

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18167

研究課題名(和文) 交通とエネルギーマネジメントを両立させる電気自動車の利用予測

研究課題名(英文) Usage prediction of electric vehicle to achieve both traffic and energy management system

研究代表者

山口 拓真(Yamaguchi, Takuma)

名古屋大学・未来社会創造機構・特任助教

研究者番号：30745964

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：電気自動車は大容量の蓄電池を搭載し、交通だけではなくエネルギーマネジメントシステムへの利用も提案されている。しかし、蓄電池として使用できる時間帯は運転していない状況のみに限られるため、各ドライバーの利用状況に合わせた車の使用予測が必要となる。そこで本申請課題では、車載蓄電池を利用するために必要な車の利用予測手法を確立し、乗り物と蓄電池としての利用を両立させる電気自動車のマネジメント手法を提案し、その有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：It is proposed that an electric vehicles are available as not only vehicles but also movable batteries because it has a high capacity. However, the movable battery function is available only when the driver does not use the vehicle. In order to integrate the electric vehicle into an energy management system, usage prediction is needed. This work established a usage prediction method of the electric vehicle considering driver's habits. The management method for electric vehicles which balances the usage as a vehicle and a storage battery was proposed, and its effectiveness was verified in the simulation experiment.

研究分野：制御工学

キーワード：車の利用予測 マルコフモデル 動的計画法 エネルギーマネジメントシステム 電気自動車

1. 研究開始当初の背景

近年、低炭素社会の実現の取り組みとして、電気自動車やプラグインハイブリッド車に関する技術が研究・開発されている。これらの自動車は容量の大きな車載蓄電池を搭載しており、乗り物としての利用だけではなく、動く蓄電池としての使用も提案されている。しかしながら、蓄電池の利用は運転していない時間帯のみであるため、ドライバの利用状況に合わせた車の利用予測が必要となる。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、ドライバの利用履歴に基づく車の利用予測手法の開発と、その手法に基づくエネルギーマネジメント手法の検証である。

電気自動車は基本的には移動のために利用されるため、蓄電池として利用するためにはドライバの利用していない時間帯を予め把握しておく必要がある。本研究課題では、マルコフモデルに基づく予測手法の開発を行う。そして、提案手法をエネルギーマネジメントシステムへ実装を行い、シミュレーション実験にて確認を行う。

3. 研究の方法

本研究課題では、研究責任者らが保有する車の利用履歴データを用いて、提案手法のシミュレーションを行い、その性能を評価する。また、その際にドライバの行先の予測も同時に行い、予測性能の検証を行う。

検証された車の利用予測手法をエネルギーマネジメントシステムへ実装を行い、その性能の評価を行う。

4. 研究成果

本研究課題の目的は、ドライバの利用状況に合わせた車の利用予測するモデルを開発である。この車の利用は出発と到着時刻のパターン(Profile of Departure and Travel Time: PDTT)として表現を行う。このPDTTの履歴をドライバごとにデータを集め、ドライバの利用傾向に合わせた車の利用予測を行う。

このとき、車の利用予測問題は過去の利用履歴から算出された、最も生起確率の高いPDTTを求める最尤推定問題として定式化できる(Maximum likelihood estimation problem of the PDTT)。ただし、現善財時刻を24時間周期で $\tau \in \{1, 2, \dots, T\}$ とし、予測の対象となる時間の集合を $\mathbf{T}^\tau = \{\tau, \tau + 1, \dots, \tau + T\}$ と表記する。本研究課題では、時間を30分ごとに離散化表現を行い、 $T = 48$ とする。また現在時刻 τ のT前から現在時刻の直前までの時刻の集合を $\mathbf{T}_0^\tau = \{\tau - T, \tau - T + 1, \dots, \tau - 1\}$ とする。各走行利用における走行時間、および駐車時の通者時間の取り得る値の集合を $\mathbf{D} = \{1, 2, \dots, T\}$ と表記する。

現在時刻 τ における車利用の観測値を $\gamma^\tau \in \{1, 0\}$ と表記する。ここで γ^τ の値は0のとき"parked"、1のとき"moving"として表現す

Maximum likelihood estimation problem of the PDTT

Given: $(t_0, \gamma^\tau) \in \mathbf{T}_0^\tau \times \{0, 1\}$

Find: $u_0, \{(t_i, u_i) \in \mathbf{T}^\tau \times \mathbf{D} | i = 1, \dots, m\}$,
 $m \in \mathbb{Z}_+$

Which maximize:

$$J = P(U_0 = u_0, (T_1, U_1) = (t_1, u_1), \dots, (T_m, U_m) = (t_m, u_m) | \gamma^\tau, t_0)$$

(1)

Subject to:

$$t_i = t_{i-1} + u_{i-1} \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (2)$$

る。また、車の直近の移動の開始もしくは駐車開始時刻を $t_0 \in \mathbf{T}_0^\tau$ とする。このように現在の車の利用状況を観測量として用いることにより、状況に合わせた柔軟な予測が可能となる。

また、 $m \in \mathbb{Z}_+$ は現在 τ から $\tau + T$ までに車が移動と駐車を行う回数であり、決定変数である。 $t_i \in \mathbf{T}^\tau$ は現在時刻からT後までのi番目の車の移動もしくは駐車時刻であり、 T_i はその確率変数、 $u_i \in \mathbf{D}$ はi番目の移動と駐車継続時間であり、 U_i はその確率変数である。 $u_0 \in \mathbf{D}$ は時刻 t_0 に移動もしくは駐車を開始した際の継続時間である。式(2)~(4)は t_i, u_i の値が満たすべき条件である。各 t_i, u_i の式(2)に従い更新され、式(3)は直近の移動・駐車開始から現在時刻までの経過時間を反映させるための制約である。式(4)の制約によりTステップ後までの移動と駐車回数は合計m回に制限される。

式(1)の評価関数は $2m+1$ 個の離散変数の同時確率であり、その実現値はmの増加に伴い指数的に増加してしまう。しかもm自体が決定変数であり、現実的な時間で最適解を得る

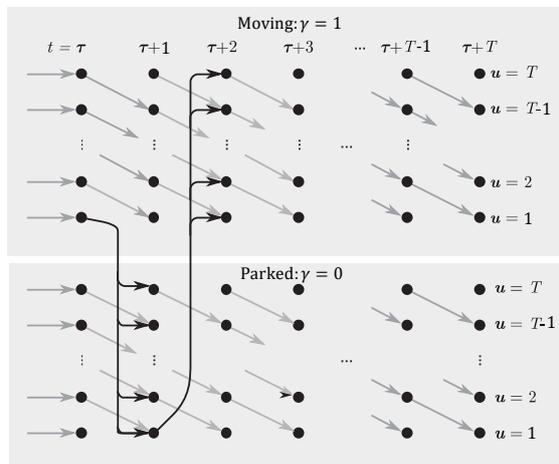


図1 PDTT予測におけるマルコフモデル

こと自体が難しい。そこで PDTT の決定過程に対してマルコフ過程を適用し、動的計画法をさらに適用することにより計算量の削減を図る。

PDTT に対して Left-to-Right マルコフモデルを適用したモデルを図 1 に示す。ただし、この図は $u=1$ からの遷移(黒い矢印)のみやすさのために一部のみ描画されている。このマルコフモデルは現在時刻 τ ごとに更新されることに注意されたい。Left-to-Right マルコフモデル左端の状態は、現在時刻 τ における車の利用状況 $\gamma \in \{1, 0\}$ (“parked” と “moving”) とその状況における残り時間 $u \in D$ を表している。そして、時間の経過とともに使用状況とその残り時間が変化する過程を遷移(遷移)として表現している。

さらなる計算量の削減のため、このマルコフモデルの最適化計算に対して動的計画法による解法を考える。簡略化のため、各時刻における状態の値 (γ, u, t) を $s(t)$ と表記する。このとき、最尤推定問題は次のように書き変えることができる (Estimation problem of the PDTT by the dynamic programming)。

Estimation problem of the PDTT by the dynamic programming

Given: $(t_0, \gamma^t) \in T_0^t \times \{0, 1\}$

Find: $\{s(t) \in S^t | t \in T^t\}$

Which maximize:

$$J = P(S(\tau) = s(\tau), \dots, S(\tau + T) = s(\tau + T))$$

$$= P(s(\tau))P(s(\tau + 1)|s(\tau)) \dots P(s(\tau + T)|s(\tau + T - 1))$$

(5)

ただし、 $S(\tau)$ は $s(\tau)$ の確率変数である。式(5)の目的関数は各時刻の状態遷移確率の積として表現される。この計算に動的計画法を適用することにより、時刻ごとの部分問題に分割して解くことができる。さらに、車の利用状況 γ を 0 と 1 (“parked” と “moving”) として表現していたが、この状態数(自宅や勤務先など)を増やすことにより、移動先まで同時に予測できる。また、この予測手法を実装したところ、24 時間先までの PDTT の算出に当たり、平均 **37.7msec** であり、リアルタイムに計算できることがわかった。

この手法を検証するため、ある被験者の走行データをもとにシミュレーションを行った。図 2 は時刻ごとの予測とシミュレーションデータの観測値のプロファイルを表している。グラフの上段は移動先のプロファイルを表しており、 L_1 は自宅、 L_2 は勤務先である。下段は車の利用状況 γ を表しており、1 であれば “parked”、2 であれば “moving” である。 $\tau =$

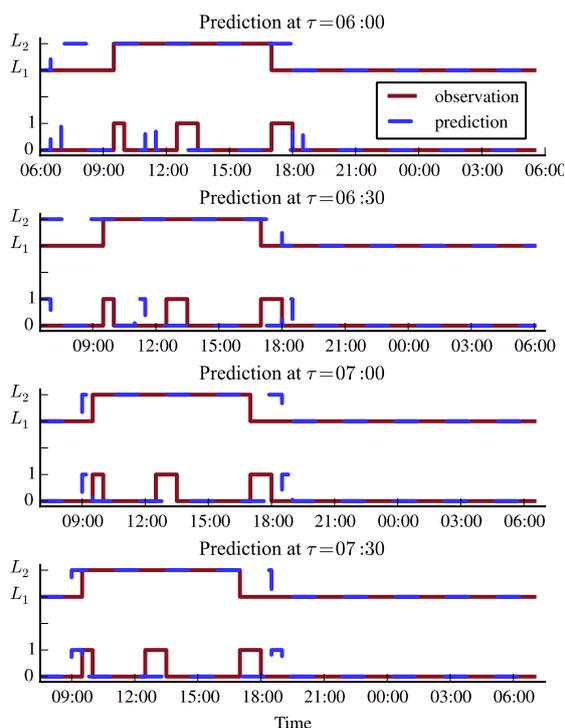


図 2 PDTT の予測結果

6:00 のとき、予測と観測値が一致していない状況が見受けられるが、 $\tau = 7:00$ のときは観測値が変化するため、観測に合わせた予測の更新がなされ、予測が更新されていることがわかる。このときの、予測と観測の一致率は **90.2%** であり、概ね正しく予測できていることが分かる。

この手法の有用性を確認するため、エネルギー管理システムに実装を行った。ただし、エネルギー管理システムの詳細については論文③を参考にされたい。想定した設定として、エネルギー管理システムは自宅 L_1 と勤務先 L_2 に実装されており、被験者の電気自動車は自由に移動することができる。また、駐車している間は各拠点のエネルギー管理システムに参加することとする。

今回用いたシミュレーション設定では、一日の電気代が L_1 で 593 円、 L_2 で 349 円であった。この状況に提案手法を含むエネルギー管理システムを導入することにより、電気代を L_1 で 414 円、 L_2 で 239 円まで減少させることができた。これは電気代の総額の **31%** を減少させることができる計算であり、エネルギー管理システムに提案手法を導入しても正しく動作することが確認できる。

今回の設定では、自宅と勤務先の 2 拠点のみのエネルギー管理システムを考えたが、現実問題としてより多くの拠点を考慮できる方が望ましい。そのため、今後の展開としては、より現実に近い設定において予測手法を考慮したエネルギー管理システムによる検証や予測手法の性能評価が必要となる。

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 3 件)

① 佐々木 勇介、山口 拓真、川島 明彦、稲垣 伸吉、鈴木 達也、走行/駐車の間時間経過マルコフモデルと動的計画法に基づく車の使用予測、計測自動制御学会論文集、査読あり、Vol. 52、No. 11、2016、pp. 605-613

② 稲垣 伸吉、川島 明彦、山口 拓真、鈴木 達也、エネルギーマネジメントのための車使用予測、計測と制御 解説:ミニ特集、査読無し、Vol.56、2017、pp.509-514、DOI 10.9746/sicetr.52.605

③ Akira Ito, Akihiko Kawashima, Tatsuya Suzuki, Shinkichi Inagaki, Takuma Yamaguchi, and Zhuomin Zhou, Model Predictive Charging Control of In-Vehicle Batteries for Home Energy Management Based on Vehicle State Prediction, IEEE Transactions on Control Systems Technology, 査読あり, Vol.26, 2018, pp.51-64, DOI 10.1109/TCST.2017.2664727

[学会発表] (計 2 件)

① 富田 佑士、縄田 郁海、山口 拓真、川島 明彦、稲垣 伸吉、鈴木 達也、複数拠点間における車群の駐車と移動の分布予測、第4回制御部門マルチシンポジウム、2017

② 清水 修、山口 拓真、川島 明彦、伊藤みのり、稲垣 伸吉、鈴木 達也、車の駐車と移動の予測手法の提案、自動車技術会 2017 年秋季大会、2017

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 拓真 (Yamaguchi Takuma)

名古屋大学・未来社会創造機構・特任助教

研究者番号：30745964