

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24700066

研究課題名(和文)赤外線人感センサを用いた住宅管理・制御システムの構築

研究課題名(英文)Development of a system for home management and control with infrared sensors

## 研究代表者

村尾 和哉 (MURAO, Kazuya)

立命館大学・情報理工学部・助教

研究者番号：50609295

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：ユビキタスコンピューティング技術の発展により、スマートホームやスマートオフィスなど環境にセンサデバイスを配置し、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おり、環境内の人物の動作や生活パターンの認識技術の重要性が高まっている。本研究では、安価かつ小型な赤外線人感センサを用いた住宅内人物移動検出手法を提案した。従来までのカメラによる画像を用いず、また住人は一切の機器を身に付ける必要が無いため、本システムがユーザに与える心理的・肉体的負担は小さい。

研究成果の概要(英文)：Along with the development of ubiquitous computing technologies, there have been appearing smart home and smart office where sensor devices are embedded and appliances are controlled in response to human activity patterns, therefore recognition technologies for living patterns and human activities are needed. This project proposed a method that detects human movement in home environment with sparsely aligned infrared sensors. The proposed system does not give users the physical and psychological burden since the proposed system does not use cameras nor wearable and mobile devices.

研究分野：センサ情報処理

キーワード：ユビキタスコンピューティング 移動検出 赤外線センサ

### 1. 研究開始当初の背景

2005年に我が国の二酸化炭素排出量を1990年比で2008年から2012年の間に6%削減することを約した京都議定書が発効され、二酸化炭素排出量削減は国民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の影響で全国的に電気の供給能力が不足する事態となり、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事務所内や家庭内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[1]。これらのシステムは家庭やオフィス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、図1に示すように人の行動を検知・予測して機器を制御すべきである。

### 2. 研究の目的

本研究では以下の2点を要素技術とする、住宅管理制御システムの構築を目的とする。

(1)移動情報の検出:赤外線センサは受光部の形状によって広域検出、高分解能などを選択できるほか、設置位置や角度などによっても検出性能が大きく変化するため、センサデバイスの構成について精査する。また人感センサの未検出を防ぐためにセンサ感度を上げると誤検出が増加するため、センサの特性を考慮したフィルタを構築する。それらを経て得られたデータからテンプレートマッチングなどを用いて移動情報を検出するアルゴリズムを提案する。

(2)移動情報データベースの構築:得られた移動情報から各住人の移動情報データベースを構築する。データベースに蓄積された大量の移動情報から住人の移動パターンを解析して、時間帯やそれまでの移動履歴をもとに近い未来の移動を確率的に推測する機構を提案する。

### 3. 研究の方法

提案する住宅管理制御システムは、(1)移動情報の検出、(2)移動情報データベースの構築、の2つの部分から構成される。2つの要

素は統合的に利用されて初めて効果的に動作するが、まずは2つのサブテーマそれぞれに目標を定め、個々の目標を達成するための研究を推進する。各サブテーマは研究代表者の村尾が担当するが、実証実験に関しては研究協力者の株式会社富士通研究所矢野愛研究員の支援を受ける。村尾は職務ではないが別に、装着型センサを用いた人間の日常行動認識に関する研究に従事している。センサ情報処理という観点では関連性は高く、共通の要素技術も多く、それらは互いに流用可能であるが、本提案は環境設置型を想定しているため本質的に異なる。その後は、各サブテーマにおける問題点抽出および方式改善を行うとともに、中間システムおよび最終システムとして各サブテーマの内容を統合し、実環境における統合システムの構築に向けての取組みを推進する。住宅への組込みには配線工事など含めて多大な時間と費用を要するため、組込み前に中間システムを構築する。中間システム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る。2度に渡る実証実験および性能評価を経て、本システムの有効性を確認し、さまざまなタイプの住宅に適用可能なパッケージ化を行い、研究を完了する。実証実験に関しては、研究協力者である矢野愛氏の協力のもと、北陸先端大学院大学内に建設した住宅を用いて、実際の生活をシミュレートする。このシミュレーションでは実際の生活に沿ったデータを採取するために4人で最低でも10日間に渡って行う。研究が当初計画どおりに進まない場合は、人感センサや他のセンサ、事前知識の追加など許容できる範囲での対応を検討する。本研究で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。

(1)移動情報の検出:本サブテーマでは、センサデバイスおよび移動検出アルゴリズムの実装を行う。人感センサには高分解能型や広域検出型が存在し、検出範囲と精度はトレードオフである。研究代表者は既に人感センサを25台、接続用ケーブル45本(総長125m)を保有しており、これらを含めて市販のセンサからも性能の良いものを調査し、センサデバイスの比較評価を行う。既存センサでの運用が困難であればセンサを開発する。アルゴリズムに関してはフィルタや機械学習アルゴリズムをリストアップし、初期システム構築コスト、認識速度、認識精度、システム構築後の改変コストなどを比較する。家の間取りはシステム構築後に変化しないと想定するが、家族構成や生活スタイルは変化するためシステム構築後の改変コストの考慮は必須である。また、人感センサから得られる情報量は小さいため、複数の住人の連続した移動を直接推測することは困難である。そこで、断片的な移動情報を連結して動線を生成し、

動線の持ち主を推定する段階的なアプローチが有効であると考え、まずは断片的な移動情報の検出を行う。また、導入コストの削減のために移動検出アルゴリズムの教師データの自動生成ツールを構築する。教師データは間取りやセンサ配置、移動時に通る経路パターンから人工的に生成でき、このようなデータに対応するためにインプレートマッチングや HMM (Hidden Markov Models) などの手法が有効であると考えている。その後は、まず中間システムの完成に向けて、移動情報の連結および移動体の推定アルゴリズムを確立する。具体的には、移動情報を各住人の現在地をもとに連結し、過去に取得した移動パターンから最尤推定を用いて移動主を特定する。教師データとして、移動主の情報は外部から与える必要があるため、特定の部屋を利用しやすい住人の情報などを利用する。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かを確認するだけでなく、センサの配置方法がシステムに与える影響も調査する。

(2)移動情報データベースの構築：本サブテーマでは移動情報から構成されるデータベースの構築および移動予測アルゴリズムの実装を行う。まずは、データ収集環境を整え、蓄積したデータのマイニングによる生活パターンの抽出を行う。実証実験を開始するまでは、研究代表者が所有している数日間の 4 人家族生活データを利用してデバッグを行う。その後は、過去の生活パターン、直近の移動状況、現在時刻から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。中間システム完成後の第一次実証実験で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。

#### 4. 研究成果

(1)移動情報の検出：図 1 の住宅において、住人が一人の場合と二人の場合でシナリオに従いデータを収集した。一人の場合は浴室を除く 11 部屋間を行き来する全ての経路を移動した。二人の場合は二人が各自の判断で自由に 10 分程度滞在と移動を繰り返して移動した。自由に移動したため、すれ違いや同じ部屋に二人がいる場面がある。ウィンドウサイズ  $W$  は 25 秒とした。これは 1 回の移動に掛かる時間が最長 25 秒であったためである。検出された移動の正誤を判断する基準は、データ収集時に記録した移動開始時刻及び移動終了時刻に基づき、移動終了後 25 秒以内に正しい移動が検出された場合のみ正解とし、それ以外は誤検出としている。

住人が一人と二人の場合の移動検出の Recall, Precision 及び F-measure をそれぞれ図 1 と図 2 に示す。Recall と Precision が共に高い結果が理想であるが、両者はトレードオフの関係にあるため、F-measure

を評価指標とすることがデータ検索やセンサデータ処理分野では一般的である。結果より、検出アルゴリズムを終了させるためのパラメータである一致率のしきい値を下げると検出結果の出力回数が増えるため Recall が上昇するが、精度の低い結果も出力されるため Precision が低下する。一致率のしきい値を上げると、精度の高い結果のみ出力されるため Precision は高くなるが、検出漏れが多くなり Recall が低下する。結果の F-measure より、住人が一人の場合はしきい値 0.8 で最大値 0.953、住人が二人の場合もしきい値 0.8 で最大値 0.821 となった。同程度の密度の人感センサ及びドア開閉センサを用いている手法 [2] では住人二人の場合 98% の精度で移動を検出しており、現状では性能面で劣るが、疎な配置の人感センサのみで、事前に学習データを採取しなくても高い精度で移動を検出できることを確認した。文献 [2] では住人が四人の場合でも評価しており、精度は 70% 程度まで落ちていることから、本手法でも複数人での挙動を確認する予定である。

誤検出の原因を考察すると、台所とリビングの接続部分の近くに両部屋のセンサが設置されているため、台所に入ったときにリビングのセンサが反応している例が確認できた。また、設置位置や角度が原因で反応が鈍感なセンサがあり、移動として検出されなかった例もあった。稼働しているセンサの組合せを変えて検出精度を評価したところ、特定のセンサの有無によって認識精度が大きく変化することを確認した。これはセンサの検出範囲の設定で解決できる問題であると考えられるが、家の構造に応じたセンサの検出範囲及び設置箇所の設定方法は今後の課題とする。

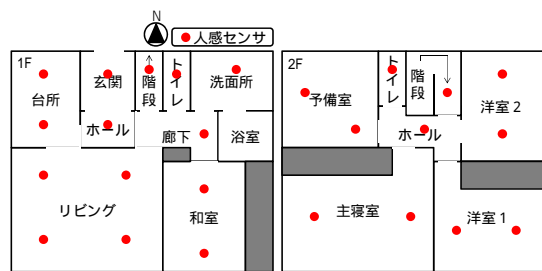


図 1：実験住宅のフロアマップと人感センサの配置

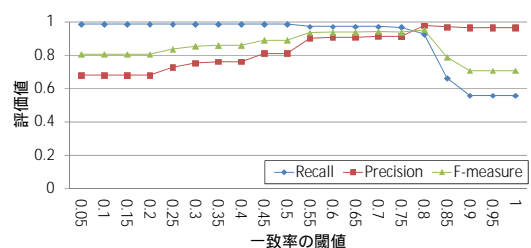


図 2：住人が一人の場合の移動検出精度

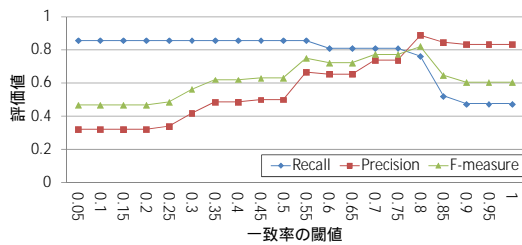


図 3: 住人が 2 人の場合の移動検出精度

(2) 移動情報データベースの構築:

住人の生活パターンを抽出するために母, 父, 姉, 弟の 4 人家族を想定して 2 種類のシナリオに沿って起床から就寝までの活動を行った。移動のおおよその時刻はシナリオによって定められているが, 移動のタイミングは各住人の判断で行った。また, シナリオに記載されている行動は必ず行うものとし, それ以外のトイレや洗面所, キッチンとリビングの行き来は被験者の自由である。

シナリオ 1 では各自の寝室から開始して, 父は 4 回, 母は 16 回, 姉は 6 回, 弟は 6 回の移動を指示されており, そのうち母の朝の洗面所への移動および, 弟の玄関への移動が検出されなかった。シナリオ 2 では各自宅外から開始して, 父は 4 回, 母は 8 回, 姉は 8 回, 弟は 6 回移動を指示されており, そのうち姉の洋室 1 への移動および, 弟の洗面所への移動が検出されなかった。この結果, 初期位置の部屋を除いて移動先の部屋が検出された割合である再現率は 0.93 となった。このような良い結果が得られた理由として, 各住人の重みの結果正しい移動経路のスコアが高くなったことが挙げられる。一方, 検出された初期配置の部屋を除く 98 回の移動のうち, 48 回がシナリオに沿った正しい移動のため, 適合率は 0.49 となった。適合率が低い理由として, 台所とリビングの移動が複数検出された点が挙げられる。これはシナリオにはなく移動で住人が冷蔵庫に飲み物を取りに行った際の正しい移動とリビングを移動する際に誤って台所のセンサが反応した際の誤った移動の両方が含まれる。

評価実験で用いた家の間取りでは, この誤検出を避けることは難しく, 重要ではない移動として上位のアプリケーションで処理することで実質的な適合率は改善すると考えている。また, 検出された個別の移動について見ると, 母の移動でシナリオにない便所が 1 回出現しているが, これは実験中の動画を確認すると確かに便所に行っており, 正しく検出できている。これらの結果より, 疎に配置された赤外線センサを用いて, おおよその人物移動推定が行えることが分かったが, より高精度かつ確定的な判断を行うためには, 一部の部屋に追加のセンサを導入し, 人の検出あるいは人の識別を行う機構が必要であると考えている。例えば, 机に荷重センサを設置することにより, 人を識別できることを

確認しており, 机に特化したサービスを提供するとともに, それらの情報を提案システムが受け取ることを考えている。他にも, 冷蔵庫やトイレ, 浴室などにもセンサを導入する余地があると考えている。

<引用文献>

- [1] 青木忠一, IT によるエネルギー消費の動向と IT 利用によるエネルギー削減, 電子情報通信学会会誌, Vol. 90, No. 3, pp. 170 - 175 (2007).
  - [2] Wilson, D. H.: Simultaneous Tracking and Activity Recognition (STAR) Using Many Anonymous, Binary Sensors. In Proc. of the International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2005), pp.62-79 (2005).
5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

村尾和哉, 鳥居康幸, 寺田 努, 塚本昌彦: 行動の順序制約を用いた加速度データのラベリング手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 1, pp. 519-530 (Jan. 2014). url [http://doi.org/10.11185/imt.8.1154](http://id.nii.ac.jp/1001/00098363/K._Murao, T. Terada, A. Yano, R. Matsukura: Evaluating Sensor Placement and Gesture Selection for Mobile Devices, The Transactions of Human Interface Society, Vol. 15, No. 3, pp. 281-292 (Aug. 2013). Doi <a href=)

〔学会発表〕(計 2 6 件)

K. Murao, J. Imai, T. Terada, and M. Tsukamoto: Recognizing Activities and Identifying Users based on Tabletop Activities with Load Cells, in Proc. of The 17th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS 2015), No. 39, pp. 1-6, Brussels (Belgium) (12 Dec. 2015).  
石田 茜, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: 冷蔵庫のドア開閉動作に基づく利用者識別手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2015)論文集, Vol. 2015, No. 1, pp. 1208-1216, ホテル安比グランド(岩手県) (9 July 2015).  
倉橋真也, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: トイレットペーパーの回転に基づくトイレ使用者識別手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2015)論文集, Vol. 2015, No. 1, pp. 1217-1225, ホテル安比グランド(岩手県) (9 July 2015).

寺田 努, 今井淳南, 村尾和哉, 塚本昌彦: 荷重センサを用いた机上動作認識に基づく個人識別手法, 情報処理学会研究報告(ヒューマンコンピュータインタラクション研究会 2015-HCI-163), Vol. 2015-HCI-163, No. 10, pp. 1-8, 和倉温泉(石川県)(15 May 2015).

倉橋真也, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: トイレ使用者識別のためのペーパー回転センシングデバイス, 情報処理学会インタラクション 2015, インタラクティブセッション, pp. 932-933, 日本科学未来館(東京都)(7 Mar. 2015)

石田 茜, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: 圧力センサを用いた冷蔵庫開閉動作特徴に基づく個人識別手法の提案, 情報処理学会インタラクション 2015, インタラクティブセッション, pp. 978-979, 日本科学未来館(東京都)(7 Mar. 2015)

村尾和哉, 寺田 努, 矢野 愛, 松倉隆一: 疎に配置された赤外線人感センサを用いた住宅内人物移動推定, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2014)論文集, Vol. 2014, No. 1, pp. 1869-1876, 月岡温泉ホテル泉慶(新潟県)(11 July 2014).

今井淳南, 村尾和哉, 寺田努, 塚本昌彦: 荷重センサを用いた机上動作の認識システムの設計と実装, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2013)論文集, Vol. 2013, No. 1, pp. 1180-1187, 十勝川温泉ホテル大平原(北海道)(11 July 2013).

K. Murao, T. Terada, A. Yano, and R. Matsukura: Detecting Room-to-Room Movement by Passive Infrared Sensors in Home Environments, in Proc. of the 1st Workshop on recent advances in behavior prediction and pro-active pervasive computing, No. 4, pp. 1-12, Newcastle (UK) (19 June 2012).

〔図書〕(計 0 件)

〔その他〕

研究代表者ホームページ

<http://www.muraokazuya.net/>

立命館大学研究者データベース

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

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

村尾 和哉 (MURAO, Kazuya)

立命館大学・情報理工学部・助教

研究者番号: 50609295

### (4) 研究協力者

塚本 昌彦 (TSUKAMOTO, Masahiko)

神戸大学大学院・工学研究科・教授

寺田 努 (TERADA, Tsutomu)

神戸大学大学院・工学研究科・准教授

松倉 隆一 (Matsukura, Ryuichi)

株式会社富士通研究所・シニアマネージャ

矢野 愛 (YANO, Ai)

株式会社富士通研究所・研究員

出田 怜 (IZUTA, Ryo)

神戸大学大学院・工学研究科・学生

今井 淳南 (IMAI, Junna)

神戸大学大学院・工学研究科・学生

倉橋 真也 (KURAHASHI, Masaya)

神戸大学大学院・工学研究科・学生

石田 茜 (ISHIDA, Akane)

神戸大学大学院・工学研究科・学生