

# 도로 환경에서 자율주행을 위한 독립 관찰자 기반 주행 상황 인지 방법

## Independent Object based Situation Awareness for Autonomous Driving in On-Road Environment

노삼열\*, 한우용  
(Samyeul Noh<sup>1,\*</sup> and Woo-Yong Han<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

**Abstract:** This paper proposes a situation awareness method based on data fusion and independent objects for autonomous driving in on-road environment. The proposed method, designed to achieve an accurate analysis of driving situations in on-road environment, executes preprocessing tasks that include coordinate transformations, data filtering, and data fusion and independent object based situation assessment to evaluate the collision risks of driving situations and calculate a desired velocity. The method was implemented in an open-source robot operating system called ROS and tested on a closed road with other vehicles. It performed successfully in several scenarios similar to a real road environment.

**Keywords:** autonomous driving, situation awareness, risk assessment, independent object

### I. 서론

무인 자동차는 사람이 개입하지 않고 현재 위치에서 목표 위치까지 주행 환경을 인식하고 다양한 주행 상황을 인지 및 판단하고 결정하여 충돌 없이 교통 법규를 지키며 자율적으로 주행하는 자동차를 의미한다. DARPA Grand & Urban Challenge [1-4]를 시작으로, Google을 비롯한 Benz, BMW, Audi, Nissan, Tesla 등의 자동차 회사들은 무인 자동차를 차기 개인 운송수단으로써 연구 개발에 집중하고 있다. 이러한 무인 자동차는 사람의 실수로부터 야기되는 교통사고를 줄이고, 운전자의 편의성을 높이고, 운전 불가능한 사람들에게 주행 서비스 기능을 제공할 수 있다.

그러나, 위치 인식, 주행 환경 인식, 주행 상황 판단 등의 현재 최신 기술들은 이러한 무인 자동차가 실제 도로에서 주행하는데 안전성을 보장할 수 없다. 특히, 다양한 센서를 사용하여 주행 환경을 인식하는 기술은 각 요소들의 성능을 향상하는데 집중이 되어 있으며 인식된 정보를 융합하여 데이터를 퓨전하는 기술은 적은 부분을 차지하고 있다[5-7]. 실제 도로 주행 환경에서 주행을 하기 위해서는 다양한 주행 상황을 분석하고 위험도를 평가할 수 있어야 한다. 하지만, 융합된 정보가 아닌 각각의 요소들의 정보들로 주행 상황을 파악하는 것은 어려운 일이다. 따라서 성능이 향상된 각 요소들의 정보 융합을 통한 주행 상황 분석의 필요성이 제기된다. 또한 주행 영역을 전체 지도로 사용하는 저속의 이동형 로봇

[8,9]과는 달리 차선이란 규약과 고속주행 환경에 맞추어 차선 및 전후로 주행 영역을 나누고 각 영역의 주행 상황을 분석하는 방법의 필요성이 제기된다[10-12].

본 논문에서는 각 종 로컬 센서로부터 인식된 정보를 도로 지도 정보와 융합을 통하여 주행 상황을 파악하는 데이터 퓨전 기능과 주행 영역을 차선 및 전후방 레벨로 나누고 각 영역에 독립 관찰자를 할당하여 할당된 영역의 주행 상황 위험도를 평가하는 기능으로 구성된 독립 관찰자 기반 주행 상황 인지 방법을 소개한다. 독립 관찰자 기반 분석 방법은 차선이라는 구조화된 환경과 고속주행 환경에서 차선 및 전후방 레벨로 주행 상황을 분석하고 병렬 구조의 분석을 통해 계산 속도를 향상시킨다.

본 논문에서 제안하는 방법은 로봇 분야에서 널리 쓰이는 오픈소스 미들웨어인 ROS (Robot Operating System) [13]에서 구현되었으며, 실제 차량에 탑재되어 폐 도로 환경에서 다른 차들과 함께 실제 주행 환경과 비슷한 시나리오 기반의 주행 실험을 통해 성능을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 독립 관찰자 기반 주행 상황 인지 방법의 구조를 설명하고, III 장에서는 데이터 퓨전을 통한 주행 상황 인지 전처리 기능을 기술한다. IV 장에서는 독립 관찰자를 기반으로 하는 주행 상황 분석 및 평가 방법에 대해 논하고, V 장에서는 시나리오 기반의 주행 실험을 통해 주행 상황 인지 방법의 성능을 보여준다. 마지막으로, VI 장에서는 결론을 맺는다.

### II. 독립 관찰자 기반 주행 상황 인지 구조

본 논문에서 제시하는 주행 상황 인지 방법은 다양한 센서를 이용하여 인식된 정보(GPS/IMU, 도로 지도, 주행 환경)를 퓨전하여 주행 상황 인지에 용이한 형태로 제공하기 위한 전처리 기능과 독립 관찰자를 차선 및 전후방 레벨의 주행 영

\* Corresponding Author  
Manuscript received November 15, 2014 / revised December 15, 2014 / accepted December 30, 2014

노삼열, 한우용: 한국전자통신연구원  
(samuel@etri.re.kr/wyhan@etri.re.kr)

※ 본 연구는 미래창조과학부의 ETRI 지원사업의 일환으로 수행하였음[No. 10041417, ICT기반 차량/운전자 협력 자율주행 시스템(Co-Pilot)의 판단/제어 기술 개발].

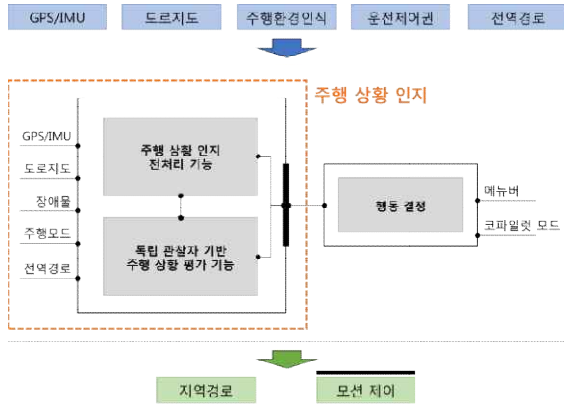


그림 1. 독립 관찰자 기반 주행 상황 인지 구조.

Fig. 1. Architecture of independent object based situation awareness.

역에 분배하여 주행 상황을 분석하고 현재 주행 상황의 충돌 위험도(주행 안전성)를 평가하여 그 결과를 행동 결정 모듈에 제공하는 독립 관찰자 기반 주행 상황 평가 기능으로 구성된다.

주행 상황 인지 전처리 기능은 글로벌 좌표계로 구성된 도로 지도 및 차량 위치 정보를 실험 차량 중심의 로컬 좌표계로 변환하는 좌표계 변환 기능과 인식 데이터의 불확실성을 완화하는 데이터 필터링 기능 그리고 주행 환경 인식 및 도로 지도를 융합하여 주행 상황을 파악하는 데이터 퓨전 기능으로 구성된다.

독립 관찰자 기반 주행 상황 평가 기능은 주행 영역을 차선 및 전후방 레벨로 분할하고 각 분할된 영역에 독립 객체인 관찰자를 할당하여 관찰자가 주행 상황을 분석하고 평가하도록 하는 기능 및 앞 차와의 상대 거리를 이용한 주행 속도 제어 기능으로 구성된다.

그림 1은 본 논문에서 제시하는 독립 관찰자 기반 주행 상황 인지 방법의 구조를 보여준다. 주행 상황 인지 방법은 GPS/IMU, 도로 지도, 주행 환경 인식 정보를 입력 받아, 주행 상황을 분석 및 평가하여 행동 결정에 필요한 데이터 형태로 주행 상황의 위험도를 제공한다.

### III. 주행 상황 인지 전처리 기능

주행 환경 인식 모듈은 각 종 로컬 센서(radar, laser scanner, vision camera, etc)를 사용하여 주변 물체, 노면, 교통신호 등의 주행 환경을 인식한다. 그러나 이러한 인식 데이터는 노이즈 및 불확실성을 포함하고 있으며, 또한 포함하는 정보량이 부족하다. 따라서, 인식 데이터의 불확실성을 줄이고, 데이터 융합의 필요성이 제기된다.

본 세션에서는 글로벌 좌표계로 구성된 차량 위치 및 도로 지도 정보를 실험 차량 중심의 로컬 좌표계로 변환하는 좌표계 변환 기능과 인식 데이터의 노이즈를 완화하는 데이터 필터링 기능 그리고 인식 데이터를 도로 지도에 매핑하여 인식 데이터와 도로 지도를 융합하는 데이터 퓨전 기능을 통해, 주행 상황 인지를 하기 위한 전처리 기능에 대해 설명한다.

#### 1. 좌표계 변환

좌표계 변환 기능은 글로벌 좌표계를 실험 차량 중심의 로

컬 좌표계로 변환하거나 로컬 좌표계를 글로벌 좌표계로 변환하는 기능으로, 글로벌 좌표계로 구성된 정보를 로컬 좌표계로 변환하여 주행 상황 인지에 필요한 정보를 로컬 좌표계 위에서 처리하고, 처리된 정보를 글로벌 좌표계로 변환하여 행동 결정 모듈에 전달한다. 다음은 글로벌 좌표계(G)에서 로컬 좌표계(L)로 변환 및 로컬 좌표계(L)에서 글로벌 좌표계(G)로 변환하기 위한 식을 나타낸다.

$$\vec{l} = P \vec{g} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} R_x^L \\ R_y^L \\ R_z^L \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_x^G \\ R_y^G \\ R_z^G \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\vec{g} = P^{-1} \vec{l} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} R_x^G \\ R_y^G \\ R_z^G \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} R_x^L \\ R_y^L \\ R_z^L \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

다음의 행렬과 벡터는 각각 좌표계 변환의 회전과 위치 전이를 나타낸다.

$$R = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} \quad (5)$$

#### 2. 데이터 필터링

데이터 필터링 기능은 인식 데이터의 노이즈를 완화하기 위해 설계되었으며, 발생 가능한 주행 상황의 복잡성을 고려하여, 모델 일치 기반이 아닌 데이터 기반의 스무딩 기법을 사용한다. 데이터 스무딩 기법은 원 데이터 벡터  $\{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ 를 입력 받아,  $2n + 1$  개의 연속적인 홀수 원 데이터  $\{y_{k-n}, y_{k-n+1}, \dots, y_{k-1}, y_k, y_{k+1}, \dots, y_{k+n-1}, y_{k+n}\}$ 의 평균을 통해 필터링한다.  $2n + 1$ 이 필터의 폭이 되며, 필터 폭이 클수록 스무딩 효과는 강렬하다. 본 논문에서는 필터 폭을 5개로 사용하였으며, 데이터 스무딩 기법은 다음과 같이 정의한다.

$$(y_k)_s = \sum_{i=-n}^{i=n} \frac{y_{k+i}}{(2n+1)} \quad (6)$$

$y_1, y_2, \dots, y_N$ 는 인식 데이터를 나타내고,  $(y_k)_s$ 는 필터된 데이터를 나타낸다. 그림 2는 인식 모듈에서 제공하는 데이터와 필터된 데이터를 보여주며, 파란색 선이 인식 데이터이고, 빨간색 선이 필터된 데이터이다. 그림 2에서 확인할 수 있듯이 상대 속도 추정의 정확성이 상대 거리 추정의 정확성에 비해 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

인식 데이터는 삼차원 레이저 스캐너에서 획득한 삼차원 점군 데이터와 레이더 데이터를 통해 추적된 정보이다. 삼차원 레이저 스캐너는 최대 80m까지, 레이더 센서는 180m까지 물체 검출이 가능하며, 검출된 데이터로 고속에서 추적된 정보는 삼차원 레이저 스캐너의 경우 약 50m, 레이더 센서의 경우 150m가 된다.

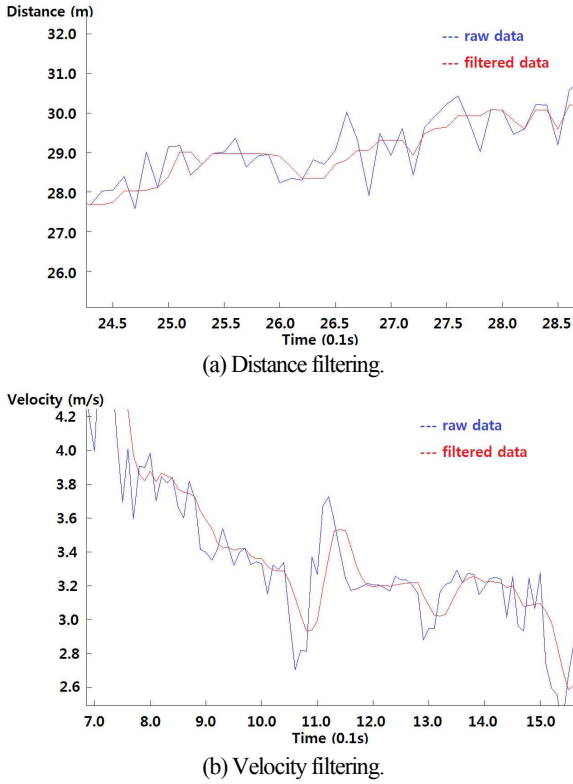


그림 2. 스무딩 기법을 이용한 데이터 필터링.  
Fig. 2. Data filtering through the smoothing algorithm.

3. 데이터 퓨전

인식된 물체 정보는 물체 ID, 위치, 상대속도, 상대거리, 헤딩, 크기, 타입을 포함한다. 이러한 물체 정보는 주행 상황을 인지하고 분석하는데 부족하다. 따라서, 차선 레벨의 기하학적인 정보뿐 아니라 도로 속성의 의미론적인 정보를 포함하는 도로 지도 정보를 융합해야 할 필요성이 있다.

본 논문에서는 인식된 물체 정보와 도로 지도 정보를 융합하여 주행 상황 인지 및 분석을 용이하게 하는 데이터 퓨전 기능을 소개한다. 데이터 퓨전 방법은 인식된 물체 정보를 도로 지도에 매핑하여 융합하는 방식으로, 도로 지도에 매핑된 물체는 도로 지도의 데이터 구조인 폴리곤 형태로 저장되며 각 매핑된 폴리곤은 물체 정보와 도로 지도 정보가 융합된 형태로 주행 상황 분석에 사용된다. 도로 지도의 데이터 구조인 폴리곤은 고정밀도(약 2cm)의 RTK (Real Time Kinematic) GPS를 사용하여 각 차선의 중심을 유지하며 주행한 데이터를 다운 샘플링 한 후, 도로 모델의 곡선으로 곡선맞춤 작업을 통해 노이즈를 제거하고 생성된 곡선을 일정간격(1m)으로 나누어 생성된다. 곡선맞춤은 다음과 같이 제어점과 Bernstein 다항식에 의해 결정되는 베지어 곡선을 이용한다.

$$C(t) = \sum_{i=0}^n P_i B_i^n(t), t \in [0,1] \tag{7}$$

$$B_i^n(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}, i = 0, \dots, n \tag{8}$$

$V_i$ 는 제어점을 의미하고,  $B_i^n$ 는 Bernstein n차 다항식을 의미한다.

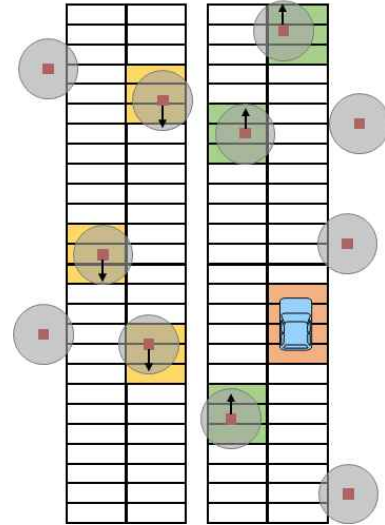
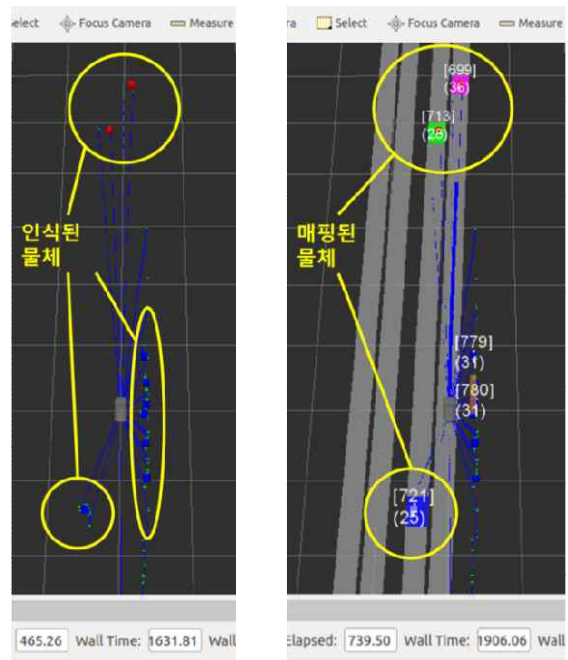


그림 3. 안전 폭 기반 물체 매핑.  
Fig. 3. Object mapping based on the safety margin.

매핑 방법은 물체의 중심점을 기준으로 도로 상에 존재하는 물체는 차량이라는 가정하에 물체의 폭과 길이를 안전 폭 3미터로 가정하고, 그 안에 폴리곤의 중심점이 포함되면 그 폴리곤은 물체 정보와 융합되어 물체 폴리곤으로 등록된다. 도로 지도는 폴리곤 형태로 실험차량을 중심으로 전방 200m, 후방 100m, 측방 50m의 크기만큼 10Hz로 전달되며, 각 물체는 전달된 모든 폴리곤과 비교를 통해 전방 주행 차선, 후방 주행 차선, 전방 좌측 차선, 후방 좌측 차선, 전방 우측 차선, 후방 우측 차선, 그리고 그 이외 영역인 총 7가지 영역으로 분류되어 저장된다. 그림 3은 안전 폭을 기준으로 물체를 매



(a) The perception data from local sensors. (b) The perception data with data fusion by object mapping.

그림 4. 물체 매핑을 통한 데이터 퓨전.  
Fig. 4. Data fusion by mapping objects into the road map.

평하는 방법을 나타내며, 이와 같은 방법은 센서 데이터를 이용하여 물체의 형태를 추정할 때 발생하는 불확실성과 그로 인해 야기되는 충돌 가능성을 줄이는 역할을 한다.

그림 4는 개발 환경 ROS에서 실제 인식된 데이터와 도로 지도에 매핑된 물체 폴리곤의 결과를 보여준다. 그림 4(a)의 빨간색 점은 레이더 센서에서 인식된 물체를 나타내고, 파란색 점은 삼차원 레이저 스캐너 센서에서 인식된 물체를 나타낸다. 그림 4(b)의 마젠타 색 박스는 전방 주행 차선에 매핑된 물체, 녹색 박스는 전방 좌측 또는 전방 우측 차선에 매핑된 물체, 그리고 파란색 박스는 후방 좌측 또는 후방 우측 차선에 매핑된 물체를 나타낸다. 그림 4의 결과와 같이, 물체 매핑을 통한 데이터 퓨전 기능은 인식 정보와 도로 지도 정보를 융합할 뿐 아니라 도로 밖의 물체 정보를 필터링하는 기능 또한 포함한다.

**IV. 독립 관찰자 기반 주행 상황 평가 기능**

본 세션에서는 주행 영역을 차선 및 전후방 레벨로 분할하고 분할된 영역에 독립 관찰자를 분배하는 기능과 세 가지 안전 요소(time to collision, inter vehicular time, minimum safety margin)를 이용한 주행 상황 위험도 평가[12], 그리고 물체와의 상대 거리를 이용한 주행 속도 제어 기능을 설명한다.

**1. 독립 관찰자 분배**

차선이란 규약이 있는 도로 환경과 고속 주행 환경에서 주행 영역 전체를 하나의 판단 요소로 간주하여 주행 상황을 파악하는 것은 어려운 일이다.

본 논문에서는 주행 영역을 차선 레벨로 나누고, 각각의 나눠진 영역에 주행 상황을 감시하는 독립 관찰자를 분배하여 각각의 독립 관찰자에게 주행 상황을 분석하고 평가하는

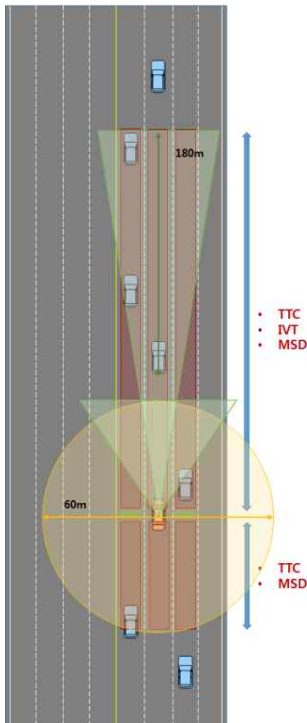


그림 5. 독립 관찰자 분배.  
Fig. 5. Independent object distribution.

책임을 부여하여 주행 상황을 평가하도록 한다. 주행 영역은 그림 5와 같이 전방 주행 차선 영역, 후방 주행 차선 영역, 전방 좌측 차선 영역, 후방 좌측 차선 영역, 전방 우측 차선 영역, 후방 우측 차선 영역인 총 6개의 영역으로 나뉜다. 그림 5의 빨간색 영역이 독립 관찰자가 분배되어 인식된 물체와 도로 지도가 융합되는 영역을 나타내며, 각 영역의 크기는 시스템 센서 사양에 의해 결정된다.

**2. 주행 상황 위험도 평가**

각각의 독립 관찰자들은 할당된 주행 영역의 충돌 위험도를 평가하기 위하여 세 가지의 안전 요소를 이용한다. 첫 번째 안전 요소는 충돌 시간(TTC: Time To Collision)이며, 이는 두 차량이 현재 속도와 현재 궤적을 유지하면서 진행할 경우, 충돌까지 걸리는 시간을 의미하며, 다음과 같이 정의한다.

$$TTC = \frac{d_{relative}}{v_{ego} - v_{nearest}} \tag{9}$$

$d_{relative}$  는 주행 차선의 전방에 존재하는 물체와 실험 차량과의 상대 거리를 나타내고,  $v_{ego}$  는 실험 차량의 현재 주행 속도,  $v_{nearest}$  는 전방 물체의 주행 속도를 나타낸다.

두 번째 안전 요소는 차간 시간(IVT: Inter Vehicular Time,)이며, 이는 실험 차량이 현재 속도와 현재 궤적을 유지하면서 진행할 경우, 앞 차와 충돌까지 걸리는 시간을 의미하며, 제동 거리 확보를 위한 시간을 의미하기도 한다. IVT는 다음과 같이 정의한다.

$$IVT = \frac{d_{nearest}}{v_{ego}} \tag{10}$$

세 번째 안전 요소는 최소 안전 거리(MSM: Minimum Safety Margin)이며, 이는 앞 차와 유지해야 할 최소한의 안전 거리를 의미하며, 실험 차량 후반부에 달려 있는 GPS 센서와 실험 차량 머리와의 간격에 대한 위험도 및 정지했을 때 유지해야 할 안전거리에 대한 위험도를 고려한다. 이와 같이 IVT와 MSM의 두 안전 요소는 TTC의 약점을 보완하는 역할로써, 가까운 거리를 유지하며 같은 속도로 주행하는 두 차량에 대한 위험도를 고려하고, 교통 체증 등의 정지해야 할 상황에서의 두 차량에 대한 위험도를 고려한다.

각각의 안전 요소는 다음과 같이 충돌 위험도의 파라미터로 정의될 수 있다.

$$R_{TTC} = 1_A(TTC) = \begin{cases} 1, & TTC < 2.0 \text{ s} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{11}$$

$$R_{IVT} = 1_A(IVT) = \begin{cases} 1, & IVT < 4.0 \text{ s} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{12}$$

$$R_{MSM} = 1_A(MSM) = \begin{cases} 1, & MSM < 20 \text{ m} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{13}$$

본 논문에서 설정한 조건 값은 국제표준(ISO) [14], 시스템 센서 스펙, 그리고 한국 교통 법규 [15]에 의해 설정되었다.

각각의 독립 관찰자는  $R_{TTC}$ ,  $R_{IVT}$ ,  $R_{MSM}$ 의 충돌 위험도 파라미터의 조합을 통해 할당된 영역이 진입 안전한지를 평가하여 최종적으로 다음과 같이 단일 비트로 행동 결정 모듈에 제공한다.



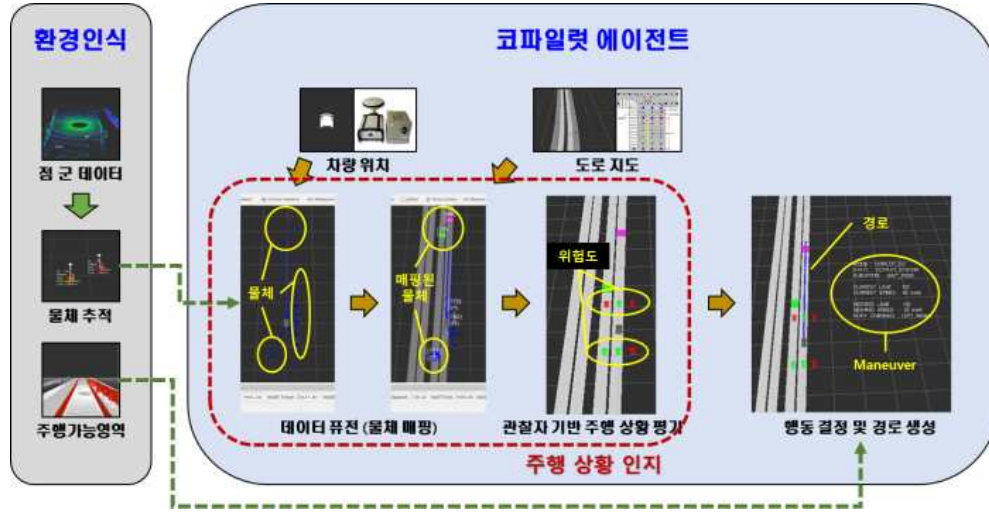


그림 7. ROS 환경에서 전체 시스템 흐름도.  
Fig. 7. The flow diagram of the system in ROS.

$$R_{SK\ FORWARD} = \begin{cases} 1, & R_{TTC} + R_{MT} + R_{MSM} \geq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

$$R_{SK\ BACKWARD} = \begin{cases} 1, & R_{TTC} + R_{MSM} \geq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

IVT 정의에 의하여 충돌 위험도 파라미터  $R_{MT}$  는 후방 관찰자에 영향을 주지 않는다.

### 3. 주행 속도 제어

주행 속도 제어 기능은 충돌 회피 및 목표 속도 추종을 목적으로 실험 차량의 주행 속도를 제어하는 기능이다. 사용 가능한 정보는 다음과 같이 물체와의 상대 속도, 상대 거리, 실험 차량의 현재 주행 속도, 도로의 목표 주행 속도 네 가지가 있다. 그러나 그림 2(b)의 결과와 같이 물체와의 상대 속도 데이터는 노이즈를 많이 포함하고 있어, 본 논문에서는 주행 속도를 결정하기 위하여 다음과 같이 세 가지의 정보, 물체와의 상대 거리, 실험 차량의 현재 주행 속도, 그리고 도로의 목표 주행 속도를 사용한다. 따라서, 주행 속도는 다음과 같이 두 가지 에러를 줄이는 최적의 속도로 계산된다.

$$v_{desired} = \operatorname{arg\,min}_{v_{ego}} \{ \alpha \cdot \varepsilon_1 + \beta \cdot \varepsilon_2 \} \quad (16)$$

$$\varepsilon_1 = \|v_{ego} - v_{target}\|^2 \rightarrow 0 \quad (17)$$

$$\varepsilon_2 = \|d_{nearest} - f_{rule}(v_{ego})\|^2 \rightarrow 0 \quad (18)$$

Solve problem:

$$J(v_{ego}) = \alpha (v_{ego} - v_{target})^2 + \beta (d_{nearest} - f_{rule}(v_{ego}))^2 \quad (19)$$

$$\frac{\partial J}{\partial v_{ego}} = 2\alpha(v_{ego} - v_{target}) + 2\beta(d_{nearest} - f(v_{ego})) \left( -\frac{\partial f}{\partial v_{ego}} \right) \quad (20)$$

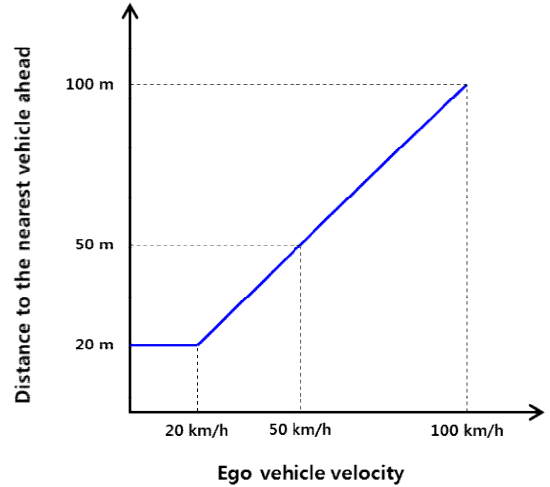


그림 6. 도로 교통 규칙에 의한 안전 거리 유지 함수.  
Fig. 6. The function to keep the safety distance by the traffic rules.

$$= 2 \left[ \beta d_{nearest} - \alpha v_{target} + \alpha v_{ego} + \beta \left( \frac{\partial f}{\partial v_{ego}} \right) f(v_{ego}) \right] \quad (21)$$

$$= 0 \quad (22)$$

$v_{ego}$  는 실험 차량의 주행 속도를 나타내고,  $v_{target}$  은 도로의 목표 주행 속도를 나타내고,  $d_{nearest}$  는 전방의 가장 가까운 물체와의 상대 거리를 나타내고,  $f_{rule}(v_{ego})$  는 그림 6의 안전 거리 유지를 위한 도로 교통 규칙을 나타낸다[15].  $\alpha$ 와  $\beta$  는 각 에러 항의 가중치를 나타낸다.

### V. 시나리오 기반 실차 주행 실험

본 세션은 본 논문에서 제시한 독립 관찰자 기반의 주행 상황 인지 방법의 성능을 확인하기 위하여 실제 도로 주행과 비슷한 상황의 시나리오를 기반으로 주행 실험한 결과를 보

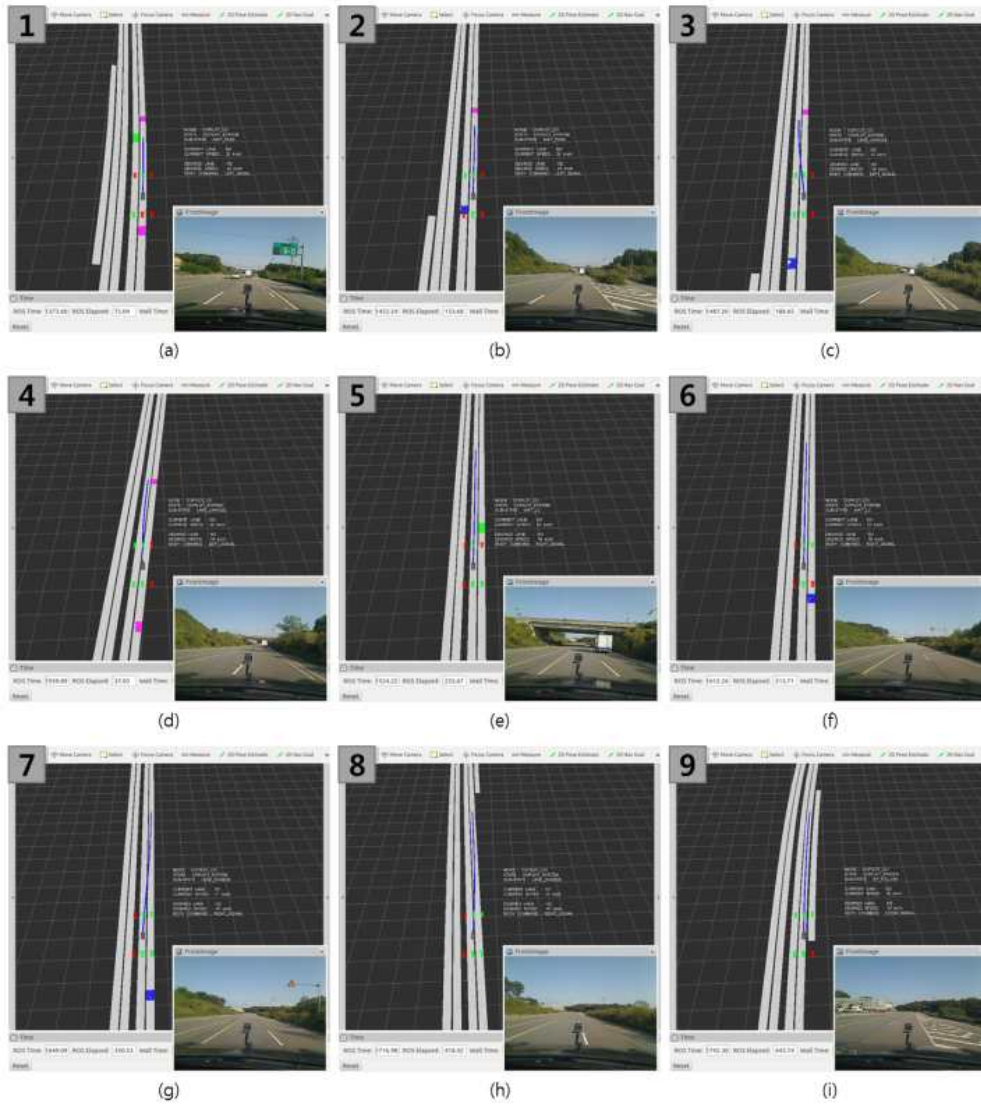


그림 9. 저속 차량 추월 시나리오 주행 실험 결과.  
 Fig. 9. The performance of the driving scenario to pass a slower vehicle ahead.

여준다. 본 논문에서 제안하는 방법은 ROS 환경에서 구현되었고, 다른 주변 차량들과 함께 폐 도로 환경에서 실차 주행 실험을 시행하였다. 실차 주행 실험은 ROS 환경의 RViz라 불리는 시각화 툴을 사용한 시뮬레이션 테스트와 현장 디버깅과 함께 진행되었다. 주행 상황 인지 방법의 성능은 실제 도로 주행과 비슷한 상황의 시나리오를 통해 평가하였다. 주행 시나리오는 다음과 같이 1) 저속 차량 추월, 2) 저속 차량 연속 추월을 포함한다. 폐도로 환경은 편도 900미터이며, 도로의 주행 목표 속도는 80 km/h, 저속 차량의 속도는 30-40 km/h, 전역 경로는 2차선 도로로 설정하였다. 그림 7은 ROS 개발 환경에서 전체 시스템의 흐름도를 보여준다. 그림 8은 ROS 환경의 RViz 영상을 자세히 설명한다. 그림 8의 주황색 박스 안의 화살표는 주행 상황 분석에 의한 충돌 위험도를 나타내며, 연두색은 안전함을, 빨간색은 위험함을 나타낸다. 오른쪽의 하얀색 메시지는 주행 상황 인지 결과를 이용하여 결정된 주행 행동을 나타내고, 파란색 실선은 결정된 행동에 따른 주행 경로를 나타낸다. 실차 주행 실험의 데모 영상은



그림 8. ROS 환경에서 RViz 영상의 자세한 설명.  
 Fig. 8. The details of the RViz in ROS.

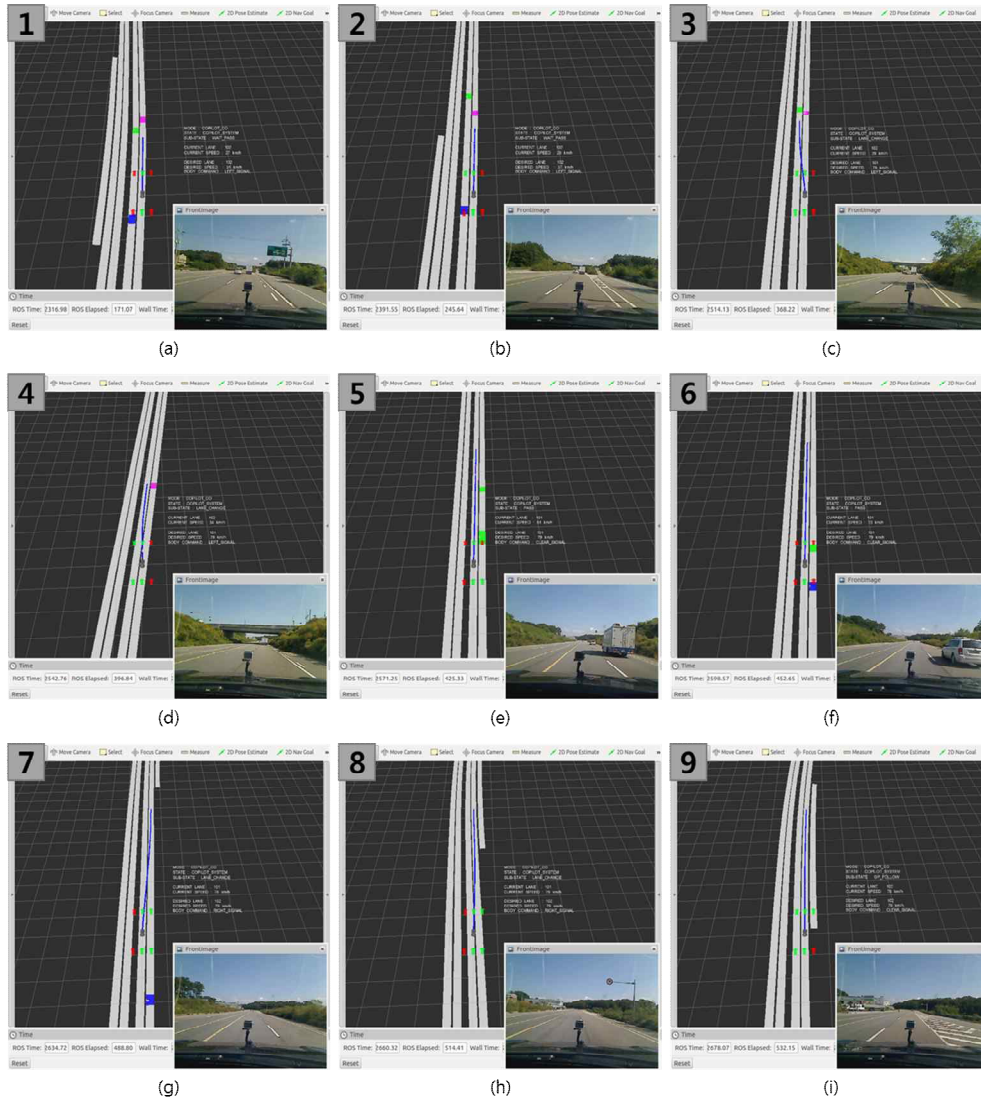


그림 10. 저속 차량 연속 추월 시나리오 주행 실험 결과.

Fig. 10. The performance of the driving scenario to pass two slower vehicles ahead.

다음 링크에서 확인할 수 있다.(<http://youtu.be/8ULoTRQ-Kq8>)

#### 1. 시나리오 1: 저속 차량 추월

첫 번째 시나리오는 전방에 저속 차량이 존재할 경우, 저속 차량 추월 메뉴버의 행동 결정을 내리기 위한 적절한 주행 상황 인지 결과를 보여주는지를 확인하기 위해 진행되었다. 그림 9는 저속 차량 추월 시나리오와 주행 실험 결과를 자세히 보여준다: (a) 전방에 저속 차량이 존재하지만, 좌측 전방에도 저속 차량이 존재하여 전방 차량과 안전 거리를 유지하며 현재 주행 차선을 유지하면서 주행한다. (b) 좌측 전방에 존재하던 저속 차량이 감속하지만 좌측 후방 관찰자는 진입이 아직 위험함을 나타낸다. (c) 좌측 전방 및 후방 관찰자가 진입이 안전함을 보고하면 차선 변경 메뉴버를 통해 전방 저속 차량 추월을 시도한다. (d) 차선 변경을 통해 추월 차선으로 진입한다. (e) 우측 저속 차량을 추월하기 전까지 추월 차선을 유지하며 진행한다. (f, g, h) 우측 전방 및 후방 관찰자의 진입 안전 보고를 통해 저속 차량을 완전히 추월하면 목표 차선으로 복귀한다. (i) 추월이 완료되면, 목표 차선을

유지하며 도로 목표 속도로 주행한다.

주행 실험은 성공적으로 진행되었고, 주행 상황 인지를 통해 저속 차량 추월 행동 결정이 잘 이루어 졌다.

#### 2. 시나리오 2: 저속 차량 연속 추월

두 번째 시나리오는 전방에 두 대의 저속 차량이 존재할 경우, 두 대의 차량을 연속으로 추월하는 행동 결정을 내리도록 하는 적절한 주행 상황 인지 결과를 보여주는지를 확인하기 위해 진행되었다. 그림 10은 저속 차량 연속 추월 시나리오와 주행 실험 결과를 자세히 보여준다: (a) 전방에 저속 차량이 존재하지만, 좌측 전방과 좌측 후방에도 저속 차량이 존재하여 전방 차량과 안전 거리를 유지하며 현재 주행 차선을 유지하면서 주행한다. (b) 좌측 전방에 존재하던 저속 차량이 가속하여 좌측 전방 관찰자가 진입 안전함을 보고하지만, 좌측 후방 관찰자는 진입 위험함을 보고한다. (c) 좌측 후방에 존재하던 저속 차량 또한 가속하면 좌측 전방 및 후방 관찰자가 진입이 안전함을 보고하여 차선 변경 메뉴버를 통해 전방 저속 차량 추월을 시도한다. (d) 차선 변경을 통해 추



월 차선으로 진입한다. (e) 우측 저속 차량을 추월하기 전까지 추월 차선을 유지하며 진행한다. (f) 저속 차량 한 대를 추월 완료하지만, 우측 전방에 또 다른 저속 차량이 존재하여 추월 차선을 유지하며 주행한다. (g, h) 우측 전방 및 후방 관찰자의 진입 안전 보고를 통해 두 대의 저속 차량을 완전히 추월하면 목표 차선으로 복귀한다. (i) 추월이 완료되면, 목표 차선을 유지하며 도로 목표 속도로 주행한다.

주행 실험은 성공적으로 진행되었고, 주행 상황 인지를 통해 저속 차량 연속 추월 행동 결정이 잘 이루어 졌다.

## VI. 결론

본 논문에서는 도로 환경에서 자율주행을 위한 독립 관찰자 기반의 주행 상황 인지 방법을 제안하였다. 주행 환경 인식 블록에서 인식된 데이터의 노이즈를 완화하고 도로 지도 정보와 융합하는 데이터 퓨전을 통해 전처리 작업을 수행하고, 안전 요소를 기반으로 주행 상황의 위험도를 평가하여 최종적으로 행동 결정 모듈에 분석된 정보를 전달하는 방법으로, 실제 도로 환경과 비슷한 주행 시나리오를 통해 성능을 확인하였다. 본 논문에서 제시하는 방법은 운전자 보조 시스템에 적용 가능성이 높으며, 무인 자동차의 도로 주행이 허가되면, 실제 도로에서 주행 실험을 통해 성능을 확인하는 작업이 필요하다.

## REFERENCES

- [1] S. Thrun et al., "Stanley: the robot that won the DARPA grand challenge," *Journal of Field Robotics*, vol. 23, no. 9, pp. 661-692, 2006.
- [2] C. Urmson et al., "Autonomous driving in urban environments: boss and the urban challenge," *Journal of Field Robotics*, vol. 25, no. 8, pp. 425-466, 2008.
- [3] A. Bacha et al., "Odin: team victor tango's entry in the DARPA urban challenge," *Journal of Field Robotics*, vol. 25, no. 8, pp. 467-492, 2008.
- [4] M. Montemerlo et al., "Junior: the stanford entry in the urban challenge," *Journal of Field Robotics*, vol. 25, no. 9, pp. 569-597, 2008.
- [5] S. Yang, B. Song, and J. Um, "Radar and vision sensor fusion for primary vehicle detection," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 16, no. 7, 2010.
- [6] J. Park and J. Song, "Sensor fusion based semantic map building," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 17, no. 3, pp. 277-282, 2011.
- [7] J. Kim, J. Lee, B. Yoon, J. Park, and J. Kim, "Research of vehicles longitudinal adaptive control using V2I situated cognition based on LiDAR for accident prone areas," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 5, pp. 453-464, 2012.
- [8] H. Kim, J. Kim, Y. Ji, and J. Park, "Path planning of swarm mobile robots using firefly algorithm," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 5, 2013.
- [9] J. Lee, J. Seok, J. Ha, J. Lee, and H. Lee, "Temporal waypoint revision method to solve path mismatch problem of hierarchical integrated path planning for mobile vehicle," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 7, pp. 664-668, 2012.

- [10] P. Beeson, J. O'Quin, B. Gillan, T. Nimmagadda, M. Ristroph, D. Li, and P. Stone, "Multi-agent interactions in urban driving," *Journal of Physical Agents: Multi-Robot Systems*, vol. 2, no. 1, pp. 15-29, 2008.
- [11] S. Glaser, B. Vanholme, S. Mammar, D. Gruyer, and L. Nouveliere, "Maneuver based trajectory planning for highly autonomous vehicles on real road with traffic and driver interaction," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 11, no. 3, 2010.
- [12] S. Noh and W. Y. Han, "Obstacle avoidance in on-road environment for autonomous driving," *Proc. of IEEE International Conference on Control, Automation and Systems*, 2014.
- [13] ROS, <http://www.ros.org>
- [14] ISO 22179, Intelligent transport systems - Full speed range adaptive cruise control (FSRA) systems - Performance requirements and test procedures
- [15] Korean traffic laws, [www.law.go.kr/법령/도로교통법](http://www.law.go.kr/법령/도로교통법)



노삼열

2009년 오사카대학교 기초공학부 시스템학과 졸업. 2012년 University of California, San Diego 대학원 전자공학 석사. 현재 한국전자통신연구원 연구원. 관심분야는 자율주행시스템.



한우용

1983년 경희대학교 공학부 전자공학과 졸업. 1985년 경희대학교 대학원 전자공학 석사. 2005년 충남대학교 대학원 컴퓨터과학 박사. 현재 한국전자통신연구원 책임연구원. 관심분야는 분산처리, 텔레메틱스, 자율주행시스템.