

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：33903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25730056

研究課題名(和文) デッドレコニングと無線LAN位置推定を融合した屋内位置推定プラットフォーム

研究課題名(英文) Indoor Positioning Platform based on Integration of Dead-Reckoning and WLAN positioning

研究代表者

梶 克彦(Kaji, Katsuhiko)

愛知工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：40466412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：直線歩行と建物知識の導入によって歩行者デッドレコニングの高精度化を図った。右左折や蛇行を伴わない歩行が一定時間以上安定してセンシングできている区間を「安定歩行区間」と定義し、それに基づいて歩行軌跡を推定する。  
特定の建物群の様々な経路を、スマートフォンを携帯して歩行する、歩行センシングデータを収集し、HASC-IPSCとして整備し公開した。またユビキタス・ウェアラブル系研究に関する国際会議UbiComp/ISWC 2015においてPDR Challengeを開催した。本チャレンジ等して、ユニーク被験者数90人、経路データ数229個の屋内歩行センシングデータを収集し、コーパス化した。

研究成果の概要(英文)：In activity sensing using wearable sensors, higher accuracy can be expected from detection of zones in which there is continuously little change in the states of the sensor signals than from detection of zones in which there are large changes in the sensor signals within a short time. We focus on such stability of sensing signal and, as an application example, we used the concept to estimate walking direction on the basis of stable walking zone detection using a gyrometer and estimation of movement between the floors of a building by detection of stable floor zones with an air pressure sensor. We then integrated these estimations to obtain a 3-D pedestrian trajectory. I also developed two corpora named HASC-IPSC and UbiComp/ISWC 2015 PDR Challenge Corpus. These corpora contains many pedestrian sensing data is included. HASC-IPSC is already in use. I plan to open UbiComp/ISWC 2015 PDR Challenge Corpus in Sep. 2016.

研究分野：モバイルコンピューティング

キーワード：屋内位置推定 コーパス スマートフォン 歩行センシングデータ

### 1. 研究開始当初の背景

申請者は平成 22 年度より、屋内無線 LAN 位置推定に関する研究に従事してきた。無線 LAN に基づく位置推定には、事前に電波環境を観測しておく手法が有効であるが、モバイルでは観測データ量の増大と位置推定に必要な計算/メモリ量が問題となった。そこで、モバイルで軽量に無線 LAN 位置推定を可能とするため、電波環境を GMM によってモデル化し、Particle Filter で位置推定する手法を提案した。また、電波環境の事前観測の作業コストがかかることから、作業コストの軽減のために、作業を多人数で分担するクラウドソーシング手法を取り入れたプラットフォーム indoor.Locky を開発した。類似サービスとして Wi-FiSLAM が挙げられる。平成 23 年度～24 年度は、科研費若手 B の支援のもと、無線 LAN とセンサ群を用いた屋内位置推定研究を実施中である。その研究成果として、無線 LAN の電波環境が大きく変化する地点がドアやエレベータなどのゲートである可能性が高い点に着目し、ゲート通過検出手法を提案した。

一方、他の有力な屋内の位置推定手法として、デッドレコニングの研究がすすめられている。モバイル端末のセンサ群(加速度、角速度、地磁気等)の信号に基づいて、相対的な自己位置を推定する手法である。表 1 に無線 LAN 位置推定とデッドレコニングの比較を示す。それぞれに利点と欠点があり、適したアプリケーションも異なることが分かる。従来の研究では、これらの位置推定手法が個別に研究されることが多い。しかし、これらの欠点は互いの手法によって補えると考えられる。たとえばデッドレコニングの累積誤差は無線 LAN 位置推定によって修正可能であるし、事前の環境観測の際にデッドレコニング手法を適用すれば観測コストを低減できると考えた。

### 2. 研究の目的

本研究は、デッドレコニングと無線 LAN 位置推定という複数の手法を統合的に扱うプラットフォームを構築し、互いの欠点をカバーするエコシステムを実現することである。図 4 に本プラットフォームの概要を示す。スマートフォン用の共通ライブラリを提供し、屋内位置推定を必要とするアプリケーションがどちらか(もしくは両方)の位置推定手法を利用可能にする。本ライブラリを使用してデッドレコニングを行うと、推定された位置と無線 LAN 情報が関連付けて蓄積され、適宜 Web サービスにアップロードされる。無線 LAN 情報が十分に蓄積されれば、GMM 等によるモデル化も可能になるため、デッドレコニングの初期地点をユーザに入力させる必要はなくなる。

最終的には、評価実験を通して、本プラッ

トフォームの実環境での運用可能性を明らかにする。また、手作業で無線 LAN 環境を観測した場合と同程度の検索精度を目指す。

### 3. 研究の方法

以下の 5 つのフェーズに分けて研究を実施する。

1. 事前の無線 LAN 観測情報が存在しない状態での高精度デッドレコニング手法：無線 LAN、加速度等のセンサを駆使し、相対的な累積誤差を自動修正する位置推定手法を検討する。

2. 屋内位置情報プラットフォームの構築：建物情報や無線 LAN 情報を蓄積する Web サービスを、indoor.Locky を参考に再構築する。

3. スマートフォン用ライブラリの構築：デッドレコニングと無線 LAN 位置推定の双方の機能を備える。無線 LAN 情報の収集機能も備え、サーバへのアップロード機能を備える。

4. サンプルアプリケーションの構築：デッドレコニングと無線 LAN 位置推定を使用したアプリケーションのサンプルとして、ルートナビゲーションアプリ、チェックインアプリを構築する。

5. 研究室環境での評価実験：研究室内で運用し、位置推定機能の精度を検証する。

### 4. 研究成果

歩行者デッドレコニングの高精度化に関しては、直線歩行と建物知識の導入によって高精度化を図った。一般的に人は合理的に行動するため、安定歩行時には直線的な軌跡をたどると考えられる。また屋内の通路の多くは直線的である。よって、混雑した通路や複雑な形状の建物を除けば、移動の大半は直線的な歩行とみなせる。そこで、右左折や蛇行を伴わない歩行が一定時間以上安定してセンシングで着ている区間を「安定歩行区間」と定義し、それにもとづいて歩行軌跡を推定する手法を提案した。安定歩行区間の検出には角速度を用いる。検出された安定歩行区間から角速度のオフセット値を求め、ドリフトを除去する。また、多くの通路の曲がり角の角度が 90 度であるという建物知識を導入し、安定歩行区間動詞が平行または垂直になるように歩行軌跡を修正する。さらに、安定歩行区間が一定以上の割合となる歩行センシングデータを、高精度の歩行軌跡推定が期待できる高信頼性データとみなす。同様に気圧変化量の少ない区間は同一フロアに存在しているとみなしてフロア間移動を行っている区間を高精度に推定する。最終的な 3 次元歩行軌跡の誤差蓄積速度は、10 秒間の間に 1m の誤差が蓄積する程度であることが確認された。図 1 に推定された歩行軌跡の例を示す。

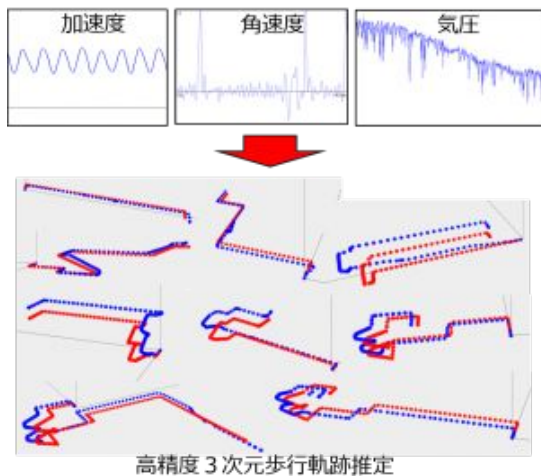


図 1：高精度 3次元歩行軌跡推定の例

また研究期間中に、無線 LAN にかわる位置修正を期待できるデバイスとして iBeacon に代表される BLE ビーコンが普及してきた。無線 LAN による位置修正は基地局の配置に大きく依存することが分かっており、安価で電池寿命の良い BLE ビーコンを利用して停留している居室を推定し、PDR の誤差修正を行う手法を検討している。ただし本研究については研究期間中の学会発表は間に合わなかった。

自身の屋内歩行精度を追求する際に有用となるコーパス構築を行った。名古屋大学の特定の建物群の様々な経路を、スマートフォンを携帯して歩行する、歩行センシングデータを収集し、HASC-IPSC として整備した。本コーパスの被験者総数は 107 名、述べ経路データ数は 452 個である。ユビキタス・ウェアラブル系研究に関する国際会議 Ubicomp/ISWC 2015 において PDR Challenge を開催した。本チャレンジ等して、ユニーク被験者数 90 人、経路データ数 229 の屋内歩行センシングデータを収集した。本データは Ubicomp/ISWC 2015 PDR Challenge Corpus として 2016 年 9 月をめどに公開する予定である。これらのコーパスは、自身の研究のみにとどまらず、屋内位置推定を行っている世界中の研究者が共通して利用できるため、研究分野全体の活性化にも繋がると考えている。

本研究は対外的に高い評価を得ることができた。以下に主な受賞を挙げる。高精度な 3次元歩行者デッドレコニングの手法では、情報処理学会山下記念研究賞、情報処理学会論文誌の特選論文に選定された。また、屋内歩行センシングコーパス HASC-IPSC を整備して公開した成果でも情報処理学会山下記念研究賞を受賞した。

本研究期間中に、歩行者デッドレコニングと無線 LAN 位置推定を融合させた安定的な屋内位置推定のシステムを実現するには至らなかった。しかし、個別要素の研究ではそれぞれ高い評価を受けていることから、着実に成果を挙げられたと考えている。

## 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)

1. 梶克彦, 河口信夫, 無線 LAN 環境特異点に基づくゲート通過検出手法, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.1, pp.366-377, 2014.
2. 梶克彦, 河口信夫, 安定センシング区間検出に基づく 3次元歩行軌跡推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.1, pp.12-24, 2016.

(学会発表)(計 20 件)

1. 梶克彦, 河口信夫, Ubicomp/ISWC 2015 PDR Challenge 開催報告, HCG シンポジウム 2015, 2015.12.16-2015.12.18, 富山国際会議場.
2. 磯村奎介, 伊藤信行, 小林幸彦, 梶克彦, 内藤克浩, 中條直也, 水野忠則, 加速度センサ内蔵型首掛け社員証を用いた歩数推定の実証実験, 情報処理学会 MBL 研究会 (Work in Progress), 2015.12.2-2015.12.4, 愛知工業大学.
3. Takeshima, C., Kaji, K., Hiroi, K., Kawaguchi, N., Kamiyama T., Ohta K., Inamura H.: A Pedestrian Passage Detection Method by using Spinning Magnets on Corridors, In Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers (Ubicomp/ISWC2015), 2015.9.7-2015.9.11, グランフロント大阪.
4. 武島知勲, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫, 神山剛, 太田賢, 稲村浩, 通路に設置した回転する磁石による歩行者の通過検出手法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2015)シンポジウム, pp.691-699, 2015.7.8-2015.7.10, ホテル安比グランド.
5. 安部真晃, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫, 経路の複雑さによらないPDR評価指標と経路可視化ツールの提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2015)シンポジウム, 2015.7.8-2015.7.10, ホテル安比グランド.
6. 村田雄哉, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫, 神山剛, 太田賢, 稲村浩, 歩行時の磁気センシングデータを利用した屋内位置推定手法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2015)シンポジウム 2015.7.8-2015.7.10, ホテル安比グランド.

7. 河口信夫, 坂涼司, 一円真治, 飯田啓量, 山川健司, 廣井慧, 梶克彦, スマートステーションなごや: 次世代屋内位置情報サービスの研究開発, 情報処理学会 UBI 研究会, 2015.5.11-2015.5.12, 名古屋大学.
  8. 梶克彦, 河口信夫, 安定気圧区間に基づくフロア間移動推定, 第 77 回情報処理学会全国大会, 2015.3.17-2015.3.19, 京都大学.
  9. 安部真晃, 廣井慧, 梶克彦, 河口信夫, 歩行者デッドレコニングに基づく軌跡推定の評価法の提案, 第 77 回情報処理学会全国大会, 2015.3.17-2015.3.19, 京都大学.
  10. 村田雄哉, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫, 神山剛, 太田賢, 稲村浩, 歩行時の磁気センシングデータの比較による移動経路推定手法, 電子情報通信学会技 ASN 研究会, 2015.1.25-2015.1.26, 南紀・白浜温泉むさし.
  11. Ban, R., Kaji, K., Hiroi, K., and Kawaguchi, K.: Indoor Positioning Method Integrating Pedestrian Dead Reckoning with Magnetic Field and WiFi Fingerprints, In Proceedings of The Eighth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2015), 2015.1.20-2015.1.22, ロワジールホテル函館.
  12. Murata, Y., Kaji, K., Hiroi, K., Kawaguchi N., Pedestrian Dead Reckoning based on Human Activity Sensing Knowledge, In Proceedings of the 2nd International Workshop on Human Activity Sensing Corpus and its Application (HASCA2014), 2014.9.13, Motif Hotel in Downtown Seattle, Washington United States.
  13. 梶克彦, 渡辺穂高, 坂涼司, 河口信夫, 屋内歩行センシングコーパス HASC-IPSC 利用のすすめ, 情報処理学会 MBL 研究会, 2014.8.28-2014.8.29, 横浜市技能文化会館.
  14. 村田雄哉, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫, 歩行者自律測位における行動センシング知識の利用, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02014) シンポジウム, 2014.7.9-2014.7.11, 新潟県月岡温泉ホテル泉慶.
  15. 渡辺穂高, 渡邊翔太, 梶克彦, 河口信夫, 特定の移動経路を対象とした行動イベント系列に基づく位置推定手法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02013) シンポジウム, 2013.7.10-2013.7.12, 十勝川温泉ホテル大平原.
  16. 梶克彦, 河口信夫, 建物内移動情報の部分マッチングに基づく建物構造生成, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02013) シンポジウム, 2013.7.10-2013.7.12, 十勝川温泉ホテル大平原.
  17. 梶克彦, 渡辺穂高, 坂涼司, 河口信夫, HASC-IPSC: 屋内歩行センシングコーパス, 情報処理学会 MBL 研究会, 2014.3.14-2014.3.15, 慶応義塾大学日吉キャンパス.
  18. 坂涼司, 梶克彦, 河口信夫, 磁気と WiFi 電波強度を含んだマップ情報に歩行者デッドレコニングを併用した屋内位置推定手法, 電子情報通信学会 ASN 研究会, 2014.1.23-2014.1.24, ホテル奥道後.
  19. Kaji, K., Watanabe, H., Ban, R., Kawaguchi, N., HASC-IPSC: Indoor Pedestrian Sensing Corpus with a Balance of Gender and Age for Indoor Positioning and Floor-plan Generation Researches, International Workshop on Human Activity Sensing Corpus and Its Application (HASCA2013), 2013.9.8, ETH Zurich Downtown Campus, Switzerland.
  20. Kaji, K., Kawaguchi, N., Gate-Passing Detection Method Based on WiFi Significant Points, in Proceedings of The World Congress on Engineering 2013, 2013.7.3-2013.7.5, Imperial College London, United Kingdom.
- 〔図書〕(計 1 件)
1. Kaji, K., Kawaguchi, N., Gate-Passing Detection Method Using WiFi and Accelerometer, Transactions on Engineering Technologies Special Volume of the World Congress on Engineering 2013, pp.439-453, Springer, ISBN 978-94-017-8831-1, DOI 10.1007/978-94-017-8832-8\_32, 2014.
- 〔その他〕
- ホームページ等
- HASC-IPSC: 屋内歩行センシングコーパス  
<http://hasc.jp/ipsc/>
  - Hub.hasc.jp  
<http://hub.hasc.jp>
  - Ubicomp/ISWC 2015 PDR Challenge  
<http://ubicomp.org/ubicomp2015/challenge.html>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
- 梶 克彦 (KAJI, Katsuhiko)  
愛知工業大学・情報科学部・准教授  
研究者番号: 40466412

(2)研究分担者 ( )

研究者番号：

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：