

既存家電の消費電流監視および 電源制御を可能にする智能化電源タップ

福井類 後迫弘明 下坂正倫 野口博史 森武俊 佐藤知正(東京大学)

An Intelligent-Outlet-Tap for Controlling and Monitoring Legacy Appliance

Rui Fukui, *Hiroaki Ushirosako, Masamichi Shimosaka, Hiroshi Noguchi, Taketoshi Mori,
Tomomasa Sato(The Univ. of Tokyo)

Abstract— This paper describes a safe and energy-saving system which controls on-off and monitors current consumption of legacy appliance. To achieve the system, the Intelligent-Outlet-Tap should be developed. Composition of three parts of the tap, a communication part, a current measurement part and a current control part, is considered and the implementation method is described. Especially, it was confirmed whether mechanical relay or solid state relay was suitable for current control. Current data collected by sensor equal with sensor of the Intelligent-Outlet-Tap confirmed there was room where the difference and the common feature of the appliance were able to be extracted.

Key Words: Automatic On-off Control Legacy Appliance, Mechanical Relay, High Permeability Permalloy Core, ZigBee

1. 緒論

近年、省エネなどへの意識の高まりから家電のネットワーク化および電源の監視や制御が重要になってきている。家庭で使われている機器がネットワークに接続されることで、省エネをはじめ家庭内での人間支援がより充実したものとなる。このような試みは広く行われている [1][2]。しかしながら、家電の消費電流監視や電源制御を行うには、情報家電を新たに購入するか既存の家電に新たにセンサなどを装着しなければならない。このためコストや手間の観点から一般家庭には容易に普及しない。そこで、本研究では既存の電源タップのような感覚で導入できる智能化電源タップと、人感センサなどを組み合わせた簡便なシステム構成において既存家電の消費電流監視やオン・オフ制御が可能にするシステムを提案する。本論文では、智能化電源タップの構成の検討および試作について述べ、それによって取得される消費電流データがオン・オフ制御パターンの構築へと応用可能か否かについて述べる。

2. 智能化電源タップ

電源のオン・オフを遠隔で切替可能であったり、電流の計測が可能なデバイスは既にいくつか存在しているが [3][4]、いずれも電流計測、電源制御、他デバイスとの連携など全ての機能を十分に満たしているとはいえない。そこで、本研究ではこれらの機能を満たす智能化電源タップの試作を行った。智能化電源タップは主に「通信部」、「電流計測部」、「電流制御部」の3つの部位から構成される。以下に各部の実現方法について述べる。

2.1 通信部

本研究では、設置や移動の簡便性から、智能化電源タップと他の機器との通信に無線通信を用いる。代表的な無線通信方式として無線 LAN, ZigBee, Bluetooth

などがある。無線 LAN は通信自体に大きな電力を消費する点、Bluetooth は ZigBee に比べ消費電力が大きく、多数でのネットワーク構築にも向いていないことから、無線通信規格として ZigBee を採用することにする。ZigBee とはホームネットワークの用途に期待されている無線通信規格であり、低消費電力、多数ノードでのネットワーク構築が可能といった利点があるので、本研究での用途に適合しているといえる。一方で、低速、通信距離が短いといった欠点があるが、家庭内では通信距離はさほど問題にならず、通信速度も計測電流のモニタリングや電流制御部の切替などの用途であれば十分であると考えられる。

2.2 電流計測部

本システムでは接続された機器の消費電流から機器の識別や分類を自動で行うことを想定している。そのため、一般的な家庭電化製品を計測することを考慮し、電流計測の分解能は数 10(mA) 以下、計測レンジは 15(A) 程度までとした。また、智能化電源タップに組み込むことを考慮するなるべく小型なセンサであることが望ましい。そこで、本研究では高透磁率パーマロイコアの採用によりワイドレンジをカバーする超小型精密計測用電流センサを用いた。

2.3 電流制御部

電流のオン・オフを切り替える際にはリレーが用いられるのが一般的である。リレーには、励磁コイルと機械式接点で構成され接点を物理的に動かし開閉するメカニカル・リレーとサイリスタなどの半導体素子を用いてオン・オフする SSR などの種類がある。メカニカル・リレーは絶縁抵抗・耐圧に優れ、サージや負荷短絡による故障に強いという利点があるが、SSR と比べ応答速度が遅い、接点を物理的に開閉するためノイズが発生するといった欠点がある。一方 SSR は無接点のためノイズが発生せず、動作が高速であるといった利

点があるが、サージや負荷短絡による故障に弱く、半導体素子の電圧降下による発熱が大きいといった欠点がある。

本研究では無線で通信を行うことから、リレーのオン・オフ時に発生するノイズに注目し、メカニカル・リレーのオン・オフ時のノイズが無線通信にどの程度影響を及ぼすのかを確認する実験を行った。

2.3.1 リレー切替ノイズの無線通信への影響評価実験

メカニカル・リレーは接点を物理的に切り替えることから、開閉の切替時にノイズが発生する。このため、無線通信中に頻りにリレーの開閉を行い、開閉時のノイズが実際に無線通信にどの程度影響を与えるものかを評価する実験を行った。実験ではタップに3.3(V)で動作するメカニカル・リレーと同じく3.3(V)で動作するSSRを交互に接続しタップに接続した機器を駆動した。タップに接続する機器は75(W)の電気スタンドを使用した。75(W)の電気スタンドを使用した理由は、タップに接続する機器として標準的なものと考えられるためである。リレーのオン・オフは1(Hz)で切り替え、リレーの直近に置かれた無線モジュールと1(m)ほど離れた地点に置かれた無線モジュールとの間で無線通信を行った。無線通信では50(Hz)で100秒間、計5000回特定の文字列の送信した。また、無線通信の信頼性のリファレンスとして、リレーを一切駆動しない状況でも同様の通信を行った。これらの実験をそれぞれ3回ずつ計9回行った。まず、5000回の送信データのうち正しく受信できたデータの割合を調べた(表1上段)。

Table 1 リレー切り替え中におけるデータの受信成功率、遅延回数および最大遅延時間

		リレー無	メカニカル	SSR
成功率 (%)	1回目	99.7	99.4	99.1
	2回目	99.6	99.7	99.6
	3回目	99.6	99.6	99.7
遅延回数(回)	1回目	10	13	21
	2回目	12	8	8
	3回目	10	11	7
最大遅延時間(ms)		49	64	79

表1から、リレーを駆動しない場合、メカニカル・リレーを駆動した場合、SSRを駆動した場合それぞれでほとんど差がないことがわかる。次に、データは正しく受信できたが、データ通信に遅れが生じている可能性について調べた。データ通信の時間遅れを明らかにするため、データ受信の時間間隔を取得した(図1)。今回の実験では50(Hz)でデータを送信しているため理想的には20(ms)ごとにデータを受信しているはずであ

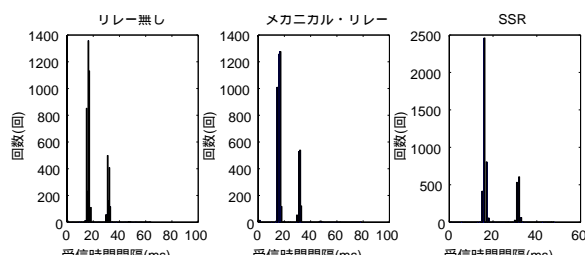


Fig.1 データ受信の時間間隔

る。まず、図1のリレーを駆動しない場合の結果を見ると、今回の条件では、20(ms)以内の受信が多数だが、35(ms)程度で受信するデータも相当数あることがわかる。このことは今回の実験で使用した無線機の特性と考えられる。そのため、今回の実験においては40(ms)以上の間隔が空いたものに対して遅延とすることにし、各実験での遅延回数と最大遅延時間を調べた(表1中下段)。この結果から遅延回数や最大遅延時間に関してもメカニカル・リレーとSSRでは大きな違いはないと言える。

以上の実験から、メカニカル・リレーの開閉時のノイズは無線通信に大きな影響を与えるものではないことと言える。

2.3.2 電流制御部の構成

前述のようにメカニカル・リレーの開閉時のノイズは、メカニカル・リレーのクリティカルな欠点にならないことがわかった。改めてメカニカル・リレーとSSRの特徴を表2にまとめる。

Table 2 メカニカル・リレーとSSRの比較

	メカニカル	SSR
応答速度	x	
開閉時のノイズ	x	
絶縁抵抗・絶縁耐性		
発熱の小ささ		x
サージなどによる故障に対する耐性		x

ノイズ以外の部分で両者を比較すると、開閉の応答時間でSSRが勝っているが、メカニカル・リレーの応答時間も数10(ms)程度であり、家電のオン・オフを切り替える今回の用途においては問題にならないといえる。そこで、発熱に注目すると、メカニカル・リレーがほとんど発熱しないのに対して、SSRでは半導体素子の電圧降下による発熱が避けられない。このことから、本研究では放熱や過熱などの対策が容易になるメカニカル・リレーを採用した。

2.4 知能化電源タップの構成

図2に本研究で試作したの知能化電源タップの構成図を示す。タップのコンセント口は6個実装しそれぞ

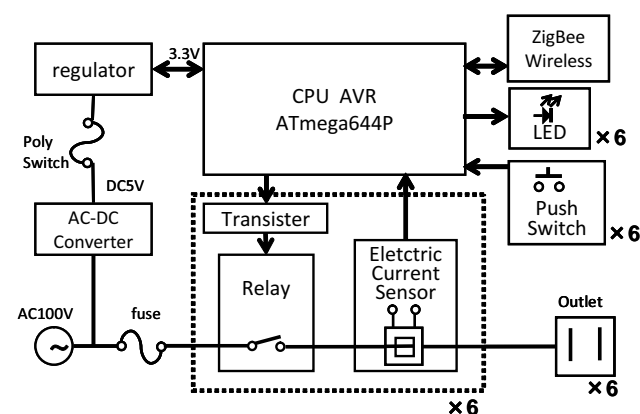


Fig.2 試作した知能化電源タップの構成図

れにメカニカル・リレーおよび電流センサを取り付けた。LEDは各コンセント口の消費電力に応じてPWM

信号を送り明るさを変化させることで、視覚的に消費電力がわかるようにするインタフェースである。また、プッシュスイッチは手動でのリレーの切替を行うインタフェースである。コンセントでの消費電力が過大になった際にコンセントが絶縁されるようにヒューズを入れた。また、マイコンの電源の前にポリスイッチを入れた。これは、過電流の際にシャットダウンするためのものではなく、何らかの原因で周囲が発熱した際にシャットダウンするためのものである。メカニカル・リレーはノーマリオープンのもを使用しており、過熱時にマイコンがシャットダウンされるとリレーも自動的にオフになり回路を保護できる。

3. 消費電力データのオン・オフ制御パターンへの応用可能性

試作した知能化電源タップによって取得される電流データが、オン・オフ制御パターンの構築にどのように役立つかを検討するため、知能化電源タップと同等の電流センサを用いて実際の家電の消費電力の計測を行った。

3.1 家電の消費電力データ計測

一般の家庭で多く使われている代表的な家電 13 種類を抽出し消費電力を 1(Hz) で計測した。計測時間は家電によって異なり、冷蔵庫のように長時間稼働しているものは数時間以上、ドライヤなどのように使用する時間が比較的短いものは数 10 分～1 時間程度計測を行った。以下に抽出した 13 種類の家電を列挙する。

- 消費電力を計測した家電
加湿器、スタンドライト、PC 用モニタ、ゲーム機、扇風機、テレビ、ドライヤ、オープンレンジ、ポット、DVD レコーダー、冷蔵庫、洗濯機、炊飯器

3.2 消費電力計測結果

取得したデータをのうち、スタンドライト、テレビ、冷蔵庫、DVD レコーダー、オープンレンジ、ドライヤの炊飯器(保温時)、電気ポットの 8 種のデータを図 3 に示す。図 3 の消費電力データを見ると、オン・オフの切り替わりだけでなく、動作中の細かな変動も検出できていることがわかる。テレビや DVD レコーダーは動作中の変動が大きく特徴的な波形である。一方で、冷蔵庫や保温時の炊飯器のように異なる機器でも似たような波形を発見することもできる。

このような機器ごとの違いや共通点が発見できたことから、知能化電源タップで計測した電流データによる、機器ごとの特徴や共通点を把握できる可能性があることが確認できた。

4. 結論

本論文では既存家電の消費電力監視やオン・オフ制御を容易に可能にする、知能化電源タップの機能および実現方法の検討を行い、それに基づき試作を行った。知能化電源タップの通信部は無線通信規格の ZigBee が適していることを示し、さらに、無線通信を行う機器において、一般的に開閉時のノイズが発生が問題とされているメカニカル・リレーとノイズが発生しないソリッド・ステート・リレーを比較し、メカニカル・リ

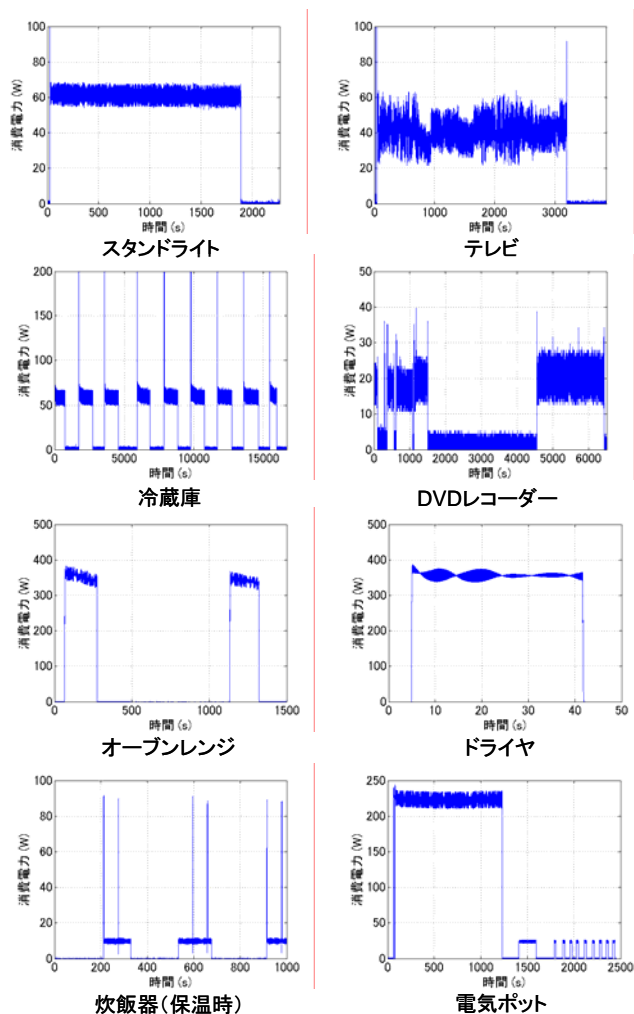


Fig.3 取得した電流データ

レーのノイズが実際には無線通信にほとんど影響を与えないことを示した。

今後は知能化電源タップより取得可能な消費電力データからどのような特徴により分類や識別を行うことで、オン・オフ制御パターンの構築が可能になるかを検討し、オン・オフサービスの実現を目指す。

- [1] 東京電力. 電力ネットワーク. <http://www.west.sd.keio.ac.jp/project/KNIVES.htm>.
- [2] 原田達也, 川野裕介, 大谷哲史, 森武俊, 佐藤知正. ライフログによる物理・情報支援のためのアドホックワイヤレスセンサネットワークの構築. 日本ロボット学会誌, No. 8, 2006.
- [3] 米 X10 社. X10 デバイス. <http://www.x10.com/activehomepro/activehome-pro.html>.
- [4] ジリオン・ネットワーク株式会社. インテリジェント・コンセント・システム. <http://www.zirion.jp/index.html>.