

카메라 영상을 이용한 연기 및 화염의 조기 감지 최신 연구 동향

강성모*, 김종면**

Survey for Early Detection Techniques of Smoke and Flame using Camera Images

Sung-Mo Kang *, Jong-Myon Kim **

요약

시대가 발전함에 따라 초고층 건물들이 도처에 세워지고 밀집되어 있다. 이러한 건물에 화재가 발생되면 발화지점 근처로 불이 번지면서 대형화재의 위험성이 높아지고 이에 따른 인명 및 재산 피해가 증가한다. 따라서 이런 대형화재를 예방하고 피해를 최소화하기 위해서 화재를 미연에 감지하는 화재감지 기술에 대한 필요성이 높아지고 있다. 화재를 감지하기 위해 열감지기, 연기감지기, 불꽃감지기 등을 사용하는 방법이 있으나 본 논문에서는 감시 카메라에서 들어오는 입력 영상을 분석하여 화염과 연기를 초기에 감지하는 화재감지 시스템의 최근 연구 동향을 알아보고자 한다. 또한 이러한 화염과 연기 감지 알고리즘들을 다양한 형태의 동영상상을 이용하여 구현 및 성능을 평가하였다.

▶ 키워드 : 화염감지, 연기감지, 실시간 영상처리

Abstract

With the rapid development of technology, skyscrapers are widely spread and they are tightly coupled. If fire occurs in a building, it is easily spread to neighboring buildings, resulting in the large number of victims and property damages. To remove fire disasters, the need for early fire detection techniques is increasing. To detect fire, detecting devices for heat, smoke, and flame have been used widely. However, this paper surveys and presents the latest research which focuses on early smoke and flame detection algorithms and systems with camera's input images. In addition, this paper implements and evaluates the performance of these flame and smoke detection algorithms with several types of movies.

▶ Keyword : Fire detection, Smoke detection, Real-time image processing

• 제1저자 : 강성모 • 교신저자 : 김종면

• 투고일 : 2010-09-17, 심사일 : 2010-12-12, 게재확정일 : 2011-01-14

* 울산대학교 전기공학과 학부생 (School of Electrical Engineering, University of Ulsan)

** 울산대학교 전기공학과 교수 (School of Electrical Engineering, University of Ulsan)

※ 본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업(No. 000406420110)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

I. 서론

현대화가 진행되면서 도시에는 초고층 건물들이 들어서고 새로운 건물들이 신축되면서 건축물들이 밀집되었다. 또한 하나의 건물이 공간이 여럿이 모여진 형태로 대형화됨에 따라서 각종 안전사고가 자칫 대형사고로 이어질 가능성이 증가되고 있다. 각종 사고 중에서 가장 쉽게 발생하며 위험성과 인명피해 및 금전적 손실이 가장 큰 것이 화재관련 사고이다.

화재는 직접적인 열로 인한 인명피해보다는 특정 물질들이 연소 시 발생하는 유독 연기로 인해 질식하는 피해가 더 크기 때문에 인명피해를 최소화하기 위해서는 연기를 조기에 감지하고 위험 신호를 주변 사람들이 인지하도록 하는 것이 중요하다. 또한 연기 이후에 발생하는 열로 인한 재산피해를 예방하기 위해서 불꽃을 감지하여 화재를 신속히 알려주는 것도 중요하다.

이러한 중요성들 때문에 화재감지 기술은 활발히 연구되고 있고 빠르게 발전하고 있다. 화재를 감지하는 센서들은 화재 시 발생하는 연기를 감지하는 연기감지센서, 열을 감지하는 열감지센서, 적외선과 자외선으로 불꽃을 감지하는 불꽃감지센서 등이 있다. 하지만 연기감지센서의 경우 통풍이 잘 되는 경우나 야외 등 공기의 확산으로 인해 센서에 감지되지 않을 수 있고, 열감지센서의 경우 감지기의 주변이 이미 온도가 높아진 경우는 화재가 어느 정도 확산된 이후이기 때문에 감지가 너무 늦다는 단점이 있다. 또한 불꽃감지센서는 자외선 감지방법을 사용하는 경우 연기나 기타 부유물에 의해서 자외선이 흡수 되어 감도가 떨어질 수 있으며 용접 불빛에도 반응하는 등 오감지의 가능성이 높다는 단점이 있다. 또한 산이나 들과 같은 영역에서의 연기 감지는 범위가 너무 넓기 때문에 감지자체가 불가능 할 수도 있다[1][2]. 그리고 넓은 지역에서의 감지확률을 높이기 위해서는 많은 수의 센서를 설치해야 한다는 단점이 있다[3]. 이러한 단점들을 보완하기 위해서 영상처리 분야의 기술을 활용하여 화재감지 시스템들이 설계되고 있다[4].

본 논문에서는 화재 발생 시 연기의 확산과 화염의 진행방향에 대한 공통적 특징과 규칙을 확인하고, 광학식 센서인 카메라에서 들어오는 영상에서 연기와 화염의 발생을 감지하는 화재감지 시스템들의 개발 동향에 대해서 기술하고자 한다.

II. 화재의 특징

화재가 발생하면 주위 환경이 평소와 달라진다. 화재가 발생했다고 판단할 수 있는 요인들은 보통 4가지를 통해 구분한다.

1. 연기

화재 발생 시 주변의 물질들이 연소되면서 발생하는 고체·액체 상태의 미립자를 말한다. 일반적으로는 가연성 물질의 불완전 연소에 의해서 발생한다. 미립자의 크기는 0.1~1 μ m 이기 때문에 매우 가벼워 공기 중에서 상승하는 특징이 있다. 이러한 연기는 흰색과 회색 계열, 검은색 등의 색을 띄게 된다. 상황에 따라 연기가 발생하지 않고 화염이 시작되는 경우도 있으나 대부분 화재가 시작될 때 연기가 발생하는 경우들이 많으므로 화재의 조기 인식을 위해서는 연기를 빠르게 감지해내는 것이 중요하다.

2. 온도

화재가 발생하고 화염이 주위의 공기 온도를 조금씩 상승시킨다. 이러한 주위 공기의 온도가 특정 기준온도를 넘어서게 되면 화재라고 판단할 수 있으며, 화재의 종류에 따라 구분 내에 급속도로 온도가 올라 갈 수도 있으며 천천히 진행되는 연소의 경우에는 기준온도를 넘어서기까지 수 시간이 걸릴 수도 있다. 때문에 주위의 공기 온도가 특정 온도를 넘어서게 되었다는 것은 화재가 발생했다고 확신 할 수 있는 조건이지만 일반적으로 연기나 불꽃에 비해 늦게 발생되기 때문에 이미 어느 정도의 피해가 발생 되었다고 볼 수 있다.

3. 불꽃

물질이 불꽃을 내면서 연소할 때에는 자외선, 가시광선, 적외선을 방출되게 된다. 불꽃 감지기의 경우는 자외선과 적외선 중 하나 또는 모두를 감지하여 화재를 구별하는 방법을 사용하게 되지만 카메라의 영상을 사용하여 화재를 감지해야 할 경우에는 자외선과 적외선을 제외한 가시광선 즉 빛이나 불꽃의 색 등으로 불꽃 자체를 감지해내는 방법을 사용하여 화재를 인식하게 된다.

4. 연소생성물

물질이 연소하게 되면 연소생성물이 생기게 되는데 연소되는 물질의 주성분에 따라서 이산화황, 오산화인, 일산화탄소와 이산화탄소 등이 발생된다. 이러한 연소 생성물 역시 화재가 어느 정도 진행된 이후에 발생하는 것이므로 화재를 확신할 수는 있지만 조기 감지로 인한 피해 예방에는 큰 영향을

주지 않을 것이라고 보인다.

4가지 요인들 중 일반적으로 연기와 불꽃은 화재의 초기에 발생된다고 볼 수 있으며 대기 중의 열과 연소생성물은 화재가 어느 정도 진행 된 이후에 발생 된다고 볼 수 있다. 때문에 화재의 피해를 최소화하기 위해서는 화재의 초기에 발생하는 연기와 불꽃을 얼마나 빠르게 검출하여 화재를 인식하느냐가 중요하다. 본 논문에서는 카메라 영상처리를 통해 연기와 화염에 대한 각각의 화재 조기 감지 시스템들에 대해서 알아본다.

III. 카메라 영상처리를 통한 연기 및 화염 감지 방법

1. 연기 감지

연기는 공기의 순환과 확산에 의해서 그 형태가 일정하지 않고 흰색, 회색 및 검은색 등의 다양한 색을 띄게 된다. 이를 감지하기 위해서 색차, 움직임벡터 및 연기의 특성 이용 등 다양한 방법들이 연구되어 왔다. 연기 감출 방법에 대한 상세한 설명은 다음과 같다.

1.1 적분 영상 기반의 고속 누적 움직임 방향 모델

적분 영상 기반의 고속 누적 움직임 방향 알고리즘은 8방향과 픽셀의 이동을 이용하여 연기의 움직임 방향을 추정한다. 이 알고리즘은 2008년 Yuan에 의해 제안되었으며 움직임 방향 추정, 적분 영상을 이용한 처리 속도의 가속화 및 히스토그램을 이용한 보다 정확한 연기 방향 추정의 3단계로 이루어진다[3].

1.1.1 움직임 방향 추정

움직임 방향을 추정하기 위해서 그림 1(a)와 같이 연기의 움직임 방향을 8방향(0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°)으로 나누고, 이를 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8로 코드화한다. 또한, 각 방향에서 픽셀의 이동을 찾기 위한 전략은 그림 1(b)에 잘 나타나 있으며, 픽셀의 이동을 판단하기 위한 에러 함수(error function)는 식 (1)과 같이 정의한다.

$$E(i, j, \theta, dis) = \left| \sum_{x,y \in b(i,j)} f(x, y, t) - \sum_{x,y \in b(i,j)} f(x, y, t - \Delta t) \right| \quad (1)$$

여기서 $b(i, j)$ 는 시간 t 에서의 i 번째 행과 j 번째 열에 해당하는 영상 블록, dis 는 픽셀의 이동(displacement), θ 는 코드화된 방향, $b'(i, j)$ 는 시간 $t - \Delta t$ 에서의 찾고자하는 블록으로 픽셀의 이동과 코드화된 방향에 의해 결정된다.

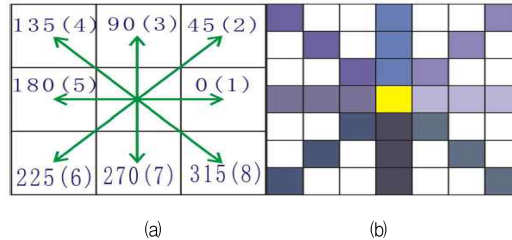


그림 1. (a)연기의 움직임 방향, (b)움직임 판단을 위한 전략
Fig. 1. (a)Discrete directions and (b)searching scheme

각 방향에 대해 $dis = 1, 2, 3$ 일 때의 에러 함수를 계산하면 각 방향에서 3가지 에러 값을 갖게 되는데, 식 (2)에서와 같이 에러 값들 가운데 가장 작은 에러 값을 갖는 방향으로 움직임 방향이 결정된다.

$$E(i, j, \theta) = \min_{dis} E(i, j, \theta, dis) \quad (2)$$

1.1.2 적분 영상을 이용한 움직임 방향 추정

적분 영상은 원본 영상의 x-방향, y-방향의 픽셀 값의 누적 합을 계산한 영상으로 이와 같은 적분 영상을 이용하면 임의의 크기의 사각형에 대한 픽셀 값의 합을 크기에 상관없이 일정 시간 내에 계산할 수 있다. 이와 같은 적분 영상을 움직임 방향을 추정하는데 활용하여 고속 계산을 가능하게 한다.

1.1.3 히스토그램을 이용한 움직임 방향 추정

추정된 방향은 정확하지 않으며 이는 차후의 움직임 방향을 결정하는데 영향을 미친다. 이러한 영향을 줄이기 위해 시간 t 에서 블록 b_{ij} 의 움직임 방향 $\theta(i, j, t)$ 과 움직임 방향에 대한 임의의 히스토그램 $H(i, j, t)$ 을 고려하여 식 (3)과 같이 히스토그램에서 가장 큰 엔트리(entry)를 갖는 코드화된 방향으로 움직임 방향을 결정함으로써 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다.

$$\theta(i, j, t) = \arg \max_{\theta} \{H(i, j, t, \theta)\} \quad (3)$$

1.2 정적 및 동적 분석을 통한 연기 검출

1.2.1 정적 분석을 통한 연기 검출

연기는 일반적으로 회색조의 색으로 보이며 이러한 회색조의 색은 밝은 회색과 어두운 회색으로 나뉜다. 이는 연기 픽셀에 해당하는 R, G, B 성분이 모두 동일하다는 것을 의미한다. 따라서 이러한 회색조의 색은 HSI 모델의 빛의 강도(intensity)로 설명 될 수 있는데, 밝은 회색과 어두운 회색 영역에 대한 빛의 강도는 $L_1 \sim L_2$ 범위, $D_1 \sim D_2$ gray-level 범위에 놓인다. 색채 분석에 의해 $R \pm \alpha = G \pm \alpha = B \pm \alpha$, $L_1 \leq I \leq L_2$, $D_1 \leq I \leq D_2$ 의 조건이 연기 감지를 위한 판단 함수(decision function)로 사용될 수 있으며, 여기서 $\alpha, L_1, L_2, D_1, D_2$ 는 모두 실험을 통한 통계적 데이터이다. 일반적으로 α 는 15~20, $D1=80, D2=150, L1=150, L2=220$ 의 값이 사용된다[2].

1.2.2 동적 분석을 통한 연기 검출

연기 검출에 대한 성능을 향상시키기 위해 2006년 Chen 등은 연기가 확산되는 과정에서 연기가 퍼져나가는 비율(growth-ratio)과 무작위로 퍼져나가는 연기의 무작위성(disorder)을 실제 연기 유무를 결정하는 판단 함수에 포함시켰으며, 식 (4)는 연기 검출을 위한 판단 규칙이다.

$$\begin{aligned}
 & \text{If } (SEP / STP) \geq STD \dots\dots\dots (4) \\
 & \text{Then real smoke} \\
 & \text{Else smoke}
 \end{aligned}$$

식 (4)에서 SEP 는 분할된 연기 영역의 원주의 합, STP 는 추출된 연기 픽셀의 수, STD 는 다른 연기와 유사한 물체로부터 구별되는 임계 값을 나타낸다. 여기서 SEP/STP 의 비율은 연기의 무작위성 측정치로 정의된다. STD 의 임계 값은 여러 상황을 고려하여 결정되며 일반적으로 다양한 실험을 통한 통계치를 활용하여 결정된다[2].

1.3 Support Vector Machine을 이용한 연기 검출

2008년 Yang 등은 support vector machine(SVM) 기반의 연기 검출 알고리즘을 제안하였다[5]. 연기 윤곽의 불규칙한 변화와 밀도 분포의 불균등한 변화와 같은 연기의 특징을 구별하는데 적합한 SVM 기반의 연기 검출 알고리즘의 일반적인 절차는 그림 2에서와 같이 특징 추출, 학습, 연기 검출로 나뉜다.

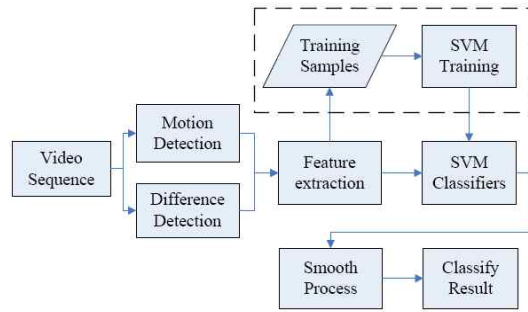


그림 2 SVM 기반의 연기 검출을 위한 일반적인 절차
Fig. 2. General process of smoke detection with SVMs

먼저, 특징을 추출하기 위해서는 전경 영상을 수집하기 위한 움직임 검출(motion detection)이 수행된다. 다음으로 각 영역의 면적 S_r^i 와 윤곽선 둘레 L_r^i 를 계산함과 동시에 차면적의 합 S_b^i 과 각 블록의 차 영상에서 sub-connected 영역의 수 N_b^i 을 계산한다. 마지막으로 이러한 값을 모두 정규화하면 $X^i = [S_r^{i'}, L_r^{i'}, S_b^{i'}, N_b^{i'}]$ 와 같은 특징 벡터를 추출할 수 있으며, 그림 3은 특징 벡터 추출을 위한 과정을 보여준다.

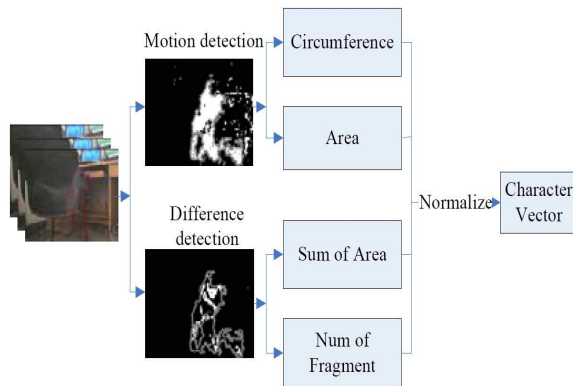


그림 3. 특징 벡터 추출을 위한 흐름도
Fig. 3. A flow of feature extraction

SVM 학습을 위해서는 커널 함수(kernel function)와 샘플에 대한 가중치(weights of samples)를 선택해야 하는데 Yang 등은 연기의 특징을 고려하여 레이디얼 기준 함수(radial basis function, RBF)를 사용하였다[5].

1.4 Target-Tracking 기반의 연기 검출

2009년 Wei 등이 제안한 Target-Tracking 기반의 연기 검출 방법은 연기의 밝기(brightness consistency), 움직임 누적(motion accumulation), 확산(spread)의 3가지 정적·동적 연기의 시각적인 특징을 활용하였고, 향상된 가우시안 혼합 모델과 효과적인 target tracking 알고리즘을 이용하였다 [6]. 그림 4는 Target-Tracking 기반 연기 검출 방법의 흐름도를 보여준다.

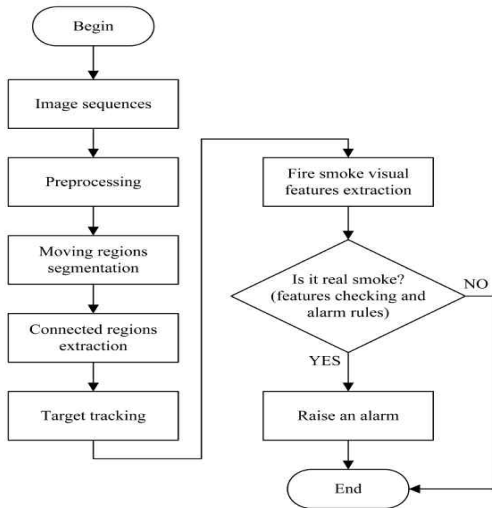


그림 4. Target-Tracking 기반 연기 검출 방법의 흐름도
Fig. 4. Smoke detection method based on target-tracking algorithm

2. 화염 감지

화염 검출에는 배경과 화염을 구분하는 방법이 필요하다. 배경 검출을 위해서는 배경모델링 방법이 사용되며, 화염 검출을 위해서는 다양한 칼라 공간 모델 (Red-Green-Blue: RGB, Luminance-Chrominance : YCbCr, YIQ, YUV) 값을 사용하여 화염 후보영역을 지정하고, 분류자(classifier)를 사용하여 화염 여부를 결정한다. 화염 감출 방법에 대한 상세한 설명은 다음과 같다.

2.1 일반적인 칼라 모델을 활용한 방법

2009년 Celik 등은 화염 픽셀 분류를 위해 물 기반 칼라 모델을 사용하였다[7]. 이 논문에서 제안하는 알고리즘은 휘도 (luminance)와 색 (chrominance)을 분리하는 데 있어서 RGB (Red-Green-Blue) 칼라 공간보다 훨씬 효과적인 YCbCr (Y: 휘도, Cb,Cr: 색) 칼라 공간을 사용하였다. 또한, YCbCr 칼라 공간에서 식 (5)와 (6)과 같은 새로운 규

칙들을 정의하여 변화하는 조도 (illumination)에서 발생하는 유해한 효과들을 제거하여 화염 검출 성능을 향상시켰다.

$$F(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } Y(x,y) > Y_{mean}, \\ & Cb(x,y) < Cb_{mean}, \\ & Cr(x,y) > Cr_{mean} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 F(x,y)는 (1)의 조건을 만족하는 (x,y)지점의 픽셀을 화염 픽셀로 정의한다.

$$F_{\tau}(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } |Cr(x,y) - Cr(x,y)| \geq \tau \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

..... (6)

여기서 τ 는 상수이며, 수신자 오퍼레이팅 특징 (receiver operating characteristics, ROC)의 분석에 의해 결정된다. 또한 $F_{\tau}(x,y)$ 는 (6)의 조건을 만족하는 (x,y)지점의 픽셀을 화염 픽셀로 정의한다.

따라서 제안한 알고리즘은 YCbCr 칼라 공간을 사용함으로써 색으로부터 휘도를 구분하는데 있어서 훨씬 효율적이며, 그 결과 RGB 혹은 rgb 칼라 공간보다 조도 변화에 대한 높은 강인성을 보여준다.

2.2 비전 센서와 Support Vector Machine을 활용한 방법

2009년 Ko 등은 조기 경보 화재 시스템을 위한 센서 기반 화염 검출 알고리즘을 제안하였다[8]. 제안하는 알고리즘은 첫 번째로 화염의 칼라 픽셀과 움직이는 영역을 분석함으로써 후보 화염 영역들을 추출한다. 다음으로 화염 영역은 일반적으로 인접 영역보다 높은 휘도 차를 보인다는 사실에 입각하여 휘도 맵을 만들고 이를 사용하여 비화염 픽셀을 제거한다. 마지막 단계로 웨이블릿 계수(wavelet coefficients)를 가지고 시간적 화염 모델을 만들어 레이디얼 기준 함수(radial basis function, RBF) 기반 support vector machines (SVM) 분류자에 적용함으로써 최종적으로 화염 픽셀을 검출한다. 제안한 알고리즘은 휘도 맵과 SVM을 적용함으로써 칼라 정보나 픽셀의 시간적 변화 등의 휴리스틱 특징 (heuristic features)을 사용함으로써 잘못된 경보를 자주 발생시키는 기존의 비전 기반 알고리즘들의 문제점을 해결할 수 있다.

2.3 컴퓨터 비전 기반 방법

2006년 Töreyin 등은 장면을 모니터링하는 평범한 카메라에 의해 재생된 비디오 데이터를 실시간으로 처리하여 화염을 검출하는 방법을 제안하였다[9]. 모션이나 칼라 실마리(color clues)뿐만 아니라, 웨이블릿(wavelet) 영역에서 비디오를 분석함으로써 화염이나 불꽃들을 자동적으로 감지한다. 화염 경계면에서 유사 주기(quasi-periodic) 특징은 시간적 웨이블릿 변환의 수행에 의해 검출된다. 또한 화염 영역의 칼라 변화는 움직이는 화염 칼라 영역의 공간 웨이블릿 변환을 계산함으로써 검출된다. 또 다른 실마리는 화염 칼라 영역의 경계면이 불규칙적이라는 점이다. 이러한 모든 실마리들을 이용하여 제안하는 알고리즘은 최종적으로 화염 여부를 결정한다. 따라서 제안하는 알고리즘은 화염의 색이나 시간적 변화 정보를 사용할 뿐만 아니라, 1-D 시간적 웨이블릿 변환을 사용하여 화염 불꽃을 검출하고 2-D 공간적 웨이블릿 변

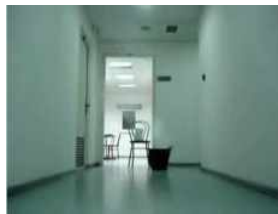
환을 사용하여 움직이는 화염 영역에서 색 변화를 검출함으로써 단지 칼라 정보나 평범한 모션 검출에 기반을 둔 기존의 방법들에서 발생하는 오검출률을 현격히 줄일 수 있다.

2.4 확률 모델을 활용한 방법

2010년 Borges 등은 칼라 기반 화염 감지를 위한 확률 모델을 제안하였다[10]. 제안하는 모델로부터 잠재적인 화염 마스크(potential fire mask, PFM) 혹은 기능성 있는 화염 영역을 효율적으로 선택할 수 있다. 또한 화염 모션의 양을 분석하기 위해 모양 디스크립터(shape descriptor)를 사용하는 기존의 연구들과 다르게, 제안하는 알고리즘은 잠재적인 화염 영역의 경계 거칠기(boundary roughness)를 사용함으로써 기존의 방법들과 유사한 검출능력을 보이지만 처리속도 측면에서는 훨씬 향상된 결과를 보였다. 더불어 제안하는 알고리즘은 잠재적인 화염 영역의 3차 통계 모멘트(statistical moment), 화염 표면에서 관찰된 불규칙성



동영상 1



동영상 2



동영상 3



동영상 4



동영상 5



동영상 6

연기가 발생하는 동영상



동영상 7



동영상 8



동영상 9

연기가 발생하지 않는 동영상

그림 5. 연기 검출을 위한 대상 동영상
Fig. 5. Test movies for smoke detection

(randomness)/거침 (coarseness) 및 장면들 사이에서의 화염 지역 변화와 같은 화염의 특징을 사용함으로써 화염 감지 성능을 최대한으로 향상시켰다. 마지막으로 이러한 화염의 특징 인자들을 Bayes 분류자 (classifier)와 결합하여 최종적으로 화염 여부를 결정한다.

IV. 정확도 평가 방법

설계한 알고리즘의 정확도를 평가하기 위해서는 붉은 색의 움직이는 트럭 영상, 산불 영상, 주차장 화재 영상, 불붙은 박스 영상, 교통 체증이 일어나는 고속도로 영상 등 여러 상황의 화재와 비화재 영상을 사용한다. 평가를 위해서 각각의 영상들의 총 프레임수와 화염이 포함된 프레임의 수를 미리 계산하여 놓고 화염이 포함된 프레임을 얼마나 찾아내는지를 통해 검출률을 확인한다. 또한 화염이 포함되지 않은 프레임을 화염프레임으로 인식하는 경우와 화염이 포함된 프레임을 인식하지 못하는 경우를 통해 오검출률과 미검출률을 확인하는 방법을 사용한다.

검출률, 미검출률 및 오검출률을 계산하는 방법은 아래의 식과 같다[13][14].

$$\text{검출률} = \frac{\text{찾아낸 화염 프레임 수}}{\text{화염 프레임 수}} \times 100[\%]$$

$$\text{미검출률} = \frac{\text{찾아내지 못한 화염 프레임 수}}{\text{화염 프레임 수}} \times 100[\%]$$

$$\text{오검출률} = \frac{\text{잘못 검출된 프레임 수}}{\text{전체 프레임 수} - \text{화염 프레임 수}} \times 100[\%]$$

이렇듯 화재 영상 정확도를 평가하는 방법으로는 전체 프레임 대비 화염 프레임의 수로 검출 성능을 평가하고 있다.

이에 추가로 화재와 카메라간의 거리를 여러 개 지정해 두고 각각의 거리에서 검출률을 구하는 방법을 사용하기도 한다. 한 번에 넓은 공간을 감지해야 하는 탁 트인 공간에서의 화재감지나 산불감지 등 야외에서 사용해야하는 시스템의 알고리즘인 경우와 터널 등 직선상의 공간에서 사용되는 시스템의 알고리즘인 경우 화염과 카메라의 거리에 따른 검출률도 중요한 성능평가요인이 될 수 있기 때문이다.

V. 실험 결과

1. 연기 검출 성능 비교

3.1절에서 다양한 연기 검출 방법 및 알고리즘에 대해 설명하였다. 해당 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 다양한 동영상에 대해 연기 검출률 및 오검출률을 측정하였으며, 대상 알고리즘은 아래와 같다. 성능 평가를 위해 사용된 동영상은 그림 5와 같으며, 320×240 크기의 동영상 9개를 이용하여 실험하였다. 동영상 1, 2는 외부에서 연기가 발생하는 동영상, 동영상 3, 4, 5, 6은 실내에서 연기가 발생하는 동영상, 동영상 7, 8, 9는 연기가 발생하지 않는 동영상이다.

알고리즘 1: 고속 누적 움직임 방향 모델[3]

알고리즘 2: 정적 및 동적 분석을 통한 연기 검출 알고리즘[2]

알고리즘 3: SVM 기반의 연기 검출 알고리즘[5]

알고리즘 4: Target-Tracking 기반의 연기 검출 알고리즘[6]

성능 평가 결과는 표 1과 그림 6에서 자세히 나타나 있다.

표 1. 동영상 1,2,3,4,5,6에 대한 성능 평가 결과
Table 1. Performance comparisons for movie1,2,3,4,5,6

	전체 프레임	알고리즘 1		알고리즘 2	
		TP	PTP (%)	TP	PTP (%)
동영상1	1060	1012	95.5	1010	95.3
동영상2	200	165	82.5	167	83.5
동영상3	214	183	85.5	181	84.6
동영상4	190	157	82.6	159	83.7
동영상5	140	122	87.1	122	87.1
동영상6	165	141	85.5	144	87.3
평균			86.5		86.9
	전체 프레임	알고리즘 3		알고리즘 4	
		TP	PTP (%)	TP	PTP (%)
동영상1	1060	1011	95.4	1009	95.2
동영상2	200	170	85.0	171	85.5
동영상3	214	177	82.7	174	81.3
동영상4	190	155	81.6	157	82.6
동영상5	140	117	83.6	119	85.0
동영상6	165	139	84.2	138	83.6
평균			85.4		85.5



그림 8. 화염 검출을 위한 대상 동영상
Fig. 8. Test movies for flame detection

여기서 $TP(true\ positive)$ 는 연기가 검출된 전체 프레임의 수, $PTP(percentage\ of\ TP)$ 는 연기가 검출된 비율을 나타낸다. 동영상 1의 경우는 모든 대상 알고리즘에서 가장 높은 정확성을 보였는데, 이는 내부 공간에서 발생하는 연기가 시각적으로 명백하게 구별되기 때문이다. 반면, 동영상 2의 경우는 모든 대상 알고리즘의 정확성이 다른 영상과 비교하였을 때 상대적으로 낮았다. 이는 연기가 흐릿하고 벽의 색과 유사하여 잘 구분되지 않았기 때문이다.

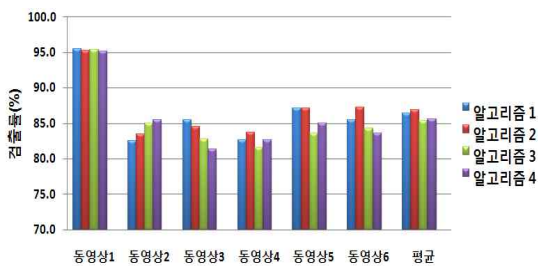


그림 6. 연기 검출 알고리즘의 검출률 비교
Fig. 6. PTP comparisons for various smoke detection algorithms

연기가 없는 동영상에 대한 실험 결과는 표 2와 그림 7에 나타나있다. 여기서 $TN(true\ -ative)$ 는 잘못 검출된 프레임의 수, $PTN(percentage\ of\ TN)$ 은 연기로 잘못 검출된 비율을 나타낸다.

표 2. 동영상 7,8,9에 대한 성능 평가 결과
Table II. Performance comparisons for movie7,8,9

	전체 프레임	알고리즘 1		알고리즘 2	
		TN	PTN (%)	TN	PTN (%)
동영상7	1060	10	12.5	9	11.3
동영상8	200	0	0.0	0	0.0
동영상9	214	1	3.1	9	2.5
평균			5.2		4.6
	전체 프레임	알고리즘 3		알고리즘 4	
		TN	PTN (%)	TN	PTN (%)
동영상7	1060	13	16.3	7	8.8
동영상8	200	6	3.9	0	0.0
동영상9	214	18	5.0	5	1.4
평균			8.4		3.4

동영상 7에 대해 모든 대상 알고리즘의 오검출률이 가장 높았는데, 실제 연기의 색과 유사한 바지를 착용한 사람의 움직임이 연기로 잘못 판단되었기 때문이다. 이외에 다른 동영상에 대해서는 연기와 유사한 색을 갖는 물체의 움직임이 없었기 때문에 오검출률이 동영상 7에 비해 상대적으로 낮게 나왔음을 알 수 있다.

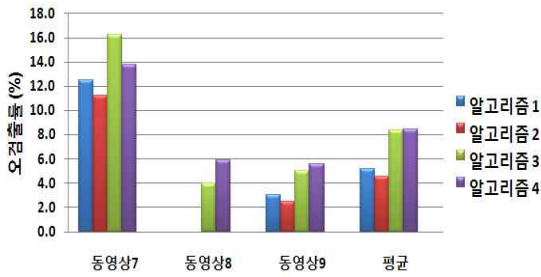


그림 7. 연기 검출 알고리즘의 오검출률 비교
Fig. 7. PTN comparisons for smoke detection algorithms

2. 화염 검출 성능 비교

3.2절에서 다양한 화염 검출 방법 및 알고리즘에 대해 설명하였다. 해당 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 다양한 동영상에 대해 화염 검출률 및 오검출률을 측정하였으며, 대상 알고리즘은 아래와 같다. 성능 평가를 위해 사용된 동영상은 위 그림 8과 같으며, 320×240 크기의 동영상 6개를 이용하여 PC기반 매트랩 (Matlab) 툴을 사용하여 실험하였다.

- 알고리즘 5: 칼라 모델을 활용한 방법[7]
- 알고리즘 6: 비전 센서와 SVM을 활용한 방법[8]
- 알고리즘 7: 컴퓨터 비전 기반 방법[9]
- 알고리즘 8: 확률 모델을 활용한 방법[10]

성능 평가 결과는 표 3과 같다. 화염이 발생하는 동영상을 가지고 화염 검출의 정확도를 평가한 결과 알고리즘 8이 제일 우수한 성능을 보였다. 반면, 화염이 발생하지 않는 동영상을 가지고 화염 검출 성능을 평가한 결과, 알고리즘 7이 제일 낮은 오검출률을 보였다.

표 3. 동영상10-15에 대한 성능 평가 결과
Table II. Performance comparisons for movies10-15

알고리즘	PTP (%)	PTN (%)
알고리즘 5	93.72	3.42
알고리즘 6	93.76	3.85
알고리즘 7	94.27	2.63
알고리즘 8	94.36	2.87

VI. 결 론

최근의 연기 및 화염감지 알고리즘들은 입력 영상을 프레임으로 나누어 하나의 프레임 마다 해당 알고리즘을 처리하는

방식이 사용되었다. 화재란 대부분 연기가 먼저 발생하고 화염이 그 후에 발생하는 순서로 이루어지지만 연기 없이 바로 발생하는 화재도 존재하기 때문에 화염과 연기 감지는 병렬적으로 처리해야 한다. 또한 실시간으로 화재가 감지되어야 하므로 모든 프레임을 계산하기위해서 특정 위치에 저장하게 되면 연산 속도가 떨어지고 보조 기억장치의 메모리가 낭비될 우려가 발생한다. 따라서 화염이나 연기의 후보 영역이 포함되는 특정 프레임만을 따로 저장하고 이 프레임들만을 연산에 적용하는 키프레임 방식을 사용하는 것이 계산 속도와 메모리 관리에 더 효율적이다.

대부분의 화재 감지 방법으로 RGB를 이용한 색차와 이진 영상을 통한 인접프레임 비교 방식을 사용하며 이를 보완하기 위하여 YCbCr 색공간 중 Cb와 Cr 값을 이용하거나 웨이블릿 변환을 통한 고주파 성분을 이용하는 방식을 사용한다. 때에 따라 support vector machine (SVM)을 이용하여 보다 정확한 화염을 추정하는 방식도 사용되고 있다. 화재와 연기는 고정된 형태와 크기를 지니지 않는 자연적인 요소이기 때문에 단순히 하나의 알고리즘으로 정의할 수는 없다. 때문에 여러 가지 복잡적이고 상호보완적인 알고리즘들을 결합하여 정확도를 높일 수 있는 방향으로 진행되고 있다.

퍼지이론(Fuzzy theory)은 이처럼 모호하고 불분명한 상황을 두뇌가 판단, 결정하는 과정에 대하여 수학적으로 접근하고 표현한다. 이 이론을 적용하면 영상에서 검출되는 불분명한 화재와 연기를 화재라고 정의하는 것에 도움이 될 것이다.

본 논문에서는 카메라의 입력 영상을 이용한 화재감지 시스템의 최신 연구개발 동향을 알아보았다. 모든 화재 감지에 만능인 광학식 화재 감지 알고리즘은 존재 하지 않으며, 느리게 발생하는 연기나 불길의 발생하기까지의 과정이 너무 빠른 경우, 실내와 실외에 따라, 바람의 방향이나 세기, 연기 발생 위치의 거리 차이, 연소되는 물질의 차이 등으로 인해 화재 감지를 하지 못하는 경우가 있을 수 있다. 또한 야간의 연기 검출은 일반적인 카메라 입력영상으로는 불가능 하다. 이렇듯 카메라를 이용하는 연기 및 화염감지 시스템은 환경변수에 큰 영향을 받게 되므로 환경적인 영향으로 인한 감지실패를 최소화 하는 동시에 조기에 감지할 수 있는 고신뢰성 알고리즘을 설계하고 구현할 필요가 있다.

참고문헌

[1] B. U. Toreyin, Y. Dedeoglu, and A. E. Cetin, "Contour based smoke detection in video using wavelets," in

- European Signal Processing Conference, EUSIPCO-06, pp. 1-5, Sept. 2006.
- [2] T. Chen, Y. Yin, S. Huang and Y. Yen, "The smoke detection for early fire-alarming system based on video processing," in Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, pp.427-430, Dec. 2006.
- [3] F. Yuan, "A fast accumulative motion orientation model based on integral image for video smoke detection," Pattern Recognition Letter, vol. 29, no. 7, pp.925-932, May 2008.
- [4] T. Celik, H. Özkaramanl, and H. Demirel, "Fire and smoke detection without sensors: image processing-based approach," in 15th European Signal Processing Conf., pp.1794-1798, Sept. 2007.
- [5] J. Yang, F. Chen, and W. Zhang, "Visual-based smoke detection using support vector machine," in Fourth International Conference on Natural Computation, pp. 301-305, 2008.
- [6] Z. Wei, X. Wang, W. An, J. Che, "Target-tracking based early fire smoke detection in video," in 2009 Fifth International Conference on Image and Graphics, pp. 172-176, 2009.
- [7] T. Celik and H. Demirel, "Fire detection in video sequences using a generic color model," Fire Safety Journal, vol. 44, no. 2, pp.144-158, Feb. 2009.
- [8] B. C. Ko, K. H. Cheong, and J. Y. Nam, "Fire detection based on vision sensor and support vector machines," Fire Safety Journal, vol. 44, no. 3, pp.322-329, April 2009.
- [9] B. U. Töreyn, Y. Dedeoglu. U. Gudukbay and A. E. Cetin, "Computer vision based method for real-time fire and flame detection," Pattern Recognition Letters, vol. 27, no. 1, pp.49-58, Jan. 2006.
- [10] P. V. K. Borges and E. Izquierdo, "A probabilistic approach for vision-based fire detection in videos," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 20, no. 5, pp.721-731, May 2010.

저자 소개



강성모

2011: 울산대학교
컴퓨터정보통신공학부 공학사.
현 재: 울산대학교
전기공학부 석사과정.
관심분야: 멀티미디어 신호처리, 임베
디드 소프트웨어, SoC설계
Email : justiceskull@naver.com



김종면

1995: 명지대학교
전기공학과 공학사.
2000: University of Florida
전기컴퓨터공학과 공학석사.
2005: Georgia Tech.
전기컴퓨터공학과 공학박사.
현 재: 울산대학교
전기공학부 교수
관심분야: 컴퓨터구조, 병렬프로세서,
멀티미디어 신호처리, SoC설계
Email : jongmyon.kim@gmail.com