

3502 鉄道車両における追従制御の可能性検討

○若林 秀 (東京大院) 正 [機] 中野 公彦 (東京大)
正 [機] 山崎 大生 (東京大) 正 [機] 大堀 真敬 (東京大)
正 [機] 鄭 仁成 (東京大)

Feasibility study on following control of railway vehicles

Shu WAKABAYASHI, School of Engineering The University of Tokyo, 4-6-1, Komaba, Meguro-ku, Tokyo

Kimihiko NAKANO, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

Hiro-o YAMAZAKI, Masanori OHORI, Rencheng ZHENG

In vehicle dynamics for automobiles, the platoon control methods were researched and developed. This control is useful to increase the efficiency of the transportation. In this paper, the authors propose to apply this method to a railway system, which increases the traffic volume of the railway vehicles keeping flexibility of the train operation. With measuring the gap between the vehicles, motors of the vehicles produce torques to travel keeping the constant gap. The numerical simulation is carried out using Multi-body dynamics software and feasibility of the platoon control for railway vehicles is discussed.

Keywords : Railway, Motion Control, Vehicle Dynamics, Platoon Control, Numerical Simulation

1. 緒言

近年、自動車の分野では隊列走行が注目されている。自動車を隊列として制御することで、空気抵抗の減少による燃費低減や交通容量の増大などが期待されている。既に実車による走行実験も行われており、実用化までの道のりも遠くない⁽¹⁾。隊列走行制御は車両間に仮想的なばねおよびダンパが作用するように、アクチュエータの制御を行うものである。ばね・ダンパモデルだけではなく、隊列への合流・離脱のために車間距離を変化させる研究もなされている⁽²⁾。また、隊列走行時においては車群の安定性が重要であり、この安定性向上のためセンシングの方法や通信の有無を比較した研究や、モデル予測制御の適用を検討した研究などがなされている⁽³⁾⁽⁴⁾。

鉄道においても、このような隊列走行が実現できれば、車両数を増やすことによる輸送量増加、多様な行先や停車駅の列車を同時に運転することによるフレキシブルなサービスを実現することができると考えられている⁽⁵⁾。

本研究では鉄道における隊列走行を実現するため、2両からなる列車のうち2番目の車両に追従制御を組み込むことを考える。1番目の車両は運転士が運転操作を行うものとし、2番目の車両には隊列走行制御を適用し、自動で追従する制御を実現する。数値計算によって、車間距離やアクチュエータ出力を求め、性能を検討する。

2. 制御手法

隊列走行における制御モデルを図1に示す。提案する隊列走行制御は2番目の車両の制御装置に組み込まれている。1番目の車両にばねと減衰器を通じて接続された系を模擬する制御モデルとした。図1中、 x_i, v_i, u_i はそれぞれ*i*番目の車両の位置、速度、制御入力である。なお、1番目の車両は手動運転を前提とし、系の状態量は車両走行に関する動きからの差を表すことにする。す

なわち、 $u_1 = 0, u_2 = u$ となる。

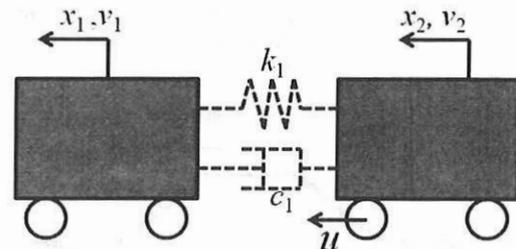


Fig.1 Vehicle modeling of platoon control.

本システムの運動方程式は式(1)で表される。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{v}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ v_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u_i \quad (i=1,2) \quad (1)$$

制御入力 u は式(2)で表される。ただし、 l は目標車間距離である。

$$u = -k_1(x_2 - x_1 - l) - c_1(v_2 - v_1) \quad (2)$$

制御入力を加えた運動方程式は以下の様な1自由度振動計と同様になる。

$$m\ddot{x}_2 = -c(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k(x_2 - x_1 - l) \quad (3)$$

表1は数値計算で使用したパラメータの値を示している。 k_1 は車間距離が4.7mとなるように設定し、 c_1 は減衰

係数が 1.0 となるように設定した。

Table 1 Simulation parameters of this study.

Mass of the vehicles m_1 and m_2	42000 kg, 42000kg
Spring constant k_1	10 kN/m
Damping coefficient c_1	130 kN/m/s ²
Damping Ratio $c/2\sqrt{mk}$	1.0
Target gap distance l	4.7 m

3.数値解析

数値解析を行うにあたり、マルチボディダイナミクス解析ソフトである SIMPACK を用いて車両の 3 次元運動解析モデルを構築した。車両は軸ばね、および枕ばねに線形ばねを使用した。また、レール・車輪間の接触メカニズムを使用して接触力計算を行うモデルとした。軌道は直線軌道とし、軌道不整は考慮していない。1 番目の車両では運転士が運転を行うものとし、隊列走行状態で 1 番目の車両を 0.9m/s^2 で 20 秒間加速させ、その後 20 秒間惰行し、さらに 20 秒間ブレーキをかけた際の挙動を解析した。

車両変位の時系列応答を図 2 に示す。

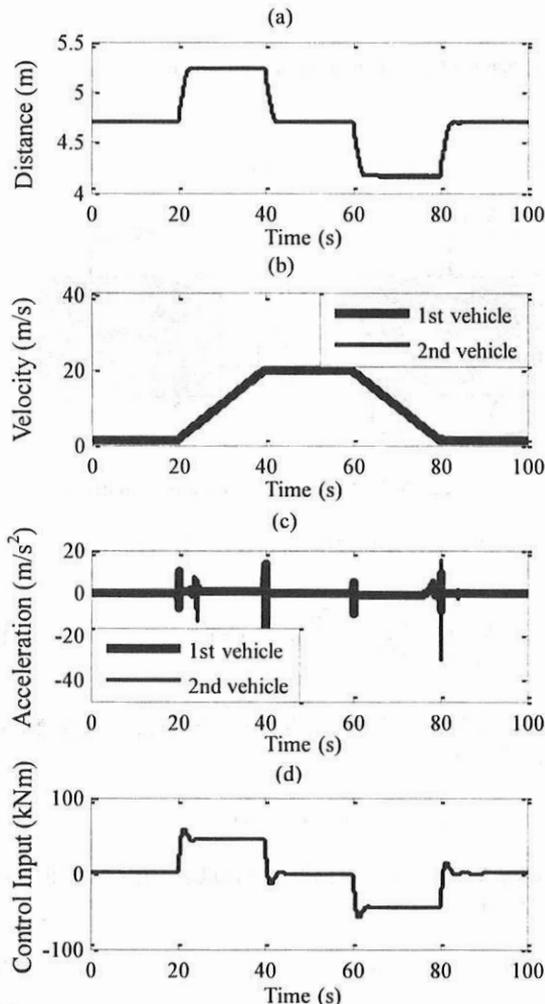


Fig.2 Results of platoon control at the axle; (a) distance between the leading vehicle and the following vehicle, (b) velocity, (c) acceleration, and (d) control input.

細線は 2 番目の車両の応答を示し、太線は 1 番目の車

両の応答を示している。車間距離は、加速時と減速時にそれぞれ 5.2m, 4.2m となるが、それ以外では目標値として設定した 4.7m となっており、 $\pm 1\text{m}$ で追従している。また、速度(b)からも、追従制御の実現が確認できる。駆動力を不連続な入力としたため、加速度(c)において、インパルス状の大きな値が確認できる。アクチュエータ出力は最大で 60kNm のトルクを出力している。

次に、車間距離、および速度の応答について、加速から惰行に移行した際の詳細を図 3 に示す。車間距離はオーバーシュートなく追従していることが確認できる。また、速度についてはオーバーシュートが発生しており、1 番目の車両が 19.7m/s の速度を出しているのに対し、一時的に 20.0m/s の速度が発生したことが確認できた。

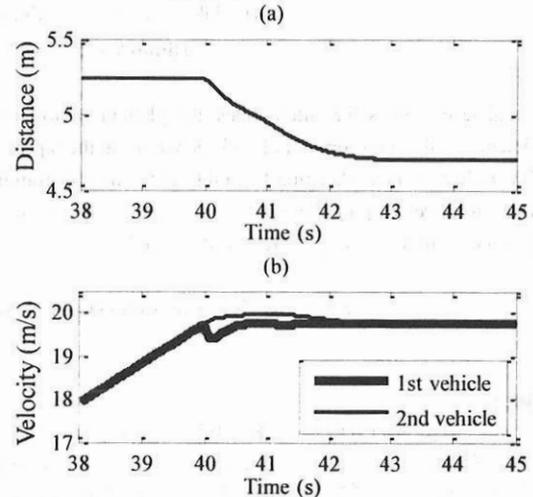


Fig.3 The detail of the distance and velocity between vehicles when the acceleration is changed; (a) distance between the leading vehicle and the following vehicle, and (b) velocity.

4.結言

鉄道において、隊列走行の実現を検討した。2 番目の車両に制御を適用し、1 番目の車両に追従させた。数値計算の結果から、車間距離は誤差 1m で追従し、速度ではオーバーシュートの発生が確認された。また、この時、アクチュエータは 60kNm のトルクが必要であった。以上の結果より、鉄道においても隊列走行制御が実現可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 杉町敏之, 吉田順, 平田裕也, 深尾隆則, 鈴木儀匡: 隊列走行における車間距離制御アルゴリズムの研究(第2報), 自動車技術会 2010 春季大会学術講演会前刷集, No.20105178, pp.13-18, 2010
- 2) 大前学, 藤岡健彦: 大交通容量を実現するためのプラトーン走行制御に関する研究, 日本機械学会論文集(C編), 67巻660号, pp.2551-2558, 2001
- 3) 山村吉典, 瀬戸陽治, 永井正夫: 車車間通信を利用した車群安定 ACC の研究, 日本機械学会論文集(C編), 73巻726号, pp.379-384, 2007
- 4) 山村吉典, 瀬戸陽治, 永井正夫: 車車間通信を利用した車群安定 ACC の研究(第2報, モデル予測制御を用いた ACC 設計法), 日本機械学会論文集(C編), 73巻731号, pp.1917-1922, 2007
- 5) 森谷修, 曾根悟: ソフト連結, 計測と制御, 32巻7号, pp.600-603, 1993