

RFIDによる出入口の通過の検出と 加速度と地磁気を用いた屋内測位のマッピング補正

中里 聖¹ 河竹 純一² 串田 高幸¹

概要：美術館で見た展示物を来場者が見つけやすくするために、屋内測位によるナビゲーションが必要である。歩行時に加速度センサから得られるデータをもとに歩数を推定し、地磁気センサから得られる値で移動方向を算出する。課題は、センサに誤差が含まれているため移動距離と角度を算出した際に誤差が蓄積されてしまうことである。本提案は、RFID技術とマッピングを組み合わせることで補正を行う。美術館の展示室の出入口に設置されたRFIDリーダーを利用することで、センサデータの補正を行う。さらに、マップ上にルートを事前に設定し、ユーザーはそのルートの上を行動する。マップ上に定義されたルートから外れたことを検知した際には、最も近いルート上の位置に補正を行う。マップ上にマスを作り、指定された座標内を全て同じルート内の座標として補正を行う。実験は、9[m] × 5[m]の部屋の中で美術館で行動することを想定した動きで行った。同じ実験環境を5回実施した結果、センサから取得された補正前の座標の誤差は平均2.68[m]であり、本提案を用いた補正後の平均が0.46[m]である。

1. はじめに

背景

位置推定技術は、現代の様々な応用分野において不可欠な役割を果たしており、その中で広く採用されている方法の1つがGNSS (Global Navigation Satellite System / 全地球航法衛星システム) である [1,2]。GNSSは、人工衛星からの電波を受信して、地球上の現在位置を測定する技術で、主要なGNSSシステムには、GPS, GLONASS, BDS (Beidou), Galileoが含まれる。GPSは、世界中で広く使用されている位置測定システムであり、米国国防総省が管理する24台以上の衛星から成るネットワークを利用している [3]。

位置推定の代替手段として、RFID (Radio Frequency Identification / 無線周波数識別) 技術が注目されている [4]。RFIDは、情報が書き込まれたRFIDタグを電波を通じて伝送し、RFIDリーダーが情報を受信し、読み書きするシステムである。RFIDは、自律航法と組み合わせることで、屋内や都市環境での利用が可能である [5]。

また、屋内での位置推定において、マッピング技術が重要な役割を果たしている [6]。マッピング技術は、屋内の

環境で位置推定や環境マッピングを行うための技術で、センサによるマッピング、Wi-FiやBluetoothビーコンを使用した位置推定、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) が含まれる [7,8]。これらの技術は、自動運転、屋内ナビゲーション、ロボティクス、ARアプリケーションの分野で広く応用されている。本研究はRFIDとマッピング技術を用いて、センサによる位置推定の誤差を補正する。

課題

GPSは世界中で広く使用されている位置測定システムでありながら、屋内や地下の場所では信号が届きにくく、正確な位置推定が不可能である [9]。図1は、屋内でのGPSとセンサから値を取得し、計算されると蓄積誤差が増えてしまう課題を示している。この問題は、建物や自然の障害物によるGPS信号の遮断が主な原因であり、屋内での利用には適していない。また、GPS信号は物体によって遮断されることがあり、最大で13[m]の誤差を含む [10]。

加速度センサを使用した位置推定は、一般的な手法として使用されている。加速度センサから得られるデータを基に移動距離を算出するために、2回積分を使用する手法がある。しかし、この方法にはセンサの感度に関連する課題があり、センサの感度によって算出される移動距離が大きく変動してしまう。

センサデータを活用して位置情報を算出する際、蓄積誤差が生じることがある。センサは物理的な変化や環境の要

¹ 東京工科大学コンピュータサイエンス学部
〒192-0982 東京都八王子市片倉町1404-1

² 東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科コンピュータサイエンス専攻
〒192-0982 東京都八王子市片倉町1404-1

因に影響を受け、位置情報の誤差が蓄積される。さらに、センサの測定は周囲の環境によっても影響を受け、環境誤差が生じることがある。加速度センサは物体の加速度を測定するため、振動や衝撃によって誤差が発生する。例えば、センサが設置された場所での振動や衝撃がセンサの出力に影響を与え、位置情報の正確性に誤差を生じさせる。地磁気センサは磁場を利用して地磁気を計測しているが、周囲の磁場の変動がセンサの精度に影響を与えることがある。

このため、正確な位置情報を維持するためには、センサデータの補正が不可欠である。本研究では、蓄積誤差と環境誤差に対処するための補正手法を提案し、位置推定を行う。

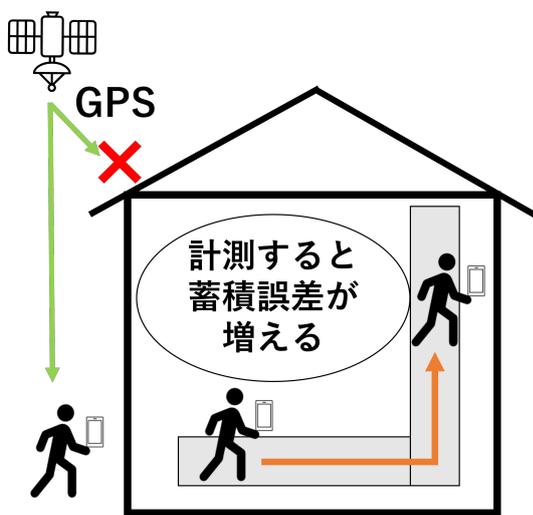


図 1 屋内測位の GPS とセンサの蓄積誤差による課題

各章の概要

第 2 章では、関連研究について説明する。第 3 章では、提案方式の説明と、ユースケース・シナリオについて説明する。第 4 章では、開発したソフトウェアの実装と実装方法について説明する。第 5 章では、評価手法と実験結果の分析について説明する。第 6 章では、本研究について議論を述べる。第 7 章では、本研究のまとめを述べる。

2. 関連研究

屋内位置情報システムの LANDMARC は、参照タグの概念を導入する技術である [11]。LANDMARC システムの問題点を解決するために、近隣のタグの候補数を減少させることにより、計算負荷を削減し、位置情報の特定の待ち時間を短縮できる提案をしている [12]。この研究は、RFID タグを事前に最適な位置に複数設置する必要がある。

モバイルデバイスを使用して人の位置測定と追跡を行う方法に関する研究である [13]。この研究は、RFID 信号の受信信号強度 (RSSI) と自律航法を組み合わせて位置情報を計算している [14]。ユーザーが RFID リーダーを持参

し、ユーザー間で交換される RSS 測定を組み込むことで、この位置情報技術の改良が可能であると提案している。この手法は、位置情報の精度向上に成功し、特に AN (Anchor Nodes) の密度が低い領域で優れた性能を示している。この研究は、ユーザー間のデータ交換より精度が変動してしまうが、本研究は自身のみで位置測位ができる。

慣性センサを活用して信頼性の高い屋内位置情報の取得に焦点を当てている [15]。この研究は、歩数の検出、進行方向の検出、歩幅の推定とパーソナライズのためのアルゴリズムを開発している。これらのモジュールを統合し、屋内フロアマップと連携させたエンドツーエンドの位置情報システムを構築した。この研究は、外部のシステムを使用しないで 2[m] の平均精度を実現しているが、長時間の測定では精度が低減してしまう。

3. 提案

提案の目的は加速度センサと地磁気センサから得られた値を補正して、移動距離と角度を算出することでユーザーの位置を特定することである。

加速度センサは、ユーザーの動きを計測する。このセンサから得られた値を利用して歩数を算出し、それをもとに移動距離を推定する。ユーザーの歩数と移動距離を推定し、位置を特定する。地磁気センサは、地磁気の値を計測する。このセンサから得られた値を利用してユーザーの角度を算出する。角度はユーザーの向きを示す値であり、位置推定に重要である。センサからの値を基に、ユーザーの向きを特定する。この手法は、センサ感度に大きく影響されずに位置推定を可能にする。

これらの手法を組み合わせることで、加速度センサによる移動距離と地磁気センサによる向きを取得できる。しかし、センサからの値には誤差が含まれているため、誤差を補正することが必要である。本提案では、2つの方法で補正を行う。

1つ目が RFID による補正である。RFID は無線通信を使用して、RFID リーダーの位置を提供する。提案方式では、RFID リーダーを屋内の特定のポイントに設置し、ユーザーがそのポイントを通過するとセンサ測定で蓄積されたデータをリセットし、再度測定を開始する。これにより、センサから取得された値に生じる蓄積誤差を修正し、正確な位置を特定する。

2つ目がマッピングによる補正である。マッピング技術を使用して、各部屋ごとに位置推定を行う。部屋ごとに事前に作成されたルートを利用し、センサから算出された座標がルートから外れた場合にルート内に一番近い座標に補正を行う。マッピング上にマスを作り、指定された座標内を全て同じルート内の座標として補正を行う。これにより、広い空間でも位置推定の正確性を向上させられる。

図 2 は本提案の RFID とマッピングの補正がどの場所

で行われるかを示している。美術館の展示室の出入口に RFID リーダーを設置する。展示室内は、決められたルート内を設定し、本提案のマッピングで補正を行う。

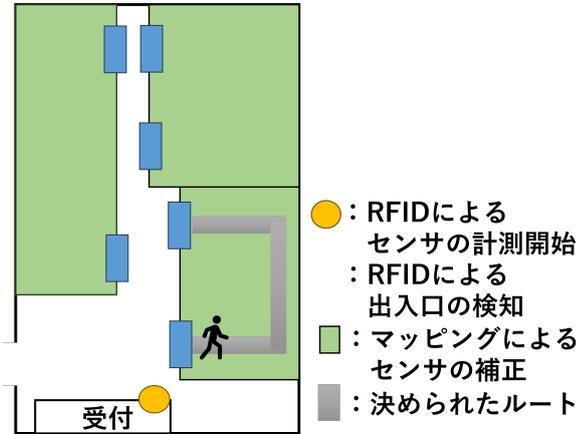


図 2 本提案による RFID の設置とマッピング

加速度センサによる歩数カウント

前期の基礎実験からセンサのみの座標変換では 7.1[m] の誤差が生じるため、本提案のマッピング補正をする前に歩数カウントの補正を行う必要がある [16]。加速度センサから直接歩数をカウントすると、センサの感度や実験時の環境下によって、値が変化してしまう。これは加速度の差分、動的な閾値の設定、および速度によって、歩数を算出するときの閾値を決定する。

1. 加速度の差分による歩数カウント

歩行時の加速度データは、足の着地や蹴り出しに伴う特徴的なパターンを示している。これらのパターンは、加速度の差分によって明確に識別することができる。具体的には、連続する加速度データ間の差の絶対値を計算し、この差があらかじめ定義された閾値を超えた場合に 1 歩としてカウントする。この手法は、加速度の変化が大きい瞬間を効果的に検出し、歩行の一步ごとを正確に識別することができる。

2. 加速度センサから歩数を算出するための動的な閾値の設定

固定された閾値では、センサの感度や環境条件の違いにより正確な歩数をカウントできない。そこで、動的な閾値を導入することで、これらの変動に対応できる。閾値は、加速度データの移動平均と移動標準偏差に基づいて計算される。以下に計算式 (1) を提示する。

$$T_i = A_i + k \cdot S_i \quad (1)$$

- T_i : 閾値
- A_i : 移動平均
- k : 係数
- S_i : 移動標準偏差

k は実験により最適化された係数にする。移動平均はデータの時間的な変動を平滑化し、移動標準偏差はデータの変動を示す。これにより、センサの感度や環境条件の変化による影響に対応した歩数カウントをする。本研究は、係数 k を 0.61 に設定する。

3. 速度に基づく閾値の調整

歩行速度の変化は、加速度データの特徴に影響を与え、歩数カウント方法では適切に対応できない場合がある。この問題に対処するため、加速度データから速度を算出し、この速度に基づいて閾値をさらに調整する。速度は加速度データの時間積分によって算出する。算出された速度に基づき、閾値を動的に調整することで、歩行速度の変化に適應する。

マッピング補正のアルゴリズム

室内空間における位置データの精度向上を目的とした補正手法を提案する。この手法は、二重のルートライン（内側と外側の線）によって定義された特定の範囲内での位置データの補正に重点を置いている。提案された補正手法は、2つのステップによって行う。

1. 範囲内の包含判定

図 3 は本提案のマッピングの手法を示している。対象となる点が内側と外側のルートラインによって形成される範囲内にあるかを判断する。これは、点が二つの多角形（内側ルートと外側ルートを表す）の間に位置するかどうかを確認する。具体例として、美術館の展示室を考える。内側のルートは展示品が配置されているエリアの境界を示し、外側のルートは展示室の壁や仕切りに相当する。訪問者は内側のルート内を移動できるが、外側のルートは越えることができない。各点が両多角形に関してどのような位置関係にあるかを判断する。

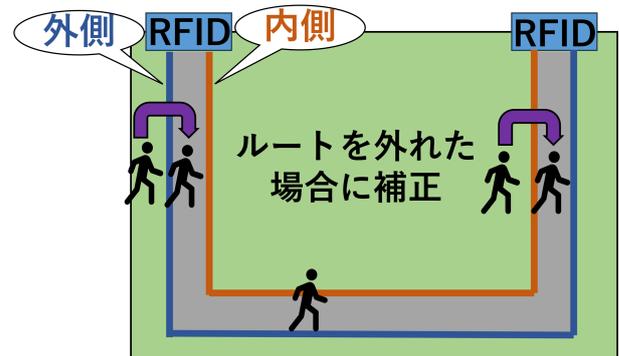


図 3 本提案のマッピング補正の手法

2. 範囲内外に基づく補正

点が設定された範囲の外側に位置する場合、最も近い外側ルートラインの点に補正する。これは、点と外側ルートの頂点との間の距離を計算し、最も近い点を選択すること

によって補正を行う。一方、点が範囲内に位置するが内側ルートラインの場合、最も近い内側ルートラインの点に補正する。これにより、点は範囲内に適切に補正され、室内構造に沿った補正が可能となる。

ユースケース・シナリオ

美術館は、芸術作品や展示物を鑑賞するための重要な場所であり、その訪問者が迷うことなく目的の展示物にアクセスできることは重要である。本研究は、美術館内でのナビゲーションを改善し、展示物の特定を容易にするためのシステムの提案を行う。

美術館は通常、複数の部屋やエリアに分かれており、それぞれ異なるテーマや時代の作品が展示されている。このような環境や広い場所で、ユーザーが特定の展示物を見つけることは、困難である。

美術館の展示物はテーマごとに展示されており、それぞれが独自のコンセプトやストーリーを持っている。ユーザーが興味を持っている特定のテーマや作品を探す場合、本提案を活用することで、展示物がどの部屋やエリアにあるのかを簡単に知ることができる。

美術館自体は、展示物が観客に見やすくなるように設計されており、その構造はシンプルかつ効果的である。また、美術館は一般的に静かな場所であり、センサ技術を使用する際の誤差を最小限に抑えるための環境である。これにより、正確な位置を特定することがより信頼性の高いものとなる。

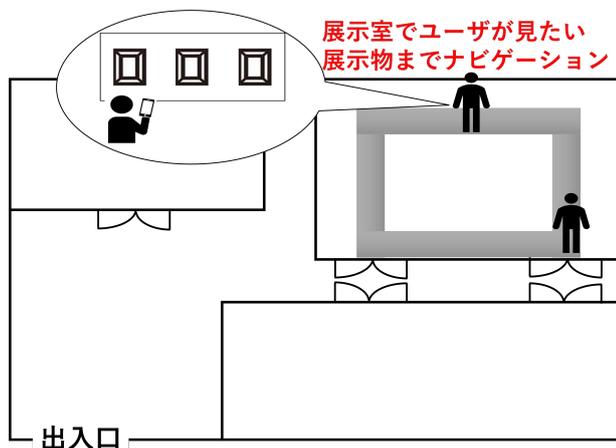
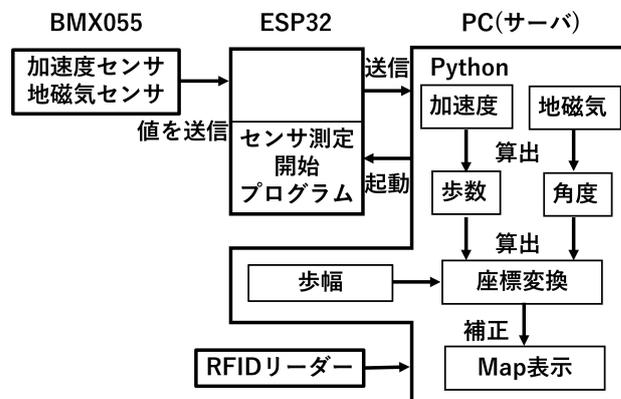


図 4 美術館の館内ナビゲーション

4. 実装

加速度センサと地磁気センサから取得された値から座標に変換し、本提案の実装に関し、説明をする。移動距離の算出に用いられる歩幅は学習フェーズで算出する。学習フェーズは5[m]の実際の距離をメジャーで測り、歩行をして1歩あたりの長さを算出する。

図 5 は実験の実装図を示す。本研究では、加速度と地磁気センサを組み込んだ BMX055 を用いた屋内測位システムを提案する。このシステムでは、BMX055 センサを ESP32 マイクロコントローラに接続し、加速度と地磁気データの収集を行う。ESP32 は PC と無線通信を介して接続され、センサデータのリアルタイム伝送を可能にする。



RFIDタグを検知したら、
センサの測定を開始と現在位置を送信

図 5 実装図

システムの起動トリガーとして、PC に接続された RFID リーダーが使用される。RFID タグがリーダーによって検出され、特定の ID が識別された場合、ESP32 に接続されたセンサのデータ収集が開始される。また、再度検出した場合に、センサのデータ収集を停止する。このプロセスは、特定の位置での測定開始を確実にするために重要である。

PC 側で収集されたデータは、屋内測位のために解析される。加速度データからは歩数が算出され、地磁気データを用いて角度が求められる。これらの値を組み合わせ、事前に定められた歩幅と共に用いることで、移動距離を算出し、ユーザーの位置をマッピング上に表示する。さらに、本研究で提案される特別な補正アルゴリズムを適用することで、測位精度の向上を図り、マッピング上の表示精度を高める。

このシステムは、屋内測位の精度を高めるために、複数のセンサデータを組み合わせ、RFID タグを用いて測定開始のタイミングを制御することが特徴である。無線通信によるリアルタイムデータ伝送と、PC によるデータ処理・表示することができる。

5. 実験

実験環境

実験環境として、ESP32 と BMX055 を MicroPython にて実行する。

- マイクロコントローラ：ESP32
低コストで消費電力も低いマイクロコントローラである。Wi-Fi と Bluetooth の両方を内蔵し

ており、その柔軟性から IoT デバイスとして広く利用されている。本実験では、ESP32 を中心とした IoT デバイスとして使用し、データ通信と制御のために使用した。

● センサモジュール：BMX055

9 軸のセンサモジュールで、加速度計、ジャイロスコープ、地磁気コンパスの各 3 軸からなる。このセンサの精度は、加速度センサで $\pm 0.2[g]$ 、地磁気センサで数度の誤差がある。実験では、BMX055 の加速度計と地磁気コンパスを用いて、ユーザーの動きと方向性を捉え、室内ナビゲーションシステムにおける位置推定の精度を高めるために活用した。

● RFID リーダー：RC-S380

NFC フォーラム認定を取得した USB インターフェースの RFID リーダーである。FeliCa や ISO/IEC14443 Type A/Type B の非接触 IC カードと通信することができる。実験では IC カードを読み込んで、IC カードの情報を取得するのに使用した。

実験は、ユースケース・シナリオで美術館を想定しているため、実際に美術館で動くような行動をしている。そのため、図 6 の環境下で実験を行った。開始時点で RFID を配置し、RFID で検知したら、センサによる計測する。縦に 5[m] 歩行し、左に 90 度曲がる。さらに 3[m] 歩行したら、5[s] 間停止して実験を行う。以降のルートは図のように行う。最後の終了時点でユーザーに到着したら、もう一度 RFID をタッチし、センサの計測を終了する。

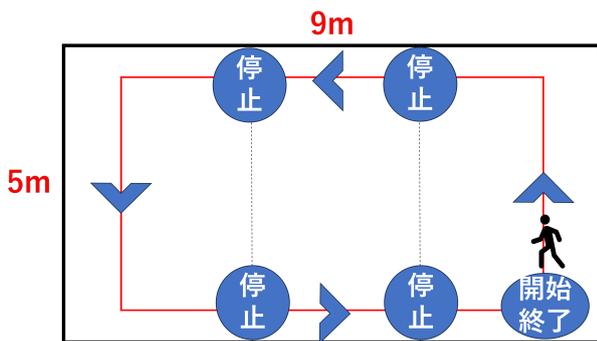


図 6 実験環境のサイズ

実験結果

実験では、加速度センサと地磁気センサから取得された値を用いて、移動距離と角度を算出した。その後、マッピング上に表示し、本提案を用いて補正を行った。

加速度センサから移動距離を算出するため、本研究では歩数から計算している。図 7 は加速度センサから提案アルゴリズムから算出した歩数の推移を示している。この図のように加速度センサからの歩数でユーザーが停止している

ことが判別することができる。センサから算出された歩数は 55 歩であり、実際の歩数は 45 歩である。実際の歩数から 10 歩多い結果である。実際の歩数が 45 歩であるので歩幅の 0.68[m] から移動距離を算出すると、30.6[m] である。実際の移動距離が 28[m] であるので、2.6[m] の誤差が生じている。原因として、曲がった時や停止時に通常時よりも多くの歩数で行動してしまうため、誤差が生じてしまう。

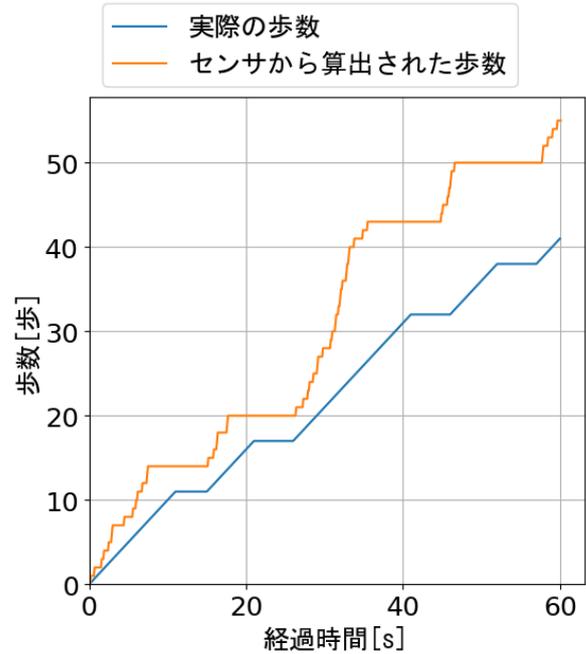


図 7 加速度センサからの歩数

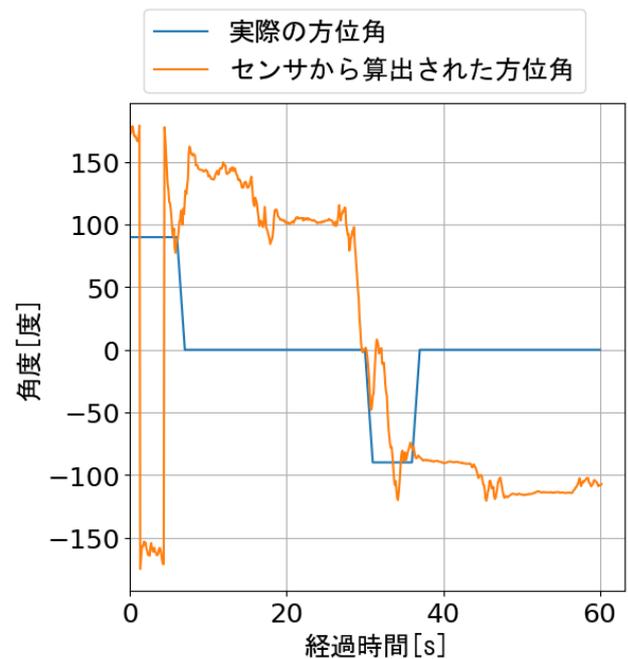


図 8 地磁気センサからの角度

加速度センサから歩数を算出した値と歩幅を組み合わせ

て移動距離を算出する。この実験の総距離は、37.4[m]である。実際の移動距離が28[m]であるので、9.4[m]の誤差が生じている。距離の算出に歩数を用いているため、歩数の精度により変動してしまう。移動距離から停止時と判断できるところから通常よりセンサによる1秒間あたりの歩数が多くなっている。

図8は地磁気センサから算出された角度の推移を示す。地磁気センサから角度の算出は可能であるが、5度以上10度以下の曲がりの検知が全体の11.2[%]である。この範囲の曲がりが多くなることで誤差が生じしめる。微細な角度の誤差が蓄積されると、時間の経過と共に大きな位置誤差につながるため、本提案のRFIDによる絶対値位置として補正することは有効である。また、センサへの振動によって、検知に大きなズレを起こしてしまう。

表1 補正前と補正後の誤差

	誤差 (補正前) [m]	誤差 (補正後) [m]
1回	2.92	0.45
2回	2.65	0.44
3回	2.58	0.49
4回	2.08	0.44
5回	3.16	0.49
平均	2.68	0.46

表1は、加速度センサと地磁気センサの値と歩幅を用いて座標変換した際の補正前後の平均誤差を比較している。同じ実験環境を5回実施した。補正前の誤差は各実験で2.08[m]から3.16[m]の間で変化している。これに対し、補正後の誤差は0.44[m]から0.49[m]の間で補正されている。

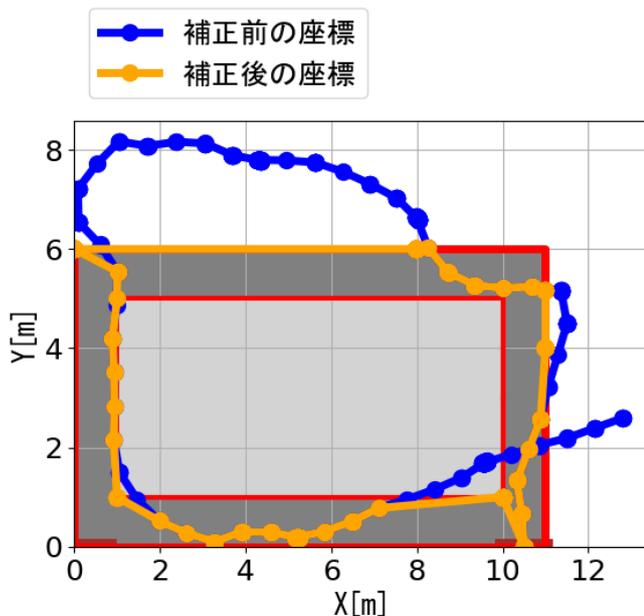


図9 補正前と補正後の座標によるマッピング

加速度センサと地磁気センサによる座標表示では、誤差

が生じてしまうため、本提案によるマッピング補正を行う。本提案を用いた座標は、実際の座標との誤差が平均0.46[m]にまで削減している。

加速度センサと地磁気センサの値と歩幅を用いて座標に変換し、マッピング上に表示する。図9は補正前のマッピングと本提案のマッピング補正したマップを示している。RFIDリーダーが設置してある位置は、(0, 10.5)であり、実際のセンサの計測開始と終了地点である。ルート内をユーザーの行動範囲であることから、センサから算出された座標では誤差が生じている。実際の座標と補正前のセンサ座標は、センサの感度や環境下によって平均2.68[m]の誤差を示した。

実際の座標と補正前と補正後の座標による分析

本提案の有効性を数値的に評価するために、センサによる計測誤差の削減率を計算した。補正前の誤差平均が2.68[m]であったことに対し、補正後は0.46[m]に低減された。この変化は、補正前の誤差に対して約85.7[%]の削減を示しており、アルゴリズムの効果を表している。

アルゴリズムによる補正は、センサのデータに含まれるノイズや異常値に対して補正を行い、センサ計測の正確性を大幅に向上させた。さらに、アルゴリズムの最適化により、室内環境における様々な障害物や人の動きによる影響に対しても柔軟に対応することができる。動的な室内環境での誤差の変動を考慮すると、アルゴリズムは特に環境変化が激しい状況下での補正において高い効果を発揮する。リアルタイムでの環境変化に対応することで、人の通行量が多い時期や空調が変動する環境下でも、安定した補正結果を提供する。

6. 議論

提案されている手持ち式センサを用いた屋内測位システムの利用を想定している。提案システムは、ユーザーが手に持ってセンサからデータを収集し、それを用いて屋内環境における位置測定を行っている。しかし、現実的な使用状況を考慮すると、センサが搭載されているデバイスはユーザーのポケットやカバンに入れることがある。これにより、デバイスの位置や向きが変わることでセンサデータに変動が生じ、位置測定の精度に影響を及ぼす。

これに対して、センサデータの融合とユーザーの動作パターンの機械学習を組み合わせることで解決することができる。加速度センサ、ジャイロスコプ、地磁気センサの複数のセンサを利用し、これらのデータを統合することで、デバイスの向きや動きに関わらず信頼性の高い値を取得できる。デバイスがカバンの中やポケットの中のように特定の動作パターンを学習する。そこから、動的な環境に対応した補正を行う。カバンの中はデバイスがランダムに動くため、センサの誤差が生じてしまう。平滑化することがで

きるローパスフィルタを使用することで、ランダムなデータを補正する。ポケットの中は体に密着しているため、歩行と検知して補正を行うことができる。さらに、データ収集を通じて、異なる持ち方や歩行パターンから生じるセンサデータの違いを学習することで位置測定の精度が向上する。これにより、屋内測位システムはユーザーの多様な使用状況に柔軟に対応し、より正確な位置を提供することが可能になる。

7. おわりに

美術館のような室内はGPSの電波が届きづらく、正確な位置を特定することは不可能である課題に対処するため、加速度センサと地磁気センサを組み合わせた新しい手法を提案する。加速度センサから歩数を、地磁気センサから角度を算出し、閾値の歩幅を用いて位置推定を行う。しかし、センサの値には誤差が含まれており、測定を続けることで誤差が蓄積されてしまう。加速度センサからのデータを用いたより正確な歩数カウントを可能にする。動的な閾値と速度に基づく閾値の調整は、センサの感度や環境条件の違いや歩行速度の違いに対応するために必要である。

RFIDとマッピングによる二つの補正手法を提案する。RFIDは基準点として機能し、マッピングはルートからの逸脱を補正する。室内空間に特化したこの補正手法は、室内環境における位置データの精度を効果的に向上させる。特に、内側と外側のルートラインによって定義された範囲内での包含判定と補正は、室内ナビゲーションの精度を改善する。本研究は、室内環境における位置補正アルゴリズムの有効性を検証した。具体的には、実際の座標とセンサによる測位結果（補正前の座標）との比較を行い、提案する補正アルゴリズムを適用した後の座標（補正後の座標）との誤差を測定した。結果、補正前の座標の誤差は平均2.68[m]であり、補正後は平均0.46[m]に大幅に改善された。

参考文献

- [1] C. Hegarty and E. Chatre. Evolution of the global navigation satellitesystem (gnss). *Proceedings of the IEEE*, Vol. 96, pp. 1902–1917, 2008.
- [2] P. Teunissen and O. Montenbruck. Springer handbook of global navigation satellite systems. *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*, 2017.
- [3] Sameer Kumar and Kevin B Moore. The evolution of global positioning system (gps) technology. *Journal of science Education and Technology*, Vol. 11, pp. 59–80, 2002.
- [4] Scooter Willis and A. Helal. Rfid information grid for blind navigation and wayfinding. *Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'05)*, pp. 34–37, 2005.
- [5] G. Retscher and Q. Fu. Integration of rfid, gnss and dr for ubiquitous positioning in pedestrian navigation. pp. 1155–1164, 2007.

- [6] Filipe Meneses, A. Moreira, António D. Costa, and M. J. Nicolau. Radio maps for fingerprinting in indoor positioning. *Geographical and Fingerprinting Data to Create Systems for Indoor Positioning and Indoor/Outdoor Navigation*, 2019.
- [7] A. Meliones and D. Sampson. Blind museumtourer: A system for self-guided tours in museums and blind indoor navigation. Vol. 6, p. 4, 2018.
- [8] K. Curran, Eoghan Furey, T. Lunney, Jose A. Santos, D. Woods, and A. McCaughey. An evaluation of indoor location determination technologies. *Journal of Location Based Services*, Vol. 5, pp. 61 – 78, 2011.
- [9] Chaimaa Basri and Ahmed El Khadimi. Survey on indoor localization system and recent advances of wifi fingerprinting technique. In *2016 5th international conference on multimedia computing and systems (ICMCS)*, pp. 253–259. IEEE, 2016.
- [10] 坂井丈泰. Gps/gnssの基礎知識. In *TEXT for GPS/GNSS SYMPOSIUM*, pp. 229–230, 2007.
- [11] Guang yao Jin, Xiao yi Lu, and Myong-Soon Park. An indoor localization mechanism using active rfid tag. In *IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC'06)*, Vol. 1, pp. 4 pp.–, 2006.
- [12] L.M. Ni, Yunhao Liu, Yiu Cho Lau, and A.P. Patil. Landmarc: indoor location sensing using active rfid. In *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003)*, pp. 407–415, 2003.
- [13] Fernando Seco and Antonio R. Jiménez. Smartphone-based cooperative indoor localization with rfid technology. *Sensors*, Vol. 18, No. 1, 2018.
- [14] Q. Fu and G. Retscher. Active rfid trilateration and location fingerprinting based on rssi for pedestrian navigation. *Journal of Navigation*, Vol. 62, pp. 323 – 340, 2009.
- [15] Fan Li, Chunshui Zhao, Guanzhong Ding, Jian Gong, Chenxing Liu, and Feng Zhao. A reliable and accurate indoor localization method using phone inertial sensors. In *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing, UbiComp '12*, p. 421–430, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery.
- [16] 中里聖, 河竹純一, 串田高幸. Rfidを用いた出入口の通過の検出による屋内測位の補正. Technical Report CDSL-TR-147, クラウド・分散システム研究室, 2022.