

令和 2 年 5 月 11 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00144

研究課題名(和文) 屋内歩行センシングデータの収集と統合による建物構造生成手法の構築

研究課題名(英文) Building structure generation method by collecting and integrating indoor walking sensing data

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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：複数の人の屋内歩行センシングデータを用いた歩行空間ネットワーク構造生成手法を確立するために、以下の4つのサブテーマを設けて研究を遂行した。(I)建物らしさの概念の体系化、(II)高精度歩行軌跡推定手法の確立、(III)歩行軌跡の統合による歩行空間ネットワーク構造推定手法の確立、(IV)歩行センシングデータの収集のための参加型センシング基盤の構築。

研究成果の学術的意義や社会的意義

複数人の歩行センシングデータを用いて建物構造を構築する、という研究は既に複数存在している。本研究の学術的な特色・独創的な点は、高精度の建物構造を構築するために、建物らしさという概念を体系化して利用する、という点である。申請者自身の研究を含め、幾つかの研究では建物らしさの一部(直線的な通路や直角の曲がり角などの制約)をアドホックに導入した研究は存在しているが、これまで計算機が理解可能なモデルとして建物らしさを表現し、それによって建物構造を自動構築した例はない。

研究成果の概要(英文)：In order to establish a method for generating a pedestrian network structure using indoor walking sensing data of multiple people, I conducted research with the following four sub-themes.

(I) Systematization of the concept of building-likeness, (II) Establishment of highly accurate walking trajectory estimation method, (III) Establishment of walking space network structure estimation method by integrating walking trajectories, (IV) Construction of a participatory sensing platform for collecting walking sensing data.

研究分野：モバイルコンピューティング, ユビキタスコンピューティング

キーワード：PDR スマートフォン 歩行軌跡 建物構造

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

建物構造情報は、店舗へのナビゲーション、避難経路の提示、従業員の勤怠管理、ショッピングモールの人流解析など、多くの屋内位置情報サービスにとって基盤となる情報である。現在では、大型ショッピングモールや地下街などについては管理者が建物構造情報を用意する仕組みが整いつつあるが、あらゆる建物において建物構造情報が利用可能にはなっていない。そこで、複数の人がスマートフォン等のセンサ内蔵端末を携帯して建物内を様々な経路で歩行し、それらの屋内歩行センシングデータを用いてフロアマップや歩行空間ネットワークといった建物構造を推定する研究が複数進められている。必要な情報を複数人で収集する参加型センシングは、加速度・角速度・磁気といった多様なセンサを内蔵したスマートフォンが爆発的に普及した近年では有望なアプローチといえる。しかし現状では、実用に耐える精度や汎用性での建物構造推定手法は確立されていない。

### 2. 研究の目的

建物構造は屋内位置情報サービスの基盤となる重要な情報である。本研究では、不特定多数の人の屋内歩行センシングデータを用いて 3 次元的な歩行軌跡を推定し、それらの歩行軌跡を統合して建物構造情報の一種である歩行空間ネットワーク構造を構築する技術を確立することを目的とする。歩行空間ネットワーク構造とは、建物内で人が通行可能な箇所を線で結んだトポロジ構造であり、移動経路を自動推定したり、目的地までの距離を求めたりする際に有用である。本研究では建物らしさという概念を体系化し、それに基づき高精度な歩行軌跡推定と建物構造推定を実現する。また、屋内歩行センシングデータの収集基盤を実装し、収集されたデータから建物構造を構築し、実環境のあらゆる建物について建物構造情報を利用可能にすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究で目的とする、複数人の屋内歩行センシングデータを用いた歩行空間ネットワーク構造生成手法を確立するために、以下の 4 つのサブテーマを設けて研究を遂行する。(I)建物らしさの概念の体系化、(II)高精度歩行軌跡推定手法の確立、(III)歩行軌跡の統合による歩行空間ネットワーク構造推定手法の確立、(IV)歩行センシングデータの収集のための参加型センシング基盤の構築。

### 4. 研究成果

#### (I)建物らしさの概念の体系化

様々な建物の構造を調査し、一般的な建物で共通する構造的特徴を調査した。大型ショッピングモールやデザイン的に凝った建物は例外的な構造をもっていることが多いため、多くの建物で共通する特徴を得るために、一般のオフィスビル、大学の建物、アパート等を主な調査対象とする。一般的な建物の特徴として、通路が直線的である、通路と通路の関係は垂直か平行関係にある、階段の 1 段の幅は共通している、折り返し階段が存在する、距離的に近い場所に複数の方向への階段や通路は存在しない、折り返し階段は複数階層にまたがって垂直に存在している、といった特徴を整理した[1,2,3]。

#### (II)高精度歩行軌跡推定手法の確立

(I)で得られた建物らしさの概念を積極的に導入し、歩行センシングデータから推定される歩行軌跡を高精度化する手法を複数提案した。歩行軌跡の中から折り返し階段部分を抽出し、角度傾斜角の平均化(図1)と、折り返し階段の前半と後半の軌跡の平行化(図2)を行った[2]。

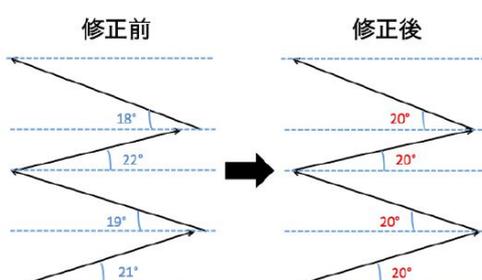


図1: 傾斜角の平均化

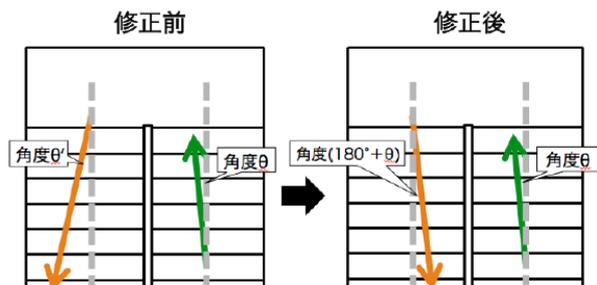


図2: 前半後半の平行化

また、建物内で活動する人は同一ルートでの移動を複数回繰り返すという特徴を発見し、複数の同一経路歩行軌跡の平均化によって歩行軌跡の高精度化を図った。上記の折り返し階段に着目した歩行軌跡高精度化も組み合わせた結果、歩行軌跡の誤差蓄積速度は0.0622m/sとなり、高精度化前の誤差蓄積速度0.1111m/sを約半分に低減できた[2]。

(III) 歩行軌跡の統合による歩行空間ネットワーク構造構築手法の確立

機械学習を用いて、異なる2つの歩行軌跡の中から部分一致する箇所を推定する手法を提案した(図3). 歩行軌跡の直線部分について、長さやWi-Fi情報などから特徴ベクトルを生成し、それらの特徴ベクトル同士が同一箇所かどうかをSVMによって判定する. 本推定のF値は0.81となり、比較的高精度に共通部分を推定できることを確認した[3].

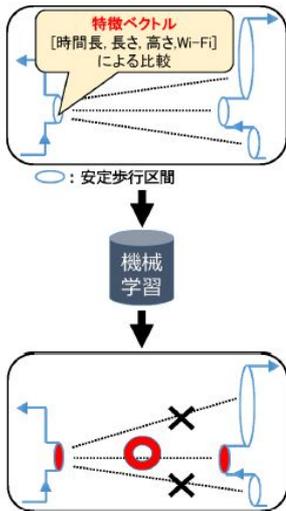


図3: 歩行軌跡の共通部分推定

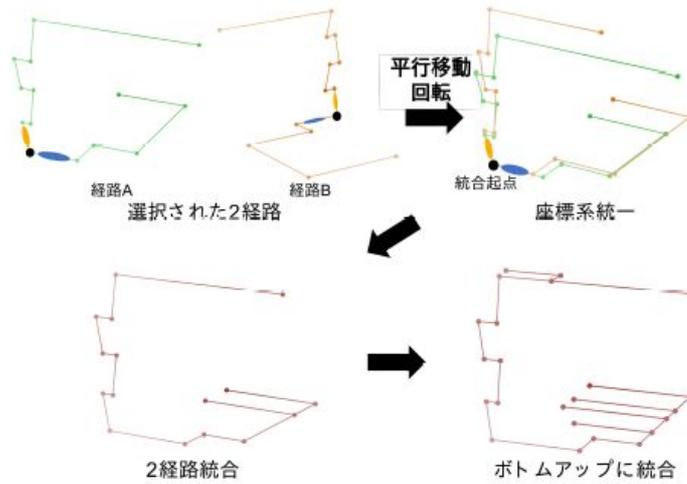


図4: 歩行軌跡同士の統合

発見された共通部分同士を統合する手法を提案した(図4). 共通部分の多い軌跡同士を、平行移動や回転を用いて位置合わせし、ボトムアップに統合していく. 屋内歩行センシングコーパス HASC-IPSC(経路種類: 約100種類, 歩行データ数: 452個)に本手法を適用した結果、適合率の高い建物構造の一部を得ることに成功したが、全体の建物構造を再現するには至らなかった. 現在の手法で建物全体の構造を得るためには、2-3倍の経路種類、4-5倍の歩行データが必要となることがわかった[4].

(IV) 歩行センシングデータの収集のための参加型センシング基盤の構築

建物内での日常的な活動の中から、部屋間を移動する歩行センシングデータを収集する必要がある. そこで、部屋内での活動をしているのか、部屋間移動をしているのかを判定するアルゴリズムを検討した. 歩行センシングデータのうち、加速度とWi-Fiの情報を用い、これら2つがしきい値以上変化している場合に部屋間移動をしているものと判定する(図5). 本手法により、センシングの開始終了をユーザが操作する必要がなくなり、参加型センシングの作業コスト低減が見込めるようになった[5]. しかし、参加型センシング基盤を実用化するまでのアプリ開発には至らなかった.

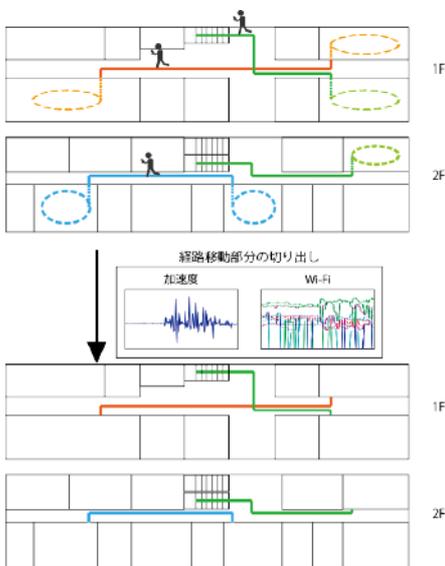


図5: 加速度とWi-Fiを用いた部屋間移動推定

参考文献：

- [1] Kaji, K., Kawaguchi, N. Estimating 3D Pedestrian Trajectories using Stability of Sensing Signal, in Proceedings of the Seventh International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN2016), 2016.
- [2] 岩瀬陽香, 四ツ谷昂亮, 伊藤 信行, 内藤 克浩, 中條 直也, 水野 忠則, 梶 克彦, 同一経路歩行軌跡の統合と建物構造知識に基づく高精度歩行軌跡推定, 情報処理学会研究報告, 2016-MBL-81(1), pp1-7, 2016.
- [3] Kosuke Yotsuya, Katsuhiko Naito, Naoya Chujo, Tadanori Mizuno, Katsuhiko Kaji. Method to Improve Accuracy of Indoor PDR Trajectories Using a Large Number of Trajectories. Journal of Information Processing, Vol.28, Pages.44-54, 2020.
- [4] 杉本壮, 伊藤信之, 内藤克浩, 中條直也, 水野忠則, 梶克彦, 屋内歩行軌跡統合に向けた歩行軌跡の分析, 研究報告 MBL, 2020-MBL-94(2), pp.1-7, 2020.
- [5] 中島唯博, 四ツ谷昂亮, 杉本壮, 伊藤信行, 内藤克浩, 中條直也, 水野忠則, 梶克彦, オフィス圏内行動データと部屋間移動部分の抽出, WiNF2017(第 15 回情報学ワークショップ).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 武島 知勲, 梶 克彦, 廣井 慧, 河口 信夫, 神山 剛, 太田 賢, 稲村 浩	4. 巻 Vol. 59, No.1
2. 論文標題 回転磁石マーカに基づくスマートフォン位置推定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 138-149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 武島知勲, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫, 神山剛, 太田賢, 稲村浩	4. 巻 58,1
2. 論文標題 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	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 43 - 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 村田雄哉, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫, 神山剛, 太田賢, 稲村浩	4. 巻 58,1
2. 論文標題 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	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 57 - 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Watanabe Kosuke, Hiroi Kei, Kamiyama Takeshi, Sano Hiroyuki, Tsukamoto Masakatsu, Katagiri Masaji, Ikeda Daizo, Kaji Katsuhiko, Kawaguchi Nobuo	4. 巻 27
2. 論文標題 A Smartphone 3D Positioning Method using a Spinning Magnet Marker	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 10~24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.2197/ipsjip.27.10">http://dx.doi.org/10.2197/ipsjip.27.10</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yotsuya Kosuke, Naito Katsuhiko, Chujo Naoya, Mizuno Tadanori, Kaji Katsuhiko	4. 巻 28
2. 論文標題 Method to Improve Accuracy of Indoor PDR Trajectories Using a Large Number of Trajectories	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 44 ~ 54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.2197/ipsjjip.28.44">http://dx.doi.org/10.2197/ipsjjip.28.44</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 金子雅亮, 伊藤信行, 内藤克浩, 中條直也, 水野忠則, 梶克彦
2. 発表標題 横歩きや後退を含む歩行のための加速度と角速度の平面成分を併用した進行方向推定
3. 学会等名 第81回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子雅亮, 伊藤信行, 内藤克浩, 中條直也, 水野忠則, 梶克彦
2. 発表標題 横歩きや後退に対応できるPDRスマホアプリ
3. 学会等名 マルチメディア, 分散・協調とモバイル(DICOMO2019)シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉本壮, 伊藤信之, 内藤克浩, 中條直也, 水野忠則, 梶克彦
2. 発表標題 屋内歩行軌跡統合に向けた歩行軌跡の分析
3. 学会等名 第94回情報処理学会モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaji, K., Kaneko, M., Ito, N., Naito, K., Chujo, N., Mizuno, T.
2. 発表標題 A PDR Smartphone Application Considering Side/Backward Steps
3. 学会等名 International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking(ICMU2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaji, K., Isomura, K., Takai, T.
2. 発表標題 Step Recognition Method Using Air Pressure Sensor
3. 学会等名 Tenth International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yotsuya, K., Ito, N., Naito, K., Chujo, N., Mizuno, T., Kaji, K.
2. 発表標題 Method to Improve Accuracy of Indoor PDR Trajectories Using a Large Amount of Trajectories
3. 学会等名 International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking(ICMU2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sugimoto, S., Ito, N., Naito, K., Chujo, N., Mizuno, T., Kaji, K.
2. 発表標題 Partial Matching Estimation Method of Walking Trajectories for Generating Indoor Pedestrian Networks
3. 学会等名 International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking(ICMU2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 磯村奎介, 梶克彦
2. 発表標題 気圧センサを用いたステップ認識手法
3. 学会等名 第89回情報処理学会モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 磯村奎介, 梶克彦
2. 発表標題 角速度と磁気センサを単独で用いたステップ認識手法
3. 学会等名 第87回情報処理学会モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsuhiko Kaji
2. 発表標題 Indoor Positioning Methods using PDR, Fingerprinting and Marker Devices
3. 学会等名 Fourth International Workshop on Asia-Pacific Precise Indoor positioning & Indoor Navigation (APPIPIN) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kosuke Watanabe, Kei Hiroi, Takeshi Kamiyama, Hiroyuki Sano, Masakatsu Tsukamoto, Masaji Katagiri, Daizo Ikeda, Katsuhiko Kaji, Nobuo Kawaguchi
2. 発表標題 A three-dimensional smartphone positioning method using a spinning magnet marker
3. 学会等名 2017 Tenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊 康祐, 廣井 慧, 神山 剛, 佐野 博之, 塚本 昌克, 片桐 雅二, 池田 大造, 梶 克彦, 河口 信夫
2. 発表標題 回転磁石マーカによるスマートフォンの3次元位置推定手法
3. 学会等名 DICO2017シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 清水 祥吾, 伊藤 信行, 内藤 克浩, 中條 直也, 水野 忠則, 梶 克彦
2. 発表標題 加速度平面成分を用いた1歩ごとの進行方向推定
3. 学会等名 DICO2017シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shimizu, S., Ito, N., Naito, K., Chujo, N., Mizuno, T., Kaji, K.
2. 発表標題 Pedestrian Direction Estimation for Each Step Using Plane Component of Accelerometer
3. 学会等名 2017 Tenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kosuke, Y., Haruka, I., Nobuyuki, I., Katsuhiko, N., Naoya, C., Tadanori, M., Kaji, K.
2. 発表標題 Detection of Half-turn Stairs from Walking Trajectories Estimated by Pedestrian Dead Reckoning
3. 学会等名 2017 Tenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中島唯博, 四ツ谷昂亮, 杉本壮, 伊藤信行, 内藤克浩, 中條直也, 水野忠則, 梶克彦
2. 発表標題 オフィス圏内行動データと部屋間移動部分の抽出
3. 学会等名 WiNF2017(第15回情報学ワークショップ)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉本壮, 伊藤信行, 内藤克浩, 中條直也, 水野忠則, 梶克彦
2. 発表標題 屋内歩行軌跡統合のための共通部分推定の基礎検討
3. 学会等名 WiNF2017(第15回情報学ワークショップ)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉本壮, 伊藤信行, 内藤克浩, 中條直也, 水野忠則, 梶克彦
2. 発表標題 屋内歩行軌跡統合のための共通部分推定
3. 学会等名 情報処理学会MBL研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kaji, K., Kanagu, K., Murao, K., Nishio, N., Urano, K., Iida, H., Kawaguchi, N.
2. 発表標題 Multi-Algorithm On-Site Evaluation System for PDR Challenge
3. 学会等名 the Ninth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kaji, K., Kawaguchi, N.
2. 発表標題 Estimating 3D Pedestrian Trajectories using Stability of Sensing Signal
3. 学会等名 the Seventh International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Abe, M., Kaji, K., Hiroi, K., Kawaguchi, N.
2. 発表標題 PIEM: Path Independent Evaluation Metric for Relative Localization
3. 学会等名 the Seventh International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 岩瀬陽香, 四ツ谷昂亮, 伊藤信行, 内藤克浩, 中條直也, 水野忠則, 梶克彦
2. 発表標題 同一経路歩行軌跡の統合と建物構造知識に基づく高精度歩行軌跡推定
3. 学会等名 情報処理学会モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム研究会 (MBL)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 武島知勲, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫, 神山剛, 太田賢, 稲村浩
2. 発表標題 回転磁石マーカに基づくスマートフォン位置推定
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02016)シンポジウム
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	水野 忠則  (Mizuno Tadanori)  (80252162)	愛知工業大学・情報科学部・教授    (33903)	