

AI 기반 열화상 카메라를 이용한 화재검출 시스템에 관한 연구

전준호, 곽동걸, 최신행, 류진규*, 김대석**

강원대학교, *우석대학교, **㈜한길엔지니어링

A Study on Fire Detection System Using AI-Based Thermal Imaging Camera

Jun-Ho Jeon, Dong-Kurl Kwak, Shin-Hyeong Choi, Jin-Kyu Ryu*, Dae-Suck Kim**

Kangwon National University, *Woosuk University, **Hangil engineering Co.

ABSTRACT

화재를 초기에 감지하는 것은 매우 중요하지만, 기존의 화재 감지기들은 한계점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 열화상 카메라를 이용한 화재검출 시스템 개발에 관한 연구를 진행하며, 또한 초기 화재 감지를 수행하고 배경차분 기법과 딥러닝 기반 이미지 객체 탐지모델 YOLO v8을 활용하여 이진화된 열화상 이미지에서 화염의 존재 여부를 판단한다. 열화상 카메라를 기반으로 한 딥러닝 이미지 학습을 가능하게 하기 위해, 본 연구에서는 기존의 RGB 이미지에 HSV 컬러 변환 및 필터링을 적용하여 학습용 이진화 이미지를 획득하였다. 이를 통해 신속한 화재 감지와 정확한 화염 식별이 가능해져 오경보율을 감소시킬 수 있다. 또한, 공간모멘트 기법을 활용하여 감지된 화재 영역의 중심점을 찾고, 이 중심점의 방향 변화를 분석함으로써 화재의 이동 방향을 예측한다.

1. 서 론

최근 소방청의 통계자료에 따르면, 2022년 한 해 동안 우리나라에서 발생한 화재건수는 40,113건에 달했으며, 이로 인한 인명 피해는 2,668명, 재산 피해는 12,103억 원에 이르렀다. 이는 전년대비 화재 발생 건수가 10.6%, 인명 피해가 25.3%, 재산 피해가 10.12% 증가한 수치로, 화재로 인한 피해가 지속적으로 증가하고 있음을 보여준다. 이러한 통계는 화재의 초기 감지와 신속한 대응의 중요성을 더욱 부각시키고 있다.

기존에 사용되고 있는 화재 감지 시스템은 열, 연기, 불꽃 등 다양한 연소생성물을 감지하는 방식으로 작동한다. 그러나, 이러한 기존의 시스템들은 여러 한계점을 가지고 있다. 예를 들어, 물리적 불꽃감지기의 경우 초기 화재단계에서 불꽃을 감지하지 못하거나 늦게 감지할 경우 신속한 감지가 어려울 수 있다. 또한, 인공광원에 의한 오감지로 인해 비화재보가 발생하는 등 신뢰성 문제도 존재한다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해, 본 연구에서는 열화상 카메라와 최신 딥러닝 기술을 결합한 새로운 화재검출 시스템을 제안한다. 구체적으로, YOLO v8(You Only Look Once Version 8)이라는 최신 객체 검출 모델을 활용하여 열화상 카메라로 촬영한 이미지에서 화염을 정확하게 식별하고자 한다. 더불어, 공간모멘트 기법과 배경차분 기법을 적용하여 화재원점의 이동 방향을 정확히 측위하는 방법을 진행하였다.

이러한 화재검출 방식은 기존 시스템의 한계를 극복하고, 더

욱 신속하고 정확한 화재 감지를 가능하게 할 것으로 기대된다. 특히, 딥러닝 기술의 활용은 다양한 환경에서의 화재 패턴을 학습하고 인식할 수 있어, 오감지율을 크게 낮출 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구는 화재로 인한 인명 및 재산 피해를 줄이는데 크게 기여할 수 있을 것이다.

2. 열화상 카메라를 이용한 화재검출 시스템

본 연구에서는 열화상 카메라를 이용한 화재검출 시스템 개발에 관한 연구를 진행하였다. 화재검출을 위해 열화상 카메라를 이용하였으나 열화상 카메라 기반의 다양한 화염 데이터셋의 확보가 힘든 문제가 있어 이를 보완하기 위해 RGB 기반의 화염 이미지 데이터셋을 HSV 컬러 변환과 필터링을 거친 후 이진화된 화염 데이터셋을 생성하였다. 이 화염 데이터셋을 기반으로 YOLO v8과 같은 딥러닝 기반의 이미지 객체 검출 모델을 사용하여 학습을 진행하였다.

검출 단계에서는 오검출율을 줄이기 위해 입력된 열화상 카메라의 영상에 대해 화염이 발생한 영상과 이전 시점의 영상을 차분하여 변화가 감지된 영역을 추출하는 배경차분 기법을 이용하였다. 또한, 감지된 화염의 영역에 대해서는 공간 모멘트를 계산하고 이동 방향을 파악하여 화재원점을 정밀하게 측위하도록 하였다. 그림 1은 본 연구에서 제안하는 화재검출 시스템의 전체적인 흐름도를 나타낸다.

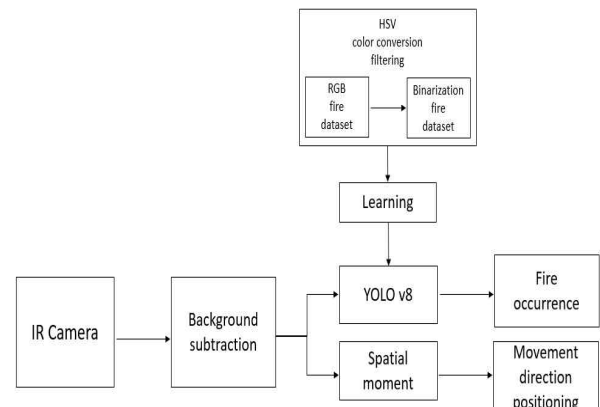


그림 1. 열화상 카메라를 이용한 화재검출 시스템의 흐름도

Fig. 1 Flowchart of a fire detection system using thermal imaging camera

2.1 화염 이미지 데이터셋 확보 및 이미지 학습

2.1.1 HSV 컬러 변환 및 필터링

본 연구에서는 열화상 카메라 기반의 딥러닝 이미지 추론을 진행하고자 한다. 하지만 열화상 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 컬러 변환 및 필터링을 적용하여 화염 영역을 이진화한 결과의 이미지를 나타낸다. 이는 RGB 카메라의 이미지 데이터셋을 열화상 카메라의 이미지와 같은 형태로 표현하기 위한 과정이며, RGB 카메라의 이미지를 나타내고 필터링을 거친 후 RGB 카메라의 이미지를 이진화하여 열화상 카메라의 이미지와 동일한 이미지를 나타낸다.



그림 2. HSV 컬러 변환 및 필터링
Fig. 2 HSV color conversion filtering

2.1.2 YOLO v8을 이용한 화염 객체 검출

본 연구에서는 HSV 컬러 변환 및 필터링이 적용된 화염 이미지 데이터셋을 학습용 데이터셋으로 이용하였다. 학습 모델로는 최신 YOLO v8 모델을 이용해 열화상 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 YOLO 시리즈의 최신 버전으로, 객체 감지 및 분류에서 뛰어난 성능을 자랑하는 실시간 딥러닝 알고리즘이다.^[2] YOLO v8은 기존 알고리즘보다 더 빠르고 정확한 객체 감지 성능을 나타내고 있으며, 최신 하드웨어의 성능을 최대한 활용하여 실시간 처리에 적합한 속도와 정확도를 제공하여 더욱 더 빠르고 정밀한 객체 감지가 가능한 모델이다. 모델의 경량화를 통해

엣지 또는 모바일 기기 등에서도 사용이 원활하다.

본 연구에서는 최신 객체 검출 모델을 YOLO v8을 이용하여 연구를 진행하였다. 아래의 그림 3은 YOLO v8을 활용하여 학습한 화염 검출 결과를 나타내고 있다.



(a) Flame 0.89 (b) Flame 0.92
그림 3. YOLO v8을 적용한 화염 검출 결과
Fig. 3 Flame detection results with YOLO v8

2.2 열화상 카메라를 이용한 화재원점 측위

2.2.1 배경차분을 통한 후보영역 검출

열화상 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 일정시간차를 둔 두개의 프레임을 배경차분하여 영상 내에서 움직임이 발생한 부분을 관심 영역으로 지정하였다.^[3] 식 (1)은 일정 간격 프레임에 대해 배경차분을 통해 관심영역을 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. 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.

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

여기서, w_j^t 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 표현된다.

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

K 개의 가우시안 혼합을 배열하였을 때 w_j^t/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.

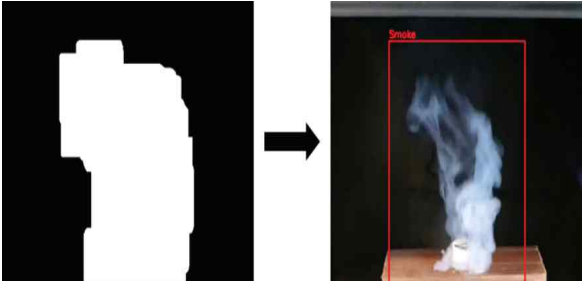


그림 4. 최종적인 관심영역의 결정
Fig. 4 Determination of region of interest

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.

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

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

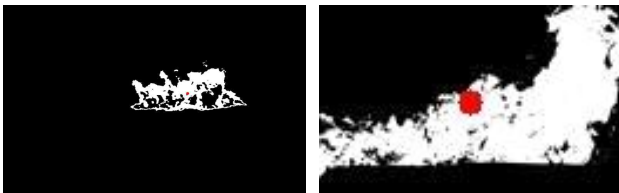


그림 5. 화재원점의 중심 시각화
Fig. 5 Visualization of the center of mass of the fire area

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

3. 결 론

본 연구에서는 열화상 카메라를 이용한 화재검출 시스템 개발에 관한 연구를 진행하기 위해 기존 RGB 카메라의 이미지를 HSV 컬러변환과 필터링을 통해 이진화하여 열화상 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.

제한한 열화상 카메라 기반의 화염 검출 알고리즘은 화염이 연기에 가려지거나 빛이 없는 극한의 환경에서도 적외선 복사열을 인식하는 열화상 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 프로그램 지원을 받아 수행되었음.
- 또한, 본 연구는 중소벤처기업부의 2024년도 창업성장기술폭발사업의 지원에 의한 연구임 [RS-2024-00468241].

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] Tae Hee Lee, Chun-Su Park, "Real-Time Fire Detection Method Using YOLOv8", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 22, No. 2, pp. 77-80, 2023.
- [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.