

# RFIDを用いた出入口の通過の検出による屋内測位の補正

中里 聖<sup>1</sup> 河竹 純一<sup>2</sup> 串田 高幸<sup>1</sup>

**概要:** 加速度センサから取得された値から歩幅を算出し、地磁気センサから取得された値から方位角を算出する。それらの値と閾値の歩幅を組み合わせて位置測位を行う。閾値は事前に計測された歩幅の平均値である。センサから取得された値は誤差が含まれる。課題では、前の値と次の値を組み合わせて移動距離と方位角を算出するため、誤差が蓄積されてしまう。本提案では、RFIDとマッピングによる屋内測位の補正を行う。美術館の展示室の出入口にRFIDを設置し、その場を通過したら、設置位置を現在の位置として補正を行い、センサから測定を続ける。さらに、マッピングに各部屋ごとにあらかじめルートを作成する。センサから算出された位置推定がそのルートから外れたら、ルート内に一番近い位置に補正を行う。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。基礎実験では、総距離30[m]である10[m]×5[m]の長方形の4辺を歩行し、加速度センサと地磁気センサから値を取得し、補正を行わずに位置測定を行った。歩幅を68[cm]の閾値で行った結果、移動距離が4[m]、方位角が105[度]の誤差が生じた。

## 1. はじめに

### 背景

位置を特定する方法として広く用いられているのが、GNSS (Global Navigation Satellite System / 全地球航法衛星システム) である。GNSSは、人工衛星から発信している電波をデバイスで受信することで、地球上の現在位置を測位することができる。

世界中でよく利用されているGPS (Global Positioning System) は、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た地球上の位置測定システムである [1]。このシステムでは、各衛星が地球上の任意の地点に位置にユーザの正確な時刻を電波として送信している [2]。地上にあるGPSを受信できるデバイスは、少なくとも四つの衛星からの信号を受信し、それぞれの信号が何時間かけて到着したかを計測することで、自身の位置を三次元的に推定する。しかし、GPSの信号は物体によって遮られるため、屋内や地下などのGPS信号が届かない場所では位置情報を取得することができない [3]。また、GPSの精度は通常で最大で13メートルの誤差を含む可能性がある [4]。

GPS以外にも位置測位の方法がある。無線LANを利用

した位置測定は、無線信号の強度を用いて距離を推定する基本的な概念に基づいている [5]。通信デバイスは周囲の基地局からの信号を受信し、信号の強度が基地局からの距離によって変化する特性を利用している。しかし、基地局のカバレッジは通常数百[m]から数[km]に限られており、電波が遮られやすい地下や高層ビルなどでは精度の高い位置測定が困難となる可能性がある。電波強度を利用した方法では、事前に環境内の電波強度マップ (フィンガープリント) を作成し、デバイスが現在受信している信号のパターンとマップを比較することで位置を推定する。

屋内での位置推定は、環境的な要因や利用可能な信号の種類に限られるため、屋外での位置推定よりも困難とされている。そのため様々な技術が研究、開発されているが、現時点では一般的に使用されている技術は存在しない [6][7]。本提案では、RFID (Radio Frequency Identification / 無線周波数識別) を用いた研究を行う。RFIDは、情報が書き込まれたRFIDタグを電波により伝送している [8]。それをRFIDリーダーにより情報を受信し、読み書きをするシステムである。送信機と受信機が離れていても送受信ができるRFIDを使用することでリアルタイムに対象物の探索に利用することができる。

### 課題

位置推定で多く用いられているGPSでは、美術館のような室内では電波が届きづらく、正確な位置を特定することは不可能である。そのため、センサから取得した値を使用

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> 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

することで位置を算出することができる手法がある。しかし、適当なセンサとその補正をしなければ、正確な位置を算出できない。図1は加速度センサのみで屋内測位を行った場合の課題を示す。加速度センサだけでは直線距離は算出できるが、実際には曲がる動きがあるため、その算出をしなければならない。加速度センサは重力のデータを活用して、加速度として表している。そのため、場所や周りの環境によって左右されるため、誤差が生じてしまう。

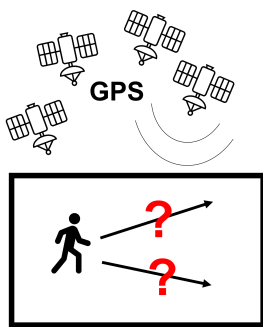


図1 加速度センサを用いた屋内測位の課題

また、センサのみで位置推定を行う際に、取得された値を蓄積することで距離を算出することができる。しかし、実際の距離との誤差がある中で、計測を続けると大きな誤差が出てしまい、正確な位置推定を行うことができない。

## 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

加速度センサ、ジャイロセンサ、地磁気センサを用いて自己位置推定と自律航法を研究している [9]。センサから足の向き、位置、速度、加速度を算出している。提案してセンサが移動していないと判断された場合、速度を0に設定し、センサの読み取り値を補正する。移動していないと判断するためには、角速度センサの値を利用している。実験結果から、この方法によって全体の移動距離の1%未満の誤差で位置推定が可能にする。この研究では、移動していないときにしか補正ができないため、長時間動き続けた場合に誤差が大きくなってしまう。

RFIDを活用したスタンドアロン型の屋内測位システムを研究している [10]。この研究では、RFIDリーダーモジュールを持つオブジェクトが、既知の経路に沿って低コストのパッシブタグを読み取っている。提案されているア

ルゴリズムは、カルマンフィルターを使用してリーダーの位置を推定し、その位置情報を基にタグとリーダー間の信号損失を補償する点である。これにより、リーダーの位置を高精度に推定できる。実際の実験により、提案されたシステムの位置誤差が高精度を実現している。

GPS、加速度センサ、地磁気センサを使用し、歩行による自律航法の方法を研究している [11]。彼らはGPSとセンサを組み合わせた新たな自律航法の手法を提案している。これは、救急救助や消防サービスで使用することをできる。歩行者はこのシステムを使用するためにセンサを備えたヘッドギアを身につける必要がある。そのため、ヘルメットを取り付けている現場でなければ使用するのは難しい。

## 3. 提案

### 提案方式

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、移動距離と方位角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。加速度センサから取得された値から歩数を取得し、地磁気センサから取得された値から方位角を算出する。センサから取得された値は誤差が含まれているため、補正が必要である。本提案では、2つの方法で補正を行う。

一つがRFIDによる補正である。センサから取得された値は誤差が含まれているため、測定を続けることで誤差が蓄積されてしまう。それらの誤差を補正するためにRFIDを用いて補正を行う。図2の形で美術館の展示室の出入口にRFIDを設置し、その場を通過したら、設置位置を現在の位置として補正を行い、加速度センサから測定を続ける。

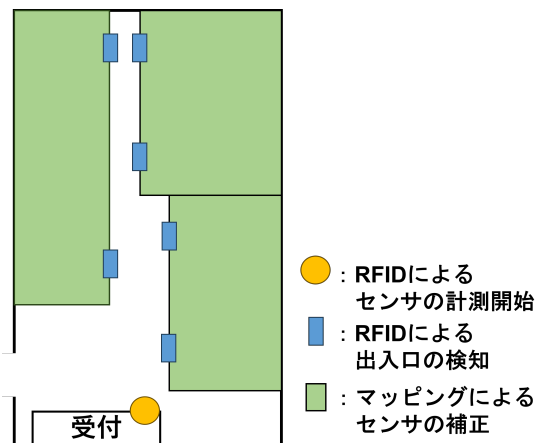


図2 本提案によるRFIDの設置とマッピング

RFIDの補正までの流れを図3に示す。①ではRFIDリーダーをPCに接続し、プログラムを実行する。②ではRFIDリーダーがRFIDタグを検出したら、RFIDタグのID情報を読み込み、PCに送信する。③ではサーバへ送信

し、読み込んだ情報が一致した場合、サーバ上でセンサの測定を開始する。RFIDを用いることでセンサの測定開始位置の基点となり、蓄積誤差の補正も行うことができる。

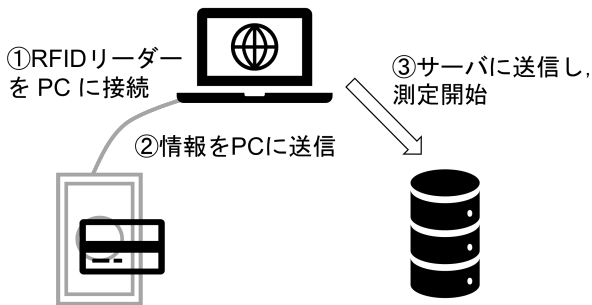


図 3 RFID による送信までの流れ図

もう一つ目がマッピングによる補正である。各部屋ごとに位置推定を行う際にセンサから取得した値のみでは正確な位置を特定することができない。そのため、マッピングにより位置を特定する。各部屋ごとにあらかじめルートを作成する。図 4 のようにセンサから算出された位置推定がそのルートから外れたら、ルート内に一番近い位置に補正を行う。マッピング上にマス目を作り、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。これを行うことで広い部屋の空間でも位置推定を正確に行うことができる。

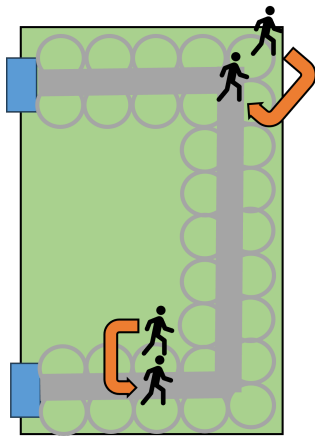


図 4 本提案のマッピング補正の手法

### ユースケース・シナリオ

ユースケース・シナリオとして美術館のように複数の部屋に分かれているところでのナビゲーションを想定している。図 5 は、想定するユースケース・シナリオを示す。美術館では多くの展示物があり、それぞれがテーマごとに展示されているが、見たい展示物がどこにあるのか分からず、全てを見なければならなくなる。本提案を用いることでその展示物を特定することが可能である。また展示物が見やすくするため、基本的に一つ一つがシンプルな設計となっ

ている。

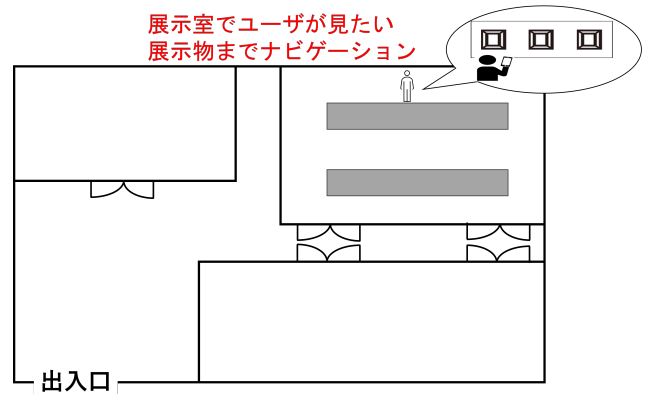


図 5 美術館の館内ナビゲーション

## 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するための実装に関し、説明をする。まず、移動距離の算出に用いられる歩幅は学習フェーズを行う。学習フェーズでは 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 6 は、基礎実験の実装図を示す。この基礎実験ではセンサが実際の距離とどのくらいの誤差が生じてしまうのか、正確に測定するため、誤差の補正を行わない。加速度センサと地磁気センサを搭載した ESP32 を腕に設置して実験を行う。加速度センサから得られた値から歩数を算出し、学習フェーズで算出した歩幅と組み合わせて直線での移動距離を算出する。地磁気センサから得られた値は方位に変換し、位置推定を行う。移動距離と方位を組み合わせて座標変換を行う。

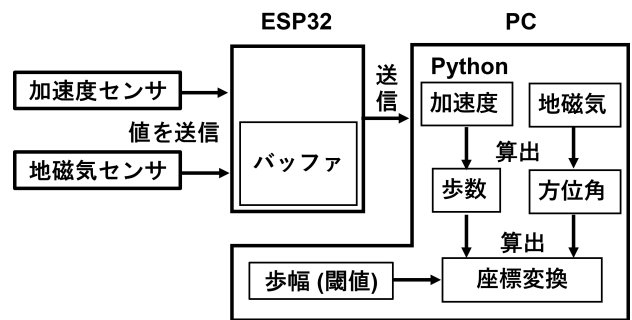


図 6 基礎実験の実装図

## 5. 実験

### 実験環境

実験環境として、ESP32 と BMX055 を MicroPython にて実装した。

- マイクロコントローラ：ESP32  
低コストで低消費電力なマイクロコントローラで

あり、Wi-FiとBluetoothを内蔵している。本実験では、ESP32をIoTデバイスとして使用した。

- センサモジュール：BMX055

9軸センサモジュールで、加速度計3軸、ジャイロスコープ3軸、地磁気コンパス3軸の情報を統合して値を取得することができる。実験では、BMX055の加速度計3軸センサと地磁気コンパス3軸を使用して、加速度と地磁気の値を取得するのに使用した。

また、加速度センサと地磁気センサから得られた移動距離の推定精度を評価するために、実際の距離測定にはメジャーを使用した。これにより、実際の距離と推定距離との誤差を評価した。

### 実験結果と分析

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、どのくらいの移動距離と方位角が算出できるのか実験を行った。

本提案により基礎実験では、加速度センサの値から歩数を取得し、歩幅を閾値を設定している。加速度センサから取得された3つの軸(x, y, z)上の加速度成分を合成した値(加速度合成値)算出する。この合成値は、各軸の加速度値の二乗を足し合わせ、その平方根を取ることで計算されている。

加速度合成は、デバイスの絶対的な動きを把握するために行う。デバイスがどの方向に動いているかに関わらず、その動きの強度を示している。その為、本提案の歩数計算の正確性を高めることができる。歩行時には、足が地面に接触し、次に持ち上がる時に特徴的な「ピーク」が加速度データに現れる。加速度合成を用いることで、単一の軸に依存することなく、全体的な動きの強度から歩数を算出できる。

また、加速度だけでは直線距離しか測ることができないため、地磁気センサを用いて方位角を取得する。方位角を取得することでユーザーがどの方向に曲がったのかを判断することができる。

図7は加速度のデータを示す。時間経過に伴って加速度が周期的に上下している。これは、歩行の際に足が地面に接触し、次に空中に持ち上がる時に生じる典型的なパターンを反映している。しかし、周期性だけでなく、加速度が一定の値に近づく部分もある。これはユーザーが一時的に止まっていることを示している。

これらの加速度の値から、歩数を算出する。歩数は、歩行中の加速度のピークをカウントすることで推定する。値と次の値の差分が閾値の0.5を超えたら、1歩とカウントをする。閾値0.5は、ある範囲の加速度から停止と歩行が判断できるように閾値を設定した。

基礎実験では歩幅の閾値である68[cm]と歩数から移動

距離を推定した。歩幅の閾値68[cm]は、実際の距離5[m]を歩行し、5回の平均値で算出している。図8は加速度から算出した移動距離を示す。移動距離は時間とともに増加し、ユーザーが移動していたことを示している。図8のように10[s]から15[s]と28[s]から33[s]の間では移動距離が変化していないため、停止していると判断できる。時間経過とともに誤差が大きくなっている。基礎実験では、実際の総距離が30[m]であるが、算出された距離は34[m]である。

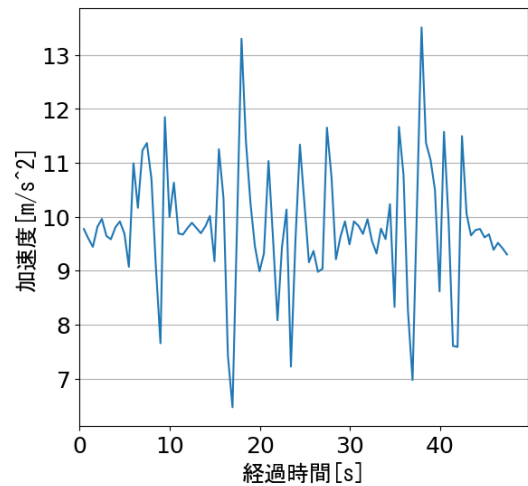


図7 加速センサから取得された値

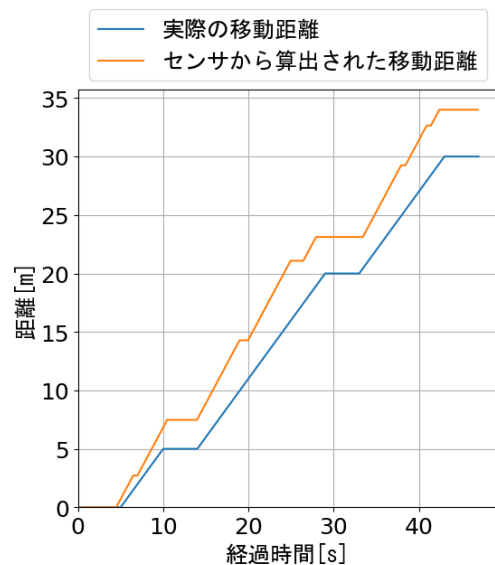


図8 加速度センサから算出された移動距離

地磁気センサは地球の磁場を測定し、デバイスの向きを取得することが可能である。図9は地磁気を示す。地磁気の強度が時間とともに変動している。しかし、35[s]から39[s]の値の推移のように実際には真っすぐに移動していても、値が変動している。これは、近くの地磁気に影響を受けているからである。正確なデバイス向きを取

得するために、影響を受けている値のデータを収集し、補正する必要がある。

地磁気センサの値から方位角を算出した。図 10 は地磁気から算出された方位角を示す。方位角が時間とともに変化し、一定のパターンで周期的に変化している。これは、ユーザが一定のパターンで回転または移動していることを示している。しかし、計測開始の方位角が実際は-70[度]に対して、算出された方位角は35[度]であり、誤差が105[度]である。また、その後の誤差も105[度]で推移している為、計測開始時点の正確な角度を設定することで計測途中の角度も実際の方位角に近づけたものを算出することができる。

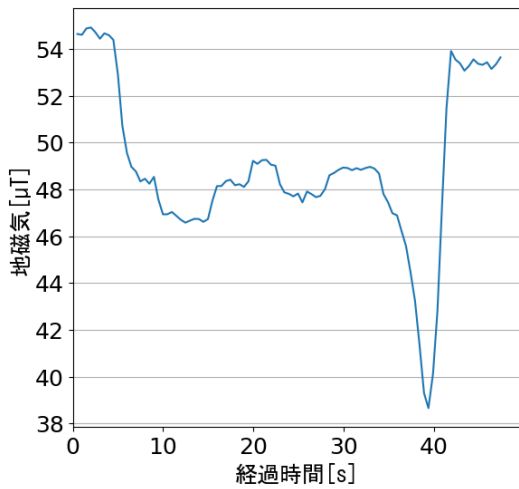


図 9 地磁気センサから取得された値

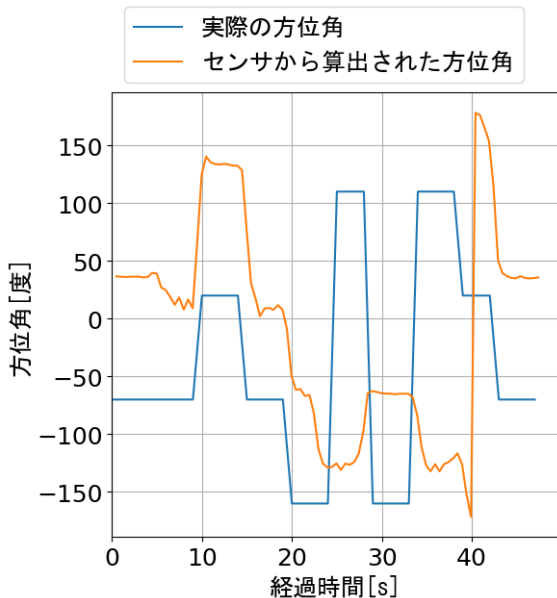


図 10 地磁気センサから算出された方位角

図 11 は移動距離と方位角からユーザの座標を示す。起点は(0,0)と設定している。

これは、時間経過によるユーザの位置を座標上に示して

いる。座標軸上の各点は、算出された値のユーザの位置を表し、点と点との連線はユーザの移動経路を示している。ユーザが起点からどのように移動し、どの方向に進んだかを示しており、ユーザの位置推定の誤差を明確化している。地磁気から算出された角度より実際の座標との誤差が大きくなっている。実際のルートと算出されたルートでは誤差が生じているため、本提案を用いて補正を行う必要がある。

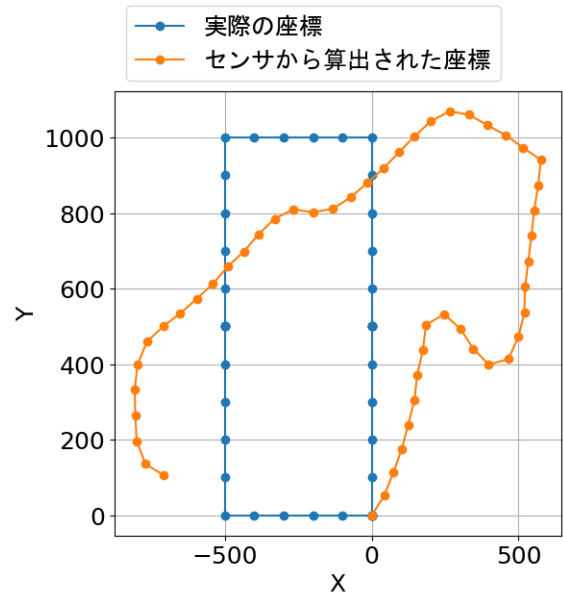


図 11 移動距離と方位角から算出された座標

## 6. 議論

本提案では手で持ってセンサから値を取得している。しかし、センサの設置状態によって値が変化するため、センサの設置位置を事前に分析して誤差の範囲を把握する必要がある。センサの設置位置による誤差を特定するために、実際のデータを収集し、年齢や身長ごとに平均値を算出する。これにより、設置状態に応じた補正值を見つけ出し、センサの値に適用することで、より正確な結果を得ることができる。

また、本提案では歩幅は閾値で設定しているが人によって異なるため、個別の歩幅を利用しなければならない。動的に歩幅を変化させるためには、個々の歩幅を特定するためのデータを収集し、適切なアルゴリズムを開発をする。例えば、歩行速度、体格、地形などの要素を考慮し、これらのデータを元に個別の歩幅を推定することができる。加速度センサの値から特定のパターンを検出し、それに基づいて歩幅を動的に調整するアルゴリズムを実装することができる。

## 7. おわりに

室内測位では電波を受信する方法の GPS は、正確な位

置推定を行うことができない。本提案では加速度センサと地磁気センサの値を用いることで歩数と方位を算出し、座標に変換した。

加速度センサと地磁気センサの値は、移動距離と向きの変化を確認することができる。しかし、これらの値はそれぞれに課題がある。取得したセンサからの値は誤差が含まれている。さらに、外的要因による誤差が生じてしまう。例えば、地磁気センサでは近くの地磁気によって地磁気値が影響を受ける。また、歩幅が一定でないために移動距離の推定が不正確になる。

本研究の基礎実験では、移動距離が4[m]、方位角が105[度]の誤差が生じた。その為、マッピングとRFIDによる補正を行い、実際の距離との誤差を1[m]以内にする。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] Kenneth L Senior, Jim R Ray, and Ronald L Beard. Characterization of periodic variations in the gps satellite clocks. *Gps Solutions*, Vol. 12, No. 3, pp. 211–225, 2008.
- [3] 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.
- [4] 坂井 丈泰. Gps/gnss の基礎知識. In *TEXT for GPS/GNSS SYMPOSIUM*, pp. 229–230, 2007.
- [5] Ricardo C Rodrigues, Geraldo Robson Mateus, and Antonio Alfredo Ferreira Loureiro. Optimal base station placement and fixed channel assignment applied to wireless local area network projects. In *IEEE International Conference on Networks. ICON'99 Proceedings (Cat. No. PR00243)*, pp. 186–192. IEEE, 1999.
- [6] Zhe Xiang, Song Song, Jin Chen, Hao Wang, Jian Huang, and Xingxin Gao. A wireless lan-based indoor positioning technology. *IBM Journal of research and development*, Vol. 48, No. 5.6, pp. 617–626, 2004.
- [7] Hae Don Chon, Sibum Jun, Heejae Jung, Sang Won An, et al. Using rfid for accurate positioning. *Positioning*, Vol. 1, No. 08, 2004.
- [8] R. Weinstein. Rfid: a technical overview and its application to the enterprise. *IT Professional*, Vol. 7, No. 3, pp. 27–33, 2005.
- [9] Xiaoping Yun, James Calusdian, Eric R. Bachmann, and Robert B. McGhee. Estimation of human foot motion during normal walking using inertial and magnetic sensor measurements. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 61, No. 7, pp. 2059–2072, 2012.
- [10] Samer S. Saab and Zahi S. Nakad. A standalone rfid indoor positioning system using passive tags. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 5, pp. 1961–1970, 2011.
- [11] Cliff Randell, Chris Djiallis, and Henk L. Muller. Personal position measurement using dead reckoning. *Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2003. Proceedings.*, pp. 166–173, 2003.