

점멸성 비화염 검출을 제거하는 웨이블릿변환 기반의 컬러영상 화염 검출 방법

누완*, 이현술*, 김원호* *종신회원*

A Color Video Flame Detection Method based on Wavelet Transform to Remove Flickering Non-Flame Detection

Nuwan Sanjeewa*, Hyun-Sul Lee*, Won-Ho Kim* *Lifelong Member*

요 약

본 논문은 컬러 영상에서 화염검출 시 주기적으로 점멸하는 비화염 물체 검출을 제거하기 위해 웨이블릿 변환을 이용한 화염 검출 알고리즘을 제안한다. 기존 화염검출 알고리즘에서는 화염의 색상과 시간적인 변화와 공간적인 변화를 분석하고 이들을 조합하여 화염을 판정한다. 하지만 자동차 경광등, 방향지시등과 같이 점멸하면서 화염과 비슷한 특성을 보이는 물체를 화염으로 검출하는 문제점이 있다. 본 논문은 주기적으로 점멸하면서 화염과 비슷한 특성을 보이는 비화염 요소의 주기성을 판별하여 오검출을 감소시킨다. 제안하는 알고리즘은 화염의 색상과 영상 차분 기법으로 화염 후보영역을 선정하고 선정된 후보영역에 대하여 웨이블릿 변환 계수를 분석하여 주기성을 갖는 오검출 요소를 포함한 비화염 영역을 제거하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 모의실험 결과, 주기성을 갖는 비화염 영역을 제거하였고 97.9%의 검출율과 7.3%의 낮은 오검출을 성능을 확인하였다.

Key Words : Video Surveillance, Fire detection, Wavelet Transform, Image Processing, Digital signal processing

ABSTRACT

This paper presents color video flame detection algorithm based on wavelet transform to remove detection of flickering non-flame objects. Conventional flame detection algorithms consist of simple or mixed functions using colors, temporal and spatial characteristics. But those algorithms detect non-flame objects as flame regions sometimes. False alarm reasons are flame-like objects with regular flickering lights such as car signal lamps, alarm lights etc. The proposed algorithm is to reduce false detection which is occurred in periodic flickering lights. At first, It segments the candidate flame regions by using frame difference, flame colors. Then it distinguish flame regions and non flame regions including flickering car lights by analyzing wavelet coefficients. Computer simulation results showed that the proposed algorithm removes false detection due to the periodic flickering lamps by performing 97.9% of correct detection rate while false detection rate is 7.3%.

I. 서 론

화재가 발생하게 되면 인적, 물리적 피해가 크게 발생한다. 따라서 화재를 미연에 방지하거나 조기에 진압할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다. 화재를 조기에 진압하기 위해 센서 기반의 화재 감지 시스템과 카메라를 통해 얻어지는 영상 기반의 화재 감지 시스템으로 크게 두 가지로 나누어진다. 센서 기반의 화재 감지 시스템[1][2]은 주로 연기나

온도를 센서로 화재를 감지한다. 하지만 센서 기반은 넓은 지역을 측정하기 위해서는 많은 센서를 활용하여야 하고 현장의 상태를 직접 확인해 보기 어렵다는 단점이 있다. 반대로 영상 기반의 화재 감지 시스템은 센서에 비해 넓은 지역을 측정할 수 있다는 장점이 있다. 영상 기반의 화재 감지 시스템은 컬러 CCD 카메라의 영상[5]-[8]과 IR 카메라[3][4]의 영상 두 가지로 나누어져 있다. IR 카메라는 발산하는 온도를 측정하여 명암 영상으로 표현되기 때문에 현장 상태를 확

* 본 연구는 미래창조과학부(구 교육과학기술부)의 재원으로 과학백트기능지구지원사업(2013K000490)과 지정부의 한국에너지기술연구원 에너지 인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

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

접수일자 : 2013년 11월 12일, 수정완료일자 : 2013년 12월 5일, 최종 게재확정일자 : 2013년 12월 11일

인하기는 어렵고 장비가 비싼 단점이 있다. 하지만 컬러 CCD 카메라는 현장 상태를 직접 확인해 볼 수 있다는 것과 가격이 IR 카메라에 비해 저가이다. 또한 CCTV 시스템에 많이 쓰이고 있어 CCTV 시스템을 이용하여 화재를 감지할 수 있는 장점으로 인해 컬러 CCD 카메라로 얻어진 영상을 분석하여 화재를 검출하는 알고리즘 연구가 활발히 진행되고 있다.

Phillips[8] 등은 화염의 색상을 RGB 컬러 영상에서 화염 색상의 LookupTable을 이용하여 색상기반으로 화염의 후보를 검출한 뒤 시간에 따른 상태변화로 화염을 검출하였다. 검출 알고리즘이 단순하여 오검출 요소가 많이 검출된다는 단점이 있다. Toreyin[5] 등은 배경영상을 생성하여 입력 영상과 차분하여 움직이는 물체를 검출하고 가우시안 혼합 모델을 이용하여 화염 색상을 검출한 뒤 시간적 웨이블릿 변환과 공간적 웨이블릿 변환으로 나누어 처리된 결과를 판단하여 화염을 검출하였다. Chen[6] 등은 개선된 가우시안 혼합 모델을 이용하여 움직이는 물체를 검출하고 RGB 성분과 채도(S) 성분을 이용하여 화염의 색상을 검출한 뒤 화염의 플리커 특성을 비교하여 조명의 오검출을 제거하였다. Celik[7]은 CIE Lab 컬러 모델을 이용하여 화염의 색상을 검출하고 배경 차분을 이용하여 움직이는 물체를 검출하여 색상 검출 결과와 움직임 검출 결과의 교집합을 구하여 화염의 후보를 구하고 후보에서 화염의 발생 빈도수를 확인하여 최종 화염을 검출하였다. 하지만 Toreyin, Chen, Celik 등이 제안하는 알고리즘은 자동차 경광등과 같은 주기성을 갖는 오검출 요소를 화염으로 검출하고 있다. 본 논문에서는 주기성을 갖는 오검출 요소를 제거하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

II. 화염 검출 알고리즘

제안하는 화염 검출 알고리즘은 화염의 움직임과 색상 특성을 분석하여 화염 후보영역을 선정하고, 100-프레임의 화염 후보영역에 대한 웨이블릿 변환 계수를 분석하여 비화염 영역을 제거한 후 최종 화염 검출 결과를 출력한다. 그림 1은 제안하는 화염 검출 알고리즘의 순서도이다.

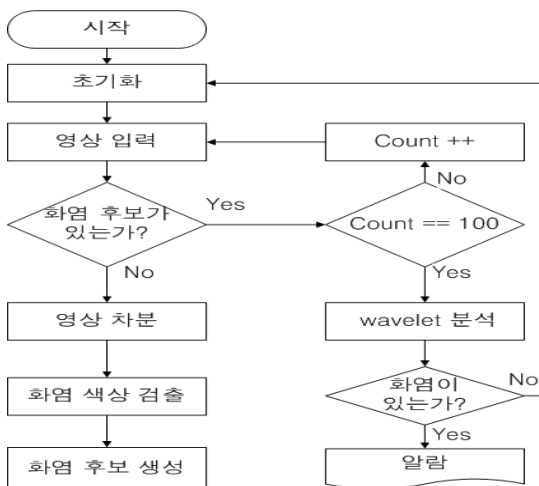


그림 1. 화염 검출 알고리즘

1. 컬러영상의 화염색상 분석

컬러 영상의 화염 색상 정보를 분석하기 위한 화재의 온도특성과 방출하는 가시광선의 파장특성은 그림 2과 그림 3과 같다. 그림 2는 ISO 834에서 규정한 화재의 온도 및 시간 곡선[10]을, 그림 3은 흑체의 표면에서 방출하는 복사에너지 세기를 파장에 따라 나타내는 플랑크 곡선[11]이다.

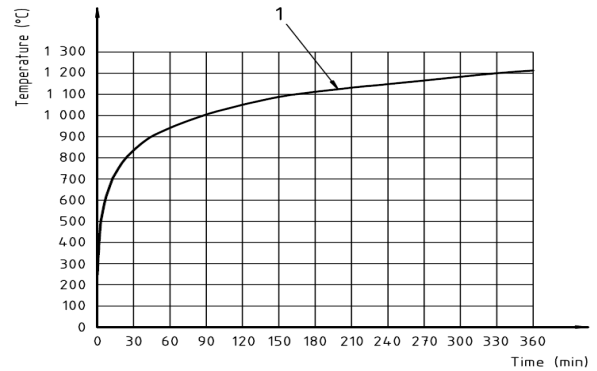
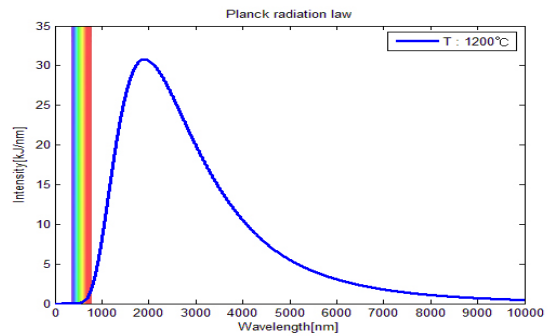
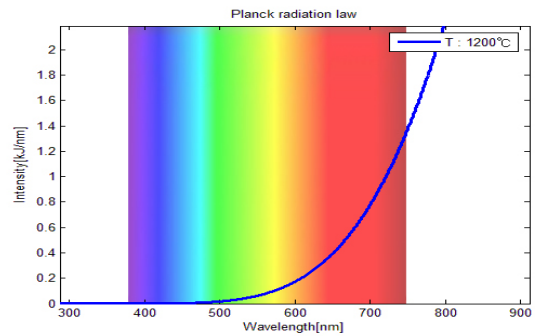


그림 2. ISO 834 화재 온도-시간 곡선 [10]



(a) 화재온도 1,200°C에 대한 플랑크 곡선



(b) 가시광선 파장대역 확대 그래프

그림 3. 화재온도 1,200°C의 플랑크 곡선과 가시광선 분포 [11]

그림 2와 같이 화염의 온도는 시간이 지남에 따라 800 ~ 1200 °C의 온도 분포를 보인다. 그림 3-(a)는 1200 °C의 온도에 대한 플랑크 곡선이며, 그림 3-(b)는 가시광선 영역의 파장 대역을 확대한 그림이다. 가시광선 영역에서 500nm이상인 파장대역에서 복사에너지를 방출하게 됨으로서 화염영역

은 황색에서 적색 사이의 색상을 보인다.

또한, 히스토그램 교차 기법에 의한 화염과 비화염 영역의 색상 분리도 특성을 비교한 결과에서는 RGB 컬러 모델의 적색(R) 성분과 YCbCr의 적색차(Cr) 성분이 화염과 비화염 영역의 색상 분리도 특성이 매우 우수하다.[9] 이러한 화염 영역의 적색과 적색차 성분에 대한 색상특성은 그림 4에 나타내었다. 화염영역은 적색(R) 성분이 220 이상의 영역과 적색차(Cr) 성분이 130이상 220이하의 영역에 90%이상 밀집되어 분포한다. 이러한 결과를 반영하여 제안하는 화염영역의 색상을 필터링하는 조건식은 식 (1)과 같다.

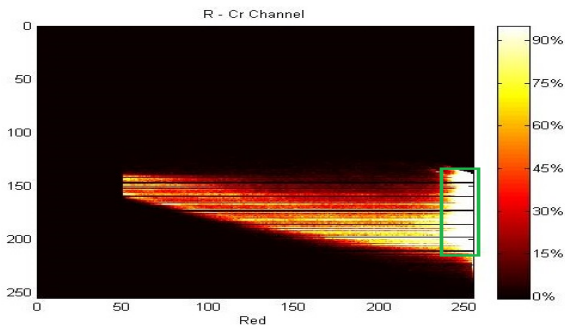


그림 4. 화염영역의 적색(R)과 적색차(Cr) 성분 분포도

$$Fire\ Color = \begin{cases} 1, & (R \geq T_R) \cap (T_{Cr1} < Cr < T_{Cr2}) \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

화염 색상조건에 의한 화염영역 추출 결과는 그림 5와 같다.



(a) 원본 영상 (b) 화염영역 추출 영상

그림 5. 색상조건에 의한 화염영역 추출 영상

2. 화염의 움직임 특성 분석

화염의 주요 특성인 움직임은 시간에 따라 불규칙하게 불꽃이 움직이는 현상을 반영한다. 화염의 움직임 특성을 이용한 화염 후보영역을 추출하는 기법으로는 배경 차분 기법과 영상 차분 기법이 주로 사용한다. 배경 차분 기법은 영상의 배경을 입력 영상과 차분하기 때문에 화염과 같이 움직이는 영역을 추출하는데 효과적이지만, 지속적인 배경영상의 갱신으로 인해 연산량이 많은 것과 메모리를 충분히 할당해야 하는 단점이 있다. 반면 영상차분 기법은 현재 입력 영상과 이전 입력 영상을 단순하게 차분하는 방식으로 순간적인 움직임 영역을 추출하기 때문에 연산량이 배경 차분 기법에 비해 적은 장점이 있다. 따라서 화재를 실시간으로 검출하기에는 영상 차분 기법이 적합하다. 제안하는 알고리즘에서 화염의 움직임 특성을 이용하여 화염 후보영역을 추출하는 기법은 식 (2)와 같은 영상 차분 기법을 사용한다.

$$Fire\ Motion = \begin{cases} 1, & |R_t - R_{t-1}| > T_m \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

R은 RGB 컬러 모델의 적색(R) 성분이고 t는 현재 시간, t-1는 이전 시간을 T_m 은 움직임을 판별하는 임계값으로 30으로 설정하였다.

3. 움직임과 색상 분석의 순서에 따른 연산량 분석

컬러영상의 화염영역을 추출하는 방법으로 전술한 화염의 색상 필터링 후 움직임을 추출하거나 움직임을 추출한 후 색상을 필터링하는 방법, 색상과 움직임 분석을 각각 처리한 결과를 논리적으로 곱하여 화염 후보영역을 선정하는 방법이 있다. 화염 후보영역의 선정결과에 따라 최종화염 검출 정확도와 후처리 연산량이 영향을 받는다. 따라서 효율적인 화염 후보영역을 선정하기 위한 처리 과정이 중요하며, 색상과 움직임 필터링의 순서에 따른 화염 후보영역 추출 정확도와 연산량을 비교하여 보다 효율적인 처리 과정을 적용함으로써 효율적인 화염 검출 알고리즘을 구성할 수 있다. 표 1은 100x100 크기의 RGB 컬러 영상에서 100개의 화소가 화염영역으로 선정되는 경우의 연산량을 비교한 결과이다. 화염 후보영역을 선정하기 위해 사용된 수식은 식 (1)과 식(2)를 이

용하였다.

표 1. 색상과 움직임 분석 순서에 따른 연산량 비교
(영상크기:100x100, 화염 화소수: 100)

연산	색상→움직임	움직임→색상	색상&움직임
곱셈	30,000	300	40,000
덧셈	30,200	20,300	30,200
비교	30,100	10,300	40,000

그림 6는 각각의 경우를 적용한 화염 후보영역 추출 결과 영상들이다.



그림 6. 색상과 움직임 분석 순서에 따른 화염후보 영역 추출 결과

연산량 비교와 화염후보영역 추출 결과에서 움직임 분석에 의해 화염 후보영역을 추출 후, 색상조건으로 필터링하여 최종 화염후보영역을 선정하는 방법이 다른 방법들에 비해 보다 효율적인 방법이다.

4. 주기성 비화염 영역의 웨이블릿 분석

일반적으로 색상과 움직임 분석에 의해 추출된 화염 후보영역은 다양한 오검출 요소를 포함하고 있다. 화염과 유사한 색상과 움직임을 보이는 자동차 경광등이나 방향지시등처럼 주기성을 보이면서 깜빡이는 요소들이 화염 후보영역으로 오선정 된다. 이러한 주기성 비화염 영역을 필터링하여 제거하기 위해 웨이블릿변환 분석 기법을 이용한다. 식 (3)은 웨이블릿 창을 만드는 공식이다.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3)$$

t는 영상의 시간을 표현하고 a는 Scale, b는 Shift를 표현한다. wavelet 변환으로 분석하기 위해 다양한 창을 만들어 입력에 적용하는데 Scale로 창을 만들고 Shift로 창을 이동시켜 분석을 한다. 식 (4)는 웨이블릿 변환 계수를 구하는 공

식이다.

$$W_f(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\psi_{a,b}(t)dt \quad (4)$$

x는 입력을 표현하고 W_f 는 웨이블릿 변환 계수를 표현한다. 웨이블릿 창에 입력을 곱하여 시간의 값을 주변 화소와 비교하여 주파수로 표현하기 때문에 창에 의해 시간적인 요소와 공간적은 요소를 동시에 비교할 수 있다는 장점이 있다. 그림 7은 2차 웨이블릿 변환을 위한 기능 구성도이다.

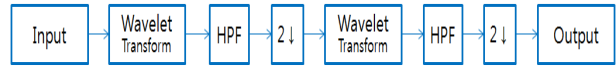
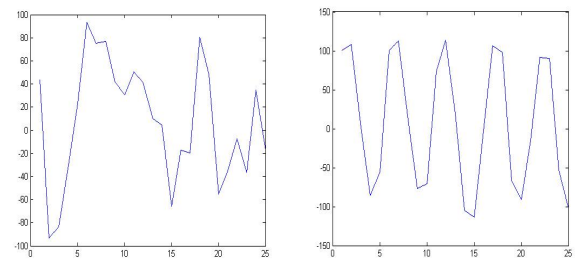


그림 7. 웨이블릿 변환을 위한 기능 구성도

2차 웨이블릿 변환된 고주파 영역에서 화염에 대한 불규칙한 성질과 비화염 영역의 규칙적인 성질을 구분하기 용이하다. 또한 주기성을 갖는 오검출 요소인 방향지시등과 경광등을 필터링하기에도 효과적이다. 그림 8은 화염 후보영역과 각 영역에서 웨이블릿 변환 계수를 보여준다.



(a) 원본 영상 (b) 화염 후보 영역



(c) 화염의 2차 웨이블릿 변환 계수 (d) 주기성 비화염 영역의 2차 웨이블릿 변환 계수

그림 8. 화염 후보영역의 2차 웨이블릿 변환 계수 분석

그림 8-(b)는 움직임과 색상 분석으로 선정된 화염 후보영역을 보여준다. 화염 후보 영역에서 적색 원은 실제 화염영역으로 웨이블릿 변환 계수는 그림 8-(c)와 같이 나타난다. 화염 후보 영역에서 청색 원은 주기성 비화염영역(자동차 방향지시등, 경광등)으로 주기적으로 깜빡이는 특성으로 그림 8-(d)와 같이 나타난다. 화염의 경우, 불규칙하게 웨이블릿 변환 계수가 변화하지만 주기성을 갖는 주기성 비화염영역은 일정한 주기로 변화하는 특성을 보인다. 따라서 이를 이용하여 웨이블릿 변환 계수의 크기 변화가 크면서 발생 주기의 표준 편차가 임계값 이상이면 화염으로 검출한다. 식(5)

- 식(8)은 주기성 비화염 영역과 변화가 적은 비화염 영역을 제거하고 화염을 검출하기 위한 식들이다.

$$D_n = \begin{cases} 1, & |W_n - W_{n-1}| > T_w \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

W 는 웨이블릿 계수를 표현하고 n 은 계수 번호를 나타내고 T_w 는 계수의 차분 임계값으로 모의실험에서는 15로 설정하였다.

$$S_m = \text{find}(D_n = 1) \quad (6)$$

S 는 수식 (6)을 만족하는 웨이블릿 계수 인덱스를 나타낸다.

$$F_o = S_m - S_{m-1} \text{ if } S_m * S_{m-1} < 0 \quad (7)$$

F_0 는 S 의 시간 간격을 나타낸다.

$$\text{Fire} = \text{std}(F_o) > T_F \quad (8)$$

최종 화염 정보는 F_0 의 표준편차가 임계값 T_F 를 넘으면 화재로 최종 판정한다. 모의 실험에서 T_F 는 2로 설정하였다. 그림 9는 주기성 비화염 영역인 자동차 방향지시등, 경광등을 필터링하여 제거하고 화염 영역만 검출한 결과를 보여준다.



(a) 원본 영상 (b) 화염 검출 결과 영상
그림 9. 주기성 비화염 영역을 필터링한 결과 영상

III. 컴퓨터 모의실험

제안하는 화염 검출 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 15개의 시험 영상을 사용하였다. 시험 영상은 720 * 480의 크기와 초당 30 프레임의 캡코더 동영상상을 사용하였다. 시험 영상에서 화염 후보영역이 선정되고 100-프레임 이후 최종 화염이 판정되는 주기로 화재를 판정한 시뮬레이션 결과는 표 2와 같다. 표 2에서 Total은 최종 판정의 횟수를 나타내고 Flame은 화염 후보영역 선정시 화염영역이 포함된 횟수를 나타낸다. Correct 프레임은 판정주기마다 화염을 정상적으로 판정한 횟수를 나타내고 False는 비화염 영역을 화염영역

으로 오판정한 횟수를 나타낸다. 정상검출율과 오검출율은 식 식 (9)과 식(10)과 같이 정의하였다. 모의실험 결과, 정상 검출율은 97.9%, 오검출율은 7.3%의 성능을 확인하였다.

$$\text{정상 검출율} = \frac{\text{Correct frame}}{\text{Flame frame}} \quad (9)$$

$$\text{오검출율} = \frac{\text{False frame}}{\text{Total frame}} \quad (10)$$

표 2. 화염 검출 결과

video No.	Total	flame	Correct	False	Correct Rate	False Rate
1	8	8	8	0	100%	0%
2	8	8	8	0	100%	0%
3	8	8	8	0	100%	0%
4	8	8	6	2	75%	25%
5	8	8	8	0	100%	0%
6	8	8	8	0	100%	0%
7	8	8	8	0	100%	0%
8	8	8	8	0	100%	0%
9	8	8	8	0	100%	0%
10	8	8	8	0	100%	0%
11	8	8	8	0	100%	0%
12	8	8	8	0	100%	0%
13	6	-	-	4	0%	66.6%
14	2	-	-	0	0%	0%
15	6	-	-	2	0%	33.3%
Total	110	96	94	8	97.9%	7.3%

IV. 결론

제안한 화염 검출 알고리즘은 연산의 효율성을 위해 움직임 추출하고 색상조건을 필터링하여 화염 후보영역을 선정하였다. 또한 주기성 비화염 요소를 제거하고 화염의 동적 특성을 필터링하기 위하여 웨이블릿 변환 계수를 이용하여 최종 화염 판정을 수행하였다. 특히 기존 알고리즘에서는 제거하지 못했던 자동차 경광등, 방향지시등과 같이 주기적으로 깜빡이는 화염 오검출 요소를 제거하여 기존 방식에 비해 오검출율을 개선하였고 실용성을 확인하였다. 향후 화염과 유사한 특성을 보이는 비주기성 전기불빛, 저녁노을 등의 비화염 영역을 완전하게 제거하기 위한 고 신뢰도의 화염 검출 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 윤동열, 김성호, “무인헬기 및 센서네트워크 기반 화재 감시 시스템 설계”, 퍼지 및 지능 시스템학회 논문지, Vol. 17, No. 2, pp. 173-178, April 2007.
[2] 김용우, 김도현, 곽호영, 박희동, “무선 센서 네트워크 기반의 화재 대피 유도 연구”, 멀티미디어학회논문지, Vol. 11, No. 11, pp. 1547-1554, November, 2008.

[3] Won-Ho Kim, Seung-Kyeom Kim, Jong-Ho Lee, Chang-Ho Hyun, "A fire alarm vision system based on IR image processing" Proceedings of NISS, Vol. 2, 291-293, October, 2011.

[4] Begoña C. Arrue, Anibal Ollero and J. Ramiro Martinez de Dios, "An Intelligent System for False Alarm Reduction in Infrared Forest-Fire Detection", IEEE Intelligent Systems and their Applications, Vol. 15, No. 3, May, 2000.

[5] B. Ugur Toreyin, Yigithan Dedeoglu, Ugur Gudukby, A. Enis Cetin. "Computer vision based method for real-time fire and flame detection", ELSEVIER Pattern Recognition Letters, vol. 27, No. 1, pp 49-58, January, 2006.

[6] Juan Chen, Yaping He, Jian Wang "Multi-feature fusion based fast video flame detection", ELSEVIER Building and Environment, Vol. 45, No. 5, pp. 1113-1122, May, 2010.

[7] Turgay Celik "Fast and Efficient Method for Fire Detection Using Image Processing", ETRI Journal, vol. 32, pp 881-890, 2010.

[8] W. Phillips III, M. Shah, and N. da Vitoria Lobo, "Flame Recognition in Video," ELSEVIER Pattern Recognition Letters, Vol. 23, No.1, pp. 319-327, January, 2002.

[9] 이현술, 김원호, "화재검출을 위한 컬러모델의 화염색상 분석", 통신위성우주산업연구회논문지, vol. 8, no. 3, pp. 52-57, September, 2013.

[10] "Fire-resistance tests-Elements of building construction", Internaional Standard ISO 834-1, 1999.

[11] 안상호, 김영춘, "적외선영상의 파장대역 변환 방법", 한국정보기술학회논문지, Vol. 10, No.7, pp. 87-95, July, 2012.

김 원 호(Won-Ho Kim)

총신회원



- 1987년 2월 : 경북대 전자공학 석사
- 1999년 2월 : 충남대 전자공학 박사
- 1989년 2월~1999년 8월 : 한국전자 통신연구원(ETRI) 선임연구원
- 1999년 8월~현재 : 공주대학교 전기 전자제어공학부 교수

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

저자

누 완(Nuwan Sanjeewa)

정회원



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

<관심분야> : 영상신호처리, DSP응용

이 현 술(Hyun-Sul Lee)

정회원



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

<관심분야> : 영상신호처리, DSP응용