



Title: Reducing Collision Counts at Intersections Using Reinforcement Learning-Based Adaptive Speed Control

(強化学習に基づく適応的速度制御による交差点での衝突低減)

Authors: Kaito Kumagae¹, Tenta Suzuki¹, Mao Tobisawa¹, Tomohiro Harada², Johei Matsuoka¹, Yuki Itoh¹, Clive Jancen Kawaoto¹, Kiyohiko Hattori³

¹ Tokyo University of Technology, Tokyo, Japan, ² Saitama University, Saitama, Japan,

³ Tokyo Denki University, Tokyo, Japan

Journal: Artificial Life and Robotics

掲載年月: 2025 年 10 月

研究概要: 本研究は、信号のない交差点において、進入車線ごとに動的な速度上限制御を行う「交差点エージェント」を導入し、深層強化学習 (PPO) でその制御方策を獲得する手法を提案する。各進入方向の車両台数を観測し、連続値の速度制限を出力することで、渋滞状況や衝突リスクに応じた柔軟な制御を実現した。シミュレーションでは、従来法 (Matsuda 法) に対し、平均通過台数を維持 (496.4 台 vs 488.6 台) しつつ、交差点内衝突回数を大幅に低減 (9.8 件 vs 31.3 件) できることを確認した。また四差路条件では通過台数+20.6% (218.6 vs 181.3) ・衝突-70% (3.3 vs 11.0) を達成した。

研究背景: 従来の交差点制御 (信号制御・優先権ルール・ラウンドアバウト等) は交通需要の時々刻々の変化に適応しにくく、安全性と流れの最適化を両立することが難しい。特に無信号交差点では、複数方向からの同時進入が衝突・停滞を誘発しやすい。通信連携 (V2X) や強化学習を用いた分散協調制御が注目される一方、固定関数に基づく一律の速度制限は局所状況 (交差点内密度やタイミングの偏り) を反映できず、不要な抑制や滞留を生む課題があった。

研究目的: 交差点内の安全性 (衝突低減) と交通効率 (通過台数最大化) の同時最適化をめざし、進入方向ごとに連続値として速度制限を出力する学習型エージェントを設計・検証する。

研究環境: 本研究では、Unity 上に構築した無信号交差点シミュレーション環境を用いた。環境は図 1 の二方向(a)または四方向(b)の直進レーンで構成され、各進入方向には車両の生成位置 (Generation Location) と目的地 (Destination) を設定している。車両は一定間隔で生成され、交差点中心を通過して対向側へ移動する。各車線上の車両は物理エンジンにより挙動が制御され、交差点内での速度調整・衝突判定がリアルタイムに行われる。

交差点全体を監視する Intersection Agent が存在し、各方向の進入車両数を観測しながら、進入ごとの速度上限値を連続的に出力する。これにより、交通状況に応じて動的に速度を制御し、安全性と交通効率の両立を図ることができる。強化学習アルゴリズムには Proximal Policy Optimization (PPO) を使い、各エピソードで得られた通過台数および衝突件数をもとに方策を更新した。

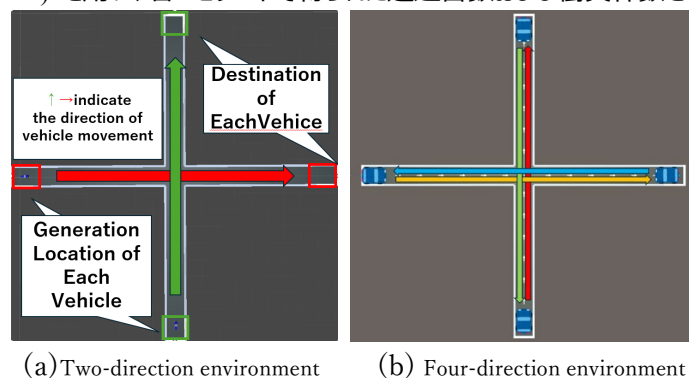


図. 1 実験環境

研究方法（提案手法）：

- 観測：各進入方向の車両台数（2 方向または 4 方向シナリオ）をリアルタイムに取得。
- 行動：各方向に対して連続値 $c \in [0,1]$ を出力し、最大速度 v_{limit} を $v_{\text{max}} = 15 \text{ m/s}$ と連動して決定。各方向の全車両に一括適用。
- 学習：PPO で方策学習。報酬は「通過台数の増加（重み $\alpha = 0.4$ ）」と「衝突の抑制（重み $\beta = 1$ ）」を 14 ステップごとに集計して付与し、安全を優先しつつ流れを妨げにくい設計とした。
- 環境：Unity ベースの無信号交差点シミュレータ（2 方向／4 方向、直進のみ）で評価

結果：表 2 に示すように、提案手法は従来法（Matsuda 法）と比較して、交差点内での衝突回数を大幅に減少させながら、交通効率を維持または向上させることに成功した。

二方向シナリオでは、平均通過台数が従来法の 488.6 台から 496.4 台へとわずかに増加し（+1.6%）、平均衝突件数は 31.3 件から 9.8 件へと約 3 分の 1 以下に低減した。

さらに、四方向シナリオにおいては通過台数が 181.3 台から 218.6 台へと約 20%増加し、衝突件数は 11.0 件から 3.3 件へと約 70%減少した。

表 2 松田法と提案手法の比較

Environment	Method	Average Number of Passing Vehicles	Average Number of Collisions
Two-direction	Proposed method	496. 4	9. 8
	Matsuda method	488. 6	31. 3
Four-direction	Proposed method	218. 6	3. 3
	Matsuda method	181. 3	11. 0

これらの結果から、提案手法による強化学習ベースの速度上限制御は、交通流の円滑性を損なうことなく衝突リスクを効果的に抑制することが確認された。学習された方策は、交通が安定している状況では速度制限を緩やかに保ち、混雑や衝突リスクが高い場面でのみ一時的に制限を強化する傾向を示しており、安全性と効率性の両立を実現している。