

RFID と画像認識技術を融合した次世代データ解析システムの研究開発

[研究代表者] 内藤克浩 (情報科学部情報科学科)
[共同研究者] 福原一朗 (Ultimatrust(株))

研究成果の概要

Radio Frequency Identification (RFID)は近年様々な業種で活用されている無線タグ技術であり、バッテリーなどを利用しないことから、安価な RF タグが普及している。RF タグへのアクセスには、専用のリーダ・ライターが利用され、RF タグはリーダ・ライターから電波を通して電力を供給することにより稼働する。RF タグの本来の目的は情報の自動認識であるが、近年の RF タグの感度が大幅に向上したことから、RF タグに関するより高度なサービスが期待されている。RF タグの移動検知技術は新たなサービスであり、多くの移動検知技術では、センサーやカメラなどを利用するものが提案されている。RFID を活用した場合には、商品などに取り付けられている RF タグを個別に認識して検出することも可能となることから、在庫管理サービスなどを中心に注目されている。

本稿では、RF タグの位置推定技術として、検出エリアに対する通信環境の不均一性を、アンテナの設置角度を用いて作成し、RF タグから返信される信号の Received Signal Strength Indicator (RSSI)と位相値を活用することにより、推定エリア内に定義されたグリッドの中のどのグリッドにいるのかを推定する手法を提案する。提案方式では、あらかじめ各グリッドにおける RF タグからの信号の RSSI と位相値の情報を収集することにより、各グリッドに対する教師あり学習を実施することにより、RSSI と位相値を用いたグリッド推定を実現する。実証実験では、商用的に利用されている Ultra High Frequency (UHF)帯の RF タグを利用することにより、汎用的に利用されている RFID 用のリーダ・ライターからの情報のみで目的を達成可能であることを明らかにした。

研究分野：モバイルコンピューティング

キーワード：RFID、無線通信、RSSI、位相値、位置推定、機械学習

1. 研究開始当初の背景

Radio Frequency Identification (RFID) の利用は主に産業界で拡大しており、無人レジにおける会計や在庫管理の自動化、盗難防止ゲート、顧客行動分析において活用されている。RFID は、リーダと RF タグが無線通信を行うことにより、RF タグの個体識別を可能とする技術である。RF タグは自身の識別子である Unique Item Identifier (UII)を保有しており、リーダは UII を受け取ることで RF タグの識別を行う。RFID では、High Frequency (HF) 帯や Ultra High Frequency (UHF)を利用するが、近年着目されている RFID システムでは数 m 離れた複数の RF タグのデータを読み書き可能な UHF 帯が主に利用されている。

在庫管理や行動分析などの RFID を用いたサービスでは RF タグの位置情報が必要なことから、RF タグの位置推定技術が注目されている。既存の位置推定技術には、位置の基準となる RF タグを設置する手法や、複数のアンテナを横に並べる方式が提案されている。こうした手法では、基準タグの設置や複数の機材を導入する設置面積やコストが課題として挙げられる。

本研究では、サービスが利用される場所では、位置推定対象エリアは限られていることが多く、基準タグなどの設置を行わず、該当エリアに容易に設置可能な小型の機材のみにより位置推定が要望されている点に着目して研究を進める。

2. 研究の目的

本研究では、アンテナ2枚を用い、RSSIと位相値を用いた位置推定手法を提案する。RFタグの既存位置推定手法には、RSSIの不安定性により位置推定精度が低下するという課題が存在する。そこで提案手法では、RSSIに加え、RFタグとアンテナ間の距離の指標となる位相値を組み合わせることにより、位置推定の精度向上を図る。また、推定対象範囲に対して、2枚のアンテナを、それぞれ角度をつけて設置することにより各アンテナが生じさせる電波環境の歪みを利用する。電波環境の歪みを生成することで、電波環境が左右非対称となり、RSSIと位相値の組み合わせの場所に対する一意性を高める。さらに、対象範囲に対してグリッドを複数設定し、各グリッドにおいて一意となるRSSIと位相値の組み合わせを推定に用いる。すなわち、RFタグを読み取った際に算出されるRSSIおよび位相値を機械学習に用いることで、グリッドレベルでの位置推定を実現する。提案手法の評価を行うために、プロトタイプを実装し、検証を行う。

3. 研究の方法

(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。提案システムでは、対象範囲に対して電波環境の歪みを生成するため、角度をつけた指向性アンテナを設置する。また、RFタグの様々な角度に対応するため、指向性アンテナを2枚設置する。位置推定システムは、制御モジュールを介したリーダの制御、RSSIおよび位相値の取得、機械学習を用いた位置推定を行う。リーダは、RFタグのデータを取得するためのQueryコマンドをアンテナ経由で送信する。Queryコマンドを受信したRFタグは、自身のデータを反射波に乗せて送信する。リーダはRFタグから識別子であるUIIを取得する。また、RFタグからの信号を受信する際に、RSSIや位相値が算出され、RFタグを読み取ったアンテナ番号とともにデータベースに格納される。

(2) 位置推定機能

位置推定機能は、取得したRSSIおよび位相値を用いて、RFタグが位置すると考えられるグリッドを推定し、アプリケーションへ推定結果とUIIを出力す

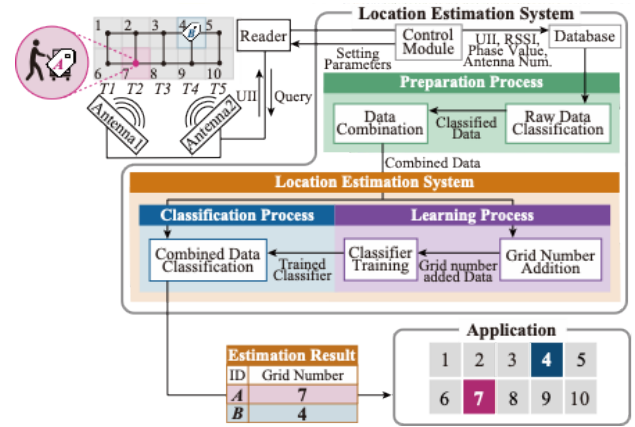


図1 システムモデル



図2 実験装置

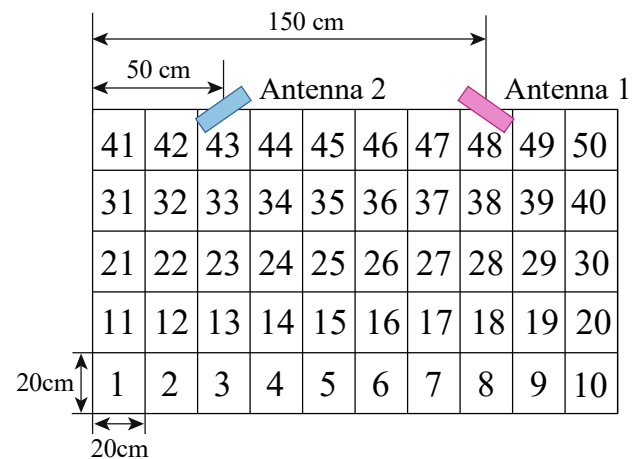


図3 実証実験におけるグリッド配置

る。グリッド推定には、機械学習による分類器を使用するため、機械学習に適した形式へとデータ変換を行う必要がある。そのため、取得データはデータベースに格納される。準備プロセスでは、データベースに格納されたデータを分類および結合することにより、機

械学習に使用可能な形状に変換する。機械学習では、準備プロセスにおいて生成した結合データとグリッド番号を用いて推定を行う。分類器の学習を経て分類器によるグリッド推定が行われる。推定後、機械学習によるグリッド推定の結果と UII をアプリケーションへ出力する。

4. 研究成果

本研究では、提案システムモデルのプロトタイプを実装した。RFID リーダには Impinj 社製 Speedway Revolution R420、アンテナには指向性アンテナである Yeon 社製 YAP-101CP を用いた。また、制御モジュールとして、Impinj Octane SDK ReadTags モジュールを使用した。Octane SDK は、Impinj 社製リーダ用の.NET および Java アプリケーションをサポートする開発ライブラリである。Octane SDK は、リーダを制御するためのプロトコルである Low Level Reader Protocol (LLRP) をラップしている。そのため、LLRP の知識が無い開発者でも、リーダの制御およびデータ取得が可能である。ReadTags モジュールでは、使用するリーダの指定や送信信号の出力強度などの設定値、読み取りモードの指定が可能である。本研究では、受信感度を -84 dBm とし、読み取りモードは読み取り速度が速い DualTarget モードに指定する。

図 2 に、データ収集のための実験環境を示す。提案方式では、アンテナを 2 枚用い、中央に向けて同角度傾けて設置する。また、アンテナとタグの高さは 600 mm に設定した。リーダは PC と接続され、PC 内の制御モジュールにより制御される。

図 3 に、本実験で設定したグリッド配置を示す。本稿では、在庫管理における倉庫の出入り口や盗難防止ゲートでの使用を想定しているため、推定対象範囲を 2,000 mm × 1,000 mm とする。さらに、対象範囲内に 200 mm 四方のグリッドを 50 個設定した。

利用環境では、様々な角度の RF タグを想定する必要があることから、RF タグを各グリッドで回転させた状態で実験を行い、RSSI および位相値のデータを収集した。各グリッドにおいて 20,000 件のデータを収集し、対象範囲全体では 1,000,000 件のデータを収集した。実験で収集したデータの内、80% を分類器の学習デー

表 1 機械学習アルゴリズムによる推定精度

metric model	accuracy	precision _M	recall _M	f1 - score _M
RF	0.9142 ±0.0001%	0.9155 ±6.6030%	0.9142 ±9.1358%	0.9146 ±7.7732%
DT	0.8723 ±0.0001%	0.8723 ±0.0001%	0.8723 ±0.0001%	0.8723 ±0.0001%
k-NN	0.8405 ±0.0002%	0.8464 ±0.0002%	0.8405 ±0.0002%	0.8413 ±0.0002%

タセットとして使用し、残り 20% を分類器のテストデータセットとして使用した。

表 1 において、複数の分類アルゴリズムによる位置推定精度を比較する。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)を使用した。ここで、 M はマクロ平均を意味する。表 1 より、RF アルゴリズムによる位置推定が高精度で可能であることがわかった。一方で、DT および k-NN アルゴリズムでは、精度が 90% を下回り、誤分類が多くみられた。

5. 本研究に関する発表

- (1) Kota Mizuno, Yukina Miwa, Katsuhiko Naito, Masaki Ehara, “State estimation scheme for multiple RF tags with an angled single antenna”, IEEE RFID 2022, 2022 年
- (2) Yukina Miwa, Kota Mizuno, Katsuhiko Naito, Masaki Ehara, “Initial Evaluation of Direction Estimation Method for RF Tags Focusing on RSSI and Phase Value”, IEEE RFID 2022, 2022 年
- (3) Yukina Miwa, Kota Mizuno, Katsuhiko Naito, Masaki Ehara, “Evaluation of Direction Estimation for Trajectory Patterns of Moving RF Tags With RSSI and Phase Value”, IEEE GCCE 2022, 2022 年
- (4) Kota Mizuno, Yukina Miwa, Katsuhiko Naito, Masaki Ehara, “Location estimation and tracking scheme for passive RF tags with angled antennas”, IEEE ICCE 2023, 2023 年