

Boidsアルゴリズムを用いた広域災害避難のための自動運転車の車両群制御の検討

東北大学院工学研究科 学生会員 ○蜂屋 大樹
 東北大学災害科学国際研究所 正会員 マス エリック
 東北大学災害科学国際研究所 正会員 越村 俊一

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災による大津波により、2万人に近い住民が犠牲となった。この原因の一つに、多くの人々が一斉に自動車避難をしたことで各地で渋滞が発生し、迅速な避難が困難だったことがある。この教訓から、津波避難の際には徒歩での避難が原則とされている（内閣府, 2012）。

しかしながら、災害時の避難に支援を要する「避難行動要支援者」を避難させる際や避難先が遠い低地から避難する際には自動車避難が有効であるとされる。そのため、津波を含めた地震、洪水、火山噴火などの大規模災害の防災計画において、自動車を用いた安全かつ確実な避難計画の策定は重要な役割を果たす。

また、近年の自動運転技術の向上により、2030年代には完全自動運転車の実用化が予測されている（Litman, 2017）。完全自動運転車においては、車車間通信やセンシング技術を活用した車両間での情報共有が可能な協調型自動運転（Cooperative Automated Driving）が実現する（Dominic *et al.*, 2016）。これにより、車両を群として制御することができ、災害時の包括的な避難誘導が可能になり、渋滞の解消に役立つ。

本研究では、群制御アルゴリズムの1つであるBoidsアルゴリズムを用いて自動運転車の車両群制御を最適化することを目的とした。

2. 手法

(1) 車両エージェントの設定

群制御シミュレーションを実行する際に、車両エージェントとして以下2種類のエージェントを設定した。

- リーダー車両
- 追従車両

リーダー車両は他の車両エージェントとの相互作用を受

けず、事前に設定した車両速度 v^{flock} 、目的方向で移動する。追従車両は、リーダー車両・その他の追従車両からの距離に応じた相互作用を受け、以下で示したBoidsアルゴリズムにより車両ごとに希望速度が決定される。

本研究では、リーダー車両と追従車両による車両群を形成するために、リーダー車両からの垂直・水平方向に距離に応じた壁(wall)を生成し、追従車両は、壁から内向きに反発する相互作用が働くように設定した。

(2) 群制御アルゴリズム

本研究では、既往研究（Vásárhelyi *et al.*, 2018）を参考に式(1)のBoidsアルゴリズムを使用し、車両群制御を行った。

$$\tilde{\mathbf{v}}_i^d = \frac{\mathbf{v}_i}{|\mathbf{v}_i|} v^{\text{flock}} + \mathbf{v}_i^{\text{rep}} + \mathbf{v}_i^{\text{att}} + \mathbf{v}_i^{\text{frict}} + \sum_s \mathbf{v}_{is}^{\text{wall, obst}} \quad (1)$$

ここで、 v^{flock} はリーダー車両の速度、 $\mathbf{v}_i^{\text{rep}}$ 、 $\mathbf{v}_i^{\text{att}}$ 、 $\mathbf{v}_i^{\text{frict}}$ はそれぞれ他の車両エージェントとの相互作用である反発(repulsion)、引力(attraction)、整列(alignment)による車両の希望速度である。また、 $\mathbf{v}_{is}^{\text{wall, obst}}$ は、壁及び障害物(obstacle)から受ける反発作用による希望速度である。このように各車両エージェントには、現在の進行方向に進む速度及び他のエージェントとの相互作用による希望速度が働き、それらの希望速度の合計により車両エージェントの希望速度 $\tilde{\mathbf{v}}_i^d$ を決定した。

$$\mathbf{v}_i^d = \frac{\tilde{\mathbf{v}}_i^d}{|\tilde{\mathbf{v}}_i^d|} \min \{ |\tilde{\mathbf{v}}_i^d|, v^{\text{max}} \} \quad (2)$$

また、車両エージェントの最大速度 v^{max} を考慮するために、式(2)により希望速度 $\tilde{\mathbf{v}}_i^d$ を調節した。

3. 結果と考察

本研究では、災害時の状況を考慮するために、シミュレーション環境として道路上に障害物がある直線道路を設定した。初期条件として、追従車両を壁の内側にランダムに配置し、リーダー車両の追従及び障害物回避を検証した。

キーワード: 協調型自動運転, 群制御, Boidsアルゴリズム, マルチエージェントシステム, 避難シミュレーション

連絡先: 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1 E401, TEL: 022-752-2082, FAX: 022-752-2083

シミュレーションで使用したパラメータを表-1に示す。このシミュレーションにおける車両群（リーダー車両と追従車両）の位置関係の推移過程を図-1に、各追従車両の速度と加速度の推移を図-2に示す。

図-1において、四角形がリーダー車両、丸が追従車両、各エージェントの周りの四角形が壁、黒丸が障害物である。図-2において、赤い点線がそれぞれリーダー車両の速度、加速度である。図-1の結果から、追従車両がリーダー車両に追従していく様子や障害物付近において進行方向を変更し、障害物を回避する様子が確認できた。図-2の結果からは、各追従車両が60ステップ目付近や160ステップ以降にリーダー車両と同様の速度及び加速度を示しており、安定してリーダー車両に追従できていることが確認できた。

表-1 シミュレーションの設定値	
各パラメータ	値
時間ステップ Δt	0.2 s
総ステップ数	200
最大速度 $v^{\max}$	6 m/s
リーダー車両の速度 v^{flock}	4 m/s
リーダー車両	1 台
追従車両	5 台

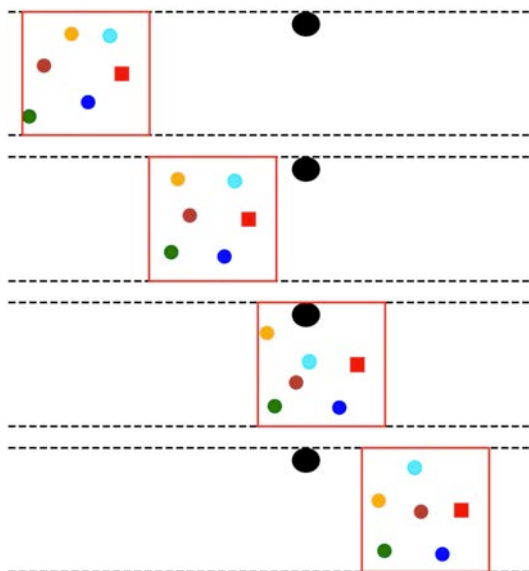


図-1 車両群の位置関係の推移，
（上から）10ステップ目，60ステップ目，110ステップ目，160ステップ目

4. おわりに

本研究では、自動運転車による広域災害の避難のため

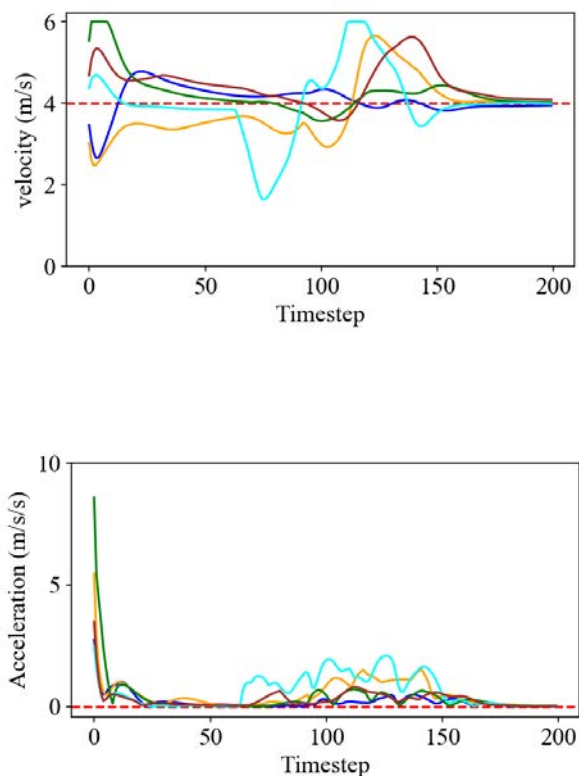


図-2 追従車両の速度・加速度推移，
（上）速度(m/s)，（下）加速度(m/s²)

の車両群制御手法の構築を試みた。群制御アルゴリズムの1つであるBoidsアルゴリズムにより、車両群の安定的な制御が可能であることを示した。

各エージェントを車両として想定するために、車両の操舵角（ハンドル角）や加速度の制約、車体の長さ等を考慮することやBoidsアルゴリズムの各パラメータを調節し、さまざまな道路環境に適した車両群制御アルゴリズムの開発をすることが今後の課題である。

参 考 文 献

- 内閣府中央防災会議，自動車で安全かつ確実に避難できる方策（防災対策検討推進会議津波避難対策検討ワーキンググループ第5回会合資料），2012.04.26.
- Litman, T., Autonomous vehicle implementation predictions: Implications for transport planning, Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada, 2017.
- Dominic, D., Chhawri, S., Eustice, R. M., Ma, D., and Weimerskirch, A., Risk Assessment for Cooperative Automated Driving, 2nd ACM Workshop on Cyber-Physical Systems Security and Privacy, pp.47–58, 2016.
- Vásárhelyi, G., Virágh, C., Somorjai, G., Nepusz, T., Eiben, A. E. and Vicsek, T., Optimized flocking of autonomous drones in confined environments, Science Robotics, vol.3, no.20, 2018.