

渋滞抑制車両による上り坂での渋滞発生抑制

2016SC010 権田大輝

指導教員：陳幹

1 はじめに

ACC(Adaptive Cruise Control)の研究は進んでおり、普及率も上がってきている。しかし、高速道路での使用率は16.2%にとどまっている [1]。現在でも多くのドライバーが、ACCを使用していないため、多くの渋滞が高速道路で発生している。渋滞の主な原因は先頭車両の気付かぬうちの減速により、後続車両への速度の増幅伝播が生じることである。この論文では、速度の増幅伝播を抑制させ、渋滞の発生を防ぐ渋滞抑制車両の設計とその効果の確認を行う。

2 車両モデル

2.1 2車間の追従モデル

i 番目の車両と $i-1$ 番目の車両の追従モデルを図1に示す。 $v_i(t)$ は i 番目の車両の速度、 $v_{i-1}(t)$ は $i-1$ 番目の車両の速度、 $x_i(t)$ は i 番目の車両の位置、 $x_{i-1}(t)$ は $i-1$ 番目の車両の位置、 $d_i(t)$ は i 番目と $i-1$ 番目の車両の車間距離を表す。

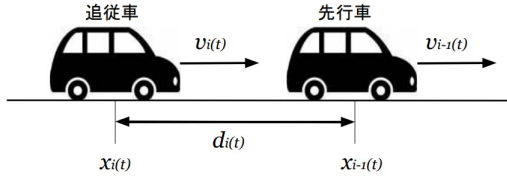


図1 2車間の追従モデル

2.2 平地での先頭車両のモデル

先頭車両のモデルは、

$$\dot{v}_1(t) = (V_{max} - v_1(t)) \quad (1)$$

で表される [2]。 $V_{max} = 28.0[\text{m/s}]$ とする。

2.3 平地での後続車両のモデル

後続車両のモデルは、Helly モデル [3] によって、

$$\dot{v}_i(t) = k_1(d_i(t) - D(v_i(t))) + k_2(v_{i-1}(t) - v_i(t)) \quad (2)$$

で表される。目標車間距離 $D(v_i(t))$ は、目標車間時間 $T_{des} = 0.8[\text{s}]$ と最低車間距離 $d = 7.5[\text{m}]$ を用いて、

$$D(v_i(t)) = d + T_{des}v_i(t) \quad (3)$$

と表される。 k_1 は現在の車間距離と目標車間距離の誤差に対するフィードバックゲイン、 k_2 は相対速度に対するフィードバックゲインである。減速時には衝突への意識が高まるため、速度の増幅伝播が起きやすい。したがって、フィードバックゲインを表1のように定める。

表1 フィードバックゲイン

	k_1	k_2
加速時	1.6	1.2
減速時	1.6	0.1

3 勾配の影響

3.1 勾配の影響を考慮した車両モデル

文献 [4] を参考に、勾配の影響を考慮した車両モデルを作成する。勾配の影響に対して、ドライバーが補正をかける。したがって、上り坂での先頭車両のモデルは、

$$\dot{v}_1(t) = (V_{max} - v_1(t)) - g' + \beta g' \quad (4)$$

で表される。また、後続車両のモデルは、

$$\dot{v}_i(t) = k_1(d_i(t) - D(v_i(t))) + k_2(v_{i-1}(t) - v_i(t)) - g' + \beta g' \quad (5)$$

で表される。勾配の大きさが θ の時、重力加速度を $9.8[\text{m/s}^2]$ とすると、 $g' = 9.8\sin\theta[\text{m/s}^2]$ の加速度の影響を受ける。また、 β はドライバーの勾配に対する認知度であり、勾配に気付いている時 1 とし、勾配に気付いていない時 0 とする。

3.2 勾配が3%、6%の上り坂のシミュレーション

全ての車両の速度の初期値を $v_i(0) = 24.0[\text{m/s}]$ 、車間距離の初期値を $d_i(0) = 28.0[\text{m}]$ とする。また、先頭車両の位置の初期値を $x_1(0) = 0[\text{m}]$ とする。位置が $4000[\text{m}]$ 以上 $8000[\text{m}]$ 以下の時、勾配が3%または6%の上り坂とする。上り坂でない所は平地とする。先頭車両のみ勾配に気付かないとする。勾配が3%の時の時間と速度の関係を図2に、勾配が6%の時の時間と速度の関係を図3に示す。

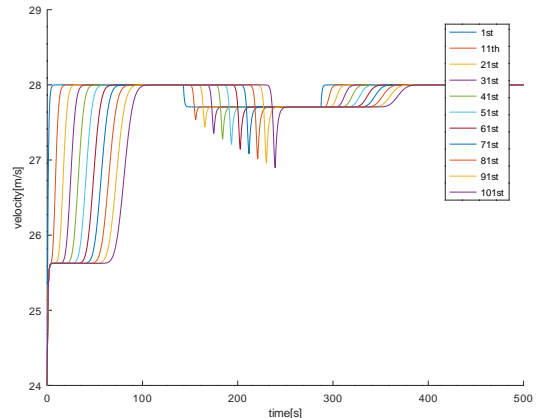


図2 時間と速度の関係

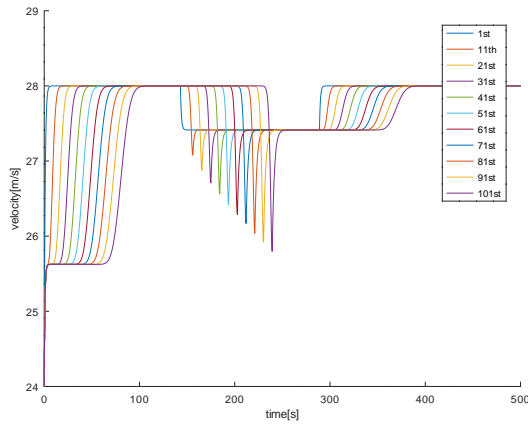


図3 時間と速度の関係

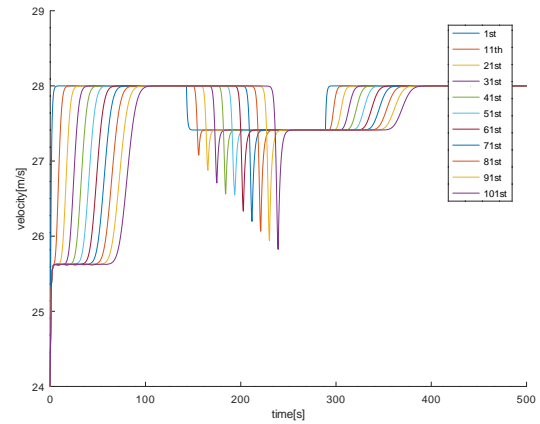


図5 時間と速度の関係

図2と図3より、勾配が大きいほど後続車両への速度の増幅伝播が大きいことが分かる。

4 渋滞抑制車両

4.1 渋滞抑制車両の設計方法

ある車両が特別な振る舞いをすることによって、後続車両の速度低下を抑制することができる。減速時に前方車両の減速を感知し、早めに減速を開始する slow-in[5] を考える。後続車両の減速が緩やかになり、後続車両への速度の増幅伝播を抑制できる。この結果、後続車の渋滞の発生を抑制できる。slow-inの様子を図4に示す。



図4 slow-in

4.2 slow-in の設計

文献 [6] で提案された設計方法を用いる。前方の減速車群の最後尾の車両の速度を V 、最後尾への到着にかかる時間を T とすると、渋滞抑制車両の速度 v は、 T 秒だけ過ぎた後に V になっていることが望ましいので、

$$V = v + aT \quad (6)$$

となる。また、減速車群の最後尾までの距離を L とすると、

$$L = vT + \frac{1}{2}aT^2 \quad (7)$$

であればよい。 a について整理すると、

$$a = \frac{1}{2L}(V^2 - v^2) \quad (8)$$

となる。

4.3 勾配が6%の上り坂のシミュレーション

3.2の勾配が6%の場合と同じ条件下で、51台目を渋滞抑制車両とする。時間と速度の関係を図5に示す。

渋滞抑制車両は、早めに減速を始めることによって、速度の低下を抑えることができています。また、101台目の車両の速度について、渋滞抑制車両を導入しない場合 25.798[m/s] まで低下したのに対し、渋滞抑制車両を導入した場合 25.823[m/s] までの低下に抑えることができた。

5 おわりに

渋滞抑制車両の導入により、速度の増幅伝播を抑制し、後続車両の速度の低下を抑えることができた。しかし、その効果は著しいものではなかった。更に緩やかに減速する設計方法を考える必要がある。

参考文献

- [1] 小篠 耕平・菅原 宏明・石井 明・刑 健・糸島 史浩・甲斐 穂高：「高速道路における ACC 搭載車両の利用実態および安全性・交通容量に及ぼす影響の考察」，第 17 回 ITS シンポジウム，2019.
- [2] 大橋敏裕：「追従車両モデルに基づく渋滞の解消—直線道路における渋滞吸収運転—」，南山大学大学院 理工学研究科 修士論文要旨集，2015 年度.
- [3] Mark Brackstone・Mike McDonald：”Car-following: a historical review”，Transportation Research Part F 2, p.181-p.196, 1999.
- [4] 畔柳英健・井手口哲夫・奥田隆史・田学軍：「追加型自動加速制御の提案と渋滞解消への適用・評価」，情報処理学会 グループウェアとネットワークサービス研究会，2014 年 11 月 27 日，28 日.
- [5] Zhijun Gao・Jiangfeng Wang・Xi Zhang・Jiakuan Dong・Lei Chen・Xuedong Yan・Wei Zhang：”Traffic Oscillations Mitigation in Vehicle Platoon Using a Car-Following Control Model for Connected and Autonomous Vehicle”，Hindawi Journal of Advanced Transportation, p.1-p.12, 2019.
- [6] 江上一樹，「渋滞吸収車両による交通渋滞の解消」，南山大学大学院 理工学研究科 修士論文要旨集，2014 年度.