

화재 영상감시를 위한 표준 색상모델의 연기색상 분석

이용훈¹, 김원호^{1*}

¹공주대학교 전기전자제어공학부

Smoke color analysis of the standard color models for fire video surveillance

Yong-Hun Lee¹ and Won-Ho Kim^{1*}

¹Division of Electrical, Electronic and Control Engineering, Kongju National University

요 약 본 논문은 기존 논문들에서 사용되었던 다양한 색상모델의 연기색상을 비교분석하여, 화재 영상감시 시스템의 연기 검출에 최적인 컬러모델을 제시하기 위한 컬러영상의 연기색상 분석에 대하여 기술한다. 각 표준 색상 모델에서의 연기색상과 비연기 색상간의 분리도 특성을 비교하기 위하여 히스토그램 교차 분석 기법을 사용하였다. 표준 색상모델로는 RGB, YCbCr, CIE-Lab, HSV 컬러모델을 사용하였으며, 계산된 히스토그램 교차(Histogram Intersection) 값이 작으면 연기와 비연기 영역분할 특성이 우수한 컬러모델이며 큰 값을 가지는 컬러모델에서는 연기분할 특성이 좋지 않다. 4개의 표준 컬러모델을 분석한 결과, RGB 색상모델과 HSV 색상모델이 각각 평균 히스토그램 교차 값이 0.14, 0.156 으로서 연기와 비연기 색상 분리도가 매우 우수하여 컬러영상의 색상기반 연기검출에 가장 최적이며 실용적인 컬러모델로 확인되었다.

Abstract This paper describes the color features of smoke in each standard color model in order to present the most suitable color model for smoke detection in video surveillance system. Histogram intersection technique is used to analyze the difference characteristics between color of smoke and color of non smoke. The considered standard color models are RGB, YCbCr, CIE-Lab, HSV, and if the calculated histogram intersection value is large for the considered color model, then the smoke spilt characteristics are not good in that color model. If the calculated histogram intersection value is small, then the smoke spilt characteristics are good in that color model. The analyzed result shows that the RGB and HSV color models are the most suitable for color model based smoke detection by performing respectively 0.14 and 0.156 for histogram intersection value.

Key Words : Fire Detection, Image Processing, Smoke Detection, Video Surveillance System

1. 서론

산불이나 화재는 큰 자연적 피해를 일으키는 재해 중 하나이다. 이를 예방하기 위해 사용 되는 화재감시 기술로는 물리센서를 이용하는 방법과 영상처리를 이용하는 방법들이 있다[1,2]. 영상처리를 이용하는 방법으로는 적외선 열영상 카메라를 사용하는 방법과 컬러 영상 카메라를 사용하는 방법들이 있다[3-7]. 물리센서를 이용하는 방법의 경우, 화재를 정확하게 검출하기 위해서는 다양한

물리센서의 조합이 필요하고, 넓은 지역에서의 화재 감시가 어렵다는 단점이 있다. 적외선 열영상 카메라는 야간에 감시가 가능하고 넓은 지역을 감시 할 수 있지만 카메라의 단가가 비싸다는 단점이 있다. 이에 비해 컬러 영상을 이용한 화재 감시 시스템은 경제적이다 화재감시에 널리 적용되고 있다. 컬러 카메라 기반의 화재감시 시스템은 주로 화재나 연기의 색상을 기반으로 화재나 연기의 검출이 이루어지고 있다[4,5]. 이러한 화재의 검출 방법 중에서 화염 보다는 연기가 더 가시성이 높다는 점을

본 논문은 2012년도 미래창조과학부(구 교육과학기술부)의 재원으로 과학벨트기능지구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

*Corresponding Author : Won-Ho Kim(Kongju National Univ.)

Tel: +82-41-521-9177 email: whkim@kongju.ac.kr

Received August 16, 2013

Revised September 5, 2013

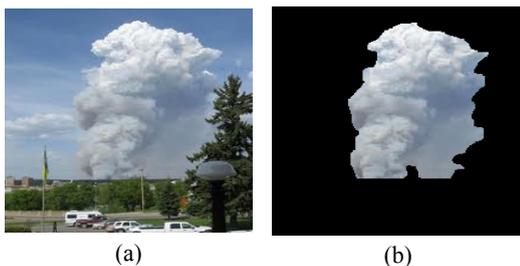
Accepted September 6, 2013

이용해 화재의 조기 검출 수단으로서 연기검출 기법들이 많이 적용되고 있다[6,7]. 본 논문에서는 기존 논문들에서 사용되었던 다양한 표준 색상모델의 연기색상을 비교분석하여 컬러영상의 색상기반 연기검출 알고리즘에 가장 최적적인 색상모델을 제시하고자 한다. 분석되는 표준 색상 모델은 RGB, YCbCr, CIE-Lab, HSV 색상모델이며 연기와 비연기 색상 분리도를 계량화하고 비교하기 위하여 히스토그램 교차 (Histogram Intersection) 분석기법을 사용한 시뮬레이션 결과를 비교 분석하고, 색상기반의 연기검출에 최적인 색상모델에 대해 설명한다.

2. 색상모델별 연기색상 분석

연기의 색상은 가연성의 물질이 연소함으로써 발생하는 고체 및 액체 상태의 미립자들의 집합으로 흰색의 연기는 빛의 입자보다 작거나 비슷한 탄소들의 집합으로 이루어져 파장이 짧은 보라색과 파란색만을 반사하고 나머지는 통과시켜 푸르스름한 흰색을 띄게 된다. 완전한 흰색의 경우, 공기 중의 수분이 더해져 빛의 모든 파장을 반사하기 때문에 새하얀 흰색을 띄게 된다. 검은색의 연기는 가연성 물질의 그을음, 탄소 찌꺼기 등의 가벼운 물질들이 연기의 상승과 함께 날아올라 검은색을 띄게 된다. 연소 초기에는 충분한 산소의 공급과 그을음 및 찌꺼기가 없어 흰색 또는 푸르스름한 흰색 (white-bluish)의 연기가 발생된다. 그 뒤 시간이 흘러 연소가 확산되면 그을음과 찌꺼기가 생겨 연기의 색상은 회색을 거쳐 검은색(Black-Grayish)의 연기를 띄게 된다.

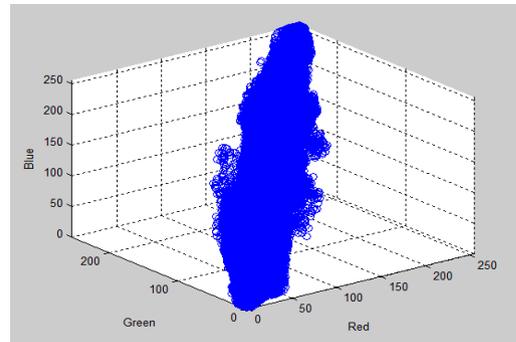
표준 색상모델별 연기색상 분석을 위하여 연기가 포함된 60장의 영상들을 분석하여 통계처리 하였으며, 연기 영역 분할은 수동적으로 처리하였다. 불순물이 섞이지 않은 순수한 연기의 영역부분을 분리하기 위해 연기의 경계부분은 포함하지 않고 비연기 지역으로 처리하였으며, 연기 영역을 제외한 비연기 영역은 Fig. 1과 같이 검정색으로 처리하였다.



[Fig. 1] Test image sample, (a) Original image, (b) Segmented smoke image

2.1 RGB 색상모델 분석

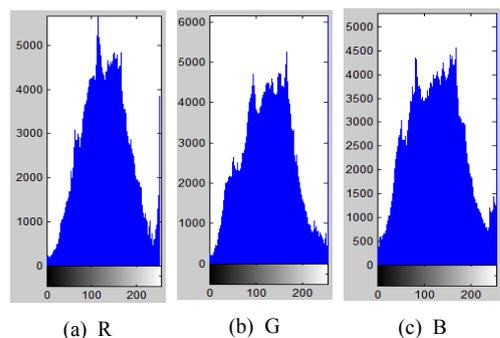
빛의 삼원색인 Red, Green, Blue 3개의 채널로 표현되는 색상 모델이다. 가장 널리 사용하는 색상모델이며 연기색상의 3차원 분포도는 Fig. 2와 같다.



[Fig. 2] Smoke color distribution in RGB color model

Fig. 2에서 x축은 Red, y축은 Green, z축은 Blue를 나타내며, 각 축의 화소 값은 8-bit 크기를 가진다. 무채색인 연기의 특성상 RGB의 색상 공간에서는 검은색에서 흰색에 걸친 색상 범위를 나타내고 있으며, R, G, B 분포가 0에서 255 값의 중앙에 밀집된 분포 특성을 가지고 있다. 개별적인 채널의 색상 분포를 비교하기 위해 색상 히스토그램을 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3의 RGB 채널 특성에서는 연기색상의 히스토그램 분포가 비슷한 특징이 있으며 상대적으로 B채널의 분포가 R, G에 비해 높은 화소값 영역에 분포해 있다.

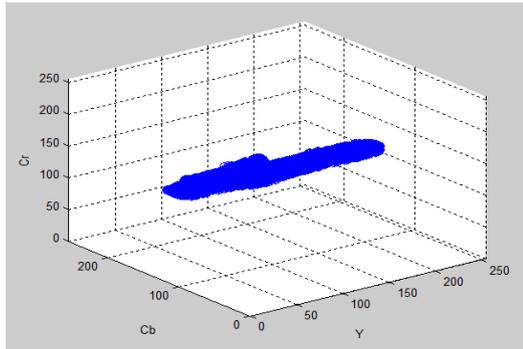


[Fig. 3] RGB color model, (a) Red, (b) Green, (c) Blue

2.2 YCbCr 색상모델 분석

YCbCr은 명도를 나타내는 Y채널과 파란색의 색차 정보인 Cb, 붉은색의 색차 정보인 Cr로서 색상을 나타내는 색상모델이다. YCbCr 색상모델의 연기색상 3차원 분포

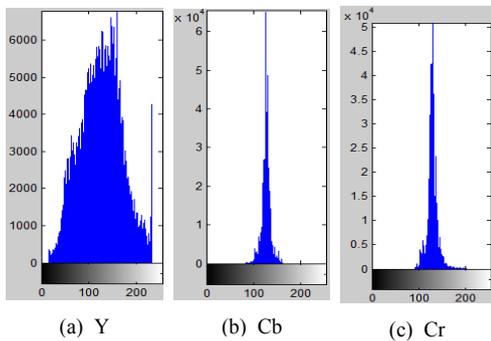
도는 Fig. 4와 같다.



[Fig. 4] Smoke color distribution in YCbCr color model

Fig. 4에서 x축은 Y, y축은 Cb, z축은 Cr을 나타내며, 각 축의 화소 값은 8-bit 크기를 가진다. 연기색상의 분포는 x축으로 길게 분포하면서 y축과 z축의 값은 매우 좁은 범위의 분포를 나타내고 있다. 각 채널의 히스토그램 분포도는 Fig. 5와 같다.

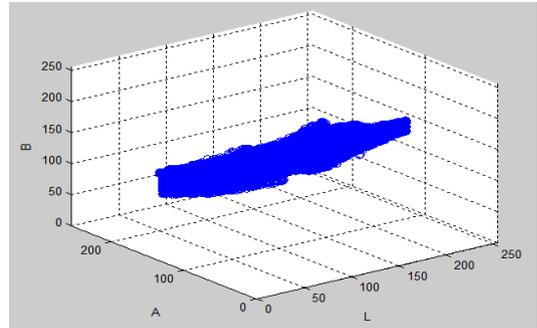
Fig. 5의 YCbCr 채널 특성에서는 명도를 나타내는 Y 채널이 0에서 255의 값을 나타내고 있어, 연기의 특징인 검은색에서 흰색 사이의 무채색 특징을 보여주고 있으며, Cb와 Cr은 128에 근접해서 분포하고 있어 색의 차가 크지 않은 무채색의 특징을 보여주고 있다.



[Fig. 5] YCbCr color model, (a) Y (b) Cb, (c) Cr

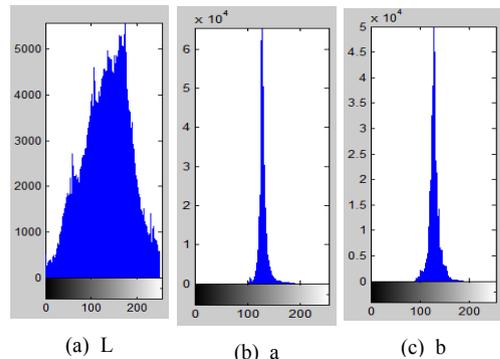
2.3 CIE-Lab 색상모델 분석

인간이 색채를 감지하는 노랑-파랑, 초록-빨강의 반대 색설에 기초하여 CIE에서 정의한 색상모델이다. L은 명도 성분, a와 b는 각각 초록-빨강 범위와 노랑-파랑 범위의 보색 축을 표현한다. 연기색상에 대한 CIE-Lab 색상모델의 3차원 분포도는 Fig. 6과 같다.



[Fig. 6] Smoke color distribution in CIE-Lab color model

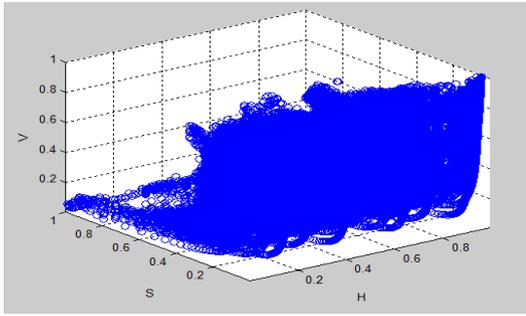
Fig. 6에서 x축은 L, y축은 a, z축은 b를 나타내며, 각 축의 화소 값은 8-bit 값을 가진다. 무채색인 연기의 특징에 따라 색채의 범위가 흰색에서 검은색 영역에 밀집된 분포를 보이고 있다. Fig. 7은 CIE-Lab 색상모델의 각 채널에 대한 히스토그램 분포를 나타내며, 연기의 분포는 명도를 나타내는 L채널이 0에서 255의 값을 나타내고 있다. 이는 연기의 특징인 검은색에서 흰색 사이의 무채색의 특징을 보여주고 있으며, a와 b 또한 기본 값인 128에 거의 근접해서 분포해 색의 차가 거의 없는 무채색의 특징을 보여주고 있다.



[Fig. 7] CIE-Lab color model, (a) L (b) a, (c) b

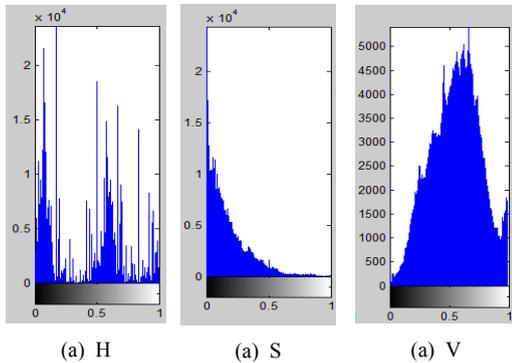
2.4 HSV 색상모델 분석

HSV 색상모델은 색도(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value)의 3가지 채널로 구성된다. 색도는 색상의 계열을 나타내며, 채도는 색의 선명도를 나타내며 값이 낮으면 무채색의 색상을 값이 높으면 선명한 색상을 나타낸다. 명도는 색의 밝기를 나타낸다. 연기색상에 대한 HSV 색상모델의 3차원 분포도는 Fig. 8과 같다.



[Fig. 8] Smoke color distribution in HSV color model

Fig. 8에서 x축은 색도, y축은 채도, z축은 명도를 나타내며, 각 축의 화소 값은 0에서 1의 double형의 데이터 범위를 갖고 있다. x축은 360°의 각도로 분포된 색상을 0에서 1의 값으로 표현한다. 연기색상의 분포는 주로 x축과 z축에 밀집되는 경향이 없이 넓게 분포되어 있고 y축은 주로 낮은 값에 밀집되어있는 분포를 보이고 있다. Fig. 9의 채널별 히스토그램 분포와 같이 HSV색상 공간에서의 연기는 채도 값이 낮은 특성을 보이고 있다.



[Fig. 9] HSV color model, (a) Hue (b) Saturation (c) Value

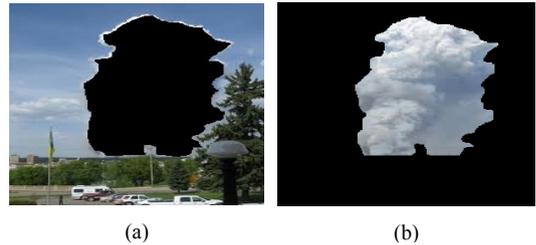
연기의 색도 값은 약 0에서 0.2 사이에 해당하는 값과 0.5에서 0.7 사이의 범위에 밀집되어 분포되어 있다. 이는 각각 붉은색에서 노란색, 청록색에서 파란색까지의 범위를 나타낸다. 연기의 반사성과 투과성에 의해 화염의 색상을 반사하고 배경을 투과하여 생기는 색상이나 채도 값이 낮으므로 실제로는 검은색에서 흰색 사이의 색상을 나타내게 된다. 명도 채널은 검정색에서 흰색까지의 연기 명도를 나타내고 있다. 즉, 연기가 아닌 영역은 연기에 비해 채도 값이 높기에 이를 이용해 연기를 용이하게 분리 가능하다.

2.5 히스토그램 교차 분석

히스토그램 교차 (Histogram Intersection) 분석 기법은 두 모집군에 대한 유사도를 측정하는 기법이다[8-10]. 히스토그램 교차 값이 크면 유사성이 높고 히스토그램 교차 값이 작으면 유사성이 낮은 특성을 가져 두 집단의 분리도가 우수한 특성을 가진다. 색상모델에서 연기색상 분포 범위와 비연기 색상분포 범위간의 차이가 클수록 연기검출을 위한 연기와 비연기 영역의 분할특성이 우수하다. 히스토그램 교차 값은 식 (1)에 의해 계산된다.

$$HI = \sum_{i=1}^M \min(h_s(i), h_{ns}(i)) \quad (1)$$

식 (1)에서 $h_s(i)$ 는 연기 영역, $h_{ns}(i)$ 는 비연기 영역의 bin들을 나타내며 M은 해상도를 나타낸다.



[Fig. 10] Out-door fire image, (a) Non-smoke region, (b) Smoke region

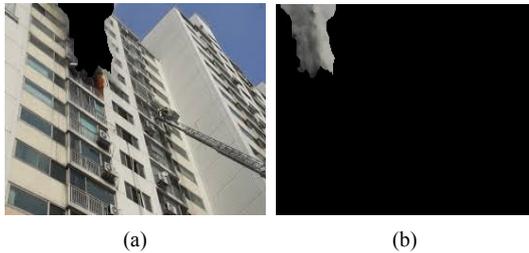
Fig. 10의 시험 영상을 사용한 히스토그램 교차 분석 결과는 Table 1과 같다. 시험 영상은 하늘과 구름을 배경으로 연기영역이 포함된 영상으로서 연기색상과 비슷한 구름이 있어 Table 1과 같이 비교적 높은 HI 값을 나타낸다.

[Table 1] HI value for test image of figure 10

Color Space	Channel	Each HI	Average HI
RGB	R	0.218	0.215
	G	0.220	
	B	0.208	
YCbCr	Y	0.220	0.422
	Cr	0.570	
CIE-Lab	L	0.220	0.417
	a	0.551	
	b	0.479	
HSV	H	0.274	0.241
	S	0.232	
	V	0.217	

Table 1의 HI 분석 결과, RGB 색상모델이 가장 낮은 HI를 나타내고 있으며 HSV가 두 번째로 낮은 HI를 나타내고 있다. YCbCr과 CIE-Lab은 HI가 높아 연기와 비연기 영역과의 분리도가 낮다.

Fig. 11의 시험 영상을 사용한 히스토그램 교차 분석 결과는 Table 2와 같다. 시험영상은 건물배경의 화재 영상으로서 연기와 비슷한 색상분포를 가진 영역이 없는 영상이다. Table 2와 같이 RGB와 HSV가 낮은 HI결과를 나타내고 있으며 YCbCr과 CIE-Lab은 비교적 높은 HI를 나타내고 있다.



[Fig. 11] Building fire image, (a) Non-smoke region, (b) Smoke region

[Table 2] HI value for test image of figure 11

Color Space	Channel	Each HI	Average HI
RGB	R	0.043	0.043
	G	0.043	
	B	0.043	
YCbCr	Y	0.047	0.099
	Cb	0.103	
	Cr	0.146	
CIE-Lab	L	0.047	0.186
	a	0.409	
	b	0.103	
HSV	H	0.044	0.043
	S	0.038	
	V	0.047	

HSV 구성 채널중 채도성분에 대한 HI값이 가장 낮다. 이것은 연기색상과 유사한 영역이 없는 배경으로 인해 가장 낮은 값을 나타낸다.

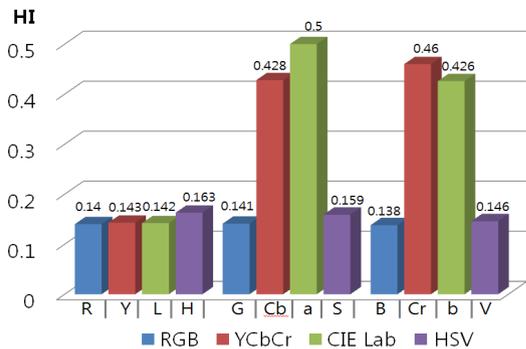
다양한 조건에서 획득되는 화재영상에서 연기 영역과 비연기 영역간의 유사도 특성을 통계적으로 분석하기 위해 60개 시험영상에 대하여 히스토그램 교차 값을 분석하였으며 결과는 Table 3과 Fig. 12에 나타내었다. 결론적으로 히스토그램 교차 분석 결과, 연기와 비연기 영역의 분리도가 우수한 색상모델은 RGB, HSV 색상모델이며, 구성 채널 간 비교 분석 결과는 RGB 색상모델의 B채널이 가장 낮다. 또한, R, G 채널, Y, L, V 채널이 상대적으로

로 낮은 HI 값을 나타내고 있다.

따라서, 색상모델별 비교분석에서는 연기와 비연기 분리성이 우수한 RGB, HSV 색상모델이 색상기반의 연기 분할에서 최적인 색상모델로 확인된다. 아울러, 2개 이상의 색상모델을 혼합하거나, 히스토그램 교차 특성이 우수한 채널을 다중 조합하여 적용하여도 실용성 있는 결과가 기대된다.

[Table 3] HI value for 60 test image

Color Space	Channel	Each HI	Average HI
RGB	R	0.140	0.140
	G	0.141	
	B	0.138	
YCbCr	Y	0.143	0.344
	Cb	0.428	
	Cr	0.460	
CIE-Lab	L	0.142	0.356
	a	0.500	
	b	0.426	
HSV	H	0.163	0.156
	S	0.159	
	V	0.146	



[Fig. 12] HI chart for standard color models

3. 결론

조기 화재감시를 위한 색상기반의 연기 검출에 최적인 색상모델을 제시하기 위하여 표준 색상모델들에 대한 연기색상 분석을 히스토그램 교차 기법을 사용하여 비교 분석하였다. 분석결과, RGB와 HSV 색상모델이 연기 분할에 최적인 특성을 보여 주었으며, 상대적으로 YCbCr, CIE-Lab 색상모델은 연기 분할 특성이 좋지 않음을 확인하였다. RGB 색상모델에서는 각 채널간의 값 차이가 적다는 점과 푸르스름한 흰색(White-bluish) 연기에서 대체로 청색값이 높게 분포한다는 점을 이용하여 연기를 검

출할 수 있고, HSV 색상모델에서는 연기색상의 채도가 낮다는 점을 이용해 연기검출이 가능함을 확인하였다. YCbCr, CIE-Lab 색상모델은 무채색의 특징을 나타내는 채널들이 있으나 비연기 영역에 비해 연기만의 분포를 특정하기가 어려워 색상기반의 연기검출에는 상대적으로 적합하지 않음을 확인할 수 있었다. 또한, 다양한 조건의 연기 특성상 단일 색상 모델 적용과 아울러 RGB, HSV 색상모델을 결합하여 적용하여도 우수한 연기검출 특성이 기대된다.

References

[1] Junguo Zhang, Wenbin Li, Zhongxing Yin, Shengbo Liu, Xiaolin Guo, "Forest fire detection system based on wireless sensor network", 2009 IEEE Industrial Electronics and Applications, ICIEA, May 25-27, 2009, Xi'an, China
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICIEA.2009.5138260>

[2] Shin-Juh Chen, David C. Hovde, Kristen A Peterson, Andre W. Marshall, "Fire detection using smoke and gas sensors", 2007 Fire safety Journal, Volume 42, Issue 8, 507 - 515, November, 2007
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2007.01.006>

[3] Begoña C. Arrue, Anibal Ollero and J. Ramiro Martinez de Dios, "An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest-fire detection", 2000 IEEE Intelligent Systems and their Applications, May, 2000, Spain
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/5254.846287>

[4] Turgay Çelik, Hüseyin Özkaramanlı and Hasan Demirel, "Fire and smoke detection without sensors: image processing based approach", 2007 15th European Signal Processing Conference, EUSIPCO, September 3-7, 2007, Poznan, Poland

[5] Juan Chen, Yaping He, Jian Wang "Multi-feature fusion based fast video flame detection", Building and Environment vol.45, 1113-1122, 2010
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.10.017>

[6] Paolo Piccinini, Simone Calderara, Rita Cucchiara, "Reliable smoke detection system in the domains of image energy and color", ICIP 2008 15th IEEE International Conference, Oct 12-15, 2008, San Diego
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICIP.2008.4712020>

[7] Yu Chunyu, Fang Jun, Wang Jinjun, Zhang Yongming, "Video fire smoke detection using motion and color features", Fire Technology,

Volume 46, Issue 3, 651-663, July, 2010

DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10694-009-0110-z>

[8] S.M. Lee, J. H. Xin, S. Westland. "Evaluating of image similarity by histogram intersection", Color Research&Application, Vol. 30, No.4, 265-274, 2005
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/col.20122>

[9] Yihong Lu, Jia Hu, Decai Huang, "Study on a image matching algorithm based on sphere similarity of color histogram intersection", Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, June 21 - 23, 2006, Dalian, China
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WCICA.2006.1713941>

[10] Michael J. Swain, Dana H. Ballard, "Color indexing", 1991 International Journal of Computer Vision, November, 1991, Netherlands, Volume 7, Issue 1, 11-32
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00130487>

이 용 훈(Yong-Hun Lee)

[준회원]



- 2013년 3월 : 공주대학교 전기전자제어공학부 전자공학 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 전기전자제어공학과 (석사과정)

<관심분야>

영상신호처리, 디지털신호처리, DSP응용

김 원 호(Won-Ho Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1989년 12월 ~ 1999년 8월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1999년 8월 ~ 현재 : 공주대학교 전기전자제어공학부 교수

<관심분야>

영상/통신신호처리, 지능형영상감시, 위성멀티미디어통신