

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12075

研究課題名（和文）複数位置指紋と自律航法を統合した高精度屋内位置推定システム

研究課題名（英文）High precision indoor positioning system based on integration of multiple position fingerprints and dead reckoning

研究代表者

大澤 範高（Osawa, Noritaka）

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：30251721

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：複数の位置指紋と自律航法を統合し、携帯型端末で利用可能な屋内位置推定システムの適切な構築法と特徴を明らかにし、その有効性を検証した。スマートフォンのMEMS加速度センサーと角速度センサーを利用した移動変位を推定するシステムを構築し、それを利用した歩行時の測定データを基に、推定移動変位の累積誤差の分布モデルを構築した。それらを基に提案手法を評価し、逆位置指紋法よりも高い精度が得られることを実験的に示し、また、より高い精度を得るための移動変位推定の条件を明らかにし、一般的なスマートフォンの利用条件において高精度屋内位置測位が可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の位置指紋と自律航法を統合する手法は、位置指紋によって基準点を見つけ、その後は自律航法によって変位を推定するという考え方に基づいており、時間経過に伴う自律航法の誤差の蓄積という問題がある。本研究は、従来とは異なり、複数の位置指紋と自律航法による変位（距離）を統合し、自律航法を短時間利用することで誤差の拡大を避け、複数の位置指紋と変位から高精度の屋内位置測位が可能であることを実験データに基づいて初めて示したものである。また、より多くの位置指紋の利用による高精度化の可能性を示しており、屋内測位の今後の発展に寄与するものである。

研究成果の概要（英文）：This study showed appropriate design methods and characteristics of an integrated positioning system based on integration of multiple position fingerprints and dead reckoning, and that can be used with mobile terminals, and evaluated its effectiveness. A dead reckoning system that estimates displacement of movement using MEMS acceleration and angular rate sensors in a smartphone was constructed, and a distribution model of cumulative error was constructed from the data measured during walking with the system. We evaluated experimentally the proposed method and showed that it provides higher accuracy than the reverse fingerprinting method, clarified the conditions for moving displacement estimation to obtain higher accuracy, and demonstrated that high-precision indoor positioning is possible under general conditions with a smartphone.

研究分野：屋内位置測位

キーワード：屋内測位 位置指紋法 自律航法 電波 逆位置指紋 環境超音波

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

屋外ではGPSなどの全球測位衛星システム (Global Navigation Satellite System - GNSS)による測位環境が整っており、それらの位置情報に基づくサービスが増加している。それらのサービスの普及に伴い、屋内においても位置測位環境および位置推定技術が求められている。

電波発信源などの基準位置が既知の場合には、三辺測量 (Trilateration)に基づく測位が屋内でも用いられている。しかし、三辺測量では見通し伝搬が重要であるが、屋内では常に見通しが効くようにするためには多くの装置を設置する必要がある。また、見通し伝搬によって高精度を得るためには、UWB (Ultra Wide Band)のパルス波などを利用した電力消費量が多い技術を使う必要があり、携帯端末などでの利用には制約がある。このため、設置済みで利用可能なことの多いWiFiや、設置が容易なBLE (Bluetooth Low Energy)ビーコン、環境に潜在している超音波などの情報を利用した測位の精度向上にも高い要求がある。

屋内のようなマルチパス環境に適した測位手法として、複数の発信源からの電波の信号強度や超音波の特徴量などを特徴ベクトルとして扱う位置指紋法がある。同一の信号を用いた場合には強度や方向を基にした三辺測量法や三角測量法に比べて、十分な学習データを基に推定モデルを構築することによって位置指紋を単独で用いる従来手法でも高い精度を実現できる。複数の位置指紋情報と携帯端末で取得可能な姿勢や変位などの情報を組み合わせることによって、位置推定精度をさらに高めることができないか、できるとすればどの程度の改善が可能なのかの解明が重要と考えた。

2. 研究の目的

研究代表者らは短時間間隔の複数の時点における位置指紋とその時点間の変位(移動距離もしくは変位ベクトル)を組み合わせることで、位置指紋の特徴ベクトルの次元を増やし、推定精度を高める統合手法を提案している。

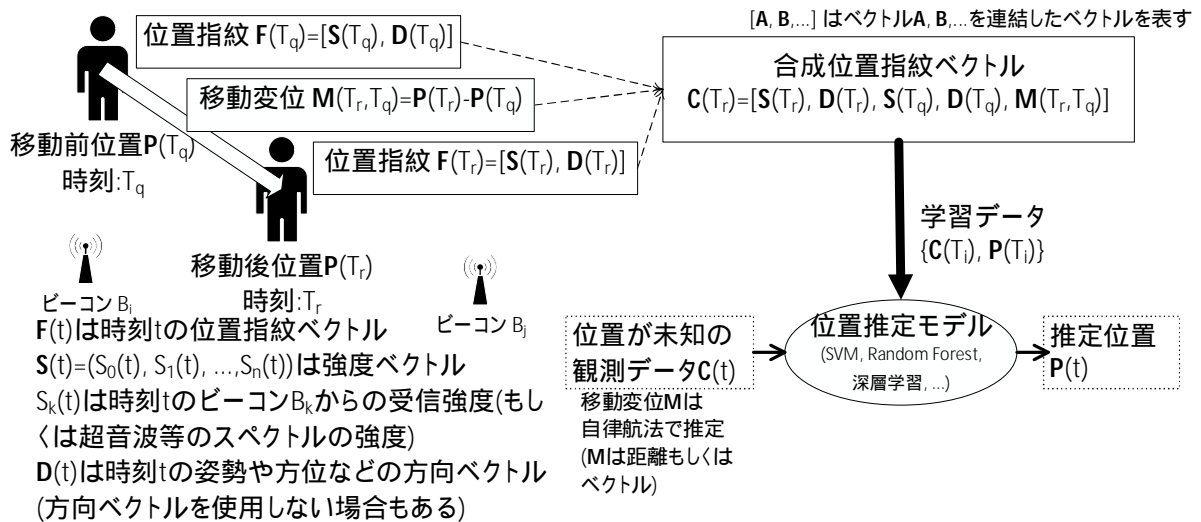


図1: 複数位置指紋と変位に基づく統合位置推定手法

本研究では、複数位置指紋と自律航法を統合し、携帯型端末で利用可能な統合位置推定システムの適切な構築法と特徴を明らかにし、その実用性を検証することが目的である。図1に、複数位置指紋と変位に基づく統合位置推定手法の模式図を示す。また、電波だけではなく、環境超音波を利用した場合の評価および検証を行うことも目的である。

位置指紋法と自律航法 (dead reckoning) の従来の併用手法は、位置指紋によって基準点を見つけ、その後は自律航法によって変位を推定するという考え方に基いており、時間経過に伴う自律航法の誤差の蓄積という問題がある。しかし、提案手法では、自律航法による精度低下が問題とならない短時間の間隔で測定した複数の位置指紋を利用する。

3. 研究の方法

目的とする統合位置推定システムとの比較のためのベースラインとして、位置指紋のみを用いた位置推定精度の評価を行う。環境超音波による位置推定も同様に評価する。

統合位置推定システムのための自律航法による変位推定方式を検討し、時間経過に伴う累積誤差の評価を行う。携帯端末で用いられている MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)加速度センサーからのデータを基にした自律航法を検討する。また、実際の環境で携帯端末を用いて測定したデータを基に、累積誤差の分布モデルを構築する。その累積誤差分布モデルと位置指紋データを基に提案手法のシミュレーションによる評価も行う。

#### 4. 研究成果

端末から発した Bluetooth Low Energy(BLE)の電波を部屋に設置した複数の受信機で観測した信号強度から構成される逆位置指紋(inverse fingerprint)のデータを基に、観測地点間の距離と組み合わせた協調位置指紋についての実測データに基づくシミュレーション実験・評価を行った。単純な逆位置指紋による推定精度は、二乗平均平方根誤差(RMSE)で 1.09m であるのに対し、統合位置推定手法の一つである提案の協調位置指紋法を利用することで RMSE を 0.42m にできることを示した。この成果は国際会議において発表を行った。

また、屋内の照明機器や空調機器、スイッチング電源等から発せられる超音波にはそれぞれ固有の特徴があり、能動的な超音波発信器を用いなくても、機器からの超音波が集約された環境超音波から測位が可能であるという考えに基づいた測位手法を評価した。位置指紋としてスペクトログラムおよびフーリエ係数、推定モデルに畳み込みニューラルネットワーク(CNN)およびランダムフォレストを用いた場合の評価を行い、環境超音波のスペクトログラムを位置指紋とし、推定モデルに CNN を用いることで、RMSE 0.49m での推定が可能であることを示した。

次に、統合位置推定システムのための自律航法による変位推定方式を検討した。携帯端末で用いられている MEMS 加速度センサーと角速度センサーからのデータを基にした自律航法を検討し、Madgwick フィルタを用いて端末の姿勢を推定し、それを基に重力加速度の影響を排除し、加速度の二重積分によって端末の移動した変位を推定する自律航法システムを設計した。設計に基づいて Android スマートフォン(HUAWAI P10)の MEMS センサー(InvenSense ICM-20690)のデータから移動変位を推定するシステムを実装した。自律航法で歩行距離推定を行った結果、歩行時間が 6 秒以内であれば誤差 0.5m 以内で歩行距離を推定できた。この歩行時間の条件を満たすことで、高い推定精度を得られることを明らかにした。

歩行時の測定データを基に、累積誤差の分布モデルを構築し、その累積誤差分布モデルと位置指紋データを基に提案手法のシミュレーションによる評価も行った。変位推定誤差の有無で累積正答率を比較し、許容誤差 0.1m とした条件下で、構築したモデルに基づいた自律航法による変位推定誤差を含めた場合の累積正答率は 86.4% であり、変位推定誤差を 0 とした場合と比べて、4.3 パーセントポイントの低下に過ぎないことを明らかにした。

また、構築した誤差モデルを適用した場合と誤差のない場合の協調位置指紋法の RMSE の差は 0.005m だった。このことから、協調位置指紋法は短時間自律航法移動変位推定の誤差に対し頑健であり、実環境においても高い精度で位置推定が可能であることが示唆された。

屋内で着席している場合の測位を考えると、会議用椅子の幅は 0.5m 程度であり、椅子を動かすために一般に席間隔は 0.6m が必要であることから、椅子の中央に着席している場合に隣席と区別する際の推定誤差は席間隔の半分の 0.3m 以下が望ましい。許容誤差が 0.3m の際の累積正答率を比較すると、図 2 が示すように協調位置指紋法で誤差無しの場合は 70.0%、誤差を加えた場合は 69.1% であるのに対し、逆位置指紋法は 51.7% であった。協調位置指紋法において誤差の有無ではほとんど差がないのに対し、どちらも逆位置指紋法より累積正答率が高い。

ただし、図 2 に示されているように 5m という大きな誤差を一律に距離に加えた場合には、協調位置指紋法が逆位置指紋法以下の推定精度に低下することがある。しかし、提案手法では自律航法の利用を短時間に制限することで変位推定誤差の累積を抑制することができるために位置推定精度の低下を避けることが可能である。

また、図 2 において許容誤差が 1.2m 以下の場合に、5m の大きな誤差を含んだ協調位置指紋の方が逆位置指紋よりも精度が高い。これは、協調位置指紋を構成する逆位置指紋を観測した点が近い場合には、可能な逆位置指紋の範囲が狭く、距離が重視されないように推定モデルが構築されたと考える。

これらの実験結果から自律航法利用の時間制約を守ることで、協調位置指紋法はスマートフォンを利用した実環境においても高精度な位置推定が可能と考えられる。複数位置指紋と自律航法の従来とは異なる統合手法である協調位置指紋法の有効性を実験データに基づいて示した研究は初めてのものである。また、より多くの位置指紋の利用による高精度化の可能性を示しており、屋内測位手法の発展に寄与するものである。

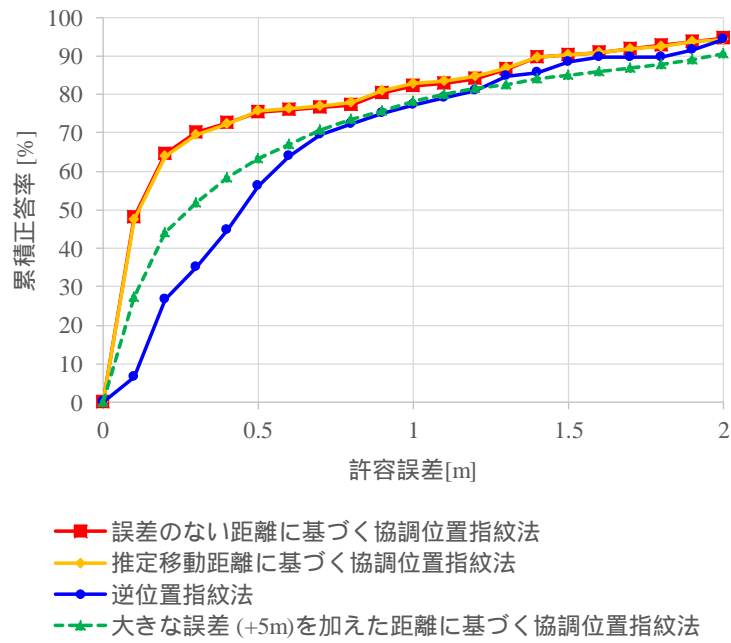


図2 手法による累積正答率

さらに、効率的な位置指紋情報収集のために、複数のIoTデバイスを用いて、異なる位置における同時刻のデータを収集したり、屋内でも利用可能な小型のドローンやマーカを付けた人を利用したりして位置指紋を収集する際に必要な、正解ラベルである座標収集のための技術開発を行った。具体的には、色相変調に基づいた複数のマーカ(発光体)の識別技術の開発および屋内で天井設置カメラから人の識別と座標推定をするための技術開発を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 大植 悠斗、梅澤 猛、大澤 範高	4. 巻 J106-B
2. 論文標題 デッドレコニングによる距離推定の誤差モデルに基づく協調位置指紋法の評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B 通信	6. 最初と最後の頁 217 ~ 226
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14923/transcomj.2022GWP0001	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yuto Oue, Takeshi Umezawa, Noritaka Osawa
2. 発表標題 Indoor Location Estimation Based on Inverse Fingerprints at Multiple Points in Time and Moving Distance
3. 学会等名 AICCC 2020: 2020 3rd Artificial Intelligence and Cloud Computing Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中野春樹, 梅澤 猛, 大澤範高
2. 発表標題 色偏移変調を利用したマーカの検出および識別手法の検討
3. 学会等名 情報処理学会第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河 竜星, 梅澤 猛, 大澤範高
2. 発表標題 天井設置カメラによる俯瞰動画を用いた人物検出と再同定
3. 学会等名 情報処理学会第85回全国大会
4. 発表年 2023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	梅澤 猛  (Umezawa Takeshi)  (50450698)	千葉大学・大学院工学研究院・助教   (12501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------