



Title: Intersection traffic control with individual virtual wall and deceleration avoidance in a dynamic traffic flow environment (動的交通流環境における個別 Virtual Wall と減速回避による交差点交通制御)

Authors: Yuki Itoh¹, Tenta Suzuki¹, Kaito Kumagae¹, Mao Tobisawa¹, Tomohiro Harada², Johei Matsuoka¹, 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 DOI:10.1007/s10015-025-01108-z

掲載年月: 2026 年 1 月

研究概要: 本研究は、完全自動運転社会の信号なし交差点において、仮想壁 (VW) を用いた制御の機能拡張を提案する。流入位置と目的地の組み合わせごとに最適化する「個別 VW 配置アルゴリズム」と、軌跡予測に基づく補完的安全機構「減速回避機能」を導入した。遺伝的アルゴリズム (GA) の評価関数に減速介入回数をペナルティとして組み込み、介入を最小化する VW 配置を自律探索する仕組みを構築した。シミュレーションの結果、動的環境下で衝突 0 件を維持しつつ減速介入を大幅に削減し、速度変化を最小化した効率的な交差点制御を実現した。

研究背景: 自動運転と車々間通信の発展により、信号機に依存しない交差点制御が注目されている。先行研究の VW 手法は、衝突の完全回避や動的な交通流への対応に課題があった。本研究は、経路設計の自由度を高める「個別 VW」と、不可避な衝突をカバーする「減速回避機能」により、安全性と効率性を両立させた次世代の制御手法を確立することを目的とする。

研究目的: 本研究の目的は、動的交通流環境において、VW を用いた信号なし交差点制御の安全性と効率性を両立させることである。具体的には、(1) 車両の生成位置と目的地の組み合わせに対応した個別 VW の導入による経路設計の自由度向上、(2) 車両軌跡予測に基づく減速回避機能の導入による VW 経路設計の補完、の 2 点を通じて、速度変化を最小化した交差点交通制御の実現可能性を検証する。

研究環境: 本研究では、独自の交差点シミュレータを用いた。評価環境は図 1 に示すような四方向交差点であり、車線や信号を持たない自動運転専用道路を想定する。交差点に設置されたエッジサーバが V2X 通信を介して全車両の情報をリアルタイムで取得し、最適化された VW 配置と最短経路を配信するシステム構成としている。各車両は、可視グラフ法と Dijkstra 法に基づき算出された最短経路を一定速度で走行する。動的交通流の実験では、車両を 4 方向から確率的に生成していく環境で、VW 手法の有効性を検証した。

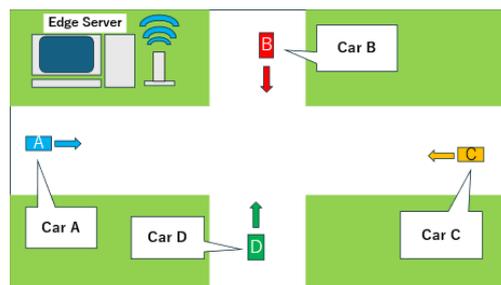


図 1 交差点での VW 配置図

研究方法（提案手法）：

個別 VW： 進入 4 方向×目的地 3 方向の計 12 パターンそれぞれに 3×3 グリッドの VW を割り当て、計 108 個の VW を個別に最適化する。各車両は自身の属性に対応する VW のみを障害物として認識し、ダイクストラ法で最短経路を選択する。

減速回避： 車両間の最接近距離が安全閾値を下回る場合、軌跡予測に基づき速度を一時調整して衝突を回避する。GA の評価関数（式 1）では、この回避介入回数 $N_{avoidance}$ を大きなペナルティとして扱い、減速の必要性自体を最小化する VW 配置を探索する。

$$f = L_{total} \times \frac{N_{VW}}{N_{grid}} + N_{avoidance} \times 10^6 \quad (1)$$

結果： 静的環境では VW なしでは 4 件の衝突が発生したが、9×9 グリッドの共通 VW 最適化により、回避回数 0 回を達成した。動的環境では個別 VW の導入により、車両が目的地選択を直進、右左折のなかから均等に選択するという条件下で平均経路長 7.92m/台を維持しつつ回避回数 0 回を達成した。直進優先時で回避 0 回を得た一方、左右折優先時では 0.3 回程度の介入が残ったが、これは VW のグリッド密度向上で解消可能と推察される。

本研究により、個別 VW と減速回避機能の統合が、動的交通流下での VW による交通制御に有効であることが実証された。今後は VW グリッド密度向上による左右折時の回避の解消や、より複雑な交通シナリオへの適用検証を行うことを考えている。

表 1 方向パターン別最適化結果

Destination Direction Selection Probability (Right: Straight: Left)	Path Length [m]	Avg. VWs per Path	Avg. Avoidance
Uniform distribution	90.2	3.7	0.0
Uniform distribution (without VW)	62.7	0	9.2
Left turn priority	85.3	2.9	0.3
Left turn priority (without VW)	58.0	0	8.4
Straight priority	90.68	4.0	0.0
Straight priority (without VW)	65.54	0	10.8
Right turn priority	87.24	2.9	0.3
Right turn priority (without VW)	58.44	0	9.2

表 2 減速回避機能の有無による性能比較

Evaluation Index	With Function (Proposed Method)	Without Function (Comparison Target)
Collision Count (times)	0.0	8.0
Avoidance Count (times)	11.0	0.0
Average path length [m]	87.04	84.3