

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

Small Range Image Sensor Based on Image Blur Using Multi-Slit Laser and Small Camera

○津村 一輝(中央大) 池 勇勲(中央大) 梅田 和昇(中央大)
Kazuki TSUMURA, Chuo University, tsumura@sensor.mech.chuo-u.ac.jp
Yonghoon JI, Chuo University, ji@mech.chuo-u.ac.jp
Kazunori UMEDA, Chuo University, umeda@mech.chuo-u.ac.jp

This paper presents a novel range image sensor system that uses multi slit laser and small camera. In case of the active stereo method, since the captured image is blurred, it is impossible to determine an accurate position of the slit. On the other hand, the proposed method is able to perform short distance measurement using the magnitude of the blur of the laser light.

Key Words: Multi slit laser, range image, small camera

1. はじめに

近年, 3次元計測は産業, 民生を問わず広く用いられており, 特に IoT や AI といった技術・概念の進歩によりその需要は一層増している. 3次元計測に必須ともいえる距離画像センサにはさまざまな手法や種類がある. 小型距離画像センサを考えるとアクティブステレオ方式が有力候補であり, これまでも様々なパターンを投影し, カメラで撮影, 視差を計測して距離を推定する手法が研究されている[1][2]. 岩崎らは, 100 mm ~ 300 mm の有効計測範囲を持つマルチスリットレーザプロジェクトを使用した超小型距離画像センサを構築した. しかし 100 mm 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, 徳王らは近距離計測においてこのぼけを積極的に利用し, ぼけの大きさを計測することで距離推定を行う手法を提案した[3][4]. しかしぼけの計測はスリットの位置計測以外に最小二乗法によるフィッティングやその前処理を行うため, 計算量が多くリアルタイムでの処理は難しいと報告している. 本研究では馮らの手法を踏襲し計測速度や精度向上を目指す.

2. センサの構成

本研究で開発したセンサを図 1, センサの構造や使用する部品を表 1 に示す.

Table 1 Specification of sensor

寸法	幅48 mm, 高さ31 mm, 奥行き37 mm (突起物を除く)
質量	約50 g
材質	光硬化樹脂(3Dプリンタによる)
レーザプロジェクト	Coherent MINI-715L
レーザダイオード	Mitsubishi ML101J25 Max100mW
光学フィルタ	Fujifilm SC-64 Fujifilm ND-1 2枚
カメラ	UVCZBS-002 (CMOS, 1280×720)

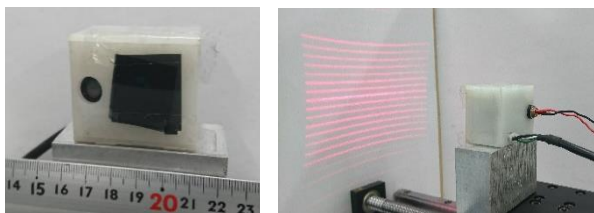


Fig. 1 Appearance of the sensor and measurement

3. ぼけを用いた距離計測

本研究におけるぼけとは, カメラで撮影された画像中のレーザスリット像の輝度値の分布により定義される. 実際にカメラによって撮影された画像と, 鎖線で示す中央付近の一行に着目した輝度分布を図 2 に示す. この分布に示される複数の山を個別に抽出し, 輝度値と画像座標を用いてガウス分布に近似した際の標準偏差 σ を算出しぼけ量とする. ここで, σ は画像座標 x , 輝度値 y を用いて次式のように定義される.

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

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. そして式 (1) の両辺の自然対数を取り, 次式のように変形する.

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

得られた式(2)に対し後述する処理を施した輝度値分布をあてはめ最小二乗法により σ を求める.

カメラで撮影された輝度分布にはレーザが照射されていない部分においても乱反射等により輝度値が生じている為, これらの輝度値を取り除く必要がある. そこで, 各スリット同士の間地点の輝度値をオフセットとみなし 1 つのスリット全体から除すことでレーザの照射されていない地点の輝度値を 0 とする. また, 輝度値のピークの値はスリットの序数や横方向の位置によって異なる. そこですべてのピーク値が等しくなるようにスリット毎に一定値を乗じることで正規化を行う.

撮影された画像から得られたぼけ量より距離値を推定するにはぼけ量と距離値の関係が既知である必要がある. 既知の距離対象を撮影した際のぼけ量を図 3 に示す. このようにぼけ量は近距離では大きく, 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. しかし, 図 3 のように大きなノイズがぼけ量にはのっており, 前後の値との区別をつけられなくなっている. そこで, 様々な種類・大きさのフィルタを画像や中間データに施すことで誤差の少ない計測をできるようにする. また, 本研究ではぼけと距離の関係を連続的な式で表さず, すべての関係をテーブル化し, それを参照することで距離値を推定する手法を採る.

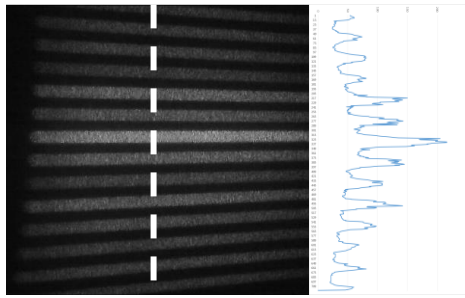


Fig. 2 The captured image and intensity distribution

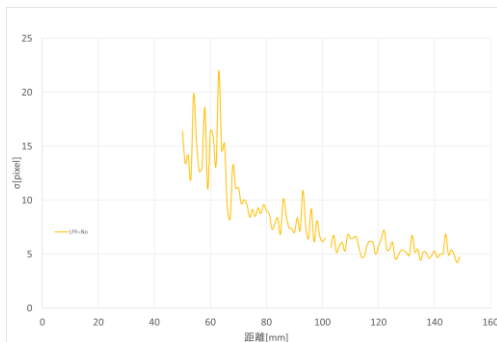


Fig. 4 Relationship between distance and blur

4. 距離計測実験

図 1 に示すようにセンサを計測対象物の正面に設置し、センサを直動アクチュエータにより指定距離移動させ、既知の距離を作ることによってセンサの計測精度評価及び処理時間の評価を行った。この時の実験条件を表 2 に示す。

実際の計測例として距離計測対象までの距離を 60.0 mm とした結果を図 4 に示す。また、計測範囲外に生じた外れ値を取り除いた後の距離値実験結果を表 3 に、処理所要時間を表 4 に示す。これより計測対象物までの距離を概ね正しく推定できていることが分かる。しかしながら、各点に着目するとアクティブステレオ法で計測した場合と比較すると誤差が大きい。この誤差の原因はレーザのスペックルノイズにあると考えられる。処理速度においては、距離とぼけ量の大きさを既知にするための事前処理に時間がかかっているものの、CPU による並列処理を用いることで距離画像 1 枚当たり 95 ms (約 10 fps) の高速な計測が可能である。

Table 2 Experimental conditions

計測対象	白色コピー用紙
距離	60.0 mm
ボケと距離のテーブル	50.0 mm ~ 149.0 mm, 1.0 mm 間隔
画像に対する空間フィルタ	9×9移動平均フィルタ
その他のフィルタ	出力結果の3移動平均

Table 3 Experimental results [mm]

距離値 (真値)	平均値 (約6000点)	最小/最大	標準偏差
60.0	59.58	51.42/114.39	3.26
75.0	74.42	51.41/89.44	3.85
100.0	102.70	76.18/124.70	7.34
125.0	122.63	93.25/133.59	6.30

Table 4 The processing time

キャリブレーション		距離画像生成	
逐次処理	並列処理	逐次処理	並列処理
約40 min	約4 min	約310 ms	約95 ms

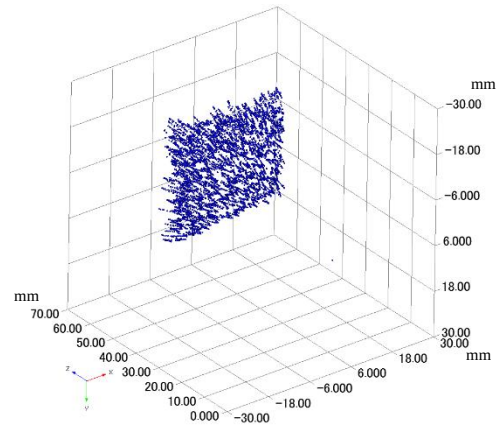


Fig. 3 The result of distance image

5. おわりに

マルチスリットレーザと小型カメラを用い、像のぼけを利用して距離計測を行った。提案手法により、計測実距離の 5% 程度の標準偏差で、距離画像一枚当たり 100 ms 程度の処理時間により計測することができた。これは既存手法の標準偏差と比べ 1/4 ~ 1/2 程度である。また、画像取得時間もほぼ実時間に近い速度に達した。

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.
- [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.
- [4] 徳王 耀介, 木村 優志, 増山 岳人, 梅田 和昇, “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におけるスリット像のぼけを利用した距離画像計測”, 2017年度精密工学会春季大会, 2017.