

アクティブ RFID 技術を用いた 2 点測位による移動体位置推定手法 Position estimation method of moving objects by a two-point positioning technique with active RFID technology

金子 尚人† 長坂 康史†
Naoto Kaneko Yasushi Nagasaka

1. はじめに

ユビキタスネット社会実現に向けて、移動体を検知・追跡する技術は最も重要な技術の一つである。実現のためにさまざまな技術が開発されているが、最近では、RFIDタグを利用した移動体の位置推定が注目されている。しかし、位置推定の精度を向上させるためにはRFIDタグリーダの数を増やす必要があり、位置推定処理に影響を与える。そこで本研究では、アクティブRFID技術を用い、タグリーダの数を抑えることができる位置推定手法を提案する。本手法では、2台のRFIDタグリーダからの情報に対してパーティクルフィルタ[1]を用いることで、位置推定の精度向上を狙う。

2. 概要

本研究で提案する位置推定手法は、移動体のリアルタイム位置推定を目的としている。一般に位置推定精度を上げるためにはタグリーダの数を増やすことが考えられる。しかし、タグリーダを増やすことは、その設置に手間がかかり、実用的でない。そこで、提案手法では、アクティブRFID技術を用いた2点測位による移動体位置推定手法を提案する。

本手法では、歩行している人を移動体と定義し、その移動体は端末操作が困難または不可能であることを前提として、その位置特定を目的とする。これは、例えば、病院や老人介護施設で徘徊する老人の位置を医療関係者が把握するといった場面を想定している。

アクティブRFIDタグは、固有のIDを保持しており、それを電波に載せて発信する。そのため、RFIDタグを付与した移動体を識別することができる。また、RFIDタグリーダで、電波受信時にその強度を測定することで、RFIDタグを付与した移動体との距離を推定する。そして、2台のRFIDタグリーダを用いた2点測位により、移動体の2次元平面上の位置を推定する。提案手法では、2台のRFIDタグリーダを地面に対し、同じ高さ設置する。また、移動体に付与するタグは、地面に対し、RFIDタグリーダと同じ高さに装着する。提案手法では、地面に平行で、2台のRFIDタグリーダが存在する2次元平面を、移動体の位置を推定する領域とする。

3. 移動体位置測位手法

移動体の位置測位手法として、2つ以上の基準点からの距離を基に測位するLateration(三角測量法)がある。提案手法では、このLaterationにより、2つの基準点からの距離を基に位置を推定する。Laterationによる位置推定概念を図1に示す。2点測位にLaterationを用いた場合、2つの候補点が生じる。本手法では、候補点を1つに絞るため、図1のように2台のRFIDタグリーダを結ぶ直線を境界線とし、境界線により分割された2つの領域の片側を、移動体の非存在領域とした。

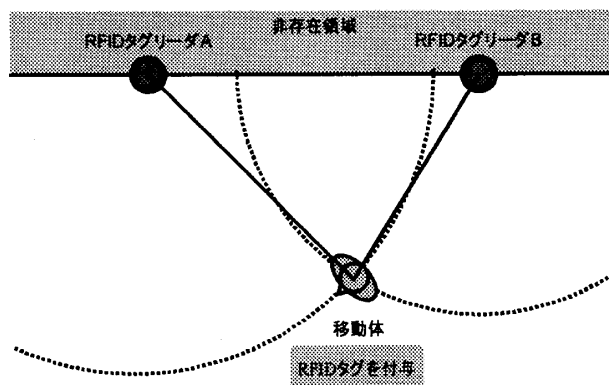


図1. Laterationによる移動体の位置推定

4. 移動体位置推定手法

本研究で提案する位置推定手法では、位置推定の精度向上を目的とし、パーティクルフィルタを用いた。本研究では、アクティブRFIDタグを利用するため、環境によってマルチパスやフェージングといった雑音による影響を受け易い。これは、移動体のリアルタイム位置推定処理において、精度に影響を及ぼす。パーティクルフィルタは、予め構築した学習データと以前の状態量に基づいて推定を行うため、頑健な位置推定が可能であることが知られている[2][3]。

4.1. パーティクルフィルタ

パーティクルフィルタは、時刻 t における状態量 s_t を時刻 t における観測データ o_t と時刻 $t-1$ における移動体の状態量 s_{t-1} から推定する手法である。観測データの集合を $O_t = \{o_1, o_2, \dots, o_t\}$ とすると、パーティクルフィルタは、次式で表される。

$$P(s_t | O_t) = P(o_t | s_t) \int P(s_t | s_{t-1}) P(s_{t-1} | O_{t-1}) ds_{t-1} \quad (1)$$

パーティクルフィルタでは、状態ベクトルと重みで構成される仮説を立てる。その仮説を(1)式において、運動モデル $P(s_t | s_{t-1})$ に従って移動させる。移動後の仮説に対して、観測データを入力とする観測モデル $P(o_t | s_t)$ によって重み付けを行う。仮説群の中で、最も重みの大きい値を持つ仮説が追跡対象の存在尤度を表す。

4.2. パーティクルフィルタを用いた移動体位置推定手法

提案手法におけるパーティクルフィルタを用いた移動体位置推定アルゴリズムの概要を図に示す。パーティクルフィルタは、図2の(b)以降の処理サイクルを繰り返すことで、真の分布に収束していく特長を持つ。この処理サイクルにおいて、本手法は、処理(c)の後、重みの比に従ってパーティクルを分割し、新パーティクル群を復元抽出することで、以前の状態量を現在の状態推定に反映させる特長を持つ。

† 広島工業大学大学院工学研究科

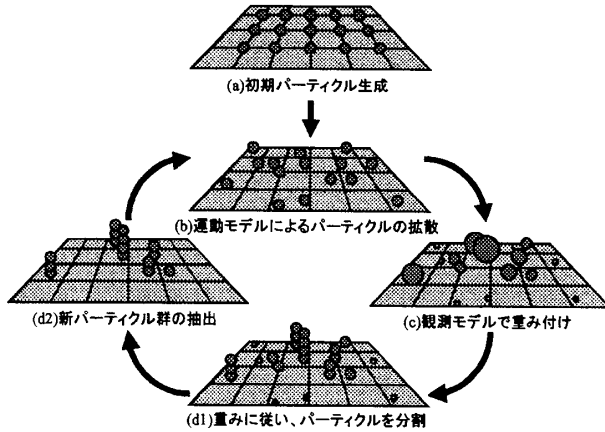


図2. 位置推定アルゴリズム

(a) 初期パーティクルの生成

2台のRFIDタグリーダA、Bから、それぞれの位置を中心とし、半径を1m間隔で大きくした円形の等距離線を描く。そして、AとBの円の交点を候補位置とする。この候補位置に対し、重みの均等なパーティクルを配置する。重みには、パーティクルの総数 N の逆数を初期値として設定する。

(b) パーティクルの拡散

運動モデルに従って、パーティクルの状態ベクトルを更新し、パーティクルの位置を移動させる。本手法は、移動体の向いている方向は検知しない。人の移動方向は不規則に変化するものとして、ランダムウォークを用いて運動モデル化する。時刻 t における i 番目のパーティクルの状態ベクトル $p_i^t = (x_i^t, y_i^t)$ に、平均0、分散 σ^2 の正規分布に従う乱数を加えることで実装する。 σ は、RFIDタグの電波発信間隔時間内に人が移動する速度に対応している。自らパーティクルを動かすことで能動的な位置推定が可能となる。

(c) パーティクルの重み付け

2台のRFIDタグリーダで観測したデータを予め学習データにより構築した観測モデルに入力することで、パーティクルの存在確率を求める。その存在確率に基づいて重みを決定する。観測モデルは、0mから9mまで1m間隔であらかじめ測定したデータを基に、それぞれの距離に対応する電波強度の確率分布を、正規分布と仮定して構築した。まず、RFIDタグリーダA、Bそれぞれに対し、次に示す(2)式により、RFIDタグリーダの位置 (x_{TR}, y_{TR}) と時刻 t における i 番目のパーティクルの状態ベクトル $p_i^t = (x_i^t, y_i^t)$ から、その距離 dis を求める。

$$dis = \sqrt{(x_i^t - x_{TR})^2 + (y_i^t - y_{TR})^2} \quad (2)$$

この距離に対応する観測モデルに、観測した電波強度を入力し、パーティクルの存在確率 e_i^t を求めている。

求めた存在確率より、RFIDタグリーダA、Bそれぞれに対し、次の(3)式で重みを求める。ここでは、パーティクルの存在確率の和が1になるように正規化を行っている。

$$w_i^t = \frac{e_i^t}{\sum_{i=1}^N e_i^t} \quad (3)$$

A、Bそれぞれで求めた重み $w_{TR(A)t}^i$ と $w_{TR(B)t}^i$ の積を時刻

t における i 番目のパーティクルの重みとする。この式を(4)に示す。

$$w_i^t = \frac{w_{TR(A)t}^i \times w_{TR(B)t}^i}{\sum_{i=1}^N (w_{TR(A)t}^i \times w_{TR(B)t}^i)} \quad (4)$$

(d) パーティクルの再構成

新パーティクル群を抽出する処理を行う。重みの比を基準にパーティクルを分割する。分割後のパーティクルから、 N 個の新パーティクル群を復元抽出する。これは、常に N 個のパーティクルを処理することで、処理時間を一定にする狙いがある。

5. RFIDタグリーダ少数化の意義

提案手法と従来の3点測位による位置推定手法を、RFIDタグリーダ1台の故障によるシステム全体の非稼働率で比較することで、2点測位を用いた提案手法の有効性を示す。

次の(5)、(6)式は、RFIDタグリーダの稼働率を α とし、3点測位手法と2点測位手法のRFIDタグリーダ1台の故障によるシステム全体の非稼働率を求める式である。

$$P_{F(3)} = {}_3C_1 (1-\alpha)\alpha^2 = 3\alpha^2(1-\alpha) \quad (5)$$

・3点測位手法 (2点測位手法に切り替え不可能な場合)

$$P_{F(2)} = {}_2C_1 (1-\alpha)\alpha = 2\alpha(1-\alpha) \quad (6)$$

(5)、(6)式より、3点測位手法を用いた場合、2点測位手法に比べ、RFIDタグリーダ1台の故障によるシステム全体の非稼働率は、 $P_{F(3)}/P_{F(2)} = 1.5\alpha$ 倍となることが分かる。

従って、RFIDタグリーダの稼働率 α が2/3以上である場合、2点測位手法の方が、システム全体の稼働率に及ぼす影響が低い。同時に、RFIDタグリーダ1台の故障発生時、システムは機能しなくなるが、被害を受けるRFIDタグリーダ数を1台に抑えられる。また、RFIDタグリーダ数が増えるほど1台あたりの故障によるシステム全体の非稼働率が高くなるため、RFIDタグリーダ少数化は、有効である。

6. まとめ

本研究では、アクティブRFIDタグ技術を用いた2点測位による移動体位置推定手法を提案した。本研究では、アクティブRFID技術を用い、RFIDタグリーダの数を2台に抑えることで、タグリーダを多数設置する手間における問題に対し、有効であると考えられる。また、予め構築した学習データと以前の状態量に基づいて推定するため、雑音環境下においても頑健な位置推定が可能であるパーティクルフィルタを用いたことにより、精度の向上が期待できると考えられる。

参考文献

- [1] 樋口知之、“粒子フィルタ,” 電子情報通信学会誌 Vol. 88 No. 12, pp989-994, (2005).
- [2] 鈴木 達也、岩崎 慎介、小林 貴訓、佐藤洋一、杉本 晃宏、“環境モデルの導入による人物追跡の安定化,” 電子情報通信学会誌 Vol. J88-D-2 No. 8, pp1592-1600, (2005).
- [3] 岡 兼司、佐藤 洋一、中西 泰人、小池 英樹、“適応的拡散制御を伴うパーティクルフィルタを用いた頭部姿勢推定システム,” 電子情報通信学会誌 Vol. J88-D-2 No. 8, pp1601-1613, (2005).