

家庭内生活パターンを考慮した電力需要予測手法

市川 昌宏^{1,a)} 向井 政貴^{1,b)} 西尾 信彦^{2,c)}

概要: 近年の技術発展に伴い、家庭用機器のエネルギー消費効率は大幅に向上している。しかし、家庭用エネルギーの消費は、国民の生活スタイルの多様化やオール電化の普及などから著しく増加している。これにより、エネルギー問題および環境問題に対する人々の関心が高まっている。そこで、本稿ではユーザが自ら設定した省エネ目標に向けて、適切なプランニングを行うための電力需要予測手法を提案する。提案手法では、ユーザが家電をつける確率を電力消費履歴と環境情報を用いて、ユーザの在室の有無を行動履歴を用いて算出する。また、そのさいに1日単位での電力需要の予測である短期電力需要予測と、1ヵ月単位での電力需要の予測である長期電力需要予測の2つの手法を用いることで、より適切なプランニングを行うことができると思われる。

キーワード: ベイズ推定法, 機械学習, HEMS, 電力需要予測

Power Demand Prediction using Domestic Life Patterns

Abstract: Recently, the energy consumption efficiency of the home electronics is improved due to technological development. But consumption of energy at home is increased because of changing of lifestyle and popularization of all-electric. As a result, the interests of the energy problems and environmental problem are increased. As a result, people have interests of the energy and environmental problems. In this paper, we propose a power demand prediction for the planing to save energy to reach a energy saving target which is decided by user. On our method, we detect two information. One is probability that users use home electronics by using power consumption history and collected sensor data. The other is information which is users are in the room or not by using the collected data. In addition, the better plan is expected by using daily power demand prediction and monthly power demand prediction.

Keywords: Bayesian estimation method, machine learning, HEMS, power demand prediction

1. はじめに

近年の技術発展に伴い、家庭用機器のエネルギー消費効率は大幅に向上している。しかし、家庭用エネルギーの消費は、国民の生活スタイルの多様化やオール電化の普及、世帯数の増加などから著しく増加している。エネルギー白書2010の部門別エネルギー消費の動向によると1973年度の家庭用エネルギーの消費量に比べ2008年度の消費量は

2.084倍にもなっている。^{*1}これらのことから、家庭レベルでの節電が必要とされてきている。そこで、省エネ行動を支援するためのHome Energy Management System(以降HEMS)に注目が集まっている。

一言でHEMSと言っても様々なものがあり、加藤ら[1]はスマートタップから取得した電力をゲーム機を用いたインタフェースによって見える化することで省エネ意識を高めるようなシステムを構築している。また、Costanzaら[2]は電力消費を表したタイムライン図に対してユーザ自身にアノテーションを付けてもらい、それを消費電力合計を可視化した図に表示し、アノテーションごとに消費電力合計図からその電力消費を削除したときのシミュレーションを

¹ 立命館大学大学院 理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

² 立命館大学 情報理工学部
College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

a) icchy@ubi.cs.ritsumeikan.ac.jp

b) marshi@ubi.cs.ritsumeikan.ac.jp

c) nishio@ubi.cs.ritsumeikan.ac.jp

^{*1} エネルギー白書2010の部門別エネルギー消費の動向, <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2010energyhtml/2-1-2.html>

行えるような見える化を行うことで、ユーザの省エネ意識を高めるようなシステムを構築している。また、湯浅ら [3] や中島ら [4] は見える化だけでなくユーザにとって省エネになる行動をアドバイスするシステムを構築している。しかし、前述した見える化では、ユーザはどのような行動を起こせば省エネに繋がるのかを知ることができない。また、後述したようなシステムでは、ユーザに行動の動機付けを与えず、省エネアドバイスを提示し続けるため省エネ行動事態を苦痛に感じてしまう可能性がある。そこで、岡村ら [5] や小倉ら [6] は事前にユーザが設定した省エネ目標に対して、それを達成するために省エネ行動をアドバイスするシステムを構築している。

しかし、岡村らの手法では、単位時間あたりの目標を算出するさいに、ユーザの過去の行動パターンや環境情報を全く考慮出来ていない。また、小倉らの手法では実際の消費電力の予測の仕方に関しては言及されておらず、具体的な算出方法が分からないといった問題がある。また、高木ら [7] は電力線通信を用いた電力監視システムの提案を提案している。高木らはユーザの節電行動を支援するため、AR モデルを用いてユーザに将来の電力需要を提示している。しかし、最大で 40 分先の電力需要までしか予測できず、目標達成型の HEMS においてアドバイスを立てるための予測期間としては短すぎる。よって本稿では、家電のオン/オフスイッチの制御や消費電力を取得可能なインテリジェントタップと室内温度や人の有無などを検知できるセンサノードを用いた環境下でユーザの過去の行動履歴と未来の環境情報を考慮した電力需要予測を目指す。本研究が実現することにより、ユーザの家電の操作履歴を考慮した目標達成型 HEMS のためのアドバイスを生成することが可能となる。

2. システム概要と電力需要予測の必要性

本項では本論文が目指す目標達成型の HEMS の概要と電力需要予測の必要性について述べる。1 章で述べたように、ユーザに持続的に省エネ行動を行ってもらおうことを考えると、目標達成型の HEMS が望ましい。これらのことから、我々も目的達成型の HEMS の構築を行ってきた。システムの概要を図 1 に記載する。本システムは、まず初めにユーザに今月の電力消費の目標を設定してもらう。(図 1-1) 次に、システムはユーザが設定した目標をもとに、ユーザにとって最も快適さを損なわないような 1 日ごとの節電目標を定めたプランを生成する。(図 1-2) 続いて、システムは(図 1-2) で生成したプランに沿って、節電のためのアドバイスを生成する。(図 1-3) 最後に、ユーザはシステムが提示したアドバイスを了承し実行するか、拒否するかを選択する。(図 1-4)

ここで、上述したように本システムでは、ユーザの省エネ行動をサポートするために、家庭ごとに省エネプランを作成する。このプランを作るさいに、各家庭ごとにどの程度電

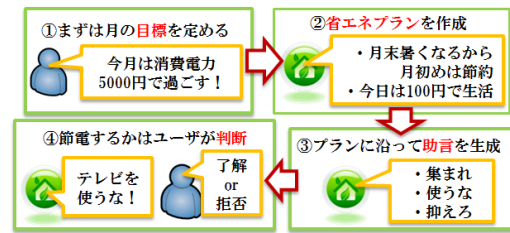


図 1 システム概要図

力を消費するかを考慮し適切なプランを作成していかなければ、月末から非常に寒くなるにもかかわらず最後の 1 週間は全く暖房を使うことができないといったユーザにとって望ましくない状況が起こり得る。そのため、各家庭の電力需要を適切に予測し、その状況にあったアドバイスを生成していくことが重要となる。

3. 既存の目標達成型 HEMS の研究と要件

本章では、既存の目標達成型 HEMS の研究とその問題点について述べたのち、それらの問題点から見えてくる、本研究の要件について述べる。

3.1 既存の目標達成型 HEMS の研究

- ホームネットワークシステムを用いた消費電力抑制サービスの提案

岡村らは家庭内のネットワークに接続されたテレビやエアコンなどの複数の電気機器 (情報家電) とホームサーバからなるシステムである HNS を用いて、ユーザに省エネアドバイスを提示するエージェントシステムを構築している。ユーザは 1 日の消費電力目標を決定し、エージェントはユーザが決定した目標値に対して、一定の時間帯における許容値を算出する。そして、一定の時間帯において消費電力の許容量を超えた場合にユーザに省エネアドバイスを提案し、ユーザはそのアドバイスを承諾または拒否する。しかし、実際に一定の許容量の値の算出方法としては、単純にユーザが設定した目標値を 24 時間で分割し、1 時間ごとの消費電力の許容値としているだけである。そのため、月の終わりになればなるほど行動が制限されていく可能性が高くなり、ユーザに負担を敷いてしまう可能性が高い。

- スマートスペースにおける省エネ行動支援システムの提案

小倉らは、ユーザへのある程度の我慢を伴う行動支援を通して、従来比の 20 % の電力消費量削減を実現するためのデバイス制御手法を提案している。本手法は、シチュエーション (読書、休憩、仕事など) とデバイスごとにユーザの快適度の重みを算出しできるだけ快適度を減らさずに、消費電力の削減を大きくするようなデ



図 2 インテリジェントタップ

表 1 計測データの詳細			
センサの種類	計測周期	分解能	単位
温度	1 分	0.1	° C
湿度	1 分	0.1	%
照度	5 秒	1	lux
人感	1 秒	-	true/false
電力	5 秒	1	W

バイス制御を行っている。しかし、具体的な消費電力の算出方法について詳しく述べられておらず、また想定する環境がユーザのシチュエーションを把握できるようなスマート環境を想定しているため現実性が乏しい。

3.2 要件

3.1 節より、本研究の要件を 2 つあげる。まず、1 つ目は「家庭レベルでの電力需要予測を行う」ということである。これは、HEMS は家庭で使われるということから、一般の家庭で使うことが可能なレベルでの機器を用いて電力需要予測を行うということである。そして、2 つ目が「行動履歴、電力消費履歴、環境情報を考慮した電力需要予測を行う」ということである。これは、ユーザが目標を達成するために、できる限り不快な生活を行うことがないように、過去の傾向や現在の環境を考慮した電力予測を行う必要があるということである。本稿では、以後、これらの要件を満たすためのアプローチを述べていく。

4. 想定環境

本研究は、家庭内の節電を行いたい家電がインテリジェントタップ(図 2(左))に接続されており、その近傍にセンサノード(図 2(右))が設置されている環境を想定している。センサノードは取得したセンシングデータをインテリジェントタップを経由してサーバへと送信する。また、センサノードから取得できるデータは表 1 の通りである。

5. 2 つの電力需要予測

本研究では、短期電力需要予測と長期電力需要予測の 2 つの電力需要予測手法を提案する。ここでいう、短期電力需要予測とはユーザが 1 日未満のスパンで使用する電力の予測手法のことである。また、長期電力需要予測とはユーザが 1 ヶ月間で使用する電力の予測手法のことである。これらはどちらも下記の式から算出されるが、それぞれにおいて各項目の算出方法が異なる。各項目の算出方法は後述する。

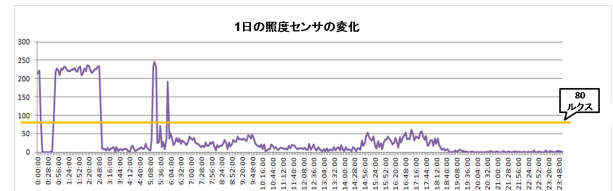


図 3 照度センサの観測例

ここで

$$\begin{aligned} \text{消費電力予測値} &= \sum_{i=0}^{24} (\text{平均消費電力}) \\ &\quad * (1 \text{ 時間の予測在室時間}) \\ &\quad * (\text{ある環境で家電をつける確率}) \end{aligned}$$

5.1 1 時間の在室時間の予測

本節では、そもそも、センサ値がどのような値を示した場合に、人が在室している判定するかということと、短期電力需要予測と長期電力需要予測のそれぞれにおける、1 時間の間で人が居る時間の予測の仕方について述べる。

5.1.1 在室判定方法

本想定環境においては、人が動かない場合やセンサの近くにいない場合は、センサは人が居ないと判断してしまう。そのため、本論文では人感センサが 1 または照度センサが閾値以上の値を取る場合に在室であると判断する。今回実験に用いた部屋は窓がなく日光が当たらない部屋であったため、照度の変化は図 3 のように非常に分かりやすいものとのあった。この図より、今回の照度センサにおけるしきい値は 80 ルクス以上として人の在室判定を行なった。

5.1.2 短期電力需要予測における 1 時間の在室時間予測

1 日未満のスパンで人の居る時間を予測するさいには、その日の行動の一部からその後の行動を予測し、同一パターンに属するデータから 1 時間ごとの人が居る平均時間を算出する。モデルの生成法にはベイズ推定法 ((1) 式) を用いる。ここで $p(\theta | x)$ は事後分布、 $q(x | \theta)$ は尤度関数、 $p(\theta)$ は事前分布を表わす。また、人の在不在のデータは 0 あるいは 1 の 2 つ値しかとらないためベルヌーイ分布を用いることができる。そうすることで、尤度関数 $q(x | \theta)$ は (2) 式のように表すことができる。

$$p(\theta | x) = \int q(x | \theta) * p(\theta) d\theta \quad (1)$$

$$q(\theta | x) = \theta^x * (1 - \theta)^{1-x} \quad (2)$$

このさい、(2) 式はベイズ推定法の尤度関数に用いる。また、事前分布にはベルヌーイ分布の共役事前分布であるベータ分布を用いる。ベイズ推定法による確率分布の具体的な算出手順は以下のとおりである。

(1) 観測値 x を生成するためデータを 5 分ごとに分割

人の行動は時間によって異なると考えられる。そのため、本研究では観測データを 5 分ごとに分割し、時刻 t の観測値とする。このさい、「人が居る」場合と「人が居ない→居る」場合は、その時間に人が在室していたとし、「人が居ない」場合と「人が居る→居ない」場合は不在であるとする。

(2) データを曜日ごとに分割

ある人がある部屋にどれくらいの頻度で居るかは、会社のある日や買い物に行く日といったように日によって様々である。そのため、それぞれのパターンを適切に分けることは難しい。しかし、曜日に依存する部分は大きいと考えられる。そこで、本研究では曜日ごとにデータを分割し、それぞれにおいて確率分布を算出する。

(3) 曜日ごとに分割したデータを、時間 t ごとにまとめ、ベイズ推定法より事後確率の平均値 μ を算出

上記の工程で、分割されたデータを時刻 t ごとにまとめ、ベイズ推定法より事後分布を算出する。このさい、事前分布にはパラメータ $a=1, b=1$ のベータ分布（一様分布）を用いた。確率分布の共役性より、事後分布の平均値 μ は (3) のように表される。

$$\mu = \frac{a + r}{n - r + b} \quad (3)$$

ここで、 a, b はベータ分布のパラメータ、 n はサンプル数、 r はサンプル数のうちのユーザが在室だった数を表す。

(4) 算出した平均値を時系列順に並べる

上記の工程より算出されたそれぞれの事後分布の平均値を時系列順に並べ、これを各曜日のモデルとする。

5.1.3 長期電力需要予測における 1 時間の在室時間予測

長期電力需要予測では、短期電力需要予測と同様の方法を用いて 1 時間の在室時間を予測する。この際に、長期電力需要予測では算出された各モデルごとの予測在室時間の平均を 1 時間の在室時間予測とする。

5.2 家電をつける確率

本節では、短期電力需要予測と長期電力需要予測のそれぞれにおける、家電を付ける確率の算出方法について述べる。

5.2.1 短期電力需要予測における家電をつける確率

向井ら [8] は室温や時間帯といったユーザを取り巻く環境によって変わっていくユーザの家電をつける確率を需要度とし、ユーザの家電における需要度を算出するアルゴリズムを考案している。この手法では、温度と需要の関係を表現するモデルとしてロジスティック回帰を利用し、横軸に合成変数の値を、縦軸に目的変数の生起確率を取ることによって値を算出している。彼らの手法は、環境から取得できる情報と、ユーザの家電の使用履歴を用いて家電を付ける確率を

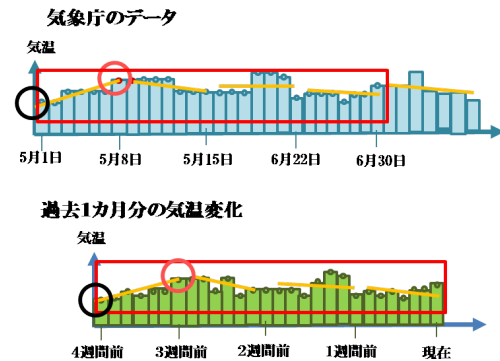


図 4 未来の気温変化の算出方法

算出しているため、本稿の目的と非常に合致する。そのため、本稿における家電を付ける確率は向井らの手法を用いて算出する。また、この時に必要な未来の気温の変化はウェザーニュースの予報を用いるものとする。

5.2.2 長期電力需要予測における家電をつける確率

本項における家電を付ける確率に関しても、5.2.1 項で述べたものと同様の手法を導入する。しかし、長期電力需要予測では、1 ヶ月先までの気温の変化を 10 分単位程度で取得する必要がある。そこで、気温変化の予測方法を下部に記す。

5.2.2.1 気温変化予測

長期電力需要予測では、先 1 ヶ月分の 1 時間ごとの気温の推移データが必要となる。そこで、気象庁から取得した過去の気温の推移データと現在から過去 1 ヶ月分のデータをマッチングし、過去データのマッチング部分より先 1 ヶ月を今後の気温の推移とする。ここで使用する過去のデータは、気象庁から得られる過去 5 年分のデータを時間ごとに平均した値である。次にマッチング方法について説明する。まず初めに図 4 のようにそれぞれのデータを 1 週間ごとに区切り、最小自乗法により近似直線を算出する。次に各区間（マッチング候補の区間のうち初めの 1 週間を第 1 区間、次の 1 週間を第 2 区間と呼ぶ）ごとに直線の両端の気温の差の絶対値を算出する。例えば、図 4 の第 1 区間においては黒丸（左の丸）部分の差と赤丸（右の丸）部分の差の絶対値となる。そして、全ての区間においてこの差を足し合わせた合計値が最も小さかった区間をマッチング区間とする。

6. 生成されたモデル

本章では、上記のアプローチによって生成された各曜日のモデル（図 6）を記載する。モデル作成に使用した実験期間は 2012 年 6 月 19 日 2012 年 9 月 1 日、被験者は母 1 人（専業主婦）子 1 人（男性・大学院生）、間取り、インテリジェントタップとセンサノードの配置場所は図 5 のような条件でセンサログの収集を行なった。しかし、今回使用した期間において、14 日分程度の日においてセンサがロストしていたため、そのような日に関しては意図的に省いた。また、今回は簡単のために 1 日においてほとんどが大学院生である

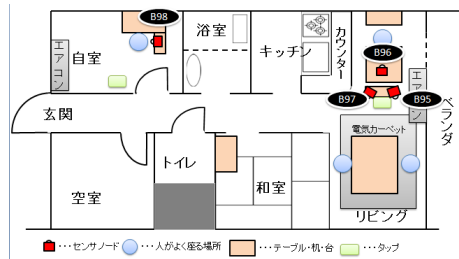


図 5 間取りと機器の設置場所

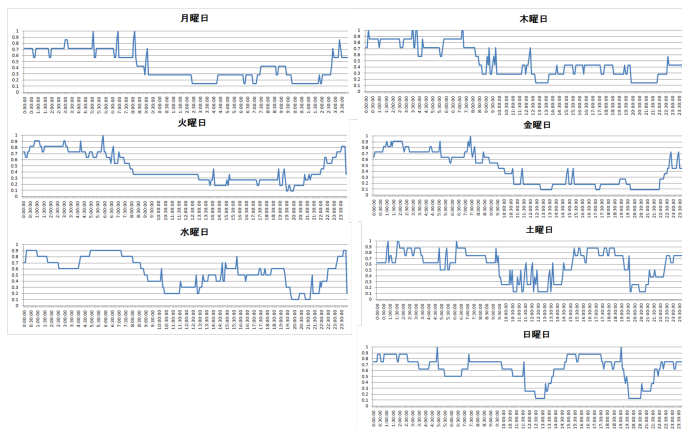


図 6 生成モデル

被験者しか使うことがない、大学院生の個人部屋を対象としてモデルを生成した。今回、実験に用いた期間は主として被験者が大学に通っている期間だったため、平日のモデルは折れ線の振動が少なく、確率が 0 ないしは 1 に近い値が出ている時間も多し。しかし、休日になると、折れ線の振動も多くあまりいいモデルだとは言えない。これらのことから、今後は曜日以外のモデルの算出方法を考えていく必要があると考えられる。

7. おわりに

本稿では、目標達成型の HEMS において、ユーザができる限り快適に過ごしながら自ら設定した目標を達成するために必要な電力需要予測手法を提案した。提案手法では、ユーザの行動履歴や環境情報、家電操作履歴などを考慮し、電力需要予測を短期電力需要予測と長期電力需要予測の 2 つに分けて予測を行う。特に、ユーザの在室予測に関しては統計的手法を用いて各曜日ごとの人の在室の有無のモデル化を行なった。

今後、提案手法の有用性を示すために、提案したアルゴリズムをもとに 1 日あるいは 1 ヶ月の消費電力を予測し、実データと比較する。今後の課題としては、人の在室の有無のモデル化に関して、曜日でモデルを分けるのではなく、ノンパラメトリックベイズを用いて、モデル数も観測データから推測可能であるようなアルゴリズムを考える。また、短期電力需要予測のさいに 1 日の部分観測データからその日がどのモデルに属するのかを推定するアルゴリズムも考え

る必要がある。

参考文献

- [1] 加藤丈和, 松山隆司. スマートタップネットワークによる消費電力見える化システム. Technical Report 6, 京都大学学術情報メディアセンター, 京都大学情報学研究科, aug 2011.
- [2] Nicholas R. Jennings Enrico Costanza, Sarvapali D. Ramchurn. Understanding domestic energy consumption through interactive visualisation: a field study, 2012-9-5.
- [3] 湯浅健史, 加藤丈和, 隆司松山. スマートタップネットワークを用いたオンデマンド型電力制御システム. Technical Report 5, 京都大学大学院情報学研究科, 京都大学学術情報メディアセンター, 京都大学大学院情報学研究科, jul 2011.
- [4] 中島裕輔, 佐藤光太郎, 納富昭光. 住宅における環境エネルギー情報提供システムの開発. 日本建築学会技術報告集, Vol. 16, No. 34, pp. 1069-1074, 2010.
- [5] 岡村将誉, 三井浩康. ホームネットワークシステムを用いた消費電力抑制システムの提案. 全国大会講演論文集, Vol. 2011, No. 1, pp. 259-261, 2011-03-02.
- [6] 小倉和也, 山本真也, 安本慶一, 伊東実. スマートスペースにおける省エネ行動支援システムの提案. Technical report, 2010.
- [7] 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, 通信方式, Vol. 109, No. 190, pp. 1-5, 2009-09-03.
- [8] 向井政貴, 市川昌宏, 西尾信彦. Hems における省電力アドバイス自動生成のための需要度の推定, 2012-11-01.