

視差とぼけ計測とを組み合わせた マルチスリットレーザプロジェクタを用いた距離画像センサの構築

中央大学 ○馮 益, 増山 岳人, 梅田 和昇

Development of Compact Range Image Sensor with Multi-Slit Laser Projector that Uses Disparity and Blur

Chuo University Yi Feng, Gakuto Masuyama, Kazunori Umeda

In this paper, development of a compact range image sensor is presented. The sensor is designed for a robot hand by using a camera and a multi-slit laser projector, which can obtain 3D distance information. The improvement over the previous sensor is a newly added method of the range measurement. The new sensor can measure the distance by using both disparity and blur. This makes the sensor having a wider measurement range. The effectiveness of the sensor is verified by experiments.

1. 序論

ロボットハンドによって物体の把持などの操作を行うためには、対象物体の距離情報を正確に取得可能なセンサが不可欠である。ロボットハンドの手先にセンサを設置することでオクルージョンのない距離計測が可能となる。しかし、ハンドに設置するためには、対象物体の操作を妨げない小型かつ軽量のセンサが必要となる。更に、ロボットハンドにより近距離計測を行う場合が多いため、100mm以下の近距離計測が可能であることが望ましい。我々は、CMOSカメラとマルチスリットレーザプロジェクタを組み合わせた小型距離画像センサを構築している[1][2]。本研究では、このセンサを改良し、2つの計測手法により計測範囲を広げ近距離が可能な小型距離画像センサを構築することを目的とする。

2. センサの構築

2.1 センサ概要

Fig.1 に構築した小型距離画像センサを示す。センサは上下に設置される小型のマルチスリットレーザプロジェクタとCMOSカメラから構成される。レーザプロジェクタは、従来研究[1][2]と同じく、波長690nmのスリット光を15本投影するMINI-715L(Coherent)を用いた。一方、CMOSカメラには、解像度が1280×720のUVC ZBS-002を用いた。センサのサイズは縦28mm、横40mm、奥行き53mm、重量50gとなっており、ロボットハンドへの搭載も十分に可能な仕様であると考えられる。計測の際は、レーザプロジェクタから投影されるスリット光の画像をカメラによって取得する。本研究では、計測対象との距離に応じて2つの計測手法を切り替えて用いる。スリット光像の座標値を取得し、三角測量の原理から距離を算出する従来研究[1][2]の手法に、スリット光像のボケを利用した距離計測手法を追加している。近距離の場合、スリット光のボケの分布に表れる特徴から距離を算出する。各スリット光に割り当てられる画素数を増加させるため、レーザプロジェクタをカメラに対して回転させている。

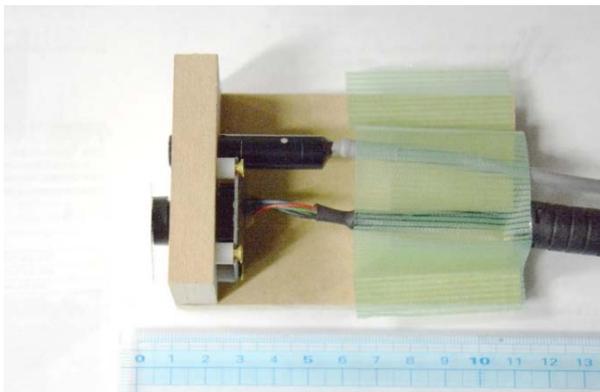


Fig. 1 Constructed range image sensor

2.2 計測原理

本センサはFig.2のようにCMOSカメラ画像上に結像するマルチスリットの座標と無限遠における座標との視差を求め、三角測量の原理により距離を計算する。カメラの光軸方向の距離Zは次式によって得られる。

$$Z = \frac{b \cdot f}{p \cdot (k - k_{\infty})} \quad (1)$$

b : 基線長[mm] f : 焦点距離[mm] p : 画素の幅[mm/pixel]
 $k-k_{\infty}$:無限遠におけるマルチスリット像の結像座標との視差[pixel]

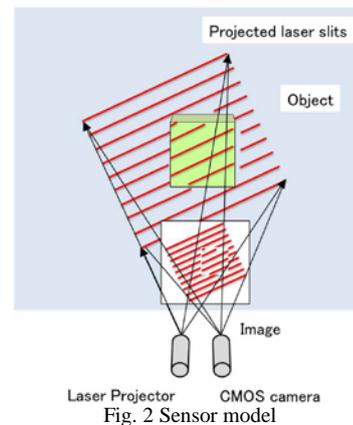


Fig. 2 Sensor model

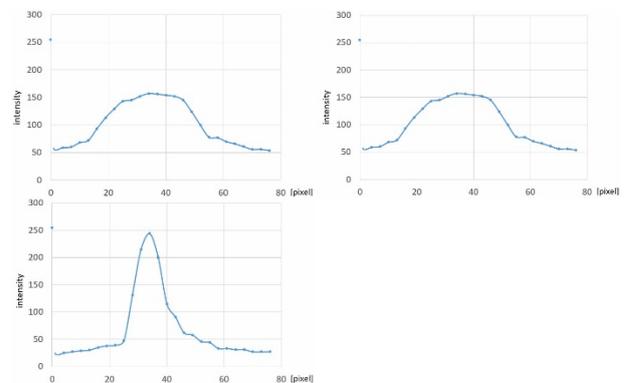


Fig. 3 Slit intensity in distance 60 mm, 80 mm and 120mm

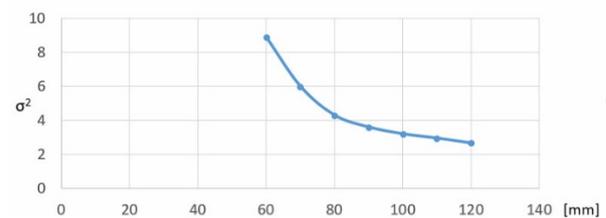


Fig. 4 Gaussian curve fitting σ^2 -distance graph

一方、ボケを利用した計測は、Fig.3に示すように距離に応じたボケの分布に対して次式の正規分布をフィッティングすることで行う。

$$f(x) = k \cdot \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

μ : 中央値[pixel] k : 比例定数 σ^2 : 分散[pixel²]

Fig.4 に示すように最小二乗法で式(2)の分散 σ^2 を求め、予め作成したテーブルと照合し距離値を得る。

2.3 センサでの計測方法

画像内において、各スリット光像の位置は計測対象との距離に応じて左右に移動する。各ピクセルにおける画像内計測範囲は隣接スリットが観測されないよう 75 pixel とする。各スリット光像の視差を取得し距離値を得る。

計測対象の距離が 100mm 以下の場合、スリット光像にボケが生じる。そのため、輝度重心を高精度に求めることが困難となるため、手動で計測モードを切り替え、ボケ量を利用した計測を行う。各スリット光像の 75 pixel 探索範囲に最小二乗法で輝度値分布に対しガウスカーブをフィッティングする。求めたガウス関数の分散値と、各距離で求めた分散値から予め作成したテーブルとを照合することで距離値を得る。

2.4 構築したセンサの仕様

本センサの計測範囲を Fig.5 に示す。水平画角は 45° である。視差による計測距離は 110-200mm である。カメラレンズの合焦距離を 130mm に設定し、ボケによる計測距離は 50-120mm となった。計測可能な面積は $52 \times 30 \text{mm}^2$ から $180 \times 100 \text{mm}^2$ である。

計測点数は約 2000 点である。また、視差を用いた計測のフレームレートは約 30fps である。一方、ボケを用いた計測は現状ではオフラインで行っている。

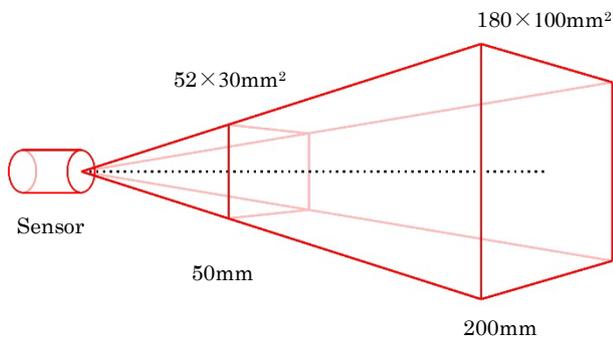


Fig. 5 Measurement space of the sensor

3. 物体計測実験

Fig.6 を示すように、構築したセンサを用いて、静止物体の計測実験を行い、動作の検証を行った。視差計測は、センサを壁から 150mm の位置に正対させ、白い壁に箱を貼って計測した。計測の様子を Fig.6 に、得られた距離画像を Fig.7 に示す。大きな誤差はなく、適切に距離計測ができていることがみてとれる。

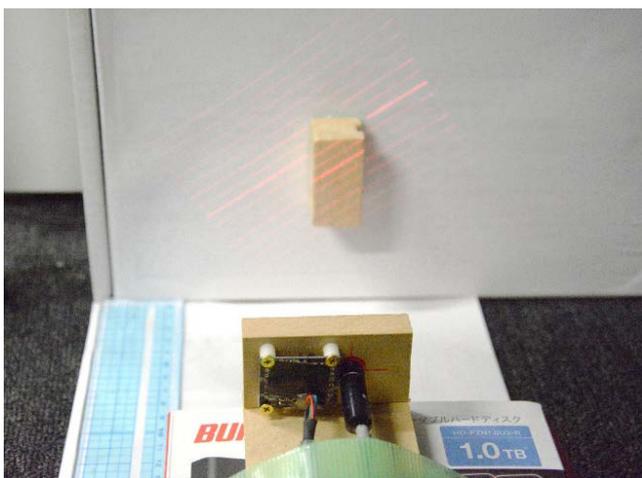


Fig. 6 Experiment scene

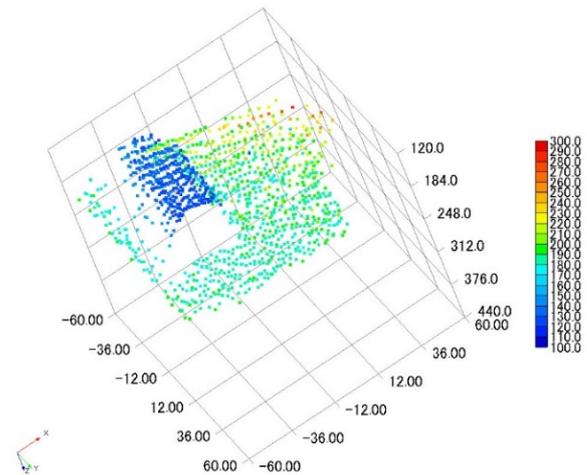


Fig. 7 Rang image of wood block by disparity

次に、90mm の位置にある物体をボケを用いて計測した。得られた距離画像を Fig.8 に示す。視差を使った計測手法よりノイズが多くて精度が良くないが、計測ができていることがみてとれる。

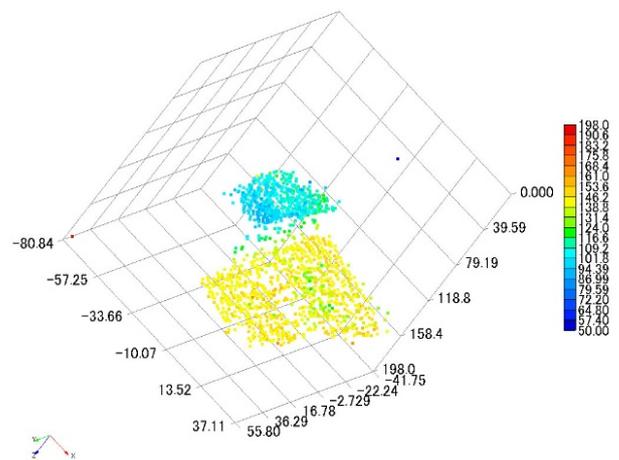


Fig. 8 Rang image of wood block by blur

4. 結論

本研究では、小型のカメラとマルチスリットレーザプロジェクタを用いた超小型距離画像センサを構築し、2つの計測手法を用いることで広い計測範囲を実現した。センサのサイズは縦 28mm、横 40mm、奥行 53mm、重量は 50g であり、小型化を実現した。近距離では、スリット光像のボケを用いた距離計測手法を導入し、これにより計測距離範囲の拡大が可能であることを示した。

今後の展望としては、構築したセンサの精度検証が挙げられる。また、2つの計測手法の切り替えの自動化を検討する。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 26330205 の助成を受けたものである。

文献

- [1] Yi Feng, Shinta Nozaki, Gakuto Masuyama, Kazunori Umeda, "Development of Miniature Range Image Sensor Using Multi-Slit Laser Projector and Endoscopy Camera", ICAM2015, 2015.12.
- [2] 馮 益, 野崎 慎太, 増山 岳人, 梅田 和昇, "マルチスリットレーザプロジェクタと内視鏡用カメラを組み合わせた超小型距離画像センサの構築", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 講演論文集, 1A1-H07, 2015.5.