

AI 기반 IR 카메라를 이용한 화염감지 및 화재원점 측위에 관한 연구

전준호, 곽동걸, 류진규, 박범수*, 김대석**
 강원대학교, *(주)글린테크, **(주)한길엔지니어링

A Study on AI-Based Flame Detection and Fire-Focused Positioning Using IR Camera

Jun-Ho Jeon, Dong-Kurl Kwak, Jin-Kyu Ryu, Bum-Su Park*, Dae-Suck Kim**
 Kangwon National University, *Gleantech Co., **Hangil engineering Co.

ABSTRACT

Detecting fire early is crucial, but conventional fire detectors have their limitations. Therefore, this paper conducts early fire detection using IR camera and employs background subtraction and a deep learning-based image object detection model to determine the presence of flame in thresholded IR image. To enable deep learning image training based on IR cameras, this study conducted HSV color conversion and filtering on conventional RGB images to obtain binarized images for training. This enables rapid fire detection and precise flame identification, reducing false alarm rate. Additionally, spatial moment techniques are utilized to locate the centroid of the detected fire regions and predict the movement of the fire by analyzing changes in the centroid's direction.

1. 서론

소방청에서 발표한 통계에 따르면 2022년도의 경우 총 40,113건의 화재가 발생했으며 이로 인한 인명피해는 2,668명, 재산 피해는 12,103억 원으로 집계되었다. 2021년과 비교하였을 때 화재 건수는 약 10.6% 증가하였고, 인명피해는 약 25.3%, 재산 피해는 약 10.12%가 증가하였다. 이와 같이 화재는 많은 인명피해와 재산 손실을 발생시키며 그 규모가 매해 줄어들지 않고 있는 실정이다. 또한 화재를 초기에 진압하지 못할 시에는 대형 화재로 번질 가능성이 높기 때문에 초기에 화재를 감지하고 신속하게 대처하는 것이 중요하다.

오늘날 일반적으로 사용되고 있는 화재감지기는 화재 시 발생하는 연소 생성물의 종류에 따라 열감지기, 연기감지기, 불꽃감지기 등으로 검출기법이 구분된다. 기존에 사용되고 있는 불꽃감지기 한계로는 화재를 신속하게 감지하지 못하거나 오작동에 의한 장비의 신뢰성 저하 문제, 그리고 화재 신호 발신에 대한 신속한 대처가 보장되지 않는다는 점이다.

초기 화재 시 불꽃이 발생하지 않고 연기가 지속적으로 발생하거나 불꽃이 발생하더라도 오랜 시간 경과 후 발생하는 화재에서는 불꽃감지기가 불꽃을 감지하는 데 걸리는 시간이 오래 걸리기 때문에 신속한 화재감지가 어려운 문제가 있다. 또한 거울이나 유리에 반사되는 빛과 같이 인공적인 광원에 의해서 비화재보가 발생하여 감지기의 신뢰도를 떨어뜨릴 수 있는

문제도 발생하고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 감지 시스템이 가지고 있는 신뢰성 및 속응성 문제를 해결하고자 IR 카메라를 이용하고, 딥러닝 기반의 객체검출 모델인 YOLO v8(You Only Look Once Version 8)을 이용하여 화염을 감지하고자 한다. 또한 검출된 화염 영역은 공간 모멘트 및 배경차분 기법을 이용하여 화재원점 측위를 진행하였다.

2. 화염감지 및 화재원점 측위

본 연구에서는 IR 카메라를 이용한 화염감지 및 화재원점 측위를 진행하였다. 화염감지를 위해 IR 카메라를 이용하였으나 IR 카메라 기반의 다양한 화염 데이터셋의 확보가 힘든 문제가 있어 이를 보완하기 위해 RGB 기반의 화염 이미지 데이터셋을 HSV 컬러 변환과 필터링을 거친 후 이진화하여 화염 데이터셋을 생성하였다. 화염감지는 YOLO v8과 같은 딥러닝 기반의 이미지 객체 검출 모델을 사용하여 학습을 진행하였다.

검출 단계에서는 오검출율을 줄이기 위해 입력된 IR 카메라의 영상에 대해 화염이 발생한 영상과 이전 시점의 영상을 차분하여 변화가 감지된 영역을 추출하는 배경차분기법을 이용하였다. 또한 감지된 화염의 영역에 대해서는 공간 모멘트를 계산하고 이동 방향을 파악하여 화재원점을 정밀하게 측위하도록 하였다. 그림 1은 본 연구에서 제안하는 화염감지 및 화재원점 측위 전반적인 흐름도를 나타낸다.

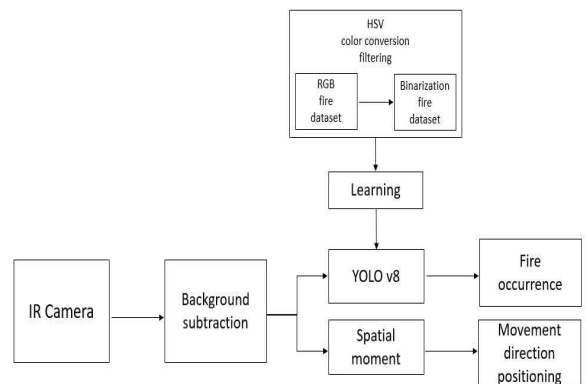


그림 1. 화염감지 및 화재원점 측위의 흐름도
 Fig. 1 Flowchart of flame detection and focused positioning

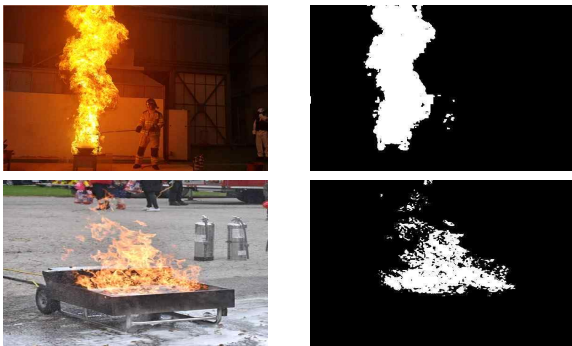
2.1 화염 이미지 데이터셋 확보 및 이미지 학습

2.1.1 HSV 컬러 변환 및 필터링

본 연구에서는 IR 카메라 기반의 딥러닝 이미지 추론을 진행하고자 한다. 하지만 IR 카메라 기반의 이미지는 다양한 화염 데이터셋을 확보하는데 한계가 있으므로 일반적인 RGB 화염 이미지 데이터셋에 대해 HSV 컬러 변환 및 필터링을 진행하여 이진화된 형태의 이미지 데이터셋을 생성하였다.^[1]

이때 HSV 컬러 모델에서 색상에 해당하는 Hue는 파장이 가장 긴 빨간색을 기준으로 하는 색상의 분포를 나타내며, 채도 성분인 Saturation은 순수한 색상에 하얀 빛이 포함된 정도를 나타낸다. 또한, 명도에 해당하는 Value는 빛의 강도를 측정하는 정도로 사용된다. Value가 하나의 성분으로 독립되어 범위를 조절할 수 있으므로 조명 변화에 강한 알고리즘을 생성할 수 있다.

그림 2는 RGB 카메라의 이미지를 HSV 컬러변환 및 필터링을 적용하여 화염영역을 이진화한 결과의 이미지를 나타낸다. 이는 RGB 카메라의 이미지 데이터셋을 IR 카메라의 이미지와 같은 형태로 표현하기 위한 과정이며, 그림 2(a)는 RGB 카메라의 이미지를 나타내고 그림 2(b)는 RGB 카메라의 이미지를 이진화한 이미지를 나타낸다.



(a) RGB flame dataset (b) Binarization flame dataset

그림 2. HSV 컬러 변환 및 필터링

Fig. 2 HSV color conversion filtering

2.1.2 YOLO v8

본 연구에서는 HSV 컬러 변환 및 필터링이 적용된 화염 이미지 데이터셋을 학습용 데이터셋으로 이용하였다. 학습 모델로는 최신 YOLO v8 모델을 이용해 IR 카메라 영상 속 화염 객체를 검출한다. YOLO 알고리즘은 컴퓨터 비전에서 널리 활용되는 합성곱신경망(CNN : Convolutional neural network) 기반의 객체 감지 프레임워크 중 하나이다. YOLO v8은 기존 객체감지 알고리즘 모델 중 정확도와 속도가 크게 향상된 모델로써, 실시간 객체검출 성능이 뛰어나 화염의 검출에 적합한 모델이다.^[2] 이는 모델 크기에 따라 5가지 (n,s,m,l,x) 모델을 제공하며, 모델의 경량화를 통해 엣지 또는 모바일 기기 등에서도 사용이 원활하다.

2.2 IR 카메라를 이용한 화염감지 및 화재원점 추위

2.2.1 배경차분을 통한 후보영역 검출

IR 카메라의 입력 영상으로부터 화재를 검출하고자 할 때 영상 내에는 찾고자 하는 화재에 해당하는 객체 이외의 여러

사물이 존재할 수 있으므로 전경영상과 배경영상의 분리가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 입력 영상으로부터 일정시간 차를 둔 두개의 프레임을 배경차분하여 영상 내에서 움직임이 발생한 부분을 관심 영역으로 지정하였다. 식 (1)은 일정 간격 프레임에 대해 배경차분을 통해 관심 영역을 구하는 식이다.

$$RoI(x,y) = \begin{cases} 1, & |(F_1(x,y) - F_2(x,y))| \geq T \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

F_1 은 처음 저장된 영상 프레임이고, F_2 는 일정 시간 뒤의 영상 프레임으로서 두 개의 차분을 통해 임계값(threshold) T 보다 큰 경우 움직임이 발생한 영역으로 판단하여 관심 영역으로 사용되게 된다. 배경차분을 수행하기 전 각 프레임은 카메라의 센서나 디지털 처리 과정 중 발생하는 노이즈들로 인해 발생한 미세한 변화도 움직임으로 간주할 수 있으므로 이를 가우시안 혼합 모델(Gaussian mixture model)을 적용하여 해결하였다.

그림 3의 좌측은 영상 전처리방법을 통해 움직임이 발생한 영역으로써 검출 후보로 추출하고자 하는 원본 영상의 한 장면이고, 이를 일정 시간 간격을 두고 차분을 한 데이터를 가우시안 필터링을 수행한 결과가 우측에 해당한다. 영상 내에서 변화가 클수록 밝게 나타나고, 작을수록 어둡게 나타난다. 여기서 영상 내에서 노이즈일 수 있는 작은 변화들은 설정된 임계값에 의해 무시된다.^[3]

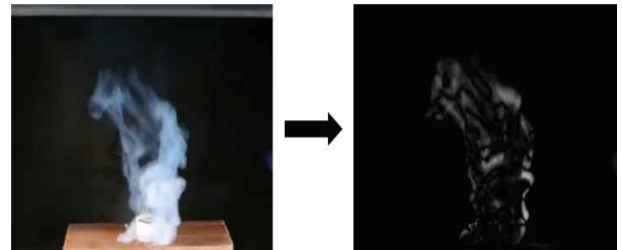


그림 3. 가우시안 혼합 모델링 결과

Fig. 3 Gaussian mixture modeling result

가우시안 필터를 이용한 혼합 모델링 방법은 영상의 강도 변화를 정확하게 나타낼 수 있는데, K 개의 가우시안 분포로 모델링 되는 경우 휘도 값의 확률은 식 (2)와 같다.

$$P(X_t) = \sum_{j=1}^K w_j \cdot \eta(X_t, \mu_j^t, \sigma_j^t) \quad (2)$$

여기서, w_j 과 μ_j^t 은 시간 t 일 때 j 번째 가우시안 분포의 가중치를 나타내며, σ_j^t 은 확률밀도함수를 정의하는 파라미터이다.

$\eta(X_t, \mu_j^t, \sigma_j^t)$ 는 가우시안 확률 분포함수를 나타내고, 식 (3)과 같이 표현한다.

$$n(X_t, \mu_j^t, \sigma_j^t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_j^t} e^{-\frac{1}{2(\sigma_j^t)^2} (X_t - \mu_j^t)^2} \quad (3)$$

K 개의 가우시안 혼합을 배열하였을 때 w_j/σ_j^t 의 크기에 따라 설정된 값을 만족하면 배경 모델로 결정된다.

관심 영역은 그림 4와 같이 임계값 이하에서 필터링된 픽셀들이 확대되고 인접한 픽셀들이 합성되어 만들어진다. 그림 4의 우측에 보이는 것이 최종적으로 움직임이 발생한 관심영역을 검출한 것을 나타내고 있다.

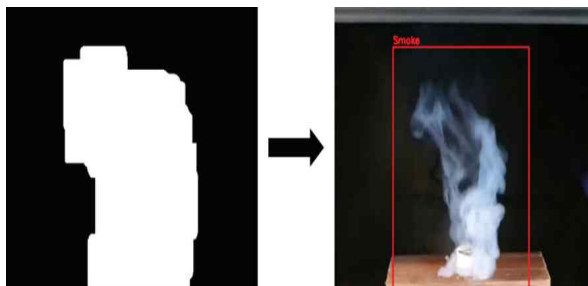


그림 4. 최종적인 관심영역의 결정
Fig. 4 Determination of region of interest

2.2.2 화재원점 측위를 위한 중심 모멘트 추출

화재원점 측위를 위해 화재 발생 영역의 중심점을 결정해야 하고, 본 논문에서는 이를 위해 배경차분 이후 검출된 화염 영역에 대해 이미지 모멘트를 이용하여 무게 중심을 구하게 된다. 화재 발생 영역의 경우 화염의 모양이 일정하지 않아 단순히 영역의 가장 좌측 및 우측의 중간값을 중심으로 결정하면 객체의 비중이 가장 높은 부분을 벗어날 수 있으므로 이미지 모멘트를 이용하여 무게 중심을 구하는 방식을 적용하였다.

여기서 이미지 모멘트를 이용하여 중심을 구하기 위해 식 (4)와 같이 공간 모멘트를 구하고 식 (5)를 통해 x 축 및 y 축 상에 존재하는 객체의 무게 중심을 구할 수 있다. 픽셀의 밀집도가 $f(x,y)$ 인 2차원 이미지에 적용할 경우 0차 모멘트인 m_{10} , m_{01} 은 각각 x 와 y 축의 분포 값이 되며, 식 (5)를 이용하여 객체의 중심을 구할 수 있다.

$$m_{ji} = \sum_{x,y} x^j y^i \cdot f(x,y) \quad (4)$$



그림 5. 화재원점의 중심 시각화
Fig. 5 Visualization of the center of mass of the fire area

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (5)$$

그림 5는 임계 처리된 화재 영역에 대해 중심점을 붉은색 점으로 시각화한 이미지를 나타내며, 화재 영역과 같이 좌우가 비대칭이고 불규칙한 모양을 갖는 객체에 대해 큰 면적을 갖는 쪽의 중심을 찾을 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 IR 카메라를 이용한 화염감지 및 화재원점 측위를 연구하기 위해 기존 RGB 카메라의 이미지를 HSV컬러 변환과 필터링을 통해 이진화하여 IR 카메라 기반의 딥러닝을 위한 전용 데이터셋을 확보하였다. 이후 YOLO v8 딥러닝 모델을 이용하여 화염을 검출하고, 영상차분을 이용하여 도출된 화염의 후보영역을 통해 화재원점의 이동 방향을 측위하는 알고리즘을 적용하였다.

제안한 IR 카메라 기반의 화염검출 알고리즘은 화염이 연기에 가려지거나 빛이 없는 극한의 환경에서도 적외선 복사열을 인식하는 IR 카메라를 이용하므로 화염의 검출이 가능한 장점을 보인다. 또한, 불의 형상과 온도 정보를 종합적으로 고려하여 화재를 검출하므로 화염과 비슷하게 생긴 물체를 오검출하는 문제를 해결하였다.

본 논문은 2024년 국립대학육성사업 학생 연구프로그램 지원을 받아 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] Jin-Kyu Ryu, Dong-Kurl Kwak, "Flame Detection Based on Deep Learning Using HSV Color Model and Corner Detection Algorithm", Fire Science and Engineering, Vol. 35, No. 2, pp. 108-114, 2021.
- [2] Chae-Eun Lee, Chun-Su Park, "Development of Fire Detection System using YOLOv8", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 23, No. 1, pp. 19-24, 2024.
- [3] Ryu Jinkyu, Kwak Dongkurl, and Choi Seungmin, "Position Estimation of Forest Fires using an Infrared Camera Based on Pan Tilt Servo", Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 22, No. 4, pp. 97-103, 2022.