

자율협력주행을 위한 역할 기반 동적정보 서비스 평가 방법

Evaluation of LDM (Local Dynamic Map) Service Based on a Role in Cooperative Autonomous Driving with a Road

노 창 균* · 김 형 수** · 임 이 정***

* 주저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석연구원
 ** 교신저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원
 *** 공저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 박사후연구원

Chang-Gyun Roh* · Hyungsoo Kim** · I-Jeong Im***

* Dept. of Highway & Transportation Research, KICT
 ** Dept. of Highway & Transportation Research, KICT
 *** Dept. of Highway & Transportation Research, KICT

† Corresponding author : Hyungsoo Kim, hsookim@kict.re.kr

Vol. 21 No.1(2022)
 February, 2022
 pp.258~272

pISSN 1738-0774
 eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.1.258>

Received 19 December 2021
 Revised 28 December 2021
 Accepted 30 December 2021

© 2022. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

안전한 자율주행을 위하여 차량 센서에만 의존하는 Stand-alone 방식의 한계를 극복하기 위한 방법으로, 노변의 인프라와 자율주행차간 정보를 교환하는 ‘자율협력주행’ 방식의 기술 개발이 이루어지고 있다. 이 과정에서 협력의 대상이 되는 동적정보는 통신 데이터 손실 측면의 평가방법이 일반적이지만, 정보로서 역할 중심의 평가방법이 필요하다. 본 연구에서는 자율협력주행에서 동적정보 서비스 역할의 적정성을 평가하기 위하여 역할 기반 평가방법을 제안하였다. 평가 척도로 검출률, 검출 소요시간, LDM 처리시간을 제안하였고, 평가방법론을 검증하기 위하여 실제 도로에서 보행자 정보를 대상으로 실증 실험을 시행하였다. 실험 결과로는 검출률 99%, 소요시간 200ms/건, 처리시간 19ms/건을 얻었다. 향후 제안된 동적정보 서비스 평가 방법이 관련 정보제공 서비스의 평가에 활용되기를 기대한다.

핵심어 : 자율협력주행, 동적정보, 이동체 정보, 보행자 정보, 평가방법론

ABSTRACT

The technology implementation method was diversified into an ‘autonomous cooperative driving’ method to overcome the limitations of a stand-alone autonomous vehicle with vehicle sensor-based autonomous driving. The autonomous cooperative driving method involves exchanging information between roadside infrastructure and autonomous vehicles. In this process, the concept of dynamic information (LDM), a target of cooperation, was established. But, evaluation methods and standards for dynamic information have not been established. Therefore, this study, a dynamic information evaluation method based on information on pedestrians within the moving objects. In addition, autonomous cooperative driving was demonstrated, and dynamic information was also verified through the evaluation method. The significance of this study is that it established the dynamic information evaluation methodology for autonomous cooperative driving for the first time. Based on this, this study is expected to contribute to the application of safe autonomous cooperative driving technology to the field.

Key words : Cooperative autonomous driving, Local dynamic map(LDM), Moving object, Pedestrian information, Evaluation methodology

I. 서 론

최근 자율주행, 전기차/수소차, 스마트 모빌리티 등이 자동차 산업계에 새로운 트렌드로 자리매김함에 따라 관련 산업 환경이 급속히 변화하고 있다. 이러한 변화는 벤츠, 도요타 등 세계적인 자동차 제조사뿐만 아니라, 한국의 완성차 제조사인 현대와 기아 자동차 또한 기존 차량 제조 중심의 산업구조에서 모빌리티 플랫폼 사업자로 그 영역을 확장할 만큼 사회 다방면으로 큰 변화를 가져올 것으로 예상되고 있다. 새로운 트렌드를 기반으로 한 M.E.C.A.(Mobility, Electrification, Connectivity and Autonomous Driving)가 미래 자동차 사업의 대표로 대두되고 있으며, With/Post COVID-19 시대의 도로교통 시장 또한 M.E.C.A.가 주도할 것으로 전망하고 있다(Cho, 2021). 산업계 중심의 자동차 분야 외에 도로교통 분야에서는 이동성(Mobility), 협력(연결성, Connectivity) 및 자율주행(Autonomous Driving)에 대한 연구 및 기술개발 수요가 증가하고 있다(SAMJONG KPMG, 2021). 특히, 차량 센서에 의해 자율주행을 구현하였던 기존의 자율주행 자동차의 거동 조작방식에서, 자율주행의 안전성을 높이기 위해 협력형 자율주행 기술이 주요 기술로 자리매김함에 따라 자율협력주행에 대한 관심 및 기술개발이 급격히 이루어지고 있다.

현재까지의 자율주행에서는 시인성 확보 및 일부 자율주행 기술을 지원하기 위해 도로상에 설치되어 있는 다양한 도로 인프라를 활용하는 대신, 차로를 확인할 수 있는 차선만을 활용하는 경향이 있었다. 특히, 테슬라(Tesla)가 차량의 영상 센서만을 활용하여 자율주행 기술(Autopilot)을 구현하고 있는 것과 같이 도로 인프라를 활용하는 것에 대한 관심은 높지 않았다. 그러나 도심도로 상에는 센서 중심의 자율주행차는 센서가 주변 환경을 인식하지 못하거나 인식의 오류가 발생할 수 있는 특정 상황 및 도로구간이 존재하기 때문에 자율주행의 불확실성과 안전성을 확보하기 위한 개선 방안이 필요한 실정이다. 이에 국내에서는 Stand-alone 방식의 자율주행 기술의 한계를 극복하기 위한 방안으로 산업부·과기부·경찰청·국토부 공동으로 ‘자율협력주행 기술개발 혁신사업단’을 발족하여, 안전한 자율협력주행기술 구현과 자율주행자동차의 상용화를 위한 관련 연구개발을 수행하고 있다(Ministry of TIE, 2021).

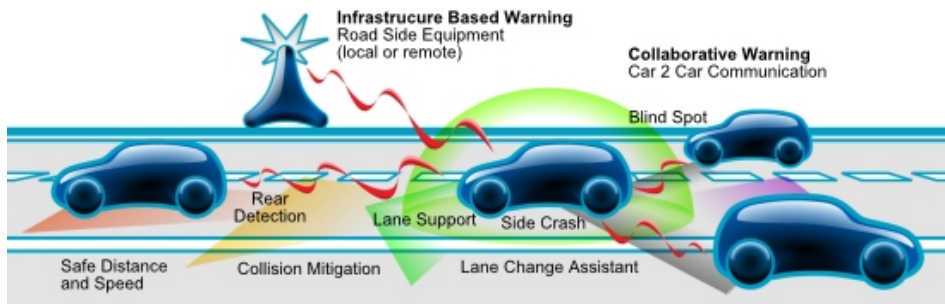
일반적으로 자율주행 차량과 인프라가 교환하는 정보는 Local Dynamic Map(이하 LDM) 형태로 구성된 정적정보와 동적정보가 해당된다. 정적정보는 도로 기하구조 및 차로정보와 같이 속성정보의 갱신주기가 긴 정보로, 갱신이 필요한 경우에만 갱신정보를 전달하여 활용하게 된다. 반면, 동적정보는 자율협력주행 차량이 실시간으로 주행에 활용해야 하는 주변 차량, 이동체 정보 등 초 단위 갱신이 필요한 정보로 구성되어 있다. 동적정보를 차량이 활용할 수 있는 데이터로 제공하는 동적정보 서비스는 실시간으로 변화하는 상황 및 위치정보를 제공하여 자율협력주행이 이뤄질 수 있도록 LDM 상에서의 정보 제공에 대한 검증이 필수적일 것이다. 기존의 동적정보 서비스 평가는 통신 데이터 측면의 Packet Error Rate (PER), Signal to Noise Ratio (SNR), Latency 등이 일반적으로 활용되어 왔다(Ibanez-Guzman et al., 2010). 동적정보 서비스 또한 메시지에 포함된 데이터 전송이 중요하기 때문에 관련 요소의 평가가 중요하나 실제 도로 상에서 실시간으로 주행하고 있는 자율협력주행이 해당 정보를 사용한다는 점을 고려하였을 때, 정보 제공에 따른 서비스의 평가 더 중요하다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 자율협력주행에서 동적정보 서비스 역할의 적정성을 평가하기 위하여 통신 데이터 중심의 평가가 아닌 정보 서비스로서 역할을 수행하는 측면의 평가방법을 제안하였다. 이어서 2장에서는 선행연구를 고찰하였고, 3장에서는 선행연구를 바탕으로 방법론을 수립하였다. 4장에서는 방법론을 검증하기 위한 실험환경을 구성하였으며, 5장에서 실험에 대한 결과를 도출하였다. 마지막으로 6장에서 본 연구의 결과에 대한 결론으로 마무리하였다. 향후, 본 연구에서 제안된 동적정보 서비스 평가방법이 관련 정보제공 서비스의 평가에 활용되기를 기대한다.

II. LDM과 기존 평가 방법론

LDM은 유럽 표준기구(ETSI, 2011)의 정의에 따라 지도정보와 차량정보의 통합관리, 관리되는 정보의 이동 용이성을 포함하고 있는 포괄적인 개념이다. LDM이 최초로 검토된 프로젝트는 협력형 ITS(C-ITS)가 설계된 SAFESPOT Integrated Project(2011)이다. 본 연구에서는 동적정보 서비스 평가를 위해 SAFESPOT Integrated Project에서 제시한 LDM의 정의를 검토하였으며, 해당 연구결과를 기반으로 한 기존의 동적정보 평가 방법론을 고찰하였다.

1. SAFESPOT Integrated Project

SAFESPOT Integrated Project는 잠재적 위험상황을 사전에 감지하고, 감지된 정보를 운전자에게 제공하여 운전자가 주행 중인 주변 환경을 인식하는 범위를 확장하여 최종적으로는 교통사고 예방하는 것을 목표로 시작되었다. 해당 연구는 the European Commission Information Society Technologies among the initiatives of the 6th Framework Program의 지원을 통해 수행된 연구이다. 주요 연구 내용으로는 노변 정보 제공 및 해당 정보 기반 협력형 주의 경로 제공을 통한 측면충돌, 차로변경 지원, 차선유지 지원, 후방감지 및 적정 안전거리 유지 등 차량의 안전운전을 지원하는 내용이 포함되어 있으며, 이를 도식화한 내용은 <Fig. 1>과 같다.



<Fig. 1> SAFESPOT Integrated Project

SAFESPOT Integrated Project는 안전운전을 지원을 위한 차량 취득 정보 및 지도정보 관리를 위해 LDM을 정의한 후 연구를 수행하였다. 그러나 SAFESPOT Integrated Project에서 성과로 제시한 연구논문(Shimada et al., 2015; Netten and Wedemeijer, 2010; Schendzielorz et al., 2009; Zott et al., 2008)에서는 시뮬레이션 기반 평가 실험 방법 및 결과, 현장시험 결과(이탈리아, 서유럽, 독일, 네덜란드 및 스웨덴)만 제시할 뿐 LDM의 성능평가와 관련된 내용은 포함되어 있지 않는 것으로 확인되었다. 특히 LDM이 SAFESPOT Integrated Project에 얼마나 효과적으로 사용되었는지, 안전운전에 도움이 되었는지에 대한 영향 분석 또한 명확히 이루어지지 않았다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 LDM과 관련된 표준에 따라 그 내용을 구성하였으며, 그 중 대표적인 정보를 기준으로 LDM의 평가를 시행하고자 하였다.

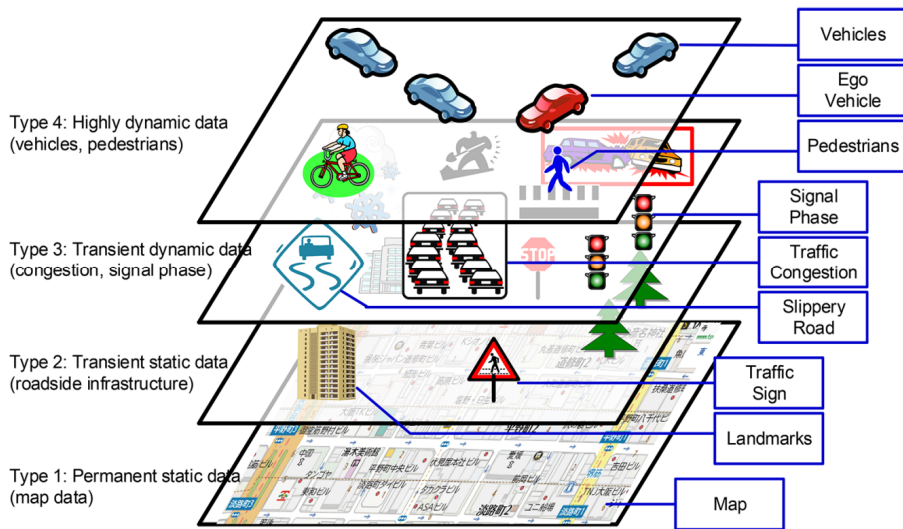
2. Local Dynamic Map(LDM)

SAFESPOT Integrated Project의 성과로 제시된 LDM에는 유럽에서 표준화 위원회의 의결에 따라 C-ITS 및

자율협력주행 개념이 적용되고 있다. C-ITS를 위한 데이터 관리 규격이라 할 수 있는 LDM은 <Fig. 2>와 같이 정보의 갱신주기를 기준으로 총 4개의 Layer로 구성된다(SAFESPOT, 2010).

SAFESPOT Integrated Project에서 LDM을 적용한 가장 큰 이유는 운전자가 운전석에서 윈드쉴드 밖의 모든 사물과 상황을 확인하여 운전하는 것이 불가능하기 때문이다. 특히 전방 차량으로 인해 전방 차량 앞에 위치한 공간상황에 대한 정보를 확보하는 것이 어렵기 때문에 발생 가능한 문제에 대한 신속한 대응이 불가능하고, 인접한 주변 공간에서 발생하는 상황에 대해 운전자가 즉시 확인하며 운전하는 것이 불가능하기 때문에 사고가 발생한다는 관점에서 연구를 진행하였다. 또한 정체의 지속 정도를 포함한 시간적 정보 또한 운전자가 판단하여 주행하는 것이 불가능하기 때문에 운전자에게 발생하는 시공간적 제약에 의한 안전사고를 미연에 방지하기 위한 정보 전달의 수단으로써 LDM을 구상하여 적용하였다.

일반적으로 Layer 1~2(<Fig. 2>의 Type 1과 2)는 정적정보(Static Data)에 해당하며, Layer 3~4(<Fig. 2>의 Type 3과 4)는 동적정보(Dynamic Data)에 해당한다. 정적정보에는 지도정보나, 경로탐색에 사용하는 주요 참조시설 정보(Landmarks), 도로 및 교통안전 표지(Sign) 등이 포함된다. 반면, 동적정보는 시시각각으로 변화하는 정보가 해당되는데, 변화의 주기가 상대적으로 긴 경우는 Layer 3(<Fig. 2>의 Type 3)의 정보로 대표적으로 정체상황 및 신호현시 정보가 해당된다. 또한 초 단위 갱신이 필요한 주행 차량(Ego Vehicle) 및 주변 차량 정보, 보행자 및 자전거 등의 이륜차 정보 등 위치가 실시간으로 변화하는 이동체(Moving Object) 정보가 Layer 4(<Fig. 2>의 Type 4)에 포함된다.



<Fig. 2> The four layers of the LDM

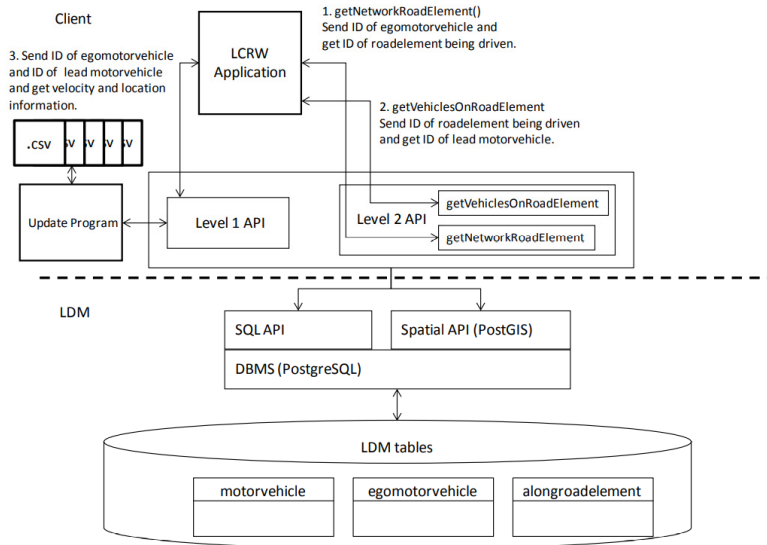
3. 기존 LDM 평가 방법

SAFESPOT Integrated Project에서는 전술한 것과 같이 안전도의 증진 여부에 한정된 결과만을 제시하였으며, 실제 연구 수행 과정에서 활용된 LDM의 기능 및 평가방법과 관련된 사항은 생략되어 있다. Roh(2020)에서는 연구의 한계를 지적하였으며, 자율주행 및 자율협력주행을 위한 LDM의 평가 방법에 대해 전반적으로 고찰한 바 있다. 그러나 LDM에 대한 기존의 평가 방법은 LDM을 통해 통합 관리된 데이터의 개별 속성 정

보에 대한 내용 보다는 정보가 송수신되는 환경, 즉 통신과 관련된 사항에만 한정되어 있으며 관련 연구 또한 제한적으로 수행된 것으로 확인되었다. Shimada et al.(2015)의 연구에서는 LDM 평가를 위해 정보의 응답 시간(Response Time)에만 한정된 평가 방안을 제시하였으며, 이는 다음의 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Response Time} &= \text{Warning-message Output Time} - \text{Sensing Time} \\ &= \text{Communication Delay Time} + \text{API Processing Time} + \text{Operations Processing Time} \dots\dots (1) \end{aligned}$$

해당 연구에서는 총 2대의 컴퓨터를 이용한 정보 송수신 환경을 구현하였으며, LDM 정보를 발신하는 컴퓨터는 <Fig. 3>과 같이 LDM, API, LCRW(Longitudinal Collision Risk Warning) 애플리케이션, 업데이트 프로그램 및 차량 데이터로 구성하였다. 가상환경 상의 다른 통신망과 접속 및 패킷의 손실이 전혀 없는 이상적 조건의 통신환경을 구현하고, 네덜란드의 300m²의 격자형 가로망 계획이 수립되어 있는 정사각형 도시를 모델로 시험하였다.



<Fig. 3> Architecture of experimental computer

해당 연구와 같이 기존 동적정보 평가 관련 연구는 LDM의 통신 영역에만 한정된 것 외에도 가상의 이상적인 조건 하에서만 관련 연구를 수행했다는 한계가 있다. 즉, 기존 선행연구에서는 실도로에서 취득한 실제 데이터를 활용한 정보의 신뢰도 확보여부를 확인할 수 있는 평가체계가 미흡하고 관련 연구 또한 수행된 바 없다는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 실제 데이터를 수집 및 활용한 동적정보 평가 실증을 수행하여 동적정보 서비스 평가 방안을 제안하고자 한다.

Ⅲ. 평가 방법 수립

자율협력주행에서 활용되는 동적정보는 차량 주행에 영향을 미치는 주요 정보로써, 1초 이내의 갱신 주기

를 가지고 지속적으로 변화하는 정보로 차량, 이륜차, 보행자와 같은 이동체 정보가 대표적이다. 이러한 이동체 정보는 지속적으로 위치정보가 변하기 때문에 자율협력주행 시 신속하게 인지해야하는 중요한 정보이다. 자율주행에서는 해당 동적정보를 차량의 센서를 통해 인지하나, 음영지역의 정보는 인프라의 도움을 받는 협력주행기술을 활용하게 된다. 본 장에서는 동적정보 서비스를 정의하고 목적에 맞는 평가척도를 선정하여 서비스를 평가하기 위한 방법론을 구상하였다.

1. 동적정보 서비스 범위

동적정보 서비스는 짧은 갱신주기의 동적정보를 차량에 제공하는 것으로 서비스의 주체는 도로 인프라, 서비스 대상은 차량으로 설정하였다. 즉, 자율협력주행 시 음영지역의 동적정보를 도로 인프라에서 인지 및 정보화하여 신속히 차량에 제공하는 서비스이다. 본 연구에서는 도로 인프라가 동적정보를 차량에 제공하는 서비스에 대한 평가 방법을 수립하기 위해, 다양한 동적정보 중 이동체 정보를 대상으로 연구를 수행하고자 하였으며, 그 중에서도 가장 중요하다고 판단한 보행자 정보를 대상으로 한 방법론을 수립하고자 하였다.

이동체 정보 중 보행자 정보는 일반적으로 보행자 위치, 이동속도, 헤딩 값(이동 방향), 현재 시간 등으로 구성된다. 자율협력주행에서 차량을 위한 동적정보 서비스에 기대되는 역할은 정확한 정보를 빠르게 전달하는 것이라 할 수 있다. 이 때, ‘정확한 정보’란 보행자가 실제로 존재할 때, 보행자를 존재하는 것으로 검지하였는가를 의미하며, ‘빠른 전달’이란 검지영역 안의 보행자를 얼마나 빨리 검지하고, 이후 해당 보행자 정보를 메시지로 만들어 전달하였는지를 의미한다. 이에 따라 본 연구에서는 보행자 정보의 특성을 반영하여 이동체 검출률, 이동체 검출 소요시간, 이동체 정보 LDM 처리 시간을 동적정보 서비스 평가 척도로 설정하였다.

2. 이동체 검출률

이동체 검출률은 검지영역 안의 보행자를 얼마나 정확히 검지했느냐를 의미한다. 따라서 실제 보행자 수와 정확하게 검지된 보행자 수를 이용하여 정확도를 계산하고 이를 목표치와 비교하여 이동체 검출률 평가를 수행한다. 식(2)는 이동체 검출률의 기본 개념 수식이다.

$$\text{Detection Rate (\%)} = (\text{Detected Number of Pedestrians} / \text{Actual Number of Pedestrians}) \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

<Table 1> Calculation method for moving object detection precision

Pedestrian #	Number of pedestrian frames detected	Number of pedestrian detection frames to be detected ($M_n = T/5, T=$)	Detection precision (%)
1	m_1	M_1	$\frac{m_1}{M_1} \times 100$
2	m_2	M_2	$\frac{m_2}{M_2} \times 100$
3	m_3	M_3	$\frac{m_3}{M_3} \times 100$
...
n	m_n	M_n	$\frac{m_n}{M_n} \times 100$
Average	-		$\bar{B} = \frac{\sum_{y=1}^n (\frac{m_y}{M_y} \times 100)}{n}$

자율협력주행 시 각 보행자별로 검출된 횟수의 정확도를 측정하 뒤, 모든 보행자의 평균 검출 횟수 정확도를 기준으로 최소 95% 이상 검출하여 차량에 전달하였는지를 기준으로 이동체 검출률을 평가하고자 한다. 이를 단계별로 표현한 결과는 다음의 <Table 1>과 같으며, <Table 1>의 \bar{B} 가 이동체 검출률을 산정하는 최종식이 된다.

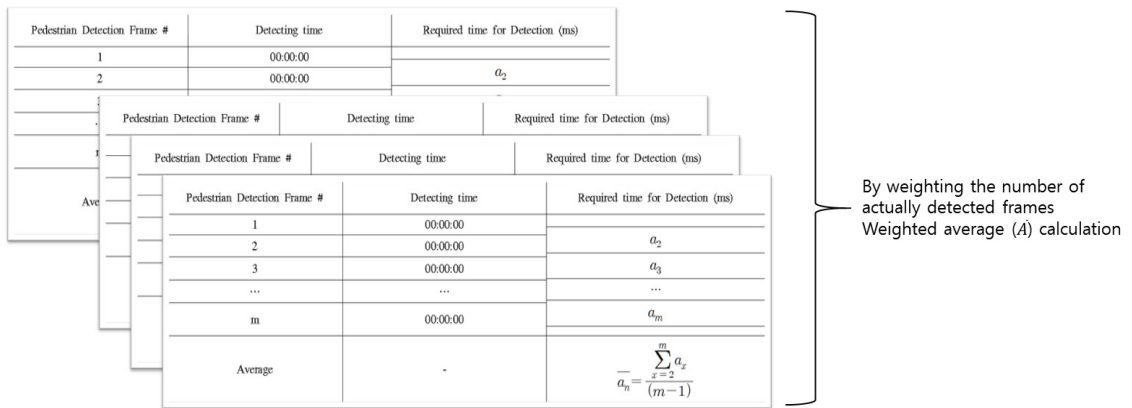
3. 이동체 검출 소요시간

영상 내 동일한 보행자에 대해 연속적으로 검지된 시간 간격의 평균 시간을 검출 소요시간으로 정의하였으며, 모든 검지된 보행자 데이터에 대해 검출시간을 계산하여 산출된 평균값을 목표치와 비교하여 평가한다. n 번째 보행자의 검출시간은 $n - 1$ 번째 보행자 검출시각에서 n 번째 보행자의 검출시각을 뺀 차이 만큼에 해당되며 이를 수식으로 표현하면 다음 식(3)과 같다.

$$n \text{ th Pedestrian Detection Time (ms)} = (n \text{ th Pedestrian Detection Time}) - (n-1 \text{ th Pedestrian Detection Time}) \dots \dots \dots (3)$$

<Table 2> Data log of the n th pedestrian

Pedestrian Detection Frame #	Detecting time	Required time for Detection (ms)
1	00:00:00	
2	00:00:00	a_2
3	00:00:00	a_3
...
m	00:00:00	a_m
Average	-	$\bar{a}_n = \frac{\sum_{x=2}^m a_x}{(m-1)}$



<Fig. 4> Weighted average calculation by weighting the number of frames

이를 누적하여 n 번째 보행자에 대해 검지한 모든 프레임 영상의 평균 검출시각(\bar{a})을 산정하며, 전체 평균 검출시간(\bar{A})은 각 보행자 검출 시나리오별 실제 검출된 프레임 수에 가중치를 부여한 가중평균으로 이동체 검출시각에 대한 평가를 시행한다. n 번째 보행자에 대한 평균 검출시각(\bar{a})을 산정하는 방법은 <Table 2>와 같으며, 전체 평균 검출시간(\bar{A})은 <Fig. 4> 및 식(4)에 의해 산출한다.

$$\bar{A} = \frac{\sum_{x=1}^n (\bar{a}_x \times m_x)}{\sum_{x=1}^n (m_x)} \dots\dots\dots (4)$$

m_n = Number of Pedestrian Detected Frames
 \bar{a}_n = Average Detected Time
 \bar{A} = Total Weighted Average Detection Time

4. 이동체 정보 LDM 처리시간

이동체 정보 LDM 처리시간은 검지기에서 검출된 보행자 정보가 메시지로 변환하여 차량에 전송되는 시간을 의미한다. 즉, 검지된 보행자 정보 수신된 시각과 이를 Local LDM(노변 인프라)에 저장하고, Local LDM에서 보행자 정보를 메시지로 변환 후 송신한 시각 간의 시간 차이로 처리시간을 정의하였다. 다음 식 (5)는 n 번째 보행자 정보를 기준으로 이동체 정보 LDM 처리시간의 산출 개념을 설명하고 있다.

$$\begin{aligned} & n \text{ th Pedestrian Information LDM Processing Time (ms)} \\ & = (n \text{ th Pedestrian RSA Message Transmission Time}) - (n \text{ th Pedestrian Information Local LDM Reception Time}) \\ & \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

최종 이동체 정보 LDM 처리시간은 식 (5)의 개별 보행자 정보 LDM 처리시간의 평균을 산출하여 검증하는 것으로 정의하였으며, 처리시간은 100ms 이내를 목표로 설정하였다.

IV. 실도로 실증 실험

앞서 제시한 자율협력주행의 동적정보 서비스 평가 방법의 실증을 위해, 경기도 화성시에 위치한 새솔동 수노을중앙로 일대에서 실험을 수행하였다. 본 장에서는 실도로 실험 환경과 보행자 정보 검지 및 가공 후 제공을 위한 인프라 시스템 구성에 대해 정리하였다.

1. 실도로 자율협력주행 실증 환경

경기도 화성시 새솔동의 수노을중앙로를 대상으로, <Fig. 5>와 같이 ❶ 새솔동 행정복지센터 앞 사거리, ❷ 대방 노블랜드 1차·3차 아파트 앞 사거리, ❸ 에코팜랜드 앞 사거리 등 3연속 교차로를 주요 구간으로 선정하여 동적정보 서비스에 대한 실증을 시행하였다. 수노을중앙로는 새솔동의 주요 간선도로에 해당하는 도로이며 왕복 6차로로 구성되어 있으며, 회전포켓이 위치한 구간 및 버스베이 인접구간은 최대 8차로로 구성

되어 있다. 교차로 간 이격거리는 ① 및 ② 교차로 사이는 500m, ② 및 ③ 교차로 사이는 400m이며, ① 및 ② 교차로 사이에 보행자 횡단보도(④)가 위치해 있다.



<Fig. 5> Demonstration test section



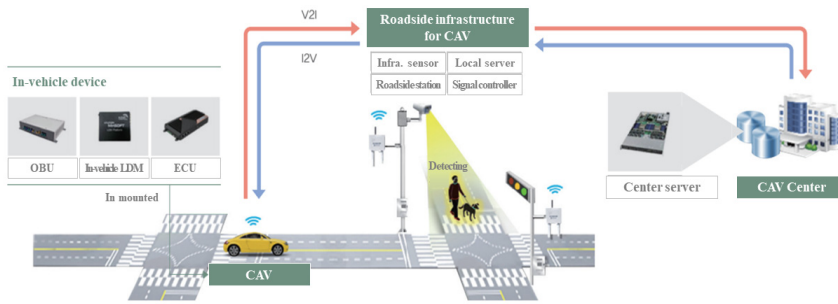
<Fig. 6> Pedestrian dummy

① 및 ② 교차로 사이에 위치한 횡단보도(④)에는 <Fig. 6>과 같이 보행자 더미를 활용하여 노변 인프라에서 보행자를 검지한 후, 자율협력주행 차량에게 정보를 제공하는 방법으로 실증을 수행하였다. 안전사고의 위험을 고려하여 실제 사람이 아닌 더미를 활용하였으며, 더미의 이동 조작은 횡단보도 후방의 안전한 지역에서 무선으로 더미의 위치를 조정하였다. <Fig. 6>과 같이 보행자가 출발하는 위치의 최인접 차로(3차로)에 불법주차 차량(<Fig. 6>의 검은색 차량)을 위치시킨 상태에서 실증을 수행하였으며, 횡단보도의 상류부 5m 지점에 자율협력주행차량이 도착하였을 때(<Fig. 6>의 흰색차량 위치) 보행신호가 적색임에도 불구하고 보행자가 무단횡단하는 상황을 재현하였다. 이때 보행자를 노변에 위치한 검지기가 실시간으로 보행자의 이동정보를 검지하고 LDM을 통해 자율협력주행 차량에게 정보를 전달하여 자율협력주행 차량의 센싱 사각지역의 보행자를 인식할 수 있도록 구성하였다.

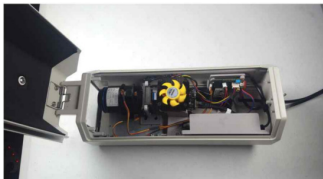
2. 자율협력주행을 위한 동적정보 시스템 구성

자율협력주행차량의 안전한 주행을 지원하기 위한 동적정보 시스템을 <Fig. 7>과 같이 화성시 새솔동에 구축하였다. <Fig. 5>의 ①, ②, ③ 교차로 및 횡단보도(④)에 노변 인프라(Local LDM)를 설치하였으며, 노변 인프라에서 수집된 데이터를 센터로 전송하도록 구성하였다. 센터로 전송된 정보는 2차정보로 가공되어 다시 노변 인프라로 전송된 후 차량에 전달된다. LDM Layer 4에 해당하는 동적정보 중에서도 안전에 직결되는 이동체 정보는 노변 인프라에서 자율협력주행 차량에게 직접 전달(Edge Computing)하도록 구성하였다.

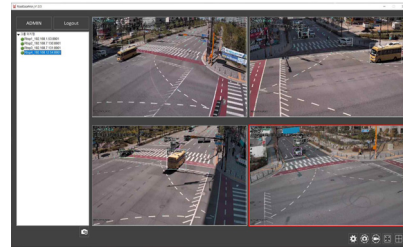
<Fig. 8>은 교차로 및 횡단보도에 설치하여 이동체를 검지하는 검지기의 외형이며, <Fig. 9>는 이동체 검지기를 통해 수집된 영상 및 이동체를 분석하는 화면이다. 해당 검지기를 통해 보행자의 위치정보(GPS 좌표계 기준), 이동체의 이동 속도, 각속도 및 방향 정보를 수집하여 자율협력주행차량에 전달하도록 구성하였다.



<Fig. 7> LDM system configuration for Autonomous cooperative driving



<Fig. 8> Moving object detector(Roadseer)



<Fig. 9> Collection scene

실증 시험에서는 안전을 고려하여 이륜차의 통행을 제한하였으며, 실증에 참여하는 자율협력차량을 제외한 타 차량의 주행을 차단하였기 때문에 자율협력주행에 노변 인프라만을 통해 수집하여 전달되는 데이터는 보행자 데이터가 유일하도록 환경을 설계하였다.

3. 보행자 데이터 수집

실증 실험을 통한 평가는 2021년 10월 21일 오전 10시부터 오후 3시까지 수행하였다. 이때 보행자 역할로 더미를 활용하였으며 자율협력주행 차량에게 이동체 동적정보 제공 서비스를 제공한 시간(12시 이후)내 운영된 총 15회의 전수 데이터를 이용하여 동적정보 서비스에 대한 평가를 수행하고자 하였다. 이때 이동체 검지기(Roadseer)를 통해 수집된 이동체 정보는 <Table 3>과 같이 로그파일 형태로 추출된다. 저장된 정보는 이동체의 수집시간, 이동체 종류, 이동체의 위치 좌표, 이동체의 이동 속도 등을 포함하고 있으며, 실증 실험 동안 수집된 데이터 로그를 설정한 시간만큼 저장한 뒤에 동적정보 서비스 평가에 활용하였다. 평가는 실증 회차별 보행자 더미를 1회 검지하므로 이를 정확히 검지하였는가에 대한 평가가 가능하다.

<Table 3> Example of data log

2021-08-30, 14:10:00.420	ROADSEER,210830,141000.088,V,0000000002,U,3714.5433,N,12646.4749,E,000,243,050,00000,00000*08
2021-08-30, 14:10:00.421	ROADSEER,210830,141000.088,V,0000000003,U,3714.5473,N,12646.4747,E,000,243,050,00000,00000*03
2021-08-30, 14:10:00.422	ROADSEER,210830,141000.088,V,0000000029,U,3714.5398,N,12646.4747,E,000,204,050,00000,00000*0A

이동체 검지기(Roadseer)에서 수집된 정보는 노변에 위치한 Local LDM으로 전송되며, 전송된 정보는 Local LDM에서 <Table 4>와 같이 메시지로 변환되어 자율협력주행 차량에게 전송된다. 정보를 발신한 시각, 전송

하는 정보의 종류(typeEvent) 및 정보의 내용을 포함하고 있다. 여기서 정보의 종류(typeEvent)를 기준으로 보행자 이벤트를 분류하고, Local LDM 정보 수신 시각(utcTime)과 송출시각(Heading Time)을 기준으로 정보의 처리 시각을 산출하였다.

<Table 4> Example of local LDM data log

```

2021-08-30, 14:12:38.462 S RSA={msgCnt=55 typeEvent=1025 position={utcTime={2021-08-30 10:29:33.944 +540}
long=1267749724 lat=372422145 elevation=284}}
2021-08-30, 14:12:38.625 S SPAT={timeStamp=347892[ id=101 revision=62 status=0000{ signalGroup=1{eventState=6
minEndTime=7750}}{ signalGroup=2{eventState=6 minEndTime=7780}}{ signalGroup=4{eventState=3 minEndTime=7780}}{
signalGroup=5{eventState=3 minEndTime=7980}}{ signalGroup=6{eventState=5 minEndTime=7630}}{\
signalGroup=8{eventState=6 minEndTime=7780}}{ signalGroup=10{eventState=3 minEndTime=8380}}{\
signalGroup=11{eventState=3 minEndTime=7980}}{ signalGroup=12{eventState=3 minEndTime=7980}}{\
signalGroup=13{eventState=3 minEndTime=8380}}{ signalGroup=14{eventState=3 minEndTime=7630}}{\
signalGroup=16{eventState=3 minEndTime=7780}}{ signalGroup=17{eventState=6 minEndTime=7750}}][ id=105 revision=62
status=0000{ signalGroup=1{eventState=3 minEndTime=7980}}{ signalGroup=2{eventState=3 minEndTime=7980}}{\
signalGroup=3{eventState=6 minEndTime=7700}}{ signalGroup=4{eventState=5 minEndTime=7700}}{\
signalGroup=5{eventState=3 minEndTime=8380}}{ signalGroup=6{eventState=3 minEndTime=7730}}{\
signalGroup=7{eventState=
2021-08-30, 14:12:38.964 S RSA={msgCnt=56 typeEvent=1025 position={utcTime={2021-08-30 10:29:33.944 +540}
long=1267749724 lat=372422145 elevation=284}}
    
```

V. 실도로 실증 실험 결과

안전한 자율협력주행을 위해 필요한 이동체 정보 중 보행자 정보를 기준으로 이동체 검출률, 이동체 검출 시간, 이동체 정보 LDM 처리시간을 산출한 뒤, 동적정보 서비스 평가를 시행하였으며 세 가지 평가 척도에 따른 실험 평가 결과는 다음과 같다.

<Table 5> Result of the *n*th pedestrian's Detecting time

Experiment round	Number of pedestrian detected frames (m_n)	Number of pedestrian detection frames to be detected ($M_n = T/5, T = Total\ detected\ time(sec)$)	Detection precision (%)
1	105 times	105 times	100 %
2	90 times	90 times	100 %
3	105 times	105 times	100 %
4	105 times	105 times	100 %
5	70 times	70 times	100 %
6	95 times	95 times	100 %
7	80 times	80 times	100 %
8	78 times	80 times	97.5 %
9	35 times	35 times	100 %
10	105 times	105 times	100 %
11	55 times	55 times	100 %
12	80 times	80 times	100 %
13	55 times	55 times	100 %
14	105 times	105 times	100 %
15	53 times	55 times	96.4 %

1. 이동체 검출률

총 15회 보행자 더미를 운영하여 시험한 결과, 시험 8회차(78번 검출) 및 15회차(53회 검출)에서 각 2회씩 보행자를 검출하지 못한 프레임이 발견되었다. <Table 5>는 이동체 검출 횟수를 산출한 결과이며 이를 <Table 1>에 제시한 \bar{B} 의 산정식에 적용한 결과, 이동체 평균 검출률은 99.6%로 도출되었다.

2. 이동체 검출 소요시간

실험에서 이동체 검출 소요시간은 200ms 이하를 목표로 설정하였으며, 이 기준은 초당 5장을 검출하는 것을 의미한다. <Table 2>에 제시한 방법으로 이동체 검출 소요시간을 산출하였으며, 각 회차별 검출 소요시간을 기준으로 그 결과를 정리하여 <Table 6>과 같이 도출하였다. <Table 6>의 Detected Time이 n번째 보행자의 평균 검출 소요시간(\bar{a}_n)이며, 식 (4)에 적용하여 산출한 최종 이동체 검출 소요시간(\bar{A})은 200ms 이하로 도출되었다.

<Table 6> Result of the nth pedestrian's Detecting time

Experiment round	Experiment time	Number of pedestrian detected frames (m_n)	Detected time (\bar{a}_n) (average, round off decimal point)
1	12 : 04	105 times	200 ms
2	12 : 12	90 times	200 ms
3	12 : 13	105 times	200 ms
4	12 : 33	105 times	200 ms
5	12 : 39	70 times	199 ms
6	12 : 57	95 times	199 ms
7	13 : 06	80 times	199 ms
8	13 : 34	78 times	200 ms
9	13 : 35	35 times	200 ms
10	14 : 08	105 times	199 ms
11	14 : 09	55 times	200 ms
12	14 : 19	80 times	200 ms
13	14 : 21	55 times	200 ms
14	14 : 31	105 times	200 ms
15	14 : 32	53 times	200 ms

3. 이동체 정보 LDM 처리시간

실증을 통해 실제 처리한 LDM 데이터는 총 3,894건의 메시지로, 식 (5)에 의해 도출한 이동체 정보의 평균 LDM 처리시간은 19.0ms로 측정되었다. 이를 처리 시간을 기준으로 정리하면 <Table 7>과 같다.

<Table 7> Distribution of LDM processing time

processing time	Number of cases	processing time	Number of cases
≤ 10 ms	1,209	≤ 90 ms	7
≤ 20 ms	2,162	≤ 100 ms	7
≤ 30 ms	121	≤ 200 ms	69
≤ 40 ms	33	≤ 300 ms	14
≤ 50 ms	68	≤ 400 ms	2
≤ 60 ms	154	≤ 500 ms	3
≤ 70 ms	29	≤ 1000 ms	5
≤ 80 ms	11	Sum	3,894

VI. 결 론

센서 중심의 stand-alone 자율주행은 사각지대에서 접근하는 이동체의 영향 및 센싱 오류를 포함하여 아직까지는 완전 자율주행을 달성하기에 구조적인 한계가 있다. 이를 극복하기 위하여 인프라와 차량이 서로 정보를 교환하여 자율주행을 구현하는 자율협력주행 방식이 현재 국내에서는 다각도로 연구되고 있으나, 자율협력주행을 연구하고 실증함에 있어 차량에게 전달되는 동적정보에 대한 평가 방안은 미흡한 실정이다. 기존의 평가 방법은 정보가 이동하는 환경인 통신분야에서 데이터의 지연율을 기준으로 평가하는 방법을 중심으로 사용되어, 자율협력주행을 위해 필요한 정보가 갖추어야 할 기준이 명확하게 제시되지 않았다는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 동적정보가 자율협력주행 차량이 필요로 하는 동적정보가 적시·적소에 전달되도록 정보의 정확도와 함께 정보가공 및 처리시간을 포함한 종합적 평가가 가능한 동적정보 서비스 평가 방법론을 제시하였다.

수립된 동적정보 서비스 평가 방법론을 검증하기 위하여 경기도 화성시 새솔동에 실증현장을 마련하였으며, 실제 차량을 대상으로 실증실험을 수행하였다. 실험 결과, 해당 평가 방법론을 적용하였을 때, 이동체 검출률 99%, 검출 소요시간 200ms/건, 이동체 정보 LDM 처리시간 19ms/건의 결과가 도출되었다. 이에 따라 본 연구에서 설정한 동적정보 서비스 평가 방법론 상의 자율협력주행에 필요한 정보의 요구조건인 이동체 정보의 검출률, 검출 소요시간, LDM 처리시간에 대한 목표를 달성하였음을 확인하였다.

본 연구는 통제된 환경에서 자율협력주행 차량만이 수행하는 이상적인 환경조건에서 측정된 결과를 바탕으로 동적정보 평가를 수행하였고, 자율협력주행 시 활용되는 동적정보 중 보행자 정보만을 대상으로 실증을 수행하였다는 한계가 있다. 그러나 일반차량 및 이륜차에 대한 정보처리는 보행자 정보처리와 학습데이터의 차이만 있을 뿐, 동일한 알고리즘 프로세스를 기반으로 처리되기 때문에 이동체 특성에 따른 평가 방법에는 차이가 없다고 판단된다. 따라서 향후 실증 환경 확장 시, 본 연구에서 제시한 동적정보 서비스 평가 방법론을 적용한 평가가 가능할 것이다. 또한 본 연구에서는 이동체 정보 수집 및 전달에 따른 평가 방안만을 포함하고 있기 때문에, 향후 연구에서는 자율협력주행 차량과 협력주행을 수행 시 동적정보 시스템의 부하 및 일반차량과 혼재된 상황에서의 자율협력주행에 대한 효과를 확인할 수 있도록 해당 평가 방안의 범위를 확장할 수 있는 후속연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

상기와 같은 연구의 한계가 있음에도 불구하고 본 연구 결과는 앞으로 더욱 확대될 자율협력주행을 위한 동적정보(LDM) 연구에 있어, 기본적으로 갖추어야 할 요구사항 기준을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

또한 동적정보(LDM)를 단순히 통신환경 상에서 전달되는 무엇이 아닌, 자율협력주행에 가장 중요한 역할을 담당하는 정보라는 측면에서 LDM을 바라보는 관점의 전환에 기여할 것으로 기대된다. 또한 단순히 지연 없이 전달되어야 하는 무엇인가가 아닌, 자율협력주행 구현에 없어서는 안될 도로·교통 정보로의 LDM 역할을 보다 정확하게 평가하여, 동적정보가 보다 안전한 자율협력주행이 이루어질 수 있도록 하는데 기초적인 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 “도심도로 자율협력주행 안전·인프라 연구” 과제의 지원으로 수행되었습니다. (21PQOW-B152473-03).

REFERENCES

- Cho, S. H.(2021), “M.E.C.A Era, Changes in the Automotive Industry Environment and Response Strategies for Parts Companies”, *The 164th CEO's Breakfast Meeting*, The National Academy of Engineering of Korea.
- European Telecommunications Standards Institute(ETSI)(2011), *Intelligent Transport Systems(ITS): Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map(LDM) Rationale for and Guidance on Standardization*, ETSI TR 102 863 (V1.1.1).
- Ibanez-Guzman, J., Lefevre, S., Mokkadem, A. and Rodhaim, S.(2010), “Vehicle to Vehicle Communications Applied to Road Intersection Safety, Field Results”, *2010 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems(ITSC)*, Funchal, 19-22 September 2010, pp.192-197.
- Ministry of Trade, Industry and Energy(2021), *Launching Technology Development of Autonomous Driving Level 4+*, Press Release.
- Ministry of Trade, Industry and Energy,
https://www.motie.go.kr/motie/ne/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=164281&bbs_cd_n=81, 2021.12.11.
- Netten, B. and Wedemeijer, H.(2010), “Testing Cooperative Systems with the Mars Simulator”, *2010 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Symposium*.
- Roh, C. G.(2020), “Configuration and Evaluation of Local Dynamic Map Platform for Connected Automated Driving in Urban Roads”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 38, no. 1, pp.42-57.
- SAFESPOT Integrated Project, <http://www.safespot-eu.org>, 2021.12.03.
- SAFESPOT(2010), *SAFESPOT SP 7 SCORE-SAFESPOT Core Architecture, D7.3.1 Annex2-LDM API and Usage Reference*,
http://www.safespot-eu.org/documents/SF_D7.3.1_Annex2_LDM_API_and_Usage_Reference_v0.

7.pdf, 2021.12.03.

SAMJONG Klynveld Peat Marwick Goerdeler(KPMG) Newsletter,

<https://home.kpmg/kr/ko/home/newsletter-channel/202105/market-reader.html>, 2021.12.10.

Schendzielorz, T., Vreeswijk, J. and Mathias, P.(2009), “Intelligent Cooperative Intersection Safety Implementation, Test and Evaluation”, *Proceedings of the 16th ITS World Congress*.

Shimada, H., Yamaguchi, A., Takada, H. and Sato, K.(2015), “Implementation and evaluation of local dynamic map in safety driving systems”, *Journal of Transportation Technologies*, vol. 5, no. 2, pp.102-112.

Zott, C., Yuen, S. Y., Brown, C. L., Bartels, C., Papp, Z. and Netten, B. D.(2008), “Safespot Local Dynamic Maps-Context-Dependent View Generation of a Platform’s State & Environment”, *Proceedings of the 15th ITS World Congress*.