

PTP 신호 기반 PWM 트리거링을 이용한 라이다와 카메라 간 동기화 시스템 연구

이한울, 황정훈, 박민철*

한국전자기술연구원

gaegum@keti.re.kr, hwangjh@keti.re.kr, *mincheol.p@keti.re.kr

A Study on the Synchronization System between LiDAR and Camera using PTP-based Triggering

Han-Wool Lee, Jung-Hoon Hwang, Min-Cheol Park*

Korea Electronics Technology Institute

요 약

본 논문은 PTP(Precision Time Protocol) 신호를 활용하여 Livox Mid-360 라이다와 이를 지원하지 않는 카메라 센서 간의 정밀한 시간 동기화 시스템을 제안하였다. Livox Mid-360 라이다 센서는 GPS를 이용한 PPS+ GPRMC 방식이나 PTP 방식의 동기화만을 지원하지만, 다수의 카메라는 PTP 프로토콜을 지원하지 않아 두 센서 간의 데이터 수집 시점을 일치시키기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 PTP 신호를 기반으로 생성된 정밀한 PWM(Pulse Width Modulation) 신호를 카메라의 외부 트리거로 활용하여 두 기종 간의 시간 정보를 동기화하였다. 실험을 통해 제안된 시스템이 이기종 센서 간의 데이터 융합을 위한 효율적인 동기화 솔루션임을 확인하였다.

I. 서 론

최근 자율주행 자동차 및 모바일 로봇틱스 분야에서 주변 환경을 정밀하게 인지하기 위해 라이다(LiDAR)와 카메라 등 이기종 센서 간의 데이터 융합(Sensor Fusion) 연구가 활발히 진행되고 있다. 센서 융합의 핵심적인 전제 조건은 서로 다른 위치와 주기로 수집되는 센서 데이터를 동일한 시간축에서 정렬하는 정밀 시간 동기화이다. 만약 센서 간 동기화가 이루어지지 않을 경우, 이동하는 객체의 위치 정보가 일치하지 않아 시스템의 신뢰성에 치명적인 오류를 초래할 수 있다.[1]

본 연구에서 사용된 Livox Mid-360 라이다 센서는 고정밀 동기화를 위해 IEEE 1588 규격의 PTP(Precision Time Protocol) 또는 GPS를 활용한 PPS+ GPRMC 방식만을 지원한다.[2] 그러나 자율주행 시스템에 범용적으로 사용되는 다수의 카메라는 PTP 프로토콜을 직접 수신하여 처리할 수 있는 하드웨어 스택을 갖추지 못한 경우가 많다. 이러한 기술적 제약으로 인해 PTP 환경에서 라이다와 카메라를 동시에 동기화하는 데 어려움이 존재한다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 PTP 신호를 기반으로 정밀한 PWM(Pulse Width Modulation) 신호를 생성하고, 이를 카메라의 외부 트리거(External Trigger) 신호로 활용하는 시스템을 제안한다. 이를 통해 PTP를 지원하지 않는 카메라 센서를 PTP 마스터의 시간 체계에 종속시켜, 라이다와 카메라 간의 물리적 동기화를 구현하고자 하였다.

II. 본론

본 논문에서 제안하는 동기화 시스템은 PTP 마스터로부터 시간 정보를 수신하여 이를 물리적인 전기 신호인 PWM으로 변환하는 과정을 거친다.[3] 시스템의 세부 구성 및 동작 원리는 다음과 같다.

2.1. 시스템 구성 요소

LiDAR (Livox Mid-360): 네트워크를 통해 PTP 마스터와 동기화되며, 정밀한 타임스탬프가 포함된 점군(Point Cloud) 데이터를 생성한다.

동기화 제어기: PTP 슬레이브(Slave) 역할을 수행하며, 마스터와 동기화된 내부 클럭을 기반으로 PWM 신호를 발생시킨다.

카메라: 제어기에서 출력된 PWM 신호를 외부 트리거로 입력받아 이미지 프레임 획득한다.

2.2. PTP 기반 PWM 신호 생성 로직

본 시스템은 PTP 프로토콜을 통해 확보된 나노초(ns) 단위의 정밀 시간을 기준으로 PWM 신호의 상승 엣지(Rising Edge) 시점을 결정한다. 동기화 단계: 제어기는 IEEE 1588 규격에 따라 마스터 클럭과 자신의 로컬 클럭 간의 오차를 지속적으로 보정한다.

트리거 생성: 동기화된 시간이 설정된 주기(예: 10Hz, 30Hz)에 도달할 때마다 제어기의 GPIO 핀을 통해 High 신호를 출력한다.

노출 제어: 카메라는 해당 PWM 신호를 수신하는 즉시 셔터를 개방하며, 이 시점의 타임스탬프는 PTP 시간축과 일치하게 된다.

3.1 데이터 정렬 및 결과

라이다 데이터의 타임스탬프와 카메라의 이미지 획득 시점을 동일한 PTP 클럭 소스에 종속시킴으로써, 하드웨어 수준의 동기화를 달성하였다. 이를 통해 고속 주행 환경에서도 두 센서 간의 데이터 불일치(Misalignment) 문제를 최소화할 수 있다.

III. 결론

본 연구에서는 PTP 지원 기기인 Livox Mid-360 라이다와 비지원 기기인 카메라 간의 동기화 격차를 해소하기 위한 PTP-to-PWM 트리거 변환 시스템을 제안하였다.

PTP 프로토콜의 정밀한 시간 정보를 물리적 트리거 신호로 변환함으로써 이기종 센서 간의 시간축 통합이 가능함을 확인하였다.

별도의 고가 동기화 장비(Sync Box) 없이도 범용 제어기를 활용하여 경제적이고 효율적인 동기화 환경을 구축하였다.

이러한 시스템은 향후 자율주행 로봇의 다중 센서 융합 알고리즘 성능 향상에 기여할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산림청의 고성능 목재수확 기계장비 기술개발사업(No. 00403540), 고성능 목재수확 기계장비용 다목적용 적용이 가능한 경량 유압 매니퓰레이터, 운반체 설계 및 통합 제어 시스템 기술 개발)의 지원을 받았습니다.

참 고 문 헌

- [1] A. Geiger, P. Lenz, C. Stiller, and R. Urtasun, "Vision meets robotics: The KITTI dataset," The International Journal of Robotics Research, vol. 32, no. 11, pp. 1231–1237, 2013.
- [2] IEEE, "IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems," IEEE Std 1588-2008 (Revision of IEEE Std 1588-2002), pp. 1–300, 2008.
- [3] G. Cena, A. Valenzano, and S. Vitturi, "Internal synchronization of IEEE 1588-based industrial networks," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 3, no. 3, pp. 173–182, 2007.