

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：32613

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820073

研究課題名(和文) 省エネルギー化を目的とした交通システムのモデル予測制御

研究課題名(英文) Model Predictive Control for Ecological Traffic Systems

研究代表者

向井 正和 (Mukai, Masakazu)

工学院大学・工学部・准教授

研究者番号：50404059

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：信号機情報をもとにして自動車の最適な走行パターンの生成方法を明らかにした。その情報をもとに有限時間の最適制御問題を考え、自動車の最適なパターンを最適化問題を解くことで計算できるようにした。計算機シミュレーションを行い、信号機の情報を用いない人間の運転者を模擬した結果と提案手法の結果を比較したところ10%以上消費燃料を減らすことができた。さらに信号機を制御することで、最適燃費車速で一定走行させることが可能となり燃費が向上することが確認できた。研究課題により、信号機情報を活用した最適走行制御アルゴリズムと最適燃費車速で一定走行させる信号機制御アルゴリズムを明らかにできた。

研究成果の概要(英文)：This research proposes a control algorithm for automobiles to save fuel consumption based on traffic signal information. It is assumed that the traffic information can be obtained in advance. To obtain the optimal driving pattern finite horizon optimal control problem based on the traffic signal information is solved. Computer simulation is carried out to confirm the effectiveness of the proposed method. In this simulation actual road data and signal data are used. It shows that the proposed method saves the fuel consumption more than 10% against driving like human drivers. A control method for signal is also considered to improve the fuel economy by using the optimal velocity of vehicle.

研究分野：制御工学

キーワード：交通システム 省エネルギー 自動車制御

1. 研究開始当初の背景

一般的な街路渋滞のほとんどは交差点で起こることが知られており、経済的な損失だけでなく環境への悪影響が問題となっている。交通流の高効率化のために信号制御の果たす役割は大きい。また、効率的な信号制御を考えるうえで安全性も欠くことのできない重要な要素である。交通渋滞は自動車社会の大きな問題であり、その一つの原因は交差点の混雑、信号機の問題である。国内の信号機の数は 15 万台を超えており、様々な信号機の制御方法が研究されているが、その方法はまだ発展途上である。信号機の制御で困難な点は、モデルの複雑さから生じるリアルタイム性の問題が大きい。実用化されている信号機の制御は、信号のパターンを時刻に合わせて切り替える方式が主である。また現在の情報をリアルタイムで計測しそれに合わせて信号機を制御する感知方式もあるが、渋滞軽減に十分な効果があるとはいえない。

一方で、Intelligent Transport Systems (ITS) 技術の研究・開発が進められ、様々な情報を利用することが可能になっている。このため従来に比べて多くの道路情報を得ることができる。しかし、それらの ITS 技術から手に入る複数の情報の活用という点においてはまだ充分ではない。「どのような道路情報をリアルタイムで利用すれば交通渋滞を軽減できるのか」という点に着目し、現在利用できる ITS 技術を活用した制御を研究することが必要である。

2. 研究の目的

本研究課題では、交通システムに対し、交通流の高効率化を目的とした、ITS 技術を利用からのリアルタイム計測情報を用いた制御アルゴリズムを構築する。具体的には、交通流システムを利用した走行のためのモデル化、制御アルゴリズムの構成、シミュレーションによって提案制御アルゴリズムの有効性を研究する。

この研究により、渋滞軽減を目的とした ITS 技術を利用した高効率な交通信号システムの活用方法を明らかにする。

3. 研究の方法

図 1 のような信号機のパターンを利用して自動車の最適走行を実現する。0-1 変数を用いたハイブリッドシステムのモデル予測制御を考え、省燃費な走り方を達成する最適制御入力を混合整数計画法で求める。計算機シミュレーションで有効性を確認する。つづいて、信号機のパターンを変更することで、車両の燃費が良くなる信号機の制御を達成する。ここでは、燃費が良くなるように、自動車のエンジン効率線図から最適燃費速度を計算し、その速度で一定走行できるように信号機のパターンを変更するアルゴリズムを構成する。

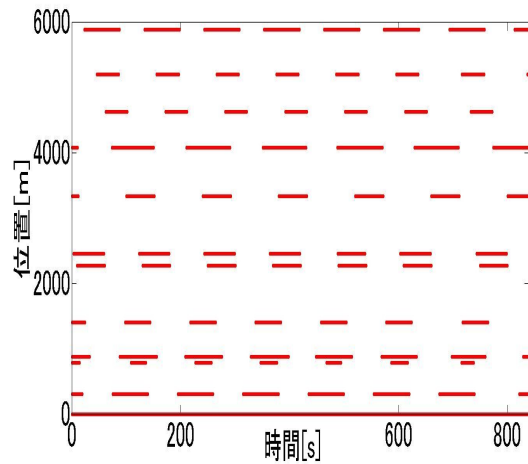


図 1 信号機の現示パターン

4. 研究成果

複数台の交通信号機が存在する単路における走行制御を与えるものとする。周囲車両の状況は前方車両の有無のみを考える。車両は質量  $m$  [kg] の質点モデルで与え、車両の状態量を位置  $x$  [m] と速度  $v$  [m/s]、制御入力を加速度換算の駆動力  $u$  [m/s<sup>2</sup>] とし、以下の運動方程式(1)と状態方程式(2)で扱う。

$$m \dot{v}(t) = mu(t) - F_d \quad (1)$$

$$s[k+1] = A_d s[k] + B_d u[k] \quad (2)$$

$$s[k] = [x[k] \quad v[k]]^T$$

ここで、 $F_d$  [N] は車両の走行抵抗であり、状態方程式は離散時間の線形システムで与えている。

交通信号機を想定した道路上での走行制御として各サンプリング時刻  $k$  で解かれる最適制御問題を、以下の評価関数(3)式と拘束条件(4)式によって与えた。

$$J[k] = \frac{1}{2} q (v[k|k'] - v^*)^2 + \sum_{k'=0}^N \frac{1}{2} \{ q (v[k|k'] - v^*)^2 + r u^2[k|k'] \} \quad (3)$$

$$u_{\min} \leq u[k|k'] \leq u_{\max}, 0 \leq v[k|k'] \leq v_{\max} \quad (4)$$

$$\begin{cases} x[k|k'] \leq x_{in}^i + M \delta_1^i[k|k'] + M \delta_2^i[k'] \\ x[k|k'] \geq x_{out}^i - M \delta_1^i[k|k'] - M(1 - 2\delta_2^i[k']) \end{cases}$$

$$L[k|k'] \geq L_{\min}[k']$$

ここで、 $v^*$ は燃費最適速度、 $q, r$ は各評価項の重み、 $w_{min}, w_{max}, v_{max}$ はそれぞれ入力値の最小値、最大値、速度の最大値、

$s$ は信号機番号、 $x_{in}^i, x_{cut}^i$ はそれぞれ信号機交差点の開始位置、終了位置、 $M$ は大きな正の整数、 $L$ は前方車両との車間距離、 $L_{min}$ は衝突回避のための最低車間距離である。また交通信号機に関する0-1変数として $\delta_1^i, \delta_2^i$ を次式で与える。

$$\delta_1^i[k] = \begin{cases} 1 & (\text{青現示}) \\ 0 & (\text{赤現示}) \end{cases}, \quad (5)$$

$$\delta_2^i[k] = \begin{cases} 1 & (\text{信号機通過前}) \\ 0 & (\text{信号機通過後}) \end{cases}$$

評価関数の第1項は燃費最適速度に保って走行する項、第2項は駆動入力をなるべく小さく与えるための項である。拘束条件は車両の駆動入力と速度に関する条件、交通信号機に対する車両の位置に関する条件、前方車両との衝突を回避するための条件として与えている。

提案手法による走行制御の燃費向上効果の検証として、計算機シミュレーションを行った。提案手法による走行制御を用いた場合と用いない場合の典型的な走行パターンの比較結果を図2に示す。図2に示されるように、走行制御ありの場合では走行制御なしの場合と比べて、不必要なブレーキ操作の低減や緩やかなアクセル操作といった省燃費運転を達成できており、燃費向上効果が期待できる。図3に単路上のどの位置から開始するか、いつ進入するかに関してランダムに変化させた場合の燃費の比較結果を示す。図2に示されるように、提案手法による走行制御を用いることにより、平均して約15%の燃費向上効果を得ることができた。

もう一つの成果は、信号機のパターンを自動車に合わせて制御するアルゴリズムである。車両の走行パターンに合わせて信号機を制御すると、最も燃費が良くなる速度を保って走り続けることが可能であることを確認でき、燃費が向上することがわかった。

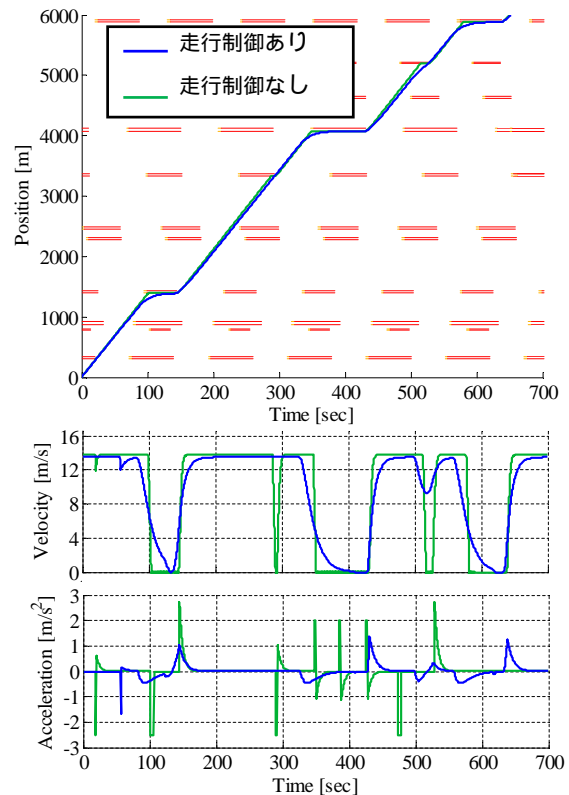


図2 研究の成果1：上 信号機パターンに対する走行軌跡。提案した制御アルゴリズムの方(青線)の方が信号機で停止することなくスムーズに走行できていることがわかる。

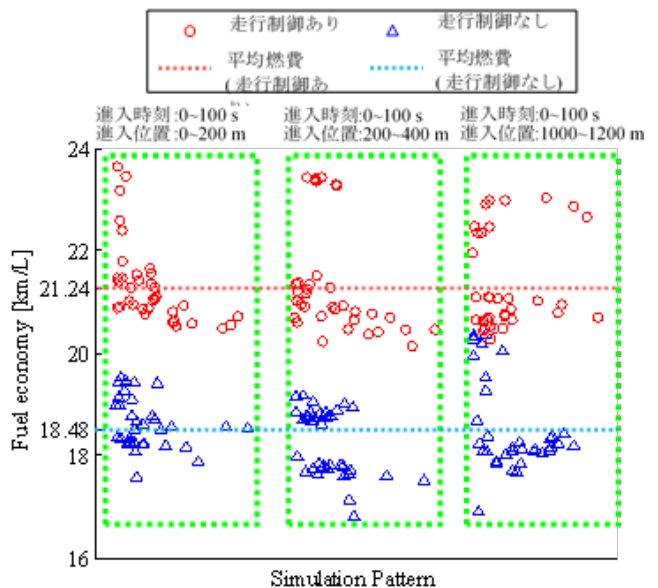


図3 研究の成果2：さまざまなパターンで提案アルゴリズムを確認した結果。

本研究課題により、信号機情報を活用した最適走行制御アルゴリズムと最適燃費速度で一定走行させる信号機制御アルゴリズムを明らかにすることができた。

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)

研究者番号：

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 件)

1. Driver Assistance System Using Feasibility of Mixed Integer Programming Based on Response of Drivers: M. Mukai, T. Kawabe, SICE Annual Conference, 査読無, 2014.
2. Model Predictive Control for Eco-Driving Based on Prediction of Preceding Vehicle Motion with Traffic Signal Information: H. Aoki, M. Mukai, T. Kawabe, SICE Annual Conference, 査読無, 2014.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者  
向井正和 (Masakazu Mukai)  
工学院大学・工学部電気システム工学科・  
准教授  
研究者番号：50404059

(2) 研究分担者  
( )

研究者番号：

(3) 連携研究者  
( )