

# 적외선 영상의 화염 검출을 위한 최적 문턱치 분석

정수영\*, 김원호\* 종신회원

## Analysis on Optimal Threshold Value for Infrared Video Flame Detection

Soo-Young Jeong\*, Won-Ho Kim\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문은 열영상 기반의 화염 검출을 위한 기존의 문턱치 설정 기법들을 분석하고 최적 문턱치 설정 방안을 제시한다. 기존의 열영상 기반의 화염검출 알고리즘들은 보통 고정 문턱치를 이용하여 화염 후보영역을 추출하고 후처리를 통해 화염 검출을 최종 판정하므로 화염 후보영역의 결정 과정은 최종 화재 검출 결과에 많은 영향을 준다. 따라서 카메라의 종류나 운영 환경에 따라 입력 영상의 대비와 밝기의 변화가 발생하기 때문에 화염 검출 문턱치는 입력영상의 특성에 연동하여 설정되어야 한다. 따라서 최적 문턱치 설정 방안을 제시하기 위해 고정 명암도, 평균값, 표준편차 및 최대값을 이용한 문턱치 설정 기법들을 비교 분석하였다. 결론적으로 최적 문턱치는 평균과 표준편차의 합보다 크며 최대값 보다는 작은 값으로 설정 한다면 화염 검출 정확도가 기존 고정 문턱치 방식에 비해 크게 개선될 것으로 기대된다.

**Key Words** : Infrared Video Surveillance, Flame Detection, Optimal Threshold, Infrared Image Processing, Digital signal processing

### ABSTRACT

In this paper, we present an optimal threshold setting method for flame detection of infrared thermal image. Conventional infrared flame detection methods used fixed intensity threshold to segment candidate flame regions and further processing is performed to decide correct flame detection. So flame region segmentation step using the threshold is important processing for fire detection algorithm. The threshold should be change in input image depends on camera types and operation conditions. We have analyzed the conventional thresholds composed of fixed-intensity, average, standard deviation, maximum value. Finally, we extracted that the optimal threshold value is more than summation of average and standard deviation, and less than maximum value. it will be enhance flame detection rate than conventional fixed-threshold method.

## I. 서 론

영상 처리 기반의 산불 감시 방법으로는 컬러 영상과 적외선 열 영상을 이용하는 방법 두 가지로 분류 할 수 있다. 컬러 영상을 이용하는 방법은 사물에 색상 정보를 이용하고 시간과 공간상의 특성을 분석하여 화염 또는 연기를 검출한다. 하지만 RGB, YCbCr, HSV 등 검출에 사용하는 색상 공간 모델의 각 색상 채널을 분석해야 하기 때문에 많은 연산량을 갖는다. 또한 광원이 없는 밤의 경우 영상 획득이 어려워 색상 분석을 통한 검출이 어렵다. [1]-[5] 적외선 열 영상은 각 물체로부터 방사되는 열에너지의 세기를 명암으로 영

상에 나타나기 때문에 컬러 영상과 다르게 밤에도 감시가 가능하며 명암 정보 하나이기 때문에 연산량에서도 유리하다. 하지만 적외선 열 영상 카메라의 가격이 컬러 카메라에 비해 상당히 비싸다는 단점이 있다. [6]-[9]

전술한 화염 검출 기법들은 공통적으로 화염 후보 영역을 추출하고 화염의 동적인 특성을 분석하거나 질감을 분석하여 화염을 판정한다. 그러므로 화염 후보 영역을 선정 하는 과정은 화염 검출 결과의 정확도와 후처리 연산량에 많은 영향을 준다. 적외선 열영상에서는 화염영역은 높은 명암으로 나타나기 때문에 단순히 문턱치 처리만으로도 화염의 검출이 가능하다. 하지만 햇빛의 반사나 주변 환경에 의해 온도가 높아

\* 본 연구는 미래창조과학부(구 교육과학기술부)의 재원으로 과학벨트기능지구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임. (2013K000490)

\*공주대학교 전기전자제어공학부, 교신저자 : 김원호 (whkim@kongju.ac.kr)

접수일자 : 2013년 11월 18일, 수정완료일자 : 2013년 12월 9일, 최종 게재확정일자 : 2013년 12월 11일

진 철재 구조물과 차량의 엔진, 인공 조명 등이 존재하며, 카메라의 특성이나 설치된 환경에 따라 영상의 대비와 밝기의 변화가 발생하기 때문에 화염 후보 영역을 추출하기 위한 문턱치는 영상 획득 환경과 적응적으로 선정 되어야 한다.

본 논문에서는 적외선 열영상에서 영상의 밝기와 대비 변화에 강인한 화염 검출 알고리즘에 적용하기 위한 최적 문턱치 도출을 위한 기법들을 비교분석하고 적용 가능한 파라미터와 기법을 제시한다.

## II. 최적 문턱치 분석

기존 열영상 기반의 화염검출 기법들은 문턱치 처리를 통해 화염 후보영역을 분할하고 후처리를 통해 화재를 판정한다.[6]-[7] 열영상의 화염 후보영역 분할에 사용되는 문턱치 설정 기법은 최종 화재검출 결과에 큰 영향을 주는 처리과정으로서 최적의 문턱치 설정 기법을 도출하기 위해 문턱치 설정 기법들을 비교 분석한다.

### 1. 고정 문턱치를 이용한 화염 검출

그림 1은 화염영역과 철재 인공물이 포함된 열영상에 고정 문턱치 처리 결과를 보여준다. 그림 1-(a)은 영상 중앙의 하얀 부분이 실제 산불이 일어난 위치이다. 1-(b)와 1-(c)는 열영상에 고정 명암도 문턱치를 적용하여 얻은 이진 영상이다. 그림 1에서 보듯이 고정 문턱치에 따라 화염검출 결과가 달라진다. 그러므로 화염 후보 영역의 선정은 카메라가 설치된 환경에 따라 변화하는 영상의 밝기나 대비 변화에 맞추어 가변되어야 한다.



(입력영상) (TH=190) (TH=230)  
그림 1. 고정 문턱치를 이용한 화염 검출 영상

### 2. 가변 문턱치를 이용한 화염 검출

#### 1) 평균과 표준편차를 이용한 가변 문턱치

고정 명암도 문턱치를 이용한 화염분할의 문제점을 보완하기 위하여 열영상에서 표적 탐지나 보행자를 검출하기 위해 적용한 문턱치 설정 기법과 이동 물체 검출을 위해 적용된 문턱치 설정 기법들을 이용할 수 있다.[10]-[12] 이 기법들은 추출 하고자 하는 화염영역은 배경 영역보다 높은 명암도를 갖는다는 점에 초점에 맞춰 영상의 평균과 표준편차를 이용하여 문턱치를 계산 한다. 영상의 배경영역 화소들은 대

부분 비슷한 값을 갖기 때문에 평균값에 가까운 값으로 나타나고 표준편차를 이용해 화염영역과 배경영역을 구분할 수 있다. 화염영역은 높은 열에너지를 갖고 있어 열영상에서 매우 큰 명도로 나타나며, 평균과 표준편차의 합 보다 큰 값을 가지는 영역을 화염 후보영역으로 분리 할 수 있다.

$$TH = \mu + a \cdot \sigma \tag{1}$$

- μ: 영상의 평균
- σ: 영상의 표준편차
- a: 사용자 파라미터

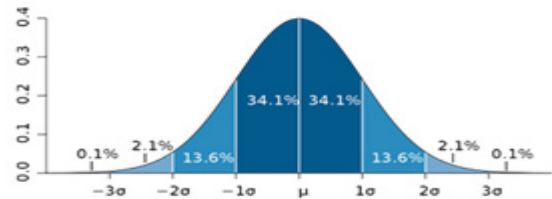
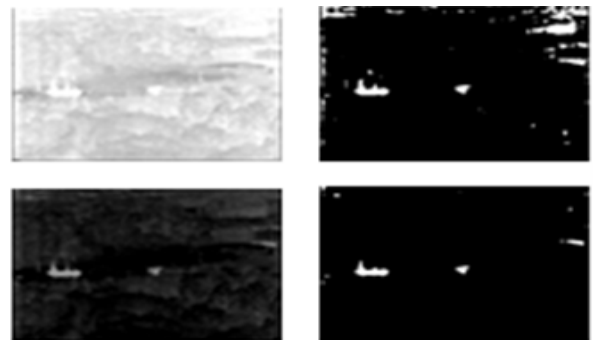
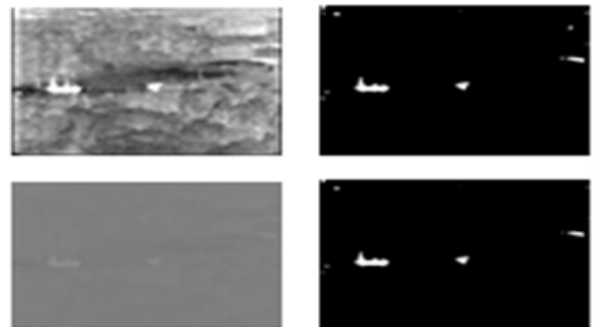


그림 2. 가우시안 정규 분포도

평균값 μ 에 표준편차 σ 에 배수를 합한 값에 따라 화염영역의 분포 비율을 조절할 수 있다. 여기서 a를 3으로 설정 하면 열영상에서 상위 1%의 명암도 값을 가지는 화소들을 검출 가능하다. 식 1을 이용하면 영상의 밝기와 대비 변화에 유연하며 배경영역을 최대한으로 제외한 화염 후보영역의 분할이 가능하다. 그림 3은 a를 3으로 설정하여 밝기와 대비가 변화가 된 이미지에 식 1로 계산된 문턱치를 적용 결과를 보여준다. 문턱치 처리 결과는 변화된 영상에 대해 거의 유사한 결과를 보인다.



(a) 영상의 명암도 변화



(b) 영상의 대비 변화

그림 3. 평균과 표준편차를 이용한 화염 검출 영상

평균과 표준편차를 이용한 가변 문턱치 기법의 문제점으로는 터널과 같이 전체 적으로 온도가 낮은 환경의 경우 화염뿐만 아니라 사람이나 차량을 화염 후보 영역에 포함하여 그림 4와 같이 화염영역으로 검출한다. 원인은 주변 환경이 온도가 낮아 영상의 평균값이 0에 가까운 값으로 나타났고 표준 편차가 배경 픽셀들의 수가 많은 만큼 그리 크지 않다. 그 결과 사람이 화염영역으로 오검출 되었다. 이를 해결 하기 위해서는 영상내에서 화염영역이 최대값으로서 나타나는 특징을 고려해야 오검출을 감소시킬 수 있다.

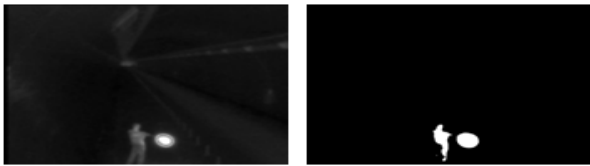


그림 4. 터널 영상에서의 평균과 표준편차를 이용한 화염 검출 영상

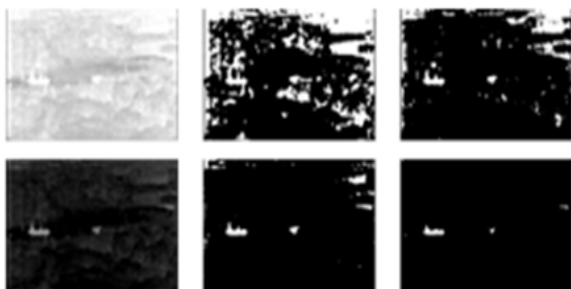
2) 평균과 최대값을 이용한 가변 문턱치

적외선 열 영상에 존재하는 Hot-spot은 화염과 햇빛 반사 또는 Heated Object로 구성되며 배경에 비해 상당히 높은 명도를 갖는다. Hot-spot은 평균값과 최대값 사이에 존재한다. [13]-[15] 적외선 열 영상에서 보행자를 검출하기 위한 후보 영역을 식 (2)와 같이 평균값과 최대값을 이용하였다.

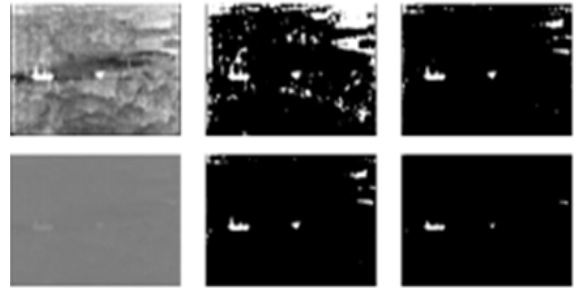
$$TH = \alpha \cdot \mu + \beta \cdot MAX \tag{2}$$

여기서  $\mu$ 는 영상의 평균이며, Max는 화소의 최대값이다.  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 가중치로 그 합은 1이다.

그림 5는 식 (2)의 가변 문턱치 처리 결과를 보여준다. 적용되는 영상은 밝기와 대비 변화를 주었으며 적용되는 가중치를 다르게 하였다. 그림 5에 나타나듯이 가중치가 적절하게 정해져야 좋은 결과를 얻을 수 있다. 영상의 변화에 대하여 최적 문턱치를 도출하기 위해서는 적절한 가중치를 정해야한다. 이러한 가중치는 실험적으로 값을 도출해야 하기 때문에 사용자 의존도가 높아진다.



(입력영상) (a) 영상의 평암도 변화



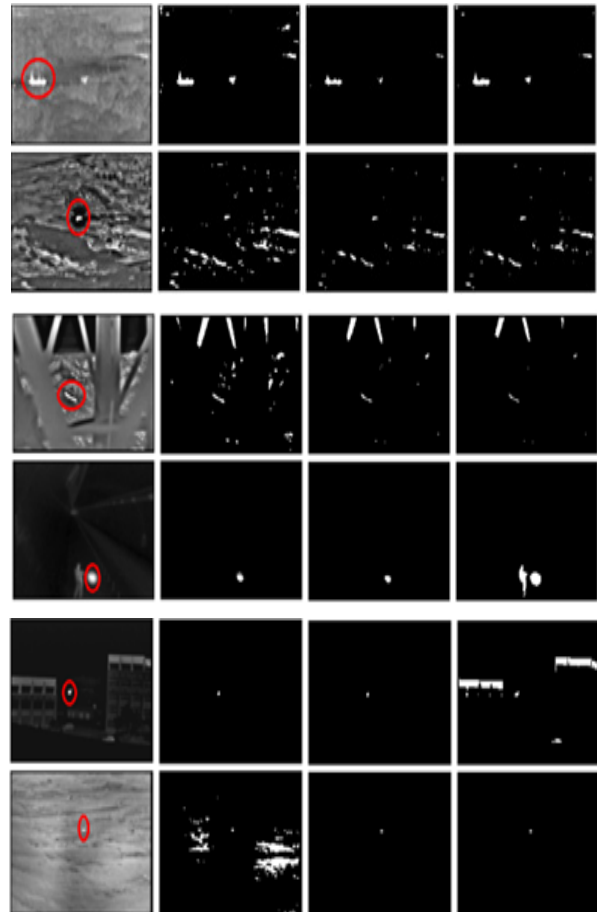
(입력영상) (a) 영상의 대비 변화

그림 5. 평균과 최대값을 이용한 화염 검출 영상

Ⅲ. 문턱치 성능 비교와 분석

전술한 세가지 문턱치 설정에 의한 열영상 화염 검출 성능을 비교하기 위하여 모의실험을 수행하고 비교하였다. 모의실험에 사용된 영상은 720x480 해상도를 가지는 그레이레벨 열영상이며 7개의 시험영상을 사용하였다. 각각의 영상에 적용된 세가지 문턱치 설정은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{고정문턱치 } TH1 &= 173 \\ \text{가변문턱치 } TH2 &= 0.3\mu + 0.7MAX \\ \text{가변문턱치 } TH3 &= \alpha + 3\sigma \end{aligned} \tag{3}$$



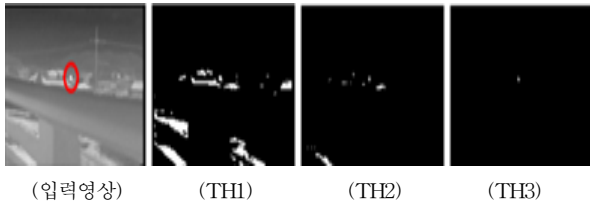


그림 6. 문턱치 성능 비교 영상

그림 6은 세가지 문턱치 설정에 따른 화염 검출 영상이며 적색 원은 실제 화염영역을 나타낸다. TH1은 고정 명암도 문턱치로 가장 많은 비화염 영역을 포함하고 있는 결과 영상을 보여 주고 있다. TH2는 평균과 표준편차를 이용한 가변 문턱치로 화염 검출 결과는 실험 영상 7번과 같이 화염 영역과 배경 화소의 대비가 명확하지 않은 경우 비화염영역의 검출이 증가 한다. TH3은 평균과 최대값을 이용한 가변 문턱치로 입력 영상이 전체적으로 어두운 경우 평균값이 낮아지며 표준 편차가 작아진다. 그 결과 실험 영상 4, 5에서처럼 비화염 영역의 검출이 증가 하게 된다.

카메라의 특성이나 환경에 따라 변화를 보이게 되는 열영상에서 화염 영역을 검출하기 위해 문턱치 설정식 (1)과 (2)는 상당히 좋은 결과를 보인다. 하지만 일부 특정 환경에서 비화염 영역의 검출이 증가한다. 가변 문턱치 식 (1)의 경우 영상이 전체적으로 어두워지거나 대비가 작은 경우 비화염 영역의 검출이 증가 한다. 이 문제점은 영상의 최대값을 이용하여 낮게 계산되어지는 문턱치를 보상 한다면 해결 될 수 있다. 가변 문턱치 설정식 (2)는 영상의 대비가 작아 화염 영역과 비화염 영역의 값의 차가 적은 경우 비화염 영역의 검출이 증가한다. 이 경우 화염 영역과 배경 영역의 명도 차이를 통해 보완이 가능하다. 따라서 문턱치 설정식 (1)과 (2)를 구성하는 변수인 영상의 평균, 표준 편차, 최대값을 이용하여 배경 요소들을 최대한 제거하면서 명암도 최대값에 가깝게 문턱치를 선정 한다면 비화염 영역 검출이 최소화된 최적 문턱치 설정이 가능하다.

가변 문턱치 설정식 (1)은 최대값과 평균값과 사이의 값이 문턱치로 설정되어 화염 검출을 위한 방법으로 적절하지만 최적화된 가중치 설정을 위해서는 실험적으로 구해야 한다. 따라서 다양한 환경에 적용하기에는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해서는 자동적으로 가중치가 조절되어야 한다. 가변 문턱치 설정식 (2)는 영상의 통계적이 처리에 의해 화염과 배경 요소를 효과적으로 분리가 가능하지만 영상의 전체적인 밝기가 낮은 경우 문턱치는 영상의 최대값과 편차가 많은 값이 선정 되어 오검출 요소를 많이 포함하는 문제가 발생한다. 해결 방법으로는 화염이 나타내는 명도의 특징인 최대값을 고려하여 문턱치가 조절 되어야한다. 이러한 문제점들은 표준 편차와 최대값을 이용해 서로 보완이 가능하다. 대비변화에 대해서 표준편차는 영상의 통계적인 값을 나타내게 되고 화염은 영상 내에서 최대값으로서 나타난다. 영상에 존재하는 화염의 명도는 영상의 평균 값 보다 크며 최대값과 같

거나 낮다. 또한 표준 편차를 이용하면 오검출 요소를 최대한 줄일 수 있다. 따라서 최적 문턱치는 평균과 표준 편차의 합보다 크며 최대값 보다는 작은 값을 선택 하여 사용자의 의존도를 줄이며 입력 영상에 최적인 화염 검출 문턱치 설정이 가능하다.

## IV. 결론

열영상 기반의 화염검출 알고리즘에서 화염 후보영역의 분할은 중요한 과정으로 비화염 후보영역의 오분할을 줄인다면 최종 화재 오검출과 처리 연산량 감소에 크게 기여한다. 이를 위해 고정 명암도, 평균, 표준편차 및 최대값을 이용한 열영상의 화염분할 기법과 성능을 비교 분석하였다. 평균값은 영상의 밝기 변화에 선형 적인 변화가 나타나며 표준 편차는 대비 변화에 따라 부분 선형적인 변화가 나타나게 되어 각각 영상의 변화에 대응 할 수 있다. 최대값은 화염이 높은 명도로 표현 되는 특징이 반영되어진다. 따라서 열영상의 평균, 표준편차, 최대값을 적절하게 이용한 최적 문턱치는 평균과 표준 편차의 합보다 크며 최대값 보다는 작은 값을 선택 하여 사용자의 의존도를 줄이며 입력 영상에 최적인 화염 검출 문턱치 설정을 한다면 배경 영역을 최대한 배제하면서 화염영역을 검출 가능하며 이를 적용한 화재검출 알고리즘의 검출 정확도는 기존 방식에 비해 크게 개선될 것으로 기대된다. 또한 적외선 열영상에서 화염 검출은 문턱치 처리만으로도 검출이 가능하지만 화염영역의 시공간특성을 고려하여 오검출을 최소화하기 위한 연구도 추가적으로 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] Phillips, W., III; Shah, M.; Da Vitoria Lobo, N., "Flame recognition in video," Proceedings of IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp.224-229, 2000.
- [2] Liqiang Wang; Mao Ye; Yuanxiang Zhu, "A hybrid fire detection using Hidden Markov Model and luminance map," Proceedings of International Conference on Medical Image Analysis and Clinical Applications (MIACA), vol., no., pp.118,122, 10-13 June 2010.
- [3] Budi, W.T.A.; Suwardi, I.S., "Fire alarm system based-on video processing," Proceedings of International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEL), vol., no., pp.1,7, 17-19 July 2011.
- [4] Turgay Çelik, Hasan Demirel, "Fire detection in video sequences using a generic color model", Fire Safety Journal, Volume 44, Issue 2, February 2009.
- [5] T.Celik, H.Demirel, H.Ozkaramanli, "Automatic fire detection in video sequences", Proceedings of European SignalProcessing Conference (EUSIPCO), Florence, Italy, September 2006.

[6] Arrue, B.C.; Ollero, A.; Matinez de Dios, J.R., "An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest-fire detection", IEEE Intelligent Systems and their Applications, vol.15, no.3, pp.64,73, May 2000.

[7] A. Ollero, B.C. Arrue, J.R. Martinez, J.J. Murillo, "Techniques for reducing false alarms in infrared forest-fire automatic detection systems", Control Engineering Practice, Volume 7, Issue 1, January 1999.

[8] Bosch, I.; Gomez, S.; Vergara, L.; Moragues, J., "Infrared image processing and its application to forest fire surveillance," Proceedings of IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, Sept. 2007.

[9] Bosch, I.; Gomez, S.; Vergara, L., "Automatic Forest Surveillance Based on Infrared Sensors," Proceedings of International Conference on Sensor Technologies and Applications, Oct. 2007.

[10] Linkai Chen; Pinwei Zhu; Guangping Zhu, "Moving objects detection based on background subtraction combined with consecutive frames subtraction," Proceedings of International Conference on Future Information Technology and Management Engineering (FITME), Oct. 2010.

[11] Yongquan Xia; Weili Li; Shaohui Ning, "Moving Object Detection Algorithm Based on Variance Analysis," Proceedings of International Workshop on Computer Science and Engineering, Oct. 2009.

[12] Ying Shi; Shu Cheng; Shuhai Quan; Jie Chen; Di Chen, "Moving objects detection by Gaussian Mixture Model: A comparative analysis," Proceedings of International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE), Sept. 2011.

[13] Jianchao Zeng; Sayedelahl, A.; Chouikha, M.F.; Gilmore, E.T.; Frazier, P.D., "Human detection in non-urban environment using infrared images," Proceedings of International Conference on Information, Communications & Signal Processing, Dec. 2007.

[14] Fengliang Xu; Xia Liu; Fujimura, K., "Pedestrian detection and tracking with night vision," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.6, no.1, pp.63-71, March 2005.

[15] Walczyk, Robert; Armitage, Alistair; Binnie, T. David, "FPGA implementation of hot spot detection in Infrared video," Proceedings of IET Signals and Systems Conference (ISSC), pp.233-238, 23-24 June 2010.

## 저자

### 정수영 (Soo-Young Jeong)

정회원



- 2013년 2월 : 공주대 전기전자제어공학부(공학사)
- 2013년 3월~현재 : 공주대 대학원 전기전자제어공학과 석사과정

<관심분야> : 영상신호처리, DSP응용

### 김원호 (Won-Ho Kim)

종신회원



- 1987년 2월 : 경북대 전자공학 석사
- 1999년 2월 : 충남대 전자공학 박사
- 1989년 2월~1999년 8월 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
- 1999년 8월~현재 : 공주대학교 전기전자제어공학부 교수

<관심분야> : 영상 및 통신 신호처리, 위성멀티미디어통신, 지능형 영상감시 및 비전센서