

突入電流波形パターンを用いた家電認識手法の提案

尾久 陽平[†] 大野 将樹^{††} 沼尾 雅之[‡][†]電気通信大学電気通信学部情報工学科 ^{††,‡}電気通信大学大学院情報理工学研究科
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1E-mail: [†] ay921004@jed.uec.ac.jp, ^{††} oono@cs.uec.ac.jp, [‡] numao@cs.uec.ac.jp

1 はじめに

近年、家庭での家電機器の稼働状態や電力使用量をモニタリングするシステムが提案されている。これは各家電に電力センシング機能と通信機能を備えた電源タップを装着することで行われる。しかし、従来システムでは予め家電とタップの対応を登録しておく必要があり、使用場所が一意に定まらない家電に対しては不都合であった。この問題を改善するため、機械学習を利用した電力センシング情報からの家電認識手法 [4] が提案された。認識アプローチとして、電流の平均値や実効値、ピーク値等を利用した手法 [2], 加えて電流と電圧のピークの時間差などの特徴量を利用した手法 [3] がある。また波形から周波数スペクトル成分を解析する手法 [5] や家電のスイッチを切り替えた瞬間に発生する高周波ノイズ成分を解析する手法 [1] も提案されている。[1] は本稿で扱う突入電流波とは異なり、高精度、高サンプリングレートの計測器を利用したスペクトル解析を利用する。これはノイズフィルタリングなどの対策がなされた機器に対しては認識が困難である。

これらの手法では家電数だけタップが必要となり拡張性に乏しい上、導入コストが高いという問題がある。本稿では電気配線のの上流部分での電力センシングを行い、家電の認識を行う手法を提案する。この手法では、使用するセンサ数を抑えることで導入コストが軽減される利点がある。従来法と大きく異なる点は、複数家電を使用することにより発生する合成波を扱うことである。本稿では突入電流の特徴を用い、合成波から家電を認識する手法を提案する。

2 提案手法

本稿では突入電流の特徴を用い、複数家電使用により発生する電力の合成波形から家電を認識する手法を提案する。突入電流とは、家電の電源投入時やモード変化時に一瞬発生する大電流のことである。発生時間が短いことで突入電流波同士が重なりにくい、また波形スケールが大きいことから合成波を扱う上で検出が容易であるという利点が挙げられる。図 1 は分電盤からの電気配線であり、センシングポイントを示したものである。電力波形の観測点が配線の上流になるほど波形の合成数が増えるが、必要なセンサ数が抑えられることを示しており、例えば部屋ごとや建物の給電線の入り口などでのセンシングが考えられる。本章では電力センシング情報から認識に利用するデータの切り出し手法を示し、次章で分類に利用する特徴量の定義、提案手法のための分類実験及び評価を行う。

初めにマイコンの AD 変換を利用し、電流電圧波形をセンシングする。次にセンシングデータに関し、合成波形の処理について説明する。図 2 は n 家電が稼働中に新たに $n+1$ 番目の家電が稼働したときの電流の推移を表している。このとき、電源投入時の開始点を検出し、この時刻を t_s とする。ここで開始点から一定時間を w とし、 t_s から t_s+w までの波形を W_+ 、 t_s-w か

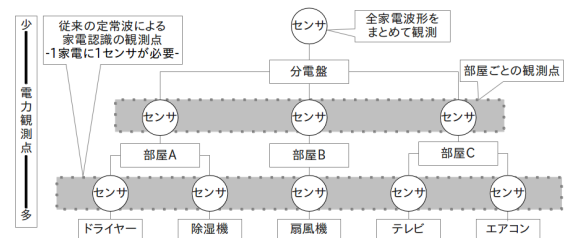


図1 観測点とセンサ数

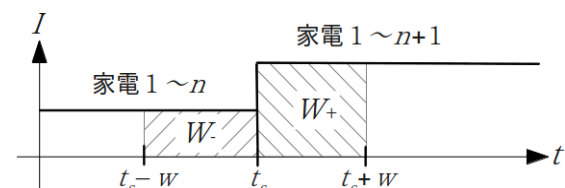


図2 合成波形の処理

ら t_s までの波形を W_- と定め、以降それぞれを突入電流波形、差分対象波形と呼称する。最後に W_+ から W_- の波形の差分を計算する。このとき差分によって得られた波形は W_+ 中に含まれる $n+1$ 番目の復元波形であると仮定し、これを認識データとして用いる。 $n+1$ 番目の家電の突入電流波形を U としこれを定式化すると、

$$U(t_a) \approx W_+(t_a) - W_-(t_b) \quad (1)$$

$$(t_s \leq t_a \leq t_s + w, t_s - w \leq t_b \leq t_s)$$

と表される。差分対象波形は突入電流波形と異なる時間軸であるため、差分によって得られた波形は厳密な復元波形ではない。しかし差分操作の区間において n 番目までの家電の波形が定常波として安定しているとすれば復元波形として近似でき、認識に利用できる可能性があると考えられる。従って、本稿ではこの手法の有用性について検証した。

3 評価実験

3.1 実験環境

認識対象は掃除機、ドライヤー、冷蔵庫、IH プレート、電子レンジ、ノート PC、電気ポットの 7 家電とした。波形のデータ収集には 10bit 分解能マイコンの AD 変換を利用し、電流電圧のサンプリングレートは 2400sps とした。家電の識別には radial basis カーネルによる Support Vector Machine (SVM) を用いる。認識に利用する特徴量は波形ピーク値 (最大値・最小値)、FFT による電流の周波数スペクトル (50Hz 成分に対する 100, 150, 200, 250Hz 成分の比をそれぞれ使用)、力率、対数減衰率である。力率 PF と対数減衰率 DF は 1 波長毎計算し、平均値を特徴量とする。認識に利用する窓幅の波形周期を M とし、1 波長あたりのサンプル数を N とする。 m 周期 n 番目のサンプルに対応する電流電圧値をそれぞれ $I(m, n)$, $V(m, n)$ とすれば PF, DF はそれぞれ (2), (3) 式のように表される。

$$PF = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{\sum_{n=1}^N I(m, n)V(m, n)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N I^2(m, n)}\sqrt{\sum_{n=1}^N V^2(m, n)}} \quad (2)$$

$$DF = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^{M-1} \ln \frac{\max_{n \in N} I(m, n)}{\max_{n \in N} I(m+1, n)} \quad (3)$$

3.2 実験

提案手法による認識精度を評価するための実験を行った。実験では2家電による合成波形に対して(1)式を適用した。合成波形は、7家電を独立にデータ収集しておき、ソフトウェア上で42通りの合成波を擬似生成する方法をとった。はじめに各家電の波形を10s程度10サンプル収集し、突入電流波形を切り出し学習データとした。次に2家電の電圧波形のゼロクロス点を基準とし、正確に対応する電流波形の合成を行い(1)式を適用して得られた波形をテストデータとした。

実験では3つの観点から認識精度との関係性について調べた。はじめに使用する特徴量と認識率との関係について調べ、次に2家電の電源投入間隔と認識率との関係を調べた。この実験は両波形の電源投入の開始点をずらして合成することで検証した。この時間差をシフト時間と呼称する。最後に突入電流窓幅の長さとの関係について実験した。

3.2.1 特徴量と認識率の関係

初めに特徴量と認識率の関係について実験した結果を図3に示す。ここでは窓幅を1s、シフト時間を5sとした。またここではサンプリングレートを変えながら認識率を評価した。グラフから、明らかに高サンプリングレートの方が認識率が高いことがわかる。力率や対数減衰率を利用した場合は最も高く90%以上の認識率が得られ、位相差や減衰の特徴は再現されていることが示された。しかし周波数スペクトルを利用した場合は学習データとの相違が顕著となり、認識率が伸びなかった。以降の実験では周波数スペクトルを利用せず波形スケール、力率、対数減衰率の4次元の特徴量を利用し、サンプリングレート2400spsでの分析を行った。

3.2.2 シフト時間と認識率の関係

次にシフト時間と認識率の関係について実験した結果を図4に示す。ここで窓幅は1sとした。シフト時間が短いときに認識率が低下するのは差分対象となる電流波形が安定状態でないことに起因すると考えられる。

3.2.3 窓幅と認識率の関係

最後に窓幅と認識率の関係について実験した結果を図5に示す。概ね1s以内の窓幅では認識率が安定したが、それ以上の長さでは低下することがわかった。原因として、窓幅を長くとり定常波部分を多く含む全体的に対数減衰率値が低下したことが考えられる。

図4,5の関係から、より短いシフト時間での認識率を改善するためには窓幅の縮小が効果的であることが示された。また、短い窓幅で高い認識率が得られることは特徴量の計算コスト面からも望ましいといえる。

3.3 家電数と認識精度保証

本稿では2家電による合成波から家電を認識する実験を行った。ここでは3家電以上の合成波について考える。図4の結果を受け、認識率が低下しない条件として差分対象波形が十分に安定した状態でなければならないことがわかった。また突入電流

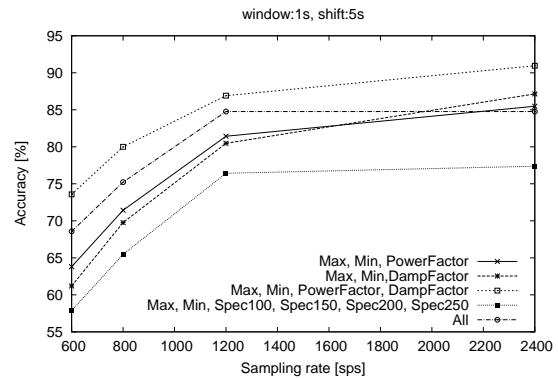


図3 特徴量と認識率

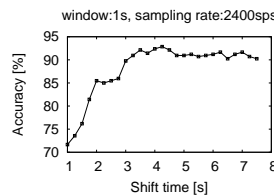


図4 シフト時間と認識率

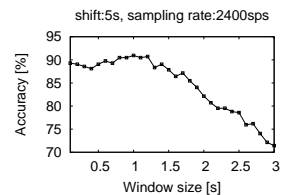


図5 窓幅と認識率

自体も重なってはならない。すなわち突入電流窓幅を w とすれば、ある家電の電源投入後 $2w$ 間他の家電の状態変化がなく安定状態であれば家電数が増えても認識率は維持できることになる。図5の結果から窓幅1s以下の微小時間での認識が可能であることから、家庭での実環境で $2w$ 内で複数家電が使用される可能性は極めて低いと推測できる。

4 おわりに

本稿では、突入電流波形の特徴を利用し、電気配線のの上流部分から複数の家電を認識する手法を提案した。また提案手法評価のため合成波に対する家電の識別実験を行った。実験より分類に有効な特徴量が示され、電源投入の間隔や窓幅と認識率の関係性を明らかにすることで90%以上の認識率を得ることができた。また実験結果から、稼働数が3家電以上でも認識率を損なわずに認識が可能である見解が示された。

評価実験では家電の稼働時の認識に焦点を当てたが、停止時の認識は考慮していない。また、家電によっては複数のモードを持つものが存在することから、稼働時から停止時までの状態変化を考慮する必要がある。今後は、このような状態変化を柔軟に検知する枠組みを検討し、より実用的なシステムの構築を目指す。

参考文献

- [1] S. Patel, T. Robertson, J. Kientz, M. Reynolds, and G. Abowd. At the flick of a switch: Detecting and classifying unique electrical events on the residential power line (nominated for the best paper award). *UbiComp 2007: ubiquitous computing*, pp. 271–288, 2007.
- [2] T. Saitoh, Y. Aota, T. Osaki, R. Konishi, and K. Sugahara. Current sensor based non-intrusive appliance recognition for intelligent outlet. In *ITC-CSCC*, 2008.
- [3] 伊藤雅仁, 大赤寿之, 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機器検出手法と制御システム (www). 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 1, pp. 95–105, 2003.
- [4] 加藤文和, 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 (モバイル p2p, ユビキタスネットワーク, アドホックネットワーク, センサネットワーク, 一般). 電子情報通信学会技術研究報告. USN, ユビキタス・センサネットワーク, Vol. 108, No. 399, pp. 133–138, 2009.
- [5] 服部陽彦, 沼尾雅之. 電源環境の変化に強い家電認識手法の提案. 情報処理学会研究報告. HCI, ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告, Vol. 2012, No. 1, pp. 1–6, 2012.