

車両の追い越しモデルを導入した交通流シミュレーション

首都大学東京 ヒューマンメカトロニクスシステムコース B4 曾根 雄太 (児島研究室)
 キーワード: モデル予測制御, MLDシステム, 交通流シミュレーション

1. はじめに

交通渋滞問題が社会に与える影響施策の事前検証や新技術の導入効果予測に対し有効である。

◆ 交通流シミュレーション^[1]

道路上で起こる交通現象をコンピュータ上で再現し、渋滞の予測や解析が可能

<http://trendy.nikkeibp.co.jp/article/icc/20091028/1029933/>
 Fig.1 高速道路の渋滞

研究目的

MLDシステム表現により、車線変更を考慮した交通流モデルを構築する。

2. 車両の基本モデル^[2]

車両の運動を、質点 m [kg]の運動と捉え、 x 方向に働く力 f_x と y 方向に働く力 f_y により車両速度 v_x, v_y [m/s] を決定する。

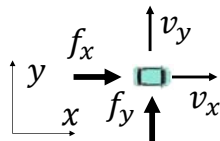


Fig.2 車両モデル

状態方程式

$$\dot{s} = A_d s + B_d u$$

$$s = [x, y, v_x, v_y]^T, A_d = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B_d = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & 0 \\ 0 & \frac{1}{m} \end{bmatrix}$$

$$u = [f_x, 0]^T$$

各車両の禁止領域を以下のように定める。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

$$x(t+k|t) \leq x_{min} + M\delta_1(t+k|t)$$

$$-x(t+k|t) \leq -x_{max} + M\delta_2(t+k|t)$$

$$y(t+k|t) \leq y_{min} + M\delta_3(t+k|t)$$

$$-y(t+k|t) \leq -y_{max} + M\delta_4(t+k|t)$$

$$\sum_{i=1}^4 \delta_i(t+k|t) \leq 3$$

速度・加速度制約

$$0 \leq v_x \leq v_{max}$$

$$a_{xmin} \leq \frac{1}{m} f_x \leq a_{xmax}$$

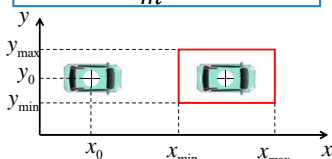


Fig.3 禁止領域の概念図

車線変更条件

車線変更には追い越し車線への変更と走行車線への回復の2通りがあり、それぞれの条件を満たす時に目標値を切り替えることで車線変更を再現する。

追い越し車線(Lane2)への変更

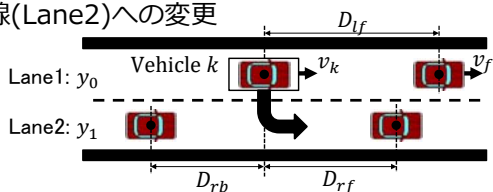


Fig.4 車線変更概略図 1

$$D_{rb} \geq G_{rb} \text{ and } D_{rf} - v_k - h \geq G \text{ and } v_k - v_f \geq 1.0$$

走行車線(Lane1)への回復

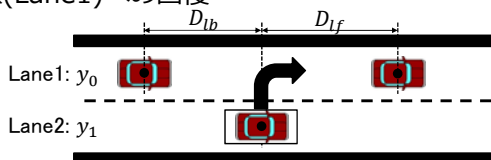


Fig.5 車線変更概略図 2

$$D_{lb} \geq G_{lb} \text{ and } D_{lf} \leq G$$

目標点を s_f と与え、状態方程式に対する評価関数を定めると、以下のような混合整数2次計画問題にまとめられる。

評価関数

$$J = \sum_{l=0}^{N-1} \{ (s(t+k|t) - s_f)^T Q (s(t+k|t) - s_f) + u(t+k|t)^T R u(t+k|t) \}$$

$$s_f = [x_f \ y_f \ 0 \ 0]^T$$

この最適化問題をサンプル時間(0.2 s)毎に解くことで、車両が目標点へ向かう最適な経路を決定する。

モデル予測制御

$$\min_u J, U = \{u(t|t), u(t+1|t), \dots, u(t+N-1|t)\}$$

$$\text{subj. to } \begin{cases} \text{状態方程式} \\ \text{速度・加速度} \\ \text{障害物回避} \end{cases}$$

3. シミュレーション

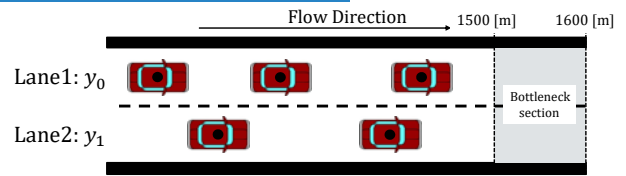


Fig.6 シミュレーションレイアウト

上図のように終端にボトルネック区間を設置し、車両が0 [m]の地点を通過する度に走行車線では-40 ~ -60 [m]、追い越し車線では-80 ~ -100 [m]の間隔で車両を流入させる。以下の2通りの条件で行ったシミュレーション結果を比較する。

- Case 1. 車線変更無し
- Case 2. 車線変更有り

Fig.7 は、横軸に交通密度、縦軸に交通流量をとった基本図であり、(a1)~(a3) は Case 1, (b1)~(b3) は Case 2 である。

Case 1 ではLane 1 のみ渋滞が見られる。一方、Case 2 では両車線で渋滞が発生していることがわかる。

これは、車線変更することによりLane 2 の交通量が増加したためだと考えられる。よって、車線変更の条件の設定により交通量を調整できる可能性がある。

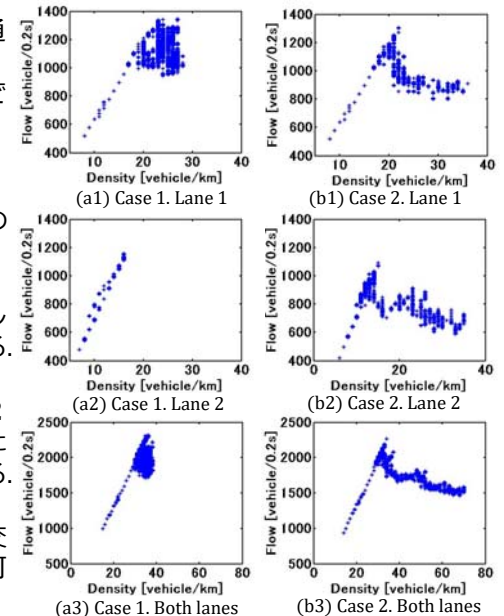


Fig.7 シミュレーション結果

4. 今後の展開

- 車車間通信を用いた渋滞抑制システムの構築
- 極度に遅い車両が渋滞に与える影響を調べる

参考文献

- [1] 日立産業制御ソリューションズ-交通流シミュレータ
<http://www.hitachi-ics.co.jp/product/trafficss/index.html>
- [2] 横江 秀信:ハイブリッドシステム表現に基づく交通流モデルの構築, 首都大学東京, 修士論文 (2013)