

# 測域センサと全方位視覚システムによる 色情報を付加した三次元環境モデルの構築

和田史彦(北陽電機(株)) 永谷圭司(東北大学) 吉田和哉(東北大学) 鈴木俊哉(株映蔵) 八木康史 (大阪大学)

## Construction of 3-dimensional environment model with color information by using SOKUIKI Sensor and omni-directional vision system

\*Fumihiko WADA (Hokuyo Automatic Co.,Ltd.), Keiji NAGATANI (Tohoku Univ.),

Kazuya YOSHIDA (Tohoku Univ.) Toshiya Suzuki (Eizoh Co.,Ltd.), Yasushi Yagi( Osaka Univ. )

**Abstract** - This paper proposes the technique which constructs three dimensional maps with color information. In the real world, to enable intelligent motion for autonomous/teleoperated mobile robots, it is very useful to obtain 3-dimensional environment information with color information remotely. For example, obtained 3-dimensional map with color information helps operator very much to control remote mobile robots in search and rescue mission. To obtain such information, there are two major methods roughly, stereo-matching method by binocular camera and combination method between a laser range sensor and a single camera. The former method has disadvantages of mismatching of non-textured information and small detection area, and the latter method has disadvantages of sensing speed and difficulty of calibration between two different sensors. In this research, we chose the latter method with improvement of the calibration problem and expansion of sensing area by using omni-directional mirror. In this paper, we introduce our developed system, and report experimental results.

**Key Words:** SOKUIKI Sensor, All-directional Camera, 3-dimensional environment model

## 1. はじめに

ロボットが実社会で高度な作業を行うためには、三次元実環境の認識が有効であり、近年、三次元環境の獲得を目的とした研究が様々な研究機関で進められている。三次元環境を認識する手法には、レーザ距離センサを用いた方法と、カメラを用いた方法に大きく分類される。本研究では、測域センサと全方位ミラーを複合させることで、キャリブレーションが容易で広範囲の色情報付き三次元環境モデルを取得するシステムを開発した。

本論文では、この装置の概要を紹介し、色情報を有する三次元地図を構築する手法について紹介する。

## 2. 三次元環境認識

### 2.1 色情報と距離情報の融合

測域センサは、二次元平面内の物体までの距離情報を検知することができる小型の距離センサである。このセンサの走査面を回転させることにより、三次元形状を測定することができる[1] [2]。この際、測域センサでの計測点と同じ箇所を画像データとして取得することができれば、色情報を含んだ三次元環境モデルの構築が可能となる [3]。一般に、このように距離情報と画像情報を組み合わせるためには、適切なキャリブレーションが必要となる。例えば、測域センサをカメラ上部に設置し、画像データと距離データを組み合わせるという方法も考えられるが、この方法では、カメラ中心とレーザ距離計の測定中心との間にオフセットが存在するため、測定距離に応じて対応点が移動するという問題が生じてしまう。また、カメラの視野角が測域センサのスキャン範囲に比べて非常に狭いため、色情

報が付加可能な範囲がカメラ視野角に依存する。

そこで、本研究では、2枚のミラーと視覚センサを適切に組み合わせることで、取得した画像情報とスキャン面をできる限り一致させ、オフセットの問題を解決する機構を考案した。

図1に、製作した色情報と距離情報を取得するシステムの概観を、図2に距離情報と色情報獲得の概要を示す。測域センサには、URG-04LXを、カメラには、Lumenera製USB2.0カメラを使用した。図2に示すように、これらの機器と平面鏡、縁の角度が異なる全方位ミラーを組み合わせることで、カメラの視線が測域センサのスキャン面と平行かつオフセットが非常に小さい画像を取得するシステムを構成した。これにより測域センサが距離情報を取得する走査面とほぼ同一高さの色情報が、図3の例に示されるように、全方位画像の縁の、細い馬蹄形領域として獲得することができる。視線方向は、ミラー中心からこの馬蹄形領域内の点までの向きと一致するため、この情報と測域センサで獲得した距離情報の対応関係をキャリブレーションすることで、距離情報に対する色情報の付加が可能となる。



図1 測域センサと全方位視覚システムを組み合わせた色情報付き二次元距離情報取得システム

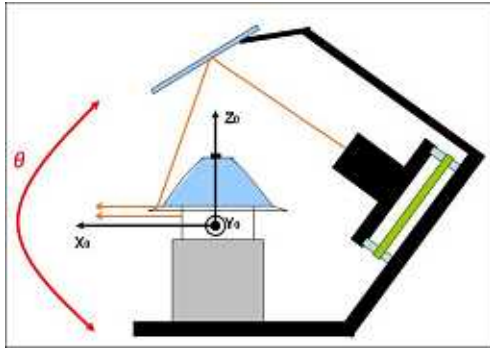


図2 色付き距離情報取得システムの動作概要



図3 縁の角度が異なる全方位ミラーの取得画像例

## 2.2 三次元情報取得方法

2.1 で示した二次元色情報付き測域センサシステムを用いて三次元環境情報を取得するためには、この走査面を回転（または移動）させれば良い。そこで、本研究では、構築したシステムをスマートモータ（DX-117, Dynamixel 社製）で駆動する三次元取得装置（以後3D スキャナと呼ぶ）を製作した。

この3D スキャナを製作するにあたり、2種類の回転方式について検討を行った。以下にその説明を行う。ただし、 $x_0$  軸、 $y_0$  軸、 $z_0$  軸周りの回転行列をそれぞれ  $R_{x_0}(\alpha)$ 、 $R_{y_0}(\beta)$ 、 $R_{z_0}(\gamma)$ 、 $x_0$  軸方向の単位ベクトルを  $i=(1, 0, 0)$ 、測域センサの測定距離を  $d$  と定義する。

**y 軸周りに回転：**

スキャン台を  $y_0$  軸周りに一定の回転角速度  $\beta$  で回転したとき、測定された点の座標  $p=(px, py, pz)$  は、式(1)、(2)で表現できる。

$$p = dR_{y_0}(\beta)R_{z_0}(\theta)i \quad (1)$$

$$\beta = \dot{\beta} \cdot t \quad (2)$$

回転方式1で測定できる範囲を示した結果を図4に示す。この手法により、天井から床まで、すべての領域をカバーすることができる。しかしながら、計測に時間がかかるという問題もある。

**x 軸周りに 傾け, z 軸周りに回転：**

スキャン台を  $x_0$  軸周りに だけ傾け、 $z_0$  軸周りに一定の回転速度  $\gamma$  で回転したとき、測定された点  $p$  の座標は式(3)(4)で表現できる[1]。

$$p = dR_{z_0}(\gamma)R_{x_0}(\alpha)dR_{z_0}(\theta)i \quad (3)$$

$$\gamma = \dot{\gamma} \cdot t \quad (4)$$

この回転方式で測定できる範囲を示した結果を図5に示す。この手法には、測定範囲が減少するという欠点が存在するが、集積点が無くなる、スキャン速度が上がるといった利点がある。移動ロボットの環境情報の取得を考えたとき、ロボット上方のデータが必要ない場合が少なくない。そのため、筆者らは、これまで、後者の手法を用いて三次元環境情報を取得し、移動ロボットの遠隔操作等の研究を行ってきた。本研究では、測定範囲を優先するため、まずは、前者の方式を用いて計測を行うこととした。

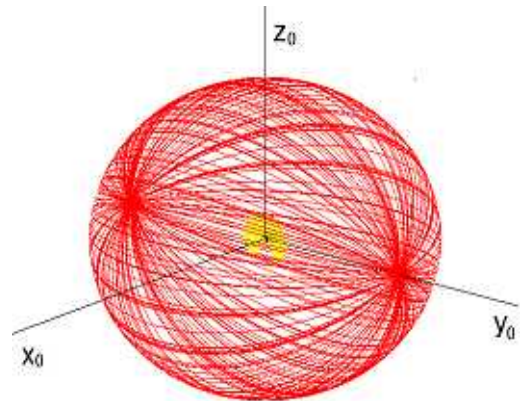


図4 回転方式1でのスキャン範囲

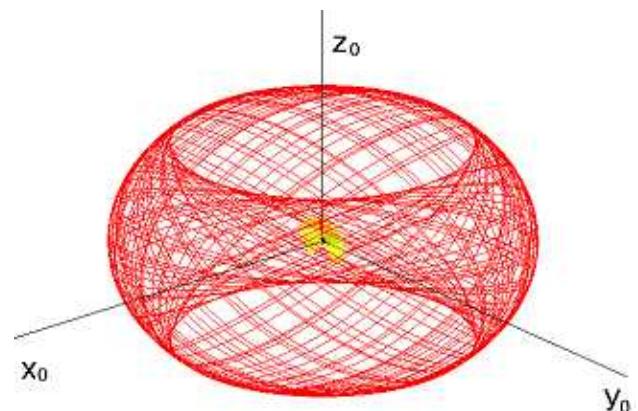


図5 回転方式2,  $\theta = 45^\circ$  のスキャン範囲

### 3. 実験

#### 3.1 対象とする環境

構築したセンサシステムを用いて、屋内環境（筆者らの所属する実験室）において、環境情報取得実験を行った。この環境の外観を図6に示す。



図6 環境情報取得を行う対象環境

#### 3.2 距離情報と色情報のキャリブレーション

本研究で使用する測域センサ（URG-04LX）は、走査角度240度、角度分解能は約0.36度である。そこで、この範囲内の全784ステップの距離情報に対する色情報については、適当な角度間隔で目盛りが振られている画像を取得し、その取得画像から手動で画像中の位置を抽出し、線形補間を用いてキャリブレーションを行った。

#### 3.3 三次元環境情報取得実験結果と考察

本研究で製作したシステムにより、図6の環境において取得した距離データをポイントクラウドで表示したデータを図7に、同時に全方位視覚システムにより取得した画像を図8に示す。また、このシステムを用いて、距離情報と色情報を組み合わせ構築した三次元環境モデルを図9に示す。

この結果より、非常に臨場感のある三次元環境モデルが構築できたことがわかる。さらに、この実験を通じ、本システムでは、非常に単純なキャリブレーションにより、正確な距離情報と画像情報の融合が可能であることが確認できた。ただし、本実験では、センサを地面に平行な軸の周りに回転させているため、データが取得できていない部分が黒い横線となって表示されてしまうのが目立ってしまった。これはスキャナの回転速度をより遅くし、スキャン箇所を増やすか、2.3節で説明した角度を持たせたスキャン手法を採用することで改善されると考えられる。

### 4. まとめ

本稿では、測域センサと全方位視覚システムの統合によって、本研究で開発した、色情報を含んだ三次元環境モデル構築を行うシステムの紹介を行った。また、実験を通じて、このシステムの有効性を確認した。今後の課題として、屋外環境を取得するため、さらに長距離の情報が獲得可能な測域センサを使用した実験を計画している。

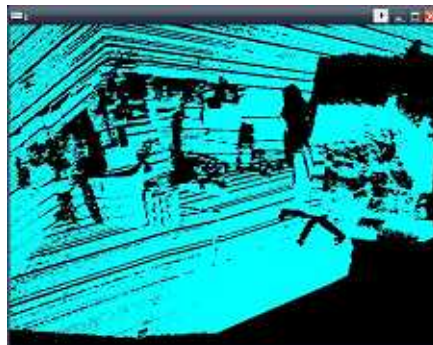


図7 取得した距離情報の三次元表示



図8 全方位視覚システムより取得した色情報



図9 距離データとカメラデータを組み合わせた三次元環境の表示

### 5. 謝辞

本研究は総務省戦略的情報通信研究開発推進制度SCOPE-Rプロジェクトとして実施中のものである。

#### 参考文献

- [1] 吉田和哉, 永谷圭司, 徳永直木: “二次元スキャン面の角度を変更可能な三次元測域センサの開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集, 1P1-M03, 2007
- [2] 河原豊和, 大野和則, 田所諭: “2次元測域センサを用いた広範囲の密な形状計測のための3次元スキャナーの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1P1-K03, 2007.
- [3] 吉田和哉, 永谷圭司, 松澤敬之: “屋外環境における三次元環境計測システムの計測位置計画”, ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集, 2P1-G21, 2008