

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 22 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26730047

研究課題名(和文) 日常物に擬態したセンサを用いた透過的なセンサシステム基盤の開発

研究課題名(英文) Developing Transparent Sensor Systems based on Sensors that Mimic Daily Objects

研究代表者

前川 卓也 (Maekawa, Takuya)

大阪大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：50447025

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：センサを用いた日常生活行動の観測は、独居高齢者見守りなどの実世界指向サービスのための基盤的技術であり、これまでに様々な技術が提案されてきたが、導入・設置・継続的利用等のコストの面で問題があった。本研究では、環境に設置されたセンサを用いて、上記の問題を解決する低コストでさりげない日常行動センシングを実現するシステムの構築を行った。電球、電源タップ等の身の回りの日常物に埋め込まれるセンサや、環境内を伝播する無線電波のセンシングにより、ユーザにとって負担の少ない生活行動の観測を実現した。

研究成果の概要(英文)：Sensor-based monitoring of daily activities is a basic technology for developing real world-oriented services such as surveillance of single living elder persons. Although various kinds of sensing technologies have been proposed and developed, the existing solutions have several problems such as installation cost, maintenance cost, and cost related to daily use in actual living environments. In this study, we developed low-cost sensing systems for daily activities to cope with the above problems. Specifically, we have employed sensors embedded in daily objects such as a light bulb and power strip and employed radio sensing that propagate through an indoor environment of interest to achieve daily life monitoring that places small burdens on residents.

研究分野：ユビキタスコンピューティング

キーワード：屋内位置推定 IoT 高齢者見守り センサデータ処理

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年の我が国が抱える超高齢化社会や電力供給の問題に対処するため、独居高齢者の見守りや生活パターンに応じた省電力制御などの実世界指向サービスの実現は急務である。センサを用いた日常生活行動の観測は、実世界指向サービスのための基盤的技術であり、これまでに様々な技術が提案されてきたが、導入・設置・継続的利用等のコストの面で問題があった。

(2) センサを用いて「人がどのような行動をしているか」を認識する技術は、遠隔地の高齢者の見守り等の実世界指向サービスの基盤技術であり、主に以下の2種類の手法を用いて実現されてきた。

- ・ウェアラブルセンシング：身体に装着した加速度センサ等を用いて身体の部位の動きを捉え、「歩く」、「走る」などの単純な行動を認識する。

- ・環境センシング：日常物に添付したセンサを用いて人の行動を観測・認識する既存研究が多くある。加速度センサやRFIDタグを日常物に貼り付け、日常物の利用を観測する。利用している日常物はユーザの行動に強く関係する。例えば、調理器具が利用されていることが分かれば、「調理」という行動が認識できる。

(3) 既存手法は以下に示す多大なコスト（負担）をユーザに強いる問題があった。

- ・導入に関わるコスト：センサシステムの導入には専門的な知識を必要とすることが多い。例えばRFIDを用いる場合、タグを金属から離れた位置に設置する必要がある。

- ・メンテナンスに関わるコスト：センサの継続的利用には定期的な電池交換が必要である。多数のセンサを用いる場合、そのコストは膨大である。

- ・日常的な継続利用に関わるコスト：カメラのようなセンサを用いた場合、ユーザは観測されていることを強く意識する。生活において、ユーザはあからさまな観測装置を目にすることで負担を感じ、それがセンサシステム継続利用の最大の障害であると言われている。

## 2. 研究の目的

本研究では、環境に設置されたセンサを用いて、上記の問題を解決する低コストでさりげない日常行動センシングを実現するシステムの構築を目的とする。電球、電源タップ等の身の回りの日常物に埋め込まれるセンサや、無線電波のセンシングにより、ユーザにとって負担の少ない生活行動の観測を実現する。

## 3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、本研究では下記に示すセンシングシステム・手法の構築を行った。

- ・電源タップに擬態するセンサまたは配電盤

に設置したセンサを用いた電化製品の屋内での利用位置を推定する手法

- ・屋内照明に擬態する電波ビーコンを用いた屋内位置推定手法

- ・Wi-Fi電波を用いたデバイスフリーパッシブ屋内位置推定モデルの転移手法

- ・赤外線カメラと再帰性反射材を用いたプライバシーに配慮したデバイスフリー屋内位置推定手法

## 4. 研究成果

(1) 電源タップに擬態するセンサまたは配電盤に設置したセンサを用いた電化製品の屋内での利用位置を推定する手法

電源タップに擬態するセンサまたは配電盤に設置したセンサを用いて、屋内環境に敷設された電気系統をセンシングし、電化製品の屋内での利用位置を推定する手法を実現した。具体的には、電気系統を流れる電流を電流センサにより観測し、電圧降下現象を用いて交流電源から電化製品のプラグが挿入されているコンセントまでの距離を推定することで、電化製品の位置を特定する。本研究では位置の推定を電流センサのみを用いることにより実現したため、電化製品にRFIDなどの位置計測用タグを添付せずに、電化製品の利用場所を推定できる。家電の利用位置推定技術は、実世界現象の理解や実世界指向アプリケーションの実現のための基礎的技術になると考える。例えば、ユーザ位置や家電利用位置アウェアなサービスの提供、日常行動の認識、家電の利用を介したユーザの位置推定、家電利用位置に基づく部屋の役割（ダイニングルーム、リビングルーム、ベッドルームなど）の理解などのアプリケーションへの利用が考えられる。

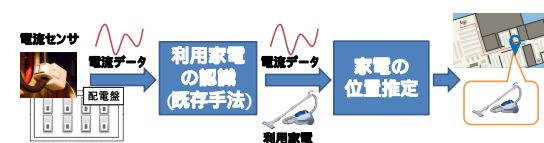


図1：電気系統を介した屋内位置推定の概要

提案手法では、インフラを介したセンシング手法に基づいて、配電盤から流れる電流をセンシングすることによって電化製品が接続するコンセントを推定する。具体的には、電線に流れる電流をモニタリングするため配電盤にセンサ（電流計）を添付し、センサと配電盤から延びる電線回路中のコンセントに差し込まれた電化製品間の距離を推定する。これにより、どのように電線が配線され、どこにセンサが取り付けられているかが記載された屋内環境のフロアプランを用いて、センサと電化製品間の距離から電化製品の屋内環境での位置が分かる。センサと利用中の電化製品間の距離を推定するために、本稿では電線の抵抗（リアクタンス）による電圧降下に着目する。配電盤で測定さ

れた電圧値が 100V であるとき、電圧降下により家電が接続されている配電盤からはなれたコンセントで計測した電圧は 100V より低くなる。これは、電線に抵抗などが存在するためである。電圧降下の度合いは電線の長さ（家電と配電盤間の距離）に比例する。すなわち、配電盤に設置されたセンサ（電流計）から電流を測定するとき、オームの法則  $V = IR$  によると、家電がより遠くのコンセントで使われるほど電流の減少量が大きくなる。この現象を用いることで、センサと家電の間の距離を推定する。

実際の屋内環境において評価実験を行い、1つの家電のみが1つの電気系統で稼働している場合は、約2.4メートルの誤差で家電の位置を特定できた。複数の家電が同時に稼働している場合も、約2.6メートルの誤差で家電の位置を特定できた。最も単純な手法を用いた場合、複数の家電が同時に稼働している場合の誤差は約4.2メートルであり約1.6メートルの誤差低減を実現した。

この成果は、当該分野のトップカンファレンスである UbiComp2014 にフルペーパーで採録された。その採択率は 20.7%であった。さらに、情報処理学会論文誌にもその成果が採択されており、情報処理学会研究会で発表した研究報告に関しても1件の賞を受賞している。上述のように、トップカンファレンスフルペーパー1本、論文誌1本、受賞1件の成果を得た。

## (2) 屋内照明に擬態する電波ビーコンを用いた屋内位置推定手法

既存の多くの屋内位置計測技術は、家庭への超音波ビーコンや Wi-Fi アクセスポイントの導入を必要とする。そのため、ビーコンの設置・電池交換コストがかかたり、IT知識の少ない見守り対象者がアクセスポイントを取り外してしまったりする恐れがあった。そこで本研究では、家庭の全ての部屋に存在する照明に着目し、照明に簡単に取り付け可能な位置計測ビーコンを開発するとともに、そのビーコンを用いた屋内位置推定手法の設計を行った。開発を行ったビーコンは、電球や蛍光灯といった照明に簡単に取り付け可能であり、以下のような利点をもつ。電球（や蛍光灯）とそのソケットの間に挿入することで容易に導入でき、ソケットから給電するため、電池交換などのコストも発生しない。また天井の照明に設置するため、ITの知識が少ない見守り対象者に取り外されたり移動されたりする可能性が小さい。

図2に本研究で開発したビーコンを示す。ビーコンには Bluetooth 電波発信モジュールが3つ搭載されており、それらの電波を受信

したスマートフォンなどの端末が、その電波強度情報を用いて屋内位置推定を行う。ビーコンは照明から電源供給を受けることが可能であり、長時間点灯される照明（例えばリビングの照明）に設置するビーコンには充電電池を搭載している。一方で、トイレの照明に設置するビーコンは、充電時間が十分に確保できないため、充電電池を搭載しない。そのため、照明が OFF の際はビーコンの電源も OFF になる。このような環境においては、常にビーコンの電源を ON であると想定している従来の電波を用いたフィンガープリンティング屋内位置推定手法が利用できない。（あるビーコンからの電波が観測されない場合、そのビーコンから離れた位置に端末が存在すると誤推定される。）そのような問題を解決するため、本研究ではユーザの生活パターンなどを用いたビーコンの ON/OFF 推定を行い、OFF であると推定されたビーコンを用いないようにした。

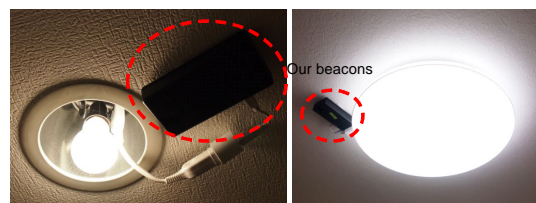


図2：屋内照明に設置されたビーコン

評価実験では、実際の生活環境にて約10日間に収集したデータを用いて屋内位置推定実験を行った。ビーコンの ON/OFF 推定を行わない手法に比べて、位置推定誤差を4割以上低減することが確認された。

## (3) Wi-Fi 電波を用いたデバイスフリーパッシブ屋内位置推定モデルの転移手法

本研究では、無線電波を用いた透過的な位置推定手法を実現した。提案手法は、近年注目されているデバイスフリーパッシブ屋内位置推定に基づいている。一般的な屋内位置推定が電波発信機と受信機間の距離による Wi-Fi 電波強度の減衰を利用しているのに対し、デバイスフリーパッシブ屋内位置推定は、環境に設置された送受信機間の Wi-Fi 電波がユーザに遮られたり、吸収されることで電波強度が減衰することを利用しており、ユーザが機器を身に着ける必要がなく、ユーザに負担をかけない透過的な高齢者の見守りやホームオートメーション等が可能となる。

デバイスフリーパッシブ屋内位置推定ではあらかじめ位置推定モデル学習のための学習データの収集が必要となり導入のコストが高い。そこで本研究では、対象とする環境において学習データを収集する必要のない屋内位置推定モデル構築手法を提案する。提案手法では異なる環境（転移元の環境）において送受信機の組（リンク）ごとにリンク

上のユーザの位置と電波強度の関係を表す電波強度のモデルを作成し、異なる環境から対象とする環境（転移先の環境）に合わせて電波強度のモデルを転移させることで、対象とする環境の屋内位置推定モデルを構築する。このとき、送受信端末間の距離などの指標が類似しているリンクの電波強度のモデルは類似しているという仮定を基に、転移元環境のリンクから転移先環境のリンクと類似したリンクを選び、その電波強度のモデルを転移先のリンクに転移する。

評価実験では、4つの環境において提案手法による屋内位置推定モデルの構築を行い、それぞれの環境で歩行をトラッキングすることで評価を行った。その結果、同環境で取得した電波強度情報を学習データとした比較手法とほぼ同様の精度を達成することができ、提案手法の有効性を示した。

この成果は、当該分野のトップカンファレンスである UbiComp2015 にフルペーパーで採録された。さらに、情報処理学会論文誌にもその成果が採録されており、情報処理学会論文誌ジャーナル特選論文にも選ばれた。情報処理学会研究会でも2件の受賞、国際会議で発表したポスター発表でも1件の受賞をしている。上述のように、トップカンファレンスフルペーパー1本、論文誌1本、受賞4件の成果を得た。

#### (4) 赤外線カメラと再帰性反射材を用いたプライバシーに配慮したデバイスフリー屋内位置推定手法

本研究では、透過的な屋内位置推定手法として、赤外線カメラと再帰性反射材を用いたプライバシーに配慮したデバイスフリー屋内位置推定手法を実現した。提案手法では、電波を用いたデバイスフリーパッシブ屋内位置推定と異なり、電力を必要とするデバイスの数が少ないという利点がある。既存の手法では、環境内に多数の電力を必要とするデバイスを設置する必要があったため、そのメンテナンスに要するコストが高かった。

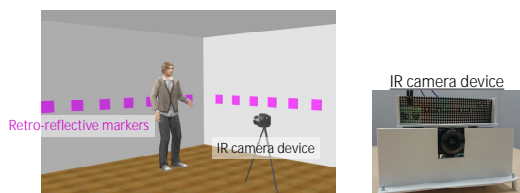


図 3：再帰性反射材と赤外線カメラデバイスを用いた屋内位置推定

提案手法では環境内に添付した再帰性反射材によるマーカを、赤外線 LED を搭載した赤外カメラで観察し、人物によるマーカの遮蔽情報からカメラとマーカ間の人物を追跡する。ここで、赤外線カメラデバイスとは、赤外線カメラと赤外線 LED からなる装置で

あり、赤外線 LED が照射する方向を赤外線カメラで撮影する。再帰性反射材とは、入射光を入射した方向と同じ方向に反射する素材であり、光源と同じ位置に設置したカメラで光源の発した光の反射光をとらえることができる。提案手法では、環境内の壁などに複数添付した再帰性反射材を赤外線カメラデバイスで撮影し、デバイスと反射材の間を人が通過したことを反射材の遮蔽情報を利用して検知する提案手法では、環境に添付したマーカの遮蔽情報を用いることから、追跡のためのタグやデバイスなどを人物に添付する必要がない。また、可視光を撮影しない赤外線カメラを用いることで、人物の外観を記録することなく推定を行うことが可能である。

本研究では、実環境において評価実験を行い、平均誤差がおよそ 0.3 m と高精度な推定が可能であることを示した。この精度は電波を用いた一般的なデバイスフリー屋内位置推定の誤差（1-3 m 程度）に比べてかなり小さい。

この成果はユビキタスコンピューティング分野のトップ会議の一つである IEEE Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2017) にフルペーパーとして採録され、その採録率は約 14%であった。情報処理学会研究会で発表した研究報告に関して1件の賞を受賞している。上述のように、トップカンファレンスフルペーパー1本、受賞1件の成果を得た。

#### 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)

尾原 和也, 前川卓也, 岸野 泰恵, 白井良成, 納谷 太: Wi-Fi 電波を用いたデバイスフリーパッシブ位置推定モデルの転移手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 2, pp. 405-415, 査読有 (2016年2月).

孔 全, 前川卓也: 屋内電気系統センシングを用いた電化製品が利用されているコンセントの推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.3, pp. 869-878, 査読有 (2015年3月).

[学会発表](計12件)

[国際会議]

Takuya Maekawa and Yuki Sakumichi: Easy to Install Indoor Positioning System that Parasitizes Home Lighting, Proc. of European Conference on Ambient Intelligence (Aml 2017), pp. 124-129 (28 Apr. 2017), Malaga (Spain).

Hiroaki Santo, Takuya Maekawa, and Yasuyuki Matsushita: Device-free and

Privacy Preserving Indoor Positioning using Infrared Retro-reflection Imaging, Proc. of IEEE Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2017), pp. 141-152 (15 Mar. 2017), Hawaii (USA).

Takuya Maekawa and Yuki Sakumichi: Initial investigation of indoor positioning system that parasitizes home lighting, Proc. of International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM 2016), pp. 319-321 (15 Dec. 2016), Rovaniemi (Finland).

Kazuya Ohara, Takuya Maekawa, Yasue Kishino, Yoshinari Shirai and Futoshi Naya: Preliminary Investigation of Low-cost Device-free Passive Indoor Positioning using Model Transfer, Proc. of Asian Conference on Information Systems (ACIS 2015), poster paper (16 Oct. 2015), Krabi (Thai).

Kazuya Ohara, Takuya Maekawa, Yasue Kishino, Yoshinari Shirai, and Futoshi Naya: Transferring Positioning Model for Device-free Passive Indoor Localization, Proc. of International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2015), pp. 885-896 (10 Sept. 2015), Osaka (Japan).

Quan Kong and Takuya Maekawa: Identifying Outlets at which Electrical Appliances are Used by Electrical Wire Sensing to Gain Positional Information about Appliance Use, Proc. of International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2014), pp. 349-360 (16 Sept. 2014), Seattle (USA).

[国内会議]

山藤 浩明, 前川 卓也, 松下 康之: 赤外光の再帰性反射を用いたデバイスフリー屋内位置推定のための単眼カメラによる複数人物追跡, 情報処理学会 第50回ユビキタスコンピューティングシステム研究会, 発表番号 4 (2016年5月28日), Nantou County (Taiwan).

山藤 浩明, 前川 卓也, 松下 康之: 赤外線カメラと再帰性反射マーカを用いたプライバシーに配慮した屋内位置推定に関する検討, 情報処理学会 第200回コンピュータビジョンとイメージメディア(CVIM)研究会, 発表番号 4 (2016年1月21日), 大阪大学 吹田キャンパス銀杏会館(大阪府・吹田市).

山藤 浩明, 前川 卓也, 松下 康之: 赤外線カメラと再帰性反射材を用いたデバイスフリー屋内位置推定に関する検討, 情報処理学会 第48回ユビキタスコンピューティングシステム研究会, 発表番号 2 (2015年11月29日), 別府国際コンベンションセンター(大分県・別府市).

尾原 和也, 前川 卓也, 岸野 泰恵, 白井良成, 納谷 太: Wi-Fi 電波を用いた低コストなデバイスフリーパッシブ位置推定のための電波強度分散モデルの転移手法, 情報処理学会 第47回ユビキタスコンピューティングシステム研究会, 発表番号 21 (2015年7月28日), 立命館大学 大阪いばらきキャンパス(大阪府・茨木市).

尾原和也, 前川卓也, 岸野泰恵, 白井良成, 納谷 太: Wi-Fi 電波によるデバイスフリー位置推定モデルの転移学習に関する検討, 電気学会 第61回情報システム研究会, IS-14-048, pp.7-12 (2014年11月13日), 山口大学 工学部(山口県・宇部市).

孔 全, 前川卓也: 屋内電気系統の電流センシングを用いた電化製品利用位置推定手法の提案, 情報処理学会 第43回ユビキタスコンピューティングシステム研究会, 発表番号 5 (2014年7月28日), 国立情報学研究所(東京都・千代田区).

[図書] 該当なし

[産業財産権] 該当なし

[その他]

ホームページ

<http://www-mmde.ist.osaka-u.ac.jp/~maekawa/sensing/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

前川 卓也 (MAEKAWA, Takuya)

大阪大学 大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号: 50447025