

ACCシステムを含む微視的交通流モデルの構築

児島研究室 山口隆洋

キーワード: 交通流モデル, MLD(Mixed Logical Dynamical)システム表現, モデル予測制御, ACC(Adaptive Cruise Control)システム

1. はじめに

ACC(Adaptive Cruise Control)システムは自車両と先行車両との間に安全な車間距離を保つことを可能にした追従走行を実現する。これにより以下の効果が見込める。

- 適切な車間を保つ効率的道路容量利用
- 充分な渋滞緩和効果[1]。

本研究では[2]で提案された交通流モデルを基に、一定割合のACC搭載車両を車群に含ませた状況を想定し、交通流へ及ぼす影響を分析する。

目的

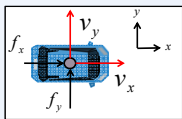
ACC車両の普及を想定した交通流モデルを定め、渋滞緩和効果を評価する。

手法

- MLDシステム表現
⇒ 離散時間領域でのモード遷移を扱うことができる。車両の動特性と追従・追越等のモードを記述するため導入。
- モデル予測制御
⇒ 車両の多様な制約を考慮した最適な入力求められる。そのため、車両間の相互作用の考慮が可能。

2. 交通流モデル

車両のダイナミクスと経路計画



● 車両の運動を質点 m [kg] の運動と捉え、各方向に働く力により車両速度 v_x [m/s], v_y [m/s] を決定する。

先行車両との相互作用

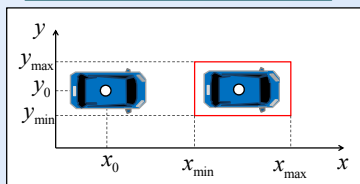
- 各車両の禁止領域を上のように定める。ここで $x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}$ は車両の占有領域を表す。また、 $\delta_i(t+k|t)$ は0-1変数であり、 M は車両の横幅、縦幅に比べて十分に大きい正の整数である。
- 速度制約・加速度制約を下のように定める。

禁止領域の制約

$$\begin{aligned} x(t+k|t) &\leq x_{\min} + M\delta_1(t+k|t) \\ -x(t+k|t) &\leq -x_{\max} + M\delta_2(t+k|t) \\ y(t+k|t) &\leq y_{\min} + M\delta_3(t+k|t) \\ -y(t+k|t) &\leq -y_{\max} + M\delta_4(t+k|t) \\ \sum_{i=1}^4 \delta_i(t+k|t) &\leq 3 \end{aligned}$$

速度・加速度制約

$$0 \leq v_x \leq v_{\max} \quad a_{\min} \leq \frac{1}{m} f_x \leq a_{\max}$$



走行モード

- 前方車両との車間距離 D に応じて自由、追従、減速の走行モードを定める。加速度制約を切り替えることで車両の走行状態を定義する。

自由走行

$$D \geq 40[\text{m}] \quad D > d^* + 10[\text{m}]$$

非ACC : 非ACCのモード切り替え条件

ACC : ACCのモード切り替え条件

$$a_{\min} \leq \alpha_{xk} \leq a_{\max} \quad (\text{ボトルネック区間外走行時})$$

$$a_{\min} \leq \alpha_{xk} \leq -\alpha_{\text{sag}} \quad (\text{ボトルネック区間内走行時})$$

$$\alpha_{\text{sag}} = 0.3 [\text{m/s}^2]$$

追従走行

$$D < 40[\text{m}] \quad d^* \leq D \leq d^* + 10[\text{m}]$$

安全車間距離

$$G_s = 0.0029(v_{xk} \times 3.6)^2 + 0.3049(v_{xk} \times 3.6) [\text{m}]$$

目標車間距離

$$d^* = d_0^* + T v_{xk} [\text{m}]$$

T [s]	1.2	車間時間
d_0^* [m]	5	速度0[m/s]時の車間距離

$$a_{\min} \leq \alpha_{xk} \leq \alpha_g$$

$$\alpha_g = 1.0 [\text{m/s}^2]$$

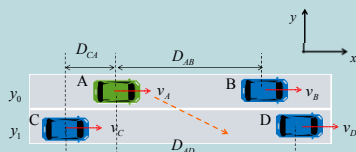
車線変更条件

- 前後方の車両との距離、相対速度から車線変更条件を定める。
- 車線変更条件を満たした際に、車線目標値を切り替える。ただし追越車線への車線変更には、対象車両を確率的に選ぶ。

条件1

判定タイミング: 追越車線の車両が自車両Aを追い抜いたあと

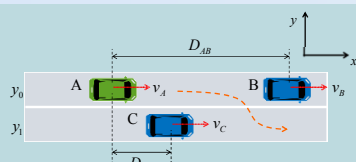
- $D_{AD} \geq G_{s_A}$
- $D_{CA} \geq G_{s_C} + 2L$
- $D_{AB} \leq G_{s_A}$ (ACC車両: $v_A < 0.87 \times v_{\max}$)



条件2

判定タイミング: 自車両Aが追越車線の車両を追い抜いたあと

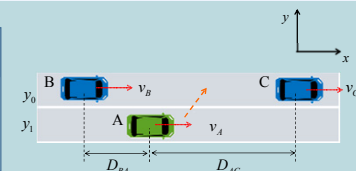
- $D_{AB} \leq G_{s_A} + L$
- $v_A \geq v_C > v_B$
- $D_{AC} \geq G_{s_C} + L$



条件3

判定タイミング: 常時

- $D_{BA} \geq G_{s_B}$
- 追越車線に車線変更後150ステップ経過
- $D_{AC} \geq 45$



評価関数

- 先行車両との相互作用、走行モード、車線変更条件のもとで評価関数 J を最小にする入力列をもとめる。

$$J = \sum_{t=1}^{N-1} ((s_{t+k|t} - s_f)^T Q (s_{t+k|t} - s_f) + u_{t+k|t}^T R u_{t+k|t})$$

$$Q > 0, R > 0$$

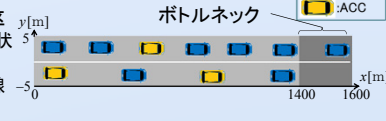
$$\min_U J, U := \{u_{t|t}, u_{t+1|t}, \dots, u_{t+N-1|t}\}$$

以上の条件をサンプル時間毎に車両に適用し、車両状態の更新を重ねることで、ACCの普及を想定した不均質な車両特性をもつ交通流を定める。

3. シミュレーション

シミュレーション条件

- 左図の様に終端にボトルネックが存在する区間においてACC車両と非ACC車両が混在した状況を想定する。
- 車両が0[m]の地点を通過する度に走行車線では-45~-60[m]、追越車線では-90~-115[m]の区間に次の車両が現れることで一定範囲の交通流密度が維持される。
- ACC車両の混入率を変化させた結果を比較する。

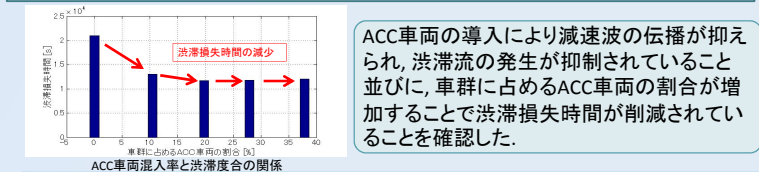
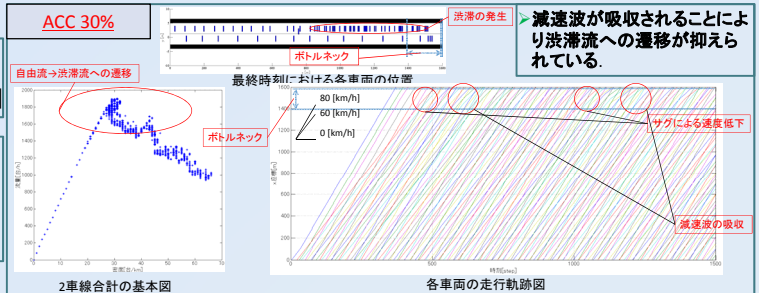
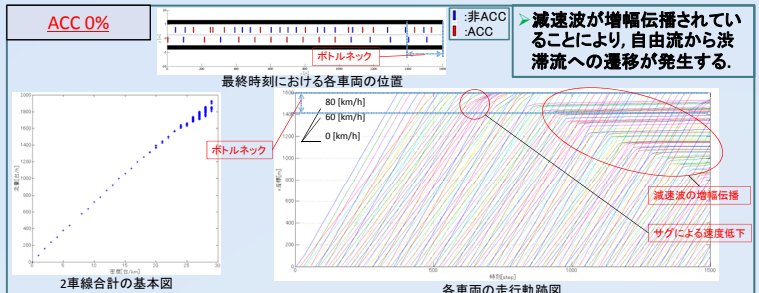


m [kg]	1500	車両の質量
W [m]	5	車両の縦幅
L [m]	2	車両の横幅
$a_{x\max}$ [m/s ²]	2.4	自由走行状態時の車両の最大加速度
$a_{x\min}$ [m/s ²]	-6.86	自由走行状態時の車両の最小加速度
$v_{x\max1}$ [m/s ²]	16.6	走行車線における最大速度
$v_{x\max2}$ [m/s ²]	22.2	追越車線における最大速度
$v_{x\min}$ [m/s ²]	0	車両の最小速度
h [s]	0.2	サンプル時間
N [-]	5	予測区間

パラメータ設定

- 車両モデルの基本的なパラメータを左表のように設定する。
- 反応遅れ時間 τ は非ACC車両が0.4 ~ 1.0 [s] に対してACC車両は0.2 [s] とした。
- ACC車両の減速度は非ACC車両の50%とした。

シミュレーション結果



ACC車両の導入により減速波の伝播が抑えられ、渋滞の発生が抑制されていること並びに、車群に占めるACC車両の割合が増加することで渋滞損失時間が削減されていることを確認した。

4. まとめ、今後の課題

- ハイブリッドモデルの一つであるMLDシステム表現を用い、ACCを考慮した交通流モデルを提案した。
- ACCの普及率と交通渋滞緩和効果の関係を複数の指標から調査した。
- 今後、渋滞の回復を想定したモデルへの拡張、不均質な車群を考慮したシミュレーションを検討する。

5. 参考文献

- [1] <http://www.mlit.go.jp/road/index.html>, 国土交通省道路局ホームページ
- [2] 横江, 石橋, 児島, ハイブリッドシステム表現に基づく交通流モデルの提案, 計測自動制御学会 第13回制御部門大会 (2013)