

マルチスリットレーザプロジェクタを用いた小型距離画像センサにおける スリット像のぼけを利用した距離画像計測

中央大学 ○徳王 耀介, 木村 優志, 増山 岳人, 梅田 和昇

Range image measurement by blur of slit images of a compact range image sensor with a multi-laser slits projector

Chuo Univ. Yosuke TOKUO, Masashi KIMURA, Gakuto MASUYAMA, Kazunori UMEDA

This paper presents a compact range image sensor that projects multi-laser slits and measure range images by blur measurement of slit images. A compact range image sensor that captures three-dimensional (3D) information is required in many applications such as grasping an object by a robot hand. The constructed sensor is compact enough to be attached to a robot hand. The sensor can measure the distance from 50-100 mm by utilizing the feature of blurring of slit image at the short distance. The effectiveness of the sensor is evaluated by some experiments.

1. 諸言

近年, 三次元計測は, 生産ラインや車の自動運転, 医療分野, 3D マッピング等, 多くの分野で利用されている. その中でも, 生産ラインや医療応用などでは, 小型かつ近距離計測が可能な距離画像センサが必要とされている.

小型距離画像センサを実現した従来研究に, パターン光を投影し, 視差を計測して物体までの距離を計測する手法がある[1][2]. 岩崎ら[1]は, マルチレーザスリット光を用いた小型距離画像センサを構築し, 100~300[mm]の範囲での高精度の距離計測を実現している. しかし, 100[mm]以下ではスリット光像のぼけにより計測精度が大きく低下するという問題がある. これに対し, 馮らは, スリット光像のぼけを計測することで距離を求める手法を提案した[3]. 本研究では, 馮らの手法に基づいて距離画像を計測する. 馮らの手法では, ぼけを求める範囲を一定としていたため, ぼけが大きくなるところでは計測できなかったが, 本研究ではこの範囲を変換することで, ぼけが拡大しても計測が可能となる. センサは小型カメラと小型レーザプロジェクタから構成されており, 小型軽量である. 本研究では, 50~100[mm]での距離情報の取得, かつ従来に比べて簡便な計測を実現する.

2. センサの構成

構築したセンサを Fig. 1 に示す. 先端にローパスフィルタを取り付けたボードタイプカメラと, それに平行に取り付けたマルチスリット光を投影するレーザプロジェクタから構成される.

レーザプロジェクタには Coherent MINI-715L を用いている. 波長は 690[nm], 出力 35[mW]であり, 15 本のスリット光を投影し, スリット間の角度は 3[deg]である. カメラは UVCZBS-002 ボードタイプ CMOS カメラであり, 画素数は 1280×720[pixel]である. また, 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. カメラとプロジェクタの基線長は 20[mm]である. センサ全体の寸法は 38×30×48[mm], 重量は 40[g]である.

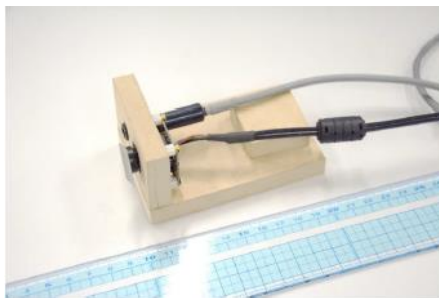


Fig. 1 構築したセンサ

3. ぼけを用いた距離計測手法

3.1 ぼけの計測手法

本論文で用いるスリット光のぼけ量はスリット光像の画像中の横方向の輝度分布によって決定される. その分布は, Fig. 2 のようにガウス分布によって近似できる. このときの標準偏差 σ をぼけ量とする. σ は距離に応じて変化し, 近い程大きくなる.

ぼけ量 σ は以下の手法で求める. まずスリット光の画像を取得しグレースケール画像に変換する. 次にスリット光のぼけが生じている範囲の輝度分布をガウス分布で近似し, σ を求める. 従来手法[2]ではぼけの範囲を求める際に輝度重心を求め, 輝度重心を元に固定された範囲をガウス分布に近似していた. 本手法では, 経験的に求めたしきい値以上の輝度値の範囲を元に, Fig. 3 に示すように左右を 20[pixel]伸ばした範囲をガウス分布に近似する. これにより, ぼけが大きくなっても近似が可能となる. このとき, 輝度値を y , 位置を x , x の平均を μ , 標準偏差を σ とすると, ガウス関数は

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

と表せる. k はガウス分布の高さを表す係数である. 式(1)の両辺で自然対数をとると

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

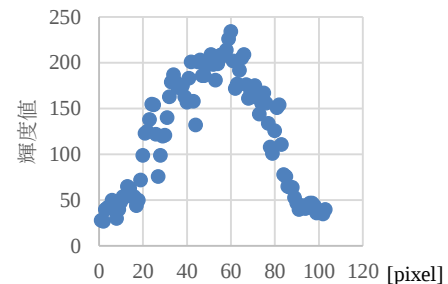


Fig. 2 ぼけの輝度分布

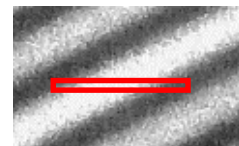


Fig. 3 ガウス分布に近似する範囲

となる．そこで，輝度値の対数値に二次関数を当てはめ，2 次の係数を求めることで，ぼけ量 σ を求めることが可能となる．

3.2 距離計測手法

次に，ぼけ量 σ と距離 z [mm]の関係式を求める．

壁との距離が 50～100[mm]の範囲で 10[mm]間隔で各計測点のぼけ量を求めた．このときのスリット光の様子を Fig. 4 に，また各距離でのぼけ量を Fig.5 に示す．このぼけ量は，ある計測点において各距離でのぼけ量の平均を 10 回測定しその平均を求めたものである．

$$\sigma = az + b \quad (4)$$

という一次式で近似できると考えられる．

距離計測を行う前にキャリブレーションを行う．上記の距離のぼけ量から，式(4)の係数 a, b を最小二乗法により求める．このとき，同一距離であっても各スリット光の各計測点におけるぼけ量は異なるので，計測点数約 4000 点前後の全点において係数を個別に求める．

対象までの距離 z は，式(4)を変形して

$$z = \frac{\sigma - b}{a} \quad (5)$$

となるため，測定された σ とキャリブレーションで求めた a, b より，対象までの距離 z を求めることができる．これを全計測点で行うことによって各点での距離を求める．

4. 距離計測実験

本手法の有効性，および計測精度を確かめるために距離計測実験を行った．

センサを平面から 60, 75, 90[mm]の 3 箇所に設置し，一箇所に付き 5 回 σ を求め，その平均 $\bar{\sigma}$ を用いて距離を計測した．実験の様子を Fig. 6 に，実験結果を Table 1 に示す．全測定点での計測値の平均，標準偏差である．Table 1 より，おおむね正確に距離が計測できている一方，標準偏差がかなり大きいことが分かる．これはぼけ量のばらつきが大きいためである．

また壁との距離が 90[mm]では，標準偏差が大きくなっている．これは，スリット光像のビントが合い，ぼけ量が小さくなった結果ぼけ量の計算精度が低くなったためだと考えられる．

改善策としては， σ を求めるための範囲の求め方の改善や，キャリブレーション時の測定回数を増やして精度を向上させることが挙げられる．

次に，反射率の違いによる精度の変化を検証するため，反射率 10%のダークグレイの平面を計測対象とした．スリット光像を Fig. 8 に，実験結果を Table 2 に示す．

Table 2 より，測定誤差が最大で 12[mm]と，Table1 より大きくなっていることが分かる．これは，反射率が減少したことによって輝度値を取得できた点が減少し，実際よりもぼけ量 σ が小さく測定されたためである．

6. 結言

スリット光のぼけを計測することで近距離を計測する手法の改良ならびに評価を行った．実験より，ぼけの計測はできているものの計測精度に改善の余地があることを確認した．反射率の異なる平面で実験し，反射率により精度の差があることを確認した．今後は手法の見直し，実験装置の改善などによって精度向上を目指す．

本研究は JSPS 科研費 26330205 の助成をうけたものである．

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, 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タ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.

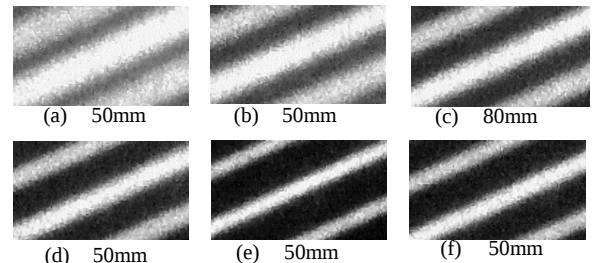


Fig. 4 各距離でのスリット光像

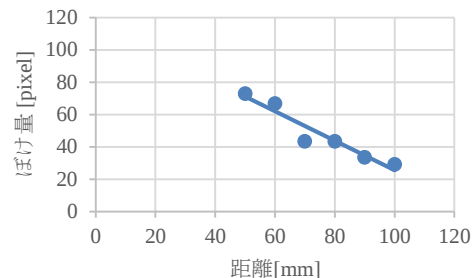


Fig. 5 スリット光のぼけ量と計測距離との関係



Fig. 6 実験の様子

Table 1 距離計測実験結果

真値	平均[mm]	標準偏差[mm]
60[mm]	56.78	12.72
75[mm]	70.89	12.36
90[mm]	98.37	22.78

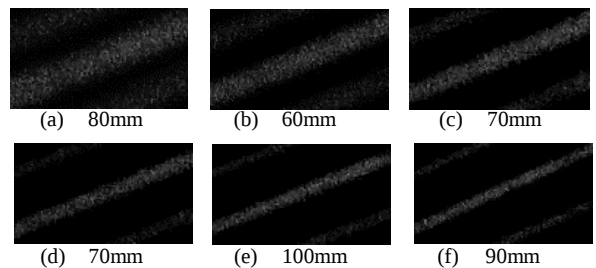


Fig. 7 ダークグレイの平面に対する各距離のスリット光像

Table 2 反射率 10%の平面での実験結果

真値	測定結果[mm]	標準偏差[mm]
60[mm]	91.40	12.77
75[mm]	100.12	9.68
90[mm]	114.14	11.40