

交差点通過を円滑化する自動運転車両が交通流に及ぼす影響の基礎分析

名城大学 学生会員 ○西尾 和也
名城大学 正会員 松本 幸正

1. はじめに

新たな交通システムの1つとして、自動運転車両が注目され、世界各国で開発が進められている。自動運転車両の普及に期待される効果の1つとして、交通容量の増加が挙げられる。これは、車車間通信や信号情報の取得が可能となり、無駄な加減速が少ない適切な速度管理を自動運転車両で行えるためである。

既に、自動運転車両が交通流へ及ぼす影響を分析した研究はいくつか見られるが、必ずしも良い影響をもたらしてはいない。これらの研究では、自動運転車両の走行が画一的であり、交通状況に応じた最適な走行挙動が取れていないことが一因と考えられる。

そこで本研究では、交通状況に応じて交差点通過を円滑化する自動運転車両の走行挙動をモデル化し、これらの自動運転車両の一般車両への混在が、交通流へ及ぼす影響を明らかにする。

2. 自動運転車両と一般車両のモデル

2.1. 自動運転車両のモデル化

自動運転車両のモデルは、自分が取った行動を学習して、最適な行動に近づいていくようにするため、強化学習の1つであるQ学習を用いて構築する。Q学習では、ある環境状態に対する行動を決定した結果、どのような状態になったかを順次学習し、次の行動を決定していく。

本研究における自動運転車両は、環境状態として、現信号現示の残り時間と信号交差点までの距離を認識し、最適な行動を目指すこととする。以下に、自動運転車両の走行挙動モデルを記述する。

- ① 環境状態を認識する
 - ② 認識した環境状態から加減速度を ϵ -greedy 手法に従い選択する
 - ③ 選択した行動に対するQ値を更新する
 - ④ 信号を通り過ぎるまで①～③を繰り返す行う
- 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。

Q値の更新式は、以下の式(1)¹⁾とする。

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha[r_{t+1} + \gamma \max_{a'} Q(s_{t+1}, a') - Q(s_t, a_t)] \quad (1)$$

α は学習率、 γ は未来もしくは過去の価値からの割引率、 r は報酬である。ここで、報酬 r を以下の式(2)のように設定する。

$$r_{(t)} = \begin{cases} 100 - (x_{limit} - \dot{x}_n(t)) : \text{青信号で通過} \\ -\left(\frac{\dot{x}_n(t)}{x_{limit}} + \frac{T_n(t)}{T_{Red}}\right) : \text{赤信号で停止} \\ -1 : 1 \text{ ステップ経過} \end{cases} \quad (2)$$

ここで式(2)の各変数 x_{limit} は制限速度(m/s)、 $\dot{x}_n(t)$ は時刻 t における n 番目車両の速度(m/s)、 $T_n(t)$ は n 番目車両の時刻 t における残りの赤時間(s)、 T_{Red} は信号の赤時間(s)である。

この式(2)によって、自動運転車両が青信号で通過する場合、なるべく制限速度に近い速度で青信号を通過するような行動を選択し、赤信号で停止する場合は、なるべく待ち時間が短くなるような行動を選択するように学習することになり、交差点通過が円滑化される。

2.2. 一般車両のモデル化

初速 30km/h で走行を始め、前方に余裕がある場合、既存研究²⁾において作成された、表1に従い加減速度を決定する。ここで、表1の $\ddot{x}_n(t)$ は時刻 t における n 番目車両の加減速度(m/s²)である。

前方に余裕がない場合は、車間距離、相対速度を考慮した以下の式(3)³⁾を用いて、加減速度を求める。

$$\ddot{x}_n(t) = \frac{\beta \times [\dot{x}_{n-1}(t) - \dot{x}_n(t)]}{[x_{n-1}(t) - x_n(t)]^l} \quad (3)$$

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

3. シミュレーションによる評価

3.1. シミュレーションの概要

本研究では、車両同士が互いに影響し合いながら個々に行動を決定することからマルチエージェントシステムを用いてシミュレーションを行うこととする。

キーワード：自動運転、強化学習、信号情報、交通流シミュレーション、マルチエージェント

〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 TEL 052-832-1151 名城大学大学院理工学研究科社会基盤デザイン工学専攻

シミュレーションで用いたコースを図1に示す。開始地点から終了地点まで4つの信号交差点が連続した全長1,580mである。それぞれの交差点区間距離は、開始地点から、340m, 340m, 330m, 240m, 330mである。対象区間の制限速度は、50km/hとした。

表2は、各交差点の信号現示時間を示した表である。信号サイクルは全て170秒となっている。

なお、式(1)での α は0.1, γ は0.9, 式(3)での β は0.1, l は0.8と設定した。

3.2.シミュレーションによる評価結果

本研究では、シミュレーションの交通量が2,000[台/h], 3,000[台/h], 4,000[台/h]の場合において、自動運転車両の混在率を0%から100%まで20%ずつ変化させ、各シミュレーションを3回行い評価した。

図2は、横軸に交通量別の自動運転車両の混在率、縦軸に開始地点から終了地点までの平均停止時間を取ったものである。この図から、各交通量において、自動運転車両の混在率が上がるにつれて平均停止時間が減少傾向であることが見てとれる。

平均停止時間について交通量と自動運転車両の混在率を因子とした二元配置分散分析を行った。その結果、両因子とも1%有意となり、主効果が認められた。加えて、交互作用においても1%有意となり、平均停止時間に与える影響は、交通量と自動運転車両の混在率の組み合わせで様ではないことがわかった。

図3は、横軸に交通量別の自動運転車両の混在率、縦軸に開始地点から終了地点までの平均旅行時間を取ったものである。この図から、自動運転車両の混在率に関係なく、各交通量における平均旅行時間は、ほぼ一定値であることが見てとれる。

平均旅行時間について交通量と自動運転車両の混在率を因子とした二元配置分散分析を行った。その結果、交通量では、1%有意となり、主効果が認められた。自動運転車両の混在率は有意とならず、主効果が認められなかった。このことから、自動運転車両が多くなっても少なくても、平均旅行時間は変わらないと言える。

4. おわりに

本研究では、自動運転車両をモデル化し、自動運転車両の一般車両への混在が、交通流に及ぼす影響を明らかにするため、マルチエージェントシステムを用いた交通流シミュレーションを行った。その結果、混在率が上がるにつれて平均停止時間は減少傾向となり、そ

表1 前方に余裕がある場合の加減速度

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

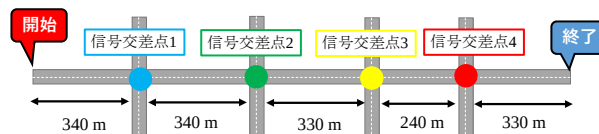


図1 シミュレーションで用いたコース

表2 各信号交差点の信号現示時間

	青時間 (s)	黄時間 (s)	赤時間 (s)
信号交差点1	91	3	76
信号交差点2	121	4	45
信号交差点3	94	4	72
信号交差点4	75	2	92

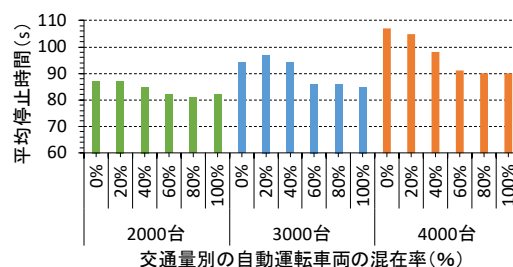


図2 平均停止時間

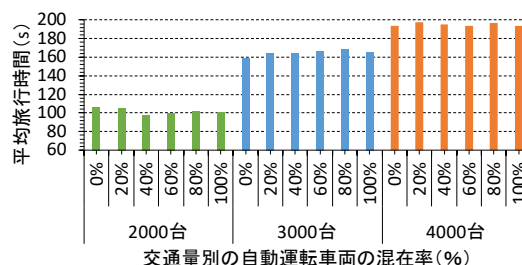


図3 平均旅行時間

の効果は交通流と混在率の組み合わせで様ではないことがわかった。一方で、自動運転車両が多くなっても少なくても、平均旅行時間は変わらないこともわかった。

今後は、右左折や車線変更を考慮したモデルを構築し、交通流に及ぼす影響を評価する必要がある。

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) 三上貞芳・皆川雅章（共訳）：強化学習，森北出版株式会社，pp.142-170，2000。
- 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.