

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

Build of Subminiature Range Image Sensor Using Multi-Slit Laser Projector and Endoscopy Camera

○ 馮 益 (中央大) 野崎 慎太 (中央大)
増山 岳人 (中央大) 正 梅田 和昇 (中央大)

Yi FENG, Chuo University, cabala@sensor.mech.chuo-u.ac.jp
Shinta NOZAKI, Chuo University
Gakuto MASUYAMA, Chuo University
Kazunori UMEMA, Chuo University

In this paper, the developing of an ultra-small size range image sensor is presented. The sensor is designed for robot hand by using an endoscopy camera and multi-slit laser projector, which can display 3D distance information. The improvements over the previous sensor are size, accessibility and measurement range in close distance. The dimension of our sensor is 16×40×53 mm and only weights about 28 g. By using a universal Webcam chip, the computer can capture the image data without installing the driver. Moreover, the sensor can measure the distance range from 50-150 mm. The effectiveness of the sensor is verified by experiment.

Key Words: Range sensor, Multi-slit laser, Robot hand

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。しかし、センサがロボットハンドから離れた位置に設置されていると、ハンドと対象物体の距離が近い場合にオクルージョン（隠蔽）が生じることがある。この問題を解決する方法の一つは、ロボットハンドの手先にセンサを設置することである。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。そこで、本研究では内視鏡用 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、近距離超小型距離画像センサを構築することを目的とする。

2. センサの小型化

2.1 センサの構築

図 1 に構築する超小型距離画像センサのイメージ図を示す。センサは左右に設置される横向き内視鏡用カメラと小型のマルチスリットレーザプロジェクタから構成される。

表 1 に従来センサ[1]と本センサのサイズを示す。本センサのサイズは縦 16mm, 横 40mm, 奥行 53mm 重量 28g となっており、従来センサに対して、体積は 20%減少している。特に重量は従来センサの 40g に対して 28g であり 30%減少している。そのため、ロボットハンドへの搭載も十分に可能な仕様である。

Table 1 Comparison between original and new sensor

	従来センサ	本センサ
縦	30 mm	16 mm
横	40 mm	40 mm
奥行	53 mm	53 mm
体積	42400 mm ³	33920 mm ³
重量	40 g	28 g

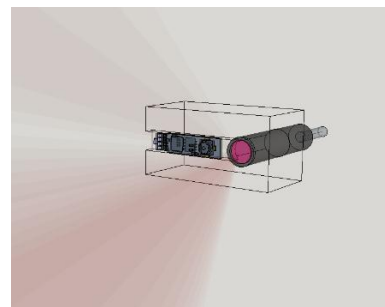


Fig. 1 Structure of the range image sensor

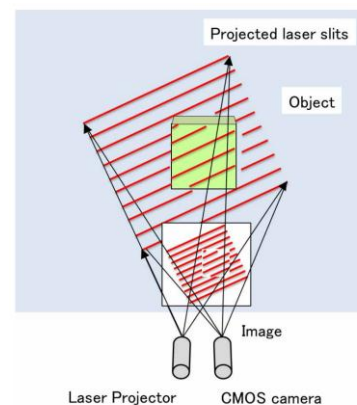


Fig. 2 Experiment image

と考えられる。また、従来センサで 13mm であったカメラレンズ光軸とレーザプロジェクタ中心の基線長は 10mm となり、より近距離での計測を可能としている。

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内視鏡用カメラによって取得する。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。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計測を行う。

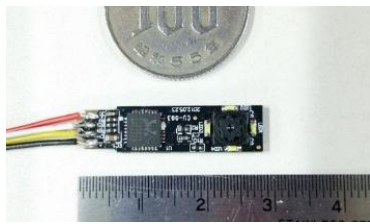


Fig.3 comparison between camera modules

Table 2 Comparison between original and new camera

	産業用カメラ	内視鏡用カメラ
縦	15 mm	7 mm
横	53 mm	28 mm
奥行	15 mm	5 mm
体積	11925 mm ³	980 mm ³
重量	15 g	1 g

2.2 構成部品

本研究では波長 690nm のスリット光を 15 本投影するレーザプロジェクタ MINI-715L (Coherent) と解像度 640×480pixel の内視鏡用カメラ (rts5801) を使用する。スリット光の投光角は 45°，隣接するスリット光間の角度は 2.37° である。カメラには水平画角 45° のレンズを用いる。最短撮影距離は 3mm である。従来研究の産業用カメラは水平画角 60°，最短撮影距離は 10mm である。

図 3 に本研究と従来センサのカメラモジュールの対比図を示す。具体的なサイズは表 2 を示す。

画像信号のキャプチャの違いとしては、本研究のセンサのチップは USB 汎用であり、専用のドライバとソフトウェアを必要としない。一方従来センサは産業用カメラであるため、専用 SDK のインストールが必要である。

2.3 計測原理

本センサは 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。内視鏡用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_{∞} : 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]

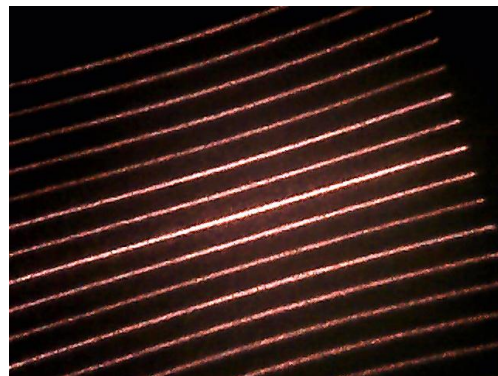


Fig.4 Camera image

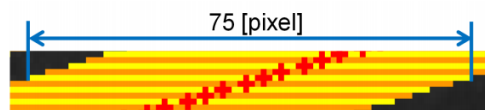


Fig.5 Zoom of Assigned regions to obtain disparity

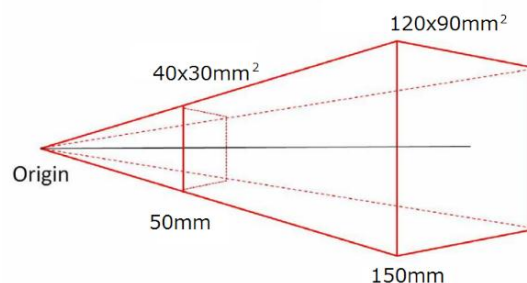


Fig. 6 Measurement space of the sensor

2.4 センサでの計測方法

図 4 に内視鏡用カメラで撮ったスリット光を示す。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。後述する標準位置において、各スリット光像の計測距離内で取得画像の視差データを取る。

以後、図 5 に示す画像内 75 pixel の範囲を探索範囲と呼ぶ。また、本センサの計測できる距離範囲を計測距離と呼ぶ。

標準位置とは、計測距離のおおよそ中間となる位置であり、図 5 では、赤いマーカで示されている。標準位置が近いと計測距離が狭く、ボケが生じる。標準位置が遠いと計測距離が広く、精度が良くない。本研究では経験的に標準位置を 125mm に設定する。このとき、計測距離は 50-150mm となる。

2.5 構築したセンサの仕様

本センサの計測範囲を図 6 に示す。水平画角は 45° である。150mm 以下の近距離での距離計測に対応するため、基線長は 10mm とした。計測距離は 50mm から 150mm であり、計測可能な面積は 40×30mm² から 120×90mm² である。計測点数は約 2400 点である。また、フレームレートは 約 12fps である。

3. 物体計測実験

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。まず、センサを壁から 120mm の位置に正対させ、平面の白い壁を計測した。得られた距離画像を図 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。

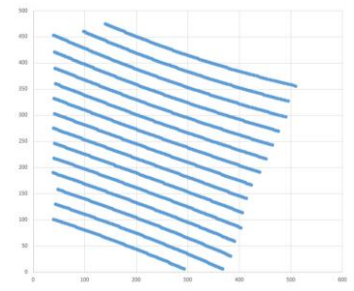
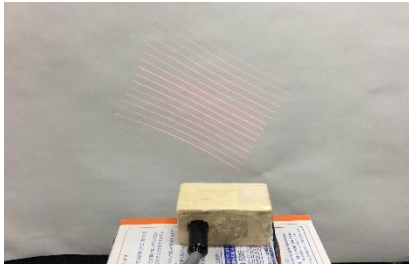


Fig. 7 Rang image of flat wall

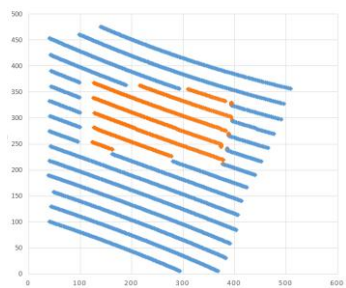
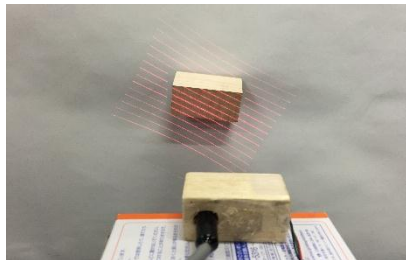


Fig. 8 Rang image of wood block

次に木製の直方体（縦 50mm×横 25mm×奥行き 25mm）を壁に固定した状態で計測した．計測結果を図 8 に示す．直方体の形状が確認でき，近距離での物体計測が可能であることが示唆された．

4. 結 論

本研究では，小型の内視鏡用カメラとマルチスレッドレーザプロジェクトを用いた超小型距離画像センサを構築した．内視鏡用カメラを用いることで基線長は従来の 13mm から 10mm に減少した．基線長が短くなったことで，従来センサより近距離での物体計測が可能となった．また，サイズは縦 15mm，横 30mm，奥行き 40mm，重量は 28g であり，従来のセンサとの体積比は 80%，重量比は 70% となり，小型化を実現した．実験により本センサが近距離でも物体計測が可能であることが示唆された．

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，ロボットハンドへ搭載し，把持動作を行うことで，センサの仕様を再検討する．

文 献

- [1] 岩崎 一也，寺林 賢司，梅田 和昇，“マルチスレッドレーザプロジェクトを用いた超小型距離画像センサの構築”，日本機械学会論文集 C 編，Vol.79, No.803, pp.2451-2459, 2013.7.