

4Y-01

# 角度付きアンテナを用いたRFIDタグの位置推定手法の初期評価

水野 虹太<sup>†</sup>  
愛知工業大学<sup>†</sup>

小浦 怜奈<sup>‡</sup>  
愛知工業大学<sup>‡</sup>

中村 藍梨<sup>§</sup>  
愛知工業大学<sup>§</sup>

内藤 克浩<sup>¶</sup>  
愛知工業大学<sup>¶</sup>

## 1. はじめに

近年、産業界において Radio Frequency Identification (RFID) の利用が広がっている。中でも小売業での導入が進んでおり、無人レジや在庫管理、盗難防止ゲートなどで利用されている。これらのサービスは、Received Signal Strength Indicator (RSSI) や位相値を用いた、RF タグの移動追跡や位置推定技術により実現され、今後のサービス発展にはこれらの技術の併用が必要となる。既存の移動追跡技術は、機械学習を用いて RF タグの静止状態を判別し、移動する RF タグの移動方向を推定する [1]。移動する RF タグの追跡が可能であるが、静止している RF タグの位置推定には対応していない。既存の位置推定技術は、複数のアンテナで取得した RSSI から、RF タグとの距離を推定し位置を特定する [2]。アンテナを正面に向けて設置するため、電波環境が左右対象となり、RSSI や位相値が一致する箇所が発生し、推定精度が低下する。また、時系列データを解析するため、生データを使用することが前提である移動追跡への対応が困難となる。そのため、移動追跡に対応した位置推定技術が必要である。

本稿では、角度付きアンテナを用いた RSSI ベースの位置推定手法を提案する。提案手法では角度をつけてアンテナを設置し、電波環境に歪みを生じさせる。電波環境の歪みによって、通信範囲内における RSSI が左右非対称になることを利用する。これにより、通信範囲内の任意の地点における RSSI が一意となるため、位置推定が可能である。また、推定された地点の軌跡から移動追跡を実現する。初期評価として、分類アルゴリズムおよびアンテナ角度によるグリッド推定精度を比較し、提案手法による位置推定が可能であることを明らかにする。

## 2. 提案する位置推定手法について

### 2.1 システムモデル

図 1 に提案するシステムモデルを示す。提案システムモデルは角度付きアンテナ、位置推定システム、アプリケーションから構成される。角度付きアンテナは、電波環境の歪みを生じさせる。図 2-A に示すように、アンテナ角度による電波環境の歪みに応じて、RSSI の変化が左右非対称となる。そのため、各地点における RSSI が一意となり、位置の特定が可能となる。

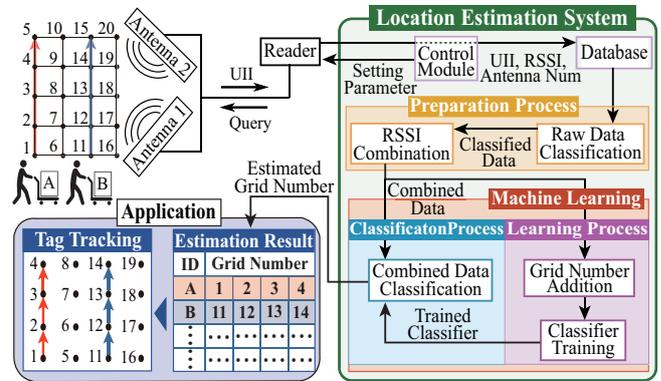


図 1 システムモデル

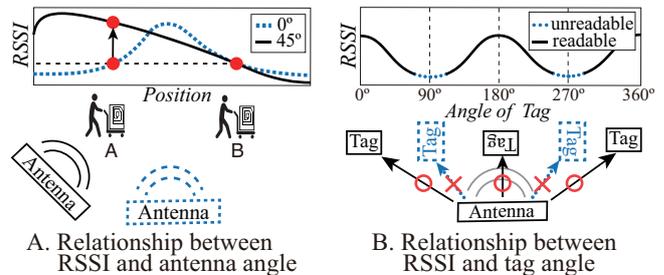


図 2 アンテナ角度およびタグ角度と RSSI の関係

また、RF タグの特性上、RF タグの向きによって受信感度に変化が生じる。RF タグの受信感度は正面方向において最大となり、直角方向において最も低くなる。RF タグはアンテナからの電力によって動作するため、図 2-B に示すように、アンテナとタグ間の角度が直角に近づくと、RF タグの受信感度低下に伴い、RSSI が低下し、読み取り不可能となる。そこで、提案システムではアンテナを 2 枚使用する。一方のアンテナとタグが直角になった際、もう一方のアンテナとタグが直角にならない状態となり、常に読み取りが可能となる。

位置推定システムは、リーダの制御及び RSSI と機械学習による位置推定を行う。リーダは、制御モジュールから受け取る設定値に応じて Query を送信し、RF タグから応答信号を受信することで、識別子である Unique Item Identifier (UII) を取得する。また、RSSI を算出し、アンテナ番号とともに制御モジュールを介してデータベースへ格納する。データベースに格納されているデータを機械学習で直接利用するのは困難なため、準備プロセスでデータ形式変換を行う。機械学習プロセスでは、変換後のデータを用いて分類器を作成し、作成された分類器によって RF タグの位置推定を行う。アプリケーションは推定結果を受け取り、移動軌跡の可視化を行う。

The initial evaluation of the location estimation scheme for RFID tags with angled antennas

<sup>†</sup>Kota Mizuno, Aichi Institute of Technology

<sup>‡</sup>Rena Koura, Aichi Institute of Technology

<sup>§</sup>Airi Nakamura, Aichi Institute of Technology

<sup>¶</sup>Katsuhiko Naito, Aichi Institute of Technology

## 2.2 機械学習による位置推定

アンテナ角度により、通信範囲内の任意の地点における RSSI が本来は一意となるが、他の電波による干渉などにより RSSI は変動する。そのため、事前に取得した RSSI との比較による位置推定は困難である。そこで、位置と RSSI の関係性を機械学習で判別し、位置推定を行う。通信範囲内の全ての位置で RSSI を取得するには膨大な学習コストがかかるため、複数のグリッドを設定し、分類器によるグリッド推定で位置推定を実現する。

機械学習では、分類器にグリッドと RSSI の関係性を学習させるため、特徴量として 2 枚のアンテナで取得した RSSI を用いる。また、各グリッドに対して識別番号を付与する。学習段階では、2 つの RSSI 特徴量とともにグリッド番号を正解ラベルとして分類器に入力することで、分類器は各グリッドにおける RSSI の傾向を学習する。推定段階では、学習段階で生成された分類器に対して 2 つの RSSI を入力する。分類器は、入力された RSSI がどのグリッドにおける RSSI であるかを分類し、グリッド番号を出力する。

## 2.3 アプリケーションによる移動軌跡の可視化

アプリケーションでは、位置推定システムによる位置推定の結果から、移動軌跡の可視化を行う。アプリケーションは、位置推定結果としてグリッド番号を受け取り、時系列データとしてアプリケーション上で保持する。画面上へ実環境と同様のグリッド配置を表示し、時系列データに従って推定結果を表示することで、ユーザは RF タグの移動軌跡を確認可能である。

## 3. 実装及びデータ収集

本稿では、提案システムのプロトタイプを実装した。リーダとして Impinj Speedway Revolution R420、リーダアンテナとして Yeon YAP-101CP、RF タグとして ARIZON AZ-H61 を用いた。また、制御モジュールとして Impinj Octane SDK を用いた。分類器の実装は、Python の機械学習ライブラリである Scikit-learn にて行った。

提案手法は、店舗や倉庫入り口での使用を想定している。そのため、実験環境として、180 cm × 80 cm の範囲に対して、20 cm ごとにグリッドを設定することで、合計で 50 個のグリッドを設けた。また、アンテナ角度として、0°、15°、30°、45° にて実験を行った。アンテナとタグ間の様々な角度に対応するため、各グリッド上で RF タグを回転させた状態で 20,000 件、全体で 1,000,000 件のデータを取得した。

## 4. 評価

本稿では、分類アルゴリズムによる RF タグの位置推定精度を評価する。また、アンテナ角度による位置推定精度への影響を評価する。位置推定では、分類アルゴリズムとして、ランダムフォレスト (RF)、決定木 (DT)、k 近傍法 (k-NN)、サポートベクタマシン (SVM)、ニューラルネット

表 1 分類アルゴリズムとアンテナ角度による推定精度

モデル \ 角度	0°	15°	30°	45°
DT	90.917 ± 1.225%	95.84 ± 0.982%	97.245 ± 0.813%	97.663 ± 0.082%
RF	91.437 ± 1.053%	96.248 ± 0.76%	99.996 ± 0.002%	99.995 ± 0.003%
k-NN	75.904 ± 4.547%	82.624 ± 3.871%	85.492 ± 3.274%	88.993 ± 2.324%
SVM	18.227 ± 11.245%	21.267 ± 10.556%	23.904 ± 8.278%	24.225 ± 8.317%
NN	80.831 ± 5.426%	83.332 ± 5.446%	89.804 ± 3.966%	90.291 ± 3.216%

ワーク (NN) を使用した。また、精度評価手法として、5 分割交差検証法を用いた。

表 1 に、各アルゴリズムとアンテナ角度における位置推定精度を示す。表から、RF および DT による推定精度が高いことがわかった。また、DT や k-NN、NN では近隣グリッドとの誤分類が見られた。RF タグの回転によって RSSI が変化するため、近隣グリッドと RSSI が類似することが原因と考えられる。また、SVM では、RSSI の変動に対応した分類境界線を決定することが困難だったため、近隣だけでなく離れたグリッドとの誤分類も見られたと考えられる。

アンテナ角度について、全てのアルゴリズムにおいて、角度が大きいほど精度が高くなることがわかった。このことから、アンテナ角度が大きいほど、電波環境の歪みがより顕著となり、各グリッドにおける RSSI の一意性も強くなると考えられる。また、30° および 45° における精度の変化が小さいことも明らかとなった。よって、アンテナ角度が 30° 以上で、電波環境の歪みによる RSSI の一意性が十分に生成され、高精度で分類可能であると言える。

## 5. まとめ

本稿では、角度付きアンテナを用いた RF タグの位置推定手法を提案した。提案手法では、アンテナ角度による電波環境の歪みによって、通信範囲内における RSSI が一意となることを用いて位置推定を行う。20 万件のデータによる実証実験の結果、RF アルゴリズムによる位置推定が 99.996% で、実用可能であることが分かった。また、アンテナ角度が大きくなるほど、推定精度が高くなることを明らかにした。

## 参考文献

- [1] Alfian, G., Syafrudin, M., Lee, J. and Rhee, J.: Detecting Movement and Direction of Tags for RFID Gate, *2019 5th International Conference on Science and Technology (ICST)*, Vol. 1, pp. 1–5 (2019).
- [2] Li, C., Tanghe, E., Suanet, P., Plets, D., Hoebeke, J., De Poorter, E. and Joseph, W.: ReLoc 2.0: UHF-RFID Relative Localization for Drone-Based Inventory Management, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 70, pp. 1–13 (2021).