

分電盤電流波形より家庭内機器の消費電力を推定する電力見える化手法の検討

Visualization of Power Consumption of Each Home Appliance by Analyzing Current Waveform at Power Distribution Board

石山 文彦†
Fumihiko Ishiyama

井上 洋思†
Hiroshi Inoue

渡辺 敏雄†
Toshio Watanabe

大山 孝†
Takashi Ohyama

1. はじめに

近年の節電意識の高まりに伴い、家庭における消費電力を見える化するシステムの開発が進展してきている。それらシステムは、消費電力の総量を示すものが主流であり、内訳が示されないことから、効果的な節電行動の指針が得られないという問題があった。内訳を示すためには、家庭内の主要な家電製品のコンセント部に電力測定センサを設置する手法もあるが[1,2]、導入コストが大きいという問題があった。

これらの問題の解決を目的として、我々は、家庭の分電盤に設置した電流センサで電流波形を測定し、その波形形状を分析することにより、家庭内の個々の家電製品の動作状態と電力値を推定する手法を検討している。予め教師データとして取得した家庭内の各家電製品の電流波形を基に分電盤で測定された電流波形とのパターン認識を行うことで家電個々の動作状態と電力値を推定するものである。しかし、この手法は、家電製品の電力値の連続変動を定量的に捕捉できないという課題があることから、電力値の連続変動を定量的に捕捉する手法の検討を行っている[3]。本稿では、実験室環境で検討手法の有効性を評価した結果を報告する。

2. 推定手法

我々は、各家電製品の電流波形を、変動を考慮した近似式により定式化し、波形の割り当て問題として個別機器の消費電力の推定を行う手法の検討を行っている。具体的には、各家電製品の電流波形について、電力変動に伴い電流波形も比例的に変化するものと仮定して、基準電流波形に対して電流波形の振幅をパラメータとした近似式で表現し、家電製品の合成波形が分電盤の電流波形を最も良く近似するときの各家電製品のパラメータを推定することにより、個別の家電製品の電力を推定する。

そのため、 k 番目の家電製品の電流波形 $\vec{S}_k$ を

$$\vec{S}_k \approx a_k \vec{T}_k \quad (1)$$

と、近似表現するものとする。ここで、基準電流波形 $\vec{T}_k$ を算出する必要があるが、これには、複数回測定した電流波形を

$$\vec{T}_{k,n} = \vec{S}_{k,n} / |\vec{S}_{k,n}| \quad (2)$$

と、自身の一次ノルムで割ることによって規格化し、

$$\vec{T}_k = \text{median}(\vec{T}_{k,1}, \vec{T}_{k,2}, \vec{T}_{k,3}, \dots, \vec{T}_{k,n}, \dots) \quad (3)$$

と、ベクトルの各成分ごとにメジアンをとるものとする。

†日本電信電話(株), NTT

式(3)で算出した $\vec{T}_k$ を用い、分電盤電流波形 $\vec{S}$ に対し、

$$\min \left\| \vec{S} - \sum_{k=1}^K a_k \vec{T}_k \right\|, \quad a_k \geq 0 \quad (4)$$

と、最小二乗法を適用して基準電流波形に対する比例係数 a_k を求めることで、各家電製品の電流波形の合成波形が分電盤電流波形を最もよく近似する各家電製品の電力値を見積もるものとする。

3. 評価方法

推定手法の評価には、実験室環境で測定したテレビ、エアコン、冷蔵庫の電流波形を用いる。電流波形は、起動から停止までの状態を 30 秒毎間隔で取得したもので、一回の電流波形は、10kHz サンプリングした 1 周期分 (200 サンプル) とする。テレビは 2 回動作させている。これら電流波形を合成したものを分電盤電流波形に見立て、式(4)に従って各家電製品の電力値を推定する。

家電製品の電流波形には形状のばらつきがあり、推定精度に影響することから、電流波形の形状差を評価するために、評価式

$$\Delta \vec{T}_{k,n} = |\vec{T}_{k,n} - \vec{T}_k| / (|\vec{T}_{k,n}| + |\vec{T}_k|) \quad (5)$$

で形状差を評価する。また、電力値の推定精度は、各家電製品の電流波形と、推定によって得られた電流波形に対して電圧波形 $\vec{V}$ を掛けて電力値を算出した上で、平均二乗誤差

$$E = \sqrt{\sum_{n=1}^N (\vec{S}_{k,n} \cdot \vec{V} - a_{k,n} \vec{T}_k \cdot \vec{V})^2} / N \quad (6)$$

を取ることによって評価する。

評価に用いる家電製品の電力値の時間変動を図 1 に示す。

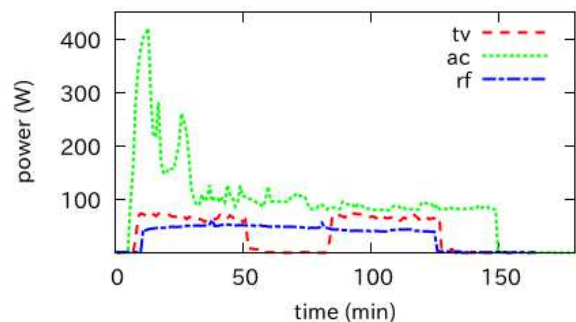


図 1 テレビ(tv)、エアコン(ac)、冷蔵庫(rf)の電力値の時間変動

縦軸は各家電製品の電力値であり、横軸は時間である。エアコンは、起動時に大電力を消費し、約 30 分後に定常

運転に移行することが読み取れる。テレビと冷蔵庫とは、それぞれ電力値変動は見られるものの、比較的小さい。

図2に、測定した全ての電流波形を機器ごとに重ねあわせたものを示す。電流波形の縦軸は電流値であり、横軸は時間である。電流波形の形状差の最大値は、テレビで1.1%、エアコン起動時で30.1%、エアコン定常運転時で3.7%、冷蔵庫で6.0%である。形状差が最も大きいのはエアコン起動時であり、その次に大きい冷蔵庫が大きい。

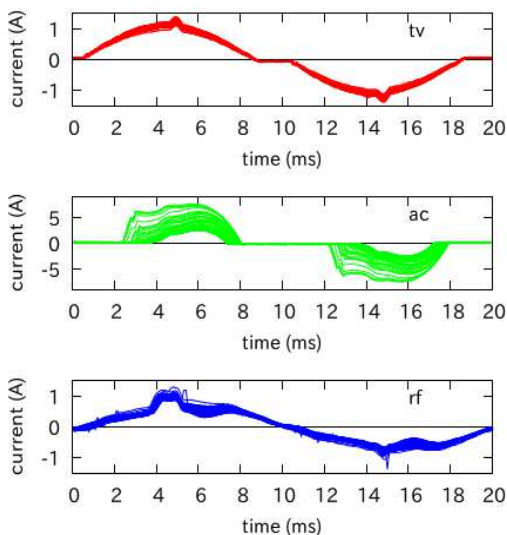


図2 各機器の電流波形

4. 評価結果

図3に、テレビとエアコンと冷蔵庫との電流波形を合成したものに対して電力値推定を行った結果を示す。

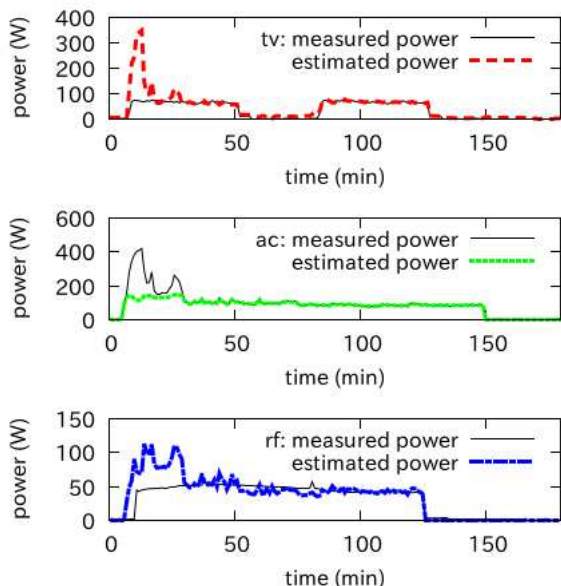


図3 各機器の合成電流波形に対する電力値推定

縦軸は電力値であり、横軸は時間である。それぞれの単体電力値を実線で示し、推定された電力値を破線で示している。エアコンは起動時の電流波形が定常運転時と大きく

異なることから近似が良くない一方で、定常運転時は、それぞれの電力値変動を正確に追従できていることが見て取れる。この結果を、横軸をそれぞれの機器の電力値、縦軸を推定で得られた電力値として、エアコン起動時の30分間を除いてプロットしたものを、図4に示す。

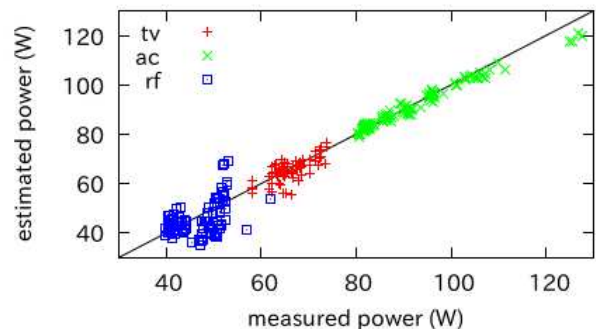


図4 各機器の電力値と推定電力値の比較

冷蔵庫の電力値推定にやや大きなばらつき（50W時に30W幅）が見られる他は、よく対角線上に乗っており、精度よく推定できている。エアコン起動時を除いた場合の平均二乗誤差は、表1に示す通り、テレビが3.3W、エアコンが2.1W、冷蔵庫が6.5Wである。

表1 各機器の平均二乗誤差

	平均二乗誤差	
	エアコン起動時を除く	エアコン起動時を含む
テレビ	3.3W	58.3W
エアコン	2.1W	58.1W
冷蔵庫	6.5W	18.6W

5. まとめ

分電盤における電流波形から家庭内機器の消費電力を推定する方法を検討し、その効果を検証した結果、電流波形の形状差が大きいことに伴う推定誤差が大きいエアコン起動時を除き、合成電流波形からの各機器の電力値推定が可能であることを確認した。

- [1] 加藤丈和, H. S. Cho, D. W. Lee, 豊村鉄男, 山崎達也, “情報・エネルギー統合ネットワークのための電力センシング情報からの家電認識とその応用”, 信学技報, USN, vol.108, pp.133-138, 2009.
- [2] 伊藤雅仁, 大亦寿之, 井上智史, 重野寛, 岡田謙一, 松下温, “消費電力波形の特徴を利用した家電製品検出手法と制御システム(WWW)”, 情処論, vol.44, pp.95-105, 2003.
- [3] 石山文彦, 井上洋思, 渡辺敏雄, 大山孝, “家庭全体の合成電流波形からの個別機器の電力推定手法の検討”, 信学技報, EE2014-3, pp.13-18, 2014.