

世帯内家電機器電力計測・人感センサを用いた 行動推定に関する分析

小磯 貴史^{1,a)} 新垣 隆生¹ 坂本 英夫¹ 梅野 真也¹ 植野 研¹

概要: 今後技術開発を進める情報家電を用いた家庭内における情報サービスの高付加価値化を検討するに当り、使用される家電機器に関連する行動の発生頻度に応じた情報提供サービスや、家電制御等が考えられる。そこで筆者らは、複数実際に居住している世帯に、主幹・コンセント端電力、及び人感・温湿照度センサを複数設置してその計測を行い、主として電力計測データを用いた世帯単位での行動推定の精度について検討を行った。本稿では、今回実施した計測実験の概要と、今後実サービスに利用することを目指している行動推定手法について説明し、計測データに基づく精度評価について報告する。

An Analysis for Behaviors Estimation of One Household by Using Environmental And Energy Consumption Sensors in a Home

KOISO TAKASHI^{1,a)} RYUSEI SHINGAKI¹ SAKAMOTO HIDEO¹ UMEMO SHINYA¹ UENO KEN¹

Abstract: For more valuable information services in a home by collecting data of utilization of Information Appliances "IAs", we'll plan to develop a recommendation system by using IAs and develop IAs which can adjust themselves based on the life style of each household. Then, in order to try to investigate how we know some behaviors presumed by on-off signal of IAs, we attempt to install power consumption sensors, human detection sensors and humidity & temperature & illumination sensors to some households of our colleagues, and analyze those measured data for behavior categorization of one household.

1. はじめに

HEMS やホームソリューションサービスにおいて、その対象となる各家庭内の状況把握は、情報提供サービスの高付加価値化を加速する上で基本的な技術である。我々のグループでは、主として主幹やコンセントなどの電力センサを用い、1世帯単位で「全員が睡眠中」「誰かが調理中」といった粒度での家庭内行動推定技術について着目し、技術開発を行っている。現状は、こういった行動を推定するかも含め、推定手法を試行錯誤しつつ、ビジネス的観点でキーになる行動とその推定方法を選定していく段階にある。本報告では、そのフィージビリティ・スタディ的側面を持ちつつ、まずは家庭内行動推定の経緯と目的等を述べ、そ

の上で、我々のグループで実施した電力、人感・温湿照度センサを用いた世帯内電力計測実験の概要、及び各行動推定結果について示す。

2. 家庭内消費電力計測実験の経緯と目的

エネルギー危機や地球温暖化への危惧などから、1990年代から省エネルギー技術としてスマートグリッドが本格的に注目され始めたが、本技術や社会インフラである電力網の制御技術の総体という位置づけであり、通信・電池材料・発電設備など、多様かつ複合的な電力制御技術の開発活動として進められている。その中で、消費主体であるビルオーナーや工場主、一般家庭のような小口消費者を対象に、無駄のない電力消費を促す技術として BEMS (Building Energy Management System), H(Home)EMS, C(Community) EMS など、消費主体の規模や経済性などによって細分化され、そのエネルギー管理方法などが 2000

¹ 株式会社東芝 研究開発センター
Toshiba Corporate R&D Center, 1 Komukai Toshiba cho,
Saiwai, Kawasaki, Kanagawa 212-8582, Japan

^{a)} takashi.koiso<at>toshiba.co.jp

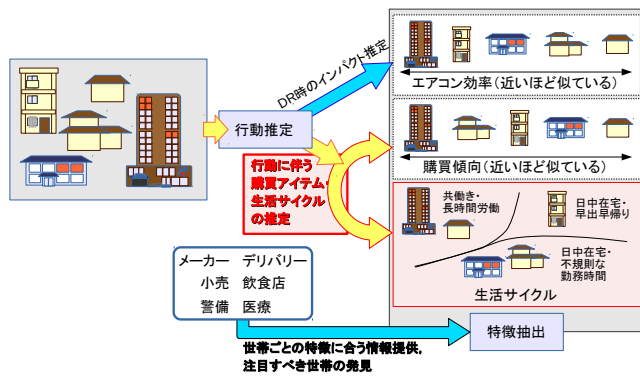


図 1 本研究活動の提供サービス全般のねらい

Fig. 1 Aims of Information Service Framework Involved This Study.

年代半ば頃より検討されている。以下の節では、筆者らのグループで関連している、HEMS による電力消費者への情報提供などを旨とした分野に関して、その技術開発の変遷について簡単に述べる。

2.1 当社で実施した家庭内消費電力計測実験の経緯

筆者らのグループの HEMS 分野の研究活動は、2005 年頃から大阪や東京某所での一般 1 世帯が対象のセンサ計測実証実験から始まり、現在も、NEDO との委託事業で米ニューメキシコ州での DR(Demand Response) 実証実験 [3] や、仏リヨンでのスマートコミュニティ構築に向けたプロジェクト [2] 等が進められている。

その後様々な検討を経て、HEMS 技術の普及を進めるには、より付加価値の高い技術を盛り込んだ上で、前記技術を醸成していくべき、という方向性が議論され始め、その当りから「家庭内行動推定及びそれを利用した情報サービスの提供」という開発目標が掲げられるようになった。

ただ、その具体化の過程で、行動に関する厳密な定義などを進めた上で分析ターゲットを設定していくのが自然な進め方ではあるが、本活動ではビジネス化の途中段階での、サービス提案検討に当たっての種出しという役割も強く求められた。その結果、「家庭内行動」の定義は厳密な深掘りは当面せず、一般的な語意に相当する行動を検出対象とした上で、厳密性の検討は、計測手法のブラッシュアップと平行して進めることになった。具体的には、行動ラベル全体の検出ルールを、以下のように設定した。

- 「調理」「洗濯」等、家事などある目的を達成するためになされる行動は、「少なくとも 1 人がその行動をしている時」を検知対象とする
- 「睡眠」「外出」等、誰も行動していない、もしくは他の行動と並行しても実施可能な行動は、「全員がその行動を取った時」を検知対象とする
- 例えば行動中に活発な電力消費をする行動と、環境機

器 *1 のみの行動が同時時間帯でなされた場合、環境機器のみの行動が特定できなければ、「活発な電力消費を伴う行動」のみ検出が出来ればよい

- サービスへの寄与が前提であることから、曖昧のない厳密な定義ながら言語的解釈が難しい分類体系ではなく、一般的な家庭内行動として認識しうる粒度の行動を検出対象とする

上記を基準に、以下の行動を分類対象とした *2。

- (a) 睡眠：世帯メンバー全員が、睡眠をしている状態
- (b) 外出：世帯メンバー全員が、外出している状態
- (c) 調理：1 人のメンバーが、食事の用意のため、食品の加工や加熱作業をしている状態
- (d) 食事：あるメンバーが、食物を摂取している状態で、喫茶や軽食等を主目的とした飲食を除いたもの
- (e) 洗濯：洗濯機で衣類を洗濯している状態 *3
- (f) TV 視聴：少なくとも 1 名が TV を稼働している状態 *4

以上の方針で、各種センサを家庭内に設置し、行動推定手法の検討を進める。図 1 でいえば、当面は黄色い矢印部分のサービスに関する分析技術から着手し、その上で、青い矢印の DR インパクト分析や、居住者の家庭内行動の特徴に即した情報提供サービスの仕組みへの応用可能性を議論していく、ということである。

2.2 従来研究

従来研究としては、まず岩船らの実際に居住者がいるマンション宅を対象に、使用機器を分電盤計測データを用いて推定する研究が挙げられる [4]。また松山らは、家庭内電子機器の稼働状態に基づき、HMM で行動推定する研究を行っている [7]。データ計測では、山本の研究がある [8]。

この他、三菱電機では大船事業所内にスマートハウスを構築しており [6]、また、ハウスベンダーも事業展開を始める (例えば [10]) など、研究・事業化問わず、様々なフェイズ・規模で展開されつつある。

行動計測関連で、より重厚なアプローチとしては、本村らが提案している生活機能構成学があり、そのアプローチでは、生活情報をロギング、符号化・DB 化し、生涯の生活デザインを目指している [9]。さらに、電力市場自由化が先行しているアメリカでは、Tendril 社や Comverge 社、

*1 例えば、照明、エアコン、冷蔵庫などその時なされている行動と関係なく稼働する機器のことを指す。また TV など AV 機器も常時 ON の世帯が一部存在するため、その場合は照明と利用形態が同様の機器とみなす

*2 それ以外に、入浴行動なども一時分類対象としていたが、弊社サービスの応用先としては考えにくいこと、ややモニタに検知することに抵抗があったこと等もあり、本報告では触れない。

*3 本来は衣類を洗濯機に入れるまでの準備行動や、洗濯後の干す作業、アイロンなども考えられるが、分析中に洗濯行動の習慣性の検知に注目が集まったため、洗濯機の稼働開始・終了までの時間が分類対象である

*4 TV も前述した環境機器として使用される場合もありうるが、これも TV 視聴の習慣性を把握したいため、TV が稼働している状態を主な検知対象とする

O-Power 社など、DR 運用の研究や、エネルギー利用のコンサル業務などを展開し、すでに一程度のビジネス規模を有しつつある。

我々のアプローチは、新手法の提案活動もその目標の1つであるが、例えば、山本の研究活動で実施された実験内容とは、かなり近いと思われる。その上で、今回計測した理由は、「一般的な HEMS に関する実証実験での計測データは公開されているものが少ないこと」「仮に公開されていたとしても、我々の望む計測精度や、計測対象家電機器で得られたデータは皆無で、それを実証実験以外で入手するのは、ほぼ不可能だったこと」があり、そのデータ収集に加えて、本実験で長期計測をしつつ、各行動ラベルの周期的特徴など、家庭内行動の推定可能性に関する実体把握や、ビジネス適用に必要なデータ収集環境についても、将来的には検討したい。

本報告では、筆者らが主として分析を進めた、「30分計測データ」での分析手法及びその適用結果を主に報告する。これは、近々本格的な普及が始まるとされる IT 分電盤や、スマートメーターの計測間隔が 30 分積算値で、それらのセンサ環境下でのどの程度の行動推定ができるかに注目したからである。ただし、本実験での分電盤センサだけでは計測データのバリエーションが不足して、分析そのものが困難なため、コンセント計測データも用いる。

3. 実証実験の概要

今回の電力計測実証実験に関するセッティングや、モニタについて本章で説明する。

まず、実験の概要については、以下のとおりである。

- (a) 計測対象世帯: 東芝研究開発センター関係者宅 (20 世帯)、専業主婦世帯、共働き世帯、単身世帯など含む
- (b) 計測期間: 2012 年 7 月 1 日～2013 年 1 月 31 日
- (c) センサ構成: 分電盤 (主幹, エアコンなど一部), コンセント (最大 6 台), 温湿照度 (主に使う部屋に設置) 人感 (玄関, または温湿照度とペアで設置, 居室設置は最大 3 個)。電力センサは宮川製作所製 ENEGEN® (950MHz 帯) [5], 人感・温湿照度センサはアドソル日進製 uLook® (2.4GHz 帯, ZigBee®) [1] を使用し, 筆者の所属部署内収集サーバにてデータを収集
- (d) 計測周期: 電力, 温湿照度は 1 分, 人感 は 10 秒
- (e) その他: 冬に行動ラベルに関するアンケート (15 分単位) を実施

一戸建て, マンション問わず, 計測対象機器の設置位置にセンサを配置し, 無線通信で, 同じく住居内の LAN 環境付近に設置した親機に情報を送信し, 親機から筆者所属部署内収集サーバにデータ配信する。時刻は親機が NTP で, ほぼ毎日修正している。

各センサの配置例を図 2 に示す。部屋数が多い場合は, よく使う部屋を優先してモニタにセンサを設置頂き, 位置

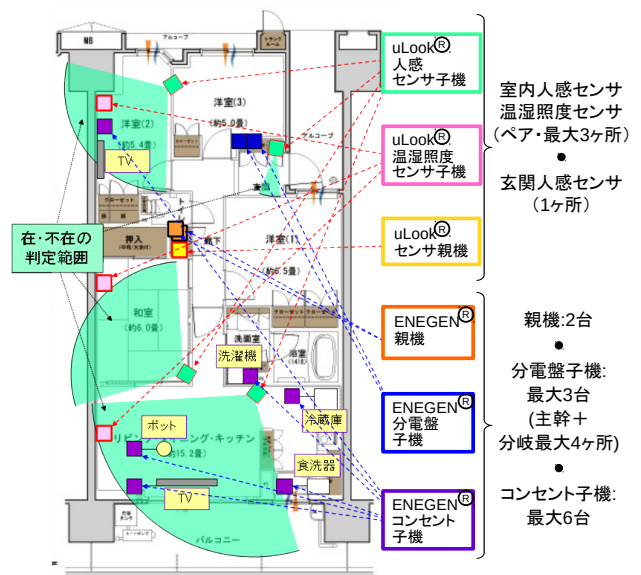


図 2 1 世帯における電力・人感・温湿照度センサ配置例

Fig. 2 An Example of Installation of Power Consumption, Human Detection, Temperature & Humidity & Illuminance Sensors of Single Household.

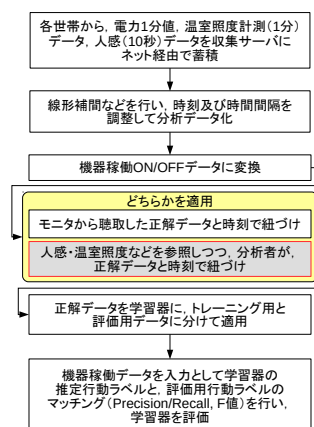


図 3 行動推定分析・検証手順

Fig. 3 Procedures of Analysis and Verification for Behavior Labels Estimation.

を事後報告して頂くことにした。各世帯の間取り図は, 前もって各モニタから情報提供頂いた。こちらも無線通信にて子機から親機へ計測データを送り, 親機がインターネットを介し, 収集サーバにデータを転送する。

4. 本実験で用いた行動推定分析

4.1 行動推定のねらいと正解データの収集形態について

前章のようにセッティングされたセンサデータを基に, 行動推定分析を試みた。前述のとおり, 本報告では, 1分程度の収集間隔のセンサデータを, 30分単位で代表値(平均値や, 指定区間内で, 一定回以上アクティブだったら ON, など)を算出し, それらのデータによる行動推定を, 識別器(今回は全体を通して, SVM を適用した)を用いて行う。以下, 適用した方法について説明する。

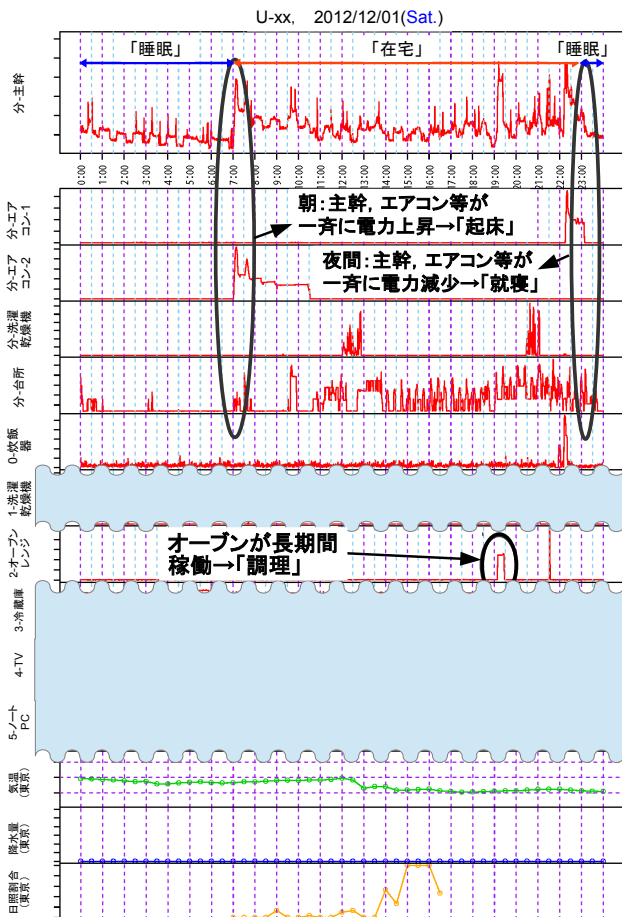


図 4 分析者による行動ラベル付与の判断要素の例

Fig. 4 An Example of Checkpoints for Behavior Labels by Analysers.

4.1.1 行動アンケートを正解データとした性能評価

まずは、行動アンケートを正解データとした時の手順について、図3では、「モニタから聴取した…」を適用した場合として示す。これは、1月から3月にかけ収集したモニタ行動アンケートで、「睡眠」「外出」「食事」「調理」「掃除」「洗濯」などを15分単位で回答頂いたデータの一部から識別器を構成し、かつそのテストデータでの推定結果とその正解データとを比較し、一致割合を評価する方法である。

4.1.2 分析者の目視フラグによる性能評価

十分にアンケートが取れ、識別器の推定結果が良好であれば、それを用いて全体データに適用して、各モニタ宅の行動特徴を抽出可能だが、後述するように、本評価適用にはアンケートデータが明らかに少なく、困難だった。

また、アンケートが実験後期にしか出来ず、改善した形式による再実施もできなかったため、識別器のチューニング方針を他手法で補う必要が生じた。そこで今回の推定では、識別器の説明変数としての採用を見送った人感・温室照度センサなども含め、分析者によるデータ目視や、モニタとの直接的なやりとりに基づき、一定期間付与した行動ラベルを正解データとし、識別器を構成するアプローチ

をとった。図3だと、その正解データとして「人感・温室照度…」を採用することになる。また、行動ラベルの判断例についてスケッチしたものを、図4に示す。具体的には、目視で図4内のグラフを確認し、活発な反応の有無や特徴的な挙動を確認しつつ行動ラベルを付与する。

本ラベリングについてはやや分析者側の恣意的なラベルづけが入る余地があり、モニタ宅の行動実態とは異なるラベル付けにもなりうるが、今回の研究での本正解ラベルを用いた性能検証の位置づけとして、

- 各種センサの数が増えた場合
- ある行動が複数機器の連動によってなされる場合
- 複数の検知可能な行動が同一時間帯で発生した場合

でも、都度ルールを再構築せず、なるべく簡単な再調整による精度維持手法の確認や、単なる正解の精度向上のみならず、疑似的な正解データに対する識別器の学習傾向の把握や、ラベル不一致時の条件検証等も、その活動目的に含まれる、という点は特記しておきたい。

4.2 SVMを用いた行動ラベル推定手法の処理手順

これまでに計測データ、及び分類で用いる正解データに関して述べてきたが、本節ではそれらデータを用いて、今回提案した識別器の構築手順について述べる。

これまでも触れたが、現在検討中の家庭内行動推定手法は、実サービスへの展開を目標の一つとしている。それを踏まえた上で、長期的な時系列データの入力が必要な推定手法を用いると、条件が揃えば一定の推定精度が見込める半面、例えば停電、接続機器のつけ・買い替え、機器の移動等によって、精度悪化や、計測データが入力できなくなることが起こりうる。その対策として上記変化を検知することも考えられるが、突発的事象でもあり、具体的な適用手法はまだ見いだせていない。よって、最初に着手するモデルは、長期時系列を入力とするモデルは見送り、「1タイムスライスで得られた複数センサベクトルデータから、各行動ラベル毎に推定モデルを構築し、行動発生の有無を分類する」モデルを識別器として採用することにした。処理の流れは、図5に示す。

今回のアプローチでは、まず各家電機器の1分値電力データから30分電力データに、平均値などを代表値として生成する。そして、その代表値群に対して、機器稼働の有無を電力量値のクラスタリングにより推定し、ON/OFFの2値に変換する。本変換については他にもいくつか手法が考えられるが、

- 機器の電力消費に複数のレベルを設定した場合、どのレベルがユーザーの操作由来かがわからない場合もありうるが、電源を完全にOFFにした時間帯は直感的に解釈しやすい
- ある世帯の推定モデルを他世帯に転用可能か検討することを想定した際、同一用途の機器でも世帯によって

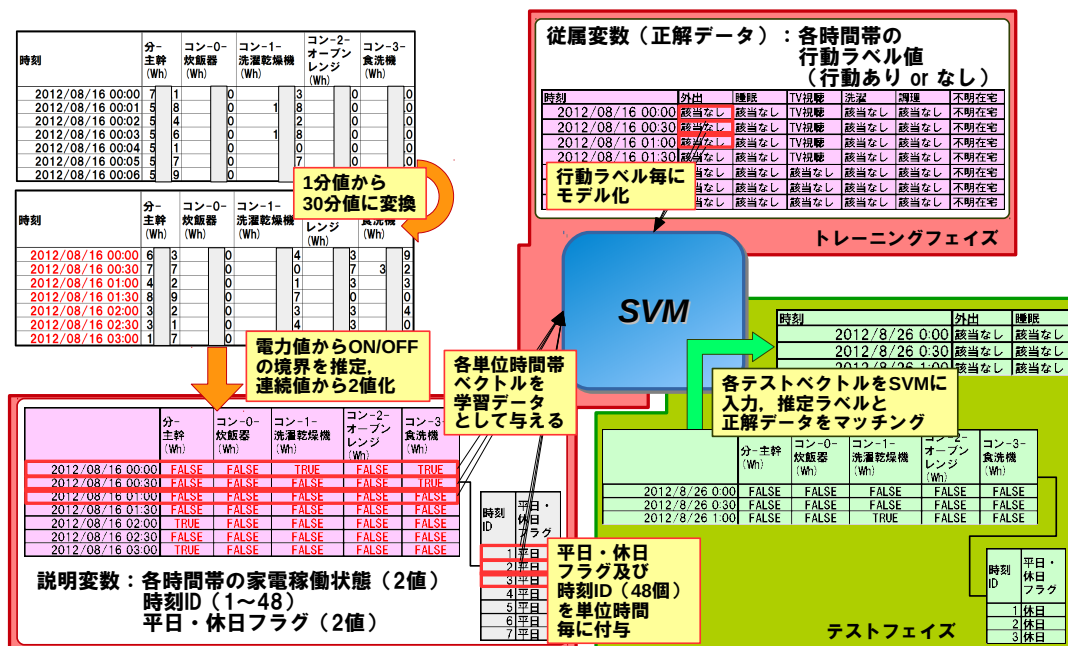


図 5 行動推定全体の処理の流れ

Fig. 5 Data Process Flow of Construction and Verification of Behavior Labels Estimation.

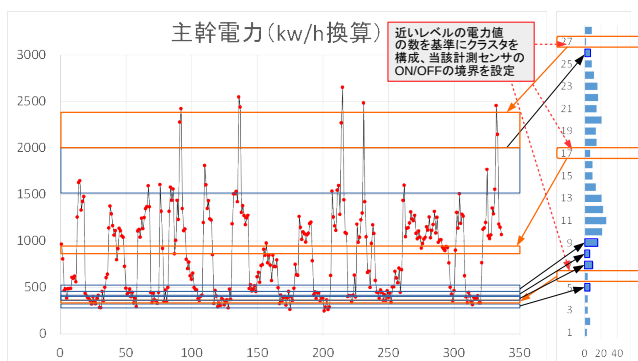


図 6 電力量値の離散レベル値変換手法の概要

Fig. 6 A Translation Method from The Values of Power Consumption to Discrete Levels.

出力傾向は変りうる。その時、複数のレベルマッチングは困難だが、ON/OFF なら容易な可能性がある

- もし多段階レベルを採用しないとわからない行動があったとしても、先に完全停止かそうでないかの分類をした知見があれば、その改良指針が立てやすい

などの理由から、本手法を採用する。電力量値から離散レベルに変換する手法は、図 6 に示す。すなわち、各電力量値の粗密を領域として選別するため、K-means 法で適当にクラスターを作成し、そのクラスターの中で所属個体数が少ないものを境界として 2 分する。今回は、ある程度の期間のデータに本手法を適用し、目視にて境界を設定する。

こうして得られる電力量値の離散データに、時間帯毎に付与される時刻 ID と、平日・休日を区別するための平日・休日フラグを、それぞれの時間帯データに付与する。これ

らの値はセンサ経由ではなく、明示的に与える。

従属変数は、各時間帯についてアンケートで回答された時間帯毎の行動ラベル、または、分析者目視の行動ラベルデータを使用する。1 世帯に複数人いた場合は基本的に各人で行動ラベルのチェックした上で、「睡眠」・「外出」・「不明在宅」については And、その他の行動については Or で、世帯単位の行動ラベルに変換したデータを用いる。

上記データで SVM を学習させ、テストデータは学習では使わなかった教師付きデータから、電力及び時刻 ID、平日・休日フラグデータを各時間帯別に SVM に入力し、出力される推定行動ラベルと、付与されている教師行動ラベルとを比較、一致するか否かを確認する。性能評価値としては、Accuracy Rate, Recall/Precision, F 値で行う。

4.3 行動推定結果

以下、前節で説明したように、

- 行動アンケートを正解データとした行動推定結果
- 分析者の目視による行動ラベルを正解データとした行動推定結果

について、それぞれの結果を示す。

4.3.1 行動アンケートを正解データとした行動推定結果

アンケートを正解とした推定結果について、F 値と、アンケート回答日及びデータ欠損の比較的少ない分析可能な日の And を取った対象日数を、それぞれ表 1 に示す。

まず、アンケート回答率が低く、またモニタから「回答のための負荷が高すぎる」という理由で、20 世帯を対象としたにも関わらず、7 世帯の収集に留まった。これは、モ

表 1 主要行動の行動ラベルマッチング結果 (F 値のみ抜粋)

Table 1 The Result of F Values of Behavior Labels by Monitors' Enquetes Data.

世帯ID	睡眠	外出	食事	調理	洗濯	入浴	掃除	TV視聴	不明在宅	対象日数
U-01	0.80	0.46	0.11	0.29	0.22	0.21	0.25	NaN	0.15	7
U-02	0.94	0.94	0.47	NaN	0.18	NaN	---	---	0.48	7
U-03	0.84	0.47		NaN	NaN	0.24	NaN	0.59	0.26	8
U-12	0.78	0.19	NaN	NaN	NaN	0.18	---	0.17	0.20	10
U-14	0.80	NaN	NaN	NaN	---	NaN	NaN	NaN	NaN	5
U-17	0.97	0.98	0.49	0.48	0.60	0.70	NaN	NaN	0.77	18
U-21	0.33	0.50	NaN	---	---	---	---	---	0.70	7

ニタ以外の居住者に高負荷を理由に拒否された、回答慣れの時間がなく勤がつかめなかった、等の理由も考えられる。本件に関しては、考察でも改めて述べる。

また、今回検証可能と判断した7世帯の結果のうち、「睡眠」「外出」を除くと、行動時間帯を1つも推定できない(表中ではNaN)等、推定精度も高くなかった。その理由は、

- 学習データの不足
- 無線通信エラーによるもの(冬季に各部屋の扉を閉めると、いくつかのセンサが受信できなくなる、等)
- アンケート日数が1週間程度だったが、その間に「洗濯」や「掃除」行動(をするための機器稼働)が短期間で正解データが少なく、識別器の学習に失敗すること
- アンケートの回答時間帯のズレや誤記(今回の評価では1コマのズレでもミスとしている)
- モニタの回答拒否(「回答したくないものは空欄でよい」と事前に通達していた。それらも含め、正解データが1つもなかったラベルは、「—」としている)

などが考えられるが、全体的に良好な結果だったU-17(結果は付録にて示す)は対象日数が18日だったことから、やはり正解データの不足が根本的な原因とみられる。

このように、アンケートによる検証では、家庭内行動の正確な記録や、作業の負担軽減が重要だが、それらを保ちつつ約1ヶ月のデータ収集を行う、というのは、特に多人数の世帯では相当な負担だったと考える。

4.3.2 分析者の目視による行動ラベルを正解データとした行動推定結果

次に、分析者の目視による行動ラベルを正解とした行動推定結果について、表2に示す。なお対象世帯はデータ欠損の状態等から11世帯を選び、ラベルの付与期間は、

- 夏期: 2012/08/16-2012/09/15
- 冬期: 2012/12/01-2012/12/25

の2シーズンを設定、それぞれラベルづけを実施している。

「睡眠」「外出」は、世帯平均でRecall/Precisionが共に0.7以上だった。「調理」については、Accuracy Rate, Precisionで共に0.9程度だが、Recallは0.6を下回った。その推定傾向を見ると、正解の大部分は全時間帯の大半を占める「調理ではない」時間帯である一方、「調理」行動の発生時間帯での一致率は低かった。本傾向は、特定機器(洗濯乾燥機もしくは洗濯機に該当する)との連動性が高い「洗濯」行動でも同様だった。また、「洗濯」行動と同

表 2 主要行動の行動ラベルマッチング結果 (分析者ラベル付与)

Table 2 The Result of All Behavior Labels by Analyzers' Labels.

2012/08/16~2012/09/15						
	Recall	Prec.	Acc. Rate	F-Value	データ総数	正例総数
外出	0.82	0.88	0.90	0.85	7800	2668
睡眠	0.71	0.77	0.91	0.74	7800	1555
TV視聴	0.86	0.94	0.96	0.90	7176	1919
洗濯	0.83	0.90	0.99	0.86	6312	724
調理	0.55	0.90	0.97	0.69	6432	319

2012/12/01~2012/12/25						
	Recall	Prec.	Acc. Rate	F-Value	データ総数	正例総数
外出	0.92	0.87	0.92	0.89	4248	1530
睡眠	0.55	0.83	0.92	0.66	4248	664
TV視聴	0.87	0.97	0.97	0.92	3672	959
洗濯	0.41	0.86	0.98	0.56	3048	75
調理	0.41	0.92	0.98	0.56	3072	95

様、特定機器(TVに該当する)との連動性が高い「TV視聴」行動は、Recall, Precisionとも0.8を超えた。

具体的数値の解釈は、アプリケーションにもよるため一概に評価するのは難しいが、情報推薦サービスではF値で0.7程度が1つの目安と考える。本基準に照らすと「外出」「TV視聴」は推定精度が高く、「睡眠」はその境界、「調理」「洗濯」行動は、今回適用した推定手法では精度不足という結果になった。「調理」「洗濯」行動については、当該行動発生数が、それ以外と比べ極端に少ないUnbalanced Dataとして推定する必要があると考える。「睡眠」はその行動中に照明や空調が稼働している場合があり、それでも推定可能な手法がありうるのか、さらに検討する必要がある。

5. 考察

前節まで、実験及び行動推定手法の適用結果に関して述べた。その考察をするに当たって、大きく以下の2つの観点に分けて述べる。

- 行動推定に関する課題
- データ計測での欠損に関する課題

5.1 行動推定に関する課題

行動推定に関する課題として、まず、各行動のより厳密な定義と、それに基づく正解データ収集方法の改善が挙げられる。また、仮に厳密な定義ができたとして、現状ではモニタアンケートをその最も確かなデータとするが、4.3.1節でも述べたようにその収集はモニタに強い負担が大きいことから、継続的实施は運用上難しいと考える。

本課題の解消には、

- 少数のモニタを対象に、厳密なアンケートや行動モニタリング手法（例えばカメラ撮影したものを、モニタに再生・確認して頂きラベリングする、など）で収集し学習させたモデルを、他世帯に流用する
- モニタ負担ができるだけ小さくなる正解データ収集方法を考え、その範疇で推定手法を構築する
- 教師データがなくても行動推定が可能な手法を適用する

等が考えられるが、少なくとも最後の案は、正解とするデータを用いた検証を経て、教師データなしでの推定手法の適用可能性が議論されるべきで、現段階では選び難い。また、残り2つの方法は、今回の分析を再検証した上で、更なるデータ収集及び分析が必要である。

また、計測家電機器の選択に関する課題もある。今回、電力消費量が相対的に高くなるエアコンや冷蔵庫等にセンサ設置をしたが、それらの機器は各行動との連動性がほぼなかった。コンセント電力センサは最大1世帯6個設置だったが、より正確に推定するためには、各行動との関連性が高い機器を網羅すべくセンサを増強するべきである。

さらに今回の実験では、複数センサのON/OFFを複合的に分類するようなデータ構成があまり多くなかったと考える。例えば「調理」行動は、電子レンジや、電気ポット、計測できればコンロなどのON/OFFを、複合的に判定すべき行動と想定していたが、実際には計測センサの設置条件から、電子レンジの単独稼働で「調理」行動を推定せざるを得ず、これが「調理」行動の推定精度低下の原因となった可能性もある。今回コンロのON/OFF情報が無いが、「調理」行動関連機器のセンサ数を増やして30分間での稼働の有無を複合的に判定、さらには、時系列的なON/OFFデータで行動推定する、というアプローチも考えられる。

5.2 データ計測での欠損に関する課題

データ計測時、屋内のセンサ子機 ↔ センサ親機間は、電力、人感・温室照度センサ共に、設置の容易さも考慮し無線通信で計測したが、実験全体を通じて、いくつかの世帯で通信障害によるデータ欠損が発生した。実際に起こった現象として、Zigbee®(2.4GHz)で、3~4m、木製ドアを閉めた際に通信不能になる、等が報告されている。今回の実験では、親機設置が各世帯のインターネット環境、特にWAN接続機器付近となるため、世帯によっては屋内の両端にセンサと親機を配置するなど、位置的に接続が困難な条件で計測せざるを得ない場合もあった。

このように、ポータビリティを向上すべく、ワイヤレスなセンサを選択すると、センサ間の通信エラーによるデータ欠損がある程度起こることを前提とした方がよい。そして、欠損が発生してもその影響が小さくなるように、予め何らかの対策を講じておくべきと考える。

6. おわりに

本報告では家庭内での行動について、モニタもしくは分析者による行動ラベル推定手法を、SVMを土台に構築し、その精度評価を行った。その結果、「外出」「TV視聴」行動は、かなり高精度な推定結果を得たが、他の行動については推定精度に課題が残る結果となった。

この課題克服について、モニタアンケートに基づく推定モデル構築のアプローチでは、ユーザー負担が軽い行動ラベルの収集方法が、実運用時を想定するに当たっても不可欠なことが鮮明になった。

また、分析者の目視ラベリングのアプローチで行動推定手法を適用し、推定精度を検証した結果、洗濯機やTVなど、今回定義した行動ラベルと直結した家電機器を計測しているにも関わらず推定精度に異なる傾向が表れることが確認できた。特に発生時間帯が少ない行動ラベルについては、それに特化した推定手法の必要性が示唆された。

ただいづれにせよ、行動ラベルの正解データを、どのようなポリシーで収集するか、今後詰めていく必要がある。

当面は、実際のご家庭へのサービス普及を進めるべく、設置が容易なセンサデータを用いた情報推薦サービス等の技術開発への寄与と、ビジネスとして有用な行動ラベルの模索及びその行動推定技術の向上を目指す。引き続き、様々な条件下での推定手法について検討を進めていきたい。

参考文献

- [1] アドソル日進：エネルギーモニタリングシステム、<http://www.admiss.jp/archives/1200>.
- [2] 株式会社東芝：CSR 企業の社会的責任 フランスリヨンプロジェクト、<https://www.toshiba.co.jp/csr/jp/highlight/2012/smart03.htm> (2012).
- [3] 株式会社東芝：米ニューメキシコ州でのデマンドレスポンス実証実験の実施について、http://www.toshiba.co.jp/about/press/2013_07/pr_j1801.htm (2013).
- [4] 岩船由美子、荻本和彦、八木田克英：住宅用分電盤電流データを用いた機器稼働状況推定手法、電気学会論文誌B, Vol. 131, No. 7, pp. 542-549 (2011).
- [5] 宮川製作所 HP：株式会社宮川製作所 MSK — エネルギー管理ソリューション一般家庭向け (HEMS), http://www.msk.co.jp/solutions/energy_hems.html.
- [6] 三菱電機株式会社 HP：ニュースリリーススマートハウス関連事業に本格参入、<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2013/0826-a.html> (2013).
- [7] 山田祐輔、加藤丈和、松山隆司：スマートタップネットワークを用いた家電の電力消費パターン解析に基づく人物行動推定、信学技報, No. USN2011-10, pp. 31-36 (2011).
- [8] 山本昌樹：アドバンス機能付き HEMS の開発、技術報告15, 通信ソサイエティマガジン (2010).
- [9] 「情報処理」2013年8月号別刷：特集生活をデザインする：生活機能構成学のアプローチ、情報処理学会 (2013).
- [10] 積水ハウス株式会社 HP：家庭内のエネルギーを最適制御する HEMS, https://www.sekisuihouse.co.jp/sustainable/2012/theme/earth/habitation_10_02.html.

付 録

A.1 アンケートデータを正解データとしたマッチング結果 (1 世帯)

各行動ラベル毎に結果を示す。図には各時間帯毎に、縦幅の狭い2枚1組のタイルと、縦幅の大きなタイルがある。

縦幅の狭いタイルは、学習時の正解データ（上側）と、学習後の推定データ（下側）を示す。詳細は、「明るい黄土色」：正解データでは、当該時間帯で「行動あり」だったデータ、「濃い黄土色」：正解データでは当該時間帯で行動がなかったデータ、「明るい緑色」：識別器の学習後、「行動あり」と推定された時間帯、「濃い緑色」：識別器の学習後、行動がなかったと推定された時間帯、である。

正方形に近い縦幅の大きなタイルは、テストデータによる識別器の結果と正解データによる True Positive, False Negative, False Positive, True Negative の表示結果である。詳細は、「朱色」：True Positive (正例を正解と推定), 「黄緑色」：False Negative (正解データでは正例だったが、識別器は負例と推定した (ON を見過ごした)), 「水色」：False Positive (正解データでは負例だったが、識別器は正例と推定した (ON を誤報した)), 「紅色」：True Negative (負例を識別器も負例と推定), である。

なお、アンケートでは「TV 視聴」をチェックするのは難しいため、「その他」行動を設け、その中に含む形を取っているが、本モニタは、その時間帯はほぼ「TV 視聴」をしているとのインタビュー結果を得ているので、「その他」行動を「TV 視聴」行動として推定した結果を示している。

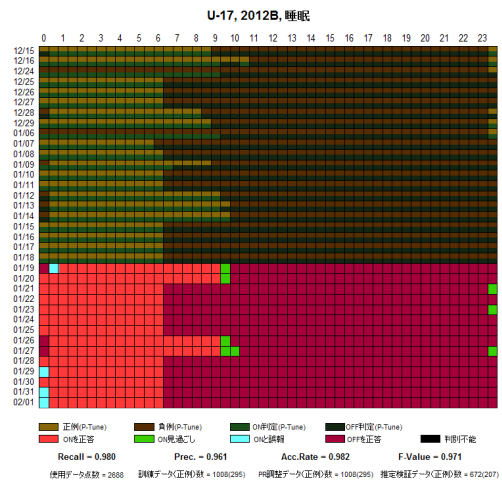


図 A-2 U-17 のアンケートデータによる「睡眠」行動ラベルマッチング結果

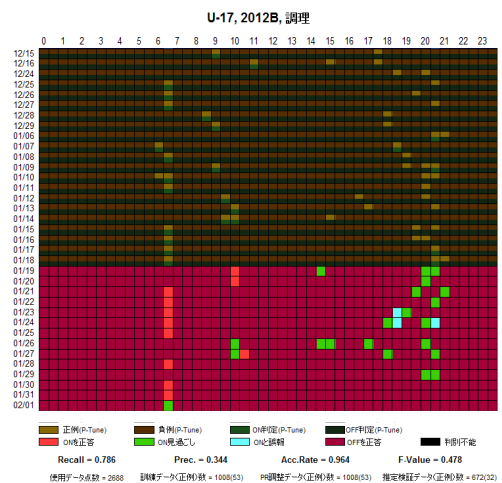


図 A-3 U-17 のアンケートデータによる「調理」行動ラベルマッチング結果

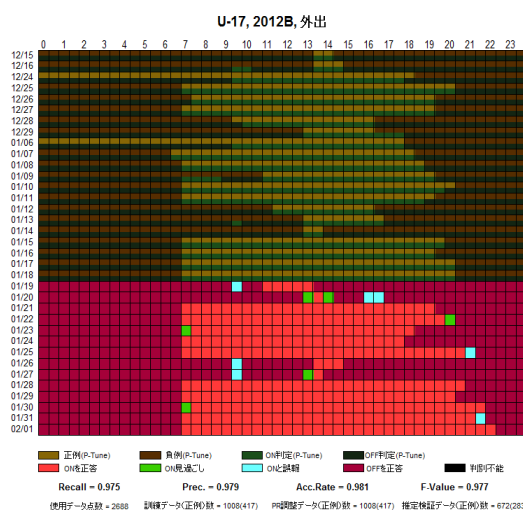


図 A-1 U-17 のアンケートデータによる「外出」行動ラベルマッチング結果

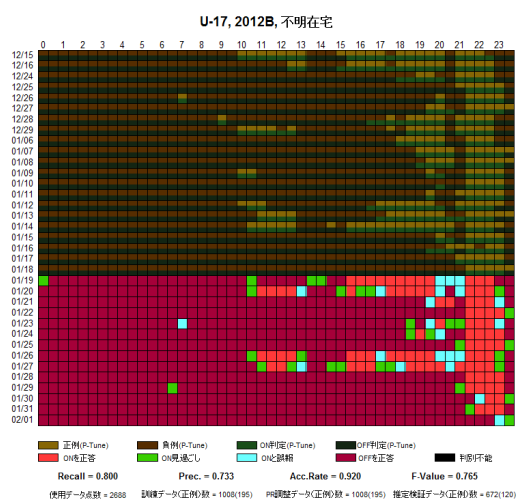


図 A-4 U-17 のアンケートデータによる「その他 (TV 視聴)」行動ラベルマッチング結果