

LL-014

# “リファレンスタグ”を用いたアクティブ RFID 検知精度向上方式 Improving accuracy of active RFID system using “reference tags”

小西 勇介†  
Yusuke Konishi

中尾 敏康†  
Toshiyasu Nakao

田口 大悟†  
Daigo Taguchi

## 1. はじめに

近年のモバイルデバイス技術や移動体通信環境の急速な発達と普及により、移動体の位置情報の取得/活用に注目が集まっている。特に屋内におけるヒトやモノの位置情報取得システムに関しては、これまでに GPS 応用技術、無線 LAN、赤外線、超音波などを利用したシステムが多く提案されている<sup>[1]</sup>が、検知精度の不足や高い導入/運用コストなどの理由により、広く普及するに至っていない。これに対して、移動するヒトやモノの管理、トレーサビリティが要求される物流管理、個人/個体認証、キャッシュレス決済など多くの事業領域において、RFID システムの利用が広まりつつある。RFID の中でも特にアクティブ型と呼ばれるシステムを利用して、屋内におけるエリア単位の位置情報を取得できる低コストのシステムも提案されている<sup>[2]</sup>。しかしながら、RFID は無線通信を利用する技術であるため、電波干渉などの電波環境の乱れによる検知ミスが大きな問題となっている。

そこで本稿では、アクティブ型 RFID によるエリア単位の位置検知について、その精度を向上させるための方式を提案する。

## 2. アクティブ型 RFID の特徴と研究の目的

アクティブ型 RFID とは、電池を内蔵したタグから一定周期で送信される電波をリーダで受信し、タグが保持する ID を読み取る RFID システムを指す。アクティブ型 RFID においては、タグとリーダ間の距離が数 m から数十 m という比較的長距離で読み取り可能であり、パッシブ型 RFID のように読み取りのためにリーダにタグをかざす必要がない。すなわち、特別な手順を必要とせずにタグから ID を読み取ることができ、ヒトやモノの位置/プレゼンスを利用するサービスへの適用が期待されている。

一方で、アクティブ型 RFID においては、無線通信特有のアンテナ指向性、反射/回折/透過などによるマルチパス、ノート PC や他の電化製品から発生する電波雑音などを原因とする電波環境の時間的/空間的変動の影響で、受信状況が不安定になる。このため、現状のアクティブ型 RFID を用いて、エリア単位の位置を正確に検知することは難しい<sup>[3]</sup>。

本稿では、このようなアクティブ型 RFID による位置検知の精度を向上させる方式として、“リファレンスタグ”を用いた方式を提案し、その効果を実証するシステムとして、動的タイムアウト方式を提案/試作/性能評価する。本稿では、位置検知の精度とは、あるリーダの受信エリアにヒトやモノがいるかいないかを正確に検知できる度合いを指すものとする。

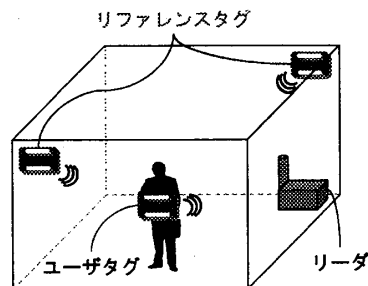


図1 ユーザタグとリファレンスタグ

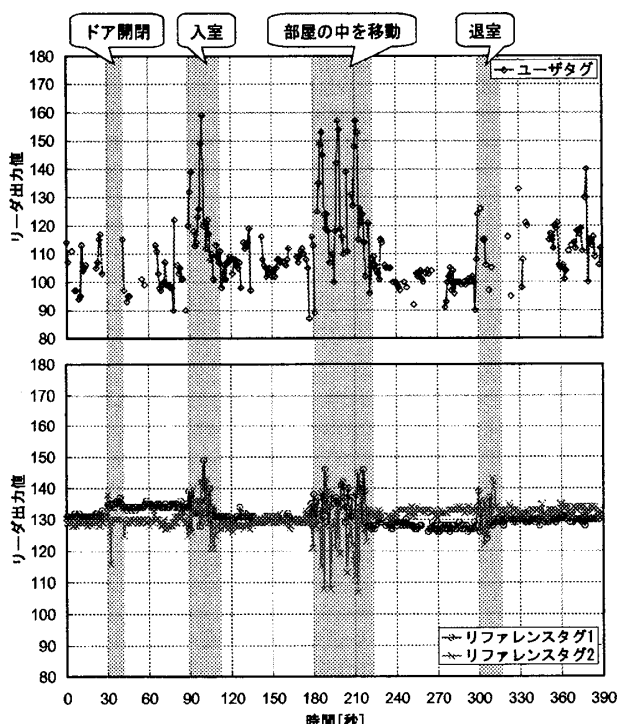


図2 ユーザタグとリファレンスタグの受信結果例

## 3. リファレンスタグを用いた検知精度向上方式

### 3.1. リファレンスタグとは

先に説明したように、アクティブ型 RFID においては、電波環境の時間的/空間的変動により環境内のタグの受信状況が不安定となる問題があった。これは逆に、環境内に固定されたタグの受信状況の不安定さから環境内の変動(例えばヒトやモノの動き)を検出できるということを示している。本稿では、このような環境内の変動を検出するために環境内に固定するタグをリファレンスタグ、ヒトやモノの持つタグをユーザタグと呼ぶ(図1)。

図2は、ある会議室にリーダを設置し、タグを持ったユーザが会議室にいるかどうかを検知するという利用シーンを想定して、タグを持ったユーザが会議室に出入りしたと

† 日本電気株式会社 インターネットシステム研究所,  
Internet Systems Research Laboratories,  
NEC Corporation

きにリーダで計測された受信結果を示したものである。上がユーザタグの受信結果、下が部屋の壁に固定したリファレンスタグの受信結果を示している。図2上から、受信電波の強さを示すリーダ出力値が大きく変動し、かつ読み取りが途切れ途切れになっていることが分かる。このような受信結果からユーザが会議室にいるかどうかを正確に検知することは難しい。一方で、図2下から、リファレンスタグは環境内に固定されているにもかかわらず、環境内のヒトの動きによってその受信結果が変動することが分かる。本稿では、このようなリファレンスタグの受信結果の不安定さから、環境の時間的/空間的変動成分を検出し、検出された環境の変動成分とユーザタグの受信結果を組み合わせることで、アクティブ型RFIDによる位置検知の精度を向上できる方式を提案する。

本稿で提案するリファレンスタグを用いた位置検知精度向上方式の利点として、リファレンスタグとしてユーザタグと同じタグを使用することができるため、ユーザタグを検知するセンサ系と同じものを利用して環境の変動成分を検出できるという点が挙げられる。すなわち、アクティブ型RFIDが既に利用されている環境であれば、リファレンスタグを壁や天井などに設置するだけで、他のセンサなどのハードウェアを追加する必要はない。また、同一の送受信機を利用することから、ユーザタグの受信結果と共通の性質を持ったリファレンスタグの受信結果から環境の変動成分を検出することができ、ユーザタグの受信結果との組み合わせが容易である。

以下では、リファレンスタグを用いた位置検知精度向上方式の一つとして提案/試作した、環境の変動成分として検知対象領域内でヒトやモノが動いているかどうか(以下、場の動きとする)をリファレンスタグの受信結果の分散値から検出し、ユーザタグの受信結果に施すタイムアウト処理のタイムアウト時間を動的に変更する動的タイムアウト方式について説明する。

### 3.2. 動的タイムアウト方式

動的タイムアウト方式の概要を図3に示す。本方式は以下の二点を大きな特徴とする。

- ・ リファレンスタグの受信結果から場の動きを検出する。
- ・ 検出された場の動きに応じて、ユーザタグの受信結果に施すタイムアウト処理のタイムアウト時間を動的に変更する。

まず、検知対象とする領域内に固定したリファレンスタグの受信結果から、場の動きを検出することができる。

このリファレンスタグの受信結果から検出した場の動きに応じて、ユーザタグの受信結果に施すタイムアウト処理で用いるタイムアウト時間を動的に変更することによって、検知精度を向上させることができる。ここで、タイムアウト処理とは、タイムアウト時間だけタグの読み取りができなかった場合に、タグが検知対象領域から出たと判定する処理のことを指す。例えば、会議室の例でタイムアウト時間が3秒の場合、3秒以上タグの読み取りができなかったときに、ユーザが会議室から出たと検知される。

次に、図3に示した処理の流れに沿って、各処理内容について説明する。

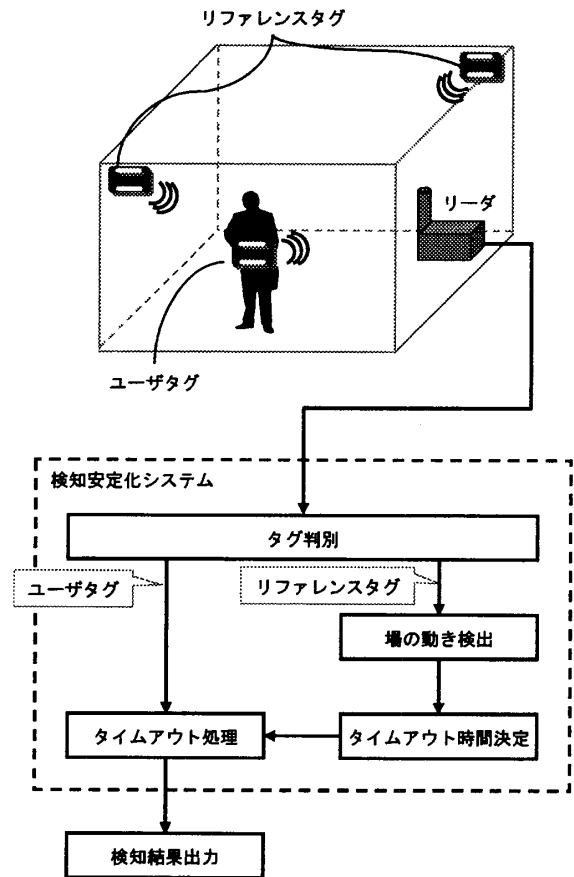


図3 動的タイムアウト方式の概要

#### 3.2.1. タグ判別処理

タグ判別処理では、リーダで読み取ったタグのIDから、それがリファレンスタグなのかユーザタグなのかを判別し、リファレンスタグであれば場の動き検出処理へ、ユーザタグであればタイムアウト処理へ受信結果を振り分ける。

#### 3.2.2. 場の動き検出処理

場の動き検出処理では、リファレンスタグの受信結果変動の大きさから、場の動きの有無を検出する。リファレンスタグの受信結果変動の大きさとして、リーダが受信電波の強度に対応する値を出力する場合には一定ステップ数分のリーダ出力値の分散値を、リーダが受信電波の強度に対応する値を出力しない場合は一定ステップ数分の読み取り率の分散値を用いる。ここで、読み取り率とは、過去一定ステップ数において、何ステップが読み取れたかを示す割合とする。

図2で示した例について、リファレンスタグの受信結果の、各ステップにおける過去5ステップ分の受信強度の分散値を算出しグラフにしたものを図4に示す。この例では、リーダが受信電波の強度に対応する値を出力しているものとする。図4から、検知対象領域内でヒトやモノが動いていることが、リファレンスタグの受信結果履歴から算出できる分散値に適切な閾値を設けることにより、判別できることが分かる。このような閾値は、検知対象とする領域やリファレンスタグの設置場所/個数によって変化するため、環境に応じて決める必要がある。図4に示した例では、分散値の閾値を10とすることで、2つのリファレンスタグの

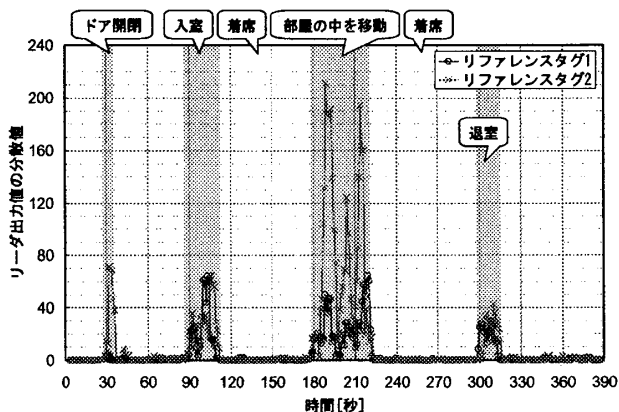


図4 リファレンスタグ受信結果の分散値の時系列変化例

受信結果いずれかの過去5ステップ分の受信強度の分散値が閾値を超えた場合に、場の動きがある、超えない場合に、場の動きがない、と判別できる。

3.2.3. タイムアウト時間決定処理

タイムアウト時間決定処理では、場の動き検出処理で動きがあると判別された場合には検知対象となるヒトやモノが検知対象領域に出入りする可能性が高いと推定しタイムアウト時間を短く、動きが無いと判別された場合には出入りする可能性が低いと推定しタイムアウト時間を長くする。動きが多いとき少ないときそれぞれの場合のタイムアウト時間は、RFIDタグの発信周期やRFIDリーダの受信感度に応じて設定する。

3.2.4. タイムアウト処理

タイムアウト処理では、タイムアウト時間決定処理で決定されたタイムアウト時間に応じてユーザタグの受信結果にタイムアウト処理を施す。

従来の一定のタイムアウト時間を用いたタイムアウト処理では、図5に示すように、タイムアウト時間を長くすることによって受信結果の不安定さによる検知結果の揺れを安定化できる一方、検知結果の時間応答性が悪くなる。提案する方式では、タイムアウト処理に用いるタイムアウト時間を検知対象領域の状況に応じて動的に変化させることによって、検知結果の揺れを安定化しながら時間応答性を向上する。

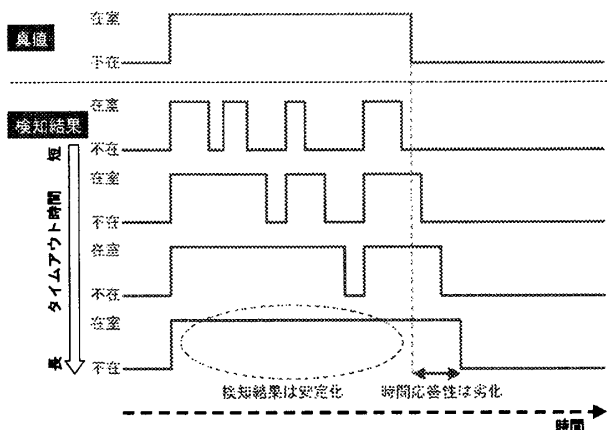


図5 従来型タイムアウト処理の特徴

4. 評価実験

4.1. 評価実験の目的と方法

提案したリファレンスタグを用いた動的タイムアウト方式の効果を評価するために、アクティブ型RFIDとしてキュービックアイディ社製のLAS-300システム(表1, 表2)を用いて評価実験を行った。

表1 使用したアクティブ型RFIDリーダのスペック

アクティブ型RFIDリーダ (キュービックアイディ社 LAS-300R)	
タグ識別個数	最大 50 個/秒
外部IF	RS-232C / LAN(10BASE-T)
受信方式	シングルスーパーヘテロダイン方式
受信周波数	315.1MHz
受信距離	TYP 7m
その他	タグごとに受信電界強度を256段階で出力可能
外形寸法	152.0×116.9×30.0 [mm]

表2 使用したアクティブ型RFIDタグのスペック

アクティブ型RFIDタグ (キュービックアイディ社 LAS-300T)	
送信ID長	32bit
送信間隔	0.2秒, 0.5秒, 1秒, 3秒, 5秒, 7秒, 10秒, 15秒 (ジャンプにて設定変更可能, 本評価実験では0.5秒に設定して利用した)
通信方式	単向方式
変調方式	FSK
送信周波数	315.1MHz
送信出力	微弱電波 (500μV/m以下 3m法)
アンテナ	ボタン電池ケース兼用型
外形寸法	45.5×38.0×10.0 [mm]

本評価実験では、NEC 関西研究所内の会議室をテストサイトとした(図6)。天井裏にLANケーブルでネットワークに接続されたリーダを一台設置し、別室に用意したPCで受信結果を収集した。3つのリファレンスタグを3面の壁の床から2m50cm、天井から30cmの高さに設置した。

システムは会議室に出入りするユーザ(ヒト)の在室状況を、RFIDシステムを用いて1秒間に1回の頻度で検知する。出入りするユーザは1人で、首からタグを下げている。

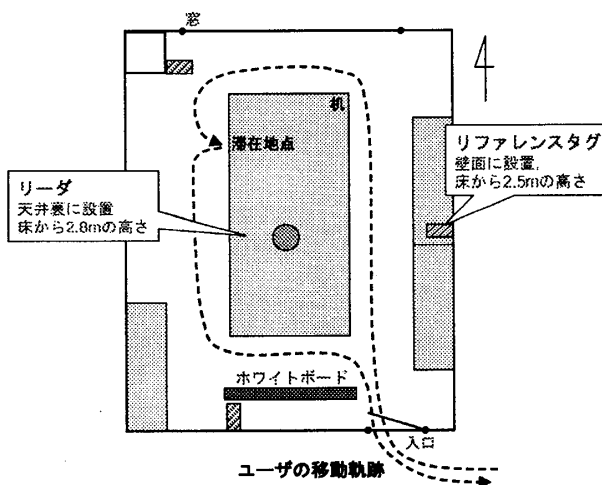


図6 テストサイトの構成

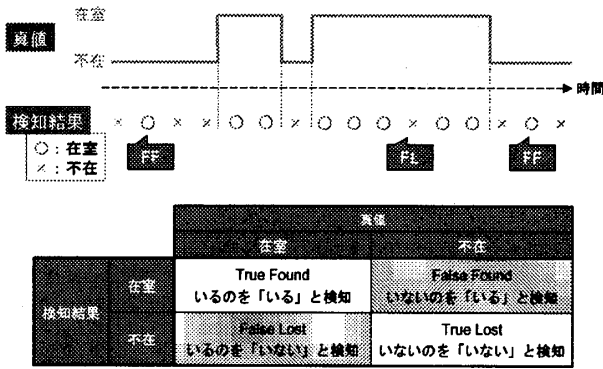


図7 False FoundとFalse Lost

る。このユーザの以下の一連の行動を1セットとして計測を実施した。

- ・ 会議室の外で待機した状態で計測開始
- ・ 会議室に入り5分間滞在してから退室、を2回
- ・ 会議室の外で待機した状態で計測終了

上記の計測を計4セット行い、評価対象データとした。本稿では、アクティブ型RFIDによる在室検知の誤差として、以下の二通りの誤差を定義した(図7)。

- ・ False Found : いないのに「いる」と検知する誤差
- ・ False Lost : いるのに「いない」と検知する誤差

また、理想的な検知とは、False Found および False Lost が一回も起こらない検知であるとする。本稿では、このような False Found と False Lost の発生回数を用いて、提案した動的タイムアウト方式と従来型タイムアウト方式の検知精度を比較評価した。

#### 4.2. 評価実験の結果と考察

4セット行った計測の各セット15分間のデータ(検知回数にすると900回相当)を評価対象とし、False Lost および False Found の回数について条件毎の平均値をプロットした評価結果を図8に示す。

四角(◆)で示しているのが従来型タイムアウト方式で、タイムアウト処理を行わないでそのまま検知結果を求めた場合の検知誤差から、タイムアウト時間を長くしてユーザタグの受信結果に従来型の固定タイムアウト時間によるタイムアウト処理を施した場合の検知誤差を表している。この結果から、タイムアウト時間を延ばせば延ばすほど、

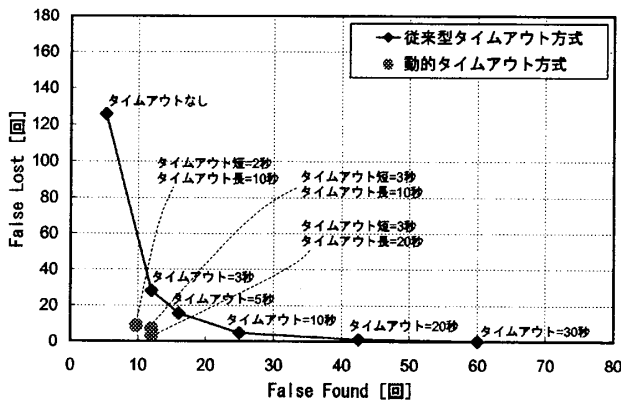


図8 従来型タイムアウト方式と動的タイムアウト方式の比較

False Lost は減少するが、False Found が増大するということが分かる、すなわち、タイムアウト時間を長くすることによって、受信結果の不安定さによる検知結果の揺れを安定化できる一方、ユーザが会議室から出た後に「いない」と検知されるまでの時間が増大し検知の時間応答性が劣化してしまう。

他方、丸(●)で示しているのが提案したリファレンスタグを用いた動的タイムアウト方式による検知誤差を表している。ここでは、予備実験の結果から、場の動き検出処理に必要な動きの有無を判別するための受信強度の分散値の閾値として10を用いた。また、タイムアウト時間決定処理に必要な短いタイムアウト時間および長いタイムアウト時間にはそれぞれ図中に示した値を用いた。図8から明らかのように、タイムアウト処理を施さない場合に比べて False Lost の回数を減少させつつ、従来型のタイムアウト方式で見られるような False Found の増加として表れる時間応答性の劣化を抑えることができる。

このように、リファレンスタグの受信結果から検出できる場の動きという情報を活用して、タイムアウト処理におけるタイムアウト時間を動的に変更することによって、時間応答性を損なうことなく検知結果の揺れを安定化でき、検知精度の向上を実現できることを確認した。

#### 5. おわりに

本稿では、アクティブ型RFIDによるエリア単位の位置検知精度を向上させるために、リファレンスタグの受信結果から検出できる環境の時間的/空間的変動成分を利用する方式を提案した。また、このような方式の一例として、リファレンスタグの受信結果から検出できる場の動きにより、タイムアウト処理で用いるタイムアウト時間を動的に変更する方式を提案し、評価実験により従来型タイムアウト方式に対する優位性を示した。

現状の提案方式では、単一のユーザタグが、単一の検知対象領域に出入りする場合のみを想定している。今後、複数のユーザタグが複数の検知対象領域に出入りする場合を想定した検知精度向上方式の検討を進めていく。また、環境の変動成分として、場の動きの有無以外の、動いている人数や動きの場所などの情報をリファレンスタグの受信結果から検出するための方式検討を進めていく。他方、タイムアウト時間などの各種パラメータを簡単に設定できるようなキャリブレーション手法の検討も必要である。

#### 参考文献

[1] Chen G. and Kotz D., A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research, Technical Report 381, Department of Computer Science, Dartmouth College, 2000  
 [2] 堀場勝広, 岡田耕司, 久松剛他, RFIDを用いた実時間移動体分布における分析収集機構の構築, 情処研究報告, 2002-DPS-110, pp.49-54  
 [3] 萩原大輔, 井上創造, 安浦寛人, RFIDを用いた情報システムにおけるシステムレベルでの信頼性向上, 情処研究報告, 2004-UBI-5, pp.39-46