

# マルチスリットレーザプロジェクタを用いた RGB-D センサによる テクスチャを有する 3 次元地図生成

藤井 奈穂<sup>†</sup> 木村 優志<sup>†</sup> 池 勇勳<sup>‡</sup> 梅田 和昇<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 中央大学大学院理工学研究科 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

<sup>‡</sup> 中央大学理工学部 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

E-mail: <sup>†</sup> {fujii, kimura}@sensor.mech.chuo-u.ac.jp, <sup>‡</sup> {ji, umeda}@mech.chuo-u.ac.jp

あらまし 本研究では、マルチスリットレーザプロジェクタを用いた RGB-D センサによりテクスチャを有する 3 次元地図を生成する手法を提案する。距離画像と同時にカラー画像のオプティカルフローを用いてセンサの運動パラメータを直接推定し、得られた運動パラメータを用いて連続した 2 枚の距離画像の位置合わせを行うことにより 3 次元地図生成し、テクスチャマッピングを施す。

キーワード 3 次元地図生成, RGB-D センサ, テクスチャマッピング

## 1. 序論

近年、介護や災害現場における救護活動、人の滞在できない環境での調査などでの自律移動ロボットの導入が期待されている。自律移動ロボットが複雑な環境において効率的に活動するためには、自分自身の位置・姿勢および周囲の環境の把握が必要になる。周囲の環境を把握する手段の 1 つに 3 次元地図生成がある。3 次元地図を生成することにより、ロボットと周囲の環境の相対位置が分かるため、複雑な環境においても効率的に活動することが可能となる。

3 次元地図は、距離画像をフレーム間で位置合わせすることで生成可能である。ステレオカメラを使用した様々な 3 次元地図生成手法[1,2]が提案されているが、テクスチャのない対象は計測できないという問題が存在する。

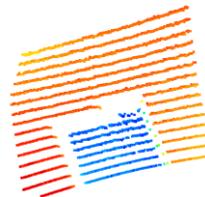
木村らは、マルチスポット光に基づく RGB-D センサを用いて距離画像と同時にカラー画像のオプティカルフローからセンサの運動パラメータを直接推定する手法を提案し、使用環境の形状に依存しない 3 次元地図生成を実現した[3,4]。本研究では、木村らが提案した手法による 3 次元地図にテクスチャマッピングを施す。

## 2. マルチスリット光を用いた RGB-D センサ

本研究で用いる RGB-D センサの外観と取得画像を図 1(a)に示す。本センサは 15 本のスリットの距離画像（図 1(b)）と  $1280 \times 960$  の解像度のカラー画像（図 1(c)）を同時に取得することができる。具体的には、レーザプロジェクタから照射される波長  $690 \text{ nm}$  の 15 本のマルチスリット光とモノクロ CCD カメラからアクティブステレオ法により距離画像を取得し、カラー CCD カメラによりカラー画像を取得する。ここで、モノクロカメラのレンズ前面に  $640 \text{ nm}$  以下の波長の光を取り除くハイパスフィルタを取り



(a) RGB-D センサ



(b) 距離画像



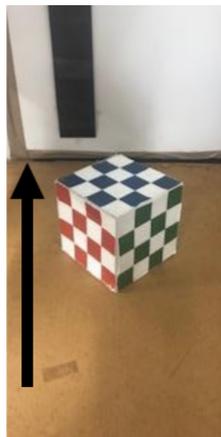
(c) カラー画像

図1 センサの外観と取得画像

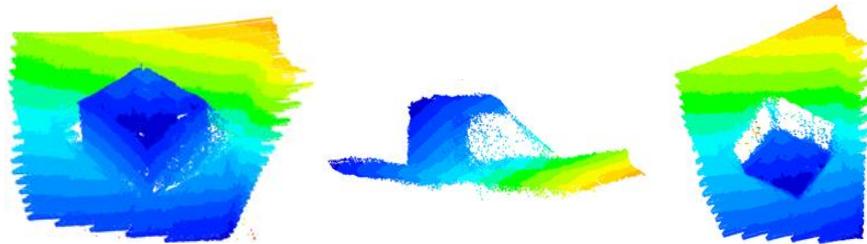
付けることにより、外乱光を遮断している。また、カラーカメラのレンズ前面に  $600 \text{ nm}$  以上の波長の光を取り除くハイパスフィルタを取り付けることにより、カラー画像にレーザプロジェクタから照射されるマルチスリット光が写らないようにしている。

## 3. 3 次元地図生成手法

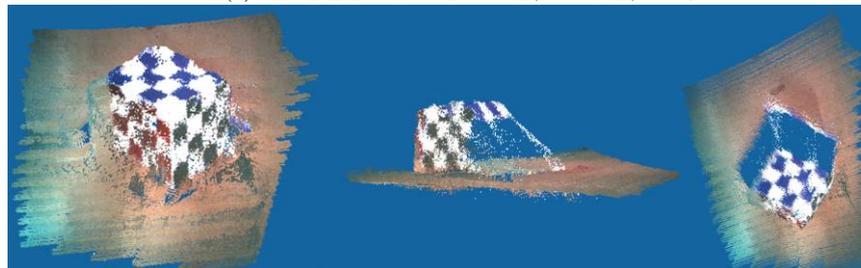
本章では 2 章で述べた RGB-D センサをから取得した距離画像およびカラー画像を用いて 3 次元地図を生成する手法の概要を説明する。より詳しい手法は参考文献を参照されたい[3,4]。連続する 2 枚のカラー画像に対し、KLT トラッカー[5]を用いてオプティカルフローを抽出する。その後、カラー画像のオプティカルフローと距離画像を基に計測点の運動パラメータに対する拘束式を立てる。フレーム間で検出される各オプティカルフローを 3 つ以上使い、6 つ以上の拘束式からなる連立方程式を解くことにより、運動パラメータを推定する。得られた運動パラメー



(a) 実験環境



(b) 3次元地図 (左から：正面，右側面，俯瞰)



(c) テクスチャマッピング結果 (左から：正面，右側面，俯瞰)

図2 実験環境及び3次元地図生成結果

タを用いて，フレーム間の距離画像の位置合わせを行い，3次元地図生成を行う。

#### 4. テクスチャマッピング

本章では，テクスチャマッピング手法について説明する．本研究で用いるセンサはモノクロカメラとカラーカメラが異なる位置に設置されているため，距離画像に射影変換を行い，カラー画像と対応付けを行う必要がある．モノクロカメラで計測された3次元座標を $(X, Y, Z)$ ，対応するカラー画像の画像座標を $(u, v)$ とすると，両座標の関係は次式で表すことができる．

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで， $r_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ )はモノクロカメラとカラーカメラの姿勢を決定する外部パラメータの回転行列の成分， $t_x, t_y, t_z$ は並進移動の成分， $\sim$ はその両辺が低数倍の違いを許して等しいことを表している．距離画像の3次元座標とカラー画像の画像座標の対応付けを行い，3次元座標のテクスチャ情報を得て，3次元地図にテクスチャマッピングを行う。

#### 5. テクスチャマッピング実験

テクスチャマッピング実験を行った実験環境を図2(a)に示す．人がRGB-Dセンサを手を持って図2(a)に示す矢印の方向に移動させ，距離画像およびカラー画像を取得した．3次元地図生成に使用した距離画像，カラー画像の枚数はそれぞれ100枚である．

図2(b)は図2(a)の環境の3次元地図生成を行った結果，図2(c)は図2(b)の3次元地図にテクスチャマッピングを施した結果である．図2(b)を見ると，大

きな位置合わせの誤差なく3次元地図を生成できていることが分かる．しかし，図2(c)を見ると，テクスチャ情報に誤差が生じていることが分かる．これは，テクスチャ情報を得る際の射影変換に用いるパラメータの精度が低いため生じた誤差と考えられる．

#### 6. 結論

本研究では，木村らが提案した3次元地図生成手法にテクスチャマッピングを施した．距離画像に射影変換を行い，カラー画像と対応付けを行うことで，テクスチャマッピングを施すことができた．今後の課題として，距離画像とカラー画像の対応付けに用いる射影変換のパラメータの精度を向上させ，より正確なテクスチャマッピングを目指す．

#### 文 献

- [1] 加賀美聡: “ステレオカメラからのオンライン三次元 SLAM”, 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 4, pp. 310-313 (May 2008).
- [2] 友納正裕: “エッジ点追跡に基づくステレオカメラを用いた三次元 SLAM”, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No.7, pp.759-767 (Sep. 2009).
- [3] Masashi Kimura, Gakuto Masuyama, and Kazunori Umeda: “Three-dimensional mapping by direct estimation of a small motion using range images and optical flow of color images,” Proc. of 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2016), pp.756-761 (Dec. 2016).
- [4] 木村 優志, 増山 岳人, 梅田 和昇: “マルチスリットレーザプロジェクトを利用した距離画像センサを用いた微小運動の直接推定による三次元地図生成“, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 講演論文集, 2A2-N10 (May 2017).
- [5] Carlo Tomasi and Takeo Kanade: “Detection and tracking of point features”, Carnegie Mellon University Technical Report CMU-CS-91-132 (April 1991).