

博士論文 (要約)

**Accurate Localization Method  
for Indoor Blind Navigation  
Using Images and Bluetooth Signals**  
(視覚障害者歩行支援のための画像および  
ブルートゥース信号を用いた  
室内位置推定技術に関する研究)

Tatsuya Ishihara

石原 辰也

# 論文の内容の要旨

論文題目 Accurate Localization Method for Indoor Blind Navigation Using Images and Bluetooth Signals

(視覚障害者歩行支援のための画像およびブルートゥース信号を用いた室内位置推定技術に関する研究)

氏名 石原 辰也

視覚障害者にとって最も困難なことの一つに、初めて訪れる場所を一人で歩くことがある。そのため視覚障害者向けナビゲーションシステムは、視覚障害者の社会参加を促進するために重要な技術であるが、効率的かつ安全にナビゲーションするためには、正確な位置推定システムが必要となる。

近年スマートフォンは、視覚障害者にとってのアクセシビリティが向上しており、視覚障害者向けナビゲーションシステムを実現するためのデバイスとしても注目されている。従来のスマートフォンによる屋外のナビゲーションシステムは、主にGPSを利用してしたが、信号が届かない室内では位置を推定できない。そのため本研究では、屋内において、スマートフォンのみで利用できる視覚障害者ナビゲーションシステムのための高精度な位置推定技術の実現を目指す。

Wi-Fi や Bluetooth 等の電磁波による位置推定は、スマートフォンのみで利用でき、広く利用されている屋内位置推定技術である。電磁波による位置推定の利点として、信号が観測できる範囲においては、常に位置を推定し続けることができる点がある。一方で信号の干渉があるときや、十分なセンサーを環境に設定できない時に誤差が大きくなる課題がある。

また、画像による位置推定も、十分に視覚特徴がある環境で高精度な位置推定が可能であることから、視覚障害者ナビゲーションシステムの実現に有望である。しかし、画像による位置推定は大きく二つの課題がある。一つの課題は、視覚特徴が少ない場所では、位置推定誤差が大きくなり、手法によっては全く位置が推定できない場合があることである。もう一つの課題は、多くの画像による位置推定手法は、計算量、必要なメモリ量が多くスマートフォン上で実行するのに適さないことである。

本研究では、上記の特性が異なる電磁波と画像を位置推定のために組み合わせることで、従来よりも高精度なスマートフォンにおける視覚障害者向けナビゲーションシステムを実現する。また電磁波の信号として、新しい環境にも設置が容易な Bluetooth Low Energy (BLE) ビーコンの信号を利用する。

第1章では、本研究の背景と目的、及び本論文の構成を述べる。

第2章では、既存の視覚障害者向けナビゲーションシステムの課題をまとめる。その上で、従来の屋内位置推定技術と、晴眼者向けも含む歩行者ナビゲーションシステムについてまとめる。特に本研究に関連する電磁波による位置推定、または画像による位置推定を用いた歩行者ナビゲーションシステムについてまとめ、既存のシステムの課題を述べる。最後に既存の画像による位置推定手法をまとめることで、本研究で対象とする手法を明確にする。

第3章では、教師あり学習による状態空間モデルを利用することにより、高精度な BLE による位置推定を実現する手法について述べる。この章では時系列の BLE 信号を観測する場合を対象とし、従来の状態空間モデルを用いた手法よりも高精度な BLE による位置推定が実現できることを示す。このことにより、時系列の信号に教師あり学習を適用することが、位置推定において有効であることを確かめる。

第4章では、3次元幾何情報を用いた画像による位置推定手法である Structure from Motion (SfM) に BLE 信号を用いることで、より高精度な位置推定を実現する。この章ではある時刻において観測される1枚の画像と BLE 信号を元に位置を推定する場合を対象とする。BLE 信号は、位置推定する画像の特徴点に対応する3Dモデルの特徴点を効率的に見つけるために利用される。提案手法は、従来の SfM による手法と比較して正確、かつロバストな位置推定を可能にすることを示す。

第5章では、Deep Learning を用いた画像による位置推定手法に BLE 信号を用いることで、より高精度な位置推定を実現する。第4章と同様に、ある時刻において観測される1枚の画像と BLE 信号から位置を推定する場合を対象とし、画像と BLE 信号の両方を用いて3次元空間における姿勢を推定する。提案手法は、従来の画像のみを用いる Deep Learning による位置推定手法と比較して、同程度の計算量で、より高精度な位置推定を可能にする。また、第4章で提案した SfM による手法と比較して、大幅にロバストでありながら、精度についても近い性能が達成できることを示す。

第6章では、第3、4、5章で得られた知見を元に、既存の BLE 信号を利用したスマートフォンにおける視覚障害者向けナビゲーションシステムに、提案する画像による位置推定手法を統合する。実験により提案するシステムが、既存の視覚障害者向けナビゲーションシステムよりも高精度に位置推定できることを示す。

第7章では、本論文で得られた結果をまとめ、本研究で提案した手法を応用するための課題と今後の展望について述べる。