

姿勢センサによる姿勢推定と測域センサによる測距情報を用いた 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。このような目的のために、近年注目を集めているセンサとして測域センサがある。本研究では、歩行者装着型端末に測域センサを搭載した新しい位置推定システムを提案する。通常の測域センサの利用形態と異なり、可動域の大きな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。通常、測域センサの測距領域は2次元であるが、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、反射点を構成する構造情報を整合させることで測域センサの位置を推定するアルゴリズムについて検討する。この時、測域センサの姿勢情報が必要となり、測域センサと同姿勢に設置されたセンサ系を用いたIMU、またはMARGフィルタを構成する姿勢センサによる端末を構築し、端末姿勢推定を行いながら、位置推定を行う手法について検討する。

2 3次元座標系

本節では、本提案手法で扱う2つの3次元座標系について定義する。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、ワールド座標系に対し、そ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。この時、回転行列を $\mathbf{R}(\underline{n}, \theta)$ とすると、ワールド座標系での点 $\underline{p} = [p_x, p_y, p_z]^T$ をオ

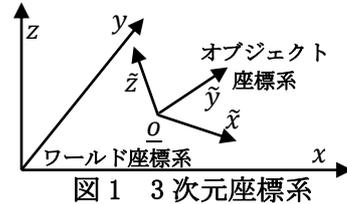


図1 3次元座標系

ブジェクト座標系で眺めたときの点を点 $\underline{\tilde{p}} = [\tilde{p}_x, \tilde{p}_y, \tilde{p}_z]^T$ とすると

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

と書くことができる。

3 構造物による反射

3.1 反射面

本稿では、壁面など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。反射面は複数が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 $\underline{v}_k = [v_{k,0}, v_{k,1}, v_{k,2}] \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ と表す。 K 個の三角形の頂点座標を集約して $\underline{v} = \{\underline{v}_k\}_{k=0, \dots, K-1}$ 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た方向ベクトルは、

$$\underline{\tilde{u}}(\phi_l) = \mathbf{R}(\underline{n}, \theta)\underline{u}(\phi_l) \quad (2)$$

と表すことができる。 $\underline{\tilde{u}}$ の大きさは回転によって変化しないので、 $\|\underline{\tilde{u}}\| = 1$ となることに注意する。

次に、 \underline{o} から方向ベクトル $\underline{\tilde{u}}(\phi_l)$ の方向に伸ばした線分と反射面を構成する第 k 番目の三角形 \underline{v}_k との交点を考える。媒介変数ベクトル $\underline{t}_k = [t_{k,0}, t_{k,1}, t_{k,2}]^T \in \mathbb{R}^3$ を導入し、

$$[v_{k,1} - v_{k,0} \quad v_{k,2} - v_{k,0} \quad -\underline{\tilde{u}}] \underline{t}_k = \underline{o} - v_{k,0} \quad (3)$$

となる連立方程式の解 \underline{t}_k が得られ、 $0 \leq t_{k,0} + t_{k,1} \leq 1$ かつ $t_{k,2} \geq 0$ が満たされた時、この線分と三角形は交点をもつ。この線分と交点を有する三角形は複数存在する可能性があり、その三角形の番号 k の集合を \mathbb{K} と表すと、交点座標は

$$\underline{o} + d_l \underline{\tilde{u}}(\phi_l) \quad (4)$$

で与えられる。ここで、

$$d_l = \min_{k \in \mathbb{K}} t_{k,2} \quad (5)$$

とした。 $\mathbb{K} = \emptyset$ である時、交点は存在しない。

この d_l はオブジェクト座標系原点 \underline{o} から最近傍の

A study on indoor positioning based on attitude estimation using attitude sensor and distance estimation by SOKUIKI sensor

†Shunosuke Sasaki, Masahiro Fujii

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

反射面までの距離を意味する． L 個の距離をまとめて， $\underline{d} = [d_0, \dots, d_{L-1}]^T$ と表す．

4 提案位置推定方式

4.1 観測モデル

本稿では，構造物の反射面構造 \mathbf{v} は正確に得られているものと想定する．端末姿勢 θ は，端末に搭載された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 θ の推定値が

$$\hat{\theta} = \theta + \Delta\theta \quad (6)$$

で与えられるものとして想定する．ここで， $\Delta\theta = [\Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z]^T$ はオイラー角の推定誤差であり，加法性を仮定する．

一方で，測域センサにより \underline{d} の推定値が

$$\hat{\underline{d}} = \underline{d} + \Delta\underline{d} \quad (7)$$

として与えられるとする．ここで， $\Delta\underline{d} = [\Delta d_0, \dots, \Delta d_{L-1}]^T$ は測域センサの距離推定誤差であり，加法性を仮定する．

4.2 オブジェクト座標原点の推定

本稿では，簡易な推定規範として平均二乗誤差を

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

と定義し，

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

のように，目的関数 f を最小化する \underline{o} を探索する．本稿では，位置推定アルゴリズムとして，準ニュートン法[1]を使用する．

5 提案システムの実装

本提案システムの実装構成を図2に示す．端末として Rasp-berry Pi 3 Model B を，姿勢センサとして SENSE HAT を，測域センサとして北陽電機社製の UST-10LX[2]を使用し，Rasp-berry Pi と Ethernet で接続する．本構成により，全てのセンサ情報を時間差なく集約可能である．

6 測域センサの距離計測性能

本稿では，測域センサの測距性能について基礎的な検証を行う．計測環境は図2に示すように提案システムのプロトタイプを設置し，廊下の中心線上に反射面となるセパレータを設置した．本実験で用いた UST-10LX は図2に示すように， 0° から 270° の間で， 0.25° の分解能での計測が可能である．セパレータに正対した角度は，その中央の 135° となるように設置した．図3に測域センサ原点から，セパレータまでの距離を 10m としたときの測距特性を示す．横軸は測域センサの走査角度であり，縦軸のその走査角度での測距値を示している．

50° から 120° にかけての不連続な特性は，図2の扉等に起因するものであり，その形状まで詳

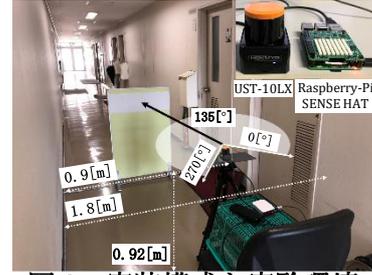


図2 実装構成と実験環境

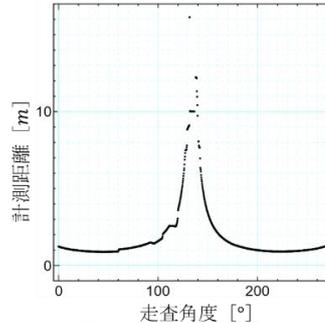


図3 実験結果

細に測定可能である．走査角度が 130° から 140° の間，計測のパラツキが観測された．本実験で用いた測域センサの測距可能な距離の公称値は 10m なので，それに近い距離で計測誤差が発生したと思われる．これは，遠方になるに従い，レーザ光の発散が大きくなったためと考えられるが，現在詳細に検討中である．また，本試行は1回のみ結果であるので，再現性のためにより多くの計測により，測距誤差性能の評価を行う必要がある．

7 まとめと今後の予定

本稿では，姿勢センサによる端末の姿勢推定と，測域センサによる測距情報と反射面情報を組み合わせた新しい位置推定手法について提案した．また，提案システムのプロトタイプを示し，測域センサ測距性能に関する基礎的な検証を行った．今後の予定として，測距性能のさらなる検証，IMU や MARG フィルタを用いた端末姿勢推定における姿勢推定性能の検証を行い，これらの検証をもとに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，歩行者が搭載可能な形式での提案装置のプロトタイプの作成と歩行実験を通じた位置推定性能の評価も行う予定である．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP15K00114 の助成を受けたものである．

参考文献

- [1] 矢部博，八巻直一，非線形計画法，朝倉書店，1999．
- [2] Hokuyo Automatic Co., LTD.: Scanning range finder, UST-10LX