

## 화재 조기 인식을 위한 화염 및 연기 검출 알고리즘 개발 Development of Flame and Smoke Detection for Early Fire Recognition

박장식<sup>†</sup> · 김대경 · 최수영\* · 이영성\*\*

Jang-Sik Park<sup>†</sup> · Dae-Kyung Kim · Soo-Young Choi\* · Young-Sung Lee\*\*

동의과학대학 디지털정보전자과, \*(주)에이치엠씨 부설연구소, \*\*한국전력 강원지사  
(2008. 5. 20. 접수/2008. 11. 6. 채택)

### 요 약

본 논문에서는 화재의 조기 감지를 위하여 카메라 입력영상으로부터 화염과 연기를 검출하는 알고리즘을 제안한다. 화염과 연기는 특정 색분포를 가지며 지속적으로 형태가 변화하며 움직인다. 제안하는 화염 검출 알고리즘은 화염의 색분포와 영상 프레임간의 변화를 측정하여 후보영역을 설정하고 화염의 움직임 벡터를 계산하여 화염을 확정한다. 연기에 의하여 영상의 고주파수 성분이 감소하기 때문에 경계값의 변화는 연기의 중요한 특징이다. 연기 검출은 색분포, 영상 프레임간의 변화 그리고 경계를 이용하여 후보영역을 설정하고 움직임 벡터를 계산하여 결정한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안하는 알고리즘으로 화염과 연기를 검출할 수 있음을 보인다.

### ABSTRACT

In this paper, a flame and smoke detection algorithm is proposed to recognize a fire. Flame and smoke have specific color distribution and continuously change shapes of them. In the proposed flame detection algorithm, specific regions are candidates as flame by color distributions and variations of frames of video. Some of candidates regions are decided as flame by the magnitude of motion vector. To determine smoke in the field of view of camera, edge is important because high frequency component is decreased by it. Candidate region of smoke is assigned by color distributions, inter-frame differences and the value of edge. The candidate region is settled as smoke region with magnitude of motion vector. As results of simulations, it is shown that the proposed algorithm is useful for flame and smoke detection.

**Keywords :** Fire Recognition, Flame Detection, Smoke Detection, Activity, Motion Vector

### 1. 서 론

최근 건축되고 있는 고층 건물과 터널, 교량 등은 다양한 정보통신기술이 적용되어 편리하게 이용할 수 있다. 그러나, 고층 건물 등에 화재가 발생하면 인적, 물적 피해가 커진다. 피해를 최소화하기 위해서는 초기에 화재를 감지하여 대응하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 조기 화재 검출을 위하여 CCTV 카메라의 영상신호를 처리하여 발화 초기에 화재를 인식하여 경보를 발생하기 위한 화염 및 연기 검출 알고리즘을 제안한다.

카메라를 이용한 화재감지는 초기에는 흑백영상을 이용하여 터널<sup>1)</sup>과 산을 대상으로 화재 감지를 하였다.<sup>2)</sup> 초기에는 화염의 시간적인 변화 특성을 이용하여 흑백영상에서 히스토그램 변화 등을 측정하여 화염을 검출하였으나 최근에는 색영상 정보를 이용하여 화염을 검출하는 방법들이 제안되고 있다.<sup>3,4)</sup>

본 논문에서는 화재 감지를 위하여 입력 영상신호의 색분포와 움직임 특성을 이용하여 화염과 연기를 검출하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 카메라 입력 영상신호의 색분포를 분석하여 화염과 연기의 색영역을 설정하고 배경(background)과 입력영상의 차를 이용하여 화염과 연기 후보영역을 결정한다. 후보 영역 중에서 화염 혹은 연기와 유사한 색을 가진 물체

<sup>†</sup>E-mail: jsipark@dit.ac.kr

가 움직이는 것에 의한 오검출을 줄이기 위하여 움직임 벡터(motion vector)를 계산하여 최종적으로 화염을 확정한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안하는 알고리즘으로 화염과 연기를 검출할 수 있음을 확인한다.

## 2. 화재의 특징

화재의 징후인 화염과 연기는 고정된 형태와 크기를 갖지 않기 때문에 일반적인 영상인식 기법으로 화재를 검출할 수 없다. 화염과 연기를 검출하기 위해서는 화염과 연기의 고유한 영상 특징을 분석하는 것이 필요하다.

### 2.1 화염 영상의 특징

화염은 화재가 발생하였을 때 초기부터 나타나는 현상으로 화재의 중요한 특징이며 화염 검출은 화재를 감지하는데 중요한 역할을 한다. 화염은 인공조명과 다른 고유한 색분포를 가지며 지속적으로 변화한다.<sup>5)</sup>

Figure 1은 화염의 RGB 색좌표계에서 색분포를 분석한 결과이다.

Figure 1의 (a)와 (b)는 각각 인공조명과 화염의 영상이며 (c)와 (d)는 각각 RG와 GB축에서 분석한 결과이다. 빨간색이 파란색과 초록색보다 높게 나타난다. 밝기값도 주변에 비하여 높게 나타난다. Figure 1에서 “x”로 표시된 값들이 인공조명의 색좌표계 상의 위치이며 “o”로 표시되어 있는 값들이 화염의 색좌표계상의 위치이다. 인공조명은 RG, GB축에서 선형의 특징을 갖는다. 인공조명과 화염을 구분하기 위한 임계값은 실선으로 표시되어 있다. 실선을 화염 검출을 위한 임계값으로 설정하면 인공조명과 화염을 구분할 수 있다.

화염은 일정한 형태를 유지하는 것이 아니라 지속적

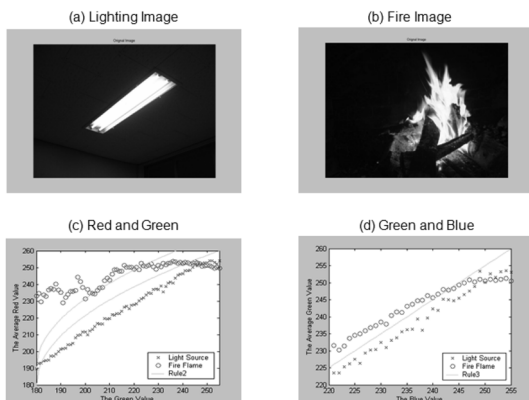
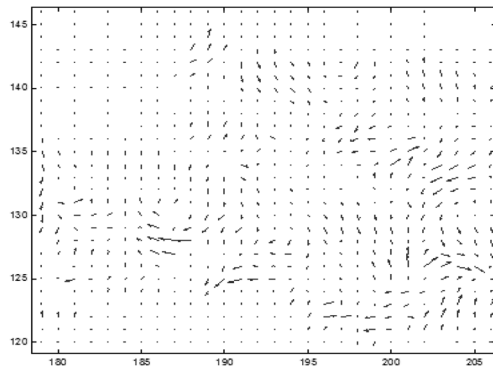


Figure 1. RGB distributions of artificial light and flame.



(a) Flame video



(b) Motion vector

Figure 2. Motion vector of flame video.

으로 변화한다. 화재가 발생하면 기존 영상과 다른 변화가 생길 뿐만 아니라 화염의 형태가 지속적으로 변화한다. Figure 2는 화염의 변화 특성을 나타낸 것으로 화염 영역의 움직임 벡터를 측정하는 것이다. 화염 영역 내에서 움직임이 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

### 2.2 연기 영상의 특징

연기는 화재가 발생하면 광범위하게 확산되어 원거리에서도 화재를 인지할 수 있는 유용한 정보이다. 연기의 영상 특징은 크게 색과 배경의 변화이다. 흰 연기의 밝기값은 크지만 검은 연기의 밝기는 낮게 나타나기 때문에 단순히 영상의 밝기만으로 연기를 검출할 수 없다.

Figure 3은 야산에 화재가 발생한 영상으로 연기영역에는 밝기가 다양하게 분포하는 것을 확인할 수 있다. 다른 영역과 구분되는 특징으로 연기는 채도가 낮기 때문에 색차가 작게 나타난다. 따라서 색정보를 이용하여 연기를 구분하기 위해서는 색차신호를 활용하는 것이 바람직하다.

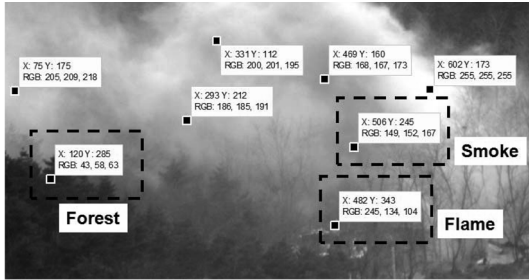
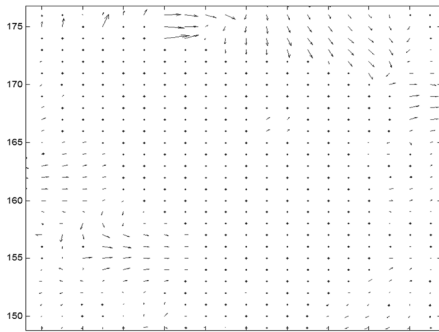


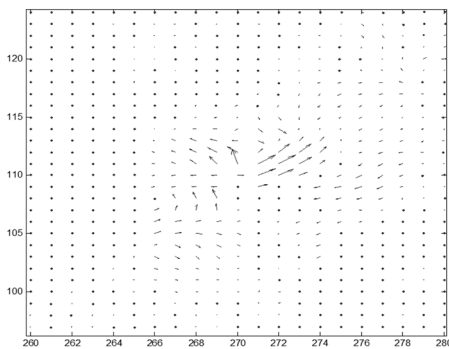
Figure 3. Color distribution of smoke and flame.



(a) A and B are smoke region of video

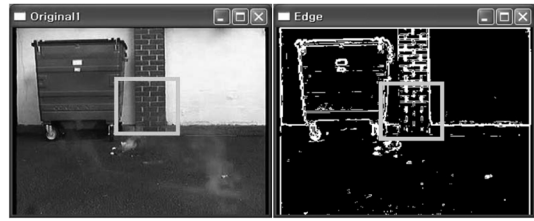


(b) motion vector of smoke region A



(c) motion vector of smoke region B

Figure 4. motion vectors of smoke regions in a frame of video.



(a) The beginning of fire and the edge



(b) The spread of smoke and the edge

Figure 5. Variations of edges by smoke in a video.

연기의 또 다른 영상 특징은 배경의 변화와 형태의 변화이다. 연기는 일반적으로 화재 발생 위치에서 위쪽으로 이동하면서 확산되고 열어진다. Figure 4의 연기 영역에는 움직임이 현저히 나타나는 것을 확인할 수 있다. 움직임의 측정은 연기의 외곽을 추출하는데 유용하다.

진한 연기가 발생하면 배경이 완전히 가려 보이지 않게 되지만 연기가 확산되어 열어지고 배경이 흐리게 보인다. Figure 5는 영상의 경계를 측정하는 것으로 벽돌이 있는 영역이 연기에 의하여 경계(edge) 특징이 변화한다. (a)는 화재 발생 초기로써 경계가 잘 나타나지만 (b)와 같이 연기가 벽돌 영역으로 확산될 때는 경계가 흐려진다. 따라서 확산된 연기에 의하여 경계가 흐려지는 것을 연기의 특징으로 화재를 인지하는데 활용할 수 있다.

### 3. 화염 및 연기 검출 알고리즘

언급한 화염과 연기의 특징을 이용한 화염과 연기를 각각 검출하여 화염 혹은 연기가 검출되면 화재 경보를 발생한다. Figure 6은 화염과 연기를 검출하는 과정을 나타내는 흐름도이다.

#### 3.1 화염 검출 알고리즘

화염의 영상 특성을 반영한 화염 검출 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

- ① 색분식에 의한 화염 후보 영역 검출
- ② 배경 영상과 입력 영상의 차를 이용한 밝기 변화 검출
- ③ 움직임 벡터 측정

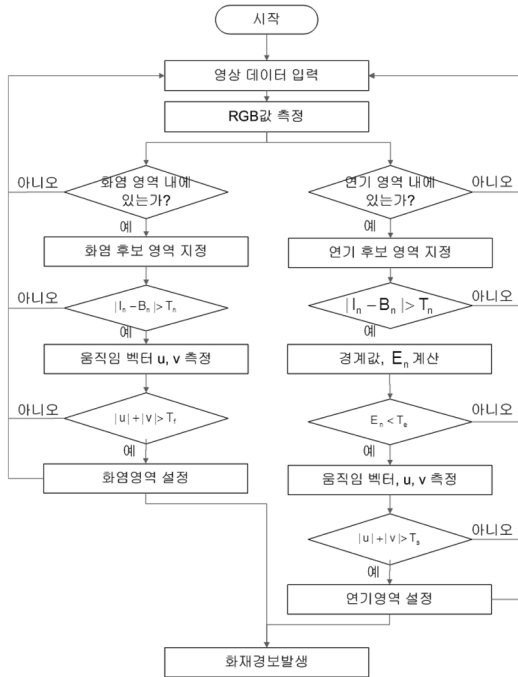


Figure 6. Flow chart of the proposed fire detection algorithm.

화염 색분포와 입력 영상의 색을 비교하여 화염 후보영역을 설정한다. 화염의 화소 특징은 RGB 색좌표계에서 일반적으로 빨간색 계통이 초록색보다 크고 화염은 주변 환경에 비하여 밝은 분포를 갖는다. 이러한 화염의 물리적인 특징을 반영하여 화염 영역은 기본적으로 빨간색(R)이 주변에 비하여 높게 나타나고(조건 1) 빨간색(R)이 초록색보다 크다(조건 2). 그리고 밝기는 주변에 비하여 높게 나타난다(조건 3). 다음과 같이 세 가지 조건을 만족하는 화소에 대하여 화염 후보로 설정한다.

- 조건 1:  $R > 75$
- 조건 2:  $R > G$
- 조건 3:  $(R+G+B)/3 > 175$

조건 1의 임계값 75와 조건 3의 임계값 175는 실험적으로 정한 값이며, 카메라의 특성에 따라서 다소 조정할 필요가 있다. 화재가 발생하면 영상에는 배경과 밝기의 변화가 생긴다. 밝기 변화를 이용한 화염 후보를 검출하기 위하여 배경을 추정하여야 한다. 본 논문에서는 적응적 배경추정 기법(adaptive background estimation)<sup>6)</sup>을 활용한다.

한국화재소방학회 논문지, 제22권 제4호, 2008년

배경을 추정하는데 있어 밝기값의 변화를 위주로 움직임을 검출하는데 임계값을 가변하지 않을 경우 시간에 따라서 밝기값이 변화하는 것도 화소 이동하는 것으로 판단할 수 있기 때문에 가변 임계값을 적용 배경추정 기법을 이용한다. 그리고 움직이는 화소는 배경 갱신에 포함하지 않는다.

움직이는 화소에 대한 판단은 아래의 식(1), (2) 조건 중에서 하나라도 만족하면 움직이는 화소로 처리한다.

$$\text{if } |I_n(x, y) - I_{n-1}(x, y)| > T_n(x, y) \quad (1)$$

pixel at (x,y) is moving

$$\text{if } |I_n(x, y) - B_n(x, y)| > T_n(x, y) \quad (2)$$

pixel at (x,y) is moving

$I_n(x, y)$ 는 x, y 위치의 입력 영상 화소이며, n은 프레임 인덱스이며, n-1은 n 프레임 직전 프레임을 의미한다.  $T_n(x, y)$ 은 x,y 위치의 가변 임계값이다.  $B_n(x, y)$ 는 x,y의 배경영상이다.

배경영상은 식(3)과 같이 추정한다. 식(1), (2)에서 움직이지 않는 화소에 대하여 배경을 입력 영상에 가중치를 주어 갱신하고 움직이는 화소는 해당 화소를 갱신하지 않는다.

$$B_{n+1}(x, y) = \begin{cases} aB_n(x, y) + (1-a)I_n(x, y) & \\ I_n(x, y) \text{ is stationary} & \\ B_n(x, y), & \\ I_n(x, y) \text{ is stationary} & \end{cases} \quad (3)$$

여기서, a는 망각계수(forgetting factor)로써 작은 변화에 대하여 배경영상을 추정하도록 하고  $0.9 < a < 1$  범위의 값을 갖는다. 그리고, 화소의 움직임을 결정하는 임계값은 식(4)와 같이 갱신한다.

$$T_{n+1}(x, y) = \begin{cases} aT_n(x, y) + (1-a)(b|I_n(x, y) - B_n(x, y)|), & \\ \text{stationary} & \\ T_n(x, y), & \\ \text{moving} & \end{cases} \quad (4)$$

b는 입력영상과 배경영상 차를 임계값에 반영하기 위한 가중값(weight)이다. 움직이는 화소에 대해서는 갱신을 하지 않고 변화가 없는 화소에서는 입력영상과 배경영상의 차에 가중치를 두고 갱신한다. 즉, 입력영상의 밝기값의 변화가 작은 경우에는 움직임이 없는 것으로 간주하고 배경으로 갱신하는 것이다. 이는 카메라가 설치되어 있는 공간의 시간적인 변화를 반영하기 위한 것이다.

색분포와 밝기값의 변화를 측정하여 화염 후보영역

을 설정하고 화염을 확정하기 위하여 움직임 벡터를 추정한다.<sup>7)</sup> 움직임 벡터 검출을 위하여 다음의 식(5)을 정의한다.

$$I_x u + I_y v + I_t = 0 \tag{5}$$

$I_x$ 와  $I_y$ 는 각각 입력영상의 수평, 수직성분에 대한 영상 밝기의 미분값이며,  $I_t$ 는 영상의 각 프레임 간 화소의 밝기 변화, 즉, 미분값이며,  $u$ 와  $v$ 는 각각 수평, 수직성분에 대한 광학적 흐름(optical flow), 즉, 움직임이다.  $|u| + |v| > T_f$  이면 최종적으로 화염으로 설정한다.  $T_f$ 는 화염 검출을 위한 임계값이다.

$(x, y)$  위치에 있는 임의의 화소에 대한 움직임을  $u_{x,y}$ ,  $v_{x,y}$ 라 하면 이를 반복적으로 구하는 식은

$$u_{x,y}^{k+1} = \bar{u}^k - \frac{I_x [I_x \bar{u}_{x,y}^k + I_y \bar{u}_{x,y}^k + I_t]}{\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2} \tag{6}$$

$$v_{x,y}^{k+1} = \bar{v}^k - \frac{I_y [I_x \bar{v}_{x,y}^k + I_y \bar{v}_{x,y}^k + I_t]}{\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2} \tag{7}$$

이다.  $\bar{u}_{x,y}^k$ ,  $\bar{v}_{x,y}^k$ 는  $(x, y)$ 에 위치에 있는 임의의 화소에 주변화소 8개 화소의 평균 움직임이다.  $\alpha$ 는 0으로 나누어지는 것을 방지하기 위한 값이다.

식(6)과 (7)에서  $\bar{u}_{x,y}^{k+1}$ 와  $\bar{v}_{x,y}^{k+1}$ 를 반복적으로 구하기 위하여  $I_x$ ,  $I_y$  그리고  $I_t$ 를 구하는 방법은 다음과 같다.

$(x, y)$  위치의 영상밝기 수평 미분값,  $I_x$ 는  $(x, y)$ 에 위치에 있는 임의의 화소를 중심으로 주변의 8 화소와  $[-1 \ -2 \ -1; \ 0 \ 0 \ 0; \ 1 \ 2 \ 1]$  행렬을 곱하여 구하고  $(x, y)$  위치의 영상밝기 수직 미분값,  $I_y$ 는  $(x, y)$ 에 위치에 있는 임의의 화소를 중심으로 주변의 8 화소와  $[-1 \ 0 \ 1; \ -2 \ 0 \ 2; \ -1 \ 0 \ 1]$  행렬과 곱하여 구한다.  $I_t$ 는 현재 프레임의 각 화소에 대하여 임의의 앞 프레임의 각 화소와  $[-1 \ 1]$  곱하여 구한다. 상기의 계산의 통하여 각각 공간상의  $(x, y)$  위치의 화소에 대한 미분값과 시간상의 미분값을 구할 수 있다. 주변화소의 움직임 값의 평균인  $\bar{u}_{x,y}^k$ ,  $\bar{v}_{x,y}^k$ 는 각각  $[0 \ 1 \ 0; \ 1 \ 0 \ 1; \ 0 \ 1 \ 0]$  행렬과 그 전치행렬로 구한다.

상기  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_t$ 와  $\bar{u}_{x,y}^k$ ,  $\bar{v}_{x,y}^k$ 를 구하는 절차에 따라서 각 프레임의 화소들에 대하여 계산을 하고, 움직임 벡터,  $\bar{u}_{x,y}^{k+1}$ 와  $\bar{v}_{x,y}^{k+1}$ 를 식(6), (7)의 순서에 따라서 구한다.

### 3.2 연기 검출 알고리즘

연기의 특성을 활용한 연기 검출알고리즘은 다음과 같다.

- ① 색분포(색차)을 이용한 연기 후보영역 검출
- ② 배경과 입력 영상의 차를 통한 변화 검출

③ 경계 검출을 통한 연기 영역 설정

④ 움직임 벡터 추정

나무 혹은 종이에 의한 화재는 대체로 흰 연기가 발생하기 때문에 밝기가 밝으며 연기는 채도가 낮기 때문에 색차값이 작은 특징이 있다. 이러한 연기의 물리적인 특징을 반영하여 입력된 색영상에 대하여 연기영역을 판별하는 것은 영상의 화소의 밝기(Intensity)가 식(8)과 같이 임의의 설정값(예, 최대 밝기가 255 인 경우 120으로 설정) 보다 높고

$$\frac{R+G+B}{3} > 120 \tag{8}$$

영상의 각 화소의 빨간색, 초록색, 파란색 값 분포가 식(9)과 같은 조건에 대하여 분포하게 되면 연기영역으로 먼저 설정한다.

$$\begin{aligned} |R-B| < 15 \\ |R-G| < 15 \\ |G-B| < 15 \end{aligned} \tag{9}$$

즉, 빨간색, 초록색, 파란색의 색차가 임의의 값(예, 각 화소의 최대 색값이 255 인 경우 15로 설정)보다 작은 경우에 대하여 연기영역으로 설정한다.

배경 추정 알고리즘은 화염 검출에 사용한 알고리즘과 동일한 방법으로 배경을 추정한다.

경계검출 알고리즘(edge detection algorithm)은 영상 처리 및 컴퓨터 비전에서 기본적으로 사용된다. 경계 검출은 마스크의 종류에 따라서 Prewitt, Roberts, Sobel 알고리즘으로 구분된다. Prewitt 혹은 Roberts 은 단순히 인접 픽셀에 대하여 더하고 빼기만 하여 경계검출을 할 수 있다. 이에 비하여 Sobel은 계산량이 다소 많지만 입력 영상에 대하여 Sobel의 경계검출이 다른 알고리즘에 비하여 경계가 잘 나타난다. 따라서 본 논문에서는 Sobel 알고리즘을 이용하여 경계를 검출한다.

입력영상의 움직임 벡터를 추정하여 설정한 임계값 이상이 되면 연기영역으로 확정한다.

## 4. 시뮬레이션 및 결과 검토

제안하는 화염과 연기 검출 알고리즘을 검증하기 위하여 촬영된 화염과 연기 동영상<sup>8)</sup>에 대하여 각각 화염과 연기를 검출하는 시뮬레이션을 하였다. Figure 7은 화염을 검출하는 시뮬레이션 결과로써 (a)는 색분포로 검출한 후보영역이며 (b)는 추정된 배경이다. (c)는 움직임벡터를 계산하여 결정한 화염영역이며 (d)는 검출된 화염영역을 네모 박스로 표시한 것이다.

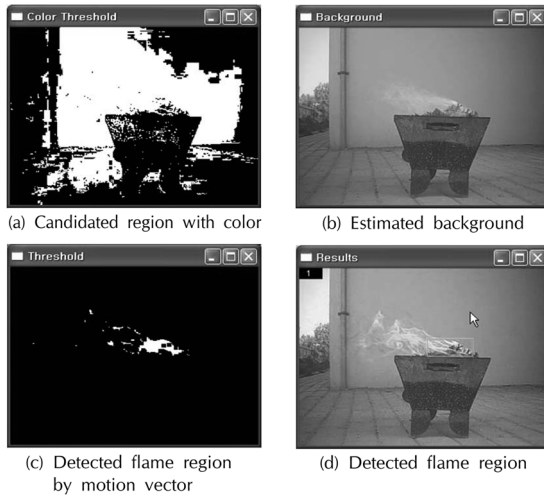


Figure 7. Simulation results of flame detection.

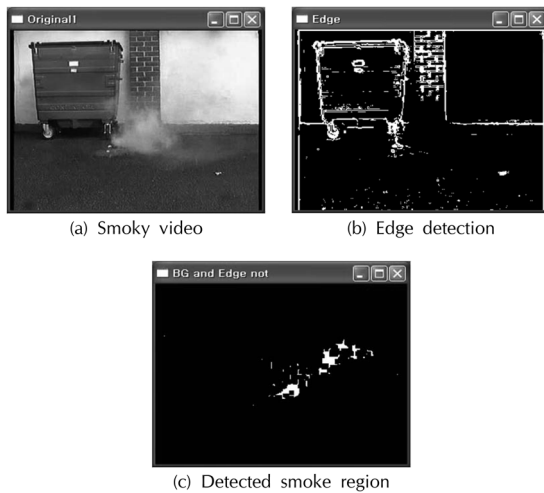


Figure 8. Simulation results of smoke detection.

Figure 8은 연기 검출과정을 나타낸 것으로 (a)는 연기가 있는 영상이며 (b)는 경계검출을 한 그림이다. (c)는 색분포, 배경과의 변화, 경계 검출 그리고 움직임 벡터를 이용하여 최종적으로 결정한 연기영역을 표시한 것이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 화염과 연기의 영상 특징을 분석하고 화염과 연기를 검출하는 알고리즘을 제안한다. 제안하

는 화염 검출알고리즘은 화염 색분포와 배경과 입력 영상의 차를 이용하여 후보 영역을 검출하고 후보 영역의 움직임 벡터를 측정하여 화염을 확정한다. 연기 검출은 연기의 색분포, 배경과 입력 영상의 차 그리고 경계값을 측정하여 후보 영역을 검출하고 움직임 벡터 계산을 통하여 연기임을 결정한다.

화재가 발생한 동영상에 대하여 제안하는 알고리즘으로 화염과 연기를 각각 검출할 수 있음 확인하였다. 멀티미디어용 DSP를 이용하여 제안하는 알고리즘을 구현하고 실시간으로 화염과 연기를 검출하는 실험을 하고자 한다.

## 참고문헌

1. S. Noda and K. Ueda, "Fire Detection In Tunnels Using an Image Processing Method", Proceedings of Vehicle Navigation & Information Systems Conference, pp.57-62(1994).
2. E. D. Breejen, M. Breuers, F. Cremer, R. Kemp, M. Roos, K. Schutte, J. S. de Vries, "Autonomous Forest Fire Detections", International Conference on Forest Fire Research 14th Conference on Fire and Forest Meteorology VOL. II, pp.2003-2012(1998, Nov.).
3. H. Yamagishi, J. Yamaguchi, "Fire Flame Detection Algorithm Using a Color Camera", International Symposium on Micromechatronics and Human Science(1999).
4. K. Beall, W. Grosshadler and H. Luck, "Smoldering Fire Detection by Image-processing", 12th International Conference on Automatic Fire Detection(2001, March).
5. 박장식, 김현태, 박수창, 손경식, "조명과 환경 변화에 강건한 화염 검출 시스템", 한국화재소방학회 논문지, 제22권 제1호, pp.68-75(2008).
6. R. T. Collins, A. J. Lipton, T. Kanade, "A System for Video Surveillance and Monitoring", Proc. of American Nuclear Society 8th, International Topical Meeting on Robotics and Remote Systems, Pittsburgh, PA(April, 1999).
7. A. Bruhn, J. Weickert and C. Schnorr, "Lucas/Kanade Meets Horn/Schunck: Combining Local and Global Optic Flow Methods", International Journal of Computer Vision, 61(3), pp.211-231(2005).
8. B. U. Toreyin, Y. Dedeoglu, and A. E. Cetin, "Wavelet Based Real-time Smoke. Detection in Video," EUSIPCO '05(2005).