

令和 6 年 5 月 10 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12135

研究課題名（和文）デフォルメされたマップでのユーザー指向な屋内ナビゲーションの実現

研究課題名（英文）User-oriented indoor navigation with distorted maps

研究代表者

菅谷 至寛 (Suagya, Yoshihiro)

龍谷大学・先端理工学部・教授

研究者番号：80323062

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）：研究代表者らはこれまで、掲示されたフロアマップとスマートフォンだけで屋内ナビゲーションを実現できる「ユーザー指向」な手法の研究開発を行ってきたが、商業施設などに掲示されているフロアマップには局所的な歪みが大きいマップも存在する。本研究課題はそのような歪んだフロアマップにも対応できる方法の研究開発を目指した。

本研究課題では、非均質な縮尺および通路方向を考慮した粒子フィルタの改良、すれ違い通信を用いた位置補正手法の検討、情景画像を用いた絶対位置推定手法の検討などを行った。その結果、大きな歪があるマップでの推定精度を、「ユーザー指向」の特徴を保ったまま、ある程度向上させることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題における研究及び技術開発により、大きな歪があるマップでの推定精度を、「ユーザー指向」の特徴を保ったまま、ある程度向上させることができた。商業施設等で掲示されているフロアマップには歪みの大きなものも少なくないため、研究代表者らが提案している屋内歩行者ナビゲーションフレームワークの適用範囲拡大に寄与すると考えられる。

測位インフラの設置及び事前データ収集を必要としないナビゲーションシステムや実用例はほとんどなく、本研究の成果は屋内ナビゲーションを利用可能な場所や状況を増やすために有用であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：We have been developing a "user-oriented" method that can realize indoor navigation using only a posted floor map and a smartphone. This research project aims to develop methods that can handle such distorted floor maps.

In this research project, we improved particle filters that take into account non-homogeneous scales or corridor directions, studied a position correction method using passing-by communication, and examined an absolute position estimation method using scene images. As a result, we were able to improve the estimation accuracy of the map with large distortion to some extent while maintaining the "user-oriented" feature.

研究分野：ユビキタスコンピューティング

キーワード：歩行者ナビゲーション 位置推定 ユビキタスコンピューティング computer vision

1. 研究開始当初の背景

屋内位置推定は盛んに研究されているが、デファクトスタンダードな手法やインフラは存在しない。多くの手法では、測位のためのインフラの設置や測位したい現地での事前データ収集が必要であり、施設管理者の協力が必要になる場合が多い。マップの取得に関しても同様であり、施設管理者からの提供を必要とする場合が一般的である。したがって、屋内ナビゲーションの提供は施設管理者側に動機や意志がある場合に限られ、利用者の要望とは必ずしも一致しない。研究代表者は屋内ナビゲーションに限られた場所でしか利用できないことに以前から問題意識を持っており、人間のために掲示されたアナログのフロアマップとスマートフォン内蔵のセンサだけで、施設管理者の協力がなくても屋内ナビを実現できる「ユーザー指向」な手法の研究開発を行ってきた。

2. 研究の目的

研究代表者らが提案する屋内ナビゲーションフレームワークでは、「ユーザー指向」の特徴を実現するために、スマートフォンのカメラで取得したフロアマップ画像を解析することでナビゲーションに必要な電子マップをその場で獲得し、スマートフォンに内蔵された慣性センサを用いた歩行者デッドレコニング (PDR) と粒子フィルタを用いたマップマッチングによって位置推定を行う。この手法はフロアマップ画像がある程度正しければうまく動作するが、掲示されている案内板に含まれるフロアマップにはデフォルメされていて正確でない場合があることがわかった。PDR は実空間上での相対的な位置の変化を推定する手法なので、マップに歪があると実空間との齟齬が生じ、許容できない誤差が生じたり、現在位置の追跡が停止したりする。本研究課題では、施設管理者側の協力を必要としない「ユーザー指向」の特徴を維持しながら、デフォルメされた歪のあるマップでも歩行者ナビゲーションが可能な技術を開発することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 非均質な縮尺を考慮した粒子フィルタの改良

先に述べたように、掲示された案内板に含まれるフロアマップはデザイン上の理由などからデフォルメされており、歪みがある場合が少なくないことがわかっている。一般的な PDR とマップマッチングを用いる場合ではマップがある程度正しいことを前提としているため、歪がある、すなわち、部分的に縮尺が異なるマップではうまく動作せず大幅に精度が低下したり、現在位置の推定が停止(破綻)したりすることがある。研究代表者らが提案しているマップマッチング手法では粒子が縮尺情報を持っているため、小さな縮尺の変化には対応できるが、大きな変化には対応できなかった。歪のあるマップでの粒子のふるまいを調べ、歪の大きなマップでも位置推定が破綻しないようにするための改良を検討する。

(2) 通路方向および移動方向を考慮した粒子フィルタの改良

PDR では距離よりも方向に誤差が累積しやすく、全体の精度に影響を与えることが多い。人間は全ての方向に様に進むのではなく、通路では通路の方向に進む可能性が高いと考えるのが自然である。これまで、研究代表者らは、精度向上のために通路の方向に沿って移動する粒子に大きな重みを与えるなどの手法を提案しているが、交差点や広場において粒子が実際より進みすぎたり、逆に停滞したりするような副作用が発生し、かえって精度が低下してしまうことがあった。この副作用のメカニズムを解析し、より良い粒子の移動方向補正法を検討する。またその目的を達成するために、フロアマップの解析手法についての改良と学習方法の検討を行う。

(3) すれ違い通信を用いた位置補正手法の検討 (図1)

同じアプリを利用するユーザーが付近に複数存在する場合に、互いの情報を利用して位置の補正を行うことを考える。電波を用いた通信では、電波強度を用いて簡易的に近接していることを検出できる。その際に互いの位置などの情報を交換し、それらを用いて位置の補正を行う。そのためには、どちらの位置がより正しいと考えられるかを判定する必要がある。これまでの履歴から正しさを機械学習によって判定する手法を検討する。さらに、推定した正しさに基づいて位置を補正する具体的な手法について

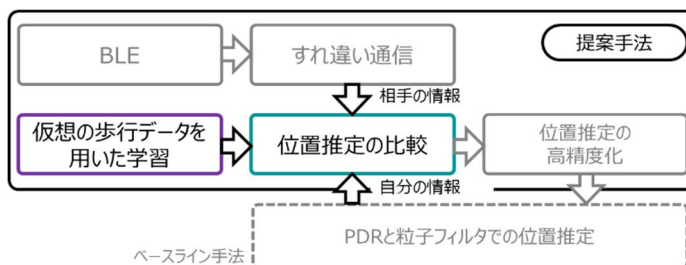


図1 すれ違い通信を用いた位置推定の高精度化

このプロセスは、BLEによるすれ違い通信を通じて相手の位置情報を取得し、自身の位置情報と比較することで高精度な位置推定を実現し、機械学習を用いてその精度をさらに向上させるというものです。

ても検討する。

(4) 情景画像を用いた絶対位置推定手法の検討

マップの歪や PDR での誤差の累積に対処するため、ある程度の間隔で利用者の負担にならない方法で大まかな絶対位置推定をする手法を考える。店舗のロゴや店舗名を認識し、マップの情報と照合することで位置推定を行う手法が提案されている。しかし、店舗名が常に正しく認識できるとは限らない。そこで、店舗のジャンルを推定し付加情報として利用することを検討する。

また、研究代表者らは、駅などで天井から吊り下げられている案内板を利用して大まかな位置推定を行う手法を開発している。しかし、特定の駅でしか実験が行えておらず汎用性が乏しかった。また、処理時間がかかりすぎ、実用化には遠い状態であった。そこで、汎用性および処理時間の改善について検討を行う。

4. 研究成果

(1) 非均質な縮尺を考慮した粒子フィルタの改良

歪んだマップの中には縦方向と横方向で縮尺が異なるものがある。そこで、推定した縮尺を保存しておき、後に縮尺の候補として利用することを考える。慣性センサによって方向転換を検出することは可能なので、検出した方向転換とマップの交差点を対応させると、その間のマップ上でのピクセル長と PDR による移動距離から縮尺を推定することができる。推定した縮尺を保存しておき、方向転換検出後に一定割合の粒子の縮尺を保存したものに置き換える。保存されている縮尺が正しいとは限らないが、粒子フィルタの性質から、正しい縮尺を持った粒子が存在すれば生き残る確率が高いと期待される。

縮尺をパラメータとして持つ粒子フィルタでは、粒子が様々な縮尺を持つことで縮尺の変化への耐性がある程度持っている。しかし、縮尺と位置には結果として相関があり、粒子の位置と縮尺がおおむね対応していることが粒子のふるまいの観測からわかった(図2)。そのため、特に歪みのあるマップでは、位置と縮尺の両方が正しい粒子が存在する確率が低くなってしまふ。そこで、方向転換検出時に、各粒子の持つ縮尺をシャッフルする手法を提案した。

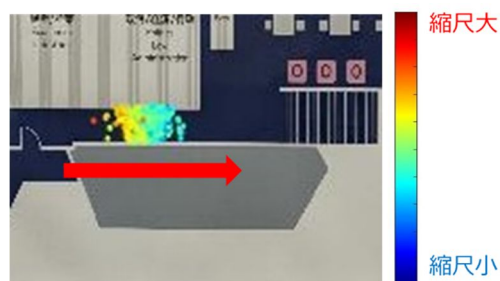


図2 粒子の持つ縮尺と位置の関係

以上の改良により、推定が破綻する確率が減少し、平均誤差が改善することが確認された。

(2) 通路方向および移動方向を考慮した粒子フィルタの改良

従来用いられていた通路方向を考慮した粒子の重みづけ手法での粒子のふるまいを解析したところ、通路と広場(交差点)を離散的に区別していたため、粒子が持つ縮尺に偏りが生じてしまう場合があり、その結果として進みすぎや停滞が発生することがわかった。そこで、通路の確信度に応じて角度の閾値と補正パラメータを設定することで、広場に近づくほど補正がかかりにくくなるようにした。

また、そのために必要な通路の確信度マップを得るために、通路領域解析手法の改良を行った。通路領域解析には一般的なセマンティックセグメンテーション手法の一つである DeepLabv3+ をベースとした手法を用いているが、教師ラベルとして One-Hot ベクトルを用いた一般的な方法で学習したモデルでは、通路と広場(交差点)の境界が離散的になってしまう。ガウシアンカーネルによるラベルスムージングを施した教師データを用いることで、スムーズに通路の確信度が変換するような出力を得ることができた(図3)。

これらの手法によって、フロアマップのデフォルメなどに対しても、従来手法よりも頑健な位置推定が可能であることが確認できた。

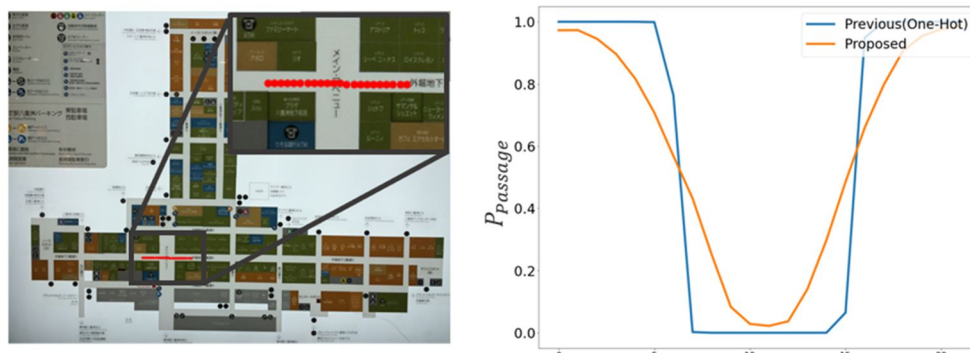


図3 通路の確信度

(3) すれ違い通信を用いた位置補正手法の検討

BLE (Bluetooth Low Energy) はほぼ全てのスマートフォンに搭載されており, Wi-Fi よりもアドホック通信が行いやすいためこれを採用し, 具体的な通信手順について検討した. また, 実験によって, RSSI の平均が -58dbm を超えたときに近接と判断し, データ通信を行って互いの位置を交換することとした.

位置推定の精度比較は LightGBM による学習モデルによって行い, 精度比較結果 p を $[0, 1]$ の範囲で出力する (0 に近いほど自分の位置が正しいと推定). 曲がり地点と交差点の距離, 粒子のばらつき, 消滅粒子数, 累積ステップ数などを特徴量とし, 仮想の歩行データを用いて学習を行った.

精度比較の出力 p と相手端末の位置を用いて粒子の位置を補正する. 粒子総数 $\times p$ 個の粒子は相手端末の位置に正規分布による乱数を加えた位置を用い, 残りの粒子は自分の粒子の位置をそのまま利用する (図 4). ただし, 相手端末の位置が通路上に無い場合は最も近い通路上の点を用いる.

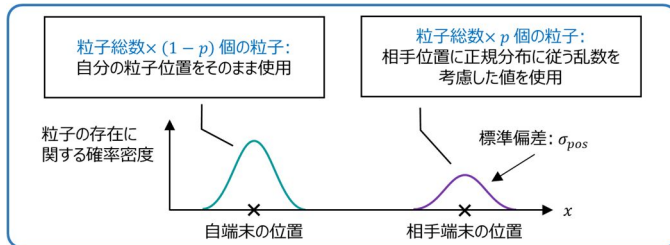


図 4 精度比較結果の粒子フィルタへの反映

以上の手法を実装し, 実際の施設で取得したデータで実験を行ったところ, 平均誤差の改善が確認できた.

(4) 情景画像を用いた絶対位置推定手法の検討

ショッピングモール内の情景画像から, 店舗のジャンルを推定できるかどうかについて検討を行った. Google Maps と Yahoo! マップから約 1000 枚の店舗画像を収集し, ImageNet で学習済みの ResNet-50 の全結合層を置き換えてファインチューニングを行った. 店舗のジャンルは accessory, bag, book, clothes, goods, restaurants, shoes の 7 つとした. その結果, 9 割程度の精度でジャンルを判定することができた. ただし, 人が多く写り込んでいる場合は clothes に誤識別することが多く, さらなる検討と改良が必要である.

天吊り案内板による絶対位置推定では, これまでは案内板の検出やキーワード検出に M2Det を用いていた. しかし, M2Det は処理が重く実用的な時間では全体の処理が終了しないため, 他のモデルへの置き換えを検討した. 様々なモデルを比較検討した結果, SSD が精度を保ったまま処理時間を大幅に削減できることが確認された. ただし, 全体ではまだ実用的な待ち時間に達しておらず, さらなるモデルの改良とシステムの実装が必要である.

(5) まとめ

以上の検討及び技術開発により, 大きな歪があるマップでの推定精度を, 「ユーザー指向」の特徴を保ったまま, ある程度向上させることができた. 商業施設等で掲示されているフロアマップには歪みの大きなものも少なくないため, 研究代表者らが提案している屋内歩行者ナビゲーションフレームワークの適用範囲拡大に寄与すると考えられる. しかし, 本研究課題で提案した手法を組み合わせた場合の評価はできておらず, また, マップによってはまだ不十分な場合もあるため, さらなる検討や技術開発が必要である. 国内外の研究等において, 測位インフラの設置及び事前データ収集を必要としないナビゲーションシステムや実用例はほとんどなく, 本研究の成果は独自性がある.

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 1件）

1. 著者名 Kageyama Kohei, Miyazaki Tomo, Sugaya Yoshihiro, Omachi Shinichiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Collaborative Indoor Positioning by Localization Comparison at an Encounter Position	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 6962 ~ 6962
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app13126962	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	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 0件）

1. 発表者名 Kohei Kageyama, Yoshihiro Sugaya, Tomo Miyazaki, Shinichiro Omachi
2. 発表標題 Improvement of the Usability for Indoor Navigation Exploiting Images of Information Boards
3. 学会等名 2021年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田 涼雅, 菅谷 至寛
2. 発表標題 DeepLab v3+を用いたイラストマップの道路領域抽出に関する基礎的検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 2024年総合大会 ジュニア&学生ポスターセッション
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 東畑 湧登, 菅谷 至寛
2. 発表標題 深層学習を用いた店舗のジャンル推定に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 2024年総合大会 ジュニア&学生ポスターセッション
4. 発表年 2024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	宮崎 智 (Miyazaki Tomo) (10755101)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	
研究 分担者	大町 真一郎 (Omachi Shinichiro) (30250856)	東北大学・工学研究科・教授 (11301)	

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
---------	---------