仮想車両を用いた車両群の合流制御*

宇野 篤也**・阪口 健***・津川 定之***

Merging Control of Automated Vehicles Based on Virtual Vehicles*

Atsuya UNO**, Takeshi SAKAGUCHI*** and Sadayuki TSUGAWA***

1. はじめに

特に高速道路における自動車走行の安全と効率を両立させるためには、単路における定常的な車両の走行制御だけでなく、合流時や車線変更時における車両の走行制御が必要である。単路における車両の走行制御については多くの研究が行われているが¹⁾、ランプから本線への合流時の制御に関しては小数の研究があるだけである^{2), 3)}。

この速報は、高速道路においてランプから本線に合流する車両群が本線上の車両群に合流するときの制御アルゴリズムについて考察している。ここで提案する合流制御アルゴリズムは車両間通信を前提とし、ランプ上または本線上の車両を本線上またはランプ上に投影した仮想車両に対する車間距離制御に基づいている。

2. 合流制御

2.1 合流制御の原理

車線を走行する車両が他車線からの車両と安全にかつ円滑に合流するためには、合流前に合流後の車間距離を確保する必要がある。しかし、合流しようとする車両はそれぞれ異なる車線上に存在するため、そのままでは車間距離を確保することは困難である。この問題を解決するために、ここでは自車線上に投影した相手車両に対して車間距離制御を行うことを考える。この自車線上に投影した車両のことを仮想車両と呼ぶことにする。

2.2 合流パターンの分類

単独車両が複数台の車両からなる群に合流する場合を考える。合流を合流路における合流と車線変更による合

流の二つの場合に分けて考える。

2.2.1 合流路における合流の場合

簡単のために1レーンのランプが一ヶ所で1レーンの本線に合流するものとする。この場合、合流パターンをFig. 1に示す3パターンに分類することができる。

Fig. 1 Merging at a ramp

- パターン 1: 支線の車両が本線の車両の後方で合流する場合
- パターン 2: 支線の車両が本線の車両の前方で合流する場合
- パターン 3: 支線の車両が本線の車両群の間に入る場合

車両群に車両が、衝突することなくスムーズに合流するためには、合流地点を通過するまでに十分な車間距離を確保する必要がある。

2.2.2 車線変更による合流の場合

簡単のため車線変更は隣接した車線間で一方の車線からのみ行うものと仮定する。この場合も合流路における合流の場合と同じように、合流パターンをFig. 2の3パターンに分類する。

- パターン 1: 目標車線上の車両が自車の前方に位置する場合
- パターン 2: 目標車線上の車両が自車の後方に位置する場合
- パターン 3: 目標車線上の車両群の間に自車が割り込む場合

合流路における合流の場合、合流地点に到達するまでに合流準備を完了させる必要があるが、車線変更による

* 原稿受付 1998年5月11日

** 筑波大学 連携大学院 工学研究科 Doctoral Program in Engineering, University of Tsukuba; Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8573, JAPAN

*** 通産省工業技術院 機械技術研究所 Mechanical Eng. Lab., AIST MITI; Namiki 1-2, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8564, JAPAN

Key Words: merging control, inter-vehicle communication, platoon, longitudinal control.

Fig. 2 Merging on lane changing

合流の場合には合流準備が完了し次第合流を行うことになる。そのために、合流される側から合流する側に対して合流準備が完了したことを知らせる必要がある。この情報は車両間通信により伝達することになる。

2.3 パターン別合流方法

Fig. 1と Fig. 2より、合流路における合流と車線変更における合流の場合も基本的に同じ合流パターンで扱うことが可能なことがわかる。

各合流パターンにおける合流方法を以下に示す。

(1) パターン 1

合流が完了した状態において、合流を行う車両 B は車両 A の後方に位置することになる。安全にかつ円滑に合流するためには、後続車両 B は合流を完了するまでに、先行車両 A とのスペースヘッドウェイを L (設定スペースヘッドウェイ) 以上にする必要がある。そのために、後続車両 B は、先行車両 A を自車線上に投影した仮想車両 A' を生成し、この仮想車両 A' に対して車間距離制御を行いスペースヘッドウェイを L に調整する。このとき後続車両 B は先行車両 A の情報を必要とする。

(2) パターン 2

合流が完了した状態において、合流を行う車両 B が車両 A の前方に位置することになる。この場合には後続車両 A は合流が完了するまでに、先行車両 B とのスペースヘッドウェイを L 以上にしなければならない。この場合はパターン 1 の場合と逆に、後続車両 A は自車線上に仮想車両 B' を投影しスペースヘッドウェイを確保する。

(3) パターン 3

合流を行おうとする単独車両 C が、合流先を走行する車両群に割り込む形になる。合流される側の車両 A と合流を行う車両 C の位置関係はパターン 1 の場合と同じであり、車両 C は自車の前方に仮想車両 A' を作成し、スペースヘッドウェイの調整を行う。

車両 C は車両 B の前方に割り込む形になる。このとき、車両 A と車両 B 間のスペースヘッドウェイを最終的には $2L$ 以上にする必要がある。

いずれの合流パターンにおいても、仮想車両に対する車間距離制御アルゴリズムと仮想車両を生成するための

対象車両に関する情報が必要となり、その情報の伝達は車両間通信を用いることになる。

3. シミュレーション

3.1 車間距離制御アルゴリズム

Fig. 3 Platooning of vehicles

一列に走行している車両列の先頭を 1 番とし、以下 2, 3, 4, ..., i , ... と番号をつける (Fig. 3). このとき、車両 i の動特性を最も簡単な形式で次のように表す。

$$\ddot{x}_i = u_i \quad (1)$$

ここで、 x_i と u_i は車両 i の位置と制御入力を表している。車両 i と $i+1$ との設定スペースヘッドウェイを L とした時の各車両の位置偏差を e_i で表すと、偏差 e_i は次のようになる。

$$e_i = (x_i - x_{i+1}) - L \quad (2)$$

(1), (2) 式より、位置偏差 e_i に関する次の方程式が導き出される。

$$\ddot{e}_i = u_i - u_{i+1} \quad (3)$$

この位置偏差システムに対し、Fig. 4 に示すような PD 制御によるフィードバック制御系を構成する。制御系の設定値は 0 である。ここで、 k_1 と k_2 は決定すべきフィードバックゲインである。

Fig. 4 Longitudinal control system

極配置法⁴⁾から、車両 $i+1$ への制御入力 u_{i+1} は、

$$u_{i+1} = u_i + k_1 e_i + k_2 \dot{e}_i \quad (4)$$

となる。

この研究では、車間距離制御だけを考え、ラテラル制御は考えない。

3.2 通信システム

(4) 式で表される車間距離制御アルゴリズムは、仮想車両の絶対位置と速度の情報が必要とすることがわかる。これらの情報は合流前に直接車両間通信や路車間通信を

経路した車両間通信を用いて合流車両間で交換する必要がある。

3.3 シミュレーションと結果の考察

Fig.5に示すようなコースを想定し、合流路における合流と車線変更による合流のシミュレーションを行った。各車両群の先頭車両は一定速度 22.2m/s (80km/h) で走行しながら合流し、後続車両は20mのスペースヘッドウェイを保ちつつ追従走行を行うものとした。通信可能距離は200m、加速度の許容範囲は $\pm 0.1G$ 、通信周期と制御周期は同期させ、それぞれ0.01sとした。Fig.6に各車群の加速度および速度変化を、Fig.7に合流地点からの相対距離を示す。

Fig. 5 Simulation results: merging at a ramp (left) and on lane changing (right)

これらシミュレーションの結果は、二つの車両群が合流するまでに個々の車両が十分なスペースヘッドウェイを確保し、円滑な合流が可能であることを示している。

Fig.6において20~30秒付近で加速度が激しく変化しているが、これは合流前と合流後で追従対象が変わるからである。このような急激な加減速は望ましくない。これは新しい追従対象に対する初期値を適切に設定することにより、改善が可能である。

4. おわりに

この速報では仮想車両を用いた二つの車両群の合流アルゴリズムを提案し、シミュレーションで検討した。合流路における合流と車線変更による合流を同一のアルゴリズムで取り扱うことが可能であることを示し、簡単なモデルと車間距離制御アルゴリズムでシミュレーションを行いその有効性を確認した。この手法を実際の高速道路に適用するためには、車両間通信のプロトコルや車間距離制御アルゴリズムの高度化を考慮する必要がある。

Fig. 6 Velocities and accelerations of vehicles

Fig. 7 Trajectories of two platoons

参考文献

- 1) S. Shladover: Review of the state of development of Advanced Vehicle Control Systems (AVCS); *Vehicle System Dynamics*, 24, pp. 551-595 (1995)
- 2) M. Papageorgiou (Ed.): *Merging control; Concise Encyclopedia of Traffic & Transportation Systems*, Pergamon Press, pp. 257-263 (1991)
- 3) PATH; AHS Entry/Exit Implementation; Precursor Systems Analysis of Automated Highway Systems, US DOT (CD-ROM) (1997)
- 4) 津川・村田・広瀬・谷田部: 車両間通信による自律車両群の走行制御; 計測自動制御学会論文集, Vol. 26, No. 9, pp. 1058-1065 (1990)