

マルチスリットレーザとカメラによる視差と像のぼけを組み合わせた近距離計測用小型距離画像センサ

中央大学 ○大橋 嘉倫, 顔 世荀, Pathak Sarthak, 梅田 和昇

1. 序論

工場内において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必要である。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。

ロボットハンドが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。オクルージョン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[1]。

これに対し、パターンを投影し、カメラで撮影、視差を計測して距離を推定するアクティブステレオ方式に基づく手法が多く研究されている[2][3]。岩崎らは、マルチスリットレーザプロジェクトを使用して超小型距離画像センサを構築した[1]。有効計測範囲は 100 mm～300 mm で、これより近距離では、スリット像がぼけるため計測精度が著しく悪化すると報告されている。これに対し馮らは 50 mm から 120 mm の近距離においてぼけの大きさをを用いた距離計測の手法を提案した[3]。福田ら[4]がマルチスリットレーザプロジェクトを用いて視差による距離計測手法を考案し、さらに大橋ら[5]はぼけによる距離計測手法を考案した。本研究ではこれら手法の組み合わせによる精度向上ならびに計測範囲の拡大を目指す。

2. センサの構成

本研究では、福田らが構築したセンサ[4]を用い、視差による計測を元に、像のぼけを組み合わせることで距離計測精度の向上を目指す。使用するセンサを Fig.1 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 を用いている。レーザ光の波長は 650 nm、出力は 35 mW である。回折光学素子には HOLOEYE DE-R213 を用い、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している。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 プリンタを用いて作製している。カメラとプロジェクトの基線長は 7.5 mm である。センサ全体の寸法は 16×10×27 mm、質量は 6 g (ケーブルを含まない) と小型軽量である。USB からの給電のみでレーザとカメラが動作する。

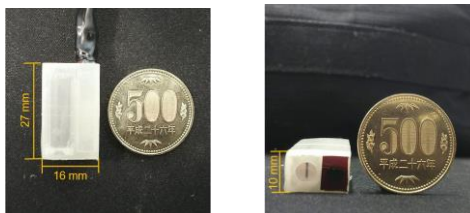


Fig.1 使用するセンサ[4]

3. 視差を用いた距離計測手法

センサのカメラにより画像を取得し、その画像のすべての行に対して Fig.2 の処理を行う。計 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ひと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と仮定すると、真値とは大きく異なる距離値が求まる。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、候補となったすべてスリットにおいてこの処理を適用し、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値を距離値として出力する。だが、50 mm より近距離になってしまうと距離計測精度が低下するため、距離計測範囲を拡大する必要がある。

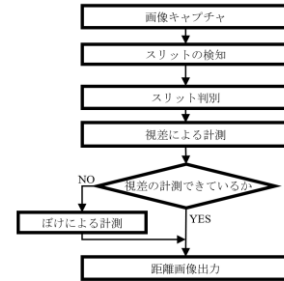


Fig.2 距離画像計測のフローチャート

4. ぼけを用いた距離計測手法

視差を用いた福田らのセンサ[4]の距離の計測範囲は 50 mm～250 mm である。そこで、50 mm 以下の近距離で像のぼけを使用して距離計測レンジの拡大を目指す。本研究における像のぼけはカメラで撮影された画像中のスリット像の輝度値の分布により定義され、ぼけ量 σ として表される。各スリットの像を抽出し、輝度値 y をガウス分布に近似すると、標準偏差を σ 、画像の座標を x として次の式(1)で表される。

$$y = k \cdot \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

ここで k は定数、 μ は x の平均すなわちスリットの中心を意味している。この式の両辺の自然対数を取ると、

$$\ln y = -\frac{1}{2\sigma^2}x^2 + \frac{\mu}{\sigma^2}x - \frac{\mu^2}{2\sigma^2} + \ln k \quad (2)$$

となる。式(2)より輝度値の対数値に 2 次曲線を線形最小二乗法によりあてはめることで画像の各点においてぼけ量 σ の算出が可能である。距離とぼけ量 σ の関係を Fig.3 に示す。このように近い距離ではぼけ量 σ は大きく、距離が遠くなるにつれてある一定の値に収束していく傾向が見られる。本研究におけるぼけ計測ではこの特徴を利用することでぼけ量から距離値の推定を行う。また、大橋ら[5]は、距離とぼけの関係を 2 次関数で近似していたが、本研究では次式のように近似する。

$$\sigma = \frac{a}{X} + b \quad (3)$$

ここで、 X は距離である。オンライン計測前に距離とぼけキャリブレーションにより係数 a, b を求めておく。計測時には、得られたぼけから式(3)を用いてぼけから距離を算出する。

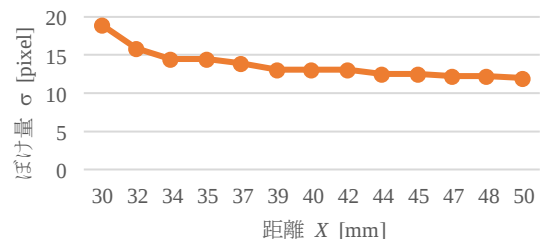


Fig.3 距離 X とぼけ量 σ の関係

5. 視差とぼけの組み合わせ

Fig.1 のセンサを用いて実際に距離計測実験を行う。上からの様子を Fig.4(a)に、撮影された画像を同図(b)に示す。同図(b)の左側は距離 50 mm より遠いため視差による距離計測が可能に、右側は距離 50 mm より近いとぼけによる距離計測が可能になる。これら手法の組み合わせにより、近距離と遠距離どちらも距離計測が可能である距離計測手法を構築する。この手法により距離計測範囲の拡大、さらに距離計測精度の向上を実現する。

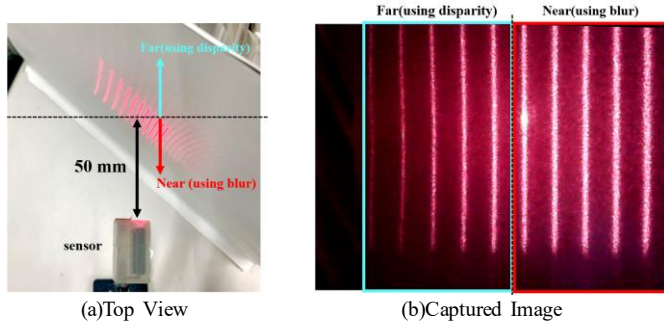


Fig.4 距離計測手法の切り替えイメージ

6. 距離計測実験

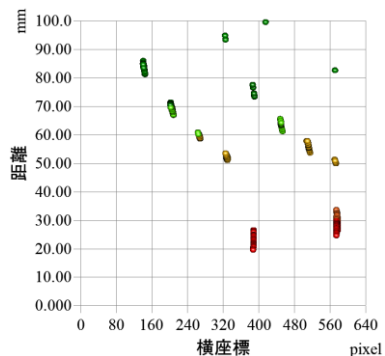
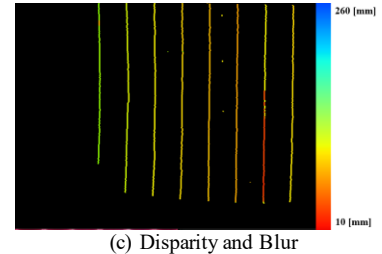
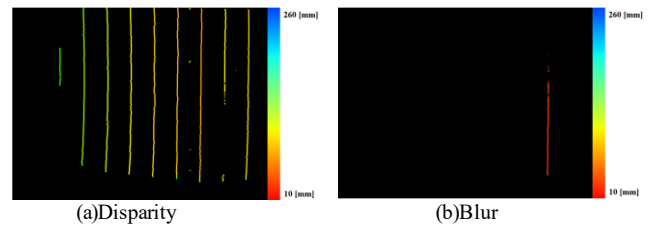
本研究では、福田ら[4]のセンサを平面の計測対象物の正面に設置し、距離計測実験を行った。距離計測範囲は距離 30 mm から 50 mm であり、5 mm ずつ離れた。視差の距離計測の実験結果を Table 1(a)に、視差とぼけを組み合わせた手法の結果を同表 (b)に示す。距離 35 mm において距離計測した値をヒートマップで可視化を行う。近距離になればなるほど色が赤く表示している。視差によるヒートマップを Fig.5(a)、ぼけによるヒートマップを同図(b)、視差とぼけ双方を用いたヒートマップを同図(c)、距離計測結果を同図(d)に示す。福田ら[4]の研究では距離計測範囲が 50 mm から 250 mm であったが、Fig.5(d)より本手法では 30 mm までの近距離が可能になった。一方で、視差の距離計測の結果における点の欠損が生じている理由として、カメラとより近いスリットは光の反射によりスリット間の輝度値が高くなってしまう。そのため、スリット判別に誤差が生じた。

Table 1 距離計測実験結果 (単位: mm)
(a) 視差のみ

距離値 (真値)	計測値平均	標準偏差
30.0	60.1	15.4
35.0	61.3	7.9
40.0	72.1	3.3
45.0	54.5	7.6
50.0	58.9	6.7

(b) 視差とぼけの組み合わせ

距離値 (真値)	計測値平均	標準偏差
30.0	34.2	13.8
35.0	54.6	4.2
40.0	68.7	7.2
45.0	45.0	26.9
50.0	55.7	7.5



(d) 距離計測結果

Fig.5 距離計測実験

7. 結論

マルチスリットレーザとカメラによる視差と像のぼけを組み合わせることで近距離計測用小型距離画像センサの計測範囲が 50 mm から 30 mm に拡大できた。しかし、センサの構造上、輝度値の閾値処理によるスリット判別に誤差が生じたことにより、視差とぼけによる計測の適切な切り替えが行われなかった。そのため、連続な距離計測ができなかったと考えられる。今後は、スリット判別のための輝度値の閾値を変更、さらに視差とぼけの計測の切り替えを適切に行う手法の構築を目標とする。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19H04191 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 古川 亮, 川崎 洋, 佐川 立昌, 佐野村 洋次, 田中 信治, 吉田 成人, “DOE パターン投光器を用いた動的ステレオ 3 次元内視鏡”, 第 22 回画像センシングシンポジウム (SSII2016), IS2-22, 2016.6.
- [3] 馮 益, 木村 優志, 増山 岳人, 梅田 和昇, “スリット像のぼけの計測と視差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トを用いた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 2016 講演論文集, 1A2-19a7, 2016.6.
- [4] 福田 智章, 池 勇勲, 梅田 和昇, “マルチスリットレーザを用いた近距離計測用超小型距離画像センサの構築”, 第 24 回ロボティクスシンポジウム予稿集, 5B2, pp.272-274, 2019.3.
- [5] 大橋 嘉倫, 池 勇勲, 梅田 和昇, “マルチスリットレーザと小型カメラによる像のぼけを利用した小型距離画像センサのオンライン計測”, 2020 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, D03, 2020.9.