

マルチエージェントによる自動運転車両が信号制御システムと協調した時の効果の把握

名城大学 学生会員 ○高橋 竜平

名城大学 学生会員 石黒 祥梧

名城大学 正会員 松本 幸正

株式会社日本能率協会総合研究所 正会員 西尾 和也

1. はじめに

ITS の進展により、自動運転車両が注目され、世界各国で開発にしのぎを削っている。自動運転車両の普及に期待される効果として、交通事故削減、渋滞の緩和、無駄な加減速の減少などが挙げられる。一方で、信号制御システムの開発も進み、交通環境に応じた信号の制御がリアルタイムで可能となりつつある。これら、自動運転車両と信号制御システムの協調により、いっそうの交通流の円滑化が期待できる。

そこで、本研究では、個々に行動を決定することが可能なマルチエージェントシミュレーション（以下、MASim）を用いて、自動運転車両が信号制御システムと協調した時の効果の把握を行う。

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では、自分が取った行動を学習しながら最適な行動を行うようにするため、強化学習の1つであるQ学習を用いることとする。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。

Step1 環境状態を認識する

Step2 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

Step3 選択した行動に対する Q 値を更新する

Step4 信号を通り過ぎるまで Step1~Step3 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⁾となる。

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

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

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_t は報酬である。 α は0.1、 γ は0.9と設定する。ここで、報酬 r_t を以下の式(2)のように設定する。

$$r_t = \begin{cases} 100 - (x_{limit} - \dot{x}_n(t)) : \text{青信号で通過時} \\ -\left(\frac{\dot{x}_n(t)}{x_{limit}} + \frac{T_n(t)}{T_{Red}}\right) : \text{赤信号で停止時} \end{cases} \quad (2)$$

ここで式(2)の各変数 x_{limit} は制限速度(m/sec.)、 $\dot{x}_n(t)$ は時刻 t における n 番目車両の速度(m/sec.)、 $T_n(t)$ は時刻 t における n 番目車両の残りの赤時間(sec.)、 T_{Red} は信号の赤時間(sec.)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/sec.²)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。 β は0.1、 l は0.8と設定する。

3. 信号制御モデル

本研究における信号制御は、環境状態として、「500m区間の流入路上に存在する車両数」の情報をもとに、

最適な通行権の決定を目指すこととする。

以下に、信号制御の方法を示す。

Step1 環境状態を認識する

Step2 得た情報をもとに信号の色を変えるか維持するかを ϵ -greedy 手法に従い選択する

Step3 選択した行動に対する Q 値を更新する

Step4 Step1~Step3 を繰り返し、行う

Q 値の更新式は、自動運転車両における式(1)と同様である。報酬 r_t を東西方向の信号では、赤信号から青信号に変わった際、それぞれの流入路上に存在する車両数の和のマイナス値、南北方向の信号も同様に、赤信号から青信号に変わった際、それぞれの流入路上に存在する車両数の和のマイナス値とする。これにより、信号機は、なるべく流入路上に存在する車両数が少なくなるように通行権の決定を選択し、効率的な信号制御が可能となる。ただし、無意味な短時間での変化を避けるため、最低青時間を10秒とする。

4. 信号制御システムと協調した自動運転車両のシミュレーション

4.1 シミュレーションの概要

本研究では、3.の信号制御によって変化させた現示の残り時間と信号交差点までの距離を認識した 2.1 における自動運転車両が混在する環境を MASim 上で構築し、シミュレーションを行う。

シミュレーションで用いたコースは、東西・南北方向に伸びた全長 1,000m の道路が中央で交差している単一信号交差点である。車両は、東西南北 4 方向からランダムで発生し、右左折なしの直進車のみとする。信号制御をしないシミュレーションでは、信号サイクルを赤 40 秒、青 40 秒で固定とする。信号制御のみを行ったシミュレーションでは、2.2 の一般車両を走行させる。

4.2 シミュレーションによる評価結果

本研究では、自動運転車両と信号制御なしのパターン、一般車両と信号制御ありのパターンと、信号制御と協調した自動運転車両のパターンの 3 つのパターンでシミュレーションを行い評価した。

図-1 は、横軸にシミュレーション時間(sec.)、縦軸に距離(m)を取った自動運転車両のみの場合における時間-距離図である。自動運転車両が赤信号で停止する場合、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となり、破線で囲った部分のよ

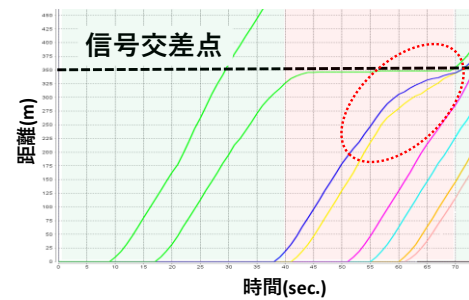


図-1 自動運転車両のみの場合の時間-距離図

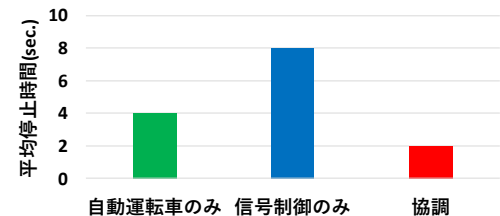


図-2 シミュレーション別平均停止時間の比較

うに交差点を円滑に通過している様子が見て取れる。この自動運転車両が信号制御システムと協調した場合、より円滑に交差点を通過することが期待される。

図-2 に、横軸にシミュレーションのパターン、縦軸に平均停止時間(sec.)を取った図を示す。この図から、協調させた自動運転車両の平均停止時間が最も短いことが見て取れる。協調した場合においては、信号制御のみの場合と比べて約 4 秒、自動運転車両のみの場合と比べて約 2 秒の短縮効果が見込めることがわかった。

5. おわりに

本研究では、MASim を用いて単一信号交差点で自動運転車両のみ、信号制御のみ、信号制御と協調した自動運転車両の 3 パターンのシミュレーションで車両の平均停止時間をそれぞれ比較した。その結果、協調した場合において、信号制御のみの場合と比べて約 4 秒、自動運転車両のみの場合と比べて約 2 秒の短縮効果が得られた。

今後は、複数交差点でのシミュレーションの実施や、右左折を考慮した場合の交通流に及ぼす影響など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) (19K04660) 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，pp.87-95，1993。
- 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。