

加速度センサを用いた距離推定の誤差を倍率補正

中里 聖¹ 小林 竣¹ 串田 高幸¹

概要：現在、世の中で使われている距離推定では、GPS を使用したものが多く、加速度センサを用いることにより、GPS の届かない場所での距離推定を行える。加速度センサから時間積分することで速度を求められる。さらに速度に時間積分することで移動距離を求められる。しかし、加速度センサの感度、IoT デバイスの設置方法、歩き方によって距離推定に大きな誤差が生じる。そのため提案方式としてセンサの状況や環境を考慮するために学習フェーズにより補正を行うための倍率を決定する。また、歩行時と停止時の認識をするため、加速度センサから得られた値の分散変化を使用して行う。実際の距離が数 10 [m] になっても、距離推定の誤差が約 3 [m] の精度結果を示した。

1. はじめに

背景

現在、地球全体の屋外における位置推定の方法として利用されているのは GNSS (Global Navigation Satellite System / 全地球航法衛星システム) である。GNSS は、地球全体で利用できるアメリカの GPS (Global Positioning System)、ロシアの GLONASS (Global Navigation Satellite System)、中国の BeiDou (BeiDou Navigation Satellite System)、EU の Galileo の衛星航法システムのことである。また、特定地域向けの衛星航法システムに含まれる日本の QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)、インドの IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) のことを RNSS (Radio Navigation Satellite System / 地域航法衛星システム) とも呼ばれている。

GPS は、米国国防総省によって運行される人工衛星が発信する電波を利用して、地球上の物体の現在位置を測位している。GPS 衛星は地球を周回しており、各衛星が自身の現在位置と現在時刻の情報を電波に乗せて発信している [1]。その為、GPS の電波が届かない屋内や地下では利用ができない [2]。また GPS を使用した場合、最大 13 [m] 位置の誤差が生じる [3]。

GPS 以外の位置測位は、無線 LAN (Local Area Network) を用いた方法がある。通信端末付近のいくつかの基地局から電波を受信し各基地局から受信する電波の強度が端末と基地局の距離によって変わることを利用し距離を算出している。しかし基地局がカバーする範囲は数 100 [m] から数 [km] のため、電波が届きづらい地下や高層ビルの

近くでは高精度な位置測位が行えない [4]。そのため、この方法を用いた屋内での利用は難しい。

屋外位置の推定に比べ、屋内位置の推定では様々な技術が研究されているが現在一般的に利用されている技術は存在しない。現在、屋内位置の推定の方法では無線 LAN の電波強度、RFID (radio frequency identification)、超音波、可視光センサを利用したものが検討されている [5][6]。

電波強度を利用したものは、事前に機器のデータベースを構築する必要がある。また、RFID や可視光を利用した方法では、携帯電話やスマートフォンの外部インターフェースを接続する必要がある。このように様々な位置測位の方法があるが、場所や環境下によって正確な位置測位ができない。現在、屋内位置の推定の研究の多くは、加速度センサ、地磁気センサ、ジャイロセンサ (角速度センサ) を用いて位置測位を行っている。本研究では、一つのセンサだけで位置測位を行い、距離推定する。加速度センサを用いることで屋内で移動距離を測定することが可能である。

課題

加速度センサから得られたデータを時間積分することで速度を求められる。さらに、その速度に時間積分することで距離を求められる。しかし、小林の研究結果では、実際の移動距離と加速度センサから求めた移動距離とは誤差が生じている [7]。その誤差が蓄積誤差となり、大きな誤差になっている。図 1 のように、実際の距離 15m であったときに加速度センサの値を用いた移動距離は、13m である。また、停止時にも移動距離が伸びていることから歩行と停止時の識別ができない。

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

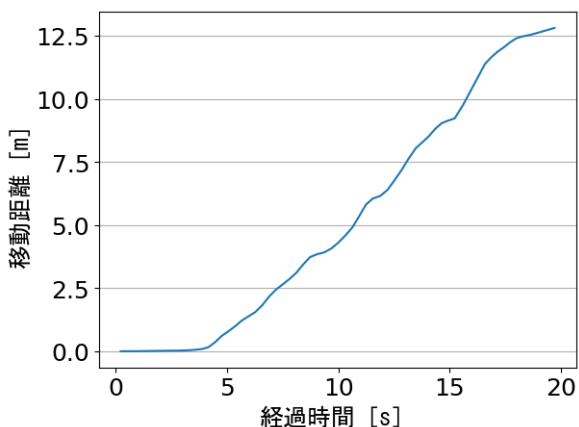


図 1 実際の距離 15 [m] のときの加速度から得られた移動距離

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

Xiaoping Yun らの研究は、一般で入手可能な慣性センサを使い、自律航法を行っている。3 軸の加速度センサ、3 軸の角速度センサ及び 3 軸の磁力センサから足の向き、位置、速度、加速度を取得することができる。しかし、センサによるドリフトが生じてしまい、正確な位置推定を行うことができない。この論文では、停止時と判断すると、速度が 0 であることから、補正を行っている。停止時と判断するために、角速度センサのデータを使用している。実験結果より、移動距離の 1%未満の位置推定誤差を達成できている [8]。

Ross Stirling らの研究は、森や高層ビルのある都市部、屋内で GNSS システムを使用すると測位精度が低下してしまうため、小型で安価なセンサを使用して実用的な代替手段を提案している。この論文で提案された自律航法システムは、被験者の靴に装着された一連の加速度センサと磁気抵抗センサを使用して、位置測位と移動距離を推定している。センサから、歩数と歩幅、進行方向を求めるために決まった部位に固定することで正確な数値を取得している。地面に足が接して、再び足が接したときに加速度から歩数として取得できれば移動距離として求められる。加速度から歩数として正確に識別できる移動距離の推定をしている。

他にも、センサを人体に固定しない自律航法の手法についての研究もある。Cliff Randell らの研究は、GPS と加速度センサ、地磁気センサを使用して歩行した際の自律航法の

手法を提案している。GPS と IMU (Inertial Measurement Unit / 慣性計測装置) を使用することにより、自律航法を行うことができるが、その精度が低い。また、消防や救急救助、警察、軍用といった用途を想定しており、歩行者はセンサが搭載されたヘッドギアを装着する必要があり、一般的に使用することは容易ではない [9]。

3. 提案

提案方式

本論文では、加速度センサから得られたデータを補正することにより、移動距離による算出における精度の向上を図ることが目的である。そのために、歩行時と停止時の認識と移動距離の誤差修正を行う。

歩行時と停止時の認識方式として、一定時間における加速度の分散値を加速度データの変化の大きさと表し、認識する。加速度データの変化が小さいということは、歩行時に得られる加速度の変化をセンサが検知していないので停止時と認識する。逆に、変化が大きいのことは、加速度の変化を検知しているので、歩行時と認識する。

移動距離の誤差修正方式として、加速度から得られた移動距離の推定によって加速度センサの値に倍率することで補正を行う。図 2 のように同じ環境下で実際の距離が同じであれば、加速度から得られた値から距離推定を計算すると、同じように距離が推移している。それにより、同じ環境下で測定を行った値を利用して、倍率することで距離推定の誤差補正を行う。図 3 のように学習フェーズで実際

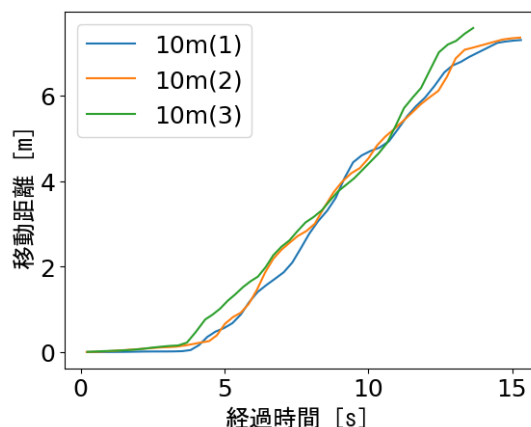


図 2 加速度センサから得られた移動距離の推定 (実際の距離 10 [m])

の距離 5 [m] を測り、停止状態から 5 [m] 歩行し再び、停止をするまでの加速度を測定する。それにより、加速度センサによる値の変化を確認することが可能である。学習フェーズで得られた値を用いて移動距離の推定を行い、実際の距離 5 [m] に補正するために倍率をする。学習フェーズで得られた倍率値を使用して、倍率値を変化させ、補正を行う。図 4 は歩行と停止の認識を行い、倍率値を使用し

て補正する過程を示している。



図 3 学習フェーズ方式

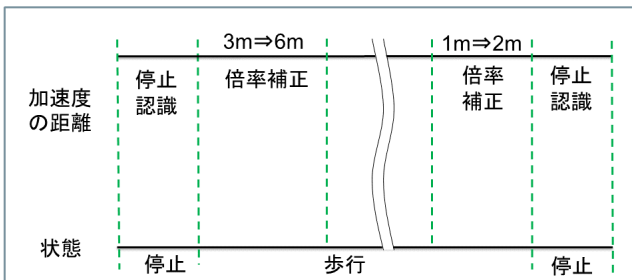


図 4 補正方式

基礎実験

基礎実験では、加速度センサから得られた値を用いて実際にどのくらいの移動距離が算出できるかの実験を行った。また、基礎実験で得られた値を分散に変換したときに歩行時と停止時を識別できるかの提案方式を確立する目的で行った。

基礎実験では、腰に取り付けた形で実際の距離 10 [m] を歩行したときに、加速度センサから得られたデータを利用して距離推定を行う。そこで、2つの方法で実験を行った。加速度センサを腰にテープで固定（以下、軽く設置）して歩行したときに加速度が大きく揺れるようにした。もう一つは、ベルトに加速度センサを取り付けて腰に装着した（以下、きつく設置）。それらの方法で実験したときに加速度センサから得られた値による距離推定を行った結果は、図 5 と図 6 である。これらの結果のように、腰の設置方法によって、距離推定が大きな誤差が生じてしまう。設置方法は使うたびに変わってしまうため、学習フェーズを行うことで腰の設置強度が使うたびに変わっても、補正を行える。学習フェーズで行ったときに取得できる加速度の値を用いて移動距離を算出する。その移動距離を 5 [m] に補正するために使用した倍率を使用してその後の移動距離の補正を行う。

歩行時と停止時の認識方式として、加速度センサから得られた値を用いて認識を行う。加速度センサから得られた

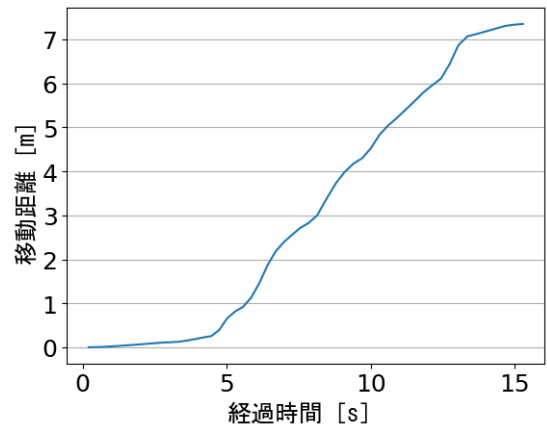


図 5 加速度センサから得られた値を用いた移動距離の推定（軽く設置）

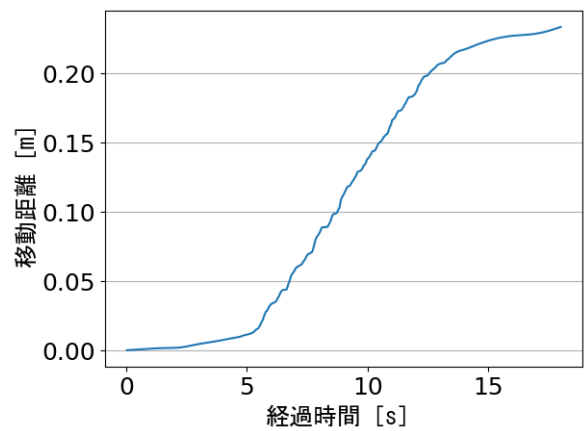


図 6 加速度センサから得られた値を用いた移動距離の推定（きつく設置）

値から分散の変化にすると、図 7 のようになる。縦軸は加速度センサの値の分散値を取り、横軸は、経過時間を示している。停止時のときは、分散が限りなく 0 になるので、停止状態と判断する。

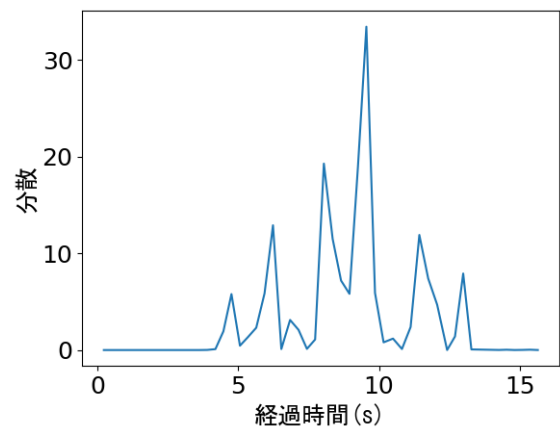


図 7 加速度センサから得られた値の分散（軽く設置）

これらの結果のように、腰の設置方法によって、距離推定が大きな誤差が生じてしまう。設置方法は使うたびに変わ

わってしまうため、学習フェーズにより腰の設置強度を判断して、そのデータを利用して補正を行う。

ユースケース・シナリオ

ユースケース・シナリオとして、加速度センサを用いた自律航法を推定する。現在の移動距離の推定は GPS により、4 つ以上の GPS 衛星からの信号を受けて初めて高精度に測位できる。GPS 単独の測位では、高層ビル街のような遮蔽物の多い場所や、地下や室内での歩行では衛星からの信号が途切れるため、測位が不安定になったり、不可能になったりする。そこで、加速度センサからの情報だけで処理することにより、GPS 単独では測位を続けることが難しい環境下でも、高い精度で測位をすることができる。直前の位置からどの方向にどのくらいの距離を移動したか求めることで、現在位置を累積的に求められる。

4. 実装

加速度センサから得られた移動距離を補正するための実装に関し、説明を行う。まず、加速度センサのデータを取得するために学習フェーズを行う。学習フェーズでは、はじめに 3 秒間停止し、5 [m] 歩行し、再び 3 秒間停止を行った加速度の値を取得する。8 のように学習フェーズで実際に 5 [m] 歩行したときに加速度を移動距離に変換して、5 [m] に近づけるためにどのくらいと倍率にするのか決定する。次に、学習フェーズと同じ環境下で何 [m] か歩行を行う。歩行と停止の識別を行う。次に、分散による歩行と停止の識別を行う。最後に、学習フェーズで決定した倍率を使い、移動距離の補正を行う。

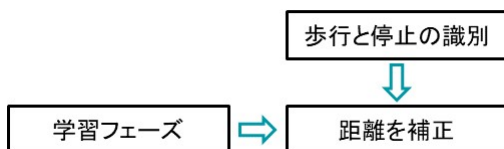


図 8 学習フェーズから補正までの流れ

5. 実験と分析

実験環境

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

- ESP32
Wi-Fi と Bluetooth を内蔵しており、低コストで低消費電力なマイクロコントローラである。IoT デバイスとして使用した。
- BMX055
9 軸 (加速度 3 軸, ジャイロ 3 軸, 磁気コンパス 3 軸) センサを扱いやすいパッケージでまとめら

れたセンサモジュールである。加速度 3 軸センサを使い、加速度の値を取得するのに使用した。また、加速度センサから得られた移動距離の推定が実際の距離とどのくらいの誤差が生じているのかを調べるために、距離測定を行うことのできるメジャーを使用して実際の距離を測定している。

実験結果と分析

本実験では、加速度センサのみで移動距離の推定の誤差補正を行った。実験結果は、人間が長距離の歩行をするのは屋外が多いため、屋外で実験を行っている。

学習フェーズ

学習フェーズでは、3 秒停止、5 [m] 歩行、3 秒停止を行い、加速度の値を取得した。取得したデータを移動距離に変換した推移が図 9 で、補正した推移が図 10 である。今回の学習フェーズで補正した倍率は、2.14 である。学習フェーズで補正した倍率を使用して、本実験の誤差修正を行う。

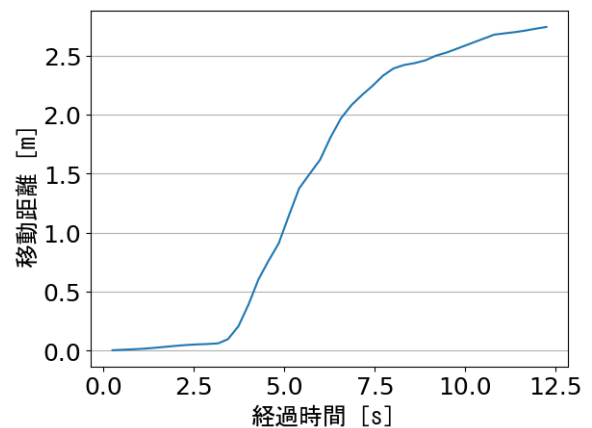


図 9 加速度センサから得られた値を用いた距離推定 (学習フェーズ)

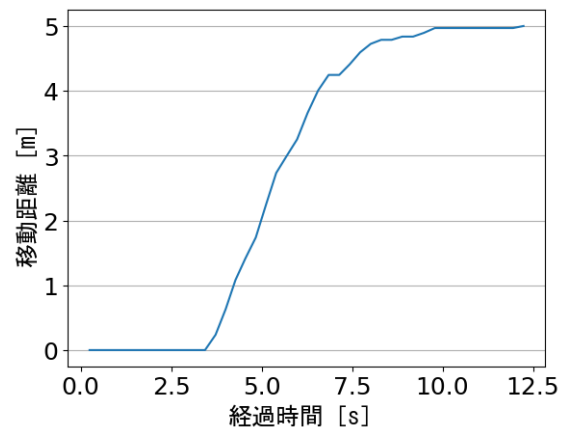


図 10 加速度センサから得られた値を用いた距離推定の補正 (学習フェーズ)

実際の距離 30 [m] と 50 [m] の場合の誤差補正

実験では、30 [m] と 50 [m] を計測機器で測定を行い、加速度センサから値を取得して距離推定を行う。学習フェーズと同じ環境下で実験で加速度センサから取得された値を用いて移動距離に変換した結果である。図 11 は実際の距離 30 [m] のときで、図 12 は実際の距離 50 [m] のときの移動距離推移である。加速度センサから得られた値を用いた移動距離は 30 [m] のときに 16.8 [m]、50 [m] のときに 23.7 [m] である。停止状態のときも距離が増えていることから本提案手法を用いて補正を行う。実際の距離

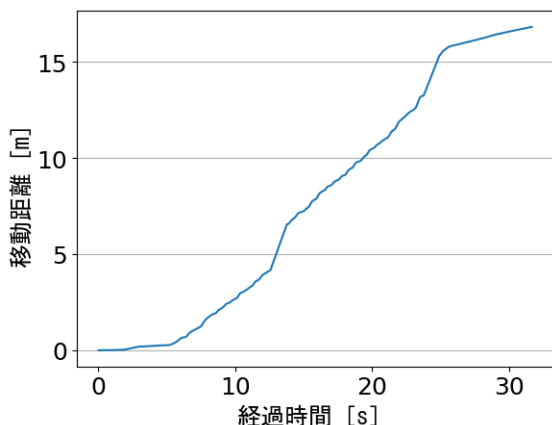


図 11 加速度センサから得られた値を用いた距離推定 (実際の距離 30 [m])

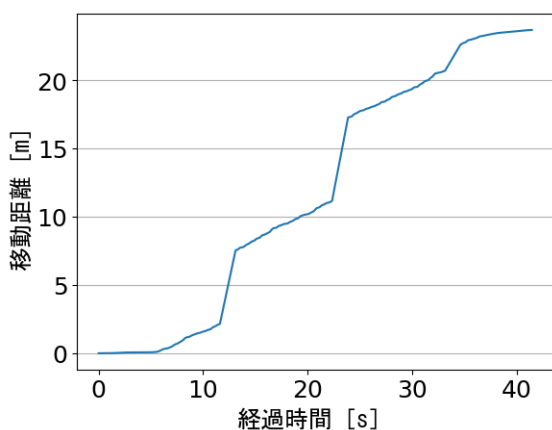


図 12 加速度センサから得られた値を用いた距離推定 (実際の距離 50 [m])

30 [m] と 50 [m] の距離誤差に対して、歩行時と停止時の判別と学習フェーズで得られた倍率 1.913 を用いて補正を行う。それらの結果を図 13、図 14 である。補正を行った結果、実際の距離 30 [m] の距離は 32.7 [m]、実際の距離 50 [m] の距離は 48.5 [m] に補正された。本実験では、提案された提案手法で補正された移動距離と実際の距離では、最大 2.7 [m] の誤差が生じた。

同じ環境下であれば、実際の距離が変化しても加速度セ

ンサから移動距離の推定を行える。加速度センサから取得した値には、図 14 のように移動距離に変換したときに不自然なグラフになってしまうこともあるが、実際の距離に近い移動距離を行える。

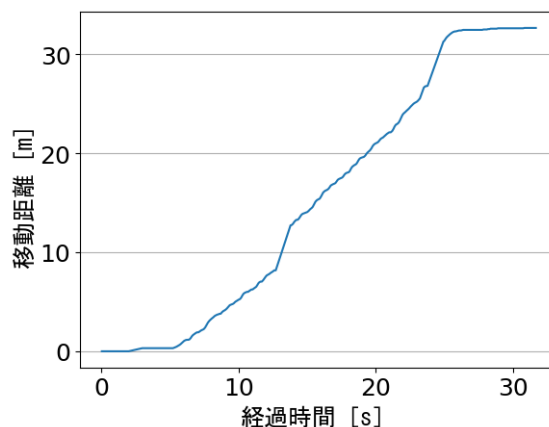


図 13 加速度センサから得られた値を用いた距離推定の補正 (実際の距離 30 [m])

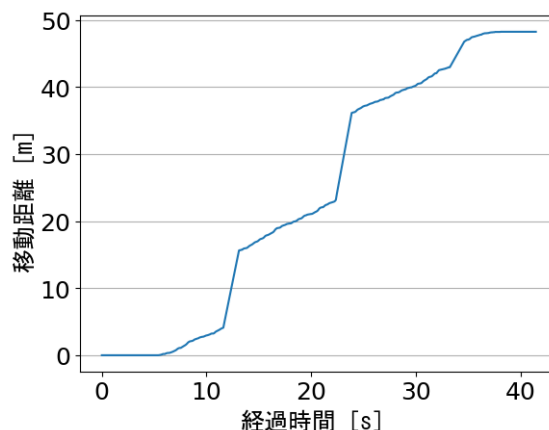


図 14 加速度センサから得られた値を用いた距離推定の補正 (実際の距離 50 [m])

6. 議論

加速度センサのデバイス感度や体への設置方法によって得られる加速度の値が変化してしまうため本研究では、学習フェーズから得られた値を使用して、補正を行った。しかし、環境下が変わるたびに学習フェーズを行わなければならないため、加速度センサのみを使用した移動距離の推定を行う手法を一般化することは難しい。そのため、加速度センサから距離推定を行うためには検討が必要である。加速度センサから様々な状況下のサンプルデータを取ることによって加速度センサの誤差に対して、細かく補正を行える。

また、本提案手法で行った補正後では約 3 [m] の誤差が生じてしまったため、角速度センサを用いて補正を行う。角速度センサを用いることで正確な角度を取得できる。その角度を使用して、加速度の値を補正する。

7. おわりに

加速度センサから得られた加速度を2階積分することで、移動距離が求められるが、加速度センサの感度や装着方法によって加速度センサから得られる値は異なり、実際の距離との誤差が大きくなってしまいう課題があった。

そのため本論文では学習フェーズを設け学習フェーズから得られた値を用い加速度センサの値に倍率を与えることによる補正方法を提案した。また、歩行状態の把握は移動距離の誤差を減らすことから歩行停止の状態および歩行の状態を判断するため分散を用い判断した。

本提案により、加速度センサから得られた距離推定の誤差を約3[m]の精度結果を示した。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 坂井丈泰. Gps/gnssの基礎知識. In *TEXT for GPS/GNSS SYMPOSIUM*, pp. 229–230, 2007.
- [4] 伊丹誠. Phsと携帯の違いは? 映像情報メディア学会誌, Vol. 54, No. 12, pp. 1719–1720, 2000.
- [5] 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.
- [6] Hae Don Chon, Sibum Jun, Heejae Jung, Sang Won An, et al. Using rfid for accurate positioning. *Positioning*, Vol. 1, No. 08, 2004.
- [7] 小林竣, 杉本一彦, 串田高幸. 自律航法に基づく省電力な測位と歩行時補正による精度の改善. Technical Report CDSL-TR-095, クラウド・分散システム研究室, 2022.
- [8] 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.
- [9] 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.