

Title	既知タグとの共変化を利用したActive RFIDタグの測位方法
Author(s)	中田, 豊久; 伊藤, 日出男; 金井, 秀明; 國藤, 進
Citation	第五回知識創造支援システムシンポジウム報告書: 8-15
Issue Date	2008-03-14
Type	Conference Paper
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/4414
Rights	本著作物の著作権は著者に帰属します。
Description	第五回知識創造支援システムシンポジウム, 主催: 日本創造学会, 北陸先端科学技術大学院大学, 共催: 石川県産業創出支援機構文部科学省知的クラスター創成事業金沢地域「アウェアホームのためのアウェア技術の開発研究」, 開催: 平成20年2月21日~23日, 報告書発行: 平成20年3月14日

既知タグとの共変化を利用したActive RFIDタグの測位方法

An Angulation Method for Active RFID Tag using Covariance with Known Tags

中田 豊久
Toyohisa NAKADA

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科
School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST)
t-nakada@jaist.ac.jp

伊藤 日出男
Hideo ITOH

産業技術総合研究所 情報技術研究部門
Information Technology Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

金井 秀明
Hideaki KANAI

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学教育研究センター
Center for Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST)

國藤 進
Susumu KUNIFUJI

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科
School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST)

keywords: Active RFID, 測位, 位置情報, 電波, 共変化

Summary

We present a new angulation method for detection of active RFID tags. Angulation method is a method for detecting a position by using angles from fixed base stations to target object of which the method detects the position. When a person cuts across the transmission path from a tag to a reader, the strength of electric wave is generally changed. The method employs fixed tags whose locations are already known. When the strengths of the fixed tag and a target tag are changed concurrently, our method recognizes an angle of the target tag as an angle of the fixed tag. In general an angulation method for electric wave needs array antennas or an antenna which rotates on its axis. In contrast, our method needs only some fixed tags whose locations are already known without the needs of changing the other components of position detection system. Therefore, the method can be easily integrated with existing technologies such as RSS, TDOA, and so forth. In this paper we also describe performed preliminary experiment in order to demonstrate an advantage of our method. We could reduce about 17% errors by integrating our method to RSS method.

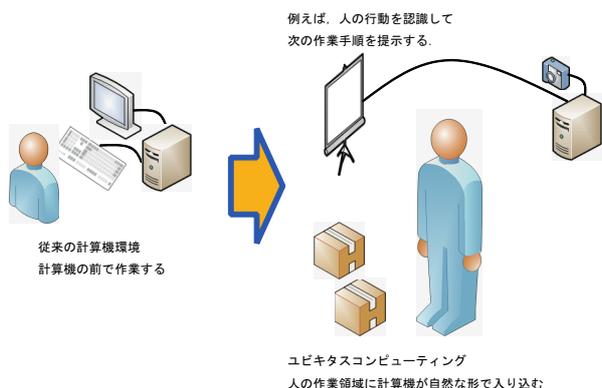


図1 ユビキタスコンピューティング

1. はじめに

従来の計算機技術は、デスクトップコンピュータに代表されるように、ユーザが計算機の前に行きキーボードとマウスを用いて計算機に指示を与え、ディスプレイやス

ピーカーからの出力によってその結果を得るという方法を前提としていた。一方近年では、人が計算機の前に行くのではなく、計算機が人の活動空間に入ってくるというパラダイムシフトが起きている(図1)。計算機は、ユーザの行動を見守り、必要な時に必要な情報を提供することができるようになる。このような技術を実世界指向インターフェース [Rekimoto 95] やユビキタスコンピューティング [Weiser 91], パーベイシブコンピューティングなどと呼ばれている。この技術を実現するためには、ユーザの状態を認識する技術が必要不可欠になる。このためにカメラなどによって画像を認識する技術などが近年に盛んに開発されている。しかし画像認識によるユーザの状態認識は、現時点ではまだ実用化に至らないものが多い。そこで、ユーザがどこにいるのか、という位置情報を使うというアプローチが近年注目されている。たとえ位置だけであっても計算機が認識することができれば、これまでに実現できなかった様々なサービスを提供できるようになる。我々もこの観点から、位置情報に基

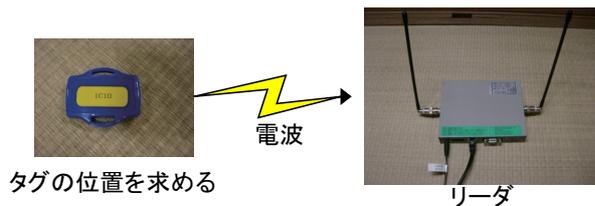


図 2 Active RFID

づく様々なユーザを支援するシステムを開発してきた [中田 07(1), 中田 07(2)]. 今後は, この位置情報と, 気温や天候などの環境情報や脈拍などの身体情報を組み合わせることによりさらに高度なサービスが提供できることが期待される. そのためにも位置を正確に取得するという技術は, 基礎的な技術であり重要な位置を占めると考えられる.

本論文では, この位置を測定する技術について, 特に電波を利用する Active RFID タグの測位方法について新しい手法を提案する. Active RFID とはタグが定期的に電波を発し, それを環境内に複数設置したリーダーによって取得し, タグの位置や ID を一意に識別する装置である (図 2). このような電波を利用する機器の測位は, 近年多くのノートパソコンで利用されている無線 LAN による測位に応用できるため, 技術の利用範囲は高いと考えられる.

本論文は次のように構成されている. 2 章では産業界, 大学・公的研究機関における測位技術または位置情報を利用したシステムについて述べる. 3 章では従来の測位技術について分類し, 我々の手法の位置づけを明らかにする. 4 章では我々の提案する測位方法について述べる. 5 章では従来手法の RSS 方式に我々の手法を統合した場合に, 測定誤差が小さくなることを実験から示す. そして 6 章で効果的な利用方法について提案し, 7 章でまとめる.

2. 関連研究

産業界ではすでに様々な電波を用いた測位システムが販売, またはサービスが行われている. 日立製作所は Air-Location^{*1} という無線 LAN の電波を用いた測位機器を販売している. 富士通でも電波を用いた測位について技術開発を重ねている^{*2}. ソニーではソニーコンピュータサイエンス研究所 (CSL) からスピンアウトした会社が無線 LAN による測位とそのサービスを提供する会社を設立している^{*3}. また NEC など^{*4}でも電波を用いた測位技術を開発している.

一方, 大学や公的研究機関では, 例えば国立情報学研究

所 [Sato 06] では, Active RFID による測位システムをベースとした位置情報サービスにおけるプラットフォームを提案している. また, 産業技術研究所でも博覧会や学会などで位置を用いた高度情報サービスを提供している [Sashima 03]. Hightower ら [Hightower 02] は複数の測位システムからの位置情報を融合するシステムを開発している. また, 位置から人がどのような交通機関を利用しているか, どこに行こうとしているかを学習する仕組みを提案している [Hightower 05]. 特定のパターンをカメラで捕獲することによって位置を習得する方法の応用例として, Butz ら [Butz 04] は, そのパターン (タグ) の位置を記録し, ユーザから要求があるとその物の位置をスポットライトで照らす捜し物発見支援システムを提案している. また, Reitmayr ら [Reitmayr 03] も同様にカメラで認識できるタグを利用して, シースルーで外界が見えるヘッドマウントディスプレイに付加情報をのせることにより, 実空間の特定の位置に情報を示す拡張現実を実現している.

3. 測位技術について

3.1 測位技術の分類

測位技術には, 様々な手法が従来から提案されている. 以下にその方式による分類を示す.

Proximity, Centroid, Cell-ID 方式 電波を受信する

リーダーの位置の平均によって対象物の位置を推定する.

Lateration 複数個所のリーダーからの距離を用いて対象物の位置を推定する.

RSS 方式 受信電波強度から距離を推定する.

TOA 方式 受信電波の滞空時間から距離を推定する.

TDOA 方式 電波を受信する複数リーダー間の受信時間差から距離を推定する.

Angulation 複数個所のリーダーへ到達する電波の方向を用いて対象物の位置を推定する.

AOA 方式 複数リーダーに到達する電波の向きを利用して対象物の位置を算出する.

現在最も精度の高い測位を可能とする技術は, TOA や TDOA といった送受信差の時間から距離を求めて, 位置を計算する方法であると言われている. 一方, 機器構成の容易さなどから最もよく利用される方法は RSS 方法である. この TOA, TDOA, RSS 方法の Lateration 方式の概要を図 3 に示す. 図の中心にあるタグから発する電波を 3 つのリーダーで取得している. それぞれのリーダーは, 電波到達時間や電波強度から距離を換算する. そして得られる方程式は, タグの位置に対する x, y, z という 3 変数を持つため, 3 つのリーダーで電波を受信するとタグの位置を一意に決定することができる. 但し, 受信電波の距離換算には誤差を含むため, 3 つ以上のリーダーで受信して最小二乗法などによって最も正しい位置を算出する

*1 <http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/>

*2 <http://pr.fujitsu.com/jp/news/2007/01/9-1.html>

*3 <http://www.placeengine.com/>

*4 <http://www.nec.co.jp/press/ja/0701/1602.html>

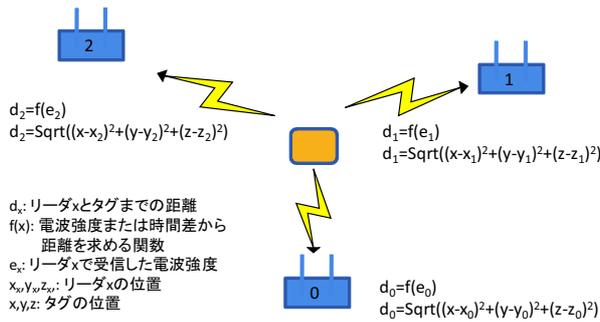


図 3 Lateralation 方式による測位

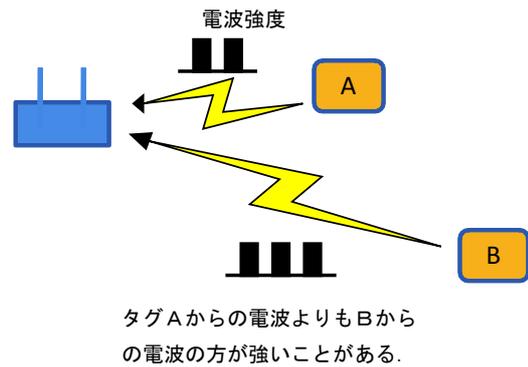


図 4 誤差の発生する原因 (その 1): 電波強度と距離の関係は環境に依存しやすい。

ことがよく行われる。

また、距離や角度から位置を求める計算方法についても、様々な方法が提案されている。以下にその一例を示す。

- 解析的に解を求める (数値解を求める方法も含む)。
- Particle Filter [樋口 05] と呼ばれる確率近似手法を用いる。
- Fingerprinting と呼ばれる機械学習による手法を用いる。電波強度と位置のセットを学習データとして保存し、そこから主に最近傍法 [Aha 91] などを使用して、実際のタグの位置を推定する。

1 種類の測位方式を用いる場合には、解析的に求める方法がよく用いられる。ただし、非線形方程式となるため、ニュートン法などの数値解を求める方法が良く利用される。また複数の測位方法を併用する場合には、計算が煩雑になるため、Particle Filter などの確率的なモデルを適用する例が近年数多く報告されている [Hightower 02, 中田 07(2)]。

3.2 屋内での測位に関する課題

屋内での電波を利用した測位は、機器構成に必要なコストに対して測位精度が悪いことが課題である。最も精度のよい方式と言われている TDOA 方式の場合では、約 1m の測定誤差を得るために、500 万円以上のコストが必要となる。この課題は、先に示した様々な測位技術に共通する課題といえる。

一方、測位技術個々の課題は次のようである。Proximity 方式では測位精度を高くすることは困難である。Lateralation 方式の場合には、RSS 方式では電波強度の環境からの影響が大きいため、測位精度の向上を見込むことが難しい。TOA や TDOA 方式に比べると機器を構成するコストは安くすることができるが、測位精度は高くない。例えば、TDOA 方式の AirStation は 1 セットの販売価格が約 500 万円程である。一方、電波強度を用いる RSS 方式は、例えばキュービックアイディ社の Active RFID^{*5}では 1 セット 80 万円程である。TOA や TDOA 方式は精度が高くなる代わりに多くのコストを必要とする。Angulation 方式では、アンテナを機械的に振る、または

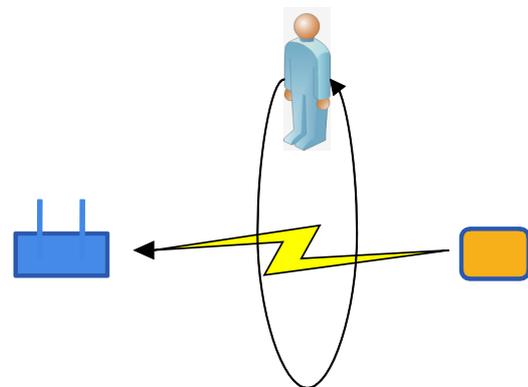


図 5 誤差の発生する原因 (その 2): 人などの電波に影響を与える物体の移動により、電波強度は変化する。

巨大なアレイアンテナなどが必要になるため、システムの寸法が大きくなり、室内で利用することは困難である。

図 4, 図 5 には誤差を発生させる主な原因を示す。RSS 方式の場合には、図 4 のように距離が遠いタグの方が反射やマルチパスといった環境に依存した状況により電波強度が強いときがある。また、図 5 のように人は電波に影響を与えるため、人がいる環境内では、人が移動するたびに電波に変化が与えられる。これらが電波による測位の精度を悪くしている主な原因である。

4. 位置が既知であるタグを利用した Angulation 方式

本章では、我々の提案する新しい測位技術について述べる。新しい測位技術は、位置の分かっているタグ (固定タグ) を空間内にいくつか配置し、測位したいタグ (移動タグ) からの電波と、固定タグの電波が同時に変化したときに、固定タグの方向に移動タグがある、と判断する方法である。

4.1 既知タグと移動するタグの電波変化を利用する

図 5 で示した誤差の出る原因は、人が電波の伝送路を横切ると、電波強度が変化することである。この特性を

*5 <http://www.k-ubique.co.jp/active/index.html>

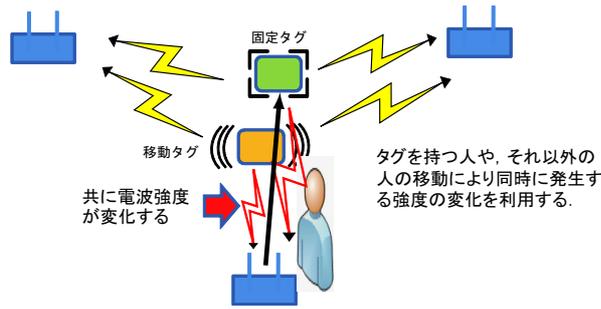


図 6 既知タグと移動タグの電波の共変化を利用した、移動タグの方向推定方法。

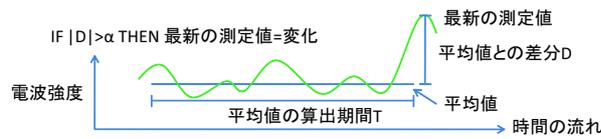


図 7 電波変化の検出方法

利用し、予め空間内に複数の位置の分かっているタグ（固定タグ）を配置し、測位したいタグ（移動タグ）の電波が変化したときに同時に電波強度を変化させる固定タグの方向に、移動タグが存在すると推定する。固定タグを予め空間内に配置する必要があるが、一般的にタグはリーダーよりもコストが安いので、リーダーの数を増やして測位精度を向上させるよりも効果的である。

図 6 にその概要を図示する。移動タグと固定タグの両方からの電波を同時に人が遮っている。電波であるためリーダーでは受信不可能になることは少なく、弱まったり、特に強まることになる。この変化を捉え、位置の分かっている固定タグの方向に、移動タグがあると認識する。

電波の変化は図 7 のようにして判定する。ある一定の期間の電波強度を保存し、そこから得られる平均と、最新の電波強度を比較してある一定の値以上の差がある場合には、変化すると判定する。しかしこの場合には、電波強度が大きく変化し続けている時には、誤認する可能性がある。そこで、安定した電波がある一定の期間計測され、その電波との差が大きい場合に変化すると判定してもよい。この場合には、平均だけでなく分散を利用してもよいし、ある一定期間の電波強度から最尤推定によって正規分布を求め、最新の電波強度が生起する確率に、変化し/しないの閾値を与えてもよい。

変化が同時に生起したという「共変化」という現象は、正確には図 8 のようにして判定される。移動タグの電波強度が変化したときに、その前後のある一定期間の間に生起した固定タグの変化を探し、あればそれが共変化として認識される。

4.2 使い方と本手法の限界

測位したいタグのある空間に人が 1 人しかいないと特定できる場合には、図 9 のように物に移動タグを装着し

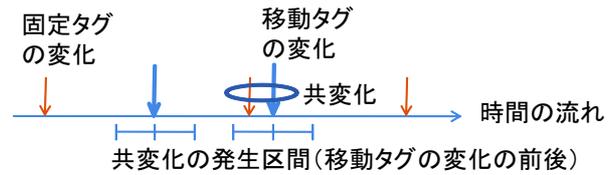


図 8 共変化の検出方法

てその位置を測位するという使用方法が考えられる。この場合には人にタグを付けて、人の位置を測位するという使用方法は考えられない。それは、空間内に人が 1 人しかいないため、タグを付けていなくても固定タグの変化が発生したときにその方向にその人がいると推定できる。この方法は、Liu ら [Liu 07] の手法と同じである。Liu らの手法では、空間内にタグを格子状に複数配置し、それらから発せられる電波の変化により空間内の人の位置を認識する方法である。人はタグを持たなくてもよいが、空間内に複数人がいると同時に位置を認識することが困難なことも多い。よって我々の手法は、空間内に 1 人しかいないと特定できる環境では、物に移動タグをつけるという使用方法のみが考えられる。

一方、空間内に複数人が居る場合には、図 10 のように人にタグをつけたり、物にタグをつけたりする使用方法が考えられる。但し共変化を利用するため、1 つのリーダーで同時に方向を特定できる移動タグの数は 1 つに限定される。例えば図 11 のように、1 つのリーダーで 3 つの変化を同時に観測した場合、移動タグと共変化している電波は、B1 の固定タグなのか B2 なのか判別することは不可能である。このような場合には、本手法では方向を特定することはできない。また、図 12 のように方向を誤認するケースも考えられる。図 12 の左側では 2 人の人が同時に移動タグと固定タグをそれぞれ阻害した場合である。この場合には、移動タグの方向を固定タグの方向であると誤認してしまう。図 12 の右側でも同様に、歩いている人の持つ移動タグと別の人が阻害する固定タグの電波が共変化する場合に、移動タグの方向を誤認する。これらの誤認は、経験的には次のような方法で軽減することも可能であると考えられる。それは、タグの電波を受信するすべてのリーダーで移動タグの変化を観測した場合には、そのタグは移動中であると考えられる。移動中であれば誤認する可能性が高いため、たとえその時に共変化を観測しても無視する、ということも考えられる。

4.3 実装方法

共変化が観測され、移動タグが固定タグの方向にあると分かった時に、移動タグが固定タグとリーダーとを結び直線上にあると考えるよりも、電波を阻害する人の後ろにタグがあると考えた方がよいであろう。そのように考えると、図 13 のようにタグのある可能性のある部分は、円錐の形になる。この円錐の中に移動タグがある

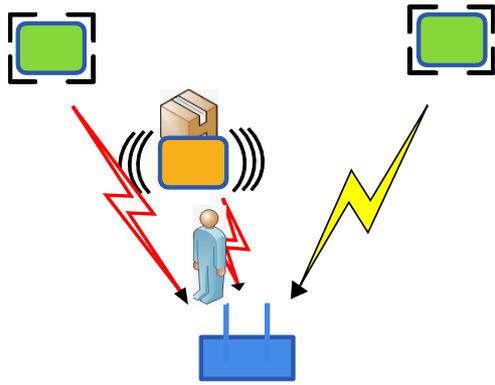


図 9 空間内に人が 1 人の場合の使用方法の例

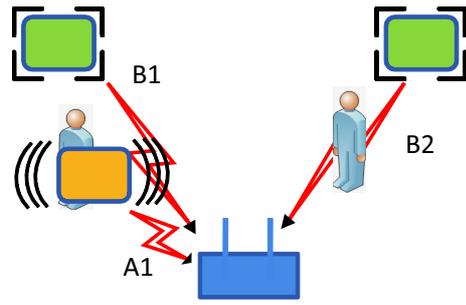


図 11 移動タグの方向を認識することができない例

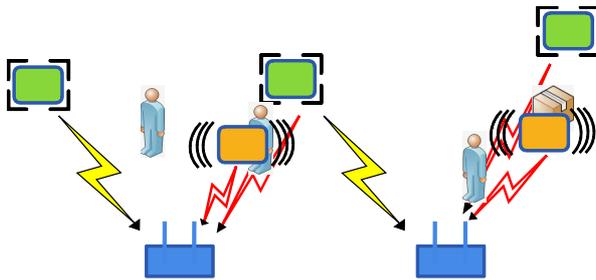


図 10 空間内に人が複数人の場合の使用方法の例

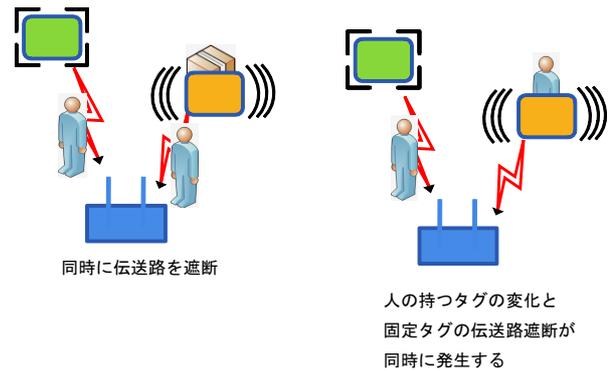


図 12 移動タグの方向を誤る例

と考える．この円錐を，座標などを含めて幾何学的に図示したものが図 13 である．そして以下では，その式を示す．

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X2 - X1 \\ Y2 - Y1 \\ Z2 - Z1 \end{bmatrix} t + \begin{bmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} xa - xb \\ ya - yb \\ za - zb \end{bmatrix} t + \begin{bmatrix} xb \\ yb \\ zb \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$Tb = \frac{(X1^2 + X2 \times xa - X1 \times (X2 + xa) + Y1^2 - Y1 \times Y2 - Y1 \times ya + Y2 \times ya + Z1^2 - Z1 \times Z2 - Z1 \times za + Z2 \times za)}{(X1^2 - 2 \times X1 \times X2 + X2^2 + Y1^2 - 2 \times Y1 \times Y2 + Y2^2 + Z1^2 - 2 \times Z1 \times Z2 + Z2^2)} \quad (3)$$

$$ds = R \times dr \quad (4)$$

$$R = \frac{D}{\sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2 + (Z2 - Z1)^2}} \quad (5)$$

$$Tb \geq 0 \quad (6)$$

$$\frac{\sqrt{(xb - X1)^2 + (yb - Y1)^2 + (zb - Z1)^2} \times D}{\sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2 + (Z2 - Z1)^2}} \geq \sqrt{(xb - xa)^2 + (yb - ya)^2 + (zb - za)^2} \quad (7)$$

図 14 の P1, P2 はそれぞれリーダの位置，固定タグの位置を示す．円錐は，この 2 つの点と，P2 から円周までの距離 D によって決定される．この円錐の中に点 A が含まれるかどうかを判定する式を作りたい．まず，P1, P2 を通る直線を L1 としてその式を式 (1) のように定める．点 A から L1 へ下ろした垂線と L1 との交点を点 B とすると，点 A と点 B を結ぶ直線を L2 としてその式は式 (2) となる．点 B は L1 上の点であるため，式 (1) の L1 の変数 t がある特定の値 Tb であるときの点であるとも見れる．その Tb は，L1 と L2 が直交していること，また B は L1 上の点であることから導出すると，式 (3) となる．

次に円錐の広がりを示す ds は，ds を求めるための L1 上の点と P1 との距離を示す dr の線形変換であり，定数 R を用いて式 (4) として与えられる．定数 R は，P1, P2 と P2 における円錐の広がり D により式 (5) として求められる．

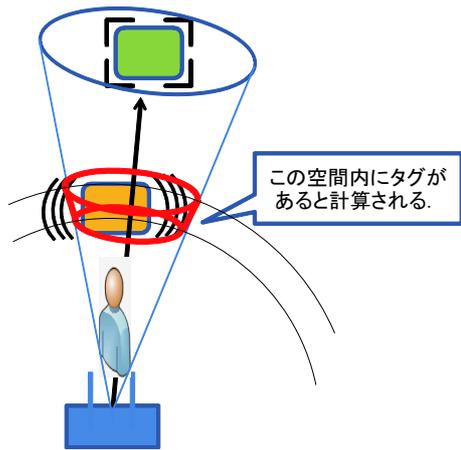


図 13 電波を阻害する人の後ろに、固定タグと移動タグがある。

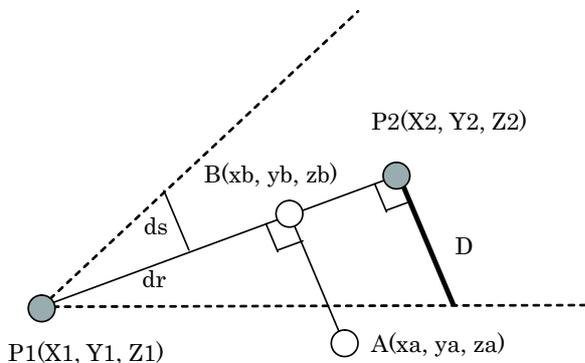


図 14 ある点が円錐の中にあるか、外にあるかを判定するための幾何学的な図形

ここで、点 A が円錐上、または円錐の中にある条件を考える。それは次のような 2 つの条件を同時に満たす場合である。

条件 1 直線 L1 上の点 A に最も近い点 (点 B) は、P1 と同じまたは、P1 に比べて P2 側にある。

条件 2 点 A から点 B までの距離は、円錐の広がりと同じであるか、または小さい。

条件 1 は、点 B を表す定数 T_b の範囲を指定することによって表わすことができる。これを式 (6) として表わす。一方条件 2 は、点 A と点 B のユークリッド距離が式 (5) で表わされる距離よりも式 (4) の ds の方が小さいまたは同じであることを示している。式 (5) で求めた定数 R を式 (4) に代入し、 dr を P1 と B のユークリッド距離として展開すると、式 (7) を得る。これが条件 2 を表す式である。

複数リーダで共変化を検出すると、式 (6)、式 (7) を連立させることができる。そこで最急降下法などによって数値解を得てもよいし、RSS 方式で得られる方程式と連立させて数値解を得てもよい。また、共変化があまり発生しない状況では、以前に観測した共変化と最新の共変化を、観測してからの経過時間を考慮して連立させるこ

とも考えられる。このような実装には、我々が捜し物支援システム [中田 07(2)] で提案したパーティクルフィルタが適している。パーティクルフィルタは、予測ステップと観測ステップの 2 つのステップによって状態空間を離散化したパーティクル群を操作し、そのパーティクル群の総和によって位置を確率的に求める方法である。捜し物支援システムでは、予測ステップにパーティクルをランダムウォークさせ、観測ステップでは機器からの電波の観測情報があればそれを確率分布として表わし、パーティクル群をリサンプリングする。このような実装により、機器からの観測情報が得られない時にはパーティクルがランダムウォークをし続け、推定位置の確信度は下がるようになる。よって古い共変化の情報は徐々に忘却され、新しい共変化には強く影響するという計算ができるようになる。

4.4 位置が既知であるタグなどを利用する他の手法との違いについて

予め位置の分かっているものを利用する手法は、従来から数多く提案されている。特に近年の技術としては、GPS の測位精度を向上させるために基地局における誤差情報を利用する DGPS (ディファレンシャル GPS) という方法が知られている。DGPS の場合には、電波を発信する衛星間の時間のずれと、測位するタグまでの伝送路である大気の状態による誤差を軽減することにより、測位誤差を大きく軽減する。しかしこの手法は、屋内における測位では効果をあげにくい。それは、時間のずれについては、有線で接続されているリーダを利用するため、位置が既知のタグを使用する必要があまりない。そして伝送路の状態が変わることに限っては、屋内の場合には空間内にある金属製の物体や水分を含む人のような物体によって局所的に伝送の状態が変わるため、位置が既知のタグと移動タグとの伝送路が同じような状態とは仮定しにくい。我々が行った実験においても測位誤差を軽減されることは確認できなかった。以上より、DGPS の手法を屋内での測位に利用することは困難である。

また、空間内に格子状に複数のタグを配置して、それらからの電波の変化を認識して、タグを持たない人の位置を推定する方法も提案されている [Liu 07]。これは先の 4.2 節でも述べたように、複数の人の位置を同時に測定することは困難である。一方我々の手法は、タグを持たなければいけないという制約があるが、複数人であっても測定することが可能である。

4.5 本手法の特徴

コストの高いリーダを増やすのではなく、コストの安いタグを増やして測位精度を向上させることが本手法の特徴である。RF Code 社の Active RFID (Spider) *6 の

*6 <http://www.rfcode.com/>

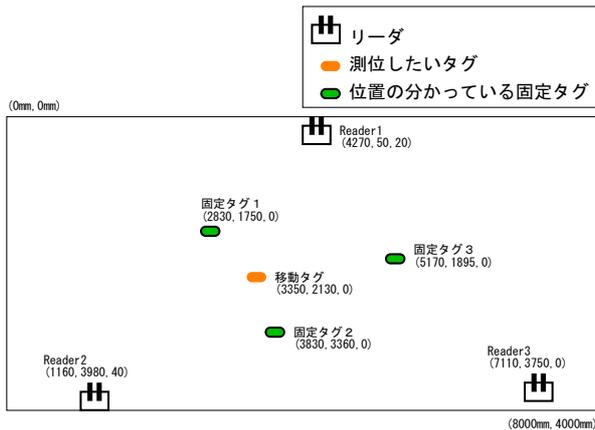


図 15 実験の環境

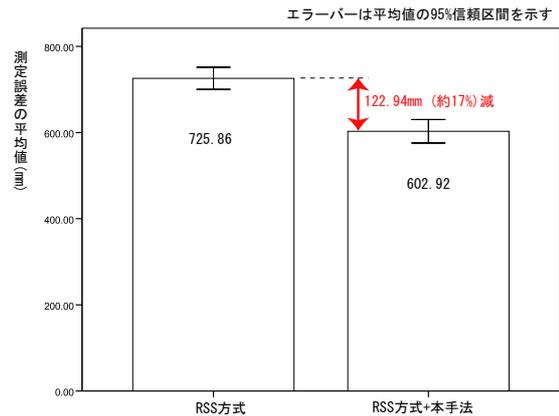


図 16 測定誤差の実験結果

場合，リーダは 28 万程でありタグは 2600 円程である．キュービックアイディの場合は，リーダ 25 万，タグ 2000 円程である．リーダの数を増やすことによって測位精度を向上させることがよく行われるが，本手法は，タグを増やして精度を向上させるため，コスト的に優位である．

また Lateration 方式による従来手法の機器構成を変更することなく，本手法を追加適用することができることも特徴の 1 つである．RSS 方式や TDOA 方式は無線 LAN などの電波による測位において最もよく利用される方法である．これらの手法に機器構成を変更せずに本手法を適用することができることは，利用範囲の広い技術と考えることができるだろう．

5. 評価実験

従来の RSS のみによる手法と，RSS に本手法を追加した方法との測定誤差に関する実験を実施した．実験は図 15 の環境において測位したい移動タグの周りを人が歩き回る，ということを実施した．本手法の実装はパーティクルフィルタを用いた．RSS による測位は，計算したタグの位置を中心とする標準偏差 5000mm の正規分布として表わし，パーティクルのリサンプリングに使用した．また共変化による測位は，頂点をリーダ位置，固定タグの周りでは外周が 1500mm になる円錐として確率分布を表し，パーティクルのリサンプリングに使用した．リーダから得られるタグの電波情報は，RSS 方式のみと RSS 方式と本手法を組み合わせる方式の両者において同じデータを用いて位置を算出した．この算出値と本当のタグの位置とのユークリッド距離を誤差としている．そしてそのそれぞれの測定誤差の平均を図 16 に示す．提案手法を利用しない場合の 725.86mm の誤差が，共変化を利用すると 602.92mm と減っている．共変化を利用すると約 120mm，17%減の測定精度になっている．

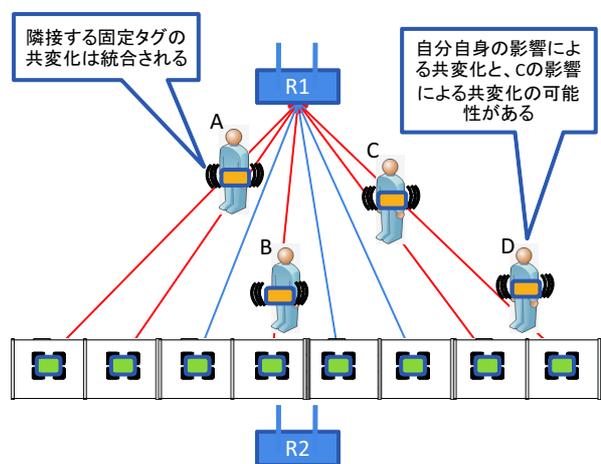


図 17 販売店などで顧客がどの棚の前にいるかを検出する．

6. 利用例の提案

本章では，本手法を効果的に利用できると考えられる 2 つのアプリケーション例について示す．

6.1 販売店などで顧客がどの棚の前にいるかを検出する

店舗などで顧客の行動を把握することは，マーケティングの観点から重要な情報源となりえる．しかし現在では，カメラによる人の認識では，人が居ることがわかっていても，個々人を一意に識別することは困難である．一般的には顧客の店舗での一連の行動を把握したいため，一意に識別できない場合には利用はし難い．そこで電波を発するタグを例えば買い物かごに付け，顧客を一意に識別しつつ，行動履歴を取得することが考えられる．しかし現在の測位システムの精度では，顧客がどの棚の前にいるのかまでは特定しがたい．

そこで本手法を用いることを検討する．図 17 のように各棚にそれぞれの固定タグを設置する．この方法により従来手法よりは正確に顧客がどの棚の前にいるのかを測位できることが期待される．

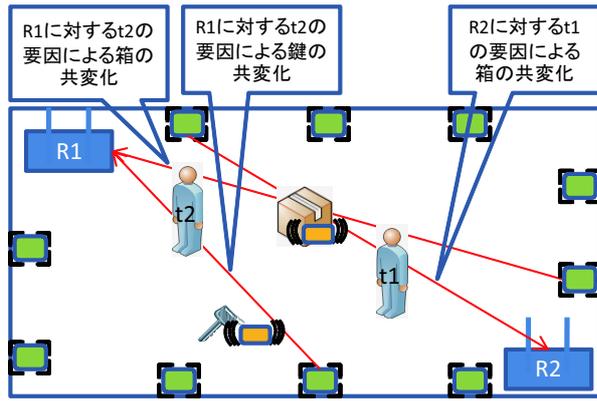


図 18 部屋の中の物の位置を測位し、捜し物発見を支援する．空間内には 1 人が居ることを想定している．図の 2 人の人は、1 人の人の t_1 時間における位置と t_2 時間における位置を示している．

6・2 部屋の中で捜し物を発見する

部屋の中で紛失した物を捜し出すために、本手法を利用する．例えば 1 人部屋であれば、1 日の中で多くの時間は空間内には人は 1 人であるという前提を設けることができる．よって位置が認識できないケースや、誤認することはない．予め紛失しそうな物にタグをつけてれば、電波の透過性の特徴より、例え隠れた位置にあっても正確に見つけ出すことが可能となると考えられる．

7. おわりに

本論文では、屋内環境での電波による測位について、誤差を軽減されるために位置の既知なタグとの共変化を利用する方法について述べた．提案した手法は、従来の測位技術である RSS や TDOA 方式と同じ機器構成で利用することが可能である．よって従来手法に付け加える形で実装でき、誤差を軽減されることことができる．実施した簡易実験では、約 17% の誤差軽減を実現した．しかしこの実験では測位したいタグを固定した場合のみを測位しているため、移動中のタグに関する誤差測定や、既知の固定タグの数を増やしたり減らしたりしたときの誤差値について今後調べていく必要がある．

謝 辞

本研究の一部は文部科学省知的クラスター創成事業石川ハイテク・センシング・クラスターにおける「ウェアホーム実現のためのウェア技術の開発研究」プロジェクトの一環として行われたものである．

◇ 参 考 文 献 ◇

[Aha 91] D. Aha, D. Kibler: Instance-based learning algorithms, *Machine Learning*, 6:37-66, 1991.
 [Butz 04] A. Butz, M. Schneider and M. Spassova: Search-Light - A Lightweight Search Function for Pervasive Environments, *Pervasive Computing Proceedings*, pp.351-356,

2004.
 [Hightower 02] Jeffrey Hightower, Barry Brumitt and Gaetano Borriello: The Location Stack: A Layered Model for Location in Ubiquitous Computing, 4th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems & Applications (WMCSA 2002), pp.22-28, 2002
 [Hightower 05] Jeffrey Hightower, Sunny Consolvo, Anthony LaMarca, Ian Smith and Jeff Hughes: Learning and Recognizing the Places We Go, In *Proceedings of Ubicomp 2005*, Tokyo, Japan. September 2005.
 [樋口 05] 樋口知之: 粒子フィルタ, *電子情報通信学会誌* Vol.88, No.12, pp.989-994, 2005.
 [Liu 07] Y. Liu, L. Chen, J. Pei, Q. Chen, Y. Zhao: Mining Frequent Trajectory Patterns for Activity Monitoring Using Radio Frequency Tag Arrays, *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom2007)*, pp.37-46, 2007.
 [中田 07(1)] 中田豊久, 金井秀明, 國藤進: 実世界での利用を考慮した図書推薦モデルの提案と評価, *情報処理学会論文誌*, Vol. 48 No. 1, pp.148-162, Jan. 2007.
 [中田 07(2)] 中田豊久, 金井秀明, 國藤進: スポットライトを用いた屋内での捜し物発見支援システム, *情報処理学会論文誌*, Vol.48 No.12, pp.3962-3976, Dec. 2007.
 [Reitmayr 03] G. Reitmayr and D. Schmalstieg: Location based applications for mobile augmented reality, 4th Australasian User Interface Conference, pp.65-73, 2003.
 [Rekimoto 95] Jun Rekimoto and Katashi Nagao: The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments, *Proceedings of UIST'95*, pp.29-36, 1995.
 [Satoh 06] Ichiro Satoh: Location-based Services in Ubiquitous Computing Environments, *International Journal of Digital Libraries*, vol.6, no.3, pp.280-291, Springer, 2006.
 [Sashima 03] Akio Sashima, Koichi Kurumatani, and Noriaki Izumi: Location-mediated service coordination in ubiquitous computing, In *Proc. of the Workshop on Ontologies in Agent Systems*, 2nd International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, pages <http://CEUR-WS.org/Vol-73/>. Deutsche Bibliothek, 2003.
 [Weiser 91] Mark Weiser: The computer for the 21th century, *Scientific American*. September 1991.