

자율주행 차량을 위한 충돌 위험 판별 기반 객체 데이터 필터링

장인식, 이선호, 김태형, 김봉섭, 윤경수*
지능형자동차부품진흥원

wkddlstr@kiapi.or.kr, 2prefer@kiapi.or.kr, thkim@kiapi.or.kr, bskim@kiapi.or.kr, *kadbonow@kiapi.or.kr

Collision-Risk-Based Object Data Filtering for Autonomous Vehicles

Jang In Sik, Lee Sun Ho, Kim Tae Hyeong, Kim Bong Seob, Yun Kyung Su*
Korea Intelligent Automotive Parts Promotion Institute (KIAPI)

요약

본 논문은 통신 자원이 제한된 환경에서 커넥티드 자율주행 차량의 객체 데이터 전송을 위한 필터링 방법을 제안한다. 제안 방법은 자율주행 차량의 동적 객체 정보 중 충돌 위험성이 높은 객체들을 선별하기 위하여 차량과 객체의 경로 벡터를 비교한다. 또한 자율주행 차량의 거동에 따라 변화되는 정지 거리와 주행 경로를 데이터 필터링에 활용한다. 무선 통신 환경의 실험에서 전체 지연 시간은 기존 대비 약 70% 감소되었고, 필터링 알고리즘의 연산 시간은 평균 2.399ms로 실시간 처리가 가능한 수준을 달성하였다.

I. 서론

하드웨어 성능의 발전과 더불어 자율주행 기술이 고도화됨에 따라, 자율주행 차량은 주행 환경에 대한 다양한 데이터를 실시간으로 수집하고 처리할 수 있게 되었다. 라이다, 카메라, 레이더 등의 다양한 센서로부터 획득한 데이터는 자율주행 차량의 주행 판단 및 제어, 자율주행 시스템 유지보수, 주행 이력 기록, 사고시 원인 분석 등을 위한 핵심 근거자료로 활용된다.[1] 이러한 데이터는 차량 내 자율주행 시스템에서 활용 외에도 실시간 모니터링 및 분석 등을 위해 원격 관제 시스템 또는 중앙 서버 기반 분석 시스템으로 전송된다. 그러나 모든 데이터를 서버에 전송할 경우 통신 지연이 발생하거나 실시간성이 저해될 가능성이 존재한다. 과학기술정보통신부에서 발표한 '2024년 통신서비스 커버리지 점검 및 품질평가 결과 보고서'에 따르면, 전국 평균 5G 다운로드 속도는 전년도 대비 약 9.19% 향상되었으나, 여전히 통신사별, 지역별, 시간대별, 권역별에 따라 같은 지역 내에서도 통신 품질에 차이가 있음을 보여준다.[2] 이는 자율주행 차량이 수집한 데이터를 서버에 전송할 때, 통신 환경에 따라 통신 지연이나 누락, 손실 등이 발생할 수 있음을 보여주며, 중앙 서버로 데이터를 송신하기 전 실시간 판단에 필요한 핵심 정보만을 선별하여 송신하는 방법이 고려될 수 있다. 본 논문은 자율주행 차량이 인지한 객체와의 충돌 가능성을 차량과 객체의 경로간 벡터 비교를 통해 충돌 위험도가 높은 객체를 선별하는 데이터 필터링 방법을 제안한다.

II. 본론

본 실험은 3차원 라이다 기반 동적 객체 인지 및 추척 알고리즘[3]을 활용하여 도로 주변의 객체 데이터를 수집하였다. 3차원 라이다 데이터를 통해 차량, 보행자

등의 객체를 실시간으로 검출하고, 시계열 정보에 기반하여 고유 ID를 부여한 뒤 이동 경로를 추적하였다. 이후, 추적된 객체 데이터에 제안한 필터링 방법을 적용하여 전송 대상 객체를 선별하였다.

1. 정지거리 기반 필터링

일반적인 운전 상황에서 운전자는 위험을 인지한 뒤 브레이크를 밟아 차량을 정지시킨다. 차량의 정지거리는 운전자가 위험을 인지한 후 브레이크를 밟기까지의 공주거리와 브레이크 작동 이후 정지할 때까지의 제동거리를 합산하여 계산된다. 정지거리의 계산식은 수식 (1)과 같다.

$$\text{Stop distance} = v \times t + \frac{v^2}{2ug} \quad (1)$$

속력 v 는 차량의 초속을 의미하며, 반응 시간 t 은 인지와 대응에 대한 시간으로 통상 1초로 가정했으며, 중력 가속도 g 는 $9.8m/s^2$ 로 적용했다. 또한 마찰계수 u 는 건조한 아스팔트의 계수 0.8로 일률적 적용했다. 정지거리는 차량의 초속에 따라 지속적으로 갱신되며, 정지거리보다 밖에 위치한 객체를 필터링한다.

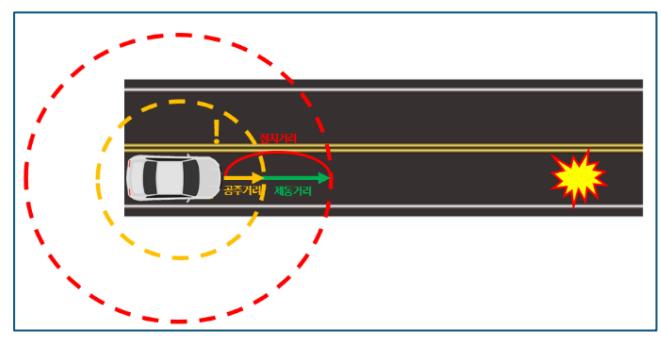


그림 1. 차량 정지거리

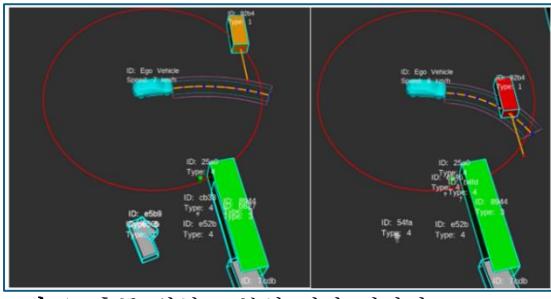


그림 1. 충돌 위험도 분석 결과 시각화

2. 충돌 위험도 분석

정지거리 내에 존재하는 객체를 대상으로, 본 차량의 주행 경로와의 교차 여부를 분석하여 충돌 위험도를 분류한다. 차량의 주행 경로는 현재 초속과 조향각을 기반으로 예측하며, 객체는 현재 진행 방향으로 등속 이동한다고 가정한다. 경로 예측은 차량이 정지거리까지 도달하는 시간 범위 내에서 추정하며, 본 차량의 경로는 수식 (2)~(4)를 통해 추정된다. 차량의 길이와 조향각에 따른 진행 방향의 변화를 반영하기 위해 차량의 앞바퀴 중심과 뒷바퀴 중심 간 거리를 고려하였다.

$$x_{t+1} = x_t + \cos(\text{yaw}_t) \times \Delta t \quad (2)$$

$$y_{t+1} = y_t + \sin(\text{yaw}_t) \times \Delta t \quad (3)$$

$$\text{yaw}_{t+1} = \text{yaw}_t + \left(v_t \times \frac{\tan(\text{steer ratio})}{\text{wheelbase}} \right) \times \Delta t \quad (4)$$

경로 간 교차 여부는 수식 (5)에 나타낸 벡터 외적 기반 CCW(Counter-ClockWise) 판별식을 사용하여 결정한다. 해당 수식은 세 점이 이루는 각이 반시계 방향인지, 시계 방향인지, 또는 일직선상에 있는지를 판단하며, 객체의 경로(A)와 본 차량의 경로(B)간의 교차 여부를 효율적으로 판단할 수 있다.

$$A = \overrightarrow{P_1 P_2}, B = \overrightarrow{P_3 P_4}$$

$$\text{Intersect} = \begin{cases} \text{ccw}(P_1, P_3, P_4) \cdot \text{ccw}(P_2, P_3, P_4) < 0 \\ \text{ccw}(P_3, P_1, P_4) \cdot \text{ccw}(P_4, P_1, P_2) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

단순 CCW 판별만으로는 선분의 연장선에서 발생하는 비현실적인 교차까지 포함될 수 있기 때문에, 교차점이 실제 객체의 경로 구간 내에 존재하는지를 추가하였다. 이러한 과정을 통해 객체의 충돌 위험도를 위험(빨강), 잠재적 위험(주황), 안전(초록), 정지거리 외부에 위치한 객체는 회색으로 표시했다.

III. 실험 방법 및 결과

통신 실험은 ROS 1 Noetic, HTTP 통신 프로토콜 기반 환경에서 수행되었다. 상용망 환경을 구현하기에 앞서 무선 품질과 지연이 일정하지 않은 Wi-Fi 환경을 구성하여 상용망의 특성과 유사한 환경을 구성하였다. 서버 PC와 자율주행 차량 역할을 하는 PC간 무선 Wi-Fi 통신을 통해, 사전 저장된 데이터를 재생하여 서버PC로 송신했으며, 제안한 필터링 방법을 적용하여 전송 데이터의 변화를 분석했다. 제안한 필터링 방법 적용 이전의 통신 결과는 표 1에 요약하였다. 실험에 사용된 데이터는 프레임당 총 41~49개의 객체 정보를 포함하고 있으며, 데이터 크기는 약 20.06~23.81(KB)로 측정되었다. 이 데이터를 서버에 전송했을 때의 평균 통신 지연 시간은 27.39(ms)로 측정되었다.

표 1. 필터링 방법 적용 전 통신 결과 요약

객체 개수	데이터 크기	Latency
41~49	20.06~23.81 (KB)	27.39 (ms)

표 2. 필터링 방법 적용 후 통신 결과 요약

항목	측정값
Data Size	Max
	Min
	Average
Data Count	Max
	Min
	Average
Latency	Max
	Min
	Average
Process Time	Max
	Min
	Average

필터링 방법을 적용한 후의 통신 결과는 표 2에 요약되어 있다. 데이터 취득 당시 본 차량과 탐지된 객체 간 예측 경로가 실제로 중첩되는 경우가 드물었기 때문에, 충돌 위험 객체로 분류된 대상이 적었다. 이에 따라 필터링으로 분류된 데이터의 객체 수 또한 적게 나타났다. 전체 통신 과정 중 측정된 최대 지연 시간은 1,040.99(ms)로 나타났으며, 이는 무선 Wi-Fi 통신 속도의 불안정성에 기인한 것으로 확인되었다. 필터링 방법 적용 후의 평균 지연 시간은 7.999(ms)로 약 70%의 지연 시간 개선 효과가 확인되었으며, 제안한 필터링 방법의 실행 시간은 평균 2.399(ms)로 매우 짧아, 실시간 시스템에 적용 가능한 수준의 처리 성능을 보였다.

IV. 결론

본 논문에서는 자율주행 차량이 수집한 정보 중, 충돌 위험성이 높은 객체만을 선별하는 필터링 방법을 제안했다. 제안된 방법은 차량의 정지거리와 예상 주행 경로를 벡터 기반으로 분석하여, 충돌 가능성이 낮은 객체는 송신 대상에서 제외함으로써 통신 부하를 줄이는 구조를 갖는다. ROS 1, HTTP 통신 환경에서 수행한 실험 결과, 평균 지연 시간은 기존 대비 약 70% 감소하였고, 필터링 알고리즘 자체의 실행 시간 또한 2.399(ms)로 실시간 적용이 가능한 수준의 성능을 보였다. 향후에는 상용망에서 자율주행 차량과 서버와의 통신 실험을 통해 필터링 방법의 성능과 확장성을 확인할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00229833, 클라우드 기반 자율주행 차량 오류 및 한계 상황 지능형 원격지원 기술 개발)

참고 문헌

- [1] Abbas, Assad & Bismil, Aysha & Md Rasel, Furqan. "Cloud-Based Autonomous Vehicles: Driving the Future of Transportation," 2019.
- [2] 과학기술정보통신부. "2024년 통신서비스 커버리지 점검 및 품질평가 결과," 2024.
- [3] S. Kato *et al.* "Autoware on Board: Enabling Autonomous Vehicles with Embedded Systems," 2018 ACM/IEEE 9th International Conference on Cyber-Physical Systems (ICCPS), pp. 287-296.