

# Study on Efficient Crowdsensing-based Indoor Localization and Their Applications

高, 路路

<https://hdl.handle.net/2324/7157362>

---

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 高 路路

論 文 名 : Study on Efficient Crowdsensing-based Indoor Localization  
and Their Applications  
(クラウドセンシングに基づく効率の良い屋内測位システムと  
その応用に関する研究)

区 分 : 甲

### 論 文 内 容 の 要 旨

近年、様々な人間活動の支援を目的として測位技術が利用されるようになり、新型コロナウイルス感染症の対策や接触歴追跡(Contact Tracing)においても重要な役割を担ってきた。屋内においては、一般に全地球航法衛星システム (GNSS) の利用が困難であるため、各種センサーや無線 LAN 基地局のデータを用いた屋内測位の手法が提案されている。しかしながら、従来の屋内測位手法は導入コストや測位精度に関して課題があるため、その応用範囲が限られていた。本研究では、まず無線 LAN 基地局が発する電波を用いた測位システムの導入コストを低減するために、効率の良いクラウドセンシング手法を提案した。次に、無線 LAN 基地局の設置状況にかかわらず様々な空間で高精度かつ低コストの屋内測位を行うために、行動ランドマーク (Activity Landmarks) と呼ばれる位置の目印を深層学習によって抽出し、歩行者自律航法 (PDR) の累積誤差を行動ランドマークで自動修正する手法を開発した。また、この手法により取得した位置情報とウイルス濃度変化の時空間モデルを統合して、新型コロナウイルスの緻密な接触歴追跡を行う機能を開発し、実験によりその有用性を確認した。さらに、低コストで個人間の差異に対応した行動認識を行うことのできる、半教師あり学習と連合学習に基づく手法を提案した。

まず、無線 LAN の電波強度分布データに基づく測位システムの導入コストを削減するために、電波強度分布データと対応する位置ラベルデータをクラウドソーシングによって取得する際に、能動学習 (Active Learning) に基づいて効率化を行うことのできるフレームワーク ALCIL (Active Learning-based Crowdsourced Indoor Localization) を開発した。評価実験においては、3棟の建物内で4,000件の電波強度分布データと位置ラベルデータ (建物 ID、階数、緯度、経度) を取得してデータセットを構築し、提案手法は従来手法よりも70%以上位置ラベルデータの取得コストを削減できることを示した。

次に、歩行者自律航法により低コストかつ高精度の屋内測位を実現する手法を開発した。この手法は、行動ランドマークを深層学習により抽出し、歩行者自律航法の累積誤差を自動修正するものであり、スマートフォンに内蔵されたセンサーのみを用いて実現できるため、様々な屋内空間において利用可能である。評価実験においては、27個の行動ランドマークを含む9271件のデータを取得し、提案手法を用いれば十分な数の位置の目印を自動検出することができ、低コストで高精度の測位やそれに基づくナビゲーション支援が可能であることを確認した。

さらに、上記の歩行者自律航法に基づく測位手法を拡張して、様々な屋内空間で新型コロナウイルスの緻密な接触歴追跡を可能にする iSTCA (indoor Spatio-Temporal Contact Awareness) フレームワークを開発した。このフレームワークに基づく接触歴追跡機能は、端末間の相対距離を用いた従来手法では把握することの難しい、屋内空間に滞留するウィルスの影響を考慮した接触歴の把握を可能にするものである。また、歩行者自律航法と行動ランドマークによる測位手法をウィルス濃度変化の時空間モデルと統合することにより、様々な屋内空間において低コストで緻密な接触歴追跡を行うことのできる機能を開発した。建物内で実際に取得した移動履歴データを用いて開発した機能の検証を行い、98%以上の精度で位置の目印を自動検出することができること、また従来手法では数メートルの測位誤差が生じる場合であっても測位誤差を0.7m程度に低減できることを確認した。さらに、移動経路に沿ったウィルス濃度の可視化を行い、きめの細かな接触歴追跡が可能であることを確認した。

最後に、低コストで個人間の差異に対応した行動認識を行うことのできる、半教師あり学習と連合学習に基づく手法を提案した。この手法は、利用者の保持するクライアントデバイスとサーバが協調して半教師あり学習を行い、不確実性を考慮した擬ラベルを用いてモデルの個別化を行うことを特徴としている。また、屋内測位において個人間の差異に対応した行動ランドマーク抽出を、低コストかつプライバシーに配慮して行うために利用することが可能である。評価実験の結果、従来型の擬ラベルを用いた手法と比較して最大で8%程度の精度向上が可能であることを確認した。

以上のように本研究では、クラウドソーシングに基づく屋内測位システムの低コスト化と性能向上を実現する手法を提案し、これまで測位システムの導入が困難であった様々な屋内空間における効率的な測位とその応用の実現につながる有用な結果が得られた。