

ACCによる坂道渋滞緩和の検証

2017SC003 浅野翔矢 2017SC091 山本凌平

指導教員：陳幹

1 はじめに

現代において、自動車は必要不可欠な移動手段である。その利便性のために、自動車の台数は増え続けている。しかし、交通量の増加に伴い交通渋滞や交通事故が多く発生しており、交通問題となっている。課題の解決策として自動運転技術が開発されており、その技術の一つとして挙げられるのがACC(Adaptive Cruise Control)である[1]。ACCは前方車両が存在する場合は前方車両と一定の車間距離を保ち、前方車両に追従する。また、前方車両が存在しない場合は運転手が設定した速度で走行する。ACCの機能は、前方車両の速度、加速度、車間距離を検知することで、自車の加速度を決定し前方車両に追従を行う。ACC搭載車の台数が増加することで、後方車両への速度伝播が少なくなることから、渋滞緩和が期待できる。速度伝播が交通渋滞へ最も影響を及ぼす場所はサグ部であり、渋滞の全体の内の約6割を占めている[2]。本研究ではモデルを2つ用いて行う。モデルを2つ用いることで検証の信憑性を高めるためである。勾配が発生した場合でも渋滞を防ぐことが可能であるかをシミュレーションを行い検証する。

2 モデリング

2.1 モデル1のモデリング

2つの車の追従走行を表すモデルを図1とする。ACCを搭載した車両と先行車の車間距離 $d_{i(t)}$ を維持している状態を表しているモデルである。車両モデルの制駆動系は式(1)のように表現する。理想の加速度の入力値を $u_i(t)$ 、ACC搭載車の加速度 $a_i(t)$ を出力とする。1次遅れ系の式と、式(1)を伝達関数で表したものを式(2)として以下に記す[3]。

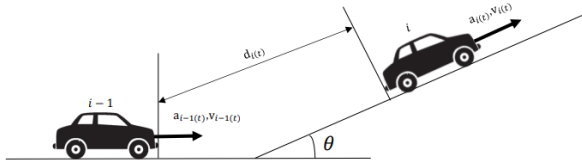


図1 モデル1のモデル図

$$u_i(t) = \tau \dot{a}_i(t) + a_i(t) \quad (1)$$

$$G(s) = \frac{a(s)}{u(s)} = \frac{1}{\tau s + 1} \quad (2)$$

2.2 物理パラメータ

本研究で取り扱う車両追従の物理パラメータを表1に示す。

表1 物理パラメータ

$a_{i-1}(t)$	$i-1$ 番目の車両の加速度	$[m/s^2]$
$a_i(t)$	i 番目の車両の加速度	$[m/s^2]$
$u_i(t)$	i 番目の車両の入力値	$[m/s^2]$
$v_{i-1}(t)$	$i-1$ 番目の車両の速度	$[m/s]$
$v_i(t)$	i 番目の車両の速度	$[m/s]$
$x_{i-1}(t)$	$i-1$ 番目の車両の変位	$[m]$
$x_i(t)$	i 番目の車両の変位	$[m]$
$v_{ri}(t)$	$i-1$ 番目と i 番目の2車両の相対速度	$[m/s]$
$d_i(t)$	$i-1$ 番目と i 番目の2車両の車間距離	$[m]$
$d_{pi}(t)$	$i-1$ 番目と i 番目の2車両の目標車間距離	$[m]$
$\varepsilon_i(t)$	車間距離と目標車間距離の偏差	$[m]$
τ	時定数	$[s]$
h	目標車間時間	$[s]$
k	空気抵抗係数	0.5
μ	転がり抵抗係数	0.01
s	勾配	$[\%]$
m	車重	1200 $[kg]$
g	重力加速度	9.8 $[m/s^2]$
$F(t)$	駆動力	$[N]$

2.3 モデル2のモデリング

モデル2のモデル図を図2に示す。

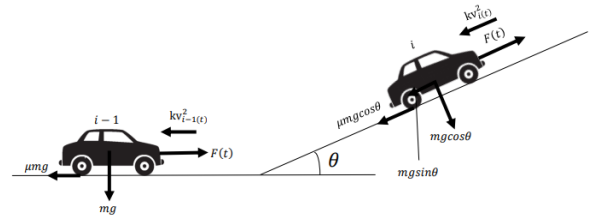


図2 モデル2のモデル図

モデル図より、車両の運動方程式は式(3)のようになる。

$$m\dot{v}_i(t) = F(t) - F_{aero} - F_{roll-resistance} - F_{gravitational} \quad (3)$$

となる。ただし

$$F_{aero} = kv_i(t)^2 \quad (4)$$

$$F_{roll-resistance} = \mu mg \cos \theta \quad (5)$$

$$F_{gravitational} = mg \sin \theta \quad (6)$$

とする。式(4)は空気抵抗、式(5)は転がり抵抗、式(6)は勾配抵抗である。 θ は $[\circ]$ 、 s は勾配 $[\%]$ であり、 θ は式(7)

で表される.

$$\theta = \frac{180 \tan^{-1}(\frac{s}{100})}{\pi} \quad (7)$$

2.4 モデル 1 の状態方程式

外乱を $a_{i-1}(t)$ とし, 状態方程式を式 (8) に示す.

$$\dot{x}_i(t) = Ax(t) + Bu_i(t) + Da_{i-1}(t) \quad (8)$$

$$x_i(t) = \begin{bmatrix} a_i(t) \\ v_{ri}(t) \\ \varepsilon_i(t) \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\tau} & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ -h & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{\tau} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

2.5 モデル 2 の状態方程式

$x_i(t)$ は変位 [m], $v_i(t)$ は速度 [m/s] とする.

$F(t) = u_i(t)$ と定め, 状態方程式を式 (9) に示す.

$$\dot{x}_i(t) = \begin{bmatrix} -\frac{k}{m}v_i(t)^2 - \mu g \cos\theta - g \sin\theta \\ 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix} u_i(t) \quad (9)$$

$$x_i(t) = \begin{bmatrix} x_i(t) \\ v_i(t) \end{bmatrix}$$

3 制御器

前方車との速度の誤差 (相対誤差) と目標車間距離との誤差からフィードバック制御により入力値を決定する. k_1 は速度の誤差に対するフィードバックゲイン, k_2 は車間距離誤差のフィードバックゲインとし, 入力 $u_i(t)$ をとし式 (10) に示す [4].

$$u_i(t) = k_1(v_{i-1}(t) - v_i(t)) + k_2(d_i(t) - hv_i(t)) \quad (10)$$

車間時間 h を 2[s] とする. 車間時間とは前を走行する車両が標識など道路上の目印を通過した時点から, 自分の車両がその目印を通過するまでの時間のことである. ゲインを表 2 に示す.

表 2 モデル 1, モデル 2 のゲイン

	k_1	k_2
モデル 1	0.5	0.05
モデル 2	0.006	0.58

4 シミュレーション

図 3 の道路を想定し, モデル 1, モデル 2 を 25 台用いてシミュレーションを行った. AB 間では 2% の勾配の 90[m] の登り坂, CD 間では 5% の 50[m] の勾配の下り坂, EF 間では 3% の 80[m] の勾配の登り坂とする. 先頭車両はモデル 2 を用いてアクセルを一定に踏んだ場合とする. 先頭車両の加速度, 速度, 変位を図 4-6 に示す. モデル 1 においては登り坂の場合 $-g \sin\theta$, 下り坂の場合 $g \sin\theta$ の加減速の影響を受ける.

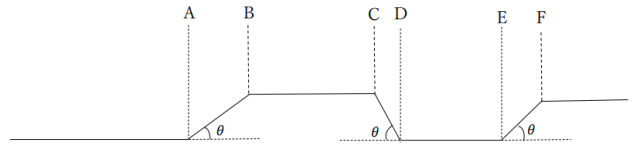


図 3 ロードマップ

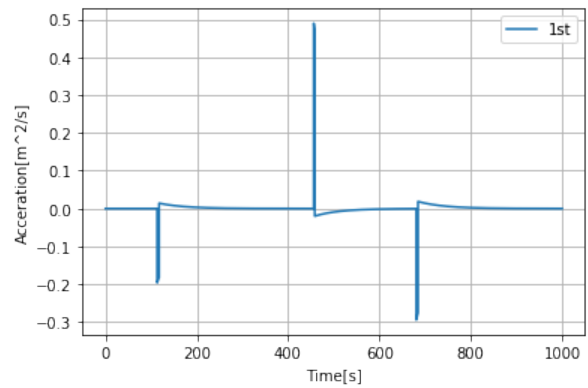


図 4 先頭車両の加速度

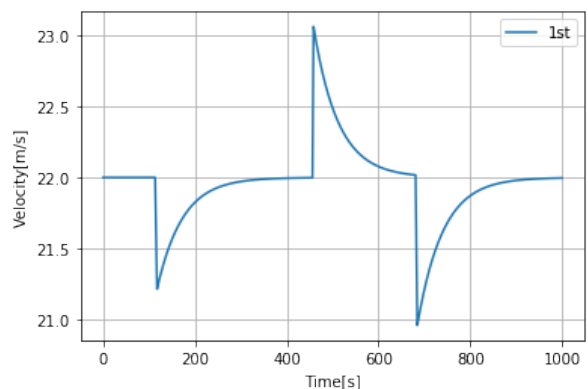


図 5 先頭車両の速度

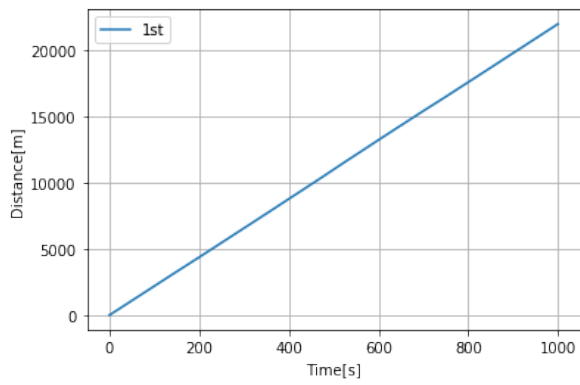


図6 先頭車両の変位

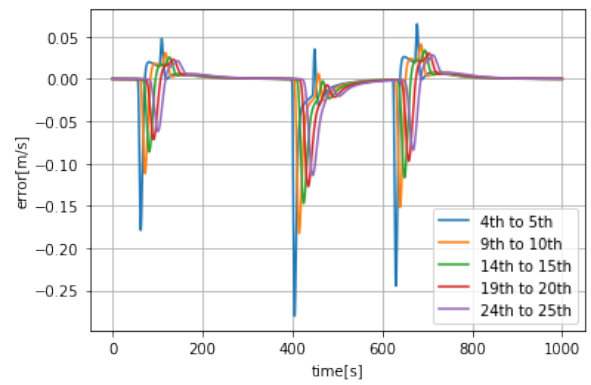


図9 モデル1の相対速度の結果

4.1 モデル1のシミュレーション結果

モデル1を25台用いたシミュレーションを行った。初期値は全ての速度を22[m/s]で行った。シミュレーション結果を図7-11に示す。

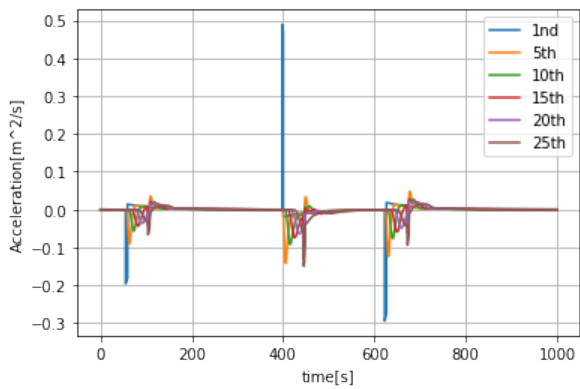


図7 モデル1の加速度の結果

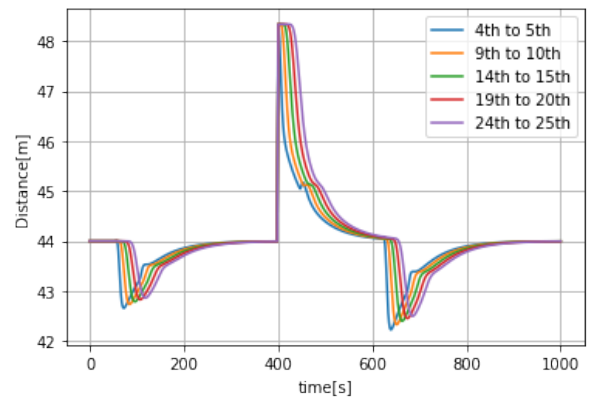


図10 モデル1の車間距離の結果

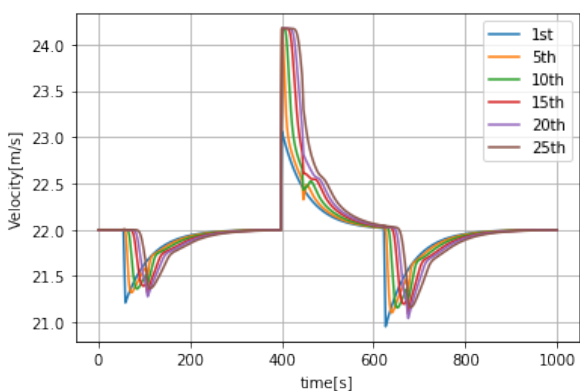


図8 モデル1の速度の結果

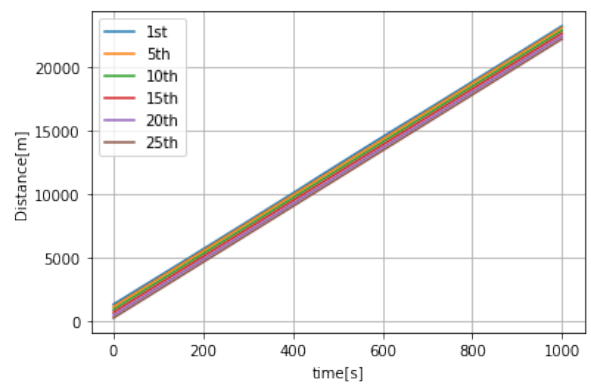


図11 モデル1の変位の結果

4.2 モデル2のシミュレーション結果

モデル2を25台のシミュレーション結果を図12-16に示す。初期値は全ての車両の速度が22[m/s]、各車間距離が44.5[m]とした。

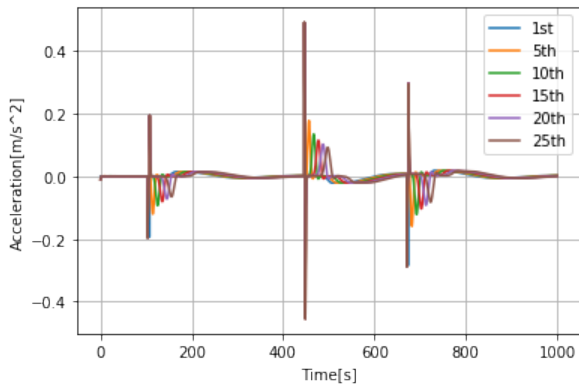


図 12 モデル 2 の加速度の結果

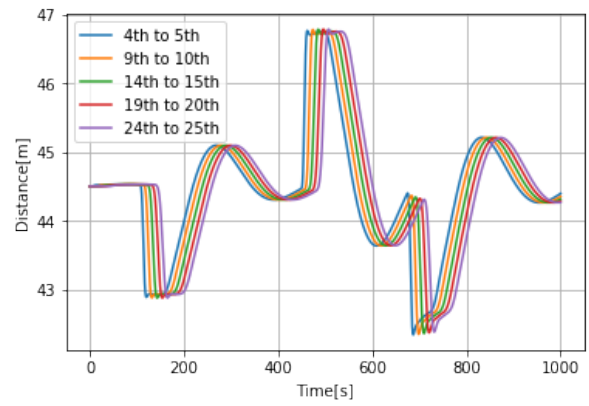


図 15 モデル 2 の車間距離の結果

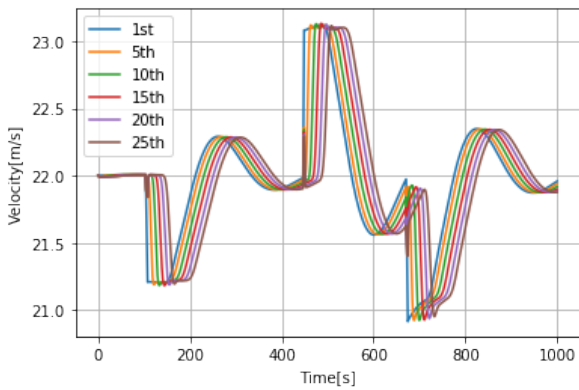


図 13 モデル 2 の速度の結果

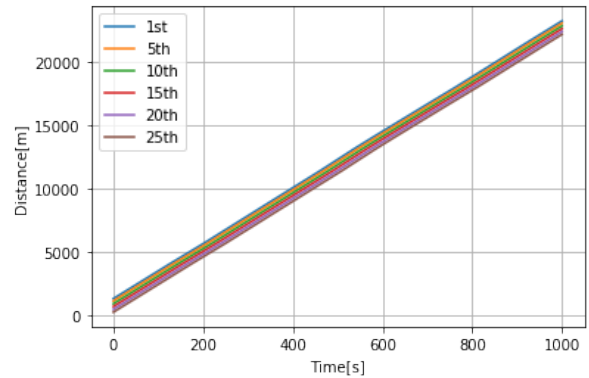


図 16 モデル 2 の変位の結果

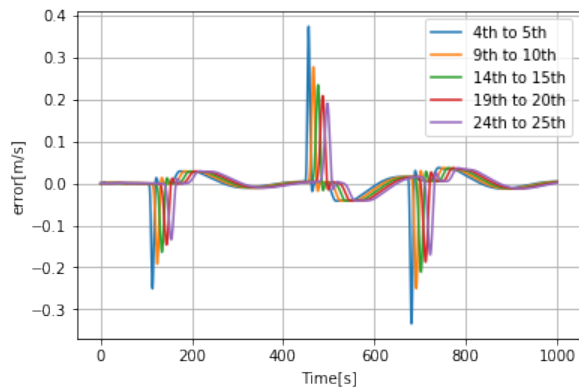


図 14 モデル 2 の相対速度の結果

4.3 おわりに

モデル 1 とモデル 2 と共に追従を行っており、速度の増幅伝播をしていないため、渋滞の発生の抑制が期待できることが示された。しかし、人間が運転した車両が混在した場合、渋滞の抑制ができるかどうか不確かのため今後検討が必要である。

参考文献

- [1] N. Bian et al., "The Development and Application of ACC System", 2014 Sixth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Zhangjiajie, 2014, pp. 692-695, doi: 10.1109/ICMTMA.2014.171.
- [2] 鈴木一史, 山田康右, 堀口良太, 岩武宏一: 高速道路サグ部渋滞対策に資する ACC の将来性能と渋滞緩和効果: 交通工学論文集, 第 1 巻, 第 2 号 (特集号 B), pp.B60-B67, 2015.2.
- [3] Jing Zhou and Huei Peng, "Range policy of adaptive cruise control vehicles for improved flow stability and string stability", in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 6, no. 2, pp. 229-237, June 2005.
- [4] Cunxue Wu, Zhongming Xu, Yang Liu, Chunyu Fu, Kuining Li and Minggui Hu, "Spacing Policies for Adaptive Cruise Control: A Survey", in IEEE Access, vol. 8, pp. 50149-50162, 2020, doi