

**【서지사항】**

<b>【서류명】</b>	특허출원서
<b>【출원구분】</b>	특허출원
<b>【출원인】</b>	
<b>【명칭】</b>	부경대학교 산학협력단
<b>【특허고객번호】</b>	2-2004-016649-9
<b>【출원인】</b>	
<b>【명칭】</b>	에스에이엠(주)
<b>【특허고객번호】</b>	1-2020-096720-1
<b>【대리인】</b>	
<b>【성명】</b>	오위환
<b>【대리인번호】</b>	9-2001-000083-1
<b>【대리인】</b>	
<b>【성명】</b>	정기택
<b>【대리인번호】</b>	9-2007-000771-5
<b>【대리인】</b>	
<b>【성명】</b>	나성곤
<b>【대리인번호】</b>	9-2013-000925-8
<b>【발명의 국문명칭】</b>	비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법
<b>【발명의 영문명칭】</b>	System and Method for Improving Traffic for Autonomous Vehicles at Non Signalized Intersections

**【발명자】****【성명】** 배상훈**【성명의 영문표기】** BAE, Sanghoon**【주민등록번호】** 640827-1XXXXXX**【우편번호】** 48513**【주소】** 부산광역시 남구 용소로 45 부경대학교대연캠퍼스**【출원언어】** 국어**【심사청구】** 청구**【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】****【과제고유번호】** 2020184**【과제번호】** 2020-184**【부처명】** 중소벤처기업부**【과제관리(전문)기관명】** 중소기업기술정보진흥원**【연구사업명】** 2020년 예비창업패키지[특화분야]**【연구과제명】** 고속도로 주요 결렬지점 고정밀 도로지도 제작 및 자율주행  
안전제고 기술**【기여율】** 1/1**【과제수행기관명】** 한국도로공사**【연구기간】** 2020.06.01 ~ 2021.01.31

**【취지】** 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 오위환 (서명 또는 인)

대리인 정기택 (서명 또는 인)

대리인 나성곤 (서명 또는 인)

**【수수료】**

**【출원료】** 0 면 46,000 원

**【가산출원료】** 55 면 0 원

**【우선권주장료】** 0 건 0 원

**【심사청구료】** 19 항 979,000 원

**【합계】** 1,025,000 원

**【감면사유】** 소기업(70%감면)[1], 전담조직(50%감면)[1]

**【감면후 수수료】** 410,000 원

**【첨부서류】** 1.기타첨부서류[위임장]\_1통

## 1 : 기타첨부서류

【서류명】 위임장

【수임자】  
 【성명】 오위환  
 【대리인코드】 9-2001-000083-1  
 【성명】 정기택  
 【대리인코드】 9-2007-000771-5  
 【성명】 나성근  
 【대리인코드】 9-2013-000925-8

【사건의 표시】  
 【출원번호】  
 【출원일자】

【발명의 명칭】 비선호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행률 위한 장치 및 방법

【위임사항】 1. 특허출원에 관한 모든 절차  
 2. 등록에 관한 모든 절차  
 3. 특허출원의 변경, 포기, 취하  
 4. 특허권의 존속기간의 연장등특출원의 취하  
 5. 청구의 취하  
 6. 신청의 취하  
 7. 특허법 제55조제1항의 규정에 의한 우선권주장이나 그 취하  
 8. 특허법 제132조의3의 규정에 의한 심판청구  
 9. 복대리인의 선임

【위임자】  
 【성명】 부경대학교 산학협력단  
 【출원인코드번호】 2-2004-016649-9  
 【사건과의 관계】 출원인

【특지】 특허법 제7조, 실용신안법 제4조, 디자인보호법 제4조 및 상표법 제5조의 규정에 의하여 위와 같이 위임합니다.

위임인 부경대학교 산학협력단

【위임일자】 2020. 12. 30.

【서류명】 위임장

【수임자】  
 【성명】 오위환  
 【대리인코드】 9-2001-000083-1  
 【성명】 정기택  
 【대리인코드】 9-2007-000771-5  
 【성명】 나성근  
 【대리인코드】 9-2013-000925-8

【사건의 표시】  
 【출원번호】  
 【출원일자】

【발명의 명칭】 비선호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행률 위한 장치 및 방법

【위임사항】 1. 특허출원에 관한 모든 절차  
 2. 등록에 관한 모든 절차  
 3. 특허출원의 변경, 포기, 취하  
 4. 특허권의 존속기간의 연장등특출원의 취하  
 5. 청구의 취하  
 6. 신청의 취하  
 7. 특허법 제55조제1항의 규정에 의한 우선권주장이나 그 취하  
 8. 특허법 제132조의3의 규정에 의한 심판청구  
 9. 복대리인의 선임

【위임자】  
 【성명】 에스에이엘(주)  
 【출원인코드】 1-2020-096720-1  
 【사건과의 관계】 출원인

【특지】 특허법 제7조, 실용신안법 제4조, 디자인보호법 제4조 및 상표법 제5조의 규정에 의하여 위와 같이 위임합니다.

위임인 에스에이엘(주)

【위임일자】 2020. 12. 30.

## 【발명의 설명】

### 【발명의 명칭】

비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법{System and Method for Improving Traffic for Autonomous Vehicles at Non Signalized Intersections}

### 【기술분야】

【0001】 본 발명은 자율주행 차량 통행 제어에 관한 것으로, 구체적으로 비신호 교차로에서 책임민감성 안전이론과 부분적 관측 마르코프 결정 절차를 활용하여 효율적 통행이 가능하도록 한 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

### 【발명의 배경이 되는 기술】

【0002】 자율 주행 차량(Autonomous Vehicle)은 카메라 또는 전방물체 감지 센서를 이용하여 차선을 인식하고 자동 조향을 행하는 기술이 탑재된 차량이다. 자율 주행 차량은 카메라의 이미지 프로세싱 또는 전방물체 감지센싱을 기반으로 차선 폭, 차선상의 차량의 횡방향 위치, 양측 차선까지의 거리 및 차선의 형태, 도로의 곡률 반경이 측정되며, 이와 같이 얻어진 차량의 위치와 도로의 정보를 사용하여 차량의 주행 궤적을 추정하고, 추정된 주행 궤적을 따라 차선을 변경한다.

【0003】 자율 주행 차량(Autonomous Vehicle)은 차량 전방에 장착된 카메라 또는 전방물체 감지센서에서 검출되는 선행차량의 위치 및 거리를 통하여 차량의

쓰로틀밸브, 브레이크 및 변속기를 자동 제어하여 적절한 가감속을 수행함으로써, 선행차량과 적정거리를 유지하도록할 수도 있다.

【0004】 그러나 이와 같은 자율 주행 차량(Autonomous Vehicle)이 교차로를 통과하는 경우에는 신호등의 교통신호에 따라 정차 후 출발시 선행 차량의 움직임을 감지한 다음 출발하므로 차량들 간의 출발이 지체되어 교차로에서 정체가 발생할 수 있다.

【0005】 특히, 자율주행 차량과 같이 센서로부터 입력되는 정보를 이용하여 주행 환경을 파악하는 경우 비신호 교차로에서의 주행은 일반적인 도로에서의 주행보다 훨씬 어려운 과제가 된다.

【0006】 자율주행 차량이 주행 환경을 파악하여 비신호 교차로에서의 효율적인 주행을 위한 연구들이 이루어지고 있으나, 혼합 교통류 상황(자율주행차량과 인간운전자의 혼재)에서 자율주행차량 군집주행에 따른 비신호 교차로 통행에서는 아직도 해결하여야 하는 과제가 많다.

【0007】 따라서, 자율주행차량 군집주행에 따른 비신호 교차로 통행 개선 및 안전성 확보를 위한 새로운 기술의 개발이 요구되고 있다.

## 【선행기술문헌】

## 【특허문헌】

【0008】 (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2020-0071406호

(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제10-2020-0058613호

(특허문헌 0003) 대한민국 공개특허 제10-2018-0065196호

**【발명의 내용】**

**【해결하고자 하는 과제】**

【0009】 본 발명은 종래 기술의 자율주행 차량 통행 제어 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 비신호 교차로에서 책임민감성 안전이론과 부분적 관측 마르코프 결정 절차를 활용하여 효율적 통행이 가능하도록 한 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

【0010】 본 발명은 비신호 교차로에서 다수의 인간 운전자 차량 사이의 자율주행차량의 교통안전 보장, 지체시간 등을 고려하여 자율 주행 행태를 학습시키는 모델을 구축하여 효율적인 자율주행 차량의 사고 방지가 가능하도록 한 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

【0011】 본 발명은 실제 상황과 같이 자율주행차량이 관찰할 수 있는 범위 내의 정보를 통하여 학습하는 방법으로 강화학습인 마르코프 의사결정 모델 사용(Partial Observability MDP, POMDP)으로 행동에 대한 강화학습의 보상을 최대화할 수 있도록 한 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

【0012】 본 발명은 Matlab의 Automated Driving Toolbox를 활용하여 레이더, 비전 센서 데이터를 활용하고, 책임 민감성 안전 알고리즘(Responsibility-Sensitive Safty; RSS) 기반의 강화학습-자율주행 시스템 프레임워크로 최적화를 하여 자율주행차량의 시스템이 다른 차량의 행태를 예측하며 운행할 수 있도록 한 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

【0013】 본 발명은 부분적인 환경에 대한 관찰을 바탕으로 학습하는 대상의 의사결정을 할 수 있게 해주는 부분관찰 마르코프 의사결정(Partial Observability Markov decision process ; POMDP) 과정을 포함하여 행동을 결정하고 행동에 대해 강화학습의 보상을 최대화할 수 있도록 한 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

【0014】 본 발명은 시뮬레이션 환경에서 실제 자율주행 환경을 모사하기 위해 학습과 행동 결정의 근거를 시뮬레이션의 모든 환경(전체 관찰)이 아닌 자율주행차량 센서를 통하여 얻어진 데이터(부분만 관찰)를 기반으로 하여 행동을 결정하고 행동에 대해 강화학습의 보상을 최대화하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

【0015】 본 발명은 책임 민감성 안전 알고리즘(Responsibility-Sensitive Safty; RSS)을 비신호 교차로에서 자율주행차량과 인간운전자 사이의 안전 거리를 유지하기 위해 사용하여 자율주행차량 모델이 거리에 따라 위험한 상황이 발생할 수 있을 때 적절하게 대응할 수 있도록 한 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선



된 통행을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

【0016】 본 발명은 인간 운전자 차량용 적응형 모델 예측 제어 시스템 (Adaptive Model Predictive Control System) 적용으로, 시뮬레이션 상 자율주행차량의 센서를 통해 획득된 전방의 가장 가까운 인간 운전자와의 상대적 거리와 상대 속도를 파악하고, 제어 변수에서 자율주행차량은 전방 차량과 일정한 거리를 자율적으로 유지하는 방식으로 인간 운전자의 행태에 반응하여 운행할 수 있도록 한 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

【0017】 본 발명의 다른 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 【과제의 해결 수단】

【0018】 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치는 부분관찰 마르코프 의사결정 (Partial Observability Markov decision process ; POMDP) 알고리즘의 학습 상태를 초기화하는 상태 초기화부;자율주행차량(AV) 운행 최적화를 위한 POMDP 모델에 책임 민감성 안전 알고리즘(Responsibility-Sensitive Safty; RSS)을 적용하여 최적 행동을 도출하는 최적 행동 도출부;최적 행동 도출부에서 도출된 최적 행동을 실행하는 행동 실행부;자율주행차량(AV)의 비전 센서, 레이더 센서에서 관찰된 데

이터를 제공받아 주행 상태를 관찰하는 상태 관찰부;안전, 비안전, 실패, 목표 보상 인지에 따라 자율주행 차량용 RSS 알고리즘과 적응형 모델 예측 제어 시스템(Adaptive Model Predictive Control System)에 기반한 인간 운전자 차량에 대응하여 자율주행 차량 행동 수정을 하는 보상 결정부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

【0019】 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 방법은 부분관찰 마르코프 의사결정(Partial Observability Markov decision process ; POMDP) 알고리즘의 학습 상태를 초기화하는 상태 초기화 단계;자율주행차량(AV) 운행 최적화를 위한 POMDP 모델에 책임 민감성 안전 알고리즘(Responsibility-Sensitive Safty; RSS)을 적용하여 최적 행동을 도출하는 최적 행동 도출 단계;최적 행동 도출 단계에서 도출된 최적 행동을 실행하는 행동 실행 단계;자율주행차량(AV)의 비전 센서, 레이더 센서에서 관찰된 데이터를 제공받아 주행 상태를 관찰하는 상태 관찰 단계;안전, 비안전, 실패, 목표 보상 인지에 따라 자율주행 차량용 RSS 알고리즘과 적응형 모델 예측 제어 시스템(Adaptive Model Predictive Control System)에 기반한 인간 운전자 차량에 대응하여 자율주행 차량 행동 수정을 하는 보상 결정 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

### 【발명의 효과】

【0020】 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법은 다음과 같은 효과가 있다.

【0021】 첫째, 비신호 교차로에서 책임민감성 안전이론과 부분적 관측 마르코프 결정 절차를 활용하여 효율적 통행이 가능하도록 한다.

【0022】 둘째, 비신호 교차로에서 다수의 인간 운전자 차량 사이의 자율주행 차량의 교통안전 보장, 지체시간 등을 고려하여 자율 주행 행태를 학습시키는 모델을 구축하여 효율적인 자율주행 차량의 사고 방지가 가능하도록 한다.

【0023】 셋째, 실제 상황과 같이 자율주행차량이 관찰할 수 있는 범위 내의 정보를 통하여 학습하는 방법으로 강화학습인 마르코프 의사결정 모델 사용 (Partial Observability MDP, POMDP)으로 행동에 대한 강화학습의 보상을 최대화할 수 있도록 한다.

【0024】 넷째, Matlab의 Automated Driving Toolbox를 활용하여 레이더, 비전 센서 데이터를 활용하고, 책임 민감성 안전 알고리즘(Responsibility-Sensitive Safty; RSS) 기반의 강화학습-자율주행 시스템 프레임워크로 최적화를 하여 자율주행차량의 시스템이 다른 차량의 행태를 예측하며 운행할 수 있도록 한다.

【0025】 다섯째, 부분적인 환경에 대한 관찰을 바탕으로 학습하는 대상의 의사결정을 할 수 있게 해주는 부분관찰 마르코프 의사결정(Partial Observability Markov decision process ; POMDP) 과정을 포함하여 행동을 결정하고 행동에 대해 강화학습의 보상을 최대화할 수 있도록 한다.

【0026】 여섯째, 책임 민감성 안전 알고리즘(Responsibility-Sensitive Safty; RSS)을 비신호 교차로에서 자율주행차량과 인간운전자 사이의 안전 거리를

유지하기 위해 사용하여 자율주행차량 모델이 거리에 따라 위험한 상황이 발생할 수 있을 때 적절하게 대응할 수 있도록 한다.

【0027】 일곱째, 적응형 모델 예측 제어 시스템(Adaptive Model Predictive Control System)을 인간 운전자 차량의 제어에 적용하여, 시뮬레이션 상 자율주행 차량의 센서에서 획득된 전방의 가장 가까운 인간 운전자 차량과의 상대적 거리와 상대 속도를 파악하고, 제어 변수에서 자율주행차량은 전방 차량과 일정한 거리를 자율적으로 유지하는 방식으로 인간 운전자의 행태에 반응하여 운행할 수 있도록 한다.

### 【도면의 간단한 설명】

【0028】 도 1a는 ACC 시스템의 규칙을 나타낸 구성도

도 1b는 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치의 구성도

도 2a와 도 2b는 부분관찰 마르코프 의사결정(Partial Observability Markov decision process ; POMDP) 과정을 설명하기 위한 구성도

도 3은 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 방법을 나타낸 동작 흐름도

도 4는 POMDP 프레임워크를 통한 RSS 알고리즘 최적화를 나타낸 의사 코드 형식 구성도

도 5a와 도 5b는 RSS 기반 POMDP 모델의 성능평가를 위한 시뮬레이션 실험

구성도

도 6a와 도 6b는 첫 번째 실험의 출력 프로파일을 사용한 시뮬레이션 결과 그래프

도 7a와 도 7b는 두 번째 실험의 출력 프로파일을 사용한 시뮬레이션 결과 그래프

도 8은 본 발명에 따른 모델과 이전의 적응형 MPC 모델의 성능 비교 그래프

도 9는 본 발명에 따른 모델에서 자율 주행 차량 속도에 따른 시뮬레이션 결과 그래프

도 10은 본 발명에 따른 모델에서 자율 주행 차량의 가속을 통한 시뮬레이션 결과 그래프

#### **【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】**

【0029】 이하, 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법의 바람직한 실시 예에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

【0030】 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법의 특징 및 이점들은 이하에서의 각 실시 예에 대한 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.

【0031】 도 1a는 ACC 시스템의 규칙을 나타낸 구성도이고, 도 1b는 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치의

구성도이다.

【0032】 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법은 비신호 교차로에서 책임민감성 안전이론과 부분적 관측 마르코프 결정 절차를 활용하여 효율적 통행이 가능하도록 한 것이다.

【0033】 이를 위하여, 본 발명은 비신호 교차로에서 다수의 인간 운전자 차량 사이의 자율주행차량의 교통안전 보장, 지체시간 등을 고려하여 자율 주행 행태를 학습시키는 모델을 구축하는 구성을 포함할 수 있다.

【0034】 본 발명은 실제 상황과 같이 자율주행차량이 관찰할 수 있는 범위 내의 정보를 통하여 학습하는 방법으로 강화학습인 마르코프 의사결정 모델 사용(Partial Observability MDP, POMDP)으로 행동에 대한 강화학습의 보상을 최대화하는 구성을 포함할 수 있다.

【0035】 본 발명은 Matlab의 Automated Driving Toolbox를 활용하여 레이다, 비전 센서 데이터를 활용하고, 책임 민감성 안전 알고리즘(Responsibility-Sensitive Safty; RSS) 기반의 강화학습-자율주행 시스템 프레임워크로 최적화를 하여 자율주행차량의 시스템이 다른 차량의 행태를 예측하며 운행할 수 있도록 하는 구성을 포함할 수 있다.

【0036】 본 발명은 부분적인 환경에 대한 관찰을 바탕으로 학습하는 대상의 의사결정을 할 수 있게 해주는 부분관찰 마르코프 의사결정(Partial Observability Markov decision process ; POMDP) 과정을 포함하여 행동을 결정하고 행동에 대해

강화학습의 보상을 하는 구성을 포함할 수 있다.

【0037】 본 발명은 책임 민감성 안전 알고리즘(Responsibility-Sensitive Safty; RSS)을 비신호 교차로에서 자율주행차량과 인간운전자 사이의 안전 거리를 유지하기 위해 사용하여 자율주행차량 모델이 거리에 따라 위험한 상황이 발생할 수 있을 때 적절하게 대응하는 구성을 포함할 수 있다.

【0038】 본 발명은 적응형 모델 예측 제어 시스템(Adaptive Model Predictive Control System)을 인간 운전자 차량에 적용하였고, 시뮬레이션 상 자율주행차량의 센서에서 획득된 전방의 가장 가까운 인간 운전자 차량과의 상대적 거리와 상대 속도를 파악하고, 제어 변수에서 자율주행차량은 전방 차량과 일정한 거리를 자율적으로 유지하는 방식으로 인간 운전자의 행태에 반응하여 운행하는 구성을 포함할 수 있다.

【0039】 적응형 모델 예측 제어 시스템(Adaptive Model Predictive Control System)에 관하여 설명하면 다음과 같다.

【0040】 MPC(Model Predictive Control)는 인간 운전자 차량의 미래 행동을 추정하고 실시간 최적화를 사용해서 예측된 내용을 바탕으로 적절한 동작을 제어하도록 설계된 것으로, 이에 대응하여 자율주행차량에게 적절한 가속도를 선택하게 하는 역할을 한다.

【0041】 본 발명에서 MPC의 탐지 객체는 시뮬레이션 상 자율주행차량의 센서에서 획득된 전방의 가장 가까운 인간 운전자와의 상대적 거리와 상대 속도를 파악

하고, 제어 변수에서 자율주행차량은 전방 차량과 일정한 거리를 자율적으로 유지하는 방식으로 인간 운전자의 행태에 반응하여 운행하도록 한다.

【0042】 그리고 ACC 시스템은 하위 및 상위 레벨 컨트롤러로 구성되고, 상위 레벨 컨트롤러는 상대 속도와 상대 거리가 융합된 것이고, 하위 레벨 컨트롤러는 브레이크 시스템을 조정하여 최고의 가속도를 달성하는 것이다.

【0043】 최적의 가속도를 계산하기 위해서는 자율 주행 차량(ego vehicle)과 선도 차량 사이의 관계가 설정되어야 한다. ACC는 전방 차량의 상대 위치와 상대 속도를 자율적으로 유지함으로써 자율 주행 차량의 종방향 가속을 제어한다. 컨트롤러는 온보드 센서(예: 레이더 및 비전 센서)의 실시간 측정을 기반으로 차량 간 (V2V) 통신을 통해 상대 속도와 거리를 추정한다.

【0044】 안전 거리는 다음과 같이 정의된다

【0045】 【수학식 1】

$$d_{safe\_ACC} = d_{default} + t_{gap}v_{ego}$$

【0046】 여기서,  $d_{safe\_ACC}$  는 ACC 시스템의 안전 거리,  $v_{ego}$  는 자율주행차량(ego vehicle)의 실제 속도,  $d_{default}$  는 원하는 정지 거리,  $t_{gap}$  은 차량 사이의 이동 시간을 나타낸다.

【0047】 ACC 시스템의 운전 결정 함수는 다음과 같다.



【0048】  $d_{relative} < d_{safe\_ACC}$  는 인간 운전 차량이 너무 가깝고, 안전 거리가 복구될 때까지 자율주행차량이 감속함을 의미한다.(공간 제어)

【0049】  $d_{relative} \geq d_{safe\_ACC}$  는 인간 운전 차량이 너무 멀다는 것을 의미하며, 자율주행 차량은 설정 속도에 도달할 때까지 평상시와 같이 움직인다.(속도 제어)

【0050】 센서 융합이 있는 종방향 상에서 추적 선도 차량은 동일한 차선의 자율주행 차량 전방과 센서의 감지 범위 내의 기타 차선에 있는 물체를 감지하여 자율 주행 차량과 유도 차량(자율 주행 차량 앞에 가장 가까운 인간 운전 차량) 사이의 상대 거리와 상대 속도를 찾는다.

【0051】 도 1a는 ACC 시스템의 규칙을 나타낸 것으로, ACC 시스템의 주행 결정 기능과 관련된 안전 거리와 상대적 거리 사이의 관계를 나타낸다(예: 간격 제어 및 속도 제어).

【0052】 ACC 시스템에서는 이산 시간에 ACC 장착 차량의 가속도가 다음과 같이 제시된다.

【0053】 【수학식 2】

$$a(k+1) = (1 - \frac{T_s}{\tau})a(k) + \frac{T_s}{\tau}u(k)$$

【0054】 여기서,  $a(k)$ 는 ACC 장착 차량의 가속,  $T_s$ 는 샘플링 시간이며,  $\tau$ 는 하위 레벨 컨트롤러의 유한 대역폭에 해당하는 시간 지연이며,  $u(k)$ 는 가속에 관한 제어 변수 매트릭스를 나타낸다.

【0055】 MPC 알고리즘은 미래 행동을 추정하고 온라인 최적화를 사용하여 예측 시야에서 적절한 제어 동작을 결정하도록 설계되었다.

【0056】 MPC는 출력과 입력 사이의 상호작용을 고려하는데, 이는 피드백 제어 알고리즘의 작동 방식과 비슷하다. 이 모델은 AV에 가장 적합한 가속도를 선택한다.

【0057】 MPC는 트랙션 제어 문제와 차선 유지 보조 시스템 등 일부 자율 제어 애플리케이션을 통해 도입되었다.

【0058】 MPC 알고리즘에서 샘플링 시간  $k$ 에서 측정할 수 있는 예측 및 전류 상태 파라미터는 다음과 같이 표시된다.

【0059】 【수학식 3】

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$$

【0060】 여기서,  $x(k+1)$ 는 예측 상태 행렬,  $x(k)$ 는 현재 상태 행렬이며, A와 B는 다음과 같이 상태 전환 행렬을 나타낸다.

## 【0061】 【수학식 4】

$$A = \begin{pmatrix} 1 & T_s & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}T_s^2 \\ -T_s \\ T_s \end{pmatrix}$$

【0062】 이산 시간으로 분리된 연속 시간에서 세로 방향 차량 역학의 상대 거리  $x_r(t)$ , 상대 속도  $v_r(t)$  및 자기 속도  $v_h(t)$  를 포함한 입력 데이터는 다음과 같다

## 【0063】 【수학식 5】

$$x_r(t) = x_r(0) + \int_{t_0}^t v_r(t) dt$$

## 【0064】 【수학식 6】

$$v_r(t) = v_r(0) + \int_{t_0}^t a_r(t) dt$$

## 【0065】 【수학식 7】

$$v_h(t) = v_h(0) + \int_{t_0}^t a_h(t) dt$$

【0066】 여기서,  $a_r(t)$ 는 상대 가속도이고,  $a_h(t)$ 는 시간  $t$ 에서 자율 주행 차량의 가속도이다.

【0067】 적응형 MPC 시스템은 최대 스로틀 또는 제동 기능을 통해 더욱 강력해지고, 호스트 차량은 호스트 차량이 갑자기 차선을 변경하거나 제동할 때 즉시 응답할 수 있다. 이에 따라 적응형 MPC 시스템은 안전, 제어 추종 차량, 부드러운 주행 및 연비에 초점을 둔다.

【0068】 ACC 시스템과 유사한 하드 제약 조건에 통합된 속도( $v$ ), 가속( $a$ ), 제동( $u$ ) 및 저크(jerk)( $j$ )의 제약 조건은 다음과 같이 표현할 수 있다.

## 【0069】 【수학식 8】

$$v_{min} \leq v(k) \leq v_{max}$$

## 【0070】 【수학식 9】

$$a_{min} \leq a(k) \leq a_{max}$$

## 【0071】 【수학식 10】

$$u_{min} \leq u(k) \leq u_{max}$$

## 【0072】 【수학식 11】

$$j_{min} \leq j(k) \leq j_{max}$$

【0073】 센서 융합의 입력 매개 변수, 시뮬레이션 시간, 자동화 차량의 종방향 속도 및 도로 정보에 따르면 센서 융합이 적용된 추적 선도 차량은 먼저 자율주행 차량 앞에 있는 물체를 감지하고 다중 물체 추적기로 전달된다.

【0074】 탐지 개체의 상태는 Kalman 필터 알고리즘에 의해 추정되고 융합된다.

【0075】 그리고 책임 민감 안전 알고리즘(Responsibility-Sensitive Safty; RSS)은 튜플에 의해 정의된 모든 주행 시나리오(안전 거리, 위험 상황 및 적절한 대응)와 관련된 인간의 개념에 기초하는 안전한 자동화 차량에 대한 규칙을 공식화하기 위해 도입되었다.

【0076】 안전 추종 거리 유지와 같은 몇 가지 간단한 규칙에 따라 RSS 알고리즘은 AV의 주변 환경에 대한 응답으로 AV에 대한 안전 보장을 제안한다. 예를 들어, AV는 AV와 사람이 운전하는 차량 사이의 충돌이 발생할 때 책임을 평가하고 결

정한다.

【0077】 자율주행차량과 인간운전자 충돌 시 책임을 평가하는데 사용하고, 본 발명에서 RSS 알고리즘은 비신호 교차로에서 자율주행차량과 인간운전자 사이의 안전 거리를 유지하기 위해 사용하여 자율주행차량 모델은 거리에 따라 위험한 상황이 발생할 수 있을 때 적절하게 대응할 수 있도록 한다.

【0078】 AV(Automated vehicles)는 RSS 알고리즘을 혼합 트래픽에 적용하고 위험한 상황을 피하기 위해 안전한 거리(예: 안전한 세로 거리와 안전한 가로 거리)를 유지해야 한다.

【0079】 또한, AV가 다른 자동차와의 교통 사고를 피할 수 있다면, 그들은 최소 가속도로 감속되거나 차선을 바꾸어야 한다.

【0080】 안전 거리( $d_{safe\_RSS}$ )는 다음과 같이 표시된 AV의 반응 시간( $d_{response}$ ) 및 제동 거리( $d_{braking}$ )를 포함한다.

【0081】 【수학식 12】

$$d_{safe\_RSS} = d_{response} + d_{braking} = v_1 \rho + \frac{v_1^2}{2a_{min,brake}}$$

【0082】 여기서,  $\rho$ 는 AV의 응답 시간을 나타내고,  $v_1$ 은 AV의 실제 속도이고,  $a_{min,brake}$ 는 AV의 최소 가속도이다.

【0083】 본 발명에서는 운전자 없는 차량에서 수동 주행 차량까지의 안전 거리를 유지하기 위해 비신호화된 교차로에 RSS 알고리즘을 적용한다.

【0084】 AV는 수학적 수식에 기초하여 가능하면 밖의 경로와 다른 경로를 유지해야 한다. 즉, RSS 알고리즘은 다른 차량에 의해 위험한 상황이 발생할 수 있는 경우 자동화된 차량이 적절하게 대응하도록 보장하는 것이다.

【0085】 첫째, 안전 거리는 수학적 정의(수학식 12)를 사용하여 계산한다.

【0086】 둘째, 전방 충돌 경고는 확인된 트랙을 통한 자율 주행 차량과 MIO(Most Important Object)트랙 사이의 상대 거리와 상대 속도에서 결정된다.

【0087】 마지막으로 AV는 안전 상태(예: ACC 시스템의 속도 제어 또는 간격 제어)를 복원하기 위해 적절한 조치를 취한다.

【0088】 RSS 알고리즘에 따르면, AV는 응답 시간  $[0, \rho]$ 에서 최대 가속도에 도달할 때까지 가속되었고 수동 구동 차량으로부터 안전한 거리를 유지하기 위해 응답 시간 후 최소 가속도에 의해 감속된다.

【0089】 따라서 자율 주행 결정 함수는 다음과 같다.

【0090】 만약,  $d_{relative} - d_{braking} \geq 0$ 인 경우, 두 차량 모두 정상 주행 및 설정 속도(ACC 시스템의 속도 제어)를 따를 수 있다.

【0091】 만약,  $d_{relative} - d_{braking} < 0$ 인 경우, 자율 주행 차량은 안전 거리가 복원될 때까지 최소 가속으로 감속한다(ACC 시스템의 공간 제어).

【0092】 그리고 마르코프 결정 과정(MDP)은 완전히 관찰 가능한 무작위 환경에서 적절한 조치를 결정하는 데 사용되는 강력한 프레임워크이다. 그러나 AV는 부정확한 의도와 센서 소음을 고려하여 불확실한 환경으로 기동한다.

【0093】 이 문제를 해결하기 위해, POMDP는 부분적으로 관찰 가능한 MDP로 제안된다.

【0094】 여기서 POMDP는 튜플( $S, A, T, R, O, Z$ )로 지정된 타임 스텝(time step)에 걸쳐 가능한 각 믿음 상태(belief state)에 대한 적절한 조치를 결정하기 위해 사용된다,

【0095】  $S$ 와  $A$ 는 참가자의 상태 및 행동이다. 각각,  $T(S', S, a)$ 는 전이 확률을 나타내고,  $R(a, S)$ 는 선택된 작용에 대한 보상을 정의하고,  $O$ 는 관측치를 정의하고,  $Z$ 는 관측 함수이다.

【0096】 POMDP 시스템에서, 우리는 믿음 상태(belief state)를 유지한다.(예를 들어, 불완전한 시스템 상태로 인한 위치, 속도, yaw 및 yaw rate 포함)

【0097】 자율 주행 차량이(가속, 감속 및 원하는 속도 유지 등) 조치를 취하고 레이더와 비전 센서를 통해 관찰을 수신하면, 새로운 믿음 상태는 베이즈의 규칙에 기초하여 얻어진다.

【0098】 POMDP 프레임워크는 다음과 같이 정의된 몬테카를로 방법의 기초가 되는 예상 보상을 최대화하는 것을 목표로 한다



## 【0099】 【수학식 13】

$$Q(b,a) \approx R(b,a) + \gamma \sum_{o \in O} \tau(b,a,o) V^*(\tau(b,a,o))$$

## 【0100】 【수학식 14】

$$\pi(b) := \operatorname{argmax}_a Q(b,a)$$

【0101】 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치는 도 1b에서와 같이, POMDP 알고리즘의 학습 상태를 초기화하는 상태 초기화부(10)와, 자율주행차량 운행 최적화를 위한 POMDP 모델에 RSS 알고리즘을 제공받아 최적 행동을 도출하는 최적 행동 도출부(20)와, 최적 행동 도출부(20)에서 도출된 최적 행동을 실행하는 행동 실행부(30)와, 시뮬레이션 상 자율주행차량의 비전 센서, 레이더 센서에서 관찰된 데이터를 제공받아 주행 상태를 관찰하는 상태 관찰부(40)와, 안전, 비안전, 실패, 목표 보상 인지에 따라 RSS 알고리즘과 적응형 MPC 시스템에 기반한 자율주행 차량 행동 수정을 하는 보상 결정부(50)와, 보상 결정부(50)의 보상 수준이 적절한지 판단하는 보상 수준 판단부(60)와, 보상 수준 판단부(60)의 판단 결과 보상 수준이 목표치가 아닌 경우에 상태를 업데이트하는 상태 업데이트부(70)를 포함한다.

【0102】 도 2a와 도 2b는 부분관찰 마르코프 의사결정(Partial Observability Markov decision process ; POMDP) 과정을 설명하기 위한 구성도이다.

【0103】 부분관찰 마르코프 의사결정 과정(Partial Observability Markov decision process ; POMDP)은 부분적인 환경에 대한 관찰을 바탕으로 학습하는 대상의 의사결정을 할 수 있게 해주는 프로세스이다.

【0104】 본 발명에서는 시뮬레이션 환경에서 실제 자율주행 환경을 모사하기 위해 학습과 행동 결정의 근거를 시뮬레이션의 모든 환경(전체 관찰)이 아닌 자율주행차량 센서를 통하여 얻어진 데이터(부분만 관찰)를 기반으로 하여 행동을 결정하고 행동에 대해 강화학습의 보상을 최대화하는 것을 목표로 사용된다.

【0105】 POMDP는 자율주행차량 센서를 통하여 얻어진 데이터(부분만 관찰)를 기반으로 하여 행동을 결정하고 행동에 대해 강화학습의 보상을 하기 위하여, 자율주행차량과 인간운전자 상태(시간, 차량 위치, 속도, 결정된 경로) 및, 자율주행차량 상태(가속, 유지, 감속) 및, 상태 관찰(시뮬레이션 시간, 차량 위치, 차량 속도, 차량 센서에서 얻어진 데이터) 및, 강화학습 보상을 위하여 안전거리 미확보 시의 부정적 보상, 안전거리 확보시의 일반적 보상, 차량이 목표까지 도달했는가를 기준으로 한 목표 보상, 사고 발생시의 실패 보상의 과정을 수행한다.

【0106】 POMDP 프레임워크를 이용한 RSS 방법에 관하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

【0107】 자율 의사결정 프로세스(autonomous decision-making process)의 주요 문제는 불확실성을 이해하고 자율 주행 차량(자기 차량)에 대한 적절한 주행 전략을 결정하는 방법이다. 본 발명은 폐쇄 루프 설정에서 온라인 최적화에 초점을 맞춘다.

【0108】 본 발명에 따른 모델은 적응형 MPC 시스템에 기초한 RSS 방법과 POMDP 알고리즘의 융합으로, 불확실한 환경(예: 예측 불가능한 인간 운전자)에서 자율 주행 차량에 대한 진정한 안전 보장을 찾을 수 있다.

【0109】 도 3은 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 방법을 나타낸 동작 흐름도이다.

【0110】 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 방법은 POMDP 알고리즘의 학습 상태를 초기화하는 상태 초기화 단계(S301)와, 자율주행차량 운행 최적화를 위한 POMDP 모델에 RSS 알고리즘을 제공받아 최적 행동을 도출하는 최적 행동 도출 단계(S302)와, 최적 행동 도출 단계에서 도출된 최적 행동을 실행하는 행동 실행 단계(S303)와, 시뮬레이션 상 자율주행차량의 비전 센서, 레이더 센서에서 관찰된 데이터를 제공받아 주행 상태를 관찰하는 상태 관찰 단계(S304))와, 안전, 비안전, 실패, 목표 보상 인지에 따라 RSS 알고리즘과 적응형 MPC 시스템에 기반한 자율주행 차량 행동 수정을 하는 보상 결정 단계(S305))와, 보상 결정 단계의 보상 수준이 적절한지 판단하는 보상 수준 판단 단계(S306))와, 보상 수준 판단 단계의 판단 결과 보상 수준이 목표치가 아닌 경우에 상태를 업데이트하는 상태 업데이트 단계(S307)를 포함한다.

【0111】 POMDP 알고리즘의 믿음 상태는 다음과 같이 표시되는 연속 상태 공간이다.

【0112】 【수학식 15】

$$S = \{S_0, S_1, S_2, \dots, S_k\}$$

【0113】 여기서,  $S_0$ 는 자율 주행 차량의 믿음 상태(belief state)를 의미한다.

【0114】  $S_k \in \{1, 2, \dots, k\}$ 는 인간 운전 차량의 상태이며,  $k$ 는 이 모델에서 인간이 운전하는 차량의 수를 나타낸다.

【0115】 상태(state)는 다음과 같이 폐쇄 루프 설정에서 레이더 및 비전 센서를 통해 각 타임 스텝(time step)에서 자율주행 차량과 기타 차량의 위치(x,y), 속도(v), yaw( $\theta$ ) 및 yaw rate( $\omega$ )로 구성된다.

【0116】 【수학식 16】

$$S_0 = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ v_0 \\ \theta_0 \\ \omega_0 \end{pmatrix}$$

## 【0117】 【수학식 17】

$$S_k = \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \\ v_k \\ \theta_k \\ \omega_k \end{pmatrix}$$

【0118】 행동 공간(Action space)은 다음과 같다.

【0119】 본 발명에 따른 자기 행동(ego action)에는 가속(*acc*), 감속(*dec*) 및 원하는 속도 유지(*mds*)가 포함되었으며, ACC 모델의 간격과 속도 제어에 의해 제어된다.

【0120】 자기 행동(ego action)은  $A = [acc, dec, mds]$ 로 정의되는 반면 수동 구동 차량의 작용은 MPC 알고리즘에 의한 시간 단계로 연속 시간 동안 추정한다.

【0121】 관측 공간(Observation space)에 관하여 설명하면 다음과 같다.

【0122】 관측은 위치, 속도, yaw, yaw rate, 상대 속도(*rel\_v*) 및 운전자 없는 차량과 선행 차량의 상대 거리(*rel\_d*)와 같은 요인으로 구성된다.

【0123】 선도 차량(lead vehicle)은 자율주행차량(ego vehicle) 앞에서 가장 가까운 트랙인 MIO 트랙에 의해 감지된다. 또한 비전 및 레이더 센서는 자율주행차량과 관련하여 수동 구동 차량의 위치와 속도를 측정할 수 있다.

【0124】 관측 함수는 다음과 같이 정의된다.

## 【0125】 【수학식 18】

$$S_k = \begin{pmatrix} x \\ y \\ v \\ \theta \\ \omega \\ rel\_v \\ rel\_d \end{pmatrix}$$

【0126】 보상 기능 및 최적 행동에 관하여 설명하면 다음과 같다.

【0127】 자동화 차량은 안전한 추종 거리를 유지하는 것과 같은 간단한 규칙을 따라야 한다.

【0128】 따라서, 보상은 네 가지 측면(즉, 안전, 비안전, 실패 및 목표 보상)에 대해 고려된다. 보상은 센서 융합(비전 및 레이더 센서 사용)과 수동 차량을 통해 자율의 관찰 가능한 매개 변수에서 판단된다.

【0129】 적절한 응답을 실행하기 위해 RSS 알고리즘과 적응형 MPC 시스템에 기반한 AV의 동작은 보상 값에 기초하여 다음 타임 스텝에 최적화될 수 있다.

【0130】 따라서 보상 기능과 최적 행동은 다음과 같은 규칙에 따라 갱신된다.

【0131】 (1)  $d_{relative} - d_{braking} \geq 0$  은 안전한 보상을 의미한다. 따라서 AV는 설정된 속도(예: ACC 시스템의 속도 제어)까지 속도를 유지하거나 가속할 수 있다.

【0132】 (2)  $d_{relative} - d_{braking} < 0$ 은 안전하지 않은 보상을 의미하므로 AV는 안전 거리(예: ACC 시스템의 차량 내 간격 제어)가 복원될 때까지 최소 가속으로 감속한다.

【0133】 (3)  $Collision\ detection = 1$ 은 고장 보상을 나타내는 것으로, 폐쇄 루프 설정이 중지된다.

【0134】 (4) 목표 위치에 도달하는 차량 중 하나가 목표 보상을 안전하게 표시하므로 폐쇄 루프 설정이 중지된다.

【0135】 POMDP 프레임워크를 통한 전체 RSS 알고리즘은 다음과 같은 알고리즘으로 의사 코드와 함께 자세히 제시된다.

【0136】 도 4는 POMDP 프레임워크를 통한 RSS 알고리즘 최적화를 나타낸 의사 코드 형식 구성도이다.

【0137】 도 4의 POMDP 프레임워크를 통한 RSS 알고리즘 최적화 과정을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

【0138】 1 : 운행 상태 수집  $S_0, S_1, S_2, S_3 \dots$

【0139】 2 : 시뮬레이션 상에서 POMDP 프레임 워크를 기반으로 한 RSS 알고리즘 적용

【0140】 3 : 시뮬레이션 파라미터 입력

【0141】 4 : 시계열 마다 반복 (0.1s, 0.1 초마다 반응)

【0142】 5 : 초기 상태 설정 (시뮬레이션 상 차량들의 초기 상태 설정)

【0143】 6 :  $S_0 = (x_0 \ y_0 \ v_0 \ \theta_0 \ \omega_0)^T$

【0144】 7 :  $S_k = (x_k \ y_k \ v_k \ \theta_k \ \omega_k)^T$

【0145】 8 : 최적 주행 전략 연산

【0146】 9 :  $\pi(b) := \operatorname{argmax}_a Q(b, a)$

【0147】 9 : 행동 실행, 행동양식 = [가속, 감속, 속도 유지]

【0148】 10 : 시뮬레이션 상에서 자율주행차량의 비전 및 레이더 센서로부터  
데이터 수집

【0149】 11 : 관찰된 데이터 수집 =  $(x, y, v, q, w, \text{rel\_v}, \text{rel\_d})^T$

【0150】 12 : 강화학습 보상 기능 실행

【0151】 13 : 보상  $R = [\text{안전 보상}, \text{비안전 보상}, \text{실패 보상}, \text{목표 보상}]$   
수준]

【0152】 14 : 새로운 상태 업데이트  $b = t(b, a, 0)$

【0153】 15 : 시뮬레이션 반복 결정 : 목표 보상에 도달할때까지  $R =$   
[failure reward, good reward]로 결정.

【0154】 도 5a와 도 5b는 RSS 기반 POMDP 모델의 성능평가를 위한 시뮬레이션 실험 구성도이다.

【0155】 RSS 기반 POMDP 모델의 성능은 사람 운전 차량의 수가 증가하는 것으로 시뮬레이션하여 평가되었다. 즉, 군집 차량이 적응형 MPC 시스템하에서 제안된 RSS 기반 POMDP 모델에 미치는 영향을 고려했다.



【0156】 RSS 기반 POMDP 모델은 고전적 적응형 MPC 모델이 제안된 모델과의 비교를 위해 사용되도록 적응형 MPC 시스템에서 구현되었다.

【0157】 교통 안전 보장 강화, 원활한 운전 개선, 지연 시간 단축을 위한 RSS 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 두 가지 사례 실험과 특정 설정이 작성되었다.

【0158】 제안된 모델과 고전적인 적응형 MPC 모델은 동일한 안전 거리와 초기 속도를 가지고, 여기에서 사용되는 자율주행 차량은 센서 융합 및 확인된 트랙을 사용하여 MIO 트랙(예: 자율주행 차량 전방에서 가장 가까운 인간 운전 차량)의 상대 거리와 상대 속도를 예측한다. 자율주행 차량은 선도 차량의 동작을 이해하고 안전 거리를 유지할 것인지 여부를 결정해야 한다. 두 가지 실험은 다음과 같다.

【0159】 도 5a는 첫번째 실험 환경을 나타낸 것으로, 자율주행차량은 좌회전을 시도하는 상황이고, 양방향에서 접근하는 사람 운전자가 탑승한 두대의 차량 고려하여야 한다. 사람 운전 차량은 양방향에서 직진으로 접근하는 것이다.

【0160】 도 5b는 두번째 실험 환경을 나타낸 것으로, 자율주행차량은 좌회전을 시도하는 상황이고, 양방향에서 다수의 차량이 진입하는 상황을 시뮬레이션하는 것으로 진입하는 차량의 간격은 40m로 설정한다.

【0161】 표 1에서와 같이, 본 발명에 따른 모델을 검증하기 위한 비신호 교차로에서의 시뮬레이션을 위한 설정값으로, 시뮬레이션 시간 단위, 자율주행차량의 반응 시간, 자율주행차량의 초기 속도, 인간운전자의 초기 속도, 차량의 최소 가속

도, 차량의 최대 가속도, 비신호 교차로 진입 도로의 차선 수, 비신호 교차로 진입 도로의 수, 차선의 너비 항목을 포함할 수 있고, 이 항목들은 실제 운행시에 자율주행을 위한 파라미터로 사용될 수 있다.

【0162】 【표 1】

시뮬레이션 설정 내용	설정값
시뮬레이션 시간 단위	0.1s
자율주행차량의 반응 시간	1.0s
자율주행차량의 초기 속도	10 m/s (36 km/h)
인간운전자의 초기 속도	10 m/s (36 km/h)
차량의 최소 가속도	-5.0 m/s <sup>2</sup>
차량의 최대 가속도	2.0 m/s <sup>2</sup>
비신호 교차로 진입 도로의 차선 수	2
비신호 교차로 진입 도로의 수	4
차선의 너비	3.6m

【0163】 지연 시간을 고려한 성능 지수를 설명하면 다음과 같다.

【0164】 시뮬레이션 시나리오에서 비전 및 레이더 센서를 통해 자율주행 차량과 선도 차량 사이의 상대 거리를 기준으로 감속 시작 시간( $t_{decel}$ )부터 가속 시작 시간( $t_{accel}$ )까지 제동 시간( $\Delta T_{braking}$ )을 계산하여 지연 시간을 고려한 성능을 분석하였다.

【0165】 제동 시간은 다음과 같이 정의된다.

【0166】 【수학식 19】

$$\Delta T_{braking} = t_{accel} - t_{decel}$$

【0167】 따라서, 시간 성능 지수( $I_{braking}$ )는 다음과 같이 정리된다.

【0168】 【수학식 20】

$$I_{braking} = \frac{\Delta T_{braking}^{Adaptive MPC} - \Delta T_{braking}^{proposed\_model}}{\Delta T_{braking}^{Adaptive MPC}}$$

【0169】 【수학식 21】

$$\Delta T_{braking}^{Adaptive MPC} = t_{accel}^{Adaptive MPC} - t_{decel}^{Adaptive MPC}$$

【0170】 【수학식 22】

$$\Delta T_{braking}^{proposed\_model} = t_{accel}^{proposed\_model} - t_{decel}^{proposed\_model}$$

【0171】 여기서,  $\Delta T_{braking}^{Adaptive MPC}$  는 고전적인 적응형 MPC 모델의 제동시간,

$t_{accel}^{Adaptive MPC}$  은 고전적인 적응형 MPC 모델의 가속 시작 시간이고,  $t_{decel}^{Adaptive MPC}$  은

고전적인 적응형 MPC 모델의 감속 시작 시간이다.

【0172】  $\Delta T_{braking}^{proposed\_model}$  는 본 발명에 따른 모델의 제동 시간,

$t_{accel}^{proposed\_model}$  는 본 발명에 따른 모델의 가속 시작 시간이고,  $t_{decel}^{proposed\_model}$  는 본 발명에 따른 모델의 감속 시작 시간이다.

【0173】 부드러운 운동을 고려한 성능지수에 관하여 설명하면 다음과 같다.

【0174】 부드러운 운동 수준 점수( $I_{sp}$ )는 부드러운 주행 고려의 성능을 분석하기 위해 최소 속도( $v_{min}$ )와 설정 속도( $v_{max}$ )를 고려한다.

【0175】 【수학식 23】

$$I_{sp} = \frac{\Delta V^{Adaptive\ MPC} - \Delta V^{proposed\_model}}{\Delta V^{Adaptive\ MPC}}$$

【0176】 【수학식 24】

$$\Delta V^{proposed\_model} = v_{max} - v_{min}^{proposed\_model}$$

【0177】 【수학식 25】

$$\Delta V^{Adaptive MPC} = v_{max} - v_{min}^{Adaptive MPC}$$

【0178】 여기서,  $\Delta V^{Adaptive MPC}$  는 적응형 MPC 차량 기준 속도,

【0179】  $\Delta V^{proposed\_model}$  는 본 발명에 따른 모델의 차량 기준속도이다.

【0180】  $v_{min}^{Adaptive MPC}$  는 적응형 모델 차량 최소 속도,

【0181】  $v_{min}^{proposed\_model}$  는 본 발명에 따른 모델의 차량 최소 속도이다.

【0182】 도 6a와 도 6b는 첫 번째 실험의 출력 프로파일을 사용한 시뮬레이션 결과 그래프이고, 도 7a와 도 7b는 두 번째 실험의 출력 프로파일을 사용한 시뮬레이션 결과 그래프이다.

【0183】 그리고 도 8은 본 발명에 따른 모델과 이전의 적응형 MPC 모델의 성능 비교 그래프이다.

【0184】 부드러운 운행은 분명히 충돌이 증가하는 첫 번째 시나리오에서 두 번째 시나리오로 점차적으로 개선되는 경향이 있었다.

## 【0185】 【표 2】

비교 내용	실험환경 1	실험환경 2
충돌	0	0
차량이 운행을 완료 시간 비교 (%) *부드러운 운행 수준 점수와 동일한 방법	31.60	26.47
차량이 부드럽게 운행한 수준 비교 (%)	51.20	53.26

【0186】 표 2와 도 8은 모든 실험에서 자율 주행 차량과 사람이 운전하는 차량 간의 충돌이 감지되지 않았음을 보여준다.

【0187】 예를 들어, 자율 주행 차량과 사람이 운전하는 차량 사이의 충돌이 없는 것을 보여주는 도 6a와 도 6b 그리고 도 7a와 도 7b의 충돌 상태 값은 0이다.

【0188】 그러므로 자동화된 차량은 안전하게 이동했다. 또한 두 번째 실험에서는 부드러운 운행 수준 점수 (53.26%)의 가장 높은 개선 효과가 관찰되었다.

【0189】 첫 번째 실험에서 가장 높은 시간 성능 지수(31.60%)가 발생했다.

【0190】 비신호 교차로에서 본 발명에 따른 적응형 MPC 모델과 고전적 적응형 MPC 모델을 비교했을 때, 부드러운 주행의 개선은 상향 추세를 보였으며, 수동 차량의 수가 점차 증가하고 있을 때 지연 시간 단축이 감소하고 있었다.

【0191】 군집 차량을 고려한 본 발명에 따른 부드러운 운행 성능은 다음과 같다.

【0192】 도 9는 본 발명에 따른 모델에서 자율 주행 차량 속도에 따른 시뮬레이션 결과 그래프이고, 도 10은 본 발명에 따른 모델에서 자율 주행 차량의 가속

을 통한 시뮬레이션 결과 그래프이다.

【0193】 【표 3】

Minimum, maximum, and standard deviation of the velocity in the proposed model

Scenarios	Minimum	Maximum	Standard deviation
First experiment	6.18593	12.87985	1.20313
Second experiment	5.00684	13.30451	1.49137

【0194】 【표 4】

Minimum, maximum, and standard deviation of the acceleration in the proposed model

Scenarios	Minimum	Maximum	Standard deviation
First experiment	-3.34525	3.47005	1.22494
Second experiment	-4.60823	4.69204	1.67158

【0195】 표 3과 표 4는 두 실험의 해당 최소, 최대 및 표준 편차를 나타낸 것이다.

【0196】 RSS 알고리즘을 사용하여 AV는 안전한 거리를 유지하면서 유도 차량 (사람 운전 차량)에 대한 상대 거리와 상대 속도를 자동으로 추적했다.

【0197】 도 9와 같이 AV 속도는 시뮬레이션 시작 시 설정된 속도를 항상 따를 수 있다. 두 차량 사이의 상대 거리가 제동 거리보다 작을 때 AV는 안전 거리가 복원될 때까지 최소 가속( $-5.0\text{m/s}^2$ )으로 감속했다.

【0198】 첫 번째 실험의 속도 분포와 가속 분포의 표준 편차는 두 번째 실험보다 작았다. 따라서, 첫 번째 실험의 변동 범위는 속도와 가속도 분포 측면에서 두 번째 실험의 변동 범위보다 작았다.

【0199】 첫 번째 실험은 속도와 가속도 면에서 두 번째 실험보다 더 부드러웠다. 다시 말해, 부드러운 주행의 개선은 본 발명에 따른 모델에서 수동 차량의 수가 증가했을 때보다 적었다.

【0200】 이상에서 설명한 본 발명에 따른 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법은 비신호 교차로에서 책임민감성 안전이론과 부분적 관측 마르코프 결정 절차를 활용하여 효율적 통행이 가능하도록 한 것이다.

【0201】 본 발명은 실제 상황과 같이 자율주행차량이 관찰할 수 있는 범위 내의 정보를 통하여 학습하는 방법으로 강화학습인 마르코프 의사결정 모델 사용(Partial Observability MDP, POMDP)으로 행동에 대한 강화학습의 보상을 최대화할 수 있도록 한 것이다.

【0202】 이상에서의 설명에서와 같이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명이 구현되어 있음을 이해할 수 있을 것이다.

【0203】 그러므로 명시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 하고, 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구 범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

## 【부호의 설명】

- |                    |               |
|--------------------|---------------|
| 【0204】 10. 상태 초기화부 | 20. 최적 행동 도출부 |
| 30. 행동 실행부         | 40. 상태 관찰부    |



50. 보상 결정부

60. 보상 수준 판단부

70. 상태 업데이트부

## 【청구범위】

### 【청구항 1】

부분관찰 마르코프 의사결정(Partial Observability Markov decision process ; POMDP) 알고리즘의 학습 상태를 초기화하는 상태 초기화부;

자율주행차량(AV) 운행 최적화를 위한 POMDP 모델에 책임 민감성 안전 알고리즘(Responsibility-Sensitive Safty; RSS)을 적용하여 최적 행동을 도출하는 최적 행동 도출부;

최적 행동 도출부에서 도출된 최적 행동을 실행하는 행동 실행부;

자율주행차량(AV)의 비전 센서, 레이더 센서에서 관찰된 데이터를 제공받아 주행 상태를 관찰하는 상태 관찰부;

안전, 비안전, 실패, 목표 보상 인지에 따라 자율주행 차량을 위한 RSS 알고리즘과 인간 운전 차량을 위한 적응형 모델 예측 제어 시스템(Adaptive Model Predictive Control System)에 기반한 자율주행 차량 행동 수정을 하는 보상 결정부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

### 【청구항 2】

제 1 항에 있어서, 보상 결정부의 보상 수준이 적절한지 판단하는 보상 수준 판단부와,

보상 수준 판단부의 판단 결과 보상 수준이 목표치가 아닌 경우에 상태를 업

데이트하는 상태 업데이트부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

### 【청구항 3】

제 1 항에 있어서, POMDP 모델은 자율주행차량 센서를 통하여 얻어진 데이터를 기반으로 하여 행동을 결정하고 행동에 대해 강화학습의 보상을 하기 위하여,

시간, 차량 위치, 속도, 결정된 경로 항목을 포함하는 자율주행차량과 인간 운전자 상태,

가속, 유지, 감속 항목을 포함하는 자율주행차 행태,

시뮬레이션 시간, 차량 위치, 차량 속도, 차량 센서에서 얻어진 데이터를 포함하는 상태 관찰,

강화학습 보상을 위하여 안전거리 미확보 시의 부정적 보상, 안전거리 확보 시의 일반적 보상, 차량이 목표까지 도달했는가를 기준으로 한 목표 보상, 사고 발생시의 실패 보상의 과정을 수행하는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

### 【청구항 4】

제 3 항에 있어서, POMDP 모델의 믿음 상태(belief state)는

$$S = \{S_0, S_1, S_2, \dots, S_k\}$$

으로 표시되는 연속 상태 공간이고,

여기서,  $S_0$ 는 자율 주행 차량의 믿음 상태(belief state),

를  $S_k \in \{1, 2, \dots, k\}$ 는 인간 운전 차량의 상태이며,  $k$ 는 이 모델에서 인간 이 운전하는 차량의 수인 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

#### 【청구항 5】

제 4 항에 있어서, 상태(state)는 폐쇄 루프 설정에서 레이더 및 비전 센서를 통해 각 타임 스텝(time step)에서 자율주행 차량과 기타 차량의 위치(x,y), 속도(v), yaw( $\theta$ ) 및 yaw rate( $\omega$ )로 구성되는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

#### 【청구항 6】

제 3 항에 있어서, 행동 공간(Action space)에서 자기 행동(ego action)에는 가속( $acc$ ), 감속( $dec$ ) 및 원하는 속도 유지( $mds$ )가 포함되고, ACC 모델의 간격과 속도 제어에 의해 제어되고,

관측 공간(Observation space)에서 관측은 위치, 속도, yaw, yaw rate, 상대 속도( $rel\_v$ ) 및 운전자 없는 차량과 선행 차량의 상대 거리( $rel\_d$ ) 요인으로 구성되는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

#### 【청구항 7】

제 3 항에 있어서, 보상 결정부에서 보상 기능과 최적 행동은,

(1)  $d_{relative} - d_{braking} \geq 0$  은 안전한 보상을 의미하고, AV는 설정된 속도까지 속도를 유지하거나 가속,

(2)  $d_{relative} - d_{braking} < 0$  은 안전하지 않은 보상을 의미하므로 AV는 안전 거리가 복원될 때까지 최소 가속으로 감속,

(3)  $Collision\ detection = 1$  은 고장 보상을 나타내는 것으로, 폐쇄 루프 설정이 중지,

(4) 목표 위치에 도달하는 차량 중 하나가 목표 보상을 안전하게 표시하는 경우 폐쇄 루프 설정 중지의 규칙에 따라 갱신되는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

### 【청구항 8】

제 1 항에 있어서, 자율 주행 차량 운행 최적화를 위하여 RSS 알고리즘을 혼합 트래픽에 적용하여 위험한 상황을 피하기 위해 안전한 거리를 유지하고,

안전 거리( $d_{safe\_RSS}$ )는,

$$d_{safe\_RSS} = d_{response} + d_{braking} = v_1 \rho + \frac{v_1^2}{2a_{min,brake}} \text{ 으로 정의되고,}$$

여기서,  $d_{response}$  는 AV의 반응 시간,  $d_{braking}$  는 제동 거리,  $\rho$  는 AV의 응답 시간,  $v_1$  은 AV의 실제 속도,  $a_{min,brake}$  는 AV의 최소 가속도인 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

**【청구항 9】**

제 8 항에 있어서, AV는 응답 시간  $[0, \rho]$ 에서 최대 가속도에 도달할 때까지 가속되고 수동 구동 차량으로부터 안전한 거리를 유지하기 위해 응답 시간 후 최소 가속도에 의해 감속되고,

자율 주행 결정 함수는 만약,  $d_{relative} - d_{braking} \geq 0$ 인 경우, 두 차량 모두 정상 주행 및 설정 속도를 따르고, 만약,  $d_{relative} - d_{braking} < 0$ 인 경우, 자율 주행 차량은 안전 거리가 복원될 때까지 최소 가속으로 감속하는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

**【청구항 10】**

제 1 항에 있어서, 인간 운전 차량에 적응형 모델 예측 제어 시스템 (Adaptive Model Predictive Control System) 적용하여,

자율주행차량의 센서에서 획득된 전방의 가장 가까운 인간 운전자와의 상대적 거리와 상대 속도를 파악하고,

제어 변수에서 자율주행차량은 전방의 인간 운전 차량과 일정한 거리를 자율적으로 유지하는 방식으로 인간 운전자의 행태에 반응하여 운행할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

**【청구항 11】**

제 10 항에 있어서, 비신호 교차로에서의 시뮬레이션을 위한 설정값으로,

시뮬레이션 시간 단위, 자율주행차량의 반응 시간, 자율주행차량의 초기 속

도, 인간운전자의 초기 속도, 차량의 최소 가속도, 차량의 최대 가속도, 비신호 교차로 진입 도로의 차선 수, 비신호 교차로 진입 도로의 수, 차선의 너비 항목을 포함하는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

### 【청구항 12】

제 11 항에 있어서, 지연 시간을 고려한 성능 분석을 위하여,

시뮬레이션 시나리오에서 비전 및 레이더 센서를 통해 자율주행 차량과 선도 차량 사이의 상대 거리를 기준으로 감속 시작 시간( $t_{decel}$ )부터 가속 시작 시간( $t_{accel}$ )까지 제동 시간( $\Delta T_{braking}$ )을 계산하여 지연 시간을 고려한 성능을 분석을 하는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

### 【청구항 13】

제 12 항에 있어서, 제동 시간은  $\Delta T_{braking} = t_{accel} - t_{decel}$  으로 정의되고,

시간 성능 지수( $I_{braking}$ )는,

$$I_{braking} = \frac{\Delta T_{braking}^{Adaptive\ MPC} - \Delta T_{braking}^{proposed\_model}}{\Delta T_{braking}^{Adaptive\ MPC}},$$

$$\Delta T_{braking}^{Adaptive MPC} = t_{accel}^{Adaptive MPC} - t_{decel}^{Adaptive MPC},$$

$$\Delta T_{braking}^{proposed\_model} = t_{accel}^{proposed\_model} - t_{decel}^{proposed\_model} \quad \text{으로 정의되고,}$$

여기서,  $\Delta T_{braking}^{Adaptive MPC}$  는 고전적인 적응형 MPC 모델의 제동시간,

$t_{accel}^{Adaptive MPC}$  은 고전적인 적응형 MPC 모델의 가속 시작 시간이고,  $t_{decel}^{Adaptive MPC}$  은

고전적인 적응형 MPC 모델의 감속 시작 시간,

$\Delta T_{braking}^{proposed\_model}$  는 제안 모델의 제동 시간,  $t_{accel}^{proposed\_model}$  는 제안 모델의

가속 시작 시간이고,  $t_{decel}^{proposed\_model}$  는 제안 모델의 감속 시작 시간인 것을 특징으로

하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

#### 【청구항 14】

제 12 항에 있어서, 부드러운 운행 수준 점수( $I_{sp}$ )는 부드러운 주행 고려의 성능을 분석하기 위해 최소 속도( $v_{min}$ )와 설정 속도( $v_{max}$ )를 고려하고,

$$I_{sp} = \frac{\Delta V^{Adaptive MPC} - \Delta V^{proposed\_model}}{\Delta V^{Adaptive MPC}} \quad \text{으로 정의되고,}$$

$$\Delta V^{proposed\_model} = v_{max} - v_{min}^{proposed\_model},$$



$$\Delta V^{Adaptive MPC} = v_{max} - v_{min}^{Adaptive MPC},$$

여기서,  $\Delta V^{Adaptive MPC}$  는 적응형 MPC 차량 기준 속도,

$\Delta V^{proposed\_model}$  는 제안 모델의 차량 기준속도,

$v_{min}^{Adaptive MPC}$  는 적응형 모델 차량 최소 속도,

$v_{min}^{proposed\_model}$  는 제안 모델의 차량 최소 속도인 것을 특징으로 하는 비신

호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치.

### 【청구항 15】

부분관찰 마르코프 의사결정(Partial Observability Markov decision process ; POMDP) 알고리즘의 학습 상태를 초기화하는 상태 초기화 단계;

자율주행차량(AV) 운행 최적화를 위한 POMDP 모델에 책임 민감성 안전 알고리즘(Responsibility-Sensitive Safty; RSS)을 적용하여 최적 행동을 도출하는 최적 행동 도출 단계;

최적 행동 도출 단계에서 도출된 최적 행동을 실행하는 행동 실행 단계;

자율주행차량(AV)의 비전 센서, 레이더 센서에서 관찰된 데이터를 제공받아 주행 상태를 관찰하는 상태 관찰 단계;

안전, 비안전, 실패, 목표 보상 인지에 따라 자율 주행 차량의 RSS 알고리즘과 인간 운전 차량의 적응형 모델 예측 제어 시스템(Adaptive Model Predictive

Control System)에 기반한 자율주행 차량 행동 수정을 하는 보상 결정 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 방법.

#### 【청구항 16】

제 15 항에 있어서, 보상 결정 단계의 보상 수준이 적절한지 판단하는 보상 수준 판단 단계와,

보상 수준 판단 단계의 판단 결과 보상 수준이 목표치가 아닌 경우에 상태를 업데이트하는 상태 업데이트 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 방법.

#### 【청구항 17】

제 15 항에 있어서, POMDP 모델은 자율주행차량 센서를 통하여 얻어진 데이터를 기반으로 하여 행동을 결정하고 행동에 대해 강화학습의 보상을 하기 위하여,

시간, 차량 위치, 속도, 결정된 경로 항목을 포함하는 자율주행차량과 인간 운전자 상태,

가속, 유지, 감속 항목을 포함하는 자율주행차 행태,

시뮬레이션 시간, 차량 위치, 차량 속도, 차량 센서에서 얻어진 데이터를 포함하는 상태 관찰,

강화학습 보상을 위하여 안전거리 미확보 시의 부정적 보상, 안전거리 확보 시의 일반적 보상, 차량이 목표까지 도달했는가를 기준으로 한 목표 보상, 사고 발

생시의 실패 보상의 과정을 수행하는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 방법.

### 【청구항 18】

제 15 항에 있어서, 보상 결정 단계에서 보상 기능과 최적 행동은,

(1)  $d_{relative} - d_{braking} \geq 0$  은 안전한 보상을 의미하고, AV는 설정된 속도까지 속도를 유지하거나 가속,

(2)  $d_{relative} - d_{braking} < 0$  은 안전하지 않은 보상을 의미하므로 AV는 안전 거리가 복원될 때까지 최소 가속으로 감속,

(3)  $Collision\ detection = 1$  은 고장 보상을 나타내는 것으로, 폐쇄 루프 설정이 중지,

(4) 목표 위치에 도달하는 차량 중 하나가 목표 보상을 안전하게 표시하는 경우 폐쇄 루프 설정 중지의 규칙에 따라 갱신되는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 방법.

### 【청구항 19】

제 15 항에 있어서, 인간 운전 차량용 적응형 모델 예측 제어 시스템 (Adaptive Model Predictive Control System) 적용에 따라,

자율주행차량의 센서에서 획득된 가장 가까운 인간 운전자와의 상대적 거리와 상대 속도를 파악하고,

제어 변수에서 자율주행차량은 전방 차량과 일정한 거리를 자율적으로 유지하는 방식으로 인간 운전자의 행태에 반응하여 운행할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 방법.

## 【요약서】

### 【요약】

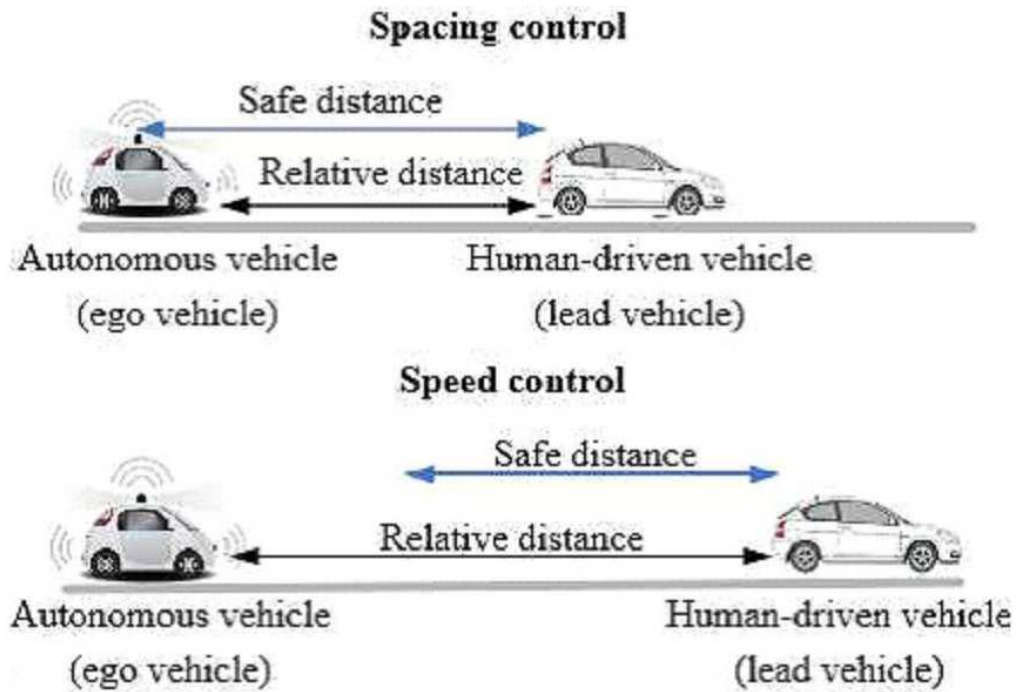
본 발명은 비신호 교차로에서 책임민감성 안전이론과 부분적 관측 마르코프 결정 절차를 활용하여 효율적 통행이 가능하도록 한 비신호 교차로에서 자율주행차량의 개선된 통행을 위한 장치 및 방법에 관한 것으로, 부분관찰 마르코프 의사결정(Partial Observability Markov decision process ; POMDP) 알고리즘의 학습 상태를 초기화하는 상태 초기화부;자율주행차량 운행 최적화를 위한 POMDP 모델에 책임 민감성 안전 알고리즘(Responsibility-Sensitive Safty; RSS)을 적용하여 최적 행동을 도출하는 최적 행동 도출부;최적 행동 도출부에서 도출된 최적 행동을 실행하는 행동 실행부;자율주행차량의 비전 센서, 레이더 센서에서 관찰된 데이터를 제공받아 주행 상태를 관찰하는 상태 관찰부;안전, 비안전, 실패, 목표 보상 인지에 따라 자율주행 차량용 RSS 알고리즘과 인간 운전 차량용 적응형 모델 예측 제어 시스템(Adaptive Model Predictive Control System)에 기반한 자율주행 차량 행동 수정을 하는 보상 결정부;를 포함하는 것이다.

### 【대표도】

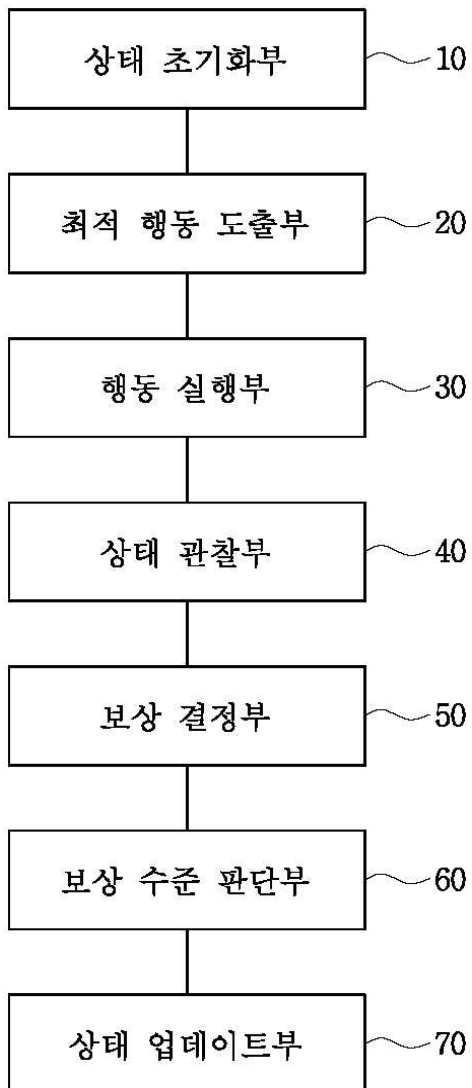
도 3

## 【도면】

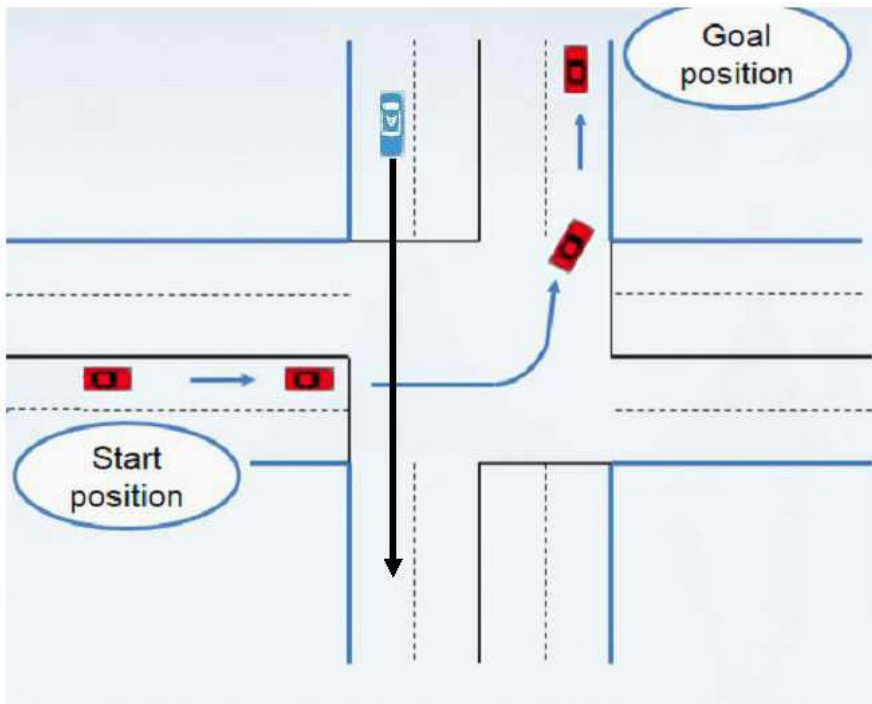
【도 1a】



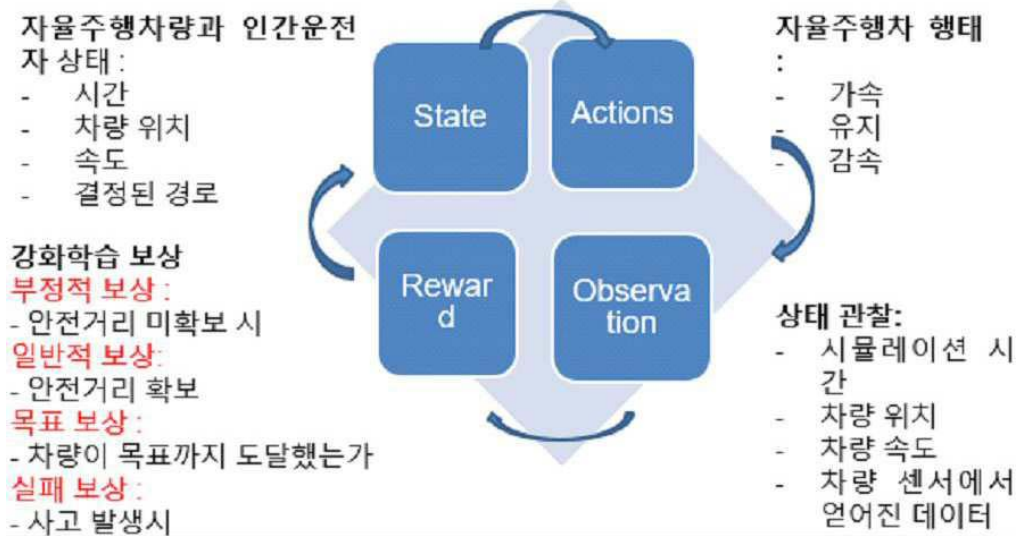
【도 1b】



【도 2a】

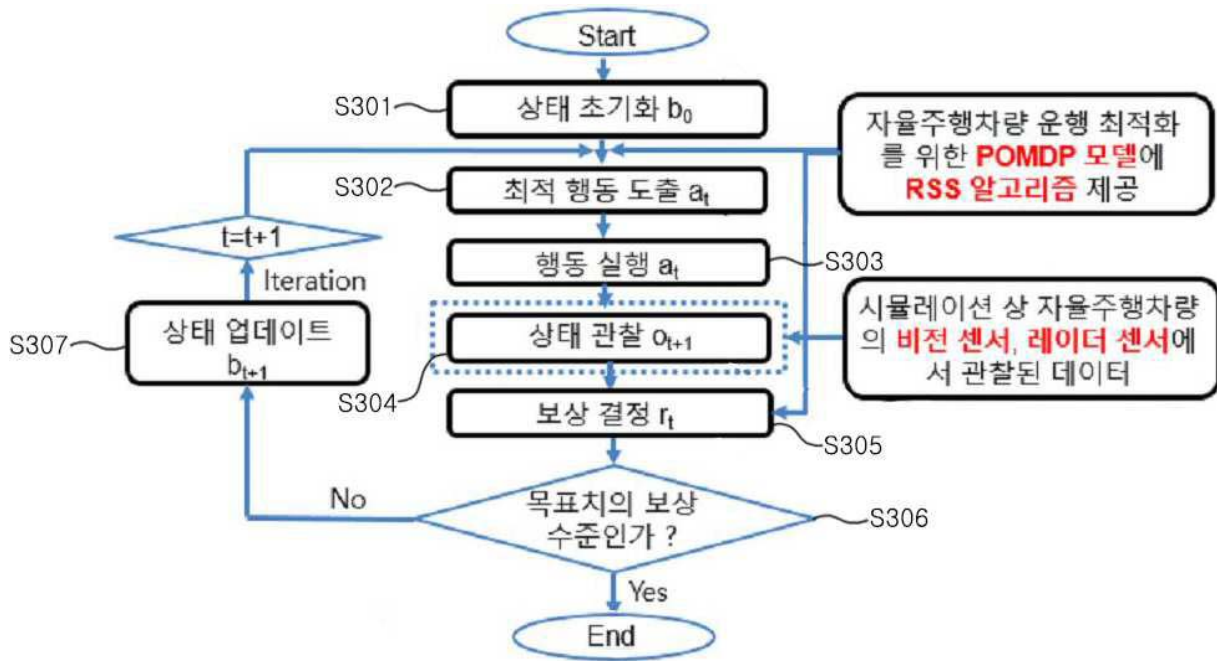


【도 2b】





【도 3】



## 【도 4】

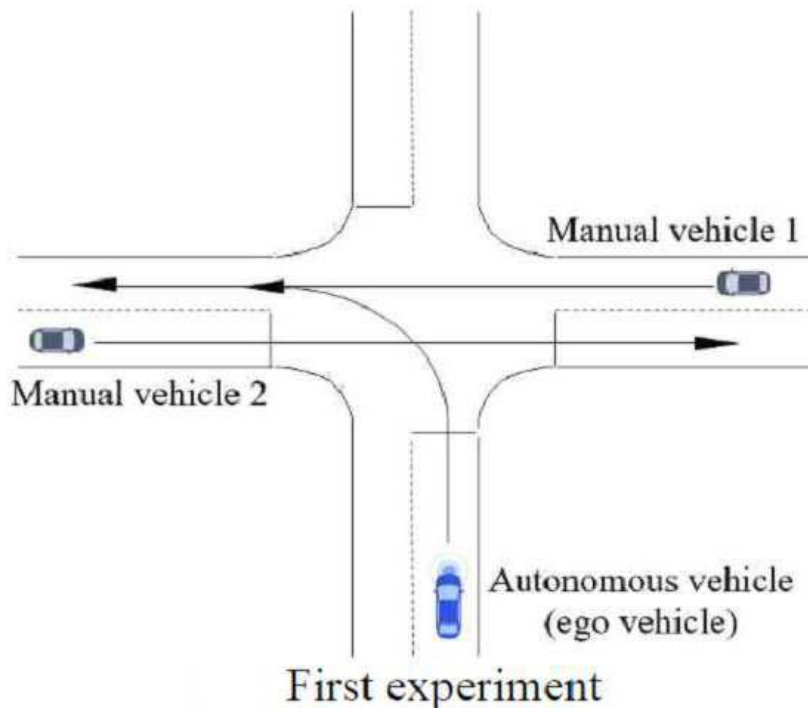
---

**Responsibility-sensitive safety algorithm through the POMDP framework**

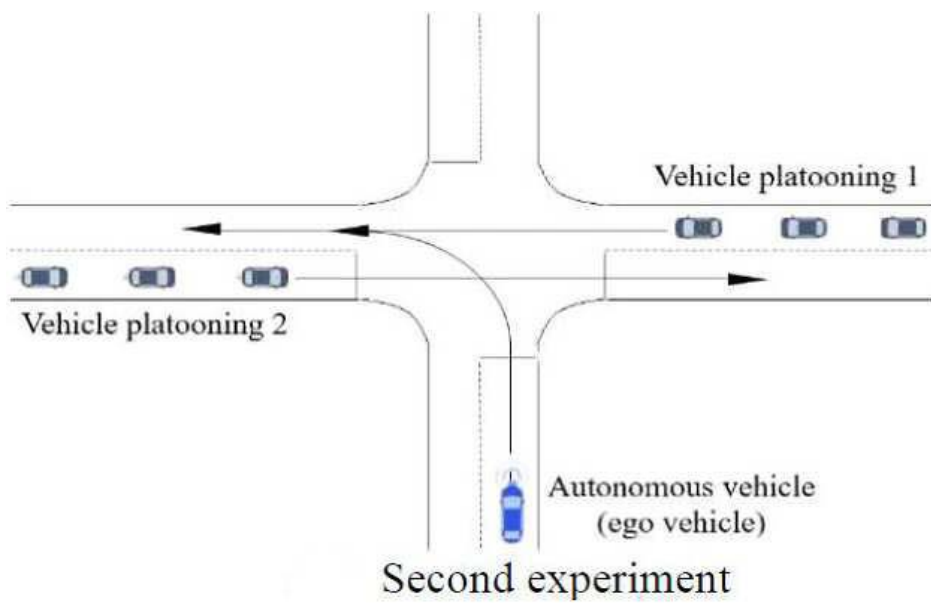

---

- 1: Collect driving state  $S = \{S_0, S_1, S_2, \dots, S_k\}$
  - 2: Simulate the RSS model through POMDP framework based on the adaptive MPC system
  - 3: Input simulation parameters
  - 4: Repeat for each time step (0.1 s)
  - 5: Initial state  $S_0$  and  $S_k$
  - 6:  $S_0 = (x_0 \ y_0 \ v_0 \ \theta_0 \ \omega_0)^T$
  - 7:  $S_k = (x_k \ y_k \ v_k \ \theta_k \ \omega_k)^T$
  - 8: Compute the optimal driving strategy  
 $\pi(b) := \operatorname{argmax}_a Q(b, a)$
  - 9: Execute the action of  $A = [acc, dec, mds]$
  - 10: Receive the observation from vision and radar sensors
  - 11:  $O = (x, y, v, \theta, \omega, rel\_v, rel\_d)^T$
  - 12: Get the reward function
  - 13:  $R = [safe \ reward, non-safe \ reward, failure \ reward, goal \ reward]$
  - 14: Update new state  $b = \tau(b, a, O)$
  - 15: Until  $R = [failure \ reward, goal \ reward]$
-

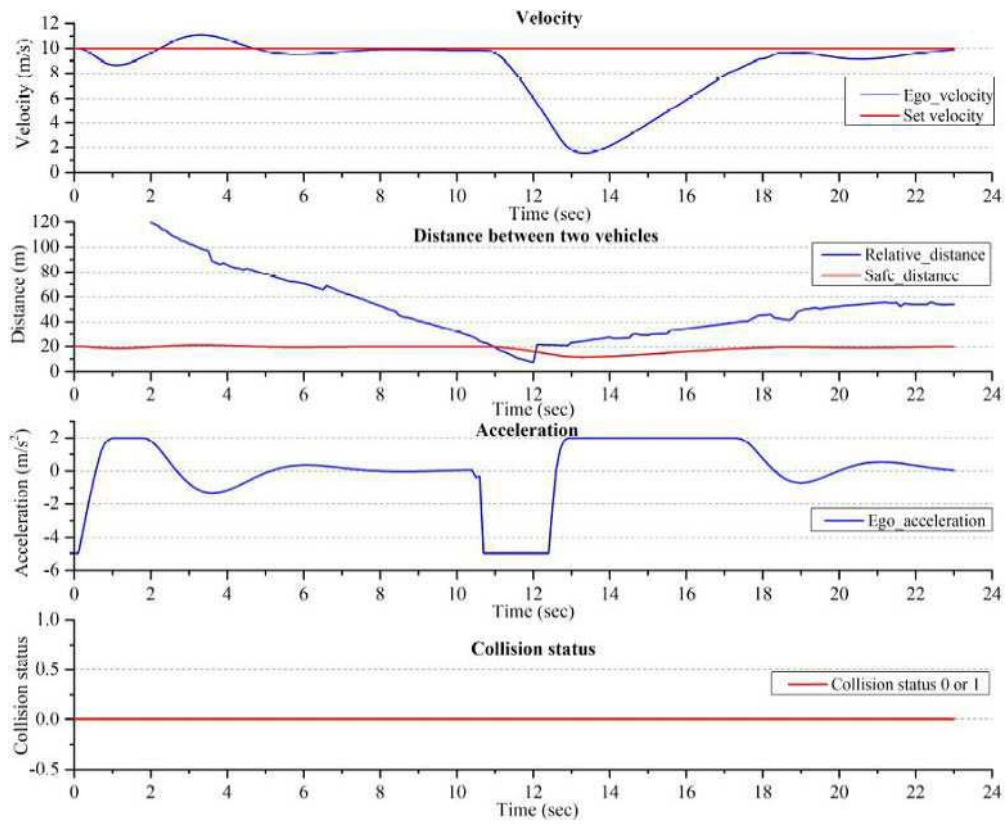
【도 5a】



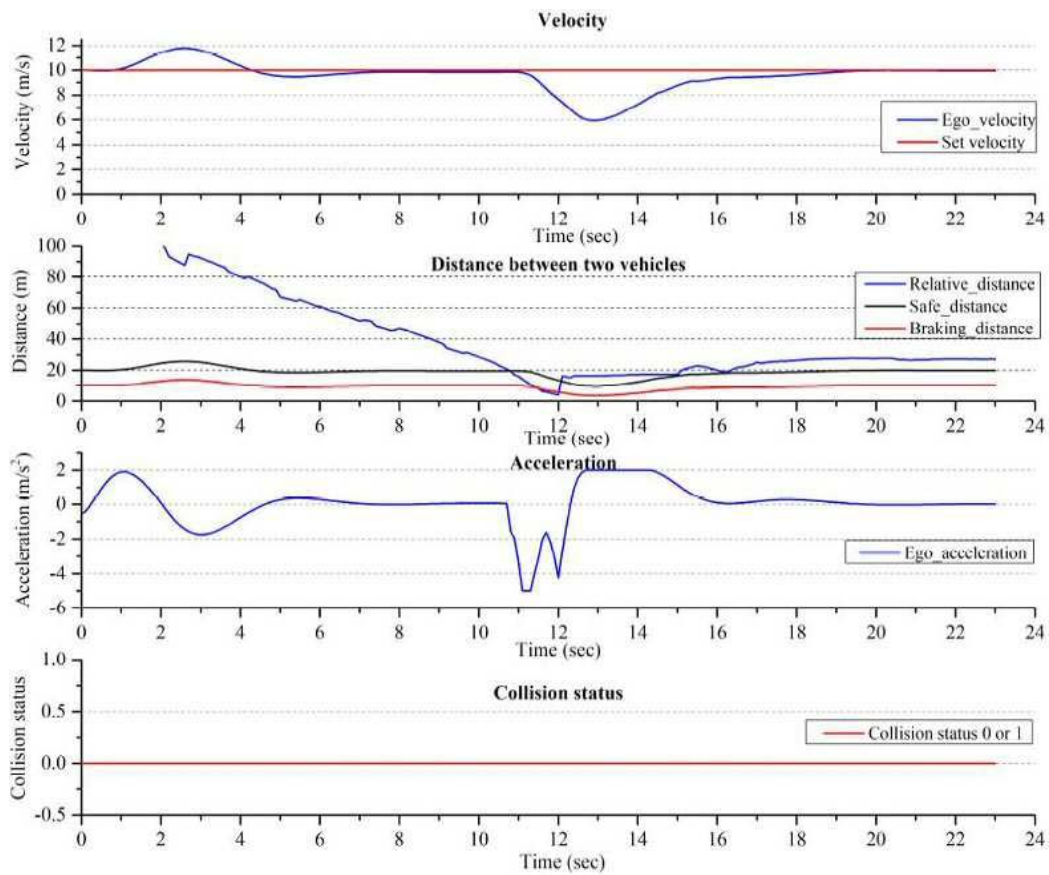
【도 5b】



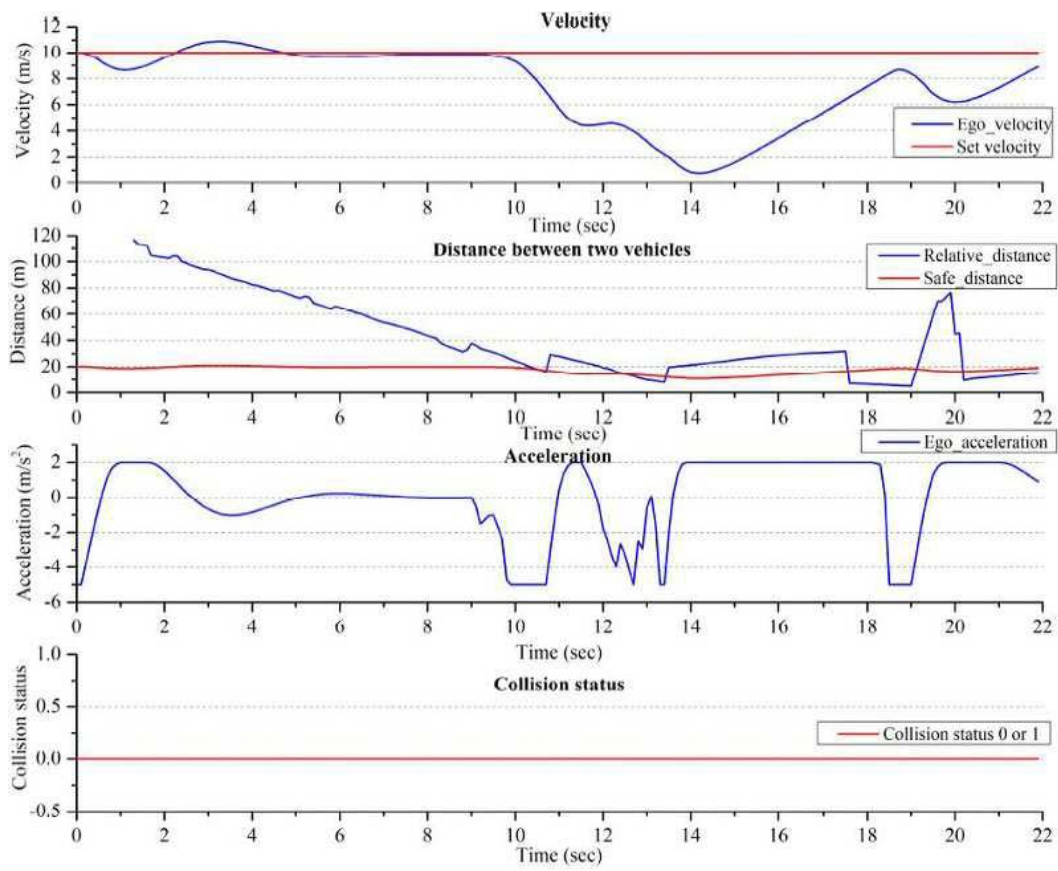
【도 6a】



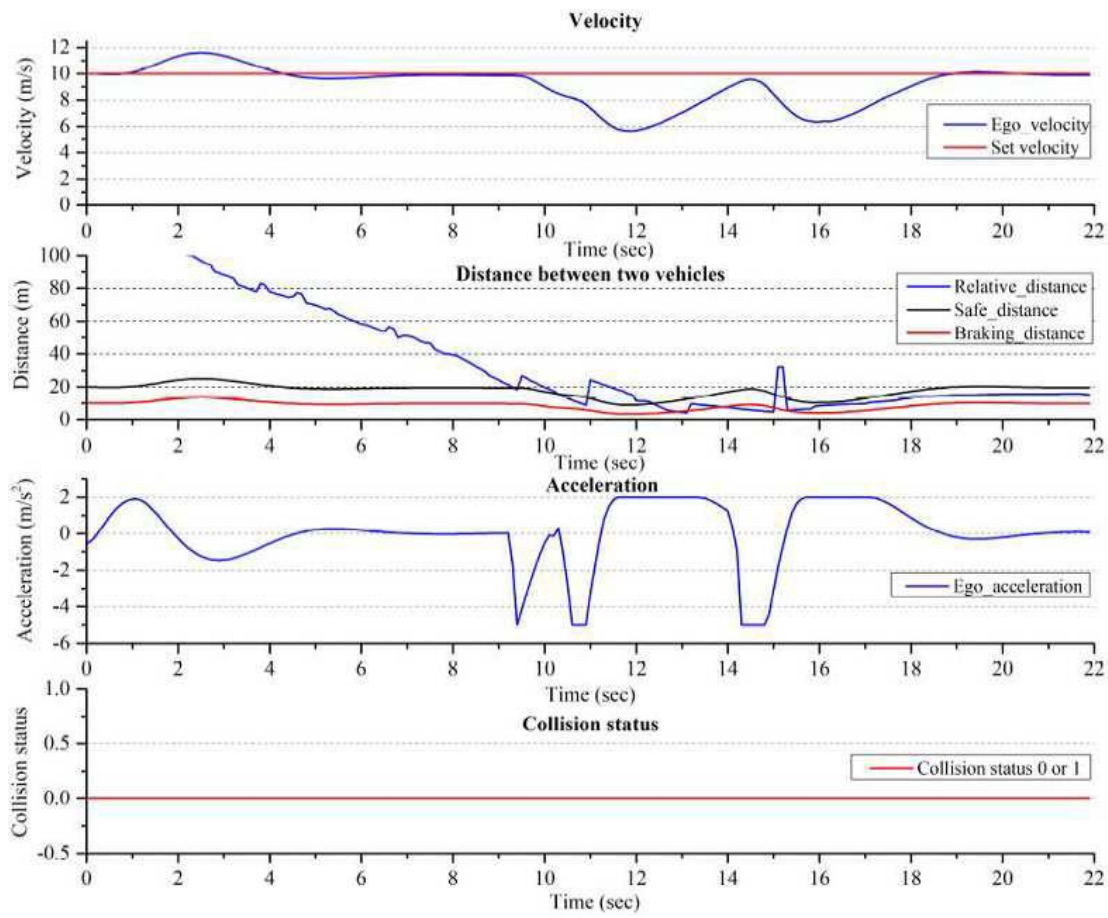
【도 6b】



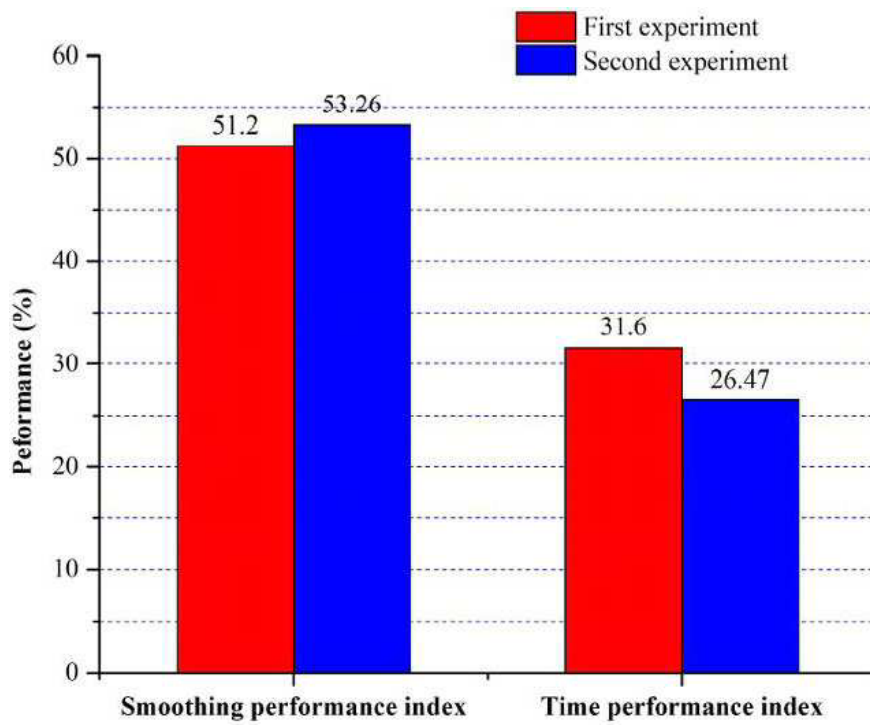
【도 7a】



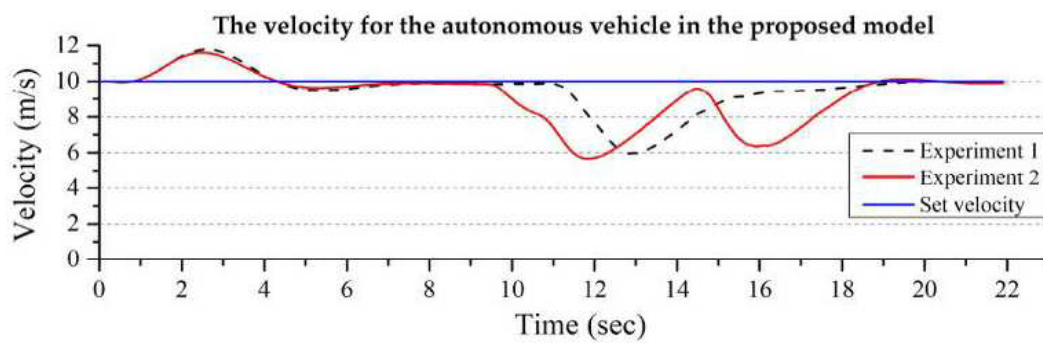
【도 7b】



【도 8】



【도 9】





【도 10】

