

Zigbee 無線ネットワークによる位置推定システム

久保田 徹^{*1} 園田信一郎^{*2}
Kubota Toru Sonoda Shinichiro

IoT システムでは、収集するデータに位置情報を付与することでさまざまな付加価値を生み出すことが可能となる。一般的に位置情報の取得には GPS が使用されているが、屋内など GPS が受信できない場所で位置情報を取得するための方法が確立されていない状況である。

当社が保有している Zigbee 無線通信技術を活用することで、通信可能範囲内の複数端末間で通信を行い、電波強度も検出できることから、屋内測位への適用が可能であり、これらの技術を統合したシステムを構築し、位置推定への適用について検討した。

キーワード：Zigbee、位置推定、電波強度

1. はじめに

本システムは、屋内での測位方法として、位置が既知の固定局が発する無線の強度から三角法によって導出するものであるが、屋内測位とデータ通信の両方を兼ねることで、IoT システムの付加価値を向上させることができると考える。

目標とするのは屋内での位置推定であるが、今回は基礎的なシステム構築のため、電波を反射するものが少なく、かつ長距離での試験が可能な屋外(フィールド)での試験結果を述べる。

2. 位置推定アルゴリズム

2.1 位置推定方法の検討

位置推定を行う上で、位置が既知の基準となるモジュールが必要となるが、システム要件によりその数はなるべく少なくしたい。そこで、本節で

は位置が既知のモジュールを 2 台として、位置推定アルゴリズムを検討した。なお、一般的な手法である近接方式や三点測量方式は、位置が既知の基準となるモジュールが 3 台以上必要である。

図 1 に基準モジュール 2 台での位置推定方法のイメージを示す。A～F はそれぞれ Zigbee モジュールを示し、A と C を位置が既にわかっている基準モジュールとする。A、C は周辺にある各モジュールの電波強度を取得し、それぞれの位置を推定する。図 1(a) はモジュール B を推定する例を示す。A、C はそれぞれ B からの電波強度情報をもとに B までの距離を推定し、A、C それぞれを中心とし、距離を半径とした円を描く(A：緑色、C：灰色)。そして、その円の交点(赤バツ印)がモジュール B の位置であると推定する。図 1(b) は同様にモジュール D の位置を推定した例である。他のモジュールの位置推定も同じ方法で可能となる。

*1：制御システム事業部 産業システム部 製品・サービスグループ 調査役

*2：株式会社 IHI 技術開発本部 アシスタントマネージャー

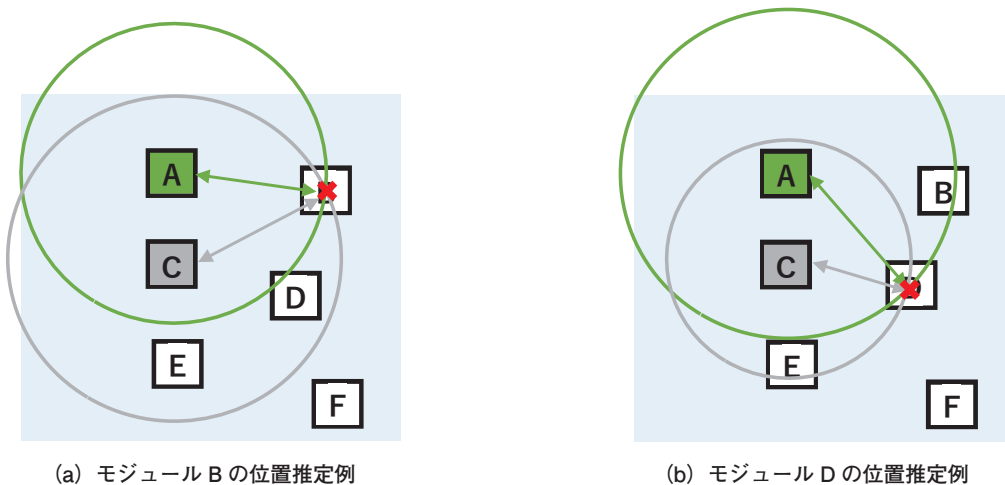


図 1 位置推定イメージ

ここで、図 1 の円を描くために電波強度から距離を求める必要がある。この電波強度－距離変換式は、事前に 1 対 1 のモジュール間で距離を変えながら電波強度を取得したデータをもとに作成する。

2.2 位置推定方法の課題

モジュール 2 台から位置を求める方法においては、以下のような課題がある。

- (1) 図 1 のように円の交点は 2 点できる。どちらが正か求める必要がある。
- (2) モジュールの位置関係によっては、円が重な

らない場合や、片方の円にもう一方の円が内包する場合など、交点が求められないケースがある。

今回のフィールド試験での(1)への対応は 3.3 節に示す。また(2)は考慮していない。

3. 実証実験（フィールド試験）

実証実験として、構造物のある場所において、フィールド試験を実施した。1 対 1 および複数モジュールを使用した電波強度取得試験の概要を表 1、試験環境を図 2 に示す。

表 1 試験概要（フィールド試験）

項目	内容
使用機器	1mW モジュール、10mW モジュール
試験場所	広 さ：約 200×約 200m 計測距離：最大 150m
試験概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1mW による 1 対 1 試験 ・ 1mW による複数台試験（1 台：コーディネータ^{*1}、3 台：ルータ^{*2}） ・ 10mW による 1 対 1 試験 ・ 10mW による複数台試験（1 台：コーディネータ、3 台：ルータ）

*1：ネットワークの中に必ず 1 台存在し、ネットワーク外部とのデータ入出力およびネットワークの管理機能を持つ。

*2：ネットワーク内に複数台存在することが可能で、データ転送機能によりデータが次々とノードを渡っていくマルチホップネットワークを実現する。



Zigbee モジュール
(障害物よりもアンテナが高い位置に来るように設置)

図 2 試験状況

3.1 1対1での電波強度取得試験

試験場所敷地内で、距離を変えながら電波強度取得試験を実施した。

取得データから作成した、10mW モジュールの電波強度－距離相関図を図 3 に、1mW モジュールの電波強度－距離相関図を図 4 に示す。

フィールド試験に先立ち実施した、構造物が少ないグラウンドでの基礎実験では、比較的安定し

た結果を得られていたが、周囲に構造物のあるフィールド試験では距離変化に対する電波強度の揺らぎが多いことがわかった。また、図 4 の 1mW については、30～60m の間に、電波強度が極端に下がる箇所(ヌル・ポイント)があることがわかった。原因としては周囲の構造物などによる反射の影響が考えられる。

図 3 の 10mW に関しては、フィールド試験の広

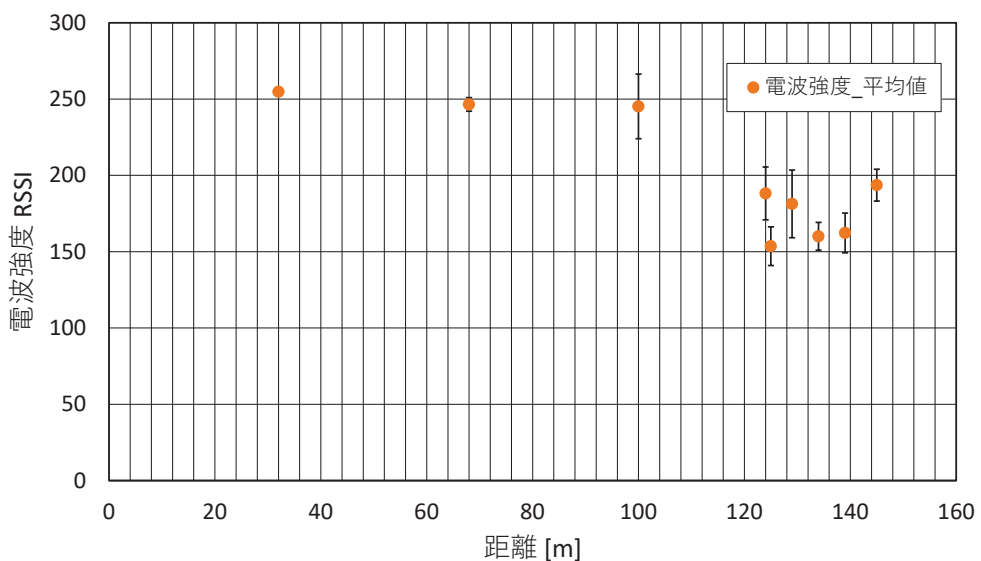


図 3 10mW モジュール 電波強度－距離 相関図

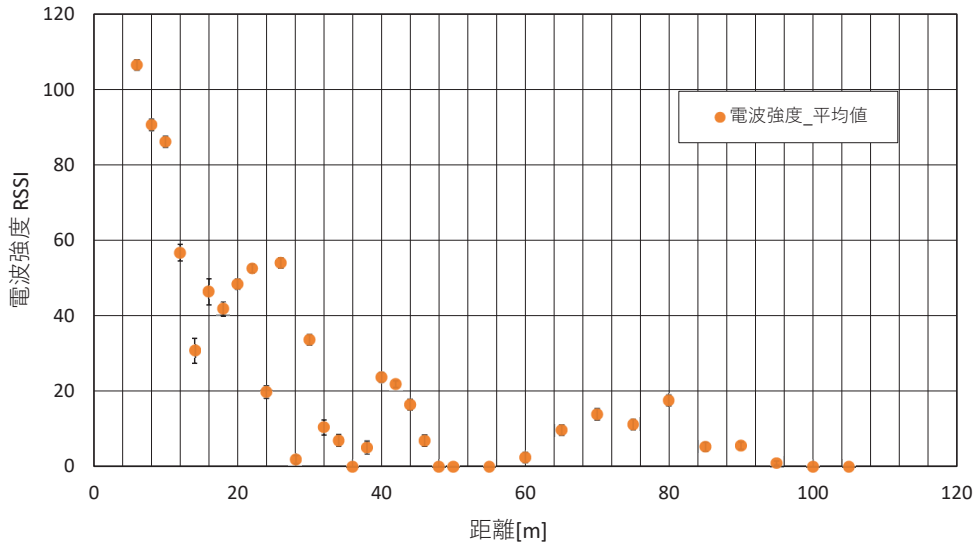


図4 1mW モジュールの電波強度－距離 相関図

さの都合上、約 150m の距離が最大であったが、100m までは電波強度が飽和した状態となり、120m 以降は上下の揺らぎが大きかった。

3.2 複数モジュールでの電波強度取得試験

モジュール 4 台を使用し、1 台をコーディネータ、3 台をルータとし、配置パターンを変えながら、電波強度を取得した。

3.3 位置推定結果 (フィールド試験)

フィールド試験で取得した電波強度に対し、2.1 節の位置推定手法を適用する。

まず、1 対 1 の試験結果をもとに電波強度から距離への変換式を求める。図 3、図 4 それぞれ、電波強度を横軸、距離を縦軸としてデータをプロットし、そこに近似曲線を引き、電波強度－距離変換式を求めた。1mW の場合の電波強度－距離変換式を求めた例を図 5 に示す。ここで、電波強度の揺らぎが大きくなる位置では距離に一意な対応が取れないと判断し、プロット対象外とした。1mW のモジュールを用いた場合の電波強度 x か

ら距離 y を求める式を式 (1) に示す。

$$y = 35.31 \times e^{-0.015x} \quad (1)$$

また、10mW のモジュールについて同様に求めた電波強度－距離変換式を式 (2) に示す。

$$y = e^{-\left(\frac{x-1091.3}{187.3}\right)} \quad (2)$$

次に、モジュール 2 個を基準局として位置座標を定めた。その上で位置推定用のモジュールで基準局と通信し、その電波強度から式 (1) または式 (2) の変換式で距離を求め、2.1 節の方法で位置座標を推定した。使用した位置推定用モジュールは 2 個 (名称 R1、R2)、それぞれ範囲内を移動しながら複数回計測した。

位置推定結果の抜粋を表 2 に示す。なお 2.2 節 (1) で示した通り、位置情報が既知のモジュール 2 つを中心とした円の交点は 2 点求まるが、今回は実際のモジュールの位置が既知であるので、2 点のうち誤差が小さい方を採用した。

フィールド試験では、表 2 に一例を示す通り実際の位置と近い推定結果が得られるケースもあったが、逆に大きく異なるケースもあった。全計測結果では、目標としていた測定誤差 10m 以内は

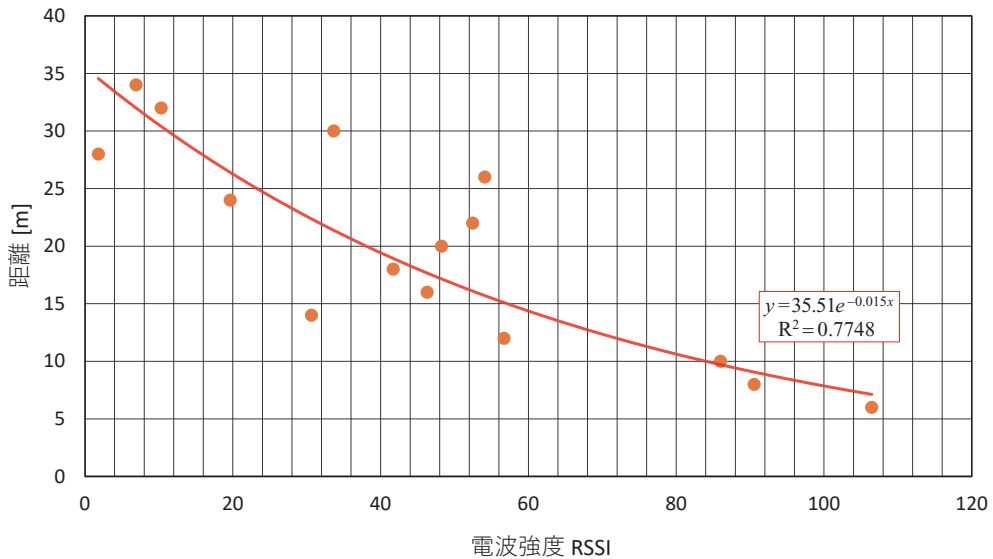


図5 1mW 距離変換式 (赤枠)

3 ケースで、他は 10m を超える誤差が発生しており、位置推定が難しいという結果となった。

4. 今後の課題

フィールド試験において位置推定結果の誤差が大きかった原因としては、

- ①電波強度と距離の関係式が適切でなかった
- ②位置推定アルゴリズムが適切でなかった
- ③データの揺らぎやヌル・ポイントが影響した
- ④周囲の障害物による反射の影響があった

などが考えられる。

今後、Zigbee で取得した電波強度を位置推定に使用するための課題は以下のように考える。

- (1) データの揺らぎやヌル・ポイントの状況の詳細を把握するため、モジュールそのものの原理や安定性を再度確認する。
- (2) 電波強度の揺らぎを減らす測定方法を検討する。
(例：アンテナを波長 λ の 1/4 の距離だけ離して 2 本設置し、電波強度を平均化する、など)
- (3) (1) (2) により安定した条件でデータを採取し、電波強度と距離の関係式を確立する。
- (4) 位置推定アルゴリズムを見直す。
(例：外れ値は除外する、データ数を増やして平均をとる、モジュールのおおよその位置を事前条件として利用する、など)

表2 位置推定結果と実際の位置の誤差 (データ抜粋)

モジュール	対象モジュール：R1					対象モジュール：R2				
	実際の位置		Zigbee 推定位置		誤差 [m]	実際の位置		Zigbee 推定位置		誤差 [m]
	x	y	x	y		x	y	x	y	
1mW	33.0	0.0	30.6	2.2	3.2	45.0	0.0	18.7	26.2	37.1
	40.0	8.0	17.2	11.3	23.0	27.0	0.0	22.6	-4.9	6.6

5. まとめ

位置測定とデータ通信を同時実施する手法として、Zigbee 無線通信技術の利用を検討した。屋内での位置測定をターゲットとしているが、今回は電波反射の少ない屋外(フィールド)で試験した。

電波強度取得アプリを作成し、障害物の少ないグラウンドで基礎実験を、構造物のある場所でフィールド試験を実施して、距離に対する電波強度データを取得した。フィールド試験では、データの揺らぎが大きく、電波強度と距離の関係式が確立できず、位置推定では目標より大きな測定誤差が生じた。

将来的には屋内でも利用できるよう、今後はソフト面・ハード面ともに改良して位置推定の精度向上を目指す。

※本論文は、園田が当社制御システム事業部に在籍していたときの成果の内容である。

IHI 技術開発本部は、本論文に関与しない。



制御システム事業部
産業システム部
製品・サービスグループ
調査役

久保田 徹

TEL. 045-759-2487

FAX. 045-759-2491



株式会社 IHI
技術開発本部
アシスタントマネージャー

園田 信一郎

TEL. 050-3820-1543

FAX. 045-759-2204