

# マルチスリットレーザの視差とぼけを用いた小型距離画像センサ における計測手法の改善

Improvement of measurement method for compact range image sensor  
using disparity and blur of multi-slit laser

○学 豊島 隆太郎 (中央大学) Sarthak Pathak (中央大学)  
正 梅田 和昇 (中央大学)

Ryutaro TOYOSHIMA, Chuo University, toyoshima@sensor.mech.chuo-u.ac.jp  
Sarthak PATHAK, Chuo University  
Kazunori UMEDA, Chuo University

In this paper, we propose an improved distance measurement method using blur for 3D measurement. Stereo disparity is often used for 3D measurement, but when a target object is too close to the sensor, it cannot be obtained properly. To solve this problem, we develop a compact range image sensor capable of close-range measurement focusing on the amount of blur using a multi-slit laser and a camera.

**Key Words:** 3D Measurement, Active Stereo Method, Amount of Blur

## 1 緒言

近年、画像を利用した三次元計測は産業、民生を問わず広く用いられており、主にステレオカメラを用いて行われている。特にIoTやAIといった技術や概念の進歩によりその需要は一層増している。特に最近では、身近なところにある様々な機器が高度の情報処理機能を有しており、IoT、インターネットへの接続はもちろんのこと、様々な環境観測機能を持っており、その中にはカメラ等の光学デバイスも含まれている。光学デバイスの中でも様々な方式の距離計測センサが開発されている。ステレオカメラやTime of Flight方式等を用いたリアルタイム計測可能な距離画像センサや、Structure From Motion(SFM)、レンズ焦点法等時系列データを用いるタイプの距離画像センサが知られている。

例えば、ロボットハンドによる物体把持動作を考えた場合、使用可能なセンサは限られる。一般には、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、ロボットハンド自身によって物体のカメラに対するオクルージョンが生じてしまう。そのため、計測対象に対してのオクルージョンを軽減でき、ロボットハンドに装着可能な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。

福田ら [1] は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計測を行う小型距離画像センサを構築し、大橋ら [2] はリアルタイム計測におけるぼけによる計測手法を提案した。望月ら [3]、ZHUOら [4] はぼけ量そのものを独自に定義し、そのぼけ量を用いて三次元計測を行っている。また、Ikomaら [5] は深度画像を学習させることで、新たに読み込んだ画像に対して深度推定を行う手法を提案した。しかし、これらの研究では、装置そのものが大きいものや、カメラのコスト増大、環境によって結果にばらつきが出てしまうなどの課題があった。

そこで本研究では、先行研究 [1][2] において確立されていなかった視差を用いた距離計測とぼけを用いた距離計測の切り替え手法を考えるべく、ぼけ量に着目する。そして、ぼけ量を改めて取得し、近距離でのステレオ視差計測ができない場合の、ぼけを用いた距離計測の精度改善および切り替え手法の確立を目的とする。

## 2 提案手法

### 2.1 提案手法の概要

まず、先行研究 [1] で作成されたセンサを元に新たに作成したセンサを用いて、ラインレーザのマーキングを行った生画像を取得し、その画像をグレースケール化、変換した画像にガウシアンぼかしをかけることでより滑らかな画像に変換する。ぼかしをかけた画像に対して、各行に対して閾値以上の輝度値を有する点の中から、左右一定の画素数の範囲内（以降の実験では11 pixel）

で最も高い輝度値のものをピーク点として抽出する。そして、取得したピーク点、輝度分布を用いてガウスフィッティングを行う。最終的に得たぼけ量を用いて距離推定や切り替えの基準に用いる。以上のぼけ量取得の流れを Fig.1 に示す。具体的な処理は、2.2、2.3 節で示す。

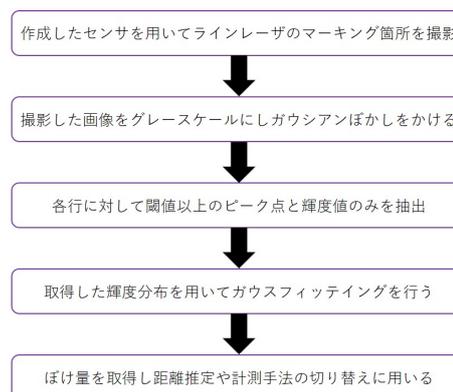


Fig.1 Flowchart of proposed framework

### 2.2 輝度分布の取得

作成したセンサで撮影したカラー画像をグレースケールに変換し、そのうえでガウシアンぼかしを用いて平滑化を行う。すべての画素に対して、周りよりも輝度値が高い画素（ピーク点）を抽出し、その点の左右20pixelの画素を同時に抽出し、輝度分布を作成する。この時抽出されなかった点に対しては、はずれ値として扱う。ピーク点の抽出に用いた、真値40mmでの生画像とガウシアンぼかしを行った画像を Fig.2 に示す。

### 2.3 ガウスフィッティング

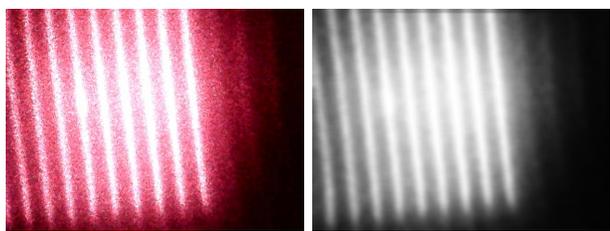
取得した輝度分布に対して、ガウス分布を当てはめる。Fig.3 に実際のフィッティングの様子を示す。Fig.3 は、Fig.2(b) で得た輝度分布を用いて、画像中左上を原点とし、上から下に向かって30行目の抽出されたピーク点およびその周辺画素に対してガウス分布の当てはめを行った結果である。この時青い点で示されているものが抽出された輝度である。また、Fig.3 における横軸は画像座標を表し、縦軸はその画素の輝度値を表している。ガウス分布の当てはめは以下の方法を用いて求める。輝度値を  $y$ 、画像座標中での位置を  $x$ 、 $x$  の平均を  $\mu$ 、標準偏差を  $\sigma$  とすると、ガウス関数は

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

と表される. 式 (1) の両辺の対数を取ると

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

したがって, ピーク点の輝度値  $y$  の対数を取り, 最小二乗法を用いて  $x$  の二次式にあてはめ,  $\sigma$  を計算することでぼけ量を求めることができる.



(a) raw image at 40 mm (b) Gaussian-blurred image of (a)

Fig.2 Raw image and image after Gaussian blurring at 40 mm

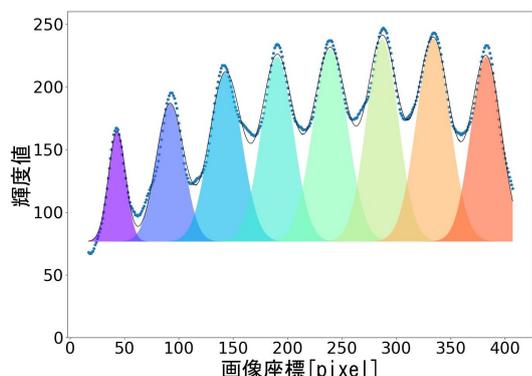


Fig.3 Results of Gaussian fitting on the 30th row in the image shown in Fig.2(a). The blue points are the points used for Gaussian fitting. The different colored peaks are the different Gaussian distributions fitted for each slit.

### 3 計測原理

ぼけ量を用いた距離計測手法は, ぼけ量  $\sigma$  と距離  $Z$  の関係を事前に求めておくことが必要である. そのため, 20mm~120mmの間におけるぼけ量と距離の関係を定式化した. 本論文ではぼけ量と距離の間に反比例の関係があるとして定式化を行った. また, キャリブレーションには各距離におけるぼけ量の平均値を用いて, 最小二乗法により近似曲線を取得した. 取得した近似曲線を Fig.4 に示す.

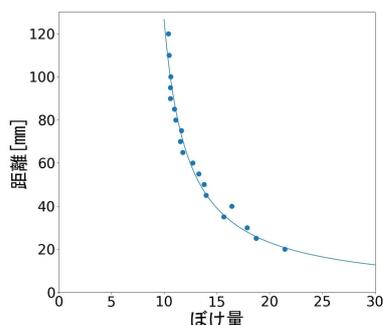


Fig.4 Results of inverse proportional approximation using the amount of blur at each distance

## 4 検証実験

### 4.1 平面計測

実際にぼけ量を求めて, 切り替え判定の基準を調べるため, 平面距離計測を行った. 作成したセンサの内部構造を Fig.5(a) に示す. 平面を用いて様々な距離におけるぼけ量を求め, 平面計測を行い, 各距離での計測値全体の平均値を求め, それぞれの真値との計測誤差を求めた. Fig.5(b) の実験環境で距離値を変化させながら計測を行った. 前述の方法で求めた計測誤差と各距離との関係を Fig.6 に示す. Fig.6 のオレンジ色のデータは従来手法 [2] のぼけ量と距離の関係を用いたときの計測誤差である. 至近距離では計測誤差が小さいものの, 距離が長くなるにつれて計測誤差が大きくなってしまっていることがわかる. Fig.6 の緑色のデータは提案手法を適用した平面計測のぼけ量と距離の関係における計測誤差である. 従来手法 [2] に比べ, 計測誤差が大きくなる部分もあるものの, 距離が長くなったとしても, 計測誤差が右肩上がりになることはなくなった. しかし, 100mm 以降になってしまうとぼけ量に変化が起りにくくなってしまったため, 計測が困難になり, 計測誤差が大きくなってしまっていることがわかる. また, Fig.7 に示すように, スリットの両端に関しては, 誤差が大きくなることも判明した.

### 4.2 考察

検証実験において, 平面における有用性は示せたものの, 複雑な物体や段差のある平面において, ぼけ量の取得が行うことができず, 適切に計測を行うことができなかった. 原因としては, 物体の反射率や露光に依存してしまっている点が挙げられる. 今回使用したカメラが, 自動露光が備わっていたため, 均一なデータが取れていなかったことや, 誤差と識別されていないがずれてしまっているぼけ量を含めてしまったためキャリブレーションがうまくできていなかったなどが考えられる. また, Fig.4 に示されるように, 距離が大きくなるとぼけ量に差が生じなくなり, 感度が低下する. ぼけ量を用いた計測と視差を用いた計測の切り替えは, この感度を評価することで行えば良いと言える.



(a) Inside view of the sensor (b) Experimental environment

Fig.5 Inside of the sensor and the experimental environment

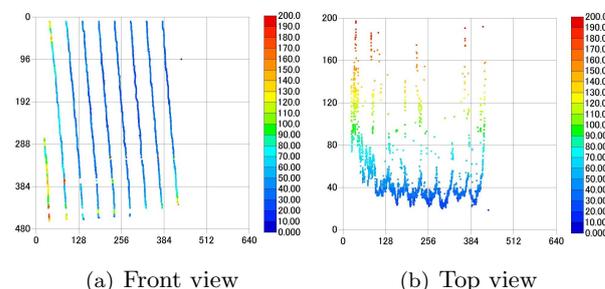


Fig.7 Results at 40 mm

## 5 結言

本論文では, 視差距離計測とぼけ量を用いた距離計測の組み合わせ手法におけるぼけ量を用いた切り替え手法およびぼけ距離計測の改善手法を提案した. 平面における有用性は示せた一方で, 課題も残っている. 今後の展望としては, ぼけ量取得の精度向上

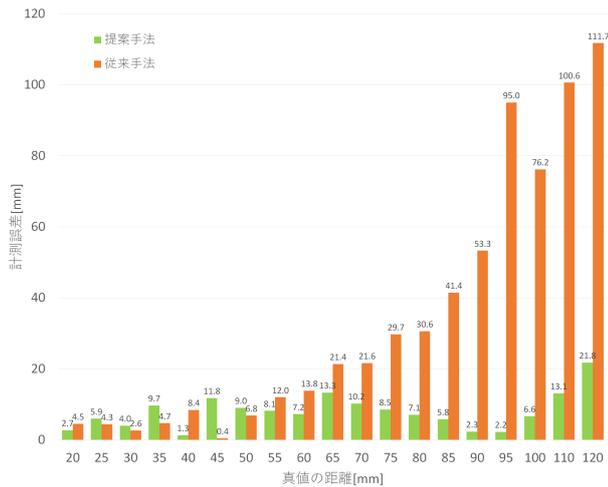


Fig.6 Errors of distance measurement (vertical axis) with respect to different measurement distances (horizontal axis).

ならびにぼけ量の妥当性の評価手法の導入により、キャリブレーションや計測における誤差を減らしていきたい。

### 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] 福田 智章, 池 勇勲, 梅田 和昇: “マルチスリットレーザプロジェクト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.
- [2] 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, 2020.3.
- [3] 望月優介, 青木公也, 興水大和: “焦点ずれによる画像ぼけ特徴を利用した三次元形状計測”, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol.129, No.5, pp.909-915, 2009.
- [4] ZHUO Shaojie, SIM Terence: “Defocus map estimation from a single image”, Pattern Recognition, Vol.44, No.9, pp.1852-1858, 2011.
- [5] IKOMA Hayato, et al.: “Depth from defocus with learned optics for imaging and occlusion-aware depth estimation”, Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP2021), pp.1-12, 2021.