

인프라 기반 자율협력주행을 위한 통신 메시지 연구

양 인 철*

*한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원

Communication Message for Infrastructure-assisted Cooperative Automated Driving

Inchul Yang*

*Research Fellow, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do 10223, Korea

[요 약]

제한된 센서 영역, 혼재 교통 상황, 긴급 상황 대응 등의 차량 단독 자율주행의 한계를 극복하기 위해 V2X 통신을 이용한 협력주행 기술의 개발이 필요하다. 특히 인프라의 지원을 통해 인지 영역을 확장하고 일반 교통수단의 이동 형태 정보를 기반으로 안전주행을 수행하며 긴급 상황 시 최소 안전 상태로 전환을 지원하는 인프라 가이드 서비스와 같은 인프라 기반의 협력형 자율주행 기술의 도입이 시급하다. 이와 같은 서비스를 위해서는 V2X 통신 기반의 메시지 송수신이 가장 핵심 요소 기술이라 할 수 있는데 어떤 콘텐츠를 누가 누구에게 언제 주는지가 관건이다. 이에 본 연구에서는 인프라 가이드 서비스를 구현하기 위해 반드시 필요한 통신 메시지의 구성에 관한 연구를 목적으로 한다. 서비스 아키텍처 분석을 통해 요소 서비스를 구분하고, 요소 서비스별 통신 메시지의 요구사항을 분석함으로써 충분하고 명확한 콘텐츠를 제공할 수 있도록 통신 메시지 구성을 제안하였다. ASN.1과 UPER 인코딩을 이용하여 요소 서비스별 통신 메시지 교환 체계를 구현하고, 교통 및 통신 시뮬레이션 툴을 이용하여 회전교차로 협력주행 사례를 구현하여 성능을 검증한 결과, 제안된 통신 메시지는 인프라 가이드 서비스에 적절한 것으로 확인되었다.

[Abstract]

The limitations of stand-alone automated vehicles, such as limited sensor range, mixed-traffic problem, and fallback issues, require that a V2X-based cooperative automated driving system be developed. Infrastructure-supported cooperative automated driving solutions such as INFRA-Guidance are necessary to pave the way for automated vehicles to have longer sensing ranges, safe driving in mixed traffic, and minimum risk maneuvers. Message sharing and exchange based on V2X communication is essential for implementation of such services, and questions on the type of contents, From whom to whom, and what exact time to share are crucial. In such a perspective, the purpose of this study is to propose a communication message structure for INFRA-Guidance, which can be categorized into several elemental services through an analysis of the system architecture. The requirements analysis was performed to determine an appropriate structure of messages with clear and appropriate contents. The message exchange system was implemented using ASN.1 and UPER. Traffic simulation coupled with communication simulation was adopted to verify the performance of the proposed communication message structure, and we found that the proposed message is well-designed and appropriate for INFRA-Guidance.

색인어 : 자율협력주행, 인프라 가이드 서비스, 교통류 최적화, 통신 메시지, V2X 통신

Keyword : Cooperative Automated Driving, INFRA Guidance, Traffic Optimization, Communication Message, V2X Communication

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2023.24.11.2849>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 05 September 2023; **Revised** 19 September 2023

Accepted 31 October 2023

***Corresponding Author; Inchul Yang**

Tel: +82-31-910-0489

E-mail: ywinter75@kict.re.kr

I. 서론

차량 단독 자율주행(Stand-alone automated driving)은 제한된 센서 영역, 혼재 교통 상황, 긴급 상황 대응(fallback) 등의 한계로 인해 높은 수준의 자율주행을 구현하기 쉽지 않은 것이 사실이다. 따라서 V2X(Vehicle-to-everything) 통신을 통해 주변 커넥티드 교통참여자들과 소통하며 인지 영역을 확장하고, 일반 교통수단의 이동 행태 정보를 기반으로 안전 주행 전략을 수립하며, 기능 고장 등의 긴급 상황 시 인프라의 지원을 통해 최소 안전 상태로 전환하는 등의 기능이 필수적으로 요구된다[1]-[3].

도로교통에서는 운전자의 지속적인 주의와 상호 간 배려가 요구되며, 이러한 배려에 대한 결과로서 교통 안전성이 확보되고 도로교통망의 성능이 향상된다. 자율차는 차량인 동시에 운전자이기 때문에 기계운전자가 인간 운전자의 배려에 해당하는 협력(cooperation)을 할 수 있어야 하고 이를 위해서는 상호 소통이라는 조건이 만족되어야 한다[1]. 도로교통 참여자 간 소통의 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 예를 들어 도로관리자와 도로사용자 간에는 표지와 표시, 기하구조 등의 소통 방법이 사용되고, 차량 간에는 외부표시등(브레이크등, 비상등, 방향표시등 등)을 통해 의도 공유가 가능하다. 자전거 이용자는 수신호를 이용하여 의도를 전달할 수 있다. 최근에는 무선 통신 기술의 발전에 따라 다양한 정보가 교통참여자 간에 교환되고 있는데, 대표적으로 교통정보와 경로안내 정보, 사고와 공사 정보 등이 있다. 특히 DSRC(Dedicated Short Range Communication), 4G/5G 통신 기술의 발전은 소통을 보다 신속하고 정확하게 할 수 있는 발판을 마련해주었다[2],[3].

인프라 가이드نس(IG, INFRA-Guidance)는 V2X 통신과 엣지 컴퓨팅, 그리고 센싱 기술을 융합하여 자율주행 교통수단의 최적 주행 전략을 지원하는 서비스로, 4레벨 이상의 고수준 자율주행 시스템의 개발을 지원한다[4]. DSRC 기반의 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment) 또는 Cellular 기반의 C-V2X(Cellular Vehicle to Everything) 통신을 이용하여 엣지 컴퓨팅으로 분석 및 판단한 정보를 가이드نس(안내) 형태로 차량에 전달하고, 이를 수신한 차량은 가이드نس를 기반으로 협력 주행을 수행함으로써 교통 시스템의 최적화 달성을 목표로 한다.

인프라 가이드نس는 V2X 통신을 통해 커넥티드 교통참여자 간 소통을 기반으로 서비스를 제공하기 때문에 소통의 내용에 해당하는 통신 메시지의 설계가 무엇보다 중요하다. 다양한 유형의 C-ITS 또는 자율협력주행 서비스를 위한 통신 메시지는 여러 표준단체에서 제안하였다. 미국자동차공학회(SAE)[5]는 V2X 통신 메시지 데이터 사전에 다양한 서비스에 요구되는 메시지를 포함하였는데, 예를 들어 자동차의 기본 상태에 대한 정보(BSM, Basic Safety Message), 교통 신호정보(SPAT, Signal Phase and Time), 지도정보(MAP), 여행자정보(TIM, Traveler Information Message), 노면주

의정보(RSA, Roadside Alert) 등의 콘텐츠를 담고 있다. 또한 [6]에서는 협력 기반 차로변경, 합류 등의 서비스에 요구되는 통신 메시지를 정의하고 있는데, 구체적으로는 차량의 주행 의도, 주행 정보 요구, 주행 정보 응답, 주행 예약 등의 협력 주행 관련 정보를 포함하고 있다. 유럽전기통신표준화기구(ETSI)에서도 다양한 유형의 V2X 통신 메시지를 표준화하였는데 대표적으로 협력형 주행을 위한 기본 메시자인 CAM(Cooperative Awareness Message)[7], 협력형 인지 확장을 위한 CPM(Cooperative Perception Message)[8] 등이 있다. 국내에서는 지능형교통체계협회에서 제정한 C-ITS(Cooperative Intelligent Transport System)를 위한 통신 메시지[9], 군집주행을 위한 통신 메시지[10] 등이 제정되어 활용되고 있다.

V2X 통신 기반의 도로교통 서비스의 구현을 위해서는 서비스 목적에 부합하는 통신 메시지의 설계가 필수적이다. 이에 본 연구에서는 인프라 가이드نس를 구현하기 위해 반드시 필요한 최적 통신 메시지의 설계를 목적으로 한다. 인프라 가이드نس는 기존 C-ITS, 군집주행 등의 서비스와는 차별화된 특징으로 인해 기존 통신 메시지를 재사용하기는 어렵기 때문에 본 연구를 통해 새로운 통신 메시지를 개발한다. 이를 위해 인프라 가이드نس 시스템 아키텍처를 분석하여 요소 서비스를 도출하고, 요소 서비스에 따른 통신 메시지 요구사항을 도출한 후 이를 기반으로 통신 메시지를 설계한다. 마지막으로 제안된 통신 메시지를 인코딩하여 정량적 적절성을 검증한다.

II. 아키텍처 기반 요소 서비스 도출

인프라 가이드نس는 엣지 컴퓨팅 기반의 교통류 최적화 서비스이다. 엣지에 해당하는 RSU(Roadside Unit)에 설치된 센서와 그로부터 실시간으로 수집되는 동적환경 정보를 빠르게 분석 및 판단하여 자율차의 최적 주행 전략(가이드نس)을 안내하기 때문에 센터 방식에 비해 시간 비용이 절약되는 장점을 갖는다. 또한 가이드نس를 수신한 자율차 간 협력주행을 통해 인프라가 기대하는 교통류의 최적화가 달성될 수 있다. RSU는 서비스 구간 내 자율차로부터 주기적으로 상태 정보 및 주변 인지 정보를 수신한다. 인프라 가이드نس에서는 이를 협력인지라고 정의하는데 이는 인프라 센서로부터 수집된 동적환경 정보를 강화할 수 있는 가외성(redundancy) 기능과 동시에 이동체 중 자율차를 구분하기 위한 용도로 활용된다.

인프라 가이드نس의 아키텍처는 그림 1과 같다. 서비스의 핵심 역할을 수행하는 엣지 RSU는 인프라 센서로부터 실시간으로 동적객체 정보(A)를 수신한다. 이러한 동적객체 정보는 SAE 표준[11]에 따라 전달된다. 협력인지 정보(B)는 자율차로부터 엣지 RSU로 전달되고, 이를 수신한 엣지 RSU는 센서로부터 수신된 동적객체 정보와 융합하여 하나의 LDM(Local Dynamic Map)을 생성하게 되는데, 이때 동적

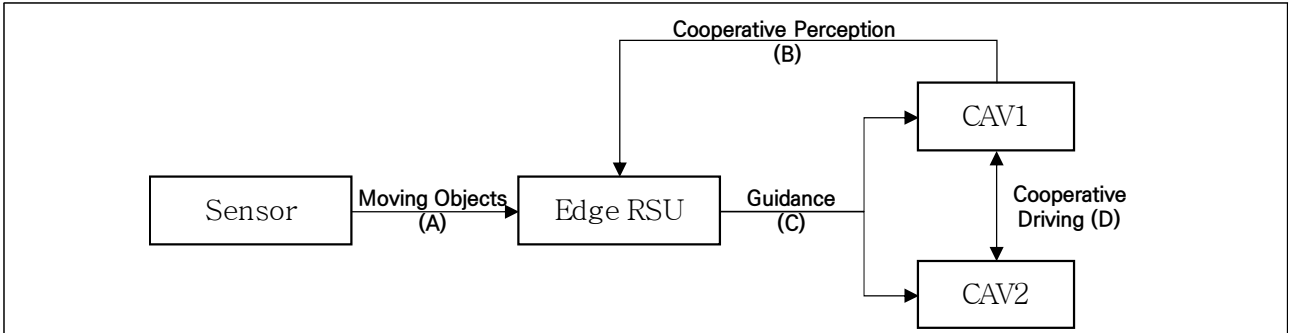


그림 1. 인프라 가이드 시스템 아키텍처
 Fig. 1. INFRA-Guidance system architecture

객체 중 자율차를 구분하여 정보를 갖게 된다. LDM을 이용하여 분석 및 판단을 수행하여 안전성, 이동성, 환경성 측면에서 비효율성이 판단될 경우 이를 최소화할 수 있는 자율차의 최적 주행 전략을 찾고, 이를 가이드(C)로 생성하여 자율차에게 제공한다. 가이드는 개별 자율차에 최적화된 정보이기 때문에 개별 자율차에게 전달된다. 가이드를 수신한 자율차는 가이드에 따라 주행하기 위해 협력주행(D)을 수행하는데 이때 상태를 공유하거나 주행 의도를 공유할 수 있고, 필요에 따라 주행 협상을 수행할 수 있다.

이와 같이 인프라 가이드는 총 네 개의 요소 서비스로 구분 가능하다(표 1). 첫 번째는 인프라 센서에서 엣지 RSU로 전송하는 동적객체 데이터 제공 서비스이고, 두 번째는 자율차(CAV, Connected Automated Vehicle)에서 엣지 RSU로 전송하는 협력인지 데이터 제공 서비스이다. 세 번째는 엣지 RSU와 자율차 간 가이드 협상 서비스이고, 네 번째는 자율차 간 협력주행 서비스이다. 세 번째 요소 서비스가 가이드 '제공' 서비스가 아닌, 가이드 '협상' 서비스인 이유는 가이드가 엣지 RSU로부터 자율차에게 단방향으로 제공되는 것이 아니라 자율차가 이를 수용 또는 불수용할 수 있기 때문이다.

표 1. 인프라 가이드 요소 서비스
 Table 1. Unit services in INFRA-Guidance

Unit service	Participants	
Moving objects data sharing	Sensors	Edge RSU
Cooperative perception data sharing	CAV	Edge RSU
Guidance agreement seeking	Edge RSU	CAV
Cooperative driving	CAV	CAV

III. 요구사항 분석 및 통신 메시지 설계

본 절에서는 인프라 가이드의 요소 서비스별 통신 메시지 요구사항을 분석한다. 단, 첫 번째 요소 서비스인 동적객체 데이터 제공 서비스는 기존 표준인 SAE J3224의 SDSM (Sensor data sharing message)[11]를 사용하기 때문에 본 연구에서는 다루지 않기로 한다. 또한 일반적인 무선 통신

데이터의 요구사항인 최소 크기로 최대의 정보 제공, 인코딩, 디코딩 등에 대한 내용과 인프라 가이드 서비스 구간 내 송신주체(자율차)를 특정하기 위한 고유ID 부여와 유지 등은 모든 요소 서비스 공통 요구사항이기 때문에 세부 절에서는 다루지 않기로 한다.

3-1 협력인지 데이터 제공 서비스

협력인지 데이터 제공 서비스는 자율차가 센서를 이용하여 인지한 주변 동적환경 정보와 주행의도 정보를 실시간으로 공유함으로써 인프라 센서 기반의 동적상황 인지 데이터를 강화하고 여러 이동객체 중 자율차를 구분하는 역할을 수행하는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적에 따라 다음과 같이 요구사항을 분석하였다.

- ① 협력인지는 동적객체 정보와 자차의 주행의도 정보를 포함한다. 여기서 동적객체는 도로(차도와 보도)에 존재하는 모든 동적객체, 즉 승용차, 버스, 트럭, 이륜차, 보행자, 자전거, 개인형이동수단 등을 의미한다.
- ② 동적객체 정보는 위치와 유형, 인지시각, 속도, 주행방향 정보를 필수적으로 포함한다. 감속도, 차로, 객체 크기(높이 포함) 등의 정보도 포함할 필요가 있다.
- ③ 동적객체의 추적 정보를 제공할 필요가 있다. 여기서 추적 정보는 현재 위치 기준으로 과거 일정 기간 동안의 동적객체 정보를 의미한다.
- ④ 동적객체의 위치 정보는 차도와 보도, 자전거도로, 횡단 보도를 구분할 필요가 있다.

3-2 가이드 협상 서비스

가이드 협상 서비스는 엣지 RSU가 자율차에게 교통류 최적화 관점의 주행 가이드를 제공하는 것을 목적으로 한다. 안전성을 기본으로 이동성과 환경성을 동시에 고려한 교통류 최적화를 위해 자율차에게 요구되는 주행 가이드를 생성하고 제공하는 것이 엣지 RSU의 역할이고, 자율차는 주어진 가이드에 따라 주행을 수행하는 역할을 수행한다. 하

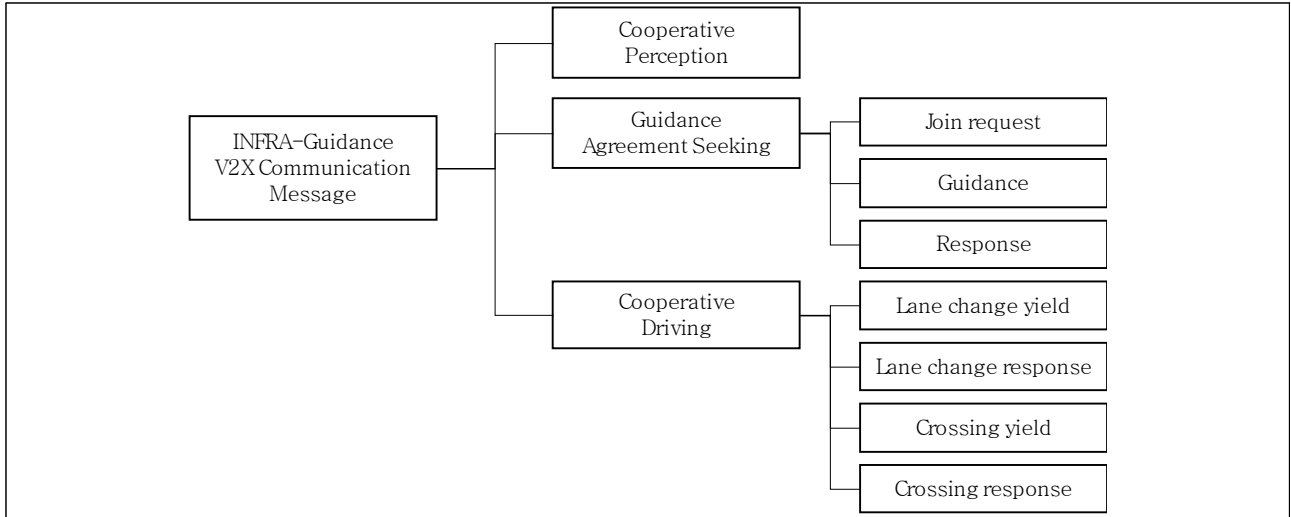


그림 2. 인프라 가이드스 통신 메시지 구성
 Fig. 2. INFRA-Guidance communication message structure

지만 자율차가 부득이한 이유로 가이드스를 수행하기 어려울 경우 이를 불수용할 수 있으며, 이때 엷지 RSU는 다른 가이드스를 제공하거나 자율차 스스로의 판단에 따라 주행하도록 할 수 있다. 이러한 점에 따라 다음과 같이 요구사항을 분석하였다.

- ① 가이드스의 기본 형태는 주행 궤적을 표현하는 방식으로 하되 통행 우선 순위의 결과를 반영하기 위해 다른 이동객체와의 위치 관계성을 표현하는 방식을 추가할 수 있다.
- ② 위치 관계성 표현 방식은 차차와 주변 이동객체 간의 위치 관계를 설명하는 디지털화된 정보로, 시간에 따른 공간적 관계성을 표현할 수 있어야 하고, 공간적 관계성은 종방향과 횡방향으로 구분할 수 있어야 한다.
- ③ 종방향 관계성은 동일 차로 내 전방과 후방, 각각 일대일 관계를 동시에 표현할 수 있어야 한다.
- ④ 횡방향 관계성은 좌측 또는 우측 인접 차로에 위치한 이동객체를 각각 일대일 관계로 동시에 표현할 수 있어야 한다.
- ⑤ 주행 궤적 표현 방식은 개별 이동객체의 주행 방법을 표현하는 디지털화된 정보로, 이를 이용하여 자율차가 주행계획(local path)을 생성할 수 있어야 한다.
- ⑥ 자율차가 가이드스에 대해 수용 또는 불수용 의사를 표현할 수 있어야 한다.
- ⑦ 가이드스 서비스 이용 여부에 대한 정보 교환이 가능해야 한다.

3-3 협력주행 서비스

협력주행 서비스는 엷지 RSU로부터 가이드스를 수신한 자율차가 가이드스에 따라 주행하기 위해 주변의 자율차와

협력하며 주행하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 자율차는 주행의도를 공유하고, 필요 시 합의모색을 수행한다. 이러한 목적에 따라 다음과 같이 요구사항을 분석했다.

- ① 의도공유 또는 합의모색 시 이러한 주행행태가 엷지 RSU의 가이드스에 따른 것임을 표현할 수 있어야 한다.
- ② 의도공유 시 정보 공유 주체의 주행의도에 대한 충분한 정보를 명확하게 제공할 수 있어야 한다.
- ③ 주행의도는 주행 궤적, 관계성, 주행 행태 중 하나 이상의 통합된 비상호배타적인 형식으로 표현될 수 있어야 한다.
- ④ 주행의도는 가이드스와 자율차 내 생산 정보를 융합하여 생성이 가능한 정보만으로 구성할 수 있어야 한다.
- ⑤ 합의모색 시 대상 이동객체에게 합의 요청사항에 대한 충분한 정보를 명확하게 제공할 수 있어야 한다. 이때 요청사항은 합의 대상의 수행 가능성에 대한 고려는 필요하지 않으며 대상의 제어에 관한 정보를 포함할 수 있다.
- ⑥ 합의 모색 시 대상 이동객체는 요청사항에 대한 충분하고 명확한 응답을 제공할 수 있어야 한다.
- ⑦ 합의 요청과 응답은 해당 주행행태가 발생하는 시각과 위치, 상태 등의 정보를 제공할 수 있다.

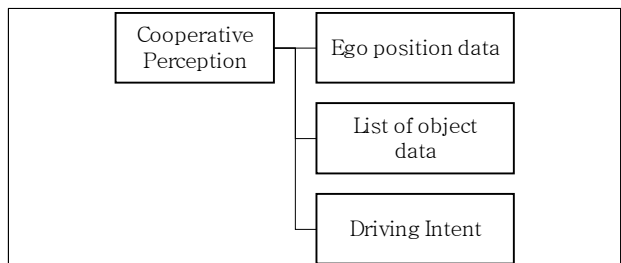


그림 3. 협력인지 메시지 구성
 Fig. 3. Cooperative perception message structure

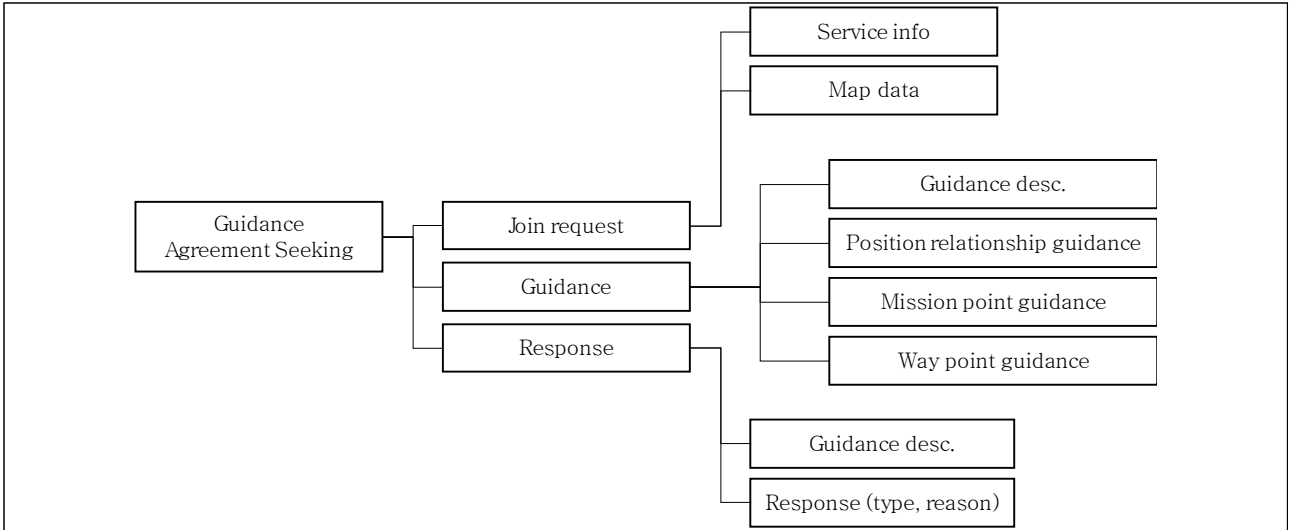


그림 4. 가이던스 협상 메시지 구성
 Fig. 4. Guidance agreement seeking message structure

3-4 통신 메시지 설계

앞서 분석된 요소 서비스별 요구사항 분석을 통해 인프라 가이던스를 위한 통신 메시지는 크게 세 가지 유형으로 구분되며, 가이던스 협상 서비스는 다시 세 가지의 요소 정보를, 협력주행 서비스는 네 가지의 요소 정보를 갖도록 구성하였다(그림 2). 가이던스 협상 서비스는 서비스 이용 여부, 가이던스 제공, 가이던스 응답의 요소 정보를 가지고, 협력주행 서비스는 차로 양보 요청과 응답, 교차로 양보 및 응답의 요소 정보를 각각 갖는다.

협력인지 메시지는 크게 세 가지의 세부요소 정보를 갖는다(그림 3). 첫 번째는 자차의 위치에 대한 정보이고, 두 번째는 인지된 주변 이동객체에 대한 정보이고, 마지막은 자차의 주행 의도에 대한 정보이다. 자차 위치에 대한 정보는 [5]의 FullPositionVector 데이터프레임을 사용한다. 주변 이동객체 정보는 인지된 주변 이동객체 개수만큼 반복되며, 개별 이동객체 정보는 인지시각, 유형, 속도, 헤딩, 위치, 가감속, 그리고 과거 궤적 정보 등이 포함될 수 있다. 이러한 정보를 이용하여 옛지 RSU는 동적상황 인지 정보를 강화하고, 이동객체 중 자율차를 구분할 수 있으며 자율차의 주행의도 분석을 할 수 있다. 주행 의도 정보는 차로변경, 교차로 진입 등 중·횡방향 주행의도 정보를 포함할 수 있다.

가이던스 메시지는 그림 4에서와 같이 각 요소 정보가 세부요소 정보를 갖는다. 서비스 이용 여부 요소 정보는 서비스에 대한 정보와 주변 도로에 대한 전자지도 정보를 세부요소로 갖는다. 옛지 RSU에서 어떠한 유형의 가이던스 서비스를 제공하는지, RSU의 구성은 어떻게 되는지 등에 대한 정보를 확인하고 서비스를 이용할지 여부를 판단한다. 이때 함께 제공되는 전자지도를 이용해서 다른 통신 메시지 내 위치 관련 정보를 해석할 수 있다.

가이던스 정보는 가이던스에 대한 일반사항과 위치관계 가이던스, 임무점 가이던스, 경유점 가이던스로 구성된다. 일반사항은 가이던스 고유ID, 가이던스 유형 등에 대한 정보를 포함하고, 위치관계 가이던스는 이동객체 간 시간에 따른 위치관계 정보를 포함한다. 위치관계는 종방향 기준 전방, 측방, 후방으로 구분하고, 횡방향 기준 현재 차로와 좌, 우측 차로를 구분한다. 임무점과 경유점은 모두 주행경로 정보를 표현하는 방식이다. 임무점 방식은 주행경로의 주요 속성이 변경되는 지점 또는 구간에 임무점이라는 노드를 위치시켜 표현하는 것으로, 자차 전방의 일정 구간 내에서 일정 시간 동안 수행해야 하는 임무를 부여한다. 예를 들어 가이던스를 수신한 차량이 전방 50미터에서 100미터 사이에서 10초 내에 좌측차로로 차로변경을 수행해야 한다는 식의 정보를 포함한다. 경유점 방식은 동일 간격 또는 동일 시간 간격으로 경유점이라는 노드를 위치시켜 주행 궤적을 표현하는 것이다. 이러한 정보를 이용하여 옛지 RSU는 서비스 구간 내 모든 이동객체의 주행의도를 분석하여 생성된 최적화된 주행행태를 가이던스 정보로 변환하여 자율차에게 제공한다.

응답 정보는 수신된 가이던스에 대한 일반사항과 응답 유형, 이유 등에 대한 정보로 구성된다. 일반사항은 어떠한 가이던스에 대한 응답인지를 확인하기 위한 정보이고, 응답은 수용 여부와 불수용 시 이유에 대한 정보를 포함한다.

협력주행 메시지는 그림 5에서와 같이 각 요소 정보가 세부요소 정보를 갖는다. 차로변경 양보 요청 정보는 가이던스에 대한 일반사항과 차로 정보(자차 및 양보 차량의 차로), 주행궤적 등으로 표현되는 주행의도 정보를 포함하고, 이에 대한 응답인 차로변경 양보 응답 정보는 가이던스에 대한 일반사항과 응답 유형을 갖는다. 차로변경에 대한 가이던스를 수신한 자율차는 목표차로에 자율차가 존재할 경우 차로변경 양보 요청 정보 송신을 통해 합의모색을 수행할 수 있고, 요

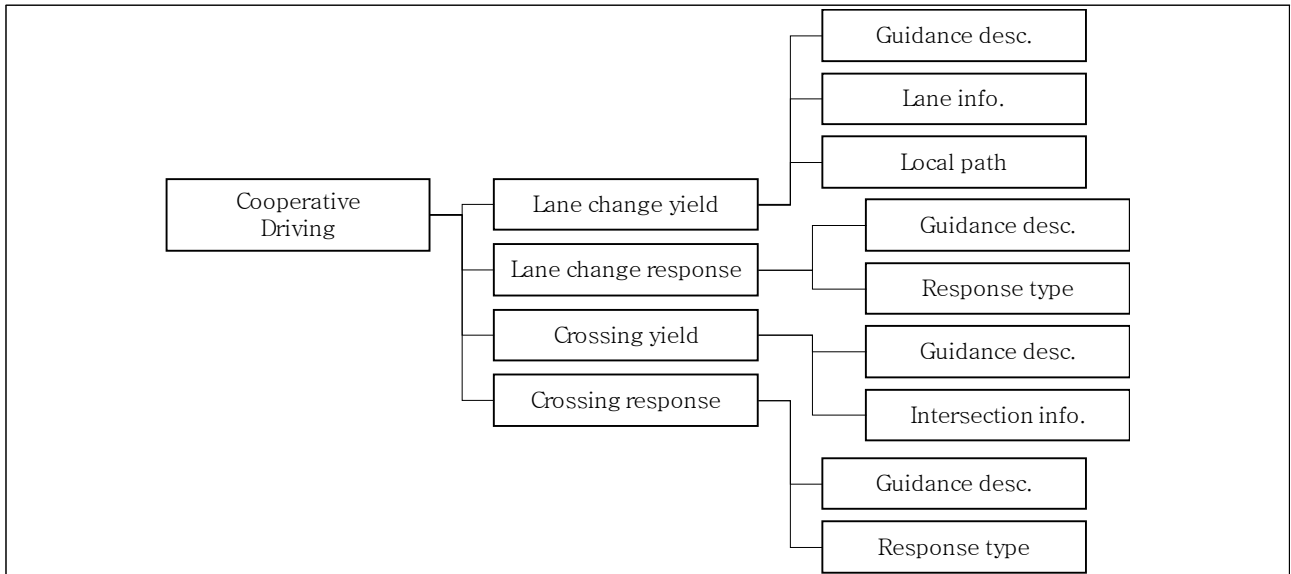


그림 5. 협력주행 메시지 구성
 Fig. 5. Cooperative driving message structure

청을 받은 자율차는 감속을 통해 차로변경을 위한 간격을 마련해 줌으로써 가이드언스에 따른 협력주행을 수행할 수 있다. 교차로 양보 요청 정보는 가이드언스에 대한 일반사항과 대상 차량 정보, 교차로정보로 구성되고, 이에 대한 응답정보는 차로변경 시와 동일하다.

협력주행 메시지는 차로변경과 교차로(특히 비신호 교차로)에 대한 정보만으로 구성되어 있지만 향후 필요 시 가이드언스 유형에 따른 메시지를 유사한 형태로 추가할 수 있다.

3-5 성능 검증

제안된 통신 메시지를 이용하여 그림 6과 같은 회전교차로를 대상으로 옛지 RSU의 가이드언스를 수신한 두 대의 자율차 간 협력주행 상황에 대한 성능 검증을 수행하였다.

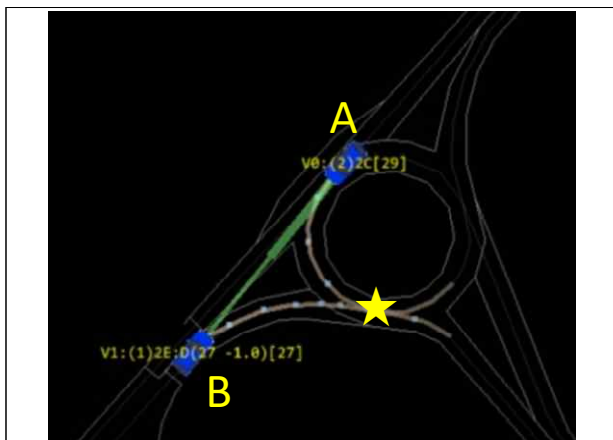


그림 6. 회전교차로 협력주행 사례
 Fig. 6. Example of cooperative driving in a roundabout

통신 메시지는 ASN.1(Abstract Syntax Notation One)으로 정의하고 이를 UPER(Unaligned Packed Encoding Rules)로 인코딩한 후 ns3(Network Simulator v.3) 통신 시뮬레이션을 이용하여 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment) 통신으로 교환하도록 구현하였다. 회전교차로와 자율차의 이동을 위한 교통 시뮬레이션은 SUMO(Simulation of Urban MObility)를 이용하였다. SUMO의 네트워크 구성 제작틀을 이용하여 그림 6과 같은 회전교차로를 제작하고, SUMO의 차량 관련 기능과 TraCI라는 SUMO에서 제공하는 인터페이스(API)를 활용하여 차량 두 대를 서로 상충하도록 시간을 맞추어 발생시켰다. TraCI는 Traffic Control Interface의 약자로, SUMO 시뮬레이션에서 발생하는 각종 수치 정보를 얻거나 SUMO 시스템 내 개체의 행태를 실시간으로 조정할 수 있는 기능을 제공한다 [12]. 성능 검증을 위한 옛지 RSU의 기능과 통신 메시지의 생성 및 해석, 차량 행동 제어 등의 기능은 모두 TraCI로 구현하였다.

총 29초 동안 시뮬레이션을 수행하였다. 두 대의 자율차가 회전교차로에서 충돌 위험이 있는 상황(그림 6의 별표 위치)에 대해 옛지 RSU가 이를 분석 및 판단하여, 선진입 자율차(그림 6의 차량 A)에 대해서는 속도 유지를, 후진입 자율차(그림 6의 차량 B)에 대해서는 감속 후 진입 가이드언스를 제공하였는데, 이때 가이드언스는 경유점 방식을 이용하였다. 협력인지 메시지와 가이드언스 메시지 중 서비스 참여 요청 메시지는 1초에 1회 발송하도록 하였다.

성능 검증을 위한 시뮬레이션에서 자율차 두 대는 협력인지 메시지를 통해 주행의도를 공유하고, 옛지 RSU는 이 정보를 분석하여 상충 위험을 예측 후 우선 주행 순위를 판단하여 각 자율차에게 가이드언스로 정보를 제공하였다. 가이드언스를 수

신한 두 대의 자율차는 가이드נס에 따라 차량 A가 먼저 주행하고 차량 B는 감속한 후 회전교차로에 진입함으로써 사고 없이 효율적으로 주행할 수 있었다. 이러한 과정에서 표 2에서 볼 수 있는 것과 같이 협력인지 메시지(Cooperative perception)가 50회 사용되었다. 여기서 1초에 1회 발송되는 협력인지는 두 대의 자율차가 29초 동안 도로망에 있을 경우 58회 발송되는 것이 맞지만, 실제 구현 사례에서 한 대의 차량이 먼저 도로망에서 주행을 종료하였기 때문에 그보다 적은 횟수가 확인되었다. 또한 이번 성능 검증에서 협력인지 메시지에는 주변 이동체 정보가 포함되지 않았는데, 이는 교통류가 단순하기 때문으로, 추후 더 많고 다양한 유형의 차량을 포함하는 성능 검증 시에는 주변 이동체 정보를 필수적으로 이용할 필요가 있다.

표 2. 통신 메시지 사용 사례

Table 2. Example of message usage

Message type	Count	Total size(byte)
Cooperative perception	50	5,834
Guidance	35	532
Cooperative driving	0	0

가이드נס 협상 메시지(Guidance) 중 서비스 참여 요청이 총 29회, 그에 대한 응답이 2회 사용되었고, 가이드נס가 2회, 응답이 2회 사용되어, 결과적으로 총 35회의 가이드נס 협상 메시지가 사용되었다. 메시지 데이터의 크기는 협력인지 메시지와 가이드נס 메시지가 각각 5,834 바이트와 532 바이트인 것으로 확인되었다.

성능 검증 시뮬레이션에서 협력인지 메시지는 1초에 1회 발송하도록 설정하였기 때문에 다소 큰 데이터량을 보인다. 향후 상황에 따라 협력인지 데이터를 동적으로 생성하도록 조정할 필요가 있다고 판단된다. 또한 본 구현 사례에서는 협력주행이 필요하지 않았기 때문에 협력주행 메시지(Cooperative driving)에 대한 사용 회수와 데이터 크기는 확인하지 못하였다. 추후 다양한 사례에 대한 연구가 수행되면 협력주행에 대한 성능 검증도 가능할 것으로 기대된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 인프라 기반의 협력형 자율주행 서비스인 인프라 가이드נס를 위한 통신 메시지를 어떻게 구성해야 하는지에 대해 연구를 수행하였다. 서비스를 요소 서비스로 구분하고, 요소 서비스별 요구사항을 분석하여 통신 메시지를 구성하였다. 회전교차로를 대상으로 제안된 통신 메시지의 성능을 검증함으로써 적절성을 확인할 수 있었다.

제안된 통신 메시지의 마지막 유형인 협력주행의 적절성을 확인하지 못한 것은 본 연구의 한계점으로 지적할 수 있다. 향

후 다양한 공간적 상황적 유스케이스에 대해 제안된 통신 메시지의 성능을 검증할 필요가 있다. 또한 통신 메시지 유형별 적절한 통신 간격과 콘텐츠에 대한 최적화 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00142565).

참고문헌

- [1] J. C. Mertens, C. Knies, F. Diermeyer, S. Escherle, and S. Kraus, "The Need for Cooperative Automated Driving," *Electronics*, Vol. 9, No. 5, 754, May 2020. <https://doi.org/10.3390/electronics9050754>
- [2] I. Llatser, T. Michalke, M. Dolgov, F. Wildschütte, and H. Fuchs, "Cooperative Automated Driving Use Cases for 5G V2X Communication," in *Proceedings of 2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF)*, Dresden, Germany, pp. 120-125, September-October 2019. <https://doi.org/10.1109/5GWF.2019.8911628>
- [3] Z. Zhang, H. Liu, M. Lei, X. Yan, M. Wang, and J. Hu, "Review on the Impacts of Cooperative Automated Driving on Transportation and Environment," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 115, 103607, February 2023. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103607>
- [4] H. Jeon, I. Yang, H. Kim, J. Lee, S.-K. Kim, and J. Jang, "A Study on Methodology to Develop Use Cases of Infra-Guidance Service for Connected and Automated Driving," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 23, No. 7, pp. 1331-1340, July 2022. <https://doi.org/10.9728/dcs.2022.23.7.1331>
- [5] SAE International, V2X Communications Message Set Dictionary, Author, Warrendale: PA, J2735_202211, November 2022.
- [6] SAE International, Application Protocol and Requirements for Maneuver Sharing and Coordinating Service, Author, Warrendale: PA, J3186_202303, March 2023.
- [7] ETSI(European Telecommunications Standards Institute), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service, Author, Sophia Antipolis, France, ETSI EN 302 637-2, 2014.
- [8] ETSI(European Telecommunications Standards Institute),

Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Collective Perception Service; Release 2, Sophia Antipolis, France, ETSI TS 103 324, 2023.

- [9] ITS(Intelligent Transport Society) Korea, C-ITS Specification; Part 2. V2X Information Linking, ITS Korea, Ansan, ITSK-00100-2:2021v4, 2021.
- [10] ITS(Intelligent Transport Society) Korea, Probe Platooning Vehicle Data for the Safety Service Scenarios of Automated Truck Platooning(Lv.3) Based on I2V Communication, ITS Korea, Ansan, ITSK-00128, 2021.
- [11] SAE International, V2X Sensor-Sharing for Cooperative and Automated Driving, Author, Warrendale: PA, J3224_202208, August 2022.
- [12] SUMO(Simulation of Urban MObility). TraCI Documentation [Internet]. Available: <https://sumo.dlr.de/docs/TraCI.html>.



양인철(Inchul Yang)

1998년 : 연세대학교 도시공학 학사
2000년 : 연세대학교 도시공학 석사
2011년 : Ph.D. in Civil Engineering
at Univ. of California, Irvine

2000년~2006년: 현대엠엔소프트(現현대오토에버)
2006년~2011년: Institute of Transport Studies, UCI
2011년~현 재: 한국건설기술연구원 연구위원
※관심분야 : 첨단교통, 자율주행, C-ITS, 도로안전, 도로시설