

WAVE(V2I)와 LTE(V2N)에서의 교통신호상태정보 전송 지연시간 비교

고 정 호*

A Comparison of Delay Time of Traffic Signal Status Information in WAVE(V2I) and LTE(V2N)

JeongHo Kho*

요 약

자율협력주행에 대응하기 위하여 교통안전 핵심 시설물인 교통신호제어기의 교통신호상태정보를 자율주행차에 전달하기 위한 방법들이 연구되었고, 본 논문에서는 교통신호상태정보를 기준으로 WAVE(V2I)와 LTE(V2N)에서의 전송 지연시간을 비교하였다. 실험 결과, 전송 경로가 불리한 LTE(V2N)에서의 평균 전송시간이 우수한 것을 확인할 수 있었다.

Key Words : Cooperative Automated Driving, Autonomous Vehicle, Traffic Light Recognition, Traffic Signal Controller, TSC, Traffic Signal Status Information, TSI, C-ITS, WAVE, C-V2X, LTE, 5G NR, LTE-V2X, V2I, V2N, Digital Twin, Metaverse

ABSTRACT

In order to respond to cooperative automated driving, the methods were studied for transmission the traffic signal status information of the traffic signal controller, which is a key facility for traffic safety, to the autonomous vehicles, and in this paper

compared the delay time of LTE(V2N) and WAVE(V2I) based on traffic signal status information. As a test results, it was showed that the average delay time in LTE(V2N) which has a disadvantageous transmission path, was excellent.

I. 서 론

교통신호등을 자율주행차가 인식하는 방법은 센서가 그간 학습된 정보를 토대로 색깔의 변화를 인식해 차를 출발하거나 멈추도록 한다. 다만 신호등마다 밝기나 채도가 조금씩 다르고, 3구 신호등 외에 신호등의 종류도 여러 가지이며, 야간에는 건물 조명과 간판 등도 인식을 어렵게 한다.^[1]

이에 노변에 설치되는 교통안전 핵심 시설물인 교통신호제어기(TSC: Traffic Signal Controller)의 교통신호상태정보(TSI: Traffic Signal status Infomation)를 자율주행차에 전달하기 위한 방법들이 연구되어, 현재는 차량과 도로 인프라 간(V2I : Vehicle To Infrastructure) 통신, 차량과 네트워크 간(V2N : Vehicle To Network) 통신을 이용해 제공할 수 있다.

교통신호상태정보는 자율협력주행 외에도 네비게이션, 디지털 트윈(Digital Twin), 메타버스(Metaverse) 등의 서비스에서의 활용이 높아질 것으로 예상되지만, 그에 앞서 데이터의 무결성(Integrity)과 실시간성(real-time)이 확보되어야 할 것이다.

데이터 무결성의 경우 도로교통공단의 ‘신호정보연계 기능검사’를 통해 검증받을 수 있기에 본 논문에서는 교통신호제어기의 교통신호상태정보를 기준으로 차세대 지능형 교통체계(C-ITS : Cooperative Intelligent Transport Systems)용 통신 기술인 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment)와 상용무선이동통신인 LTE(Long Term Evolution)에서의 전송 지연시간을 비교하였다.

II. 본 론

2.1 교통신호제어기의 교통신호상태정보

노변에 설치되는 TSC는 경찰청에서 발행하는 ‘교통신호제어기 표준 규격’을 준수하여야 하며, 자율협력주행에 대응하고자 TSI를 C-ITS용 통신(V2I)을 통해 제공할 수 있도록 개정되었고,^[2] 상용무선이동통신

* First Author : (ORCID:0000-0002-2739-5765) Korea Road Traffic Authority, Department of Advanced Traffic, kotda.cowork@gmail.com, 선임연구원, 중신회원

논문번호 : 202111-309-C-LU, Received November 16, 2021; Revised December 27, 2021; Accepted January 6, 2022

(V2N)을 통해 제공할 수 있도록 개정되었다.^[3]

TSI는 매초마다 제공되며 현재 제공되는 TSI의 주요 정보는 제어기 상태정보(시간, 운영, 이상 상태 등)와 신호 상태정보(방향정보, 신호등 종류, 신호등 점소 등 상태, 잔여시간 등)가 있다.^[4]

2.2 교통신호상태정보의 제공 방식

TSC에서 TSI를 외부로 제공하는 방법은 신호정보 연계장치(CVIB : Connected Vehicle Information Board)라는 옵션보드를 장착하는 방법과 TSC-CPU에서 전송하는 방법으로 분류할 수 있으며, 본 논문에서는 각각 ‘현장기반 TSI 제공 방식(V2I)’과 ‘센터기반 TSI 제공 방식(V2N)’으로 구분한다.

2.2.1 현장기반 TSI 제공 방식(V2I)

TSC-CVIB를 장착하여 <Fig. 1>와 같은 구성으로 TSC-CVIB와 연결된 현장기반시설(Infra structure)인 노변기지국(RSU : Road Side Unit)을 통해 차량 단말(OBU : On Board Unit)에 TSI를 제공하는 방식으로 C-ITS용 통신 기술인 WAVE나 C-V2X(Cellular-Vehicle To Everything)를 이용하는 V2I 통신을 기반으로 하기에 짧고 단순한 전송 경로를 가진다.

C-ITS용 통신 표준을 위하여 국토교통부와 과학기술정보통신부는 LTE-V2X 방식을 조기에 실증(~'22)하고 일부 고속도로에 병행방식(WAVE + LTE-V2X) 시범사업(~'23)을 거쳐 '24년 이후 단일표준 하에 전국으로 확산하는 단계적 계획을 수립하였다.

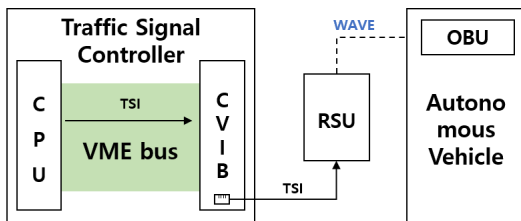


그림 1. 현장기반 TSI 제공 구성도
Fig. 1. Site-based TSI provisioning

2.2.2 센터기반 TSI 제공 방식(V2N)

TSC의 CPU와 모뎀을 펌웨어 업데이트하여 <Fig. 2>와 같은 구성으로 TSI를 생성하는 TSC-CPU에서 직접 센터로 TSI를 전송하고, 센터는 수집된 TSI를 교통신호 관련 서비스 제공자를 통해 최종적으로 자율주행차와 같은 서비스 이용자에게 TSI를 제공하는 방식으로 LTE, 5G NR(New Radio) 등의 상용무선이 동통신망을 이용하는 V2N 통신을 기반으로 하기에 전

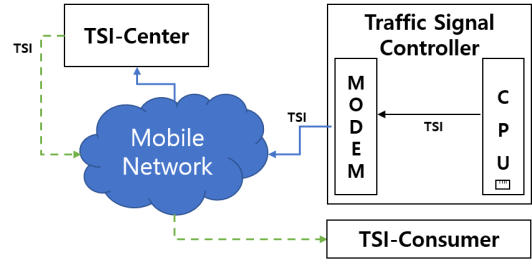


그림 2. 센터기반 TSI 제공 구성도
Fig. 2. Center-based TSI provisioning

송 경로가 복잡하며, 지연 시간 발생 원인도 다양하다. 하지만 자율주행차량 외에도 네비게이션, 디지털 트윈(Digital Twin), 메타버스(Meta-verse) 등의 서비스와도 결합을 가능하게 해주어 향후 그 활용도가 높아질 것으로 기대된다.

III. 전송 지연시간 측정

본 실험에서 현장 실험장소는 대구시 수성구 알파 시티내 교차로 1개소를 선정하였고, TSI센터는 원주에 구축하였다. 시험 차량은 정차해둔 상태에서 WAVE와 LTE를 지원하는 OBU, 패킷을 미러링해주는 네트워크 탭(Network TAP), 마이크로초까지 분석 가능한 와이어샤크(Wireshark)를 이용해 유선 구간의 TSI 패킷을 스니핑(Sniffing)하여 종단간(end-to-end) 지연시간을 측정하였다.

또한 두 방식의 직접적인 비교를 위하여 TSI는 SAE J2735 표준 SPaT(Signal Phase and Timing) 메시지를 사용하지 않고 TSC 규격에서 정한 바이너리 데이터를 사용하였다.

3.1 현장기반 TSI 제공 방식

3.1.1 시험 방안

RSU와 차량간의 직선 거리는 20m 내외로 <Fig.

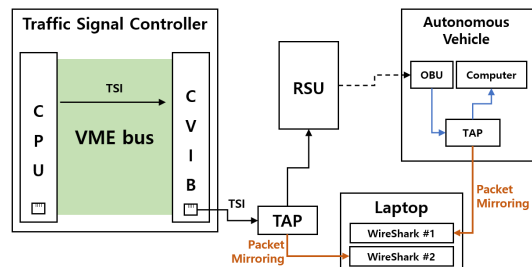


그림 3. 현장기반 지연시간 측정 시험 구성
Fig. 3. Site-based delay time test

3>와 같이 시험 형상을 구성하여 CVIB부터 자율주행 차량의 컴퓨터까지의 지연시간을 측정하였다.

3.1.2 시험 결과

634초 동안의 측정 결과 최소 0.66ms, 최대 107.18ms, 평균 51.22ms의 지연시간이 발생하였고, 표준편차는 29.11ms이다. <Fig. 4>와 같이 균일한 분포를 가진 결과값이 발생하였는데 이는 CVIB로부터 매초받는 TSI를 RSU에서 100ms 주기로 전송하기 때문으로 분석되었다.

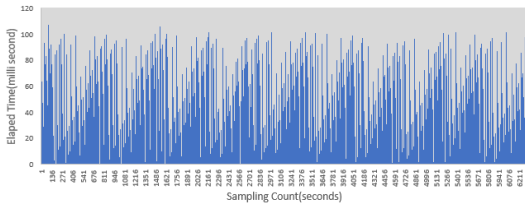


그림 4. 현장기반 지연시간 측정 시험 결과
Fig. 4. Test result of Site-based delay time

3.2 센터기반 TSI 제공 방식

3.2.1 시험 방안

TSC와 랩탑의 4G 라우터는 동일한 통신사를 이용하여 <Fig. 5>와 같이 시험 형상을 구성하였고, TSC-CPU부터 센터를 거쳐 TSI Monitor App까지의 지연시간을 측정하였다. TSI센터와 실험 현장까지의 직선거리는 177km로 ping으로 측정된 홉(hop) 수는 77이다.

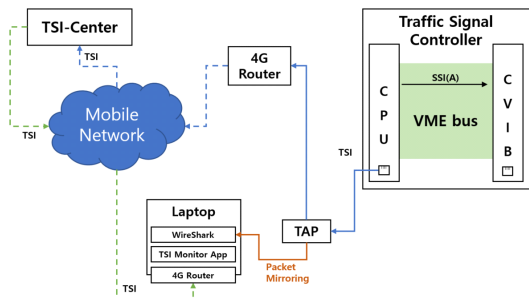


그림 5. 센터기반 실시간성 측정 시험 구성
Fig. 5. Center-based delay time test

3.2.2 시험 결과

397초 동안의 측정 결과 최소 27.73ms, 최대 241.47ms, 평균 45.12ms의 지연시간이 발생하였고, 표준편차는 20.32ms, 평균 RTT는 36.16ms이다.

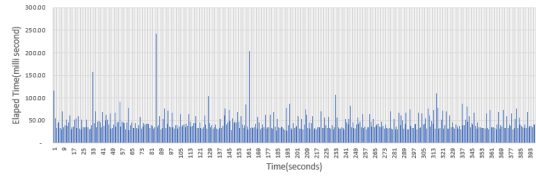


그림 6. 센터기반 실시간성 측정 시험 결과
Fig. 6. Test result of Center-based delay time

IV. 결 론

본 논문에서는 교통안전 핵심시설물인 교통신호제 어기의 교통신호상태정보를 기준으로 C-ITS용 통신 기술인 WAVE(V2I)와 상용무선통신인 LTE(V2N)에서의 전송 지연시간을 비교하였고, 평균 지연시간을 보면 전송경로가 불리함에도 불구하고 LTE를 이용한 ‘센터기반 TSI 제공 방식’이 우수한 결과를 보여주는 것으로 확인하였다.

또한 ‘센터기반 TSI 제공 방식’은 ‘현장기반 TSI 제공 방식’에 비해 위치나 장소, 도시 인프라 여건에 영향이 적고 인프라 구축비용이 저렴하여 전국적인 확대가 용이하다는 장점이 있으며, 자율주행차, 네비게이션 등 전통적인 교통분야 외에 디지털 트윈(Digital Twin), 메타버스(Metaverse) 등의 4차 산업혁명 서비스와도 자연스럽게 결합할 수 있다는 장점이 크기에 교통신호상태정보 실시간 공유 생태계가 선행적으로 구축될 필요가 있다.

본 논문의 실험은 C-ITS용 통신 표준을 위한 LTE-V2X 방식과 병행방식(WAVE+LTE-V2X) 실증에도 적용이 가능하기에 표준 채택에 기여할 수 있을 것으로 기대되며, 향후 교통신호제어기에도 초고속, 초저지연, 초연결의 특징을 가진 5G NR(New Radio)이 적용될 경우 LTE보다 우수한 결과를 보일 것으로 기대되기에 상용무선이동통신(LTE, 5G NR)의 비교와 함께 C-ITS용 통신(WAVE, LTE-V2X, 5G-V2X)의 비교, 고속 이동 중에서의 비교 실험을 진행하여 사용성을 검증하고자 한다.

References

[1] P.-G. Jo and J.-W. Lee, “Traffic light detection using morphometric characteristics and location information in consecutive images,” *J. Inst. Contr., Robot. and Syst.*, vol. 21, no. 12, pp. 1122-1129, Dec. 2015

[2] Korean National Police Agency, *Traffic Signal*

- Controller Standard Revision 23*, pp. 51-60, 2018.
- [3] Korean National Police Agency, *Traffic Signal Controller Standard Revision 26*, pp. 98-99, 2020.
- [4] Korean National Police Agency, *Traffic Signal Controller Standard Revision 27*, pp. 94, 2021.