

단일 라이다 센서를 이용한 도로환경 블랙아이스 검출 한계

Road Environment Black Ice Detection Limits Using a Single LIDAR Sensor

김성태¹ · 최 원혁^{2*} · 박 제홍² · 홍 석민² · 임 영근³

¹한서대학교 항공전자공학과

²한서대학교 항공시스템공학과

³포휴먼테크

Sung-Tae Kim¹ · Won-Hyuck Choi^{2*} · Je-Hong Park² · Seok-Min Hong² · Yeong-Geun Lim³

¹Department of Avionics, Hanseo University, Seosan 31962, Korea

^{2*}Department of Aeronautical Systems Engineering, Hanseo University, Seosan 31962, Korea

³Forhumantech, Daejeon 34025, Korea

[요 약]

본 논문은 LiDAR (light detection and ranging) 센서를 활용하여 블랙아이스를 검출하는 새로운 방법을 제안합니다. 센서는 작고 비용이 저렴하면서도 높은 정확성을 가진 거리 측정 센서로 온도와 경사각을 다르게 하여 아스팔트와 블랙아이스의 각도를 구별하는 데 사용됩니다. 이 센서의 거리 측정 오차율은 대략 ± 1 cm로 블랙아이스와 아스팔트를 구별하는 데에는 일부 오차가 발생할 수 있습니다. 본 논문에서는 정확성을 높이기 위한 추가적인 연구와 개선이 필요함을 지적하며 이를 통해 더욱 정확한 블랙아이스 검출 방법을 제안합니다.

[Abstract]

Recently, accidents caused by black ice, a road freezing phenomenon caused by natural power, are increasing. Black ice is difficult to identify directly with the human eye and is more likely to misunderstand it as standing water, so there is a high accident rate caused by car sliding. To solve this problem, this paper presents a method of detecting black ice centered on LiDAR sensors. With a small, inexpensive, and high-accuracy light detection and ranging (LiDAR) sensor, the temperature and inclination angle are set differently to detect black ice and asphalt by setting different reflection angles of asphalt and black ice differently in temperatures and inclinations. The LIDARO carried out in the study points out that additional research and improvement are needed to increase accuracy, and through this, more reliable black ice detection methods can be suggested. This method suggests a method of detecting black ice through early system design research by preventing accidents caused by black ice in advance.

Key word : Alarm, Black ice, Lidar, Mobility, Road environment.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.6.865>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 3 November 2023; **Revised** 5 December 2023
Accepted (Publication) 13 December 2023 (29 December 2023)

***Corresponding Author** : Won-Hyuck Choi

Tel: *** - *** - ***

E-mail: choiwh@hanseo.ac.kr

1. 서론

국내에도 도로의 결빙을 감지하기 위한 다양한 센서들이 도입되어 일부 운영중에 있으나 아직까은 큰 실효성을 거두고 있지 못하는 실정입니다[1]. 본 논문에서는 LiDAR (light detection and ranging)를 이용하여 온도와 경사각을 비교하고 레이저 반사 강도를 통해 아스팔트와 얼음의 차이를 이용하여 블랙아이스를 검출하는 방법을 제안합니다. LiDAR는 작은 사이즈와 저비용에도 불구하고 높은 정확성을 갖고 있는 거리 측정 센서입니다. 이 센서를 이용하여 온도와 각도의 차이를 이용해 측정하면 아스팔트와 블랙아이스를 구별할 기초 데이터를 얻을 수 있습니다. LiDAR 센서는 온도에 큰영향을 미치지 않습니다[2]. 온도는 큰 영향을 미치지 않으나 물체의 기울기 각도, 반사 표면 재료는 거리 측정 오류에 영향을 줄 수 있습니다. 본 논문에서 제안하는 LiDAR 기반의 블랙 아이스 검출 방법은 다른 센서와 함께 사용하거나 고도의 보정이 필요할 수 있습니다. LiDAR 센서의 거리 측정 오차율은 대략 $\pm 1\text{cm}$ 로 알려져 있습니다. 이러한 정확도는 일반적인 애플리케이션에는 충분하지만 얼음과 블랙아이스를 구별하는 데 있어서 일부 오차가 발생할 수 있습니다. 본 논문에서는 블랙아이스 검출의 정확성을 높이기 위해 추가적인 연구와 개선이 필요함을 인지하고 기존 연구를 LiDAR 센서로 온도와 각도를 측정하고 비교하며 블랙아이스를 검출을 제안합니다.

II. 블랙아이스 라이더센서 검출

2-1 블랙아이스 필요성

그림 1 블랙아이스 사고를 방지하기 위한 기술 개발이 많이 추진 중이지만 설계상 시간과 비용이 너무 많이 발생하는 문제점이 존재합니다. 따라서 정보 리드 신호 수신 시 정해진 도로의 구간에 설치해 노면의 날씨 환경을 수집하여 날씨 환경 정보를 무선으로 송신하는 데이터 수집 센서 모듈과 카메라 등을 활용한 기술이 개발되고 있습니다[3]. 그러나 도로의 노면 날씨 환경을 센싱하기 위한 센서모듈을 다수 개 설치해야 함으로 설계 시간이 오래 걸리고 그 비용도 많이 소요되는 문제점이 있고 빛의 반사도에 따라 결빙여부를 판단하지만 외부 조건에 의해서 반사도가 오탐지될 문제점이 있으며 결빙 예측 조건에 만족하지 않는 특수한 환경 발생시 결빙을 판단할 수 없는 문제점이 있습니다[4]. 이외에도 특수한 환경에서 결빙 조건을 충족하지 않아서 실제로는 존재하는 블랙아이스를 감지하

지 못하는 문제점도 제기되고 있습니다. 블랙아이스를 더 정확하게 감지하고 예측할 수 있는 고급 기술 개발에 대한 연구가 필요합니다. 인공지능 및 딥러닝 기반의 알고리즘이 미래의 문제점을 해결할 수 있는 날개가 될 수 있습니다. 이러한 기술은 이미지 인식 및 패턴 인식 능력을 갖춰 도로 환경에서 빛의 반사도 및 기 외부 요소에 영향을 받지 않고 결빙 상황을 판단할 수 있도록 돕고 이를 통 교통사고 예방 및 운전자의 안전을 보장할 수 있을 것입니다.



그림 1. 도로결빙 현상(블랙아이스)
Fig. 1. road icing phenomenon(black ice)

2-2 라이더 센서의 활용 방안

빛을 활용한 원격 탐지 기술 중 하나인 라이더 센서 이저 기반의 기술로 주변 환경의 물체와 거리를 정밀하게 측정할 수 있고 결과적으로 물체의 형상, 위치, 속도 등을 식별하고 분석하는 데 활용됩니다. 라이더 센서의 핵심 원리는 레이저 소스에서 고주파 빛 신호를 발사하는 것입니다. 이후 레이저 신호가 물체에 도달한 뒤 반사되어 센서로 돌아오는 시간을 측정하며 측정된 ToF(time of flight)를 바탕으로 빛의 속도와 발사된 레이저의 방향을 고려하여 거리를 계산할 수 있습니다. 본 연구에서는 일련의 과정을 통해 3D 좌표를 생성하고 실시간으로 고해상도 데이터를 처리해 다양한 산업 영역에서 원격 감지 기술로 더 높은 성능과 효율성을 달성하는 방안을 제시합니다.

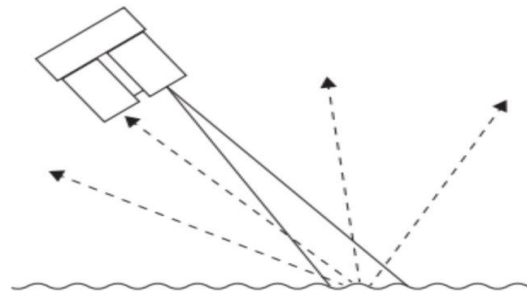


그림 2. 라이더 라이트 v3 모듈
Fig. 2. LiDAR lite v3 module

표 1. 물질에 따른 실제 거리와의 오차율

Table. 1. Error rate from actual distance depending on material

Measurements Taken at 70°			
Substance	Measurement distance [cm]	Actual distance [cm]	Error rate [%]
Ceramics	188.01	190	1.044
Tile	211.61	196	7.964
Wood	190.67	184	3.625
Concrete	166.56	171	2.556
Porcelain	183.83	184	0.092
Asphalt	168.49	170	0.888
Paving Stone	168.22	164	2.573
Grass	228.6	240	4.75
Cement	169.21	179	5.469
Sand	225.57	220	2.532

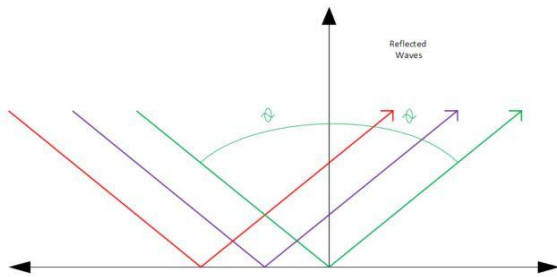


그림 3. 표면에 규칙적인 진동파의 반사
Fig. 3. Reflection of regular oscillating waves on a surface

물체 표면의 반사 특성은 세 가지 범주로 나눌 수 있으며 실제로 일반적으로 여러 특성의 조합이 존재합니다. 확산, 반사, 스펙큘러, 역반사라 합니다. 확산 반사 표면의 순수한 형태는 반사된 에너지를 균일하게 분산시키는 질감을 가진 재료에서 발견되며 이러한 성질로 인해 분산된 레이저 에너지의 상대적으로 예측 가능한 비율이 장치로 돌아옵니다. 결과적으로 성능이 높다는 것을 확인할 수 있습니다.

표 1을 보면 각각의 실제거리와 LiDAR로 측정된 결과값의 오차율을 나타냅니다[5].

$$\begin{aligned}
 &V = \text{speed,} \\
 &f = \text{frequency,} \\
 &\lambda = \text{wavelength,} \\
 &D = \text{distance,} \\
 &T = \text{time}
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{aligned}
 &V = f \times \lambda \\
 &D = \frac{V \times T}{2}
 \end{aligned}
 \quad
 (1)$$

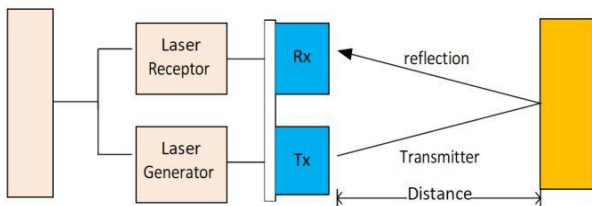


그림 4. LiDAR 모듈 센서 작동도
Fig. 4. LiDAR module sensor operation diagram

그림 3 빛 감도가 보정되면 레이저가 장애물에 반사될 때 발생하는 크기의 피크를 찾기 위해 여러 신호가 전송됩니다. 장치는 측정된 신호를 이전의 데이터 기록과 상관관계를 분석합니다. 이 작업이 완료되면 이전 신호와의 상관관계를 분석하여 노이즈 층을 정량화하기 위해 일부 신호가 전송된 후 상관관계 분석을 통해 전송된 신호 크기의 변화를 수신된 상관관계 기록에 근거하여 찾을 수 있습니다. 이 과정이 피크가 임계값을 넘을 때까지 반복되며 거리가 계산됩니다. 최종적으로 장치는 거리를 제공하는 출력 신호를 생성하고 주기가 반복됩니다. 반사가 발생할 때 전송된 파동의 특성은 변하지 않고 반사된 파형은 방향만 변경되며 이는 그림 3에서 확인할 수 있습니다. 속도, 주파수, 파장이 식(1)에 표시된 관계로 연결되어 있습니다.

그림 4의 LiDAR 센서를 이용해서 블랙아이스를 검출할 수 있습니다. 블랙아이스를 방지하기 위해 라이다 센서를 이용하여 지면의 표면과 거리를 측정합니다. 이때 온도와 각도를 다르게 해 측정값을 검출해내고 아스팔트에 블랙 아이스가 있는지 없는지는 확인하려 합니다. 라이다 센서를 활용하여 지면에서 반사된 레이저 데이터를 수집하고 이를 분석하여 지면의 거리 및 높낮이 정보를 얻을 수 있습니다. 이러한 정보를 활용하여 지면의 광택도를 추정하고 블랙아이스의 특성인 고르게 반사하는 경향을 이용하여 해당 지점의 블랙아이스 있는지 없는지 확인할 수 있습니다. 이 과정에서 지면의 거칠기에 대한 정보도 함께 고려하면 정확도를 높일 수 있습니다.

III. 연구 결과

3-1 온도 시뮬레이션 결과

표 2는 시뮬레이션 값을 표로 나타낸 것입니다. 평균적으로 물은 0도 미만으로 내려가면 얼음이 형성됩니다. 시뮬레이션하기 위해 라이다 센서의 정보와 얼음이 생기는 온도에 맞춰서 시뮬레이션한 결과입니다. 그림 5는 매트랩으로 온도를 얼음이 어는 점 0도를 중점으로 영하 10도 부터 영상 10도 까지 파라미터를 주고 거리를 측정된 결과값입니다.

표 2. 온도에 따른 실제 거리와의 차이

Table 1. Difference from actual distance depending on temperature

Temperature [°C]	Asphalt [m]	Black ice [m]	Difference [m]
-4	1.668	1.637	0.051
-3	1.546	1.516	0.030
-2	1.648	1.618	0.030
-1	1.606	1.576	0.030
0	1.672	1.641	0.031
1	1.501	1.471	0.030
2	1.590	1.560	0.030
3	1.539	1.509	0.030
4	1.745	1.715	0.030

거리는 1.6 m 로 정했고 측정된 각도의 값은 90도로 고정해 놓고 얼음의 두께는 3 cm로 가정해 시뮬레이션을 진행하였고 표와 그래프는 그 결과 값을 나타냅니다. 식 (2) 을 사용하면 라이다 센서가 원하는 각도에서 출력한 거리 값 D에 따라 해당 위치에 있는 목표물까지의 수평거리를 계산할 수 있습니다. 이렇게 얻은 수평거리는 각도에 따라 목표까지의 거리를 감안한 값이 됩니다. 경우에 따라 여러 각도에서 측정하여 블랙 아이스의 위치를 더 정확하게 추정합니다.

그림 6은 시뮬레이션한 각도를 표현한 그림입니다. 시간은 오후 1시로 설정하고 온도는 영하 10°C ~ 영상 10°C로 설정한 후 블랙 아이스에 라이다를 측정할 각도는 0°에서 90°까지로 다음과 같이 시뮬레이션을 진행했고 온도 시뮬레이션 환경과 같은 환경으로 설정했습니다. 아스팔트와 블랙 아이스의 각도 차이를 확인했습니다. 온도 시뮬레이션 결과를 통해 LiDAR이 온도에는 영향을 크게 받지 않는 것으로 확인되었고 결과적으로는 블랙아이스 검출에 적합하다고 판단 되었습니다. 결과적으로 오차는 존재하지만 라이다 센서 파라미터에서 언급된 오차율과 유사하기 때문에 정확한 값을 얻었습니다.

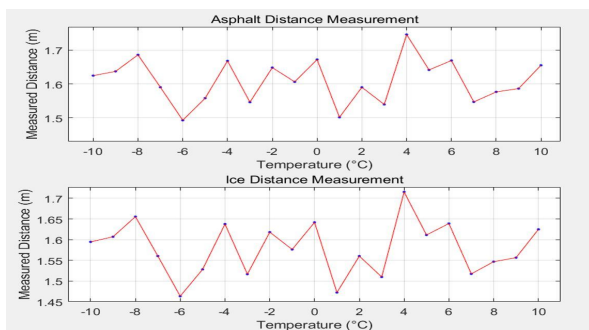


그림 5. 온도에 따른 실제거리 비교 그래프
Fig. 5. Actual distance comparison graph according to temperature

3-1 각도 시뮬레이션 결과

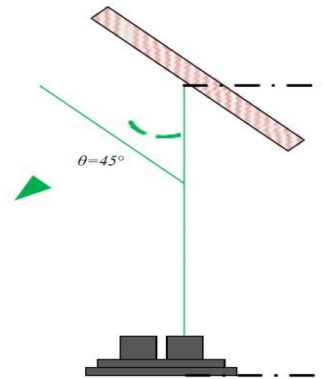


그림 6. 45°에서의 레이저 반사 궤적
Fig. 6. Laser reflection trajectory at 45°

센서에서 측정된 거리를 D 레이저가 출발하고 다시 돌아오는데 걸리는 시간을 사용하고 각도를 θ 라하고 우선 각도를 라디안 단위로 변환합니다.

$$HD = \text{Horizontal Distance} \tag{2}$$

$$HD = D \times \cos(\theta)$$

그림 7에서는 두 그래프를 비교하여 아스팔트와 블랙 아이스 사이의 각도 차이를 바탕으로 블랙 아이스를 검출할 수 있습니다. 수직 각도에서는 차이를 찾기 어렵지만 각도가 0° ~ 80°일 때 두 데이터 간의 차이를 이용하여 분석이 가능합니다. 따라서 각도 범위 내에서 아스팔트와 블랙 아이스 간의 각도 차이가 명확한 값이 나왔을 경우 해당 부분을 블랙 아이스로 판단할 수 있습니다. 이러한 방식으로 블랙 아이스 검출에 대한 정확도를 높일 수 있습니다.

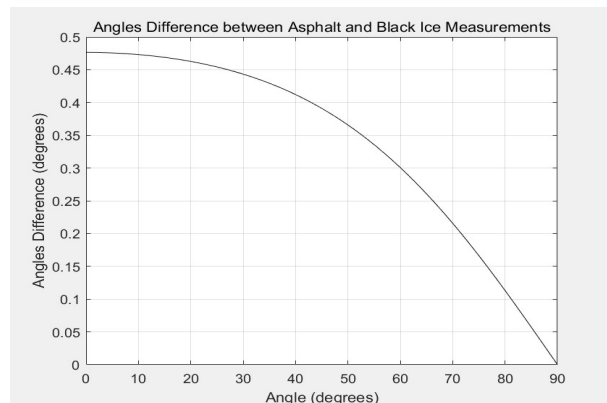


그림 7. 아스팔트와 블랙아이스의 각도 차이
Fig. 7. Angle difference between asphalt and black ice

IV. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 LiDAR 센서를 활용하여 온도와 각도에 따른 아스팔트와 블랙아이스의 반사 차이를 이용해 블랙아이스를 검출하는 방법을 시뮬레이션하였다. 결과적으로 블랙아이스와 아스팔트 간의 온도를 비교하는 방법으로는 블랙아이스를 성공적으로 검출하는 데 한계가 있었습니다. 그러나 각도를 활용한 블랙아이스 검출 시뮬레이션에서 0°에서 90°까지 비교했을 때 차이를 발견할 수 있었습니다. 센서를 이용한 온도 변화에 따른 측정값은 큰 차이를 보이지 않았지만 각도에 따른 반사각을 활용하여 블랙아이스 검출이 가능하다는 것으로 판단하였습니다. 다만 이 기법이 실질적으로 효과적인 블랙아이스 검출을 위해서는 다른 센서와의 복합 사용이나 고도 보정 등의 추가 조치가 필요합니다. 단독 센서의 값은 신뢰성이 제한되어 있으므로 복합 센서 활용에 초점을 맞춘 블랙아이스 검출의 신뢰도와 정확성 향상을 목표로 연구를 더욱 발전시킬 필요가 있습니다. 이러한 개선을 통해 실제 환경에서 보다 정확하고 안전한 블랙아이스 검출 및 관리 시스템의 구축이 가능해질 것입니다.

Acknowledgments

본 과제(결과물)는 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기

반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2021RIS-004)

References

- [1] J. W. Kim, and H. G. Kim, "Introduction of Prevention and Prediction Techniques of Road Surface Freezing," *Magazine of the Korean Society of Hazard Mitigation*. Vol. 10, No. 4. pp. 35-39, Dec. 2010.
- [2] H. G. Kim, M. S. Jang, Y. S. Lee, "A Black Ice Detection Method Using Infrared Camera and YOLO," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering* Vol. 25, No. 12 pp. 1874~1881, Dec. 2021.
- [3] D. H. Lee, K. D. sik, "A Study on the Design of Forest IoT Network with Edge Computing," *Journal of Korean Institute of Information Technology*. Vol. 16, No. 10, pp. 101-109, Oct. 2018.
- [4] S. J. Kim, W. S. Yoon, and Y. K. Kim, "Characteristics of Black Ice Using Thermal Imaging Camera," *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*. Vol. 24, No. 6_2, pp. 873-882, Dec. 2021.
- [5] E. Ayala, J. Sotamba, B. Carpio and O. Escandón, "Lidar Lite v3 Module Performance Evaluation," in *Proceeding of the 2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting*, Cuenca, Ecuador, pp. 1-5, 2018.



김 성 태 (Sung-Tae Kim)

한서대학교 항공전자공학과 학부
 ※관심분야 : 항공통신, 통신기술, 데이터 분석



최 원 혁 (Won-Hyuck Choi)

2006년 2월 : 한국항공대학교 항공전자전자 공학박사
 2014년 2월 ~ 현재 : 한서대학교 항공전자공학과 교수
 ※관심분야 : 임베디드 시스템, 사물인터넷, 무선통신



박 제 홍 (Je-Hong Park)

2010년 8월. : 한국항공대학교 항공우주공학 공학박사
2011년 ~ 2015년 : 대한항공 기술연구원 연구3급
2015년 ~ 2018년 : 대한항공기술연구원 연구2급
2018년 ~ 현재 : 한서대학교 항공전자공학과 조교수
※ 관심분야 : 항공우주, 로켓, 인공위성시스템



홍 석 민 (Seok-Min Hong)

2014년 : 과학기술연합대학원대학교 공학박사
2014년 3월 ~ 2015년 12월 : 한국과학기술연구원 박사후과정
2016년 1월 ~ 2017년 3월 : 인체감응솔루션연구단 연구원
2017년 4월 ~ 현재 : 한서대학교 무인항공기학과 조교수
※ 관심분야 : 로봇자세제어, 휴머노이드 보행제어, 로봇동작제어



임 영 근 (Yeong-Geun Lim)

2004년 02월: 대전대학교 정보통신공학 학부 졸업
2015년 12월 ~ 2017년 11월 : (주)엘에스트론 기술연구소
2017년 12월 ~ 현재 : 포휴먼테크 대표이사
※ 관심분야 : 신호처리, 빅데이터, 통신, AI답러닝