

# 全天球カメラと測域センサを用いた三次元地理情報システムに関する一検討 A Study on 3D Geographic Information System Using Omnidirectional Camera and SOKUIKI Sensor

井上 翔真<sup>†</sup> 藤井 雅弘<sup>†</sup>  
Shoma Inoue Masahiro Fujii

## 1 はじめに

近年、スマートフォンやタブレット等の携帯情報端末の普及に伴い、位置情報サービスの需要が増加している。位置情報サービスで利用される屋外測位技術には、主に GPS (Global Positioning System) が用いられているが、屋内においては壁や天井等によって電波が遮蔽され、GPS の測位精度が低下してしまうといった問題がある。GPS を用いない屋内測位技術として無線 LAN のアクセスポイントやビーコンを用いる手法が提案されている一方で、屋内測位の新しいアプローチとして LIDAR (Light Detection And Ranging) を用いる手法が提案されている [1]。しかし LIDAR を用いて屋内測位を高精度で行うためには、事前にオブジェクトや壁などの屋内の空間構造を知る必要がある。屋内の空間構造情報となる 3 次元モデルを作成する手法として、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) がある。SLAM では、自己位置推定をしながら LIDAR を移動させることで取得した点群を基に、モデル作成を行う。既存の SLAM では、距離画像センサを用いる手法が提案されているが、距離画像センサは一度に計測可能な範囲が狭いため、点群の計測と、3 次元モデル作成における大量の点群の重畳作業に非常に長い時間を要するという課題がある [2]。

本稿では測域センサ及び全天球カメラを用いた SLAM のための新しい三次元空間モデリング手法を提案する。測域センサは、レーザー光を周囲に照射し、物体における反射光を受光することで、その往復時間に基づいて、反射点までの距離を計測することが可能なセンサである。また、全天球カメラは前後に搭載された魚眼レンズで撮影した 2 枚の魚眼画像をカメラ内部で合成する処理を行うことで、全方位 360 度のパノラマ画像を撮影することが可能なカメラである。測域センサによる測距情報と全天球カメラによるパノラマ画像を用いることで、従来の SLAM と比較して、計測時間と計測データ量を抑えた屋内構造の 3 次元モデル作成が可能である。

提案手法では、直方体の部屋に複数の矩形オブジェクトが床と垂直に配置されている環境を想定する。観測者が部屋内のある地点でその領域の全方向を見渡すと、画像は複数の矩形面で構成される。このとき、全天球カメラによる全方位 360 度のパノラマ画像及び測域センサによる観測者から各矩形オブジェクトまでの距離情報をもとに、すべての矩形面のスケールを推定することができれば、屋内構造の 3D モデルを作成することが可能である。そこで、パノラマ画像と測距情報によって与えられる幾何学的問題を解くことによって各矩形面のスケールを推定する。

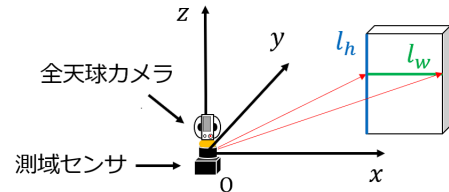


図 1 屋内空間の座標系

## 2 提案手法

### 2.1 概要

提案手法では、3 次元モデル化する屋内空間を図 1 に示すような測域センサと全天球カメラの測定位置を原点とする 3 軸直交座標系で定義する。また、スケール推定対象となる矩形面の幅を  $l_w$ 、高さを  $l_h$  とする。はじめに、全天球カメラで撮影したパノラマ画像から矩形面を検出し、検出された矩形面が屋内空間の原点に対してどの方向に存在するかを推定する。そして、推定した方向情報をもとに測域センサで取得した測距情報の中から矩形面における反射点に相当する距離値を選択する。以上の手順で取得した矩形面の方向情報及び距離情報を用いて矩形面のスケール推定を行う。

### 2.2 測定方法

本提案手法では、測域センサによる走査で検出された矩形オブジェクトのみスケール推定を行う。そのため屋内空間の矩形オブジェクトが走査範囲内に可能な限り入るような位置に測域センサを設置する必要がある。全天球カメラは、図 1 のように測域センサの中心と重なる位置に設置し、測域センサの前方の向きとカメラレンズの向きは整合している。測域センサ及び全天球カメラの姿勢は屋内空間の床に対して平行であり、回転は伴わないものとする。

### 2.3 矩形面の方向推定

全天球カメラで撮影したパノラマ画像には正距円筒図法が用いられている。正距円筒図法とは、緯度と経度が直交するように球面から平面に変換する図法であり、画像の高さが緯度、幅が経度にそれぞれ対応している。そのため、パノラマ画像中の任意の点が屋内空間上で存在する方向をピクセル座標から算出することが可能である。したがって、矩形オブジェクトの方向は、緯度  $0^\circ$  上の矩形幅の両端のピクセル座標から算出できる方位角と、矩形の高さの両端のピクセル座標から算出できる仰角で表される。パノラマ画像から検出された矩形面群の中で、緯度  $0^\circ$  上に存在するすべての矩形面の方向が同時に推定可能である。

### 2.4 矩形面までの距離推定

測域センサは、走査範囲の角度分解能をステップ角として、レーザー光を順番に照射していくことで、走査範囲内に存在するオブジェクトまでの距離を測定する。これにより、測域センサからは、測距情報となるオブジェク

<sup>†</sup> 宇都宮大学 Utsunomiya University

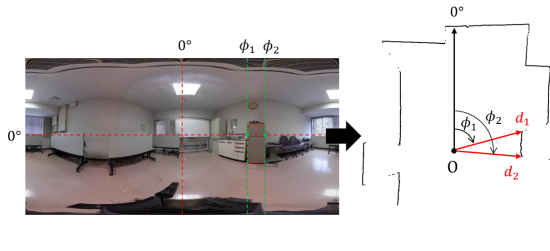


図2 方位角による距離値選択

トまでの距離値及びそのオブジェクトが存在する方位角を(走査範囲/角度分解能)個取得可能である。また、測域センサから取得した測距情報は、x-y平面にプロットすることで、屋内空間の水平面構造を表す点群として取り扱うことが可能である。図2に示すように、パノラマ画像より算出した矩形面の方位角と、測距情報の方位角を整合させることで、点群の中から矩形面における反射点を選択し、これを屋内空間の原点から矩形面までの距離値として扱う。

2.5 矩形面のスケール推定

パノラマ画像から算出した矩形面の方位角及び仰角と測域センサから取得した矩形面の距離値を用いて、矩形面の幅及び高さを推定する。図3に示すように、矩形面の幅は、矩形面の方位角と、矩形面の幅の両端までの距離値を用いて、以下の式より算出することが可能である。

$$l_w = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 \cos \phi} \quad (1)$$

また、図4のように、矩形面の高さは、矩形面の高さの両端の仰角と、距離値を用いて、以下の式より算出することが可能である。

$$l_h = d_1(\tan |\theta_1| + \tan |\theta_2|) \quad (2)$$

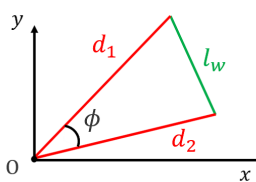


図3 幅推定

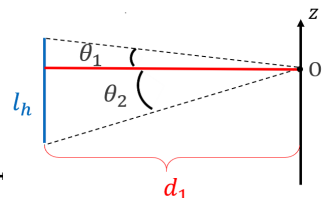


図4 高さ推定

3 実験結果

本節では、実環境において提案手法による矩形面のスケール推定を行った結果を示す。本実験では、全天球カメラにKODAK社製のPIXPRO 4KVR360を、測域センサに北陽電気社製のUST-10LXを使用した。部屋の中央に設置した全天球カメラで撮影したパノラマ画像を5に示す。また、全天球カメラと同位置に設置した測域センサで取得した点群を6に示す。測域センサの測距範囲は270度であるため、前後の向きを入れ替えて合計2回の走査を行うことで、全方位の点群を取得した。本実験では、図5に示された4つの矩形面を測量対象とした。評価指標として、メジャーで計測した実測値と提案手法による推定値の差の絶対値を用いた。実験結果を表1に示す。実験結果から、矩形面の高さは2cm以下の誤差でスケール推定可能であった。一方で、矩形面の幅は、矩形面A、Cでは高さと同様に誤差2cm以下でスケール推

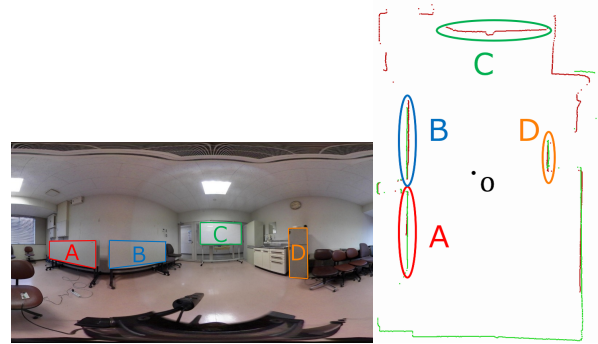


図5 パノラマ画像

図6 点群

表1 スケール推定結果

高さ	実測値 [cm]	推定値 [cm]	誤差 [cm]
A	60.0	60.1	0.1
B	60.0	58.0	2.0
C	105.6	106.0	0.4
D	122.7	121.2	1.5
幅	実測値 [cm]	推定値 [cm]	誤差 [cm]
A	150.0	151.1	1.1
B	150.0	143.3	6.7
C	191.0	192.7	1.7
D	52.4	43.8	8.6

定可能だったが、矩形面B、Dの誤差は比較的大きい結果となった。誤差が大きくなった原因として、パノラマ画像の歪みが考えられる。全天球カメラは、前後の魚眼レンズで撮影した2枚の魚眼画像をつなぎ合わせることで、パノラマ画像を作成している。そのため、魚眼画像を繋ぎ合わせる際の画像の切り出しや回転等の処理によって、魚眼画像の繋ぎ目付近に歪みが生じる。図5において、矩形面B、Dは魚眼画像の繋ぎ目上にあるため、パノラマ画像から推定した矩形面B、Dの方位角が、真値よりも小さくなり、誤差が大きくなったと考えられる。

4 まとめと今後の予定

本稿では、測域センサで取得した2次元の測距情報と全天球カメラで撮影したパノラマ画像を基に、屋内空間の矩形面のスケールを推定する手法を提案した。また、提案手法による測量実験では、矩形面のスケールを2cm程度の誤差で推定することが可能であるという結果が得られた。今後は、異なる複数の部屋で測量実験を行うことで、矩形面のスケール推定精度をさらに評価する。そして、想定環境のような実空間で実験を行うことでスケール推定した矩形面集合をもとに、3次元空間モデルを作成する。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP19K12037の助成を受けたものである。

参考文献

[1] 佐々木俊之介, 藤井雅弘, “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”, 第80回全国大会講演論文集, Vol.2018, No.1, pp.141-142, 2018

[2] 塚田義典, 北川悦司, 田中成典, 安彦智史, 福島祐樹, “距離画像センサを用いた3次元空間の構築に関する研究”, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.68, No.2, pp.L171-L180, 2012