

幹線道路における信号情報への反応ドライバーの割合と交差点停止率の関係分析

名城大学 学生会員 ○西尾 和也

名城大学 正会員 松本 幸正

公益財団法人日本道路交通センター 杉田 正俊

1. はじめに

ITS の発展に伴い、ドライバーは走行中に道路情報を取得するだけでなく、ドライバーの走行を支援するような信号情報も取得することが可能となりつつある。しかしながら、この信号情報が個々のドライバーに提供されたとしても全てのドライバーが信号情報に反応し、従うとは限らない。

そこで本研究では、信号情報への反応ドライバーの割合の変化が交差点の停止率にどう影響するのかを、実在する幹線道路を対象にして分析する。ドライバーを、信号情報への反応の有無によって2種類に分け、互いが影響する行動を記述するため、マルチエージェントシステムを用いる。

2. シミュレーションモデルの構築

2.1 ドライバーの走行モデル

本研究では、走行モデルを車間距離により自由走行と追従走行の2種類に分ける。

自由走行とは、車間距離が広がっている場合に用いる走行方式であり、追従走行とは、車間距離が短くなった場合に、前方車との衝突が起きないように追従を行う走行方式である。

2.2 走行状態の切り替えと加速度の決定方法

追従走行となる場合は、既存研究¹⁾を参考に、自車が現在速度で2秒走行した時の距離が、現在の前方車との距離以上である場合とする。

2.2.1 自由走行

前方に余裕があり、前方の信号が青であるとき加速し、制限速度以上になると減速する。既存研究²⁾を参考に定めた、本研究で用いる自由走行の加減速度を表-1に示す。

x_{limit} は制限速度(m/s)、 $\dot{x}_n(t)$ は時刻 t における n 番目の車両の速度(m/s)、 $\ddot{x}_n(t)$ は時刻 t における n 番目の車両の加速度(m/s²)である。

なお、車両は信号からの距離50mから等加速度で減速することとする。

表-1 自由走行状態時の加減速度の決定

| x_{limit} | $\ddot{x}_n(t)$ |
|---|-----------------|
| $\dot{x}_n(t) < 0.8x_{limit}$ | +0.25G |
| $0.8x_{limit} < \dot{x}_n(t) \leq 0.95 \times x_{limit}$ | +0.125G |
| $0.95x_{limit} < \dot{x}_n(t) \leq 1.05 \times x_{limit}$ | 0G |
| $1.05x_{limit} < \dot{x}_n(t)$ | -0.2G |

2.2.2 追従走行

追従走行では、車間距離と相対速度を考慮した以下の式(1)³⁾を用いて、加減速度を求める。この加減速度から現在の速度を更新することになる。

$$\ddot{x}_n(t) = \frac{\beta \times [\dot{x}_{n-1}(t) - \dot{x}_n(t)]}{[x_{n-1}(t) - x_n(t)]^l} \quad (1)$$

ここで、 $x_n(t)$ は時刻 t における n 番目の車両の位置、 β 、 l は乗数である。

2.3 ドライバーの行動モデル

信号情報に反応することで加減速を行うドライバー（以下、反応ドライバー）の行動は、強化学習によって決定され、できるだけ赤信号で停止することなく通過できるようにする。停止しなければならない場合は、できるだけ停止時間を短くし、かつ、交差点到達時の速度が低くなるようにする。

強化学習では、情報を取得した際に実際に取った加減速度の行動の結果、どのような走行状態になったのかを順次学習し、次の加減速の行動を選択していくことになる。

なお、無反応ドライバーの行動は、自由走行と追従走行の走行状態のみによって決定される。

3. 強化学習による反応ドライバーの行動

本研究では、ドライバーが信号から約300m地点に到着後、環境状態を認識することとし、以下のように行動することとする。

- 1) 信号からの距離300m地点に到着と同時に環境状態を認識し出す。
- 2) 認識した環境から加減速度を ϵ -greedy手法に従い、選択する。
- 3) 選択行動に対するQ値を更新する。
- 4) 信号を通り過ぎるまで1)~3)を繰り返す。

ある時刻 t における行動 a_t のQ値の更新式は、以下のようである。

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha[r_{t+1} + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)] \quad (2)$$

ここで、 α は学習率、 r は報酬、 γ は未来もしくは過去の価値からの割引率である。

ドライバーが環境状態として認識する情報は、信号の残り時間と信号までの距離の2つである。

加減速度は、-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4 [m/s²]から選択することとする。

4. シミュレーションによる評価

本研究では、実環境として、図-1に示す沖縄県国道58号線の久茂地交差点から泊ふ頭交差点を含む区間を対象に、交通流についてのみシミュレーションを行う。発生させる交通量を約3,000 [台/h]と固定し、車両は直進のみとする。対象区間の制限速度は、時速50kmとなっている。

表-2は、本シミュレーションで採用した久茂地交差点から泊ふ頭交差点のある時間帯の実際の信号現示時間を示した表である。対象区間にある信号のサイクルは全て170秒となっている。

なお、式(1)での β は0.3、 l は0.8、式(2)での α は0.1、 γ は0.9と設定した。

4.1 評価結果

評価の方法として、反応ドライバーの割合を0%から100%まで20%ずつ変化させ、それぞれのシミュレーションを3回行い、その平均値を用いる。

図-2は、横軸に反応ドライバーの割合、縦軸に各交差点の平均の停止率を取ったものである。この図より、全ての交差点において、反応ドライバーの割合が増加するにつれ、停止率が減少傾向であることがわかる。特に、反応ドライバーの割合が40%を超えたあたりで平均の停止率が大きく減少し出すことがわかる。これは、3,000 [台/h]の交通量において、交通流全体に影響を及ぼし始める反応ドライバーの割合の閾値が、40%~60%の間にあることを意味する。

図-3は、横軸に反応ドライバーの割合、縦軸に久茂地交差点から泊ふ頭交差点までの個々の車両の旅行時間の平均を取ったものである。この図から、反応するドライバーの割合に関係なく、平均旅行時間はほぼ一定値であることが見て取れ、信号情報提



図-1 対象区間概要

表-2 交差点ごとの信号現示時間

| | 青時間 (s) | 黄時間 (s) | 赤時間 (s) |
|--------|---------|---------|---------|
| 久茂地交差点 | 91 | 3 | 76 |
| 松山交差点 | 121 | | 4 45 |
| 前島交差点 | 94 | 4 | 72 |
| 泊ふ頭交差点 | 75 | 2 | 92 |

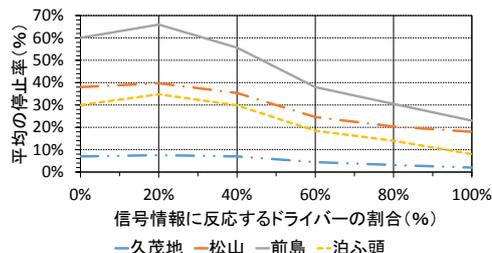


図-2 各交差点における停止率

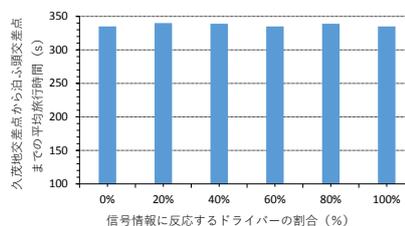


図-3 反応ドライバーの割合別の平均停止時間

供の影響を受けていないことがわかる。

5. おわりに

本研究では、信号情報に反応するドライバーの交差点停止率への影響を、マルチエージェントシミュレーションで分析した。交差点の停止率は、反応ドライバーの割合が40%を超えると影響を受け始めるものの、平均旅行時間は変化することなく、信号情報の提供による信号手前での減速挙動による遅れ時間は発生しないことがわかった。

本シミュレーションでは、車両の右左折や車線変更が考慮できていない。今後は、これらを考慮したシミュレーションを実施し、信号情報の提供効果について検証していく必要がある。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(C) (15K06262)を受けた研究成果の一部である。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 蓮花一己 (編) : 交通行動の社会心理学, 北大路書房, pp.63-76, 2000
- 2) 井上博司 : 道路網における交通流動の動的シミュレーション手法, 土木学会論文集, Vol.470, pp87-95, 1993
- 3) Gazis, D. C., Herman, R. and Rothery, R. W.: Nonlinear Follow-The-Leader Models of Traffic Flow, Operations Research, Vol. 9, No. 4, pp.545-567, 1961