

消費電力特性を利用した既存家電機器の遠隔制御システム

柴垣 早映子† 伊藤 雅仁†

本論文では、家電機器が制御された際の消費電流特徴量を算出することにより、家電機器の機種や状態の把握を行い、機器を管理するサーバ上に UPnP デバイス・ディスクリプションを機器ごとに生成することにより、他のネットワーク家電とも互換性を持つ、既存家電機器の遠隔制御システムを提案する。また、本システムを初めて利用する際には家電機器の特徴量をあらかじめサーバに学習させておく必要があるため、この消費電流特徴量の自動的な学習を行うことにより、家電機器をホームネットワークへ容易に参加させることが可能である。本稿では、従来のシステムの問題点を示し、新たに開発したシステムの設計、実装、評価について述べる。

A remote control system of conventional appliances using power consumption characteristics

SAEKO SHIBAGAKI† and MASAHITO ITO†

In this paper, we grasp a model and a state of home appliance by calculating quantity of power consumption characteristic when home appliance was controlled and we generate in UPnP software stack on server managing appliance and suggest a remote control system of the existing home appliance which has compatibility with other network home appliances. In addition, we can come to let home appliance participate in a home network easily by automatic learning of quantity of power consumption characteristic to have to let we learn characteristic of home appliance beforehand when we use this system for the first time.

1. はじめに

近年、情報家電や AV 機器など、複数の家電機器が相互接続を可能とするホームネットワーク技術の普及により、遠隔からの機器制御や機器同士の連動などが可能となりつつある。このようなホームネットワークの仕様としては、AV 機器を主な対象とした代表的なものに HAVi (Home Audio/Video Interoperability) ¹⁾、白物家電の統合的な制御によりエネルギー消費量の削減を目的とした ECHONET²⁾、また家電機器とコンピュータを接続するための仕様である UPnP (Universal Plug and Play) ³⁾など

の標準規格があり、ミドルウェアや通信デバイスが定められている。家電機器をこれらの仕様に対応させるには、ネットワークへの通信デバイスとしてイーサネットや IEEE1394、電灯線搬送などを装備する必要があり、さらにこれらの仕様に準拠したミドルウェアを実装させなくてはならない。このことは家電機器の価格上昇の原因となる上、ホームネットワーク技術を用いた機器制御機能を利用するためには、まだ使用可能な既存家電機器の買い換えも必要となり、利用者の負担を増大させることになる。また、一機種だけネットワーク家電を家庭内に導入したとしても、機器同士の連携を前提とした機能は利用できない。家庭内において、機器の相互接続機能を活用しようと考えた場合、すでに家庭に存在する他の家電機器の買い換えも必要になる。そのため、既存の家電機器もホームネットワ

† 東京工科大学 大学院バイオ・情報メディア研究科
Graduate School of Bionics, Computer and
Media Sciences, Tokyo University of Technology

ークに参加でき、ネットワーク家電のように扱える制御機構が提供されることが望ましいと考えられる。

以上のような現状において、著者らは、既存の家電機器に対しても、遠隔から赤外線による制御を行い、その動作確認を確実にできるシステム⁴⁾を開発してきた。AV機器やエアコンなどの一般的な家電機器には主電源のON/OFFだけでなく、様々な機能があり、このような機器の操作には、赤外線リモコンを用いることが多い。そこで本システムでは、赤外線受信機能を持った家電機器を、赤外線リモコンで操作したときの各機器における消費電流の変化を検出し、その特徴量が以前と同じ動作が行われた際に検出した特徴量と同じであるかを比較することで、確実に機器が動作したかを確認する。これにより、遠隔から視覚による動作確認が困難な家電機器を制御した場合においても、確実な動作確認が可能となる。また、消費電流の検出は、家電機器を接続する、電流検出回路と通信デバイスを内蔵した電源コンセントにて行うため、家電機器自体に、ネットワーク家電には必須のミドルウェアなどを実装する必要はない。よって、このコンセントに家電機器を接続するだけで、あたかもネットワーク家電のように扱うことができる。

しかしながら、本システムは、各家電機器の状態を、以前使用した際に検出した消費電流特徴量（以下、特徴量とする）と比較することにより把握するため、あらかじめ使用したい家電機器の特徴量を、サーバに一制御ずつ学習させる必要があった。これはシステム利用者にとって、手間のかかる作業であり、本システム導入の妨げとなっていた。また、携帯電話などで、インターネットを介してサーバにアクセスすることにより、各家電機器の制御や、状態を把握することが可能ではあるが、他のネットワーク家電からは、本システムで利用するコンセントの存在は認識することはできるものの、そのコンセントとはミドルウェアレベルでの互換性をもたない。そのため、どのような家電機器が家庭内にあるかは認識できず、ネットワーク家電の一特徴である機器同士の連動には対応することができなかった。

そこで、本稿では、家電機器が接続されたコンセントの管理を行っているサーバ上に、各家電機器を擬似的にUPnP対応機器として認識させるためのUPnPデバイス・ディスクリプションを動的に生成することで、他のネットワーク家電と既存の家電機器との互換性を持たせ、家庭内にあるこれらの家電機器を統一的に制御・管理できる

ことを可能とするホームサーバシステムを提案する。また、そのシステム上で、家電機器の識別や状態確認を行うために必要な、各家電機器における特徴量の自動学習手法について提案する。

2. 既存家電機器の遠隔制御手法

2.1 関連研究と要求分析

家電機器に新たなデバイスを搭載させることなく遠隔から制御できる手法としては、パソコンに接続することで、携帯電話などから遠隔でリモコン操作のできるもの⁵⁾や、遠隔機器制御用の特別なプロトコルを用いて、赤外線リモコンから家電を制御する手法⁶⁾が提案されている。しかし、家電機器が正しく動作したかを確認するには、目視で確認する必要があるため、外出先からでは動作状況の確認が困難である。よって、機器を遠隔から制御するためには、機器の動作状態を把握することが必要となる。そのため、機器の動作状態の検出手法として、機器への制御命令をもとに、制御システム内で、機器の状態遷移をシミュレートする手法⁷⁾や、赤外線リモコンから送られてくる制御信号と消費電流の変化を組み合わせた手法⁸⁾などが報告されている。しかし、機器が直接操作されたり、制御信号が正しく受信できなかったりした場合、また、他の赤外線リモコンからの制御信号を受信するなどといった要因により、機器が予想外の動作を起こした場合には家電機器の状態を誤って把握することになる。また、機器に同一の制御命令を送信する場合においても、命令受信前の動作状況によって、命令受信後の機器動作は異なることがあるため、消費電流の変化量を見るだけでは、利用者の思い通りに機器が動作したのかを確認することはできない。そこで、本システムのように、機器を制御した際の特徴量から、機種や状態まで把握することができれば、このような問題は解決できる。

2.2 従来システムの問題点と改善方法

以上で示した要求分析に基づき、著者らは過去において、既存の家電機器に対しても遠隔から赤外線による制御を行い、機器の特徴量から機種、状態を確認することにより信頼性を高めた遠隔制御システムの構築を行った。しかし、本システムは、各家電機器の状態を、以前使用した際に検出した特徴量と比較することにより把握するため、あらかじめ家電機器の特徴量を、サーバのデータベースに学習させていく必要がある。一制御ずつ家電機器を動作させ、そ

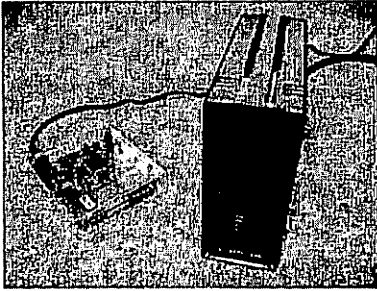


図2 スマートコンセント

3.2 スマートコンセント

本システムでは、消費電流検出のための機能と通信デバイスを内蔵したスマートコンセント¹⁰⁾を利用する(図2参照)。電流検出素子、AD変換器、処理回路、制御用リレーから構成される回路が増設されており、接続された機器の消費電流と機器に印加される電源電圧をAD変換し、その振幅や波形から5つの特徴量を算出する。特徴量は、無線LANを介してホームサーバへと送信する。

利用する特徴量としては、実際に家電機器の消費電流を観測した結果と、スマートコンセントに内蔵したマイコンの処理能力を考慮した上で決定した。また、ノイズの影響を受けにくくするため、交流の周期毎の各特徴量を算出し、その値の数周期分を平均したものを最終的な特徴量とした。本提案では、電流平均値 I_{avg} 、電流ピーク値 I_{peak} 、消費電流と電源電圧のピーク時間差 T_d 、通電時間 T_{on} 、ピーク遅延率 F_d を、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、電流の平均値の変化を検出することに5つの特徴量を算出し、機器の特徴量として追加する。これにより、1台の機器は状態変化に対応した複数の特徴量を持つことになり、一度特徴量の検出を行うと、機種や状態を把握することができる。

さらに、電源断統制御のための機能や、機器が接続されたかを感知する機能が備わっており、必要に応じてサーバへと情報を送信することが可能である。

4. 家電機器の新規導入

本システムには、電源電流の変化が起きたときの特徴量、時刻、位置、機種名などをまとめ、スマートコンセントから送信されてくる特徴量を蓄積していくデータベースが構築されており、これを参照することで家電機器の機種や状態の特定作業を行う。そこで、本章では、制御命令の管

理を行う「FLIR」と、特徴量の管理を行う「HORNET」、それぞれのデータベースを利用して、家庭内に、新規で家電機器を導入する際の制御命令の登録と、特徴量自動学習の手法について述べる。

4.1 制御命令の登録

家電機器を、家庭内で初めて使用する際には、制御命令や特徴量をあらかじめ学習させておく必要がある。従来方式では、赤外線信号の登録や、一制御ずつ家電機器を動作させながら機種名や状態名をシステムに登録していく作業を、手動で数十回、繰り返し行う必要があるため、登録のし忘れなどを含め、利用者にとって、手間・時間のかかる作業であった。そこで、最小限の操作で、特徴量と制御命令の自動学習が行えるようにデータベースシステムを改良する。

機器の制御命令の登録手法として、著者らは、家電機器のカテゴリごとに、遠隔からの機器制御を行いたい機能はある程度定められていることに着目した。例えば、ビデオデッキの場合は電源のON/OFF、再生、停止、倍速切替、録画などの機能が各メーカーで標準的な機能として備わっている。また、「遠隔から制御したい機能」と限定すると、アイロンの場合、ほとんどの製品に温度調整機能が備わっているが、遠隔から制御する必要はなく、電源のON/OFFさえ操作できればよいと考えられる。よって、家電機器のカテゴリと、メーカー、機能別に分けられた赤外線信号を、「遠隔から制御したい機能」を考慮して、データベースにあらかじめ登録しておくことで、赤外線信号の登録処理を簡略化する。

4.1.1 FLIRへの登録方法

家電機器のカテゴリと、その機器ごとに必要となる制御項目が対応づけて登録されているデータベースシステム「FLIR」を構築した。また、赤外線リモコンで制御可能な家電機器の場合、各メーカーのテレビやビデオデッキ、DVDプレーヤなどの赤外線信号がまとめて記録されているマルチリモコンが販売されているが、このようなりモコンを利用して、あらかじめ赤外線信号の把握できるものに関しては、必要な制御機能の信号を登録しておく。

本システム利用者は、未登録の家電機器を導入する場合、家電機器カテゴリの選択と、機種・状態名の指定をして、本システムに接続された赤外線学習リモコンを利用することで、赤外線信号の登録を行う。ここで、本データベースに登録されていない制御項目を登録したい場合には、制

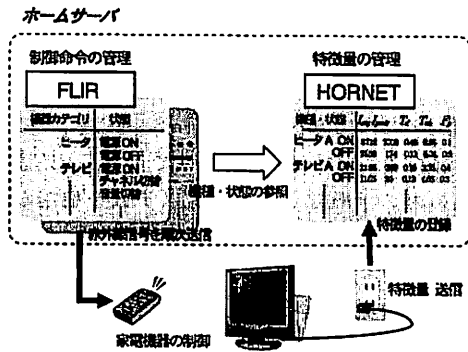


図3 FLIR, HORNET での特徴量学習

御項目と赤外線信号の両方を登録する。また、赤外線信号を利用しない機器で、供給電力の ON/OFF のみを行いたい場合には、とくに設定を行う必要はない。

4.2 特徴量の自動学習手法

制御命令や、赤外線信号の登録を終えると、機種・制御毎の消費電流特徴量を学習させる必要がある。この、特徴量の蓄積と、自動学習を行うデータベースシステムを構築し、「HORNET」と名付けた。

自動学習を行うためには、FLIR で登録した制御命令情報をもとに行う。また、学習の効率化を図るために、機器カテゴリごとに、あらかじめ予想できる制御順序を登録しておくことで、赤外線信号などの制御命令は、自動的に家電機器へと送信できるようにする。例えばビデオデッキの場合では、電源の ON→録画→巻き戻し→再生→早送り→電源の OFF というように、赤外線信号同様、メーカーを問わず、標準的な機能は備わっている。電源が OFF の時に再生や巻き戻しなどの制御が不可能な機器もあるため、このような事情を考慮して、機器の制御順序をあらかじめ登録しておく。よって、システム利用者がその都度リモコンで家電機器を操作する必要はない。以下に、HORNET で特徴量の自動学習を行う手順を示す。

4.2.1 HORNET での自動学習手順

特徴量学習の流れを図3に示す。ここでは、FLIR で、新規に導入したい家電機器の家電機器カテゴリの選択と、機種・状態名の指定をして、赤外線信号が学習されているものとする。

- (1) 利用者は、FLIR で登録した機種名を選択し、スマートコンセントに家電機器を接続する。

- (2) 家電機器に対して、サーバに接続された赤外線リモコンが向けられていることを確認して、特徴量学習の指示を送る。
- (3) ビデオデッキの場合であると、先ほど示したような制御順序で赤外線信号を送信していく。また、消費電流の変化が起きたときにスマートコンセントより特徴量が送られてくるので、制御命令と特徴量とを対応づけて、データベースに登録する。ここで、赤外線信号の送信間隔は、特徴量の変化に少し時間がかかるため、ある程度の間隔を保つようにする。
- (4) 雑音の影響を考慮するため、(3)の動作を数回繰り返し、特徴量を平均化していく。

このような処理を行うことにより、利用者は、一制御ずつ家電機器を制御しながら特徴量を学習させる必要はなく、機種名を指定するだけで特徴量の学習が可能となる。

5. 家電機器の機種・状態識別

4.2 で示したデータベースシステム「HORNET」では、家電機器の機種・状態別の特徴量を蓄積しており、このデータベースの情報と、スマートコンセントから送られてくる特徴量を比較することにより、家電機器の機種、位置、状態の検出を行う。本章では、HORNET を利用した、家電機器の機種・状態の識別手順と、データベースの更新処理について述べる。また、HORNET システムの構成を図4に示す。

5.1 機種・状態の識別手順

家電機器が制御されることで、消費電流の変化が起きると、スマートコンセントから、その特徴量が送られてくる。本項では、あらかじめシステムに登録してある機器を制御した際の、機種・状態を識別する手順について示す。

- (1) HORNET で、宅内に存在する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。また、そのときの日時、位置を情報に付加する。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範囲を持たせる。
- (3) 候補が複数残っている場合には、次の特徴量が送られてくるのを待ち、その特徴量を参考に、再度候補

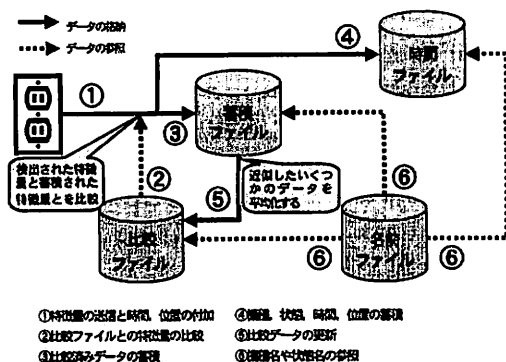


図4 HORNETシステム構成図

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コンセントの位置を、機器の接続位置とする。
- (5) 特定した機種の特微量と送信されてきた特徴量を比較し候補を挙げていく。候補が複数存在した場合、許容範囲を狭めてさらに絞り込み、候補の挙がるものが1つならば、その状態を接続機種の現在の状態と特定する。

5.2 データベースの更新処理

スマートコンセントに接続された家電機器の機種・状態の特定後、その結果を蓄積ファイルの機種ごとに用意されたファイルに、機種、状態、特徴量を蓄積するとともに、時間ファイルにも機種、状態、動作時刻、位置などを蓄積する。各状態のデータが一定量蓄積ファイルにたまると、その状態における近似した幾つかのデータを平均し、比較ファイルを更新する。更新は、その状態における最も古いデータと新しいデータを置き換えることで行う。これは、家電機器が経年劣化によって、消費電流に変化があらわれることを考慮したものである。また、名前ファイルは機種・状態名が蓄積されており、他のファイルは必要に応じてこのファイルを参照し、機種名や状態名を得ることができる。なお、近似した特徴量からの機種判別については、各データを点に置き換え、特徴量を座標として各特徴量データとの2点間の距離を計算することで判別していく。

6. 家電機器管理システム

本システムでは、様々な家電機器を宅外から制御するため、サーバに接続された赤外線リモコンより、赤外線信号を送信することで、各機器の制御、動作の確認をして利用者に通知する。この一連の作業や、4で示した家電機器の導入の際の手順などを行うシステムを構築し、「LANTIRN」と名付けた。LANTIRNは、制御命令や特徴量を管理するデータベース FLIR, HORNET を参照することで、機器の制御や動作確認が可能となる。また、システム利用者のためのユーザインタフェースを提供する。

6.1 家電機器の制御手順

本項では、LANTIRNを利用して家電機器を制御した場合のシステムの流れを示す。

- (1) 機器制御の指示が送られてくるのを待つ。
- (2) 指示が送られてきた場合、FLIRを参照し、指示された機種・状態に基づいた赤外線信号を機器に送信する。ここで、赤外線受信機能のない機器の制御や、電源電流の断続の指示が送られてきた場合には、スマートコンセントに設けられたリレーを動かすことで、電源電流の制御を行う。
- (3) 機器が制御されると、スマートコンセントから特徴量が送信されてくるため、HORNETを参照して、機種・状態の特定を行う。
- (4) 機器制御の指示内容と、機種・状態の情報を比較し、同じであれば、システム利用者に動作結果の通知を行う。

LANTIRNは機器制御の指示を受け取ると、その時刻 T_{start} を取得しておく。また、動作確認が終了した時刻 T_{end} を取得して、 T_{end} から、インターネットを利用することや機器状態検出によるタイムラグを考慮するために数秒待ち、 $T_{start} \sim (T_{end} + \text{待ち時間})$ の間で機器の動作を確認できた場合は、制御の完了通知、確認できなかった場合にはエラー通知を行う。

6.2 家電内の機器管理

スマートコンセントに家電機器が接続されると、スマートコンセントと本システムの利用で遠隔制御が可能になった既存家電機器と、他のネットワーク家電とで互換性を持たせるために、家電機器が接続されると擬似的に UPnP 対応機器として認識できるように、接続された機器ごとに

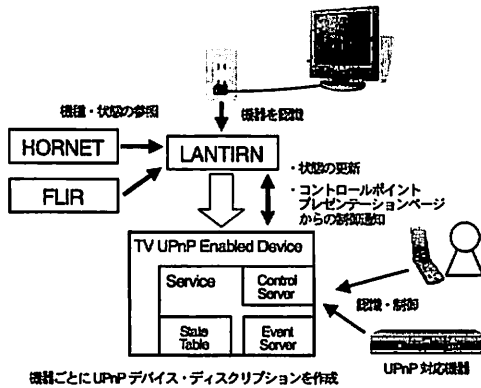


図5 UPnPソフトウェアスタックの作成

UPnPデバイス・ディスクリプションを動的に作成する(図5参照)。

機器がスマートコンセントに接続されただけでは、機種の判別はできないために、一度電源 ON/OFF などの操作を行い、機器を動作させることで、LANTIRNは接続された機器を認識し、サーバ上に、その機器に対応したUPnPデバイス・ディスクリプションを作成し、アドバタイズする。UPnPデバイスのサービスは、HORNETやFLIRを参照して、機器の状態や、使用できる機能などをリストとして保持することで、他のネットワーク機器はディスクリプションを取得し、UPnPソフトウェアスタックを通じてLANTIRNは機器の制御指示を受け取ることも可能である。また、それぞれの機器がプレゼンテーションページを持つため、システム利用者は、携帯電話などから機器を制御したい場合、どのページにアクセスすれば、目的の機器を制御できるのかわかりづらい。そこで、LANTIRNのプレゼンテーションページに、LANTIRNを利用して制御する機器と、他のUPnP対応機器全ての状態を把握、制御できるページを作成し、状況毎に更新する。機器のプラグがスマートコンセントから引き抜かれた場合は、スマートコンセントがそれを感知し、生成されていたUPnPデバイス・ディスクリプションを無効にする。

7. 実装と評価

以上で提案した手法を用いて、FLIR, HORNET, LANTIRNのそれぞれのシステムを実装し、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

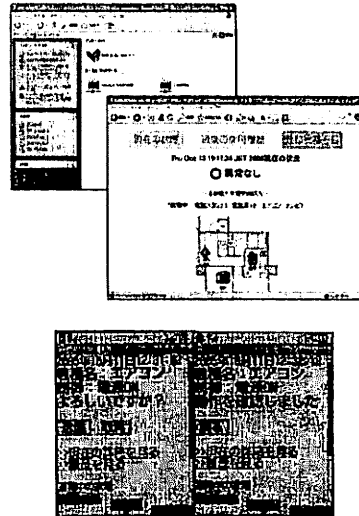


図6 プレゼンテーションページ

れたパーソナルコンピュータをホームサーバとして利用し、家電機器を実際に制御することで、提案したシステムの評価を行った。ホームサーバには、HTTPサーバやメールサーバの機能を持たせており、システム利用者は、プレゼンテーションページ上で機器の制御や確認(図6参照)、さらに機器の状態に応じてメールで通知するサービスも備わっている。また、これらの操作は、サーバ上のアプリケーションからも可能である。

7.1 機器認識率の評価

一般的な家電機器を数台用意し、特徴量の学習回数を変化させて、機器認識率の評価を行った。その結果を図7に示す。家電機器の電源が入られたときにHORNETで機種の判定を行い、正しい機器名の認識が可能であったかを確認する。同図より、学習回数が多くなるほど機器の認識率が高くなることがわかる。これは、学習回数が少ない場合、雑音や学習のタイミングによる特徴量の変動の影響を受けやすく、学習回数が増すと、これらの影響を抑えることができ、特徴量からの機種・状態判別が正確に行えるためである。この結果より、機器を新規で本システムに登録する場合は、全ての機器が正しく認識され、認識率が100%となる学習回数20回の特徴量を自動学習させることにした。また、機器の使用回数が多くなるほど、特徴量の学習回数も増していくことから、より正確な特徴量を蓄積することができ、機器の認識率が向上する。

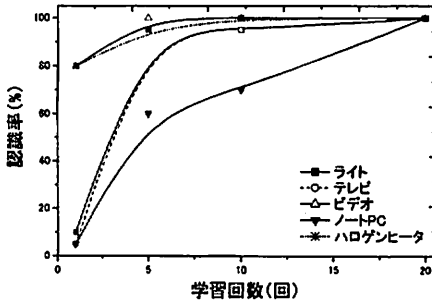


図7 家電機器の認識率

7.2 システムに関する評価

赤外線信号の送信順序を機器カテゴリごとにあらかじめ登録しておき、その順に家電機器を制御していくことで、状態別に特徴量を学習させるのに要する時間や手間を大幅に削減することができた。手動で機器の学習を行った際と、特徴量の数値が異なることはないが、特徴量の学習し忘れや、学習回数の不足などの登録ミスを防ぎ、利用者が幾度も機種名の登録と赤外線リモコンの操作を繰り返さなくてよいことから、実際の使用時における機器の認識率低下を防止することにもつながる。

また、家電機器を正しく認識することで、その機器に対応した UPnP デバイス・ディスクリプションをサーバ上に生成し、他の PC からも、UPnP デバイスとして認識することができた。プレゼンテーションページにおいて、家庭内の機器を統合的に管理することも可能であるため、操作性や、他の機器との協調管理、ユーザインタフェース面での使いやすさなど改善を図ることができた。

8. 結論

本稿では、既存の家電機器を遠隔から制御・管理するシステムを提案し、家庭内にある全ての機器を統一的に管理できるホームサーバシステムの開発・評価を行った。本システムでは、消費電流の特徴量より機種や状態変化の検出を行うことで、機器の状況を正確に把握することが可能となる。さらに、この特性を利用して、機器をコンセントに接続して制御を行うことで、サーバでの登録作業を行うことなく UPnP デバイスとして認識・管理が可能となり、他のネットワーク家電とも互換性の持つ機器管理が行えることを確認した。また、本システムに未登録の家電機器を導入する際に必要な消費電流特徴量を、自動学習することが可能となったため、従来システムと比べ、より信頼性や

利便性が向上したと言える。

今後は、機器検出アルゴリズムの改良などにより、システム全体としての、動作の高速化や、学習時間の短縮などについて検討する予定である。

参考文献

- 1) HAVi: <http://www.habi.org/>.
- 2) ECHONET: <http://www.echonnet.gr.jp/>.
- 3) UPnP フォーラム: <http://www.upnp.org/>.
- 4) 柴垣早映子, 伊藤雅仁, 宇田隆哉, 市村哲, 田胡和哉, 星徹, 松下温: 消費電力検出により信頼性を高めたウェブベースの既存家電機器のリモコン制御, DICOMO2004, pp.457-460 (2004).
- 5) クロッサム+USB: <http://www.sugi-ele.co.jp/>.
- 6) FII-RII: <http://takaratomy.co.jp/>
- 7) 河野英太郎, 新谷和司, 前田香織: インターネットを用いた赤外線リモコンによる一般家電遠隔制御, 情報処理学会研究報告, 2001-DSM-022, Vol.2001 No.80 pp.33-38 (2001)
- 8) 疋田和久, 片山喜章, 高橋直久: 既存家電を含めた状況認識型家電制御システムの提案と実現, 情報処理学会研究報告, 2003-UBI-002 Vol.2003 No.115 pp.189-194 (2003).
- 9) 栗山央, 峰野博史, 妹尾康宏, 古村高, 水野忠則: 既存家電製品の遠隔制御を実現する HAT の開発と評価, 情報処理学会研究報告, 2006-MBL-036 Vol.2006 No.14 pp.49-54 (2006).
- 10) DLNA: <http://www.dlna.org/home/>.
- 11) Ito, M., Uda, R., Ichimura, S., Tago, K., Hoshi, T., Matsushita, Y.: A Method of Appliance Detection Based on Features of Power Waveform, *IEEE/IPSJ Symposium on Application and the Internet SAINT2004*, (Jan. 2004)