

令和元年6月17日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06367

研究課題名(和文) 電波伝播特徴量を用いたRFID読み取り空間フィルタの実現

研究課題名(英文) RFID interrogation zone filtering with radio features

研究代表者

三次 仁 (MITSUGI, Jin)

慶應義塾大学・環境情報学部(藤沢)・教授

研究者番号：40383921

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：UHF帯RFIDシステムにおいて、RFタグからの返信電波の搬送波位相情報を用いて、RFタグの位置を推定することにより、想定する読み取り内外を弁別する方法について研究開発した。単一の搬送波位相を用いると、30cm程度の波長ごとに位相が繰り返す問題が生じるが、複数の搬送波を用い、外れ値除去を行いながら位相計測する微分位相方式を用いることで、この問題を解決できることを示し、実験で確認した。また商用リーダーでは位相計測が必ずしも正確に行えないが、受信電波フレームの統計解析によって簡単・高速に位相角度が掲載できることも明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

UHF帯RFIDでは、リーダーから5m程度離れた位置にあるRFタグの識別子やセンサ情報などを非接触かつ、電池不要で読み取ることができる。ところが実用環境では電波の反射によって定在波が発生し、想定した読み取り外のRFタグが読めることがある。従来は、電波出力やアンテナ方向の調整、電波遮蔽物の設置などで、試行錯誤により、こうした想定外RFタグの読み取りを抑圧していた。本研究は、十分に強い電波で読み取り範囲外のRFタグも含めて読み取った後に、RFタグからの無線信号の特徴を用いて、情報処理で読み取り範囲外のRFタグを除外する。これにより、従来必要であった事前調整や物理的遮蔽などを不要とする。

研究成果の概要(英文)：We developed a localization method in UHF RFID that discriminates the RF tags within the designated interrogation zone from those outside the zone. The method is based on carrier phase measurement of backscatter signals using multiple carrier frequencies. Phase ambiguity, a big problem of phase based localization, can be compensated by taking differential phase with respect to carrier frequency using automatic outlier removal. Because the phase measurement accuracy of commercial RFID reader is not accurate enough, we also developed a method to derive backscatter phase by using covariance matrix of received signal, which achieves both accuracy and speed of measurement.

研究分野：無線通信

キーワード：RFID 位相計測 外れ値除去 統計処理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

UHF 帯 RFID では一つのリーダライタと 5 m 程度離れた多数の RF タグ間での通信が無線かつ RF タグに電池不要で可能であり、近年では、農産物のトレーサビリティシステム、アパレルにおける店舗棚卸しの効率化や生産管理等への導入が急速に進んでいる。UHF 帯 RFID を実運用する際によく起こる問題はマルチパスフェージングが引き起こす想定外の RF タグの読み取り(ゴーストリード)である。ゴーストリードを防止するため電波出力を抑えてしまうと逆に指定空間内の RF タグの読み取りが悪くなってしまおうという問題が生じる。

ゴーストリードや読み取り不良の解決は、多くの場合、アンテナ取り付け位置や角度、リーダライタの出力や感度を調整するなどの現地調整によって図られる。現地調整は通常、経験に基づくトライ&エラーで行われるため手間と時間が掛かる。送信電力やアンテナポアサイトの調整を自動的に行う研究や意図的に干渉信号を与えて読み取りゾーンを絞る研究も行われているが実用された報告はない。提案者は、多くの RFID システムを構築して来た過程で、この問題に取り組み、これまでは読み取り可能領域を可視化するツールを開発したり、イベント投入時にデータの重複がないようにチェックする仕組みなどの工夫をしてきた。しかしどれも対症療法的であり、根本的に解決する方法を模索していた。

### 2. 研究の目的

本研究は、UHF 帯 RFID において 30cm の離隔距離を確保することで指定読み取り範囲内外の RF タグを弁別できる RFID 読み取り方法および、事後情報処理法を開発することである。

### 3. 研究の方法

本研究では発想を転換し、読み取り空間をあらかじめ制限するのではなく、十分に強い電波照射によって読み取り想定範囲外の RF タグ読み取った後、RF タグからのバックスキューの電波特徴を用いて、指定空間内外の RF タグを弁別する。つまり、いくつかのパターンで使用アンテナや、送信周波数を変化させ、それぞれのパターンにおいて指定空間内外の RF タグからの信号の位相などの情報を読み取り累積数をまとめて計測・記録した後に、多次元クラスタ分析などを行うことで指定空間内外の RF タグを弁別する(図 1)。

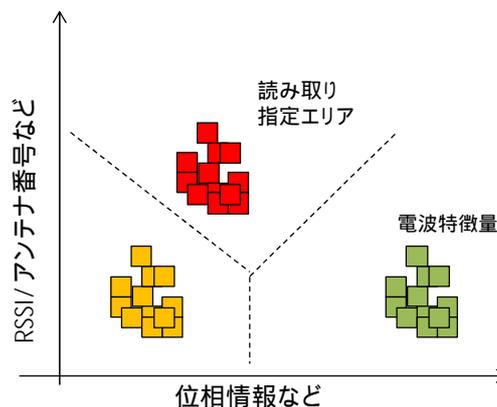


図 1 電波特徴量による読み取り範囲弁別

### 4. 研究成果

#### (1) 微分位相計測による読み取り内外弁別の基本特性:

複数の送信キャリアを用いて得られたバックスキュー位相角の傾き(微分位相: Differential Phase)を求め、読み取り内外を弁別することの基本特性を、市販リーダライタ(Impinj Speedway R420)の位相角測定機能を利用して調査した。結果を図 2 に示す。実験では 4 つの RF タグは同じような位置に配置してあるが、電波伝搬や RF タグの個体特性により、微分位相は 10 度/チャンネル程度ばらつく。このばらつきをそのまま許容するとしても、離隔距離を 150cm 程度確保できれば、読み取り範囲の弁別は可能である。しかしこれだけでは目標離隔距離 30cm に及ばない。

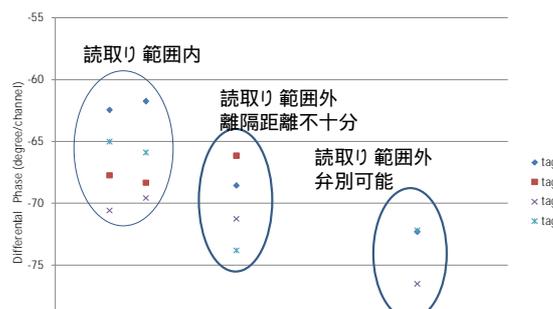


図 2 微分位相を用いた読み取り範囲弁別基本特性

(2) 微分位相導出のための外れ値自動処理: 微分位相を求めるためには搬送波周波数を切り替えて、位相測定を繰り返す必要があるが、商用リーダライタの多くは位相測定角度に 180 度の整数倍の不確定要素が生じる。原因は、IQ データの逆正接 (arctan) で位相角を求めているためと推測される。このため測定値に不連続性が生じ、キャリア周波数を変更し測定した位相値から単純に微分位相を求めることはできない。測定結果に対して適切に 180 度の整数倍を加えて微分角度を求めるために、Iglewicz/Hoaglin criteria を用いて、外れ値を処理する方法を導出し、これを用いることで自動的に微分位相を求められることを確認した(図 3)。

(3) 電力スキャンによる感度点抽出：離隔距離を短くするためには、同じような位置にある RF タグの位相をより正確に計測する必要がある。RF タグは受信電力の大きさによりチップのインピーダンスが変化し、それによりバックスキッタ位相が異なってしまふ。そこで、リーダライタの出力を変化させて、読取り限界値から 3dB ほどバックオフした「感度点」を求めて、その点での位相測定値を用いてみた。

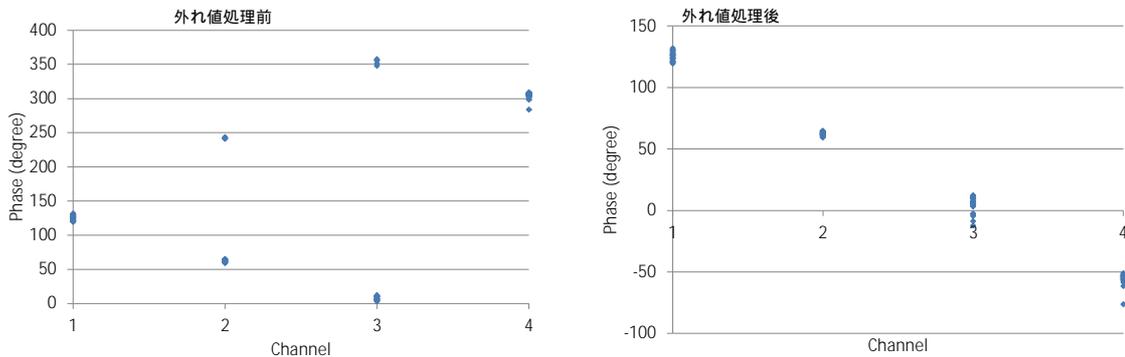
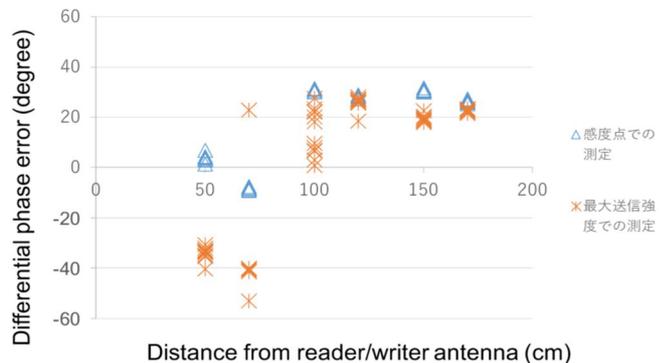


図 3 微分位相計算時の外れ値の自動処理の効果

図 4 に感度点抽出による位相と常に最大送信電力 (30dBm) を用いた場合のバックスキッタ位相から微分位相を計算した結果のばらつき分布を示す。感度点での測定を行うことができれば、バックスキッタ位相のばらつきを抑圧でき、微分位相計測精度を向上できることが示されている。ただし、感度点での測定を行うためには、リーダライタの出力を変更するか、減衰器などで抑圧する制御が必要となる。



(4) クラスタ分析による読取り範囲フィルタ実験：

図 4 電力スキャンによる位相計測安定化

以上の要素技術を用いて、読取り結果の事後処理による想定読取り内外弁別性能を屋内実験で評価した。実際の RF タグのアンテナポアサイト位置と、計算した微分位相の関係は図 5 である。

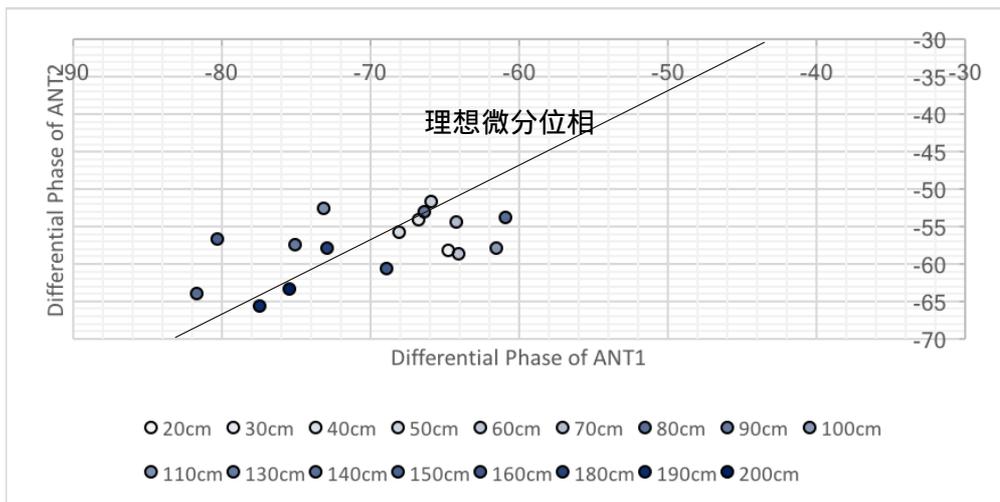


図 5 読取り範囲弁別フィルタの効果実測結果

フェージングのため、読取り距離に応じて誤差ばらつきは異なるが、それを考慮しても、読取り内外に 90 cm の離隔距離を設けることができれば、読取り範囲内外を弁別することができる。この成果は、目標の 30cm には及ばなかったが、単純に微分位相を用いた際の 150cm から 40%、離隔距離を改善した。

(5) IQ データ共分散行列を用いた位相角度測定方法：上述した検討により、商用リーダライタを用いる限り、位相角度測定誤差が読取り範囲弁別の精度を支配してしまうことが分かったので、ソフトウェア無線装置を用いて、位相角度の高速・正確な測定方法に取り組んだ。バックスキッタリンクを詳細モデル化すると、バックスキッタ信号(特にサブキャリア信号)は、IQ 平

面上で、理想的には原点を通過し、位相角度  $\psi$  で傾いた直線上を往復する、いわゆるゼロクロス信号となることが知られている(図 6)。従来、このゼロクロス信号から位相角度を求める際には、再帰最小二乗法を用いた線形回帰問題として解かれていた。

ボックスキャッタ信号に変調成分が含まれているとしても、ゼロクロスする直線上での確率分布は、平均が 0、分散が半径を  $a$  として  $a^2/2$  となる。したがってある IQ フレームで収集したボックスキャッタ信号  $y$  の共分散行列  $C = E(yy^T)$  は以下である。

$$C = \frac{a^2}{2} \begin{bmatrix} \cos^2 \psi & \cos \psi \sin \psi \\ \cos \psi \sin \psi & \sin^2 \psi \end{bmatrix}$$

この共分散行列から位相角度  $\psi$  を高速、正確に計算できる。

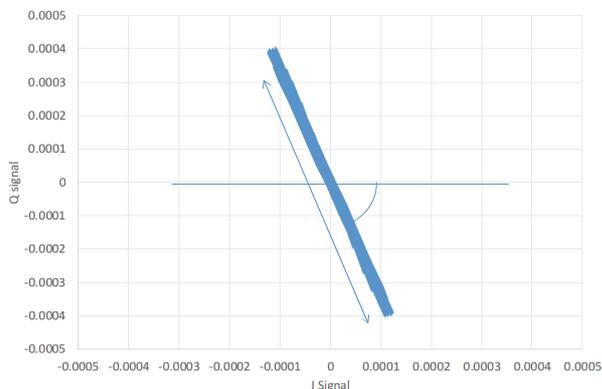


図 6 IQ 平面上のボックスキャッタ信号軌跡

(6) Barcode FingerPrinting の考案 : RF タグ位置に応じた微分位相や RSSI の分布特徴を調査する中で、回転などに影響されにくい SURF 特徴量の知見を得た。この特徴量を JAN コード(EAN13) に適用すると、JAN コードは同じ番号であってもバーコードシンボルはそれぞれ微妙に異なることを検出し、それを符号化できることを発見した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

- (1) Kohei Yamamoto, Yuki Sato, Nitish Rajoria, Jin Mitsugi, “RFID Interrogation Zone Filtering with a Differential Phase Measurement and Posterior Cluster Analysis”, IEEE RFID 2017, Poster Session. (May 10), 2017.
- (2) 山本昂平, 三沢仁, “RFID 取り空間フィルタにおける微分位相測定誤差の送信電力スキャンによる位相角度測定安定化”, IEICE ソサイエティ大会, (9/13), B-18-1, 2017,
- (3) Rina Ueno, Jin Mitsugi, “Barcode Fingerprinting: Unique Identification of Commercial Products with Their JAN/EAN/UCC Barcode”, IEEE World Forum of Internet of Things, pp.416-420. 2018.
- (4) Jin Mitsugi, “RFID Interrogation Filtering”, GS1 Global Forum, Brussels, Auto-ID Labs Session, (Feb.26), 2018
- (5) Jin Mitsugi, “RFID Interrogation Filtering using Differential Phase Measurement”, 28<sup>th</sup> Auto-ID Labs CJK Workshop, (May 25), 2018.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

代表研究者のホームページで技術を紹介.

<https://www.autoidlab.jp/research/>

p

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし