

測域センサによる測距情報と構造壁面情報を用いた 屋内位置推定システムに関する一検討

笹木俊之介[†] 藤井雅弘[†]

宇都宮大学大学院 工学研究科 情報システム科学専攻[†]

1 はじめに

近年、動線管理やナビゲーションといった位置情報を利用した情報サービスが注目されており、屋外だけでなく、屋内でも位置推定の需要が増加している。自己位置推定のために、近年注目を集めているセンサとして測域センサがある[1]。本稿では、測域センサを歩行者装着型端末に搭載した新しい位置推定システムを提案する。これは通常の測域センサの利用形態と異なり、腕部等に測域センサを装着した歩行者の位置を推定することを目的とする。この時、測域センサの姿勢は歩行者の歩行動作とともに激しく変化することが想定される。したがって、通常、測域センサの測距空間は2次元平面であるが、その平面が歩行に伴い変化することで、経時的に3次元空間に近い計測に拡張可能であると考えられる。本稿では、各時刻での測域センサによる測距情報と、反射点を構成する壁や床等の構造壁面情報を整合させることで歩行者の位置を推定する。この時、測域センサの姿勢情報が必要となり、加速度、ジャイロ、地磁気センサで構成される姿勢センサを測域センサと同姿勢で端末に搭載し、IMU、またはMARGフィルタ[2]による端末姿勢推定を行いながら、位置推定を行う。本稿では数値計算実験を行い、位置推定性能と計算量との比較を行った。

2 3次元座標系と回転

本稿で想定する座標系と回転について定義する。まず、図1中の $x-y-z$ の3軸直交座標系で規定される3次元座標系をワールド座標系と呼び、屋内構造の記述空間とする。

次に、ワールド座標系の原点移動と回転によって規定される座標系をオブジェクト座標系と呼ぶ。オブジェクト座標系は図1中の $\tilde{x}-\tilde{y}-\tilde{z}$ の3軸直交座標系で規定される。今、端末がワールド座標系における点 $\underline{o} = [x_o, y_o, z_o]^T$ に存在するものとする。本稿では、座標系の回転は回転軸 $\underline{n} = [n_x, n_y, n_z]^T$ と回転角 θ によって表すこととする。このときの回転行列を $\mathbf{R}(\underline{n}, \theta)$ とする。

A study on indoor positioning system based on distance estimation by SOKUIKI sensor and reflection surface information

[†]Shunosuke Sasaki, Masahiro Fujii

[†]Department of Information System Science, Graduate School of Engineering, Utsunomiya University

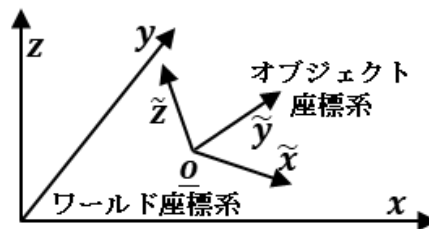


図1 3次元座標系

3 構造物による反射

3.1 構造壁面情報

本稿では、壁面や床面など900nm程度の波長の信号を反射する反射面が周囲に存在すると想定する。反射面は複数連結もしくは独立して存在し、各反射面は三角形の集合で表現されるものとする。今、想定する空間が K 個の三角形で構成されているものとする。第 k 番目の三角形の頂点座標を $\mathbf{v}_k = [v_{k,0}, v_{k,1}, v_{k,2}] \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ と表す。 K 個の三角形の頂点座標をまとめて $\mathbf{v} = \{\mathbf{v}_k\}_{k=0, \dots, K-1}$ と表す。

3.2 オブジェクトと反射面間距離

$x-y$ 平面上において、 x 軸正方向を指し示す方向ベクトルを反時計周りに ϕ_l ($l = 0, \dots, L-1$)だけ回転させた方向ベクトルを $\underline{u}(\phi_l)$ と表す。 \underline{u} に回転行列 $\mathbf{R}(\underline{n}, \theta)$ で規定される回転を施し、 \underline{o} だけ平行移動させた方向ベクトルは、

$$\tilde{\underline{u}}(\phi_l) = \mathbf{R}(\underline{n}, \theta)\underline{u}(\phi_l) + \underline{o} \quad (1)$$

と表すことができる。

次に、 \underline{o} から方向ベクトル $\tilde{\underline{u}}(\phi_l)$ の方向に伸ばした線分と最近傍の反射面との交点を反射点と呼ぶ。オブジェクト座標系の原点 \underline{o} と反射点との距離を d_l とする。 L 個の距離をまとめて、 $\underline{d} = [d_0, \dots, d_{L-1}]^T$ と表すこととする。

4 提案手法

4.1 観測モデル

本稿では、正確な構造壁面情報 \mathbf{v} は事前に得られているものと想定する。端末姿勢 (\underline{n}, θ) は姿勢センサを用いたIMUフィルタやMARGによって推定可能である。本稿では、 (\underline{n}, θ) の推定値が

$$\hat{\underline{n}} = \underline{n} + \Delta \underline{n} \quad (2)$$

$$\hat{\theta} = \theta + \Delta \theta \quad (3)$$

で与えられると想定する。ここで、 $\Delta \underline{n} = [n_x, n_y, n_z]^T$ 、 $\Delta \theta$ はIMUやMARGフィルタの姿勢推定誤差とする。

一方で、測域センサより \underline{d} の推定値が

$$\hat{\underline{d}} = \underline{d} + \Delta \underline{d} \quad (4)$$

で与えられると想定する。ここで、 $\Delta \underline{d} = [d_0, \dots, d_{L-1}]^T$ は測域センサの距離推定誤差とする。

4.2 オブジェクト座標系原点の推定

本稿では、オブジェクト座標系の原点 \underline{o} の推定のため、二乗和誤差を

$$f(\underline{o}) = \|\hat{\underline{d}} - \underline{d}(\underline{o})\|^2 \quad (8)$$

と定義し、

$$\hat{\underline{o}} = \arg \min_{\underline{o} \in \mathbb{R}^3} f(\underline{o}) \quad (9)$$

のように、誤差関数 $f(\underline{o})$ を最小化する $\hat{\underline{o}}$ を探索する。本稿では、誤差関数の最小化のため、パーティクルを用いた探索を行う。以下に探索アルゴリズムを示す。 i は探索ステップ番号を示す。

1. 初期値 $(\underline{\mu}_0, \sigma_0, D)$ を設定する。
2. 独立な2次元正規分布 $(\underline{\mu}_i, \sigma_i)$ で候補点を $N_i - 1$ 個生成する。ただし、

$$N_i = \text{INT}(D \times \pi \sigma_i^2)$$

とする。ここで、 D は候補点の密度であり、INTは値を切り捨てし、整数にする演算子である。

3. 生成した各候補点を $\hat{\underline{o}}$ とし、 $f(\hat{\underline{o}})$ を計算する。
4. $f(\hat{\underline{o}})$ が最小となる点 $\hat{\underline{o}}_i$ を求め、終了条件を満たせば探索を終了する。そうでなければ、 $\underline{\mu}_{i+1} = \hat{\underline{o}}_i$ とし、2.へ戻る。

本稿では、パラメータ σ_i の設定方法と終了条件として、2つの手法を想定する。

手法1

σ_i は1.で設定した初期値 σ_0 を探索終了までそのまま使用する。また、 $\underline{\mu}_i$ と $\hat{\underline{o}}_i$ が等しくなったとき、探索を終了する。

手法2

$\underline{\mu}_i$ と $\hat{\underline{o}}_i$ との距離を d_{step} とし、これを4.で σ_{i+1} に設定し、2.へ戻る。また、 $N_i \leq 1$ となったとき、探索を終了する。

5 数値計算実験

本稿では、数値計算実験により本提案手法の推定性能の評価と計算量との比較を行う。生成された候補点の個数を表1、表2に、結果を図2に示す。今回の実験では、およそ7割が誤差1m以内に収まる結果となった。さらに、 $\sigma_0 = 1$ と $\sigma_0 = 6$ のどちらの場合でも、密度 D が大きくなるにつれ、誤差が減少する傾向にあることを確認した。また、CDFが0.5のとき、 $\sigma_0 = 1$ と $\sigma_0 = 6$ における $D = 10$ と $D = 30$ を比較すると、誤差の差は最大でおよそ0.1m程度である。しかし、1試行あたりに生成される候補点の数を比較すると、およそ3倍の差があることから、本提案手法では、推定性能よりも計算量の方が支配的で

表1 1試行あたりの候補点の個数の平均($\sigma_0 = 1$)

D	10	20	30
手法1	129	240	357
手法2	282	606	970

表2 1試行あたりの候補点の個数の平均($\sigma_0 = 6$)

D	10	20	30
手法1	3013	6064	9932
手法2	1503	3006	4533

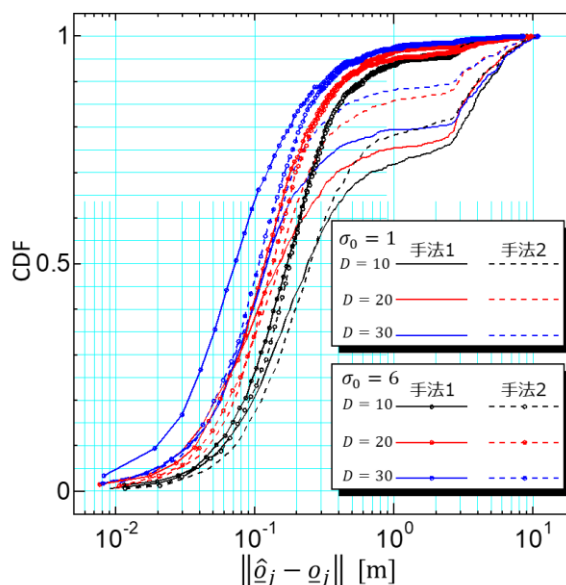


図2 数値計算実験結果

あることが確認できた。

6 まとめと今後の予定

本稿では、測域センサによる測距情報と建物の構造壁面情報、姿勢センサによる端末の姿勢推定を組み合わせた新しい位置推定手法について提案した。さらに、数値計算実験を行い、提案手法の位置推定性能の評価と計算量との比較を行った。今後の予定として、IMUやMARGフィルタを用いた姿勢推定性能の検証を行い、さらなる数値計算実験による位置推定性能の評価を行う予定である。さらに実環境において、歩行者に端末を装着し、位置推定実験を行い、本提案手法の推定性能の評価も行う予定である。

参考文献

- [1] Y. Wada, etc, "Accurate positioning of mobile phones in a crowd using laser range scanners," 2013 IEEE 9th WiMob, pp. 430-435, Oct., 2013.
- [2] S. O. H. Madgwick, "An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays," 2010.