

複数車線道路における群知能を応用した車線選択方法の改善と検討

Improvement and study of lane selection method applying swarm intelligence on multi-lane roads

○岡村翼¹, 星野貴弘²Tsubasa Okamura¹, Takahiro Hoshino²

Abstract: Sag areas on multi-lane highways cause traffic congestion as vehicles tend to concentrate in the passing lane. To solve this problem, it is important to use each lane evenly. In this research, we examine a lane selection method using swarm intelligence and compare it with existing traffic flow models. We aim to improve the flow rate in high density traffic.

1. はじめに

複数車線高速道路では走行車線の車両が車線変更を行うことで、追い越し車線との間に交通量の偏りが生じ、渋滞の原因となることがある。現在、追い越し車線への車線変更を抑制し、車線利用率を均等化させることで渋滞緩和に繋がることが判明している^[1]。

先行研究^[2]では二車線自動車専用道路の交通システムにおいて群知能の考え方を車線選択に応用することで、流率の改善は可能か検討した。このモデルではフェロモン情報として車線の利用履歴だけでなく、速度の要素を考慮することにより流率の改善が確認できた。しかし、先行研究で提案されたモデルは車線変更ルールに確率的要素が含まれているため、頻繁な車線変更など現実的ではない車両の挙動も認められた。以上の背景から、我々は確率的要素を見直し、フェロモン情報を利用した車線選択方法を提案した。シミュレーション結果からフェロモン情報を効果的に利用することで流率を改善することができることを明らかにした。同文献では車両直前のフェロモン情報のみを利用したが、本稿では考慮する範囲をある程度の領域までに拡張することで性能向上に繋がるかについて検討する。

2. 群知能

本研究では先行研究でも用いられた群知能の一例である蟻の採餌行動をモデル化した Ant-trail-model^[3]を車線選択方法に組み込む。群知能とは自然界で見られ、大量の生物が集まることで全体として高度な振る舞いを発揮するものである。蟻の採餌行動における最短経路探索は、群知能の一例である。蟻は分岐点に到着した際、各経路に分かれ通過した経路に芳香性のフェロモンを分泌する。フェロモンは揮発性であるため短い経路の方が濃度が濃くなる。後方から続く蟻はフェロモンを読み取り、フェロモンが濃い経路を選択することによって、一定時間経過後は最短経路に行列が形成される。

3. 交通流モデル

本研究では先行研究と同様に追従モデルの一種であり、前方三台の車両により速度決定する拡張 Bexelius モデル^[5]を使用する。車線選択方法に関しては文献^[4]のルールをベースとする。同文献では、Fig.1(a)に示すフローチャートに沿って車線変更を行っている。また、自車両の現在速度 v において必要な最低限の車間距離とし安全車間距離 G_s を以下と定義している。

$$G_s = \begin{cases} \max(G_s^0, G_s^{min}); v \neq 0 \\ 0; v = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$G_s^0 = 0.0029v^2 + 0.3049v \quad (2)$$

ただし、 v は自車両の速度、 G_s^0 は自車両の速度に対しての安全車間距離、 G_s^{min} は運転者の個性や自動車特性に依存する車間距離の最小値である。

<3・1>拡張 Bexelius モデル 自車両と前方車両との速度差により、次時点の加速度を決定する追従モデルの一種である。拡張 Bexelius モデルは(3)式のように表され、 x_n は n 番目の車両の位置を表す。

$$\ddot{x}_n(t + \tau) = \sum_{i=1}^3 k_i \{\dot{x}_{n-i}(t) - \dot{x}_n(t)\} \quad (3)$$

拡張 Bexelius モデルは基本的な追従モデルの式に遅れ時間 τ を追加し、加速度決定に用いる速度差として使用する車両を前方三台まで拡張したモデルである。ただし前方3台まで拡張したモデルである。ただし、 k_i は i 台前の車両に対する反応感度とする。

<3・2>提案モデル 本研究において対象とするシステム内の車両は二章で説明したフェロモンに相当する情報を路車間通信により取得可能であるとする。この情報に基づき両車線の車線利用率を均等化するような車線選択方法を提案し、流率の改善を図る。後述する比較モデルと提案モデルの車線選択方法のフローチャートをそれぞれ Fig.1(a)と(b)に示す。ここで、 G_0 :前方車両との車間距離、 G_1 :隣の車線の前方車両との車間距離、 G_2 :隣の車線の後方車両との車間距離、 G_D :隣車線の後方車両との安全車間距離である先行研究及び本研究での提案モデルの車線選択方法は文献^[5]の車線選択

1 : 日大理工・院 (前)・電気 2 : 日大理工・教員・電気

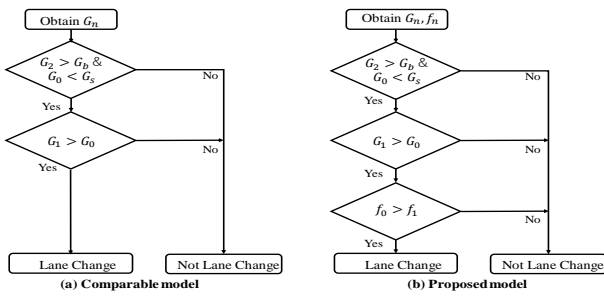


Fig.1 Flow chart

方法にフェロモン残留率の比較を加えたものである。Ant-trail-modelでは、単位時間後のフェロモンの揮発確率を f である。したがって、車両が通過してから $t[\Delta t]$ 経過後のフェロモンの残留率は $(1-f)^t$ となる。先行研究ではより速く移動した車両の車線を選択されやすくするため、自車線の前方セルのフェロモン残留率 $f_0 = (1-f)^{t_0}/v_0$ 、他車線の前方セルのフェロモン残留率 $f_1 = (1-f)^{t_1}/v_1$ と再定義した。ただし、 v_0, v_1 はそれぞれ自車線または他車線の前方車両の速度を表している。また、再定義したフェロモン残留率を利用して、両車線のフェロモンを均一化するよう、車線選択方法に各車線のフェロモン残留率の比較を追加している。Fig.2のように比較した結果から、フェロモン残留率が低い車線を選択させることで流率の向上に期待する。ここで以前は提案モデルの車線選択の際に自車両の前方1セル(3m)のみを考慮していたのに対して、本稿では任意の前方 w セルまでのフェロモン残留率の合計値を考慮するよう変更した。

4. シミュレーション

<4・1>シミュレーション条件 提案モデルの比較対象は、拡張 Bexelius モデルと文献[4]の車線選択方法を組み合わせたモデルとした。このモデルを比較モデルと呼ぶことにする。シミュレーションは道路の終端を定めない開放境界条件で行う。車両生成区間を1500mとする。そこに、車両100台をランダム配置し、先頭車両は1500mに配置する。また、左車線の最大速度を80km/h、右車線の最大速度を100km/hとして各車線に速度制限を設ける。その他の条件はシミュレーション時間10000 Δt , $f = 0.001$, $G_s^{min} = 6m$, $G_b = 18m$, $k_1 = 0.15$, $k_2 = 0.10$, $k_3 = 0.06$, $\tau = 1.0$, $\Delta t = 0.1s$ として、乱数の初期値を変えて1000回のシミュレーションを行った。各車両が5000m地点に到達するまでの旅

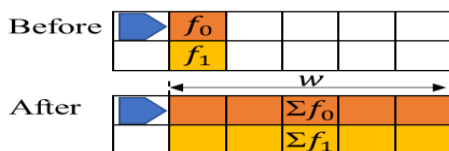


Fig.2 Pheromone image

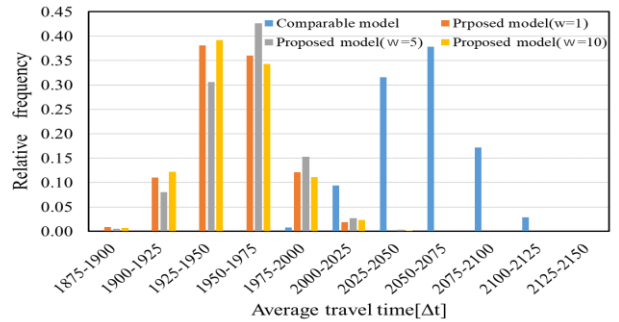


Fig.3 Average travel time

行時間を測定し、合計の旅行時間を車両台数で割ることで求めた平均旅行時間を比較する。

<4・2>シミュレーション結果 Fig.3は乱数の初期値を変えて1000回のシミュレーションを行った結果得られた平均旅行時間についての相対度数分布である。比較モデルと提案モデルの結果を比較した際に、 w の条件に関わらず平均旅行時間の短縮が確認できる。比較モデルでは車線変更後に減速する箇所が多く見られたため平均旅行時間が長くなったと考察できる。次に、提案モデルに異なる w の条件の結果を比較すると、平均旅行時間の大きな違いは確認できなかった。 w の条件の違いによって、車線変更をするタイミングは異なるものの、車線変更先で減速する場面が少ないため結果に大きな差は出なかったと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では文献[3]で提案した車線選択方法の手法を拡張したモデルを作成し、シミュレーションを行った。比較モデルと提案モデルを比較した際に、 w の条件に関わらず平均旅行時間の短縮が確認できたが、提案モデルでは w の条件の違いによって結果に大きな変化は見られなかった。今後は、シミュレーションの条件を変化させたりすることで、よりフェロモンを考慮することが有効に作用する車線選択方法について検討する。

参考文献

[1] 原田修一:「高速道路での車線利用率平準化による渋滞対策に関する研究」土木計画額研究: 論文集, Vol.26, No.5, pp.881~888(2009)
 [2] 野本直弥:「複数車線道路における群知能を応用した車線利用の最適化に関する基礎検討」日本大学大学院理工学研究科電気工学専攻, 令和3年度修士学位論文, (2021)
 [3] Debashish C: “A cellular automata model of flow in ant trails: non-monotonic variation of speed with density”, J.Phys : A Math, Vol.35, No.41, 2002.
 [4] 脇田佑希子:「セルオートマトン法による道路合流部交通シミュレーション」計算数理工学論文集 Vol.9, No.15, (2009)
 [5] S.Bexelius: “An extended model for car-following”, Transportation Research, Vol.2, pp13-21, 1968.