

도로 안전을 위한 AI 포트홀 탐지 시스템 개발 : 에지 검출 기법의 비교

신민서¹, 이규민², 윤정원², 장지은², 이경미^{*3}

¹덕성여자대학교 소프트웨어학과 학부생

²덕성여자대학교 컴퓨터공학과 학부생

³덕성여자대학교 컴퓨터공학과 교수

tlsalstj01@duksung.ac.kr, 20210815@duksung.ac.kr, yj4185@duksung.ac.kr, jangji0513@duksung.ac.kr,
kmlee@duksung.ac.kr

An AI-based pothole detection system for road safety : A comparison of edge detection methods

Min-Seo Shin¹, Kyu-Min Lee², Jeong-Won Yoon², Ji-Eun Jang², Kyung-Mi Lee³

¹ Dept. of Software, Duksung Women's University

² Dept. of Computer Engineering, Duksung Women's University

³ Professor, Dept. of Computer Engineering, Duksung Women's University

요 약

최근 대한민국의 포트홀의 발생 빈도가 증가함에 따라 이를 예방하기 위한 효과적인 대책이 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 딥러닝 알고리즘을 활용한 포트홀 탐지 시스템을 개발하였다. YOLO v8n 모델을 기반으로 설계된 본 시스템은 다양한 도로 및 기상 조건에서 포트홀을 실시간으로 탐지할 수 있으며, 탐지 정확도를 향상하기 위해 Canny, Sobel, Laplacian 에지 검출 기법을 비교해 분석한 후 적용하였다.

1. 서론

최근 대한민국의 급격한 기후 변화와 도로 노후화로 인해 포트홀이 빈번하게 발생하고 있다. 2023 년 10 월 자동차 협회 자료에 따르면 포트홀 관련사고는 52,541 건에 달하며^[1], 이는 운전자와 차량 손상의 주요 원인이 되고 있다. 본 논문에서는 다양한 도로 및 기상 조건에서 포트홀을 실시간으로 탐지할 수 있는 AI 기반 포트홀 탐지 시스템 개발하고, 포트홀 검출 성능을 최적화하기 위한 에지 검출 기법을 비교 분석한다.

속도는 PyTorch 환경에서 48.78 FPS 로 측정되었으며, 이는 Raspberry Pi 4 의 Quad-Core ARM Cortex-A72 프로세서에서 실시간 작업을 수행할 수 있음을 의미한다^[2]. 모델 학습에는 AdamW 최적화 알고리즘이 사용되었으며, 배치 크기는 16, 에포크 수를 100 으로 설정하였다.

Motion blur 데이터 증강 기법을 통해 탐지 정확도를 높인 후, 다양한 날씨 조건을 고려하여 Canny, Sobel, Laplacian 의 세 가지 에지 검출 기법을 추가 학습하였다. 이를 통해 각 기법이 포트홀 탐지 성능에 미치는 영향을 분석하고, 최적의 성능을 발휘할 수 있는 기법을 선정하였다.

2. AI 포트홀 탐지 시스템의 개발

본 시스템은 Raspberry Pi 에 연결된 카메라 모듈을 통해 실시간으로 도로 데이터를 촬영하고, 이미지 인식 알고리즘을 통해 포트홀을 탐지한다. 카메라는 차량의 블랙박스 위치에 설치된 것으로 가정하며, 다양한 도로 및 기상 조건에서 포트홀을 정확히 탐지하도록 설계되었다. Raspberry Pi 내부에 모델을 탑재하여 실시간으로 포트홀을 탐지한다. 경량 버전인 YOLO v8n 모델을 기반으로 하며, Roboflow 데이터셋(465 개의 학습 세트, 133 개의 검증 세트, 67 개의 테스트 세트)을 사용하여 학습하였다. YOLOv8n 의 평균 추론

3. 연구 방법

3.1 데이터 증강

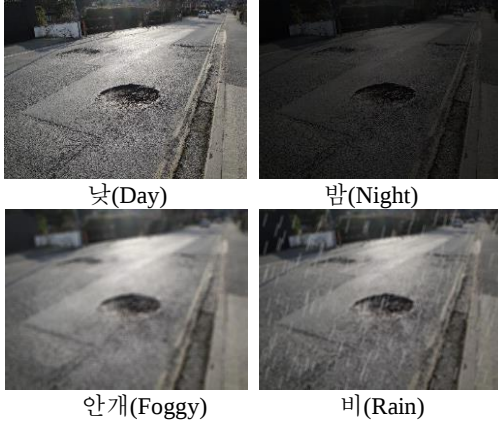
본 논문에서는 다양한 기상 조건과 명암에서의 포트홀 탐지를 위해 데이터를 증강한다. 사용된 증강 기법은 해당 논문^[3]을 참고했으며, 다음과 같다:

[명암]

- 낮(Day): 기본 이미지를 사용.
- 밤(Night): Pillow 라이브러리의 ImageEnhance.Brightness 를 사용하여 밝기를 조정하며, darkness factor 는 0.3 을 적용.

[기상]

- 안개(Foggy): Albuementations 의 RandomFog 함수로 fog intensity 는 0.5 를 적용.
- 비(Rainy): RandomRain 함수로 비가 오는 환경을 재현하며 brightness_coefficient 는 0.9, drop_width 는 1 로 적용.



(그림 1) 명암 및 날씨별 데이터 증강 예시

3.2 에지 검출 기법

포트홀 탐지를 위한 에지 검출 기법으로 Canny, Sobel, Laplacian 을 사용한다. 각 기법의 특징은 다음과 같다:

- Canny: 고강도의 경계를 탐지하며, 노이즈가 적은 이미지에서 우수.
- Sobel: 수평 및 수직 방향의 경계를 탐지하는 방식으로, 빠른 연산이 가능.
- Laplacian: 2 차 미분을 사용하여 급격한 밝기 변화까지 탐지 가능.

3.3 성능 평가

각 에지 검출 기법의 성능은 mAP(Mean Average Precision)를 통해 평가되며, 이는 포트홀 탐지 정확도를 측정하는 지표로 기상 조건에 따른 성능 차이를 분석하는 데 유용하다.

4. 실험 결과

본 연구에서는 각 기상 조건에서 Canny, Sobel, Laplacian 을 학습한 모델을 비교했으며, 원본 이미지를 사용한 모델은 'Original'로 명명하였다. 성능 평가는 다음과 같다:

[명암]

- 낮(Day): Canny 기법이 0.797 의 mAP50 를 기록하며 원본 이미지 성능 0.783 보다 향상.
- 밤(Night): Laplacian 기법이 0.744 로 가장 우수하며 원본 이미지 성능 0.407 대비 크게 개선.

[기상]

- 안개(Foggy): Canny 기법이 0.567 을 기록하며 원본 이미지 성능 0.487 보다 향상.
- 비(Rainy): Laplacian 기법이 0.677 로 원본 이미지 성능 0.559 보다 향상.

<표 1> 날씨와 명암별 에지 검출 기법의 mAP50 비교

기상&명암 에지	Day	Night	Foggy	Rainy
Canny	0.797	0.678	0.567	0.673
Sobel	0.768	0.708	0.536	0.672
Laplacian	0.769	0.744	0.562	0.677
Original	0.783	0.407	0.487	0.559

5. 논의

에지 검출 기법의 비교 분석을 통해 특정 기상 조건에서 가장 적합한 기법을 확인하였다. 맑은 조건과 안개 날씨에서는 Canny 기법이 높은 성능을 보였으며, 어두운 조건과 비 오는 날씨에서는 Laplacian 기법이 우수한 성능을 나타냈다. 이러한 결과는 각 기상 조건에 맞는 최적의 에지 검출 기법을 적용하여 포트홀 탐지 시스템의 효과를 높일 수 있음을 시사한다.

6. 결론

본 논문은 Raspberry Pi 를 활용하여 실시간 포트홀 탐지 시스템을 개발하고, 다양한 기상 조건에서 성능을 비교 분석하였다. 그리고 Canny, Sobel, Laplacian 의 에지 검출 기법을 평가하여 각 기상 조건에 적합한 최적의 탐지 기법을 선정하였다.

본 시스템은 일반 사용자가 실시간 데이터를 활용하여 사고를 줄일 수 있도록 설계되었으며, 향후 도로 안전성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 데이터 증강 및 모델 최적화를 통해 성능을 더욱 향상할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] 권원현, “도로 이상 탐지 기술 동향과 딥러닝 기반 포트홀 탐지 알고리즘”, 제 4 회대한전자공학회 하계학술대회, 제주, 2024, 1
- [2] Neural Magic, “YOLOv8 Detection: 10x Faster with DeepSparse—500 FPS on a CPU.” Neural Magic, 2023. <https://neuralmagic.com/blog/yolov8-detection-10x-faster-with-deepsparse-500-fps-on-a-cpu/>
- [3] 김민석, 류승기, “자율주행차의 도로 포트홀 탐지 악조건 기반 에지 케이스 분류 및 AI 모델 성능 비교”, 제 4 회한국인공지능학술대회, 제주, 2023, 9

※ 본 논문은 과학기술정보통신부 대학디지털교육역량강화 사업의 지원을 통해 수행한 ICT 멘토링 프로젝트 결과물입니다.