서비스를 활성화하기 위해서는 정보보호를 해결하여야 하는데 그 중의 한 가지 방법이 영상을 이용한 인식기술이다. 영상인식 기술을 이용한 응용분야는 지문인식, 제스처 인식, 걸음걸이 인식, 얼굴인식 등이다. 영상인식의 중요한 요소기술 중의 하나는 영상 내에 있는 개체 추출이다. 대표적인 개체 추출

[†] 준회원: ㈜모비다임 대표이사
^{**} 비회원: 배재대학교 정보통신학과 석사과정
^{***} 종신회원: 배재대학교 정보통신공학과 교수
Manuscript Received: February 18, 2014
First Revision: April 10, 2014
Accepted: April 10, 2014
* Corresponding Author: JongWhan Jang(jangjw@pcu.ac.kr)

방법은 능동윤곽 방법인데 스네이크 및 레벨 셋이 널리 알려져 있다. 스네이크는 에너지 함수의 최소화 연산을 반복하면 스네이크 포인트가 개체 방향으로 이동하면서 스네이크 포인트의 간격이 점진적으로 같게 되면서 원 모양을 구성한다[1-5]. 그러므로 원 또는 타원 모양의 윤곽을 갖는 개체에 적합한 방법이고 안쪽으로 많이 들어간 오목한 윤곽, 목이 긴 윤곽, 굴곡이 심한 윤곽, 내부 윤곽 등과 같이 복잡한 위상을 갖는 개체는 어렵고 많은 제약이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Xu[3-4]는 GVF(Gradient Vector Flow) 스네이크를 제안하여 원 모양을 구성하려는 스네이크 포인트를 안쪽으로 이동시켜 오목한 윤곽을 추출하였다. 이 방법은 GVF 에너지 맵을 계산하는 데 많은 시간이 소요되고 호리병 모양의 윤곽을 갖는 객체는 좁은 입구에서 에너지의 포화현상으로 안쪽 깊숙한 윤곽까지 이동시킬 수 없는 것이 단점이다. Kim[5]은 중범선벡터(Bi-Normal Vector)를 이용한 프레네 방정식(Frenet Formulas)을 적용하여 스네이크 포인트를 안쪽 깊숙한 위치한 윤곽까지 이동시켰다. 이 방법은 GVF 에너지 맵이 필요하지 않아 속도는 상당히 개선되었지만 스네이크 포인트를 안쪽으로 이동하는 데 한계가 있다. 그러나 레벨 셋은 폐곡선의 곡률을 사용함으로써 스네이크에 비해 속도는 느리나 에너지 포화현상이 없고 안쪽으로 무한정 이동시킬 수 있으므로 개체 위상을 용이하게 처리할 수 있는 장점이 있다[6-9]. 본 논문에서는 속도도 개선하고 복잡한 위상을 처리하기 위해 두 방법의 장점을 이용한 알고리즘을 제안한다. 알고리즘은 2단계로 구성된다. 첫 번째는 스네이크를 사용하여 빠르게 개체의 대략적인 윤곽을 추출한다. 두 번째는 레벨 셋을 적용하여 복잡한 위상을 정확하게 추출한다.

본문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 스네이크 및 레벨 셋을 설명한다. 3장에서는 2방법의 장점을 활용한 알고리즘을 제안하고 4장에서는 제안한 알고리즘과 기존방법을 다양한 윤곽을 갖는 7개의 실험영상에 적용하여 성능을 비교 분석하였다. 5장에서는 결론을 설명한다.

2. 스네이크 및 레벨 셋 방법

스네이크 방법은 처음 Kass[1]에 의해 소개되었고 기본적인 개념은 그림 1과 같다. 정의된 에너지 함수의 최소화 연산을 반복하여 사용자가 입력한 스네이크 포인트를 개체 방향으로 이동시키면서 개체 윤곽을 찾는 방법이다. 스네이크 방법을 이산적으로 표현하면 다음과 같다. 스네이크 포인트를 $v_{s,t,i} = (x_{s,t,i}, y_{s,t,i})$ 라 하면, s 는 스네이크, t 는 시간, i 는 i 번째 스네이크 포인트를 나타낸다. $i=0, \dots, M-1$ 로 M 은 총 스

네이크 포인트의 개수이고, $x_{s,t,i}, y_{s,t,i}$ 는 t 시간 후 i 번째 스네이크 포인트의 x, y 좌표이다. M 개의 스네이크 포인트를 연결한 $C_{s,t=0}$ 및 $C_{s,t=f}$ 는 각각 초기 및 최종 스네이크 윤곽이다. 시간 후 스네이크 포인트를 이동시킨 에너지 함수는 식 (1)과 같이 내부에너지($E_{int}(v_{s,t,i})$)와 외부에너지($E_{ext}(v_{s,t,i})$)의 합으로 구성된다.

$$E_{snake}(v(s,t)) = \sum_{i=0}^{M-1} (E_{int}(v_{s,t,i}) + E_{ext}(v_{s,t,i})) \quad (1)$$

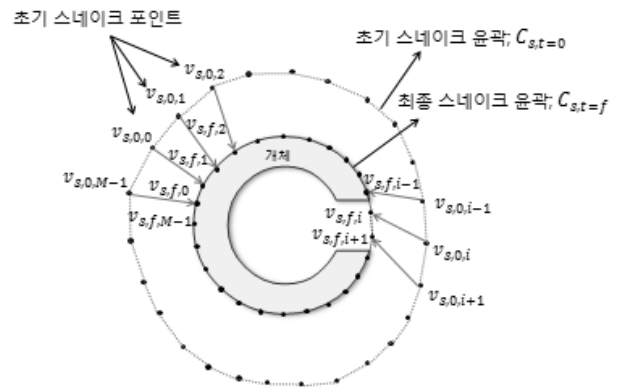


Fig. 1. Snake method moves snake points to the object by iteration of the operation of minimizing the defined energy function. The object which is English letter(c) has the contour like the circle on the left, the internal contour, and the gap on the right

내부에너지는 일반적으로 식 (2)와 같이 스네이크 포인트의 1차 미분과 2차 미분의 합으로 나타낸다.

$$E_{int}(v_{s,t,i}) = \alpha \|v_{s,t,i} - v_{s,t,i-1}\|^2 + \beta \|v_{s,t,i-1} - 2v_{s,t,i} + v_{s,t,i+1}\|^2 \quad (2)$$

여기에서 $\|\cdot\|$ 는 길이를 나타내고 α 와 β 는 각각 1차 미분과 2차 미분의 가중치를 나타낸다.

내부에너지의 최소화 연산을 반복하면 스네이크 포인트는 개체 방향으로 이동하면서 스네이크 포인트 간격이 점진적으로 등 간격이 되고 스네이크 포인트를 연결한 윤곽은 원 모양을 구성한다. 그러므로 그림 1에 주어진 C 개체는 원 모양의 외부 윤곽은 빠르게 추출하지만 오른쪽 입구 및 개체 내부 윤곽을 추출하는데 한계가 있다. 개체 내부 윤곽을 추출하려면 그림 1의 $v_{s,f,i}$ 와 $v_{s,f,i+1}$ 은 개체 내부로 이동시켜야 하는데 에너지 포화현상으로 더 이상 안쪽으로 이동하지 못하고 정지한다. 또한 2개의 스네이크 포인트는 내부 윤곽을 추출하기에는 상당히 부족하여 스네이크 포인트를

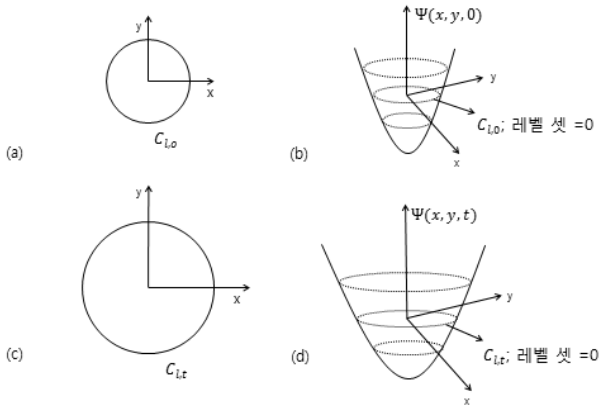


Fig. 2. Function of level set (a) and (b) are contour and function of level set at $t=0$ respectively, (c) and (d) are contour and functions of level set at any time t respectively

추가하여야 한다. 외부에너지는 식 (3)으로 나타나고 경사도가 큰 값에서 작은 값을 갖게 하여 스네이크 포인트가 에지 즉 개체 윤곽에 정지시킨다.

$$E_{ext}(v_{s,t,i}) = -\gamma |\nabla f(v_{s,t,i})|^2 \quad (3)$$

여기에서 $|\cdot|$ 는 절대값, ∇ 는 Gradient, f 는 영상함수, 그리고 γ 는 각각 가중치이다.

매개변수인 α, β , 그리고 γ 의 가중치를 줌으로써 내부 및 외부에너지의 중요도를 결정한다. 일반적으로 γ 가 다른 두 값보다 크게 설정하여 스네이크 포인트가 개체 윤곽에 정지한다. Kass가 처음 제안한 스네이크 방법은 간단하고 빠르게 스네이크 포인트를 개체방향으로 이동시켜 개체 윤곽을 추출할 수 있지만 개체 윤곽이 원 모양이 아닌 대부분의 경우에는 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 개선된 스네이크 방법을 많은 과학자가 제안하였지만 현재까지 복잡한 위상에 성공적으로 적용하는 방법을 연구하고 있다. 본 논문에서는 개략적인 윤곽을 추출하기 위해서는 속도가 빠른 스네이크를 사용하고 복잡한 윤곽을 추출하기 위해서는 레벨 셋을 적용하는 알고리즘을 제안한다.

Osher와 Shehian[6]에 의해 처음으로 소개된 레벨 셋은 레벨 값 0을 갖는 좌표를 연결한 초기 폐곡선을 설정한다. 그리고 폐곡선을 법선 방향으로 곡률 속도 F 로 움직일 때 t 시간 후에 레벨 값이 0을 갖는 좌표를 연결한 새로운 폐곡선을 얻는다. 이러한 연산을 반복하면 에너지 포화현상 없이 폐곡선을 개체 윤곽에 이동시킬 수 있다. 그림 2 (c)와 같이 레벨 셋의 폐곡선은 $C_{l,t}$ 로 정의한다. $C_{l,t}$ 에서 l 및 t 는 각각 레벨 셋과 시간을 나타낸다. $C_{l,0}$ 및 $C_{l,t}$ 는 각각 초

기 및 t 시간 후의 폐곡선이다. $C_{l,0}$ 가 법선 벡터 방향으로 곡률 속도 F 로 움직이면서 t 시간 후에 생성되는 폐곡선을 $C_{l,t}$ 로 정의한다. 새로운 폐곡선을 얻기 위해 $C_{l,t}$ 보다 한 차원 높은 함수 $\Psi_{l,t}(v,t)$ 를 정의하면 $C_{l,t}$ 는 $\Psi_{l,t}(v,t)$ 의 특정한 레벨의 집합인 $\Psi(v,t)=0$ 이다. 따라서 $\Psi_{l,t}(v,t)$ 가 속도 F 에 의해 움직일 때, 움직임에 대한 방정식을 유도할 수 있다면 $\Psi_{l,t}(v,t)$ 변화로부터 $C_{l,t}$ 을 얻을 수 있을 것이다. 레벨 셋 0에 대한 $\Psi_{l,t}(v,t)$ 함수를 시간 함수로 표현하면 식 (4)와 같다.

$$\Psi_{i,t}(v,t) = 0 \quad (4)$$

체인 법칙을 적용하면 식 (5)와 같다.

$$\frac{d\Psi_{i,t}}{dt} + \frac{dv}{dt} \cdot \nabla \Psi_{i,t} = 0 \quad (5)$$

만약 법선 벡터 $\vec{n} = \nabla \Psi_{l,t} / |\nabla \Psi_{l,t}|$ 방향으로 $F(v) = \frac{d(v)}{dt} \vec{n}$ 이면 식 (6)을 얻는다.

$$\frac{d\Psi_{l,t}}{dt} + F|\nabla \Psi_{l,t}(v,t)| = 0 \quad (6)$$

식 (6)에서 임의 시간(t_1)에서 곡선 $C_{l,t=t_1}=0$ 을 구할 수 있다.

$$C_{l,t=t_1} = \{(v) \mid \Psi_{l,t}(v,t=t_1)=0\} \quad (7)$$

여기에서 t_1 은 임의 시간을 나타낸다. 그리고 $\Psi_{l,t}(v,t)$ 의 각 레벨 셋에 대한 곡률 식은 식 (8)과 같다.

$$F = \nabla \cdot \frac{\nabla \Psi_{l,t}}{|\nabla \Psi_{l,t}|} = \frac{(\Psi_{l,t})_{xx}(\Psi_{l,t})_{yy} - 2(\Psi_{l,t})_{xy}(\Psi_{l,t})_{xy} + (\Psi_{l,t})_{yy}(\Psi_{l,t})_{xx}}{((\Psi_{l,t})_x^2 + (\Psi_{l,t})_y^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (8)$$

t 시간 후 레벨 셋 에너지는 식 (9)로 나타낸다.

$$E_{levelset}(v,t) = C_{l,t}(v,t) = 0 \quad (9)$$

3. 스네이크와 레벨 셋을 결합한 새로운 알고리즘

스네이크는 내부에너지의 최소화 연산을 반복하여 스네이크 포인트를 개체 방향으로 이동시키고 최종적으로 개체 윤곽에 정지하는 방법이다. 내부에너지는 2개의 항으로 구성한다. 하나는 스네이크 포인트의 간격이고 다른 하나는 곡률이다. 최소화 연산을 반복하면 스네이크 포인트는 점차적으로 등 간격과 곡률이 상수 값을 갖게 되어 스네이크 포인트를 연결한 윤곽은 간격이 균일하면서 원이 된다. 그 상태에 도달하면 에너지는 상수 값을 갖는 포화상태가 되어 스네이크 포인트는 더 이상 개체 방향으로 이동하지 않고 정지하게 된다. 스네이크 포인트가 정지할 때는 에너지가 포화상태이거나 개체 에지에 위치하는 경우이다. 스네이크는 에너지 포화현상으로 원모양이 아닌 외부 윤곽, 안쪽으로 깊이 들어간 윤곽 그리고 내부 윤곽을 갖는 개체 윤곽 추출에는 한계가 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 에너지 포화현상에 도달하면 레벨 셋으로 변경하여 복잡한 개체 위상을 정확하게 추출한다. 에너지 포화현상을 나타내는 μ 를 포함한 새로운 알고리즘은 식 (10)으로 주어진다.

$$E_{\neq w}(v,t) = \mu E_{snake}(v,t) + (1-\mu)E_{levelset}(v,t) + E_{ext}(v,t) \quad (10)$$

여기에서 μ 는 매개변수로 스네이크 에너지가 포화상태이면 0, 그렇지 않으면 1이다. $E_{ext}(v,t)$ 는 외부에너지이다.

$E_{snake}(v)$ 의 포화상태에 도달하면 μ 는 0이 되고 스네이크 방법으로 만들어진 최종 폐곡선은 정지한다. 그 이후에는 레벨 셋 방법을 적용하여 폐곡선을 개체 윤곽까지 이동시킨다. 스네이크 방법에서 생성된 최종 폐곡선을 레벨 셋 방법의 최초 폐곡선으로 사용한다.

4. 실험 결과

실험환경은 PC에서 Visual C++ 6.0을 사용하여 구현하였다. 실험영상은 다양한 윤곽을 갖는 5개의 이진 영상 및 2개의 자연영상을 선택하였다. 실험영상의 크기는 256×256이다. 초기 윤곽선을 쉽게 만들기 위해 사각형으로 구성하였고 스네이크 포인트는 등 간격으로 생성하였다. 각각의 방법을 적용하여 윤곽선이 이동하는 궤적은 적색 실선으로 나타낸다. 스네이크이 최종 폐곡선은 초록색으로 표시하고 레벨 셋의 방법의 최초 폐곡선으로 사용하였다. 그림 3은

실험영상 및 각각의 방법을 적용한 결과영상을 보여준다. 스네이크, GVF, 레벨 셋, 그리고 제안한 방법을 적용한 결과영상은 각각 첫 번째, 두 번째, 세 번째, 네 번째 열에 주어진다. 실험영상은 원모양의 위상, 안쪽 깊숙이 위치한 위상, 좁은 간격 등 다양한 위상을 나타나기 위해 7개의 실험영상을 선택하였다. 개체 2의 위 윤곽, 개체 3의 위 및 아래 윤곽, 개체 C의 왼쪽 외부 윤곽, 그리고 자연연상의 위 윤곽은 원 모양을 나타내고 개체 2, 3, C, 그리고 자연연상 2의 내부 윤곽은 안쪽 깊숙이 위치한다. 개체 X와 잎은 원모양의 외부 윤곽이 없고 내부 안쪽으로 위치한 윤곽이 있다. 스네이크의 에너지 함수를 최소화 연산을 반복하면 스네이크 포인트가 이동하면서 점진적으로 원 모양을 구성하면서 등 간격을 유지한다. 그러므로 원 모양의 외부 윤곽을 갖는 개체 2위 위 윤곽, 개체 3의 위 및 아래 윤곽, 개체 3

Snake	GVF	Level Set	Proposed

Fig. 3. Test and result images of each method

의 왼쪽 외부 윤곽, 그리고 자연영상 1의 위와 오른쪽 윤곽에 스네이크 포인트가 정확하게 정지한다. 개체 X와 앞은 원 모양의 윤곽이 없으므로 최종 폐곡선이 개체를 포함하는 원 모양이 된다. 레벨 셋 방법을 적용한 결과영상은 세 번째 열에 보여준다. 개체 위상에 관계없이 폐곡선이 내부 윤곽까지 이동하는 것을 보여 주지만 곡률계산으로 많은 시간이 소요된다. 제안한 방법을 사용하여 얻은 결과영상은 네 번째 열에 주어진다. 제안한 방법은 먼저 스네이크 방법을 적용하여 대략적인 윤곽을 추출한 후 레벨 셋을 적용하여 복잡한 위상을 정확하게 추출한 결과를 보여준다. 표 1은 각각의 방법의 성능을 비교 분석하였다. 스네이크 방법은 시간이 최소로 소요되지만 윤곽 추출 정확도가 가장 나쁘고 레벨 셋 방법은 시간이 많이 소요되지만 정확도는 좋다. 그러나 제안한 방법의 윤곽추출 정확도는 레벨 셋 방법과 같거나 비슷하지만 계산시간은 스네이크보다 약간 더 소요된다.

Table 1. Comparison performance of each method

	Snake	GVF	Level Set	Proposed
2	7.1s	50.3s	95.79s	26.29s
3	7.2s	51.2s	93.65s	23.87s
C	6.5s	48.9s	92.05s	23.45s
X	6.2s	45.3s	88.08s	25.94s
나뭇잎	6.4s	48.3s	85.83s	21.74s
자연영상 1	7.0s	49.4s	94.5s	24.4s
자연영상 2	6.6s	48.4s	93.5s	23.4s

5. 결 론

본 논문에서는 개체위상의 복잡도에 관계없이 빠르고 정확하게 개체 윤곽을 추출하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 먼저, 스네이크를 적용하여 대략적인 개체 윤곽을 추출한 후 에너지 포화상태가 되면 레벨 셋으로 변경하여 복잡한 위상을 정확하게 추출하였다. 7개의 실험영상을 사용하여 각각의 방법의 성능을 비교 분석하여 제안한 방법이 상당히 개선된 것을 보여준다.

Reference

[1] M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos, "Snake: Active Contour Models", International Journal of Computer Vision, Vol.1, No.4, pp.321-331, 1987.

[2] D. J. Williams and M. Shah, "A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation", Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol.55, pp.14-26, 1992.

[3] C. Xu and J. L. Prince, "Snakes, Shapes, and Gradient Vector Flow", IEEE Transaction on Image Processing, Vol.7, No.3, pp.359-369, 1998.

[4] Jinshan Tang, "A Multi-Direction GVF Snake for the Segmentation of Skin Cancer Images", Pattern Recognition, Vol.42, Issue 6, pp.1172-1179, June, 2009.

[5] S. H. Kim, A. Alatter, and J. W. Jang, "Snake-Based Contour Detection for Objects with Boundary Concavities", Optical Engineering, Vol.47, No.3, pp.037002-1 037002-7, March, 2008.

[6] S. Osher and J. A. Shehian, "Fronts Propagating with Curvature Dependent Speed: Algorithms Based on Hamilton-Jacobi Formulation," Journal of Computational Physics, Vol.79, pp.12-49, 1988.

[7] V. Casettes, R. Kimmel, and G. Sapiro, "Geodesic Active Contours", International Journal of Computer Vision, Vol.22, No.1, pp.61-79, 1997.



황재용

e-mail : platans@hanafos.com

1997년 배재대학교 정보통신공학과 (공학사)

2004년 배재대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2013년 배재대학교 정보통신공학과 (공학박사)

2008년~현 재 (주)모비다임 대표이사

관심분야: 영상처리, 컴퓨터 네트워크



오은군

e-mail : 405475757@163.com

2012년 배재대학교 전자공학과(공학사)

2013년~현 재 배재대학교 정보통신학과 석사과정

관심분야: 영상처리



장 종 환

e-mail : jangjw@pcu.ac.kr

1979년 한양대학교 전자통신공학과(공학사)

1986년 North Carolina 주립대학교 전기
및 컴퓨터 공학과(공학석사)

1990년 North Carolina 주립대학교 전기
및 컴퓨터 공학과(공학박사)

1990년~현재 배재대학교 정보통신공학과 교수

관심분야: 영상처리, 컴퓨터 비전