

家庭の電力時系列から得た統計的特徴に基づく 家電機器の動作状態推定方法

A method for estimating on/off state of electric appliances by using statistical features of power-time-series

井上 洋思†
Hiroshi Inoue

石山 文彦†
Fumihiko Ishiyama

渡辺 敏雄†
Toshio Watanabe

大山 孝†
Takashi Ohyama

1. はじめに

居住者の節電行動を効果的に喚起する手法として家庭の消費電力の見える化が注目され、普及が進んでいる。筆者らは、システム導入コストを抑えつつ個別家電機器の電力使用状況を把握することを目的に、分電盤での総電力の計測より、個別の家電機器の動作状況と電力量を推定する手法を検討している[1]。このような手法の一つとして、エアコンを対象に一定時間内における時系列的な電力推移の統計的特徴を用い、単純ベイズ分類器によりエアコンの ON/OFF 動作状態を推定した結果、エアコン ON 状態では 0.98 と推定精度は高く、エアコン OFF 状態では 0.67 と推定精度に課題が残る結果となった[2]。

本報告では判定式と特徴量の適用条件を適正化することで、エアコン ON 状態の推定性能を維持しつつ、エアコン OFF 状態の推定性能を向上する手法について検討し、評価結果について報告する。

2. 機器動作状態の推定手法

筆者らは、家庭の総電力時系列の統計的な特徴に着目し、単純ベイズ分類器を用いて個別家電の動作状態を推定する手法の検討を行っている (図 1)。

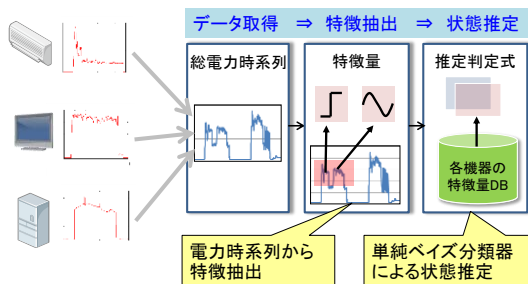


図 1: 機器動作の推定手順

推定対象となるエアコンの電力時系列の特徴を図 2 に示す。本検討では抽出する特徴量として表 1 に示す電力の平均 (F_1) と階差の平均 (F_2) と階差の標準偏差 (F_3) を規定した。なお、階差とは連続する電力データの差分値である。



図 2: エアコンの電力時系列の特徴

表 1: 捉えたい特徴と統計的特徴量

捉えたい特徴	統計的特徴量
高い消費電力	電力の平均 (F_1)
大きな電力変化	階差の平均 (F_2)
持続的な電力変動	階差の標準偏差 (F_3)

エアコンの動作状態の推定では単純ベイズ分類器を用いた。判定式を式 1 に示す。

$$C_{ML} = \text{state}(f_1, f_2, f_3) \\ = \underset{c}{\text{argmax}} p(C = c) \prod_{i=1}^3 p(F_i = f_i | C = c) \quad (\text{式1})$$

但し、 $C_{ML} \in ('ON', 'OFF')$

式 1 の C はエアコン動作状態、 c はエアコン ON/OFF の各状態、 F は特徴量であり、 C_{ML} は ON/OFF の推定結果である。 $p(F_i = f_i | C = c)$ はエアコン ON/OFF の各状態で任意の特徴量を得る尤度であり、過去の総電力データを訓練サンプルとして用い、予め算出しておく。

3. 評価結果

3.1. 評価用データと評価方法

手法の評価には実測データを用いた。評価用データのプロフィールを表 2 に示す。

表 2: 評価用データのプロフィール

実験期間	2009年1月25日～2月7日 ※データ欠損のため1月30日～2月1日を除く
計測条件	・20秒毎の瞬時電力 (分電盤、各家電) ・20秒毎の照度 (照明)
計測対象	・家庭全体 分電盤 (単相三線の2系統) ・各家電機器 エアコン2台、冷蔵庫、炊飯器、レンジ、トースター、食器乾燥機、テレビ、パソコン、ドライヤ、温水便座、除湿機、アイロン、電気ヒーター、各部屋照明等

モニタ宅の分電盤 (2 系統) と各家電機器のコンセント等にセンサを設置し、家庭全体と個別家電機器の消費電力推移を 20 秒毎に測定・記録した。推定対象となるエアコンは 2 台あり、同一の系統に接続されている。次節以降の検証ではエアコンが接続されている系統の分電盤の電力を家庭全体の電力として扱い、またエアコンの動作状態の評

† (株) 日本電信電話株式会社, 環境エネルギー研究所

価では、2台のいずれかが ON の場合に、ON 判定することとした。

エアコンの実際の動作と推定結果を比較し正誤判定することで推定精度を評価した。評価指標として ON/OFF の両方に着目した総合的な指標である正解率、OFF 時に生じる誤推定に対する耐性である適合率、ON 時に生じる推定漏れに対する耐性である再現率、適合率と再現率の調和平均である F 値を用いた。

3.2. 単一判定式の利用

次節以降の手法と比較するための基本手法として式1を用いてエアコンの動作状態を推定した。推定精度の結果を表3に示す。再現率の0.9に比べ、適合率は0.75と低い推定精度となった。

3.3. 状態別に生成した判定式の利用

エアコンの動作状態は、図3に示すように高電力状態(stationary)と立上り/立下り状態(transient)とOFF状態に大きく分類される。前節の推定ではエアコンONである2状態を区別せずに同ステータスとして尤度を算出していた。このため、2状態の境界付近で抽出される特徴量に起因して、他機器の動作に対してエアコン動作とする誤推定が多くなった可能性がある。そこで、本検討ではこれら2状態に対し個別に尤度を算出し、動作状態を推定した。

判定式について、高消費電力状態と立上り/立下り状態をそれぞれ $state1(f_1, f_2, f_3)$ 、 $state2(f_1, f_2, f_3)$ とすると、その返り値 C_{ML1} と C_{ML2} はそれぞれ以下となる。

- $C_{ML2} \in ('stationary', 'not\ stationary')$
- $C_{ML2} \in ('transient', 'not\ transient')$

最終的な ON/OFF の推定結果 C'_{ML} は C_{ML1} と C_{ML2} の論理和とし、式2で表される。

$$C'_{ML} = \begin{cases} 'ON' & \text{where } (C_{ML1} = 'stationary' \text{ or } 'transient') \\ 'OFF' & \text{where } \neg(C_{ML1} = 'stationary' \text{ or } 'transient') \end{cases} \quad (式2)$$

推定精度を表3に示す。本手法により単一判定式の利用に対して全ての評価指標で精度が向上する結果となった。特に適合率は0.039向上し、他の指標に比べ大きな精度改善となった。

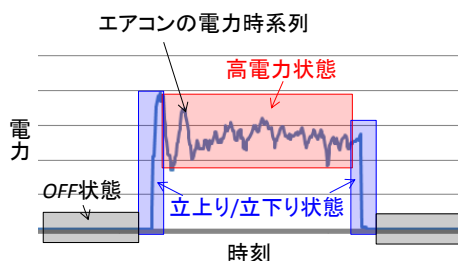


図3：エアコンの高電力状態と立上り/立下り状態

3.4. 特徴量の適用条件の適正化

前節の判定式において $state1(f_1, f_2, f_3)$ と $state2(f_1, f_2, f_3)$ は共に同じ特徴量を利用していた。しかし、電力の平均はエアコンの高電力状態の特徴抽出を、階差の平均は立上り/立下り状態の特徴抽出を目的に設定した特徴量である。目

的外の状態に対して影響を与えないようにするため、電力の平均については高電力状態、階差の平均については立上り/立下り状態のみに利用し、エアコンの動作状態を推定した。

判定式は前節の $state1$ と $state2$ の関数への入力変数が変更となり、それぞれ $state1(f_1, f_3)$ 、 $state2(f_2, f_3)$ となる。最終的な ON/OFF の推定結果は前節と同様に式2で求める。

本検討における推定精度を表3に示す。本手法により前節で示した状態別に生成した判定式の利用する手法と比べ、適合率は更に0.056向上し、これまでの課題であったエアコンOFF時に生じる誤推定に対して精度を向上することができた。

今回実施した2つの手法は、尤度算出と特徴量の適用条件を限定することで、抽出する特徴量の曖昧さ減少したものであり、曖昧さが減少したことで機器動作の区別が容易となり、適合率の改善につながったと考える。

表3：エアコン動作状態の推定精度

	正解率	適合率	再現率	F値
単一判定式の利用	0.954	0.754	0.909	0.824
状態別に生成した判定式の利用	0.961	0.793	0.910	0.848
特徴量の適用範囲の適正化	0.969	0.849	0.906	0.877

4. まとめと今後の課題

これまでの課題であったエアコンOFF状態での推定精度(適合率)について、エアコンの電力時系列の状態別に尤度算出することで0.039、電力の平均と階差の平均の特徴量について適用条件を適正化することで更に精度が0.056向上することを実測データで確認した。

本検討では1軒のモニタ宅で取得したデータを用いて評価したため、今後は、検討手法の一般性の確認のため、モニタ数を増やし、また、長期的に評価することで、季節性などにより、機器の使用形態や消費電力に変化が生じる場合の検討を進める予定である。

文献

- [1] 高谷和宏, 鈴木康直, 石山文彦, 香西将樹, 岩崎登, 田島公博, “家電機器が発する伝導妨害波の特徴を活用した家電機器の動作状況推定に関する検討,” 電子情報通信学会技術研究報告. EMCJ, vol.112, pp.29-34, May 2012.
- [2] 井上洋思, 石山文彦, 渡辺敏雄, 大山孝, “電力時系列の特徴に基づく機器動作状態の推定,” 電子情報通信学会技術研究報告. EE, vol.114, pp.19-23, May 2014