

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月9日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02698

研究課題名(和文) 非電化製品のセンサ化による住宅住人管理・制御システムの構築

研究課題名(英文) Construction of inhabitant control and management system by sensorization of non-electronic appliances

研究代表者

村尾 和哉 (Kazuya, Murao)

立命館大学・情報理工学部・准教授

研究者番号：50609295

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：ユビキタス技術の発展により、環境にセンサを配置し、人の行動パターンに応じて機器を制御する空間が登場してきており、環境内の人物や動作の認識技術の重要性が高まっている。本研究では、トイレトーパーホルダ、シャワーヘッド、ダイニングテーブルなど非電化製品に安価かつ小型のセンサを搭載して非電化製品のセンサ化を実現し、多変量解析や機械学習によって使用者識別および使用者状態推定を行い、住宅および住人を管理・制御するシステムを構築した。画像認識や音声処理を用いず、機器の携帯や装着も必須としないため、本システムがユーザに与える心理的・肉体的負担は小さく、持続可能性の高いシステムである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

センサを用いた人物識別および状態推定では、画像や音声認識、RFIDタグなどのリッチな手法を用いることで利用者には普段一般の生活とは異なる環境を強いてきた。天井に疎に配置した赤外線センサと非電化製品の利用データから、センサデータ処理技術および機械学習技術を駆使することで利用者の負担を最大限抑制しつつ人物トラッキング、移動予測、状態推定を行い、住宅と住人を管理・制御する。住宅内の人の情報の取得、行動予測、状態推定から人間や空間へのフィードバックという機構を確立することは、今後ユビキタス技術を実世界において広く一般に普及させる原動力となるポテンシャルを秘めており、ビジネス面でのインパクトも大きい。

研究成果の概要(英文)：With the development of ubiquitous technology, a space that can control devices according to human's behavior has appeared by placing sensors in the environment, and the importance of human activity recognition technology is increasing. In this work, inexpensive and small sensors are installed on non-electric appliances such as toilet paper holder, shower head, dining table to realize non-electronics sensorization, and systems for user identification and user state recognition by multivariate analysis and machine learning are constructed. The system does not use image recognition and voice processing, and does not require carrying or mounting of equipment, therefore, the psychological and physical burden imposed on the user by this system is small, and it is a highly sustainable system.

研究分野：ウェアラブルコンピューティング

キーワード：ユビキタスコンピューティング センサ情報処理 スマートホーム

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化の深刻な悪影響を避けるために 21 世紀末に温室効果ガスの排出量をほぼゼロにする必要があると指摘した統合報告書が国連の気候変動に関する政府間パネル(IPCC) から 7 年ぶりに発表され、温室効果ガスの排出量削減は世界全体の社会問題として認識されている。さらに、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震以降、原発の停止に伴う化石燃料費の増加により電気料金は震災前と比較して 37% 上昇し、企業や大学、家庭に影響を与えており、国民の節電に対する意識は高まっている。このような背景による国民の省電力・省エネに対する意識の向上と情報科学技術の発展から、センサデバイスを用いてオフィスや家庭の電力消費を最適化するシステムに注目が集まっている。これらのシステムは家庭やオフィスの電化製品やインフラに設置されたセンサデバイスから得られた情報をもとに自動的に機器の ON/OFF 制御を行ったり、情報端末を用いて住人や作業者が意図的に機器の制御を行うものである。しかし、現状では人の不在時に電源を切るといった単純な制御しか行えず、高度な制御には人の手による操作が必要である。エアコンなどの空調設備を単純に制御して頻繁に ON/OFF を行うと、トイレに行くたびに暖房が切れて温度が低下し、再び暖めなくてはならず無駄な電力消費が生じる。同様に、テレビ視聴時に席を外しただけでテレビや衛星チューナーの主電源を切ると、席に戻った際に映像が現れるまで数秒を要する。このような人の行動を考慮しないこまめな制御は QoL (Quality of Life) の低下を招くため、人の行動を検知・予測して機器を制御すべきである。

2. 研究の目的

ユビキタス技術の発展により、環境にセンサを配置し、人の行動パターンに応じて機器を制御する空間が登場してきており、環境内の人物や動作の認識技術の重要性が高まっている。本研究では、トイレトペーパーホルダ、シャワーヘッド、ダイニングテーブルなど非電化製品に安価かつ小型のセンサを搭載して非電化製品のセンサ化を実現し、多変量解析や機械学習によって使用者識別および使用者状態推定を行い、住宅および住人を管理・制御するシステムの構築を目的とする。画像認識や音声処理を用いず、また機器の携帯や装着も必須としないため、本システムがユーザに与える心理的・肉体的負担は小さく、子供から高齢者までを対象とした持続可能性の高いシステムである。

3. 研究の方法

個別の空間におけるシステム（以下、個別システム）に関して目標を定め、個々のシステムの目標を達成するための研究を推進する。

(1) 個別の空間における人物識別および状態推定

個別システムに関しては便所、浴室、玄関、台所、寝室、給湯室、談話室等、住宅やオフィスの構成要素である小規模な空間において、各空間に通常設置されていると考えられる備品や設備から採取可能なデータを調査する。その後、空間からデータを採取するためのセンサハードウェアの決定および個人識別と状態推定を行うデータ処理方式の決定を行う。具体的には市販のセンサが適用可能である場合はサイズやセンサの性能、通信インタフェース等から最適なものを決定し、既存センサでの運用が困難であればセンサを開発する。データ処理方式に関しては従来提案されている特徴量抽出方法や識別アルゴリズムに加えて、各備品の使用方法に特化した方式を新たに提案する。備品の設置箇所や形状はさまざまであるため、初期システム構築コスト、識別速度、識別精度、システム構築後の改変コストを様々な環境で調査する。備品によって設置箇所や形状が頻繁に変更される場合があるため、システム構築後の改変コストの考慮は必須であり、本研究では可能な限り設置箇所や形状に依存しない特徴量やアルゴリズムの提案を目指す。個別システム構築のためのデータ採取は各研究機関や自宅等の空間を適宜利用する。その後は、個別システムの完成に向けて、動作特徴量および識別アルゴリズムを確立する。具体的には、動作が行われている区間のデータを抽出し、区間全体あるいは一部から特徴量に変換して、事前に取得した教師データから作成した識別モデルを用いて個人識別を行う。教師データとして、動作主の情報は外部から与える必要がある。実証実験では、単純に実装したシステムが正常に稼働するだけでなく、生活の妨げにならないか、住人に精神的肉体的負担を課さないかなどデザインやインタフェース面の調査および改善も行う。

(2) 情報統合による住人情報データベースの構築

各個別システムが出力する人物識別・状態推定情報および赤外線人感センサのシステムが出力する人物移動情報から構成されるデータベースの構築を行う。データベース構築環境を整え、蓄積したデータのマイニングによる頻出パターンやモチーフの抽出を行う。その後は、各個別システムから得られる個人識別情報および個人状態情報と、若手研究 B の成果である赤外線センサから得られる移動情報を統合し、住人のトラッキングおよび近い将来の行動予測を行う機構を構築する。予測された情報は機器制御に用いられる。統合システムのベータ版完成後の第 2 次実証実験の結果および収集されたデータを用いて生活パターンの抽出性能および行動予測性能を確認し、システムの改良を行う。

(3) 住人情報に基づく機器制御および情報提示

消費電力と住人の QoL の両面を考慮した機器の制御手法および住人にとって有益な情報提示内容・提示手法を検討する。制御すべき機器を特定し、それらの電力消費、効果が表れるま

での時間、機器の動作が QoL に与える影響を調査する。その後、調査結果をもとに機器制御ルール等を生成し、実証実験にて家全体の消費電力の変化及び住人の QoL を調査する。情報提示に関しても幅広い被験者を募り、実証実験参加者からアンケート等を通じて各手法を評価する。

4. 研究成果

個別システムに関しては便所、浴室、玄関、台所、寝室、給湯室、談話室等、住宅やオフィスの構成要素である小規模な空間において、各空間に通常設置されていると考えられる備品や設備から採取可能なデータを調査した。その後、空間からデータを採取するためのセンサハードウェアの決定および個人識別と状態推定を行うデータ処理方式の決定を行った。また、個別システムの完成に向けて、動作特徴量および識別アルゴリズムを確立した。具体的には、動作が行われている区間のデータを抽出し、区間全体あるいは一部から特徴量に変換して、事前に取得した教師データから作成した識別モデルを用いて個人識別を行った。各個別システムが出力する人物識別・状態推定情報および赤外線人感センサのシステムが出力する人物移動情報から構成されるデータベースの構築を行った。各個別システムから得られる個人識別情報および個人状態情報と、若手研究 B の成果である赤外線センサから得られる移動情報を統合し、住人のトラッキングおよび近い将来の行動予測を行う機構を構築した。消費電力と住人の QoL の両面を考慮した機器の制御手法および住人にとって有益な情報提示内容・提示手法を検討した。各個別システムの問題点抽出および方式改善を行うとともに、個別システムを統合したシステムの構築に向けての取組みを推進した。すべての個別システムを 1 つの住宅やオフィスに組込むには配線工事などを含めて多大な時間と費用を要するため、組込み前に統合システムのベータ版を構築した。ベータ版構築には実験住宅に既に組み込まれている機材や研究室内を改良した擬似住宅を用いた。また、センサの設置には電源とネットワークの配線が障壁となるため、Arduino などのマイクロコントローラ基板や RaspberryPi などのシングルボードコンピュータ、モバイルバッテリー、無線コントローラを用いて、電源や情報コンセントがない場所でも容易に設置可能かつデータ採取可能なセンサデバイスを実装した。設置撤去が容易なシステムを構築し、高齢者の住宅で実際にセンシングを行った。本研究の提案機構は住宅内で完結するものを想定しているが、将来的には大規模な知識データベースを保持する遠隔地と住宅を接続した、より高度な住宅の実現を考えている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

- [1]. A. Ohnishi, K. Murao, T. Terada, M. Tsukamoto: A Method for Structuring Meeting Logs using Wearable Sensors, Elsevier Journal (Internet of Things: Engineering Cyber Physical Human Systems), Vol. 5, pp. 140-152 (2019), 査読有, <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.01.005>.
- [2]. K. Yamamoto, F. Kan, K. Murao, M. Mochizuki, N. Nishio: Manual Grading Task Support System with Interactive Correction Mechanism, The Transactions of Human Interface Society, Vol. 21, No. 1, pp. 73-84 (2019), 査読有, https://doi.org/10.11184/his.21.1_73.
- [3]. H. Yamada, K. Murao, T. Terada, M. Tsukamoto: A Method for Determining the Moment of Touching a Card using Wrist-worn Sensor in Competitive Karuta, Journal of Information Processing, Vol. 26, No. 1, pp. 38-47 (2018), 査読有, <https://doi.org/10.2197/ipsjjip.26.38>.
- [4]. K. Murao, J. Imai, T. Terada, M. Tsukamoto: Activity Recognition and User Identification based on Tabletop Activities with Load Cells, Journal of Information Processing, Vol. 25, No. 1, pp. 59-66 (2017), 査読有, <https://doi.org/10.2197/ipsjjip.25.59>.
- [5]. 倉橋真也, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: トイレトペーパーの回転に基づくトイレ使用者識別手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 58, No. 1, pp. 237-248 (2017), 査読有.
- [6]. 村尾和哉, 寺田 努, 矢野 愛, 松倉隆一: 疎に配置された赤外線センサを用いた住宅内人物移動推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 10, pp. 2175-2185 (2016), 査読有.
- [7]. K. Murao, T. Terada: A Combined-Activity Recognition Method with Accelerometers, Journal of Information Processing, Vol. 24, No. 3, pp. 512-521 (2016), 査読有, <https://doi.org/10.2197/ipsjjip.24.512>.
- [8]. K. Murao, G. Yoshida, T. Terada, M. Tsukamoto: Determining a Number of Training Data for Gesture Recognition Considering Decay in Gesture Movements, The Trans. of Human Interface Society, Vol. 17, No. 2, pp. 213-222 (2015), 査読有, <https://doi.org/10.11185/imt.10.449>.
- [9]. R. Izuta, K. Murao, T. Terada, M. Tsukamoto: Early Gesture Recognition Method with an Accelerometer, International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol. 11, Issue 3, pp. 270-287 (2015), 査読有, <https://doi.org/10.1108/IJPC-03-2015-0016>.

- [10]. K. Murao, H. Tobise, T. Terada, T. Iso, M. Tsukamoto, T. Horikoshi: Mobile Phone User Authentication with Grip Gestures using Pressure Sensors, International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol. 11, Issue 3, pp. 288-301 (2015), 査読有, <https://doi.org/10.1108/IJPC-03-2015-0017>.
[学会発表] (計 19 件)
- [1]. A. Ohnishi, K. Murao, T. Terada, M. Tsukamoto: A Meeting Log Structuring System using Wearable Sensors, The 7th International Workshop on Advances in Data Engineering and Mobile Computing (DEMOc-2018) (2018).
- [2]. K. Murao, Y. Enokibori, H. Gjoreski, P. Lago, T. Okita, P. Siirtola, K. Hiroi, P. M Scholl: 6th International Workshop on Human Activity Sensing Corpus and Applications (HASCA), The 6th International Workshop on Human Activity Sensing Corpus and Application: Towards Open-Ended Context Awareness (HASCA2018), UbiComp/ISWC2018 adjunct (2018).
- [3]. S. Harada, K. Murao, M. Mochizuki, N. Nishio: A Wi-Fi Positioning Method Considering Radio Attenuation of Human Body, The 6th International Workshop on Human Activity Sensing Corpus and Application: Towards Open-Ended Context Awareness (HASCA2018), UbiComp/ISWC2018 adjunct (2018).
- [4]. L. Wang, H. Gjoreskia, K. Murao, T. Okita, D. Roggen: Summary of the sussex-huawei locomotion-transportation recognition challenge, The 6th International Workshop on Human Activity Sensing Corpus and Application: Towards Open-Ended Context Awareness (HASCA2018), UbiComp/ISWC2018 adjunct (2018).
- [5]. S. Nakayama, K. Murao, M. Mochizuki, N. Nishio: User identification method in a bathtub with a water pressure sensor, The 16th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM2018) (2018).
- [6]. 村尾和哉, 山田浩史, 寺田 努, 塚本昌彦: ウェアラブルセンサを用いたジェスチャ中の特定動作発生タイミング推定手法, 情報処理学会インタラクシオン 2019 (2019).
- [7]. K. Yamamoto, F. Kan, K. Murao, M. Mochizuki, N. Nishio: GERMIC: Application of Gesture Recognition Model with Interactive Correction to Manual Grading Tasks, EAI 9th International Conference on Mobile Computing, Applications and Services (MobiCASE 2018) (2018).
- [8]. H. Watanabe, K. Murao, M. Mochizuki, N. Nishio: A Recognition Method for Continuous Gestures with an Accelerometer, The 4th Workshop for Human Activity Sensing Corpus and its Application (HASCA 2016), UbiComp'16 Adjunct (2016).
- [9]. H. Yamada, K. Murao, T. Terada, M. Tsukamoto: A System for Determining which Player Touches a Card first using a Wrist-worn Sensor in Competitive Karuta, 20th International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2016) (2016).
- [10]. K. Kaji, K. Kanagu, K. Murao, N. Nishio, K. Urano, K. Iida, N. Kawaguchi: Multi-Algorithm On-Site Evaluation System for PDR Challenge, IEEE 9th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2016), (2016).
- [11]. M. Kurahashi, K. Murao, T. Terada, M. Tsukamoto: A System for Identifying Toilet User by Characteristics of Paper Roll Rotation, The 13th Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services (MOBIQUITOUS 2016) (2016).
- [12]. R. Izuta, K. Murao, T. Terada, T. Iso, H. Inamura, M. Tsukamoto: Screen Unlocking Method using Behavioral Characteristics when Taking Mobile Phone from Pocket, The 14th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2016) (2016).
- [13]. M. Kurahashi, K. Murao, T. Terada, M. Tsukamoto: Personal Identification System Based on Rotation of Toilet Paper Roll, IEEE 1st International Workshop on Pervasive Smart Living Spaces (PerLS2017) (2017).
- [14]. A. Ishida, K. Murao, T. Terada, M. Tsukamoto: A User Identification Method Based on Features of Opening/Closing the Refrigerator Door, IEEE 1st International Workshop on Pervasive Smart Living Spaces (PerLS2017) (2017).
- [15]. K. Murao, T. Terada, A. Yano, R. Matsukura: Estimating Trajectory of Inhabitants with Sparsely Aligned Infrared Sensors, 5th International Workshop on Advances in Data Engineering and Mobile Computing (DEMOc 2016) (2016).
- [16]. K. Murao, J. Imai, T. Terada, M. Tsukamoto: Recognizing Activities and Identifying Users based on Tabletop Activities with Load Cells, The 17th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS 2015), no. 39 (2015).
- [17]. Y. Fukuzaki, M. Mochizuki, K. Murao, N. Nishio: Statistical Analysis of Actual Number of Pedestrians for Wi-Fi Packet-based Pedestrian Flow Sensing, The 1st

International Workshop on Smart Cities, UbiComp'15 Adjunct (2015).

- [18]. K. Miyazaki, R. Wada, M. Mochizuki, K. Murao, N. Nishio: Evaluation of Cross-Assistive Approach for PDR and Wi-Fi Positioning in the Real Environment, The 3rd workshop for Human Activity Sensing Corpus and its Application (HASCA 2015), UbiComp'15 Adjunct (2015).
- [19]. S. Yoshimi, K. Kanagu, M. Mochizuki, K. Murao, Nobuhiko Nishio: PDR Trajectory Estimation using Pedestrian-Space Constraints: Real World Evaluations, The 3rd workshop for Human Activity Sensing Corpus and its Application (HASCA 2015), UbiComp'15 Adjunct (2015).

[図書] (計 2 件)

- [1]. 水野忠則, 内藤克浩 監修, 北須賀輝明, 鈴木秀和, 稲村 浩, 太田 賢, 今井哲朗, 奥村幸彦, 鈴木信雄, 吉廣卓哉, 森野博章, 神崎映光, 江原正規, 内藤克浩, 梶 克彦, 村尾和哉著, モバイルネットワーク, 共立出版, 256 (2016).
- [2]. K. Murao, R. Ohmura, S. Inoue, Y. Gotoh: Mobile Computing, Applications, and Services - 9th International Conference, MobiCASE 2018, Proceedings. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering 240, Springer 2018, 304pages, ISBN 978-3-319-90739-0.

[その他]

ホームページ等

村尾和哉のホームページ <http://muraokazuya.net>

立命館大学研究者データベース

URL <http://research-db.ritsumeit.ac.jp/Profiles/112/0011161/profile.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：寺田 努

ローマ字氏名：(TERADA, Tsutomu)

所属研究機関名：神戸大学

部局名：大学院工学研究科

職名：教授

研究者番号 (8 桁)：70324861

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。