

강우 효과를 고려한 라이다 센서 시뮬레이션

박태연, 이규석, 천장우, 이임평*

서울시립대학교

siam33@uos.ac.kr, ys96000@uos.ac.kr, khai0614@uos.ac.kr, *iplee@uos.ac.kr

Simulation of LIDAR Sensor considering Rainfall Effect

Taeyeon Park, Gyuseok Lee, Jangwoo Cheon, Impyeong Lee*

University of Seoul

요약

최근 안전하고 신뢰성 있는 자율주행차량의 도입을 위해 다양한 시나리오 및 환경 구축이 가능한 자율주행 시뮬레이터가 널리 활용되고 있다. 특히 날씨와 같은 비정형 환경은 자율주행차량에 탑재된 라이다 센서 알고리즘 성능에 큰 영향을 미치는 요소로써, 안전한 자율주행 시스템의 개발을 위해서는 이러한 환경에서의 라이다 센서 시뮬레이션 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 라이다 데이터에 대한 강우 효과를 모델링하고 이를 기반으로 라이다 센서 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션을 수행한 결과, 강수량이 증가함에 따라 전반적인 신호 감쇠 및 인지 거리가 감소하는 경향을 보였으며, 본 연구는 강우 효과를 고려한 라이다 센서 시뮬레이션 연구의 중요한 기초 연구가 될 수 있다.

I. 서론

최근 다양한 환경 및 시나리오 구축이 가능하며 안전하고 반복적인 주행 실험이 가능한 자율주행 시뮬레이터가 널리 활용되고 있다. 실제 자율주행차량에 탑재되어있는 다양한 인지 센서들은 날씨와 같은 비정형 환경에 큰 영향을 받으며, 특히 라이다 센서의 경우에는 객체를 탐지하고 차량의 위치 추정에 있어 큰 성능 저하를 보이며 이는 자율주행차량의 자동 운전이 불가능한 매우 위험한 상황들을 초래할 수 있다. 이러한 비정형 날씨 환경에서의 라이다 센서 성능 개선을 위해서는 다양한 날씨에 대한 자율주행 알고리즘의 훈련 데이터셋 구축이 이루어져야하며, 이때 자율주행 시뮬레이터가 유용하게 사용될 수 있다.

현재 널리 활용되고 있는 lgsvl 자율주행 시뮬레이터는 비, 안개, 눈과 같은 날씨 환경에서의 시뮬레이션이 가능하다. 하지만 이는 카메라 센서에 대한 시각적인 효과는 고려되지만, 라이다 센서에 대해서는 날씨의 영향이 반영되지 않는다는 한계가 있다. [1]에서는 가상 환경에서의 라이다 센서에 대한 강우 효과를 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다. 하지만 [1]에서는 라이다 센서의 세기 값을 고려하지 않는다는 한계가 있다. 이처럼 현재 날씨 영향을 반영하여 실제 라이다 센서와 유사하게 작동하는 시뮬레이션에 대한 연구가 부족한 상황이다. 따라서 본 논문에서는 주행환경에서도 가장 빈번하게 발생하는 강우에 대하여, 라이다 센서에 미치는 영향을 파악하고 이러한 영향들을 모델링하여 강우 효과를 고려한 라이다 센서 시뮬레이션을 하고자 한다.

라이다 센서에 대한 강우 효과로는 대표적으로 레이저 펄스의 대기 전달로 인한 신호 감쇠, 레이저와 빔방울 입자 간의 산란으로 인한 레이저 소실과 빔방울 입자로 인한 대기 중의 노이즈가 발생하는 오 탐지 효과가 있다. [2] 본 논문에서는 이러한 효과 중 레이저의 대기 전달로 인한 신호 감쇠를 모델링하고 이를 기반으로 라이다 센서 시뮬레이션을 수행한다.

II. 이론적 배경

(1) 라이다 복사모델

라이다 센서는 레이저 펄스를 방출하고 반사된 표면으로부터 빛이 돌아오는 시간 및 강도를 측정하여 표면까지의 거리, 속도, 방향 등을 계산하는 기술이다. 방출된 레이저 펄스가 목표물에 반사되어 수신기로 돌아올 때 그 사이에 존재하는 대기 중의 여러 외부 요소들은 레이저 신호에 영향을 미치며 이러한 현상을 모델링한 것을 라이다 복사모델이라고 한다. 본 논문에서는 레이저가 반사된 표면의 반사도, 레이저와 반사된 표면 간의 입사각과 측정 거리를 기반으로 한 수식 (1)의 라이다 복사모델을 활용한다. [4]

$$I_0 \propto \frac{\rho \cos(\theta)}{r^2} \quad (1)$$

(2) 대기 전달 모델

강우에 의한 라이다 센서의 신호 감쇠 효과를 나타내기 위해서는 습도, 온도, 압력의 함수로써 대기를 통과할 때 방사에너지가 감쇠하는 효과를 나타내는 수식 (2)의 대기 전달 모델을 기반으로 한다. [3] α 는 산란계수, r 는 측정 거리이며 산란계수는 강수량에 대한 멱법칙 관계($\alpha = aR^b$)로 나타낼 수 있다. 이때 R 은 강수량[mm/h]이며 a 와 b 는 경험적 계수로써 본 연구에서는 [3]에서 실제 강우 데이터를 기반으로 추정된 값을 사용한다.

$$T = \exp(-2\alpha r) \quad (2)$$

(3) 강우 효과가 고려된 복사모델

레이저의 대기 전달로 인한 신호 감쇠 효과를 나타내는 복사모델은 최종적으로 라이다 복사모델과 대기 전달 모델로 구성된다. 따라서 본 논문

서는 아래의 수식 (3)을 이용하여 라이다 센서 시뮬레이션을 수행하며, 해당 라이다 센서가 탐지할 수 있는 최소한의 세기값을 임계값으로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. [3]

$$I = I_0 \times \exp(-2ar) \quad (3)$$

III. 실험 및 결과

본 연구에서는 Unity 게임 엔진을 이용하여 비가 내리는 비정형 환경에서의 라이다 센서 시뮬레이션을 수행하였다. Velodyne HDL-32E 라이다 센서를 차량에 탑재하였으며 강수량은 8mm/h, 15mm/h로 구분하여 시뮬레이션 데이터를 생성하였다. [그림1]은 본 연구에서의 가상 주행환경으로 왼쪽은 맑은 날씨, 오른쪽은 비가 내릴 때의 주행환경이다.



그림1. Unity 가상 주행환경 (좌-맑은 날씨, 우-비)

[그림2]는 맑은 날씨에서의 라이다 시뮬레이션 데이터와 강우 효과가 고려된 복사모델을 기반으로 한 8mm/h, 15mm/h의 강수량에 대해서 취득한 라이다 시뮬레이션 데이터의 결과이다.

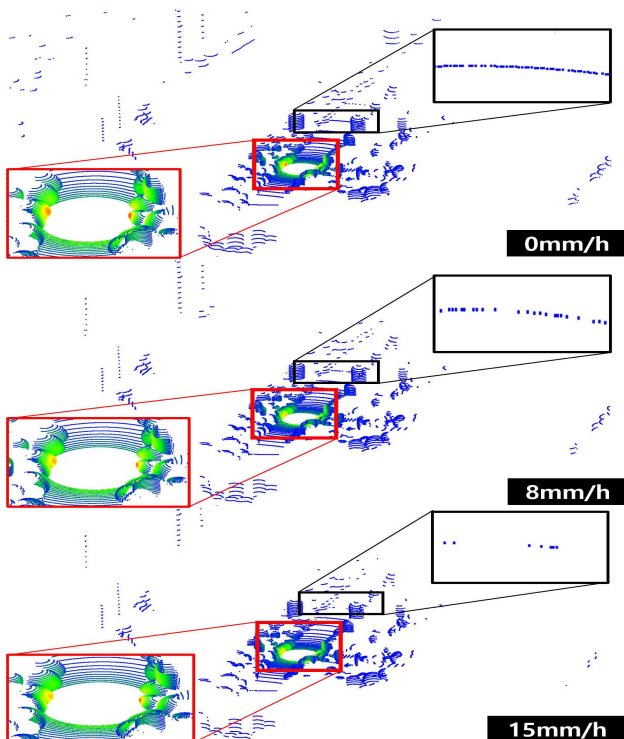


그림2. 맑은 날씨와 8mm/h, 15mm/h의 강수량에 대한 라이다 시뮬레이션 데이터 (위-맑은 날씨, 중간-8mm/h, 아래-15mm/h)

본 연구에서는 주변에 나무와 언덕 및 비포장도로로 구성된 주행환경에서 3가지의 상황에 대한 시뮬레이션 데이터를 취득하였다. 맑은 날씨의 가상 환경에서 취득한 데이터의 최대 측정 거리는 약 80m였으며 이를 기준으로 강수량에 따른 최대 측정 거리를 비교해보았을 때 8mm/h와 15mm/h의 데이터는 약 55%의 감소율을 보였다. 라이다 센서를 기준으로 약 30m 반경에서 내에서 취득된 라이다 데이터의 경우, 맑은 날씨의 세기 값의 평균을 기준으로 8mm/h, 15mm/h의 평균 세기값을 비교하였을 때 약 7%, 9%의 감소율을 보였다. 강수량이 증가함에 따라 전반적인 신호의 세기가 감소하는 경향을 보였으며 이렇게 감소된 신호들은 본 연구에서 설정한 임계값과 비교하여 작을 경우 제거되었으며 이에 따라 [그림2]에서 볼 수 있듯이 취득되는 라이다 데이터의 점 개수가 감소됨을 볼 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 강우로 인한 라이다 센서의 신호 감쇠 영향의 물리 모델을 이용하여 라이다 센서 시뮬레이션을 수행하였다. 본 모델을 기반으로 강수량을 달리하여 데이터를 취득하였으며, 강수량이 증가함에 따라 라이다 센서의 최대 인지 거리가 감소하고 전반적인 신호가 감쇠 하는 경향을 보였다. 본 연구는 강우에 의한 라이다 센서 시뮬레이션의 중요한 기초 연구가 될 수 있으며 향후 레이저 펄스의 대기 전달로 인한 신호 감쇠뿐만 아니라 빔방울 입자로 인한 오 탐지 및 레이저 소실과 같은 그 외의 강우 효과에 대한 물리 모델을 적용한다면 더욱 현실적인 강우에 대한 라이다 센서 시뮬레이션이 가능할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the Institute of Information & Communication Technology Planning & Evaluation (IITP) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning. (No. 2019-0-00399, Development of SW technology for recognition, judgement and path control algorithm verification simulation and dataset generation.)

참 고 문 헌

- [1] J. Zhao, Y. Li, B. Zhu, W. Deng, and B. Sun, "Method and applications of LiDAR modeling for virtual testing of intelligent vehicles," IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., to be published, doi: 10.1109/TITS.2020.2978438
- [2] Yoneda, K.; Suganuma, N.; Yanase, R.; Aldibaja, M. Automated driving recognition technologies for adverse weather conditions. IATSS Res. 2019, 43.
- [3] C. Goodin, D. Carruth, M. Doude, and C. Hudson, "Predicting the Influence of Rain on LIDAR in ADAS," Electronics, vol. 8, no. 1, 2019.
- [4] Khan, S., Wollherr, D., & Buss, M., "Modeling laser intensities for simultaneous localization and mapping," IEEE Robotics and Automation Letters, 1(2), pp. 692-699. 2016.