

신호등과의 통신을 기반으로 한 비용 효율적인 자율주행차량 구현

이수진, 김단아, 임윤빈, 변석주, 이예훈*

서울과학기술대학교

{cherish8199, danakim, solarmoon4, seokju40, y.lee*}@seoultech.ac.kr

Implementation of Cost-Effective Autonomous Vehicles based on Communication with Traffic Lights

Su-jin Lee, Dana Kim, Yunbin Lim, Seok-ju Byun, Ye Hoon Lee*

Seoul National University of Science and Technology

요 약

완전자율주행 레벨 4~5 상용화를 위해서는 신호 인식 문제 해결이 필수적이지만, 기존의 카메라, Lidar, Radar 센서 기반 기술은 구현 복잡성과 경제성 관점에서 실용화 애로사항이 존재한다. 최근 초고속 통신 네트워크 및 인프라의 중요성이 커지고 있으며, 이런 통신 인프라들은 미래 자율주행차량, 로봇 등의 완전 자동화 실현에 있어서 매우 중추적인 역할을 할 것으로 보인다. 본 연구에서는 교차로 신호등과의 간단한 통신을 기반으로 비용 효율적인 자율주행차량 구현을 목표로 하였다. 실제 교차로 환경에서 제안한 방식을 구현하고 데모를 통해 성능을 검증하였고, 이를 통하여 실제 환경에서의 활용 가능성을 검토하였다.

I. 서 론

최근 자율주행차량은 미래사회에서 그 역할과 중요성이 매우 증대되고 있는데, 일반적으로 자율주행차량은 카메라, Lidar, Radar 센서 등을 이용해 신호를 인식하고 자율주행에 활용하게 된다. 이 경우 악천후의 상황에서 센서 인식을 저하, 주변 구조물에 의한 시야 가림, 유사한 물체를 신호등으로 오인하는 등의 기술적 한계가 발생하게 된다. 완전자율주행을 위해서는 기존의 방식에서 더 나아가 신호 인식 문제 해결을 위한 다양한 시도가 필요하다. 이에 따라 국내의 경우 정부 주도로 2027년까지 자율주행 레벨 4 이상을 도입하기 위한 차세대 지능형 교통시스템(C-ITS) 인프라 구축이 본격적으로 진행되고 있다 [1].

현재 C-ITS에 사용되는 V2X(Vehicle to Everything) 표준은 IEEE 802.11p의 WiFi 기반 WAVE 또는 3GPP의 5G, LTE 등 셀룰러 이동통신 기반 C-V2X이다 [2]. 따라서 V2X 기반의 자율주행차량 구현을 위해서는 통신을 위한 추가적인 모듈 및 기지국의 설치·유지비가 발생한다. 반면에 Bluetooth의 경우, 스마트폰이나 차량에 이미 블루투스 모듈이 탑재되어 있어 범용성이 좋고 비용이 절감되는 효과를 가져 온다 [3]. 본 연구에서는 실험실 수준에서 비용 효율적인 자율주행차량 구현을 위하여 BLE(Bluetooth Low Energy)를 기반으로 I2V(Infrastructure to Vehicle) 통신을 구현하여 무선통신 기술만으로 신호를 인식하는 자율주행차량을 제시하고, 실제 모형 구현과 실험을 통하여 그 가능성을 검증하도록 한다.

II. 본론

우선 BLE Beacon 기반 통신 방법을 간단히 설명하고, 이어서 본 연구에서 고려한 전체적인 시스템 모델을 설명한다.

2.1. BLE Beacon

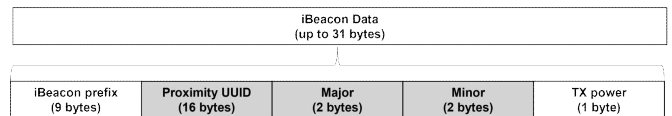


그림 1 iBeacon Advertising 패킷 데이터 페이로드

Bluetooth 4.0의 저전력 프로토콜 기반의 근거리 무선통신 장치인 Beacon을 이용하여 신호등 인식 및 신호 정보 송수신 기능을 구현하였다. 이는 학부 수준의 캡스톤디자인 작품구현에 있어서 경제적 비용을 경감시킬 수 있고, 기술적 난이도 또한 높지 않아서 여러모로 구현의 편의성과 용이함을 제공해 줄 수 있다. 그림 1에서 iBeacon에 대한 식별 정보를 제공하는 UUID, Major, Minor를 도시하였다. 본 작품에서는 Advertising 패킷을 송수신함으로써 기존 Bluetooth 통신의 페어링 과정을 생략하고 지연을 최소화하였다.

2.2 시스템 모델

본 작품에서 제시하는 시스템 모델은 차량 인식기, 신호 송신기, 자율주행차량의 3가지로 구성된다.

표 1 시스템 구성 요소

구성 요소	기능
차량 인식기	적외선 센서 감지 시 진행 방향 신호등의 UUID 송신
신호 송신기	신호 정보(현재 신호 상태 및 잔여 시간) 송신
자율주행차량	진행 방향 신호등의 UUID를 인식하고 해당 UUID를 가진 신호등의 신호 정보 수신

2.2.1. 차량 인식기

방사형 전파를 송수신하는 Bluetooth 통신의 특성상 교차로의 다수 신호등에서 동시에 Advertising 패킷을 전송할 때 무선통신만으로는 정보를 구별할 수 없다 [3]. 따라서 교차로 진입 전 노변 기지국에 차량 인식기를 도입하여 적외선 센서가 차량을 감지하면 Beacon Advertising 패킷을 통해 진행 방향 신호등의 고유번호에 해당하는 UUID를 전송하도록 구현하였다.

2.2.2. 신호 송신기

신호등의 제어부와 연결된 신호 송신기는 Advertising 패킷을 통해 신호 정보를 주변 모든 Bluetooth 장치에 브로드캐스팅한다. 이때 패킷의 Major와 Minor 값은 각각 현재 신호 상태와 잔여 시간을 나타낸다. 신호의 잔여 시간을 함께 전송함으로써 자율주행의 안전성과 효율성을 높였다.

2.2.3. 자율주행차량

차량 인식기에서 전송한 진행 방향 신호등의 UUID를 스캔한 후, 해당 UUID를 가진 신호등의 신호 정보를 받아온다. 이어서 수신 신호와 잔여 시간을 종합하여 모터를 제어하고, 좌회전 시 차량 전면 하부의 적외선 센서를 통해 정지선을 인식해 좌회전하게끔 구현하였다.

III. 실험, 결과 분석 및 검토

3.1. 실험 환경

교차로 환경에서의 자율주행 실험을 고려하여 프로토타입을 제작하였다. 차량과 신호등의 단말기 및 노변 기지국의 역할은 Bluetooth 통신 기능이 내장된 ESP32 보드를 활용하여 구현하였다. 교차로 진입 전 도로에 적외선 센서를 부착하여 교차로에 진입하는 차량을 인식하도록 하였다. 자율주행차량의 경우, 마이크로컨트롤러용 오픈소스 운영체제인 FreeRTOS를 통해 신호 인식, 모터 제어, 정지선 인식 등 다수의 동작을 멀티태스킹으로 처리하였다 [4].



그림 2 제작한 자율주행차량 프로토타입

3.2. 실험 결과

프로토타입을 구현하여 실제 실험을 수행한 결과, 신호의 변화에 따른 자율주행차량의 원활한 동작을 확인할 수 있었다. 그러나 본 실험에서 사용한 ESP32의 최대 TX 출력은 +9dbm으로 Bluetooth class 1의 TX 최대 출력인 +12dbm (통신거리 약 100m)에 못 미치는 통신거리가 약 20m에 그치는 한계가 존재한다. 또한 scan time을 1초로 설정하여 Advertising 패킷을 받아오는데 약 1초의 시간이 소요되는 단점이 있었다.



그림 3 좌회전 데모 영상 캡처

IV. 결론

본 연구에서는 기존 자율주행차량의 고비용 부품 사용과 신호 인식 문제 애로사항을 해결하기 위하여 실험실 구현 수준에서 경제성 및 용이성이 뛰어난 BLE를 활용하여 신호등과의 통신을 기반으로 한 자율주행 방식을 제안하고 프로토타입을 구현하였다. 구현 및 실험 수행을 통하여 제안한 구현방식이 신호 인식과 함께 원활한 차량 제어가 일정 수준 가능함을 확인하였다.

본 연구에서 제안된 기술이 실제로 구현되어 실생활에 활용되기 위해서는 통신 범위, 지연 시간, 보안성 등을 만족하여야 한다. 본 작품의 통신 범위는 3.2절에서 언급한 바와 같이 한계가 있으므로, 이를 더 확장하기 위한 TX power 조정 및 안테나 설계가 요구된다. 지연 시간의 경우, 3GPP Release 16 표준의 5G-NR-V2X 기술은 5ms 이내의 end-to-end latency를 만족한다 [5]. 이와 비교해 본 작품의 Bluetooth의 latency를 최소화하며 단점을 상쇄할 수 있는 방안에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 스누핑, DOS 등의 보안 위협으로부터 대응하기 위한 방안으로써 효과적인 관리 시스템과 암호 알고리즘 등의 개발도 필수적으로 요구된다 [6].

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No. 2021-0-00368, 6G 서비스를 위한 인공지능/머신러닝 기반 자율형 MAC 개발)과 한국연구재단 이공분야기초연구사업의 지원(No. 2020R1F1A1071707)을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] 송유승, 민경욱, “인프라 네트워크 기반 V2X 통신 서비스를 위한 요구 사항 분석,” 대한전자공학회 학술대회, pp. 2605-2606, 2022.
- [2] H. S. Oh, Y. S. Song, “V2X communication technology standardization trend for ITS and autonomous driving service,” TTA Journal, v.188, pp.60-62, 2020.
- [3] 정희라, 강대성. “블루투스 통신 기술을 이용한 개별 차량에 대한 교통 신호 정보 전달 및 관리 시스템 개발,” 한국정보기술학회논문지, 16(3), pp. 61-66, 2018.
- [4] R. Inam, J. Mäki-Turja, M. Sjödin, S. M. H. Ashjaei and S. Afshar, “Support for hierarchical scheduling in FreeRTOS,” ETFA2011, pp. 1-10, 2011.
- [5] 3GPP TR 22.886 (V16.2.0), Study on enhancement of 3GPP support for 5G V2X services, Release 16, 2018.
- [6] A. Ray, V. Raj, M. Oriol, A. Monot and S. Obermeier, “Bluetooth Low Energy Devices Security Testing Framework,” IEEE 11th International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST), pp. 384-393, 2018.