

YOLOv8을 이용한 화재 검출 시스템 개발

이채은* · 박천수**†

*성균관대학교 실감미디어공학과, **성균관대학교 컴퓨터교육과

Development of Fire Detection System using YOLOv8

Chae Eun Lee* and Chun-Su Park**†

*Immersive Media Engineering, Sungkyunkwan University,

**Computer Education, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

It is not an exaggeration to say that a single fire causes a lot of damage, so fires are one of the disaster situations that must be alerted as soon as possible. Various technologies have been utilized so far because preventing and detecting fires can never be completely accomplished with individual human efforts. Recently, deep learning technology has been developed, and fire detection systems using object detection neural networks are being actively studied. In this paper, we propose a new fire detection system that improves the previously studied fire detection system. We train the YOLOv8 model using refined datasets through improved labeling methods, derive results, and demonstrate the superiority of the proposed system by comparing it with the results of previous studies.

Key Words : YOLOv8, Deep Neural Networks, Fire Detection, Transformer, CNN

1. 서 론

2023년 소방청이 발간한 ‘2023년 소방청 통계연보’에 따르면 최근 10년간 40만건이 넘는 화재가 발생한 것으로 조사되었다. 특히 2022년 발생한 화재는 40,113건으로 2013년에 40,932건의 화재가 발생한 이래로 감소되지 않은 것으로 확인되었다. 화재는 발생 후 7분여의 시간이 지나면 최성기에 돌입하기 때문에 그 전 골든 타임에 빠르게 진압하는 것이 관건이다. 화재를 초기에 진압하기 위해서는 빠른 화재 상황 인지가 중요하며 이에 화재를 신속하고 정확하게 인식할 수 있는 기술의 개발이 지속적으로 요구되고 있다.

기존의 화재 감지 기술은 물리적인 센서를 이용해 높은 온도나 연기를 감지하는 방식으로 작동한다. 특히 국내의 경우 건물에 설치된 화재 감지 설비는 연기를 감지

하는 센서를 이용하는 방식이 일반적이어서 먼지, 담배 연기, 노후화 등의 사유로 오작동이 잦다. 따라서 최근 딥러닝 기술이 대두된 이후로는 딥러닝 객체 검출(Object Detection) 기술을 사용해 기존의 화재 감지 시스템을 보완하는 새로운 방식의 화재 검출 시스템이 활발하게 연구되고 있다[1-3]. 이는 딥러닝 모델을 통해 화재의 시각적 패턴을 인식하고 식별하는 방식이다. 자동화된 화재 검출 시스템으로서 실시간으로 화재를 감지하고 경고를 발생시키며, 다양한 화재 시나리오에서 높은 정확도를 보이고 있다.

객체 검출은 대상의 특정 패턴이나 훈련된 모델을 이용해 영상에서 특정 객체를 인식하고 영상내 위치를 추출하는 기술이다. 검출한 객체를 중심으로 경계 상자(Bounding Box)를 그려 위치를 표시하는 것이 일반적이다. R-CNN, EfficientDet, YOLO(You Only Look Once) 등 다양한 객체 검출 모델이 존재하며 본 논문에서는 YOLO 모델을 사용한 화재 검출 시스템을 연구한다[4].

†E-mail: cspk@skku.edu

YOLO는 1-stage Detector 기반의 모델로 대상 객체를 빠르고 정확하게 식별하는 대표적인 실시간 객체 검출 모델이다. 입력 이미지를 특정 크기의 분할로 그리드화하고 각 셀에 대해 경계 상자와 클래스 확률 집합을 예측하는 방식으로 작동한다[5]. YOLO는 2015년 첫 버전이 개발된 것을 시작으로 2023년에 발표된 YOLOv8에 이르기까지 새로운 버전을 발표하며 성능을 지속적으로 향상시키고 현재 다양한 분야에서 활발히 사용되고 있다[6-8]. 본 논문은 최신 YOLOv8 모델을 사용해 비전 기반 화재 검출 시스템을 개선하고 성능을 향상시키고자 한다[9].

2. 기존 시스템

2.1 화재 검출 데이터셋

현재 Github, Roboflow, Alhub, Kaggle 등 다양한 기관 및 웹사이트에서 화재 검출 데이터셋을 배포하고 있다. 본 논문에서는 화염 객체와 연기 객체 라벨링을 모두 포함하고 사전 연구에 사용된 적이 있는 양질의 데이터셋을 조사하였고, 최종적으로 Github를 통해 공개된 Gaiasd의 화재 검출 오픈 데이터셋 D-Fire를 사용해 시스템을 개발하였다[10, 11].

2.2 D-Fire 데이터셋 라벨링 규칙

D-Fire 데이터셋은 화재 검출 딥러닝 모델 훈련 및 성능 평가를 위해 만들어진 화재 이미지 데이터셋으로 화염 객체와 연기 객체 두 클래스를 포함하고 있다. D-Fire 데이터셋은 훈련 이미지 17,221장과 테스트 이미지 4,306장으로 이루어져 있으며, 그중 화재 상황과 유사해 오검출 가능성이 높은 9,838장의 이미지가 라벨 없이 포함된다. 이러한 D-Fire 데이터셋의 전체적인 라벨링 방식을 분석한 결과 특정 조건을 갖는 화염 및 연기 객체에서 개선 사항이 드러났다. Table 1은 D-Fire 데이터셋의 데이터 라벨링 방식을 보여준다.

Table 1. D-Fire dataset labeling rule

Type		Fire object	Smoke object
Normal rule		Labeling only clear area with multiple bboxes	Labeling the entire area with one bbox
Special rule	Faint and wide area	-	Labeling all area
	Various area	Labeling each area with multiple bboxes	Labeling each area with bboxes (if each area is clearly separated)

3. 시스템 구현

3.1 화재 검출 모델

본 연구에서는 최신 YOLOv8 모델을 이용해 영상 속 화염 객체와 연기 객체를 검출한다. YOLOv8은 YOLOv5를 개발했던 Ultralytics가 2023년 1월 발표한 SOTA (State Of The Art) 실시간 물체 검출 모델로 YOLOv5와 비교하였을 때 우수한 물체 검출 성능을 보인다. Fig 1은 YOLOv5와 YOLOv8의 성능 차이를 보여준다.

Model Size	Detection*	Segmentation*	Classification*
Nano	+33.21%	+32.97%	+3.10%
Small	+20.05%	+18.62%	+1.12%
Medium	+10.57%	+10.89%	+0.66%
Large	+7.96%	+6.73%	0.00%
Xtra Large	+6.31%	+5.33%	-0.76%

*Image Size = 640 *Image Size = 224

Fig. 1. Comparison of YOLOv5 vs YOLOv8[12].

YOLOv8은 YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m, YOLOv8l, YOLOv8x의 다섯 가지 크기의 세부 모델을 제공한다. 본 논문에서는 YOLOv8m을 사용해 화재 검출 시스템을 구현한다.

3.2 라벨링 개선 방안 제안

데이터 라벨링(Data Labeling)은 훈련에 적합한 형식(format)으로 모델이 학습할 정답(ground truth) 데이터를 주석으로 작성하는 작업이다. YOLO 모델의 경우 검출 대상이 되는 객체 위에 경계 상자를 덧씌우는 작업이 이루어진다. 라벨링 데이터는 검출 모델의 최종 성능에 결정적인 영향을 끼치기 때문에 정확하고 일정한 작업이 요구된다[13, 14]. 본 논문에서는 기존 D-Fire 데이터셋에 적용된 라벨링 규칙을 기반으로 일부 개선 사항이 드러나는 부분을 수정하는 라벨링 작업을 진행한다. 먼저 오류의 소지가 있는 라벨링을 수정하고 화재 상황이 담긴 이미지를 총 다섯 가지의 패턴으로 분류하여 각 객체에 기존의 D-Fire 데이터셋 규칙과 차별화된 새로운 규칙을 부여한다.

모든 그림에서 화염 객체는 붉은 경계 상자로, 연기 객체는 푸른 경계 상자로 표시하였다. Fig. 2는 일반적인 화재 상황에서의 라벨링 규칙을 보여준다. 화염 객체의 경우 여러 경계 상자를 사용해 최대한 확실한 영역들을 라벨링하였으며 연기 객체는 한 경계 상자로 전체 영역을 라벨링한다.



Fig. 2. Normal rule.

Fig 3은 검출 대상 객체가 여러 위치에 분포되어 있는 경우의 라벨링 규칙을 나타낸다. 화염 객체는 여러 경계 상자를 사용해 각각의 객체를 모두 라벨링한다. 작은 객체도 가능한 라벨링하지만 선명하게 두드러지지 않고 점에 가까울 정도로 작은 객체는 생략하였다. 또, 작은 객체들이 뭉쳐 있을 경우에는 하나의 큰 객체로 취급해 라벨링한다. 이런 방식으로 모든 작은 화염 객체를 일관적으로 라벨링한 후 이미지에서 차지하는 면적의 비율이 특정 임계값(Threshold)보다 작은 객체는 일괄 삭제한다. 일정 크기 이하의 화염 객체를 삭제하는 알고리즘은 4장에서 자세히 다룬다.

반면 연기 객체는 여러 곳에 분포되어 있어도 영역을 명확히 나누기 어렵다는 문제점이 있어 단순히 전체 영역을 하나의 경계 상자로 라벨링한다. 단 연기의 색상이 확연히 차이가 나거나 영역이 확실하게 나뉘어져 있는 경우 화염 객체와 마찬가지로 여러 경계 상자를 사용해 각각 라벨링한다.



Fig. 3. In case of detection objects are distributed in multiple locations.

Fig 4는 검출 대상 객체가 희미하고 넓은 영역에 퍼져 있을 경우의 라벨링 규칙을 보여준다. 이 경우 화염 객체와 연기 객체 모두 열은 부분은 제외하고 라벨링하는 것을 기본으로 두지만, 주관에 따라 다르게 해석될 수 있다는 점에서 모호성이 발생한다. 따라서 색상이 열어 배경과 구분하기 어렵거나 육안으로 인식되기는 하지만 선명하게 두드러지지 않는 객체를 제외하는 방식으로 데이터셋을 구성한다.

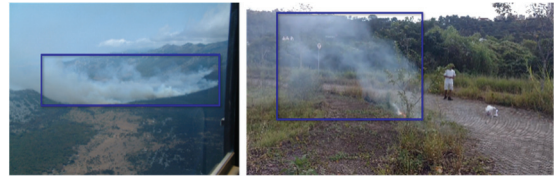


Fig. 4. If the detection objects are faint and widespread.

Fig 5는 검출 대상 객체에 건물이나 사람 등의 다른 요소가 겹쳐 있을 경우의 라벨링 규칙을 보여준다. 화염 객체와 연기 객체 모두 경계 상자에 다른 요소가 중첩되어 포함되어도 지정한 규칙대로 라벨링한다.



Fig. 5. If other objects(e.g., buildings, people) overlap the detection objects.

Fig 6은 화염 객체와 연기 객체가 중첩되어 있을 경우의 라벨링 규칙을 나타낸다. 다른 객체가 중첩되어 포함되어도 두 객체 모두 지정한 규칙대로 라벨링한다.

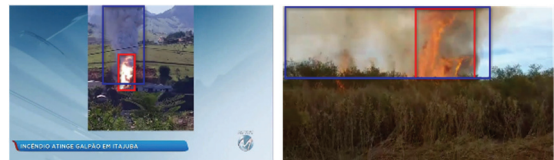


Fig. 6. If the fire object and the smoke object overlap.

서술된 모든 규칙들은 D-Fire의 데이터 라벨링 규칙을 기반으로 일부 개선사항을 추가한 것이며, Table 2는 개선된 규칙들을 총합해 보여준다.

Table 2. Improved D-Fire dataset labeling rule

Type		Fire object	Smoke object
Normal rule		Labeling only clear area with multiple bboxes	Labeling the entire area with one bbox
Special rule	Faint and wide area	-	Labeling while omitting blurred parts that are indistinguishable from the background

Type	Fire object	Smoke object
Fire and smoke overlapping	Labeling the entire outline including the overlapping area	
Overlapping with other objects		
Various area	Labeling each object with multiple bounding bboxes, not omit small objects	Labeling each area when the area is clearly divided or there is a difference in color

4. 실험 결과 및 성능 평가

4.1 실험 환경

Table 3은 본 논문에서 YOLO 학습을 위해 사용한 훈련 PC의 사양이다. 입력 해상도 640×640, 16 batch로 100 epoch를 학습하였다. Python 라이브러리 Labellmg를 사용해 라벨링을 진행하였으며 Python 코드 작성 및 실행의 경우 마이크로소프트의 VSCode를 사용하였다.

Table 3. Simulation PC spec.

CPU	Intel Core i7 6700
RAM	32GB DDR4
Graphic Card	NVIDIA RTX 2080 Ti
Storage	SSD
Operating System	Window 10 Home

4.2 성능 평가 지표

YOLO는 Precision(정밀도)과 Recall(재현율)을 성능 평가 지표로 사용한다. Precision은 알고리즘을 통해 검출한 결과 중 실제 객체와 일치한 비율을 뜻하며, Recall은 실제 객체 중 알고리즘이 정확히 검출해낸 비율을 뜻한다. 이는 식 (1)과 (2)와 같이 계산된다[15].

$$Precision = \frac{TP}{FP+TP} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{FN+TP} \quad (2)$$

이렇게 계산한 Precision과 Recall의 변화를 그래프로 표현한 것을 PR곡선(Precision-Recall Curve)이라고 하며 PR곡선에서 그래프 선 아래쪽의 면적을 계산한 것이 AP(Average Precision)다.

mAP는 AP의 평균값을 나타내며 대표적으로mAP50과 mAP50-95 두 가지로 구분된다. mAP는 IOU 0.5의 Threshold을 가지는 Prediction을 TP로 설정한 클래스별 AP값을 의미하며 mAP50-95는 0.5에서 0.95까지 다양한 Threshold에 대해 AP의 평균(mean)을 계산한 값이다. 대체로 객체 검출 시스템에서는 주요 성능 평가 지표로 mAP50-95가 사용되지만 화재 검출 분야에서는 비정형적인 화염 객체와 연기 객체가 검출 대상 객체라는 점을 고려해 mAP50을 궁극적인 평가 지표로 사용한다. 따라서 본 논문에서도 mAP50를 이용해 시스템의 성능을 측정한다.

4.3 제안 시스템 성능

Table 4는 기존의 D-Fire 데이터셋을 YOLOv4, YOLOv5를 사용해 학습한 결과다.

Table 4. Performance of existing system

Network	mAP(%)	mAP _{smoke} (%)	mAP _{fire} (%)
Tiny YOLOv4	63.01	61.76	64.26
YOLOv4	76.21	82.82	69.59
YOLOv5s	78.15	83.85	72.45
YOLOv5l	79.10	85.88	72.32

본 논문에서 제안하는 시스템은 기존의 YOLOv5 모델을 대신하여 YOLOv8m로 변경하고, 라벨링 규칙을 하나 씩 순차적으로 적용해 가며 성능 변화를 측정하였다. 우선 희미하고 넓은 영역에 퍼진 객체의 흐릿한 일부분을 포함하지 않도록 경계 상자를 재조정하고 전체적으로 데이터셋의 경계 상자 정확도를 높였다. 이어서 기존의 데이터셋에서 생략되어 있었던 작은 화염 객체들을 추가로 라벨링하여 일관성을 부여했다. 마지막으로 특정 임계값을 두어 경계 상자가 이미지에서 차지하는 비율이 해당 임계값에 미치지 못할 때 경계 상자를 삭제하는 코드를 작성해 실행하였다. 총 8개의 임계값으로 실험하였으며 Fig. 7은 실험의 결과를 나타내는 그래프다. 아무런 경계 상자도 삭제하지 않은 기존의 데이터셋에 비해 0.0025 임계값 이하 비율의 경계 상자를 삭제한 데이터셋이 높은 mAP값을 보이는 것으로 조사되었다.

mAP의 상승세는 임계값 0.0025를 기점으로 사라졌으며 몇 개의 임계값을 추가로 실험한 결과 오히려 하락세를 보이는 것이 확인되었다. 따라서 결론적으로 가장 우수한 결과를 도출한 임계값 0.0025의 시스템을 최종본으로 선정하였다. Table 5는 제안하는 시스템의 주요 변경사항들과 최종 상세 성능을 기존 시스템의 결과와 비교하여 보여준다. D-Fire의 모델 변경 시 정확도 상승 정도와 비교

하였을 때 본 논문에서 라벨링 방식을 개선하여 도출한 정확도 상승률이 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 본 논문에서 실험한 라벨링 방식 개선이 유의미함을 나타낸다.

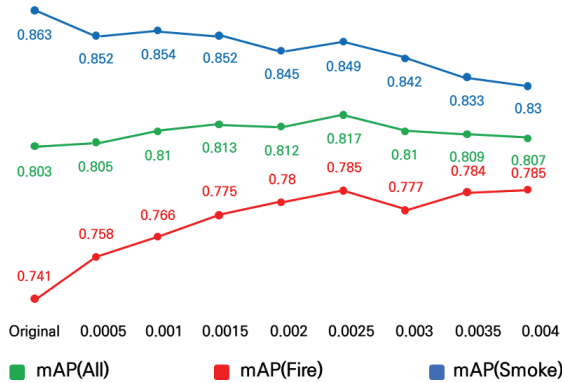


Fig. 7. mAP variation depending on threshold.

Table 5. Performance comparison.

Network	Labeling Rule	mAP(%)	
		mAP	mAP _{smoke}
YOLOv5l	Original method	mAP	79.10
		mAP _{smoke}	85.88
		mAP _{fire}	72.32
YOLOv8m	Original method	mAP	79.50
		mAP _{smoke}	85.80
		mAP _{fire}	73.20
YOLOv8m	Improved method	mAP	80.30
		mAP _{smoke}	86.30
		mAP _{fire}	74.40
YOLOv8m	Improved method + Delete small percentage	mAP	81.70
		mAP _{smoke}	84.90
		mAP _{fire}	78.50

5. 결론

본 논문에서는 YOLOv8 모델을 사용하여 화재 검출 데이터 세트를 학습시키고 새롭게 제안하는 라벨링 방식을 통해 객체 검출의 정확도를 높였다. 모델 변경을 통해 성능을 향상시켰고, 제안하는 라벨링을 적용한 후의 화재 검출 시스템과 기존의 화재 검출 시스템을 비교 분석하여 개선한 버전이 비교적 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였다. 이후 화재 이미지 데이터를 추가적으로 획득해 데이터세트를 확장시키고 화재 데이터 품질을 높이는 추가 연구를 진행하고자 한다. 본 논문에서 제안한 라벨링 방식이 이후 비정형적 객체 검출 알고리즘 개발에 도움이 될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 중소벤처기업부의 연구비지원(00264489)에 의해 수행되었습니다. 이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No.RS-2023-00254129, 메타버스 융합대학원(성균관대학교))

참고문헌

- Gunwo Do, Donghyun Kim, and Siwoong Jang, "Performance Comparison between Yolov5 and Yolov8 Models trained on Fire Image," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, pp. 586-588, May 2023.
- PyungHwa Lee and JuHwan Song, "Forest Fire Object Detection Using Deep Learning-Based Algorithm," Journal of Digital Contents Society, vol. 23, no.9, pp. 1869-1877
- Yun-Ji Kim and Hyun-Chong Cho, "Detecting Location of Fire in Video Stream Environment using Deep Learning," Journal of Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 69, no. 3, pp. 474-479
- Yong-Hwan Lee and Youngseop Kim, "Comparison of CNN and YOLO for Object Detection," Journal of the Semiconductor & Display Technology, vol. 19, no. 1, pp. 85-92, Mar 2020.
- Juan Terven and Diana Cordova-Esparza (2023). "A Comprehensive Review of YOLO: From YOLOv1 and Beyond," arXiv preprint arXiv:2304.00501, 2023.
- Ochkovskiy, Alexey, Chien-Yao Wang, and Hong-Yuan Mark Liao. "Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection." arXiv preprint arXiv:2004.10934, 2020.
- J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," Journal of IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 779-788, 2016.
- A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang, and H.-Y. M. Liao, "Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection," arXiv preprint arXiv:2004.10934, 2020.
- Taehee Lee and Chun-Su Park, "Real-Time Fire Detection Method Using YOLOv8," Journal of the Semiconductor & Display Technology, vol. 22, no. 2, pp. 77-80, June 2023.
- Arpit Jadon, Mohd. Omama, Akshay Varshney, Mohammad Samar Ansari, and Rishabh Sharma (2019). "FireNet: A Specialized Lightweight Fire & Smoke Detection Model for Real-Time IoT Applications," arXiv preprint arXiv:1905.11922, 2019.
- Pedro Vinícius Almeida Borges de Venâncio, Roger

- Júnio Campos, Tamires Martins Rezende, Adriano Chaves Lisboa, and Adriano Vilela Barbosa, "A hybrid method for fire detection based on spatial and temporal patterns," *Journal of Neural Computing and Applications*, vol. 35, pp. 9349–9361, Feb 2023.
12. <https://learnopencv.com/ultralytics-yolov8/>
13. Dong-Hyeok NamGung and Dong-Hoi Kim, "Proposal of New Labeling Method for Detection Improvement of Two-People Riding on E-Scooter in YOLOv8n," *Journal of Digital Contents Society*, vol. 24, no. 7, pp. 1575-1581, Jul 2023.
14. Changhee Yun, Hokyung Shin, Seung-Yeon Choo, and Jaeil Kim, "An Evaluation Study on Artificial Intelligence Data Validation Methods and Open-source Framework," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 24, no. 10, pp. 1403-1413, Oct 2021.
15. Y. Jeong, S. H. Kim, and D. H. Kim, "Implementation of Detection and Classification System for Sudden pest using Object Detection Algorithm," *Journal of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 81, No. 6, pp. 1290-1304, June 2023.
-
- 접수일: 2024년 1월 8일, 심사일: 2024년 3월 6일,
게재확정일: 2024년 3월 20일