

# 자율주행차량 상황 정보 알림 시스템

## Autonomous Vehicle Situation Information Notification System

김진우\* · 김기태\*\* · 민경욱\*\*\* · 최정단\*\*\*\*

\* 주저자 및 교신저자 : 한국전자통신연구원 자율주행지능연구실 선임연구원  
\*\* 공저자 : 한국전자통신연구원 자율주행지능연구실 연구원  
\*\*\* 공저자 : 한국전자통신연구원 자율주행지능연구실 실장  
\*\*\*\* 공저자 : 한국전자통신연구원 지능로봇시스템연구본부 본부장

Jinwoo Kim\* · Kitae Kim\* · Kyoung-Wook Min\* · Jeong Dan Choi\*\*

\* Autonomous Driving Intelligence Research Section, ETRI  
\*\* Intelligent Robotics Research Division, ETRI

† Corresponding author : Jinwoo Kim, jwkim81@etri.re.kr

Vol. 22 No.5(2023)  
October, 2023  
pp.216~223

pISSN 1738-0774  
eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.5.216>

Received 27 September 2023  
Revised 16 October 2023  
Accepted 24 October 2023

© 2023. The Korea Institute of  
Intelligent Transport Systems. All  
rights reserved.

### 요약

자율주행차량의 기술과 수준이 발전하고 보다 다양한 도로 환경에서 주행함에 따라 차량이 직면한 상황을 해결하고 대응하기 위한 직관적이고 효율적인 상호작용 시스템이 필요하다. 자율주행의 관점에서의 주행 기술 개발은 사람 혹은 그 이상의 상황을 대응하기 위한 궁극적인 목표를 가지고 있다. 특히, 복잡하고 상호 양보해야 하는 도로환경에서는 차량 간 혹은 보행자와 차량 간의 서로의 상황을 이해할 수 있는 효율적인 의사소통에 대한 방법을 통해 유연한 대처가 가능한 시스템의 역할이 중요하다. 차량의 상태 혹은 직면한 상황을 해결하기 위해서는 정보의 제공과 방법이 직관적이고 의도에 대한 상호 작용을 통해 효율적인 자율주행 차량을 운영해야 한다. 본 논문에서는 리빙랩에 주행하는 자율주행차량이 다양하고 복잡한 환경에서 안정적이고 효율적인 주행을 하기 위해 차량이 처한 상황에 대한 정보를 표출할 수 있는 차량 구조와 그 기능을 설명한다.

핵심어 : 자율주행, 정상/비정상 상황 대응, 차량-보행자 상호작용

### ABSTRACT

As the technology and level of autonomous vehicles advance and they drive in more diverse road environments, an intuitive and efficient interaction system is needed to resolve and respond to the situations the vehicle faces. The development of driving technology from the perspective of autonomous driving has the ultimate goal of responding to situations involving humans or more. In particular, in complex road environments where mutual concessions must be made, the role of a system that can respond flexibly through efficient communication methods to understand each other's situation between vehicles or between pedestrians and vehicles is important. In order to resolve the status of the vehicle or the situation being faced, the provision and method of information must be intuitive and the efficient operation of an autonomous vehicle through interaction with intention is required. In this paper, we explain the vehicle structure and functions that can display information about the situation in which the autonomous vehicle driving in a living lab can drive stably and efficiently in a diverse and complex environment.

Key words : Autonomous driving, Response to normal/abnormal situations, Vehicle-pedestrian interaction

## I. 서 론

### 1. 개요

최근 자율주행차량은 보다 다양하고 복잡한 환경에 대응하기 위한 기술 개발로 발전하고 있으며 도로 상 발생 가능한 상황에 유연하게 대응하기 위한 연구와 기술 개발이 확대되고 있다. 미국의 경우 24시간 자율주행 서비스 규제 환경이 갖춰지면서 웨이모(Waymo)와 크루즈(Cruise) 또한 Lv.4 수준의 자율주행차량을 운전자 없는 상태로 운영하고 있다(WAYMO, 2023). 사용자 혹은 도로 환경 조건에 따라 차량의 움직임 및 상황에 대한 부작용이 발생하고 있지만 수준 높은 자율주행 기술을 보유하고 대규모 투자가 이루어지는 기술 연구개발 조건에서도 다양한 개선 사항이 필요하다는 것을 알 수 있다. 자율주행 기술의 발전은 나날이 고도화되고 있지만 수많은 상황 들을 모두 대응하기에는 한계가 존재하며 정의된 운행가능영역(ODD:Operational Design Domain) 내에서 최대한 유연하게 자율주행 혹은 연계된 서비스가 운영될 수 있는 기술적 보완이 필요하다(SAE, 2020). 또한, 자율주행의 ODD는 기하구조적, 운영적, 환경적 요인을 포함한 다양한 조건이 자율주행 성능적인 영향을 미칠 수 있고(Kim et al., 2020), 그 범위 내에서도 자율주행 관점에서 다양한 돌발 및 회피하는 상황은 언제든지 발생할 수 있다. 이는 자율주행 시스템이 인간 혹은 그 이상의 수준의 문제를 해결해야 할 상황으로 인간이 주행 시 주변 객체와 상호작용하는 요소도 고려해서 해결할 필요가 있다. 자율주행의 서비스 중 하나의 로보택시에 대한 외관 및 직관적인 안내에 미치는 요인 중 돌발 상황에 대한 명확한 정보 제공과 주행에 관련한 직관적인 정보 제공 또한 중요한 요인 중 하나이다. (Ha et al., 2023)

본 논문에서는 자율주행 서비스가 이루어지는 환경에서 자율주행차량의 상태와 상황을 주변 차량 및 공유 서비스를 포함한 모빌리티 사용자 혹은 보행자에게 직관적으로 정보를 제공하여 소통이 가능한 시스템을 제시하고자 한다. 도로상에서 자율주행 중 긴급, 돌발 혹은 소통이 필요한 상황을 보다 유연하고 효과적으로 대응이 가능한 차량 외관 사용자인터페이스(UI: User Interface)와 사용자경험(UX: User Experience) 구조 설계 및 실제 차량에 적용한 결과를 제시하여 향후 개발되는 자율주행차량 제작에 있어 정보를 제공하고자 한다.

### 2. 관련 연구

자율주행 무인 서비스를 오후 10시 이후에서 새벽 6시까지만 운영하던 웨이모(Waymo)와 크루즈(Cruise) 또한 Lv.4 수준의 자율주행차량을 운전자 없는 상태로 운영하고 있으며(CNBN, 2023) 최근 미국의 경우 24시간 자율주행 서비스 규제 환경이 갖춰지면서 서비스 영역을 확대하고 있다(JALOPNIK, 2023). 대규모 투자로 연구개발을 진행하는 글로벌 회사가 보유하고 있는 수준 높은 자율주행 기술임에도 사용자 혹은 도로 환경 조건에 따라 차량이 처한 상황을 개선 사항은 상시 존재하고 있음을 알 수 있다.

특히, 복잡한 환경 중에서도 신호가 있는 교차로 환경과 도로 방향에 대한 지시 정보를 포함하는 인프라 환경에서 보행자와 차량 간에 상호 바라보는 표기 방식과 받아들이고 행동하는 방식 방식에 있어서 인지하고 행동하는 시점까지의 소요 시간을 기준으로 설명하고 있다.(Fengjiao et al., 2023). 자율주행차량의 실내 환경에서 인간과 머신 인터페이스(HMI: Human Machine Interface)를 시선, 말, 표시장치, 3차원 음향을 고려해서 내적 영향에 따른 외적 표출을 정의하고 있다(Yinshuai et al., 2018). 자율주행차량과 외부 객체 혹은 보행자와의 상호작용도 마찬가지로 직관적으로 상호 인지하고 행동할 수 있는 자율주행차량을 위한 UI/UX가 필요하다(Riener et al., 2022). 교차로 환경에서 주행 시 차량 간 혹은 보행자 간의 준수해야 할 교통법규는 있지만 상호 소통에 따라 양보하는 행동을 통해 대응할 수 있는 학습 방법도 필요하다(Zhu and Zhao, 2023).

## II. 본 론

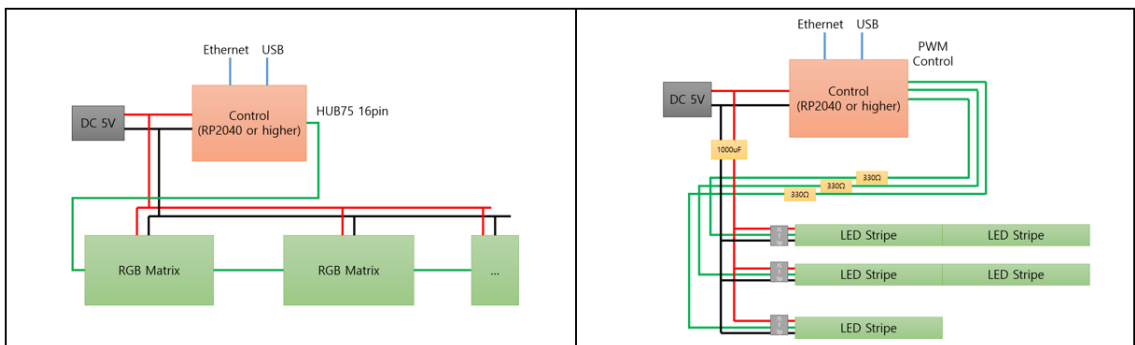
일반 차량이 혼재된 도로 환경에서 자율주행차량의 상태 및 상황을 주변 차량과 보행자들이 직관적으로 인지할 수 있는 알림 시스템의 설계 및 구동 방식을 설명한다. 본 시스템은 자율주행차량의 상태를 다양한 움직임, 색상, 영상, 텍스트 등으로 표현할 수 있는 차량 구조물과 실시간 조작이 가능하도록 설계하였다. 또한, 차량 주변 이동 객체 상황에 맞는 정보를 제공할 수 있도록 실제 차량에 탑재한 구조물과 연동을 위한 응용 프로그램도 제시한다. 제안하는 자율주행 상황 알림 시스템 설계의 핵심은 운행하는 범위 및 목적에 따라 주행 시 발생하는 상황 정보를 직관적인 UI/UX를 통해 주변과 유연하고 효율적으로 소통하는 것으로 실시간 대응이 가능한 구조와 설계 방법을 설명하고 실제 자율주행시스템과 연동한 결과를 제시한다.

### 1. 자율주행차량 상황 정보 알림 구조 설계

자율주행차량의 루프에는 전면의 정보 표기를 위한 목적으로 다중 매트릭스 LED 기반의 기구물과 측면 및 중앙 라이더 센서 하단의 스트라이프 LED로 구성되어 있다. 상기 두 가지 모듈은 독립적으로 동작하며 자율주행의 인식.판단.제어 모듈에서 제공하는 차량의 정상/비정상 정보를 사전에 정해진 UX를 제공할 수 있도록 설계되어 실제 자율주행시스템과 연동 가능한 방식을 제시한다.

#### 1) 다중 매트릭스 및 스트라이프 LED 구조 설계

본 자율주행차량의 주행 환경 알림 시스템은 단순한 텍스트를 일방적으로 제공하여 주변에서 인식하여 대응하는 방식이 아닌 LED의 다양한 형태 및 구조를 통한 직관적이고 집중도 있는 상황을 제시하고자 한다. 자율주행 차량의 내외부적 환경을 고려하여 빠르고 효율적인 시각적 정보를 제공하기 위해 전방 LED 구조는 6개의 정사각형 형태의 도트 매트릭스(64×64) 모듈을 순차적으로 연결한 직사각형 형태로 구성하였다. 각 매트릭스는 다중 매트릭스의 경우 차량에서 제공하는 전원의 공급량과 사용자에게 이질감 없는 표현을 위해 최소 동작 주기는 15Hz로 설정하고 패넬을 병렬 구조로 연결하여 지연에 대한 문제를 해결했다. 다중 매트릭스의 구성은 <Fig. 1>의 왼쪽과 같이 임베디드 모듈에 연결되어 여러개의 패넬이 하나로 동작할 수 있도록 순차적으로 연결하는 방식으로 설계하였다. 스트라이프 LED를 제어하기 위해 <Fig. 1>의 오른쪽과 같이 3개의 모듈로 구분하여 제어도 가능하고 동시 처리도 가능하도록 설계하였다. 매트릭스의 클라이언트 프로그램은 임베디드 모듈과 이더넷 혹은 USB로 연결되어 사용자 설정에 따른 제어가 가능하고 자율주행차량 시스



<Fig. 1> LED structure design Multi-matrix(left) and stripe(right)

템 컴퓨팅 시스템에서 동작한다. 다중 매트릭스 클라이언트는 자율주행차량의 인식-판단-제어 모듈에서 전송되는 차량의 상태, 정상/비정상 상황에 따라 정의된 UI/UX로 표출되도록 인터페이스를 정의하였다.

특히, 매트릭스 LED에 표현 정보는 낮 환경에서 태양의 고도나 빛의 세기에 따라 외부에서 원하는 수준만큼 색상 인지가 안 되는 상황 때문에 반복 테스트를 진행한 결과 LED에서 처리 가능한 최고 전압 세기의 85% 수준이 최적의 휘도를 표현이 가능한 것을 확인했다.

### 2) 다중 매트릭스 LED 제어 클라이언트

자율주행차량의 상황을 알리기 위해 사용되는 전방에 장착되는 다중 매트릭스 시스템은 정적, 동적 이미지를 표출을 통해 주변에 대한 집중도를 높이는 단계와 텍스트를 통해 구체적인 상황에 대한 정보를 자율주행차량에서 전달하는 실시간 입력 또는 사전에 정의된 메시지를 표출이 필요하다. 본 논문에서는 자율주행차량의 운영자 혹은 시스템이 상황에 적절한 다양한 메시지나 영상을 선택하여 출력할 수 있는 기능을 효율적인 설정이 가능한 GUI 방식을 <Fig. 2>와 같이 제공한다. 구체적으로 필요한 설정 기능은 매트릭스 LED 제어 모듈과 클라이언트는 통신을 위한 IP 설정을 차량 시스템 시작 시 초기 화면에 표기된 주소를 입력하고 붉은색, 초록색, 파란색, 흰색으로 구분하여 확인한다. 사용자가 사전에 정의해 둔 이미지나 동영상을 선택적으로 재생 및 반전 기능을 통해 다양한 정보 표현이 가능하다. 해당 모듈에서 입력되는 사전에 정의된 정적/동적 영상들은 차량의 인지/판단/제어 모듈에서 입력된 정보에 따라 자율주행 시스템 문제와 주행 중 도로 환경에서 발생한 정상/비정상 상황에 따라 다르게 표현하여 실제 도로 환경에서 발생하는 다양한 돌발 및 비정상 상황 알림 정보와 연동한다.

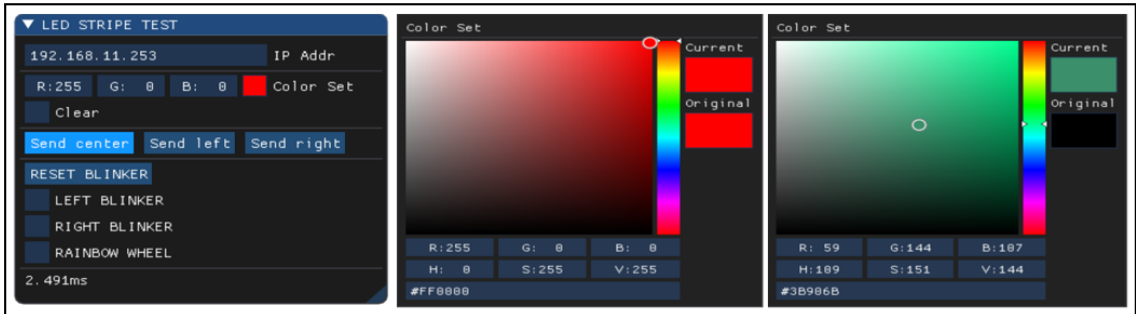


<Fig. 2> Multi-matrix LED main control client GUI(left), configuration of playing video(middle) and static image(right)

### 3) 다중 스트라이프 LED 제어 클라이언트

다중 스트라이프로 표출 가능한 정보는 매트릭스로 표현하는 방식보다는 의미적인 한계가 있지만 직관적이고 집중적인 역할이 가능한 것이 목적이다. 차량의 루프에 전방위로 장착함으로써 자율주행차량의 상황을 직관적으로 인지할 수 있는 구성이 필요하고 다양한 움직임과 색상으로 주변의 관심과 이목을 집중하기 위한 기능이 필요하다. 본 자율주행차량의 구성에서는 루프의 왼쪽, 오른쪽, 우측에 장착된 스트라이프 LED를 3개의 모듈로 구분하고 차량의 상태 정보를 정적, 동적 이미지로 표현하고 다양한 색상과 깜빡임 속도 제어, 순차적 변화 등의 방법을 통해 직관적으로 다양한 차량 상황을 표출할 수 있도록 구성했다. 자율주행 시스템 혹은 사용자가 상황에 따라 다양한 메시지나 동영상을 스트라이프의 색상과 움직임 기능 설정을 제공하고 효율적인 조작과 확인 기능이 포함된 GUI를 <Fig. 3>과 같이 구성한다. 스트라이프 LED 클라이언트는 자율

주행차량에 탑재된 LED 시스템을 제어하는 기능을 제공하고 3개의 스트라이프 모듈을 독립적 혹은 동시 운영이 가능하도록 설계하였다. 이는 자율주행차량의 상황에 대한 인지 정보가 입력되었을 때 차량을 바라보는 방향에 따라 다른 위치에 존재하는 객체로 적응형 정보를 제공함과 동시에 차량의 서비스 혹은 주행 목적과 범위에 따라 다른 방식으로 표현이 가능하여 주변에 상황을 효율적으로 전달할 수 있다.



<Fig. 3> Multi-stripe LED main control client GUI, example of selecting the color red(left) and green(right)

## 2. 자율주행차량의 정상/비정상 상황 알림 UI/UX

도로 환경에서 운행하는 자율주행차량의 상태, 정상/비정상으로 주행할 때 표출이 가능한 정보를 차량에 탑재된 매트릭스 및 스트라이프 LED로 표현하는 종류를 정의한다. 정보 표출의 정의 기준은 정상, 긴급, 대응, 동작, 시스템 문제를 주변에 알리기 위한 표현 기능과 차량과 보행자 간의 알림과 소통에 있어 필요한 상호작용 메시지 전달 방법도 설명한다.

### 1) 차량 상황 정보 표출 UI

차량의 이상 상태일 경우 직관적인 외부 정보 표출을 위한 사용자 경험(UX)과 자율주행 최소 특정 구역 내에서 발생하는 문제를 자율주행차량의 주변 환경에 따른 정상/비정상 상황의 정보와 자율주행 시스템 한계 및 문제로 인한 이상 상태에 대한 정보로 구분하여 대응하기 위해 설계한다. <Fig. 4>의 왼쪽은 자율주행차량의 상태를 문구와 영상으로 표출하기 위해 다중 매트릭스 LED로 구성된 UI이다. 총 6개의 매트릭스 LED를 직렬로 이어 구성하였으며 햇빛에 의한 선명도 개선을 위해 음영으로 구조물을 제작하였다. <Fig. 4>의 오른쪽은 스트라이프 LED가 중앙, 왼쪽, 오른쪽에 구성되어 전방위로 차량의 상태를 직관적으로 표현하기 위한 UI이다. 차량 루프 가운데의 라이더 하단의 중앙 스트라이프의 역할은 센서의 상태와 자율주행의 정상, 비정상, 준비에 대한 표현하는 기능을 수행한다. 양쪽 측면의 스트라이프 LED는 자율주행 중 주변에 존재하는 사람에 의해 조작되는 이동 객체와 직관적인 소통이 가능하다. 예를 들면, 자율주행차량이 비신호 횡단보도 앞에 좌측 혹은 우측에서 횡단하는 보행자의 위치를 고려해서 직관적인 의미 전달이 가능하기 위함이다. 즉, 자율주행차량 중심으로 주변의 이동 객체는 서로 다른 상황에 있고 차량과 소통하는 목적과 방법도 다르기 때문이다. 이를 위해서 스트라이프 LED를 가운데, 좌측, 우측 3개를 독립적 혹은 동시에 제어하도록 설계하였다. 또한, 전방 매트릭스 LED와 연계하고 자율주행차량의 주변 상황을 인지한 결과를 활용하여 다양한 상황에 대해 직관적이고 유기적으로 차량의 상황에 대한 대응이 가능하다. 다양한 날씨 및 조도 환경에 따라서 LED의 밝기를 적응형으로 조절하여 외부에서 차량에서 표출하는 상황에 대해 보다 명확하게 인지할 수 있도록 설계하였다.



<Fig. 4> Autonomous Driving Vehicle situation information display UI design for frontal LED matrix(left) and multi stripe LED structure(right)

2) 차량 상황 정보 표출 UX

자율주행차량의 상태 및 상황을 전달하는 기능적 정의 및 범위에 따라 표출하고자 하는 도구의 역할로써 어떤 전방 매트릭스 또는 멀티 스트라이프 LED로 구성된 UI를 결정한다. 이와 동시에 UI를 통해 표출되는 다양한 디자인과 문구로 구성되는 UX를 <Table 1>과 같이 구분한다. 정의된 UX를 통해서 차량의 상태, 주변 차량 혹은 보행자에게 상황에 맞는 사운드와 LED 움직임, 색깔 등으로 전달하고자 하는 정보에 대한 집중도를 표현하고 직관적인 메시지를 전달한다. 본 논문에서 제시한 자율주행 상황 알림 시스템에서 정의된 UX와 상응하는 동작 기능에 따라 전하고자 하는 정보나 상황을 추후 다양한 목적에 따른 UX로 추가 확장이 가능하다. <Table.1>의 첫 번째 줄은 측면 스트라이프 LED의 움직임을 연속적인 흐름과 부분 점멸 흐름으로 표현 가능하고 색상도 실시간으로 변경 가능함을 보여준다. 두 번째 줄의 예시는 전면과 3개의 스트라이프를 동시에 같은 색상으로 표현하여 차량 상황을 보다 강하고 직관적으로 인지할 수 있는 것을 나타낸다. 세 번째 줄은 깜빡임 주기와 속도를 전면과 측면의 LED 모듈을 조합하여 표현 가능한 UX이다. 이를 통해 차량 주변 객체의 위치에서 시각적으로 인지가 가능한 UI를 선택하고 상황에 맞는 UX로 표현이 가능하다. 이와 같이 본 논문에서 제시한 자율주행 상황 알림 시스템은 기존의 자율주행 차량에서 제시하는 단순 정보 표출과 달리 주변 상황을 인지한 정보를 바탕으로 상황에 맞는 표현 범위를 확대할 수 있으며 실도로 환경에서 활용 가능한 직관적인 UI/UX를 제시하였다.

<Table 1> User Experience for Interaction of Autonomous Vehicle: Stream and spot positioning moving of stripe LED(top), changing the color and text expression of LED(middle), action of blink and color mode for combination(bottom)

UX	Type
Stream & Spot positioning	
Color & Text	
Blink & Color	



### Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 자율주행차량이 도로상에서 운행 중에 발생이 가능한 다양한 상황에 대응하기 위해서 주변의 이동 객체와 상호작용이 가능하도록 자율주행 상황 알림 시스템을 제시하였다. 기존에 텍스트 기반으로 자율주행 상태를 정면 혹은 후면에 부착된 전광판으로 알리는 방식과 달리 본 제안 방식은 전방과 측/후면에 구성된 차량의 LED 시스템을 통해 전방위로 자율주행차량이 전달하고자 하는 정보 표현에 대한 집중도를 높일 수 있으면서 직관적인 정보 제공이 가능한 방법을 제시하였다. 이를 통해 자율주행차량 주변에 서로 다른 속성과 특성을 가지고 행동하는 이동 객체(차량, 보행자, 이동형모빌리티 사용자)에게 자율주행차량의 상황 및 상태 정보를 효과적으로 전달하여 혼잡하거나 복잡한 도로 환경에서 상호 안정인 대응이 가능하다. 실제 차량에 설치하여 구동한 상호작용 방법과 응용 프로그램도 제시하여 향후 다양한 상황에 대해 안정적인 운영을 위해 실질적인 설계 방식도 제시하였다. 또한, 자율주행차량과 일반 차량이 혼재된 환경에서 기존에 일방적으로 알리는 방식보다 안정감 있고 효과적인 운영을 위한 UI/UX를 설계하였다. 이와 더불어 차량의 상태 혹은 상황에 대한 정보를 외부로 표출하는 방법과 자율주행차량의 상황 정보를 효과적으로 표현이 가능한 적용 범위도 제시하였다. 향후 자율주행차량이 운영되는 시점에서 차량 서비스를 활용하는 사용자들에게 직관적으로 제시하는 상황 알림 정보에 대한 인지적, 심미적, 감각적 판단에 대한 정량적인 분석 결과를 제시하고자 한다.

### ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 지원(RS-2021-KA160548)으로 수행하였습니다.

### REFERENCES

- CNBN, <https://www.cnn.com/2023/04/25/cruise-robotaxis-now-run-24-7-in-san-francisco-public-access-at-night.html>, 2023.04.25.
- Fengjiao, Z., Jennifer, O., Weimin, J., Patrick, G., Daniel, P. and Andrew, R.(2023), “Pedestrian Behavior Interacting with Autonomous Vehicles-Role of AV Operation and Signal Indication and Roadway Infrastructure”, *2023 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops(VRW)*, pp.821-822. doi: 10.1109/VRW58643.2023.00253
- Ha, J., Jeung, Y. and Choi, J.(2023), “Analysis of Priority in the Robotaxi Design Elements: Focusing on Application of AHP Methodology”, *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 22, no. 4, pp.180-193.
- JALOPNIK, <https://jalopnik.com/california-votes-to-expand-robotaxi-service-to-24-hours-11850728951>, 2023.08.11.
- Kim, H., Lim, K., Kim, J. and Son, W.(2020), “Operational Design Domain for Testing of Autonomous Shuttle on Arterial Road”, *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 19, no. 2, pp.135-148.
- Riener, A., Jeon, M. and Alvarez, I.(2022), “User Experience Design in the Era of Automated

- Driving”, *Studies in Computational Intelligence*, vol. 980, pp.207-236, pp.1860-9503.
- Sheen, British Standards Institution(BSI)(2020), *PAS 1883:2020, Operational Design Domain(ODD) taxonomy for an automated driving system (ADS)-Specification*.
- Society of Automotive Engineers(SAE)(2020), *SAE J3216, Surface Vehicle Information Report:(R) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicles*.
- WAYMO, <https://waymo.com/blog/2023/09/waymo-one-tour-LA.html>, 2023.09.20.
- Yinshuai, Z., Chun, Y. and Yuanchu, S.(2018), “Designing Autonomous Driving HMI System: Interaction Need Insight and Design Tool Study”, *HCI International 2018*, vol. 852, pp.433-426.
- Zhu, Z. and Zhao, H.(2023), “Learning Autonomous Control Policy for Intersection Navigation With Pedestrian Interaction”, *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, vol. 8, pp.3270-3284.