

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

伊藤 雅 仁[†] 大 亦 寿 之[†] 井 上 智 史[†]
重 野 寛[†] 岡 田 謙 一[†] 松 下 温[†]

本論文では、家電機器の消費電流を電源コンセント部分で検出し、特徴量を算出することで、機器の機種、動作状態、接続位置を検出する手法と、検出された機種、動作状態、接続位置に応じた制御を行うシステムを提案する。本論文では、機器の消費電力には、機器の回路や動作によって固有のパターンが表れることを確認し、利用可能な特徴量を定義する。コンセントには、電流検出回路、処理回路、通信器を付加し、機器に印加される電圧、および機器に流入する電流を検出する。検出回路で検出された電流は、特徴量に変換され、ホームサーバへと送信される。それぞれの機器の特徴量は、あらかじめ学習を行いホームサーバに蓄積しておく。ホームサーバは検出された電流の特徴量と、あらかじめ学習されている特徴量を比較し、接続されている機器の機種、接続位置を決定する。また、本システムでは家電機器はそのものには通信デバイスやミドルウェアなどを追加せず、一般的な家電機器を検出や制御の対象とする。

A Method and System of Appliance Detection and Control Using Power Consumption Measurement

MASAHITO ITO,[†] HISAYUKI OHMATA,[†] SATOSHI INOUE,[†]
HIROSHI SHIGENO,[†] KEN-ICHI OKADA[†] and YUTAKA MATSUSHITA[†]

In this paper, we propose a method to detect the model, location and state of a home electric appliance with processing its power consumption and system to control the detected appliance. We hypothesize and verify that waveforms of current consumed by appliances are varying according to their models. Based on the result, we define feature parameters to detect appliances. In our system, current detector, microcomputer and transmitter are equipped in power outlet in order to measure consumed current, calculate feature parameters and transmit them to a home server. Feature parameters of known appliances are learned and stored in a home server in advance. The home server compares between feature parameters of known appliances and received feature parameters to detect the model, location and state. Appliances are controlled from out of the house via the Internet and home server. The system has flexibility to support any home appliances without adding hardware and software such as communication interface or middleware to home appliances.

1. はじめに

近年、情報家電や、ホームネットワークなどの家電機器の相互接続技術が登場しつつある。家電機器がホームネットワークによって接続されることで、遠隔から機器を操作することや、機器どうしの連携などが可能となる。このようなホームネットワークの仕様として、AV機器を対象としたものでは代表的なものにHAVi¹⁾などがあり、白物家電製品を対象としたものでは、ECHONET²⁾やOpenPLANET³⁾などがある。

これらの仕様では、通信デバイスとしてイーサネットやIEEE1394、無線LAN、電灯線搬送などが規定されている。そのため、機器を制御する場合、被制御機器はこれらの通信デバイスを装備する必要がある。さらに、これらの仕様に準拠したプロトコルを実装していなくてはならない。このことは、機器のコストの増加を引き起こすとともに、すでに家庭に存在する多くの機器の買い替えが必要となり、利用者の負担を増大させる。使用可能な機器の買い替えも必要となるため、旧機器の処分の問題も発生する。そのため、既存の機器に対しても、その機器で可能な範囲での制御を何らかの形で提供することが望ましい。

一方で、地球温暖化防止などの観点から、機器の消

[†] 慶應義塾大学理工学部

Faculty of Science and Technology, Keio University

し忘れによる電力や待機電力が問題となっている。特に、消し忘れの防止など、制御によって得られる省エネルギー効果は、待機電力削減による効果を上回ることが期待されており⁴⁾、ECHONETやOpenPLANETでも省エネは重要な課題となっている。また、消し忘れは火災などの事故の原因となるため、安全性の面からも防ぐことが急務である。ガスなどにおいては、消し忘れ防止としてマイツーパーホー⁵⁾など、宅外から家庭内の状況を知ることのできるサービスが開始されている。これはガスメータからガスを遮断する方式であるため、冷蔵庫のように常時通電する必要がある機器が多数混在する電灯線には、そのままのこの手法を利用することはできない。

機器の電源を制御する場合、アイロン、ドライヤー、電熱器など、利用者が消し忘れを起こした場合に無駄な電力を消費し、高い危険性を生じる機器や、照明器具のように消し忘れも多い機器は、単純な回路構成できわめて低価格なものが多く、ホームネットワークへ対応した場合のコスト増加が製品価格に大きく影響するため、対応が難しい。特にアイロンやドライヤーなどは、固定的に設置されている機器ではなく、使い終わったときにコンセントからはずして収納する。利用する場所もそのときどきで変化することが多い。

このように移動する機器を、機器に新たなデバイスを搭載することなく制御するには、まず対象機器の状態の検出、位置の検出が必要となる。今までにも、機器の状態や位置を検出する手法がいくつか報告されている。動作状態の検出手法として、被制御機器の位置や状態の確認用にカメラやマイクを用いて映像・音声を送信するもの⁶⁾がある。この方法では、機器の状態を知るためには、あらかじめ監視対象となる機器をカメラが撮影していなくてはならず、位置が変化する機器にはあまり有効ではない。さらに、対象機器の動作が視覚的に確認できるものでなければ、撮影しても利用者や制御装置にはその状態は把握できない。一方、家庭内での位置検出としては、超音波センサを用いるもの^{7,8)}やRFIDを用いるもの⁹⁾、無線LANの電界強度を用いるもの¹⁰⁾、バーコードを用いるもの¹¹⁾など様々な手法が提案されている。これらの手法も、従来の家電機器をそのまま使うことはできず、家電機器に何らかの付加物が必要となる。超音波センサ、バーコード、RFIDはカメラによる状態検出と同様に、センサは機器が存在する可能性のある位置をすべてカバーしていなくてはならない。さらに無線LANなど電波によるものでは、部屋の壁を越えた機器の誤検出の問題がある。通常の家電機器に対して可能な制御は、電源

の制御や赤外線リモコンによる制御である。そのため、絶対的な座標よりも、機器がどの部屋にありどのコンセントにつながれているかが重要であると考えられる。

以上の点をふまえ、本論文では、機器の消費電流波形は機種や動作状態によって異なることを利用して機器を検出するための特徴量の定義、算出法と、その特徴量から機種、接続位置、動作状態を検出する手法を提案する。本手法では、電源コンセントにAD変換器、電流検出素子などから構成される回路を増設する。この回路は、接続された機器の消費電力と機器に印加される電源電圧をAD変換し、その特徴量を計算してホームサーバへと送信する。このとき、電源電圧は一定周期の正弦波であるということの特徴量の計算に利用する。ホームサーバではあらかじめ登録してある特徴量と比較することで機種と状態を判断する。また、特徴量を送信したコンセントの位置を機器の接続位置として検出する。この位置や状態の検出手法は、従来の家電機器以外にも、今後登場する情報家電などにも利用可能である。さらに本論文では、以上の手法を用いて判別した機器を携帯電話などから制御し、省エネルギーと安全性の向上を目的とするシステムを提案する。

2. 提案手法

本論文では、家電の機種、位置、状態の検出を行うための手法、その検出のため消費電流から算出される特徴量の定義、特徴量を用いた機器の特定¹²⁾、制御手法を提案する。

以下に、まず本システムの概要、本システムで扱う家電機器の消費電流の特性に基づく特徴量の定義について述べる。続いて、本論文の提案手法の処理方法と応用システムについて説明し、実験と評価を行う。

2.1 システム概要

消費電流から家電機器の機種、動作状態、接続位置を検出するシステムの概要を、図1に示す。電源コンセントは、機器に流入する電流と印加される電圧の両方をAD変換し、特徴量を計算する。特徴量はLANを用いてホームサーバへと送信される。LANの媒体としては、イーサネット、無線、電灯線搬送などが利用可能である。ここでは新築共同住宅に数多く採用され、新築共同住宅情報化標準¹³⁾に見合うイーサネットを想定する。

ホームサーバは、電源コンセントに接続された機器の特徴量を受信し、あらかじめ学習済みの特徴量と比較する。機器の特徴量は、その機器を家庭で初めて利用する際に学習させておく。ホームサーバは、比較の

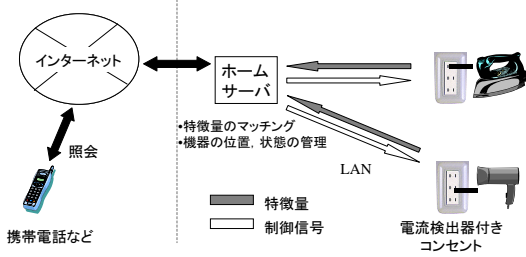


図 1 システム概要

Fig. 1 Overview of system.

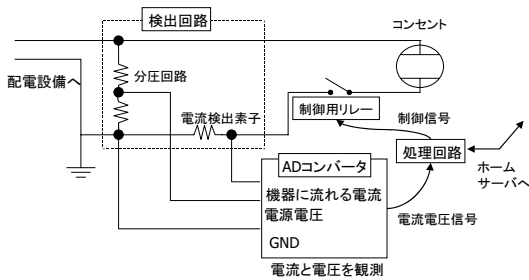


図 2 コンセントの構成

Fig. 2 Configuration of power outlet.

結果得られた機種、動作状態と、特微量を送信してきたコンセントの位置を記憶し、必要に応じて電源コンセントに指示を送信し、制御を行う。ここでのホームサーバは、ホームゲートウェイ¹⁴⁾や電力量計サーバ³⁾に近いものであり、機器を管理するとともに宅外からのアクセスも可能とする。そのため利用者はインターネットを経由して宅内の状態を知ることや、さらに制御を行うことが可能である。

従来からの家電機器で広く用いることのできる制御は、電源そのものの断続に関する制御と、一部の機器での赤外線リモコンを用いた制御程度であり、赤外線により機器を制御できる手法^{15),16)}も提案されている。本論文では、接続位置や状態の検出に関しては、商用電源を用いるほぼすべての機器を対象とするが、制御に関しては電源を中心としたものとする。

2.2 電源コンセント

電源コンセントには、電流検出のための機能と、電源断続制御のための機能を付加する。図 2 にコンセント部の構成を示す。

コンセントには、電流検出素子、AD 変換器、処理回路 (マイコン)、制御用リレーが付加される。交流は、つねに大きさや極性が変化し、電流と電圧の位相差や波形の違いが重要な特徴となる点が直流とは異なる。電流の大きさ、位相差、消費電力などは電圧も用いて計算するため、消費電流だけでなく電源電圧も

同時に AD 変換を行う。

ここで、AD 変換された波形をそのままホームサーバへ送信した場合、一家庭で同時に使用される機器の分だけデータを送信する必要があり、ホームサーバへ送信されるデータの量は莫大なものとなる。そのため、電流の変化を電源コンセントで検出し、消費電流が変化している部分だけ波形を送信するか、特微量の算出を電源コンセントの処理回路で行い特微量だけを送信する必要がある。本論文では、動作変化の激しい機器の存在を考慮し後者の手法を用いる。

電源コンセントには電源の断続のためにリレーがもうけられている。機器 1 台ごとに遮断する場合は、コンセントの口数だけ必要である。もし同じコンセントユニットに接続されているすべての機器を遮断してよいのであれば、リレーは 1 つでよい。

この回路は、新築住宅では壁コンセントに内蔵し、既築住宅ではテーブルタップや三叉タップのような形で後付けで取り付ける。

2.3 電流波形

一般に、交流には波形を表す特微量として、よく用いられるものがいくつか存在する¹⁷⁾。本論文では、実際に家電機器の消費電流を観測した結果に基づき、その特微量の中のいくつかを利用する。また、独自に定義した特微量を用いて波形を特徴付ける。交流の周期ごとに各特微量を計算し、その値を数周期分用いて平均したものを最終的な特微量とする。

本論文では、特微量を大きく 3 つに分類し、その分類の中から家電機器の特徴を表すのに必要となるものを用いる。

2.3.1 電流の大きさ

機器の消費電流の大きさを示すものとして代表的なものは、ピーク値 I_{peak} 、平均値 I_{avg} 、実効値 I_{rms} である。それぞれの定義は、交流半周期あたりのサンプル数を p とすると、

$$I_{peak} = \max i \quad (1)$$

$$I_{avg} = \sum i/p \quad (2)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum i^2/p} \quad (3)$$

であり、交流理論で一般的に用いられる。これらの値は電流消費量の大きさを示すとともに、波形によってそれぞれの値の比が異なるため、後述の電流の形状を表す特微量の計算にも用いられる。図 3 に波形とそれぞれの例を示す。

実効値 I_{rms} は式 (3) のとおり、自乗和の平均の平方根を求めめるため、電源コンセントに内蔵したマイコンで処理を行うには計算量が大きい。コストや機器監

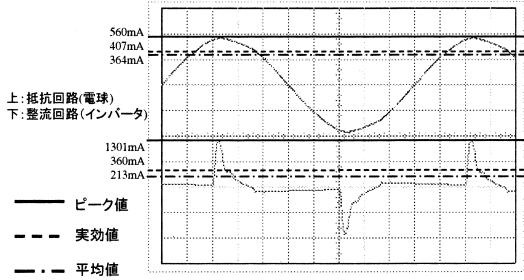


図3 電流の大きさ
Fig.3 Current amplitude.

視にかかる電力を削減するためにも、計算量は少ない方がよい。そのため、実効値は計算せず、電流の大きさとしては平均値 I_{avg} を用い、次項で述べる特徴量の算出のためにピーク値 I_{peak} を計算する。実効値の計算を行わないことで、計算量は大幅に削減される。

2.3.2 電流の形状

形状を表す特徴量として、ピーク値の高さを表す波高率 CF 、電流の時間的集中性を表す波形率 FF があり、それぞれ

$$CF = I_{peak} / I_{rms} \quad (4)$$

$$FF = I_{rms} / I_{avg} \quad (5)$$

で定義される。

これらは波形の違いをよく表す特徴量であるが、算出には2.3.1項で述べた実効値 I_{rms} の計算が必要であるため、本手法では用いず、以下のピーク平均比 F_{pta} を波高率 CF 、波形率 FF の代わりとして定義して用いる。

$$F_{pta} = CF \cdot FF = I_{peak} / I_{avg} \quad (6)$$

2.3.3 電流と電圧の時間差

交流電源に接続された負荷が純抵抗性負荷以外の場合、電圧 E と電流 I には位相差 ϕ を生じる。また、 $\cos \phi$ を力率と呼ぶ。力率 $\cos \phi$ は、電圧、電流の大きさから計算可能であるが、電圧、電流双方の実効値の計算を必要とし、位相の進遅のいずれかが区別できない上、図3下段に示した整流回路の波形などでは、位相差の定義は難しい。

そこで、本論文では整流回路によって発生する波形などにも対応するため、電流の進み遅れをピーク時間差 T_d として、以下の式で定義して用いる。

$$T_d = T_{I_{peak}} - T_{V_{peak}} \quad (7)$$

ここで、 $T_{I_{peak}}$ 、 $T_{V_{peak}}$ はそれぞれ交流周期開始からの電流、電圧のピークの位置である。

また、機種によって $T_{I_{peak}}$ が電流の通電時間全体の中で前後する。この前後量は、波高率 CF 、波形率 FF 、ピーク平均比 F_{pta} などに表れない。そのため、

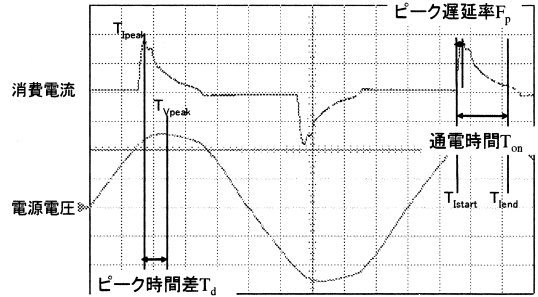


図4 ピークの時間位置
Fig.4 Definition of timing of peaks.

この前後量を表す特徴量として通電時間 T_{on} 、ピーク遅延率 F_p 定義して用いる。

$$T_{on} = (T_{I_{end}} - T_{I_{start}}) \quad (8)$$

$$F_p = (T_{I_{peak}} - T_{I_{start}}) / (T_{I_{end}} - T_{I_{start}}) \quad (9)$$

以上を図4に示す。

以上のように、本手法では、平均値 I_{avg} 、ピーク平均比 F_{pta} 、ピーク時間差 T_d 、通電時間 T_{on} 、ピーク遅延率 F_p の5つを波形の特徴量として用いる。これらの特徴量は機器の状態とともに変化するため、平均値の変化を検出することに5つを算出して1組とし、機器の特徴量として追加する。1つの機器は状態変化に対応した複数の特徴量を持つこととなる。

家電機器の消費電力を実測した結果、消費電流の特徴は抵抗回路、動力(誘導)回路、整流回路の3種のいずれか、さらにその組合せに分類される。抵抗回路では電流波形は形状、時間ともに電圧の正弦波と相似である。動力回路では波形がやや歪み、誘導成分を持つため電圧に対して電流が遅れるものが多い。整流回路では図3の下段のように鋭く流れ、ピーク平均比は大きく通電時間が短い。ピークの時間的位置は機種によって異なる。以上で定義した特徴量についての実測値は5.3節で示す。

2.4 電源電圧の変動と消費電流

一般に、消費電流はオームの法則に従い、電灯やヒータなどの単純な負荷においてこれは成立する。また、整流回路を持つ負荷においても、レギュレータを持たないコンデンサ入力型回路などでは比例関係にある。このような回路では、電圧変動が生じた場合、計算上は電圧の増加分と電流の増加分を相殺すれば補正が可能である。しかし、家電製品を調査した結果、電流が電圧と無関係に一定である回路や、電流が電圧に反比例し電力が一定となるレギュレータ回路など、オームの法則によらない回路の存在が多数確認された。そのため、被検出機器の回路方式に対して適切ではない補

正を行った場合、逆に検出率が低下する恐れがある。家庭に対して供給される電圧は、電気事業法施行規則¹⁸⁾で $101 \pm 6V$ であることが定められており、実際にほぼ $100V$ 前後の電圧を保っている。実際に複数の家庭、複数の時間で電圧を計測したところ、変動が最大で $7V$ 以内に収まっていたことなどから、本論文の実装においては電圧変動の補正は行わないこととする。

3. 処 理

本章では、以上の特徴量を計算する処理と、特徴量を用いた機器の学習・検出処理について述べる。

3.1 特徴量算出処理

特徴量の算出は電源コンセント側で行う。以下にその手順を示す。

- (1) 処理回路は、AD変換器より電圧および電流の値を受け取る。
- (2) 受け取った値から、数周期分の平均値を算出する。1度もホームサーバに特徴量を送信していない場合や、この平均値が前回特徴量送信したときの平均値から一定値以上変化している場合、次の手順へ進む。もし変化が一定値に満たない場合は以下の処理を行わず、周期的に(1)から繰り返す。
- (3) 他の4種類の特徴量を算出する。電圧のゼロクロス点で機器に変化が生じた場合以外では、最初の周期は変化が起きた時間によって値が異なるため、特徴量の算出には変化検出時の最初の1周期分は用いない。特徴量は数周期の平均を用いる。
- (4) 算出された特徴量は、ホームサーバへと送信される。
- (5) ホームサーバより電源制御に関する指示を受信した場合、リレーに対してその制御を行う。
- (6) 以上を(1)から繰り返す

特徴量は交流1周期単位ではなく数周期を平均化して扱う理由は、1周期ごとに処理を行った場合、雑音の影響を受ける、スイッチング電源のように交流の周期ごとに制御されている回路では大量の特徴量を送信しなくてはならなくなるなどの問題が発生するためである。

3.2 機種、位置、状態検出処理

機種、位置、状態の検出はホームサーバにおける比較処理によって行われる。その家庭で初めて使用される機器の特徴量は、学習によってデータベースに登録する。2回目以降に使用される機器は電源コンセント部から送信されてくる特徴量とデータベースに記憶さ

れた特徴量の比較によって検出する。

以下に、学習の手順を示す

- (1) 利用者はホームサーバに学習を行う指示を出し、機種名を指定する。
 - (2) 所定の電源コンセントに機器を接続する。
 - (3) ホームサーバは送信されてくる特徴量を次々とデータベースに登録する。このとき、電源コンセント部の特徴量算出法は、3.1節とまったく同じである。
 - (4) しばらく機器を使い続ける。動作状態を変更可能な機器では一通りの変更を行う。そのため、1つの機器について複数の特徴量が学習される。
 - (5) 学習モードを終了させる。
- 次に検出方法について述べる。

- (1) ホームサーバは、宅内の複数のコンセントのいずれかから、特徴量が送られてくるのを待つ。
- (2) 特徴量が送られてきた場合、データベースを参照し、その特徴量に一致した特徴量を持つ機種を候補として残す。このとき、特徴量の算出が電流の一定変化ごとであり、また電源電圧変動もあることから、候補の絞り込みにはある程度の許容幅を持たせる。学習時の変化検出幅よりも小さいと、検出できない部分が生じるため、同一以上にすることが望ましい。
- (3) 候補が複数残っているときは、次の特徴量が送られてくるのを待ち、その特徴量についての再度候補の選出を行う。
- (4) 特徴量が候補として一番多く選出された機種を接続機種とし、特徴量を送信してきた電源コンセントの位置を、機器の接続位置とする。
- (5) 以上で機種と接続位置が判明しているため、電流の通電状態を確認できる。学習において、機器の動作状態に1つ1つに応じて状態名を付けて学習すれば、電源のオンオフ以外の状態も検出できる。機種名だけで学習されている場合は、電源のオンオフ、状態の変化の有無、待機状態や通電状態など電流値が大きく異なる状態の判別に限られる。

4. 実 装

以上で提案した手法を用いて、家電機器の消し忘れ防止システムを実装し、提案手法の有効性を検証した。実装にはイーサネットを介して接続されたパーソナルコンピュータを用い、それぞれ電源コンセントとホームサーバとして実装を行った。

電源コンセントには、電流検出抵抗と電源電圧分圧

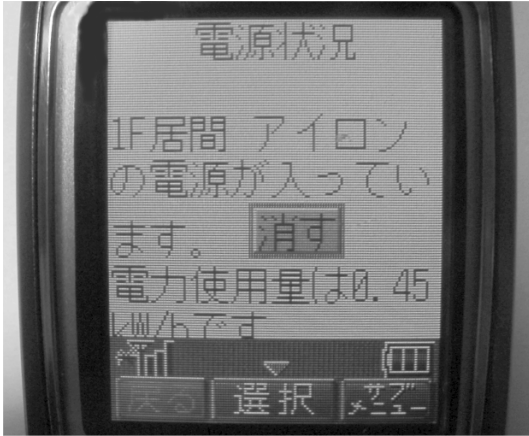


図5 携帯電話画面

Fig. 5 Display of cellular phone.

用の抵抗を挿入し、PCに内蔵されているステレオライン入力をAD変換器として利用するとともに取り込みを行い、特徴量の計算を行った。また、電源コンセントには電源制御用のリレーを内蔵させ、制御用のマイコンに接続し、ホームサーバからの指示に応じて電源の制御を行った。電流検出抵抗には $0.05\ \Omega$ のメタルクラッド抵抗を用いたが、実際にコンセントなどを製造する場合には発熱などの問題が生じるため、より小さな抵抗か、カレントトランスなどの素子を用いることが望ましい。電源コンセント側PCでは、最後に特徴量を計算したときの平均値から10%以上の変化を検出した時点で、特徴量を計算してホームサーバへ送信する。ホームサーバでは、受信した特徴量を学習済みの特徴量と比較して、該当する機種を決定する。

電熱機器や照明機器などを検出し、一定時間放置した場合、あらかじめ登録した携帯電話へ警告を促すメールを送信する。さらに、ホームサーバはHTTPサーバの機能を持ち、CGIによる機種や状態の確認や、電源の切断が可能である。確認画面には機器の名称と通電状態に加えて、通電開始からの積算電力が表示される。これは、利用者に積算電力を教えることで省エネ意識を持たせることを目的としており、世帯ごとの消費電力量を監視する省エネナビ¹⁹⁾と同様の効果を期待するものである。確認画面例を、図5に示す。

新たな機器を登録する際には、ホームサーバに機種名を入力するうえ、電源コンセントに機器を接続し、学習モードで一定時間動作させることで、ホームサーバに自動的に特徴量が登録される。

5. 評価

本章では、提案した手法の評価について述べる。

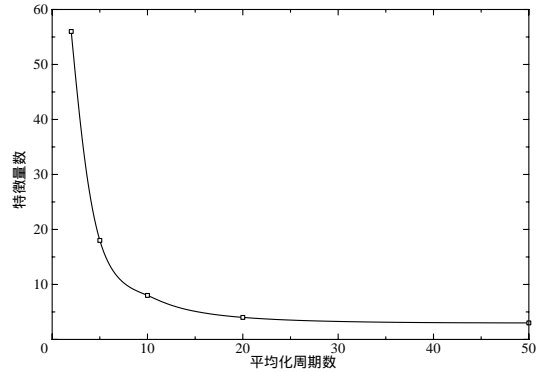


図6 平均化周期数と特徴量算出の回数

Fig. 6 Comparison between average cycles and numbers of calculation.

5.1 機器の条件

被検出機器は一般家庭にある機器とし、最初にすべての機器のデータを学習させ、学習したデータを用いて正しく認識できるか否かの評価を行う。

測定に用いたパーソナルコンピュータのAD変換部のSNRは、電圧側から電流側へのクロストーク込みで実効SNRは76.5dB、ピークSNRは69dBである。系の測定レンジは最大20A固定としている。

5.2 平均化する周期の評価

本手法において、3.1節で述べたように、1周期単位で特徴量の送信、比較処理を行うことは、ノイズの影響や比較処理回数の増加の面で問題がある。そこで、本節では平均化を行う周期数の決定のための評価を行う。

機器としては、観測したもののなかから最も変化が激しいものとして、一定出力電圧を保つために数周期で消費電流が変化するスイッチング式電源アダプタに一定負荷を接続し、平均化する周期数と検出される特徴量の数の関係を求める。測定時間は10秒、各10回の平均値である。この結果を図6に示す。

平均化する周期数が少ないときは、ほぼ電流の変化ごとに特徴量の算出が行われるため、特徴量の送信や比較処理回数が非常に多くなる。また、電源からの雑音の影響も出やすく、雑音を含んだ信号を学習した場合には、他の機器の特徴量の比較の際に誤った候補として残りやすくなるなどの悪影響を及ぼす。平均化周期数が増えるほど、特徴量の算出回数が減少するため、計算や比較の処理は減少する。同一の負荷がかかっているのであれば、特徴量もその状態で1つだけ算出されるのが理想的であるが、実際には何回もの特徴量算出が行われる。一方で、平均化周期数が多いほど、機器の状態変化ごとの特徴が薄れてしまう現象が起きる。

表 1 ビデオの動作検出の成否

Table 1 Misdetect of operation of VCR.

平均化周期数	待機	挿入	再生	取出
2				
5				
10				
20		x		
50	x	x		x

表 2 各機器の代表的特徴量

Table 2 Feature parameters.

機種	I_{avg} (A)	F_{pta}	T_d (ms)	T_{on} (ms)	F_p
ドライヤ 1	10.34	1.55	0.00	9.20	0.50
ドライヤ 2	10.90	1.54	-0.05	9.25	0.49
ドライヤ 3	12.81	1.55	0.00	9.20	0.50
ドライヤ 4	6.64	1.55	0.00	9.25	0.50
アイロン 1	8.72	1.53	-0.05	9.25	0.50
アイロン 2	7.10	1.55	0.00	9.20	0.50
布団乾燥機	5.40	1.51	0.13	9.25	0.55
エアコン	9.49	3.20	2.55	5.90	0.87
スタンド 1	0.22	6.33	-0.82	1.45	0.28
スタンド 2	0.25	7.14	-0.64	2.15	0.54
スタンド 3	0.15	7.75	-0.95	1.30	0.29
蛍光灯	0.29	1.71	-0.23	8.90	0.88
白熱灯	0.98	1.50	-0.05	9.10	0.50
空気清浄器 1	0.50	1.82	2.27	8.80	0.87
空気清浄器 2	0.29	1.64	0.00	9.10	0.62
テレビ 1	1.10	3.29	2.41	5.55	0.79
テレビ 2	0.85	4.85	0.41	5.55	0.34
テレビ 3	0.69	6.31	-0.64	2.85	0.25
ビデオ 1	0.45	5.14	0.05	2.35	0.35
ビデオ 2	0.38	4.18	-0.27	4.35	0.47
ビデオ 3	0.25	9.31	-0.12	3.75	0.21
ラジカセ	0.56	2.37	-0.73	8.05	0.64
CS チューナ	0.18	5.10	1.00	2.40	0.50
BS チューナ	0.28	4.80	0.09	2.95	0.37
アンブ	0.70	4.12	2.41	6.55	0.79
CD プレーヤ	0.19	3.85	1.25	5.55	0.63
ノート PC1	0.59	4.31	-0.64	2.85	0.34
ノート PC2	0.28	5.21	-0.18	2.65	0.62
ミキサ	7.58	1.68	1.64	7.75	0.60
掃除機	15.58	1.68	-0.64	7.75	0.77
携帯電話	0.10	6.36	0.10	6.55	0.30
シェーバ	0.06	4.39	0.05	5.55	0.58

たとえば、20 周期で動作状態が変化する機器では、50 周期の平均化を行った場合、複数の動作状態を平均した特徴量の算出が行われてしまう。そのため、1 つの操作で消費電流の大きさが様々に変化するビデオデッキ 2 台について、動作状態の特徴量を計算し逃すことがないかを確認する。確認作業は、ビデオデッキのコンセントを抜いた状態から開始し、待機状態、テープ挿入とローディング、5 秒再生、停止、取りだし、電源断の手順を行い、それぞれの動作が完了した時点で次の操作を行う。この評価では、まず各状態で 1 つ以上の特徴量が算出されること、つづいてその状態中に算出された特徴量のみを学習した状態にし、同状態のビデオが機器の候補となることを条件とする。その結果を表 1 に示す。

平均する周期が増えるにつれ、機械的な動作変化の激しいテープ挿入時から算出ミスが発生している。このことから、少なくとも 10 周期を超えるの平均化を行う場合、状態の取り逃しや動作状態どうしの混合が起こりうるといえる。そのため、本論文では、送信される特徴量の数を考慮したうえで、取り逃しが認められなかった 10 周期を平均化周期数とし、機種決定の検証を行う。

5.3 検出率の評価

検出率の評価のために、一般的な家電機器を用意した。ドライヤ 4 台、アイロン 2 台、布団乾燥機、エアコン、照明器具 5 台、空気清浄機 2 台、テレビ 3 台、ビデオ 4 台、その他 AV 機器 5 台、ノートパソコン 2 台、ミキサ、掃除機、シェーバ、携帯電話用充電器以上計 33 台である。学習は各機種 1 回のみとし、学習時間はアイロンなど状態変化に時間がかかる機器ではサーモスタットなどが作動するまでの数分間、他の機器は数十秒程度で終了させ、その間にいくつかの操作を行う。検出は、電圧変動などを考慮し日時を変え、各機種 10 回ずつ行う、1 回の検出は約 3 分とし、検出される機種を確認する。

今回の実験で用いた機器の学習された特徴量の総数は、今回の評価条件で合計 300 個以上となるため、ここでは各機種の特徴量の 1 つずつを抽出し、表 2 に

示す。 $T_{I_{start}}$ と $T_{I_{end}}$ の閾値は I_{peak} の 10% としている。これらの値は電源はオン、出力調整のある機器では最大とした状態の値である。

評価基準は、機種を正しく特定できるか否かとする。消費電流の平均値だけで比較し、絞り込みを行わない場合（電流値手法）、消費電流だけを比較に用いる機器の状態変化で候補の絞り込みを行う場合（電流履歴手法）、本論文で定義した特徴量を用いるが状態変化で絞り込みを行わない場合（特徴量手法）、特徴量を用いた複数の状態で絞り込みを行う場合（提案手法）の 4 種類を比較する。機器を誤って検出した場合を誤検出、候補が 2 つ以上残り決定できない場合を決定不能、通電の検出ができないもしくは候補がない場合を未検出とし、全試験回数からこれらの状態に陥った場合を除いたものを検出率とする。通電中に正しい機器から誤った機器へ唯一の検出機器が変化した場合や、その逆の場合は、どちらが正しいかの判別できないため誤検出とする。しかし、一時的な決定不能に陥った場合は通

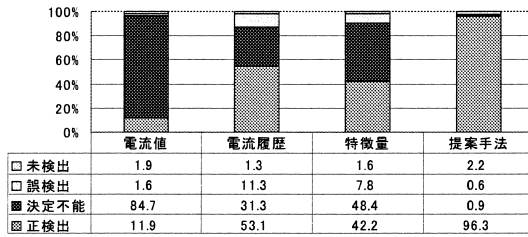


図7 検出率

Fig. 7 Detection ratio.

電状態が続けば機種の変更はありえないため直前の検出機器を保持する．比較結果を図7に示す．

電流値手法の場合、検出率は非常に低く、決定不能であることが多く、その場合は候補となる機種がきわめて多い．これは家電機器の消費電流の多くが数十から数百 mA の間に分布しているうえ、状態によって変動し、他の機器の消費電流と近い値をとることが多いためである．表2は一部の特徴量の抽出であるにもかかわらず、多くの機器の電流平均値が近い値を示していることから決定不能になることがうかがえる．今回の実験で電流値だけで検出可能なものは、布団乾燥機、白熱灯、掃除機、ドライヤ3だけである．

電流履歴手法では、状態変化をとまなう機器の検出率は大幅に上がるが、状態の変化しない器具や、状態が変化してもとりうる消費電力値の近い機器がある場合は判別が困難である．また、誤検出が多くなる．これは、候補が多く残り決定不能となっている状態において、電源電圧の変動や機器の状態変化のタイミングにより、誤った機種の候補数が正しい機種の候補数を上回ることがあるためである．以上から、機器検出に電流の大きさを用いるだけでは不十分であるといえる．

2.3.3 項で述べたように、ほとんどの家電機器の消費電流は、抵抗回路、動力回路、整流回路とその組合せに分類でき、本手法の特徴量は家電機器の消費電流の特徴を表すものとして定義している．本評価実験で用いた機器は、アイロン、照明機器（白熱灯）が抵抗回路に、空気清浄機、ミキサ、掃除機は動力回路に、照明器具（スタンド）、テレビ、ビデオ、AV 機器、ノートパソコン、シェーバ、携帯電話用充電器は整流回路に分類できる．その特徴は表2にも表れている．また、ドライヤや布団乾燥機などは抵抗回路である発熱体と動力回路であるファンの組合せであり、発熱体で消費される電流が大きいと、熱風を発生しているときは電力の大きな抵抗回路、冷風を発生しているときは電力の小さな動力回路と見なせる．機器の回路の規模や使用されている部品によってそれぞれの特徴量は増減するうえ、動作状態の変化などとともに特徴量は

変化する．

特徴量手法では、電流の平均値以外の要素が他の機種と重なり合わない場合、特に回路方式が異なる場合には検出率が上がるが、回路的に似通った機器が複数台登録されている場合には決定不能となる．ただし決定不能の場合でも、候補は少なくなっている．しかし、一時的に正しい機種が検出されても、その後に送信されてくる特徴量が別の機器の特徴量のみと一致する可能性が電流値手法より増え、誤検出が増える．

本論文の提案手法の場合には、機器の状態変化を利用しており、複数の特徴量を用いて候補を限定してゆくため、上記3手法で起こる決定不能状態や、一時的な誤検出状態を、複数の特徴量を用い最多候補を求めることで回避している．本手法でも決定不能と誤検出は認められる．これらは同一メーカーの系列機種となるドライヤ1, 2の2台を最大出力状態にし続けた場合に起こっており、ドライヤであるということまでは特定できるが、検出ミス的一种といえる．なお、すべての手法において、未検出の要因は携帯電話充電器である．検出可否は携帯電話の電池残量によって異なり、満充電状態で接続しても電流値がきわめて小さいため、未検出状態となる．以上より、本論文の提案手法は、一部の機種に対して検出ミスを生じるが、機種の検出に対して有用な手法であるといえる．

また、以下に評価実験で明らかになったいくつかの点をあげる．

- ドライヤなどの電熱機器は、出力を切り替えない限り状態は1つであるうえ、純抵抗負荷に近い．そのため、電源投入時から最大出力にしたままなどの場合、他の電力機器と区別しにくい．しかし、家庭における純抵抗負荷の大電力機器はほぼ限られているうえ、一定状態の機器でも突入電流や温度制御などがあるため、機器の種類までは間違えることはない．
- 機器が増えると検出は行いにくくなる．機種が異っても同じ用途の機器の場合、回路構成が似ており、近い特徴量が数多く学習されるためである．特に状態が変化しない機器ではこの傾向が強い．
- 充電式機器のように状態が徐々に変化する機器の場合、時間とともに電流が変化するため学習を長く行わないと未検出となる場合がある．
- 測定系のノイズフロアに近いものは未検出となる．充電器などでは充電量の初期値によってこの状態になり、本実験の携帯電話充電器が該当する．
- 同一型番の機器2台など、消費電流波形が同じものは同じ機種として検出される．型番などが異

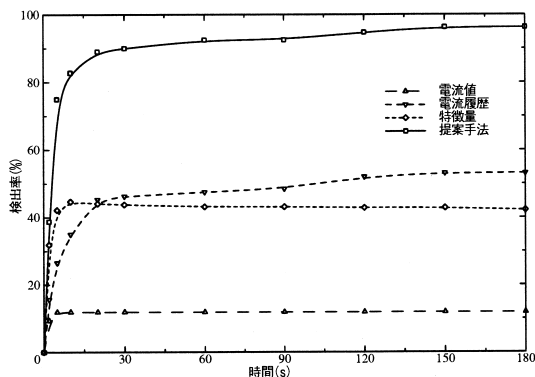


図 8 検出率の時間推移

Fig. 8 Temporal transition of detection ratio.

なっているもほぼ同一の回路で構成された機種、たとえば同一メーカーの系列機種などを別の機種として学習させると、決定不能や誤検出を起こすことがある。ドライヤ 1, 2 が該当する。

5.4 検出時間の評価

以上の検出にかかる時間の評価を行う。

履歴を用いない方法では、最初の特徴量が送られてきた時点で、候補が 1 つとなった場合に機種が決定される。候補が複数ある場合、候補が 1 つとなる特徴量が送信されてくるまでは決定不能である。特に電流値手法の場合に決定不能のままであることが多い。

履歴を用いる方法では、候補が 1 つであればその時点で決定されるが、前節の結果から明らかなように、複数の候補が残ることが多い。この複数の候補には通常は正しい機種が含まれる。候補となった回数を積算し、ある機種が他の機種より多く候補となった時点で、その機種を接続機種とするため、履歴を用いない方法では決定不能の場合でも、機種が決定が可能となる。この積算を行うと正しい機種が候補となる回数が多くなるため、一時的に候補から外れてしまうことがあったとしても、検出機種は変化しないため、誤検出も履歴を用いない場合に比べて低下する。前節の検出率の時間的推移を図 8 に示す。

各手法で正しく検出されたもののみの検出時間に着目した場合、履歴を用いない方が短時間で検出が行われることがグラフの立ち上がりから分かる。履歴を用いる場合、アイロンなどでは特徴量が少ないため、温度制御などによる状態の変化を待たなければならず、機種決定に 2 分以上かかることもある。しかし、検出率そのものは、特徴量の比較要素が同じものどうしでは、履歴を用いた方が高い値となっている。

6. まとめ

本論文では、消費電力に着目することで、在来家電機器の機種、位置、状態を検出する手法を提案した。さらに、この手法で検出した機器を宅外から制御可能とすることで省エネルギーと安全性を高めるシステムを提案した。本手法は、従来の機器をそのままに、電源コンセントに簡単な回路を加えることで実現している。導入費用を低く抑えるため、回路は単純なものとし、特徴量は算出が容易になるように検討した。今後登場する機器では制御用の回路やミドルウェアが搭載されることが考えられるが、コンセントに接続された台数分だけ発生する待機電力の問題や、コストの増加の問題などを解決するには時間がかかると思われるため、本システムは在来機器に対しても安全性と省エネルギー性を提供できる点で優れていると考える。コンセント単位での機器の位置検出を実現しているため家庭内の位置依存情報家電制御にも応用が可能であると考えている。

本手法では、機器の検出や電源の制御を実現しているが、特徴量学習時の操作性や、家電の状態の提示法などユーザインタフェース面を改良する余地があり、通電状態の検出を用いて子供による不用意な電源投入などで発生する危険を回避するなど、状況に応じたアプリケーションの提供も必要である。今後はこれらの点を改良するとともに、赤外線や LAN による制御と電源制御を組み合わせることで、可能な制御の種類を増やすと同時に、情報家電を含む常時通電機器によって増大傾向にある待機電力を減少させ、さらなる利便性と省エネルギーの向上を実現すること、コンセント部の回路と電流波形の検出を応用して機器の劣化や、故障による危険を検知することが今後の課題である。

参考文献

- 1) 田中真愉子, 工藤善道, 草野 恒: HAVi ミドルウェアのプロトタイプ開発, 情報処理学会情報家電コンピューティング第 1 回研究会, pp.107-108 (2001).
- 2) 山田 淳: 家電業界での動き: 家庭内機器のネットワーク技術「エコーネット」とその応用, 人工知能学会誌, Vol.16, No.3, pp.349-354 (2001).
- 3) 中西美一: 電力業界での動き: 家庭内統合サービス オープンラネット構想について, 人工知能学会誌, Vol.16, No.3, pp.355-360 (2001).
- 4) 環境省地球環境局: 民生家庭部門の削減ポテンシャル, 平成 12 年度温室効果ガス削減技術シナリオ策定調査検討会報告書, pp.1-14 (2001).
- 5) マイツアーホー. <http://www.tasikamete.net/>

- 6) 木村朝子, 加藤博一, 井口征二: WWW を用いた携帯端末からの家電製品制御, 情報処理学会第2回 MBL 研究会, pp.61-66 (1997).
- 7) Shih, S., Minami, M., Morikawa, H. and Aoyama, T.: An Implementation and Evaluation of Indoor Ultrasonic Tracking System for Location-aware Computing, 情報処理学会第17回 MBL 研究会, pp.146-153 (2001).
- 8) Ghidary, S.S., Tani, T., Takamori, T. and Hattori, M.: A new Home Robot Positioning System (HRPS) using IR switched multi ultrasonic sensors, *Proc. IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics SMC99 IV*, pp.737-741 (1999).
- 9) Bahl, P. and Padmanabhan, V.N.: RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System, *Proc. IEEE Infocom 2000*, pp.775-784 (2000).
- 10) 岩谷晶子, 古坂大地, 西尾信彦, 徳田英幸: 位置情報システムにおける無線 LAN 基地局情報の利用に関する考察, 第 62 回情報処理学会全国大会, pp.501-502 (2001).
- 11) Rekimoto, J. and Ayatsuka, Y.: CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags, *Proc. Designing Augmented Reality Environments (DARE 2000)*, pp.1-10 (2000).
- 12) 井上智史, 伊藤雅仁, 近藤友宏, 大亦寿之, 重野 寛, 松下 温: 家庭内の既存機器の種類・位置特定システム, 第 64 回情報処理学会全国大会, Vol.3, pp.497-498 (2002).
- 13) 国土交通省住宅局住宅生産課: インターネットアクセスの円滑化に向けた新築共同住宅情報化標準 (2002).
- 14) Saito, T., Tomoda, I., Takabatake, Y., Ami, J. and Teramoto, K.: Home Gateway architecture and Its Implementation, *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol.46, No.4, pp.1161-1166 (2000).
- 15) 西村浩二, 前田香織, 相原玲二: 遠隔機器制御プロトコル RACP のフレームワークとその応用, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.12, pp.83-88 (2001).
- 16) 西村浩二, 前田香織, 相原玲二: 遠隔機器制御プロトコル RACP のフレームワークとその応用, 情報処理学会情報家電コンピューティング第 1 回研究会, pp.83-88 (2001).
- 17) 副島一之, 野中正雄, 牧野秀雄, 内山一正: ハンディブック電気, オーム社 (1975).
- 18) 経済産業省: 電気事業法施行規則第 44 条 (1995).
- 19) (財)省エネルギーセンター: 省エネナビ.
<http://www.eccj.or.jp/navi/>

(平成 14 年 6 月 24 日受付)

(平成 14 年 11 月 5 日採録)



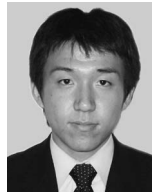
伊藤 雅仁 (学生会員)

1998 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。2000 年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。現在, 同大学大学院理工学研究科後期博士課程在学。東京工科大学片柳研究所助手 (有期)。モバイル・コンピューティング, 情報家電, デジタル放送の研究に従事。2000 年情報処理学会高度交通システム研究会優秀研究報告賞受賞。電子情報通信学会員。



大亦 寿之 (学生会員)

2001 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在, 同大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻情報通信メディア工学専修修士課程在学。デジタル放送の研究に従事。



井上 智史

2002 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在東京海上火災保険株式会社に在職。



重野 寛 (正会員)

1990 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1997 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。1998 年同大学理工学部情報工学科助手 (有期)。現在, 同大学理工学部情報工学科専任講師, 工学博士。無線 LAN の構成法と媒体アクセス制御方式, 計算機ネットワークにおけるステーション移動サポート, モバイル・コンピューティング, アクティブネットワーク, 遠隔教育システム等の研究に従事。著書「～ネットワーク・ユーザのための～無線 LAN 技術講座」(ソフト・リサーチ・センター)†, 「コンピュータネットワーク」(オーム社) 等。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。



岡田 謙一(正会員)

慶應義塾大学理工学部情報工学科教授，工学博士．専門は，グループウェア，コンピュータ・ヒューマン・インタラクション「コンピュータヒューマンインタラクション」(オーム社)，

「コラボレーションとコミュニケーション」(共立出版)をはじめ著書多数．情報処理学会誌編集主査，論文誌編集主査，GW研究会主査等を歴任．現在，GN研究会運営委員，BCC研究グループ幹事，日本VR学会仮想都市研究会副委員長．1995年度情報処理学会論文賞，情報処理学会40周年記念論文賞，2000年度情報処理学会論文賞受賞．IEEE，ACM，電子情報通信学会，人工知能学会各会員．



松下 温(フェロー)

1963年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業，1968年イリノイ大学院コンピュータサイエンス専攻修了．現在，東京工科大学片柳研究所教授兼コンピュータサイエンス学部設置準備室長，慶應義塾大学情報工学科客員教授．博士(工学)．マルチメディア通信，コンピュータネットワーク，グループウェア等の研究に従事．情報処理学会理事，副会長，DPS研究会委員長，GW研究会委員長，電子情報通信学会IN研究会委員長等歴任．現在，情報処理学会ITS研究会委員長「201x年の世界」(共立出版)等著書多数．情報処理学会より1993年ベストオーサ賞，1995年および2000年論文賞，2000年40周年記念90年代学会誌論文賞，2001年功績賞等受賞．電子情報通信学会フェロー，人工知能学会，フuzzy学会，IEEE，ACM各会員．