

マルチスリット光を用いた カラーテクスチャ取得可能な小型距離画像センサの構築

Construction of a compact range image sensor capable of obtaining color texture
using a multi-slit laser projector

○ 板垣 文瀬 (中央大) 増山 岳人 (中央大)
正 梅田 和昇 (中央大)

Ayase ITAGAKI, Chuo University
Gakuto MASUYAMA, Chuo University
Kazunori UMEDA, Chuo University

In this paper, developing of a compact range image sensor capable of obtaining color texture is presented. The sensor is designed for installing on a mobile robot. By using this sensor, the robot can sense the target or obstacle using the range image data. The color texture mapping on the 3D range image can help the operator to monitor the scene simultaneously. The sensor is based on a range image sensor using a multi-slit laser projector. By adding a color camera to obtain the color image, the sensor can output range image with color texture in real-time. The measurement range is 380-720mm, the number of measurement points is about 4600, and the processing speed is about 12fps. The effectiveness of the sensor is verified by experiment.

Key Words: compact range image sensor, color texture, multi-slit laser projector

1. 緒言

近年、二足歩行ロボットの活躍が期待されている。二足歩行ロボットが人間の生活空間を自律歩行するためには、多数の障害物を検出し、回避する必要がある。また、二足歩行ロボットは車輪型ロボットに比べて移動が不安定なため、小さな障害物でも転倒してしまう恐れがある。小さな障害物の検出のためには高密度な三次元計測が必要である。

我々は、マルチスリット光を照射するレーザプロジェクタとモノクロ CCD カメラを組み合わせた高密度な計測が可能な小型距離画像センサを構築した[1]。このセンサは、モノクロカメラから得られる 1 枚の画像から高密度な距離画像を計測することが可能である。また、二足歩行ロボットにセンサを取り付け、障害物を回避させる実機実験を行った[2]。

しかし、距離画像のみでは、周囲の環境や、どのような障害物が存在するのかわかることができない。スリット光間に小さな障害物が入った場合、計測することが困難である。そこで本研究ではカラーカメラを追加し、スリット光間を補間することで、スリット光間にある障害物を検出することを目標とする。

2. センサの構成

本研究で使用する小型距離画像センサを Fig.1 に示す。レーザプロジェクタ (COHERENT MINI-715L-690-35) は、波長 660[nm]、出力 35[mW] で、15 本のスリット光を投影する。隣接するスリット間の角度は 2.3° である。モノクロカメラとカラーカメラ (Point Grey Research Flea2) は解像度 1296×964、CCD 一画素のサイズは 3.75×3.75[μm^2] である。また、モノクロカメラには焦点距離 4[mm] のレンズ ($\mu\text{TRON VP-FV0420}$) を取り付け、レンズの先端にはフィルタ (Kenko R64) を取り付けて使用している。このフィルタによって 640[nm] 以下の波長の光をカットすることで外乱光の影響を低減させている。基線長は 60[mm] に設定し、計測レンジ拡大のためにモノクロカメラをレーザプロジェクタに対して 70° 回転させている。距

離計測には三角測量法を利用している (Fig.2 参照)。本センサは平行ステレオとなっているため、エピポーラ線は取得画像上で水平方向となる。そこで、取得画像上でスリット像の重心位置を各行で求めて視差を計測することで距離を算出している。得られる計測点数は 4600 点程度である。



Fig. 1 Constructed compact range image sensor

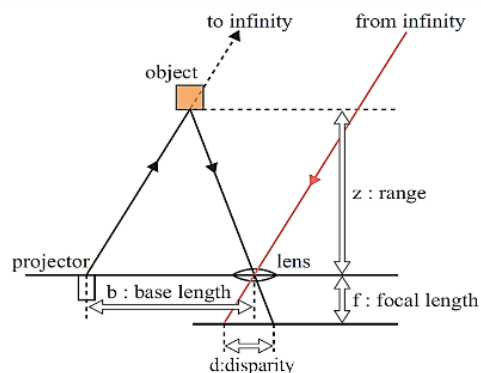


Fig. 2 Triangulation method

3. テクスチャマッピング

この章では、まず、テクスチャマッピングの流れについて説明し、透視投影変換や、ポリゴンの生成方法について述べる。

3.1 テクスチャマッピング手法

テクスチャマッピング手法の流れについて説明する。
 まず三角測量法により、レーザプロジェクタとモノクロカメラから、距離画像を得る。一方、カラーカメラからカラー画像を取得する。その後、距離画像の全ての三次元点を頂点とする多数の三角形ポリゴンを生成する。最後に、距離画像とカラー画像の位置合わせを行って、各ポリゴンにカラー画像を貼り合わせる。テクスチャマッピング手法のフローチャートを Fig.3 に示す。

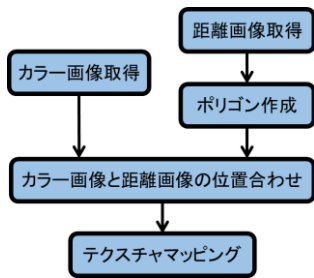


Fig. 3 Flowchart of texture mapping

3.2 カラー画像と距離画像の透視投影変換

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、カラー画像と距離画像の透視投影変換を行い、位置合わせをする必要がある。モノクロカメラで計測されたスリット像のある点の三次元座標を (X_c, Y_c, Z_c) 、対応するカラー画像の画像座標を (u, v) とする。このとき、両座標の関係は次式で表すことができる。

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

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 は並進移動の成分を表している。また、 $[u \ v \ 1]^T, [X_c \ Y_c \ Z_c \ 1]^T$ は、同次ベクトルである。また、両辺は同次座標として等しい。

3.3 ポリゴンの生成

距離画像にカラー画像を張り合わせるために、全ての三次元点を頂点とし、隣り合うスリット間で三角形のポリゴンを生成する。平面を計測した際のカラー画像を Fig.4 に、ポリゴンの生成画像を Fig.5 に示す。生成したポリゴンに合わせてカラー画像を分割し、貼り付けを行う。



Fig. 4 Color image

Fig. 5 Polygon image

4. テクスチャマッピング実験

4.1 実験環境

提案手法を用いて、Fig.6, 7 の2種類の環境において計測を行った。Fig.6 は計測対象として直方体の箱を、Fig.7 はバスケットボールを配置した環境である。箱は、横 165[mm]、高さ 340[mm]、バスケットボールは、直径 240[mm]程度である。センサを壁から 650[mm]の地点に設置し、計測物体を壁に接触させた状態で計測を行った。



Fig. 6 Experimental scene: box



Fig. 7 Experimental scene: ball



Fig. 8 Measurement result of box: front

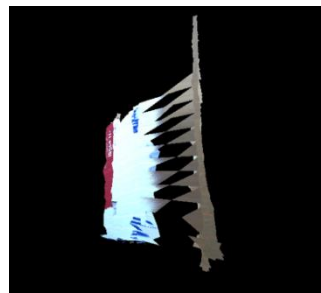
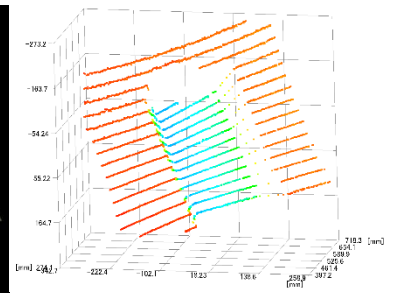


Fig. 9 Measurement result of box: right

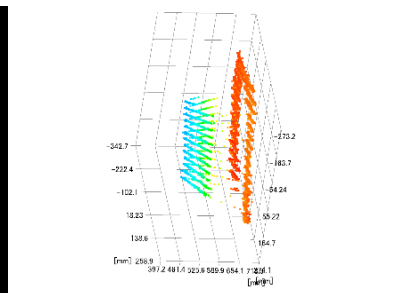
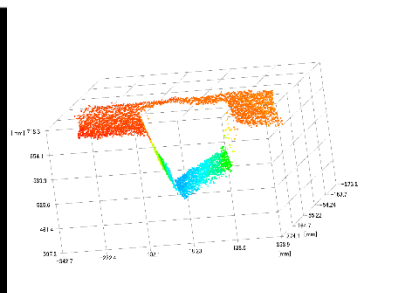


Fig. 10 Measurement result of box: top



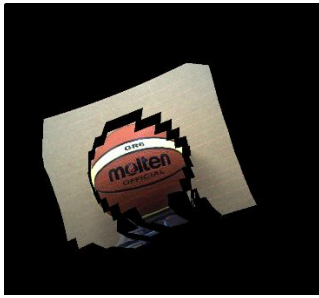


Fig. 11 Measurement result of ball: front

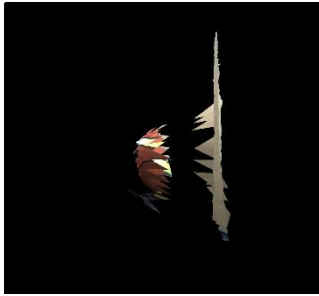
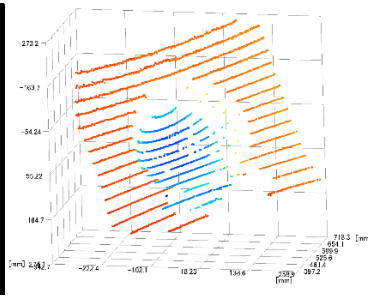


Fig. 12 Measurement result of ball: right

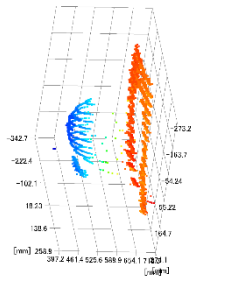


Fig. 13 Measurement result of ball: top

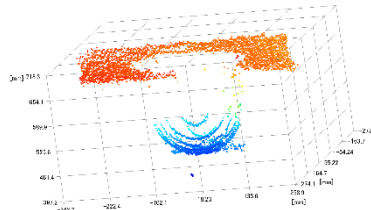


Table 1 Experiment of distance measurement

	500[mm]	600[mm]	700[mm]
平均[mm]	501.3	600.7	700.7
標準偏差[mm]	2.5	3.8	6.4

4.2 実験結果

Fig.6 の環境における実験結果を Fig.8~10 に, Fig.7 の環境における実験結果を Fig.11~13 に示す. Fig.8~13 には, テクスチャマッピングと距離画像を示す. このうち, Fig.8, Fig.11 は正面図, Fig.9, Fig.12 は右側面図, Fig.10, Fig.13 は俯瞰図である.

実験結果より, 双方の対象においてテクスチャマッピングを行うことができています. しかし, Fig.8, Fig.11 の右側面図を見ると, 計測物体と壁の間でテクスチャの貼り付けが行われていない. この現象は, オクルージョンが原因である. これは, Fig.5 からわかる. 箱が背後を隠すため, オクルージョンが発生し, 三次元座標が得られず, テクスチャの貼り付けが行われていない.

また, 距離計測精度実験を行った. 計測対象は壁で, センサを壁から 500, 600, 700[mm]の位置に正対するように設置して計測を行った. 各距離における距離の計測値平均と標準

偏差を Table 1 に示す. Table 1 において, 全ての距離において平均値は真値に近い.

5. 結言

本論文では, マルチスリット光を用いた小型距離画像センサの応用として, 小型距離画像センサにカラーCCD カメラを組み合わせることでリアルタイムなカラーテクスチャマッピングシステムを構築した. 計測実験により, 構築したシステムを用いてカラーテクスチャの貼り付けが可能であることを示した.

今後の展望として, テクスチャの貼り付けが行われていない部分に対し, 周囲の色情報を用いて補完を行うことと, 歪み補正手法の改良を考えている.

本研究は JSPS 科研費 26330205 の助成を受けたものである.

文 献

- [1] Takahiro Kuroki, Kenji Terabayashi, Kazunori Umeda: "Construction of a compact range image sensor using multislit laser projector and obstacle detection of a humanoid with the sensor," Proc. 2010 Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 5972-5977, 2010.
- [2] K. Umeda: "A Compact Range Image Sensor Suitable for Robots," Proc. 2004 Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 3167-3172, 2004.