

컬러 화재영상의 화염 색상 및 시공간적 특성 분석

황 준 철* 정희원, 김 원 호** 종신회원

Flame Color, Spatial and Temporal Characteristic Analysis of Color Fire Images

Jun-Cheol Hwang* *RegularMembers*, Won-Ho Kim** *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 컬러 화재영상에 포함된 화염의 색상 분석과 시공간적 특징 분석을 통하여 신뢰성 높은 화재 판정 조건을 제시한다. 이를 위하여 컬러영상에서 화염을 판정하는 컬러속성으로서 Y-휘도 성분과 Cr-색차 성분을 조합한 문턱치를 도출하고 화염 후보영역을 선정하였다. 선정된 화염 후보영역에 대해서는 화염의 공간적인 질감분석과 시간적인 동적변화를 DCT와 프레임간 휘도성분 변화량을 분석하여 최종 화염 판정 기준으로 제시하였다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 제시한 화염 판정 조건의 신뢰성과 실용성을 검증하였다.

Key Words: Image surveillance system, Image processing, Fire detection algorithm.

ABSTRACT

This paper presents a fire detection criterion based on flame color, spatial and temporal characteristic analysis of color fire images. To propose the criterion, Firstly the fire candidate regions were selected by using analyzed Cr and Y threshold value, and then texture analysis of candidate regions was performed by using DCT. Finally variation of Y values of these regions was calculated for temporal analysis. The proposed fire detection criterion was simulated by using fifteen test images and practicality was verified.

I. 서 론

매년 화재나 산불로 인한 심각한 손실이 발생하고 있다. 특히 산불은 예상치 못한 발생으로 엄청난 손해와 위협을 주는 자연 재해 중 하나이다. 산불은 단지 나무를 태우는 것이 아니라, 엄청난 수의 식물과 동물을 죽이고 생태계의 밸런스를 무너뜨리며, 인류의 생명과 재산 또한 위협한다. 그렇기 때문에 매년 여러 나라의 정부에서는 많은 인력과 재정적 자원을 산불의 예방에 사용한다[1]. 현재 거의 모든 화재 감지 시스템은 주로 화재 감지 센서를 사용하는데 이 화재 감지 센서는 열 센서 또는 연기를 감지하는 센서, 적외선과 자외선으로 불꽃을 감지하는 불꽃 감지센서 등을 사용한다. 하지만 연기감지센서의 경우 통풍이 잘 되는 경우나 야외 등 공기의 확산으로 인해 센서에 감지되지 않을 수 있고, 열 감지센서의 경우 감지기의 주변이 이미 온도가 높

아진 경우는 화재가 어느 정도 확산 된 이후이기 때문에 감지가 너무 늦다는 단점이 있다. 또한 불꽃감지 센서와 같이 자외선 감지방법을 사용하는 경우, 연기나 기타 부유물에 의해서 자외선이 흡수 되어 감도가 떨어질 수 있으며 용접 불빛에도 반응하는 등 오감지의 가능성이 높다는 단점이 있다. 그리고 이 센서를 사용하여 높은 정밀도의 화재 감지 시스템을 구축하기 위해서는 센서를 밀집시켜 설치할 수밖에 없다. 게다가 야외 화재를 감지 하기위해 사용되는 화재 감지 센서는 넓은 지역을 감지하기 위해서 감지 센서를 규칙적으로 일정하게 설치해야만 하기 때문에 비실용적이다. 이러한 단점들을 보완하기 위해서 영상처리 분야의 기술을 활용한 화재 감지 시스템들이 연구되고 있다[7]. 영상처리를 이용한 화재 감지는 1990년대 전반부터 시작되었다. 이 기술은 종래의 화재 감지기가 사용될 수 없는 상황에서 유용하게 사용할 수 있다는 것을 보여주었다. 그리고 영상처리를 이용한 화재 감지는 시각적으로 불을 발견할 수 있으

* 공주대학교 전기전자제어공학부 ** 교신저자, 공주대학교 전기전자제어공학부(whkim@kongju.ac.kr)

※ 본 연구는 2011년도 교과부 지역거점연구단육성사업(에너지자립형 그린빌리터핵심기술사업단)과 지경부 한국에너지기술평가원의 에너지인력양성사업 지원을 받아 수행되었습니다.

접수일자 : 2011년 8월 28일, 수정완료일자 : 2011년 12월 5일, 최종게재확정일자 : 2011년 12월 15일

며 불의 위치에 관한 추가적인 정보를 준다[8].

영상처리를 이용한 화재 감지 방법에는 크게 열영상을 이용하는 방법과 컬러 영상을 이용하는 방법으로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 컬러 영상을 이용한 화재 감지 방법에 대해 논하고자 한다. 기존 컬러 영상 화재 검출 알고리즘에는 RGB나 YCbCr, CIEL*a*b* 등 컬러 공간의 명도 정보에서 화염이 갖는 색상의 레벨 값이 일정한 문턱치를 초과하는 경우에 화염 후보영역으로 판단하여 처리하는 알고리즘들이 있다[1],[2],[4],[5],[6],[7]. 공간 영역 분석을 이용한 알고리즘은 화염의 컬러와 비화염의 컬러를 구분하기 위한 알고리즘으로, 화염 후보영역의 질감분석을 통해 화재를 판단하거나 화염 영역의 윤곽의 주파수 성분을 분석하는 알고리즘들이 있다[3],[5],[6]. 시간 영역의 주파수 분석을 이용한 알고리즘은 시간에 따라 변화하는 화염 후보영역의 특정 레벨 값의 주파수를 분석을 통해 화재를 판단하는 알고리즘들이 있다[1],[3],[4],[5],[6],[7],[8].

기존 컬러 영상에서의 화재 검출 알고리즘은 공간영역에서 화재와 유사한 컬러 특성을 갖거나, 시간영역에서 화재와 유사한 동적인 특성을 갖게 되는 경우가 발생하여 오검출이 발생하여 화재 검출의 신뢰성이 떨어진다. 이를 개선하기 위하여 본 논문에서는 컬러 영상의 화염 후보영역들이 가지고 있는 컬러 속성, 공간적 및 시간적인 동적 특성을 통합하여 신뢰도 높은 화재 판정 조건과 기준을 도출하여 제시한다.

II. 화염의 색상 및 시공간 분석

2.1 화염의 색상 분석

컬러 화재 영상의 화염의 색상 분석을 위해 수집한 200개의 화재 이미지를 통계 분석한 결과로 만들어진 분포도를 그림 1에 나타내었다. 이 분포도에 근거한 최적의 화재 검출 식(1)의 조건이 도출 되었고, 화염의 색상 분석을 위한 조건으로 사용하였다.

$$CR_A(i,j) = \begin{cases} 1, & Cr \geq Cr_{TH} \cap Y \geq Y_{TH} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

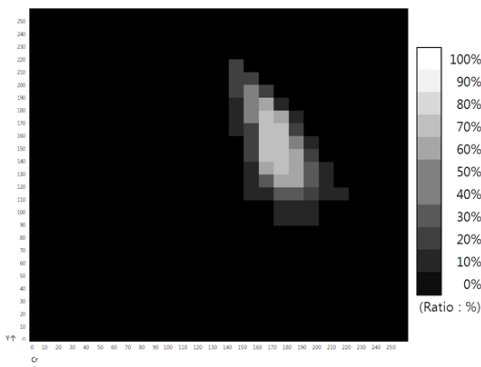


그림 1. Y-Cr 평면에서 화염이 속하는 값과 분포비율

여기서, 가로축은 Cr-색차 성분 값이며, 세로축은 Y-휘도 성분 값을 나타낸다.

식(1)에서 추출된 CR_A 에서 여과되지 않은 오검출 요소를 제거하기 위하여, 다음 식(2)를 사용하였다.

$$CR_B(i,j) = \begin{cases} 1, & Y_A \leq CR_A \leq Y_B \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

여기서, Y_A 와 Y_B 는 추출된 화염영역의 색상에 따라 적응적으로 변화하는 값으로 식(1)에서 추출된 영역 CR_A 에서 검출율을 유지한 채 오검출이 최소가 되는 지점을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 찾은 $Y-Band$ 영역이다. 현재 Y_A 는 식(1)에 의해 추출된 화염영역 CR_A 에서의 Y 의 평균이며, Y_B 는 Y_A 로부터 상위 8% 지점의 값을 나타낸다.

2.2 화염의 공간적인 질감 분석

공간영역에서의 화염의 특성분석을 위해 앞서 추출된 N개의 화염 후보영역 CR_B 각각에 대해 DCT를 수행하여 화재 후보영역의 질감 분석을 수행하였다. 식(2)에 의해 선정된 화염 후보영역 $CR_B(i,j)$ 에 해당하는 4x4 픽셀을 일차원 배열로 나열하고 그 배열을 $f(x)$ 라 한다. 이 $f(x)$ 가 총 N개의 화염 후보영역 중에 n번째 후보영역 이라고 하고, 식(3)을 사용하여 DCT 계수의 합을 구한다음 화재 판정 파라미터로 사용하였다. 화염의 색상 분석 단계에서 화염 후보로 선정된 영역중에 실제 화재인 후보영역과 화재가 아닌 후보영역의 SDC(Sum of DCT Coefficient)를 구하여 비교 분석하였다.

$$C(u)_n = a(u) \sum_{x=1}^{Z/2} f(x)_n \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \quad (3)$$

$$where \ a(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} & \text{for } u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & \text{for } u \neq 0 \end{cases}$$

$$a(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} & \text{for } u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & \text{for } u \neq 0 \end{cases}$$

$$SDC_n = \sum_{u=1}^{Z/2} C(u)_n$$

여기서, $C(u)_n$ 은 앞서 추출된 N개의 화염 후보영역 CR_B 중에서 n번째 화염 후보영역에 대한 DCT 계수값이며 SDC_n 은 $C(u)_n$ 의 합을 나타낸다.

그림 2는 식(3)을 이용하여 샘플영상에 대한 SDC값을 실제 화재 후보영역(우상단)과 화재가 아닌 후보영역(중상)으로 나누어 그래프로 나타내었다. 그림 2에서 가로축은 화염 후보영역의 인덱스를 나타내고 세로축은 화염 후보영역 인덱스에 대응하는 SDC 값을 나타낸다. 그래프에서 알 수 있듯이 화재영역인 경우의 SDC 값이 화재가 아닌 경우의 SDC 값 보다 변화량이 큰 것으로 분석 되었다. 이에 근거

하여 다음 식(4)를 제안하고 화염의 공간적인 질감 분석의 판정 조건으로 사용하였다.

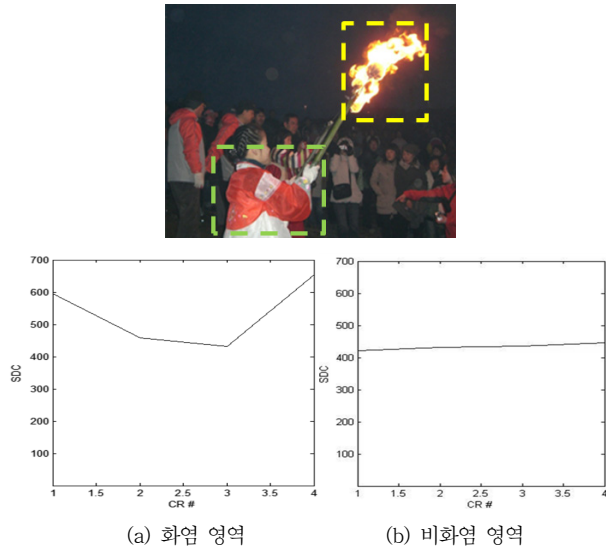


그림 2. 화염의 공간적인 질감 분석을 위한 SDC 그래프

$$CR_C(i,j) = \begin{cases} 1, & SDC_n \geq SDC_{TH} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (4)$$

여기서, SDC_{TH} 는 200개의 화재 샘플 이미지에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 실제 화재에 대응하는 SDC 최저값으로 결정하였다.

2.3 화염의 시간적인 동적변화 분석

화염 후보영역에 대해 시간적인 동적변화 특성을 분석하고자 10프레임 동안 Y-회도의 변화량을 그림 3의 그래프로 나타내었다. 시간영역에서 화염 영역의 특성은 화염의 움직임과 확산현상에 의한 동적인 특성을 가지고 있으며 주파수 영역에서는 이를 반영하는 고주파 성분을 많이 포함하는 것으로 분석이 된다. 이와 반대로 적색의 의류와 같은 오검출 요소들은 컬러 영상에서 화재와 유사한 컬러 속성을 나타내어 오검출 요인으로 작용하나, 움직임이나 확산현상이 상대적으로 없거나 적어 정적인 특성을 가지고 있으며 이러한 특성은 주파수 영역에서는 DC를 포함하는 저주파 성분으로 해석이 된다. 이러한 화염의 고주파 성분을 수치화 하기 위해 식(5)를 이용해서 프레임별 Y-Value의 Difference를 누적하여 수치화하고, 이를 분석해 화염과 유사한 영역과 구분하기 위해 사용한다.

$$YD(i,j) = \sum_{f=1}^9 |CR_C Y(i,j)_f - CR_C Y(i,j)_{f+1}| \quad (5)$$

여기서, f 는 프레임 인덱스 이며, $CR_C Y$ 는 화염의 공간적인 질감분석에서 선정된 화염 후보영역 CR_C 의 Y성분을 나타낸다. $YD(i,j)$ 는 식(6)에 의해 최종 화재 알람 판

정의 파라미터로 사용된다.

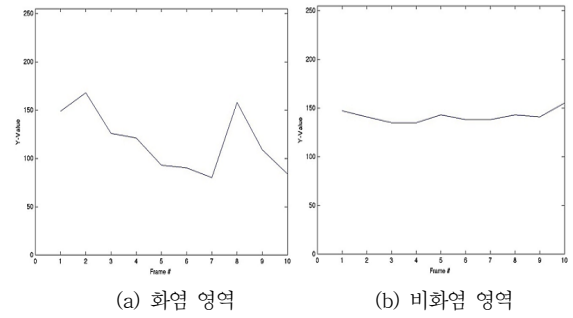


그림 3. 시간영역에서 화재의 동적인 특성 분석을 위한 Y-Value 변화 그래프

$$Fire Alarm = \begin{cases} On, & YD(i,j) \geq YD_{TH} \\ Off, & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

여기서, YD_{TH} 는 15개의 샘플 영상에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 실제 화재에 대응하는 YD 최저값으로 결정하였다.

III. 모의실험 및 결과 분석

색상분석, 질감분석, 시간적인 동적변화 특성을 분석한 결과를 반영하여 제안한 화염 검출 절차는 그림 4와 같다.

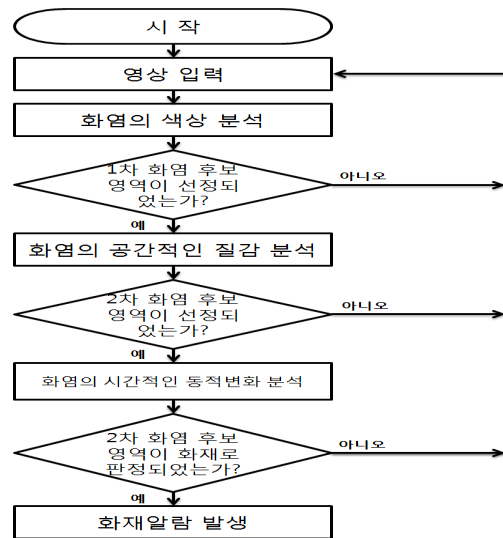


그림 4. 컬러영상 화염 검출 순서도

화염 검출절차는 다음과 같다. 먼저 프레임별 영상이 입력되며, 화염의 색상 분석을 통하여 이 프레임에 화염 후보영역 CR_B 를 선정한다. 이것을 1차 화염 후보영역이라고 명칭하고, 1차 화염 후보영역이 발생되지 않을시 다음 프레임의 영상을 획득한다. 1차 화염 후보영역이 발생하면 식 (4)를 이용해 화염 후보영역 CR_C 가 선정되었는지 판단한

다. 이것을 2차 화염 후보영역이라고 명칭하고, 2차 화염 후보영역이 발생되지 않을 시 다음 프레임의 영상을 획득한다. 2차 화염 후보영역이 발생하면 식(5)를 이용해 해당 화염후보영역 CR_C 의 Y-휘도값을 10프레임 동안 그 변화량을 누적시킨다. 그리고 식(6)을 이용해 Y-휘도 변화량의 문턱치 이상인 경우 화재알람을 발생시킨다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제시한 화재 판정 조건을 화재 영상에 적용시켜 화재 검출 기능을 시험하였다. 시험에 사용된 15개의 영상은 30프레임/초, 720x480 크기이며 양자화 레벨은 8비트이다. 그리고 이 영상을 0.5초에 1프레임씩 획득하여 실험을 진행하였다. 화재 검출 절차는 색상 분석, 질감분석, 시간적인 동적변화 특성을 분석으로 구성되며, 최종 화재로 판단된 화염 영역은 초록색 사각형으로 영상에 표시되도록 설정하였다. 실험에 사용된 15개의 영상 중 12개는 화재 영상이며, 3개는 화염과 유사한 컬러 속성을 나타내는 영상이다. 이들을 이용하여 화염 영역만 정확히 화염으로 검출하는지, 화염이 아닌 영역을 화염으로 검출하지 않는지를 살펴보았다.



(a) 시험영상-8



(b) 시험영상-10



(c) 시험영상-13

그림 6. 모의실험 결과 영상

제안하는 알고리즘으로 모의 실험한 결과, 그림 6-(a)의 시험영상-8에서는 화염의 컬러 속성을 지니지만 시간영역에서 정적인 특성을 가지는 빨간색 소방차 영역을 제외하고, 시간영역에서 동적인 특성을 가지는 화재 영역만 정확히 검출하였다. 그림 6-(b)의 시험영상-10에서는 화염 색상을 띄는 바닥을 제외하고 화재영역을 정확히 검출하였다. 그림 6-(c)의 시험영상-13에서는 화재의 컬러 속성을 지니지만 시간영역에서 정적인 특성을 가지는 노을을 화재로 검출하지 않았다.

15개 시험영상의 모의실험 결과는 표 1과 같으며 컴퓨터 시뮬레이션 한 결과 제안하는 알고리즘의 검출율은 100%, 오검출율은 6.6%의 성능을 보였다. 여기서, 검출율은 식(7)에 의해 계산되었고, 오검출율은 식(8)에 의해 계산 되었다.

그리고 논문에서 사용한 검출율과 오검출율의 정의는 다음과 같다. 검출율은 영상의 화재영역을 정확히 감지해 내는 것으로 하였고, 오검출율은 영상에서 화재가 아닌 영역을 화재로 검출하는 것으로 정의 하였다.

$$\text{검출율} = \frac{\text{화재검출된 영상의 수}}{\text{화재가 포함된 영상의 수}} \times 100\% \quad (7)$$

$$\text{오검출율} = \frac{\text{오검출된 영상의 수}}{\text{전체 영상의 수}} \times 100\% \quad (8)$$

표 1. 모의실험 결과

영상 번호	검출	오검출	영상설명	화재영역 포함여부
1	○	X	건물 옥상 화재	포함
2	○	X	건물 화재(1)	포함
3	○	X	실내 벽단로	포함
4	○	○	건물 화재(2)	포함
5	○	X	모형집 화재(1)	포함
6	○	X	모형집 화재(2)	포함
7	○	X	야외 모닥불	포함
8	○	X	비행기 화재 진압	포함
9	○	X	야외 화재 진압	포함
10	○	X	야외 인공 화재	포함
11	○	X	모형 자동차 화재	포함
12	○	X	모형집 화재(3)	포함
13	X	X	바다 해넘이, 노을	미포함
14	X	X	포클레인 영상	미포함
15	X	X	모형 포클레인 영상	미포함
성능	100%	6.6%		

IV. 결 론

본 논문에서는 화염의 색상과 공간적인 질감분석 그리고 시간적인 동적변화 분석을 통해 화염의 특성을 계량화 하여 화재를 검출하는 조건을 제시하였다. 제시한 화염의 색상 분석으로 화염과 비화염을 구분하였으며, 화염의 색상 분석으로 구분되지 않은 비화염을 공간적인 질감분석으로 구분하였다. 공간적인 질감분석으로도 구분되지 않은 화염영역은 시간적인 동적변화 분석을 통해 화염으로 구분하여 판정함으로써 오검출에 강인한 특성을 보여주었다. 실제 컬러 화재 동영상에 이용한 컴퓨터 모의실험을 통하여 제시한 화염의 색상과 공간적인 질감분석, 시간적인 동적변화 분석에 의한 화재 판정 조건과 기준이 컬러 영상의 화재 검출에 적용할 수 있음을 보였다. 자동차 전조등과 같은 화염의 색상을 띄면서 시간적인 동적변화를 발생시키는 요소가 오검출로 검출되었으며, 향후 이러한 오검출 경우에 대한 추가적인 분석 연구가 이루어지고, 더욱 다양한 컬러 화재 영상에 대한 통계적인 분석과 신뢰도 높은 판정 알고리즘 연구가 이루어진다면, 영상처리 기반의 컬러영상 화재 검출 성능의 신뢰성과 정확도를 더욱 높일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Jin Li et al., "Technique for Automatic Forest Fire Surveillance Using Visible Light Image", IGSNNRR CAS, Beijing China, IEEE, pp. 3135-3138, 2005.
- [2] Turgay Celik et al., "Computer Vision Based Fire Detection in Color Images", Temasek laboratories, Nanyang Technological University, Singapore, IEEE Conference on Soft Computing in Industrial Applications, Muroran, JAPAN, pp. 258-263, 2008.
- [3] Hideaki Yamagishi et al., "Fire Flame Detection Algorithm Using a Color Camera", Enginering Institute, Sogo Keibi Hosho Co., Ltd., JAPAN, Micromechatronics and Human Science, pp. 255-260, 1999.
- [4] Che-Bin Liu et al., "Vision Based Fire Detection", Beckman Institute, University of Illinois at Urbana-Champaign, Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), pp. 134-137 Vol.4, 2004.
- [5] B. Ugur Toreyin et al., "Flame Detection In Video Using Hidden Markov Models", Bilkent University, Turkey, ICIP (IEEE international Conference on Image Processing), pp. 1230- 1233, 2005.
- [6] Zhong Zhang et al., "Contour Based Forest Fire Detection Using FFT and Wavelet", Bo Cai Computer School, Wuhan University, Wuhan, Hubei, PR China, International Conference on Computer Science and Software Engineering, pp. 760-763, 2008.
- [7] Turgay Celik, electrical and electronic engineering from Eastern Mediterranean University, Gazimagusa, TRNC, TURKEY, Fast and Efficient Method for Fire Detection Using Image Processing, ETRI Journal, Volume 32, Number 6, pp. 881-890, 2010.
- [8] Ha Dai Duong et al., Faculty of Information Technology Le Qui Don Technical University, Hanoi, Vietnam, A Novel Computational Approach for Fire Detection, Second International Conference on Knowledge and Systems Engineering, pp. 9-13, 2010.
- [9] Gonzalez, Woods, and Eddins, "Digital Image Processing Using MATLAB 2nd Ed.", 2009.

저 자

황준철 (Jun-Cheol Hwang)

정회원



2005년 3월~2009년 2월 : 공주대

전기전자제어공학부 (공학사)

2010년 3월~현재 : 공주대 대학원

전기전자제어공학과 석사과정

<관심분야> 영상신호처리, DSP응용

김원호 (Won-Ho Kim)

종신회원



1985년 2월 : 경북대 전자공학 학사

1987년 2월 : 경북대 전자공학 석사

1999년 2월 : 충남대 전자공학 박사

1989년 2월~1999년 8월 : 한국전자

통신연구원(ETRI) 선임연구원

1999년 8월~현재 : 공주대학교

전기전자제어공학부 교수

<관심분야> 위성멀티미디어통신, 영상 및 통신 신호처리,
영상감시 및 비전센서