

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

中央大学 ○大橋 嘉倫, JAIST 池 勇勲, 中央大学 梅田 和昇

1. 序論

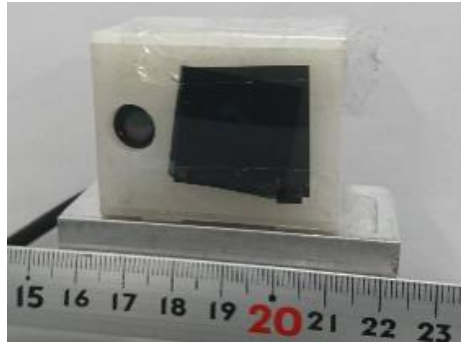
近年、画像を利用した三次元計測は産業、民生を問わず広く用いられている。特に IoT や AI といった技術や概念の進歩によりその需要は一層増しており、様々な距離画像センサの研究開発が行われている。

小型の距離画像センサに関しては、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[1][2]。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]。本研究では馮らの手法を踏襲し、精度向上ならびにオンライン計測の実装を目指す。

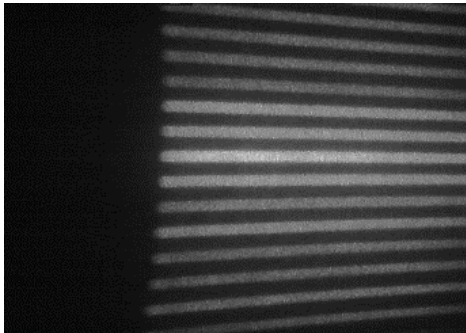
2. センサの構成

本研究では、津村ら[4]の構築したセンサを基に、レーザの角度や光学フィルタを見直し、精度の向上を目指す。使用するセンサを Fig. 1(a)に、同センサを用いて 50 mm 先の白色平板を撮影した際の画像を同図(b)に示す。

レーザプロジェクトにはコヒレント社製 MINI-715L を使用しているが、レーザダイオード(LD)は Mitsubishi 製 ML101J25 に置換している。出力波長 780 nm、最大出力は 100 mW である。簡易定電流電源回路を構築し、LD 出力を 15 mW 程度に抑えてある。また、カメラは UVCZBS-002(CMOS タイプ)、1280×720 ピクセルを使用し、その前面には光学ローパスフィルタ(Fujifilm SC-64)及びND フィルタ(Fujifilm ND-1)を重ねて取り付けられている。



(a)使用するセンサ



(b)撮影された画像(距離 50 mm)

Fig. 1 使用するセンサと撮影された画像

3. ぼけを用いた距離計測手法

本研究における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。Fig. 2に Fig. 1(b)の画像における(640, 0)から(640, 719)の間の画素値を図示する。各スリットの山を抽出し、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。画像中の 640 列目、上から 5 番目のスリットにおける距離とぼけ量 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。尚、ぼけ量 σ と距離 z の関係はあらかじめ求めておく必要があるフローチャートを Fig. 4(a)に示す。

本研究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っている。ここで、Fig. 3 に示すように大きなノイズが乗っている為、ローパスフィルタ(LPF)を画像や推定結果に施すことで誤差の少ない計測ができるようにする。LPF として 5×5 の平均化フィルタを用いた。また、オンライン計測を実現するために、常時画像を描写する必要がある。

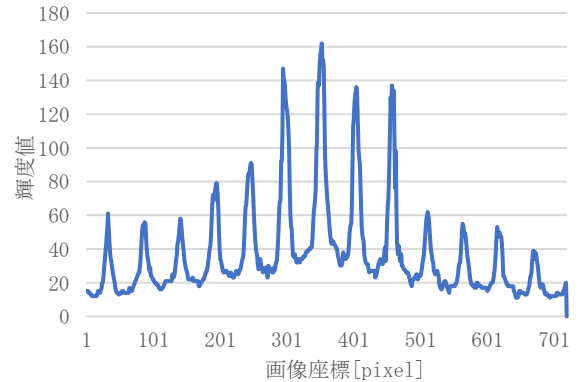


Fig. 2 スリットの輝度分布

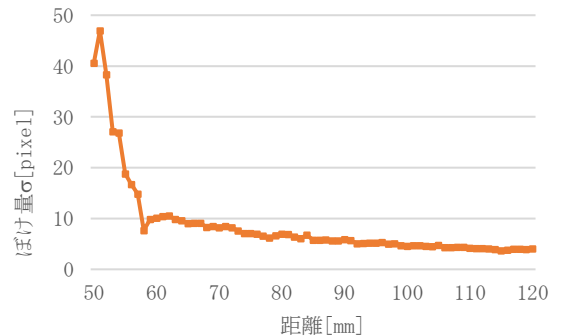


Fig. 3 距離とぼけ量 σ の関係

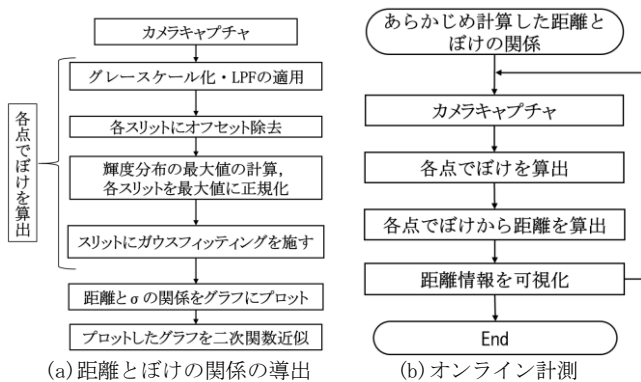


Fig. 4 距離計測のフローチャート

また、Fig. 4(a)のフローチャートはFig. 3のグラフから近似関数を導出する過程であり、同図(b)の順序でオンライン計測を行う。本論文では距離とぼけの関係を次式のように二次関数近似をする。

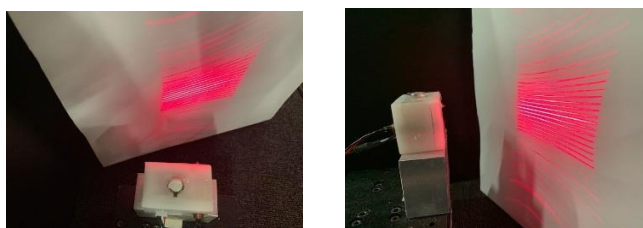
$$\sigma = aX^2 + bX + c \quad (3)$$

ここで、 X は距離である。あらかじめ a, b, c を求めておき、得られたぼけから式(3)を用いてオンラインで距離を算出する。

4. 距離計測実験

本センサを計測対象物の正面に設置し、距離画像を取得した様子をFig. 5に示す。距離 100 mm において計測された結果をFig. 6(a)に、斜面(左端 50 mm, 右端 100 mm)の距離計測結果を同図(b)に示す。距離値に細かくノイズが乗っている様子が分かる。

はずれ値を除いた後のオンライン距離計測の実験結果をTable 1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。また、処理速度は約 5.6 fps を実現した。しかしながら、遠距離になるにつれて計測誤差が大きくなっている。Fig. 3において、距離 90 mm 以降でぼけ量の変化が小さいことがわかる。提案手法はレーザスリットの幅からぼけ量を求めているが、スペックルノイズなどによりスリット幅が不均一となり、誤差が生じていると考えられる。

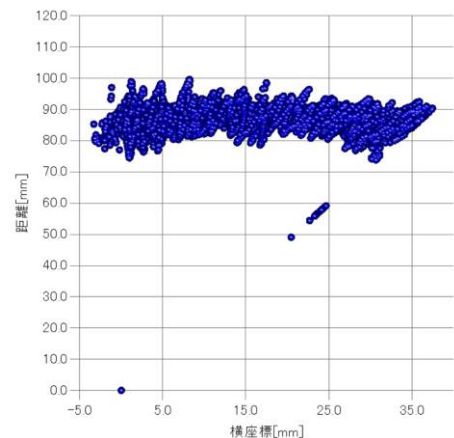


(a) 上からの視点 (b) 横からの視点

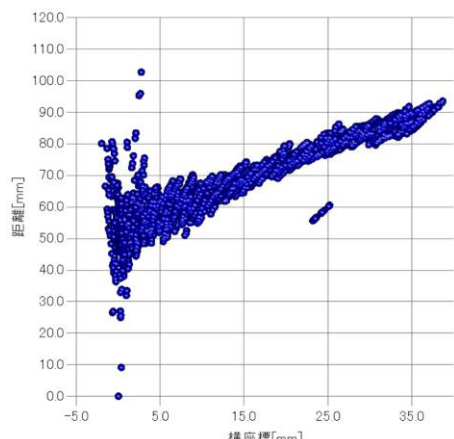
Fig. 5 距離計測実験の様子(斜面)

Table 1 オンライン距離計測実験結果 (単位:mm)

距離値 (真値)	平均値 (約 6000 点)	最小/最大	標準偏差
50.0	56.3	34.8/112.9	4.4
75.0	75.2	60.6/104.9	2.5
100.0	93.9	64.6/117.4	5.4
125.0	95.6	55.7/116.2	6.1



(a) 距離 100 mm の壁面



(b) 斜面

Fig. 6 距離計測結果

5. 結論

マルチスリットレーザとカメラにより像のぼけを利用したオンライン距離計測が可能であることを示した。処理速度は約 5.6 fps を実現した。今後は遠距離における距離計測精度の改善が課題である。

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.
- [4] 津村 一輝, 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ボケを利用した小型距離画像センサ”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 講演論文集, 2A1-S10, 2019. 6.