

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24560157

研究課題名(和文) 多台参照追従モデルを用いた安全な隊列交通シミュレーションに関する研究

研究課題名(英文) Study of Vehicle Platoon Simulation of Vehicles According to Multi-Leader Vehicle Following Model

研究代表者

北 栄輔 (Kita, Eisuke)

名古屋大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：50234224

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、複数の他車両からの情報(速度、車間距離等)に基づいて速度制御を行う多台参照追従モデルを用いた隊列走行する車両の速度制御に関する研究を行い、以下の成果を得た。

第1に、速度制御規則のパラメータを安定性解析とシミュレーションから設計し、それをLEGOマインドストームNXTで制作した走行車両型ロボットによる隊列走行実験に適用した。第2に、交通量を最大化する道路ネットワークの最適設計問題について定式化を示した。第3に、以上の成果を、4編の査読付き学術雑誌論文、27編程度の国際会議論文や国内講演会論文として公開した。

研究成果の概要(英文)：This study focuses on the velocity control of vehicles in the vehicle platoon by using multi-leader vehicle following models. The conclusions of this study are summarized as follows. Firstly, the model parameters of the multi-leader vehicle following models are determined from the stability analysis of the model and the computer simulations for solving the optimization problem. Secondly, the velocity control model is applied for the vehicle platoon simulation of LEGO Mindstorm NXT vehicle robots in order to compare the computer simulation with the experiments. Finally, the results are described in four papers for the international journals and 27 papers for the proceedings of the international and the domestic conferences.

研究分野：工学(機械)

キーワード：隊列走行 車両追従モデル 安定性解析 LEGO Mindstorm 道路ネットワーク最適化

1. 研究開始当初の背景

経済産業省がまとめた「次世代自動車・燃料イニシアティブ」の報告書(2007年5月)では、方策の一つとして「世界一やさしいクルマ社会構想」を掲げ、ITS技術を用いた低炭素社会の実現を提唱している。これを受けて、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は2009年より自動運転・隊列走行の研究開発を開始し、2010年度には東名高速道路において3台の車両による隊列走行実験を行っている。隊列走行では、複数の車両が短い車間距離で連なって走行することにより追従車両の空気抵抗を低減し、省エネ走行を実現することを目的としている。今後隊列走行の実用化を目指す場合、より多数の車両からなる隊列走行を実現しなければならない。このためには、制御アルゴリズムとモデルによるシミュレーションの両面からの研究が求められる。交通流の数理モデルは、全体を流体のように扱うマクロモデルと個々の車両挙動をモデル化して扱うミクロモデルに大別できる。このうち、隊列走行の制御アルゴリズムに関する研究では、個々の車両挙動を数理モデル化する必要性から微視的なモデルが用いられる。例えば、車両追従モデルの一つである最適速度モデルを用いて交通流をモデル化し、直前方車両に対するドライバの反応係数(感度)を調整することで、隊列走行を実現する方法が提案されている。この方法では、直前方車両からの情報(速度や車間距離)だけに基いて自車両の速度制御を行うので、多数の車両からなる隊列走行において隊列の先頭に近い車両で何らかのトラブルが発生した場合、それによる情報が後方車両に伝播するときに遅れが生じ、大事故につながる可能性がある。これを防ぐためには、車間距離をある程度大きく設定する必要があり、その場合隊列走行の経済効率を十分に高めることができない。

2. 研究の目的

本研究では、複数の前方車両からの情報に基づいて車両の速度制御を行う多台参照追従モデルを隊列走行制御に適用する研究を行い、LEGO マインドストームによって隊列走行する車両群の交通シミュレーションに適用することを目的としている。多台参照追従モデルとは複数の前方車両からの情報である速度や車間距離等に基づいて自車両の速度を制御するモデルである。直前方車両だけを参照する通常モデルよりも、隊列走行する車両群の先頭に近い車両の挙動により早く反応できるので、通常モデルよりも車間距離を短くできる可能性がある。研究代表者と研究分担者は、これまでに2台または3台の前方車両を参照する多台参照追従モデルを渋滞緩和へ適用する研究を行っている。また、確率速度モデルと名付けたシミュレーションモデルを提案し、それに基づくセルオートマトンモデルによる交通シミュレータ

を開発している。本研究では、申請者らがこれまでに行ってきた交通の制御アルゴリズムに関する研究を発展させて隊列走行制御に適用するとともに、そのアルゴリズムをLEGO マインドストームによる隊列走行実験に適用する。

3. 研究の方法

3.1 制御アルゴリズムの研究

これまでの研究において4台隊列における速度制御モデルについて検討している。この場合、例えば最後尾車両は、前方3台の車両と自車両の速度差に応じて自車両の加速度を制御する。このとき、時間 t における自車両の加速度 $\ddot{x}_n(t)$ は次式で与えられる。

$$\ddot{x}_n(t + \Delta t) = \sum_{j=1}^m k_j (\dot{x}_{n-j}(t) - \dot{x}_n(t)) \quad (1)$$

ここで、 Δt は遅れ時間を、 m は参照する前方車両台数を示す。 $\dot{x}_n(t)$ と $\dot{x}_{n-j}(t)$ は、それぞれ時間 t における自車両 n と前方車両 $n-j$ の速度であり、 k_j は前方車両 $n-j$ に対する運転者の反応を示す感度である。

3台の前方車両を参照するモデルでは、上式において $m=3$ である。しかし、多数の車両からなる隊列走行では、隊列の後方車両においては m の台数はさらに大きくなる。しかし、多数の車両を参照することは、安定的に隊列制御するためには、必ずしも好ましくない。

そこで、式(1)について安定性解析を行い、前方車両が1台または2台の場合についてもっとも安定となるために参照すべき前方車両の位置とパラメータを定める。参照する前方車両が2台の場合において、その被参照車両の番号を A, B とすると式(1)は次式となる。

$$\ddot{x}_n(t + \Delta t) = k_A (\dot{x}_A(t) - \dot{x}_n(t)) + k_B (\dot{x}_B(t) - \dot{x}_n(t)) \quad (2)$$

ここで、 $\dot{x}_A(t), \dot{x}_B(t)$ は参照する前方車両を、 k_A, k_B はそれらに対する感度を示す。

マインドストームでの隊列走行において、式(2)を用いて車両速度制御を実現するためにはセンサー等の遅れ時間をも考慮しなければならない。さらに遅れ時間や感度のパラメータ値についても検討が必要である。そこで、マインドストームによる隊列走行実験を通して、これらのパラメータ値について検討する。

3.2 隊列走行実験

LEGO マインドストーム NXT 基本セットにはサーボモーター3個、タッチセンサー2個、

光センサー1個，サウンドセンサー1個，超音波センサー1個と NXT 知能ブロック 1個が含まれている．この LEGO マインドストーム NXT の基本セットを 4 セット，拡張セットを 4 セット，電源アダプターを 4 個購入し，ビークル（走行車両型）ロボットを 4 台製作する．

研究室内に隊列走行実験用の直線道路を設置する．この上で，同一車間距離で 3 台のビークルロボットを配置して隊列走行実験を行う．異なる車間距離で実験を繰り返し，実験結果をビデオ撮影する．

車両 2, 3, 4 で用いる制御式は以下のようになる．式(1)で $m=1$ とすると次式を得る．

$$\dot{x}_n(t + \Delta t) = k_1(\dot{x}_{n-1}(t) - \dot{x}_n(t)) \quad (3)$$

前方車両速度は，自車両速度と前方車両に対する車間距離の変化によって次式により近似する．

$$\dot{x}_{n-1}(t) - \dot{x}_n(t) \cong \frac{L(t) - L(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (4)$$

ここで， $L(t)$ は時間 t における自車両と前方車両との車間距離であり，マインドストームの超音波センサーにより測定する．

4．研究成果

得られた研究成果は以下のようにまとめることができる．

第 1 は多台参照追従モデルによる隊列走行車両の速度制御アルゴリズムの研究である．複数の速度制御アルゴリズムについて検討を進めるとともに，安定性解析とシミュレーションからモデル設計を進めた．その結果，4 台のビークルロボットからなる隊列走行においては，隊列の先頭車両と直前方車両の 2 つの車両の情報に従う速度制御モデルがよい結果を与えることがわかった．

第 2 は LEGO マインドストームによる隊列走行実験の実施である．最初の年度においては，LEGO マインドストーム NXT を購入し，ビークル（走行車両型）ロボットを 4 台製作した．4 台のビークルロボットは，直前方車両の情報だけから速度制御を行うようになっている．これについて隊列走行実験を行い，プログラム通りに動作することを確認した．第 2，第 3 の年度においては，隊列の先頭車両と直前方車両の 2 つの車両の情報に従う速度制御モデルに従うロボットの隊列走行実験を行い，その結果をコンピュータシミュレーションの結果と比較したところ，両者は定性的に一致し，定量的にもある程度良い一致を示した．その後，直行する他の車線を走行していて，交差点で近接する可能性のある車両の速度に対して自車両の速度を更新するモデルを開発し，コンピュータシミュレーションでモデルの妥当性確認した．

第 3 は隊列走行を実施する道路交通ネット

ワークの最適化についての研究である．道路交通ネットワークの設計においては，道路の交通量を目的関数，道路の通行可能性を設計変数として道路の交通容量を最大化するような交通ネットワークの設計を行った．

5．主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 4 件)

1. 杉本祐介, 朝比奈綱司, 清水光輝, 脇田佑希子, 玉城龍洋, 北栄輔, 1 台参照線形車両追従モデルの比較検討について, 計算数理工学会論文集, Vol.12, 79-84, 2012, 査読あり.
2. 南谷 渉, 脇田佑希子, 玉城龍洋, 北 栄輔, 道路ネットワークにおける不要な道路リンク同定のための一考察, 日本機械学会論文集(C 編), Vol. 79 (2013) No. 808 p. 4842-4853, 査読あり.
3. E. Kita, C. Ushida, K. Asahina, T. Tamaki, Y. Wakita, Platoon Simulation of Vehicle Robots According to Vehicle following Model, International Journal of Advances in Computer Science & Its Applications, Vol.4, Issue 4, pp.205-207, 20141230, 査読あり.
4. E. Kita, W. Nanya, Y. Wakita, T. Tamaki, Traffic Network Design by Cellular Automata-Based Traffic Simulator, Computer Assisted Mechanics and Engineering Sciences, Vo.22, pp.51-61, 2015, 査読あり.

〔学会発表〕(計 27 件)

1. 西山 翔, 朝比奈綱司, 脇田佑希子, 玉城龍洋, 北 栄輔, 多台参照追従モデルによる交差点交通流シミュレーション, 日本機械学会 2012 年度年次大会講演会, CD-ROM, 20120909.
2. 坂倉芳崇, 脇田佑希子, 南谷 渉, 北 栄輔, 多台参照追従モデルを用いた隊列走行の交通シミュレーション, 計算工学講演会論文集, VOL.17, CD-ROM, 2012.05.
3. 杉本祐介, 朝比奈綱司, 脇田佑希子, 北 栄輔, 多台参照追従モデルにおける入力パラメータの比較, 計算工学講演会論文集, VOL.17, CD-ROM, 2012.05.
4. 朝比奈綱司, 清水光輝, 脇田佑希子, 北 栄輔, Chander 型多台参照追従モデルによる隊列走行について, 日本機械学会 2012 年度計算力学講演会, CD-ROM, 20121006.
5. E. Kita, Y. Sakakura, Y. Wakita, T. Tamaki, Simulation of Vehicle Platoon Using Multi-vehicle Following Model, Proceedings of International

- Conference on Simulation Technology (JSST2012), Kobe, CD-ROM, 2012.
6. E. Kita, H. Shimizu, S. Nishiyama, Y. Wakita, Vehicle Platoon Control Based on Multi-Leader Vehicle Following Model, Proceedings of The Eighth International Conference on Engineering Computational Technology, CD-ROM, 2012.
 7. Y. Sugimoto, T. Tamaki, Y. Wakita, E. Kita, Study of Velocity Control Algorithm of Vehicle Platoon, Proceedings of 18th International Conference on Difference Equations and Applications (ICDEA2012, Barcelona), 2012.
 8. E. Kita, W. Nanya, Y. Wakita, T. Tamaki, Road Network Determination by Cellular Automata Traffic Flow Simulation. International Symposium on Computing and Networking (CANDAR2013, Matsuyama, Japan), 1st International Workshop on Applications and Fundamentals of Cellular Automata (AFCA2013), CD-ROM, 2013.
 9. E. Kita, W. Nanya, Y. Wakita, T. Tamaki, Maximization of Traffic Amount by Deleting Road Link. Proceedings of The Fourteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing (CC2013) and The Third International Conference on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering (CSC2013, Cagliari, Italy), CD-ROM, 2013.
 10. E. Kita, W. Nanya, Y. Wakita, Identification of Bottle Neck in Road Network by using traffic Simulator, Proceedings of The Seventh International Structural Engineering and Construction Conference (ISEC-7, Honolulu), CD-ROM, 2013.
 11. E. Kita, H. Kato, Y. Wakita, Bayesian Network Model of Passenger's Injury Due To Traffic Accident, Proceedings of The Seventh International Structural Engineering and Construction Conference (ISEC-7, Honolulu), CD-ROM, 2013.
 12. 朝比奈綱司, 牛田千智, 脇田佑希子, 玉城龍洋, 北 栄輔, 多台参照追従モデルによる速度制御, 日本機械学会計算力学講演会, 2013.
 13. 南谷 涉, 脇田佑希子, 玉城龍洋, 北栄輔, 道路レイアウトによる交通渋滞の緩和について, 日本機械学会計算力学講演会, 2013.
 14. 南谷 涉, 北田宙士, 玉城龍洋, 脇田佑希子, 北 栄輔, 道路ネットワークのボトルネック同定に関する一考察, 日本計算工学会講演会, 2013.
 15. E. Kita, A. Hara, M. Miyachi, E. Hori, Y. Wakita, T. Tamaki, Traffic Network Design by Using Traffic Simulator, Proceedings of The Eighth China-Japan-Korea Joint Symposium on Optimization of Structural and Mechanical Systems, , Gyeongju, Korea, CD-ROM, 2014.
 16. E. Kita, K. Asahina, C. Ushida, Y. Wakita, T. Tamaki, Vehicle Platoon Simulation Based on Multi-Leader Vehicle Following Model, Proceedings of The 9th International Conference on Engineering Computational Technology, CD-ROM, 2014.
 17. E. Kita, K. Asahina, C. Ushida, Y. Wakita, T. Tamaki, Vehicle Platoon Simulation on Multi-Leader Vehicle Following Model, Proceedings of International Conference on Advances in Computing, Electrons and Electrical Technology, CD-ROM, 2014.
 18. E. Kita, H. Sakamoto, H. Takae, M. Yamada. Robot Vehicle Platoon Experiment Based on Multi-Leader Vehicle Following Model, Proceedings of 2nd International Workshop on Applications and Fundamentals of Cellular Automata (AFCA2014) , CD-ROM, 2014.
 19. E. Kita, A. Hara, Q. Ye, Traffic Network Design for Disaster Evacuation by Cellular Automata Simulation, Proceedings of 2nd International Workshop on Applications and Fundamentals of Cellular Automata (AFCA2014), CD-ROM, 2014.
 20. 坂本浩規, 朝比奈綱司, 脇田佑希子, 玉城龍洋, 北 栄輔, 多台参照追従モデルによる速度制御を用いた隊列走行実験について, 日本機械学会計算力学講演会, 2014.
 21. 西山 翔, 丸田峻也, 清水光輝, 脇田佑希子, 玉城龍洋, 北 栄輔, 交差点交通のための車両追従モデルの比較, 日本機械学会年次大会, 2014.
 22. 坂本浩規, 牛田千智, 朝比奈綱司, 脇田佑希子, 玉城龍洋, 北 栄輔, 多台参照追従

- モデルを用いた隊列走行シミュレーション実験, 日本機械学会年次大会, 2014.
23. 北 栄輔, 南谷 涉, 堀 瑛子, 宮地美希, 脇田佑希子, 玉城龍洋, 交通シミュレータを用いた道路ネットワーク設計について, 日本計算工学講演会, 2014.
 24. E. Kita, H. Azusa. Traffic Network Design in Harbor Pier Using Genetic Algorithm. Proceedings of The Fifteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing (CC2015) and The Third International Conference on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering (CSC2015), CD-ROM, 2015.
 25. 北 栄輔, 山田真一郎, 坂本浩規, 玉城龍洋, 車両追従モデルに従う車両による交差点交通シミュレーション, 日本機械学会年次大会, 2015.
 26. 北 栄輔, 原 亜珠沙, 坂本浩規, 玉城龍洋, 遺伝的アルゴリズムを用いた交通ネットワークにおける避難避難ルート決定について, 日本機械学会年次大会, 2015.
 27. 北 栄輔, 原 亜珠沙, 叶 清爽, 遺伝的アルゴリズムを用いた道路ネットワーク設計について, 日本計算工学学会講演会, 2015.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ipl.cs.is.nagoya-u.ac.jp/project.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北 栄輔

(Kita Eisuke, 名古屋大学・大学院情報科学研究科・教授)

研究者番号: 50234224

(2) 研究分担者

玉城龍洋

(Tamaki Tatsuhiro, 沖縄工業高等専門学校・メディア情報工学科・准教授)

研究者番号: 60413837

脇田佑希子

(Wakita Yukiko, 名古屋大学・大学院情報科学研究科・研究員)

研究者番号: 00625912