

센서 및 영상인식 융합 기반 산악 재난 감지 및 안전 경보 시스템 설계에 관한 연구

송제호*, 곽표성**, 박의준***, 김은찬***

*전북대학교 융합기술공학부(IT융용시스템공학)

**금성아이티

***전북대학교 IT융용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

A Study on the Design of a Sensor and Vision Recognition Fusion-based Mountain Disaster Detection and Safety Alarm System

Je-Ho Song*, Pyo-Sung Gwak**, Eui-Jun Park***, Eun-Chan Kim***

*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering),
Chonbuk National University

**GOLDSTAR IT Inc

***Dpt. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

요약

최근 기후변화로 인해 산불, 산사태, 불법소각 등 산악 지역 재난이 증가하면서 이에 따른 인명 및 재산 피해도 급증하고 있다. 특히 이러한 재난은 초기 감지 실패 시 화산 속도가 빨라 대응이 어렵기 때문에, 실시간 감지와 조기 경보 체계 구축의 필요성이 강조된다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 산악안전경보시스템(Mountain Safety Warning, MSWS)을 구축하였다. 제안된 시스템은 고정형 CCTV와 팬-틸트(P/T) 모터 결합을 통해 360° 전방위 감시가 가능하며, YOLO-v4 기반 객체인식 알고리즘으로 불꽃과 연기를 실시간 탐지한다. 또한, 구조물 경사계, 지중경사계, 지표변위계, 하중계 등의 센서를 개발·배치하여 산사태 위험을 조기에 파악하고, MEMS 기반 측정 및 다단계 필터링(저역 통과필터, 러닝 평균 필터)을 적용하여 정밀도를 향상시켰다. 수집된 데이터는 LTE IoT 통신망과 RTSP 스트리밍을 통해 중앙 관제 서버로 전송되어 분석되며, 이벤트 발생 시 SMS 알림과 현장 경고 방송을 즉시 수행한다. 본 시스템은 웹 기반 관제 프로그램을 통해 지도 연동, 센서 모니터링, 이벤트 시각화를 지원하며, 드론 활용과 빅데이터 분석을 통한 확장성을 갖추었다. 또한 객체 인식과 센서 반응의 신뢰성을 바탕으로 재난 상황에 실시간 대응이 가능하며, 이를 통해 산불·산사태 피해 최소화와 불법소각 단속 효율화, 지역 안정망 강화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

최근 기후변화로 인한 극한 기상 현상이 빈번해지면서 산불, 산사태, 불법소각 등 산악 지역 재난 발생 빈도가 크게 증가하고 있다.[1,2] 이러한 재난은 초기 감지가 지연될 경우 빠른 속도로 확산되어 인명과 재산 피해가 가중되므로, 실시간 감지와 조기 경보 체계의 구축이 필수적이다. 그러나 기존 대응 체계는 단순 센서 기반의 감지 방식이나 인력 중심의 관제에 의존하고 있어, 감지 범위의 한계, 정확도 저하, 상시 운영에 따른 인력·비용 부담 등의 문제를 지니고 있다.

본 논문에서는 이러한 필요성에 대응하여 산악안전경보시스템(Mountain Safety Warning System, MSWS)을 개발하였다. 제안된 시스템은 고정형 CCTV와 팬-틸트(P/T)모터를 결합하여 360° 전방위 감시가 가능하며, YOLO-v4 기반 객체인식 알고리즘을 활용해 불꽃과 연기를 실시간으로 탐지한다. 또한, 구조물 경사계, 지중경사계, 지표변위계, 하중계 등 다양한 센서를 개발·배치하여 산사태 발생 가능성을 조기에 파악할 수 있도록 하였다.

수집된 데이터는 LTE 기반 IoT 통신망과 RTSP 스트리밍 기술을 통해 중앙 관제 서버로 전송되어 분석되며, 이벤트 발생 시 자동 경고 방송 및 SMS 알림이 즉시 수행된다.

본 연구는 재난 대응의 신속성과 정확성 제고, 불법소각 단속 비용 절감, 산불·산사태 피해 최소화, 지역 안정망 강화에 기여할 수 있는 지능형 산악 재난 관리 체계를 제안하며, 이를 통해 기존 재난 관리 체계의 한계를 보완하고 보다 효과적이고 지속 가능한 대응 방안을 마련하는 데 의의를 지닌다.

2. 본론

산악 지역에서 발생하는 산불과 불법소각은 인명과 재산에 중대한 피해를 일으키는 주요 재난 요인이다. 특히 초기 대응이 늦어질 경우 피해가 급격히 확산되므로, 재난을 예방하거나 조기에 감지하여 대응할 수 있는 체계 마련이 요구된다. 이러한 필요성에 따라 본 논문에서는 이를 실현하기 위한 산악안전경보시스템(Mountain Safety Warning System, MSWS)을 제안한다.

산안안전경보시스템은 신속한 상황인식, 조기감지, 높은 인식 정확도, 즉각 대응, 피해 최소화, 무인화 운영을 충족해야 하며, 단순 모니터링에 그치지 않고 실제 조치까지 연계될 수 있어야 한다. 이를 위해 사물인터넷(IoT)을 기반으로 현장 영상, 경고 방송, 모터 제어를 실시간으로 수행하고, 서버에서는 관제 모니터링 프로그램, 인공지능 객체인식, 데이터 베이스, 문자 발송(SMS) 기능을 통합 운영할 수 있도록 구성하였다. 그림 1은 산악 안전시스템 개요도를 나타내었고, 그림 2는 CCTV와 팬모터를 나타내었다.



[그림 1] 산악안전시스템 개요도

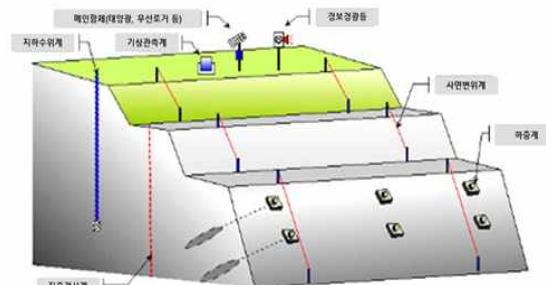


[그림 2] CCTV와 팬모터]

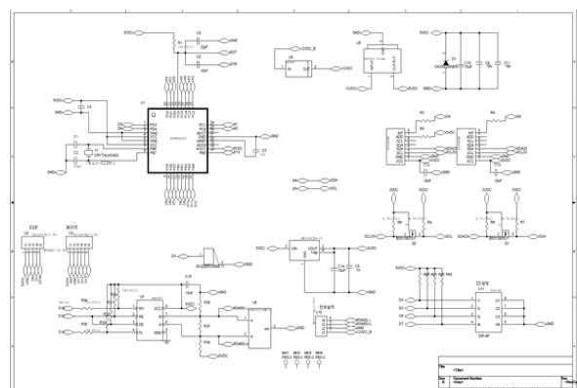
산사태 재난에 대응하기 위해 현장 경사면에는 구조물 경사계, 지중경사계, 지표면위계, 하중계 등 다양한 센서가 배치 되었다. 각 센서에서 수집된 데이터는 센서 PCB, 통신 PCB, 메인 PCB를 거쳐 취득되며, 메인 PCB에서 터치페널로 표출되고 LTE 또는 공유기를 통해 IoT 네트워크로 전송된다. 이를 통해 중앙 관제 서버와 현장 간 실시간 데이터 송수신이 가능하도록 설계하였다.

구조물 경사계는 MEMS 기반의 가속도 센서를 활용하여 구조물의 기울기를 측정하는 장치로, 야외 환경에서의 사용을 고려해 방수 및 노이즈 대응 설계가 적용되었다. 구조물경사계의 측정 정밀도를 향상시키기 위해 알고리즘을 단계적으로 개선하였다. 초기에는 MEMS 가속도 기반 각도 계산을 적용했으나, 정확도 저하와 노이즈 발생이라는 한계가 있었다. 이러한 문제를 개선하기 위해 저역통과필터(LPF)와 이중 센서 평균 처리를 적용하여 잡음을 줄였으며, 최종적으로 디지털 러닝 평균 필터를 도입함으

로써 노이즈 억제와 함께 측정값의 정밀도 및 안정성을 향상시켰다. 그럼 3은 산사태 센서 설치현장 도식도를 나타내었고, 그림 4는 구조물경사계 회로도를 나타내었다.



[그림 3] 산사태 센서 설치현장 도식도



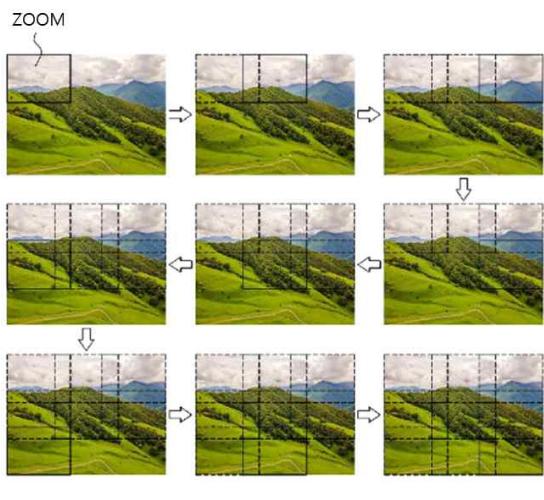
[그림 4] 구조물경사계 회로도

산악 지역에서 발생하는 산불이나 불법소각은 초기 단계에서 불꽃과 연기가 시작적으로 나타나므로, 이를 신속하게 인식하는 것이 재난 대응의 핵심이다. 기존의 센서 기반 감지 방식은 온도나 연기 농도에 의존하여 반응이 지연되는 한계가 있었기 때문에, 본 연구에서는 CCTV 영상 기반 객체인식 기술을 적용하여 불꽃과 연기를 직접 탐지함으로써 초기 대응 속도를 높이고, 센서 데이터와 결합하여 인식 정확도를 향시켰다.[3,4]

객체 인식 모델로는 실시간 처리 성능이 우수한 YOLO_v4를 사용하였다. 학습 환경은 Ubuntu 18.04.6 LTS, CUDA Toolkit 11.4, CuDNN 8.2.4, OpenCV 3.2.0 기반으로 구축하였으며, Darknet 빌드 과정에서 GPU 가속화와 CuDNN을 적용해 연산을 최적화하였다.

YOLO 학습은 클래스 7개에 맞춰 max_batches=14,000, steps=11,200-12,600, filters=36, 입력크기 416x416으로 설정하였다. 학습 데이터셋은 약 2000장의 불꽃·연기 이미지를 수집해 레이블링한 후 Google, Freepik, Unsplash, Pypi 등 공개 자료를 활용하여 구축하였다. 작은 객체 인식률 저하 문제는 팬-틸트 모터 기반 자동 확대(Zoom) 기법과 다중 객체인식 엔진 병렬 적용으로 보완하였다. 이를 통해 최소·최대 인식률 간 편차를

줄였으며 평균 약 6.26%의 정확도 향상을 확인하였다. 본 연구에서 구현한 객체인식 프로그램은 CCTV 영상을 실시간 분석하고 최대 4개 화면을 동시에 처리하였으며, 이벤트 로그 기록과 엔진·알고리즘 선택 기능을 포함하여 실제 환경의 인식 정확도를 높였다. 그림 5는 CCTV모터 확대 순서를 나타내었고, 그림 6은 객체인식 프로그램을 나타내었다.



[그림 5] CCTV모터 확대 순서



[그림 6] 객체인식 프로그램

본 논문에서는 기후 변화로 인한 산불, 산사태, 불법소각 등 산악 지역 재난의 증가에 대응하기 위해 산악안전경보시스템 (Mountain Safety Warning System, MSWS)을 개발하였다. 제안된 시스템은 고정형 CCTV와 팬-틸트 모터를 결합하여 360° 전방위 감시를 구현하였으며, YOLO-v4 기반 객체인식 알고리즘을 통해 불꽃과 연기를 실시간으로 탐지하였다. 또한 구조물경사계, 지중경사계, 지표변위계, 하중계 등 다양한 센서를 개발·배치하고 MEMS 기반 측정 및 다단계 필터링 기법을 적용하여 산사태 위험 감지의 정밀도를 향상 시켰다.

객체 인식은 높은 정확도를 보였으며, 센서 반응 또한 138ms 이하로 측정되어 실시간 대응 가능성을 확인하였다. 작은 객체

인식률 저하 문제는 팬-틸트 모터 기반 자동 확대 기법과 다중 객체인식 엔진 병렬 적용을 통해 개선되었고, 평균 인식 정확도가 향상되는 결과를 얻었다. 또한, 구현된 객체인식 프로그램은 최대 4개의 CCTV 영상을 동시에 처리하며, 이벤트 로그 기록과 엔진·알고리즘 선택 기능을 제공하여 실제 환경에서의 적용 가능성을 높였다. 이러한 결과는 재난 대응의 신속성과 정확성 향상, 불법소각 단속 비용 절감, 산불·산사태 피해 최소화, 지역 사회 안전망 강화에 기여할 수 있는 의의를 지닌다.

참고문헌

- [1] 산림청, “올해산불통계 2025”, [Internet], Available From: <https://fd.forest.go.kr/ffas/pubConn/movePage/sub3.do>, (accessed April 24. 2025)
- [2] 산림청, 2024년 산불통계연보, 통계 보고서, 산림청, 대한민국, pp. 123
- [3] 김효준, 이동찬, 장준영, 박성배, 이찬우, “화재 대응을 위한 불꽃 인식 시스템 연구”, 한국정보과학회 학술발표논문집, pp.1369–1371, 2020
- [4] 김광주, 장인수, 임길택, “산불 연기 데이터셋 구축 및 심층 신경망 기반 검출 기술 비교 분석”, 한국통신학회 학술발표논문집, pp.1172–1173

본 연구는 (재)전북테크노파크의 2023년 전라북도 혁신성장 R&D+사업 기술개발사업 지원에 의한 연구수행 결과물임을 밝힙니다. [과제명 : 인공지능형(AI) 산불, 불법소각, 재난 예방을 위한 산악안전시스템 개발]