

능동 음파의 반사 신호와 기계학습을 이용한 테스트 벤치에서의 비접촉기반 재질 인식

김민현, 강지훈, 정중은*
주식회사 모바휠, 개발팀

mhkim@mv-w.com, jhkang@mv-w.com, jejung@mv-w.com

Non-Contact Material Recognition from Test-bench using Reflected Signal from Active Sound Wave and Machine Learning

Min-Hyun Kim, Jihoon Kang, Joongeon Jung*
Development Team, MoveAWheeL, Inc.

요약

비접촉 음파 센서와 기계학습을 결합하여 도로 표면의 투명한 블랙아이스 감지 및 노면 분류 97%의 정확도를 달성한 새로운 접근 방법을 제안한다. 개발된 시스템은 블랙아이스를 포함한 다양한 물질의 반사 특성을 분석하여 미끄러운 도로 상황을 실시간 감지 및 예측이 가능하여 도로 안정성을 향상한다. 본 연구에서는 테스트 벤치와 투명하고 미끄러운 물질을 이용하여 블랙아이스를 감지할 수 있는 기술의 정확도를 비교하며, 실험 결과를 통해 제안된 블랙아이스 감지 방법의 타당성을 입증하고자 한다.

1. 서론

차량 운행 중 미끄러운 노면 상태는 도로 안전에 큰 문제를 일으킨다[1]. 특히, 기존의 전자기파 센서로는 감지하기 어려운 블랙아이스가 도로에 형성될 경우 운전자에게 예측하지 못하는 위험의 원인이 된다. 전자기파 기반의 센서 기술은 블랙아이스의 투명한 성질과 전자기파 파장이 블랙아이스를 관통하는 물리적 특성 때문에 노면의 미끄러짐 상태를 정확하게 판별하기 어려운 한계가 있다[2-3].

최근 연구들은 도로 상태를 실시간으로 감지하고 모니터링하기 위한 비접촉 센서 개발에 초점을 맞추고 있다[4-5]. 비접촉 센서 중 음파 센서는 반사 특성을 활용하여 재료의 표면 특성을 분석하는데 효과적인 도구로 인식되어 왔다. 이러한 센서를 활용하여 블랙아이스를 포함한 미끄러운 도로 상황을 감지하고 예측하는 것은 운전자의 안전성 향상에 기여할 수 있다.

본 연구에서는 비접촉 음파 센서와 기계학습을 결합하여 블랙아이스를 검출하는 시스템을 개발하고자 한다. 이 시스템은 블랙아이스를 포함한 다양한 물질

들 사이의 음파 반사 신호를 학습하고, 학습된 모델을 사용하여 블랙아이스 유무를 정확하게 판단하고 예측할 수 있다.

블랙아이스처럼 투명한 아크릴, 폴리카보네이트(PC), 폴리염화비닐(PVC), 아스팔트, 인조 잔디, 철 등 다양한 재질의 음파 데이터를 수집하여 재질별로 음파 반사 특성 분석하고 기계학습 알고리즘과 결합하여 패턴 인식 및 재질 분류에 대한 성능을 시험하였다. 이를 통하여 투명한 블랙아이스 같은 재질의 식별 및 감지 가능성을 고찰한다.

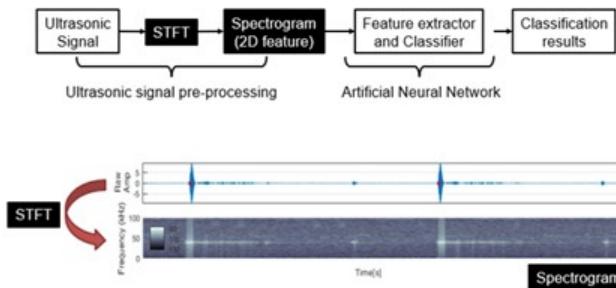
2. 시스템 제안

본 논문에서는 가로등과 같은 도로 인프라 또는 차량에 장착(그림 1)되어 노면 재질을 감지할 수 있는 기술을 제안한다.

또한 반사된 음파 데이터 전처리와 AI 모델 학습을 이용한 도로 노면 인식 기법(그림 2)을 제시한다. 성능을 평가하기 위하여 차량 환경을 모사한 30cm 높이에 센서를 설치할 수 있는 테스트 벤치를 구성하였으며, 하단부의 재질을 변경하여 제안된 기술의 성능을 비교, 분석할 수 있도록 제작하였다.



(그림 1) 노면 감지 기술 적용 예시



(그림 2) 음파 기반 노면 인식 신호 전처리 구성도

3. 실험

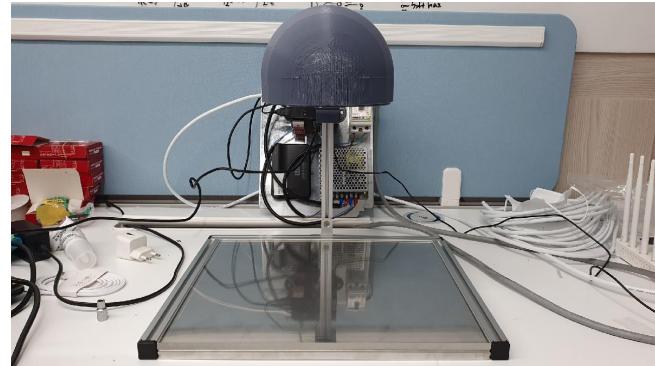
본 연구에서는 비전 카메라 및 IR 카메라와 음파 센서의 인식 성능을 비교 분석한다. 기존 노면 인식 센서인 카메라 및 IR 카메라 센서와 능동 음파 센서의 성능을 비교하기 위하여 테스트 벤치(그림 3)를 구성하였다. 노면 분류 실험에 사용된 재질은 블랙아이스를 모사한 투명한 아크릴 등, 총 4 가지의 종류를 포함한다. 재질 인식을 위한 AI 모델을 훈련하기 위해 앞서 말한 3 가지 센서를 이용하여 데이터를 획득한다.

재질은 투명 아크릴 및 불투명 PVC(그림 4(a)), 마른 철판, 젖은 철판(그림 4(b))을 사용한다. 실제 아스팔트 도로 환경이 아닌 시각적으로 비슷한 물질을 이용하여 블랙아이스를 검출할 수 있는 다양한 기법들의 타당성을 비교하고자 하였다.

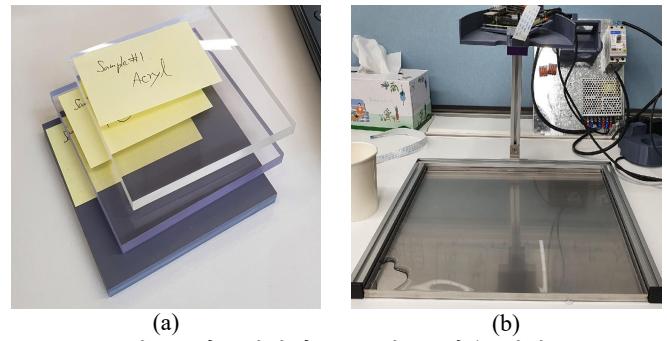
AI 훈련용 데이터는 3 종의 센서를 이용하여 4 종의 재질로 구성된 판을 회전시키며 획득한다. 젖은 철판의 물의 두께는 3mm, 6mm로 수집한다. 환경에 다양성을 추가하기 위하여 비전 카메라 및 IR 카메라의 경우 2 가지 조명 조건(Bright, Dark)을 부여하였으며, 음파 센서 데이터는 바람이 없는 환경과 풍속이 2m/s인 환경에서 수집한다. 해당 환경에서 음파, 카메라, IR 카메라 센서에 대하여 한 재질 당 192 개, 각 센서 당 960 개의 데이터를 획득하였으며, 각 센서에 대하여 AI 모델 학습용 768 개, 검증용으로 192 개의 데이터를 사용한다.

(그림 5)는 상기 데이터 획득 환경에서 카메라를 이용한 이미지 획득 예시이며, (그림 6)은 음파 센서로 획득한 예시를 보여준다.

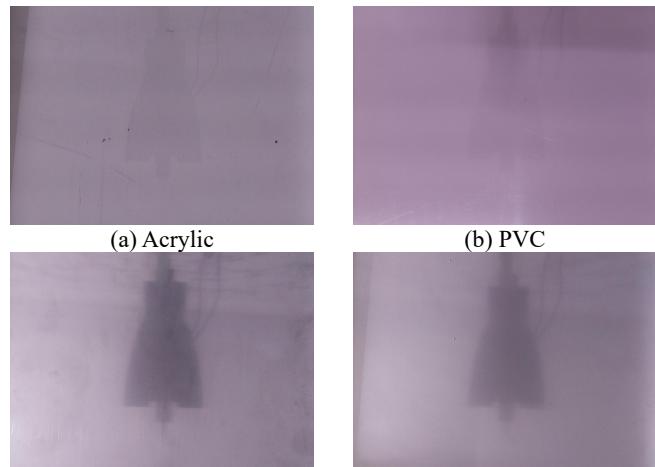
<표 1>은 센서에 따른 학습 데이터 구성을 나타낸다. 음파 데이터는 40,000 개의 녹음 데이터를 주파수 도메인 변환 처리 후 학습시킨다. 이미지의 경우 해



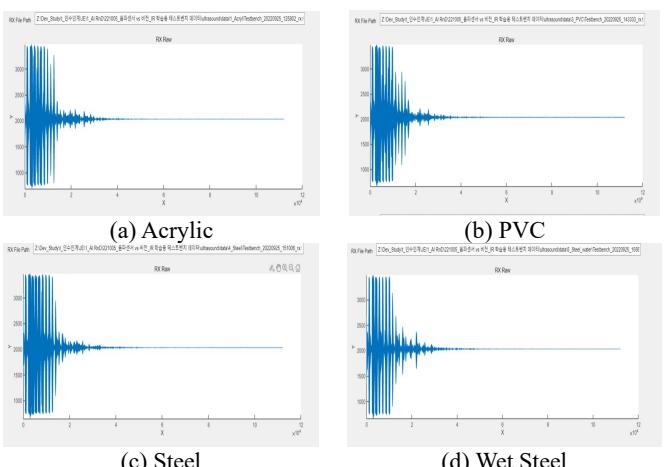
(그림 3) 테스트 벤치



(a) (b) (그림 4) 아크릴판과 PVC 판(a) 젖은 철판(b)



(a) Acrylic (b) PVC (c) Steel (d) Wet Steel (그림 5) 4 가지 재질에 따른 IR 카메라 센서 이미지 예시



(그림 6) 4 가지 재질에 따른 음파 센서 데이터 예시

상도를 (244 * 244)로 변경한 후 학습시킨다. 음파 데이터의 AI 모델은 PatternNet, 이미지 데이터의 AI 모델은 AlexNet을 사용한다.

<표 1> 센서에 따른 AI 훈련 데이터 구성

| Sensor | Data Size | Data Processing |
|--------------|-----------|----------------------------------|
| Active Sound | 41,859 | 40,000 Data Frequency Conversion |
| Vision | 150,528 | (224 * 224) * RGB 3 Channel |
| IR Vision | 150,528 | (224 * 224) * RGB 3 Channel |

4. 실험 결과

<표 2>는 각 센서의 데이터로 학습한 AI 모델을 이용하여 각 테스트 데이터 셋에 대한 결과를 보여준다. 비전 카메라와 IR 카메라 센서는 각각 80.7%, 80.2%의 정확도를 보이는 반면, 음파 센서 데이터로 학습한 모델은 97.9%의 정확도를 보였다.

<표 3>은 각 센서의 데이터로 학습한 AI 모델을 대상으로 Recall과 Precision 지표를 이용하여 성능을 비교한 결과이다. 특히, 능동 음파 센서로 수집된 데이터로 학습한 모델이 비전 기반의 센서로 학습한 모델보다 Steel과 Water 재질 구분에서 월등히 높은 정확도를 보였다.

<표 2> 각 센서의 학습된 AI 모델 정확도

| (a) Vision (Acc. 80.7%) | | Truth | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-----|-------|-------|
| | | Acryl | PVC | Steel | Water |
| Predict | Acryl | 48 | 0 | 0 | 0 |
| | PVC | 0 | 48 | 0 | 0 |
| | Steel | 0 | 0 | 48 | 37 |
| | Water | 0 | 0 | 0 | 11 |
| (b) IR Vision (Acc. 80.2%) | | Truth | | | |
| | | Acryl | PVC | Steel | Water |
| Predict | Acryl | 48 | 0 | 0 | 0 |
| | PVC | 0 | 47 | 0 | 0 |
| | Steel | 0 | 1 | 23 | 12 |
| | Water | 0 | 0 | 25 | 36 |
| (c) Active Sound (Acc. 97.9%) | | Truth | | | |
| | | Acryl | PVC | Steel | Water |
| Predict | Acryl | 46 | 0 | 0 | 0 |
| | PVC | 1 | 47 | 0 | 0 |
| | Steel | 0 | 0 | 47 | 0 |
| | Water | 1 | 0 | 1 | 48 |

<표 3> 센서에 따른 AI 모델 Recall, Precision 비교

| Plates | Recall (%) | | | Precision (%) | | |
|--------|------------|-------|--------------|---------------|-------|--------------|
| | (a) | (b) | (c) | (a) | (b) | (c) |
| Acryl | 100.0 | 100.0 | 95.8 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| PVC | 100.0 | 97.8 | 97.9 | 100.0 | 100.0 | 97.9 |
| Steel | 100.0 | 47.9 | 97.9 | 56.5 | 63.9 | 97.9 |
| Water | 29.9 | 75.0 | 100.0 | 100.0 | 59.0 | 96.0 |

5. 결론

본 연구에서는 도로에서 위험성이 크지만 투명한 특성으로 인해 감지가 어려운 블랙아이스와 같은 물체의 효과적으로 인식하는 과제를 해결하고자 하였다. 이를 위해 능동적으로 초음파를 송신하고 그 반사파를 주파수 도메인으로 변환하여 신호 패턴 및 특성을

기계학습으로 학습시키고 도출한 모델을 활용하여 재질을 구분하는 방법을 제안하였다. 실험 결과를 통해 능동 음파를 이용한 블랙아이스 인식에 있어 타당성을 입증하였다.

블랙아이스와 유사한 물체를 인식하는데 능동 음파 센서가 유효하다는 것을 검증하기 위하여 테스트 벤치를 제작하여 동일한 환경에서 데이터를 수집하였다. 비전 및 IR 비전 센서와 능동 음파 센서를 이용하여 수집된 데이터를 기반으로 각각 학습된 AI 모델 성능을 비교하여 블랙아이스와 같은 투명한 재질을 감지하는데 음파 센서가 효과가 있다는 것을 입증하였다.

다만, 상용화 단계에서 효용성을 입증하기 위해서는 실제 도로 노면을 대상으로 충분한 실험 데이터를 수집하고 검증하는 과정이 필요하다. 후속 연구에 반영하여 지속적인 연구개발을 할 것이다.

사사문구

이 논문은 KT 그룹의 ‘2023 KT 따뜻한 기술 더하기 챌린지’ 사업의 지원과 2023년 정부(과학기술정보통신부)의 재원의 ‘2023 SW 고성장 클럽’ 사업(정보통신산업진흥원)과 과학기술사업화지원원의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] Snow and Ice. Available online: https://ops.fhwa.dot.gov/weather/weather_events/snow_ice.htm (accessed on 13 June 2022).
- [2] Nakanishi, Y.; Kushiki, Y. Black Ice and Standing Water Detection System. U.S. Patent 16,647,046, 2 December 2021
- [3] Alimasi, N.; Takahashi, S.; Enomoto, H. Development of a Mobile Optical System to Detect Road-freezing Conditions. Bull. Glaciol. Res. 2012, 30, 41–51.
- [4] Park, J., Kim, M. H., & Choi, D. G. (2021). Correspondence learning for deep multi-modal recognition and fraud detection. Electronics, 10(7), 800.
- [5] Tabatabai, H.; Aljuboori, M. A Novel Concretebased Sensor for Detection of Ice and Water on Roads and Bridges. Sensors 2017, 17, 2912.