

조기 화재인식을 위한 화염 및 연기 검출

박장식* · 김현태** · 최수영*** · 강창순*

*동의과학대학, **동의대학교, *** (주)에이치엠씨 부설연구소

Flame and Smoke Detection for Early Fire Recognition

Jang-sik Park* · Hyun-tae Kim** · Soo-Young Choi*** · Chang-Soon Kang*

*Donggeui Institute of Technology, **Donggeui University, ***HMC Ltd.

E-mail : jsipark@dit.ac.kr

요 약

본 논문에서는 화재에 의한 인적물적 피해를 최소화하기 위하여 조기에 화재를 영상처리 기법을 이용하여 검출하는 방법을 제안한다. 인공조명으로 부터 화염을 판별하기 위해 화염의 고유한 색정보를 이용하여 화염후보영역을 판별하고 화염후보영역이 아닌 경우는 배경과 현재 프레임의 밝기차이와 채도를 측정하여 연기후보영역을 판별한다. 그러나 단순한 밝기 및 색채 정보만으로 화염이나 연기로 판별할 경우 오인식할 경우가 많아 화염 및 연기 후보영역에 대해 움직임을 측정한다. 각 후보영역에 대해 전형적인 움직임이 검출되면 최종적으로 화염인 경우는 활동성 정보를 이용하여 화염으로 판별하고 연기인 경우는 경계검출법을 적용하여 최종 연기 영역을 검출한다. 제안하는 방법에 대해 실제 CCTV 카메라의 영상신호에 적용한 시뮬레이션을 통해 효과적으로 화염과 연기를 동시에 검출할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

Many victims and property damages are caused in fires every year. In this paper, flame and smoke detection algorithm by using image processing technique is proposed to early alarm fires. The first decision of proposed algorithms is to check candidate of flame region with its unique color distribution distinguished from artificial lights. If it is not a flame region then we can check to candidate of smoke region by measuring difference of brightness and chroma at present frame. If we just check flame and smoke with only simple brightness and hue, we will occasionally get false alarms. Therefore we also use motion information about candidate of flame and smoke regions. Finally, to determine the flame after motion detection, activity information is used. And in order to determine the smoke, edges detection method is adopted. As a result of simulation with real CCTV video signal, it is shown that the proposed algorithm is useful for early fire recognition.

키워드

Fire, Flame, Smoke, Background Estimation, Optical Flow

1. 서 론

화재가 발생하면 재산 및 인명 피해를 심각하게 줄 수 있다. 특히, 공공시설과 사람이 밀집하는 공공장소에서의 화재는 큰 피해를 줄 수 있다. 본 논문에서는 공공시설에 설치되어 있는 CCTV 카메라의 영상신호를 분석하여 연기를 검출하여 화재 검출하여 조기 경보를 발생함으로써 화재에 의한 피해를 최소화하기 위하여 연기 검출 알고리즘을 개발하였다. 화재 감지를 위하여 기존의 방법들은 연기 또는 온도 센서를 이용하여 화재를 감지한다. 화재가 발생한 후 연기가 생기면 온

도 센서에서 감지 정도로 온도가 높아지면 화재는 이미 확산된 상태이기 때문에 화재를 진압을 위하여 대응하는데 어려움을 겪게 된다. 따라서 영상정보를 이용하여 화염과 연기를 검출하여 화재를 인식하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다[1-3]. 본 논문에서는 다양한 주변 환경에 대하여 영향을 받지 않고 화재를 검출하기 위하여 화염 및 연기의 색정보를 기본적으로 검출하고 화염과 연기의 특징을 분석하여 화재를 조기에 검출하는 알고리즘을 제안한다.

II. 화염의 특징

2.1 색정보

화염의 색 특징은 전반적으로 인공조명 혹은 주변 환경과 다른 색 특징들이 나타난다. 아래 그림 2은 인공조명과 화염의 RGB 분석한 결과이다.

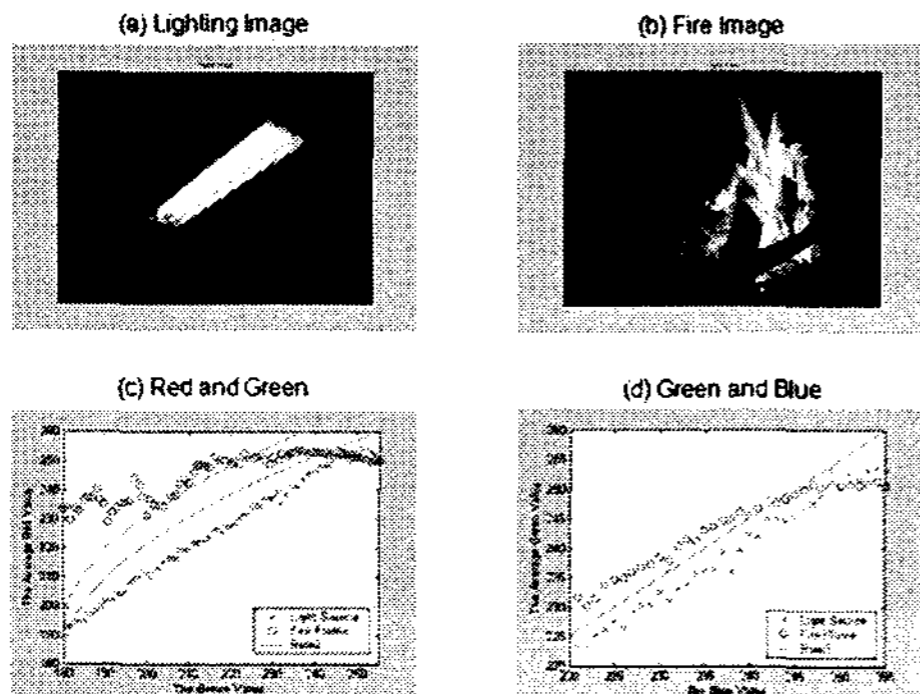


그림 1. 인공조명과 화염의 색분포

앞의 그림에서 (a)와 (b)는 각각 인공조명과 화염의 영상이며 (c)와 (d)는 각각 R-G와 G-B 색좌표계 상에서 분석한 결과이다.

빨간색(R, red)이 파란색(B, blue)과 초록색(G, green)보다 높게 나타난다. 그리고 밝기값도 주변에 비하여 높게 나타나고 있다. 앞의 그림에서 "x" 표시된 값들이 인공조명의 색좌표계의 위치이며, "o"로 표시되어 있는 값들이 화염의 색좌표계 위치이다. 인공조명은 R-G, G-B 좌표계에서 선형의 특징을 갖는다. 그리고 인공조명과 화염을 구분하기 위한 임계값은 초록색 실선으로 표시하였다. 초록색 실선을 화염 검출을 위한 임계값으로 설정하면 인공조명과 화염을 구분할 수 있을 것으로 판단된다.

2.2 움직임 특징

화재 발생 현장의 근거리에서 카메라가 설치된 경우에 대하여 화염영상과 이를 움직임벡터 분석을 한 결과를 그림 3에서 나타내고 있다. 화염으로 검출된 영역에 대하여 움직임벡터를 계산한 결과이다.

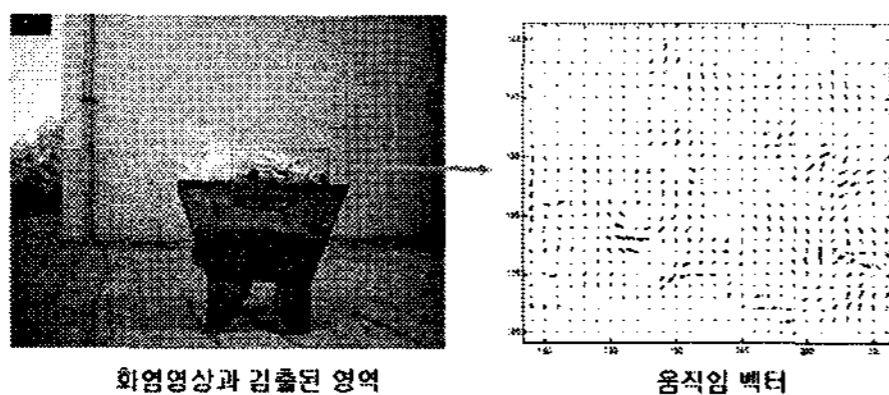


그림 2. 화염의 움직임벡터

화염 영상은 영역 내에서 동적인 움직임이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 움직이는 방향이 다양한 방향으로 움직이고 있다. 그러나, 아래의 영상과 달리 원거리에 있는 경우에는 움직이 있지만 그림 3과 같은 동적인 움직임은 나타나지 않는다.

III. 화재에서의 연기의 특징

화재 발생시 연기의 특징은 크게 색정보와 배경 변화이다. 연기의 색정보 특성은 그림 2와 같이 야산에 화재가 발생한 경우 점선으로 표시한 연기 영역의 색차가 화염 영역의 색차에 비하여 색차 값이 작음을 알 수 있다. 그리고, 숲영역 또한 색차가 크지 않지만 전체적으로 각 색의 값이 낮다. 이는 밝기값이 낮음을 의미한다. 그러나, 연기영역 중에서도 밝기값이 낮은 영역이 있기 때문에 연기를 검출하는데 있어 밝기 정보 즉, YCbCr 색좌표계에서 Y 값을 연기 검출에 적용하기는 어렵다. 색차가 낮은 것은 색의 채도가 떨어졌음을 의미한다. 따라서, YCbCr 색 좌표계에서 Cb, Cr 정보를 이용하여 연기 후보 영역을 결정할 수 있다.

한편, 색정보 외에 연기의 또 다른 특성은 배경의 변화와 연기의 움직임이다. 일반적으로 연기는 화재 발생 위치에서 위쪽으로 이동하면서 확산된다. 그림 3은 촬영한 영상에 대하여 움직임 벡터를 측정하였다. 두 영역에서의 움직임 벡터가 연기의 외곽 영역에 움직임이 현저히 나타남을 알 수 있다. 연기의 특성이 지속적으로 움직이는 것이고 움직임 벡터 측정에서는 연기의 외곽을 추출하는데 유용하다고 할 수 있다.

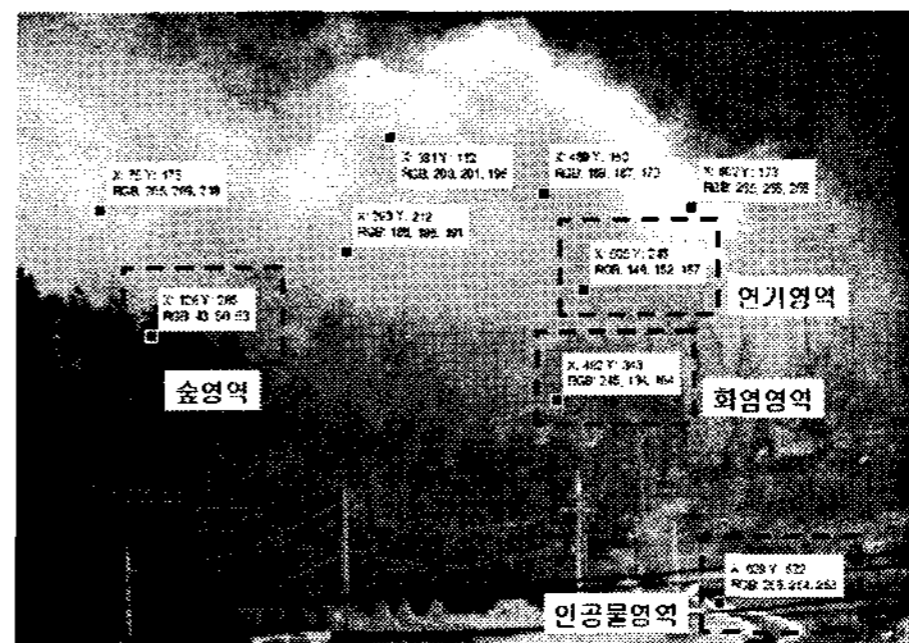


그림 3. 연기와 화염의 색분포

연기의 움직임 외에 연기에 의하여 배경의 변화가 발생한다. 진한 연기가 발생하면 배경이 완전히 가려지지만 일반적으로 배경이 흐려진다. 그림 4은 연기에 의한 배경의 변화를 나타낸 것이다. 위의 두 그림은 연기가 발생하는 초기이고 아래의 그림은 연기가 어느 정도 확산된 상황이다. 노란색 박스로 표시된 영역을 관찰하여 보면 연기가 발생하는 초기에는 경계(edge)를 검출하였을 때 벽돌이 있는 경계가 선명하게 나타남을 알 수 있다. 그러나, 아래와 같이 연기 어느 정도 확산된 이후에는 그 경계가 거의 없어졌음을 확인할 수 있다. 그리고

그림에서 연기가 발생하였을 때 일부 영역은 완전히 연기에 의하여 가려지지만 대부분의 영역은 연기에 의하여 경계가 흐려짐을 알 수 있다. 따라서, 연기를 검출하는데 있어 경계가 흐려지는 정보가 유용함을 알 수 있다.

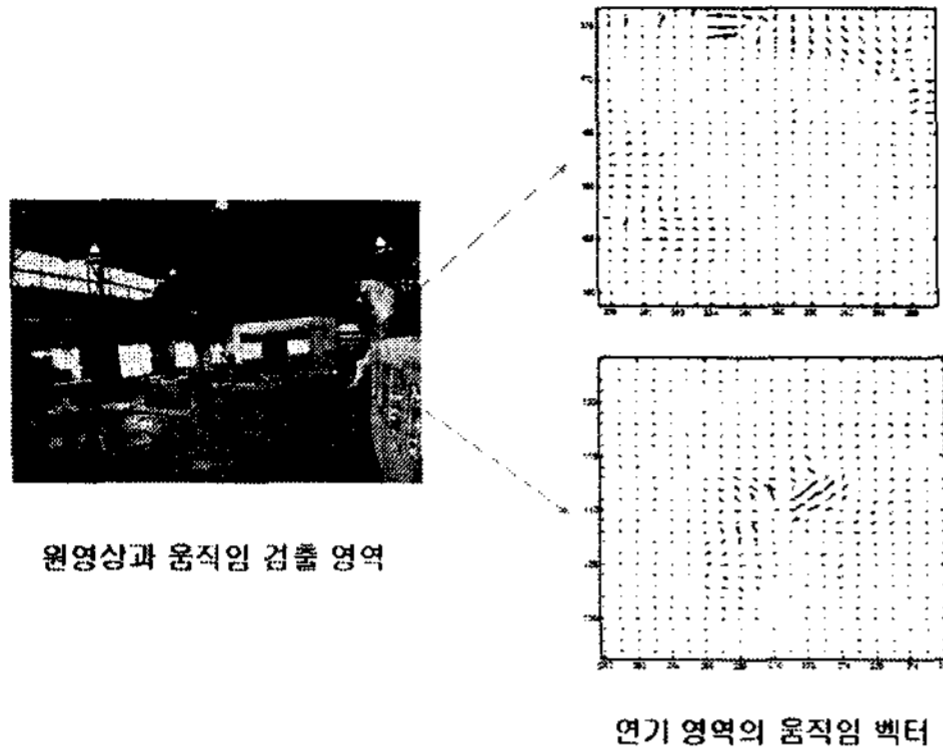


그림 4. 연기의 움직임 벡터

그림 5는 야외 영상에 대하여 Wavelet 영역 주파수 분석을 한 결과로서 연기가 있는 영역은 수평 수직 주파수 성분의 값이 낮게 나타남을 확인할 수 있다.

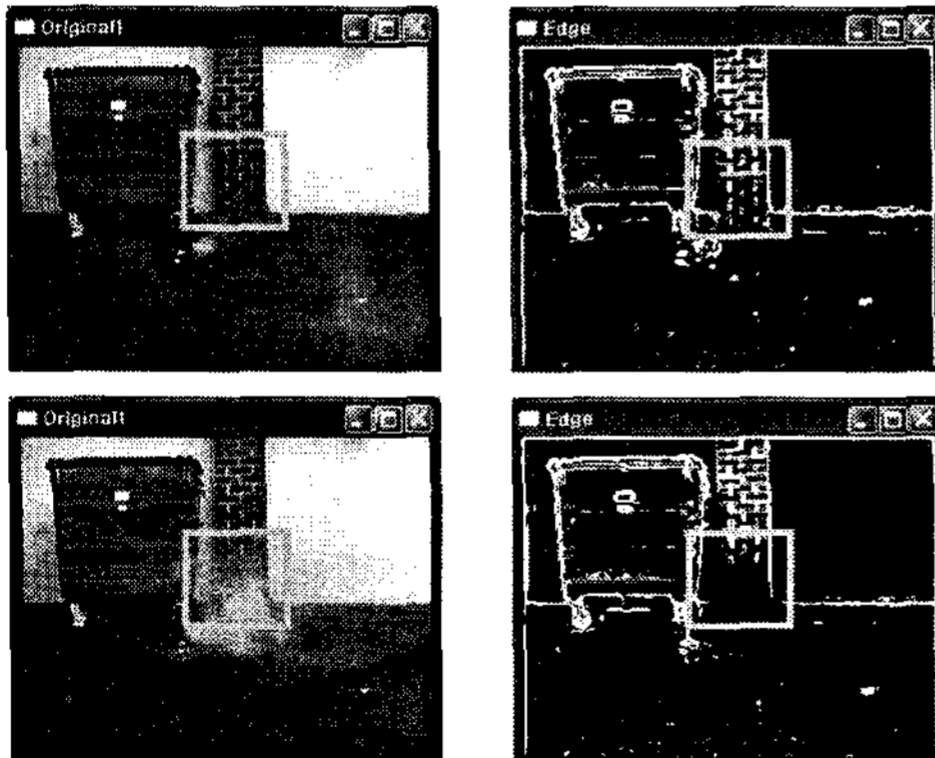


그림 5. 연기발생시 배경의 경계 변화

IV. 화염 및 연기 검출 알고리즘

4.1 색 분석을 이용한 화염 후보 영역 검출

화염의 색 분석을 통하여 입력 영상의 색으로부터 화염 후보 영역을 설정한다. 입력된 색영상 값으로부터 화재영역을 판별하는 것은 입력된 색 영상값에 대하여 기본적으로 빨간색(R)이 주변과 비하여 높게 나타나고(조건 1) 빨간색(R)이 초록색(G)보다 크다(조건 2). 그리고, 밝기값이 주변에 비하여 높게 나타난다(조건 3). 3 가지 조건을 모두 만족하는 화소에 대하여 화염 후보 영역으로 설정한다.

- 조건 1: $R > 75$
- 조건 2: $R > G$
- 조건 3: $\frac{(R+G+B)}{3} > 175$

4.2 색분석을 이용한 연기 후보 영역 검출

영상의 각 화소의 빨간색, 초록색, 파란색 값 분포가 다음 식과 같은 조건에 대하여 분포하게 되면 연기 후보 영역으로 설정한다.

- 조건 1: $|R-B| < 15$
- 조건 2: $|R-G| < 15$
- 조건 3: $|G-B| < 15$

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

4.3 움직임 추정

움직임 추정을 위하여 먼저 배경을 추정한다. 배경 추정은 임계값을 입력 영상에 따라서 변화하도록 적응적 배경 추정 기법을 사용하였다. 배경을 추정하는데 있어 밝기값의 변화를 위주로 움직임을 검출하는데 임계값을 가변하지 않을 경우 시간에 따라서 밝기값이 변화는 것도 화소 이동하는 것으로 판단할 수 있기 때문에 가변 임계값을 이용한 적응 배경 추정 기법을 이용한다. 그리고 움직이는 화소에 대해서는 배경 갱신에 포함하지 않는다.

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

$$\text{if } |I_n(x,y) - I_{n-1}(x,y)| > T_n(x,y), \text{ pixel at } (x,y) \text{ is moving (1)}$$

$$\text{if } |I_n(x,y) - B_n(x,y)| > T_n(x,y), \text{ pixel at } (x,y) \text{ is moving (2)}$$

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

배경 영상의 실질적인 추정은 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.

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

그리고, 화소의 움직임을 결정하는 임계값은 식(4)와 같이 갱신한다.

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

움직이는 화소에 대해서는 갱신을 하지 않고 변화가 없는 화소에서는 입력영상과 배경영상의 차에 가중치를 두고 갱신한다. 즉, 입력 영상의 밝기값의 변화가 작은 경우에는 움직임이 없는 것으로 간주하고 배경으로 갱신하는 것이다. 이는 카메라가 설치되어 있는 공간의 시간적인 변화를 반영하기 위한 것이다.

영상에서의 활동성 검출을 위하여 Lucas/Kanade 의 알고리즘을 적용한다[4]. 본 논문에서 연기를 검출하기 위하여 사용한 경계검출 방법은 Sobel 경계검출 방법을 적용한다.

V. 시뮬레이션 결과 및 검토

아외에서 화염과 연기를 각각 발생시키고 이를 촬영한 동영상을 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 먼저 화염 동영상에 대해 실험하였다. 그림 6의 Result 라고 표시되어 있는 좌측 상단 영상은 원영상이며 실선으로 표시된 영역이 화염으로 검출된 영역이다.

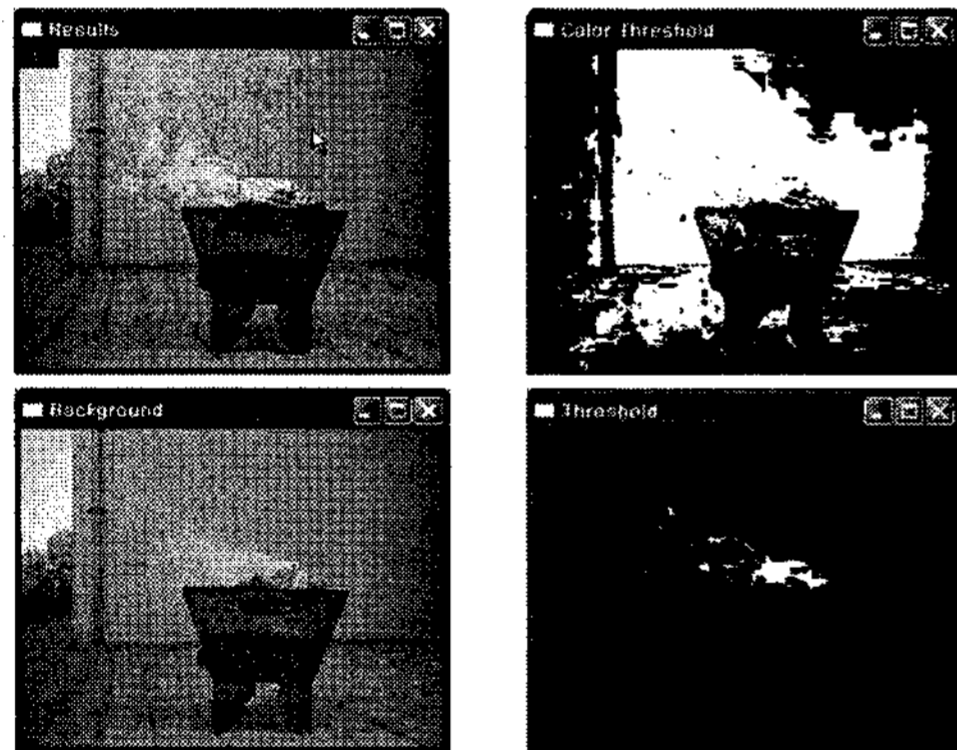


그림 6. 화염검출 시뮬레이션 결과

오른쪽 상단의 영상이 색분석에 의한 후보 영역이며 왼쪽 하단 영상은 추정된 배경 영상이다. 그리고 오른쪽 하단이 색정보와 움직임을 통하여 검출된 영역이다. 따라서 개발한 화염 검출 알고리즘이 유효함을 알 수 있다. 그림 7의 왼쪽 상단에 "Original1"로 표시되어 있는 영상이 촬영된 원영상이다. 오른쪽 상단의 영상은 색분석을 위하여 Cr 영상을 출력하였다. 색차값이 비교적 낮게 나타남을 알 수 있다. 왼쪽 하단의 그림은 Sobel 경계 검출 알고리즘을 이용하여 검출된 경계 영역을 나타낸다. 철조망 배경이 있어 오히려 흰색 연기에 어두운 철조망이 나타나지만 철조망 각 칸 사이의 경계가 없어진다. 색차값과 배경의 변화를 적용하여 시뮬레이션한 결과는 오른쪽 하단의 그림이다. 연기영역이 검출되고 있음을 확인할 수 있다.



그림 7. 연기 검출 시뮬레이션 결과

VI. 결 론

본 논문에서는 조기 화재 검출을 조기에 검출하기 위하여 CCTV 카메라를 이용하여 화염과 연기를 검출 알고리즘을 제안한다. 먼저 화염의 경우는 색분포, 움직임을 분석하고 최종적으로는 활동성을 분석하여 화염임을 확정하고, 연기의 경우는 색분포와 배경 정보를 이용하여 화재 후보 영역을 검출하고 후보 영역에서 움직임(활동성)과 경계의 변화를 확인하여 최종적으로 연기임을 확정한다. 제안하는 알고리즘을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

참고문헌

- [1] K. Beall, W. Grosshadler and H. Luck, "Smoldering Fire Detection by Image-processing", 12th International Conference on Automatic Fire Detection, March, 2001.
- [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, Nov., 1998.
- [3] H. Yamagishi, J. Yamaguchi, "Fire Flame Detection Algorithm Using a Color Camera", International Symposium on Micromechatronics and Human Science, 1999.
- [4] A. Bruhn and J. Weickert, "Lucas/Kanade Meets Horn/Schunck: Combining Local and Global Optical Flow Method", International Journal of Computer Vision 61(3), pp.211-231, 2005.