

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04115

研究課題名（和文）大域的マップマッチングに基づく「屋内外」経路推定の確立と防災訓練への適用

研究課題名（英文）Indoor and Outdoor Route Estimation Method using Global Map Matching and its Application for Disaster Drill

研究代表者

山本 大介（Yamamoto, Daisuke）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：00402470

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、BLEビーコンとGPSデータの両方を統合的に利用することによって、より高精度に屋内と屋外にまたがる案内を実現する仕組みを提案した。具体的には、ビーコンネットワークを屋外にまで拡張すると同時に、異なる種類のデータであるBLEビーコンの電波とGPSの電波を同一のフレームワークで扱えるように拡張した。さらに、これらを実現するには、ビーコンネットワークの構築が必要であるが、それをWebマップベースで容易に構築できる仕組みを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、別々の研究領域と考えられていた、BLEビーコンの屋内の位置推定技術と、GPSを用いた屋外の経路推定技術を統合する仕組みを実現した点に学術的な新規性がある。これにより、屋内外にわたる人の移動を効果的に推定することが可能になる。社会的な意義は、屋内外にわたる人の移動を推定できることで、たとえば、人流などの推定が可能になる。屋内外にわたる詳細な人流が把握できれば、より高度な都市の設計や防災訓練などに貢献できるであろう。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed a mechanism that integrates the use of both BLE beacon and GPS data to provide more accurate guidance that spans indoor and outdoor areas. Specifically, we extended the beacon network to the outdoors, and at the same time, we extended the framework to be able to handle different types of data, BLE beacon signals and GPS signals, in the same framework. Furthermore, to realize these goals, it is necessary to construct a beacon network, and we have realized a mechanism that enables easy construction of such a network based on a web map.

研究分野：情報工学

キーワード：地理情報システム ネットワーク BLEビーコン

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、BLE を搭載したスマートフォンの普及に伴い、BLE ビーコンを用いた位置情報サービスが普及しつつあった。例えば、申請者の所属する名古屋工業大学情報基盤センターでは、学内の全ての教室と廊下に約 1600 台の BLE ビーコンを設置し、BLE ビーコンの電波を受信することで、授業の出席報告できるスマートフォンアプリを提供してきた。さらに、BLE ビーコンは設置コストが低いと同時に、加速度センサなどを用いた PDR(Pedestrian Dead Reckoning)で問題となるドリフト誤差がない利点があるため、BLE を用いた屋内位置推定の研究も盛んに行われていた。申請者も、GIS 分野のトップカンファレンスである ACM SIGSPATIAL 2018 (採択率 20%) において、屋内経路推定のための BLE ビーコンを用いたグローバルマッチング手法が採択され、実環境で 95%以上と非常に高い精度で屋内の経路推定を可能にしてきた。

また、人々の移動経路を推定する人流推定という分野でも BLE ビーコンが注目されており、マーケティング・都市計画・避難訓練などにおいて人の流れの解析にも応用可能であると考えた。たとえば、都市部の避難訓練を想定した場合、人々はビル内や、地下街・屋外など様々な場所を経由して避難所(公園など)に移動する。屋内と屋外の両方にまたがる経路を高精度に推定することができれば、より良い避難計画の立案に貢献できるであろう。

しかしながら、研究開始当初の BLE ビーコンを用いた位置推定の研究の多くは屋内を対象としたものであり、屋外で用いられている GPS との融合に関する研究はあまりなかった。BLE ビーコンを用いた研究では、BLE ビーコンの電波受信強度(RSSI)を入力データとして用いるのに対して、GPS を用いた研究では緯度経度座標を入力データとして用いるなど、両方で利用できるデータ形式が大きく異なった。また、BLE ビーコンの分野では、ユーザの位置を推定する「位置推定」に関する研究が主流であるのに対して、GPS の分野では、位置は明らかなので、マップマッチングにより道路上の移動経路を推定する「経路推定」の研究が主流であった。屋内と屋外の両方をまたがる経路推定を実現するためには、BLE ビーコンと GPS の両方のデータを融合して全体最適な「経路推定」手法を実現する必要があるが、前述の通りデータ形式の違いや推定対象、研究分野が異なるため、GPS と BLE ビーコンの融合は難しかった。BLE ビーコンに基づく推定経路と GPS に基づく推定経路を別々の手法で求めた後に、後処理で両者を結合する方法も考えられるが、局所最適解の連結になり推定精度が下がる恐れがある。両者のデータを融合し、全体最適な経路を推定する手法が実現できれば、より高精度な経路推定が期待できた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、屋内と屋外の両方をまたがる人の移動経路を推定するために、BLE ビーコンと GPS の両方のデータを利用した全体最適な経路推定法を実現することである。さらに、それらを実現するためのツールやデータを整備すると同時に、実証実験システムの運用を通じ提案手法の有効性を確認することである。

前述の通り、GPS と BLE ビーコンはデータ形式や推定対象が異なるため、両者を融合した経路推定手法を実現することは難しい。しかしながら、申請者が、ACM SIGSPATIAL 2018 で提案した手法は、GPS 分野の経路推定手法を参考にした技術であるため、GPS の手法と共通点も多く、本研究目的である GPS と BLE ビーコンの融合のための足掛かりになると考えた。特に、従来 GIS の分野として研究されてきた GPS による経路推定と、モバイル分野で研究されてきた BLE ビーコンによる位置推定を融合した研究である点にも独自性や創造性がある。

一方で、実験を行うためには、多数の BLE ビーコンを設置した大規模な研究環境の準備が必要である。一般に、このような実験環境を準備するには多大な労力が必要であるが、前述の通り、名古屋工業大学には 1600 台の BLE ビーコンを既に設置・運用しており、世界トップクラスの BLE ビーコンの研究基盤として利用可能である。また、多数の人が実際に移動して得られる実験データも必要である。そこで、本研究では、実験対象として、名古屋工業大学における避難訓練を想定した。本学の避難訓練では、全教職員と全学生が、建物の中の居室から廊下や階段を通り屋外に出て避難場所である運動場まで移動するなど、屋内と屋外の両方を經由する経路を移動する。このように、大規模な実験環境において、実証実験を実施することも、本研究の独自性や創造性となる。

さらに、関連する Web マップサービスや避難訓練アプリなどのツールの整備を行っていくことで、実際に使えるシステムを開発・公開していく点に創造性がある。

## 3. 研究の方法

問題を単純化するために、本学の避難訓練時の経路推定に対象を絞って研究を進めていく。利用する装置は GPS と本学設置済みの 1600 個の BLE ビーコンであり、学生が所有するスマートフ

オンを用いて位置データの収集を行う。以下に述べる研究項目を実施する。

(1) GPS と BLE ビーコンを融合した屋内外経路推定

従来技術の組み合わせでも、屋内外の経路推定を実現することは可能かもしれない。しかしながら、図 1 に示すように、さまざまな推定（位置推定、経路推定）や補正技術（PDR (Pedestrian Dead Reckoning) や PMM (Pedestrian Map Matching)）を繰り返し適用する必要がある精度悪化の一因となり得た。（たとえば、精度 90% の手法を 4 回適用すると 0.9 の 4 乗で 65% に低下する。）また、屋内と屋外で別々の手法で推定した経路を連結すると、局所最適になり、推定精度が下がる恐れがある。本研究では、経路を推定できれば十分であるため、必ずしも詳細な位置を推定する必要がない。そこで、我々は、図 1 に示すように、BLE ビーコンと GPS の両方のデータを入力として、位置推定をすること無しに、全体最適な経路を一度に推定する手法を実現する。

上記を実現するため、二つの工夫を考えた。一つは、BLE ビーコンの設置関係を表すビーコンネットワークと、ユーザが欲しい経路を表す経路ネットワークを分離した二層モデルを提案する。BLE ビーコンは受信端末との距離が離れるほどマルチパスの影響で位置推定精度が悪化するため、BLE ビーコンの設置場所直下をノードとするビーコンネットワーク上で経路推定を行うことで、BLE ビーコンとネットワーク上の経路の位置推定誤差を最小化する。二つ目は、ビーコンネットワークを屋内外に拡張し、BLE だけでなく GPS もビーコンネットワーク上で経路推定する。具体的には、BLE ビーコンの候補点群と GPS の候補点群をビーコンネットワーク上で求め、両者を同列に扱い、時空間的特性を考慮したビタビアルゴリズムによって、両者を融合した全体最適な経路推定する。実際、我々の過去の研究では、この考え方の一部を屋内の BLE ビーコンのみに適用しているが、95% 以上と高い推定精度を出している。

(2) ビーコンネットワークの構築

上記の経路推定アルゴリズムを実現する要は、いかに低コストで精度の高いビーコンネットワークを構築するかにかかっている。そこで、ビーコンネットワークを手動生成する方法と、自動生成する方法の二つの観点から研究を進めていく。

前者に関しては、Web マップを用いて、管理者が簡単に作成できるシステムを構築する。手作業でビーコンネットワークの配置法を検討できる仕組みを作るとは、研究の初期段階を円滑に進める上で重要な技術と考えている。Web マップは、OpenStreetMap と Leaflet を用いて作成する。

後者の自動生成に関しては、実際のビーコンログ等の取得履歴から BLE ビーコンの設置関係を統計的に推定することで、ビーコンネットワークを自動生成する手法を提案する。たとえば、ある二つの BLE ビーコンの ID が時間的に連続して検知されれば、それらの BLE ビーコンは隣接していると推定できる。また、スマートフォンに内蔵された加速度センサなどを用いて自己位置推定 (PDR) アルゴリズムを用いれば、二つの BLE ビーコンの相対的な位置関係が推定できる。その際、二層モデルを採用することで、実際の経路と物理的なビーコンを分離することが可能になり、必ずしも実際の経路に依存しない、自動生成にとって都合の良いビーコンネットワークを最適配置で設計することができる。研究が上手くいかない場合は、前者と後者の手法を組み合わせた半自動的な方式についても検討していく。

4. 研究成果

(1) GPS と BLE ビーコンを融合した屋内外経路推定手法について

GPS のデータと BLE ビーコンのデータを統合的に扱う仕組みについて提案した。具体的には、実際の求めたい経路をあらゆる経路ネットワークと、ビーコンや GPS などのデータを直接関連付けるのではなく、その中間層となる、ビーコンネットワークという新しいネットワークを定義することによって、ビーコンのデータと GPS のデータを統合的に扱うことを可能にした。実際、屋内における実験を実施したところ、想定通りに、経路推定できることを確認した。

(2) ビーコンネットワークの構築

図 2 に示すように、Web ベースでビーコンネットワークを編集できるインタフェースを新たに開

従来手法の組み合わせ

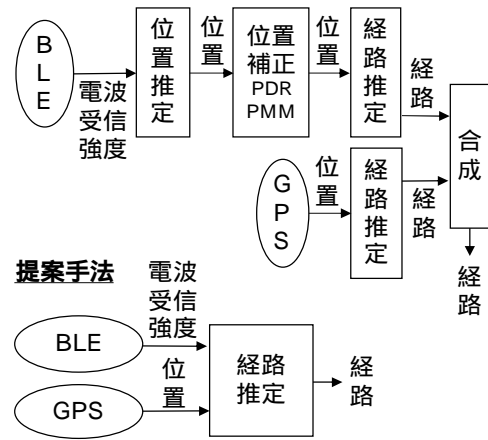


図 1 経路推定アルゴリズムの比較。

発した。OpenStreetMap の地図と、屋内建物の見取り図を扱うことで、直感的かつインタラクティブにビーコンネットワークを編集することが可能である。また、屋内地図と屋外地図という異なる縮尺をもつ地図を変形させてつなげることで、統合的に扱えるようにした。

また、自動でビーコンネットワークを生成する仕組みについても検討した。この内容に関しては未発表であるため、詳細は省略するが、幾何学的手法にもとづいて、自動生成できることを、一定程度確認した。より詳細な研究は今後の課題である。

### (3) 当初想定していなかった研究成果について

上記のビーコンネットワークの構築 Web インタフェースと関連して、Google Blockly を用いたインタフェースについても検討し、成果発表を行った。また、経路推定に関連し、音声道案内や、Web マップに関連

した研究発表も実施した。これらの研究は直接的には、本研究の目的と直接的に合致しているわけではないが、本研究と関連性の強い研究成果である。

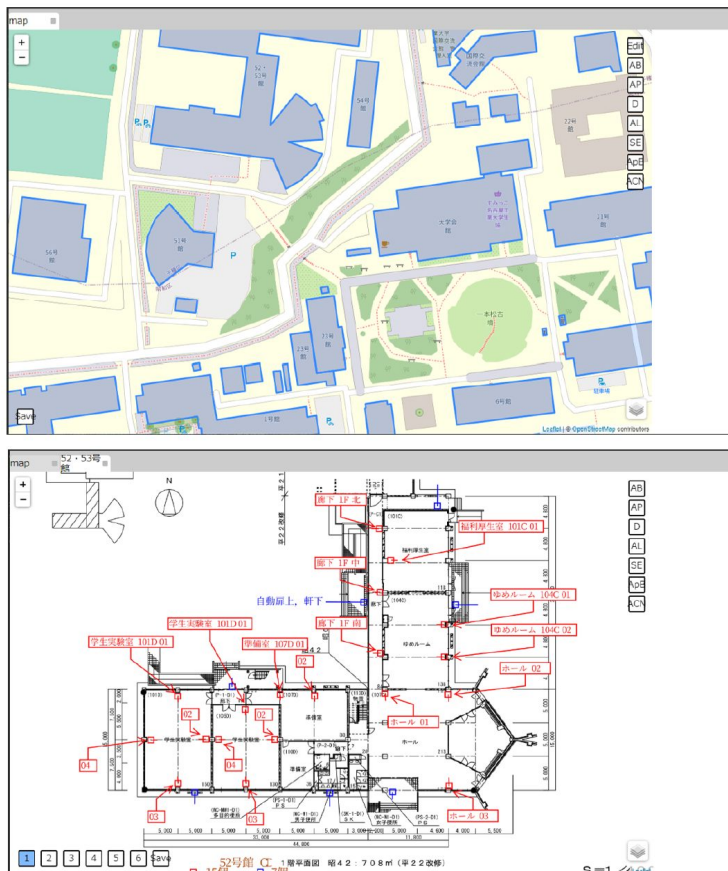


図2 ビーコンネットワーク編集インタフェース

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 古市 瑞希, 山本 大介, 高橋 直久	4. 巻 8
2. 論文標題 ブロック型ビジュアルプログラミング機能を有する音声対話シナリオ編集システム	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情処論文誌デジタルコンテンツ	6. 最初と最後の頁 1-15
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Yonghwan Kim, Hiroaki Fukuyasu, Daisuke Yamamoto, Naohisa Takahashi,
2. 発表標題 A Road Generalization Method using Layered Stroke Networks
3. 学会等名 ACM SIGSPATIAL Workshop on Location-based Recommendations, Geosocial Networks and Geoadvertising（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤 孝徳, 山本 大介, 高橋 直久
2. 発表標題 BLEビーコンを用いた屋内外経路推定のためのネットワーク編集システム
3. 学会等名 DICO 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日浦 勇貴, 山本 大介, 高橋 直久
2. 発表標題 交差ストロークを用いた道なり優先経路探索の高速化手法
3. 学会等名 DICO 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古市 瑞希, 山本 大介, 高橋 直久
2. 発表標題 プログラミング初心者のためのBlocklyを用いた音声対話シナリオ編集システム
3. 学会等名 DICOMO 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kajioka, T. Saito, D. Yamamoto, N. Takahashi
2. 発表標題 Web-Based Geospatial Adjacency Graph Construction Tool for Indoor/Outdoor Beacons
3. 学会等名 GCCE 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoya Sukigara, Yonghwan Kim, Daisuke Yamamoto, Naohisa Takahashi
2. 発表標題 A Street Name-Based Summarization Method for Voice Navigation
3. 学会等名 GEOProcessing 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sogo Mizutani, Yonghwan Kim, Daisuke Yamamoto, Naohisa Takahashi
2. 発表標題 Automatic generation method for geographically accurate bus route maps from bus stops
3. 学会等名 GEOProcessing 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022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	松尾 啓志  (Matsuo Hiroshi)  (00219396)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授   (13903)	
研究 分担者	梶岡 慎輔  (Kajioka Shinsuke)  (40609517)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教   (13903)	

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