

屋外環境での加速度による停止検出と地磁気による方向検出 を利用したGPSの取得回数の低減による省電力化

宮本 港斗¹ 中里 聖¹ 串田 高幸¹

概要: IoT 機器の普及により GPS を利用したゲームや歩行ルートの記録, 位置特定を行うアプリケーションが増えている。しかし, GPS による継続的な通信は消費電力が高いという課題がある。そのため提案方式では加速度センサと地磁気センサを用いて GPS に取得条件設をけて位置情報の取得頻度の低減を行う。加速度センサでは停止時の判定を行い, 地磁気センサでは曲がった際の判定を行う。これらを GPS の取得条件とし, 通信回数の低減を行い, 省電力な位置測位を行う。本研究は歩行者が歩いた軌跡をマッピングアプリにて知りたい場合を想定する。約 350[m] の歩行を行い, 複数回の停止と道なりに約 180 度曲がり, GPS での位置情報の取得を行った。加速度センサでの停止と地磁気センサでの曲がりは検知できたが, 個人差により, 正しく検知できないという課題が残った。結果として GPS の取得回数の低減が行えたことから省電力化はできているが, 使用したデバイスの関係で非使用時と測定時の GPS の電力の差は見られなかった。測位の結果, 最小誤差 3[m], 最大誤差 10[m] となった。

1. はじめに

背景

GPS(Global Positioning System) は, 地球上の任意の場所で正確な位置情報を提供する衛星ベースの測位システムのことである。GPS は地球軌道上を周回する一連の衛星からの信号を使用している。これらの衛星は特定の軌道を通り, 地球上において様々な場所から GPS 受信機が複数の衛星信号を受信できるように配置されている。これにより複数の衛星が発信する信号を使用して, ユーザーの位置や移動経路を高精度に測定することが可能となっている。

GPS 技術の進歩により, GPS の価格や大きさが縮小されあらゆる企業や家庭に使用されるようになった [1]。今では, 移動分析にとって最も重要なセンサーの 1 つとなっている [2]。GPS を用いることで, 人や物体の位置を推定することが容易になっている。モバイルデバイスや車のナビに搭載された GPS は利用者の位置を追跡し, 地図アプリやナビゲーションアプリに活用されている [3]。これにより日常生活において広範囲で, かつ必要不可欠な役割を果たしている。GPS により位置情報を用いたサービスが一般的になり, GPS 付きモバイルデバイスの増加に伴い位置情報サービス (LBS:Location-Based Services) へのニーズが高まっている [4]。だが, 位置情報を取得するために GPS の取得

頻度を上げることはデバイスの消費電力を増大させる要因となっている [5]。GPS が与える消費電力の増加は, 使用されるデバイス, GPS チップ, および使用条件によって異なる。そのため, 一般的に GPS の使用はデバイスのバッテリー寿命に影響を与えることが知られている [6]。

課題

GPS の省電力な位置測位に対する課題として, 次の二つが挙げられる。GPS 使用時の消費電力の削減と GPS の位置情報の正確さである。GPS は位置情報を取得するには衛星から電波を受信する必要があるが, 継続的な電波の受信は消費電力が高くなる傾向にある。本稿と同様のマイコンボードと GPS モジュールを使用している, 田中風助らの研究によると ESP32 の電流は約 40[mA] であり, GPS モジュールの電流は 50[mA] であることから, GPS モジュールの出力電流が高いことが分かる [7]。そのためモバイルデバイスのバッテリーの寿命に影響を及ぼしてしまう。屋外環境での測定において, 一般的なスマートフォンは GPS を継続的に使用すると約 6 時間でバッテリーを完全に消費してしまう [8]。GPS による通信は消費電力が高いことから, その解決策として GPS の取得回数の低減が考えられる。図 1, 図 2 は東京工科大学の敷地内で約 350[m] の歩行を行い, GPS で取得した位置情報を Google が提供する Google map にて表示したものである。図 1 は GPS での継続的な受信での位置情報を表示したものである。図 2 は GPS の

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

受信回数を減らしたものである。これらと比べると、図 1 では GPS を継続的に受信したため歩行者がどのルートでどのように歩いたかが一目で分かる。しかし、図 2 では歩行者がどのルートを歩いたのか、どこを進んでいるのかが一見わからない。また、位置情報の取得回数が、図 1 では 227 回、図 2 では 4 回であることから、図 1 は 2 に比べ消費電力が高いことが推測される。このことから、GPS の取得頻度と消費電力はトレードオフの関係にあることが分かる。そのためデバイスの消費電力量を削減しつつ、歩行者の移動軌跡がわかるような位置測位の手法が求められる。



図 1 GPS の継続的な通信



図 2 GPS の低頻度の通信

各章の概要

第 2 章では、関連研究について紹介する。第 3 章では提案方式の説明と基礎実験、ユースケース・シナリオについて説明する。第 4 章では提案方式を用いた実装と実装方法について説明する。第 5 章では評価実験と実験結果について

説明する。第 6 章では、本研究についての議論を述べる。第 7 章では、本研究のまとめを述べる。

2. 関連研究

スマートフォンアプリケーション向けのレート適応型測位システムである RAPS を使用し GPS の省電力化を図っている [6]。RAPS がユーザーの位置と時間の履歴を使用してユーザーの速度を推定し、位置の不確実性が精度の閾値を超えた場合にのみ GPS をオンにする。また Bluetooth 通信を利用し、デバイス間の不確実性を軽減する。またセルタワー RSS ブラックリストというものを使用し、GPS が使用できない状況を検出し、GPS がオンになる誤検知を回避している。これにより GPS が常にオンになっている状態と比較し電話機の寿命を 3.8 倍以上伸ばす事ができた。この研究は都市部での利用を想定しており、通信が行えない郊外では GPS の起動に対し影響を及ぼすとされる。また RAPS を使用すると、過去のデータを集めておく必要がある。

GPS 利用の頻度が高いアプリケーションは、ユーザーのスマートフォンから多くの電力を消費するという問題が生じている [9]。この研究ではエネルギー効率の向上を図りながらも、精度を維持したままユーザーの位置情報を取得するための新しいアプローチを紹介している。ユーザーのモビリティ情報やスマートフォンに搭載された加速度計、磁力計、ジャイロスコプなどのセンサーデータを活用し、継続的な GPS 利用なしでユーザーの現在位置を把握する手法を提案している。この研究では、状況に応じて複数のセンサを用いるため GPS 非使用時の消費電力が多少高くなってしまう。

GPS の頻繁な利用はバッテリーの激しい消耗を引き起こし、制限を受けている。この課題に対処し、バッテリーの消耗を最小限に抑えつつ、動的な位置精度の要件に適応する位置情報サービスが求められている [10]。この研究では適応型位置情報サービスである a-Loc の設計とプロトタイプの実験が行われた。a-Loc は、動的な精度要件を自動的に決定し、ユーザーの移動に合わせて位置精度とセンサーのエラーを調整する。実験の結果、a-Loc はエネルギーを節約するだけでなく、複数のセンサーを活用することで精度も向上させることが示された。これにより、a-Loc はユーザーの位置情報の取得において、エネルギー効率と高い精度の両立を達成している。だが a-Loc は省電力に重きを置いており、精度が良くない。そのためセンサの精度に依存する。

3. 提案

提案方式

本稿では加速度センサ及び地磁気センサを用いて GPS に取得条件を設けて位置情報の取得頻度の低減をし、歩いた軌跡としての位置情報を提供する。操作の仕方を図 3 と

図4に表す。図3の加速度センサでは停止しているかの判定を行い、停止した場合GPSを取得する。次に図4の地磁気センサでは方向検出を利用し曲がったかの判定を行い、曲がった際にGPSを取得する。これらをGPSの取得条件とし取得回数の低減を行う。停止と曲がりを測定の判定とする理由は、歩行に対し曲がる際にGPSを取得しなければ、軌跡が壁を貫通したような跡になってしまう可能性があるため、曲がる際を判定とする。停止においては、曲がった時だけでは位置情報として情報不足になると考えられるのと、人は停止を繰り返し行うため停止を判定とした。また、加速度センサにおいて継続的な直線での移動時においても判定としようとしたが、停止と曲がり検知できれば歩いた軌跡としての測位は可能であると考えられるため、直線での移動時の判定は除外する。

基礎実験

各センサがどのような値を取っているのか、また本稿の提案に使用できるのかの基礎的な実験を行った。

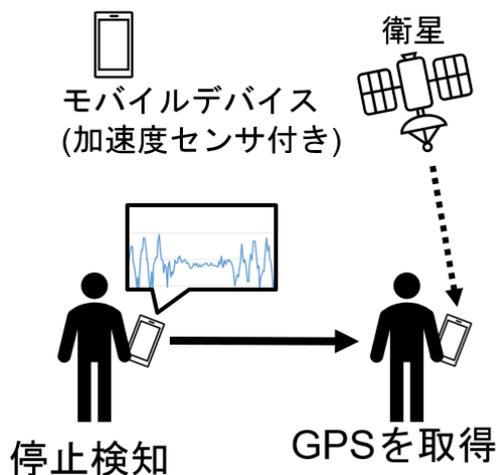


図3 加速度センサによるGPS取得の判定



図4 地磁気センサによるGPS取得の判定

加速度センサ

停止時の判定を行うために加速度センサから得たデータで停止状態が判定できるのか実験を行う。

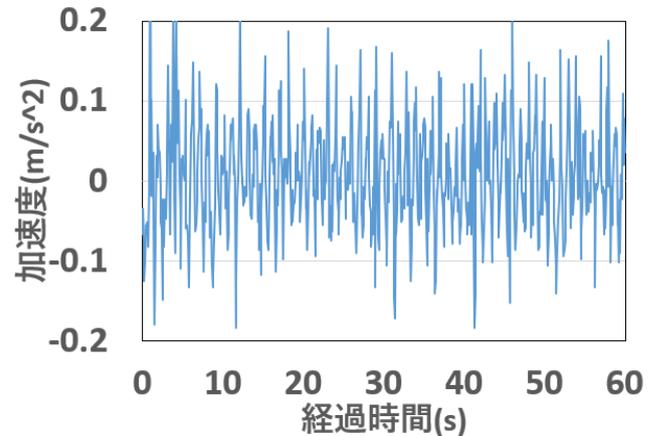


図5 加速度センサの歩行時の値(X軸)

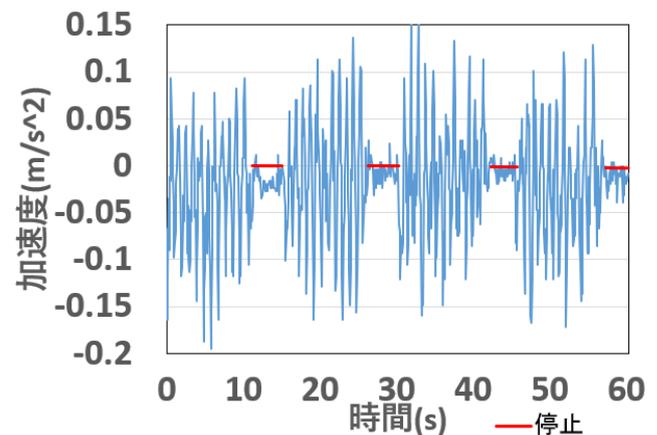


図6 加速度センサの歩行と停止時の値(X軸)

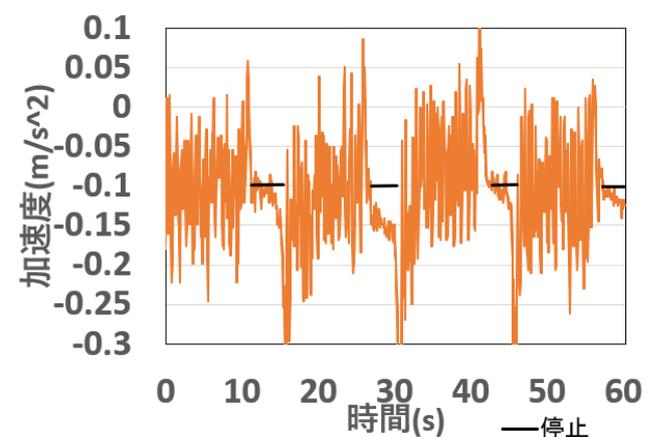


図7 加速度センサの歩行と停止時の値(Y軸)

図5は歩行した約1分間のデータを示したものである。歩行時の加速度センサの値は動きが大きいため歩行の

最中であるという事が分かる。図 6, 図 7 は 10 秒間歩行してから 5 秒間の停止を 4 回繰り返しを行い, 約 1 分間の X 軸と Y 軸のデータを示したものである。歩行時に対し停止時は加速度センサからの値が比較的小さいことから, 歩行時と停止時には大きな差がみられるため停止を判断することができる。また, 数回計測したところ X 軸と Y 軸の平均値が約 $\pm 0.05[m/s^2]$ であり, 図 6 から停止時の値が $\pm 0.05[m/s^2]$ に収まっていることから, この値を停止時の閾値とする。Y 軸は停止後に大きな数値の変動がみられるが, 測定時に Y 軸を正面にしたため手の揺れでデバイスが傾いたためこのような数値となったと考えられる。また, この閾値で実験を行ったところ両軸を含め 8 割の割合で停止を判定できた。完全に停止を判定できなかった理由として, 実験時, 風の影響を強く受けたのと, 人間も完全に止まることができないために, 検知できなかったと考えられる。

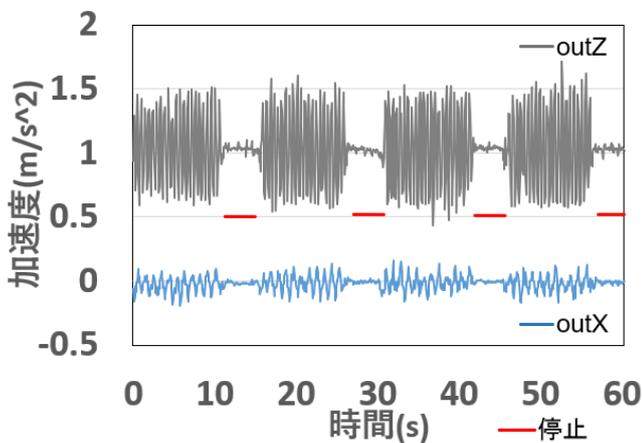


図 8 加速度センサの歩行と停止時の値 (X 軸, Z 軸)

図 8 は X 軸と Z 軸の停止時のデータを示したものである。測定時の Z 軸は地面に対し垂直であるため常に重力加速度が掛かっている。これを見ると X 軸よりも値が大きく, 実験で閾値の $\pm 0.05[m/s^2]$ では停止を完全には判定できなかったため, Z 軸は停止の判定から外すものとする。

地磁気センサ

方向を求めるために地磁気センサからのデータを取得する。地磁気センサは地球の磁場を検出することができる。主に 3 軸の地磁気成分を計測し, デバイスの方向や傾きを推定する。しかし, 製造上のばらつきや外部磁場の影響によりセンサの値に補正が必要な場合がある。

図 9 はセンサを Z 軸を基準とし, 360 度回転させたときの X 軸と Y 軸から角度を算出したの散布図である。計測された値から綺麗な円ができていたため地磁気センサからの値が取得できたとわかる。だが, 中心からずれているためそのまま測定すると方位を算出する際に正確な値が取得できない。そのため測定開始前に地磁気センサを上下左右

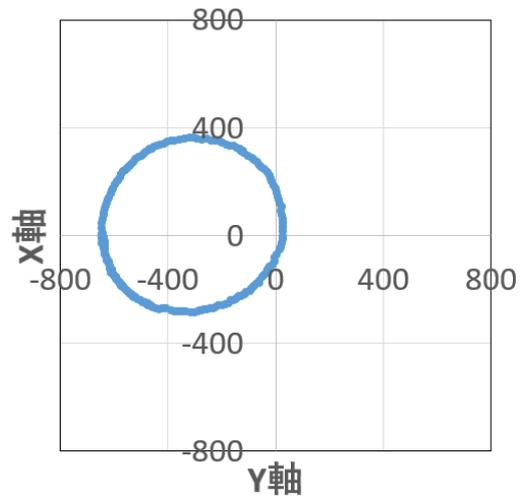


図 9 キャリブレーション前の X 軸と Y 軸の散布図

に動かし, キャリブレーションを行いセンサの値を補正する必要がある [11].

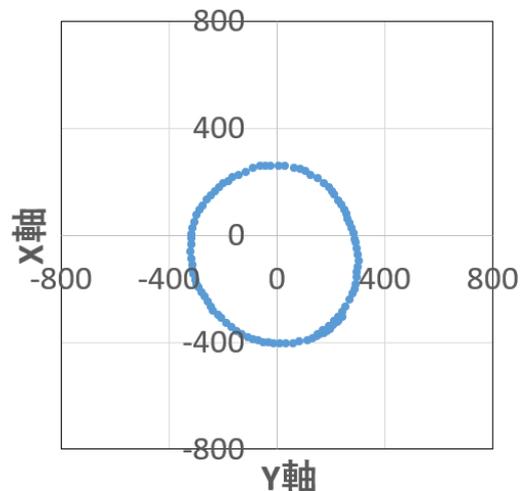


図 10 キャリブレーション後 X 軸と Y 軸の散布図

図 10 はキャリブレーションを行った後の散布図である。図 9 と比べると円が中心に近づいていることからキャリブレーションにより値が補正されていることが分かる。これにより正確に方向を検出することができる。

GPS

位置情報が正確であるかを確認するために GPS からデータを取得する。GPS データが屋外環境においてどれほどの精度であるかを確認するため静止した状態で GPS を配置し位置情報を測定する。

図 11 は東京工科大学内の衛星信号が十分に届く場所で静止時の位置情報を約 60 回計測したものを Google map をにて表したものである。図の赤い点が計測をした場所である。結果から静止した状態でも安定した位置情報を取得することができたが, 信号や環境の影響により一部ずれて



図 11 GPS の誤差検証

いる所が見られた。また複数回計測したところ実測値からの誤差は最小誤差 0[m], 最大誤差 9[m] となった。

ユースケース・シナリオ

GPS に取得条件を設けた位置測位のユースケース・シナリオとして衛星が十分に届く環境でハイキングを行っている人を想定する。ユーザーはスマートフォンを携帯しているものとし、歩いた軌跡を記録するために使用する。図 12 は既存手法と提案手法を比べたものである。通常であれば位置を調べる際 GPS 機能で継続的な通信を行い現在の位置を調べるが、電力の消費量が高くなってしまふ。それにハイキングの最中は遭難する可能性があるためデバイスのバッテリーの消費は抑えたい。そのため提案方式を用いることにより電力の消費が抑えられ、省電力な測位が可能となる。また本稿では GPS で歩いた軌跡の記録を行っているが、測定と同時にマップに表示するアプリケーションの製作ができれば、現在の位置を調べつつ省電力な位置測位が可能であるため、より実用的になる。

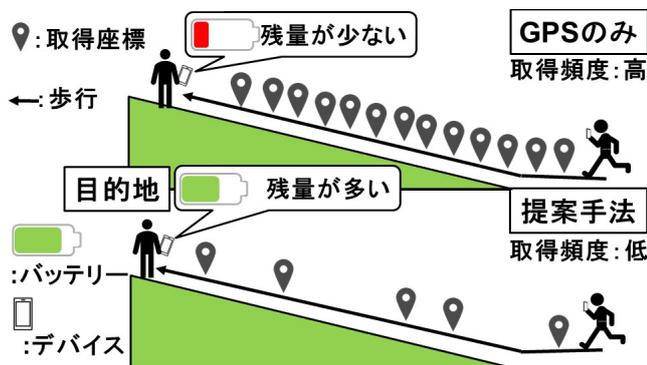


図 12 既存手法と提案手法

4. 実装

加速度センサ, 地磁気センサ, GPS でデータを取得し, 取得したデータを基にマッピング機能をもったアプリでマッ

ピングを行う。図 13 は本稿の実装の流れを表したものである。ユーザーの歩行をデバイスの加速度センサと地磁気センサで数値としてデータを取得する。歩行に対して停止または曲がりが出された場合 GPS を 1 回取得する。停止の判定方法は値が閾値 $\pm 0.05[m/s^2]$ 以上であれば値を更新し歩行とする。そして値が約 1 秒間, 閾値以内の数値に留まれば, それを停止と判定する。次に曲がりの判定方法は, センサから算出した方位を正規化し, 曲がった角度を足していき, 値が閾値 ± 90 度に達した場合, それを曲がったと判定する。そして測定した位置情報をマッピングアプリにてマッピングを行い歩行した軌跡を可視化する。

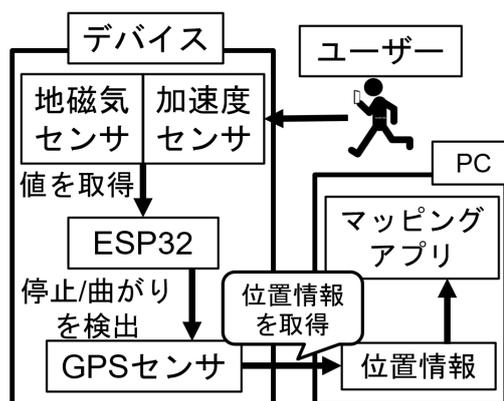


図 13 実装の流れ

5. 評価実験

実験環境

実験環境として ESP32 と加速度センサ (AE-LIS3DH), 地磁気センサ (GY-271[QMC5883L]), GPS(GT-902MPGG), を使用し, MicroPython にて実装した。また電力の測定として INA219 を使用した。

- ESP32
ESP32 は、エレクトロニクスおよび IoT アプリケーションにおいて広く使用されているマイクロコントローラの一つである。本稿ではモバイルデバイスとして使用した。
- AE-LIS3DH
STMicroelectronics が製造した 3 軸加速度センサである。小型で低消費電力かつ高精度な加速度データを提供する。実験では移動における停止を検出するために使用し, GT-902MPGG で GPS を取得する条件の一つとして使用した。
- GY-271(QMC5883L)
QMC5883L と呼ばれる 3 軸磁力センサ (地磁気センサ) を搭載したモジュールである。低消費電力で高精

度な地磁気データを提供する。実験では歩行時における曲がりを検出するために使用し、GT-902MPGGでGPSを取得する条件の1つとして使用した。

- GT-902MPGG

GNSS(Global Navigation Satellite System)をサポートしており、GPS、GLONASS、Galileoなどの複数の衛星からの信号を利用して位置情報を提供する [12]。実験では歩行時に AE-LIS3DH の加速度センサで停止を検知した場合、GY-271 の地磁気センサで曲がりを検知した際に GPS で位置情報を取得するために使用した。

- INA219

Texas Instruments が製造した電流および電圧の計測とモニタリングに使用される高精度な集積回路。主に電力モニタリングや電流センシングなどのアプリケーションに適している。実験では GPS の非使用時と稼働時の電力の測定に使用した。

- MicroPython

Python 言語をベースにした組み込みシステム向けの軽量なプログラミング言語、及び実験環境である。本実験の実験環境として使用した。

図 14 は本稿で使用したモバイルデバイスの例である。左から順に①が加速度センサ (AE-LIS3DH)、②が地磁気センサ (GY-271)、③が GPS (GT-902MPGG)、④が ESP32 である。実験は図 14 の左側を正面として持ち、加速度センサは Y 軸が正面とし、左右は X 軸とした。地磁気センサは正面を X 軸とし、左右を Y 軸として実験を行った。また、①の加速度センサと②の地磁気センサの軸の向きが違う理由として、センサのピンとブレッドボードに配置する関係で、軸の方向を揃えることができなかったためである。

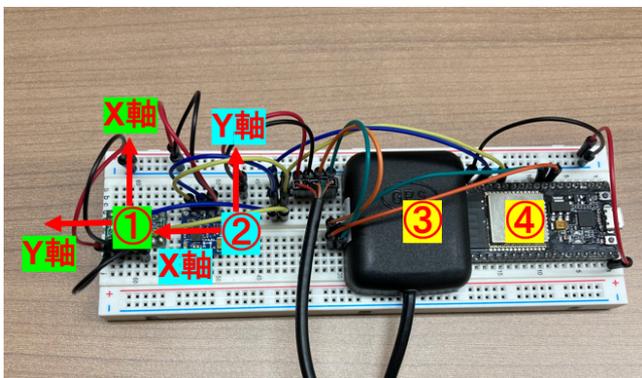


図 14 実験機器

実験方法

本提案はハイキングの最中を想定とするため、実験は衛星信号が十分に届く屋外で行った。評価方法の流れと、GPS の取得を行う場所を Google map のマイマップを使用し、図 15 をもとに説明する。まず、①で測定開始時の位置を測定する。②で歩行を行い、2 か所で停止時の判定と測定を行う。③で道なりに約 90 度で 2 回曲がった時の判定と測定を行う。④で歩行の最中に停止を 3 回行い、停止時の判定と測定を行う。最後に、⑤で終了時に測定を行う。停止は開始と終了時を合わせ計 7 回、曲がりには計 2 回の判定と測定を行い、それぞれの基準値からの誤差と誤検知の回数を評価指標とした。また図 15 の測定を行う場所を、実験での誤差を比較する際の基準値とする。

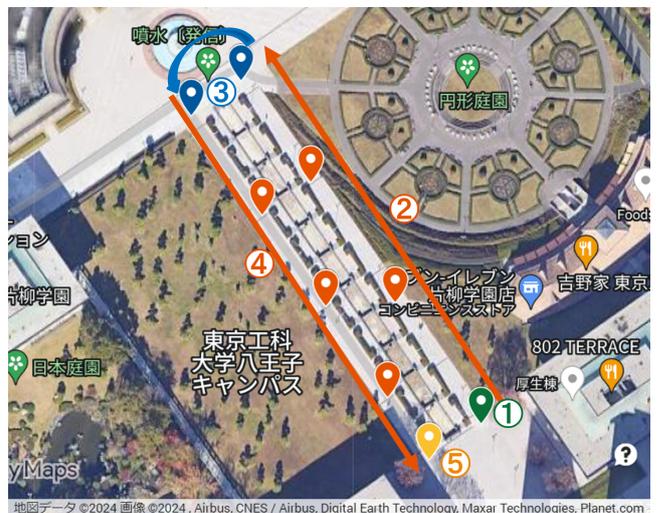


図 15 実験の方法と基準値

実験結果と分析

実験結果を表 1 に表す。加速度センサと地磁気センサで、それぞれ基準となる場所での停止と曲がり判定は正しく行うことができた。また、これらの位置測定に対し、最小誤差は 3[m]、最大誤差は 10[m] となった。停止は測定者の止まる時間が 2 秒程度あれば停止と判定できた。実験では判定できているが、その場の自然環境や個人差により判定が行えないか、時間がかかる可能性があると考えられる。曲がりは、今回の実験では 90 度を曲がる判定の閾値としたが、別実験で 30 度、45 度を判定としたとき、180 度の曲がりでも 1~3 回ほど検知できなかった。これは曲がる際の閾値やプログラムと地磁気センサの誤差、キャリブレーションの補正不足により、曲がり正しく検知できなかったと考えられる。

図 16 は Google map のマイマップを使用し、図 15 の測定を行う場所に GPS の実測値を含めたものである。追加された水色のマーカーが実測値であり、ある程度歩行者が歩いた軌跡が読み取れる。また、図 1 に対し、GPS の取得

表 1 実験結果

| | 加速度センサ | 地磁気センサ | 計 |
|------|--------|--------|---------|
| | | | (単位: 回) |
| 判定基準 | 7 | 2 | 9 |
| 判定回数 | 7 | 2 | 9 |
| | 最小誤差 | 最大誤差 | (単位: m) |
| GPS | 3 | 10 | |

回数が9回まで少なくできたため、本提案での省電力な測位は可能であると考えられる。



図 16 取得位置と実測値

6. 議論

今回 GPS に取得条件を設けて位置測位を行った結果、GPS の取得回数を 227 回から 9 回にまで削減でき、必要最低限の取得回数で位置測定を行うことができた。だが、個人差により停止と曲がり角が正しく判定できない可能性がある。これに対し停止は、値が閾値内であれば、閾値を一時的に大きくして完全な停止なのかを判定させる。曲がり角は閾値を小さく設定させるかプログラムの見直しを行い、それぞれの個人差を無くしていきたい。また、図 16 のように取得座標の数が少なく、省電力な位置測位はできているように見えるが、実際には使用している消費電力は GPS をデバイスにつないでいる状態の非使用時と変わらない結果となった。これは今回使用した GPS モジュールにスリープ機能のオンオフや AT 文による制御が不可能であったため、非使用時の電力操作が行えなかったからである。そのため、形として GPS の取得回数の低減は行えているが、省電力の観点ではできていないため不完全な結果となった。そのためスリープ機能が搭載されている GPS モジュールを用いることで本提案手法での省電力な位置測位が可能である。だが、スリープ機能を搭載しても取得に時間がかかることから、事前に判定の行動を予測して GPS を起動させるなどの課題があると考えられる。

7. おわりに

本稿の課題として、GPS での位置測位を行う際に、デバイスにかかる電力消費量が多いという点を挙げた。また、GPS の取得回数を落とせば省電力化が可能だが、それだと GPS の精度も課題となってしまう。そのため、GPS の取得回数を落とし、かつ省電力な位置測位を行う手法が求められた。これに対し、加速度センサと地磁気センサで GPS に取得条件を設けて位置情報の取得回数の低減を提案した。加速度センサでは停止時の検知、地磁気センサでは曲がった時の検知を行い、この二つを GPS の取得条件とした。停止と曲がり、どちらも正しく検知できたが、ユーザーやその場の環境においては正しく検知ができない可能性がある。だが、本提案を用いることで GPS の取得回数を通常より少なくできたことから、多少の誤差は見られるが、省電力な位置測位は可能であると言える。

参考文献

- [1] Kumar, S. and Moore, K. B.: The evolution of global positioning system (GPS) technology, *Journal of science Education and Technology*, Vol. 11, pp. 59–80 (2002).
- [2] Ranacher, P., Brunauer, R., Trutschnig, W., Van der Spek, S. and Reich, S.: Why GPS makes distances bigger than they are, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 30, No. 2, pp. 316–333 (2016).
- [3] Abbott, E. and Powell, D.: Land-vehicle navigation using GPS, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 87, No. 1, pp. 145–162 (1999).
- [4] 高梨郁子, 石渡要介, 斎藤謙一, 久永聡, 田中聡, 山路晃徳, 秋間文和ほか: 屋内ナビゲーションシステムの一考察, 情報処理学会研究報告高度交通システム (ITS), Vol. 2006, No. 22 (2006-ITS-024), pp. 87–92 (2006).
- [5] 瀬古俊一, 八木貴史, 茂木学, 武藤伸洋: GPS の消費電力軽減にむけた気温情報を用いた屋内外移動タイミング推定手法, 電子情報通信学会技術研究報告; 信学技報, Vol. 110, No. 450, pp. 131–136 (2011).
- [6] Paek, J., Kim, J. and Govindan, R.: Energy-efficient rate-adaptive GPS-based positioning for smartphones, *Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services*, pp. 299–314 (2010).
- [7] 田中風助, 杉本一彦, 串田高幸: 自律航法に基づく GPS 通信回数の低減による IoT デバイスの省電力な測位, クラウド・分散クラウド研究室, CDSL-TR-053 (2021).
- [8] Zaman, N. and Almusalli, F. A.: Smartphones power consumption & energy saving techniques, *2017 international conference on innovations in electrical engineering and computational technologies (ICIEECT)*, IEEE, pp. 1–7 (2017).
- [9] Dutta, J., Pramanick, P. and Roy, S.: Energy-efficient GPS usage in location-based applications, *Information and Decision Sciences: Proceedings of the 6th International Conference on FICTA*, Springer, pp. 345–353 (2018).
- [10] Lin, K., Kansal, A., Lymberopoulos, D. and Zhao, F.: Energy-accuracy trade-off for continuous mobile device location, *Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services*, pp.

285–298 (2010).

- [11] Yu, X., Wang, Y., Xiao, C., Liu, S., Zong, Q., Qu, Y., Chen, H., Zou, H., Shi, W., Chen, A., Song, S., Gao, S. and Shao, S.: A Practicable Method for Calibrating a Magnetic Sensor Array, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 70, pp. 1–6 (online), DOI: 10.1109/TIM.2021.3075032 (2021).
- [12] Hegarty, C. J.: GNSS signals—An overview, *2012 IEEE International Frequency Control Symposium Proceedings*, IEEE, pp. 1–7 (2012).