

최적 충돌 지점 기반 다중 차량 충돌 방지를 위한 차량 속도 제어 시스템

이 준 호¹⁾ · 이 영 옥²⁾ · 손 영 섭³⁾ · 최 우 영^{*4)}

국립부경대학교 지능로봇공학과¹⁾ · 대림대학교 메카트로닉스과²⁾ ·

경북대학교 데이터사이언스대학원³⁾ · 국립부경대학교 제어계측공학과⁴⁾

Vehicle Velocity Control System for Multi-Vehicle Collision Avoidance Based on Optimal Collision Point

Joon Ho Lee¹⁾ · Youngok Lee²⁾ · Young Seop Son³⁾ · Woo Young Choi^{*4)}

¹⁾Department of Intelligent Robot Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

²⁾Department of Mechatronics, Daelim University, Gyeonggi 13916, Korea

³⁾Graduate School of Data Science, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

⁴⁾Department of Control and Instrumentation Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

(Received 2 July 2024 / Revised 31 July 2024 / Accepted 16 August 2024)

Abstract : This paper proposed a collision avoidance method with vehicle longitudinal velocity control based on multi-vehicle collision points. We estimated the position and shape of the object vehicles with collision risk through sensors, such as LiDAR and cameras. Then, the collision point was determined from the object data, and a Kalman filter was applied to estimate the object vehicle. The optimal collision distance was estimated by calculating the collision risk for the collision point of the multi-object vehicle. Afterward, a collision avoidance system was implemented through a longitudinal control technique using optimal collision distance and time gap. The proposed method was verified through multi-vehicle collision avoidance scenario-based simulation.

Key words : Collision avoidance(충돌 방지), Collision point estimation(충돌 지점 추정), Multi-vehicle identification(다중 차량 식별), Optimal collision distance(최적 충돌 거리), Longitudinal control(종 방향 제어)

1. 서론

최근 자율주행 시스템이 발전하면서 충돌 방지에 대한 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다.¹⁾ 특히, 자율주행 차량에 충돌 위험이 있는 장애물의 위험도를 계산하고 충돌을 방지하는 시스템은 매우 중요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 차선 이동 상황에서 타겟 차량과 자 차량의 종 방향 상대 가속도를 기반으로 충돌 위험도를 계산하여 자 차량이 안전한 공간을 확보하고 목표 차선으로 차선 이동을 진행하여 충돌을 방지하였다.²⁾ 또한, 차선을 기반으로 주변 차량의 움직임을 예측하고 횡방향 위치 및 횡방향 속도를 활용해 목표 차선을 판단함으로써 자 차량과 충돌 위험 평가를 할 수 있다.³⁾

다중 객체 차량의 충돌 지점 추정 및 센서 데이터 융합을 통한 정확한 충돌 지점 판단 알고리즘이 개발되었다.⁴⁾ 그리고, 다수의 객체 차량에 대한 충돌 지점 중 충돌 위험도가 가장 높은 차량의 거리를 추정하는 연구도 진행되어왔다.⁵⁾ 나아가 고속도로에 진입하거나 퇴출하는 환경에서 차량들의 충돌 위험에 대한 잠재 영역(Potential field)을 통해 실시간 위험 평가 모델을 설계함으로써 충돌을 방지하기 위한 새로운 연구도 개발되고 있다.⁶⁾

이러한 충돌 위험을 판단하기 위해 센서의 높은 정확도와 객체 차량의 위치와 형태를 추정하는 기술이 필수적이다. 특히, 비전 센서를 활용한 딥러닝 기반 컴퓨터 비전을 활용해 객체 차량의 종류 및 형태를 검출하는 연

*Corresponding author, E-mail: wychoi@pknu.ac.kr

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

구는 지속적으로 발전되어 왔다.⁷⁾ 또한, 라이더(Light detection and ranging)와 레이더(Radio detection and ranging) 같은 Range 센서들은 포인트 클라우드 군집화(Point cloud clustering)를 통해 2차원 및 3차원 환경에서 객체 차량의 위치 및 형태를 검출하는 연구도 많이 발전되어 왔다.⁸⁾ 물체 인식에 강점을 보이는 비전 센서와 감지 범위 내에서 물체의 위치와 기하학적 구조에 대해 강점을 보이는 Range 센서 정보를 융합하여 관심 영역에서 물체의 크기와 위치를 더욱 정확하게 검출하는 연구도 진행되었다.⁹⁾ 최근에는 V2V(Vehicle to vehicle)와 같은 통신 시스템을 통해서 자 차량 주변 객체 차량의 정보 데이터를 제공받아 위치를 추정하는 연구도 진행되고 있다.¹⁰⁾

앞서 설명한 객체 추정 및 충돌 위험에 대한 판단을 기반으로 자율주행 차량의 제어를 통하여 충돌 방지 기술이 구현되어야 한다. 이를 위해 먼저 다수의 객체 차량과의 추정 충돌 지점을 기반으로 차량의 기구학 및 동역학 모델을 설계해 주어진 경로를 오차 없이 추종할 수 있도록 경로생성 기법과 경로제어 기법이 제시되었고 주행 경로의 곡률 특성을 반영해 경로 추종 성능을 향상시킨 기술이 제시되었다.^{11,12)} 충돌 방지를 위한 경로제어 기술로 장애물의 위험 잠재 영역을 기반으로 충돌 방지를 위한 경로를 추종하는 다중 제약 모델 예측 제어가 제안되었다.¹³⁾ 또한, 충돌 방지를 위한 정확한 차선 추적 제어를 위해 차선 추적 오류를 0으로 감소하도록 보장하는 보상기를 설계해서 차선 추적 제어 성능을 향상시키는 도로 외란 보상기가 제안되었다.¹⁴⁾ 이와 더불어, 실제 차량 시스템을 모델링한 선형 시변 시스템의 모델 예측 제어 문제를 해결하기 위해 선형 시불변 시스템과 같이 최적화를 진행하고 보상 원리를 적용함으로써 시변 시스템의 불확실성을 보상하는 모델 예측 제어를 활용해 차선 이동간 차량 충돌을 방지할 수 있다.¹⁵⁾

인지, 판단, 제어, 통신 기술을 통해 교차로에서 차량끼리 충돌을 방지하고 교통 체증을 줄이기 위한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 자 차량에 부착된 센서를 통해 교차로에 진입하는 차량의 동적 움직임을 추정함으로써 자 차량과의 상대 위치를 기반으로 충돌을 방지할 수 있다.¹⁶⁾ 교차로에 진입하는 차량의 위치, 속도, 가속도를 기반으로 동적 베이지안 네트워크를 활용해 차량 상태를 예측함으로써 감속, 비상 제동 등 상황에 맞는 중 방향 제어를 적용해 충돌을 방지할 수 있다.¹⁷⁾ 또한, V2V 및 V2I(Vehicle to infrastructure) 통신 기술을 활용해 교차로 환경에서 차량 간 상대적인 위치를 바탕으로 충돌을 방지할 수 있다.¹⁸⁾ 상기 기술들은 교차로에 진입하는 단일 객체 차량에 대해서 상태 및 위치를 예측하고 충돌을 방지하였다.^{17,18)} 신호체계가 존재하지 않는 교차로의 경우

다수의 차량이 동시다발적으로 진입할 수 있기 때문에 다중 객체 추정이 효과적인 방법이 될 수 있다.¹⁶⁾ 이러한 교차로 충돌 위험도 판단 및 충돌 방지 연구들은 차량에 장착된 GPS 센서 및 차량 중심점을 기반으로 차량 간 거리를 계산하여 문제를 해결하였다.¹⁶⁻¹⁸⁾

본 논문에서는 다중 객체 차량의 최적 충돌 지점 식별 및 추정에 의한 충돌 방지 시스템을 제안한다. 신호 체계가 존재하지 않는 교차로에서 충돌 위험이 존재하는 객체 차량 표면의 충돌 지점을 칼만필터를 이용하여 추정한다. 단일 차량이 아닌 다중 차량의 충돌 지점을 식별하여 최적 충돌 지점을 추정한다. 최적 충돌 지점에 대한 거리 및 차량 속도를 고려한 중 방향 제어 전략을 시나리오 기반 시뮬레이션 실험을 통하여 제안된 방법의 유용성을 검증하였다.

제안된 방법의 주요 기여는 다음과 같다:

- 충돌 방지를 위한 차량 표면의 충돌 지점 추정
- 다중 차량의 최적 충돌 지점 식별 및 추정
- 추정된 충돌 지점 기반 충돌 방지 시스템 구현

2. 차량 충돌 지점 추정

제안된 충돌 방지 시스템을 위해서 먼저 객체 차량 인지 및 충돌 위험도 판별이 필요하다.⁵⁾ 객체 차량 인지는 앞서 설명한 것과 같이 카메라, 라이더 및 레이더와 같은 센서를 활용할 수 있으며, 다양한 충돌 위험도 판별 방법을 활용하여 객체 차량에 대한 충돌 위험도를 계산할 수 있다.³⁾ 그래서, 다양한 충돌 위험도 판별 방법을 통하여 충돌 위험이 존재하는 객체 차량이 선발되면 제안된 방법은 해당 객체에 대해 충돌 지점을 추정함으로써 충돌 위험도의 정확도를 높일 수 있다.⁴⁾

제안된 방법을 구현하기 위해 인지도 객체 차량 표면으로부터 충돌 지점을 추정하는 방법은 먼저 자 차량과 객체 차량 간 최소 거리 지점 M 을 추정한다. 자 차량과 객체 차량 간 최소 거리 지점은 앞서 언급한 객체 차량 인지 기술로부터 객체 차량 표면을 나타내는 바운딩 박스로부터 추정할 수 있다. 자 차량 표면의 바운딩 박스와 객체 차량 표면의 바운딩 박스 간의 최소 거리를 구하는 방법은 2차원 환경에서 기하학적 도형의 가장 가까운 두 점의 거리를 구하는 것과 같다. 그 방법은 2차원 도형의 변과 변 사이의 거리를 구하는 공식을 통해 계산할 수 있다.¹⁹⁾ 벡터 정사영(Vector projection) 방법을 이용해 모든 상대거리를 구함으로써 가장 길이가 짧은 상대거리를 가진 지점을 차량 간 최소 거리 지점으로 추정할 수 있다. 가장 짧은 길이를 가진 상대거리의 자 차량 표면의 지점은 $M_e = [M_{e,x} \ M_{e,y}]$ 가 되며, 여기서 $M_{e,x}$ 는 지점의 x 좌표이고 $M_{e,y}$ 는 y 좌표이다. 또한, 객체 차량 표면의 지

점은 $\mathbf{M}_o = [M_{o,x} \ M_{o,y}]$ 로 정의한다.

최소 거리 지점 \mathbf{M} 에서 충돌 지점을 추정하기 위해, 자 차량과 객체 차량에 대한 측정 모델을 정의한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_e &= [M_{e,x} \ M_{e,y} \ \dot{M}_{e,x} \ \dot{M}_{e,y}]^T \\ \mathbf{X}_o &= [M_{o,x} \ M_{o,y} \ \dot{M}_{o,x} \ \dot{M}_{o,y}]^T \end{aligned} \quad (1)$$

\mathbf{X}_e 와 \mathbf{X}_o 는 자 차량과 객체 차량의 최소 거리 지점 x, y 좌표와 최소 거리 지점 x, y 좌표의 상대속도를 의미한다. 정확한 데이터 추정을 위해 등속도 모델을 사용하여 자 차량과 객체 차량을 이산시간 상태 공간 모델로 표현할 수 있다.

$$\mathbf{X}_{k+1} = \phi \mathbf{X}_k + w_k \quad (2)$$

여기서 \mathbf{X}_k 는 k 시간에서의 상태 벡터를 의미하며,

$$\phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & dt & 0 \\ 0 & 1 & 0 & dt \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad w_k \sim N(0, Q_k) \quad (3)$$

이고 \mathbf{X} 는 \mathbf{X}_e 와 \mathbf{X}_o 두 모델에 대해 수행한다는 것을 의미한다. ϕ 는 등속도 모델에 대한 상태 전이 모델을 의미하고 dt 는 시간 간격 w_k 는 시스템의 노이즈를 의미하고 Q_k 는 가우시안 형태의 공분산을 의미한다.

$$\mathbf{y}_{k+1} = C\mathbf{X}_k + v_k \quad (4)$$

여기서

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad v_k \sim N(0, R_k) \quad (5)$$

관측 행렬 C 는 노이즈를 제거한 최소 거리 지점의 x, y 좌표를 추정하기 위해서 식 (5)와 같이 설계한다. v_k 는 센서 데이터에서 발생하는 측정 노이즈를 의미하고 R_k 는 가우시안 형태의 공분산을 의미한다.

설계한 이산시간 상태 공간 모델을 활용해 칼만 필터 (Kalman filter)를 적용하여 센서 데이터 노이즈를 제거한 자 차량의 최소 거리 지점과 객체 차량의 최소거리 지점을 추정한다.

a) Prediction :

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{X}}_{k|k-1} &= \phi \mathbf{X}_{k-1|k-1} \\ \hat{\mathbf{P}}_{k|k-1} &= \phi \mathbf{P}_{k-1|k-1} \phi^T + Q_k \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $\hat{\mathbf{X}}_{k|k-1}$ 는 예측된 상태 추정치, $\hat{\mathbf{P}}_{k|k-1}$ 는 예측된 오차 공분산이며,

b) Correction :

$$\begin{aligned} K_k &= \hat{\mathbf{P}}_{k|k-1} C_k^T (C_k \hat{\mathbf{P}}_{k|k-1} C_k^T + R_k)^{-1} \\ \hat{\mathbf{X}}_{k|k} &= \hat{\mathbf{X}}_{k|k-1} + K_k (\mathbf{y}_k - C_k \hat{\mathbf{X}}_{k|k-1}) \\ \hat{\mathbf{P}}_{k|k} &= (I - K_k C_k) \hat{\mathbf{P}}_{k|k-1} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 K_k 는 최적 칼만 게인, $\hat{\mathbf{X}}_{k|k}$ 는 업데이트된 상태 추정치 그리고 $\hat{\mathbf{P}}_{k|k}$ 는 업데이트된 공분산이다. I 는 단위 행렬을 의미한다.

자 차량과 객체 차량의 측정 모델 모두 칼만 필터를 적용함으로써 자 차량과 객체 차량의 충돌 위험도가 가장 큰 지점 즉, 충돌 지점과 충돌 지점의 공분산을 추정할 수 있다. 따라서, 자 차량 충돌 지점 $\hat{\mathbf{X}}_e$ 와 공분산 $\hat{\mathbf{P}}_e$ 를 추정할 수 있고 객체 차량 충돌 지점 $\hat{\mathbf{X}}_o$ 와 $\hat{\mathbf{P}}_o$ 를 추정할 수 있다.

3. 다중 차량 충돌 지점 식별

앞서 언급한 단일 차량 충돌 지점 추정 방법을 기반으로 다중 객체 차량에 대해서 충돌 지점을 추정한다. 다중 차량 충돌 지점에 대한 객체 차량 충돌 지점 및 공분산은 $\hat{\mathbf{X}}_o^{(i)}$, $\hat{\mathbf{P}}_o^{(i)}$ 로 정의할 수 있으며, 자 차량 충돌지점 및 공분산은 $\hat{\mathbf{X}}_e^{(i)}$, $\hat{\mathbf{P}}_e^{(i)}$ 로 정의하고 여기서 $i \in N_i = \{1, 2, \dots, n_i\}$ 를 정의한다. n_i 는 객체 차량의 대수이다.

다중 객체 차량에 대해 충돌 위험이 가장 높은 충돌 지점을 구하기 위해 마할라노비스 거리(Mahalanobis distance)를 활용하여 다중 차량에 대한 충돌 거리 $D^{(i)}(\cdot, \cdot)$ 를 계산할 수 있다. 앞서 계산된 공분산 $\hat{\mathbf{P}}$ 를 활용한 마할라노비스 거리는 다음과 같이 계산할 수 있다:

$$\begin{aligned} D^{(i)}(\hat{\mathbf{X}}_e^{(i)}, \hat{\mathbf{X}}_o^{(i)}) \\ = \sqrt{(\hat{\mathbf{X}}_e^{(i)} - \hat{\mathbf{X}}_o^{(i)})^T (\hat{\mathbf{P}}_e^{(i)} + \hat{\mathbf{P}}_o^{(i)})^{-1} (\hat{\mathbf{X}}_e^{(i)} - \hat{\mathbf{X}}_o^{(i)})} \end{aligned} \quad (8)$$

객체 차량의 대수만큼 D 가 계산되고 각각의 크기를 비교함으로써 자 차량과 다중 객체 차량의 충돌 위험 정도를 판단할 수 있다. 그래서 자 차량에 대한 가장 큰 충돌 위험이 존재하는 최적 충돌 거리를 추정할 수 있다.

$$D^* = \arg \min_i \| D^{(i)}(\cdot, \cdot) \| \quad (9)$$

최적 충돌 거리 D^* 를 계산함으로써 자 차량에 존재하는 가장 큰 충돌 위험에 대한 거리 정보를 얻을 수 있고, 충

돌 방지 중 방향 제어 전략을 위한 매개체로 적용할 수 있다.

4. Time-gap을 활용한 중 방향 제어

충돌 방지를 위해 Time-gap을 활용한 자 차량의 현재 속도를 고려하는 중 방향 제어 전략을 구현한다. 제안된 방법은 충돌 방지를 위한 안전한 간격을 유지하기 위해, 최적 충돌 거리 D^* 와 Time-gap을 활용하여 자 차량의 중 방향 가속도를 계산한다. 먼저 객체 차량과의 안전한 간격을 유지하기 위해 Spacing error를 정의한다:

$$\rho = -D^* + hV_x \quad (10)$$

여기서 V_x 는 자 차량의 중 방향 속도이고, h 는 Time-gap이며 h 에 따라 상대 차량과의 원하는 거리 간격인 Spacing error ρ 를 조절할 수 있다. 객체 차량과의 ρ 를 활용하여 다음과 같이 중 방향 가속도를 도출할 수 있다:

$$a_{TG} = -\frac{1}{h}(\dot{D}^* + \lambda\rho) \quad (11)$$

여기서 λ 는 Time-gap에 대한 Relaxation factor이며 $0 < \lambda < 1$ 이다.

충돌 위험이 없는 경우, 원하는 속도를 추종하기 위한 중 방향 제어는 PI(Proportional-Integral) 제어를 사용하여 중 방향 가속도를 구할 수 있다:

$$a_{PI} = -K_p(V_x - V_{ref}) - K_i \int_0^t (V_x - V_{ref})dt \quad (12)$$

여기서 K_p 는 비례 이득이고 K_i 는 적분 이득을 뜻하며 V_{ref} 는 원하는 속도이다. 자 차량은 원하는 속도를 추종하기 위해 PI 제어를 통해 주행한다. 주행 간 충돌 위험이 존재하는 객체 차량이 검출되면 충돌을 회피하기 위해 Time-gap을 활용한 제어를 통해 속도를 조절한다. 즉, a_{PI} 와 a_{TG} 를 활용하여 상황에 맞는 가속도를 자 차량의 입력 가속도로 적용함으로써 충돌을 방지할 수 있다.

따라서 최종 제어 입력 값은:

$$a^* = \min(a_{PI}, a_{TG}) \quad (13)$$

으로 충돌 위험에 대한 최적 충돌 지점을 기반으로 자 차량의 중 방향 제어 전략을 설계할 수 있다.

5. 실험

제안된 자 차량 중 방향 제어 전략을 검증하기 위해 차량 동역학 및 맞춤형 센서 모델을 기반으로 하는 MORAI 시뮬레이터에서 시나리오 기반 시뮬레이션을 구성한다. MORAI 시뮬레이터는 ISO 26262 인증 및 ASIL D (Automotive safety integrity level D) 지원을 통해 자율주행 시스템 개발 및 운영을 위한 안전성 검증 시뮬레이션 프로세스를 제공한다.

5.1 실험 준비

먼저, MORAI 시뮬레이터를 Linux기반 Ubuntu 20.04 환경의 ROS(Robot Operating System)와 연동한다. UDP (User Datagram Protocol) 통신 방법을 활용해 ROS와 MORAI 시뮬레이터를 연동하고 Python을 이용해 자 차량 정보 및 객체 차량 정보 그리고 센서 데이터를 주고받는다. 시뮬레이션에서 사용한 차량은 KIA Niro Hybrid_2017 차종이며 시뮬레이션에서 사용한 MAP은 MORAI 시뮬레이터에서 제공하는 커스텀 MAP인 EuroNCAP MAP을 활용한다. 편도 2차선 구조의 왕복 4차선 구조이며 신호 체계가 존재하지 않는 교차로 환경으로 이루어져 있다. 해당 커스텀 MAP에 자 차량 중 방향 제어 전략을 검증할 수 있는 시나리오를 구성하여 실험을 진행한다.

5.2 시나리오 기반 시뮬레이션

시나리오는 자 차량과 2대의 객체 차량이 서로 다른 속도로 신호 체계가 존재하지 않는 교차로를 진입하고 주행하는 다중 객체 차량 시나리오다. Fig. 1은 시나리오 기반 시뮬레이션을 MORAI 시뮬레이터에서 제공한 EuroNCAP MAP 환경에서 구동하는 것을 보여준다. 자 차량은 차량 진행 방향의 직선 경로를 추종하며 주행하고 있으며, 2대의 객체 차량 중 Object vehicle 1은 자 차량 진행 방향 기준에서 왼쪽에서 오른쪽으로 직선 경로를 추종하며 주행한다. Object vehicle 2는 자 차량 진행 방향 기준에서 전방에서 오른쪽으로 좌회전 경로를 추종하며 주행한다. 2대의 객체 차량은 각각 50 kph, 40 kph의 속도로 주행한다. 객체 차량은 실제 상황과 같은 환경을 구현하기 위해 교차로 진입 전 감속하여 진입하고, Object vehicle 2는 교차로 내에서 좌회전 시 더욱 감속하여 주행한다. 제안된 자 차량 중 방향 제어 전략은 2대 이상의 다중 객체 환경에서도 최적 충돌 거리 D^* 를 계산해 충돌 방지 중 방향 제어 전략을 적용함으로써 해당 시나리오를 통해 안전성 및 타당성을 검증한다.

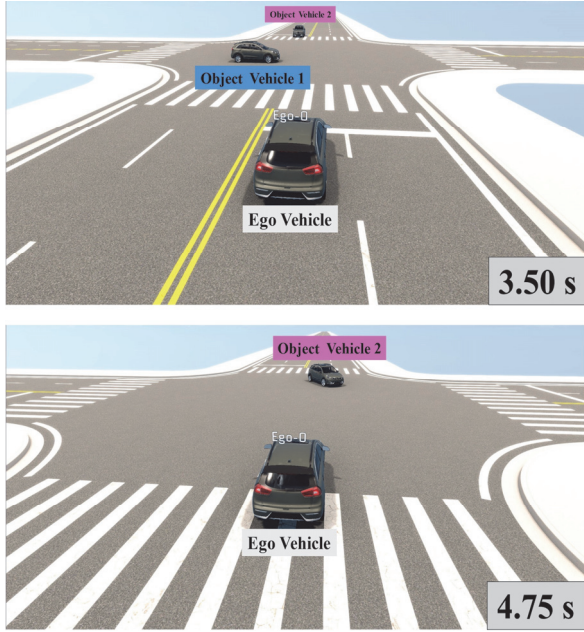


Fig. 1 Scenario based simulation with MORAI

5.3 실험 결과

Fig. 2는 다중 객체 차량 시나리오에 대한 자 차량과 다중 객체 차량의 궤적과 MAP을 Top view로 바라본 결과이다. 비전 센서 및 Range 센서를 활용한 객체 검출 기술을 통해 자 차량과 객체 차량을 직사각형의 기하학적 도형으로 가정했다. 자 차량은 다중 객체 차량과의 충돌 지점을 추정하면서 가장 충돌 위험도가 높은 객체 차량과의 최적 충돌 거리 D^* 를 추정하는 것을 보여준다. 자

차량과 객체 차량이 움직임을 따라 3.50 s에선 Object vehicle 1으로부터 D^* 를 추정했고 4.75 s에선 Object vehicle 2로부터 D^* 를 추정하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 3은 객체 차량들이 실제와 같은 환경을 구현하기 위해 교차로에 진입하면서 감속하는 것을 보여주는 결과이고 Fig. 4는 객체 차량의 속도에 따른 자 차량과의 상대속도를 나타낸다. Fig. 5는 다중 객체 차량의 충돌 지점을 판단하고 충돌 거리를 나타낸 결과이다. 다중 객체 차량의 충돌 거리에서 가장 큰 충돌 위험도를 지닌 최적 충돌 거리 D^* 또한 함께 도출한 것을 확인할 수 있다. D^* 로부터 충돌을 방지하기 위한 종 방향 속도 제어 값 a_{TG} 와 충돌 위험이 존재하지 않는 경우 원하는 속도를 추종하기 위한 a_{PI} 를 비교하며 자 차량 가속도 입력 값을 적용할 수 있었다. 그것을 나타내는 것은 Fig. 6이다. Fig. 5에서 확인할 수 있듯이 4.75 s에서 D^* 가 Object vehicle 2로부터 추정되면서 충돌을 방지하기 위한 a_{TG} 값을 도출한 결과를 보여준다. 해당 가속도를 자 차량의 가속도 입력 값으로 적용함으로써 자 차량은 감속했고 객체 차량과 충돌이 발생하지 않았다. 결과적으로 제안한 종 방향 제어 전략을 통해 상황에 맞는 가속도를 입력 값으로 활용한 것을 확인할 수 있다. Fig. 7은 자 차량 가속도 입력 값에 따른 자 차량 속도 결과를 나타낸다. 다중 객체 차량과 충돌을 방지하기 위해 제안한 제어 전략을 통해 감속이 이루어졌고 주어진 경로를 추종하기 위해 일정한 속도로 다시 주행한 것을 보여준다. 이를 통해 충돌 방지를 위한 종 방향 속도 제어 전략이 성공적으로 이루어진 것을 확인할 수 있다.

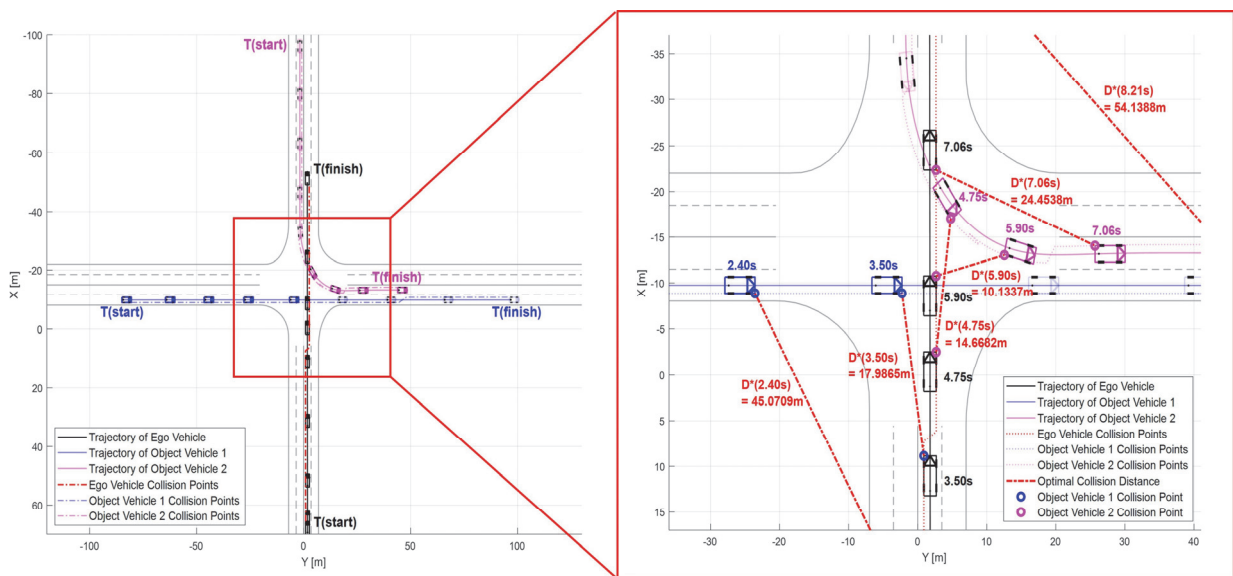


Fig. 2 Vehicles trajectories of multi-object vehicle scenario in a top view

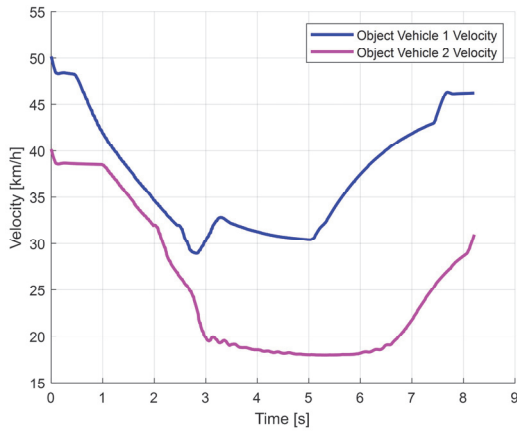


Fig. 3 Object vehicles velocity

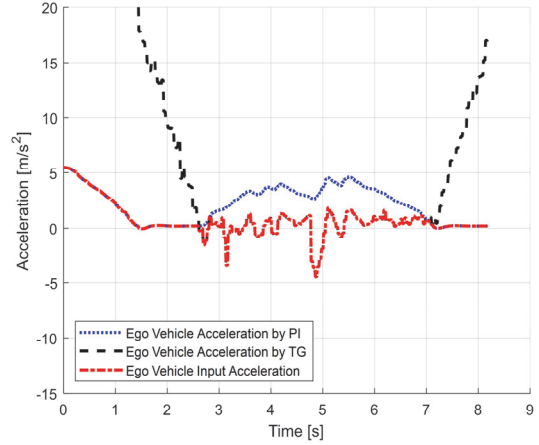


Fig. 6 Ego vehicle acceleration

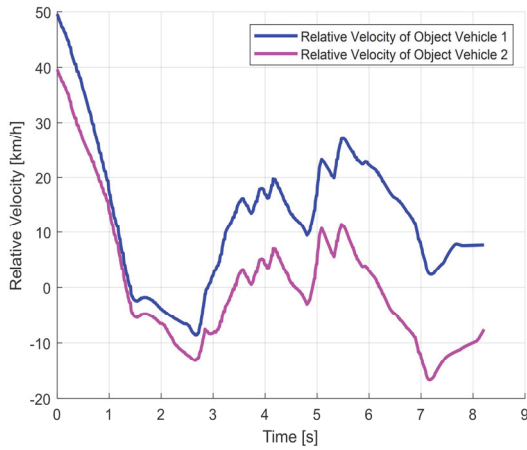


Fig. 4 Relative velocity of object vehicles

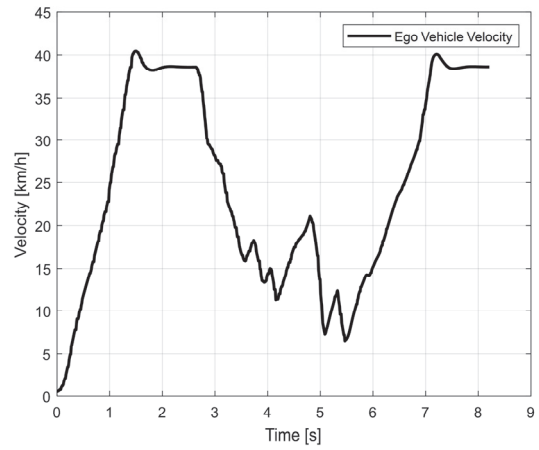


Fig. 7 Ego vehicle velocity

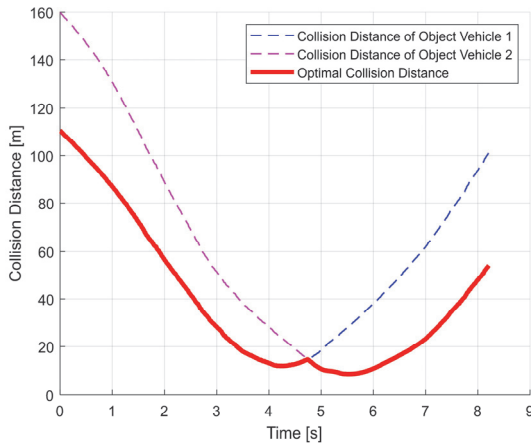


Fig. 5 Collision distance of object vehicles

6. 결론

본 논문에서는 다중 차량 충돌 지점 추정을 통한 충돌 방지 자 차량 종 방향 속도 제어 시스템을 제안했다. 신호 체계가 존재하지 않는 교차로 시나리오 기반 시뮬레이션에서 자 차량이 다중 차량 충돌 지점 추정을 통한 종 방향 속도 제어 기법을 적용함으로써 충돌 방지가 성공적으로 수행되어 제안한 방법의 유용성을 확인하였다. 자 차량과 객체 차량의 상태 예측 및 상태 추정 기법을 보완하여 충돌 위험도에 대한 추가적인 판단 과정을 통해 본 제어 기법을 보다 안정적인 기법으로 발전할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 제안된 방법은 자율주행 차량 뿐만 아니라 로봇, 드론과 같은 지능형 모빌리티에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2023학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구(202303690001)와 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT)이 지원한 산업기술혁신사업(20018144, 20014121)의 결과임.

References

- 1) Y. Fu, C. Li, F. R. Yu, T. H. Luan and Y. Zhang, "A Survey of Driving Safety with Sensing, Vehicular Communications, and Artificial Intelligence-Based Collision Avoidance," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.23, No.7, pp.6142-6163, 2021.
- 2) H. Lee, C. M. Kang, W. Kim, W. Y. Choi and C. C. Chung, "Predictive Risk Assessment Using Cooperation Concept for Collision Avoidance of Side Crash in Autonomous Lane Change Systems," 2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems(ICCAS), IEEE, pp.47-52, 2017.
- 3) J. Kim and D. Kum, "Collision Risk Assessment Algorithm via Lane-Based Probabilistic Motion Prediction of Surrounding Vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.19, No.9, pp.2965-2976, 2017.
- 4) W. Y. Choi, S. H. Lee and C. C. Chung, "On-Road Object Collision Point Estimation by Radar Sensor Data Fusion," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.23, No.9, pp.14753-14763, 2021.
- 5) J. H. Lee, Y. Lee, Y. S. Son and W. Y. Choi, "Collision Avoidance Velocity Control by Multi-Vehicle Collision Point Estimation," *Proceedings of the KSMPE Conference*, pp.49-49, 2024.
- 6) Y. Ma, F. Dong, B. Yin and Y. Lou, "Real-Time Risk Assessment Model for Multi-Vehicle Interaction of Connected and Autonomous Vehicles in Weaving Area Based on Risk Potential Field," *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, Vol.620, 128725, 2023.
- 7) Z. Zou, K. Chen, Z. Shi, Y. Guo and J. Ye, "Object Detection in 20 Years: A Survey," *Proceedings of the IEEE*, Vol.111, No.3, pp.257-276, 2023.
- 8) Y. Wu, Y. Wang, S. Zhang and H. Ogai, "Deep 3D Object Detection Networks Using LiDAR Data: A Review," *IEEE Sensors Journal*, Vol.21, No.2, pp.1152-1171, 2020.
- 9) X. Zhao, P. Sun, Z. Xu, H. Min and H. Yu, "Fusion of 3D LIDAR and Camera Data for Object Detection in Autonomous Vehicle Applications," *IEEE Sensors Journal*, Vol.20, No.9, pp.4901-4913, 2020.
- 10) P. Watta, X. Zhang and Y. L. Murphey, "Vehicle Position and Context Detection Using V2V Communication," *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, Vol.6, No.4, pp.634-648, 2020.
- 11) H. Lee, T. Kim, D. Yu and S. H. Hwang, "Path-Following Correction Control Algorithm Using Vehicle State Errors," *Transactions of KSAE*, Vol.30, No.2, pp.123-131, 2022.
- 12) Y. Choi, W. Lee and J. Yoo, "A Variable Horizon Model Predictive Control Based on Curvature Properties of Vehicle Driving Path," *Transactions of KSAE*, Vol.29, No.12, pp.1147-1159, 2021.
- 13) J. Ji, A. Khajepour, W. W. Melek and Y. Huang, "Path Planning and Tracking for Vehicle Collision Avoidance Based on Model Predictive Control with Multi Constraints," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.66, No.2, pp.952-964, 2016.
- 14) W. Y. Choi, S. H. Lee and C. C. Chung, "Robust Vehicular Lane-Tracking Control with a Winding Road Disturbance Compensator," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol.17, No.9, pp.6125-6133, 2020.
- 15) W. Y. Choi, S. H. Lee and C. C. Chung, "Horizon-Wise Model-Predictive Control with Application to Autonomous Driving Vehicle," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol.18, No.10, pp.6940-6949, 2021.
- 16) W. Song, Y. Yang, M. Fu, F. Qiu and M. Wang, "Real-Time Obstacles Detection and Status Classification for Collision Warning in a Vehicle Active Safety System," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.19, No.3, pp.758-773, 2017.
- 17) Y. Fu, C. Li, T. H. Luan, Y. Zhang and G. Mao, "Infrastructure-Cooperative Algorithm for Effective Intersection Collision Avoidance," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, No.89, pp.188-204, 2018.
- 18) Y. Huang, Y. Wang, X. Yan, X. Li, K. Duan and Q. Xue, "Using a V2V- and V2I-Based Collision Warning System to Improve Vehicle Interaction at Unsignalized Intersections," *Journal of Safety Research*, Vol.83, pp.282-293, 2022.
- 19) H. Edelsbrunner, *Algorithms in Combinatorial Geometry*, Springer Science & Business Media, Vol.10, 1987.