

동영상을 이용한 연기 및 화염 감지 시스템 연구동향 분석

강성모, 김용준, 김종면*
울산대학교 컴퓨터 정보통신 공학부
e-mail:jongmyon.kim@gmail.com

Survey of video smoke and flame detection System

Seong-Mo Kang, Yong-Jun Kim, Jong-Myon Kim*
School of Computer Engineering and Information Technology

요 약

전통사회가 근대화 되면서 정치·경제·사회·문화 등의 전반적인 발전이 이루어졌다. 농촌지역들이 도시화 되면서 새로운 건물들이 지어지고 기존의 건물들이 증축되면서 건물은 점점 높아지고 대형화 되었다. 또한 건물들이 밀집되면서 한 곳에서 발생한 화재가 건물 내에서 번지거나 또는 주변 건물 등에 옮겨 붙어 대형화재로 이어질 수 있는 위험이 증가되고 있다. 대형 화재를 예방 하고 화재사고의 인명 및 재산 피해를 최소화하기 위해서 화재를 조기에 감지하는 화재감지 기술에 대한 필요성이 증가하고 있다. 화재가 발생 될 때 나타나는 화재의 특징들을 살펴보고 이를 통해 화재를 조기에 판단하기 위한 조건을 알아본다. 또한 이러한 조건들에 부합되는 최근의 연기 및 화염 감지 시스템의 연구 동향에 대해 알아본다.

1. 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 잘되는 경우나 야외 등 공기의 확산으로 인해 센서에 감지되지 않을 수도 있고, 열감지센서의 경우 감지기의 주변이 이미 온도가 높아진 경우는 이미 화재가 어느 정도 확산 된 이후이기 때문에 감지가 너무 늦다는 단점이 있다. 또한 불꽃감지 센서는 자외선의 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 불가능할 수도 있다. 넓은 지역에서의 감지확률을 높이기 위해서는 많은 수의 센서를 설치해야 한다는 단점이 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해서 영상처리 분야의 기술을 활용하여 화재감지 시스템들이 설계되고 있다.

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

2.화재의 특징

화재가 발생하면 주위 환경이 평소와 달라진다. 화재가 발생했다고 판단할 수 있는 요인들로는 보통 4가지를 통해 구분 한다.

2.1 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 m이기 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

* Corresponding author.

연기가 발생하는 경우들이 많으므로 화재의 조기 인식을 위해서는 연기를 빠르게 감지해내는 것이 중요하다.

2.2 온도

화재가 발생하고 화염이 주위의 공기 온도를 조금씩 상승 시킨다. 이러한 주위 공기의 온도가 특정 기준온도를 넘어서게 되면 화재라고 판단할 수 있으며, 화재의 종류에 따라 수분 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 발생되었다고 볼 수 있다.

2.3 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.

2.4 연소생성물

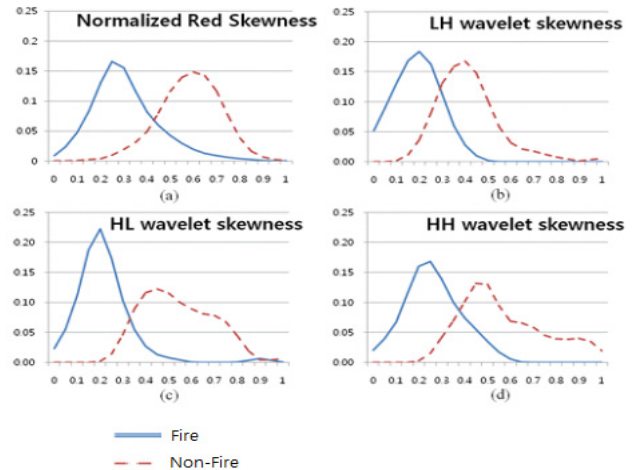
물질이 연소하게 되면 연소생성물이 생기게 되는데 연되는 물질의 주성분에 따라서 이산화황, 오산화인, 일산화탄소와 이산화탄소 등이 발생된다. 이러한 연소 생성물 역시 화재가 어느 정도 진행된 이후에 발생하는 것이므로 화재를 확신할 수는 있지만 조기 감지로 인한 피해 예방에는 큰 영향을 주지 않을 것이라고 보인다.

4가지 요인들 중 일반적으로 연기와 불꽃은 화재의 초기에 발생된다고 볼 수 있으며 대기 중의 열과 연소생성물은 화재가 어느 정도 진행된 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.

3. 화재 검출 방법

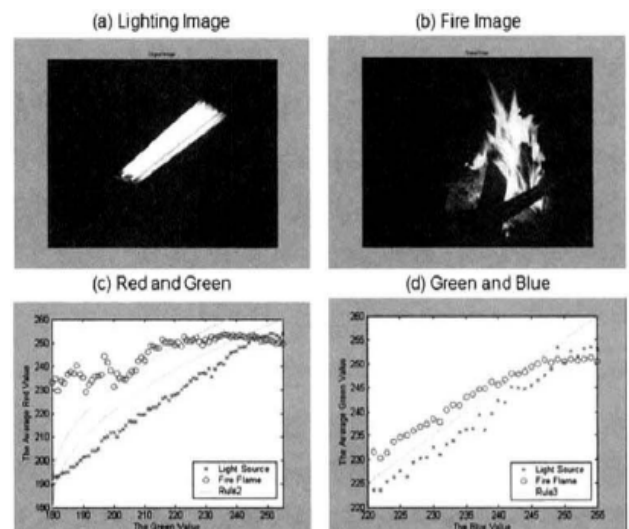
3.1 화염 감지

[1]에서는 서로 다른 두 대의 CCD 카메라를 사용하여 획득한 영상을 비교분석하여 3차원적 화재 위치를 알아내는 방법을 제안하였다. 먼저 입력영상을 RED Filtering을 통하여 RGB 값 중 RED 값을 취하여, 추출된 RED 이미지의 경계를 구분하기 위해 Graylevel 이미지로 치환한다. 그 후 이치영상을 연기 위해서 Threshold를 200 레벨로 설정하여 이치영상을 취득한다. 화염의 경계를 검출하는 방법으로는 현재 화소와 상하좌우 4개의 화소를 각각 비교하여 다른 값이 하나라도 있다면 그 화소를 경계 화소로 인식하는 방법을 사용하였다.



(그림 1) (a) 화재와 비화재 픽셀의 Red 색상에 대한 웨도 확률 밀도 그래프, (b),(c),(d) 화재/비화재 픽셀의 웨이블릿 계수에 대한 웨도 확률밀도 그래프

[2]에서는 실내에 설치된 전방향 카메라를 이용하여 입력영상을 MxN의 블록으로 분할하여 영상처리 하였다. 경험적 임계치를 사용하지 않은 것은 응용분야가 달라졌을 때 특정상황의 임계치 값으로 인한 성능저하를 고려한 것으로 보인다. 화재 샘플 영역들로부터 추출된 RGB 성분으로 가우시안 확률 모델을 생성하고 웨이블릿 변환 후 고주파 계수의 변화율을 측정한다. 최종적으로 이를 베이지안 네트워크에 적용하여 화재를 감지하는 방법을 제안하였다. 연속적인 영상 프레임의 모든 화소를 계산하기엔 시간이 오래 걸리는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 (그림 1)과 같이 각 픽셀들에서 추출된 Red 색상, LH, HL, HH 고주파 성분에 대한 웨도(skewness)를 계산하여 확률 모델로 생성 하도록 하여 연산 시간을 감소시키는 방법을 사용하였다. 이는 Töreyn^[6]의 논문에서 언급되었듯이 연기영역의 경우 배경에 비해 낮은 고주파 성분을 보인다는 특성을 적용한 것이다.



(그림 2) 인공조명과 화염의 RGB분포

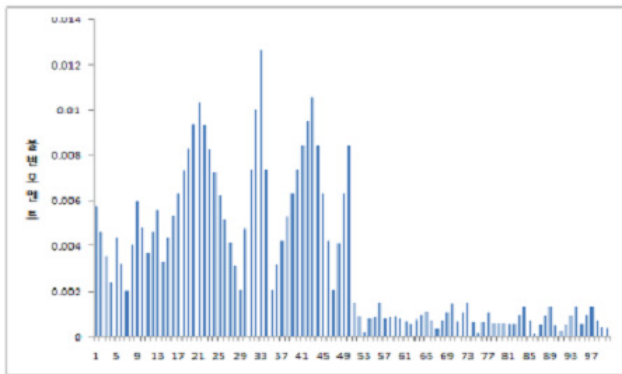
[3]에서는 입력 영상과 화염 색분포를 비교하여 화염과 화염의 색영역을 설정하고 배경과 입력영상의 차를 이용하여 화염 후보영역을 결정한다. 후보영역 중에서 화염과 유사한 색을 가진 물체의 움직임 벡터를 계산하여 수평, 수직성분에 대한 광학적 흐림이 임계치 이상일 시 최종적으로 화염을 검출하는 알고리즘을 제안하였다. (그림 2)와 같이 인공조명은 RG, GB영역에서 선형을 띄는 특징을 갖는 점을 활용하여 배경에서 인공조명을 제거하는 방법을 사용하였다.

[4]에서는 화염탐지와 연기감지가 병렬로 처리되며 화염탐지의 경우 컬러 정보를 이용하여 화염의 후보영역을 검출한 뒤 화염의 특징을 가지지 않는 영역을 제거하는 방법으로 화염을 검출하는 방법을 제안하였다. 영상 내의 화염영역은 높은 명도 값을 가지고 있기 때문에 이를 이진화로 변환 시 RGB의 값이 모두 경계값 이상인 픽셀만을 선택하는 방법을 사용하였다.

3.2 연기 감지

[3]에서는 입력 영상과 연기 색분포를 비교하여 연기 후보영역을 검출하고 배경과 입력영상의 차를 통해 배경을 추정한다. Prewitt, Roberts 알고리즘은 단순히 인접 픽셀에 대하여 더하고 빼는 간단한 형식이고 Sobel 알고리즘은 계산량이 다소 많지만 다른 알고리즘에 비해 경계값이 잘 나타난다는 장점이 있다. 따라서 연기 후보영역 중에서 Sobel 알고리즘을 통하여 연기의 경계를 검출하여 연기영역을 설정한다. 그 후 움직임 벡터를 측정하여 설정한 임계값 이상이 되면 최종적으로 연기를 검출하는 알고리즘을 제안하였다.

[4]에서는 컬러정보를 배제하고 인접프레임간의 차영상을 통해 검출되는 움직임 정보만을 가지고 연기영역을 지정하는 방법을 사용하였다. 연기검출을 위해서는 움직이는 모든 영역을 후보영역으로 지정하고 후보 영역 중 움직이는 물체(차량, 사람 등) 영역을 MHI(Motion History Image)를 이용하여 제거하고 남은 후보 영역을 연기로 인식하는 알고리즘을 제안하였다. MHI는 움직이던 물체가 일시 정지 하였을 경우 인접프레임간의 차가 거의 없어서 정지된 물체를 인식하지 못한다는 단점을 가지고 있기 때문에 이를 보완하기 위해서 (그림 3)과 같이 연기영역은 다른 영역에 비해 작은 불변모멘트 값을 갖는다는 특징을 활용하여 연기를 인식하였다.



(그림 3) 연기, 비연기 영역의 불변 모멘트 특징 예

[5]에서는 넓은 공간에서 느리게 움직이는 연기와 가까운 곳에서 움직이는 빠른 연기를 모두 감지하기 위해 키프레임을 이용하여 초기 움직임 영역을 검출하였다. 연기영역은 유사색상의 군집화를 이루고, 주변에 비해 단순한 질감을 가지며, 시간에 따른 모션정보의 상승 방향성을 가지는 특징을 나타낸다. 이러한 특징을 이용하여 학습영상으로부터 연기의 밝기, 웨이블릿 고주파 성분, 모션 벡터 등의 특징 값을 추출한다. 이들 특징 값들에 대해 가우시안 확률 모델을 생성하고 시간적 연속성을 고려하기 위해서 동적 베이지안 네트워크에 적용하여 최종 연기 영역을 판단하는 알고리즘을 제안하였다.

4. 정확도 평가 방법

설계한 알고리즘의 정확도를 평가하기 위해서 사용되는 방법으로는 <표 1>과 같이 산불, 주차장 화재, 불붙은 박스, 교통 체증이 일어나는 도로 등 여러 상황의 화재와 비화재 영상들 중 총 프레임수와 화염이 포함된 프레임의 수를 각각 미리 계산하여 놓고 화염이 포함된 프레임을 얼마나 찾아내는지 확인한다. 또한 화염이 포함되지 않은 프레임을 화염프레임으로 인식하는 경우와 화염이 포함된 프레임을 인식하지 못하는 경우를 통해 오검출률과 미검출률을 확인하였다. <표 1>은 평가방법의 예시이며 알고리즘1,2는 가상의 알고리즘이다. 각 영상 당 총 프레임 수는 50 프레임이라고 가정하였다.

<표 1> 화염 검출 결과 예시

입력 영상	화염이 포함된 프레임 수	알고리즘1	알고리즘2	상황 설명
Movie1	0	1	0	주차장
Movie2	5	5	5	정원 화재
Movie3	0	0	7	거실
Movie4	36	32	34	불타는 나무
Movie5	15	15	15	불타는 박스
Movie6	0	0	5	혼잡한 도로
Movie7	49	45	39	산불 영상

검출결과를 통해서 검출률과 미검출률, 오검출률을 계산하는 방법은 아래 식과 같다.

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

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

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

이 식을 토대로 <표 1>에 대한 검출률과 미검출률, 오검출률을 계산한 결과는 <표 2,3>와 같다.

<표 2> 알고리즘 1의 계산 결과

입력 영상	검출률	미검출률	오검출률
Movie1	X	X	2 %
Movie2	100 %	0 %	0 %
Movie3	X	X	0 %
Movie4	88.9 %	11.1 %	0 %
Movie5	100 %	0 %	0 %
Movie6	X	X	0 %
Movie7	91.8 %	8.2 %	0 %
총 검출률	95.2 %	4.8 %	0.2 %

<표 3> 알고리즘 2의 계산 결과

입력 영상	검출률	미검출률	오검출률
Movie1	X	X	0 %
Movie2	100%	0 %	0 %
Movie3	X	X	14 %
Movie4	94.4 %	5.6 %	0 %
Movie5	100%	0%	0 %
Movie6	X	X	10 %
Movie7	79.6 %	20.4 %	0 %
총 검출률	93.5 %	6.5 %	3.4 %

<표 2>와 <표 3>을 비교해 본 결과 알고리즘1이 알고리즘2 보다 검출률이 1.7 % 높고 미검출률은 1.7 % 더 낮으며 오검출률 또한 3.2% 낮다는 것을 알 수 있다. 이렇듯 화재 영상 정확도를 평가하는 방법으로는 전체프레임 대비 화염 프레임의 수로 검출 성능을 평가하고 있다.

5. 결론

최근의 연기 및 화염감지 알고리즘들은 입력 영상을 프레임으로 나누어 하나의 프레임 마다 해당 알고리즘을 처리 하는 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 이진영상을 통한 인접프레임 비교 방식을 사용하며 이를 보완하기 위하여 HSB 색공간 중 명도, 채도를 이용하거나 웨이블릿 변환을 통한 고주파 성분을 이용하는 방식을 사용한다. 때에 따라 가우시안 확률함수를 통하여 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 복합적이고 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 불길 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 입력 영상으로는 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.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] 김장원, 백동현, "CCD 카메라를 이용한 화재감지 및 화재 위치 추적", 대한전기학회 전기설비전문위원회 춘계 학술대회 논문집, pp.166-168, 2009.
- [2] 고병철, 심정희, 이인규, 황현재, 남재열, "전방향 카메라를 이용한 화재감지 및 원격지 모니터링 시스템", 영상 처리 및 이해에 관한 워크샵, 20회, 2008.
- [3] 박장식, 김대경, 최수영, 이영성, "화재 조기 인식을 위한 화염 및 연기 검출 알고리즘 개발", 한국화재소방학회 논문지 제22권 제4호, pp.27-32, 2008.
- [4] 이병무, 한동일, "터널 화재의 실시간 조기 탐지를 위한 화염 및 연기 검출 기법" 전자공학회 논문지 제45권 SP편 제4호, pp.353-364, 2008.
- [5] 이인규, 고병철, 남재열, "동적 베이지안 네트워크를 이용한 동영상 기반의 화재연기감지", 한국통신학회논문지 제 34권 제4호, pp.388-396, 2009.
- [6] B.U Töreyin, Y. Dedeoglu. U. Gudukbay and A.E. Cetin, "Computer Vision Based Method for Real-time Fire and Flame Detection" Pattern Recognition Letters, 27, pp.49-58, 2006.