

## 姿勢推定と測距情報を用いた屋内位置推定に関する一検討

青木凌太† 藤井雅弘†

宇都宮大学大学院 地域創生科学研究科 工農総合科学専攻†

## 1 はじめに

近年、商業施設内でのナビゲーションや、工場内での動線分析など、屋内での位置推定需要が増加している。そこで、屋内における位置推定手法として、測域センサを用いる方法が注目されている。測域センサとは、水平面にレーザー光を照射し、物体で反射した際の反射光の到達時間を基に、物体との距離を算出可能なセンサである。本稿では、従来の測域センサを用いた位置推定手法とは異なり、測域センサを搭載した端末を歩行者の腕部に装着することを想定する。従って、歩行動作にとまらぬ、端末の姿勢が変化すると考えられる。そこで、加速度とジャイロからなる姿勢センサを端末に搭載することにより、測域センサによる測距と同時に端末の姿勢推定を行うことで、姿勢変化への対応が可能となる。そして、各時刻での姿勢情報と測距情報を、壁面や物体等で構成される部屋構造情報と整合させることにより、歩行者の位置推定を行う。本稿では、実環境での計測実験を行い、得られた計測データと作成した部屋構造情報を基に位置推定を行うことで、位置推定の評価を行う。

## 2 3次元座標系と回転

本稿で用いる座標系と回転についての定義を行う。まず、図1中の $x-y-z$ の3次元直交座標系で規定される座標系をワールド座標系と呼び、部屋構造はこの系で規定される。次に、図1中の $\tilde{x}-\tilde{y}-\tilde{z}$ の3次元直交座標系で規定される座標系をオブジェクト座標系と呼び、ワールド座標系に対する原点移動と回転によって規定される。ここで、端末はオブジェクト座標系の原点に位置するものとし、すなわち、ワールド座標系の点 $\underline{o} = [x_o, y_o, z_o]^T$ に存在するものとする。

また、3次元空間内での座標系の回転を行うにあたり、回転軸 $\underline{n} = [n_x, n_y, n_z]^T$ と回転角 $\theta$ を定義する。このとき、クォータニオン $\underline{q} = [\cos \frac{\theta}{2}, n_x \sin \frac{\theta}{2}, n_y \sin \frac{\theta}{2}, n_z \sin \frac{\theta}{2}]^T$ を用いることによって回転を表現する。

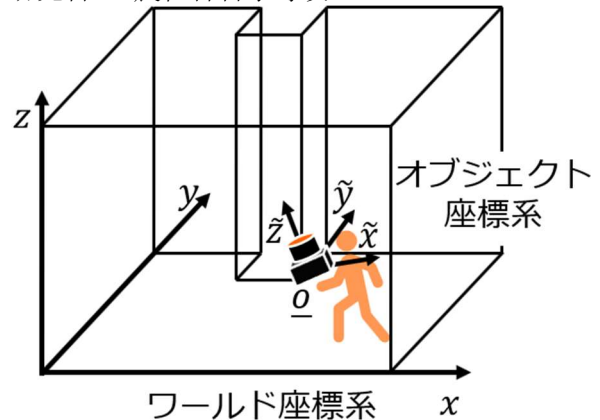


図1 3次元座標系

## 3 構造情報と反射面

## 3.1 部屋構造情報

本稿では、測域センサのレーザー光を反射する壁や床、天井、及び物体等の反射面が周囲に存在すると想定する。ここで、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。

## 3.2 端末と反射面との距離

ワールド座標系の $x-y$ 平面において、 $x$ 軸正方向を指し示す方向ベクトルを反時計回りに $\phi_l (l = 0, \dots, L-1)$ だけ回転させた方向ベクトルを $\underline{u}(\phi_l)$ とする。また、 $\underline{u}(\phi_l)$ に $\underline{q}$ 、及びその共役 $\underline{q}^*$ を掛けて回転を行い、 $\underline{o}$ だけ平行移動させた方向ベクトル $\underline{\tilde{u}}(\phi_l)$ は、

$$\underline{\tilde{u}}(\phi_l) = \underline{q} \underline{u}(\phi_l) \underline{q}^* + \underline{o} \quad (1)$$

と表すことができる。

次に、 $\underline{o}$ から $\underline{\tilde{u}}(\phi_l)$ の方向に伸ばした線分と反射面との交点を反射点と呼ぶ。このとき、 $\underline{o}$ と反射点との距離を $d_l$ とする。また、 $L$ 個の距離をまとめて $\underline{d} = [d_0, \dots, d_{L-1}]^T$ と表す。

## 4 提案手法

## 4.1 観測モデル

本稿では、計測実験を行う部屋の構造情報は事前の測定により正確に得られていると想定する。姿勢センサにはRaspberry Piの拡張基板であるSense HATを使用し、IMUフィルタ[1]によって端末姿勢の推定を行う。また、測域センサとして北陽電機社製のUST-10LXを使用し、端末と反射面との距離 $\underline{d}$ の推定を行う。

## 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

を行うために、推定規範として二乗和誤差 $f(o)$ を

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

と定義する．ここで、 $\hat{d}$ は $d$ の推定値、 $d(o)$ は $o$ と各反射点との距離を表す．このとき、

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

のように、 $f(o)$ を最小化する地点 $\hat{o}$ を推定値として決定する．本稿では、 $\hat{o}$ を決定するための探索アルゴリズムとして、グリッド探索[2]を用いる．グリッド探索アルゴリズムを以下に示す．

1.  $x-y$ 平面を幅 $d_{gw}$ [m]のグリッドに区切り、各グリッドの中心に候補点を配置する．
2. それぞれの候補点に対し、 $f(o)$ を計算する．
3.  $f(o)$ を最小化する点を推定値 $\hat{o}$ として決定する．

なお、候補点の $z$ 座標については、被験者が直立した際の端末の地面からの高さに固定するものとする．

### 5 位置推定実験

本稿では、実環境下での計測実験によって得られたデータを基に、本提案手法の推定結果の確認と推定精度の評価を行う．計測実験を行った部屋の構造を模したモデルを図 2 に示す．また、 $d_{gw} = 0.5m$ とした時の推定結果を図 3 に示す．なお、推定値は歩行動作とともに変化するが、一度でも推定値として選ばれた候補点は全て推定値としてプロットしている．今回の実験では、部屋の南西から北東に向かって直進しながら計測を行った．その結果、歩行ルートを中心として推定値が広がっていることが確認できた．一方で、歩行ルートから大きく離れた推定値を複数確認した．このような誤推定が生じる原因として、測域センサによる測距誤差、姿勢データの計測誤差、及び部屋構造情報の測定誤差が関係していると考えられる．また、推定精度の評価指標として、各時刻の距離誤差 $\|\hat{o} - o\|$ [m]の平均値で評価を行う．ここで、真値 $o$ は、計測開始時から終了時まで、歩行ルート上を等速直線運動するものと仮定した．その結果、およそ0.63mの誤差で推定を行うことが確認できた．

### 6 まとめと今後の予定

本稿では、壁面や物体等の部屋構造情報、姿勢センサによる端末の姿勢情報、測域センサによる測距情報を統合させた屋内位置推定手法の提案を行った．また、実環境での計測実験を行い、提案手法の推定結果の確認と精度評価を行った．今後の予定として、様々な歩行ルートや部屋で実験を行う予定である．また、精度評価

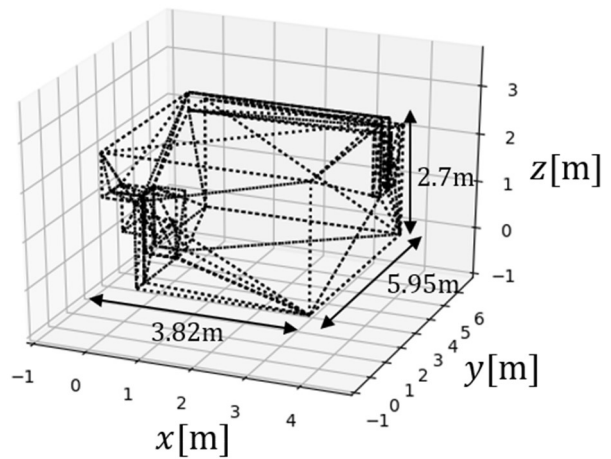


図 2 部屋構造情報

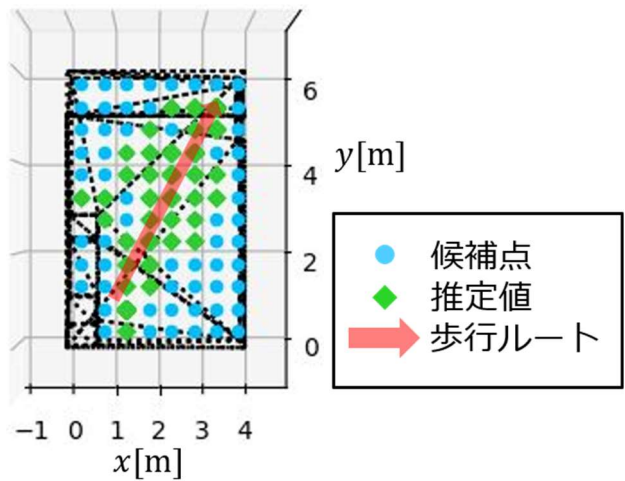


図 3 推定結果

について、今回の真値の規定は手振りによる端末位置の前後運動を捉えられていないため、手振りの影響を考慮した定義を行い、より正当な評価を行う予定である．

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K12037 の助成を受けたものです．

### 参考文献

[1] S. O. H. Madgwick, “An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays,” 2010.  
 [2] S. Sasaki, M. Fujii, “A Study on Indoor Positioning System Based on Attitude Estimation by Sensors and Distance Estimation by SOKUIKI Sensor,” 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics, pp. 468-470, Oct. 2018.