

マルチスリット光を用いた超小型距離画像センサによる デフォーカスを用いた近距離計測手法の提案

○ 岩崎一也 †, 寺林賢司 ‡, 梅田和昇 †

○ Kazuya IWASAKI †, Kenji TERABAYASHI ‡ and Kazunori UMEDA †

†:中央大学, iwasaki@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

umeda@mech.chuo-u.ac.jp

‡:静岡大学, tera@eng.shizuoka.ac.jp

ロボットハンドが物体の把持動作を行う場合、対象物体の三次元形状を計測する必要がある。しかし、把持動作前にオクルージョン（隠蔽）が生じてしまうことがある。本論文では、ロボットハンドに装着可能な超小型距離画像センサを用いて、物体把持のための近距離計測を行う。近距離計測の手法として、レーザープロジェクタのボケ並びにカメラの焦点ずれによって生じるボケ量を用いた計測手法を提案する。

<キーワード> 小型距離画像センサ, デフォーカス, マルチスリット光, ロボットハンド

1. 序論

ロボットが物体の把持動作や障害物回避を行う場合、対象物体の三次元情報が求められる。ヒューマノイドロボットは、一般に頭部のビジョンセンサを用いることで、物体を計測し、把持動作や回避行動を行う。また、産業用のマニピュレータでは、ロボットハンドと離れた位置に設置されたビジョンセンサを用いることで、把持対象であるワークを計測するシステムがある。これらの物体計測には距離画像センサが多く用いられている。

これまでに開発されてきた距離画像センサは多岐にわたる。TOF (Time of Flight) 方式の距離画像センサでは、小型でリアルタイム計測が可能な製品がこれまでに発表されている[1][2]。また、ステレオカメラ[3]やスリット光[4]を走査して距離画像を得るセンサにおいても、リアルタイム計測が可能なものが提案されている。

一方で、ロボットハンドによる把持動作を考えた場合、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（隠蔽）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。距離画像センサでは、計測対象に対して近距離計測が可能な小型のセンサが考えられ

る。湯浅らはヒューマノイドの手先に搭載されたレーザーレンジファインダによる高密度な三次元計測を実現している[5]。しかし、手首を回転させて計測を行うため、一度に広範囲の計測を行うことができない。パルスチック工業製の3次元スキャナ TDS-A は近距離で高精細な3次元モデルを作成することができる[4]。一方で、処理時間の点からリアルタイムでの計測が難しい。また、長谷川らは、距離画像センサを用いずに、ネット状近接覚センサをロボットハンドの指先に搭載することで、近接から接触までのシームレスな物体の検出により、確実な物体把持を実現している[6]。しかし、物体把持に至るまでに、ロボットハンドと対象物体との大域的な位置合わせが必要である。

本研究では、ロボットハンドの確実な物体把持を実現することができるセンサの構築を目的とし、マルチスリットレーザープロジェクタとカメラを組み合わせたアクティブステレオ方式の超小型距離画像センサを構築した[7]。しかし、従来の三角測量による距離計測では、近距離において投影されたスリット光像がボケてしまうため、計測誤差が大きくなってしまいう問題があった。そのため、本論文ではレーザープロジェクタより投影されたスリット光像のボケ量に注目する。投影されたパターンのボケ量から距離を求める研究は既に行われている[8]。しかし、複数



図1 超小型距離画像センサ[1]

枚の画像を必要とするため、リアルタイムでの計測が難しい。本論文では一枚の画像から距離を算出する。実験により、ボケ量を用いた近距離計測が可能であることを示す。

2. 超小型距離画像センサの構成

本研究で用いる超小型距離画像センサを図1に示す。構成部品として、波長 690nm のレーザープロジェクタ MINI-715L (Coherent), 有効画素数 752×480pixel の CMOS カメラ ARTCAM-022MINI-BW (ARTRAY) を使用する。CMOS カメラには焦点距離 3.6mm のレンズを用いる。また、外乱光の影響を減らすため、SC-68 フィルタ (FUJIFILM) を用いる。センサの寸法は縦 17mm, 横 34mm, 奥行 52mm であり, 重量は約 40g である。カメラとレーザープロジェクタとの基線長は 13[mm]としている。

計測点数は最大約 1700 点であり, 1 スリットあたり約 110 点である。隣接する計測点間の角度は中央のスリットにおいて, 0.25deg である。従来研究[7]では計測距離を 100[mm]~300[mm]とした。また, フレームレートは 15fps である。

3. デフォーカスを用いた距離計測

ボケ量から距離を算出するためのキャリブレーションを行う。まず, 既知の計測距離におけるスリット光像のボケ量を取得画像から計測し, 各計測距離におけるボケ量の変化を近似曲線で近似する。距離算出時は得られた近似式より距離を算出する。

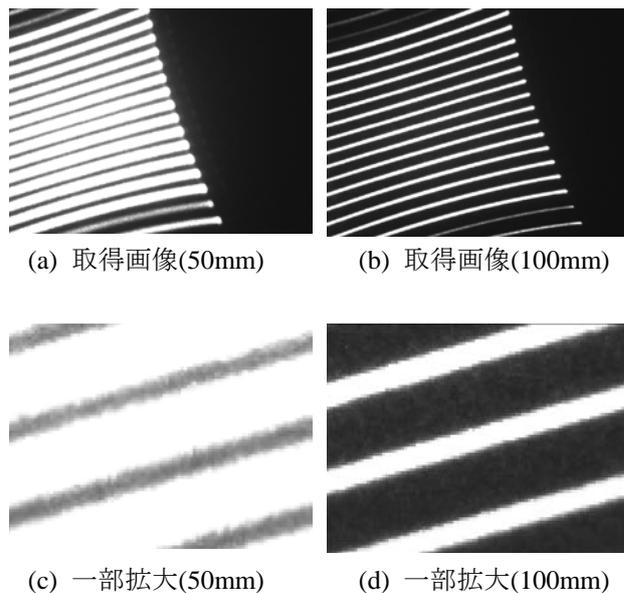


図2 取得画像

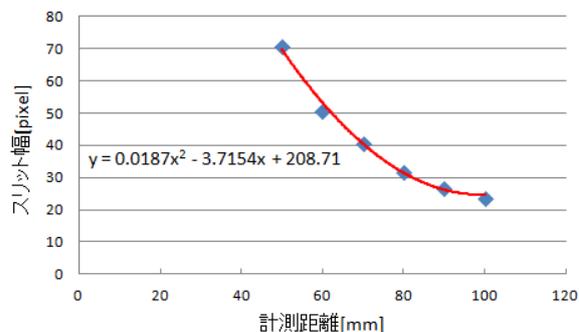


図3 スリット光像のボケ量の変化

3.1 ボケ量の計測

取得画像より, スリット光像のボケ量を計測する。計測距離 50mm, 100mm におけるキャリブレーションで用いる平面を撮像した時のカメラの取得画像を図2に示す。検出されたスリット光像の幅をボケ量として計測する。計測距離 50mm~100mm において 10mm 間隔で計測を行った。

3.2 近似曲線によるボケ量の近似

各計測距離で得られたスリット光像の幅から各計測距離におけるスリット光像の変化を近似曲線によって求める。本論文では最小二乗法により 2 次曲線で近似し, 全ての計測点ごとに近似曲線を求める。各計測距離で得られたスリット光像の幅, および当てはめた 2 次曲線の例を図3に示す。距離算出時はスリット光像の幅を求め, キャリブレーションで得られ近似式を用いて距離を算出する。

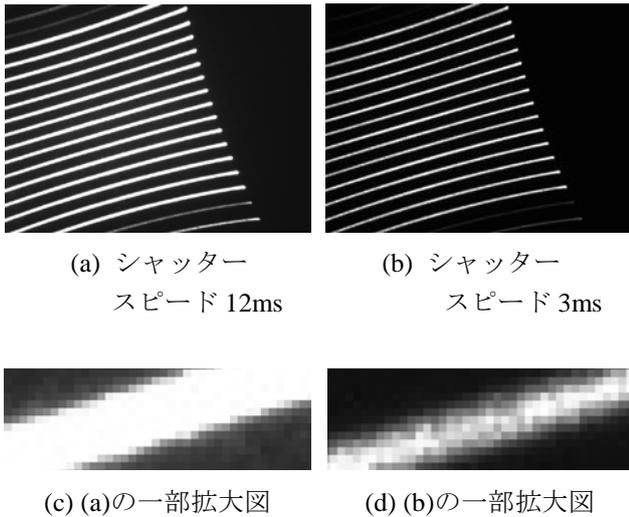


図4 シャッタースピードを変えた場合の取得画像

4. 実験

提案手法を用いた距離計測の精度検証を行うため実験を行った. 計測距離を50mm~100mmとし, 10mm間隔で計測を行った.

4.1 シャッタースピードを変えた場合の精度比較

カメラのシャッタースピードを変えた場合, 取得画像上のスリット光像の幅は大きく変化する. そのため, シャッタースピードを変えた場合の精度を検証した. カメラのシャッタースピードは3ms, 12msとした. 12msは従来研究[7]で用いた値であり, 計測距離を50mmまで計測できる上限の値である. 12msより大きい値に設定した場合, スリット光像のボケが図2(c)より大きくなり, 計測が困難である. また, 3msは, 計測距離40mmまで延長することができ, さらに計測距離100mmにおいてスリット光像を計測できると判断した下限の値である. 計測距離100mmにおけるシャッタースピード12ms, 3msの時の取得画像を図4に示す.

計測対象はキャリブレーションで用いた平面である. 全計測点の距離値の平均及び標準偏差をTable 1に示す.

実験結果より, カメラのシャッタースピードを変えた場合, 計測精度が異なることが分かる. 平均値はほぼ同じ値であるが, 標準偏差が大きく異なる. これは図4よりシャッタースピードを上げることによってスリット光像を安定して計測することが困難

Table 1 シャッタースピードを変えた実験結果

計測距離 [mm]	シャッター スピード 12ms		シャッター スピード 3ms	
	平均値 [mm]	標準偏差 [mm]	平均値 [mm]	標準偏差 [mm]
100	98.18	2.16	96.74	8.19
90	90.89	2.01	89.56	6.53
80	82.57	2.01	81.26	5.92
70	70.78	1.60	70.13	4.99
60	58.02	1.39	58.94	4.21
50	50.55	0.60	50.34	3.30

であったため, 標準偏差が大きくなったと考えられる. 本実験より, 以後の実験ではシャッタースピードを12msとして, 計測を行う.

4.2 反射率の異なる平面を対象とした精度検証

反射率の異なる平面を計測し, 精度検証を行った. シャッタースピードを12msとし, 全計測点の距離値の平均及び標準偏差によって計測精度を検証した. 計測対象はキャリブレーションで用いた平面, グレーチャート, 赤, 緑, 青の平面とした. 実験の様子を図5, 実験結果をTable 2に示す.

実験結果より, スリット光像のボケ量から距離計測を行うことができた. キャリブレーションで用いた平面やグレーチャートでは計測距離が近くなるにつれて計測誤差が小さくなっていることが分かる.

計測対象の色を考慮しない場合, 反射率が低い計測対象ではスリット光像の幅が小さく計測されてしまうため, 算出された距離値が大きくなる.

一方で, 赤い平面では反射率が高いため, スリット光像の幅が大きく計測されてしまったことから, 算出された距離が真値より小さい値であった. また, 緑, 青の平面ではどちらも反射率が低いため, 距離値が真値より大きく, 計測誤差も大きいことが分かる. そのため, 計測対象の反射率に対してロバストな計測を実現させるためには, 安定したスリット光像の幅を計測する手法が求められる.

5. 結論

本論文ではスリット光像のボケ量を用いた計測手法を提案した. 計測距離に対するスリット光像のボケ量の変化を近似曲線によって近似し, 計測時のス

Table 2 反射率の異なる平面を対象とした実験結果

計測距離[mm]		50	60	70	80	90	100
平均値[mm]	キャリブレーション平面	50.55	58.02	70.78	82.57	90.89	98.18
	グレーチャート	57.80	72.95	87.48	100.06	109.03	118.75
	赤	54.03	53.27	63.42	74.25	83.32	90.39
	緑	94.12	112.89	127.17	136.44	141.87	145.77
	青	89.38	109.59	125.27	135.40	140.18	145.09
標準偏差 [mm]	キャリブレーション平面	0.60	1.39	1.60	2.01	2.01	2.16
	グレーチャート	4.35	7.79	9.78	11.66	13.08	16.65
	赤	4.45	1.23	1.68	1.83	2.29	2.94
	緑	24.33	24.95	24.05	21.78	20.34	18.94
	青	19.35	22.69	23.89	23.25	21.26	20.01

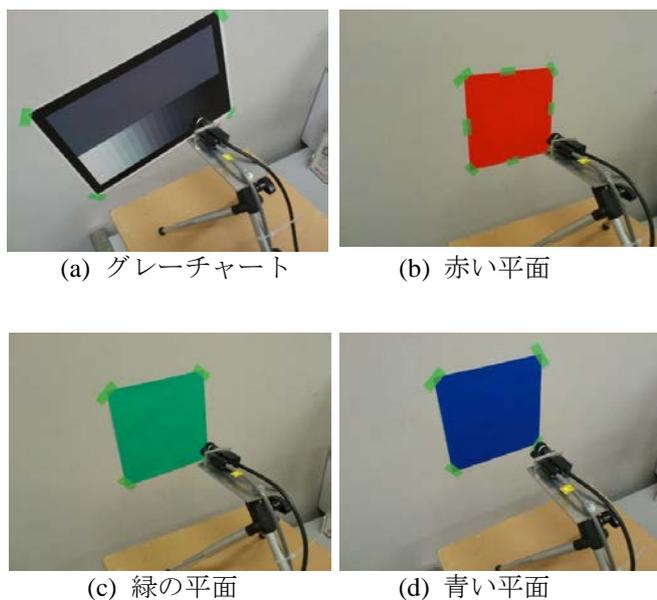


図5 実験の様子

リット光像のボケ量から、得られた近似式を用いて距離を算出した。実験により提案手法による距離計測が可能であることを示した。今後の展望として、ロボットハンドへの実装などが挙げられる。

参考文献

[1] MESA 社, <http://www.mesa-imaging.ch/>
 [2] PMDTECHNOLOGIES,
<http://www.pmdtec.com/products-services/pmdvisio>

[nr-cameras/pmdvisionr-camboard-nano/](http://www.pmdtec.com/products-services/pmdvisionr-camboard-nano/)

[3] Point Grey Research Incorporated,
<http://www.ptgrey.com/>
 [4] パルステック工業株式会社,
http://www.pulstec.co.jp/pr/opt/pr_o02.html#01
 [5] 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講演会予稿集, 2B3-3, 2007.
 [6] Hiroaki Hasegawa, Yoshitomo Mizoguchi, Kenjiro Tadakuma, Aiguo Ming, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: “Development of intelligent robot hand using proximity, contact and slip sensing,” *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.777–784, 2010.
 [7] Kazuya Iwasaki, Kenji Terabayashi, Kazunori Umeda: “Construction of a compact range image sensor using a multi-slit laser projector suitable for a robot hand”, *Proceedings of the 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.4517-4523, 2012.
 [8] Li Zhang and Shree Nayar: “Projection Defocus Analysis for Scene Capture and Image Display,” *ACM Trans. on Graphics*, pp.907-915, 2006.