

# 距離センサ及び地磁気センサを用いた IoT デバイスの測位手法

梅田 拓哉<sup>1</sup> 串田 高幸<sup>1</sup>

**概要:** 本実験では屋内における精度の高いデバイスの位置測位を目的とする。屋内でデバイスの位置を特定する場合、BLE の RSSI によって測位する方法がある。しかし、BLE を用いて位置測位した際の誤差が 1~2.4(m) 程度発生する。本提案では、距離センサと地磁気センサを用いて壁からの距離とデバイスの向きを取得する事で精度の高いデバイスの位置測位を行う。計測した結果と実際の位置との誤差を基に評価を行うこととする。585cm×267cm の部屋で 100 回計測を行った結果、平均で X 軸方向に約 37.93cm, Y 軸方向に約 37.14cm まで誤差の改善をする事が出来た。

## 1. はじめに

### 背景

近年、モノをインターネットへの接続やモノ同士を接続させる IoT(Internet of Things) 技術の進歩や普及により、日常生活の中でモノの操作を遠隔で行う場面における IoT 技術の活用が増加している [1]。また、屋内における IoT デバイスの位置測位を可能にすることで、デバイスの管理や制御における効率の向上を実現させることが可能になる。屋内において位置測位を行うための手法として BLE や RFID を使用する技術がある [2] [3]。BLE においては配置する難易度や導入コスト、消費電力の低さから採用されることが多い。

### 課題

屋内において IoT デバイスの位置を特定を行う場合、障害物が多いことからワイヤレス信号が障害物と衝突することで電波が弱まり正確な位置測位を行う事は困難であるという課題がある。図 1 は BLE ビーコンから信号が放たれた際、途中で障害物があることで信号が弱まり正確に受信出来なくなることを表した図である。このように BLE では、障害物によって電波が弱まり約 1~2.4(m) 程度の誤差が生じる [4]。それにより対象の正確な位置測位を行えないという課題がある。このことから本研究における精度の高い位置測位という目的として適さない。



図 1 障害物により BLE ビーコンからの信号が弱まるイメージ図

### 各章の概要

第 2 章では、関連研究として屋内における位置測位に関する研究を紹介する。第 3 章では、本研究の提案方式並びにユースケースシナリオについて述べる。第 4 章では第 3 章にて提案した実験の実装及びその方法について述べる。第 5 章では結果の評価と分析について述べ、第 6 章では本論文で提案した手法についての議論を述べる。第 7 章では本実験のまとめを行う。

## 2. 関連研究

関連研究では、屋内における位置測位についての研究、提案手法について述べる。

Macagnano らは IoT に関連して利用できる理論的およびローカリゼーションアルゴリズムツールへの参照について述べた。この論文では無線通信による屋内での正確な測位は依然として課題があると述べている。そこで、数学的観点から一般的で最もパフォーマンスの高いローカリゼーション手法のクラスを確認し、ワイヤレスシステムでの位

<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

置情報の利点について述べている [5].

Petros Spachos らは、博物館や美術館では個人的に興味の無い展示物が多い場合や、館内が広いことで目的の展示物の場所へ行くことが出来ない事が課題であると述べている。そこで、インタラクティブな IoT ベースのスマート美術館での屋内測位のための BLE ビーコンを用いた測位手法を提案した。この実験ではビーコン間の距離が 50cm 以内の場合、高精度の位置推定が可能であったが 1m 離れた場合は精度が低下するという結果であった [6].

Alessio De Angelis らは IoT アプリケーション向けのハイブリッド屋外/屋内測位システムについての研究を行った。屋内測位の課題を解決するために RFID を使用する手法があるが、そのシステムは屋内及び都市におけるマルチパスによって強く制限されると述べた。そこで彼らは全地球的航法衛星システム (GNSS) と時期測位システム (MPS) を組み合わせ他測位システムについて提案した。実験の結果、推定位置と調査位置との誤差平均が 79cm となった。 [7].

Kais Mekki らは BLE テクノロジーと MQTT プロトコルに基づく IoT デバイスの屋内測位システムについての研究を行った。著者らは屋内測位問題がまだ解決されていないことについて述べ、その問題を解決するための手法を提案している。このシステムは BLE ビーコンを用いてモバイルデバイスの位置を RSSI 技術と三辺測量法を用いて推定する手法を提案した。この手法では、1.5m 未満の精度まで改善する事が出来たという結果になった。 [8].

Lee らは家庭での IoT デバイスの急増に伴い、多くの IoT サービスシナリオがあるが、適切なタイミングで適切なサービスを提供するための課題があると述べている。そこで、家庭用 IoT アプリケーション向けの屋内測位システムの構築についての研究を行った。家庭用屋内システムはスマートフォンなどのモバイルデバイスの位置情報を家庭環境での位置ベースの IoT アプリケーションに提供する測位システムある。この研究では Wi-Fi 信号を使用して HIPS を構築する方法とアルゴリズムを提案した。この手法では測位精度が 1~1.35m まで向上するという結果になった [9].

### 3. 提案方式

#### 3.1 基礎実験

提案方式で挙げた手法を実現させるため、距離センサと地磁気センサのそれぞれを使用した基礎実験を行った。

##### 3.1.1 距離センサ

実験に使用する距離センサとして、超音波距離センサモジュールである HC-SR04 を用いた。このセンサは、発射された超音波の反射時間を利用して物体までの距離を測定するモジュールである。本実験では、後述する地磁気センサを基に、北を UP、南を DOWN、東を LEFT、西を RIGHT、として 4 方向を決定し、デバイスから壁までの距離を計測

した。結果は北側以外は適切に距離を計測することが出来た。北側に関しては、超音波が届く範囲に障害物及び壁が存在しなかったため、適切な値を計測することは出来なかった。本センサを使用した実行結果を図 2 に示す。

```
>>> %Run -c $EDITOR_CONTENT
UP:2245cm
DOWN:191cm
LEFT:207cm
RIGHT:108cm
```

図 2 距離センサ実行結果

#### 3.1.2 地磁気センサ

本実験では、地磁気センサとしてデジタル 3 軸地磁気センサの HMC5883L を使用している。地磁気センサは地球による磁場を検知し、方位を求めるセンサモジュールである。このセンサで X 軸成分と Y 軸成分の値を取得する事で、デバイスが地磁気センサで導き出せる北を磁北としたとき方角 (角度) を算出することが出来る。図 3 は、この地磁気センサを 360 度回転させながら 50 回計測した結果の X 軸成分と Y 軸成分を基に、散布図を作成したものである。その結果、きれいな円を描く散布図が作成することが出来た。しかし、基準点が中心座標を外れた円を描いた散布図になってしまった。このままでは方位を正確に取得する事が出来ないため地磁気データのキャリブレーションを行った。

$$x' = x - \frac{\text{最大値} + \text{最小値}}{2} \quad (1)$$

$$y' = y - \frac{\text{最大値} + \text{最小値}}{2} \quad (2)$$

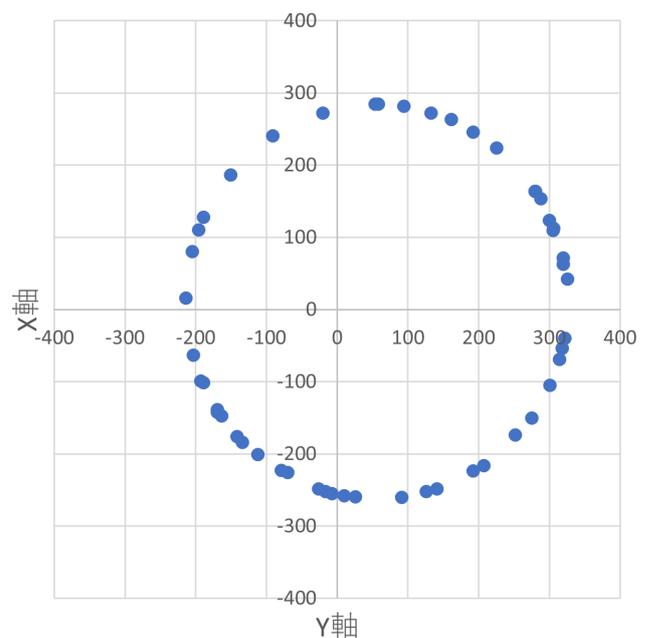


図 3 地磁気データの散布図

地磁気データのキャリブレーションは、式(1)(2)へ各X成分とY成分を代入し、再度散布図を作成する。その結果、図4のような中心座標を基準点とする円の散布図を作成することが出来た。

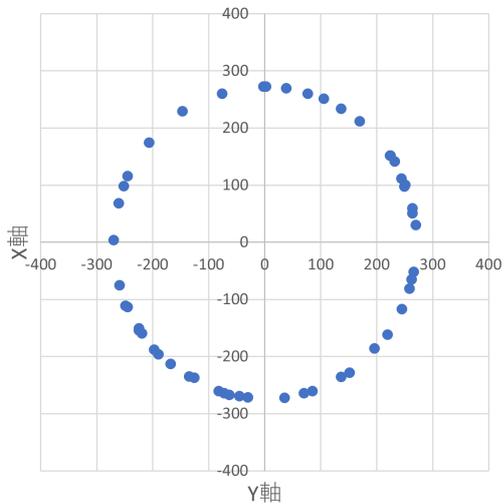


図4 キャリブレーション後

#### 提案方式

図5は本提案の概要を示している。本論文では精度の高いデバイスの位置測位を行うため、距離センサと地磁気センサを用いてデバイス位置測位を可能にする手法を提案する。本実験では、距離センサを4台用いる事でデバイスから壁までの4方向の距離を取得する。そして地磁気センサにてデバイスの向きを取得する。取得したデータを基に2

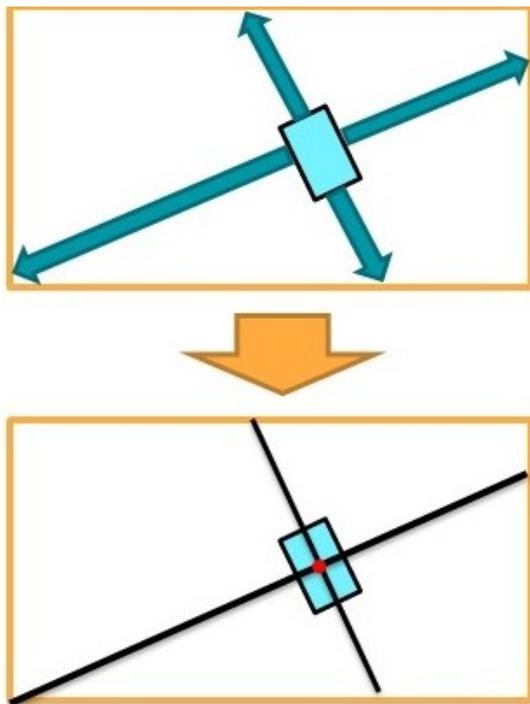


図5 本研究の概要イメージ

本の直線を作成し、その2直線が交差した箇所をデバイスの位置と決定する。

#### ユースケース・シナリオ

本研究はユースケースとして、住居の一室のような広さに制限のある屋内における家電のリモコンやスマートフォンのように置いた場所が不明になる事が多いデバイスを想定している。本提案方式を用いて部屋のどの位置に目的のデバイスがあるかを特定する事で日々の生活で目的の物が見当たらずストレスを感じる事や咄嗟に部屋から出る必要がある際、目的の物を探すことに時間を費やすという事が減少するメリットがある。ユースケースのイメージ図として図6を示す。



図6 ユースケースのイメージ図

## 4. 実装と実験方法

### 実装

本研究では超音波距離センサと地磁気センサ、IoTデバイスを使用した。IoTデバイスはESP-WROOM-32(以下ESP32と記す)を使用して行った。図7のように超音波距

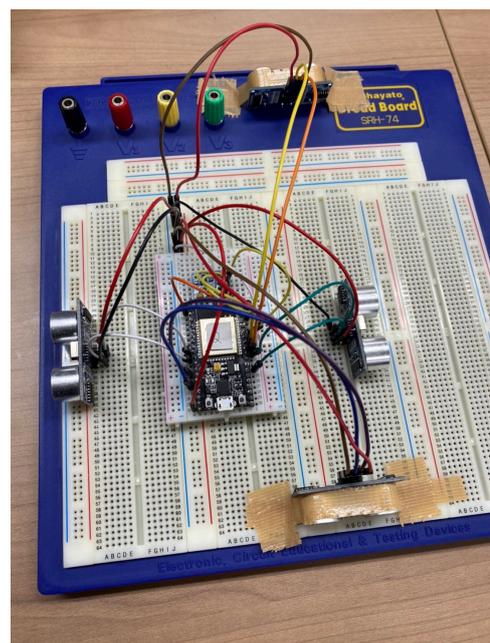


図7 実験デバイス

離センサは4台使用し、ESP32に対して4方向に1台ずつ配置した。

#### 4.1 座標を求めるために必要な値を取得するまで

本ソフトウェアの処理の流れを図8に示す。取得した地磁気データと距離データからデバイスの位置を算出するための式を示す。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{M_x}{M_y} \quad (3)$$

$$x = r \cos \theta \quad (4)$$

$$y = r \sin \theta \quad (5)$$

$$(y - y_1) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \quad (6)$$

本研究は地磁気データと距離データから極座標を取得し、その後直交座標へ変換する必要がある。式(3)は地磁気センサから取得した角度のデータを $\theta$ へ変換するための式である。変数 $M_x$ は地磁気センサにて取得したx成分を代入し、 $M_y$ はy成分を代入する。式(4)および式(5)は極座標を直交座標へ変換するための式であり、変数 $r$ は距離センサで取得したデバイスから壁までの距離の値を代入する。また、式(6)は求めた直交座標 $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ から直線の方程式を求める式となっている。

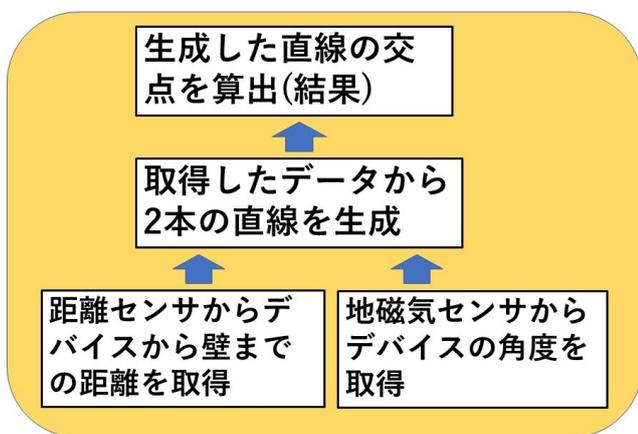


図8 システムの概要

#### 4.2 センサによる各値を取得した後の処理

距離センサと地磁気センサによって壁までの距離とデバイスの角度を取得した後の処理について箇条書きにして記述する。

- (1) 式(3)を利用し地磁気センサで取得したX成分とY成分の値を用いて $\theta$ を求める。
- (2) 求めた $\theta$ と4方向の距離データ、4.1の式(4)及び式(5)を用いて各方向の座標 $(x,y)$ を求める。

- (3) 算出した4方向分の座標 $(x,y)$ を実際の座標の値にするため、xに実験を行う場所の横の長さ(本実験では585cm)、yに縦の長さ(本実験では267cm)を足し平行移動させる。
- (4) 本実験では座標を基に2本の直線を求めその交点をデバイスの座標とするため、式(6)を利用し、上下の座標を基に直線の傾き $a$ と切片 $b$ を求める。左右の座標も同様に直線の傾き $a$ と切片 $b$ を求める。
- (5) 上記を行い2本の直線の方程式を求まる。2つの方程式を連立方程式で解くことでデバイスの座標(本実験では $(p,q)$ とする)を求めることが可能となる。

#### 実験環境

本実験では以下のデバイス及びセンサを使用し実験を行った。

- IoTデバイス: ESP-WROOM-32(1台)
- MicroPython Version 1.14
- 超音波距離センサ: HC-SR04(4台)
- 地磁気センサ: HMC5883L(1台)

本研究では、IoTデバイスとしてESP32-WROOM-32(以下ESP32と記す)を用いた。実験を行う上で超音波距離センサモジュールHC-SR04を4台、3軸地磁気センサモジュールHMC5883Lを1台用いて実験を行った。また、本研究の実験は東京工科大学の研究棟A910内の一角をユースケース・シナリオで挙げた住居の一室と見立てて実験を行った。実験場所の広さは267×585(cm)あり、障害物として幅180cm、奥行き90cm、高さ72cmの机と椅子が複数設置されている環境であった。図9は実験を行った場所のイメージ図である。実験の際は、デバイス本体を床に設置

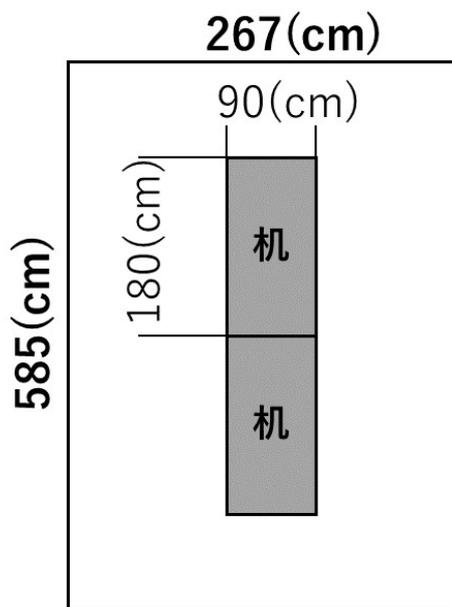


図9 実験場所イメージ

しデータの取得を行った。また、評価を行うために巻き尺を使用し、その位置から壁までの実距離を測定した。

## 5. 評価と分析

実験では、提案方式で挙げたデバイスを使用し、100回データの取得を行った。図10は本システムを実行した結果取得した座標を図に表したものである。赤色の点が実際にデバイスがあった位置で、その他の色の点は実行した結果得られた座標を表している。

また、図11及び図12はそれぞれ座標を100回取得した際、x軸の値とy軸の値がどの程度変動しているかをグラフに表したものである。実験の結果X成分の最小誤差は

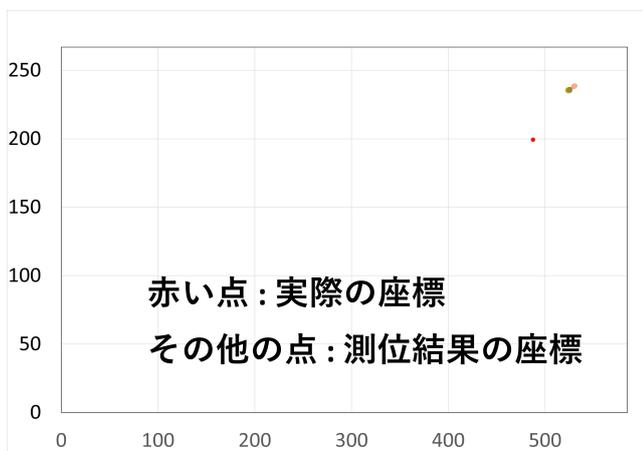


図10 取得した座標

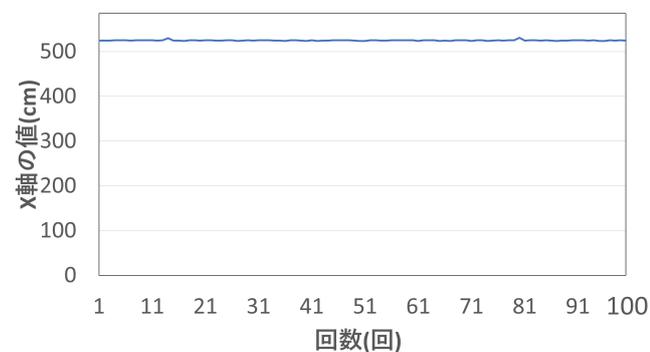


図11 X軸成分の変動グラフ

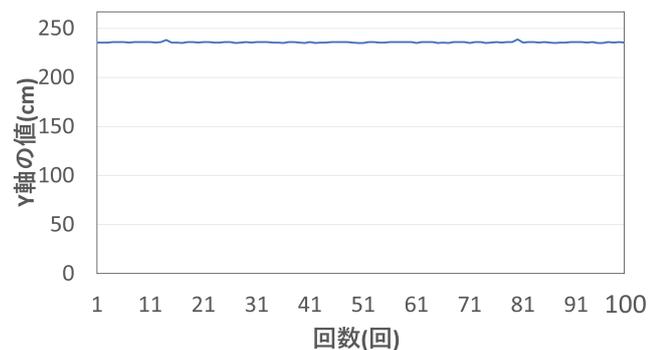


図12 Y軸成分の変動グラフ

36.87(cm), 最大誤差は43.13(cm)で平均約37.94(cm)という結果になった。また、Y成分の最小誤差は35.83(cm), 最大誤差は39.43(cm)で平均約37.14(cm)という結果となった。また、図12と図13より本システムで取得した座標のX成分及びY成分の変動は小さいという結果が得られた。システム上の座標と実座標の誤差が発生した要因として、本実験で用いた地磁気センサ及び距離センサの精度による点と障害物により距離の値を正確に取得出来なかった事が考えられる。

## 6. 議論

本研究では、屋内におけるデバイスの位置測位を距離センサと地磁気センサを用いることで測位の際の誤差を小さくする目的のもと実験を行った。しかし、X成分で最小36.87(cm), 最大43.13(cm), 平均約37.94(cm)の誤差まで、Y成分で最小35.83(cm), 最大39.43(cm), 平均約37.14(cm)の誤差まで改善することが出来た。これは超音波距離センサを用いたことで障害物の影響を強く受けてしまったことに起因する物と考えられる。屋内における位置測位の精度を向上させるためには、この障害物による影響を改善することが最も注目すべき課題といえる。本研究でこの課題を解決するために、距離センサを超音波ではなく、指向性の高い赤外線やレーザを用いた距離センサへ変更する方法が挙げられる。

## 7. おわりに

本研究ではBLEやRFIDを用いる従来の屋内位置測位方法ではなく、距離センサと地磁気センサを用いた新たな視点からの位置測位を提案した。結果はX成分は平均約37.94(cm), Y成分は平均約37.14(cm)の誤差まで小さくする事が出来た。本研究の想定したユースケースである住居の一室での使用という点を鑑みると提案した手法は、屋内におけるデバイスの位置測位への優位性が高い。本実験では距離センサとして超音波を利用したセンサを用いた。今後の研究では、指向性の高い赤外線やレーザを使用した距離センサへ変更する事で、より精度の高いデバイスの位置測位を行う。

## 参考文献

- [1] Shafique, K., Khawaja, B. A., Sabir, F., Qazi, S. and Mustaqim, M.: *Internet of Things (IoT) for Next-Generation Smart Systems: A Review of Current Challenges, Future Trends and Prospects for Emerging 5G-IoT Scenarios*, IEEE (2020).
- [2] Deng, Z., Yu, Y., Yuan, X., Wan, N. and Yang, L.: *Situation and development tendency of indoor positioning*, IEEE, China (2013).
- [3] Weinstein, R.: *RFID: a technical overview and its application to the enterprise*, IEEE, it professional edition (2005).

- [4] Mori, T., Kajioka, S., Uchiya, T., Takumi, I. and Matsuo, H.: *Experiments of position estimation by BLE beacons on actual situations*, IEEE, JAPAN, 2015 ieeee 4th global conference on consumer electronics (gcce) edition (2015).
- [5] Macagnano, D., Destino, G. and Abreu, G.: *Indoor positioning: A key enabling technology for IoT applications*, IEEE, Seoul, Korea (South) (2014).
- [6] Spachos, P. and Plataniotis, K. N.: *BLE Beacons for Indoor Positioning at an Interactive IoT-Based Smart Museum*, IEEE, ieeee systems journal edition (2020).
- [7] De Angelis, G., De Angelis, A., Pasku, V., Moschitta, A. and Carbone, P.: *A hybrid outdoor/indoor Positioning System for IoT applications*, IEEE, Rome, Italy, 2015 ieeee international symposium on systems engineering (isse) edition (2015).
- [8] Mekki, K., Bajic, E. and Meyer, F.: *Indoor Positioning System for IoT Device based on BLE Technology and MQTT Protocol*, IEEE, Limerick, Ireland, 2019 ieeee 5th world forum on internet of things (wf-iot) edition (2019).
- [9] Lee, S., Lee, N., Ahn, J., Kim, J., Moon, B., Jung, S.-h. and Han, D.: *Construction of an indoor positioning system for home IoT applications*, IEEE, Paris, France, 2017 ieeee international conference on communications (icc) edition (2017).