

地磁気データの信頼性評価に基づく方位較正手法

Azimuth Calibration Method Based on the Reliability Assessment of Geomagnetic Data

助野 晴哉†
Haruya Sukeno

西尾 信彦†
Nobuhiko Nishio

概要

近年、スマートフォンの普及に伴い、GNSS が利用困難な屋内環境での高精度なナビゲーション技術の需要が高まっている。この課題に対し、スマートフォン搭載の IMU を用いた PDR が有望視されているが、方位推定の精度が全体の測位精度を左右する。一般的にジャイロスコープと地磁気センサのフュージョンが用いられるが、ジャイロスコープは時間経過に伴い誤差が累積し、地磁気センサは屋内の磁気外乱に弱いという相補的な問題がある。信頼性の低い地磁気データで較正を行うと、かえって誤差が増大する負の補正が課題である。本研究ではこの問題に対応するため、歩行者の直進という動作状態をコンテキスト情報として利用し、地磁気データが安定しているべき状況下での方位情報の時系列的な安定性に基づき、データの信頼性を動的に評価する新たな方位較正手法を提案する。

1. 背景

近年、スマートフォンの急速な普及と高性能化に伴い、大規模商業施設、空港、地下街、病院といった屋内空間でのナビゲーションシステムや位置情報サービスの需要が著しく高まっている [1]。これらの環境では、建物の構造が障害となり、屋外で標準的に利用される GNSS (Global Navigation Satellite System) の衛星信号が遮断されるため、代替となる高精度な屋内測位技術が不可欠である [1, 5]。

この課題に対する有力な解決策の一つとして、スマートフォンに標準搭載されている加速度センサ、ジャイロスコープ、地磁気センサといった慣性計測装置 (IMU: Inertial Measurement Unit) を活用した PDR (Pedestrian Dead Reckoning; 歩行者自律航法) が広く研究されている [2]。PDR は、歩行者の歩数を検出し (Step Detection)、歩幅を推定し (Stride Length Estimation)、そして進行方向を特定する (Heading Estimation) という 3 つの要素を組み合わせ、初期位置からの相対的な移動を逐次計算することで現在位置を推定する技術である [3]。この中で、特に方位推定の精度が PDR 全体の測位精度を大きく左右する重要な要素となる。

PDR における方位推定では、ジャイロスコープと地磁気センサを相補的に利用するセンサフュージョンが一般的である [4, 18]。MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) 技術に基づくジャイロスコープは、短期間であれば物体の角速度を高い精度で捉えることができる。しかし、その動作原理上、内部のバイアスやノイズといった要因により、時間経過とともに誤差が累積していくという課題は避けられない [2]。この誤差は、角速度を積分して方位を算出する過程で増大する。

一方、地磁気センサは地球の磁場 (地磁気) を観測することで、絶対的な方位 (磁北) を提供する [5, 6]。これにより、ジャイロスコープの累積誤差を定期的リセットするための較正 (キャリブレーション) 基準として利用される。しかし、このアプローチは屋内環境において深刻な課題に直面する。建物の鉄骨構造やエレベータ、空調設備といった強磁性体は静的な磁場歪みを引き起こし、高圧送電線や稼働中の電子機器は動的な磁場変動を発生させる [7]。これらの磁気外乱は、地磁気ベクトルを歪め、地磁気センサが示す方位の信頼性を著しく低下させる [7, 9]。信頼性の低

い地磁気データを用いてジャイロスコープの較正を行うと、方位推定の誤差を補正するどころか、むしろ増大させてしまう負の補正という問題を引き起こす [12, 20]。

したがって、高精度な屋内 PDR を実現するためには、地磁気データが信頼できるか否かをリアルタイムで動的に評価し、信頼できると判断された場合のみ方位較正を実行する、適応的な較正メカニズムが不可欠である。本研究の目的は、歩行者の自然な動作である直進状態をコンテキストとして利用し、その際の地磁気センサから得られる方位情報の時系列的な安定性を評価することで、磁気外乱の有無を判定する。そして、最適なタイミングでのみジャイロスコープの累積誤差を較正する新たな手法を提案し、その有効性を実験的に検証することにある。既存研究では、磁場強度など物理的特性や機械学習を用いた外乱検出が試みられてきたが、歩行者の動作というコンテキスト情報を活用して地磁気データの信頼性を評価するアプローチは十分ではなかった。本研究は、この点に着目し、新たな較正手法を提案するものである。

2. 関連研究

PDR における磁気外乱への対策は、主に磁場の物理的特性を利用する手法と、機械学習を利用する手法に大別される。

2.1. 物理的特性に基づく磁気外乱検出

磁場の物理的特性、特に地磁気ベクトルの大きさ (磁場強度) や傾き (伏角) が、局所的には一定であるという性質を利用する研究が多く行われている [8, 9]。Wang らは、地磁気ベクトルの大きさが事前に設定した経験的な閾値から逸脱した場合に磁気外乱と判定する手法を提案した [10]。このアプローチは計算コストが低く、スマートフォンへの実装が容易であるという利点を持つ。しかし、建物の鉄骨構造などが引き起こす静的な磁気外乱の中には、磁場強度にはほとんど影響を与えず、方位のみを歪ませるものが存在する [11]。このような場合、磁場強度のみに基づく閾値処理による外乱検出は困難であるという課題があった。また、最適な閾値は建物やフロアごとに異なるため、環境に対する汎用性にも乏しい [10, 12]。

2.2. 機械学習に基づく磁気外乱検出

近年では、機械学習を用いて磁気外乱の複雑なパターンを識別する研究も進んでいる [13]。Li らは、混合ガウスモデル(GMM)や k-means クラスタリングといった教師なし学習を用いることで、磁気外乱を検出し、従来手法と比較して 5~20%の精度向上を達成した [14]。これは、事前の較正作業なしに環境変化に適応する点で進歩を示した。また、サポートベクターマシン(SVM)やニューラルネットワークを用いた教師あり学習によるアプローチも提案されているが [13, 16]、これらは事前に多様な環境で収集した大規模なラベル付き学習データを必要とし、未知の環境に対する汎化性能が課題となる [15]。これらのモデルベースのアプローチは、特定のパターンに対しては高い性能を発揮するものの、予期せぬ外乱や動的な環境変化への追従性には限界がある [15]。

2.3. 本研究の位置付け

PDR における磁気外乱への対策は、主に磁場の物理的特性を利用する手法と、機械学習を利用する手法に大別される。

磁場の物理的特性を利用するアプローチは、磁場強度には影響を与えず方位のみを歪ませる静的な磁気外乱の検出が困難であるという課題があった。また、最適な閾値は環境ごとに異なるため、汎用性にも乏しい。一方、機械学習を用いるアプローチは、事前に多様な環境で収集した大規模なラベル付き学習データを必要とし、未知の環境に対する汎化性能が課題となる。

これらの既存研究は、主にセンサデータを独立して解析するものが多く、歩行者の動作状態というコンテキスト情報と連携させて外乱を評価するアプローチは十分に検討されていなかった。

本研究ではこれらの課題に対応するため、歩行者の直進という動作状態を、地磁気データが安定しているべきであるという強い事前知識（コンテキスト）として利用する。このコンテキストをトリガーとし、その際の地磁気から得られる方位情報の時系列的な安定性に基づいてデータの信頼性を評価する、新たなアプローチを提案する。これにより、より実用的で頑健な方位較正の実現を目指す。

3. 提案手法

本研究では、歩行者の動作状態を利用して地磁気データの信頼性を評価し、ジャイロスコープの累積誤差を動的に較正する手法を提案する。本手法の基本的な考え方は、磁気外乱が存在しない安定した環境を歩行者が直進している場合、地磁気センサが示す方位は一定に保たれるという仮説に基づいている。

3.1. システム概要

提案手法は、スマートフォンに搭載された加速度センサ、ジャイロスコープ、地磁気センサから得られるデータを利用する。システムは、まずジャイロスコープのみを用いて方位を推定する。次に、ジャイロスコープの角速度データから歩行者が直進しているか否か

を判定する。直進状態であると判定された場合のみ、地磁気センサから得られる方位データの信頼性評価へと進む。この評価では、一定時間内の方位データのばらつきを調べる。ばらつきが小さくデータが信頼できると判断された場合に限り、その地磁気データを用いてジャイロスコープの方位を較正する。もしデータが信頼できない（磁気外乱の疑いがある）と判断された場合は較正を行わず、ジャイロスコープのみでの方位推定を継続する。この一連の処理を逐次繰り返すことで、信頼できるデータのみを選択的に利用し、方位推定の精度を維持する。

3.2. 歩行状態判定

加速度センサの 3 軸合成値の大きさの変動と、ジャイロスコープの Z 軸（ヨー軸）周りの角速度を用いて、歩行者の状態を停止、直進、回転にリアルタイムで分類する。

- **停止:** 加速度の大きさの分散が小さく、かつ Z 軸角速度がほぼゼロの場合。
- **回転:** Z 軸角速度の絶対値が設定したしきい値 ω_{thresh} を超える場合。
- **直進:** 上記以外の状態。すなわち、加速度に歩行周期による変動が見られ、かつ Z 軸角速度が ω_{thresh} 以下の場合。この状態判定により、地磁気データの信頼性評価を、方位が安定しているべき直進時に限定することができる。

3.3. 地磁気データの信頼性評価

歩行状態が直進と判定されている間、地磁気センサと加速度センサから算出された方位角 $\theta_{mag}(t)$ を、長さ T_w 秒のタイムウィンドウ分のバッファに保持する。このウィンドウ内のデータのばらつきを、計算負荷の低い最大値と最小値の差で評価する。この差がしきい値 δ_{thresh} を下回る場合、その区間の地磁気データは信頼できる（磁気外乱なし）と判定する。

$$\begin{aligned} Reliability = \\ 1 \text{ if } (\max(\theta_{mag}) - \min(\theta_{mag}) < \delta_{thresh}) \\ \text{else } 0 \end{aligned}$$

3.4. ジャイロスコープの誤差モデル

ジャイロスコープの累積誤差は、回転量に比例して増大するとモデル化する。特に、右回転と左回転で誤差の蓄積の仕方が異なることを考慮し、それぞれの方向に対する誤差率 E_{right} （正の値）、 E_{left} （負の値）を事前に設定する。時刻 t までの総回転量 $\Sigma|\omega_z|$ に基づき、現在の推定方位 $\theta_{est}(t)$ が取りうる誤差範囲の上限 $\theta_{upper}(t)$ と下限 $\theta_{lower}(t)$ を以下のように算出する。

$$\begin{aligned} TotalRotation(t) &= \int |\omega_z(\tau)| d\tau \\ \theta_{upper}(t) &= (\theta_{est}(t) + (TotalRotation(t) / 360) * E_{right}) \bmod 360 \\ \theta_{lower}(t) &= (\theta_{est}(t) + (TotalRotation(t) / 360) * E_{left}) \bmod 360 \end{aligned}$$

3.5. 適応的な方位較正

自動的な方位較正は、以下の 4 つの条件がすべて満たされた場合にのみ実行される。

1. システムがデータ記録中であること。
2. 歩行状態が直進であること。
3. 地磁気データが信頼できると評価されていること。
4. 地磁気センサが示す方位 $\theta_{mag}(t)$ が、ジャイロスコープの現在の誤差範囲内 $[\theta_{lower}(t), \theta_{upper}(t)]$ に入っていること。

この条件が満たされた瞬間に、ジャイロスコープの推定方位 $\theta_{est}(t)$ を地磁気の方角 $\theta_{mag}(t)$ で上書きし、累積誤差の計算の基準となる総回転量 $TotalRotation(t)$ をゼロにリセットする。これにより、信頼性の低いデータによる誤った較正を防ぎ、方位推定の精度を維持する。

4. 実験

提案手法の有効性を検証するため、評価用の Android アプリケーションを開発し、屋内外の環境でデータ収集実験を行った。

4.1. 評価用アプリケーションと実験環境

開発したアプリケーション(図 1)は、リアルタイムでのデータ可視化、記録、パラメータ設定機能を持つ。比較対象として、提案手法の他に地磁気センサのみ Android API ROTATION_VECTOR (統合センサ)、GAME_ROTATION_VECTOR (ジャイロ主体) の推定方位を同時にプロットし、CSV ファイルに記録する。ここで用いた ROTATION_VECTOR および GAME_ROTATION_VECTOR は Android OS が提供する API であり、内部でセンサフュージョンを行っているが、その具体的なアルゴリズムや較正ロジックは公開されていない。

実験は、磁気外乱源が混在する立命館大学大阪いばらきキャンパス(以下 OIC)の H 棟内で行った。被験者は開発アプリを搭載したスマートフォン (Google Pixel 4a) を胸の前で固定して歩行した。

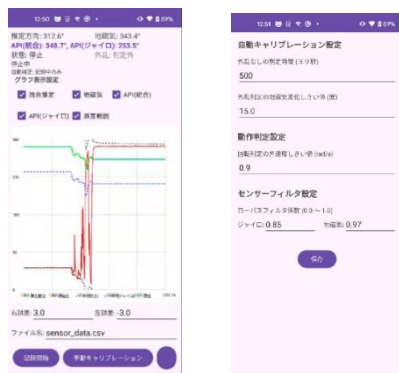


図 1: 評価アプリケーション UI

4.2. 実験パラメータ設定

本実験で用いる各種パラメータは、予備実験に基づき経験的に設定した。

- 歩行状態判定しきい値 (w_{thresh}): 通常の直進歩行と、明確な方向転換時の角速度を区別できる値として、 0.9 rad/s に設定した。

- 地磁気安定性しきい値 (δ_{thresh}): 磁気外乱のない屋外環境で直進した際のデータばらつき (概ね 10 度以内) を参考に、多少のノイズを許容しつつ外乱を確実に検出できる値として 15 度に設定した。

- ジャイロスコープ誤差モデル (E_{right}, E_{left}): 本実験では較正機能の有効性を明確に可視化するため、誤差率を意図的に大きな値 (左右各 $\pm 8/360$ (度/回転)) に設定した。

4.3. 評価

本実験では以下の 2 点を評価することを目的とする。

1. 開発したシステムの動作検証:

提案手法が、屋内 (磁場不安定環境) において、意図通りに磁気外乱を検出し、適切なタイミングで較正を実行できるかを確認する。また、今回は累積誤差が溜まった後にうまくキャリブレーションがかかるかどうかには焦点を当てているため、左右の累積誤差の蓄積予測はあえて大きく設定している。

2. 提案手法の精度評価:

収集した CSV データをオフラインで分析し、提案手法と Android 標準 API 2 種 (ROTATION_VECTOR, GAME_ROTATION_VECTOR) の精度を比較評価する。本実験における方位の基準値として、磁気外乱がほとんどない屋外の開けた場所で、静止状態で計測した初期方位を採用した。この初期方位は、スマートフォンのセンサが理想的な条件下では最も信頼性が高いと考えられるためである。評価指標としては、この基準値との二乗平均平方根誤差 (RMSE: Root Mean Square Error) を用いた。

4.4. 実験結果と考察 (1F)



図 2: OIC 1F 経路図

図 2 は OIC 1F を歩行したときの経路図である。赤丸はキャリブレーションがかかった地点を示している。真値取得のため、屋外から計測を開始した。

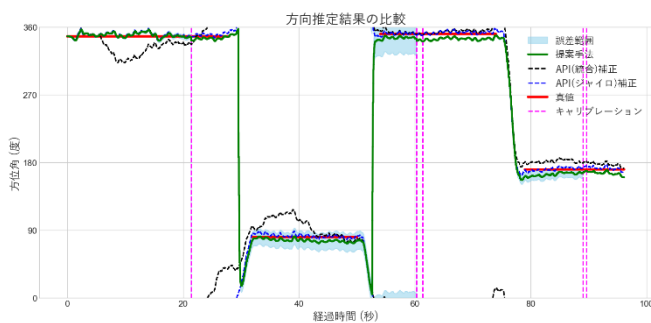


図 3:方向推定結果の比較(OIC 1F)

図 3 は OIC 1F での方向推定結果を示したものである。縦軸は方位角（度）、横軸は経過時間（秒）を表す。最初は屋外から計測を開始し、約 5 秒の地点で屋内に入った。キャリブレーションは全体で 5 回発生していることがわかる。

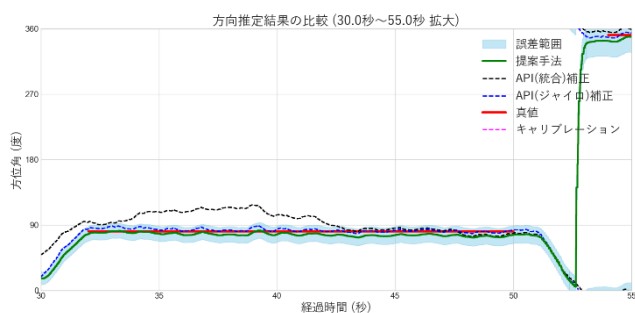


図 4: 30 秒から 55 秒拡大図

地磁気センサを主に利用する API(統合)補正（黒の破線）は、特に 30 秒から 55 秒の区間で磁気外乱の大きな影響を受け、真値（赤線）から最大で 40 度近く乖離していることが確認できる。(図 4) これに対し、本研究の提案手法（緑線）は、この区間の地磁気データを信頼できないと正しく判定し、誤った校正（ピンク）を実行しない。その結果、外乱に引きずられることなく、API(ジャイロ)補正（青の破線）と同様に安定した方位を維持している。

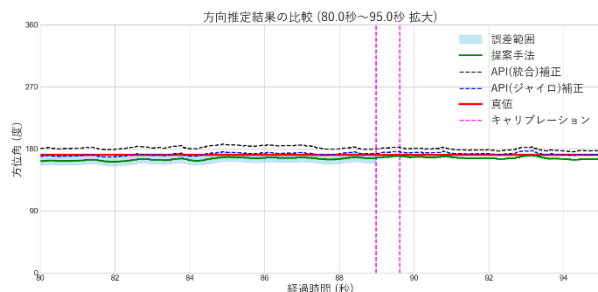


図 5: 90 秒付近 拡大図

その後、60 秒付近や 90 秒付近など、磁場が安定した区間で提案手法は自動キャリブレーションを実行し、それまでに蓄積したジャイロスコープの累積誤差を適切に補正。

表 1：精度評価 OIC 1F

手法	RMSE(deg)
提案手法	5.22
地磁気センサ	38.50
API（統合）	15.90
API（ジャイロ）	2.96

表 1 より精度評価として RMSE（二乗平均平方根誤差）を比較。提案手法の RMSE は 5.22 度であり、磁気外乱の影響を大きく受けた地磁気センサ（38.50 度）や API(統合)補正（15.90 度）と比較して、誤差を大幅に抑制できた。API(ジャイロ)補正の RMSE が 2.96 度と最も低い値を示していますが、これは今回の短い実験では累積誤差が小さかったためと考えられる。長距離の歩行では、補正機構を持たないジャイロスコープ単体の方向推定は累積誤差により破綻すると思われる。

この結果から、提案手法は深刻な磁気外乱を能動的に回避し、負の補正を防ぎつつ、校正の機会を捉えて累積誤差を補正することで、頑健な方位推定を実現していることが実証された。なお、磁気外乱のない屋外のような安定環境において、提案手法は地磁気データを常に信頼できると判断する。その結果、高頻度で正確な校正が実行されるため、その挙動はジャイロスコープの微小な累積誤差を地磁気センサで継続的に補正する理想的なセンサフュージョンに近くなる。

4.5. 実験結果と考察（2F）

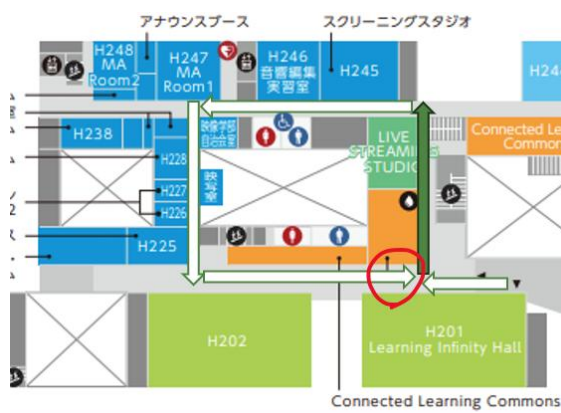


図 4:OIC 2F 経路図

図 4 は OIC 2F を歩行したときの経路図である。赤丸はキャリブレーションがかかった地点を示している。真値取得のため、1 F と同様に屋外から計測を開始した。

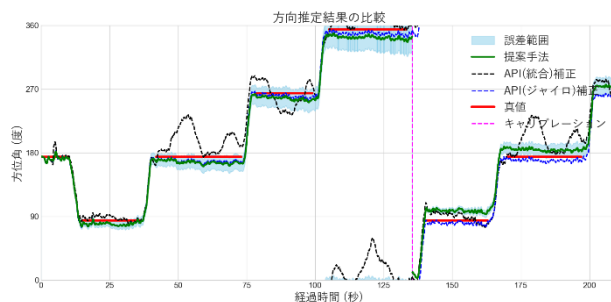


図 5:方向推定結果の比較(OIC 2F)

2 階の実験コースは 1 階よりも距離が長く、複数回の方向転換を含む。このコースにおいても、API(統合)補正（黒の破線）は複数箇所で真値（赤線）から大きく乖離しており、磁気外乱の影響を受けていることがわかる。提案手法（緑線）は、これらの外乱区間において較正を行わず、安定した方位を維持している。

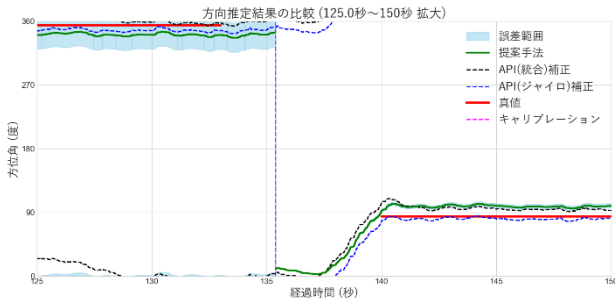


図 6: 130 秒付近 拡大図

そして、磁場が安定し、かつ較正条件を満たした 130 秒付近でキャリブレーションを実行し、それまでに蓄積した累積誤差を補正しているのが確認できる。

表 2：精度評価 OIC 2F

手法	RMSE(deg)
提案手法	9.56
地磁気センサ	32.17
API（統合）	22.45
API（ジャイロ）	5.44

表 2 より精度評価として RMSE を比較すると、提案手法の RMSE は 9.56 度であり、地磁気センサ（32.17 度）や API(統合)補正（22.45 度）よりも優れた精度を示した。

API(ジャイロ)補正の RMSE は 5.44 度と最も低いが、これは 1 階の実験と同様、実験距離が比較的短く累積誤差が少なかったためだと考えられる。提案手法の RMSE が 1 階の実験（5.22 度）より大きいのは、歩行距離の増大に伴うジャイロスコープの累積誤差の増加と、較正に適した安定区間が限られていたことが原因であると考えられる。

それでもなお、提案手法は信頼性評価を通じて磁気外乱による方位推定の破綻を回避し、安定した方位推定を実現していることが実証された。

5. 結論と今後の課題

本研究では、屋内 PDR における方位推定精度を向上させるため、歩行者の直進という動作コンテキストを活用した新たな方位較正手法を提案した。本手法は、地磁気データが安定しているべき状況を特定し、そのデータが信頼できる場合にのみジャイロスコープの累積誤差を適応的に較正するものである。実環境実験の結果、提案手法が磁気外乱の多い区間での不要な較正、すなわち負の補正を回避し、磁場が安定した区間を捉えて効果的に較正を実行できることを確認した。定量評価では、提案手法が地磁気センサ単

体や、磁気外乱の影響を受けやすい標準 API と比較して、RMSE を大幅に抑制できることを示した。

今回の実験では歩行距離が比較的短かったため、ジャイロ主体の API が良い結果を示したが、本手法は長距離歩行で問題となる累積誤差を解消するメカニズムを持つ点で優位性がある。以上のことから、本手法は磁気外乱と累積誤差が混在する現実的な屋内環境において、安定した方位推定を実現するための頑健なアプローチであると言える。

今後の課題としては、初期方位の自動設定メカニズムの実装や、より多様な環境に対応するためのパラメータ自動最適化手法の検討が挙げられる。

6. 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.
- [2] Harle, R. "A survey of indoor inertial positioning systems for pedestrians." IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 15, no. 3, pp. 1281-1293, 2013.
- [3] Jiménez, A., Seco, F., Prieto, C., and Guevara, J. "A comparison of pedestrian dead-reckoning algorithms using a low-cost MEMS IMU." in 2009 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, pp. 37-42, IEEE, 2009.
- [4] Evennou, F. and Marx, F. "Advanced integration of WiFi and inertial navigation systems for indoor mobile positioning." EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2006, pp. 1-12, 2006.
- [5] Liu, X., Xie, K., Wang, Q., Li, Y., Deng, Z., and Li, Y. "A survey of magnetic-field-based indoor localization." Electronics, vol. 11, no. 6, p. 864, 2022.
- [6] Haverinen, J. and Kemppainen, A. "Global indoor self-localization based on the ambient magnetic field." Robotics and Autonomous Systems, vol. 57, no. 10, pp. 1028-1035, 2009.
- [7] Li, Y., Zhao, J., Chen, X., et al. "Analysis and correction method of magnetic disturbance in indoor magnetic field-based positioning systems." Sensors, vol. 22, no. 11, p. 4014, 2022.
- [8] Gozick, B., Subbu, K. P., Dantu, R., and Maeshiro, T. "Magnetic maps for indoor navigation." IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 60, no. 12, pp. 3883-3891, 2011.
- [9] Kim, S. E., Kim, Y., Yoon, J., and Kim, E. S. "Indoor positioning system using geomagnetic anomalies for smartphones." in 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 1-5, IEEE, 2012.
- [10] Wang, G., Zhang, S., and Liu, M. "Dynamic compensation for environmental magnetic interference in pedestrian dead reckoning using mems sensors." in 2021 40th Chinese Control Conference (CCC), pp. 4913-4918, IEEE, 2021.
- [11] Galván-Tejada, C. E., García-Vázquez, J. P., and Brena, R. F. "Magnetic field feature extraction and selection for indoor location estimation." Sensors, vol. 14, no. 6, pp. 11001-11015, 2014.
- [12] Wu, J., Li, Y., Deng, Z., and Li, Y. "Real-time magnetometer disturbance estimation via online nonlinear programming." IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 66, no. 6, pp. 4405-4415, 2019.
- [13] Chen, H., Huang, P., Martiskainen, M., and Gilbert, N. "Intelligent geomagnetic indoor positioning system." Electronics, vol. 12, no. 10, p. 2227, 2023.
- [14] Li, Y., Wu, J., Deng, Z., and Li, Y. "Magnetic disturbance detection for smartphone-based indoor positioning systems with

unsupervised learning." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 71, pp. 1-10, 2022.

[15] Yang, Z., Wu, C., and Liu, Y. "Locating in fingerprint space: Wireless indoor localization with little human intervention." in *Proceedings of the 18th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 269-280, 2012.

[16] Jung, J., Lee, S. M., and Myung, H. "Indoor mobile robot localization and mapping based on ambient magnetic fields and aiding radio sources." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 64, no. 7, pp. 1922-1934, 2015.

[17] Robertson, P., Angermann, M., and Krach, B. "Simultaneous localization and mapping for pedestrians using only foot-mounted inertial sensors." in *Proceedings of the 11th International Conference on Ubiquitous Computing*, pp. 93-96, 2009.

[18] Chen, Z., Zou, H., Jiang, H., Zhu, Q., Soh, Y. C., and Xie, L. "Fusion of WiFi, smartphone sensors and landmarks using the Kalman filter for indoor localization." *Sensors*, vol. 15, no. 1, pp. 715-732, 2015.

[19] Shu, Y., Bo, C., Shen, G., Zhao, C., Li, L., and Zhao, F. "Magicol: Indoor localization using pervasive magnetic field and opportunistic WiFi sensing." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 33, no. 7, pp. 1443-1457, 2015.

[20] Wu, J., Li, Y., Deng, Z., and Li, Y. "Magnetic vector calibration for real-time indoor positioning." in *Proceedings of the 2020 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pp. 1-8. IEEE 2020.