

이미지 생성과 객체 검출모형을 이용한 실험실 화재 유형 분류

Laboratory Fire Type Classification with Image Generation and Object Detection

안상진
일반대학원 인공지능학과
아주대학교
수원, 대한민국
asj92@ajou.ac.kr

김범조
일반대학원 인공지능학과
아주대학교
수원, 대한민국
aidbeomjo@ajou.ac.kr

김연우
자연과학대학 생명과학과
아주대학교
수원, 대한민국
ywoo429@ajou.ac.kr

손경아(*)
인공지능학과
아주대학교
수원, 대한민국
kasohn@ajou.ac.kr

요약

실험실에서 발생하는 화재 사고는 인명과 재산 피해 위험이 커 신속한 탐지와 체계적인 대응이 요구된다. 본 논문에서는 실험실에서 발생할 수 있는 다양한 화재 상황에 효율적으로 대처하기 위하여 4 종류(일반, 유류, 전기, 금속) 화재 시나리오를 포함하는 이미지 데이터 셋을 구축하고, 객체 검출(YOLOv5) 기반 화재 특징 추출과 트리 기반 의사결정(Random Forest) 모형을 결합한 이미지 기반 실험실 화재 유형 분류 모델을 제시하고 평가한다.

키워드 : 화재 분류, 재난 대응, 이미지 생성, Stable Diffusion, YOLOv5, Random Forest

1. 서론

최근 화재 사고에 대한 사회적 관심이 높아지고 있다. 인공지능과 컴퓨터 비전 기술의 괄목할 만한 발전은 재난 대응 및 안전관리에 대한 새로운 기회를 제공한다. 대학이나 연구 기관 실험실의 화재 및 폭발 사고는 다른 장소에서 발생하는 화재 사고에 비해 빈도가 낮으나 인명과 재산 피해 위험이 커[1] 특별히 주의를 기울일 필요가 있다. 화재 예방을 위한 안전 교육과 기초 소방 설비만으로는 안전을 담보하기 어려우며, 실험을 위해 인화성 물질(유류, 금속)을 사용하고, 안전성이 검증되지 않은 전자장비를 시험하는 등, 발생 가능한 화재의 유형에 따라 잠재 위험 요소를 체계적으로 관리해야 한다. [2]

이를 위해, 컴퓨터 비전 기술을 응용한 기계 학습 모형은 단순 화염 탐지를 넘어 주변 가연물(섬유, 유류, 배선 등)의 정보를 함께 고려하여 다양한 시나리오를 포괄하는 방향으로 설계가

이루어져야 한다.

화재는 가연물의 종류에 따라 다른 소화 방법을 이용하여 올바른 방법으로 소화 및 진화가 요구된다. 다시 말해, 화재 상황에 대한 신속하고 정확한 탐지는 물론, 상황과 장소에 의존적인 위험 인자에 대한 조건부-대응이 중요하다. 소화 기구 및 자동소화장치의 화재안전기준(NFSC 101, 2018)에 따르면 우리나라는 화재를 A 급, B 급, C 급, K 급(주방 화재)으로 분류한다.

연구 기관에서 발생하는 화재 유형을 포괄하려면 일반 가연물, 유류와 전기는 물론, 배터리나 알칼리 금속 소재를 다루는 실험실에서 발생 가능성이 있는 금속 화재(D 급) 역시 유의하여 비중 있게 다루어야 한다. 표 1은 본 연구에서 다루는 화재 종류에 따른 가연물과 소화 방법을 제시한다.

표 1. 화재의 분류와 소화 방법[3]

종류	가연물	소화 방법
A 급	일반 가연물(나무, 섬유 등), 재(Ash)	냉각(물) 소화, 분말소화약제
B 급	유류와 가스, 재가 남지 않음	질식 소화, 이산화탄소
C 급	배선, 전자장비	이산화탄소, 분말소화약제
D 급	배터리, 알칼리 금속	마른 모래 등

2. 관련 연구

화재 위험 관리를 위한 기계학습 방법론을 도입하여 재난 대응 기술을 고도화하려는 국내외 다양한 연구가 수행되고[4, 5, 6] 있다. 화재를 다루는 기계학습 모델을 설계함에 있어 가장 큰 도전 과제로 데이터 부족과 심각한 레이블(label) 불균형 문제가 있다. 이러한 제약 점으로 기존 연구는 주로 (단순) 화염 탐지[4, 5]에 집중되어 이루어졌다. 기존 모델을 실험실 내 발생하는 화재 및 폭발 사고 탐지 및 대응에 보완 없이 활용하기에는 한계가 있다. 단순 화염 식별을 넘어 (별도의 센서 없이) 화재 원인에 대한 체계화된 분류 (일반, 유류, 전기, 금속) 기능을 제공하는 모형으로 개선할 여지가 남아 있다.

최근의 컴퓨터 비전 기술(이미지 생성과 객체 탐지)의 발전은 이를 위한 기회를 제공한다. 이미지 생성 모형을 이용하여 (가상의) 이미지를 생성하고,

객체 탐지 모형을 훈련하여 기준에 따라 분류하는 일련의 과정은 화재 상황을 시각적으로 탐색하여 분류하는 과정을 내포하며 효율적인 화재 대응의 기초가 된다. 선행연구를 조사한 바로, 본 연구에서 추진 중인 기계학습 기술을 이용한 화재 유형(일반, 유류, 전기, 금속)의 분류를 다루는 연구는 희소하며 우리는 실험실 시나리오에 특화된 경우를 다룬다.

우리는 문제 해결을 위하여 이미지 생성 모형 (Generative Model)을 이용한다. 객체 인식 모형을 트리-기반 의사결정 모형과 결합하여 화재 분류 문제에 도전한다. 특히, (가상으로) 생성된 화재 이미지만으로 훈련된 모형의 화재 분류 가능성을 확인하는 것은 주목할 만하다. 우리는 (1) 최근 소개된 이미지 생성 모형(Stable Diffusion) [7]을 통하여 실험실 화재 유형별 데이터 세트를 구축하고, (2) 객체 인식 모형인 YOLOv5 [8]를 랜덤-포레스트(Random Forest)[9] 모형과 결합하여 실험실에서 발생하는 화재를 유형에 따라 분류할 수 있는 방법론을 제시하고 검증한다.

3. 실험방법

3.1. 문제 정의

우리는 별도의 센서 없이 이미지만을 이용하여 화재를 분류한다. 주어진 화재 이미지에서 발화 원인을 고려하기 위해 화재 주변의 시각 정보만을 활용한다. 각각의 화재 상황에 대하여 우리는 화재 이미지의 구분 기준을 다음과 같이 선정하였다. 화재가 일어나는 배후 장소로 연구 기관의 일반적인 실험실 환경을 상정하였으며, 목재(wood), 섬유(fiber), 재(ash)가 등장하는 화재 이미지는 A 급(일반) 화재로 분류하고, 화재 주변 시약병과 비커, 가스통(container) 등을 포함하되 재(ash)가 발생하지 않는 경우를 B 급(유류) 화재로 분류한다. 전선(wire), 전자기기, 기계 장치(equipment) 주변에서 발생한 화재는 C 급(전기) 화재로 판정한다. 금속(metal) 물체 위에서 발생한 화재는 D 급(금속) 화재로 간주한다.

그림 1은 화재 분류에 대한 우리의 방법론을 요약한다. 제안하는 모형은 객체 탐지 모형 (YOLOv5)을 통해 이미지 특징 벡터 표현을 얻어 화재 이미지의 유형 레이블(A, B, C, D)을 예측하는 문제를 해결한다.

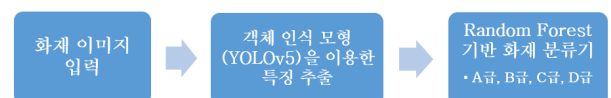


그림 1. 실험실 화재 분류 모형 설계도

3.2. 화재 이미지 생성과 데이터 세트 구축

우리가 구상하는 화재 분류 시나리오에 적합하며, 활용 가능한 (공개)데이터 세트는 아직 존재하지 않는다. 실험 장소의 화재 상황을 실제로 재현하여 훈련 데이터를 수집하기에는 시간과 비용이 상당하고, 기존의 이미지 합성과 증강(augmentation) 기법만으로는 우리의 시나리오를 반영하기 어렵다. 조건에 부합하는 구체적인 상황을 상정한 화재 이미지를 얻기 위해서는 연구실의 화재 상황을 표현하는 문장을 만들고, 이에 상응하는 이미지를 얻는 방법을 고려할 수가 있다.

우리는 최근 소개된 Stable Diffusion v1.5[7] 모형에 주목한다. 이 모형으로부터, 사용자는 텍스트를 입력 하여 필요한 이미지를 제한 없이 자유롭게 생성할 수 있다. 먼저, 실험실에서 발생하는 다양한 경우의 키워드를 바탕으로 화재 상황을 묘사하는 문장들을 생성하여 텍스트-이미지 모형의 제시어(prompt)로 활용한다. 이를 해당 모형에 입력하여 조건에 맞도록 후보 이미지(규격:512*512)를 생성 하고, 화재 유형에 따라 구분하여 모은다. 최종적으로 A 급 화재, B 급 화재, C 급 화재, D 급 화재 각 1,000 장씩 선별하여 정리하였으며, 실험실 환경에서 화재 유형을 분류할 수 있는 특징 (화염(fire), 재(ash), 목재(wood), 인화물질 용기(container), 장비(equipment), 전선(wire), 금속(metal))에 따라 경계 상자를 그려 이미지에 주석 표기(annotation)를 하였다.

3.3 YOLOv5[8]를 이용한 화재 특징 추출

실험실 화재 분류를 위하여 우리가 설계한 신경망 모형은 특징 추출을 위한 객체 인식 모형과 의사결정트리 모형을 결합한 형태로 구성된다. 화재 대응은 실시간성이 중요하다. 우리는 실시간 객체 탐지가 가능한 YOLOv5 모형을 이미지 특징 추출을 위한 기초(Backbone) 모형으로 채택하였다. YOLOv5의 조건부-클래스 확률은 인식된 물체들에 대한 영역의 좌표 및 신뢰도로 구성된다. 우리는 각각의 이미지에 대하여 YOLOv5 모형으로부터 탐지된 화염(fire)과 화재 종류를 구성하는 가연물들에 대응되는 신뢰도 점수를 얻어 개별 이미지의 특징 값으로 활용한다.

3.4. 특징 벡터와 Random Forest 모형[9]을 이용한 화재 분류

Random Forest 모형[9]은 앙상블

(ensemble)효과를 보유하는 기초 기계학습 모형으로, 다양한 응용문제 해결에 활용되어 왔다. 단순 의사 결정 트리(decision tree)와 비교하여, 집단의 복잡성을 충실히 반영한 채 정확하고 강건한 분류 결과를 제공한다. 해당 모형은 객체 인식 모형의 탐지 결과를 이미지 분류에 이용할 수 있는 기회를 제공한다. 우리는 화재 이미지로부터 미세-조정된 YOLOv5 모형으로부터 도출한 객체 탐지 확률을 이미지 특징 벡터 구성에 이용한다. 총 3,992 장(8 장은 객체 탐지 오류) 화재 이미지의 분류가 이루어진다. 최종적으로 화재 분류를 위한 결정 모형의 입력은 개별 이미지에 대한 특징 벡터(fire, ash, wood, fiber, container, equipment, wire, metal)와 이에 대한 레이블(A, B, C, D)로 구성한다. 특징 벡터들을 구성하는 값들로 한 장의 사진에서 여러 개의 객체가 검출될 경우, 객체의 종류 점수들을 모두 합한 것으로 특징 값(feature value)을 정한다.

4. 실험결과

4.1 실험 환경

우리의 실험은 Python 언어를 이용하여 진행되며, Intel i5 8600K/ RTX3090ti의 하드웨어와, 리눅스(Ubuntu 18.04)환경에서 수행되었다. YOLOv5 모형은 Pytorch 라이브러리를 통해 제공된 YOLOv5-Tiny를 이용하였다. Random Forest 모형은 Sklearn의 것을 사용한다. 실험을 위해 설정한 초-매개변수(Hyper-Parameter)로, Batch Size는 16이며, 반복 횟수를 50 Epoch으로 설정하였다. 이외의 초-매개변수는 YOLOv5와 Sklearn의 기본 설정 값을 이용하였다. 이미지 주석 표기는 labelimg[10] 도구를 이용하였다.

4.2 성능 평가

4.2.1 YOLOv5를 이용한 화재의 탐지

YOLOv5 특징 추출 네트워크 훈련을 위하여 전체 데이터의 80%(3,200 장, Class 당 800 장)를 훈련 데이터 세트로 하였고, 나머지 20%(800 장)로 시험하였다. YOLOv5의 화염과 가연물 탐지 성능은 화염 탐지에 대해 0.82의 테스트 정확도를 보였으나, 화염 주변 가연물에 대한 탐지 성능은 비교적 저조하다. 그림 2는 YOLOv5 모형으로부터 도출된 화재 인식과 특징 추출을 예증한다.

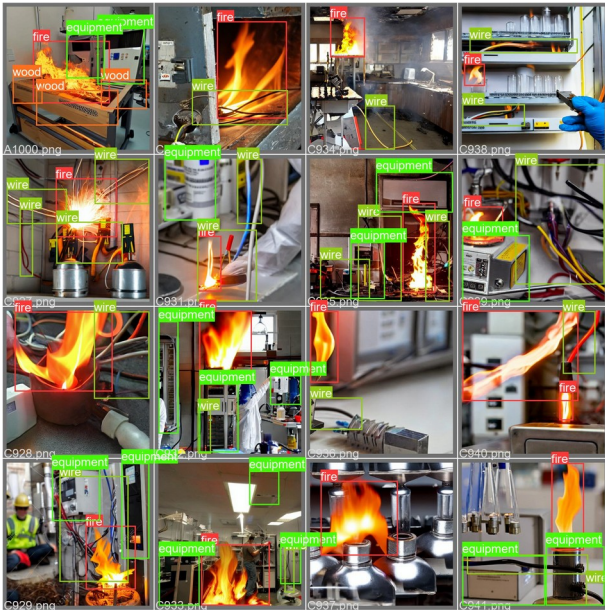


그림 2. YOLOv5 를 이용한 화재 및 가연물 탐지

4.2.2 Random Forest 모형의 화재 분류 성능

우리가 목표로 하는 화재 유형(A, B, C, D) 분류 성능을 측정하기 위하여 성능 평가 척도로 Precision, Recall, F1-score 를 사용하였다. 표 2 는 화재 유형 각각에 대한 분류 성능을 제시한다.

표 2. 화재 유형별 분류 성능

화재 유형	Precision	Recall	F1-score
A	0.74	0.66	0.70
B	0.69	0.69	0.69
C	0.74	0.70	0.72
D	0.66	0.77	0.71

그림 3은 화재 유형별 Random Forest 분류기의 ROC (Receiver Operating Characteristic) 곡선을 제시한다. 우리의 모형은 화재 분류를 위한 0.8651의 AUC(Area Under Curve)를 달성하였다.

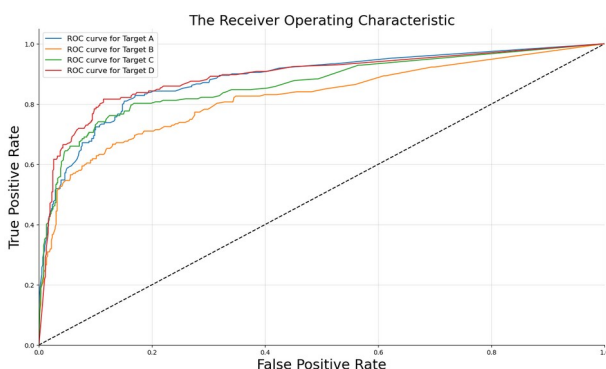


그림 3. Random Forest 분류기의 ROC 곡선

5. 결론

본 연구에서는 실험실 환경을 상정한 화재의 분류를 위하여 이미지 생성 모형(Stable Diffusion)을 통해 시나리오에 따라 생성하여 정리된 화재 이미지 데이터 세트를 구축하였다. 우리의 모형은 (합성) 화재 장면에 대한 분류의 가능성을 보였다. 객체 탐지 모형(YOLOv5)을 경유하여 특징을 추출하고, 랜덤 포리스트(Random Forest) 분류기를 통하여 화재 유형을 식별하도록 하는 방법론을 제시하였다. 우리가 제안한 모형과 방법론은 영상 모니터링 모듈과 결합하여 화재 탐지 및 분류 응용 프로그램에 활용될 수 있다. 이미지 분할(segmentation) 기법을 추가하여 화재 탐지 성능을 높일 수 있는 여지가 남아 있으며, 향후, 실제 화재 이미지에 대한 추가 검증이 요구된다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2023-2018-0-01431)

참고 문헌

- [1] 박나영, 우외석, "실무적 관점에서 대학교 연구실 (실험실)의 화재 위험성 고찰", 교육시설, 제21권 제5호, pp.23-30, 2014.
- [2] 홍영호, "생활 및 실험실 안전관리에 대한 대학생의 인지도 조사", 한국화재소방학회 논문지, 제28권 제4호, pp.89-96, 2014.
- [3] 과학기술정보통신부, "연구실 소방안전 사고대응 매뉴얼", 2020.12.14.
- [4] WU, Zongsheng et al. "Real-Time Video Fire Detection via Modified YOLOv5 Network Model", Fire Technology, 58.4, pp.2377-2403, 2022.
- [5] 김근수, 박규도, 강수혁, "YOLO 알고리즘을 이용한 화재 판별 임베디드 시스템", 대한전자공학회 학술대회, pp.1920-1923, 2020.
- [6] 조장훈 외, "전기화재 원인분석을 위한 실험실 데이터를 활용한 1 차, 2 차 단락흔 및 열흔 판별용 CNN 알고리즘 설계", 전기학회논문지, 제70권 제11호, pp. 1750-1758, 2021.
- [7] Stability AI, "Stable Diffusion", <https://stability.ai/blog/stable-diffusion-public-release>, 2022.
- [8] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A, "You only look once", CVPR, 2016.

[9] BREIMAN, Leo, "Random forests", Machine learning, 45, 5-32, 2001.

[10] Tzutalin, "Labellmg", Git code: <https://github.com/tzutalin/labellmg>, 2015.