

マルチスリットレーザを用いた近距離高精度用超小型距離画像センサの構築

福田 智章^{*1}, 池 勇勲^{*2}, 梅田 和昇^{*2}

Development of a very small range image sensor using a multi-slit laser projector for short distance measurement

Tomoaki FUKUDA^{*1}, Yonghoon JI^{*2} and Kazunori UMEDA^{*2}

^{*1} Course of Precision Engineering, School of Science and Engineering, Chuo University
1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, Japan

^{*2} Department of Precision Mechanics, Chuo University,
1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

This paper proposes a structure and a measurement method of a very small range image sensor for short distance measurement using a multi-slit laser projector. In recent years, industrial robots used in production lines have become widespread. Many of these robots have an arm mechanism for gripping an object. In order to grasp an object, it is necessary to measure the distance and the object, so a very small range image sensor that can be attached to a robot hand is required. The sensor used in this paper projects multi-slit laser and measures the distance by the disparity of the detected laser light. For measurement, it is necessary to identify the number of each slit laser. Therefore, for the discrimination, the intensity information of the laser light image is used. The effectiveness of the proposed sensor is verified through experiments of short-range object measurement.

Key Words : Small sensor, Range image, Laser, Robot hand, Image processing

1. 緒言

近年、工場のオートメーション化などにより、物体を把持するためのロボットハンドを持つロボットが普及している。ロボットハンドで把持動作を行う際、把持対象までの距離と形状を計測する必要がある⁽¹⁾。このような物体計測を考えた場合、有用なセンサは限られる。一般に、ロボットハンドと物体を計測するセンサが離れた位置にある場合、把持前にオクルージョンが生じてしまう問題がある。確実な物体把持を行うために、オクルージョンに対してロバストな計測が可能なセンサが求められる⁽²⁾。オクルージョンの発生を回避する方法として、ロボットハンドの手先に距離画像センサを装着し、計測対象に対して近距離計測を行うことが考えられる。これを実現するためには、小型かつ近距離計測可能な距離画像センサが必要である⁽³⁾。本論文ではマルチスリットレーザを照射するレーザプロジェクタとカメラを組み合わせた小型距離画像センサの構築と、それを用いた近距離における距離画像計測手法を提案する。

2. センサ構築

構築したセンサの外観を図1に、内部構造を図2に示す。先端にローパスフィルタを取り付けたカメラモジュールと、それに平行に取り付けられたレーザモジュール、スポットのレーザ光をマルチスリットに変換する回折光学素子から構成される。レーザモジュールにはEGISMOS H8565050D/Rを用いた。レーザ光の波



Fig. 1 Constructed range image sensor

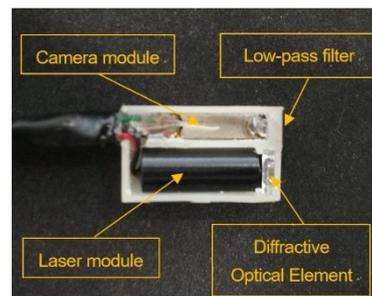


Fig. 2 Internal structure

^{*1} 中央大学大学院理工学研究科精密工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27) fukuda@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

^{*2} 中央大学理工学部精密機械工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

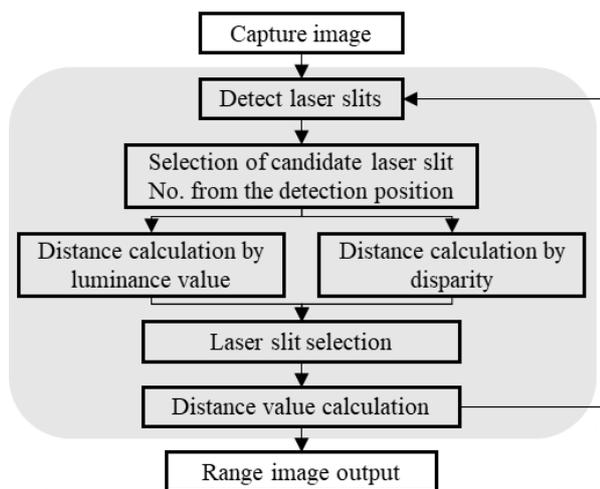
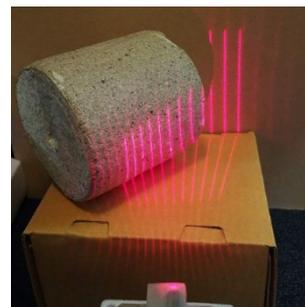


Fig. 3 Flow of range image measurement

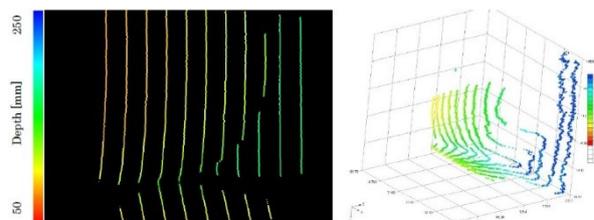
長は 650 nm, 出力は 35 mW である。回折光学素子には HOLOEYE DE-R213 を用いた。レーザ光はこの素子を通して、スリット間の角度が 3° の 11 本のスリット光として投影される。カメラモジュールには miyoshi UC-01 を分解し取り出したカラーカメラを使用する。画素数は 640×480 pixel である。ローパスフィルタには FUJIFILM SC-64 を用いており、波長 640 nm 以下の光を遮断する。これらの部品を納める筐体は 3D プリントを用いて作製した。カメラとプロジェクタの基線長は 7.5 mm である。センサ全体の寸法は $16 \times 10 \times 27$ mm, 質量は 6 g (ケーブルを含まない) である。USB からの給電のみでレーザとカメラが動作する。計測の対象となる距離は 50 mm から 250 mm まで対応可能である。

3. 距離画像計測手法

距離画像計測の流れを図 3 に示す。センサのカメラから画像を取得し、その画像のすべての行に対して図 2 の灰色部の処理を繰り返す。11 本のレーザスリットを、左から順番に 1 番スリットから 11 番スリットと番号付けする。まず、レーザ光像を検出し、検出した画像上の位置に写る可能性のあるスリットの候補を選択する。次に、検出したレーザ光像が候補となったスリットのうちの一つのものであると仮定し、視差を利用した手法と輝度値を利用した手法により距離値を計算する。視差を利用した場合、実際のスリットとは異なるスリットであると仮定すると、真値とは大きく離れた距離値が求まる。一方、輝度値を利用した場合、実際とは異なるスリットであると仮定しても、ある程度真値に近い距離値が求まる。この特性を利用して、候



(a) Measurement objects



(b) Measurement result

Fig. 4 Measurement example

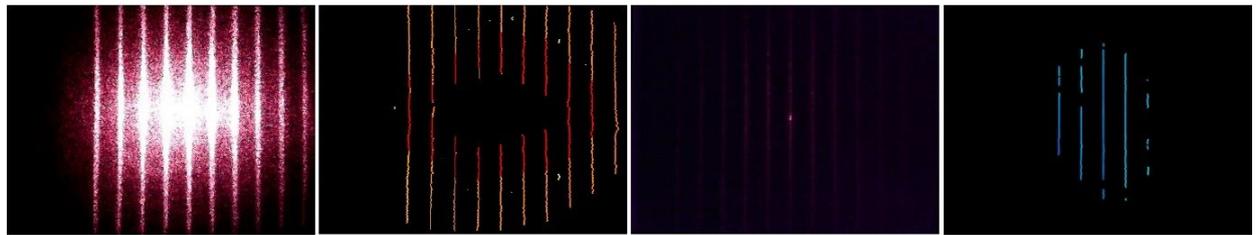
補となったすべてスリットにおいてこの処理をし、視差によって求めた距離値が輝度値によって求めた距離値に最も近いときに、仮定したスリット番号が検出したレーザ光像のスリットの番号であると確定する。そして、スリットの番号が確定したレーザ光像から視差によって求めた距離値を計測値として出力する。図 4 に計測環境と計測結果の例を示す。

4. 計測実験

本センサの計測精度を検証するために、反射率の異なる複数の平面を対象に計測実験を行った。計測対象には、木製の板、銀色のプラスチックケース、黒画用紙の 3 つを使用した。計測は対象までの距離を 50 mm から 250 mm まで 25 mm 間隔で変化させて行った。距離値を取得する点は、画像の周辺部にあたる 1 番スリットの Y 軸座標 40 pixel の点 (Point 1) と、画像中央にあたる 6 番スリットの Y 軸座標 240 pixel の点 (Point 2) の 2 点とした。計測はそれぞれの距離で 5 回行った。計測結果を Table 1 に示す。木製の板を計測した結果、どちらの計測点でも常に真値に近い計測値が得られた。一方、プラスチックケース、黒画用紙を計測した結果、距離値が取得できない場合や真値から大きく離れた値となる場合がみられた。Fig. 5 に距離 50 mm でプラスチックケースを計測した際の画像を示す。プラスチックケースを計測した場合は、反射率が高いため、Point 2 を含む画像中心付近において対象までの距離が 150 mm 以下の場合レーザ光像を正確に検出できず、また、175 mm 以上ではレーザ光像を 1 つ左のスリットのものとして誤判別したと考えられる。Fig. 6 に距離 250 mm で

Table 1 Results of plane measurement experiment

(a) Wooden board					(b) Plastic case					(c) Black paper				
True value [mm]	Point1		Point2		True value [mm]	Point1		Point2		True value [mm]	Point1		Point2	
	Average value [mm]	standard deviation [mm]	Average value [mm]	standard deviation [mm]		Average value [mm]	standard deviation [mm]	Average value [mm]	standard deviation [mm]		Average value [mm]	standard deviation [mm]	Average value [mm]	standard deviation [mm]
50	50.8	0.3	50.8	0.2	50	50.8	0.2	N/A	N/A	50	81.3	0.4	78.0	0.3
75	74.3	0.2	75.4	0.3	75	73.8	0.5	N/A	N/A	75	191.6	1.2	168.8	0.8
100	97.7	0.2	99.2	0.2	100	98.2	0.6	N/A	N/A	100	97.1	0.1	98.8	0.3
125	123.4	0.4	125.9	1.1	125	120.8	0.5	N/A	N/A	125	121.8	0.3	124.0	0.4
150	147.1	0.9	149.8	0.6	150	147.5	0.9	N/A	N/A	150	147.0	0.9	148.9	0.6
175	176.2	0.8	176.3	1.0	175	172.4	0.8	75.0	0.4	175	N/A	N/A	173.8	0.4
200	201.4	1.3	207.1	1.7	200	202.1	2.1	80.0	0.5	200	N/A	N/A	201.0	2.0
225	225.2	1.0	228.8	0.9	225	224.9	1.0	83.8	0.3	225	N/A	N/A	226.5	2.1
250	259.9	1.1	255.2	1.3	250	N/A	N/A	86.2	0.4	250	N/A	N/A	255.2	3.0



(a) Acquired image

(b) Range image

Fig. 5 Plastic case (50 mm)

(a) Acquired image

(b) Range image

Fig. 6 Black paper (250 mm)

黒画用紙を計測した際の画像を示す。黒画用紙を計測した際は、反射率が低いため、Point 2を含む画像中心付近において対象までの距離が150 mm以下の場合、レーザ光像を1つ右のスリットのものとして誤判別したと考えられる。また、対象までの距離が大きくなるにつれてPoint 1のような画像周辺部ではレーザ光を検出できず距離値を取得できなくなった。

計測対象の反射率がキャリブレーションを行った対象と大きく異なる場合、スリット番号を誤判別し、真値と大きく異なる計測値が求まることがあったが、スリット番号を正しく判別できている場合、真値に近い計測値が得られ、標準偏差も小さいため、高精度な計測ができたと考えられる

5. 結言

本論文では、マルチスリットレーザを照射するレーザプロジェクタとカメラを組み合わせた小型距離画像センサを構築し、それを用いた距離画像計測手法を提案した。視差による計測を輝度による計測で補助することで、視差のみを用いた手法より近距離での計測が可能で、輝度のみを用いた手法より高精度な距離画像計測を実現した。計測実験により、近距離において正確な距離値を計測できるが、反射率が極端に高いあるいは低い計測対象では計測が不安定になるという結果が得られた。

今後は、計測対象の反射率の影響を受けにくくなるよう、レーザ光の移動と輝度値の変化から、輝度値による距離値の計測をリアルタイムにキャリブレーションする機能の追加を検討している。これにより、多様な計測対象においてより高精度な距離画像計測を目指す。

参考文献

- (1) 湯浅卓也, 怡士順一, 栗田雄一, 松本吉央, 小笠原司, “ヒューマノイドによるレーザーレンジファインダを用いた三次元地図作成と障害物回避”, 第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会予稿集, 2B3-3, (2007).
- (2) Arisumi, H., Kwak, N. and Yokoi, K., Systematic Touch Scheme for a Humanoid Robot to Grasp a Door Knob, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (2011), pp.3324-3331.
- (3) 岩崎一也, 寺林賢司, 梅田和昇, 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の構築, 日本機械学会論文集C編, Vol.79, No.803 (2013), pp.2451-2459.