

## 조명과 환경 변화에 강건한 화염 검출 시스템 A Flame-Detection System Robust to Lighting and Environments

박장식<sup>†</sup> · 김현태\* · 박수창\*\* · 손경식\*\*

Jang-Sik Park<sup>†</sup> · Hyun-Tae Kim\* · Soo-Chang Park\*\* · Kyung-Sik Son\*\*

동의과학대학 디지털정보전자과, \*동의대학교 멀티미디어공학과, \*\*부산대학교 전자공학과  
(2008. 1. 18. 접수/2008. 2. 25. 채택)

### 요 약

본 논문은 화재를 조기에 검출하기 위하여 칼라 영상처리기법을 이용하여 주변 조명과 환경의 변화에 대하여 강건한 화염검출방법을 제안한다. 주변 조명과 화염의 RGB 색 분포 분석을 통하여 주변 조명과 화염을 구분할 수 있는 임계값을 설정하여 후보 영역을 검출한다. 화염이 발생 후 연속적으로 변화하기 때문에 화염 영역의 히스토그램 평균값의 차를 이용하여 화염 유사 영역을 제거한다. 검출된 영역이 화염임을 판단하기 위하여 영역 서술자인 밀집도를 계산하여 최종적으로 화염 여부를 판정한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안한 방법이 화염을 보다 잘 검출하고 조명 등 주변 환경 변화에 강건함을 보인다.

### ABSTRACT

In this paper, we introduce a fire-detection system which is robust to light sources and environment changing. We can decide the threshold values that classify the regions between a fire flame and light sources by analyzing them in RGB color space. But we could not discriminate quasi-flame region from fire flame region with the value. The difference of mean-histogram technique make it possible to extract flame region more efficient because fire flame is continuously changing after it occurs. In order to validate real fire, this paper uses regional compactness in the end of process. Computer simulation show that proposed method make more robust to light sources and environment changing.

**Keywords :** Fire flame detection, RGB color space, Histogram, Dynamic variation

## 1. 서 론

화재는 사람들을 위협하게 할 뿐만 아니라 경제적 손실과 생태학적인 손실을 야기시키므로 화재를 막기 위해서 많은 연구가 진행되었다. 최근에는 빠른 시간 안에 화재 발생위치를 인식하고 경보를 발령할 수 있는 영상처리기법을 이용한 화재검출 방법들이 연구되고 있다.<sup>1,2)</sup> 영상처리기법을 활용한 화재검출은 입력영상의 종류에 따라 계조와 칼라영상처리로 나누어지고, 입력영상정보로부터 연기(smoke)나 화염(flame)을 인지하여 화재를 검출한다.

Noda와 Ueda는 계조영상처리 기법을 이용하여 터널에서 화염 휘도성분의 계조 히스토그램(histogram of gray level)을 비교하여 화염을 검출하는 방법을 제안

하였다.<sup>3)</sup> Breejen 등은 흑백 광학 카메라를 이용하여 시간에 따른 자연 환경의 차와 연기의 공간의 특성을 분석하여 산림 화재 검출방법을 개발하였다.<sup>4)</sup>

Healey와 Slater는 화재 오검출을 줄이기 위하여 칼라영상으로부터 화염의 스펙트럼, 공간, 그리고 시간 특성을 이용하는 방법을 제안하였다.<sup>5)</sup> Cappellini 등은 야간에 화염검출 성능을 개선하기 위해서 연기에서 화염을 인식하는 방법을 제안하였다.<sup>6)</sup> Yamagishi와 Yamaguschi는 조명, 바람, 그리고 거리에 대해서 화염 검출률을 높이기 위하여 화염의 외가의 시공변동정보(time-space fluctuation data)를 계산하는 방법을 제안하였다.<sup>7)</sup> 대부분의 칼라영상을 이용한 화재검출 방법은 화재인식에 초점을 맞추고 있으나 최근에는 영상의 칼라 성분을 이용하여 화염을 검출하는 방법들이 연구되고 있다.<sup>2)</sup> 칼라성분을 이용한 방법은 화염 검출 성능이 우수하고 화염의 위치와 규모를 알 수 있는 장점이

<sup>†</sup>E-mail: jsipark@dit.ac.kr

있다. 그러나 주변 조명이나 물체의 강한 빛 반사 등은 화염영역과 구분이 힘들며 밤낮의 변화, 화염 유사 물체의 움직임 등에 오동작을 일으킬 수 있다.

본 논문은 칼라 영상처리를 이용하여 주변 조명과 환경의 변화에 대하여 강건한 화염검출시스템을 제안한다. 조명과 화염의 색 분포를 분석하여 주변 조명과 화염을 구분할 수 있도록 임계값 범위를 설정하여 화염 후보영역을 검출한다. 입력영상 프레임간의 영상 차 (image difference) 방법을 기반으로 영역평균 차를 측정하여 화염후보영역에서 화염을 검출하는 방법을 제안한다. 그리고 검출된 영역이 화염임을 최종적으로 판정하기 위하여 화염의 동적인 특성(activity)을 계산한다. 동적인 특성은 움직이는 물체가 화염으로 오검출되는 것을 방지할 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안한 임계값 조건으로 화염을 검출하고 조명에 강건함을 보인다. 또한 영역평균 차를 이용하여 화염을 추출하고 오검출을 줄이는 과정을 보인다. 화염 추출 후 화염의 동적인 특성과 밀집도를 이용해서 화염의 판별 과정을 보인다.

## 2. 제안하는 화염 검출

제안하는 화염 검출 과정은 다음 Figure 1과 같이 카메라 영상의 색정보를 이용한 화염 후보영역을 검출하고 영역평균 차를 이용하여 화염의 변화를 검출한 다음 화염의 동적 특성과 밀집도를 계산하여 화염을 확정한다.

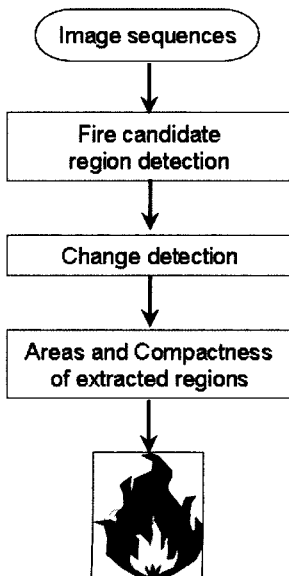
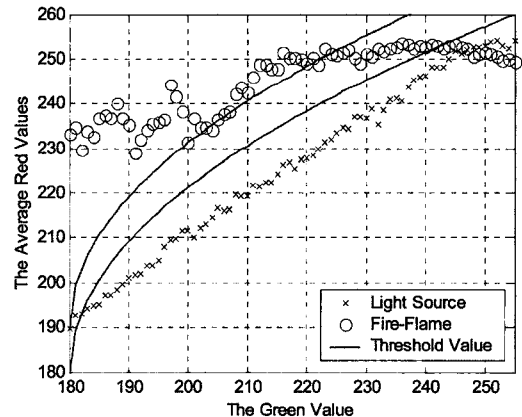


Figure 1. The proposed fire detection system.

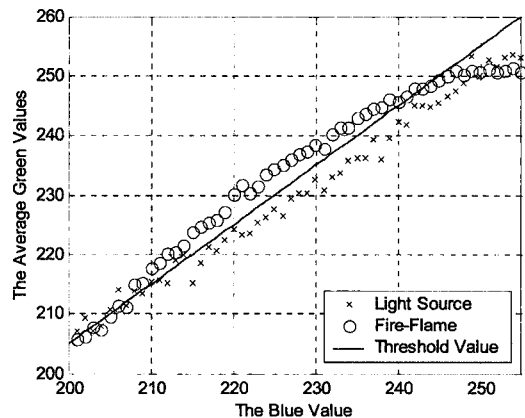
### 2.1 색좌표계를 이용한 화염 후보영역 검출

화염의 색깔 분포 모양은 색 공간에 따라서 다르게 나타나고 화염 분포의 근사 정도는 모델의 선택에 의해 좌우된다. 색 공간의 선택과 근사시키는 모델의 선택이 화염 검출의 성공 여부에 중요한 요소가 된다. 화염의 색깔을 정의하기 위해서는 색 공간상에서 화염의 색 분포영역을 근사화해야 한다. 일반적으로 임계값 설정은 배경 화면으로부터 영상을 분리하기 위해서 많이 쓰는 방법이다. 본 논문은 칼라 영상의 화염 성분들을 RGB(Red, Green, Blue)색 공간에서 분석하여 화염을 정의할 수 있는 임계값을 설정한다.

화염은 일반적으로 빨간색성분이 강하며 온도에 따라서 색깔이 변한다. 온도가 낮을 때는 빨간색에서 노란색 사이를 나타내고, 높은 온도에서는 흰색을 나타낸다. 그러나 일반적인 화재로 진행되는 화염은 빨간색에서 노란색 사이에 분포한다고 가정하는 것이 타당하다. Figure 2의 (a)는 화염과 조명의 녹색 성분에 대



(a) Red and green component



(b) Green and blue component

Figure 2. RGB distribution in fire and lighting.

한 평균적인 빨간색 분포를 도시화한 것이다. 조명의 분포는 선형인 반면, 화염의 빨간색 성분 값은 비선형이며 대부분이 230에서 255사이에 분포한다.

본 논문에서는 조명에 강건한 화염성분 검출을 위해서 아래의 세 조건을 제시한다. 식 (1), (2), (3) 임계값을 이용해 입력 영상을 이진화시킨다. 그리고 이진화된 영역을  $A(x, y)$ 라 정의한다. 두 패턴의 구분을 위해서 Figure 2의 (a) 조건 2를 설정한다. 조건 2를 이용한 임계값 설정은 화염을 조명과 구분 가능하게 하고 화염의 상당부분을 찾을 수 있다. 그리고 Figure 2의 (b)는 화염과 조명의 파란색 성분에 대한 평균적인 녹색 분포를 나타낸 것이다. 화염과 조명의 구분은 조건 3에 의해서 더 강건해진다.

$$\text{조건 1: } R > 240 \quad (1)$$

$$\text{조건 2: } R > 80\sqrt{(G-180)/75} + 180$$

$$R < 80\sqrt{(G-180)/75} + 190 \quad (2)$$

$$\text{조건 3: } G > B + 5 \quad (3)$$

$$A(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } (1) \cap (2) \cap (3) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

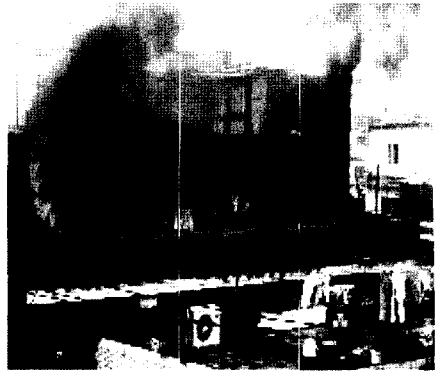
Figure 3의 (b)는 입력 영상으로부터 3가지의 조건을 만족시키는 영역을 이진화시킨 화염 후보영역  $A(x, y)$ 이다. RGB칼라 공간에서 설정한 3가지 조건으로 배경영역을 제거하고 화염 성분의 검출을 확인할 수 있다.

그러나 화염과 같은 색을 가진 물체나 화염과 비슷한 조명들은 화염으로 오검출될 수 있다. 직접적인 빛과 조명 영상은 화염으로 오검출되지는 않지만 빛과 조명은 다른 물체에 비추지면 반사되어 카메라에 획득되는 영상의 색 분포에 영향을 미친다. 카메라에 획득되어지는 빨간색 물체가 강도가 낮으면 화염으로 검출되지 않는다. 이 물체가 강한 빛이나 조명을 받으면 반사되어 획득되어지는 영상에서 색의 강도는 높아지며 물체의 색 분포는 설정한 임계값의 범위에 들어가게 되어서 오검출이 발생하게 된다. 기본적으로 임계값은 변하지 않지만 물체의 색은 외부 요소들에 의해 RGB 색 공간에서 계속해서 변화한다.

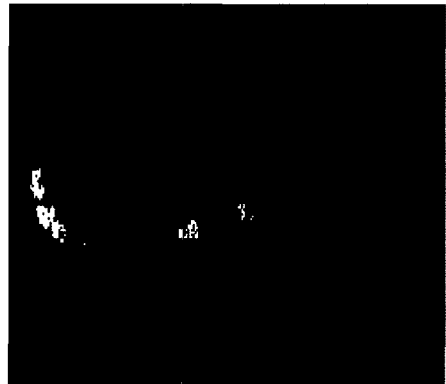
본 논문은 오검출을 줄이기 위해서 영역평균 차를 이용한 화염의 변화를 검출한다. 획득한 영상에서 화염은 발생 후 계속해서 변화하므로 변화 검출은 화염영역을 정확하게 추출하고 변화가 없는 오검출을 줄일 수 있다.

## 2.2 영역평균의 차를 이용한 화염 변화 검출

실시간 영상에서 변화를 검출하는 알고리즘은 여러



(a) Input image



(b) The fire candidate detection using RGB and binarization

**Figure 3.** The detected fire candidate region in complicated background.

방법들이 연구되고 있다. 그 중에서도 영상 차(image difference) 알고리즘은 원리가 간단하여 많이 사용되고 있다. 그러나, 연산량이 많고 잡음에 약하여 변화된 영역을 추출하기 위해서는 모폴로지(morphology)와 레이블링(labeling) 연산이 필요하다.

본 논문은 영상 차 방법으로서 응용해서 영역평균 차 방법으로 화염의 변화 검출 방법을 제안한다. 영역평균 차 방법은 화염 후보  $A(x, y)$ 의 수직과 수평 히스토그램을 블록 단위로 평균하여 초기 영역평균 값을 설정하고 일정 시간 평균하여 기준 영역평균 값을 설정하여 두 값의 차가 임계값보다 크면 화염 영역으로 판단한다. 변화 검출시 기존의 영상 차 방법보다 계산량이 작으며 변화된 영역의 추출이 간단하다. 그리고 블록 근사 방법은 잡음에 강하여 모폴로지와 레이블링 연산도 필요하지 않다.

### 2.2.1 영역평균

본 논문은 이진화된 화염 후보 영상에서 변화를 검

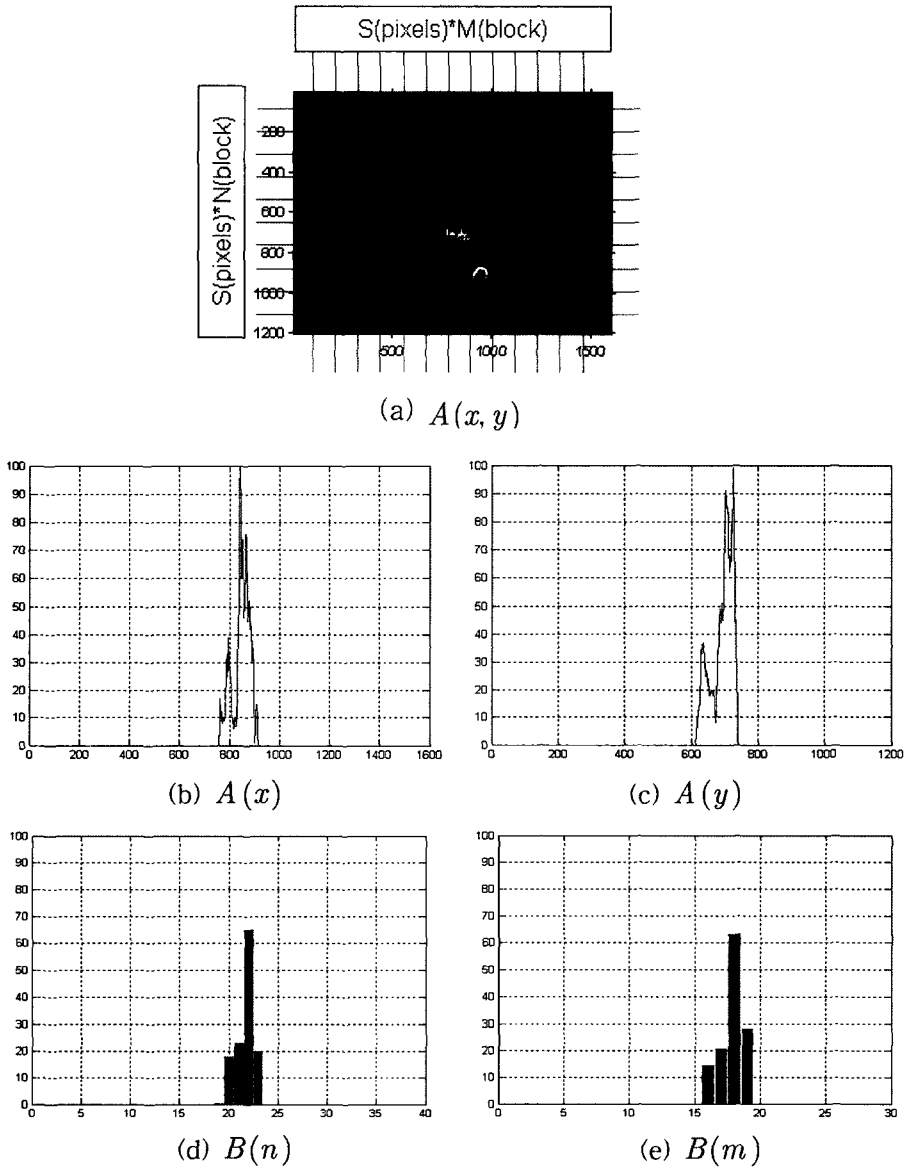


Figure 4. The vertical and horizontal block mean.

출하기 위하여 수직과 수평의 밝기값 차를 이용하면 특정 부위의 변화를 검출할 수 있다는 것에 착안을 해서 영역평균으로 히스토그램을 근사화한다. 영역평균은 수직과 수평 히스토그램을 블록으로 나누어서 평균을 계산한다. Figure 4의 (a)는 화염이 있는 영상에서 색 분석을 통하여 화염 후보를 검출한 영상이다. Figure 4의 (b), (c)는 이진화 영상을 수직과 수평 히스토그램 분석한 영상이다. Figure 4의 (d), (e)는 한 블록의 크기를 화염 발생 초기 영상의 크기  $L$  픽셀로 정하고 수

직을  $N$ 개, 수평을  $M$ 개의 블록으로 나누어서 각 블록 단위의 평균을 취한다. 그리고 수직, 수평 히스토그램을 평균을 취한 값들은 영역평균이라 하고, 수평을  $B(n)$ , 수직을  $B(m)$ 라고 정의한다. 영역평균은 많은 이점을 가지고 있다. 첫 번째 변화 검출시 수평  $M$ 개, 수직  $N$ 개만 비교하면 변화를 검출할 수 있으므로 계산량이 작다. 다음은 수평  $B(n)$ , 수직  $B(m)$ 은 각 블록을 평균한 양이므로 잡음에 강하다. 그리고 변화된 부분을 추출할 때 레이블링 연산을 필요치 않고 연산이 간단하다.

영역평균은 이진화된 영상  $A(x, y)$ 를 비교 영상으로 만들고, 기준 영역평균의 갱신에 사용된다.

### 2.2.2 기준 영역평균

입력 영상에서 변화를 찾기 위해서 필요한 기준 영역평균이 필요하다. 본 논문에서는 입력 영상을 기준으로 사용하지 않고 수직과 수평의 평균 히스토그램  $B(n)$ 과  $B(m)$ 을 이용하여 기준 영역평균을 생성한다.

연속적인 영역평균에서 변화 영역을 검출하기 위해서 기준 영역평균은 변화를 측정하는 기준이 된다. 각 과정은 T 시간(N개 영상)에 한번 계산된다. 기준 영역평균의 생성은 식 (5), (6)과 같다. N개의 영역평균을 계산하고 수직을  $R_1(n)$ , 수평을  $R_1(m)$ 으로 나타낸다. 여기서  $B_i(n)$ ,  $B_i(m)$ 은 i 시간에 수직과 수평의 영역평균을 나타낸다.

$$R_1(m) = \frac{1}{N} \sum_{j=n}^{n+N-1} B_j(m) \quad (5)$$

$$R_1(n) = \frac{1}{N} \sum_{j=n}^{n+N-1} B_j(n) \quad (6)$$

현재 입력에 대하여 변화를 검출을 위해서 기준 영역평균 계산식 (5), (6)은 기준으로 사용되지 않는다. 입력 영상에 화염성분이 존재하면 기준 영역평균 계산식 (5), (6)에 영향을 주어 잘못된 변화를 검출하므로 기준 영역평균을 갱신하여 이를 막는다. 기준 영역평균 버퍼의 갱신은 3개의 터퍼에서 T시간마다 이루어지며 입력 영상에서 화염이 존재하면 기준 영역평균을 갱신하는 것을 막을 수 있다. 그리고 변화 검출에 사용할 기준 영역평균은 갱신된  $R_3(n)$ ,  $R_3(m)$ 을 사용한다. 화염 성분을 추출하였을 때 버퍼의 갱신은 되지 않는다.

### 2.2.3 영역평균 차

영역평균 차는 입력 영상의 영역평균과 기준 영역평균의 차를 계산하여 화염의 변화를 검출하고 오검출 요소를 제거하는 과정이다. 기준 영역평균은 입력 영상에서 화염의 변화가 존재하지 않을 경우 생성된 것이다. 입력 영상에서 화염이 발생하면 영역평균은 기준 영역평균 차를 계산하면 화염이 발생한 블록에서 변화가 발생하여 이를 검출할 수 있다. 그리고 입력 영상의 영역평균에서는 화염의 유사 영역들에 의해서 오검출 요소들을 가질 수 있다. 만약 이 오검출 요소들이 움직이지 않는다면 기준 영역평균에서도 같은 위치에 포함되어 있으므로 차를 계산하면 제거할 수 있다.

영역평균 차는 아래의 식 (7), (8)과 같다.  $R_3(n)$ ,  $R_3(m)$ 은 수직과 수평의 기준 영역평균이고  $B(n)$ ,  $B(m)$ 은 입력 영상의 수직과 수평 영역평균을 나타낸다. 식 (7), (8)에서 영역평균 차는 임계값 T를 넘으면 1의 값을 가지고 그렇지 않으면 0의 값을 가진다. 여기서 두 영역평균의 차에서 변화가 검출되면 1의 값을 가지고, 변화가 존재 하지 않으면(오검출 영역 포함) 0의 값을 가진다. 화염 성분의 추출은  $C(n)$ ,  $C(m)$ 에서 1의 값을 검사한다.

$$C(n) = \begin{cases} 1, & \text{if } |R_3(n) - B(n)| > T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$C(m) = \begin{cases} 1, & \text{if } |R_3(m) - B(m)| > T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

## 2.3 화염의 동적 특성과 밀집도를 이용한 화염의 최종 판별

앞 절에서 제안한 영역평균 차를 이용하면 화염영역을 추출할 수 있고 정지한 화염 유사 영역은 제거할 수 있다. 그러나 화염 유사영역이 움직이면 화염영역으로 오검출될 수 있다. 본 논문은 추출한 영역이 화염임을 판단하기 위해서 화염 유사 영역과 구분되는 화염의 동적 특성과 밀집도를 이용한다. 화염은 짧은 시간동안 중심 위치가 변하지 않고 발생 후 면적이 계속 변화하는 동적 특성을 가진다. 그리고 화염은 정해진 형태가 없고 시간에 따라서 불규칙적으로 변하는 특성을 가지고 있으므로 영역 기술자인 밀집도를 이용해서 불규칙적인 화염의 형태를 측정한다. 화염의 동적특성과 밀집도는 유사영역들과 구분되는 특징이므로 보다 강건한 화염 검출을 가능하게 한다.

### 2.3.1 화염의 동적 특성

화염은 발생 후 공기의 흐름에 의해서 형태의 변화는 존재하지만 중심 위치가 크게 변하지 않는 특징을 보인다. 움직임을 가지는 화염 유사 영역이 추출되면 계속해서 중심의 위치가 변화하므로 화염과 구분된다. 또한 화염은 발생 후 면적이 계속 변화하는 동적 특성을 가진다. 화염의 면적 변화는 연료에 의해서 계속해서 진행하고 영역을 넓혀간다.

Figure 5는 화염으로 추출될 수 있는 상황을 도시화한 것이다. Figure 5의 (a),(b)는 화염은 아니지만 화염으로 추출될 수 있는 상황이고, Figure 5의 (c)는 실제 화염이 발생하여 화재로 진행되는 상황이다. Figure 5의 (d), (e), (f)는 (a), (b), (c)에서 화염 후보를 추출한 이진화 영상이다. (a)는 (d)의 화염 추출영상에서 위치

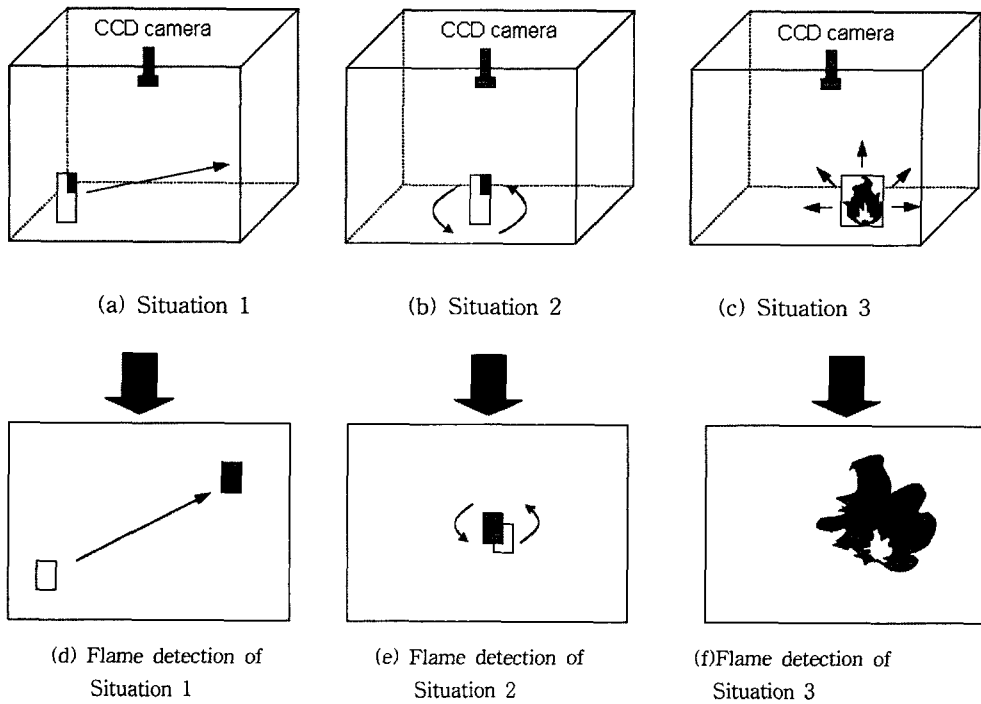


Figure 5. The situation in wrong detection.

변화가 있으므로 첫 번째 동적 특성을 이용하면 제거 가능하고, (b)는 (c)화염 추출영상에서 위치의 변화는 없지만 면적 변화가 없으므로 두 번째 조건으로 제거한다. 그리고 (c)는 실제 화염이 발생한 경우이므로 면적의 변화를 검사하고 밀집도 검사로 넘어간다.

### 2.3.2 화염의 밀집도

밀집도(Compactness)는 영역 서술자(Regional Descriptor) 중 하나이고 영역의 평탄한정도, 복잡성, 규칙성을 측정하는 도구로 사용할 수 있다. 밀집도의 정의는 식 (9)이다. 영역의 면적(Area)은 영역의 경계선 내의 픽셀수이고, 영역의 둘레(Perimeter)는 경계선의 길이로 정의된다. 밀집도는 무차원의 단위이고 영역의 크기에 민감하지 않다. 그리고 영역이 원일 때 최소값을 가진다.

$$C = \frac{(\text{perimeter})^2}{\text{area}} \quad (9)$$

화재의 판별을 위해서 최종적으로 밀집도를 화염에 적용시킨다. 화염의 영역은 특정한 모양을 가지지 않고 시간에 따라서 불규칙하게 변하는 반면, 화염으로 오검출되는 일반적인 물체의 외각의 모양은 불규칙하지 않고 부드럽게 변한다. 그러므로 밀집도는 화염이 훨씬 크게 나타난다. Figure 6(a)는 전형적인 화염 영

상이다. 화염은 일정한 패턴을 가지지 않고 복잡하다.

### 3. 실험 결과 및 검토

제안하는 화염검출시스템의 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 통하여 확인한다. 시뮬레이션은 화염의 후보영역검출, 화염의 변화검출, 그리고 화재판별에 관한 실험을 하였다. 화염후보영역 검출 실험은 다양한 화염영상을 바탕으로 제안한 임계값 조건이 조명을 구분하고 화염영역을 잘 검출하는지를 확인한다. 화염의 변화 검출은 정지한 카메라에서 찍은 두 장의 영상을 사용하였다. 그리고 영역평균 차를 이용하여 화염 추출과 화염 유사 영역의 제거에 적용하였다. 화재의 판단을 위해서 화염이 진행되고 있는 연속 영상에서 화염의 면적을 조사하고, 화염과 오검출 가능 물체 영역의 밀집도를 적용하였다.

각각의 실험에는 다양한 칼라 이미지를 사용한다. 카메라와 화염의 거리에 화염과 카메라 거리가 10 m 이내의 영상을 사용하고, 이미지의 크기는 제한을 두지 않았다.

Figure 6는 각종 화염영상과 조명영상이다. Figure 7은 제안하는 임계값 조건으로 화염을 검출한 결과이다. 이 실험은 임계값 조건이 배경으로부터 화염을 검

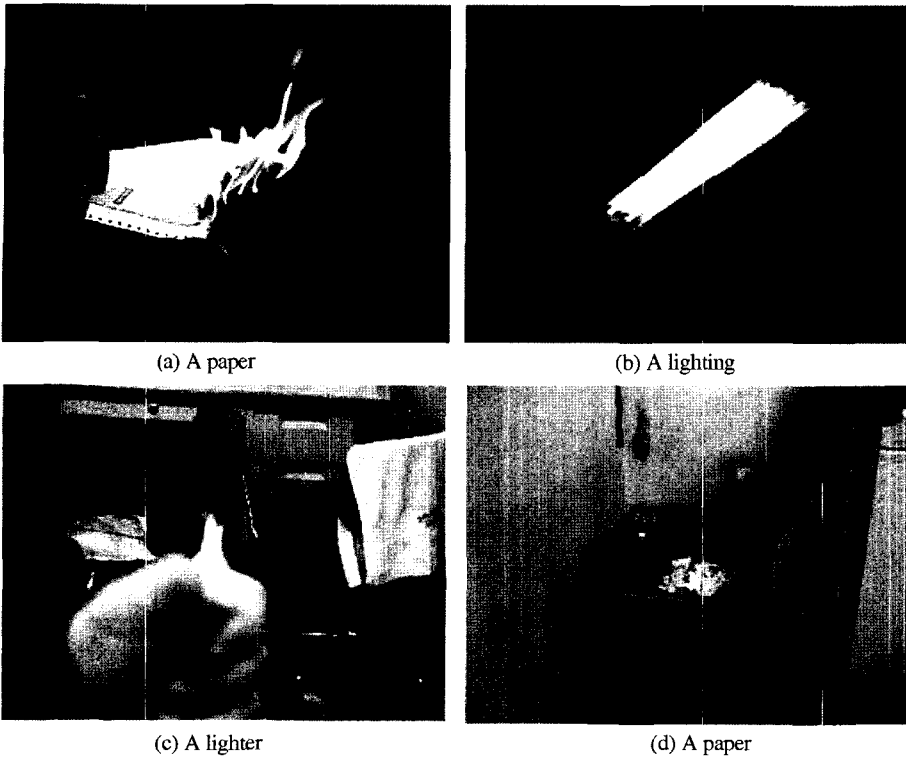


Figure 6. The fire images and lighting.

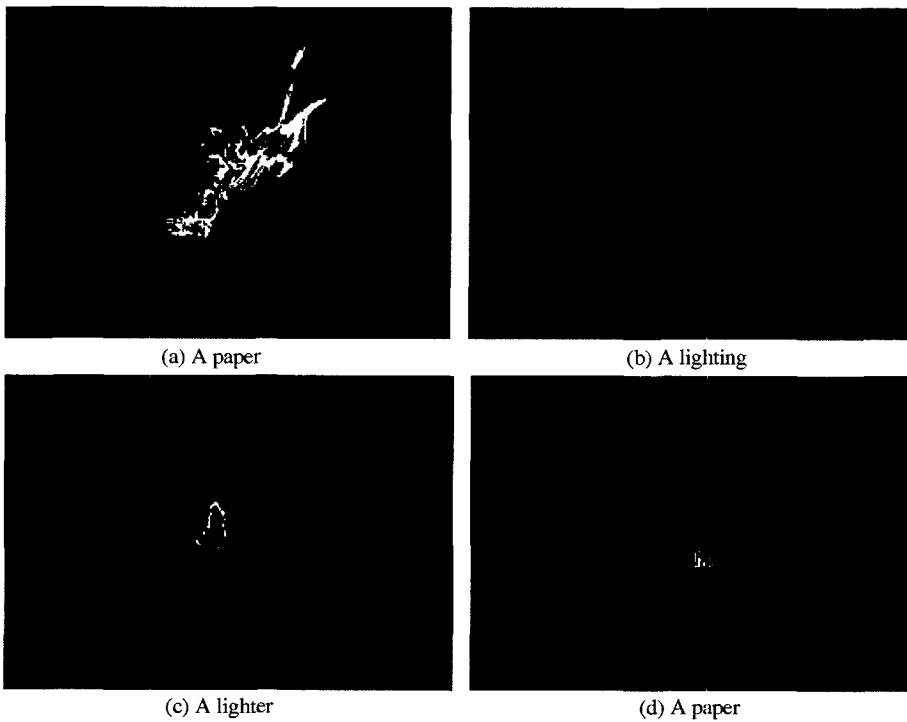


Figure 7. Fire candidate region detection.

출하고, 조명과 구분하는지를 확인한다. Figure 6에서 (a), (d)는 종이를 태울 때의 화염이고 (c)는 라이터의 화염, (b)는 형광등이다. 실험 결과 Figure 7의 (a), (b), (c), (d)에서 제안한 임계값은 화염과 배경색을 구분한다. 그리고 Figure 7의 (a), (c), (d)에서 화염을 잘 찾아내고 (b)에서는 조명은 검출되지 않았다. 그러나 Figure 7에서 (a), (c), (d)에서 검출한 화염영역은 Figure 6의 (a), (b), (c)에서 화염영역의 전체가 아니지만 잡음처럼 알아 볼 수 없을 정도는 아니다. 그러므로 화염 영역을 추출하는 과정에서 문제는 발생하지 않는다. 실험 결과 제안하는 임계값 조건은 화염과 배경색이 구분 가능하고 조명에 강건함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문은 기존의 화염검출 방법에서 조명과 화염을 구분하는 문제를 개선할 수 있고, 환경 변화에도 강건한 화염검출시스템을 제안하였다. 조명과 화염의 정확한 구분은 RGB 칼라 공간에서 화염과 조명의 성분을 분석하여 화염을 추출할 수 있는 임계값 조건을 설정하였다. 그리고 제안한 조건은 화염을 추출하고 조명에 강건함을 보였다.

설정된 임계값은 입력 영상에서 화염성분을 검출하지만 화염유사영역으로 인해 오검출이 발생한다. 화염의 변화를 검출하고 화염과 유사한 영역을 제거하기 위해서 영역평균 차 방법을 제안하였다. 실험결과 영역평균 차는 화염의 변화를 검출하여 움직임이 없는 오검출 영역의 제거하는데 효과적임을 보였다. 그리고 영역평균 차는 화염을 추출하는 과정에서 잡음제거, 레이블링 연산을 필요치 않으므로 영상 차 방법보다 연산량이 작고 화염추출이 용이하고 간단하다.

본 논문은 화염의 동적 특성과 밀집도를 계산하여 최종적으로 화재 발생 판정을 하는 방법을 제안하였다. 화염의 동적 특성을 이용하면 움직이는 화염 유사영역은 제거하고, 화염의 면적의 검사는 환경변화에 강건하게 한다. 그리고 최종적으로 화염의 밀집도를 계산하여 화염임을 확정한다.

향후 과제로는 화염과 비슷한 색깔을 가진 물체들은

강한 빛을 받게 되면 오검출이 발생할 수 있다. 그러므로 이 물체들의 색깔을 분석하여 보다 강건한 임계값 설정이 필요한 것 같다. 화염은 재료에 따른 화염색을 분석하여 화염의 임계값 설정이 필요하며 재료에 따른 화염의 진행 속도에 관한 실험이 필요한 것 같다. 그리고 밤과 낮의 시간에 따른 화염의 색 분포 조사가 필요하다.

#### 참고문헌

1. 백동현, 김장원, "RED Filtering과 Mask Matching을 이용한 화재위치 인식", 한국화재소방학회논문지, Vol. 19, No.4, pp.64-68(2005).
2. T.-H. Chen, C.-L. Kao, and S.-M. Chang, "An Intelligent Real-time Fire-detection Method based on Video Processing", Security Technology, 2003. Proceedings IEEE 37th Annual 2003 International Carnahan Conference, pp.104-111, Oct. 14-16(2003).
3. S. Noda and K. Ueda, "Fire Detection in Tunnels Using an Image Processing Method", in Proceedings of the 1994 Vehicle Navigation and Information System Conference, pp.57-62, Aug. 31-Sept. 2(1994).
4. E. Den Breejen, Marcel Breuers, Frank Cremer, Rob Kemp, Marco Roos, Klammer Schutte, and Jan S. de Vries, "Autonomous Forest Fire Detection", proc. Third Int'l Conf. Forest Fire Research, pp.2003-2012, Bellingham, Wash(1998).
5. G. Healye, D. Slater, T. Lin, B. Drda, and A.D Goedeke, "A System for Real-Time Fire Detection", IEEE Conf Computer Vision and Pattern Recognition, pp.605-606(1994).
6. Y. Cappellini, L. Mattii, and A. Mecocci, "An Intelligent System for Automatic Fire Detection in Forests", IEEE 3th International Conference on Image Processing and Its Applications, pp.563-570 (1989).
7. H. Yamagishi and J. Yamaguchi, "Fire Flame Detection Algorithm Using a Color Camera", in Proceedings of the 1999 International Symposium on Micromechatronics and Human Science, pp.255-260(1999).