

移動端末を用いた物品管理システムにおける 位置推定アルゴリズムの評価

肥田 一生[†] 水谷 美穂[†] 峰野 博史[‡]
宮内 直人* 楠 和浩* 水野 忠則[‡]
[†]静岡大学大学院情報学研究科 [‡]静岡大学情報学部
*三菱電機株式会社

概要 位置検出技術の性能向上に伴い、位置情報サービスが現在注目されている。しかし、物の位置を考慮した物品管理サービスを提供するシステムについては未だ存在しない。それは、高い位置精度の必要性、物品管理範囲を拡張する際のコスト、管理対象の物品の制限といった問題があるからである。筆者らはこの問題に対して移動機器連携トラッキング方式という新たな位置検出方式を提案している。本稿では、本方式における位置の高精度化を目的とした位置推定アルゴリズムの性能評価を行う。まず、本方式のプロトタイプを実装し、位置推定アルゴリズムによる位置の高精度化を確認した。また、シミュレーションで管理対象の位置の違いにより位置推定アルゴリズムの性能が変わることを確認した。

An Evaluation of Position Estimate Algorithm in Goods Tracking System using Mobile Detectors

Kazuo Hida[†] Miho Mizutani[†] Hiroshi Mineno[‡]
Naoto Miyauchi* Kazuhiro Kusunoki* Tadanori Mizuno[‡]
[†]Graduate School of Information, Shizuoka University
[‡]Faculty of Information, Shizuoka University
*Mitsubishi Electric Corporation

Abstract With performance improvement of location technology, location information service attracts attention currently. However, there is no system that achieve the goods tracking service. We think the reasons are necessity of high position precision, cost for expanding management range, limitation of management target. We have proposed new location tracking method, "location tracking method in cooperation with mobile detectors". In this paper, we evaluated the performance of proposed position estimate algorithms that in the previous paper. I implemented the prototype system and evaluated one of proposed position estimate algorithms. The results indicated a position becomes high precision by using position estimate algorithm. Next, I evaluated performance of position estimate algorithm changed by a difference of a position of goods with the simulation.

1 はじめに

以前から、人間は人や物の位置を特定したいという要求があった。この要求に対して、位置検出技術の向上により、特定した位置を利用した位置情報サービスが注目されている。例えば、子供や盗難車などの位置を特定し、迷子防止や盗難車の追跡をするサービス [1] や、移動屋台などの位置を特定し、リアルタイムな位置を宣伝するサービス [2] など、様々な位置情報サービスが数多く出現している。

このように位置情報サービスが一般的になりつつ

ある状況であるにもかかわらず、位置を考慮した物品管理サービスは普及していない。物品管理サービスにおいて管理対象の物品の位置を特定するといったニーズは高いと考えられる。例えば、備品管理における備品チェックや忘れ物など、何か探し物をしている場合、探し物を見つけるまでに多大な時間と労力を費やしてしまう。また、時間と労力を費やした結果、確実に探し物を見つけることができないような状況も多々ある。

あると非常に便利だと思われる位置を考慮した物品管理サービスが普及していない原因は、適した位

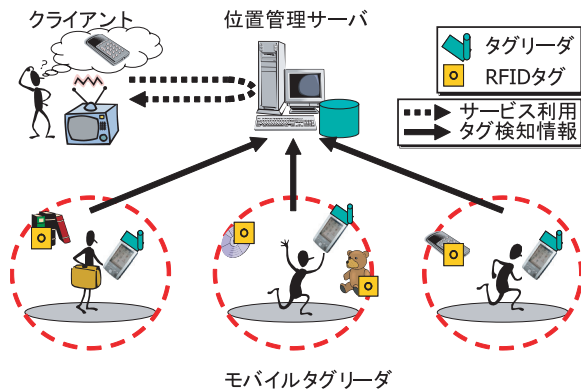


図 1: 移動機器連携トラッキング方式

置検出方式が存在しないからだと考える。既存の位置検出方式でシステム構築を行う場合、管理可能な範囲に柔軟性を持たせることが難しいことだけでなく、管理可能な物品に制限が加わるといった問題が生じる。また、物品管理サービスは主に屋内での利用が想定されるため、数十 cm 以下の高い精度が必要である。

筆者らは位置検出可能な範囲が容易に拡張可能で、位置検出対象物の制限を緩和した位置検出方式として移動機器連携トラッキング方式を提案しており [3]、この提案方式を利用して位置を考慮した物品管理システムの構築を目指している。本稿では、本方式にて物品の位置の高精度化を実現している位置推定アルゴリズムについての評価を中心に述べる。

以下、第 2 章で筆者らが提案している移動機器連携トラッキング方式について述べ、第 3 章で本方式における物品の位置の高精度化を目的とした位置推定アルゴリズムについて検討する。第 4 章ではプロトタイプの実装によって、簡易的な評価を行うことで、位置推定アルゴリズムの動作確認をし、第 5 章でシミュレーションにより位置検出対象物の位置の違いが与える位置推定アルゴリズムへの影響について検討する。最後に、第 6 章でまとめと今後の課題について述べる。

2 移動機器連携トラッキング方式

2.1 概要

筆者らは位置を考慮した物品管理システムに適した位置検出方式として、移動機器連携トラッキング方式を提案している。本方式は、図 1 のように、自己の周囲にある位置検出対象物が検知可能な機器（モバイルタグリーダ）を移動させ、その機器の位置を高精度に検出することにより、位置検出対象

物の位置検出を直接行わず、段階的に位置検出を行う。また、複数のモバイルタグリーダが取得した位置検出対象物の位置情報をサーバ（位置管理サーバ）を用いて共有する。

以下に本方式の特徴を示す。

- 位置検出可能な範囲が容易に拡張可能
物品管理システムにおいて、管理対象の物品は持ち運ばれることが多く、物品が管理可能な範囲外に出てしまう可能性が高い。本方式ではモバイルタグリーダの移動により、物品の位置検出が可能な範囲を時間的コストや金銭的コストがかかることなく、容易に拡張することができる。また、複数のモバイルタグリーダが取得した位置情報を位置管理サーバで共有することで、広い管理可能な範囲を実現している。
- 位置検出対象物に対する制限が少ない
物品管理システムにおいて、数多くの多種多様な物品が管理対象となる。そのため、数多くの物の位置を検出する必要があり、位置を検出するために物品に装着するデバイスは安価である必要がある。また、小さいものにも装着できるような小型なデバイスである必要もある。本方式では、RF タグを物品に添付することにより、RF タグの小型で安価であるという特徴を利用している。
- 高精度な位置検出が可能
物品管理システムは、屋内での利用を主に想定しているため、狭い範囲内での位置検出が必要となる。そのため、狭い範囲内で物品がどこにあるかを一意に判断できるためには、数十 cm 以下といった高精度な位置の検出が必要である。本方式では、複数のモバイルタグリーダからの位置情報を位置管理サーバで蓄積し、蓄積された情報を組み合わせることによって高精度な位置を推定する。

以下に本方式を構成する要素として、位置検出対象物、モバイルタグリーダ、位置管理サーバの詳細について述べる。

2.2 位置検出対象物

位置検出対象物は位置検出したいものに RF タグを添付したものである。

本方式では、小型で安価であるという特長をもった RF タグを位置検出対象物に添付することにより、位置検出対象物の制限を緩和している。小型であるという特長を利用することにより、小さなものへの添付が可能となるため、位置検出対象物の大きさという制限を緩和することができる。また、安価

であるという特長を利用することにより、数多くのものへの添付が可能となるため、位置検出対象物の数という制限を緩和することができる。

本方式において利用する RF タグはパッシブタグを想定している。本方式における RF タグに望まれる性能としては、小型で安価であることとともに、タグリーダの通信距離が 50cm ~ 1m 程度である。これは、モバイルタグリーダを人間が持ち歩き、自然な動きで検知することが可能な通信距離である必要があるからである。パッシブタグは RF タグが小さく低価であるため本方式に望まれる性能を満たしているが、通信距離は数 mm ~ 数十 cm と短距離であるため、本方式に望まれる性能を満たしていない。ただし、UHF 帯を利用すれば 3m 程度の通信距離まで可能となることから、UHF 帯の解禁により本方式に望まれる性能を満たすことができると考える。

2.3 モバイルタグリーダ

モバイルタグリーダとは、自身の位置を取得できる通信端末に位置検出対象物に添付した RF タグを検知するためのタグリーダを接続したものである。モバイルタグリーダは位置検出対象に添付した RF タグが持つ ID をタグリーダにより読み取り、通信端末を利用して自身の位置情報とともに読み取った ID を位置管理サーバに送信する。ここで、モバイルタグリーダ自身の位置情報の取得方法は、既存の位置検出方式を使用する。現在、様々な特徴を持つ位置検出方式が研究されているため [4]、周囲の環境、提供するサービスなどを考慮に入れ、最も適した既存の位置検出方式を使用する。この位置検出方式に関しては本稿では特に言及しない。

2.4 位置管理サーバ

位置管理サーバの主な機能はモバイルタグリーダからの情報を受け取り、その情報を位置管理サーバ内のデータベースに履歴として蓄積することである。モバイルタグリーダからの情報とは、モバイルタグリーダ自身の位置情報とタグリーダの通信距離、そのモバイルタグリーダが読み取った RF タグの ID である。位置管理サーバではこの情報に位置推定アルゴリズムを適用することで、位置検出対象物の位置を推定する。また、複数の情報を組み合わせるような位置推定アルゴリズムを適用することで、より高精度な位置の推定が可能となる。位置推定によって高精度化された位置情報は位置情報サービスを提供するために利用される。位置推定アルゴリズムの詳細については次章で述べる。

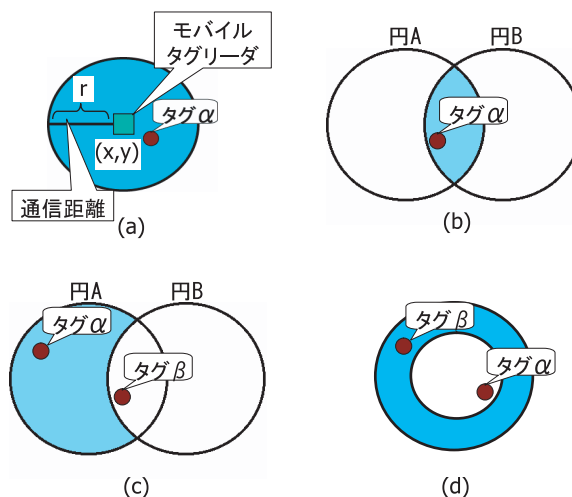


図 2: 位置推定アルゴリズム

3 位置推定アルゴリズム

3.1 提案アルゴリズム

位置推定アルゴリズムとは、モバイルタグリーダから受け取った位置管理サーバ内のデータベースに格納されている履歴を利用して RF タグが存在すると思われる位置を推定するためのものである。また、位置推定アルゴリズムは、複数の履歴を利用することで、RF タグの位置をより高精度に推定する。現在、筆者らは位置推定アルゴリズムとして、円型アルゴリズム、 $A \times B$ 型アルゴリズム、 $A \times \bar{B}$ 型アルゴリズム、ドーナツ型アルゴリズムの 4 方式を検討している。以下に各方式の概要と特長について述べる。

(a) 円型アルゴリズム

円型アルゴリズムは、データベースに格納されている履歴の各要素を利用して位置の推定を行う。図 2(a) のように、モバイルタグリーダ自身の位置情報を (x, y) 、タグリーダの通信距離を r 、読み取ったタグの ID を α とすると、タグ α は (x, y) を中心とした半径 r の円内に存在する推定する。以降、位置の推定により得られた RF タグが存在する可能性のある範囲を推定範囲と呼ぶことにする。ここで推定範囲を円としている理由は、タグリーダの指向性を考慮したからである。タグリーダのアンテナの方向を管理するためには高度な技術が必要となるため、アンテナがどの方向を向いているかを意識させないように、そのモバイルタグリーダ自身を中心とした円に近似し、推定範囲を大きめに見積もることとした。

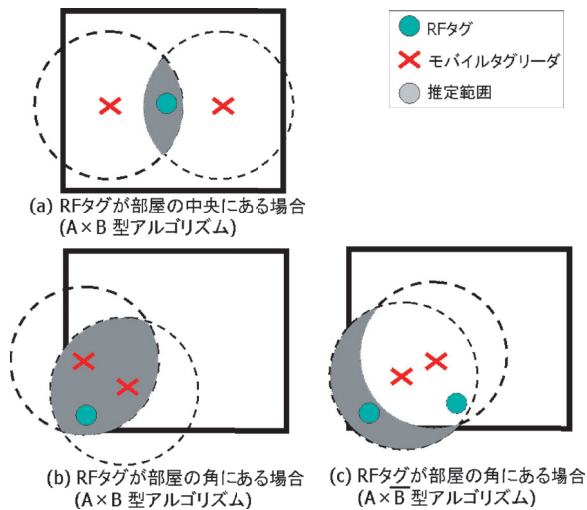


図 3: RF タグが部屋の角に存在する場合の考察

円型アルゴリズムの適用には1つの履歴でよい。そのため、位置管理サーバ内のデータベースに蓄積されている履歴数が少なくても位置の推定を行うことができる。ただし、円型アルゴリズムでは図2(a)を例にすると、面積 $2\pi r^2$ 以下の精度にはならない。タグリーダーの通信距離を短くすれば、円の面積が減少し精度が高くなるが、モバイルタグリーダーがRFタグを検知する範囲が狭くなるため、RFタグを検知しにくくなる。ある物品の位置を知るためには、最低1回モバイルタグリーダーが物品に添付されたRFタグを検知し、位置管理サーバへそのRFタグを検知した情報を送信する必要がある。そのため、モバイルタグリーダーがRFタグを検知しにくくなると、物品の位置そのものを知ることができなくなる可能性が高くなり、安易にタグリーダーの通信距離を短くすることは得策でないと考えられる。

そこで、複数の情報を組み合わせることで、位置の推定範囲の高精度化が可能となる、以下のような位置推定アルゴリズムを考えている。

(b) $A \times B$ 型アルゴリズム

$A \times B$ 型アルゴリズムは、位置管理サーバ内のデータベースで同じRFタグについて複数の履歴が存在した場合に適用できるものである。同じRFタグ(タグ)についての履歴それぞれに対して円型アルゴリズムを適用し、RFタグが存在すると思われる推定範囲(円A, 円B)を複数作成し、それぞれの推定範囲が重なる部分を新たな推定範囲とする(図2(b))。

このアルゴリズムはあるタグに関する履歴が複数存在するだけで適用できるといったように、適用

するための条件が緩いため、多くの場面で適用できる。

しかし、 $A \times B$ 型アルゴリズムはRFタグが部屋の角に存在した場合、適用することが困難であると考えられる。2つの推定範囲の重なる部分を効率よく作るためには、違う位置に推定範囲の円があることが望まれる。そのためには、モバイルタグリーダーが違う位置でRFタグを検知する必要がある。RFタグが部屋の中央にある場合、モバイルタグリーダーが違う位置でRFタグを検知することが容易であるが(図3(a))、部屋の角にRFタグがある場合、似たような位置でしかRFタグを検知することができないため、似たような位置にある推定範囲の円が多く作成される(図3(b))。そのため、効率よく推定範囲が小さくならないと考えられる。

(c) $A \times \bar{B}$ 型アルゴリズム

$A \times \bar{B}$ 型アルゴリズムは $A \times B$ 型アルゴリズムと併用することで、RFタグが部屋の角に存在した場合の推定範囲が効率よく小さくならないという問題を補うものである。

$A \times \bar{B}$ 型アルゴリズムは、位置管理サーバ内のデータベースで複数の異なるRFタグ(タグ、タグ)が検知した場所と検知時刻が同じであることを示す履歴が存在し、その複数の異なるRFタグの一部(タグ)が検知されたことを示す履歴が存在した場合に適用できる。まず、複数の異なるRFタグが同じ場所で同時刻に検知されたことを示す履歴を利用して、複数のRFタグ(タグ、タグ)が存在すると思われる推定範囲(円A)を作成する。また、その複数のRFタグの中で、位置推定を行う対象であるRFタグ(タグ)以外のRFタグ(タグ)についての履歴について円型アルゴリズムを適用して推定範囲(円B)を作成する。複数のRFタグが存在すると思われる推定範囲(円A)から、複数のRFタグの一部が存在すると思われる推定範囲(円B)を除いた部分が、位置推定を行う対象であるRFタグ(タグ)の新たな推定範囲となる(図2(c))。

このアルゴリズムは、RFタグが角に存在した場合でも、適用が可能である。 $A \times B$ 型アルゴリズムは、2つの推定範囲の円が違う位置に存在することが望まれるが、 $A \times \bar{B}$ 型アルゴリズムは、2つの推定範囲の円が似たような位置に作成されたとしても、推定範囲の狭まり方に影響はない(図3(c))。しかし、このアルゴリズムは複数のRFタグを同時刻に検知したことを示す履歴と、その複数のRFタグの一部を検知した履歴が必要なため、適用可能な条件が限られると考えられる。例えば、RFタグの

密度に大きく影響を受ける。

RF タグが広い場所に閑散としているような RF タグの密度が低い場合、複数の RF タグを同時に検知することは困難であるため、このアルゴリズムを適用することが難しい。また、RF タグが狭い場所に密集しすぎているような RF タグの密度が高い場合、複数の RF タグを同時に検知することが容易だが、その複数の RF タグの一部だけを検知することは困難である。

(d) ドーナツ型アルゴリズム

ドーナツ型アルゴリズムは、タグリーダの通信距離を動的に変化させることにより適用可能なアルゴリズムである。 $A \times B$ 型アルゴリズムは、RF タグの密度が低すぎても高すぎても適用が困難であるという問題点がある。この問題点を解決するためにドーナツ型アルゴリズムのようにタグリーダの通信距離を動的に変化させる。まず、タグリーダの通信距離を長めに設定しておき、複数の RF タグ（タグ、タグ）を同時に検知した場合、RF タグが検知されなくなるまで通信距離を短くしていく。これにより、RF タグの密度に関係なく、 $A \times B$ 型アルゴリズムが適用可能となり、検知され続けた RF タグ（タグ）はより小さくなった推定範囲の円内に存在し、検知されなくなった RF タグ（タグ）はドーナツ型の範囲に存在する（図 2(d)）。

この推定アルゴリズムは、タグリーダの通信距離が変化できることを前提としている。通信距離を動的に変化させる場合、どのタイミングでどれくらいの長さに変化させるかが重要である。タグリーダの通信距離については、円型アルゴリズムの検討時に述べたように、位置推定に大きな影響を与えられ。安易にタグリーダの通信距離を短くすると、モバイルタグリーダが RF タグを検知しにくくなり、また通信距離を長くすると $A \times B$ 型アルゴリズムや、 $A \times B$ 型アルゴリズムの適用が難しくなる。そのため、どのような状況でタグリーダの通信距離をどのくらいの長さにするかということについては、今後慎重に検討する必要がある。

3.2 動作概要

前節で述べた位置推定アルゴリズムの具体的な動作例を図 4 に示す。位置推定アルゴリズムはまず、位置管理サーバ内のデータベースに蓄積された情報を利用して位置の推定を行う。データベースに蓄積された履歴を利用する場合、RF タグを検知した時間が新しい履歴から位置推定アルゴリズムを適用する。これは、ある物品の現在位置が知りたい場合、物品が過去に移動した場合、移動後の RF タグの位

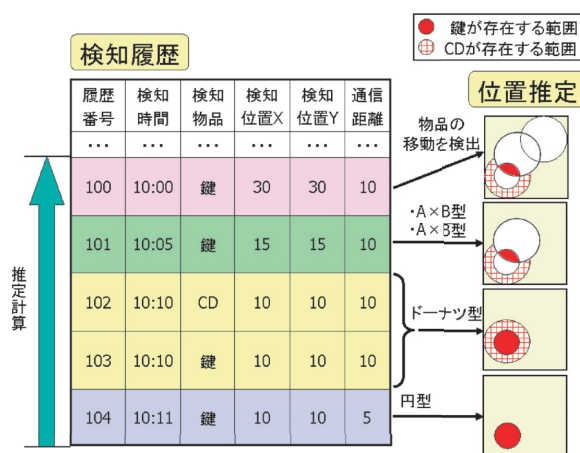


図 4: 位置推定アルゴリズムの動作概要

置の方が重要であるため、移動前の RF タグについての位置推定を行う手間を省くことができるためである。RF タグが移動したと判断できる状況は、位置推定により得られた RF タグが存在すると思われる範囲とは別の位置に、同じ RF タグが存在することを示した履歴（履歴番号 100）が見つかった場合、それ以前の履歴（履歴番号 100 以下の履歴）は移動前の位置を示す履歴であるため、位置推定のための計算を省略する。

以下に、前節で述べた位置推定アルゴリズムの適用例について述べる。まず、図 4 において最新の履歴は履歴番号 104 の履歴であるため、その履歴から位置推定アルゴリズムを適用する。まず、履歴番号 104 の履歴に円型アルゴリズムを適用し、中心点 (10,10)、半径 5 の円内に鍵が存在すると推定できる。履歴番号 102 から 104 までの履歴には、ドーナツ型アルゴリズムが適用できる。これらの履歴はモバイルタグリーダが (10,10) の位置で CD と鍵に添付した RF タグを検知した後、モバイルタグリーダの通信距離を短くした結果、鍵に添付した RF タグだけ検知したことを意味する。つまり、CD は中心点 (10,10)、半径 10 の円から中心点 (10,10)、半径 5 の円を除いた部分に存在すると推定できる。履歴番号 101、104 の履歴には $A \times B$ 型アルゴリズムが適用できる。この 2 つの履歴は両方とも鍵についての履歴であり、両方の履歴に対して円型アルゴリズムを適用し、2 つの推定範囲の円を作成すると重なった部分ができる。つまり、鍵は中心点 (10,10)、半径 5 の円と、中心点 (15,15)、半径 10 の円の重なった部分に鍵が存在すると推定できる。また、履歴番号 101 から 104 の履歴に対して $A \times B$ 型アルゴリズムが適用できる。履歴番号 102 から 104 において、ドーナツ型アルゴリズムを適用することにより、CD についての推定範囲が作成される。そ

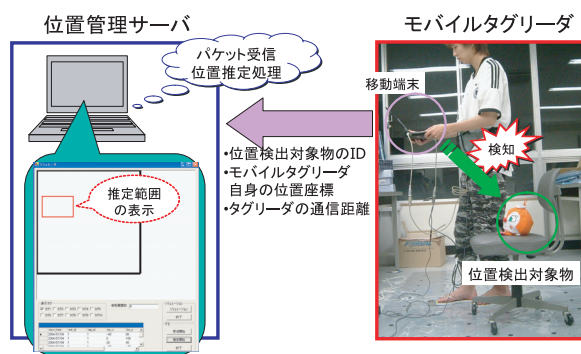


図 5: プロトタイプ実装

の CD についての推定範囲と背履歴番号 105 により作成された推定範囲は、重なる部分を持っているにもかかわらず、CD に添付した RF タグを検知したという履歴は存在しない。つまり、CD は履歴番号 102 から 104 においてドーナツ型アルゴリズムを適用して得た、CD についての推定範囲から、中心点 (15,15)、半径 10 の円と重なった部分を除いた部分に存在すると推定できる。

4 プロトタイプによる 位置推定アルゴリズムの評価

4.1 プロトタイプの実装方法

移動端末を用いた物品管理システムのプロトタイプを実装し、簡易的な評価を行った。本方式の位置管理サーバにおける位置推定について、推定範囲の面積と、位置推定に利用した履歴数から、実装した位置推定アルゴリズムの有効性の評価を行う。また、位置推定アルゴリズムを適用した場合の推定範囲の減少傾向の特徴について評価を行う。

図 5 にプロトタイプ実装の概要を示す。本方式を構成する各要素の実装方法を以下に述べる。

- 位置検出対象物
位置検出対象物に添付する RF タグは、RF-CODE 社製の Spider Tag を使用した。本来なら小型で安価であるパッシブタグを使用することが望ましいが、タグリーダーの通信距離が短いため、今回はアクティブタグを使用する。
- モバイルタグリーダー
モバイルタグリーダーにおける通信端末として無線 LAN カードを接続したノートパソコンを使用した。通信端末については人間が持ち歩くことを想定しているので、将来的には PDA などの小型端末に実装する予定である。位置検出対象物に添付した RF タグを検知するための

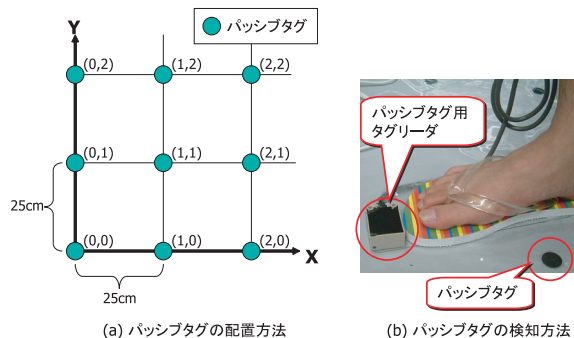


図 6: モバイルタグリーダー自身の位置検出

タグリーダーとして、RF-CODE 社製の Spider Reader を利用した。Spider Reader とノートパソコンを RS-232C で接続することで、Spider Reader の周囲にある Spider Tag の ID を取得する。また、モバイルタグリーダー自身の位置を検出するために、床に X、Y 軸による位置座標を入力したパッシブタグを 25cm 間隔に配置し、足にパッシブタグ用タグリーダーを装着する(図 6)。これにより、足に装着したパッシブタグ用タグリーダーがどのパッシブタグを検知したかにより位置を検出する。今回の実験では、床に配置するパッシブタグとして OMRON 社製の V700-D13P21 を使用し、足に装着したパッシブタグ用タグリーダーとして OMRON 社製の V700-HMD11 を使用した。この方法でモバイルタグリーダーの位置を検出するためには、床に配置した RF タグから複数の位置座標を取得してはならないことから、足に装着したタグリーダーが検知する RF タグは 1 つだけである必要がある。そのため、床に配置する RF タグは通信距離が短いパッシブタグを選択した。このパッシブタグ用タグリーダーとノートパソコンを RS-232C で接続し、床に配置した RF タグから位置座標を読み取ることで、モバイルタグリーダーの位置を取得する。また、ノートパソコンには無線 LAN カードが接続されており、Spider Reader で取得した位置検出対象物の ID と、足に装着したパッシブタグ用タグリーダーで取得した自身の位置座標を位置管理サーバに送信する。

- 位置管理サーバ
位置管理サーバはノートパソコンにデータベースとともに実装し、無線 LAN カードを接続することにより、モバイルタグリーダーとの通信を行う。位置管理サーバは、モバイルタグリーダーからモバイルタグリーダー自身の位置座標、タ

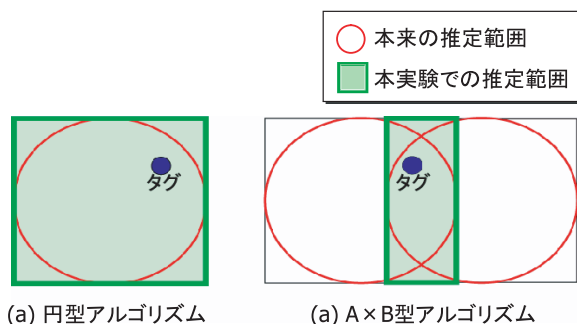


図 7: 実装した位置推定方式

表 1: プロトタイプによる簡易実験環境

フィールドサイズ	3.8m × 1.2m
RF タグ数	1 個 (移動性なし)
RF タグの設置位置	X 軸:0.8m, Y 軸:1.4m の地点
測定回数	3 回
モバイルタグリーダ数	1 個
RF タグの探索信号間隔	0.1 秒
RF タグとの検知距離	1m と仮定

グリーダの通信距離，位置検出対象物に添付した RF タグを検知した時に得た ID を受信する。モバイルタグリーダから受信した情報をデータベースに蓄積し，位置推定を行う。プロトタイプでは位置推定方式として円型アルゴリズムと簡易的な $A \times B$ 型アルゴリズムを実装した。簡易的な $A \times B$ 型アルゴリズムとは，計算を簡単化するために，円型アルゴリズムでは円形ではなく，円形に外接する四角形として実装した（図 7）。この位置推定方式を繰り返し適用することにより，位置の高精度化を行う。しかし，円形に外接する四角形として実装すると，四角形は円形に比べて余分なスペースができ，円形として実装した場合より位置推定による精度は低下すると考えられるため，将来的には円形での実装を想定している。

4.2 実験結果

表 1 に示す条件下で，簡易的な動作実験を行った結果を図 8 に示す。横軸は位置推定に利用した履歴数を表し，縦軸の位置推定面積比は前章で述べた円型アルゴリズムにより得られた推定範囲の面積を 1 とし，位置推定によって減少した面積比を表す。

多くの履歴に対して位置推定アルゴリズムを適用すれば，推定範囲の面積は減少することから，位置推定アルゴリズムにより位置は高精度化されることが確認された。また，グラフより位置推定アルゴリズムを適用すると推定範囲の面積が減少するが，あ

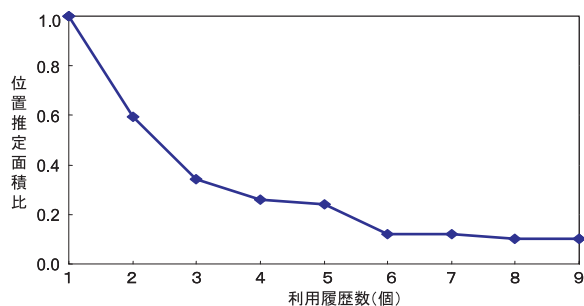


図 8: プロトタイプによる簡易実験結果

る程度まで面積が小さくなると，履歴を多く適用してもあまり減少しないことがわかる。これは，小さい推定範囲に対して位置推定アルゴリズムを適用すると，適用した結果減少した面積も小さいためであると考えられる。また，本実験で実装した $A \times B$ 型アルゴリズムは今までの位置推定により得られた範囲とアルゴリズムを適用する履歴とが部分的に重なっていないければ位置推定を行うことができない。そのため，今までの推定範囲が小さいと，その範囲と部分的に重なる履歴が少なくなり，履歴が多くなっても $A \times B$ 型アルゴリズムで利用できない履歴が多くなることが考えられる。今回の実験では，本方式の目標である数十 cm 以下の精度に達しているが，簡易的な実験であるため，RF タグの位置や RF タグとの通信距離，RF タグの探索信号間隔，モバイルタグリーダ自身を位置検出する場合の誤差など実験環境を変えた場合に目標精度に達することができるかを確認する必要がある。次章では，RF タグの位置についてシミュレーションにより評価を行う。

5 シミュレーションによる位置推定アルゴリズムの評価

5.1 シミュレーション環境

シミュレーションにより，位置管理サーバにおける位置推定アルゴリズムについて，RF タグの配置位置を変えた場合，実装した簡易的な $A \times B$ 型アルゴリズムによる推定範囲の面積が目標精度に達するかを確認する。また，RF タグの配置位置の違いにより，位置推定に与える影響について評価する。

まず，表 2 に示す条件下で RF タグを配置する。RF タグは図 9 のように 9 つ配置し，それぞれの RF タグは移動しない。この 9 つの RF タグを四隅に配置した RF タグ，壁際の中央に配置した RF タグ，中央に配置した RF タグと分類し，それぞれ分類された RF タグの位置推定により得られた範囲の平均面積を計算する。このシミュレーションを 3 回

表 2: シミュレーションの各パラメータ

パラメータ	設定値
フィールドサイズ	5m × 5m
測定回数	3 回
モバイルタグリーダ数	1 個
RF タグの探索信号間隔	1 秒
RF タグとの検知距離	1m

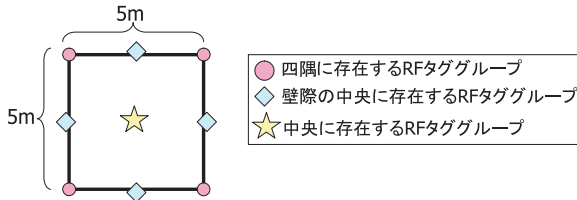


図 9: シミュレーションでの RF タグの配置位置

繰り返し, RF タグの位置の違いによる位置推定により得られた範囲の面積の大きさの違いを調べる.

5.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 10 に示す. 各 RF タグの位置推定に利用した履歴数を横軸とすると, 中央に配置した RF タグは推定範囲の面積が非常に小さくなっているが, 四隅に配置した RF タグはあまり面積が小さくなっていない. これにより, $A \times B$ 型アルゴリズムは RF タグが四隅に存在する場合に適していないことが確認できる. また, RF タグが四隅に存在している場合, 本方式の目標精度である数十 cm 以下に達する前に面積が収束しているため, 実装した $A \times B$ 型アルゴリズムだけでは, 精度が不十分であると言える. また, 四隅, 壁際の中央, 中央に配置した RF タグについての平均履歴数を調査した結果, 四隅は約 135 個, 壁際の中央は約 610 個, 中央は約 1838 個となっており, 四隅に配置した RF タグについての履歴数が少ない. これは, モバイルタグリーダは四隅に配置した RF タグを検知しづらいことを表しており, 四隅に配置した RF タグの位置推定を行う場合, ある程度まで推定範囲小さくなるまで, かなりの時間がかかると考えられる. そのため, $A \times B$ 型アルゴリズムやドーナツ型アルゴリズムを併用することにより, $A \times B$ 型アルゴリズムの欠点を補い, RF タグがどの位置に存在している場合でも本方式の目標精度である数十 cm 以下に達するよう本方式を改良する必要がある.

6 まとめ

本稿では, 筆者らが提案している移動機器連携トラッキング方式における位置の高精度化を目的とし

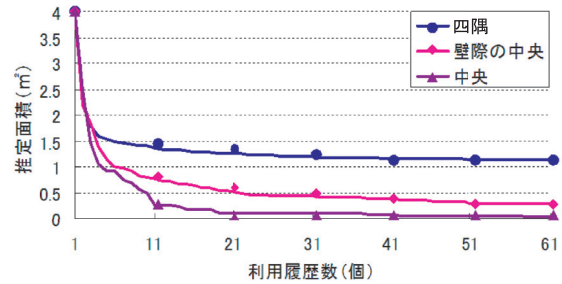


図 10: RF タグの配置位置による位置推定の影響

た位置推定アルゴリズムについて検討した. まず, 現在検討している 4 方式の位置推定アルゴリズムについて概要と特徴を述べ, 各方式を併用することで RF タグの位置による位置推定結果の影響を緩和できることを述べた. 次に, プロトタイプを実装し, 位置推定アルゴリズムの有効性を確認し, 推定範囲の面積はある程度減少すると収束することを確認した. また, シミュレーションにより RF タグが部屋の四隅に配置した場合, $A \times B$ 型アルゴリズムでは推定範囲はあまり減少せず, 本方式の目標精度に達しないことを確認した.

今後は, $A \times B$ 型, ドーナツ型アルゴリズムを実装し, $A \times B$ 型アルゴリズムと併用することで, 部屋の四隅に RF タグが存在していても本方式の目標精度に達するかを評価する. また, RF タグの密度, タグリーダの通信距離, RF タグの探索信号間隔などのパラメータを変えた場合の位置推定に与える影響について検討する. 並行して, 実際に物品管理システムを構築し, 実環境で影響すると思われるタグリーダの指向性, タグリーダの通信距離の不安定性, 人間の移動特性などが本システムにどのような影響を与えるかを評価する.

参考文献

- [1] ココセコム: <http://www.855756.com/top.html>
- [2] 佐々木他: “ LocationWeb: 携帯電話を用いた位置情報ベースのコンテンツ作成・検索に関する提案と実装 ”, DICOMO2004, pp.109-112, 2004.
- [3] 峰野他: “ 移動機器連携口ケーショントラッキング方式の提案 ”, 情報処理学会研究報告, Vol.2004-GN-51, pp.1-6, 2004.
- [4] J.Hightower and G.Borriella: “ Location Systems for Ubiquitous Computing ”, IEEE Computer, Vol.34, No.8, pp.57-66, 2001.