

컬러와 동적 특징을 이용한 화재의 시각적 감지

도용태*

Visual Sensing of Fires Using Color and Dynamic Features

Yongtae Do*

Abstract

Fires are the most common disaster and early fire detection is of great importance to minimize the consequent damage. Simple sensors including smoke detectors are widely used for the purpose but they are able to sense fires only at close proximity. Recently, due to the rapid advances of relevant technologies, vision-based fire sensing has attracted growing attention. In this paper, a novel visual sensing technique to automatically detect fire is presented. The proposed technique consists of multiple steps of image processing: pixel-level, block-level, and frame level. At the first step, fire flame pixel candidates are selected based on their color values in YIQ space from the image of a camera which is installed as a vision sensor at a fire scene. At the second step, the dynamic parts of flames are extracted by comparing two consecutive images. These parts are then represented in regularly divided image blocks to reduce pixel-level detection error and simplify following processing. Finally, the temporal change of the detected blocks is analyzed to confirm the spread of fire. The proposed technique was tested using real fire images and it worked quite reliably.

Keywords : Visual Sensing, Fire Detection, Flame Features, Color Space

1. 서론

화재는 여러 가지 재난들 중에서 가장 흔하게 발생하며, 지진이나 폭풍 등 여타의 재난들이 화재를 초래하기도 한다. 소방방재청의 통계[1]에 따르면, 2010년 한 해 국내에서 발생한 화재는 41,862건에 달하며, 1,891명의 인명 피해와 약 2,668억원의 재산상 손실을 가져왔다. 크고 작은 화재에 의한 손실을 피하거나 줄이기 위해서는 초기 단계에서의 화재 감지가 무엇보다 중요하다. 다양한 종류의 센서들이 이와 같은 용도로 고안되어 사용되고 있는데, 그 대부분은 연기나 온도, 적외선 등과 같이 화재의 의하여 부수되는 증거를 검출하는 방법들이다. 이들 중 가장 널리 사용되는 것이 연기 탐지기(smoke detector)이다. 연기 탐지기의 경우에는 그 구조가 간단하고 설치 및 유지 비용이 낮은 장점이 있으나, 발화 지점이 센서와 근접해 있어야 검출할 수 있고, 흡연이나 조리에 의한 연기 등 여타의 요인에 의한 오동작의 가능성이 있으며, 오동작시 현장을 직접 방문하지 않고는 달리 확인할 수 있는 방법이 없다. 또, 화재가 발생하여 제대로 경보를 발하였다 하더라도 화재의 크기나 전파 속도와 같은 부가적인 정보를 획득하여 효과적으로 대처할 수 없는 문제가 있다.

근래 전자공학과 컴퓨터공학의 급속한 기술적 발전에 따라, 카메라를 시각 센서로 활용하여 화재의 발생을 감지하는 방법에 대한 연구가 많은 관심을 끌고 있다. 카메라 영상을 이용한 시각적 화재 감지는 기존에 사용되고 있는 연기 탐지기 등 단순한 센서들이 가지는 문제점들을 대체로 극복할 수 있다. 즉, 넓은 공간이나 원거리에서 발생한 화재도 감지할 수 있고, 화재 발생과 관련한 상황을 원격지의 관리 센터에서 실시간으로 확인하는 것도 가능하다. 비록 그 장치나 운용 비용이 상대적으로 높기는 하지만, 근래 감시용 CCTV(closed-circuit television) 장치가 널리 사용되고 있음을 감안할 때 가격과 관련된 단점이 가지는 의미는 축소되고 있다. 즉, 기존의 CCTV 장치에 시각적 화재 감지 알고리즘을 적용하여, 그 감시 기능을 확대할 수 있다.

이상의 배경에서부터 많은 연구자들이 시각에 기반한 화재 감지 기법들에 대한 연구를 수행한 바 있다. Martinez-de Dios 등[2]은 숲에서의 화재를 효과적으로 탐지하기 위한 카메라 기반 지상 및 항공 연계 시스템을 개발하였다. Noda와 Ueda[3]는 터널 안에서 화재를 검출하기 위해 적외선 카메라로부터 얻은 그레이 영상을 이용하였다. Yamagishi 와 Yamaguchi[4]는 컬러 영상에서 인공신경 회로망을 기반으로 하는 화염 검출 알고리즘을 제안하였다. Fool[5]는 그레이 영상으로부터 항공기 날개 사이나 엔진 칸막이 안의 불을 검출하기 위해 이론을 제안하였다. Phillips 등[6]은 필터링한 가우

대구대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Daegu University)

*Corresponding author : ytdo@daegu.ac.kr

(Received : Feb. 24, 2012, Revised : Apr. 18, 2012, Accepted : Apr. 19, 2012)

시안 컬러 히스토그램을 학습을 통하여 구축하고, 이를 화염 화소를 검출하는 데 사용하였다. Horng[7] 등은 컬러를 분석하여 HSI (Hue, Saturation, Intensity) 컬러 공간에서의 실시간 화염 검출 이론을 제안하였다. Marbach 등[8]은 화소값의 시간에 대한 변화율과 컬러 등 6가지 특징에 기반한 화재 감지 기법을 제안하였다. Verstockt[9]는 기존의 다양한 시각적 화재 감지 기법들에 대해 조사한 바 있다. 이상의 기법들을 살펴 보면, 특정 지점에서만 활용 가능하거나[2, 3, 5], 학습이 필요하거나[4, 6], 많은 임계치를 결정하여야 하는[8] 문제가 있었다. 또 HSI 공간에서의 화염 검출[7]은 아주 밝은 화소들의 경우 H값이 불안정한 문제가 있다.

본 논문에서는 화재를 자동적으로 감지하기 위해서 감시용 카메라로부터 연속적으로 얻어지는 영상을 이용한 3단계의 처리 기법을 제안한다. 구체적으로 3단계는 화소(pixel) 수준, 블록(block) 수준, 그리고 전역(global) 수준의 처리 방법이다. 첫 번째의 화소 수준의 처리 단계에서는 획득된 컬러 영상에서 화염의 컬러와 동적인 특성을 기반으로 화염의 주변부 및 경계에 해당하는 화소들을 검출한다. 두 번째 단계는 블록 기반 검출 단계로 전체 영상을 일정한 크기의 작은 블록으로 구분한 후 화염 영역을 판정한다. 마지막 세 번째 단계는 전역 처리 단계로 화염 영역들이 시간의 변화에 따라 확산되는 현상을 관찰하여, 최종적으로 화재를 판정하고 필요한 정보를 발한다.

2. 컬러 기반 화염 감지

화재의 직접적인 증거는 화염이다. 화염은 물질이 산소와 혼합하여 높은 온도로 빛과 열, 그리고 연기를 내면서 타는 현상으로, 일반적으로 황색에서 주황색, 그리고 적색에 걸친 컬러들을 가진다. 기존의 대부분 시각 기반 화재 감지 기법에서는 화염이 가지는 컬러가 일차적인 단서로 사용되었다.

Horng 등[7]은 화재 현장에서의 화염을 시각 센서로 감지하기 위하여, 이의 컬러 특성을 관찰하였다. 그들은 우선 시각 센서로부터 출력되는 RGB(Red, Green, Blue) 컬러 영상을 HSI 영상으로 변환하였는데, 이는 HSI 컬러 모델이 인간의 시각적 인지 특성과 유사하기 때문이다. HSI 모델은 관측자에게 감지되는 주요한 색을 표현하는 H 값과, 색에 흰색이 가미된 정도를 나타내는 S 값, 그리고 빛의 밝기 정도를 나타내는 I 값의 세 가지 요소를 가진다. RGB에서 HSI로의 컬러 모델 변환은 아래 식과 같이 직접적으로 주어진다. 다수의 화염 영상 내 화소들의 HSI 값으로부터 실험적으로 얻은 화염의 컬러 특성은 Table 1과 같았다 [7].

$$h = \theta \text{ if } b \leq g, \quad h = 2\pi - \theta \text{ otherwise,} \quad (1.1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(r+g+b)}[\min(r, g, b)], \quad (1.2)$$

$$i = (r + g + b) / 3 \quad (1.3)$$

$$\text{단, } \theta = \cos^{-1} \frac{0.5[(r-g)+(r-b)]}{\sqrt{(r-g)^2+(r-b)(g-b)}} \quad (1.4)$$

여기서 h 는 $[0, \pi]$, 그리고 s 와 i 는 각각 $[0, 1]$ 의 구간으로 정규화된 값이며, r, g, b 도 각각 R, G, B 컬러 값을 다음과 같이 정규화한 값이다. 여기서 합이 1로 일정하므로, 임의의 한 값은 나머지 두 개의 값에 의존적이다. 즉, 주어진 식에서 b 는 r 과 g 에 의하여 결정되었다.

$$r = R / (R + G + B) \quad (2.1)$$

$$g = G / (R + G + B) \quad (2.2)$$

$$b = 1 - (r + g) \quad (2.3)$$

Table 1. Color features of flames[7]

Environment	H	S	I
Bright	$0^\circ \sim 60^\circ$	40~100	127~255
Dark		20~100	100~255

화염의 컬러 특성을 사용하여 시각 센서의 출력 컬러 영상 내 임의 화소 p 는 식 (3)과 같이 화염 및 비화염 집합으로 구분될 수 있다. 여기서 $h_1, h_2, s_1, s_2, i_1, i_2$ 는 Table 1로부터 얻어진 임계치들이고, \wedge 는 논리곱을 의미한다. 식 (3)에서 주어진 컬러 범위 내에 속하는 화소들의 집합 F 는 이진 출력 영상을 결정한다.

$$p(H, S, I) \in F \quad \text{if } h_1 \leq h \leq h_2 \quad \wedge \quad s_1 \leq s \leq s_2 \quad \wedge \quad i_1 \leq i \leq i_2, \quad (3)$$

$$p(H, S, I) \notin F \quad \text{otherwise.}$$

컬러 기반 검출 방법은 그 적용이 간단하지만, 실제적으로 여러 가지 문제들을 가진다. 먼저, 화염은 연소되는 물질의 종류와 주변 환경, 그리고 화염의 온도 등 여러 요소에 따라 그 컬러가 상당히 가변적이다. 또한, 카메라의 특성에 따라 동일한 대상의 색상도 어느 정도 변화한다. 특히 Horng 등의 기법[7]에서와 같이 HSI 컬러 공간을 사용할 경우, 화재의 온도가 올라가서 그 컬러가 백색에 가까워지면, H의 값이 거의 무의미해지는 문제가 있다. 이들 컬러에 관련된 문제들 때문에 Verstockt 등[9]은 컬러 기반 화재 감지 방법의 실제적 활용에는 의문이 있을 수 있음을 지적하였다. 시각 센서와 화염 컬러의 가변성에 기인한 문제는 특정 장소에 설치된 카메라를 사용하여 실제 화염을 관측하고 그 임계치를 설정함으로써 상당히 해결될 수 있겠지만, 실제로 화재를 발생시켜 영상을 취득하는 것은 현실적으로 어렵다. 또 다른 문제점으로는 화염의 컬러에 해당하는 영상 내 다른 부분들이 존재할 수 있다는 것이다. Fig. 1은 그러한 예를 보여 주는데, Fig. 1(a)~(c)의 화재 영상 내 화염 영역들에서 표본화한 화소들과 Fig. 1(d)~(f)의 비화재 영상 내 밝은 영역들에서 표본화한 화소들의 r 과 g 컬러를 비교한 결과 Fig. 2와 같이 그 분포가 상당 부분 겹쳤다.

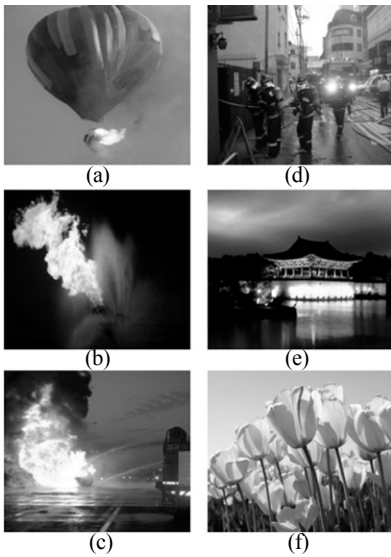


Fig. 1. Example fire (a~c) and non-fire images (d~f).

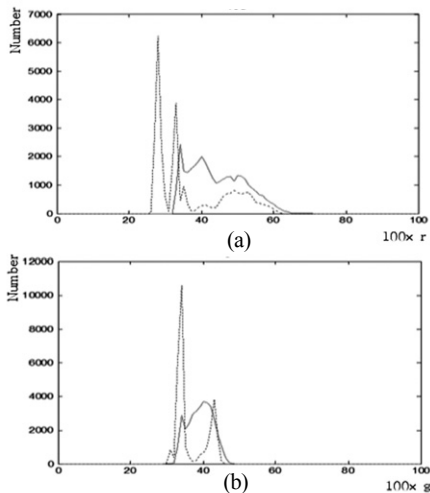


Fig. 2. Red(*r*) and green(*g*) color distributions of flame (solid line) and non-flame (dotted-line) pixels.

본 논문에서는 이상의 논의를 감안하여, YIQ 컬러 공간에서 화염 화소를 검출하였다. YIQ 컬러 공간은 주로 NTSC 형식의 컬러 TV 에서 사용되는데, 밝기 *Y* 값과 색채의 *I* 및 *Q* 값을 사용하여 컬러를 표시한다. RGB 컬러 공간에서 YIQ 공간으로의 변환은 아래 식 (4)와 같이 주어진다[10]. YIQ 공간에서의 화염 화소 검출 방법은 식 (3)으로 주어지는 HSI 공간에서의 검출 방법과 기본적으로 동일하다. Fig. 3은 YIQ 공간에서의 검출 방법이 Horng [7]의 기법에 비해 효과적임을 보여 준다. 즉, YIQ 공간에서의 결과인 Fig. 3(b)에서는 화염에 해당하는 부분이 잘 찾아졌다. 이에 비해, Fig. 3(c)에서는 화염이 제대로 검출되지 못하였는데, HSI 컬러 공간에서 Table 1의 임계치를 기준으로 화염을 검출하는 경우, 대체로 아주 밝은 화소의 *H* 값이 불안정한 문제[11]때문에 좋은 결과가 얻어지지 않았다.

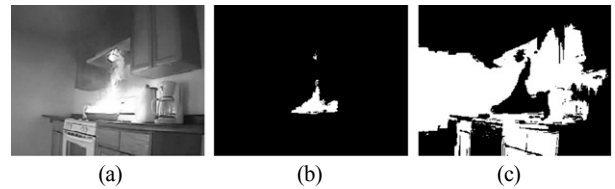


Fig. 3. Color-based extraction of fire flame pixel candidates: (a) Fire scene image, (b) Candidates in YIQ space, (c) Candidates in HSI space.

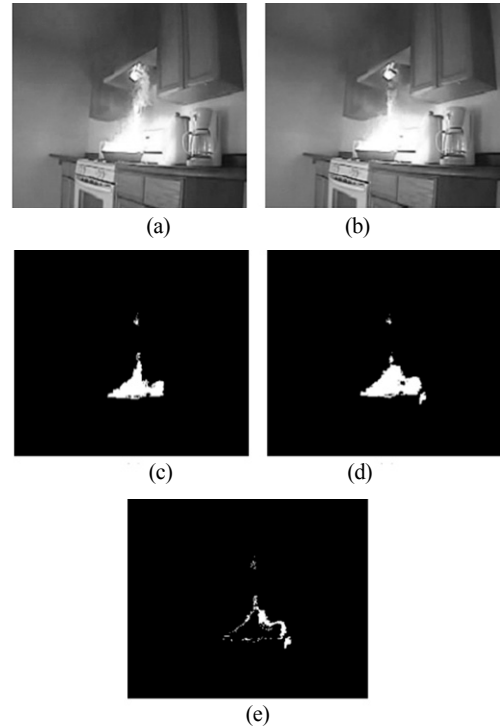


Fig. 4. Fire pixel extraction by comparing two consecutive images: (a) and (b) are original images captured at time $t-1$ and t respectively, (c) and (d) are flame pixel candidates detected by color, (e) is the result of XOR operation.

$$\begin{bmatrix} I \\ Q \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.60 & -0.28 & -0.32 \\ 0.21 & -0.52 & 0.31 \\ 0.30 & 0.59 & 0.11 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

컬러에 의한 화염 화소의 판정은 화염과 비슷한 컬러의 사물도 검출되는 문제점이 있다. 따라서 컬러를 기반으로 검출된 화소는 단지 화염 화소의 후보에 불과하다. 이진 영상 F 에서 화소값이 1인 경우 화염으로 판정될 가능성을 가진 후보이고, 0인 경우 비화염 화소가 된다. Fig. 3의 (b)에서 화염의 영역이 대체로 잘 검출되었으나, 밝은 조명등에 속하는 화소들도 조금 추출되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 전후 비디오 영상으로부터 얻어진 두 화염 후보 이진 영상 F_{t-1} 과 F_t 를 비교하여 변화가 있는 부분

만으로 새로운 이진 영상 C 를 얻었다. 즉, Fig. 4(c)와 (d)를 식 (5)와 같이 배타적 논리합(XOR; Exclusive OR) 연산을 행하면, Fig. 4(e)와 같은 결과를 얻을 수 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 화염의 모양이 변화하면서 화염의 경계 및 주변부 화소들이 추출되며, 만약 화염의 컬러와 동일한 사물이 있다고 하더라도 식 (5)를 행한 결과 효과적으로 제거된다.

$$C(x, y) = F_{t-1}(x, y) \oplus F_t(x, y) \quad (5)$$

단, $1 \leq x \leq M, 1 \leq y \leq N$ 은 $M \times N$ 크기 영상 내 화소의 위치 인덱스, \oplus 는 배타적 논리합을 나타내는 연산자를 의미한다.

3. 블록별 검출과 전역적 관찰

앞 절에서 획득한 화염 화소들만으로 화재를 감지하여 경보를 발하는 것에는 신뢰성이 부족하다. Fig. 5는 그러한 경우의 예를 보여 준다. 즉, Fig. 5(a)와 (b)의 두 연속 영상에서 실내 조명을 켜자 이가 화염으로 검출되었다. 따라서 이와 같은 상황에 둔감한 탐지 기법이 필요하게 된다.

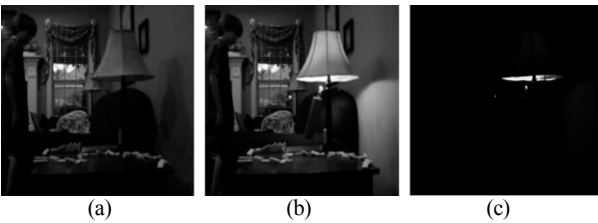


Fig. 5. Failure of pixel-level fire detection. Images in (a) and (b) are two consecutive images that result in the detection shown in (c) when using Eq.(5).

본 논문에서는 영상 블록과 영상 전역의 두 다른 수준에서의 처리를 통하여 이 문제를 해결하고자 한다. 먼저, 영상을 적당한 크기를 가진 일정한 블록들로 나누고, 각 블록에서 화염에 속하는 것으로 판정된 화소가 미리 정한 비율 이상이면, 그 영역을 화염 영역으로 판정한다. 식 (6)은 이와 같은 판정법을 나타내는데, 임의의 블록 B 내 화소 C 의 총 개수 중 식 (5)에 의하여 1로 판정된 화소들의 수가 일정 비율을 넘으면 그 블록을 화염 블록으로 판정하게 된다.

$$B(m, n) = 1 \text{ if } \frac{\#\{C(x, y)=1 \wedge C(x, y) \in B(m, n)\}}{\#\{C(x, y) \in B(m, n)\}} \geq \lambda, \quad (6)$$

$$B(m, n) = 0 \text{ otherwise.}$$

단, $\#(\cdot)$ 는 "Number of" 의미하며, m 과 n 은 영상 내 나누어진 블록들의 인덱스이며, λ 는 임의의 임계치로 $0 \leq \lambda \leq 1$ 이다. Fig. 6은 이와 같은 방법으로 Fig. 4(e)의 영상에서 추출된 영역들

을 보여 준다. 블록에 기반한 화염의 검출은 미소한 양의 검출을 무시할 수 있게 하여 잡음에 의한 영향을 상당히 감소시킬 수 있으며, 이후 처리를 간단하게 한다.

일단 블록 단위로 화염이 검출되면, 이 블록들이 시간적 경과에 따라 어떻게 변화하는지를 관측한다. 이는 전역적 단계에서의 처리가 된다. 우리는 두 가지 관점에서 판정을 내렸는데, 영상 전체에서 화염 영역으로 판정된 블록의 수가 일정한 임계치 α 이상으로 많은지를 점검하는 것과 그 블록의 수가 이전 T 시간 이전의 영상과 비교하여 β 배 이상 많아졌는가 하는 것이다. 즉, 다음 식을 만족하는 경우, 시각 센서가 설치된 지역에 화염이 존재한다고 판정하게 된다. 이 때 임계치 α 와 β 은 화염 감지의 민감도를 결정하게 된다. 즉, 이 값들이 충분히 크면 감지 오류의 가능성이 줄어들지만, 화염을 초기에 감지하지 못할 수 있다. 그리고 T 는 비디오의 속도에 따라 결정된다.

$$\text{Fire if } \#(B_t) \geq \alpha \wedge \#(B_t) / \#(B_{t-T}) \geq \beta \quad (7)$$



Fig. 6. Block-based flame detection for the case of Fig. 4(e).

4. 실험

본 논문에서 제안한 방법을 실제 영상을 이용하여 실험하여 보았다. Fig. 7은 실험에 사용한 영상들의 예를 보여 준다. 그림에서 좌측 열은 원영상이며, 중간 열은 컬러 기반으로 추출된 화염 화소 후보들의 이진 영상이며, 우측 열은 블록 기반 처리를 통하여 얻어진 이진 영상이다.

Fig. 7(a)는 어두운 주변 환경에서 밝은 화염을 검출하는 경우로 제안된 방법은 화염을 잘 검출하였다. Fig. 7(b)는 밝은 실내에서의 화염을 감시용 전방향 카메라(omni-directional camera)로 취득한 경우로, 비록 창의 밝은 빛이 화염의 컬러로 검출되었으나, 전후 영상의 XOR 연산과 블록 기반 검출을 통하여 최종적으로는 화염만 검출할 수 있었다. Fig. 7(c)는 붉은 배경에 흰 십자가가 있는 덴마크 국기가 밝은 하늘을 배경으로 펼쳐지는 영상으로, 화재의 경우와 유사한 색상과 동적 특성을 가지지만, 제안된 기법은 성공적으로 이를 가려내었다. 하지만 Fig. 7(d)의 상황은 화재가 아님에도 제안된 기법은 화염을 오검출 하였다. 이 경우 TV 의 뉴스에서 전쟁에서의 폭격을 보도하면서 폭발이 일어나는 영상을 보여 주고 있어, 비록 본 논문에서 의도하는 실제 화재의 검출은 아니지만 TV 속 영상에는 화염이 존재한다는 관점에서 볼 때는 나름대로 의미가 있다. 모든 경우에 컬러 검출을 위한 임계치들은 $0.95 \leq y \leq 1.0$,

$-0.0254 \leq i \leq 0.0367$, $-0.0376 \leq q \leq 0.023$ 를 사용하였고, 블록의 크기는 7×7 [pixels], 블록 판정 임계치는 $\lambda = 0.33$ 를 사용하였다.

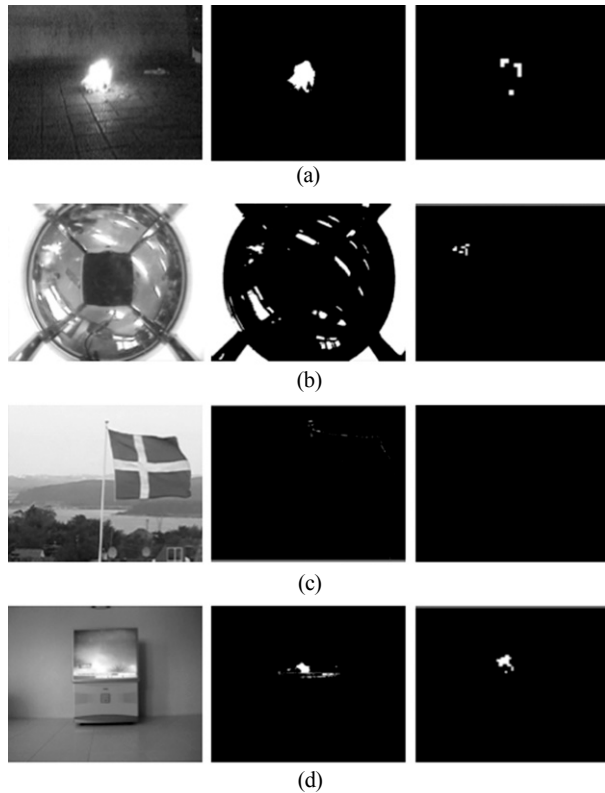


Fig. 7. Experimental images: (Left) Scene images, (Middle) Extracted fire pixel candidates, (Right) Block-based detection.

Table 2. Experimental results compared with an existing technique[8], where O means a success of fire detection while X means a failure

Method \ Scenes	Fig. 4	Fig. 5	Fig. 7(a)	Fig. 7(b)	Fig. 7(c)	Fig. 7(d)
Method of paper	O	O	O	O	O	X
Method of [8]	X	O	O	O	O	X

비교를 위해 실험의 영상에 Marbach 등[8]이 제안한 기법을 적용하여 보았다. Table 2는 그 결과를 요약하여 보여준다. 즉, Fig. 7(a)~(c)의 영상은 잘 구분하였으나, Fig. 7(d)의 영상에서는 화염이 있는 것으로 오판정하였다. 그러나 본 논문에서 제안한 방법이 Fig. 4의 영상에서 화염을 성공적으로 검출한 반면, Marbach 등의 기법은 화염을 검출하지 못하였다. 이는 Marbach의 기법이 많은 임계치의 결정을 필요로 하기 때문에, 이들 임계치들이 다양한 환경의 영상에 대해 일관되게 좋은 성능을 보이기 어렵기 때문인 것으로 생각된다.

5. 결론

본 논문에서는 새로운 시각 기반 화재 감지 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 3단계로 카메라의 영상을 처리하였다. 먼저 취득된 영상에서 화염의 컬러와 동적인 특성을 기반으로 화염의 주변부에 해당하는 화소들을 검출하였다. 화소를 검출하는데 RGB 컬러 모델은 밝기의 변화에 따른 오류의 가능성이 있기 때문에 YIQ 컬러 모델로 변환하여 화염에 해당하는 화소의 후보군을 검출하고, 전후 비디오 영상으로부터 얻어진 두 화염 화소 후보의 이진 영상들을 비교하여 변화가 있는 부분만으로 새로운 이진 영상을 검출하였다. 두 번째 단계는 블록 기반의 처리 단계로 전체 영상을 일정한 크기의 블록으로 구분한 후 화염 영역을 판정함으로써 화소 단위의 검출 오류를 상당 부분 극복할 수 있었다. 마지막은 전역 처리 단계로 화염 영역들이 시간의 변화에 따라 커지는 현상을 해석하여, 화염인지 아닌지를 최종 판정하였다.

제안된 기법은 비교적 간단한 절차에 의하면서도 오검출의 가능성을 줄일 수 있었고, 그 성능은 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 그러나 검출 및 판정을 위한 임계치의 설정이 실험적으로 이루어졌다는 점은 실제 적용에 있어 그 성능을 담보할 수 없게 한다. 따라서 적정의 임계치를 자동적으로 결정할 수 있는 방법을 차후 과제로 연구할 필요가 있다. 또, 연기의 검출 기능[12]을 추가함으로써, 보다 효과적으로 조기 화재 감지가 가능하도록 할 필요가 있다.

REFERENCES

- [1] 소방방재청, 2010년 화재발생현황분석, <http://www.nema.go.kr>.
- [2] J. R. Martinez-de Dios, L. Merino, F. Caballero, and A. Ollero, "Automatic forest-fire measuring using ground stations and unmanned aerial systems", *Sensors*, vol. 11, pp. 6328-6353, 2011.
- [3] S. Noda and K. Ueda, "Fire detection in tunnels using an image processing method", in *Proc. Conf. Vehicle Navigation and Information System*, p. 5742, 1994.
- [4] H. Yamagishi and J. Yamaguchi, "Fire flame detection algorithm using a color camera", in *Proc. Int. Symp. Micromechatronics and Human Science*, pp. 255-260, 1999.
- [5] S. Y. Foo, "A machine vision approach to detect and categorize hydrocarbon fires in aircraft dry bays and engine compartments", *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. 36, pp. 549-466, 2000.
- [6] W. Phillips, M. Shah, and N. da Vitoria Lobo, "Flame recognition in video", in *Proc. Fifth*

- Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 224-229, 2000.
- [7] Wen-Bing Homg, Jim-Wen Peng, and Chih-Yuan Chen, "A new image-based real-time flame detection method using color analysis", *Proc. IEEE Int. Conf. on Networking, Sensing and Control*, pp. 100-105, 2005.
- [8] G. Marbach, M. Loepfe, and T. Brupbacher, "An image processing technique for fire detection in video Images", *Fire Safety Journal*, vol. 41, no. 4, pp. 285-289, 2006.
- [9] S. Verstockt, B. Merci, P. Lambert, R. Van de Walle, and B. Sette, "State of the art in vision-based fire and smoke detection", *In Proc. Int. Conf. on Automatic Fire Detection*, vol. 2, pp. 285-292, 2009.
- [10] D. A. Ballard and C. M. Brown, *Computer Vision*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1982.
- [11] R. Yang, A. Lau, Y. Chan, A. Strozzi, P. Delmas, and C. Lutteroth, "Real time 3D hand tracking for 3d modelling applications", *In Proc. Int. Vision Conference*, 2011.
- [12] L. Ma, K. Wu, and L. Zhu, "Fire smoke detection in video images using Kalman filter and Gaussian mixture color model", *Proc. Int. Conf. on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, pp. 484-487, 2010.



도 용 태 (Yongtae Do)

- 센서학회 평생회원
- 경북대, 서강대, Univ. of Hull(영)의 전자공학과에서 각각 공학사, 공학석사, PhD 학위 취득
- 미국 CMU의 로봇연구소, Univ. of Wisconsin-Madison, 영국 Imperial College London, 싱가포르 Nat'l Univ of Singapore 에서 객원교수 및 방문과학자
- 현재 대구대학교 전자전기공학부 전자제어공학 전공 교수
- 주관심분야 : 센서 및 계측 시스템, 시각센서, 지능로봇 등