

모빌리티 환경에서 초음파 AI 센서를 활용한 도로 표면 상태 인식 기법

권현준¹, 박상현¹, 홍성준², 정중은^{1*}, 김민현¹

¹주식회사 모바휠 기술연구소

²한국과학기술원 전산학부

hjkwon@mv-w.com, shpark@mv-w.com, mscj1004@kaist.ac.kr, jejung@mv-w.com, mhkim@mv-w.com

Ultrasonic AI Sensor-Based Recognition Method of Road Surface Conditions in Mobility Systems

Hyunjun Kwon¹, Sang-Hyun Park¹, Seongjun Hong², Jungeun Jeong^{1*}, Min-Hyun Kim¹

¹R&D Center, MoveAWheel, Inc.

²School of Computing, KAIST

요 약

본 연구에서는 모빌리티 환경에서 비접촉 방식으로 도로 표면을 파악하여 운전자의 주행 안전성에 기여할 수 있는 음파 센서 기반의 노면 추정 기법을 제안한다. 본 연구에서 제안된 시스템은 Continuous-transmit (C-transmit) 방식으로 주행 중 노면의 임피던스 정보를 실시간으로 획득하고, 전처리된 음파 데이터를 AI 모델로 분석하여 노면의 미끄럼 정도에 따라 몇 가지 노면 패턴으로 분류한다. 제안된 기법의 검증 실험에서는 아스팔트, 시멘트, 흙 플레이트 노면을 구성하고, 6 중 기상 조건 (dry, humid, wet, iced, snow, slush)을 재현하여, 총 18 가지 조합 조건에서 실험 데이터를 확보하였다. AI 모델 성능은 노면 미끄럼도에 따른 6 중 상태 분류에서 96.8%의 분류 정확도를 보였다.

1. 서론

고도화된 차량 자율주행 기술의 상용화 단계에서 해결해야 될 과제 중, "도로 표면에 대한 실시간 인지 및 대응"에 대한 관심이 더욱 증가하고 있다. 특히, 겨울철에 발생 가능한 도로 블랙아이스의 감지는 종래의 인식 기술로는 실시간 감지가 어렵다고 보고되고 있다 [1-3]. 그 원인으로, 블랙아이스는 투명한 특성을 가지기 때문에, 육안으로 잘 관찰되지 않으면서 카메라, 레이더, 라이다 등 전자기와 센서로는 감지하기 어렵다는 점을 제시할 수 있다.

노면 표면 상태를 인식하기 위해 음파를 활용한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다 [5-8]. 하지만 이러한 연구들의 결과는 몇 가지 실험 대상을 상정한 후 표면에서 반사된 음파의 특성 비교로써, 차량 제어용 시스템에 적용해 볼 수 있는 기술로서는 한계가 있었다. 또한, 객체 인식 기술의 연구동향은 네트워크의 복잡화로부터 비롯된 모델의 비대화로 이어지고 있는데 [9-12], 이는 차량 주행 중 실시간 AI 구동이 필요한 환경에서는 적절하지 않을 수 있다.

본 논문에서 제시하는 기법의 기반 연구에서는 [4] 음파 정보를 학습한 AI 모델을 활용하여 도로 노면

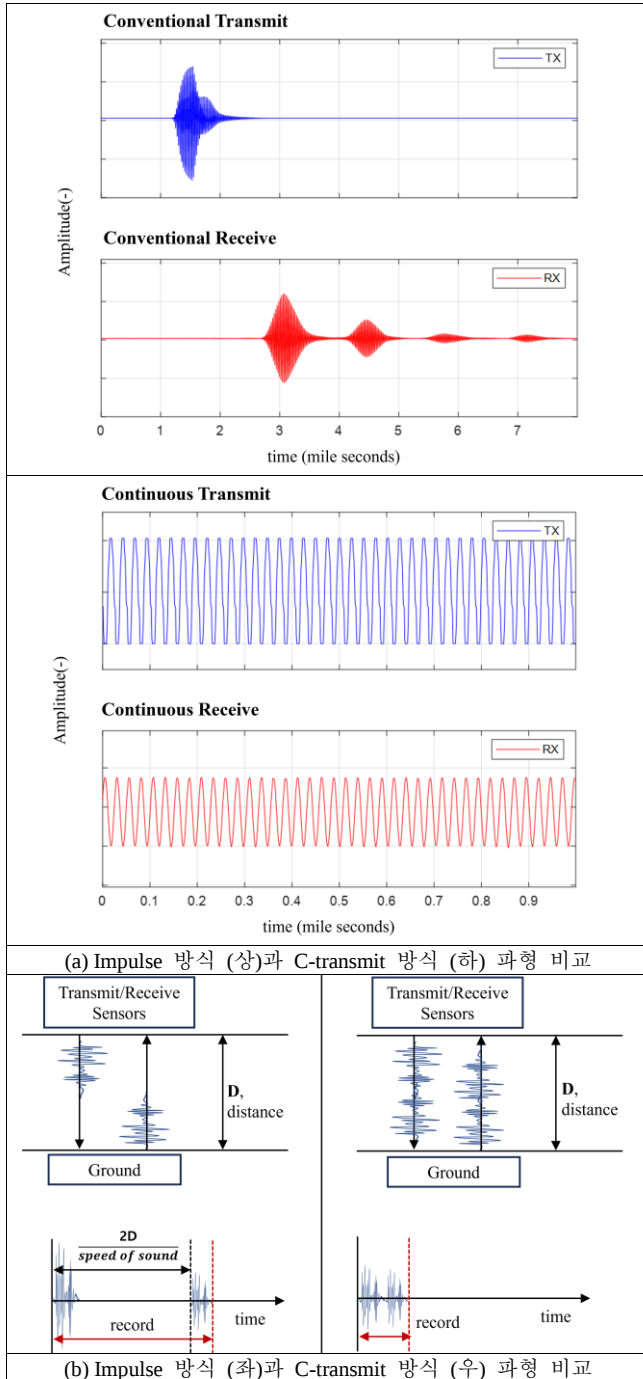
상태를 감지하는 방법에 대한 효용 가능성을 제시하였다. 테스트 벤치 환경에서 투명 아크릴, PVC 같은 플라스틱 플레이트를 활용한 연구로써, 음파 AI 모델로 97%의 분류 정확도를 보였다. 하지만, 실시간 주행 환경에서 적용을 위한 기술이라는 관점에서, 검증용 재료의 선정과 음파의 형성 방식에서 한계가 있었다.

본 논문은 주행 차량 환경에서 적용 가능한 기술 관점에서 기반 연구를 보완하여, 이전 연구와 다른 주사파 및 반사파 음파 형성 방식을 사용하고 실제 주행 중 경험할 수 있는 도로 기상 환경을 재현한다. 이로부터 획득한 음파 데이터를 활용하여, 실시간 구동환경에 적합한 AI 기반 실시간 분류기를 구현하고 성능 분석 결과를 제시하여, 실시간 주행 환경에 적합한 센싱 기술로써 그 타당성을 입증하고자 한다. 2 장에서는 제안된 시스템을 설명하고, 3 장에서는 실험의 구성과 결과를 제시한다. 마지막으로 4 장에서는 연구 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 시스템 제안

본 연구에서는 주행 중 실시간으로 센싱이 가능한

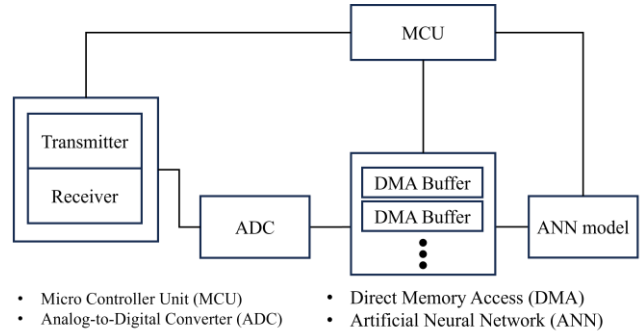
시스템을 제안하기 위하여, Continuous-transmit (C-transmit) 방식 음파 송수신을 제안한다. (그림 1)에서는 종래의 음파 주사, 반사 방식과 제안한 C-transmit 방식의 비교를 보인다. 단발성 주사 및 반사 음파 쌍을 연산하는 방식은 실시간성 인식에 적합하지 않고, 계속적으로 음파를 주사하는 중에 노면 표면 인식이 가능한 시간적 구간만큼 반사파를 획득하여 병렬적으로 연산한다.



(그림 1) 주사파, 반사파 음파 형성 비교

(그림 2)는 전체적인 시스템 구성을 보인다. 선행 연구를 통해, 음파를 활용하면 다른 도메인보다 더 적은 데이터 규모로 충분히 노면 표면 분류기 구현이 가능하다는 것을 확인하였다. 차량 탑재용 임베디드

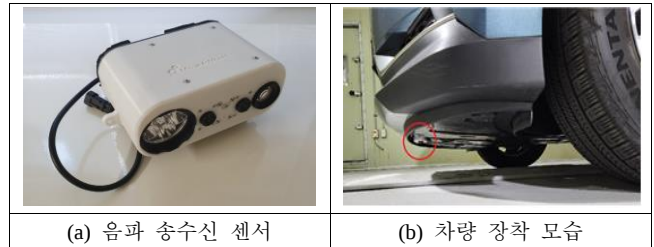
환경에서 모델의 실시간 구동성 확보와 과적합 방지를 위해 shallow net 모델 적용을 제안한다.



(그림 2) 제안 시스템 구성도

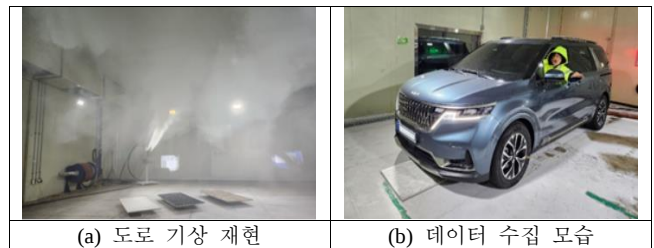
3. 실험

(그림 3)은 본 연구에서 사용한 음파 센서 장치를 보인다. 센서는 차량의 앞 범퍼 아래에 장착하였다.



(그림 3) 음파 송수신 센서 및 차량 장착 모습

(그림 4)는 다양한 도로 기상을 재현하기 위해 구성한 실험 환경을 보인다. <표 1>은 도로 기상 재현 중 유지된 온도 및 습도 조건을 보인다.



(그림 4) 도로 기상 재현 및 음파 데이터 수집 환경

<표 1> 데이터 획득 온/습도 조건 및 획득 환경

Road Weather	Environmental Conditions	
	Temperature (°C)	Humidity (%)
Dry, Humid	+25 ~ +30	40 ~ 60
Wet	+20 ~ +25	40 ~ 60
Iced, Snow, Slush	-20 ~ -15	0

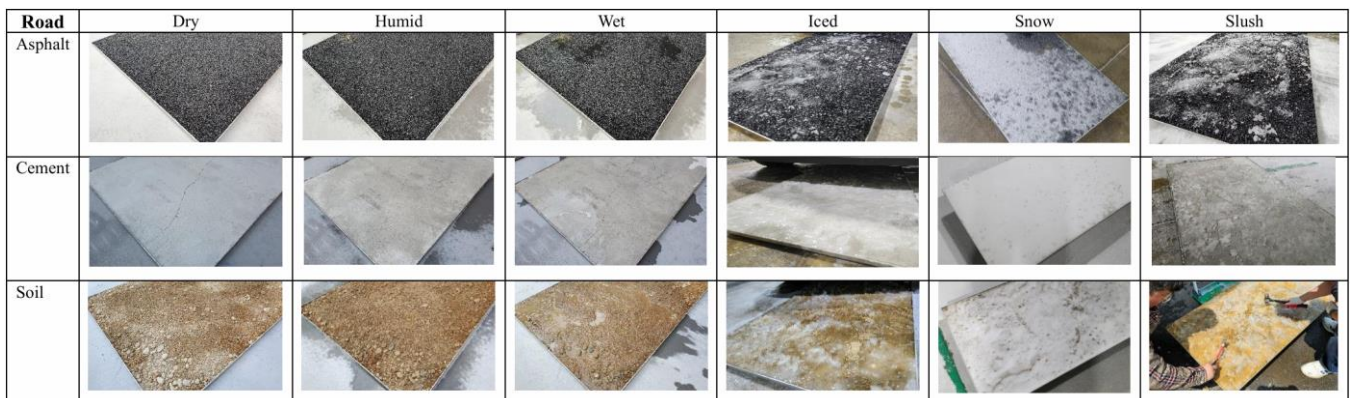
6 종 기상 상태 및 온/습도 조합 조건에서, 노면 음파 데이터 수집을 위해 아스팔트, 시멘트, 흙 material로 노면 재현 플레이트를 제작하였고, 총 18 종 조합 조건에서 음파 데이터를 수집하였다. (그림 5)는 각 수집 조건에서의 노면 상태를 보인다. 수집된 데이터 수량은 각 case 당 3,000 set 이상으로, AI 모델 학습

및 검증을 위해서 총 118,830 set 의 데이터를 확보하였다.

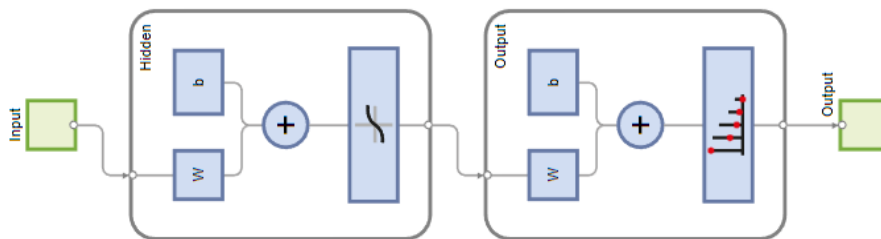
실험용 데이터는 train, test, validation set 을 각각 7:1.5:1.5 비율로 나누어, 훈련된 모델의 평가는 validation set 을 대상으로 테스트하여 각 노면 플레이트에 대한 정확도를 산출하였다. 본 연구에서는 shallow net 모델로 pattern recognition neural network 를 사용하여, 훈련 방식은 스케일링된 켄레 기울기 역전파 방식, 손실 함수는 cross-entropy 를 적용하였다. (그림 6)은 pattern recognition neural network 의 구조를 나타내며, 모델 구현에 사용된 layer 와 연결을 보여준다. 이 다이어그램은 입력 데이터가 네트워크를 통해 흐르며 최종 분류 결과에 도달하는 과정을 시각적으로 표현한다.

AI 모델 입력 데이터는 계속적으로 노면에 음파를 주사하는 중 20 ms 단위로 녹음된 음파 신호 데이터 셋으로 구성되며, 음파로부터 특징 주파수를 추출하기 위한 전처리를 적용하였다. 신경망의 출력 클래스는 데이터 수집 시 조합 조건인 총 18 개와 같은 값으로 설정하였다.

<표 2-4> 는 총 18 종 조합 조건으로부터 플레이트 종류 별로 아스팔트, 시멘트, 흙 노면에 대한 성능 검증 결과를 보인다. 표에서 'others'는, 출력 클래스가 18 개인 모델을 각 플레이트 별로 정확도를 산출했기 때문에, 해당 플레이트 외 다른 플레이트의 기상 상태로 예측한 결과를 의미한다. <표 5>는 플레이트 종류에 관계 없이, 6 종 기상 상태에 대한 분류 성능으로 재해석한 결과를 보인다.



(그림 5) 음파 데이터 획득 조건 (총 18 종)



(그림 6) Pattern recognition neural network 다이어그램

<표 2> 아스팔트 노면에 대한 정확도 산출

Num. of Testset = 6,106		Ground Truth					
Accuracy = 90.9 %		Dry	Humid	Wet	Iced	Snow	Slush
Predict	Dry	899	1	0	0	0	0
	Humid	0	1021	0	0	0	0
	Wet	2	0	1080	0	0	0
	Iced	0	0	0	830	0	21
	Snow	0	0	0	0	951	0
	Slush	0	0	0	23	0	774
	Others	18	118	185	48	19	116

<표 3> 시멘트 노면에 대한 정확도 산출

Num. of Testset = 6,064		Ground Truth					
Accuracy = 87.5 %		Dry	Humid	Wet	Iced	Snow	Slush
Predict	Dry	943	0	0	0	0	0
	Humid	0	1005	0	0	0	0
	Wet	0	3	1139	0	0	0
	Iced	0	0	0	581	0	50
	Snow	0	0	0	0	907	0
	Slush	0	0	0	46	0	729
	Others	0	106	123	252	21	159

<표 4> 흙 노면에 대한 정확도 산출

Num. of Testset = 5,655		Ground Truth					
Accuracy = 91.2 %		Dry	Humid	Wet	Iced	Snow	Slush
Predict	Dry	915	0	0	0	0	0
	Humid	0	987	2	0	0	0
	Wet	0	0	827	0	0	0
	Iced	0	0	0	635	0	23
	Snow	0	0	0	0	897	0
	Slush	0	0	0	30	0	897
	Others	0	36	69	259	2	76

<표 5> 6 종 노면에 대한 정확도

Num. of Testset = 17,825		Ground Truth					
Accuracy = 96.8 %		Dry	Humid	Wet	Iced	Snow	Slush
Predict	Dry	2806	2	8	1	1	0
	Humid	7	3258	6	0	1	1
	Wet	7	2	3398	0	0	0
	Iced	0	0	0	2478	1	241
	Snow	0	0	0	0	2817	3
	Slush	1	4	3	245	2	2532

4. 결론 및 향후 연구

본 연구는 모빌리티 환경에서 비접촉 방식으로 실시간 도로 표면을 파악할 수 있는 음파 센서 기반의 노면 추정 기법을 제안하고, 실제 도로에서 접할 수 있는 도로 기상 조건으로 실험 환경을 구성하여 제안된 기법의 실용화 가능성을 입증하고자 하였다. 이전 연구로부터 [4] 진전된 점은 임베디드 환경에서 실시간 구동이라는 환경적 조건을 고려하여 C-transmit 방식의 채택, 가벼운 신경망 모델의 채택, 몇 가지 도로 기상 환경을 직접 재현하고 센서를 차량에 탑재하여 데이터 수집 및 분류기 모델 검증은 실시한 점을 제시할 수 있다.

논문에서 구성한 3 종 노면 플레이트에 대해서는 아스팔트 90.9 %, 시멘트 87.5 %, 흙 노면 91.2 %의 분류기 성능을 보였다. 이 중 iced, snow, slush 기상 조건에서 others 로 예측된 점은 심각한 성능 문제는 아니라 할 수 있는데, 눈과 얼음 결정이 플레이트 표면을 덮으면서 노면 플레이트 간 혼동은 충분히 발생 가능하기 때문이다. 노면 플레이트 종류에 상관없이 도로 기상을 예측하는 정확도 산출에서는 96.8 %라는 정확도를 보였다.

향후 연구에서는 더 실용적인 환경에서, 다양한 주행 속도와 도로 조건에서의 음파 센서 성능을 평가하고 본 연구에서 반영하지 않은 여러 외부 요인들을 포함할 계획이다. 구체적으로는, 다양한 주행 속도와 도로 조건에서의 음파 센서 성능을 평가하고 본 연구에서 반영하지 않은 여러 외부 요인들을 포함할 계획이다. 이를 통해 음파 센서를 활용한 도로 노면 인식 기술이 실제 주행 환경에서도 효과적으로 적용될 수 있음을 입증하고자 한다.

사사문구

이 논문은 2024 년 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 ‘2024 SW 고성장 클럽’ 사업 (정보통신산업진흥원)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] A. Bystrov, M. Abbas, E. Hoare, T.-Y. Tran, N. Clarke, M. Gashinova, and M. Cherniakov, "Remote road surface identification using radar and ultrasonic sensors," 2014 11th European Radar Conference, 2014.
- [2] R. D. S. M and S. D., "Road surface detection using FMCW 77GHz automotive RADAR using MFCC," 2021 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), 2021.
- [3] J. Zheng, S. Yang, X. Wang, X. Xia, Y. Xiao, and T. Li, "A decision tree based road recognition approach using roadside fixed 3D LiDAR sensors," IEEE Access, vol. 7, pp. 53878–53890, 2019.
- [4] M.-H. Kim, J. Kang and J. Jung, "Non-Contact Material Recognition from Test-bench using Reflected Signal from Active Sound Wave and Machine Learning," Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference, pp. 506–508, 2023.
- [5] S. Nakashima, S. Aramaki, Y. Kitazono, S. Mu, K. Tanaka, and S. Serikawa, "Application of ultrasonic sensors in road surface condition distinction methods," Sensors 2016, vol. 16, no. 10, 2016.
- [6] Y. Taniguchi, K. Nishii, and H. Hisamatsu, "Evaluation of a bicycle-mounted ultrasonic distance sensor for monitoring obstacles and holes on road," International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology, 2015.
- [7] M. Yamamoto, S. Nakashima, K. Haruyama, and S. Mu, "Improvement of road surface discrimination performance of movement support system using ultrasonic sensors," Proceedings of the 7th ACIS International Conference on Applied Computing and Information Technology (ACIT2019), no. 33, pp. 1–6, 2019.
- [8] S. Hirata, Q. Sun, M. Ueda, and H. Hachiya, "Measurement of road surfaces by reflection characteristics of airborne ultrasound," Acoustical Science and Technology, vol. 37, no. 6, pp. 322–325, 2016.
- [9] S. K. Sharma, H. Phan, and J. Lee, "An application study on road surface monitoring using DTW based image processing and ultrasonic sensors," Applied Sciences, vol. 10, no. 13, 2020.
- [10] S. Nakashima, H. Arimura, M. Yamamoto, S. Mu, and H. Lu, "Improving the accuracy of road surface distinction based on reflection intensity variations using ultrasonic sensor," IEEE Sensors Journal, vol. 22, no. 18, pp. 17399–17405, 2020.
- [11] M. Kalliris, S. Kanarachos, R. Kotsakis, O. Haas, and M. Blundell, "Machine learning algorithms for wet road surface detection using acoustic measurements," 2019 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM), 2019.
- [12] M.-H. Kim, J. Park, and S. Choi, "Road type identification ahead of the tire using D-CNN and reflected ultrasonic signals," International journal of automotive technology, vol. 22, no. 1, pp.47–54, 2021.