

電気自動車における信号機を考慮した航続距離延長自動運転に関する研究

学生証番号 47176070 小川 尚志
 (指導教員 藤本 博志 准教授)

Key Words : electric vehicle, range extension autonomous driving, traffic signal information, dynamic programming.

1 はじめに

近年、内燃機関搭載車 (ICEV) からの排ガスによる大気汚染や、二酸化炭素による地球温暖化問題、さらに石油等の燃料枯渇問題が深刻化している。自動車業界では、これらの問題の解決策として、電気自動車 (EV) が注目を集めている。

一方で、EV は従来の ICEV と比較して一充電航続距離が短いという問題点がある。この問題を解決するために、走行中の EV に道路からワイヤレス給電を行う研究 [1] など様々な研究が行われている。

本稿では消費エネルギーが増加する一般的な場面として信号機のある直線路に着目し、従来の単一の信号機のみが考慮されていた理論 [2] を拡張し、信号情報が外部から得られるという仮定の下、複数の信号機の存在する直線路においても適用できるように拡張し、消費エネルギーが最小となる速度軌道導出手法を提案する。さらにその発展として、外部から信号情報が得られない環境を想定し、信号情報の代わりに信号通過確率を用いた速度軌道導出手法を提案する。提案手法では、車両の運動及び消費電力をモデル化した上で最適制御問題を数値的に解くことで最適な速度軌道を求めることができる。また、これらの提案法の有効性をシミュレーション及び実験にて検証する。

2 実験車両および車両モデル

2.1 実験車両

Fig. 1 に実験車両 “FPEV2-Kanon” の車両の概観を示す。この車両は 4 輪全てにインホイールモータを搭載している。

2.2 車両モデル

4 輪独立駆動が可能な車両モデルについて述べる。1 輪当たりの回転運動方程式は Fig. 2 より表わされる。車両の運動方程式は Fig. 2(b) より表わされる。式 1 は走行抵抗を表している。

$$F_{DR}(V) = \mu_0 Mg + b|V| + \frac{1}{2}\rho C_d AV^2 \quad (1)$$

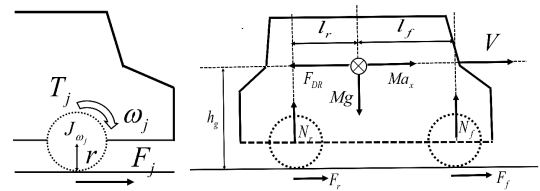
2.3 入力電力モデル

モータの機械損、インバータ損失を無視するとインバータ入力電力 P_{in} は次式で表わされる。

$$P_{in} = P_{out} + P_c + P_i \quad (2)$$



図 1: FPEV2-Kanon



(a) Rotational motion of a wheel.

(b) Load transfer model.

図 2: 車両モデル

機械出力 P_{out} , モータ銅損 P_c , モータ鉄損 P_i は次式で示される。

$$P_{out} = V \frac{F_{all}}{2} \sum_{j=f,r} \left(1 + \frac{F_{all}/4}{D_s' N_j(\dot{V})} \right) \quad (3)$$

$$P_c = \frac{r^2}{8} F_{all}^2 \sum_{j=f,r} \frac{R_j}{K_{tj}^2} \quad (4)$$

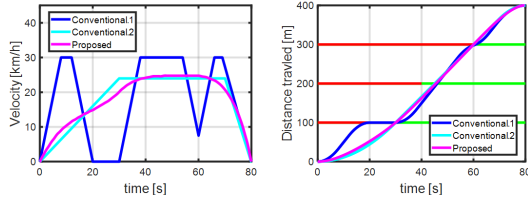
$$P_i = 2 \frac{V^2}{r^2} \sum_{j=f,r} \frac{P_{nj}^2}{R_{cj}} \left[\left(\frac{r L_{qj} F_{all}/4}{K_{tj}} \right)^2 + \Psi_j^2 \right] \quad (5)$$

3 複数の信号機を考慮した航続距離延長自動運転

3.1 評価関数

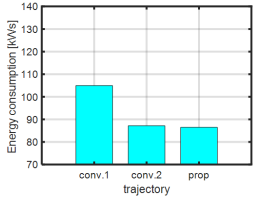
本稿では、自動運転で走行することを想定する。初期時刻 t_0 から終端時刻 t_f までの総エネルギー消費量を最小化するため、速度軌道を最適化する評価関数は以下の式となる。

$$\min. W_{in} = \int_{t_0}^{t_f} P_{in}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) dt \quad (6)$$

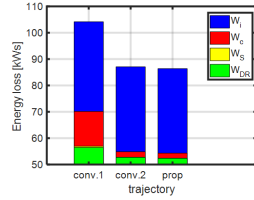


(a) Velocity trajectory.

(b) Distance traveled.



(c) Total energy consumption.



(d) Total energy loss.

図 3: 複数の信号機を考慮した航続距離延長自動運転のシミュレーション結果

3.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果を Fig. 3 に示す. 従来法 1 の速度軌道は信号情報がないため, 2 つの信号機で一時停車している. 従来法 2 は, 一定加減速を繰り返しており, 信号情報により停止はしていない. 提案法は, 最適な加減速を行い, 信号が切り替わるタイミングで信号を通過し, 消費エネルギーを抑制している. 総エネルギー消費量において従来法 1, 従来法 2, 提案手法は 104.94 kWs, 87.19 kWs, 86.48 kWs であり, 提案手法は従来法 1, 従来法 2 と比較すると 21.37%, 0.82% 削減している.

4 確率を用いた信号機推定による航続距離延長自動運転

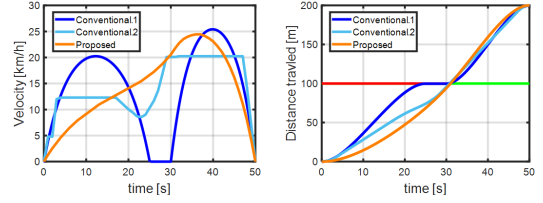
本稿では, 自動運転で走行することを想定し, 確率を用いた手法を提案する.

4.1 信号通過予測時間 t_p を用いた手法

本稿で用いる確率は t_p 秒後の確率という形で導出される. そこで, t_p s 後に信号が青色になると仮定して消費エネルギー量が最小となるような速度軌道を導出する. t_p の決め方は, 基本的に最も確率が高くなる t_p を選択する. 複数の t_p が選択できる場合, どの t_p を選択するかを決めるルールを設定し, 1 つの t_p を選ぶ. 今回は最も小さい t_p を選択する. ただし, 確率が 1 に達しない場合, 最も確率が高くなる場合の t_p の中で最も大きいものを選択する. 本手法の利点は, t_p の決め方を変更できる点にある. 今回設定した決め方以外の決め方も選べ, その選択を評価関数に重みなどの項を入れることなく導入できることは大きなメリットとなる.

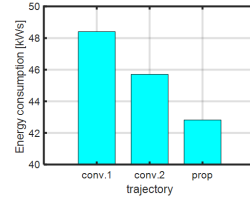
初期時刻 t_0 から終端時刻 t_f までの総消費エネルギー量を最小化する評価関数は以下の式となる.

$$\min. W_{in} = \int_{t_0}^{t_f} P_{ini}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) dt \quad (7)$$

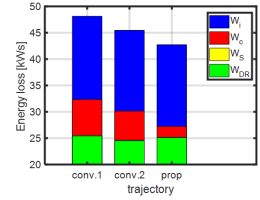


(a) Velocity trajectory.

(b) Distance traveled.



(c) Total energy consumption.



(d) Total energy loss.

図 4: 確率を用いた信号機推定による航続距離延長自動運転のシミュレーション結果

$$s.t. \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) \quad (8)$$

$$\chi(\mathbf{x}(t_0)) = \mathbf{x}(t_0) - \mathbf{x}_0 = \mathbf{0} \quad (9)$$

$$\psi(\mathbf{x}(t_f)) = \mathbf{x}(t_f) - \mathbf{x}_f = \mathbf{0} \quad (10)$$

$$0 \leq V(t) \leq V_{lim} \quad (11)$$

$$F_{min} \leq F_{all}(t) \leq F_{max} \quad (12)$$

$$X(t) \leq X_i \quad (t \leq t_p) (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (13)$$

4.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果を Fig. 4 に示す. 提案法は信号情報なしでグリーンウェーブ軌道を導出することが出来ており, 消費エネルギーを削減している.

5 結言

本稿では, 信号機を考慮した航続距離延長自動運転を提案した. 提案法は, 信号情報を用いて複数の信号機のある場面でも使用できるように拡張し, さらに信号情報の代わりに信号通過確率を用いた速度軌道導出手法を提案した. 提案手法によりグリーンウェーブ軌道を導出し, 消費エネルギー削減に成功した.

参考文献

- [1] M. Sato, G. Yamamoto, D. Gunji, T. Imura, and H. Fujimoto, "Development of Wireless In-Wheel Motor using Magnetic Resonance Coupling", IEEE Transactions on Power Electronics, pp. 5270-5278, (2016)
- [2] H. Yoshida, H. Fujimoto, Y. Goto, D. Kawano, K. Sato, M. Tsuchimoto, "Range Extension Autonomous Driving for Electric Vehicles Based on Optimal Velocity Trajectory Considering Signal Information", IEEJ Industry Applications Society Technical Committee on Mechatronics Control/Motion control, MEC-15-053, pp.139-144, (2015)(in Japanese).