

가변적인 폐쇄 점들을 이용한 풍선 형태의 능동 윤곽 모델

이주호¹, 정승도^{2*}, 조정원³

¹한양대학교 전자컴퓨터통신공학과, ²한양사이버대학교 정보통신공학과,

³제주대학교 컴퓨터교육과

Balloon-like Active Contour Model Using Variable Closet Points

Chuhoo Yi¹, Seungdo Jeong^{2*} and Jungwon Cho³

¹Dept. of Electronics and Computer Engin., Hanyang University

²Dept. of Information and Communication Engin., Hanyang Cyber University

³Dept. of Computer Education, Jeju National University

요 약 능동 윤곽 모델 혹은 스네이크는 영상처리 및 컴퓨터 비전 분야에서 널리 사용되는 분할 방법이다. 능동 윤곽 모델의 가장 큰 문제점은 초기에 설정하는 폐쇄 점들의 개수와 위치에 매우 민감하기 때문에 초기 설정에 따라 결과가 극명하게 달라진다는 것이다. 특히 풍선 형태의 능동 윤곽 모델의 경우 작은 크기에서 시작하여 윤곽선을 만날 때까지 발산하여 그 영역을 넓혀 가기 때문에 초기의 폐쇄 점들의 영역보다 훨씬 커질 경우 더욱 큰 문제점을 보일 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 폐쇄 점들 간의 거리에 따라 폐쇄 점들의 개수를 변화시킬 수 있는 새로운 알고리즘을 제안한다.

Abstract Active contour model or snake is widely used for segmentation method in the area of the image processing and computer vision. The main problem in the active contour model is that results are very dependent to the closet points of the numbers and the location in initial step. Especially, in case of balloon-like active contour model, the small region which consist of intial closet points are expanded until the edge is reached. It is a serious problem because the considered region are huge with limited points. To solve this problem, in this paper, we propose the method that the number of closet points could be change based on the distance between points.

Key Words : Balloon model, Active contour model, Variable closet points

1. 서론

영상처리(Image processing) 및 컴퓨터 비전(Computer vision) 분야에서 분할(Segmentation)은 디지털 이미지를 여러 개의 영역으로 분할하는 과정을 말한다. 이 때 분할의 목표는 이미지를 단순화하여 보다 의미 있고, 쉽게 분석할 수 있도록 하는 것이다[1]. 이미지 분할은 일반적으로 물체와 외곽선에 위치하여 각 화소마다 같은 시각적 특징을 갖고 있을 때 동일한 레이블을 할당하는 과정을

말하게 된다. 분할 방법 중 Kass 등은 이미지 외곽(Image edge) 데이터를 사용하는 외부 에너지(External energy)와 곡선의 형태(Curvature)를 유지하려는 내부 에너지(Internal energy)를 더하여 최소 에너지로 수렴하도록 하는 능동 윤곽 모델(Active contour model)을 최초로 제안하였다[2].

능동 윤곽 모델은 크게 매개 변수 모델(Parametric model)과 기하학 모델(Geometric model)로 나눌 수 있다 [3].

*Corresponding Author : Seungdo Jeong

Tel: +82-10-2784-5228 email: sdjeong@hycu.ac.kr

접수일 12년 05월 31일

수정일 12년 06월 11일

게재확정일 12년 08월 09일

매개 변수 모델에서 각 알고리즘은 능동 윤곽 모델의 에너지 식을 어떻게 정의하는지, 정의된 에너지 식을 어떻게 최소화(Minimization)하는지에 따라 구분된다. Kass는 에너지 식을 최소화하는 알고리즘으로는 기울기 하강(Gradient descent)방식을 이용하였다. 그러나 Kass의 능동 윤곽 모델은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 일단 에너지를 구성하는 내부 에너지가 초기에 주어지는 상황에 대해 너무 의존적이기 때문에 발생하는 초기 폐쇄 점들에 민감하다는 문제와 에너지 함수가 줄어드는 특성이 있으므로 오목한 부분에 대하여 제대로 수렴하지 못하는 문제점, 그리고 마지막으로 수렴하고자 하는 관심 물체에 대한 에너지는 외부 에너지의 변화가 없을 때 능동 윤곽 모델이 내부 에너지에 의해서만 수렴하는 문제점이 있다[4]. Animi는 Kass가 제안한 능동 윤곽 모델의 기울기 하강 방식이 계산 속도는 빠른 반면 국소 최저치(Local minima)에 빠지는 단점을 보완하기 위하여 동적 프로그래밍(Dynamic programming)을 사용한 새로운 에너지 수렴 방식을 제안하였다[5]. Animi의 방식은 전역 최소점(Global minimum)을 찾는 데는 성공하였으나, 속도가 느린 단점을 가지고 있다. 이에 속도의 향상과 에너지 식의 수렴을 안정화하기 위하여 Williams는 Kass가 제안한 동적 윤곽 모델의 에너지 식에 곡률(Curvature)을 예측(Estimation)하기 위한 식을 추가하고 수렴과정에서는 탐욕 알고리즘(Greedy algorithm)을 사용한 새로운 능동 윤곽 모델을 제안하였다[6]. Xu 등은 기울기 벡터장(Gradient vector flow, GVF)라는 새로운 외부 힘을 사용하여 초기의 능동 윤곽 모델의 문제점 중에서 초기 폐쇄 점들에 대한 민감도(Sensitivity)문제와 오목한 부분에서는 수렴하지 못하는 문제를 해결할 수 있는 방법을 제안하였다[8-11]. 이 논문에서는 기존의 외부 힘 대신 기울기 벡터장을 정의하고 이 값을 사용하여 능동 윤곽 모델의 에너지를 최소화 하였다.

위에 언급한 방법과는 다르게 Cohen은 폐쇄 점들이 이루는 폐곡선이 내부로 수렴하는 방법에서 벗어나 외부로 발산하는 방법으로 모델을 수정하였다[8]. 이렇게 내부에서 외부로 발산할 때 가장 큰 장점은 분할하고자 하는 영역 내부에서 폐쇄 점들이 초기화하기 때문에 기존의 능동 윤곽 모델에 비해 편리한 장점이 있다.

본 논문에서는 이러한 외부로 발산하는 풍선 형태의 능동 윤곽 모델(Balloon-like active contour model)에 대해 고찰하고 여기서 발생하는 한계점을 개선하고자 한다. 풍선 형태의 능동 윤곽 모델의 경우 초기에 주어진 폐쇄 점들이 이루고 있는 영역에 비해 발산하게 되면 영역의 넓이가 지속적으로 증가하게 된다. 때문에 제한된 폐쇄 점들만으로는 모든 영역을 관리하기 힘들어지게 된다. 본

논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 폐쇄 점들이 이루는 직선의 거리를 분석하여 일정 거리마다 가변적으로 폐쇄 점들을 추가하였다.

2. 능동 윤곽 모델 알고리즘

2.1 능동 윤곽 모델

능동 윤곽 모델은 정의한 에너지 함수를 최소화되는 방향으로 폐쇄 점들이 반복적으로 이동하며 객체의 윤곽선을 찾아가는 방법이다. 따라서 능동 윤곽 모델의 에너지 함수를 정의하는 방법과 정의된 에너지 함수를 최소화하는 방법에 따라 다양한 능동 윤곽 모델 알고리즘이 제안되었다.

일반적으로 능동 윤곽 모델의 알고리즘에서 폐쇄 점은 $v(s)$ 으로 표현하고, 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$v(s) = (x(s), y(s)) \quad (1)$$

여기에서 s 는 폐쇄 점들의 순서 인자가 되고, $x(s)$ 와 $y(s)$ 는 좌표가 된다.

일반적인 능동 윤곽 모델의 에너지 함수는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} E_{\text{snake}} &= \int_0^1 E_{\text{snake}}(v(s)) ds \\ &= \int_0^1 E_{\text{int}}(v(s)) + E_{\text{img}}(v(s)) + E_{\text{con}}(v(s)) ds \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $E_{\text{img}}(v(s))$ 는 이미지 에너지(Image energy)항이며, 미분을 통해 계산되는 영상의 에지 데이터 등을 의미한다. $E_{\text{con}}(v(s))$ 는 사용자에게 의해 정의되는 역제 에너지이다. $E_{\text{img}}(v(s))$ 와 $E_{\text{con}}(v(s))$ 는 외부 에너지(External energy)항이라고 한다. $E_{\text{int}}(v(s))$ 는 내부 에너지(Internal energy)항 혹은 내부 곡선 에너지(Internal spline energy)항 이라고 한다. 내부 에너지는 폐쇄 점들 사이의 거리를 균일하게 하고 부드러움(smoothness)을 유지하도록 해주는 항이다.

$$E_{\text{int}}(v(s)) = \alpha(s) E_{\text{ela}}(v(s)) + \beta(s) E_{\text{ten}}(v(s)) \quad (3)$$

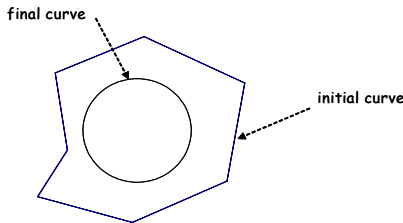
여기서 $\alpha(s)$ 와 $\beta(s)$ 는 신축성(Elastic)항과 굽힘(Bending)항을 조절하기 위한 파라미터 값이다. 식 (3)은 다시 $v(s)$ 의 1차 항과 2차 항을 이용하여 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$E_{int} = \frac{\alpha(s)|v(s)|^2 + \beta(s)|v'(s)|^2}{2} \quad (4)$$

신축성 에너지 항은 식 (5)와 같이 두 인접한 점 사이의 거리 제곱의 합(혹은 거리)으로 표현될 수 있다.

$$E_{cla}(v(s)) \approx \frac{\|v(s) - v(s-1)\|^2}{\sqrt{(x(s) - x(s-1))^2 + (y(s) - y(s-1))^2}} \quad (5)$$

신축성 에너지 항은 능동 윤곽 모델의 폐쇄 점들끼리의 거리를 나타내는 에너지이므로 이 에너지가 최소화하는 방향으로 움직이게 된다는 의미는 폐쇄 점들 사이의 거리를 가깝게 한다는 뜻이다. 때문에 신축성 에너지는 능동 윤곽 모델이 수축(shrink)되도록 하는 역할을 한다. 그림 1은 신축성 에너지의 의미를 보여주는 그림이다.

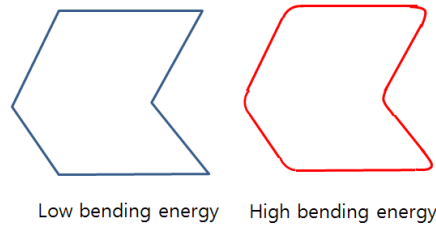


[그림 1] 신축성 에너지.
[Fig. 1] Elastic energy.

내부 에너지의 다른 하나인 굽힘 에너지 항은 식 (6)과 같이 한 점을 기준으로 양쪽으로 이웃에 존재하는 두 점과의 거리 합의 제곱으로 표현 할 수 있다.

$$E_{ben}(v(s)) \approx \|v(s-1) - 2v(s) + v(s+1)\|^2 \quad (6)$$

식 (6)에서 확인할 수 있는 것은 능동 윤곽 모델의 굽힘 에너지는 이웃하는 폐쇄 점들이 구부러지도록 하는 힘이다. 그림 2에서 높은 굽힘 에너지일 때의 그림과 낮은 굽힘 에너지일 때의 그림을 비교하여 나타내었다. 그림에서와 같이 굽힘 에너지는 능동 윤곽 모델이 되도록 하면 구부러 지려는 특성을 갖는다.



[그림 2] 각 굽힘 에너지에 따른 곡률의 변화.
[Fig. 2] The changes of curvature by bending energy.

2.2 풍선 형태의 능동 윤곽 모델

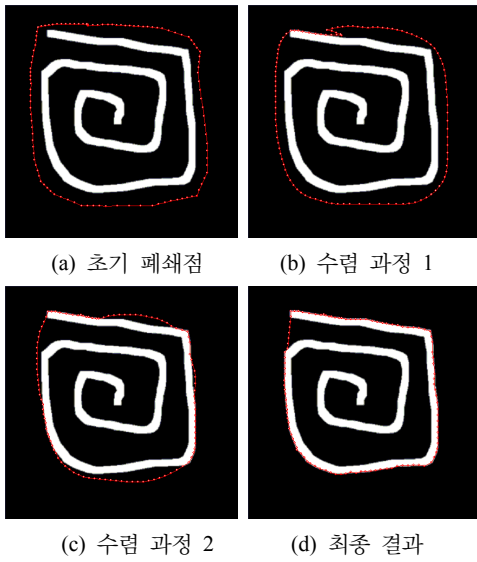
기존의 능동 윤곽 모델의 경우 만약 외부 에너지가 없다면 각 폐쇄 점들과 이들이 구성하는 선의 경우 균등하게 분포 하려하거나 내부 변수(Internal parameters)에 따라 멈추려하는 경우가 발생하게 된다. 즉, 초기 조건이 분할하려는 부분에 충분히 가까이 있지 않으면 정확하게 수렴하지 못하는 문제가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Cohen은 외부로 발산하려는 힘을 정의하고 이를 풍선 형태의 능동 윤곽 모델로 정의하였다. 이러한 힘을 곡선 팽창의 힘(Curve inflating force)이라고 정의하였고, 풍선처럼 외부로 팽창하려는 특성을 갖는다. 이 때 정의되는 곡선 팽창의 힘 F 는 다음 식 (7)과 같이 표현된다.

$$F = k_1 \vec{n}(v) - k \frac{\nabla P}{\|\nabla P\|} \quad (7)$$

여기서 \vec{n} 은 단위 법선 벡터(Normal unitary vector)이며, k_1 은 힘의 크기(Amplitude)를 정하는 상수이다. k 는 외곽선 정보를 반영하는 상수로 큰 수치를 부여하면 팽창하는 힘이 좀 더 강하게 억제된다. $P(v) = -|\nabla I(v)|^2$ 은 이미지에서 편미분을 하여 그 에너지를 구하는 것으로 해당 위치에서의 에지가 가지는 에너지이다. 최종적으로 외부로 팽창하려는 힘과 에지의 힘이 균형을 이룰 때까지 팽창하게 된다.

2.3 가변적인 폐쇄 점들을 이용한 풍선 형태의 능동 윤곽 모델

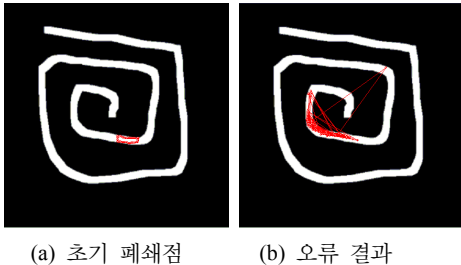
본 논문에서 제안하는 가변적인 폐쇄 점들을 이용한 모델은 분할 대상이 복잡한 구조를 가지고 있어서 기존의 능동 윤곽 모델로 해결하기 힘든 이미지를 대상으로 한다. 그림 3은 잘못된 분할 결과를 보이는 실제 예이다.



[그림 3] 일반적인 능동 윤곽 모델을 이용한 영상 분할 및 오류.

[Fig. 3] Error of image segmentation using classical active contour model.

그림 3의 경우, 나선형 형태의 복잡한 영역을 분할하고자 하였으나, 수렴하는 과정에서 만나게 되는 다른 외곽선 데이터에 의해 (d)에서와 같이 더 이상 안쪽으로 수렴할 수 없게 된다. 폐쇄 점들이 고정되어 있다면 충분한 개수들을 가지고 있더라도 팽창하는 능동 윤곽 모델 또한 그림 4와 같은 문제가 발생한다.



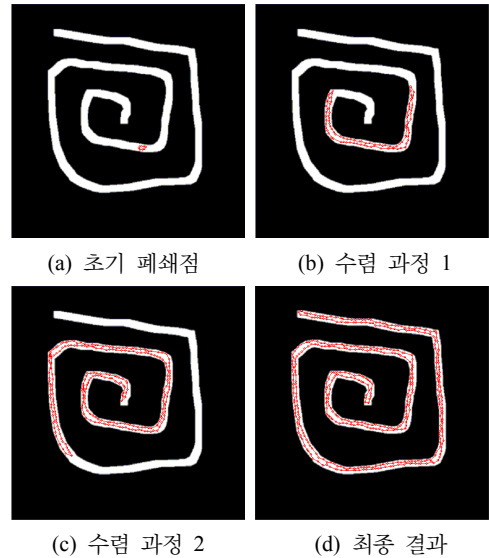
[그림 4] 풍선 형태의 능동 윤곽 모델을 이용한 영상 분할 및 오류.

[Fig. 4] Error of image segmentation using balloon-like active contour model.

그림 4에서 볼 수 있듯이 일정 영역 이상으로 팽창하게 되면 모든 영역에 걸쳐서 필요한 힘이 제대로 계산되지 못한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 영역이 팽창하더라도 일정 거리마다 에너지를 계산할 필요가 있다. 따라서 모든 폐쇄 점들의 집합인 V 는 식 (8)에서와 같이 가변적으로 변해야 한다.

$$\text{If } |v(s) - v(s+1)| \geq \delta, \text{ then } V \leftarrow V + \frac{v(s) + v(s+1)}{2} \quad (8)$$

여기서 δ 는 두 점 사이의 거리가 일정 이상 커졌을 때 새로운 점을 추가하게 되는 임계치(Threshold) 상수이다. 제한한 식에 따라 풍선 형태의 능동 윤곽 모델을 적용하게 되면 초기 점이 매우 적더라도 그림 5와 같은 결과를 이룰 수 있다.



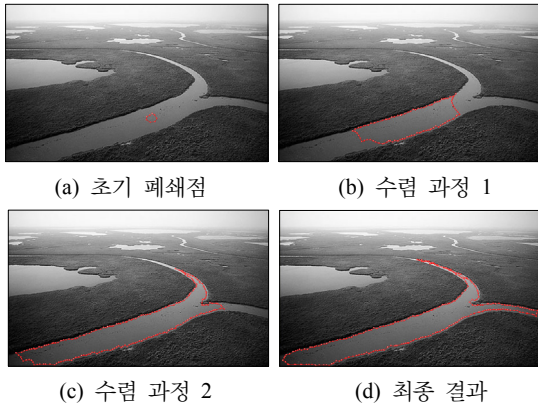
[그림 5] 가변적인 폐쇄 점들을 이용한 영상 분할 결과
[Fig. 5] Results of image segmentation with variable closet points.

그림 5의 (a)에서와 같이 초기의 폐쇄 점은 좁은 영역으로 이루어져 있는 몇 개의 점들로만 구성되어 있다. 그림 5의 (b)와 (c)에서 볼 수 있듯이 발산하는 힘에 의해 폐쇄 점들이 이루고 있는 영역은 점점 커지지만 외곽선에 의해 외부로 넘어가지는 않는다. 최종 결과인 그림 5 (d)를 보면, 팽창하는 힘이 충분히 반영된 것을 볼 수 있다. 즉, 가변적인 폐쇄 점들을 이용한 풍선 형태의 능동 윤곽 모델이 그림 5와 같은 조건의 경우 정확하게 영역을 분할함을 알 수 있다.

3. 실험결과 및 분석

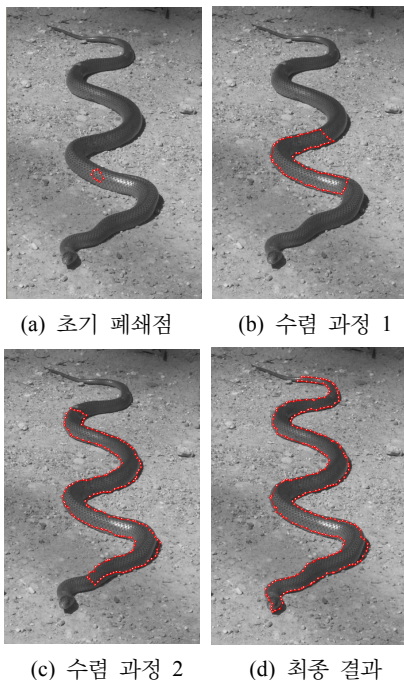
실험은 일반적인 능동 윤곽 모델에서 적용하기 힘든 이미지 전체에 넓은 영역을 차지하는 강 영역과 넓은 곡선 형태의 뱀을 대상으로 분할 실험을 진행하였다. 이 때 일정 거리마다 폐쇄 점을 추가하게 되는 임계치 δ 는 10

을 사용하였다.



[그림 6] 제안한 방법을 적용한 강 영상에 대한 실험 결과.
[Fig. 6] Result using the proposed method for river image.

그림 6의 (a)에서 작은 영역을 초기 폐쇄 점으로 주고 실험을 진행하였다. 그림 6의 (b)와 (c)는 풍선 형태로 힘이 발산하는 과정을 보이고 있다. 이 때 강의 갈라지는 부분에서도 충분한 폐쇄 점들을 가지고 있기 때문에 오류 없이 분할이 진행되는 것을 볼 수 있다. 그림 6의 (d)에서와 같이 최종적으로 강 영역만을 분할하는 결과를 볼 수 있었다.



[그림 7] 제안한 방법을 적용한 뱀 영상에 대한 실험 결과.
[Fig. 7] Result using the proposed method for snake image.

그림 7은 뱀이 기어가는 모습을 찍은 이미지로 곡선 형태의 복잡한 영역을 차지하고 있다. 그림 7의 (a)에서 볼 수 있듯이 초기 폐쇄 점은 작은 영역만을 차지하고 있다. 그림 7의 (b)와 (c)에서와 같이 발산하는 힘에 의해 풍선 형태로 분할이 일어나는 과정을 볼 수 있다. 그림 7의 (d)에서 볼 수 있듯이 최종 결과는 복잡한 곡선을 많이 가지고 있는 뱀의 영역을 정확하게 분할되었음을 알 수 있었다. 그림 6과 7의 실험을 통해 보인 바와 같이 제안된 방법은 넓은 영역에 걸쳐 있는 복잡한 영역을 가변적인 폐쇄 점들을 가지고 풍선 형태의 능동 윤곽 모델을 적용하여 정확하게 영역을 분할할 수 있음을 보였다.

3. 결과

본 논문은 능동 윤곽 모델과 풍선 형태의 능동 윤곽 모델에 대해 고찰하고 필요에 따라 폐쇄 점들의 개수를 가변적으로 변형하는 방법에 대해 제안하였다. 제안하는 방법은 기존의 초기 폐쇄 점들의 제한점을 해결하기 위한 방법이며 실험을 통해 자연 이미지에서 그 유효성을 보였다. 특히 자연 영상에서 수렴하는 형태나 고정되어 있는 수의 폐쇄 점들로 해결할 수 없는 이미지들에 대해 유효한 결과를 볼 수 있었다. 향후에는 연속되는 이미지의 동영상 내에서 보다 효율적으로 적용하기 위한 방법을 개발하여 적용대상을 좀 더 넓히고자 한다.

References

- [1] L. Shapiro and G. Stockman, *Computer Vision*, Prentice-Hall, 2001.
- [2] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snake: Active Contour Models," *International Journal Computer Vision*, pp. 321-331, 1988.
- [3] L. Cohen and I. Cohen, "Finite-element Methods for Active Contour Models and Balloons for 2-D and 3-D Images," *IEEE Trans. on Pattern Recognition and Machine Intelligence*, vol.15, no.11, pp. 1131-1147, 1993.
- [4] H. Wu, J. Liu, and C. Chui, "A Wavelet-Frame Based Image Force Model for Active Contouring Algorithm," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol.9, no.11, pp. 1983-1988, 2000.
- [5] A. Amini, S. Teharani, and T. Weymouth, "Using Dynamic Programming for Minimizing the Energy of Active Contours in Toe Presence of Hard Constraints,"

Proceeding of Second International Conference on Computer Vision, pp. 95-99, 1988.

- [6] D. Williams and M. Shan, "A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation," *Proceeding of Conference on Computer Vision*, pp. 592-595, 1990.
- [7] C. Xu and J. Prince, "Snakes, Shapes, and Gradient Vector Flow," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol.7, no.3, pp. 359-368, 1998.
- [8] L. Cohen, "On Active Contour Models and Balloons," *CVGIP: Image Understanding*, pp. 1-18, 1991.
- [9] Nho-Kyung Park, Sang-Bong Park, Min-Hyeong Park, "The Implementation of Motion Vector Detection Algorithm for the Optical-Sensor", *Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, VOL.10 No.5, pp. 251-257, October 2010.
- [10] Su-Hyun Kim, Sang-Il Choi, Sung-Han Bae, Young-Dae Lee, Gu-Min Jeong, "Pattern Recognition using Feature Feedback : Performance Evaluation for Feature Mask", *Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, VOL.10 No.5, pp. 179-185, October 2010.
- [11] Young-Sub Kim, Jong-Young Ahn, Sang-Bum Kim, Kang-In Hur, "Astudy on Robust Feature Imagefor Text ure ClassificationandDetection", *Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, VOL.10 No.5, pp. 133-138, October 2010.

이 주 호(Chuhho Yi)

[정회원]



- 2000년 2월 : 서울시립대학교 전자전기공학부 (공학사)
- 2002년 2월 : 한양대학교 전자통신전파공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학박사)
- 2003년 7월 ~ 2006년 6월 : LG 전자 선임연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 BK21 연구원

<관심분야>

로봇 비전, SLAM, 패턴학습

정 승 도(Seungdo Jeong)

[종신회원]



- 1999년 2월 : 한양대학교 전자전자통신전파공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 한양대학교 전자통신전파공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : 한양대학교 전자통신전파공학과 (공학박사)
- 2009년 7월 ~ 2011년 7월 : 한양사이버대학교 정보통신공학과 전임강사
- 2011년 9월 ~ 2012년 2월 : 한양대학교 전기정보통신기술연구소 연구교수
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한양사이버대학교 정보통신공학과 조교수

<관심분야>

멀티미디어 정보검색, 터서 응용, 클러스터링, 영상처리, 증강현실

조 정 원(Jungwon Cho)

[종신회원]



- 2004년 2월 : 한양대학교 전자통신전파공학과(공학박사)
- 2004년 10월 ~ 현재 : 제주대학교 컴퓨터교육과 부교수
- 2011년 12월 ~ 현재 : 제주대학교 사범대학 부학장
- 2007년 6월 ~ 2008년 7월 : 미국 퍼듀대학교 방문학자

<관심분야>

멀티미디어, 정보검색, 정보윤리, 스마트러닝