

アンテナ設置角による RSSI の不均衡を用いた RFID タグの移動方向推定手法の提案

水野 虹太^{1,a)} 内藤 克浩^{2,b)} 江原 正規^{3,c)}

概要: 近年の産業界では、Radio Frequency Identification (RFID) を用いて、在庫管理や行動分析などのサービス向上が試みられている。これらのサービスでは、RFID タグが貼り付けられた物体の移動を追跡するため、タグの移動方向の推定手法が注目されている。従来の推定手法では、アンテナの設置に広い場所の確保が必要であるものや、高価な小型アンテナを想定したものなど、現場への導入における課題がある。そこで本論文では、安価な汎用アンテナ 1 枚のみを用いた方向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することにより、Received Signal Strength Indicator (RSSI) や位相値の変化に移動方向による特徴が生じることに着目する。また、変化の特徴を検出することにより、RFID タグの移動方向が推定可能である。プロトタイプによる評価の結果、提案手法は RFID タグの移動方向を正確に推定可能であることを明らかにする。

1. はじめに

近年、Radio Frequency Identification (RFID) の利用が広がっている。RFID とは、リーダーとタグが短距離無線通信を行うことにより、タグを識別する技術である [1]。特に産業界では、作業の効率化や人件費の削減を目的に、RFID を利用したシステムが導入されている。RFID を利用したシステムとして、行動分析や在庫管理、盗難防止ゲートを利用した防犯システムなどがある。行動分析では、RFID タグを商品に貼り付けることにより、顧客がどのような組み合わせで商品を購入しているか、顧客がどのように移動しているかなどのデータを取得する [2], [3]。取得したデータを分析することにより、より綿密な販売計画などが可能である [4], [5]。RFID を用いた在庫管理は、従来のバーコードによる在庫管理と異なり、無線通信を用いる。そのため、荷物などに貼り付けたタグを視覚的に認識できない場合であっても読み取りが可能である。また、タグを一括

で読み取る機能を利用することにより、作業の効率化を実現する [6]。これらのサービスのように、タグを荷物や商品に貼り付けて運用することにより、店舗における盗難防止ゲートとの併用が可能となる。そのため、従来のように防犯タグを取り付ける必要がなく、運用の効率化やコストの削減も可能である。

これらの RFID システムでは、主にパッシブ RFID タグが使用される。パッシブ RFID タグは、リーダーからの電磁エネルギーを利用して駆動するため、電池などの電源が必要なく、半永久的に使用可能である [7]。また、低コストであるため、使い捨てを前提に利用されており、商品や荷物に貼り付けて運用されている [8], [9]。行動分析や在庫管理、盗難防止ゲートでは、パッシブ RFID タグが貼り付けられた物体の移動を追跡する必要があり、RFID タグの移動方向の推定手法が注目されている [10], [11], [12]。

既存の方向推定手法として、センサ・アンテナ方式やダブルアンテナ方式、ゲート型アンテナ方式が実用化されている [13]。センサ・アンテナ方式は、アンテナの設置に加え、その左右に電光センサを設置する。設置したアンテナを用いて、タグのデータを取得することによりタグを識別し、センサでタグの通過を確認することにより移動方向を推定する。センサは物の通過を検出可能であるが、タグを識別することは不可能である。そのため、複数のタグが異なる方向から同時に通過した場合、どのタグがどの方向に通過したかを判断することは困難である。ダブルアンテナ方式は、アンテナを 2 枚横に並べて設置することにより、

¹ 愛知工業大学大学院経営情報科学研究科
Aichi Institute of Technology Graduate School of Business
Administration and Computer Science
Toyota, Aichi, 470-0392, Japan

² 愛知工業大学情報科学部
Aichi Institute of Technology Faculty of Information Science
Toyota, Aichi, 470-0392, Japan

³ AIM Japan
Kumagaya, Saitama, 360-0023, Japan

a) mizuno47@pluslab.org

b) naito@pluslab.org

c) masaki.ehara@aim-jp.org

それぞれのアンテナがタグを読み取る時間差を利用する。ダブルアンテナ方式では、アンテナを2枚並べるため、広い設置場所が必要であり、設置環境の制限が生じる。ゲート型アンテナ方式は、トンネル状の構造物に複数のアンテナを設置することにより、トンネル内を通過するタグの認識を行う。ゲート型アンテナ方式では、複数のアンテナを用いるため、高い精度で方向推定を行うことが可能である。一方で、アンテナを複数使用し、トンネル状に設置するための資材が必要であるため、導入コストが高くなる上、設置場所も必要という問題点がある。これらの問題は、方向推定技術を利用したRFIDサービスの導入を妨げる要因となる。

本研究では、安価な汎用アンテナ1枚のみを用いたシングルアンテナ方式方向推定手法を提案する。提案手法を用いることにより、従来の方向推定手法が持つ設置環境の問題と導入コストの問題を解決可能である。提案手法では、角度を設けてアンテナを設置する。角度を設けることにより、Received Signal Strength Indicator (RSSI) や位相値に、移動方向による変化特徴が生じることに着目する。変化の特徴を検出することにより、RFIDタグの移動方向が推定可能である。本論文では、移動方向に伴う変化の特徴に着目した移動方向推定アルゴリズムを提案するとともに、提案手法を用いた方向推定システムのプロトタイプを実装した。プロトタイプによる評価の結果、提案手法はタグの移動方向を正確に推定可能であることを明らかにする。

2. 提案する方向推定手法について

2.1 概要

本論文では、汎用アンテナ1枚のみを用いた方向推定手法を提案する。提案方式ではアンテナ1枚のみを用いるため、既存方式のように読み取り時間差を用いることにより移動方向を推定することは困難である。そこで、タグ読み取り時に得られるRSSIおよび位相値の変化を利用する。また、提案方式では角度を設けてアンテナを設置する。設置角度を設けることにより、読み取り時に得られるRSSIや位相値の変化に移動方向に伴う特徴が生じる。RSSIや位相値の変化を解析することにより、移動方向の特徴を検出する方向推定を行う。RFIDタグにはElectronic Product Code (EPC) が記録されており、リーダーはEPCを読み取ることにより、タグを識別する[14]。EPCとは、タグが保持するユニークコードであり、識別子の役割を持つ。複数のタグを読み取った場合、識別したそれぞれのタグにおけるRSSIや位相値の変化を解析し、方向推定を行う。そのため、複数のタグが存在する場合においても、提案方式は各タグの方向推定が可能である。

2.2 アンテナの設置角度

既存の方向推定手法と同様に、アンテナ1枚をタグの移

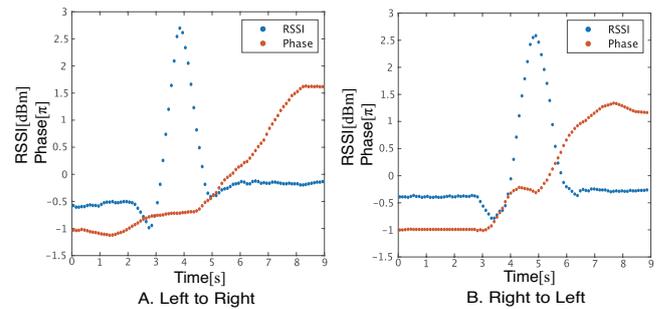


図1 アンテナ設置角度0°でのRSSIおよび位相値の変化

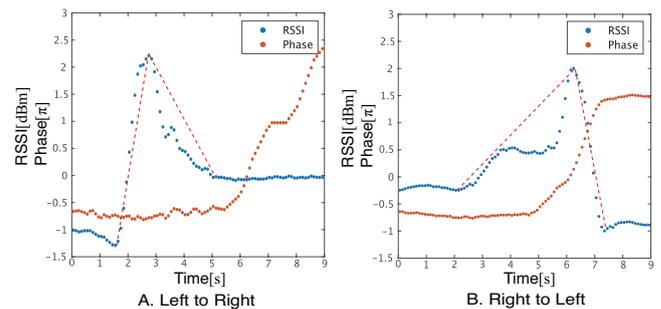


図2 設置角度45°でのRSSIおよび位相値の変化

動方向と平行に設置した場合、タグが右方向に通過した時と左方向に移動した時のRSSIや位相値の変化過程は酷似する。図1に、タグが任意の方向に移動した場合のRSSIおよび位相値の変化を示す。タグとアンテナの距離が近くなると、受信信号強度であるRSSIは増加する。そのため、タグが通過する際、RSSIはアンテナに近づくにつれて増加し、アンテナの正面でピークに到達後、次第に低下する。タグが右方向に移動した場合と左方向に移動した場合を比較すると、RSSIや位相値の変化過程はほぼ同一であることが分かる。したがって、アンテナをタグの移動方向に平行に設置した場合、移動方向の推定は困難である。そこで、アンテナの指向性に着目し、角度を設けてアンテナを設置する。

図2に、角度を設けてアンテナを設置した場合のRSSIおよび位相値の変化を示す。前述した通り、タグがアンテナ前を通過する際、タグがアンテナ正面に位置する瞬間RSSIはピークに到達する。アンテナを右に傾けた状態において、タグを右方向に移動させた場合、RSSIはピークに到達するまで急激に増加し、ピーク到達後は緩やかに減少する。対して、タグを左方向に移動させた場合、RSSIはピークに到達するまで比較的緩やかに増加し、ピーク到達後は急激に減少する。このように、タグの移動方向により、RSSIのピーク前後における変化過程が異なる。本論文では、RSSIのピーク前後における変化過程の違いを特徴とし、特徴を用いてタグの通過検出および移動方向の推定を行う。

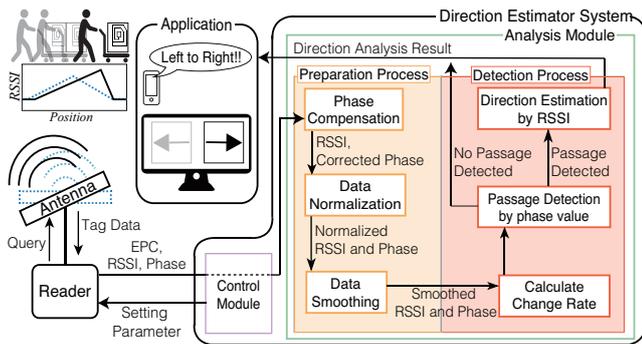


図 3 システムモデル図

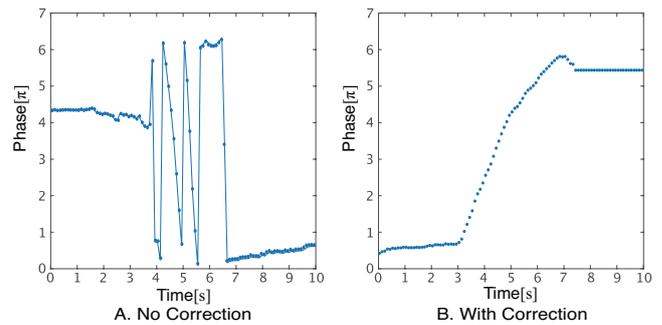


図 4 位相値補正前後の比較

2.3 システムモデル

図 3 に、システムモデル図を示す。方向推定システムは、制御モジュールを利用してリーダーを制御する。リーダーは、タグのデータを取得するための Query コマンドをアンテナを介して送信する。Query コマンドを受信したタグは、自身の保持するデータを送信する。リーダーは、アンテナを介して Query コマンドを受信したタグからの信号を復調し、該当タグの EPC を取得する。また、リーダーは EPC の取得と同時に RSSI や位相値の算出を行う。EPC や RSSI、位相値は制御モジュールを通じて、解析モジュールへ引き渡される。解析モジュールは、引き渡されたデータを解析することにより、方向推定を行う。また、解析後に推定結果をアプリケーションに渡す。

3. 解析モジュールによる変化特徴の検出

3.1 概要

解析モジュールは、リーダーが算出した RSSI や位相値を解析し、移動方向の推定を行う。提案方式の移動方向推定アルゴリズムは、RSSI や位相値の変化特徴を利用する。この特徴は、RSSI や位相値の変化率を用いることにより、検出することが可能である。特徴検出の準備処理として、位相値補正、データの標準化および平滑化を行う。準備処理を行うことにより、変化率を利用した特徴検出を容易にする。準備処理後、RSSI および位相値の変化率を算出する。変化率を算出後、位相値の変化を利用しタグの通過検知を行う。タグの通過を検知しない場合は、その結果をアプリケーションへ渡す。タグの通過を検知した場合、RSSI の変化率を利用し、移動方向の推定を行う。移動方向を推定後、検出したタグの情報と移動方向の情報をアプリケーションへ渡す。

3.2 位相値補正

RSSI や位相値は、リーダーがタグからの信号を受信した際に算出される。算出された RSSI や位相値には必ず誤差が含まれ、特に位相値は大きな誤差を含む場合が多い。

図 4 に、補正処理を行わなかった場合と行った場合の位相値を示す。本来であればタグが移動している時の位

表 1 位相差と補正值

位相差 s [π]	補正值 [π]
$1.5 < s \leq 2.0$	+1.5
$1.0 < s \leq 1.5$	+1.0
$0.5 < s \leq 1.0$	+0.5
$-0.5 > s \geq -1.0$	-0.5
$-1.0 > s \geq -1.5$	-1.0
$-1.5 > s \geq -2.0$	-1.5

相値は、 $1.0\pi, 1.1\pi, 1.2\pi$ のように次第に増加もしくは、 $1.0\pi, 0.9\pi, 0.8\pi$ のように次第に減少する。しかし、リーダーが算出する位相値は、ノイズや反射波の影響が反映されている。ノイズはリーダーの送信回路や受信回路における熱雑音の影響を受けることで生じる。反射波は信号が物体や人などに衝突し、反射することで生じる。反射波は直接波よりも移動距離が長くなるため、距離に対する高周波の位相回転に大きく影響する。このような要因によって、リーダーが算出する位相値は、一つ前に取得した位相値から大幅に変動する場合や、突出する場合がある。したがって、位相値が大幅に変動した場合に補正処理を行う必要がある。

本論文では、一つ前に取得した位相値との差が 0.5π 以上の場合を補正対象とする。補正の手順として、まず一つ前の位相値との差を算出する。算出した値に応じて、元データに補正值を加算もしくは減算することで、補正を行う。一つ前の位相値との差と補正值の関係を表 1 に示す。例えば、位相値が 1.0π から 0.2π のように大幅に変動した場合、位相差は 0.8π である。すなわち、差が 0.5π より大きく 1.0π 以下であるから、元データである 0.2π に 0.5π を加算し 0.7π に補正する。また、位相値が 1.0π から 2.4π のように大幅に変動した場合、位相差は -1.4π である。差が -1.5π 以上 -1.0π 未満であるから、元データである 2.4π から 1.0π を減算し、 1.4π に補正する。補正処理を行うことにより、図 4 B に示す変化のようになり、正しい位相値の変動が取得可能となる。

3.3 データの標準化

解析対象である RSSI や位相値は、単位が異なる。また、

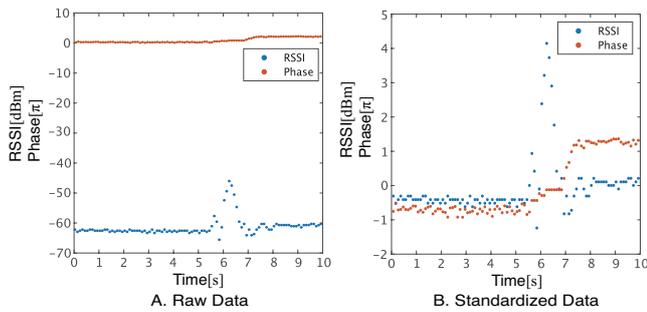


図 5 標準化前および標準化後データの比較

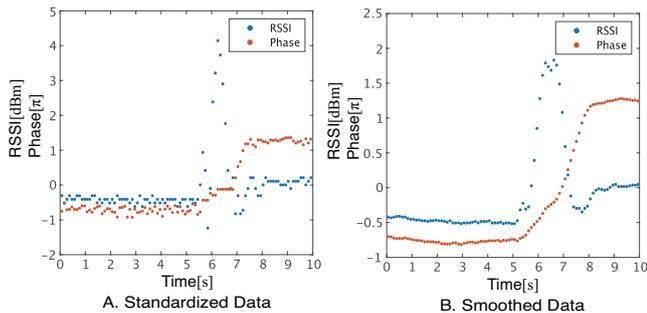


図 6 標準化データおよび平滑化後データの比較

それぞれの値の変化量が大幅に異なるため、データを直接比較することが困難である。そのため、データの標準化を行い、単位や変化量が異なるデータ同士の比較を容易にする。標準化とは、与えられたデータを、平均が 0、分散が 1 のデータに変換する操作である。元のデータを x 、平均値を \bar{x} 、標準偏差を s とした場合、標準化データ x' は、式 1 で表される。

$$x' = \frac{x - \bar{x}}{s} \quad (1)$$

図 5 に、標準化前と標準化後のデータグラフを示す。図 5 の A から分かるように、標準化前は位相値の変化量が、RSSI の変化量と大幅に異なることが分かる。そのため、それぞれのデータを直接比較することが困難である。標準化後のデータは平均値を基準とし、平均からどれだけ離れているかの度合いを表す。そのため、単位が異なるデータ同士を比較する場合や、元データの変化量が大きく異なる場合であっても、容易に比較が可能となる。

3.4 データの平滑化

図 5 から分かるように、標準化後のデータにはばらつきがある。データのばらつきがある状態において、正確に特徴を検出することは困難である。そこで、データの平滑化を行うことにより特徴の解析を容易にする。平滑化とは、突出している値や他と乖離している値を他の値に近づける、もしくは削除することにより、全体的に突出のない状態にする操作である。図 6 に、標準化データおよび平滑化処理したデータを示す。図 6 から分かるように、平滑化処

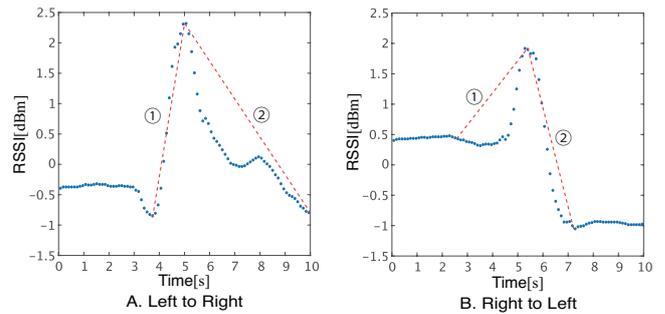


図 7 RSSI の変化特徴

理を行う前の標準化データと比較して、平滑化後のデータは、データのばらつきが抑えられ、滑らかである。データのばらつきが抑えられたことにより、変化過程の特徴を、正確に検出することが容易となる。

3.5 変化率の算出

データの平滑化後、変化率の算出を行う。変化率とは、ある 2 つのデータを比較し、その増加もしくは減少の度合いである。変化過程の特徴の検出には、平滑化データの変化率を用いる。 k 番目のデータ D_k と、 j 個前のデータ D_{k-j} を比較した場合の変化率 CR_k は、式 2 のように表される。

$$CR_k = \frac{D_k - D_{k-j}}{j} \quad (2)$$

変化率が 0 に近いほどデータの変化は穏やかであり、変化率が 0 から遠いほどデータの変化が激しいことを表す。

3.6 位相値による通過検知

図 6 から分かるように、タグがアンテナの前を通過する時、位相値が変化する。提案システムでは、位相値の変化を利用して、タグの通過検知を行う。タグが通過した場合の変化では、位相値の変動開始時の値と変動終了時の値に差が生じている。それに対して、通過しない場合、位相値の変動開始時の値と変動終了時の値がほぼ同一となる。よって、変動開始時と終了時の位相値を比較することで、タグの通過検出が可能である。

3.7 移動方向の検出

提案システムでは、アンテナの設置角度を設けた際に、RSSI や位相値の変化過程が移動方向に伴い異なることを利用する。図 7 に、タグが右方向へ移動した場合と、左方向へ移動した場合のデータを示す。また、図 8 に、タグが右方向へ移動した場合と、左方向へ移動した場合の変化率を示す。タグが右方向へ移動する場合の RSSI は、ピークに到達するまで急激に増加し、ピーク後は比較的緩やかに減少する。RSSI が急激に変化する時、変化率は大きくなり、緩やかに変化する時、変化率は小さくなる。つまり、

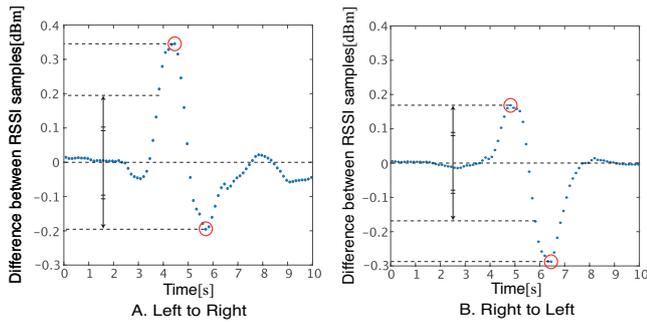


図 8 RSSI 変化率

図 7 の図 A において、赤線 1 の傾きが大きく、赤線 2 の傾きが小さい。よって、図 8 の A のグラフにおける赤い丸で示した変化率のピークを比較すると、変化率の最大値の絶対値が最小値の絶対値より大きいことが分かる。また、タグが左方向へ移動する場合の RSSI は、ピークに到達するまで緩やかに増加し、ピーク後は急激に減少する。すなわち、図 7 の図 B において、赤線 1 の傾きが小さく、赤線 2 の傾きが大きい。したがって、図 8 の B のグラフにおいて、赤い丸で示した変化率のピークを比較すると、変化率の最小値の絶対値が、最大値の絶対値より大きいことが分かる。このように、RSSI の変化率の最大値と最小値に着目することで、変化特徴の検出が可能である。検出した特徴がどの移動方向の特徴であるかを、最大値と最小値の絶対値を比較することで判断し、移動方向を推定する。

4. 実装

本論文では、提案手法を用いたプロトタイプシステムを実装した。RFID リーダーとして Impinj 社製 Speedway Revolution R420 を、リーダーアンテナとして Yeon 社製 YAP-101CP を用いた。また、リーダーの制御モジュールとして、Impinj Octane SDK を使用し、解析モジュールの実装は Visual Studio for Mac を使用した。解析モジュールにおける平滑化手法として、単純移動平均法を用いた。単純移動平均法とは、移動平均法のなかでも、重み付けを行わないものである。変化率の算出方法は、式 2 における j を 1 とした。

RFID タグの通過検出は、補正処理後の位相値と位相値変化率を用いる。位相値の変動開始点と変動終了点の値を比較することで、タグの通過を検出する。図 9 に、位相値および位相値変化率を示す。変化率が閾値 k を超えた瞬間を変動開始点とする。変化率には、正のピークと負のピークの両方が必ず生じる。そのため本論文では、先に正のピークに到達した場合、負のピークに到達後初めて 0 以上になった瞬間を変動終了点とする。また、先に負のピークに到達した場合、正のピークに到達後初めて 0 以下になった瞬間を変動終了点とする。変動開始点および終了点の検出後、それぞれの位相値を比較する。位相値の差が閾

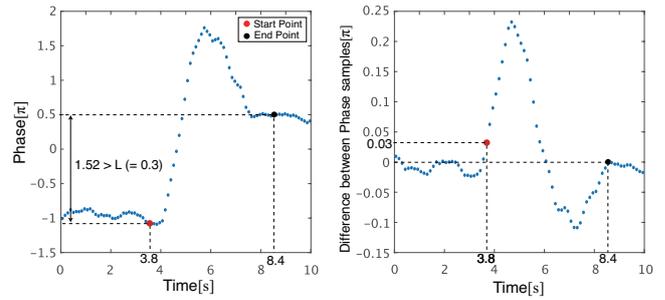


図 9 位相値および位相値の変化率

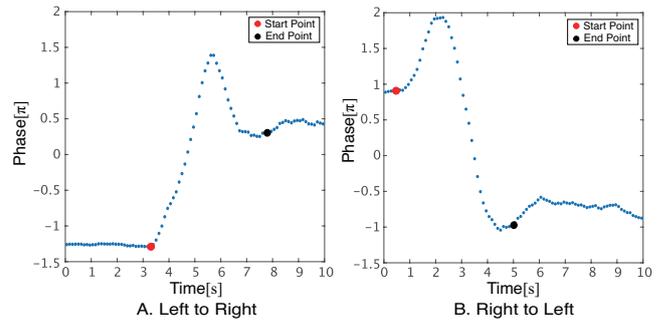


図 10 位相値の変動開始点および終了点の検出結果

値 l 以上の場合、タグが通過したと判断する。本論文では、 $k = 0.03, l = 0.3$ とする。

タグの移動方向の推定は、RSSI の変化率の最大値と最小値の絶対値を比較することにより可能である。取得した RSSI データの最大値と最小値を検出し、それぞれの絶対値を算出する。本論文では、アンテナを右に傾けて設置したため、最大値の絶対値が大きい場合は右方向に移動したと判断する。また、最小値の絶対値が大きい場合は左方向に移動したと判断する。位相値による RFID タグの通過検出の結果と、RSSI によるタグの移動方向の推定結果をコンソールおよび CSV 出力することにより、解析モジュールがアプリケーションに渡す解析結果を確認することが可能である。

5. 検証および評価

本論文では、アンテナの設置角度の変化、および RFID タグの移動速度の変化による移動方向の推定精度を評価する。アンテナの設置角度は $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ と変化させる。また、それぞれの設置角度において、タグの移動速度を $1 \text{ m/s}, 2 \text{ m/s}$ と変化させる。タグとアンテナを 50 cm 離し、アンテナの中心と同一の高さを通過するようにタグを移動させる。それぞれの条件において、タグを 100 回通過させる。RFID リーダーは PC に接続し、PC 上で制御モジュールを用いてリーダーを制御する。解析モジュールでの解析結果をコンソールおよび CSV 出力し、正しく方向推定が行われているかを確認する。

図 10 に、タグの通過検出時に使用する位相値の変動開始点と終了点の検出結果を示す。図中の赤点の変動開始点、

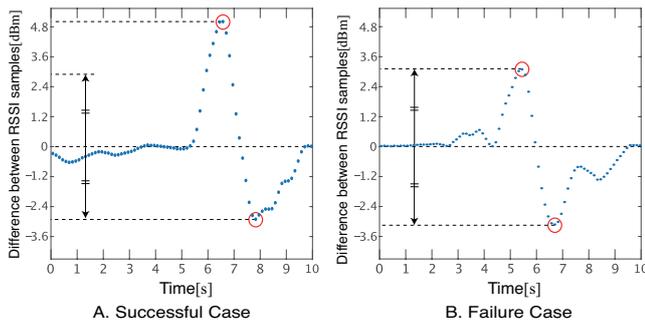


図 11 方向推定の成功例及び失敗例の RSSI 変化率

黒点が変動終了点として検出された点である。図 10 から、変動開始点および終了点がほぼ正確に検出されることが分かる。

図 11 に、方向推定が成功した例と失敗した例の RSSI 変化率を示す。成功例のグラフでは、RSSI のピーク到達前における変化率の絶対値が、ピーク後の変化率の絶対値よりも大きいため、右方向にタグが移動したことが検知された。失敗例では、RSSI のピーク前後における変化率の絶対値がほぼ同一であったため、タグの移動方向を誤検知した。

表 2 に、設置角度およびタグの移動速度の変化による方向推定精度を示す。表 2 から、45° の時に検知精度が最も高いことが分かった。また、角度が 45° より小さくなるまたは大きくなるほど検知精度が低くなることが分かった。要因として、アンテナの設置角度が 45° から小さくなるまたは大きくなるほど、移動方向による特徴を検出しにくいことが考えられる。設置角度が 45° の場合と比較して、10° や 80° の場合、RSSI 変化率の最大値と最小値の絶対値の差が極小になるため、誤検出が発生しやすくなると考察する。

また、同一角度において、タグの移動速度が遅いほど、推定精度が高い結果となった。タグがアンテナの前を通過する際、ピーク前、またはピーク後に RSSI の変化が比較的緩やかになる。RSSI の変化が緩やかな場合、変化率は比較的小さくなる。タグの移動速度が速くなると、RSSI の変化は急になるため、変化率も大きくなる。そのため、移動速度が速い場合、本来は緩やかに変化していた RSSI が比較的急激に変化する。よって、移動速度が遅い場合は変化率が小さく変動していた部分が、移動速度が速くなることにより大きく変動する。したがって、移動速度が速い場合は、変化率の最小値と最大値の絶対値の差が小さくなる。そのため、RSSI の変化特徴を正確に検出することが困難となり、移動方向の誤検出が発生しやすくなると考えられる。

6. まとめ

本論文では、RFID タグの移動方向推定手法として、汎用アンテナ 1 枚のみを用いたシングルアンテナ方式を提案した。提案手法では角度を設けてアンテナを設置すること

表 2 方向推定精度

		角度			
		10°	20°	30°	45°
速度	1 m/s	88%	89%	93%	97%
	2 m/s	87%	88%	90%	94%

		角度		
		60°	70°	80°
速度	1 m/s	88%	86%	87%
	2 m/s	85%	85%	85%

により、タグ通過時に RSSI や位相値の変化に特徴が生じることを利用し方向推定を行う。提案手法のプロトタイプを実装し、移動方向の推定精度を検証した。検証結果から、85%以上の精度で移動方向の推定が可能であることを明らかにした。アンテナの設置角度が 45° の場合が最も推定精度が高く、角度が小さくなるか大きくなるほど精度が低くなることも判明した。また、タグの移動速度が低いほど、推定精度が高いことも確認された。今後は、変化率の算出方法を見直し、RSSI や位相値の変化特徴をより正確に検出可能にすることで、推定精度を向上させることが課題であると考察する。また、複数のタグを同時に通過させた場合、精度がどのように変化するか検証する必要もあると考える。

参考文献

- [1] Li, C., Lao, K. and Tam, K.: A Flooding Warning System based on RFID Tag Array for Energy Facility, *2018 IEEE International Conference on RFID Technology Application (RFID-TA)*, pp. 1–4 (online), DOI: 10.1109/RFID-TA.2018.8552767 (2018).
- [2] Han, J., Ding, H., Qian, C., Xi, W., Wang, Z., Jiang, Z., Shangguan, L. and Zhao: CBID: A Customer Behavior Identification System Using Passive Tags, *IEEE/ACM Trans. Netw.*, Vol. 24, No. 5, p. 2885–2898 (online), DOI: 10.1109/TNET.2015.2501103 (2016).
- [3] Andreas D. Landmark, B. S.: Tracking customer behaviour in fashion retail using RFID — Emerald Insight (2017).
- [4] Pradel, B., Sean, S., Delporte, J., Guérif, S., Rouveirrol, C., Usunier, N., Fogelman-Soulié, F. and Dufau-Joel, F.: A Case Study in a Recommender System Based on Purchase Data, *Proceedings of the 17th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 377–385 (online), DOI: 10.1145/2020408.2020470 (2011).
- [5] Abirami, M. and Pattabiraman, V.: Data Mining Approach for Intelligent Customer Behavior Analysis for a Retail Store, *Proceedings of the 3rd International Symposium on Big Data and Cloud Computing Challenges (ISBCC – 16')* (Vijayakumar, V. and Neelanarayanan, V., eds.), Cham, Springer International Publishing, pp. 283–291 (2016).
- [6] Anssens, C., Rolland, N. and Rolland, P.: A sensor network based on RFID inventory for retail application, *2011 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications*, pp. 64–67 (online), DOI: 10.1109/RFID-TA.2011.6068617 (2011).

- [7] Finkenzeller, K.: RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication, Third Edition (2010).
- [8] Inc., H. I.: RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION (RFID) Frequently Asked Questions (2016).
- [9] みずほ情報総研株式会社: 平成30年度商取引・サービス環境の適正化に係る事業 (RFIDを用いたサプライチェーン高度化に関する調査) (2019).
- [10] Jie, W., Minghua, Z., Bo, X. and Wei, H.: RFID Based Motion Direction Estimation in Gate Systems, *2018 IEEE 22nd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*, pp. 588–593 (online), DOI: 10.1109/CSCWD.2018.8465374 (2018).
- [11] Buffi, A., D’Andrea, E., Lazzarini, B. and Nepa, P.: UHF-RFID smart gate: Tag action classifier by artificial neural networks, *2017 IEEE International Conference on RFID Technology Application (RFID-TA)*, pp. 45–50 (online), DOI: 10.1109/RFID-TA.2017.8098900 (2017).
- [12] Álvarez-Narciandi, G., Motroni, A., Pino, M. R., Buffi, A. and Nepa, P.: A UHF-RFID gate control system based on a Convolutional Neural Network, *2019 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA)*, pp. 353–356 (online), DOI: 10.1109/RFID-TA.2019.8892080 (2019).
- [13] Oikawa, Y.: Tag movement direction estimation methods in an RFID gate system, *2009 6th International Symposium on Wireless Communication Systems*, pp. 41–45 (online), DOI: 10.1109/ISWCS.2009.5285228 (2009).
- [14] Jechlitschek, C.: A survey paper on Radio Frequency Identification (RFID) trends (2010).