

## マルコフ連鎖モデルを用いた機器の利用時刻予測による待機電力の削減

井上 剛<sup>†</sup> 小澤 順<sup>†</sup>

パナソニック株式会社 先端技術研究所<sup>†</sup>

### 1. はじめに

家庭内における消費電力は年々増加している。これは家庭内に多くの電化製品が普及したことによる影響が大きい。しかし家庭内の消費電力を削減するために、機器の利用自体を減らしてしまうと、住居者の快適性や利便性を損なってしまう。

そこで、IT を用いることで住居者が意識せずに不要なエネルギー消費を減らし、省エネルギーを行う取り組みが行われている<sup>[1]</sup>。その1つに各機器の電力計測による使用状況をモニタリングするシステムが開発されている<sup>[2]</sup>。このようなシステムの開発によって各機器の利用状況から後の利用時刻を予測し、機器が利用される時刻になるまで電源供給を停止することで待機電力の削減を行う家庭内電源制御が可能となる。

利用電力の予測手法として、近い将来の電力需要を時系列問題として扱い、自己回帰を用いる予測手法が提案されている<sup>[3]</sup>。しかしながら、機器の利用開始時の電力推移の変化は急峻であるため、自己回帰モデルを利用してユーザが機器を利用する前に機器に対して電源を供給することは難しいと考えられる。そこで本稿では、過去の電力利用履歴を用いて各機器の利用開始時刻を予測する手法について提案する。さらに、提案手法を用いて電源制御を行うシミュレーションを複数家庭における約1ヵ月半の機器の利用電力計測結果に対して行い、その有効性を検証する。

### 2. 過去の利用履歴を用いた利用時刻予測

#### 2.1 機器単体の周期性を利用した予測手法

日常の機器の利用には周期性があり、同じような時間帯に利用される傾向があると考え、過去の利用開始時刻の周辺時刻を機器の利用開始時刻（以後単に起動時刻と記述）と予測することができる。そこで周期性を利用した予測手法として、過去の起動時刻を中心とした $\Delta T_1$ の時間幅を予測起動時刻とする。なお、複数日の履歴を用いる場合、各日の起動時刻から作成した予測時間幅には重複が生じる。この場合、重複した各予測時間幅は連結して予測時間幅を作成する。

#### 2.2 機器間の関係を利用した予測手法

日常行動の順序にはある程度規則性があるため、その行動に必要な機器の利用順序にもある程度の

規則性があるとする、他の機器の起動に基づいた機器の起動時刻予測が可能となる。そこで、ある時刻で起動した機器は以前に起動した機器の影響を受けていると仮定し、機器の起動をマルコフ過程にてモデル化する。即ち、ある機器の任意の時刻  $t$  における機器の起動  $X_t$  の確率  $P(X_t)$  を  $k$  個前に起動した機器  $X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-k}$  を用いて次式で表現する。

$$P(X_t) = P(X_t | X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-k}) \quad \dots (1)$$

本稿では特に機器の起動が1つ前に起動した機器のみに影響を受けるとする単純マルコフ連鎖モデルを用いて計算した機器の起動確率に基づいて機器の起動時刻を予測する手法を考えた。このマルコフ連鎖モデルを利用する手法では、機器の起動確率は直前に起動した機器に大きく影響を受ける。しかしながら家庭内の複数機器の利用を考えた場合、ある時間帯において連続して利用するが、順序に関しては日々異なる場合がある。また、日々同じ順序で利用する機器においても複数のユーザが利用するとその連続性は観測上崩れてしまう<sup>[2]</sup>。

そこで、マルコフ連鎖モデル同様に機器の起動は前に起動した機器の影響を受けると仮定するが、機器の起動確率はある機器が起動してから所定時間幅 $\Delta T_2$ 以内に機器が起動する確率を計算した。確率値が所定値  $Th$  以上ある場合、他の機器の起動時刻の後の所定時間幅 $\Delta T_2$ 以内の時刻を機器が起動する時刻として予測を行う。

### 3. 起動時刻予測による電源制御シミュレーション

#### 3.1 家庭内機器の消費電力計測

提案手法の有効性を検証するため、3家庭における機器の利用電力を約1ヵ月半計測し、時系列データとして記録した。利用電力を計測した機器は、テレビや炊飯器やエアコンのように、ユーザが手動またはタイマー機能を利用して自動的に利用する機器とし、冷蔵庫のようなユーザの行動との関連が小さく1日中動作している機器は対象外とした。各家庭の平均計測機器数は8.9台であった。

#### 3.2 電源制御シミュレーションによる各予測手法の評価実験

記録した各機器の消費電力の時系列データに対して2章で述べた予測方法を用い、電源制御のシミュレーションを行った。シミュレーションでは各予測対象日に対してその1週間から4週間前のデータを学習データとして各機器の起動時刻の予測

A Prediction of the Use Time of Home Appliance with Markov Chain Model for Reduction of Standby Power  
†Tsuyoshi Inoue, Jun Ozawa · Advanced Technology Research Laboratories, Panasonic Corporation

を行い、起動予測時刻(時間帯)のみ電源の供給を行うシミュレートを行った。またシミュレーションでは、電源供給を開始して所定の時間が経過しても機器の起動がないと電源供給を終了した。もし、電源供給時に機器の起動がある場合、その機器の利用が終了したと判定された時点で電源供給を止める。今回の手法では起動予測時間帯に過去何回の起動があったかを考慮していない。従って起動予測の時間帯に数回起動する機器(連続起動される機器)の 2 回目以降の起動時には電源供給がされていないことが生じる。

予測結果に基づき電源供給を行った時間帯に機器が起動した場合、予測は成功したといえる。一方、予測が失敗する場合としては 2 つある。1 つは予測に基づき電源供給を行ったが所定の時間機器の起動が無く、電源供給が終了する場合であり、もう 1 つは機器の起動時に電源供給がされていない場合である。前者の場合は無駄な電力が消費され、後者の場合はユーザが自ら電源供給の操作を行わなければならない。また、電源供給が成功しても機器が起動するかなり前の時刻から電源供給を行っていた場合は無駄な電源供給を行っていると言える。そこで、提案手法の評価方法として、機器の起動時に電源が供給されていなかった割合(以下手動起動率と記述)と、実際の待機時間に対する電源供給停止時間の割合(以下節電率と記述)の 2 つの観点で評価を行った。

### 3.3 評価実験結果

図 1 に 1 家庭の評価結果として、両手法とその組み合わせ手法の平均手動起動率と平均節電率を示す。ここで、手法 1 は周期性を用いた起動時刻予測手法であり、予測時間幅  $\Delta T_1$  を 60 分とした。手法 2 は他の機器の起動と終了のイベントを用いた起動時刻予測手法であり、機器間の関係を求める時間幅  $\Delta T_2$  を 60 分とし、他の機器に基づいて起動する確率の閾値  $Th$  を 0.1 とした。組み合わせ手法は手法 1 と手法 2 の起動予測時刻の和集合を起動予測時刻とした手法である。また、両手法の学習期間は 1 週間とした結果である。

図 1 より、毎日の最初に利用される炊飯器は手法 1 でよい精度が得られる一方で前に起動・終了する機器が無い場合、手法 2 では精度が悪くなっていることが分かる。また、この家庭では DVD レコーダの起動の後 TV を起動させることが多い傾向があるため、TV の起動予測においては手法 2 が手法 1 より有効に働いている。なおトースターは連続的に利用されるために手法 1 での精度は悪い結果となった。全ての機器において組み合わせ手法が最も手動起動率が低い結果となっている。このことから、両手法で予測される時刻が異なり、両手法を組み合わせることが有効に働いていること

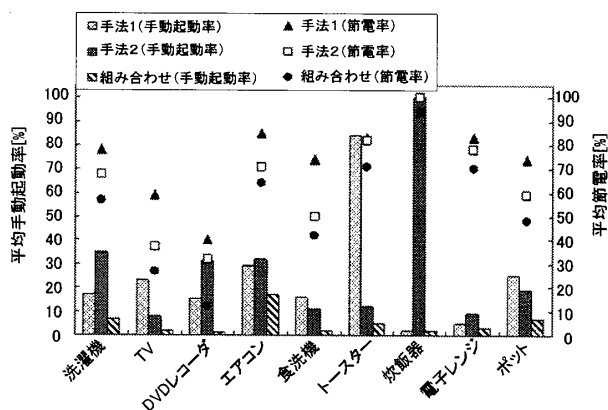


図1 各機器における平均手動起動率と平均節電率

Fig.1 Average ratio of manual operations and power save

が分かる。組み合わせ手法において手動起動率の平均値は 5.1%であった。しかし平均手動起動率が低く、ユーザの負担が小さくなる手法においては、平均節電率も下がっており、無駄な電源供給が増える結果となっていることがわかる。待機電力の削減の観点では、組み合わせ手法を用いた場合、全ての起動をユーザが行う場合に比べ平均 56.4%の節電が可能であった。なお手動起動率と節電率は残りの 2 家庭においても同様の傾向が確認できた。

### 4. まとめ

本稿では、ユーザに負担を伴わない待機電力の削減を実現するために、過去の消費電力履歴に基づく機器の起動時刻予測手法を提案し、その有効性を実際の機器で測定したデータを用いて評価した。その結果、周期性を用いる手法と他の機器の起動を利用する手法の組み合わせ手法によりユーザ負担の少ない自動電源制御による待機電力の削減の可能性を示唆した。今後は、より多くの家庭における電力データについて本手法を適用することで本手法の有効性を調べると共に、より少ない手動起動率を保ちつつ節電率の高い予測手法の実現を目指したい。

#### 参考文献

- 1) 石田 建一, 伊藤 善朗: IT 時代の計測・制御技術の動向(4) HEMS による家電連動制御, 空気調和・衛生工学, 80(5), pp.53-61, 2006.
- 2) 山崎 達也, Jaewook Jung, Youngjae Kim, Minsoo Hahn, 豊村 鉄男, Teng Rui, 丹 康雄, 松山 隆司: 家庭における電力センシングネットワークによるエネルギー管理, 電子情報通信学会技術研究報告. EE, 107(430), pp.71-76, 2008.
- 3) 高木 博宣, 藤井 雅弘, 渡辺 裕: 電力使用量予測機能を備えた電力監視システムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告. CS, 109(190), pp.1-5, 2009.