

ぼけを利用したスリット像判別による距離画像センサの計測範囲拡大

Measurement range expansion of range image sensor by slit image discrimination using blur

中央大学 ○藤井 奈穂, 池 勇勲, 梅田 和昇

Chuo Univ. Naho FUJII, Yonghoon JI and Kazunori UMEDA

1. 緒言

近年, 自律移動ロボットによる人間の生活空間における運用が期待されている. 自律移動ロボットが効率的に活動するためには周囲の環境把握が必要であり, そこで用いられるセンサの1つとして距離画像センサがある. 距離画像センサの中でも, アクティブステレオ法はテクスチャの無い環境でも計測でき, 実用性が高いため, 多くの研究が行われている[1,2].

我々は, マルチスリットレーザを用いた距離画像センサによりヒューマノイドロボットの障害物回避[3]や距離画像へのテクスチャマッピング[4]を行ってきた. しかし, マルチスリットレーザを使用することにより, 画像中のスリットがどのスリットかを判別しなければならぬという対応点問題が発生し, この問題を回避するために, 計測範囲を限定しなければならなかった. そこで, この対応点問題を緩和するために, ぼけを利用してスリット判別を行った[5]. しかし, 従来研究と比較して計測範囲をわずかに拡大するに留まった.

本研究では, ぼけによるスリット幅の変化と視差の関係を用いて対応点問題を回避し, さらなる計測範囲の拡大をすることを目的とする. また, 提案手法におけるセンサの精度についても検討を行う.

2. センサの構成

本研究で用いる距離画像センサの外観を図1に示す. 本センサはレンズの先端にローパスフィルタを取り付けたモノクロ CCD カメラと, 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. 使用したカメラは Point Grey Research Blackfly S であり, 画素数は 1280×1024 pixel である. また, ローパスフィルタには Kenko R64 を用いており, 波長 640 nm 以下の光を遮断する. レーザプロジェクタには COHERENT MINI-715L-690-35 を用いている. 波長は 690 nm, 出力は 35 mW である, 15 本のスリット光を投影し, スリット間の角度は 2.3° である.

3. 距離画像計測手法

距離画像計測の流れを図2に示す. カメラから画像を取得し, すべての計測点に対して図2の処理を行う. まず, 取得した画像において, 輝度値がしきい値以上の画素が連続した場合, スリットとして検出する. ここで, 画像上のスリットの幅と視差には図3のような関係がある. 視差を Δ , スリットの幅を w と定義し, 1次近似すると次式のように表せる.

$$w = a\Delta + b \quad (1)$$

ここで, a, b は各計測点において, 既知のスリットの幅と視差から最小二乗法によりあらかじめ求めておく. この関係を利用して, スリットの幅から視差を推定することができる. スリット候補の



Fig. 1 センサの外観

幅から推定された視差とそのスリット候補の中心における u 座標の視差の差が最も小さくなるスリットを正しいスリットとして選択する. 選択したスリットの中心から左右 15 pixel 内において輝度値がしきい値以上の画素を用いて, 輝度値を重みとした重心位置計算を行う. 求めた重心位置と無限遠を仮定したときのスリット像の位置との視差を求め, 三角測量の原理により距離を計算する. 基線長を b [mm], レンズの焦点距離を f [mm], 画素の幅を p [mm/pixel], レーザ光の画像平面上での結像点を u [pixel], 無限遠から反射した場合に結像する位置を u_∞ [pixel] と定義すると, 対象までの距離値 Z [mm] は次式のように表せる. ただし, 横座標を u , 縦座標を v とする.

$$Z = \frac{b \cdot f}{p \cdot (u - u_\infty)} = \frac{a}{u - u_\infty} \quad (2)$$

ここで, a, u_∞ は各計測点において, 既知の距離から最小二乗法によりあらかじめ求めておく. 提案手法では, 異なる露出時間で画像を取得することにより, 拡大した計測範囲においてもスリット検出が可能となる. まず, 短い露出時間 (1/1,000 s) で取得した画像を用いて図2の処理を行う. スリットを検出できなかった場合, 長い露出時間 (1/20 s) で取得した画像を用いて図2の処理を行う. 異なる露出時間で取得した画像を用いることにより, 近距離, 遠距離共にスリットを検出しやすくなる. 図4, 5に白色の壁面を対象とした近距離 (200 mm), 遠距離 (1,900 mm) における上述の露出時間での取得画像を示す. 短い露出時間では近距離におけるスリット検出が可能となり, 長い露出時間では遠距離におけるスリット検出が可能となる. 提案手法により, 従来研究[5]における手法では 260~800 mm であった計測範囲を 200~1,900 mm に拡大できた.

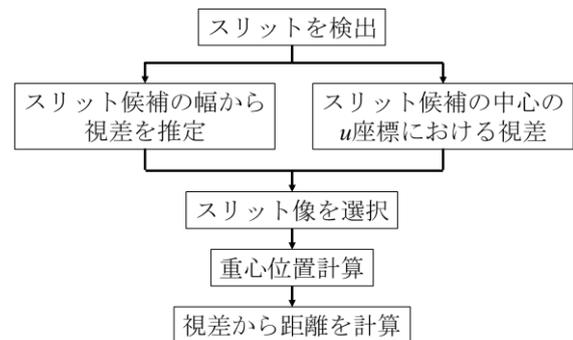


Fig. 2 距離画像計測の流れ

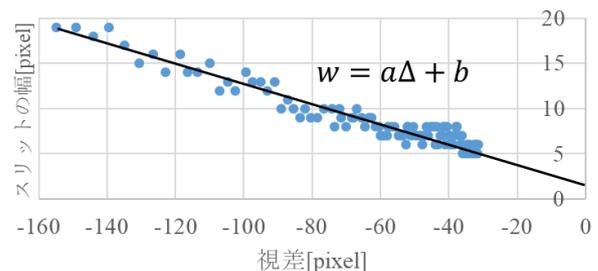
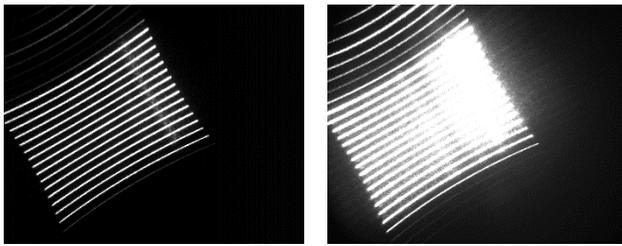
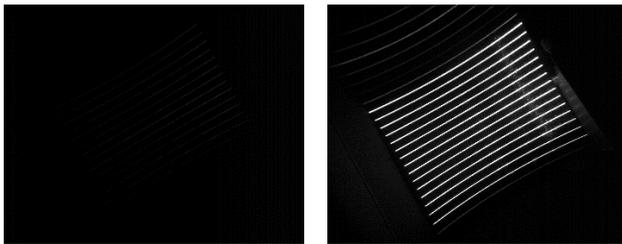


Fig. 3 スリット幅と視差の関係



(a) 露出時間 1/1,000 s (b) 露出時間 1/20 s

Fig. 4 近距離 (200 mm) における取得画像



(a) 露出時間 1/1,000 s (b) 露出時間 1/20 s

Fig. 5 遠距離 (1,900 mm) における取得画像

4. 距離計測実験

本手法の計測精度を確かめるために、距離計測精度の検証を行った。計測対象には白色の壁面を使用した。計測は対象までの距離を 200 mm から 1,900 mm まで 100 mm 間隔で変化させて行った。距離値を取得する点は、画像の周辺部にあたる上から 1 番目のスリットの v 座標 100 pixel の点 (点 1) と画像の中央部にあたる上から 8 番目スリットの v 座標 500 pixel の点 (点 2) の 2 点とした。計測はそれぞれの距離で 10 回行った。各距離における平均値と標準偏差を表 1 に示す。平均値に着目すると、真値から大きくずれることがなく、スリットを正しく判別できていることがわかる。また、遠距離になるほど標準偏差が大きくなっているが、本センサのような三角測量の原理を用いた手法では、計測される距離の不確かさが距離の 2 乗に比例して大きくなるためと考えられる。図 6, 7 に距離 200 mm, 1,900 mm における距離画像を示す。すべての計測点においてスリットを正しく判別できていることがわかる。

Table 1 計測結果 (単位: mm)

真値	点 1		点 2	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
200	202.4	2.8	208.1	1.4
300	299.0	2.4	311.4	0.6
400	393.8	2.4	404.3	0.9
500	492.2	2.9	502.7	3.3
600	594.6	4.8	604.9	1.3
700	685.7	6.6	701.9	3.5
800	749.4	10.3	797.2	4.2
900	883.2	5.3	886.3	6.8
1000	959.2	15.5	984.4	4.8
1100	1087	7.9	1088	5.7
1200	1188	8.1	1175	6.9
1300	1278	8.3	1262	7.8
1400	1381	16.3	1355	9.4
1500	1476	11.8	1443	8.4
1600	1575	17.5	1557	32.2
1700	1681	16.8	1654	9.2
1800	1801	17.8	1742	3.8
1900	1909	24.3	1851	13.7

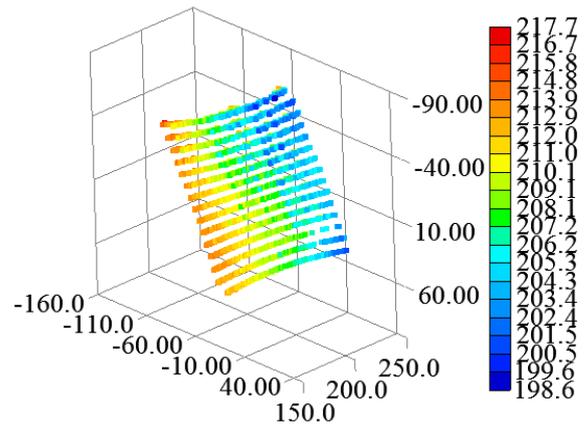


Fig. 6 距離 200 mm における距離画像

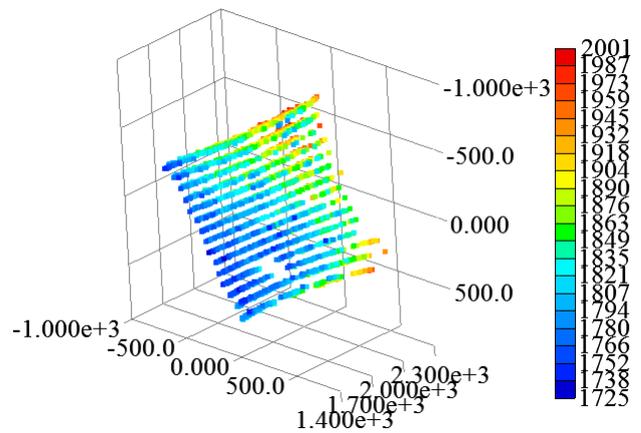


Fig. 7 距離 1,900 mm における距離画像

5. 結言

マルチスリットレーザプロジェクタを用いた距離画像センサにおいて、ぼけによるスリット幅の変化と視差の関係を用いて対応点問題を回避し、センサの計測範囲の拡大を行った。距離計測実験により、構築した距離画像センサの計測精度を示した。今後の展望として、より多くのデータを使いキャリブレーションを行うことでさらなる精度向上を目指す。また、多様な対象を計測し、センサの有効性を示す。

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] K. Nakazawa and C. Suzuki: "Development of 3-D robot vision sensor with fiber grating: Fusion of 2-D intensity image and discrete range image," Proc. of 1991 International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, pp. 2368-2372, 1991.

[2] R. Furukawa, H. Morinaga, Y. Sanomura, S. Tanaka, S. Yoshida, and H. Kawasaki: "Shape acquisition and registration for 3D endoscope based on grid pattern projection," Proc. of 14th ECCV, pp. 399-415, 2016.

[3] 黒木崇博, 寺林賢司, 梅田和昇: "マルチスリット光を用いた小型距離画像センサの計測精度評価およびヒューマノイドへの応用," 第 28 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3I2-4, 2010.

[4] 板垣 文瀬, 木村 優志, 増山 岳人, 梅田 和昇: "マルチスリット光を用いたカラーテクスチャ取得可能な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, 1A2-19a6, 2016.

[5] 藤井 奈穂, 池 勇勳, 梅田 和昇: "マルチスリットレーザプロジェクタを用いた距離画像センサの計測範囲拡大," 2019 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, C63, pp. 96-97, 2019.