

スマホアプリを用いた学内空間利用実態の可視化 Visualization of Campus Space Utilization Using Smartphone Apps

木村 光翔¹⁾ 田中 康一郎¹⁾
Hiroto Kimura Koichiro Tanaka

1 まえがき

大学には図書館や中庭、学習スペースなど、多様な学生向け空間が存在するが、それらの活用実態を正確かつ客観的に把握する手段は限られている。施設整備や環境改善を進めるには、学生による空間利用の実態に基づいた定量的データが不可欠である。特に、限られた資源の中で効果的な施設運用を行うためには、実際の利用状況に即した判断材料が求められる。従来はアンケート調査や観察などが主な手法であったが、前者は回答者の主観や記憶に依存し、後者は人手や時間がかかるという課題があった。このような背景から、より客観的かつ効率的に空間利用を把握できる手法が求められている。

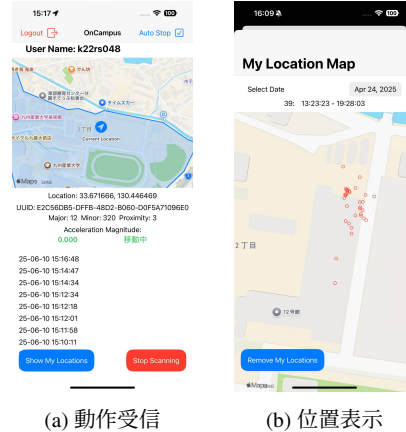
近年、スマートフォンの普及に伴い、位置情報を活用した空間利用の分析が注目されている。スマートフォンは日常的に携帯されているため、継続的なデータ収集が可能であり、長期間にわたる利用状況の把握にも適している。本研究では、学生のスマートフォンから取得した位置情報を活用し、学内に限定して GPS による広域測位とビーコンによる局所的な高精度測位を組み合わせたアプリを試作した。これにより、学内空間の利用状況を高精度かつ詳細に可視化することを目指す。

2 システム実装

開発した位置情報取得アプリの実装構成とその特徴について述べる。まず、使用端末の仕様、アプリの動作原理について説明する。使用端末は iPhone 15 Pro Max (最大バッテリー容量 92%, iOS 18.5) であり、アプリは SwiftUI を用いて開発された。バックグラウンド状態でも位置情報を取得できるよう設計されており、GPS 測位は一定時間経過後、1メートル以上の移動が検出されたときにのみ情報を送信することで、通信量とバッテリー消費を抑制している。Bluetooth ビーコンは教室や図書館など特定空間に設置されており、信号が検出された際には、その空間の座標を GPS よりも優先してサーバに送信する仕組みとなっている。また、モーションセンサーには iOS の CMMotionActivityManager を通じてアクセスし、歩行・静止・自転車などの動作状態を判別して GPS 情報の信頼性を補強する。これにより、特に屋内での誤検出を抑制することが可能となる。

ユーザーインターフェース、およびプライバシー保護の仕組みを述べる。図 1(a) に示す画面では、現在の動作状態、ビーコン受信状況、直近の位置情報更新時刻を表示する。図 1(b) には取得された位置情報が地図上に可視化されている。また、プライバシー保護の観点からも配慮を行っており、位置情報の取得は学生の同意のもとで実施される。さらに、学外での位置情報が 3 回連続して検出された場合には、自動的にデータ取得を停止する機能を実装することで、私的な行動範囲への無意識な追跡を防止する設計となっている。

1) 九州産業大学理工学部情報科学科. Department of Information Science, Kyushu Sangyo University.



(a) 動作受信 (b) 位置表示

図 1: アプリの UI 画面 (動作状態・ビーコン・位置情報)

3 測定方法と結果

本アプリのバッテリー消費と測位精度に関する 2 つの評価結果について報告する。まず測定環境と条件を説明し、次にバッテリー消費結果、続いて測位精度結果を述べる。使用端末は前節と同じ機種で、大学研究室室内にて 8 時間静置して測定した。実験環境には、サンワサプライ製 BLE ビーコン「MM-BLEBC4」を近傍に設置した。基本条件は GPS 精度を「高」、送信間隔を 5 分、動作モードをバックグラウンド (BG) と設定した。基本条件に対し、フォアグラウンド (FG) 動作も比較対象とした。また、GPS 精度「高」のまま送信間隔を 3 分、7 分、10 分に変更した 3 条件と、GPS 精度を「中」「低」に設定した各 1 条件を加え、合計 7 条件で測定を行った。

次に、図 2 に示す各条件下における 8 時間後のバッテリー残量推移について述べる。基本条件では、BG 動作で 68%, FG 動作で 54% の残量となり、BG 動作の方が省電力であることが確認された。さらに、送信間隔が短く送信回数が多い条件ほど消費電力量が増加する傾向が認められた。特に送信間隔 7 分の条件では、1メートル以上の検出回数が 3 分・5 分条件よりも多く、送信回数が最も多かったため、更新処理に伴う電力消費増加の影響が顕著であった。

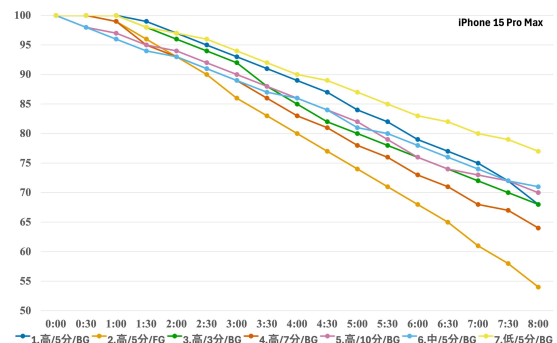


図 2: 8 時間後のバッテリー残量比較

図3にGPS精度を「高」「中」「低」に設定した際の位置推定結果を示す。図3(a)では点群の集中度が高く、精度が良好であることが確認できる。一方、図3(c)では測位誤差が顕著で、点が広範囲にばらついており、実用性に課題があることがわかる。図3(b)は両者の中間であり、測位精度と省電力性のバランスが良好であった。以上の結果より、GPS精度および送信間隔の設定がバッテリー消費と測位精度の間に明確なトレードオフをもたらすことが示された。今後は、実際の利用環境に適した最適設定の検討が必要である。



図3: GPS精度別測位結果(高精度, 中精度, 低精度)

4 屋内測位における課題と既存手法

屋内測位における課題とその解決に向けて用いられている代表的な既存手法について概説する。さらに、本研究が提案する補完的手法の概要と意義について述べる。まず、GPSの屋内測位における課題を確認する。前節の評価結果から、本アプリはGPS精度を「中」に設定することで実用的な測位精度と省電力性を両立できることが明らかとなった。しかし、GPSは屋内環境では電波の遮蔽や多重反射の影響を強く受け、測位精度が大幅に低下し、誤検知が発生するという課題が残る。

次に、屋内測位の代表的な既存手法について概説する[1]。Wi-Fi測位は既存のインフラを活用し数メートルの精度を実現可能であるが、環境により精度のばらつきが大きい。iBeaconは小型で省電力な特徴をもち特定空間の検知に適するものの、設置範囲が限定される。PDR(Pedestrian Dead Reckoning)はセンサによる移動推定により外部インフラ不要の利点を持つが、誤差の蓄積が長時間利用時の課題となっている。最後に、本研究の補完的手法について紹介する。iBeaconを空間の基準点として用い、モーションセンサによる動作判定を組み合わせることで、GPSの誤検知を抑制し、屋内測位の信頼性向上と電力効率の両立を目指す。

5 モーションセンサ併用による誤検知抑制

GPSの誤検知を抑制するために、モーションセンサとビーコンを併用した測位システムの構成とその課題を述べる。図4に、提案する測位システムの構成と情報処理の流れを示す。本手法は、スマートフォン内蔵のモーションセンサとビーコンを併用することで、GPS情報の送信可否を動作状態に基づいて制御する。iOSのCMMotionActivityManagerにより「静止中」と判定された場合は、測位結果の信頼性が低いとみなし、サーバへの送信を抑制する。一方、「歩行中」や「走行中」など移動中と判定された場合には、GPS情報を有効と判断し送信する。また、直前の状態が移動中であった場合には、短時間の静止判定を挟んでも送信を継続することで、一時停止による送信の中断を防ぐ処理を行っている。モーションセンサは相対的な動きの検出には有効であるが、

推定の出発点となる初期位置が不正確であると、その後の位置推定に大きな誤差が生じるという課題がある。そこで本研究では、Bluetoothビーコンを空間内の信頼基準点として活用し、ビーコンが検出された場合はその座標をモーションセンサによる推定の初期位置として設定し、誤差の蓄積を抑制する仕組みを試みた。



図4: モーションセンサを用いた測位システムの構成

本手法が直面する課題とその制約について述べる。最大の課題は、初期位置の正確性への依存である。ビーコンによって正確な初期位置が得られた場合には誤検知を大きく抑制できるが、誤った初期値が設定された場合には誤差が増幅される傾向がある。また、ビーコンの設置には空間的制約があり、屋内全体を網羅することは困難である。さらに、モーションセンサは水平方向の移動には有効であるが、階層移動には対応が難しく、これらの制約を補完するには、気圧センサの導入や、階層ごとのビーコン識別といった他技術との連携が必要である。今後は、初期位置の信頼性向上および三次元的な位置推定への対応を中心に、本手法の安定性と汎用性を高める実証的検討を進める。

6 まとめ

本研究では、スマートフォンを用いた位置情報取得アプリを試作し、GPSとビーコンを組み合わせることで、測位精度および省電力性の評価を行った。実験の結果、従来手法と比較して中精度設定を採用することで、測位精度と省電力性の両立が可能であることが確認された。これにより、ユーザの利便性を高めつつ、端末のバッテリー消費を大幅に抑制できることが示された。また、屋内環境におけるGPS精度の低下に対処するため、モーションセンサとビーコンを併用した補完的手法を提案し、動作判定に基づく送信制御や、初期位置の補正による誤検知抑制の可能性を示した。この手法により、GPSの信号が弱い環境でもより安定した位置推定が期待でき、屋内外の環境変化に柔軟に対応可能である。ただし、本手法は初期位置の正確性に依存する課題を抱えており、初期位置が誤っている場合の影響が大きいため、安定的な運用のためにはさらなる改良が必要である。今後は、階層的な空間モデルを活用した三次元測位への対応を進め、例えば建物内の階層判定やエレベーター移動の検出など、高さ方向の位置精度向上を図る予定である。さらに、取得データの統計的分析や空間利用傾向の可視化手法の開発、および実環境での継続的な評価と多様なユーザ行動への対応を検討し、より信頼性の高い位置情報サービスの実現を目指す。

参考文献

- [1] Zafari, F., Gkelias, A. and Leung, K. K.: A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 21, No. 3, pp. 2568–2599 (2019).