

교통사고 경감을 위한

적외선 카메라와 YOLO를 사용한 블랙아이스 탐지 방법 제안

김형균* · 장민석 · 이연식

군산대학교

Proposal of a Black Ice Detection Method Using Infrared Camera and YOLO for Reducing of Traffic Accidents

Hyunggyun Kim* · Minseok Jang · Yonsik Lee

Kunsan National University

E-mail : 2010073@office365.kunsan.ac.kr, {msjang, yslee}@kunsan.ac.kr

요 약

폭설로 인한 도로 미끄러짐과 기온이 0도 이하로 낮아졌을 때, 도로와 차량 통행용 다리, 터널 출입구 쪽에서 주로 발생하는 블랙아이스는 운전자의 시야에서는 아스팔트의 이미지가 투과되어 보이기에 인식되지 않아서 자동차들이 미끄러지는 상황(슬립 현상)이 발생하고, 이로 인하여 대형 교통사고로 이어져 인명 물적 손실이 대량으로 발생하기에 적외선 카메라를 이용하여 도로 상태를 확인하고 딥러닝을 통하여 블랙아이스를 판별하는 방법을 제안하고자 한다.

ABSTRACT

In case of the road slips due to heavy snow and the temperature drops below 0 degrees, black ice which mainly occurs on the road, bridges for vehicles, and tunnel entrances, is not recognized by the driver's view because the image of the asphalt is transmitted through it. So cars' slip situation occurs, which leads to a big traffic accident and a large amount of loss of life and property. This study proposes a method to check the road condition using an infrared camera and to identify black ice through deep learning.

키워드

Black-Ice, Artificial Intelligence, YOLO, infrared cameras

1. 서 론

최근에는 도로관리 부분에서 자연의 위력으로 발생하는 블랙아이스가 사회적 이슈로 대두되고 있다. 블랙아이스는 자연적으로 발생하는 경우가 대부분을 차지하고 있다. 이러한 블랙아이스는 전 세계 도로 교통 흐름에 악영향을 주고 있는 상황에서 현재 대한민국 정부를 비롯한 전 세계의 정부에서는 블랙아이스 발생을 탐지하기 위해서 기상청에서 위성영상을 분석하여 기상 상황을 예측한 데이터를 이용하여 예보하는 것을 중심으로 하고 있으며, 다리와 터널의 입구나 구간 사이 사이

에 설치한 CCTV를 통하여 얻은 사진들의 분석을 통해서 블랙아이스의 발생 여부를 판단하여 대응하는 것을 중심으로 시도하였다.

그리고 기상청에 따르면 위성의 촬영 이미지에 서 눈구름의 분포와 지상에서의 온도측정의 조합을 이용한 예측정보를 이용하여 블랙아이스를 감지하여 교통사고를 예방하겠다고 발표하였다[1]. 해당 발표의 통계는 짧은 시간 동안 한시적 측정 결과로서 다른 시점의 측정 결과에 따르면 충분히 의미적 차이가 발생함을 확인할 수 있었다.

이처럼 블랙아이스 탐지 문제를 해결하기 위해서 국내외 연구소들과 기상청은 서로 협력하여 탐지범위에 제약이 적은 기상위성을 활용하여 환경정보를 이용한 연구[2]를 진행한 바 있다. 그러나

* speaker

현재 기상위성을 이용한 연구에서는 기준으로 잡은 측정 위치의 크기가 큰 것으로 인하여 세밀한 장소에서 발생하는 블랙아이스의 탐지는 힘든 상황이며, 블랙아이스로 인한 사고는 기상위성이 탐지하는 범위보다 더 세밀한 구역에서 주로 발생하고 있기에, 만약 기상위성을 계속 이용하는 탐지 방법에서는 위성의 센서가 가지는 탐지 장치의 정밀도를 더 높게 요구하는 상태이다. 한 연구에 따르면 블랙아이스는 예측하는 것이 불가능한 것은 아니지만, 매우 국지적으로 발생하며, 관측 한계가 존재하기에 예측 가능성이 크지 않아 예보하기 어렵다고 보고하였다[3]. 이것은 기상위성을 이용한 블랙아이스 탐지 방법은 완벽한 감지와 예측을 시도하기 어려움을 말하고 있다. 따라서 본 논문에서는 기상위성을 이용한 블랙아이스 탐지 방법으로 확인하기 어려운 임의의 국지적인 장소에서 발생 가능한 블랙아이스를 비접촉 방법으로 감지하는 시스템을 설계 및 제안하며, 제안한 시스템을 구현하는 실험을 통해서 감지 시스템의 효과에 대해서 고찰하였다.

II. 환경 구성 및 실험

2.1 관련연구

기상위성을 이용한 블랙아이스 탐지 방법이 가장 먼저 시도된 것이지만, 이후 도로 표면에서의 온도 감지 방법, 초음파의 반향 파장을 분석하는 방법과 타이어의 도로 노면에서 마찰력의 차이를 이용하는 방법 및 적외선 광원의 반사된 광원을 분석하는 방법이 있다.

첫째로 도로 표면에서의 온도를 감지하는 방법으로는 도로에 온도센서를 삽입하여 온도센서에서 탐지한 온도를 계측해서 이용하는 것이 이용되었다[4,5].

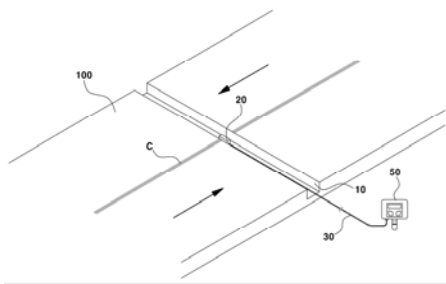


그림 1. 도로 노면 온도센서 설치방법 표시[6]

도로에 온도센서를 설치하여 도로 표면의 온도를 측정된 데이터를 기상청에 전달하여 대략적인 구역의 블랙아이스 발생을 예측하는 데이터로 사용된다. 기상청에서 블랙아이스를 예측하기 위해서는 많은 도로의 기온 데이터가 필요하며, 도로에

온도센서를 설치해서 온도를 계측하는 방법은 기상청이 요구하는 온도 데이터의 양에 대응 가능한 방법으로 여겨진다. 그렇지만, 온도센서를 도로에 삽입하는 것은 설치 시에도 상당한 비용과 작업이 요구되는 것이고, 한 장소에서만 설치하는 것이 아니기에 수많은 장소에서 온도 데이터를 얻어내기 위해서는 엄청난 비용과 시간을 요구하게 되는 단점이 존재한다.

둘째로 초음파의 반향 파장을 분석하는 방법은 차량의 타이어가 도로 노면의 마찰로 주행을 시도할 때의 소음과 빙판길을 주행할 때의 소음의 파형을 분석하는 방법이다[7].



그림 2. 차량의 타이어 부근에 설치한 마이크로 소음측정[7]

타이어가 도로 노면을 주행할 때 나타나는 소음은 다양하면서도 불명확한 패턴들을 가지고 있는 소음을 감지할 수 있다. 특별히 빙판 위에서 주행할 때 나타나는 소음은 넓은 스펙트럼 범위에서 측정이 가능한 진폭 변화가 나타나기에 빙판 주행으로서 규정하는 것에 도움을 주는 유의미한 데이터를 산출한다. 그러나 소음을 분석하는 것에는 차량의 무게, 타이어 재질 및 상태와 온도, 습도에도 영향도 계산에 넣어두어야 한다는 어려움이 있다.



그림 3. 도로의 상태 및 적설량의 차이와 타이어 회전차의 차이점[8]

셋째로 도로 노면에서의 타이어 마찰력의 차이를 이용하는 방법이 있다. 타이어는 도로 노면과의 마찰력을 이용해서 소음을 발생시키면서 차량을 이동시키는 장치입니다. 일반 도로 노면과 빙판길은 노면 마찰 값이 다르기에 차량 속도가 증가할수록 타이어의 회전수의 차이가 있다는 것을 이용한다[8,9]. 지면에 눈이 많이 축적되거나 얼음이 존재한다면 타이어의 마찰력이 떨어져서 타이어가 더 많은 회전을 일으키게 되는 것을 이용하여 타이어 회전수로 지면과의 마찰계수를 계산하여 블랙아이스와 일반 도로 노면으로 구분하는 것이다.

넷째로 적외선 광원의 반사광을 분석하는 방법이 있다. 적외선은 인체의 눈으로는 구분하기가 어려운 적색 계열의 스펙트럼을 가지고 있는 광원 파장에 속한다[10]. 앞서 서술한 블랙아이스 탐지 방법 중에서도 비접촉 탐지 방법에 속하는 것으로서 적외선 광원을 접촉한 물체가 자신의 에너지 진동수에 해당하는 파장은 흡수하지만 해당하지 않는 파장은 반사하거나 투과하는 성질을 이용한다. FTIR(Fourier Transform Infrared Spectroscopy)으로 지칭되는 분석법은 혼합체로 이루어진 물질에서 분자 구성요소를 구별하는 방법으로도 알려져 있다.

2.2 연구 방법 소개

본 연구의 목표는 운전자에게 블랙아이스 발생에 대한 정보를 전달하기 위하여 비접촉 방식인 적외선 광원의 반사광을 분석하는 방법을 이용하여 블랙아이스를 탐지하기 위한 것이다.

연구에서 사용하기 위한 카메라는 적외선 광원을 방사하여 목적물체에 도달하여 반사되어 돌아오는 광원을 탐지해야 하기에 적외선 조광 LED를 포함하는 YR-030 적외선 조광 카메라 모듈을 이용하였다. YR-030 적외선 조광 카메라 모듈을 선택한 이유는 자외선과 가시광선이 많이 발산되어 주위 사물을 인식하기 쉬운 주간 시간대뿐만 아니라 자외선과 가시광선이 부족한 어두운 환경에서도 적외선 광원을 얻어내기 위함이다.



그림 4. YR-030 적외선 카메라 모듈

일반적인 카메라는 적외선을 감지하지 않기 위

해서 차단 필터를 설치하고 있다. 차단 필터를 제거한 YR-030 적외선 카메라는 일반적인 가시광선과 자외선 파장뿐 아니라 적외선도 감지할 수 있는 상태가 된다. 따라서 본 연구에서는 적외선을 많이 감지하도록 적외선 투과 필터[11,12]를 사용하였다.



그림 5. HOYA R72 적외선 투과필터

적외선 투과 필터를 이용하여 촬영한 이미지는 적외선 광원 스펙트럼에 해당하는 붉은색 계열로 나타나게 된다.



그림 6. 적외선 투과 필터 사용 전후

적외선 광원을 감지하는 카메라와 적외선 광원 장치 및 적외선 투과 필터로 구성된 감지 센서는 추론 서버를 중심으로 구성된다.

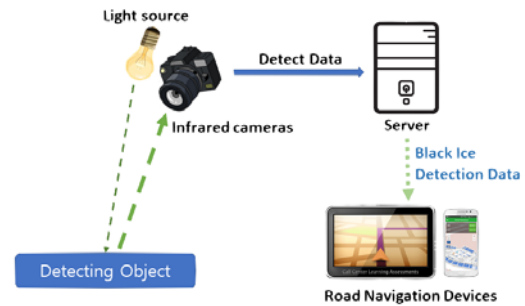


그림 7. 적외선 광원 방사 장치와 적외선 카메라의 조합을 이용한 개요도

적외선 감지 센서에서 얻은 이미지 데이터를 스펙트럼 파장 데이터로 변환하기 위해서 푸리에 변환 분광 광도법을 사용하게 된다. 스펙트럼은 구성요소 파장으로 분리된 빛과 각 파장에서 표시된 강도를 나타내며, 이 분리 과정은 분광법이라고 한다.

$$I(x) = \frac{1}{2}P(\lambda)(1 + \cos \frac{2\pi x}{\lambda}) \quad \text{--- (A)}$$

파장 λ 의 적외선이 마이컬슨 간섭계에 입사할 때 광로차가 정수배이면 봉우리와 골이 겹쳐져 광도가 높아집니다. 반대로 광로차가 반정수배(정수 +1/2)이면 빛이 약해집니다. 원래의 광 강도로서 표시되는 경우 $P(\lambda)$, 세기 $I(X)$ (X 광로 차에서) X로 표현될 수 있다. 실제 푸리에 변환에서 위 식(A)의 성분(cos)은 파장 λ 의 적외선에 대한 간섭계를 형성한다.

푸리에 변환은 모든 파동 주기의 합에서 각 주기의 파동 강도를 계산하는 과정이며, 인터페로그램에 푸리에 변환을 적용하게 되면 각 주기, 즉 각각의 파장에서 강도를 얻는다. 인터페로그램 $I(x)$ 파장 λ 대신 파수 ν 를 사용하여 연속 파수에서 적외선을 생성할 수 있으며, $I(x)$ 는 식(B)와 같이 표현할 수 있다.

$$I(x) = \int_0^{\infty} S(\nu) \cos 2\pi \nu x d\nu \quad \text{----(B)}$$

$$S(\nu) = \int_0^{\infty} I(x) \cos 2\pi \nu x dx$$

여기서 $S(\nu)$ 는 파수 ν 에서의 적외선 강도이며, $S(\nu)$ 는 푸리에 변환으로 계산할 수 있다.

적외선 감지 센서에서 얻어낸 이미지 데이터는 연결된 Raspberry Pi에 전달되어 이후 푸리에 변환 연산을 사용하여 이미지 데이터에서 적외선 스펙트럼 신호[13,14]를 추출한다.



그림 8. 연구에 사용된 YR-030 적외선 카메라 모듈과 Raspberry Pi의 조합 상태



그림 9. 연구에 사용한 탐지물체 견본 예시

III. 실험

YR-030 적외선 카메라 모듈 및 적외선 투과 필터(HOYA R72)를 조합한 탐지 장치를 사용하여 콘크리트와 아스팔트 견본 조각을 대상으로 적외선 방사 스펙트럼 측정을 시도하였으며, 측정된 방사 스펙트럼은 그림 10과 같은 파장의 이미지들로 나타났으며, 측정된 방사 스펙트럼들의 이미지들을 DRY, WET, ICE 상태별로 300개씩 모아 YOLOv4[15] 알고리즘을 이용하여 이미지 분석 딥러닝을 시도하였다.

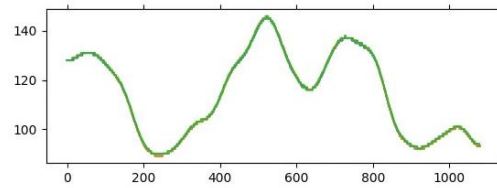


그림 10. 적외선 반사광 스펙트럼의 예시

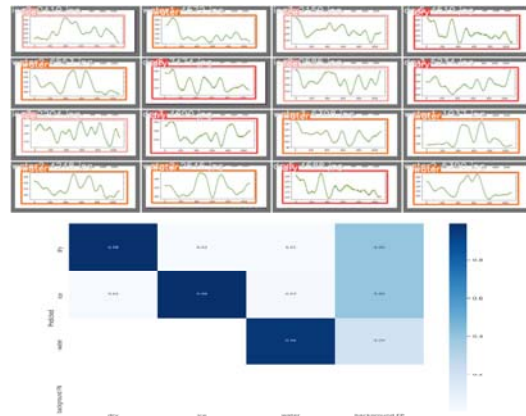


그림 11. YOLOv4 알고리즘을 이용한 적외선 반사광 스펙트럼의 딥러닝 분석(윗부분)과 딥러닝을 이용한 분석의 정확성 확인(아랫부분)

YOLOv4 알고리즘을 이용하여 상태별 300개의 이미지를 딥러닝을 시도한 결과 그림11의 윗부분과 같이 반사광 스펙트럼 이미지를 인식하였다. Dry는 빨간색 라벨, Water는 주황색 라벨, Ice는 핑크 라벨로 구분하여, 정확하게 인식하는 것이 확인되었다. 약 900개의 소량의 데이터를 이용한 이미지 분석 딥러닝의 정확도와 정밀도는 그림11의 아랫부분과 같은 오차 행렬로 표시된다.

오차 행렬을 분석한 결과, 이미지 딥러닝 알고리즘의 학습 정밀도는 2.28이며, 재현율은 0.735이고, F1-Score는 1.111의 값을 나타냈다. 즉, YOLOv4 알고리즘을 이용한 적외선 반사광 스펙트럼의 딥러닝은 학습 결과는 대체로 긍정적으로 보일 수 있으나, 약 900개의 부족한 학습 데이터로 인해서

과적합 상태를 보이기에 이후 반사광 스펙트럼 이미지의 추가적인 확보와 더불어서 딥러닝 학습의 최적화를 이용하여 실제 데이터의 오차 가능성을 최소화할 필요가 있음을 도출하게 되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 적외선 카메라 모듈을 이용하여 얻어낸 적외선 파장의 데이터를 모아서 YOLOv4 이미지 분석 알고리즘을 사용한 딥러닝 학습을 이용하여 블랙아이스를 탐지하는 비접촉 탐지 시스템 구조를 제안하였다. 적외선 카메라 모듈을 이용하여 콘크리트와 아스팔트 견본 조각의 표면의 상태를 Ice, Dry, Water로 변경하여 반사되는 적외선 파장 데이터들을 수집하고, YOLOv4 알고리즘을 이용하여 딥러닝 학습을 시도하였다. Dry, Water, Ice 상태에 따른 견본 조각의 적외선 파장 데이터를 약 900장을 사용하여 학습을 시도하였으며, 충분하게 분류할 정도까지는 데이터 확보가 부족하였으나, 견본 조각의 각각의 상태를 분별하는 것이 가능하다는 유의미한 결과에 도달할 수 있었다. 향후 연구에서는, 견본 조각의 Dry, Water, Ice 상태별 적외선 파장 데이터를 더 많이 수집하고 최적화 모델을 통한 딥러닝 학습을 시도하며, 이후 실제 도로 상황에서도 정확하게 학습한 것이 제대로 작동하는지 보완하는 전반적인 연구 및 야외 도로 테스트가 진행되어야 할 것이다.

Acknowledgement

This research was funded and conducted under the Competency Development Program for Industry Specialist of Korean Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE), operated by Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) (N0002428, HRD Program for Future Car), a grant (21RITD-C161698-01) from Regional Innovation Technology Development Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government and Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. 2021R1F1A1047768).

References

- [1] 뉴스1, “발생 가능성, 예측정보로 블랙아이스 교통사고 막는다”, 11월 19일 2020년, 08월 20일 2021년, <https://www.news1.kr/articles/?4124089>
- [2] 최원준, 은종원, 김상균 and 최광호. “환경위성 관측정보의 대국민 맞춤형 서비스 제공 방안 연구” 한국위성정보통신학회논문지 12, no. 4 (2017) : 56-61.
- [3] Geun-Yeong Park, Soon-Hwan Lee, Eun-Ji Kim, Byeong Yeong Yun, “A Case Study on Meteorological Analysis of Freezing Rain and Black Ice Formation on the Load at Winter”, *Journal of Environmental Science International* Vol.26 No.7, The Korean Environmental Sciences Society, 2017, pp. 1225-4517
- [4] 군산대학교산학협력단, “노면의 얼음감지 시스템”, 10-1516236 대한민국특허청(kr), 2015년 01월 21일, 2015년 04월 23일
- [5] 이정호, “노면결빙감지기를 이용한 해빙액 살포 장치”, 10-1017437 대한민국특허청(kr), 2010년 02월 08일, 2011년 02월 17일
- [6] ㈜에스알디코리아, “도로 노면 온도감지센서 설치방법”, 10-2279197 대한민국특허청(kr), 2020년 08월 13일, 2021년 07월 13일
- [7] Gailius, D. and S. Jačėnas. “Ice detection on a road by analyzing tire to road friction ultrasonic noise.” (2007).
- [8] Salimi, S., S. Nassiri, A. Bayat and Don Halliday. “Lateral coefficient of friction for characterizing winter road conditions.” *Canadian Journal of Civil Engineering* 43 (2016): 73-83.
- [9] 조성락, “모형얼음과 자동차타이어 사이의 마찰 계수 시험평가” 한국자동차공학회 추계학술대회 및 전시회, 2015.11, 409-410
- [10] YTN사이언스, “[궁금한S]적외선의 쓰임새”, 2018년 11월 23일, 2021년 09월 10일, https://m.science.ytn.co.kr/view.php?s_mcd=0082&key=201811231719533319
- [11] 동이네 집, 빛으로 마음을 그리는 사람들 “적외선 필터”, 2010.03.24., 2021.09.10., <https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=imgdot&logNo=90083793652>
- [12] 박문찬, 김대중, 고건채. “Al2O3 기판위에 Ge, ZnS 다층박막을 이용한 적외선 대역 투과필터의 제작 및 특성연구” *대한시과학회지* 14, no. 3 (2012): 263-270.
- [13] Lintao Liu, Yueguang Chen, Zhanbai Feng, Haitao Wu, Xiaoyu Zhang, Crystal structure, infrared spectra, and microwave dielectric properties of the EuNbO4 ceramic, *Ceramics International*, Volume 47, Issue 3, 2021, Pages 4321-4326, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.09.176>
- [14] Igor L. Fufurin, Dmitriy R. Anfimov, Elizaveta R. Kareva, Anastasia V. Scherbakova, Pavel P. Demkin, Andrey N. Morozov, and Igor S. Golyak “Numerical techniques for infrared

- spectra analysis of organic and inorganic volatile compounds for biomedical applications,” *Optical Engineering* 60(8), 082016 (2 March 2021). <https://doi.org/10.1117/1.OE.60.8.082016>
- [15] Alexey Bochkovskiy, Chien-Yao Wang, Hong-Yuan Mark Liao, “YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection” [arXiv.org:2004.10934](https://arxiv.org/abs/2004.10934), 23 Apr 2020