

드론 기반 객체 검출을 이용한 건물 외벽 균열 탐지 시스템

정우진 문준수 박웅빈 김채운 박정민

한국공학대학교 컴퓨터공학과

{jyk1234567, tnqkr2010, mandarin1999, bw06050}@tukorea.ac.kr

Building Exterior Wall Crack Detection System Using Object Detection Based on Drone

Jun-su Moon, Woo-jin Jung, Chae-woon Kim, Ung-bin Park, Jeong-Min Park

Dept. of Computer Engineering, Tech University of Korea

요약

2023년 기준 대한민국에 30층 이상의 고층 건물은 약 2,312개가 존재하며, 고층 건물의 공급은 계속해서 늘어나고 있다. 또한 고층 건물일수록 강풍에 견디기 위해 나선형 또는 중앙공간형 건물 등 특이한 구조를 이루고 있어 사람의 육안 균열 탐지가 어렵다. 이에 사람이 진입하여 탐색하기 어려운 구역에 대한 탐사방안이 요구된다. 균열 탐지 작업을 하기 위해서 사용될 수 있는 기초 작업은 드론을 이용해 건물 외벽을 촬영하고 해당 영상에서 균열 객체를 탐지하는 기술이 필요하다. 본 논문에서는 프레임에서의 객체 탐지 기술을 이용한 건물 외벽 균열 탐지 시스템(Crack Detection System)을 개발 및 구현하였다. 이 결과는 건물 안전 진단을 수행하는 현장전문가에게 효율적인 효과를 제공한다.

1. 서론

현대 도시 환경의 빠른 발전과 함께 고층 건물의 수가 급증하고 있으며, 이에 따른 건물 유지 관리의 중요성이 점점 강조되고 있다. 2018년 기준, 약 30년 이상 된 노후 건물이 전체 건물의 40%를 차지하는 것으로 조사되었으며, 이러한 노후화된 건물의 외벽 균열과 같은 구조적 결함은 심각한 안전 문제를 초래할 수 있다. 기존의 건물 외벽 검사는 주로 점검자의 육안 검사에 의존하며, 이는 많은 시간과 인력을 소모할 뿐만 아니라 높은 건물의 경우 안전사고의 위험이 크다는 한계점을 지닌다. 특히 고층 건물은 특이한 구조로 인해 사람이 직접 접근하기 어려운 구역이 많아, 더욱 효율적이고 안전한 검사 방법이 요구된다.

이에 따라 최근 드론과 인공지능(AI)을 활용한 자동화된 외벽 검출 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 드론을 이용한 외벽 검사는 건물의 고도와 위치에 관계없이 빠르고 정확하게 외벽의 결함을 탐지할 수 있으며, 인공지능 기반의 이미지 분석 기술을 통해 균열을 실시간으로 감지하고 분석할 수 있는 장점을 제공한다. 이러한 기술은 기존의 수작업 방식에서 벗어나, 균열 탐지의 자동화, 검사 시간 단축, 그리고 점검자의 안전성 향상 등 다양한 이점을 제공한다.

본 연구는 드론을 이용한 건물 외벽 균열 탐지 시스템을 개발하여 고층 건물 외벽의 균열을 빠르고 정확하게 탐지하고, 그 결과를 바탕으로 외관 조사망도를 생성하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 건물의 안전 상태를 효율적으로 진단하고 유지 관리

절차를 개선하고자 한다. 본 논문에서는 이러한 시스템의 개발 배경과 관련 연구를 분석하고, 시스템의 구성 요소와 구현 방법을 상세히 다룰 것이다.

2. 관련 연구

드론을 이용한 건물 외벽 균열 탐지 기술은 최근 다양한 분야에서 활발히 연구되고 있으며, 기존의 수작업 방식보다 효율성을 높이는 혁신적인 방법으로 주목받고 있다. 본 논문에서 사용하는 용어와 정의를 명확히 하기 위해 기존 연구들을 살펴보면, 드론과 인공지능(AI)을 결합한 다양한 접근 방식을 이해하는 것이 중요하다.

드론 기반 균열 탐지 시스템은 주로 드론에 탑재된 카메라와 AI 기반의 이미지 분석 기술을 활용하여 실시간으로 외벽 균열을 탐지하는 방식이 널리 사용되고 있다. “드론 탑재용 임베디드 기기를 이용한 균열 관리 시스템” 논문에서는 드론에 탑재된 임베디드 기기를 이용해 실시간으로 건물 외벽 및 교량의 균열을 탐지하는 시스템을 개발했다. 이 시스템은 드론에 부착된 임베디드 기기를 통해 실시간으로 균열을 분석하고, 분석된 결과를 서버에 전송해 관리하는 방식이다. 하지만 이 시스템은 고성능의 임베디드 기기가 필요하며, 드론 비행 중 기기의 이탈 위험성이 존재하는 등의 한계가 있다.

또한, 딥러닝 기반 균열 검출 모델도 활발히 연구되고 있다. “건물 안전 진단을 위한 딥러닝 기반의 외벽 균열 검출 방법” 논문에서는 CNN(Convolutional Neural Network)을 활용하여 건물 외벽의 균열을 탐지하는 모델을 제안했으며, 기존 METU SDNET DeepCrack 데이터셋에 대한 재라벨링 작업을 통해 97.4%의 높은 검출 성능을 달성하였다. 하지만 이 연구는 실시간 검출이 어렵다는 한계를 가지고 있어,

실시간 대응이 필요한 상황에서의 적용에는 제한이 있다.

YOLO 기반의 실시간 탐지 기술은 드론 기반 균열 탐지 연구에서 중요한 위치를 차지하고 있다. “Real-time structural crack detection in buildings using YOLOv3 and autonomous unmanned aerial systems” 논문에서는 YOLOv3 모델을 사용하여 고층 건물 외벽의 균열을 실시간으로 탐지하는 시스템을 개발하였다. 이 연구는 드론과 YOLO 모델을 결합하여 빠르게 외벽을 분석하고 결함을 실시간으로 탐지할 수 있다는 점에서 기존의 정적 이미지 분석 방식보다 더 효율적이라는 장점이 있다

“Drone-based wall crack detection using model-agnostic meta-learning” 논문에서는 드론과 모델 아그노스틱 메타러닝(MAML)을 결합하여 균열을 탐지하는 시스템을 제안했다. 이 시스템은 OUC-Crack 데이터셋을 기반으로 소량의 이미지로도 높은 성능을 유지할 수 있도록 설계되었으며, 경량화된 신경망 구조를 통해 드론에서 효율적으로 적용될 수 있었다. 이러한 경량화 및 실시간 탐지 기법은 고층 건물의 외벽 균열을 빠르게 탐지하는 데 매우 효과적이다.

또한, “Drone facade inspection: A comprehensive guide”에서는 건물 외벽 검사를 위한 다양한 드론 플랫폼의 활용 가능성을 제시하였다. DJI Matrice 300 RTK와 같은 고성능 드론은 외벽의 복잡한 구조에서도 안정적인 비행과 고화질 촬영을 제공하여 정확한 균열 탐지 가능하게 한다. 이러한 드론은 기존의 수작업 방식에 비해 더욱 안전하고 효율적인 외벽 검사를 제공하며, 고성능 센서와 카메라를 통해 다양한 환경에서 신뢰할 수 있는 데이터를 수집할 수 있다.

이와 같은 연구들은 드론과 AI 기술이 건물 외벽 균열 탐지에 있어 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다. 본 논문에서는 이러한 선행 연구들을 바탕으로, 드론과 AI를 활용한 실시간 균열 탐지 및 위험도 분석 시스템을 제안한다. 특히, 기존 연구의 한계를 극복하여 드론 기반 시스템을 통해 건물 외벽의 안전성을 효과적으로 진단할 수 있는 새로운 접근 방식을 제시하고자 한다.

2.1 개발환경

해당 균열 탐지 시스템을 개발하기 위하여 사용된 개발 환경과 플랫폼 그리고 프레임워크에 대해 설명한다. 표 2와 같은 환경을 구축하고 사용하였다.

표 2. 개발 환경 정리

운영체제	Microsoft Windows 11 64 bit
언어	Java, Python 3.11, Java Script
플랫폼	EC2 Linux Virtual Machine
툴	Android Studio, Pycharm, Yolo v8
프레임워크	Flask, AWS

3. 세부 설계 및 구현

3.1 시스템 설계

이 모델의 기본적인 동작 방식은 드론이 카메라로 녹화한 영상을 서버로 송신하고, 서버는 수신한 영상에서 균열을 탐지해 낸다. 이후 위험도를 판별하고 외관조사망도를 생성한다. 드론

자체에서는 서버로 영상을 직접 송신하는 기능이 없기에 안드로이드 어플리케이션을 거쳐 서버로 영상을 송신한다. 서버는 AWS의 EC2 객체에 Linux OS를 설치한 가상환경으로 구현하였으며 드론이 송신한 데이터를 받는 기능, 객체탐지 모델(YOLOv8s-seg)로 균열을 탐지하는 기능, 탐지한 균열의 이미지만 잘라내 위험도를 판별하는 기능, 탐지 및 판별된 균열 결과들로 외관조사망도를 생성해내는 기능이 담겨있다. 아래 그림은 전체 시스템의 흐름도를 보여준다.

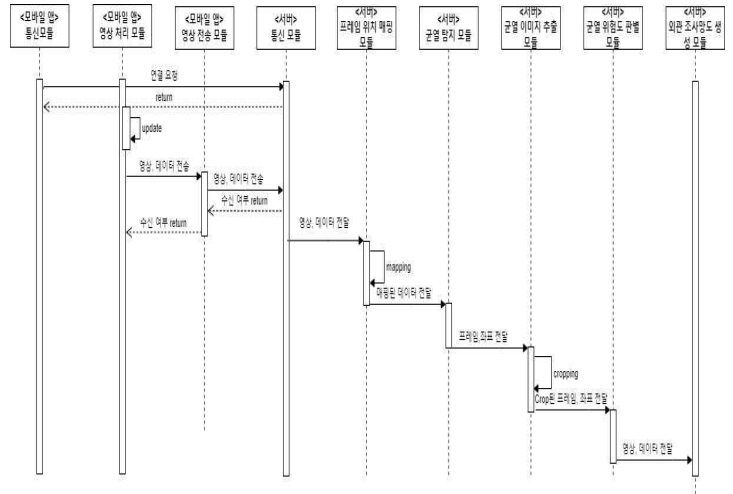
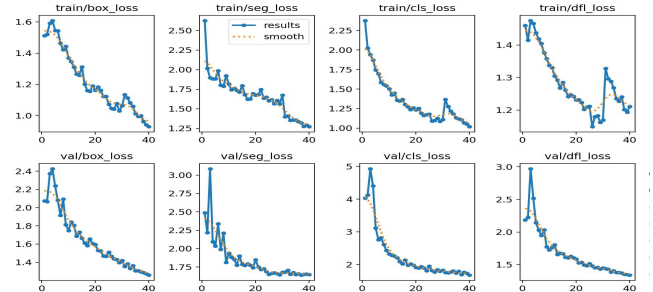


그림 1. 시스템 시퀀스

3.3.2 YOLOv8s-seg 모델 학습

균열의 크기와 방향들은 제각각이므로 Object Detection 모델보다는 Segmentation 모델이 적합하므로 YOLOv8s-seg 모델을 사용하였다. 모델 학습을 하기위해 Roboflow에서 건물 외벽 및 내부 균열 이미지들을 수집하였고 훈련 데이터로는 30810개를 사용하였다. 데이터 전처리로는 균열 이미지들에 대한 라벨링이 제각각이므로 이를 통일하는 기능을 구현하였으며, 이미지들의 크기 또한 YOLOv8에서 권장하는 640 x 640의 크기로 이미지를 조정하는 기능을 구현하였다. 전처리 과정을 수행한 후 batch 크기는 16, Epochs는 40으로 모델 학습을 수행하였다. 아래 그림 2는 훈련결과이다.



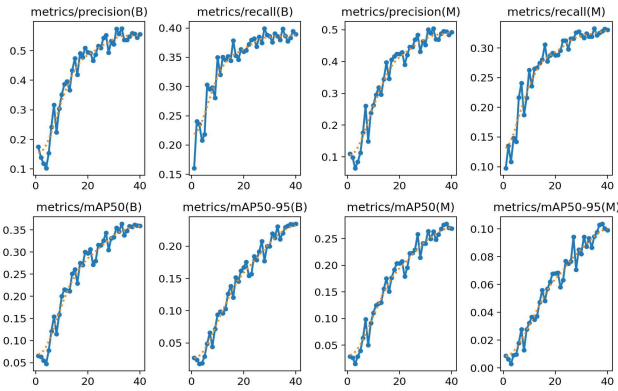


그림 2. 훈련 결과

3.2 구현

1. 드론 촬영 및 데이터 전송

드론을 통해 건물 외벽을 촬영하여, 해당 영상 데이터와 드론의 위치 정보(위도, 경도, 고도)를 함께 수집하였다. 이 데이터는 실시간 스트리밍을 통해 서버로 전송되며, 드론 제조사의 SDK를 활용하여 드론과 서버 간의 통신을 위한 애플리케이션을 개발하였다.



2. 균열 탐지 AI 모델

균열 탐지를 위해 YOLOv8s-seg 모델을 사용하였다. Roboflow의 균열 이미지 데이터셋을 사용하여 모델을 학습시켰으며, 각 프레임에서 균열이 있는 부분을 자동으로 탐지하여 bounding box로 표시하였다. 이후 bounding box 처리된 균열 이미지를 추출하여, 균열의 크기를 측정하고 위험도를 분류하는 알고리즘을 구현하였다. 아래 그림은 실제로 균열을 검출한 프레임이다.

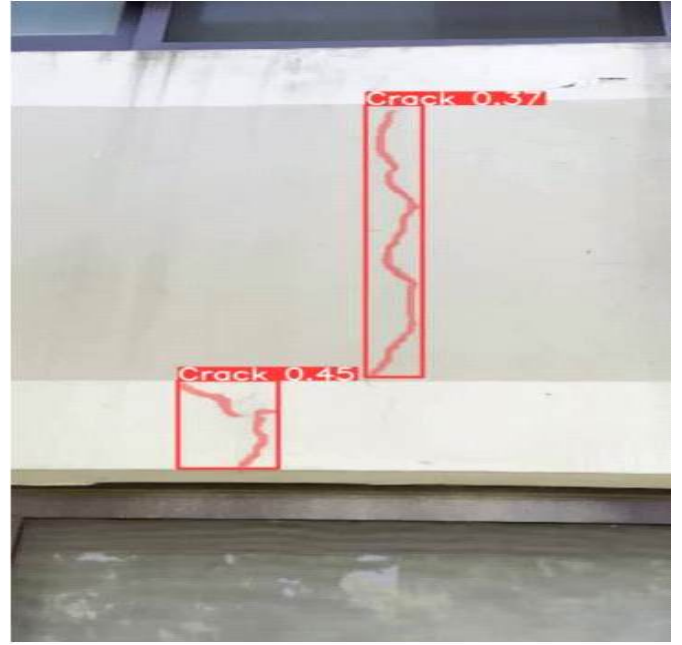


그림 3. 균열 탐지 프레임

3. 영상 처리 및 매핑 기술

수신된 영상은 OpenCV 라이브러리를 사용하여 프레임 단위로 처리되었다. 각 프레임은 촬영 시점의 드론 위치 정보와 매핑되어, 균열이 발견된 프레임에 대해 정확한 위치 정보를 확보할 수 있었다. 프레임 간격은 fps(framerate) 값을 기반으로 설정하였으며, 프레임별로 GPS 정보와 연동하여 균열 탐지 결과를 정확한 위치와 함께 기록할 수 있도록 하였다.

4. 균열 위험도 분석 및 외관 조사망도 생성

탐지된 균열의 크기 및 위치 정보를 바탕으로 균열의 위험도를 분석하였다. 이를 위해 균열의 뼈대 픽셀을 찾아 실제 크기를 계산하는 알고리즘을 적용하였으며, 위험도는 A부터 E까지의 등급으로 분류되었다. 이 데이터를 기반으로 외관 조사망도를 생성하여, 사용자가 건물 외벽의 상태를 한눈에 파악할 수 있도록 하였다.

5. 웹 인터페이스와 사용자 서비스

최종적으로 생성된 외관 조사망도는 서버에서 클라이언트의 웹 페이지로 전송되었으며, 사용자는 웹 인터페이스를 통해 건물의 균열 상태를 실시간으로 확인할 수 있다. 이 과정에서 MongoDB를 이용하여 균열 정보 및 위험도 데이터를 저장하고 관리하였다.

4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 드론을 이용한 건물 외벽 균열 탐지 시스템을 설계하고 구현하였다. 드론의 고도와 위치 정보를 바탕으로 외벽을 실시간으로 촬영하고, AI 모델을 통해 균열을 탐지하는 과정을 자동화함으로써 기존의 수작업 기반 외벽 점검 방식의 문제점을 효과적으로 해결하였다. 특히 YOLOv5 모델을 사용한 균열 탐지 시스템은 빠르고 정확한 탐지를 가능하게 했으며, 균열의 위험도를 분석하여 외관 조사망도를 생성하는 시스템을 개발하였다.

이 시스템은 고층 건물의 외벽 점검에 있어 점검자의 안전을 보장하며, 점검 시간과 비용을 크게 줄일 수 있는 효과를 제공한다. 또한, 실시간 데이터 전송과 분석을 통해 건물 유지 관리의 효율성을 크게 향상시킬 수 있었다. 하지만 본 연구는 몇 가지 한계점도 존재한다. 예를 들어, 드론의 비행 제어와 위치 정보 수집이 날씨나 환경적 요인에 따라 영향을 받을 수 있으며, AI 모델의 학습 데이터가 실제 환경에 완전히 일치하지 않을 경우 오탐지율이 높아질 가능성도 있다.

향후 연구에서는 드론 운용 시 발생할 수 있는 환경적 영향을 최소화하는 방향이 중요하다. 예를 들어, 날씨나 주변 건물의 간섭이 드론의 비행과 데이터 수집에 영향을 미칠 수 있으므로, 이를 해결하기 위한 센서 기술의 발전과 드론의 비행 안정성 개선이 필요하다. 또한, AI 모델의 학습 데이터를 더 다양화하여 실제 건물 외벽에서 발생할 수 있는 다양한 유형의 결함을 더욱 정확하게 탐지할 수 있도록 하는 연구가 요구된다. 마지막으로, 드론과 서버 간의 데이터 전송 속도를 개선하고 실시간 데이터 처리 성능을 높이는 방안도 중요한 연구 과제로 남아 있다. 이를 통해 드론 기반 외벽 균열 탐지 시스템이 더욱 효율적이고 정확한 도구로 발전할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 정필성 and 임강후. (2022). 드론 탑재용 임베디드 기기를 이용한 균열 관리 시스템. 아시아태평양융합연구교류논문지, 8(12), 23-33
- [2] 김경영, 김다현 and 김동주. (2021). 건물 안전 진단을 위한 딥러닝 기반의 외벽 균열 검출 방법. 대한설비관리학회지, 26(4), 31-43
- [3] Zhu, Z., Lin, Z., & Zhou, Y. (2023). Building surface crack detection using deep learning technology. Buildings, 13(7), 1814.
- [4] Shao, W., Xu, B., & Dong, X. (2021). Drone-based wall crack detection using model-agnostic meta-learning. INDTLab, Ocean University of China.
- [5] Koubâa, A., & Allouch, A. (2019). Real-time structural crack detection in buildings using YOLOv3 and autonomous unmanned aerial systems. International Journal of System Assurance Engineering and Management.
- [6] SolDrones. (2023). Drone facade inspection: A comprehensive guide.
- [7] 국토교통부, 국토안전관리원. (2021). 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 [안전점검 • 진단 편]. 6-33 page, [표 6.23]