

블록 동질성 분할을 이용한 화재불꽃 영역 추출에 관한 연구*

박 창 민**

A Study on the Fire Flame Region Extraction Using Block Homogeneity Segmentation

Park Changmin

〈Abstract〉

In this study, we propose a new Fire Flame Region Extraction using Block Homogeneity Segmentation method of the Fire Image with irregular texture and various colors. It is generally assumed that fire flame extraction plays a very important role. The Color Image with fire flame is divided into blocks and edge strength for each block is computed by using modified color histogram intersection method that has been developed to differentiate object boundaries from irregular texture boundaries effectively. The block homogeneity is designed to have the higher value in the center of region with the homeogenous colors or texture while to have lower value near region boundaries. The image represented by the block homogeneity is gray scale image and watershed transformation technique is used to generate closed boundary for each region. As the watershed transform generally results in over-segmentation, region merging based on common boundary strength is followed. The proposed method can be applied quickly and effectively to the initial response of fire.

Key Words : Fire Flame Region Extraction, Block, Homogeneity, Over-Segmentation, Watershed Transform

I. 서론

지난 10년간 화재발생현황에서 화재발생 추이는 감소('11~'13년)이후 다시 증가('13~'15년)하는 추세이다. 그리고 인명피해는 지난 10년간 뚜렷한 개선 없이 정체를 보이고 있는 반면, 재산피해는 12.4% 증가하였다[1]. 화재는 초기에 아주 작은 불씨에서 시작한

다. 하지만 초기에 발생하는 화재에 대한 대응미숙, 방화관리 불충분, 화재진압 조건 등의 사유로 큰 화재로 발전한다.

최근 다양한 화재 관련 보안을 강화하기 위하여 화재 감시 및 위험물에 대한 모니터링 시스템이 매우 다양하게 개발되고 있다. 화재는 사람이 거주하는 지역이나 거주하지 않는 지역이나 장소를 불문하고 발생하기 때문에 초기 대응이 매우 중요하다. 특히 사람이 거주 하지 않는 지역인 산업시설이나 업무시설 등은 초기에 대응하여 화재를 진압할 수 있는 여건이

* 본 연구는 2018년 영산대학교 교내 연구비의 지원을 받아 수행되었음.

본 논문은 (주)한국유닉스와 공동연구함

** 영산대학교 성심교양대학 교수

마련되어 있지 않아 재산의 피해가 더욱 커질 수밖에 없다[2].

한편, 산업이 발전하고 다양해짐에 따라 국가의 화재안전 정책 패러다임이 '사고대응'에서 '사전예방' 중심으로 전환되고 있는 시점에서, 화재로 인한 재산의 피해를 최소화하고 빠른 대응을 위해서는 조기에 감지할 수 있는 방안이 매우 절실하다.

화재 초기 감지를 위한 다양한 방안들이 마련되고 있다. 특히 ICT 와 Big Data 기반의 화재예방 기술[2] 등은 빠른 발전을 거듭하고 있지만 실제 현실에서 적용하고 있는 기술들과는 다소 차이가 있다.

지난 몇 년간 가장 광범위 하게 사용되고 있는 초기 대응 장치인 감지기는 센서를 이용하여 연기, 주위 온도 변화 등을 감지한다. 하지만 이러한 장치는 주변 환경에 따라 감지되는 결과가 매우 상이하고 대량의 감지기 및 넓은 지역에 설치해야 하는 문제가 발생한다. 그리고 화재 초기 대응에 보다 확실한 결과를 예측하기가 어렵고 또한 비용적인 부분이 매우 높다는 것 등의 단점이 있다. 건물들이 대체적으로 크고 넓게 분포되어 있는 장소에는 감지기 센서 보다는 CCTV 영상에 의한 초기 대응이 많이 활용되고 있다[1]. 따라서 이러한 지역의 화재 초기 대응을 위해서는 CCTV 영상에 의한 정보를 활용하고 실무자에게 가능한 빠른 시간 내에 정보를 전달해 줄 수 있다면 대형화재를 초기에 예방할 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것이다.

최근, 영상들을 영상처리 기술을 이용하여 화재 불꽃을 검출하는 화재 감지 시스템들이 개발되고 있다. [3]은 CCTV에서 획득한 영상에서 움직이는 영역과 화염의 색상을 추출하여 화염을 검출하는 방안을 제시하고 있다. 그리고 녹화되는 영상들의 시간에 따라 화염의 강도 변화를 이용하는 방법도 연구[4]되고 있으며 화재불꽃을 RGB 와 YCbCr 칼라 모델을 이용하여 영상의 화염을 검출하는 방법[5]도 연구되었다.

화재불꽃은 급격히 확산되는 특성을 가지고 있기

때문에 명확한 불꽃을 감지하여 인식하는 것 보다는 단순하지만 보다 빠른 시간에 담당자가 인지할 수 있도록 하는 것이 더욱 중요하다. 따라서 위에 나열된 연구들은 전체 영상을 대상으로 화재를 인식하기 위해 많은 연산이 필요한 문제점들을 안고 있다. 그래서 화재 현장 및 비상사태에 대한 즉각적이고 효과적인 대응에 제대로 활용하지 못하고 있는 실증이다.

화재는 초기 골든타임이 매우 중요하다. 화재 발생 3분후 연소공간에 매연이나 유독가스가 확대되고 인명 피해가 발생하기 때문에 조기에 대응할 수 있는 능력이 상실된다[6]. 따라서 화재를 가장 효과적이고 빠르게 인지하여 골든타임을 놓치지 않고 조기에 대응할 수 있는 연구가 절실하다.

본 연구에서는, CCTV에서 획득한 영상을 Watershed [6]와 octree[7]를 활용하여 양자화 및 변환을 시도한 후, 블록 단위의 동질성을 이용하여 영상을 다시 작은 블록 단위로 나뉘고, 이를 이웃 블록과의 에지 동질성과 텍스처 유사성을 이용하여 텍스처에 의해 세밀하게 분할된 영역을 보다 큰 영역으로 병합한다. 이를 본 연구에서는 블록 동질성으로 정의한다.

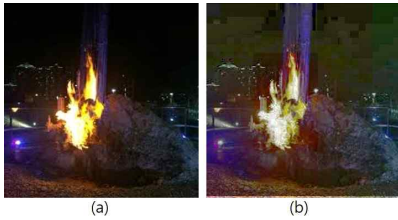
한편, Watershed 변환은 영상의 과잉 분할 (over-segmentation)을 초래하는 단점이 있다. 따라서 블록들의 경계에서 인접한 영역들 사이의 공통 경계 강도와 영역 내부의 칼라 분포 특성을 이용하여 과잉 분할된 영역들에 대한 새로운 영역 변환 방법을 제안한다. 비록 블록의 동질성 기반 분할을 이용한 방법이 명확한 경계를 추출할 수 없더라도, 제안된 방법은 비교적 적은 연산으로 화재불꽃 영역을 추출하는데 효율적으로 적용될 수 있다.

2장에서는 영상에 대한 양자화 방안을 소개하고, 3장에서는, 블록 단위의 에지 동질성과 블록 동질성 및 그레이 스케일 영상의 텍스처 유사성을 계산하기 위한 방안을 제시한다. 또한 4장에서는 블록의 동질성 분할을 위하여 Watershed 변환과 영역 병합을 제

안한다. 5장은 제안된 방법으로 추출된 화재불꽃 영역에 대한 실험 결과를 보이고, 6장은 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 설명한다.

II. 화재불꽃 영상의 양자화

일반적으로 칼라영상을 양자화 하는 방안은 다양하게 연구되어 왔지만 영상의 품질을 크게 떨어뜨리지 않고 칼라 수를 줄이는 것이 목표이다. 하지만 영상의 분할을 위한 양자화는 영상을 쉽게 구분할 수 있게 하는 방안이 더욱 중요하다.



<그림 1> 원본영상(a)과 양자화된 영상(b)의 결과

따라서 본 연구에서는 상대적으로 구현하기 쉬우며 양자화 개수를 조절할 수 있는 [7]에 의한 양자화 방법을 사용한다. 또한 영상 분할을 위해서는 20~30 가지 칼라면 충분하므로 본 논문에서는 먼저 [7]을 사용하여 30 가지 색상으로 양자화한 후 k-means 클러스터링 알고리즘을 적용하여 보다 적은 시간으로 20 가지 색상의 최종 양자화된 영상을 획득하였다<그림 1>.

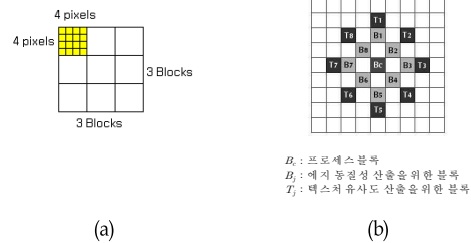
III. 영상 블록의 동질성

3.1 블록들의 관계 및 슈퍼블록

화재 현장의 CCTV에서 획득한 영상들은 일반적으

로 다양한 텍스처 패턴을 포함하고 있다. 특히 영역 추출을 위한 다양한 연구들에서 칼라 및 형상 등의 특징 뿐만 아니라 텍스처 특징도 함께 사용하여 영역 추출을 시도 하였다. 따라서 본 논문에서는 화재 영상에 포함된 불꽃을 불꽃영역으로 정의한다.

한편, 영역에 포함된 텍스처 특징을 추출하기 위해서는 복잡한 분석에 따른 많은 연산을 하여야하는 부담이 있다. 따라서 본 연구에서는 비교적 간단한 연산을 사용하여 강인한 속성을 갖는 칼라 히스토그램을 구한다. 그리고 텍스처 패턴의 영역 경계는 다른 영역의 경계와 구별되어야 하므로 영상 전체를 작은 블록으로 분할하여 텍스처 패턴의 영역 경계를 제외하고 의미 있는 영역 경계만 추출한다.



<그림 2> (a) 블록(4X4 pixels), 슈퍼블록(3X3 blocks) 및 (b) 프로세싱 블록과 이웃블록의 관계

그림 2는 주어진 영상을 일정한 크기의 작은 블록으로 나뉘어 영역 추출을 위한 처리 단위로 사용한 내용을 나타내고 있다. 블록의 크기는 텍스처 패턴과 추출할 영역의 크기에 따라 특성 및 간격이 변경될 수 있다. 만약 블록이 작으면 칼라 히스토그램은 유용한 정보를 나타낼 수 없으며 반대로 블록이 큰 경우 추출된 의미 있는 영역의 가장 자리가 지나치게 흐려지는 경향이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 실험에서 영역의 크기와 텍스처 패턴과 무관한 4x4 픽셀 크기로 한다. 또한 이를 위한 슈퍼블록은 3x3 블록으로 구성하였다<그림 2(a)>.

한편, 영역들 간의 에지 블록을 결정하기 위해서 먼

저 프로세싱 블록을 8 방향의 블록으로 정의하고, 프로세싱 블록과 이웃한 블록 간의 유사성 결과에 따라 에지 블록으로 분류 된다. 그리고 블록의 동질성이 보다 효과적이기 위해서 그림 2 (b)와 같이 블록의 이웃블록을 정의하였으며 이러한 이웃블록은 두 가지 형태로 구분되는데, 블록의 에지 동질성과 텍스처 유사성을 산출하기 위함이다<그림 2 (b)>. 또한, 에지 동질성은 프로세싱 블록의 16 픽셀에 동일하게 할당되며 프로세싱 블록은 블록 동질성 계산을 위한 중심 블록이 된다. 따라서 블록의 동질성은 각 블록에서 에지 동질성 값과 텍스처 유사성 값의 합으로 계산된다.

3.2 에지 동질성

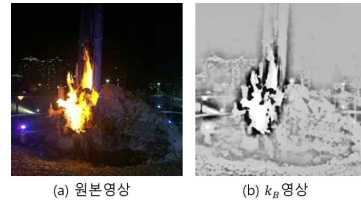
블록에 대한 에지 동질성(K_B)는 수식 (1)에서 보듯이와 같이 프로세싱 블록(B_c)과 이웃한 8개의 블록인 이웃블록들(B_i) 간의 거리를 계산한 변형된 칼라 히스토그램 인터섹션 방법을 이용한다.

$$K_B = \sum \left[\bigcap_{i=1}^8 \{ \cap (H_{B_c}, H_{B_i}) \} \right] \quad (1)$$

H_{B_c}, H_{B_i} 는 프로세싱 블록과 i -th 이웃블록에서의 각각의 히스토그램이며, \cap 는 두 히스토그램의 각 빈(bin)에 해당되는 인터섹션이다. 이러한 에지 동질성은 영역의 경계와 같이 칼라 차이가 많은 경우에는 매우 작은 값으로 나타나지만, 작은 텍스처에 의한 경계 부분에서는 칼라 분포가 유사한 만큼의 큰 값을 가진다. <그림 3(b)>은 [6]의 실험에 활용하기 위하여 결과를 그레이 스케일 영상으로 나타내었다.

한편, 에지 동질성은 작은 텍스처에 대해서만 적용되는 것으로서, 큰 텍스처에 의한 경계 부분에서는 효과가 적다. 그 이유는, 에지 동질성은 이웃블록에 대한 동질성을 나타내기 때문에 이웃블록들 중에 하나의 블록이 프로세싱 블록과 상이한 히스토그램을

가지더라도 프로세싱 블록은 에지 블록이 되기 쉽기 때문이다. 따라서 칼라의 분포나 작은 텍스처의 변화를 감지하는데 매우 유용하다.



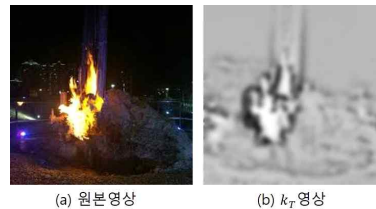
<그림 3> 에지 동질성을 사용한 결과 영상

3.3 텍스처 유사성

3.2에서 언급한 큰 텍스처에 대한 에지 동질성을 완화하기 위하여 그림 2(b)에서의 블록 T_i 와 같이 보다 멀리 떨어져 있는 블록과의 비교가 필요하다. 본 연구에서는, 방향에 무관하게 텍스처 유사성을 구하되 연산량을 현저히 줄이기 위해 그림 2(b)에서 정의한 8개의 블록에 대해서만 수식 (2)와 같이 계산하는 방법을 제시하였다.

$$K_T = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 [\sum \{ \cap (H_{B_c}, H_{T_i}) \}] \quad (2)$$

<그림 4>에서 알 수 있듯이 제안된 텍스처 유사도는 보다 큰 텍스처에 대해서도 적용할 수 있는 방법으로서, 영역 경계 부분에서는 여전히 상대적으로 낮은 값을 가진다.



<그림 4> 텍스처 유사성을 사용한 결과 영상

3.4 블록의 동질성

에지 동질성 K_B 와 텍스처 유사도 K_T 는 영역의 경계 부분에서 낮은 값을 갖는 반면에, 텍스처 경계나 칼라가 균일하게 분포 되어 있는 부분에서는 상대적으로 큰 값을 갖는다. 따라서, 이 두 값을 더한 값 (K)은 영역의 경계 성분을 산출하는데 매우 유용하게 사용될 수 있다. 즉, 수식 (3) 과 같이 K 를 임계값 T_h 보다 작은 블록은 영역의 경계 블록으로 설정할 수 있다<그림 5>.

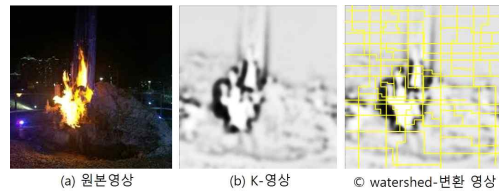
$$K = 0.5K_B + 0.5K_T \quad (3)$$

if $K < T_h$, boundary block.
otherwise, not boundary block.



<그림 5> 블록 동질성을 사용한 결과 영상

한편, K - 영상으로부터 분할 결과를 얻기 위해서는 최종 경계 위치에 대한 결정 과정이 필요하다. 그런데 K - 영상은 경계 영역이 비교적 넓게 퍼져 나타나는 특성으로 인해 경계 위치 결정이 쉽지 않다. 또한 의미 있는 영역으로 연결된 형태로 구성하는 것도 쉬운 문제가 아니다. 따라서 본 연구에서는 Watershed 변환을 이용하여 이러한 문제를 해결할 수 있도록 하였다. Watershed 변환에는 크게 3가지 유형으로 표현된다: Immersion, rain-falling 그리고 hill climbing. 본 연구에서는 가장 많이 사용되는 Immersion[8] 방법을 K - 영상에 적용하여 비교적 넓게 퍼져 나타나는 경계에 대해서도 임계값에 대한 설정 없이 영역의 경계 위치에 한 픽셀 두께의 경계 추출이 가능하도록 하였다<그림 6>.



<그림 6> K - 영상 및 Watershed 변환 결과 영상

그런데 텍스처 경계 부분에서의 K 값은 영역 경계 부분에 비해 낮은 그레이 값을 가지지만, 칼라가 균일하게 분포 되어 있는 부분에 비해서는 상대적으로 높은 그레이 값을 가지므로 과잉 분할되는 결과가 나타난다. 따라서 과잉 분할된 영역에 대한 효과적인 영역 병합이 필요하다.

IV. Watershed 를 이용한 영상 분할

4.1 K - 영상에 대한 Watershed 변환

Watershed 변환은 영역을 기반으로 영상을 분할하는 방법으로 칼라 영상에는 직접 사용할 수 없고 그레이 스케일 영상 또는 에지 동질성에 의해 표현된 영상에 적용할 수 있다. 따라서 K_B 와 K_T 의 합으로 이루어진 K - 영상은 그레이 스케일 영상으로 매우 중요한 영역의 경계를 결정하기 위한 Watershed 변환의 입력 영상으로 활용할 수 있다.

4.2 영역 병합

Watershed 변환에 의해 분할된 영상으로부터 항상 된 분할 결과를 얻기 위하여 효과적인 영역 병합 과정 또는 분할 과정에서 영역의 수를 줄이는 과정이 필요하다. 과잉 분할된 영역을 병합하기 위하여 본

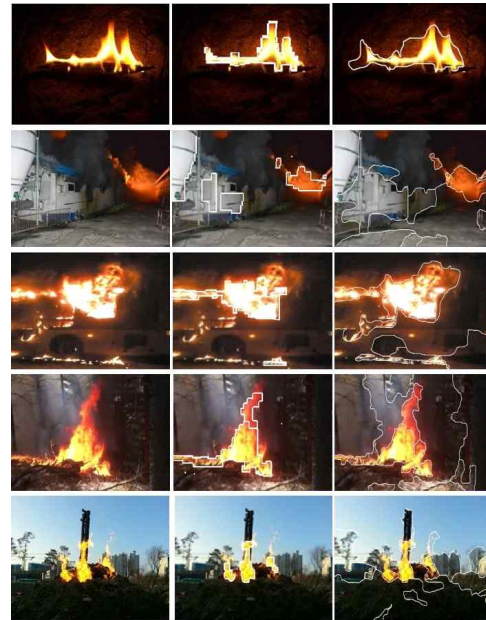
연구에서는 텍스처 패턴을 흡수 할 수 있는 인접한 영역 사이의 공유 경계 강도(SS)를 이용한다. K 영상은 텍스처에 대한 경계 성분은 완화 시키고 실질적인 영역의 경계 성분은 강화하는 영상으로 영역 병합에 중요한 정보로 활용할 수 있다. 따라서 인접 영역 사이에 존재하는 공유 경계 픽셀들의 K 값을 조사하여 경계일 확률이 높은 픽셀들의 분포율을 계산함으로써 영역 병합의 기준으로 사용하였다. 인접 영역간의 공유 경계 강도는 수식 (4)와 같이 정의할 수 있다. N_s 는 공유 경계 픽셀 중에서 주어진 임계값 보다 높은 K 를 가짐으로써 경계일 확률이 높은 픽셀들의 개수이다. N_t 는 공유 경계 픽셀의 총 개수를 나타낸다. 따라서 SS 가 클수록 공유 경계에는 영역 경계일 확률이 높은 픽셀들이 많이 포함되어 있어 영역 경계를 유지해야 되는 경우이며, 반대로 SS 가 낮을수록 인접 영역 사이에는 약한 경계가 나타나므로 영역을 병합해야 되는 경우이다.

$$SS = \frac{N_s}{N_t} \quad (4)$$

V. 실험 및 토의

일반적으로, 화재 영상에 포함되어 있는 의미 있는 화재불꽃 영역들은 복잡한 배경과 다양한 칼라 및 텍스처를 포함하고 있기 때문에 의미 있는 영역들을 정확히 추출하는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 실험의 타당성을 높이기 위해 제안된 방법으로 다양한 칼라와 텍스처로 이루어진 화재불꽃 영역들이 있는 비교적 간단한 영상에 적용하였다. 또한 실험을 통한 결과 영상들과 Netra[9]와 결과를 비교하였다<그림 7>. 먼저, 화재영상에서 배경이 복잡하지 않는 불꽃 영상인 경우(첫 번째 영상) 제안된 방법과 [9]에서 제안한 방법과는 매우 유사한 결과를 보여주고 있다. 한편, 두 번째 영상에서는 배경은 단순하지만 결과로

추출된 영역들이 불꽃 영역보다 오히려 주위 영역이 더 나은 결과를 보여주고 있다. 이는 주위 영역이 불꽃 영역보다 유사한 칼라 및 텍스처로 형성 되어져 있기 때문이다. 하지만 제안된 방법은 영역 병합으로 인한 보다 명확한 영역을 보여주고 있다. 또한 나머지 영상에서도 제안된 방법은 화재 영상에서 과잉 분할된 영역을 줄여주면서 화재불꽃 영역을 잘 추출하고 있음을 결과를 통하여 알 수 있다<그림 7(b)>. 따라서 [9]는 오랜 처리 시간을 거쳐 픽셀 단위의 정확한 경계 추출을 목적으로 하는 방법이지만 복잡한 영상 및 배경이 포함된 영상에서는 불꽃 영상과 배경이 병합되어 나타나고 있음을 알 수 있다<그림 7(c)>.



(a) 원본영상 (b) 제안한 방법 (c) Netra

<그림 7> 원본영상 및 결과 영상

한편, I. 장에 언급한 연산의 최소화에 대한 타당성을 제시하기 위해 동일한 환경에서 실험 영상의 해상도를 줄여가면서 처리 속도를 [9]의 방법과 비교하였다. <표 1>에서 보는바와 같이 512x512 크기의 화재

<표 1> 처리시간 비교

	제안한 방법	[9]의 제안 방법
128x128	1초	2초
256x256	6초	20초
512x512	15초	1분 25초
1024x1024	2분 46초	24분 10초

영상의 불꽃 영역을 추출하는데 약 15초의 평균 수행 시간이 소요되는 반면, [9]에서는 약 1분 25초의 평균 수행 시간이 소요되어 처리 속도 면에서도 현저히 우수한 성능을 보여주고 있다. 이에 영상의 크기가 커짐에 따라 상당한 차이가 있음을 나타낸다. 그리고 제안한 방법에서는 블록 단위로 처리하기 때문에 [9]의 방법처럼 픽셀 단위의 정확한 영역 분할 결과를 얻지는 못하는 경우도 발생하지만 의미 있는 특징 위주의 영역을 추출하기에는 적절한 방법임을 알 수 있다.

VI. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 블록의 동질성에 기반한 분할을 이용하여 화재영상에 포함된 불꽃영역을 추출할 수 있는 방안을 제안하였다. 또한 텍스처로 인한 영역 경계가 생기는 것을 억제하며 의미 있는 영역을 분할할 수 있는 방안도 제시하였다. 이를 위해 K 영상으로부터 한 픽셀 두께의 적절한 영역 경계를 설정하기 위해 Watershed 방법을 이용하였다. 또한 과잉 분할된 영역을 효과적으로 병합함으로써 의미 있는 결과를 얻도록 하였다. 실험을 통해 비교적 단순한 연산으로 화재영상의 불꽃영역을 추출하여 화재를 초기에 대응할 수 있는 방안을 마련하였다. 한편, 영상이 매우 복잡하거나, 불꽃영역과 유사한 배경이 있는 경우에는 배경영역이 불꽃영역과 병합되거나, 여러 개

의 영역으로 나뉘어 나타나는 경우도 발생하였다. 따라서, 의미 있는 영역과 배경을 적절히 분리함으로써 보다 명확한 영역을 추출할 수 있는 개선된 방법이 필요하다.

참고문헌

- [1] 국민안전처, 제1차 화재안전정책 기본계획, 2017~2021.
- [2] 한국과학기술기획평가원, 제4차 산업혁명시대의 ICT 융합형 재난안전 R&D 발전방향, ISSUE PAPER 2016(06).
- [3] B.C. Ko, Cheong, and J.Y. Nam "Fire Detection Based on Vision Sensor and Support Vector Machines," Fire Safety Journal, Vol 41, Issue 3, 2009. pp. 322-329.
- [4] Giuseppe Marbach, Markus Loeffle, and Thomas Brupbacher, "An Image Processing Technique for Fire Detection in Video Images," Fire Safety Journal, Vol 41, Issue 4, 2006. pp. 285-289
- [5] Turgay Celik and Hasan Demirel, "Fire Detection in Video Sequences Using a Generic Color Model," Fire Safety Journal, Vol 44, Issue 2, 2009. pp. 147-158.
- [6] Vincent, L., Soile, P, "Watersheds in Digital Spaces: An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations," IEEE Trans. PAMI, June 1999, pp. 583-597.
- [7] Purgathofer, W. and Gervautz, M, "A Simple method for Color Quantization: Octree Quantization," Magenat-Thalmann and Thalmann, 1988, pp. 219-231.
- [8] Purgathofer, W. and Gervautz, M, "A Simple method for Color Quantization: Octree Quantization," In: Glassner, A.S.(ed.) Graphics

Gems, 1990, pp. 287-293.

- [9] W. Y. Ma and B. S. Manjunath, "NETRA: A Toolbox for Navigating Large Image Databases," Proc. IEEE International Conference on Image Processing, Santa Barbara, Vol. 1, 1997, pp. 568-571.

■ 저자소개 ■



박 창 민
(Park Changmin)

1997년 9월~현재
영산대학교 성심교양대학 교수
2006년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과
(공학박사)
1996년 2월 독일 도르트문트대학교
컴퓨터공학과(공학석사)
1993년 2월 독일 도르트문트대학교
컴퓨터공학과(공학사)
관심분야 : 영상검색, 영상이해 및 추출
E-mail : cmpark@ysu.ac.kr

논문접수일 : 2018년 11월 19일
수 정 일 : 2018년 12월 17일
계 제 확정일 : 2018년 12월 17일