

# IoT スマートホームにおける生活行動認識に向けたデータの可視化と分析

## Visualizing and Analyzing IoT Smart Home Data for Daily Living Activities Recognition

佐藤佑磨\*      松井智一\*      山下顕†      鈴木隆寛†      堀口賞一†      諏訪博彦\*‡  
 Yuma Sato    Tomokazu Matsui    Ken Yamashita    Takahiro Suzuki    Shoichi Horiguchi    Suwa Hirohiko  
 安本慶一\*  
 Keiichi Yasumoto

### 1. はじめに

近年、人々の生活をより豊かにする技術として、IoT 機器やセンサを搭載した住居であるスマートホームが注目を集めている。人が身につけるウェアラブルデバイスに加え、家の中の様々なモノ、エアコンやテレビ、掃除機など様々な電化製品、さらには、鏡や椅子などの家具も IoT 化されることにより、住人の生活行動や健康の状態を取得・理解し、住人の QoL を高めるサービスを提供することが期待されている。

これまでに、生活行動認識や健康状態推定に関する様々な研究が行われてきている。例えば、モーションセンサや圧力センサなどの各種センサを使い、住人の行動をセンシングし分析する研究が行われている [1]。また、fitbit などのウェアラブルデバイスを用いて計測した心拍（脈拍）数や睡眠状況などもデータとして容易に得られるようになり、それを利用した体調推定、コンテキスト推定などの研究も行われている [2, 3, 4]。生活行動や健康状態などのコンテキストを高精度に推定、もしくは、予測できれば、エアコンの温度調整や浴槽の自動湯沸かし、就寝時の消灯などの家電の先回り制御が可能となり、居住者の QoL 向上が期待できる。

様々なセンサやデバイスが設置された研究用途のスマートホームとして、米ジョージア工科大学の AwareHome [5] や NAIST スマートホーム [6] など、様々なスマートホームが国内外で構築されている。株式会社 NTT ドコモが構築したけん引移動可能な IoT スマートホーム<sup>®1</sup>（以下、IoT スマートホームと記載）もその一つである。この家には、モーションセンサをはじめとしたセンサが数多く搭載されており、住人の行動を計測・分析することができる。

本稿では、この IoT スマートホームを用いた実験によって得られたデータを可視化した結果を述べる。また、可視化結果に基づいて宅内行動認識のためのアノテー

ション方法、行動ラベルの定義について検討を行う。

### 2. 関連研究

スマートホームにおける生活行動認識に関して様々な研究が行われている [6, 7, 8, 9, 10]。例えば、上田ら [6] は、屋内位置センサと消費電力センサを用いて日常生活における行動 10 種（料理、食事、読書など）を認識している。屋内位置センサには超音波センサを使い、16 種類の家電に消費電力センサを取り付けることにより行動認識を行っている。

行動認識だけでなく、行動予測を行っている研究もある。佐々木ら [11] は時間に依存する日常生活の行動を LSTM をベースとしたモデルを用いて予測している。ある行動を行ってから、決められた時間内にまたその行動を行うか否かの分類問題として予測を行うことにより、実生活への応用可能性を示している。

また、一般家庭をスマート化するための、スマートホームキットに関する研究も行われている [12, 13]。松井ら [12] は、一般家庭への普及を目的としたシンプルな宅内生活行動センシングシステムを提案し、実際の一般家庭に住む 10 名の高齢者から収集したデータを用いて、行動認識を行っている。

### 3. IoT スマートホーム<sup>®</sup>

IoT スマートホームは、株式会社 NTT ドコモが、人々の生活・暮らしをサポートする家を実現するために構築したものである。IoT スマートホームの外観を図 1 に示す。IoT スマートホームは、けん引移動が可能なトレーラーハウスに実装されている。

#### 3.1 IoT スマートホーム内に搭載してあるセンサ

IoT スマートホームには多種多様な IoT 機器が設置されており、これらをドコモの IoT アクセス制御エンジンが管理およびコントロールすることで快適で健康的な空間を作り出している。搭載されているセンサ・アクチュエータ機器の例を表 1 に示す。様々な IoT デバイスにより収集される生活情報は、宅内のホームゲートウェイ装置を経由して、IoT アクセス制御エンジンで取得することが可能である。例えば、居住者の睡眠情報は布団下に敷かれた IoT 睡眠マットにより収集され、睡眠の質や呼

\* 奈良先端科学技術大学院大学, Nara Institute of Science and Technology

† 株式会社 NTT ドコモ, NTT DOCOMO, INC.

‡ 理化学研究所 革新知能統合研究センター (AIP), RIKEN Center for Advanced Intelligence Project (AIP)

<sup>1</sup>IoT スマートホーム<sup>®</sup>: 株式会社 NTT ドコモの登録商標

表 1: IoT スマートホーム設置機器

IoT 機器	通信方式	機能
血圧計	BLE	血圧の測定
体重計	BLE	体重の測定
睡眠計	Wi-Fi	睡眠状況の測定
人勸センサ	EnOcean	人の有無の検出 (寝室, 玄関, トイレ, ソファ)
ドア開閉センサ	EnOcean	ドアの開閉状況の検出 (冷蔵庫, 冷凍庫, 電子レンジ, クローゼット, 玄関)
スマートリストバンド	BLE	歩数, 消費カロリーなどの測定
食事カメラ (スマートフォン)	LTE	食事の内容, カロリー, 栄養素の推定
ほこりセンサ	BLE	PM10, PM2.5 の測定
照明	Wi-Fi	照明の ON/OFF, 色変更
赤外線学習リモコン	Wi-Fi	空気清浄機, 香りデバイス, エアコン, TV, カーテン, 天窓, カーテンの制御
CO2 センサ	EnOcean	CO2 の測定
スマートロック	BLE	鍵の状態取得, 開閉操作
分電盤	Wi-Fi (ECHONET Lite)	電力測定
スマート鏡	Wi-Fi	睡眠状況, 体重, 天気, 時刻などの情報表示
位置検出床	BLE	居住者の位置抽出
シャッター	Wi-Fi (ECHONET Lite)	シャッターの開閉, 角度調整
室内外環境センサ	有線 LAN	NO, NO2, SMP, PM2.5, 風光風速, 温湿度, HCHO, VOC, CO2 の測定



図 1: IoT スマートホームの外観



図 2: IoT スマートホームの内観

吸数, 寝返りを打った回数などの情報を収集することができる。また, 洗面台前の床には体重計が埋め込まれており, 生活に支障なく自然な形で体重などの健康関連情報を収集することを可能にしている。IoT スマートホームの内観を図 2 に示す。

### 3.2 IoT スマートホームを用いた生活実証生活モニタリング実証実験

実証実験では, IoT, AI などを用いて, 家が居住者に快適で健康的な空間を提供できるかを検証した。本実証実験では, 被験者は 1 名ずつ IoT スマートホームで 1 週間の生活を行い, データの収集を行った。被験者には, 自身が行った行動を 30 分単位で記録してもらった。行動は, チェックイン, 休憩, 夕食, 入浴, 睡眠, 朝食, 外出, 外食, 帰宅, チェックアウトの 10 種類の中から記載してもらった。実験概要を以下に示す。

- 実験目的: 生活・暮らしをサポートする家を実現するために, IoT スマートホーム内のセンサなどを用いて, 住人の行動データを収集する。

- 参加者: 成人男女計 5 名
- 日時: 2019 年 9 月 17 日から 10 月 22 日
- 収集データの内容: 血圧, 体重, 睡眠状況, 寝室や玄関などでの人の有無, ドアの開閉状況, 歩数, 消費カロリー, 食事内容, PM10 と PM2.5 の測定値, 照明の ON/OFF, 家電の使用状況, CO2 の測定値, 鍵の状態, 消費電力, 被験者の位置, シャッターの開閉など

## 4. データの可視化

センサデータ及び被験者がつけた行動ラベルにどのような相関があるのかを調べるために, データの前処理と可視化を行った。可視化を行うにあたり, 今回はモーションセンサおよびドアセンサのデータを用いた。収集された生データを 10 秒単位でリサンプリングし, その中で何回センサが反応したかを時系列順に表したデータフレームを作成し, それをセンサデータとして用いた。

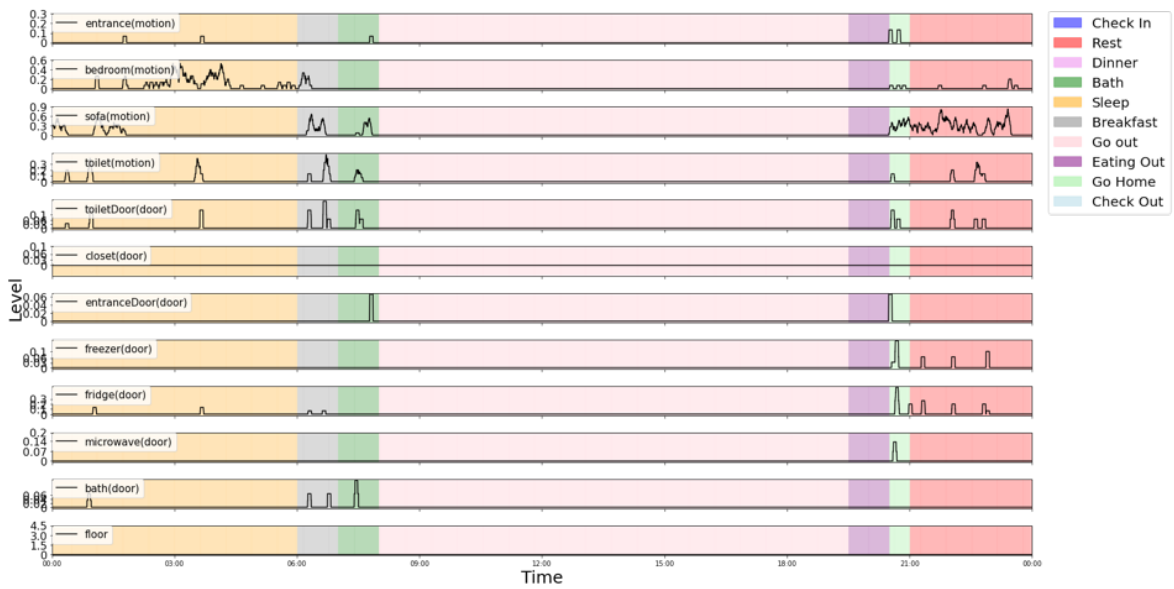


図 3: センサデータと行動の可視化

	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
0:00							
0:30							
1:00							
1:30							
2:00							
2:30							
3:00							
3:30							
4:00							
4:30							
20:00							
20:30	行動E	行動D	行動D	行動D	行動D	行動C	
21:00	行動B		行動C	行動C	行動C		
21:30		行動B	行動B	行動B	行動B	行動B	
22:00	行動C						
23:00	行動D						
23:30							

※日付, 年齢, 性別などの情報を記入

図 4: 被験者のつけたアノテーションの例

#### 4.1 データの前処理

可視性の向上のため、センサデータに関しては 30 点の移動平均をとった上でプロットし、各グラフのスケールを調整した。今回の実験では、被験者は行動を 30 分単位でラベル付けしているため、チェックインや帰宅といった短時間の行動でも最小単位の 30 分間行動したとしている。

#### 4.2 データの可視化結果

被験者が自らつけた行動ラベルとセンサデータとの対応を見るため、可視化を行った。途中で実験を中止した被験者や正確にデータを取れなかった被験者もいたため、最もよくデータが取れていると判断した被験者を 1 名選び、その被験者の 1 日の行動データを可視化した。可視化結果を図 3 に示す。また、被験者がつけた行動ラベルの例を図 4 に示す。

被験者が睡眠、朝食、入浴などの行動を行っている際に、どのセンサが反応しているかをわかりやすくするた

め、各行動ごとに背景色を変えている。行動ラベルは、チェックイン (Check In)、休憩 (Rest)、夕食 (Dinner)、入浴 (Bath)、睡眠 (Sleep)、朝食 (Breakfast)、外出 (Go Out)、外食 (Eating Out)、帰宅 (Go Home)、チェックアウト (Check Out) の 10 種類であり、それぞれに対応した色は図の右側に凡例として示している。

用いたセンサはモーションセンサとドアセンサである。各帯はセンサの種類を示しており、各帯の左上にセンサの種類を記載している。なお、図中の“floor”は床センサのデータに相当するが、この被験者に関してはうまくデータが取れておらず、何もプロットされていない。

可視化結果から、この被験者は休憩の時には主にソファで過ごしていることがわかる。また、行動ラベル上では睡眠を開始した時間は 0 時ということになっているが、センサデータを見ると寝室のセンサが反応し始めているのが 2 時あたりからなので、実際に睡眠を開始したのは 2 時くらいからだと推測できる。さらに、睡眠中に一回トイレに行っていることや、冷蔵庫を開くときは同じタイミングで冷凍庫を開いていることもわかる (20:30-21:00 の間)。

## 5. おわりに

本稿では、株式会社 NTT ドコモが構築した IoT スマートホームにおいて居住者が生活中に計測したセンサデータの可視化結果を示した。可視化の結果、既存のアノテーション方法や粒度では、センサデータと行動ラベルが適合しないことを確認した。この問題を解決するためには、被験者が行った行動をリアルタイムで記録していく必要がある。そこで、今後の実証実験では著者らの

所属する研究グループが開発したラベリングボタン [12] やアプリケーション [14] を用いてアノテーションを行うことを予定している。また、日常の生活においてどの行動を認識の対象にするかも重要な要因の一つであることがわかった。例えば、休憩といっても何を持って休憩とするかは人それぞれなので、抽象的な言葉ではなく、具体的に一つ一つの行動を定義する必要があると考えられる。

## 参考文献

- [1] Hande Alemdar, Halil Ertan, Ozlem Durmaz Incel, and Cem Ersoy. Aras human activity datasets in multiple homes with multiple residents. In *2013 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops*, pp. 232–235. IEEE, 2013.
- [2] Francisco Javier Ordóñez and Daniel Roggen. Deep convolutional and lstm recurrent neural networks for multimodal wearable activity recognition. *Sensors*, Vol. 16, No. 1, p. 115, 2016.
- [3] Debraj De, Pratoool Bharti, Sajal K Das, and Sri-ram Chellappan. Multimodal wearable sensing for fine-grained activity recognition in healthcare. *IEEE Internet Computing*, Vol. 19, No. 5, pp. 26–35, 2015.
- [4] Yugo Nakamura, Yuki Matsuda, Yutaka Arakawa, and Keiichi Yasumoto. Waistonbelt x: A belt-type wearable device with sensing and intervention toward health behavior change. *Sensors*, Vol. 19, No. 20, 2019.
- [5] Cory D. Kidd, Robert Orr, Gregory D. Abowd, Christopher G. Atkeson, Irfan A. Essa, Blair MacIntyre, Elizabeth D. Mynatt, Thad Starner, and Wendy Newstetter. The aware home: A living laboratory for ubiquitous computing research. In *Proceedings of the Second International Workshop on Cooperative Buildings, Integrating Information, Organization, and Architecture*, pp. 191–198, 1999.
- [6] 上田健揮, 玉井森彦, 荒川豊, 諏訪博彦, 安本慶一. ユーザ位置情報と家電消費電力に基づいた宅内生活行動認識システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 2, pp. 416–425, 2016.
- [7] Kazuki Moriya, Eri Nakagawa, Manato Fujimoto, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, Aki Kimura, Satoko Miki, and Keiichi Yasumoto. Daily living activity recognition with echonet lite appliances and motion sensors. In *2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, pp. 437–442. IEEE, 2017.
- [8] 柏本幸俊, 秦恭史, 中川愛梨, 諏訪博彦, 藤本まなど, 荒川豊, 繁住健哉, 小宮邦裕, 小西健太, 安本慶一ほか. エナジハーベスト焦電型赤外線・ドア開閉センサと家電消費電力に基づいた宅内生活行動認識システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 58, No. 2, pp. 409–418, 2017.
- [9] José M Alcalá, Jesús Ureña, Álvaro Hernández, and David Gualda. Assessing human activity in elderly people using non-intrusive load monitoring. *Sensors*, Vol. 17, No. 2, p. 351, 2017.
- [10] Nagender Kumar Suryadevara, Subhas C Mukhopadhyay, Ruili Wang, and RK Rayudu. Forecasting the behavior of an elderly using wireless sensors data in a smart home. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 26, No. 10, pp. 2641–2652, 2013.
- [11] Wataru Sasaki, Masashi Fujiwara, Manato Fujimoto, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, and Keiichi Yasumoto. Predicting occurrence time of daily living activities through time series analysis of smart home data. In *2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, pp. 233–238, 2019.
- [12] Tomokazu Matsui, Kosei Onishi, Misaki Shinya, Manato Fujimoto, Hirohiko Suwa, and Keiichi Yasumoto. Easy-to-deploy living activity sensing system and data collection in general home. In *2020 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, pp. 460–465, 2020.
- [13] Diane J Cook, Aaron S Crandall, Brian L Thomas, and Narayanan C Krishnan. Casas: A smart home in a box. *Computer*, Vol. 46, No. 7, pp. 62–69, 2012.
- [14] 佐々木渉, 大西晃正, 三崎慎也, 諏訪博彦, 藤本まなど, 水本旭洋, 荒川豊, 木村亜紀, 三木智子, 安本慶一. 生活の質の向上を目指した宅内行動・生体情報収集システムと qol アウェア家電制御の検討. *SIG-SAI*, Vol. 34, No. 1, pp. 1–8, mar 2019.