

## 室内におけるサブメートル精度の位置測定を実現する

## 方向検知機能技術の研究

Development of lightweight training machines through structural optimization

山根知之

Tomoyuki Yamane

電子・有機素材研究所 電子システムグループ

人手不足を背景に、屋内における人や機械の効率的な稼働に対するニーズの高まりから、これらの現在位置を正確に把握することが求められている。従来手法である Bluetooth の電波強度 (RSSI) を用いた測定ではメートル単位の精度であり、室内環境では反射や遮蔽などの影響で正確な位置が測定できない課題がある。本研究では、数十センチメートル単位での位置測定可能な Bluetooth5.1 を実装した受信角度 (AOA) 測位方式によって移動位置測定精度向上を実現するシステムの試作を行い、実運用における課題を確認した。

## 1 はじめに

移動体の位置を把握する方法として、従来手法の Bluetooth 電波強度 (以下 RSSI) を用いた測位方式に代わる技術として、Bluetooth5.1 から実装された受信角度 (以下 AOA) による方向検出機能がある。安価かつ数十 cm と高精度に現在位置を把握する手段として期待されている。

企業においては屋内でのフォークリフトや台車、人などの移動体の現在位置と稼働状況を高精度でリアルタイムに把握することで、稼働率の向上や運用コスト削減による生産性向上に繋がる技術として有効であるが、既存システムでは障害物の影響を避けるため、基地局を天井に取付けることが前提となっており生産現場での実装に課題がある。また現在実用化されているサービスは世界的にも数が少なく、導入コストが高いことも課題である。RSSI と AOA の違いを表 1 に示す。

そこで本研究では、基地局数の影響 (多いほうが良いと想定される) や、空きスペースへの簡易的な設置での精度向上など、利便性を向上させる設置方法について検討を行った。

システム設計については、最小構成で AOA 機能を実現するための回路設計を行い、実験により工場

表 1 RSSI と AOA の機能比較

| 測位方式       | Bluetooth        |               |
|------------|------------------|---------------|
|            | AOA              | RSSI          |
| 使用周波数 (Hz) | 2.4G             |               |
| 測位精度       | ○○○○○<br>(30 cm) | ○○<br>(数メートル) |
| 移動局の電力消費   | ○                | ○             |
| 電波干渉の強さ    | ○○○○○            | ○○○           |

内での課題抽出などを行うとともに、汎用モジュールを使用した。現行サービスより安価かつ容易に設置可能で、障害物があっても数十センチメートル単位での移動位置測定を可能とするシステム開発を行った。

## 2 AOA 測位方式と測位技術の確立

## 2.1 AOA 測位方式

AOA 測位方式は、移動体の子機が発する電波を親機のアレイアンテナで受信することで分かる到達角を利用して、子機の位置を測位する技術である。到達角は水平方向の方位角と、垂直方向の仰角という 2 つの角度で得られるため、複数の親機があれば、子機の 3 次元位置を図 1 のように計測することができる。

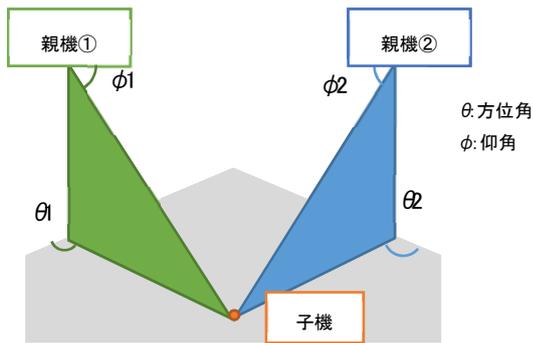


図1 2台の親機を用いた測位

## 2.2 Bluetooth5.1 モジュール

AOA 測位方式の動作確認を、市販されている Bluetooth5.1 モジュールで行った。AOA 測位方式の親機、子機の外観をそれぞれ図2と図3に、主なスペックを表2に示す。主な構成は、親機はモジュール部とパッチアンテナ部で、子機はモジュールと駆動用の電池である。

当初、実装時のコストを考え、モジュールおよび周辺回路設計を行う予定であったが、親機に関する一般的な回路や、モジュールファームウェア設計に関する情報が非公開であり、パッチアンテナ設計(パターンとアンテナスイッチ回路)が難しいことが判明し、独自設計を断念した。一方子機については、回路図とファームウェアが公開されており、独自に設計を行った。製品購入と独自設計のコストについては今後検証が必要である。

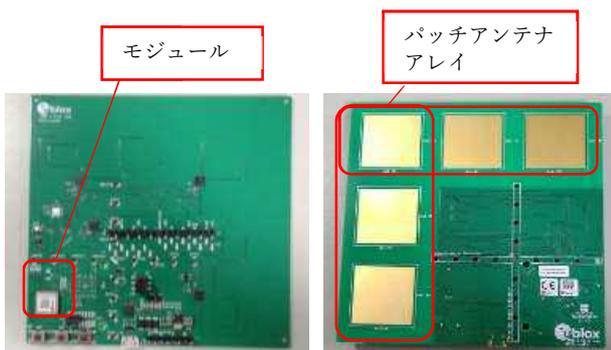


図2 親機外観



図3 子機外観

表2 AOA 測位用モジュールの主な仕様

|                                  | 親機         | 子機        |
|----------------------------------|------------|-----------|
| 型番                               | C211       | C209      |
| 搭載モジュール<br>(Bluetooth LE module) | NINA-B411  | NINA-B406 |
| 仕様                               | パッチアンテナ x5 | ボタン電池駆動   |



図4 メーカー提供アプリケーションによる動作の様子

## 2.3 モジュールの動作確認

簡易的な動作確認として、メーカーが提供しているアプリケーションにより行った。様子を図4に示す。親機のパッチアンテナ面に対して、子機を方位角、仰角によって取得できており、原理的に親機が2台あれば子機の位置が決定する。これら確認を行った結果、親機が子機の位置を追従可能であることが分かった。しかし、以下の課題が確認できた。

1. ノイズによる影響か、角度が大きくずれ、安定しないことがある
2. 親機に対して方位角、仰角とも 90°近傍の感度が低い (パッチアンテナと水平方向になるため)
3. 認識に遅延があるため、素早く移動する物体の位置検知に向いていない可能性あり

ただし、上記1と3に関しては、メーカーアプリケーションの仕様によるもので、独自に設計したソフトウェアにより行った。

## 3 AOA測位による位置検出

### 3.1 実験環境

前節において机上における動作確認ができたため、

親機 2 台を使用し、研究室内で環境構築を行った。

簡易的な条件とするため、実験は親機アレイが水平に向かい合った状態とした。位置関係を正確に得るために、親機同士正面の相対位置関係(角度)を、Lidar (Velodyne Lidar 製 VLP-16) を用いて測定し、その後墨出しレーザーを用いて各親機を水平に設置することとした。Lidar による測定の様子を図 5 に示す。

動作環境において、各親機を平行に配置した状態で、子機を動かした際の位置を簡易的に表示するソフトウェアを作成した。移動中のある時点での子機の位置を表示させた例を図 6 に示す。赤、緑がそれぞれの親機からの方向と距離を示しており、交点が子機の位置となっている。この可視化については、子機から方位角、仰角角情報をシリアル通信で送信させ、それらの角度データを、設置時に設定した親機 1 と 2 の相対位置関係から、子機の位置を算出することを可能とした。メーカーソフトでは更新が 2 ~ 3 回/秒程度だったが、作成したソフトウェアでは 6 回/秒の応答スピードに改善された。

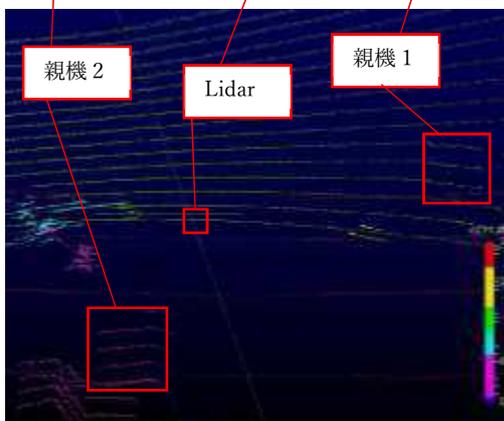


図 5 Lidar による親機の位置測定の様子  
下:Lidar の出力

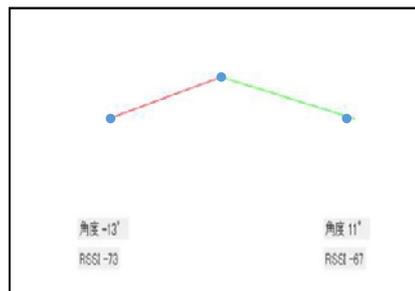


図 6 子機の位置を簡易的に表示させた例

### 3.2 実験結果

天井以外での設置を検討した結果、親機と子機の距離が大きくなることで、誤差も大きくなることが確認できた。具体的には、天井設置の場合は、測定方向である床までの距離が数 m 程度であるが、水平方向に向けた場合は、工場の向かい合う壁のように数十 m の距離になれば、角度 1°あたりの誤差が大きくなる。またこれに伴い、設置時のキャリブレーションは誤差 1°以内の精度が要求されることが分かった。

## 4 おわりに

本研究では、市販の Bluetooth モジュールで、AOA による移動体の位置検出システムの開発を行った。

実験から天井以外での設置では、設置時の位置や角度が精度に影響することや、障害物による誤差が大きくなる傾向があり、設置の際は Lidar 等を用いて、2 機の親機の設置場所の配慮や位置、角度を正確に把握することが必要ことが分かった。

子機(移動体)モジュールは独自設計することでシステムコストが抑えられ、角度データの応答スピードも向上した。親機は設計難易度が高いことが分かり、独自仕様による実用化に向けた課題が残った。

今後は、企業が求める精度での位置検出ができるよう、実現場での位置検出精度を改善して実用化を目指したい。