

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

中央大学 ○藤井 奈穂, 池 勇勲, 梅田 和昇

Measurement range expansion of range image sensor using multi-slit laser projector

Chuo Univ. Naho FUJII, Yonghoon JI and Kazunori UMEDA

In this paper, we propose a method to expand the measurement range of a range image sensor using a multi-slit laser projector. In the conventional method, the measurement range was 360-800 mm. In order to extend the measurement range, it is necessary to solve the correspondence problem. The measurement range is expanded using the fact that the amount of light changes with distance. The effectiveness of the proposed sensor is verified through distance measurement experiments.

1. 緒言

近年, 自律移動ロボットによる災害現場における救護活動や調査が期待されている。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一つとして距離画像センサがある。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[1]や距離画像へのテクスチャマッピング[2]を行ってきた。しかし, 対応点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。

そこで本研究では, 計測範囲の拡大を目的とする。距離により光量に変化することを用いて対応点問題を解決し, その精度と有効性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。また, モノクロカメラの近距離 (260 mm) における取得画像を図2, 遠距離 (800 mm) における取得画像を図3に示す。本センサは近距離であるほど左に, 遠距離であるほど右にスリット像が結像する。



Fig.1 センサの外観

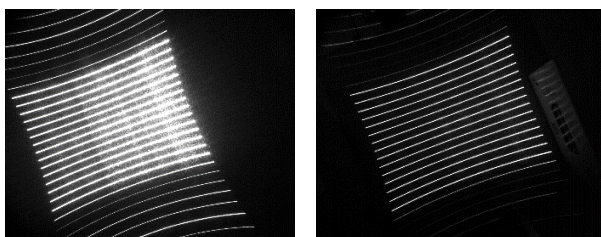


Fig.2 近距離における取得画像 Fig.3 遠距離における取得画像

3. 距離計測手法

本センサはモノクロカメラ画像上に結像されたスリット像の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。

$$Z = \frac{b \cdot f}{p \cdot (u - u_\infty)} = \frac{a}{u - u_\infty} \quad (1)$$

a , u_∞ はあらかじめ各スリット像において求めておく。

4. 計測範囲

3 章にて距離計測にはスリット像の結像位置が必要であると述べた。従来手法において結像位置を求めるには, 計測範囲内において最小距離と最大距離のスリット像の中間で結像する位置を基準位置とし, 基準位置から左右探索範囲内で輝度値がしきい値以上の画素を用いて算出する。しきい値以上の輝度値を D_i , その u 座標を u_i と定義すると, 結像位置 u_g は次式のように表せる。

$$u_g = \frac{\sum_{i=1}^n (u_i \cdot D_i)}{\sum_{i=1}^n D_i} \quad (2)$$

図4, 5において白色の四角は, ある v 座標におけるスリット像を表している。図4(a)に従来手法における探索範囲を示す。隣り合う探索範囲が重ならないようにすることで, 対応点問題を回避している。図4(b)に従来手法において, 隣り合うスリット像の探索範囲が重なっている場合を示す。一つの探索範囲内に複数のスリット像が存在する状態となり, 結像位置を正しく算出することができない。そのため, 探索範囲が限定され, 黒木ら[1]は計測範囲を 360~800 mm としていた。本研究では, 距離により光量に変化することを用いて対応点問題を解決することで, 探索範囲を拡大し, 計測範囲を拡大する。基準位置を従来手法の最小距離に設定し, 探索範囲を従来手法の2倍とする。そして, 基準位置より近距離の場合における左探索範囲内のしきい値以上の画素の最小個数, 遠距離の場合における右探索範囲内のしきい値以上の画素の最大個数をあらかじめ求めておく。結像位置計算の際, 左右探索範囲内においてそれぞれしきい値以上の画素の個数を求める。図5(a)に提案手法における近距離の場合の探索範囲を示す。本センサでは近距離であるほど左にスリット像が結像し, また, しきい値以上の画素の個数が多く計測される。よって, 左探索範囲内において求めた画素の個数が, あらかじめ求めた基準位置より近距離の場合における左探索範囲内のしきい値以上の画素の最小個数より大きければ, 図5(a)のように左探索範囲のみで結像位置計算を行う。また, 図5(b)に提案手法における遠距離の場合の探索範囲を示す。遠距離であるほど右にスリット像が結像し, また, しきい値以上の画素の個数が少なく計測される。よって, 右探索範囲内において求めた画素の個数が, あらかじめ求めた基準位置より遠距離の場合における右探索範囲内のしきい値以上の画素の最大個数より小さければ, 図5(b)のように右探索範囲のみで結像位置計算を行う。これにより, 探索範囲内に複数のスリット像が存在する場合でも一つのスリット像における結像位置を計算することができる。提案手法により, 計測範囲を 260~800 mm に拡大できた。

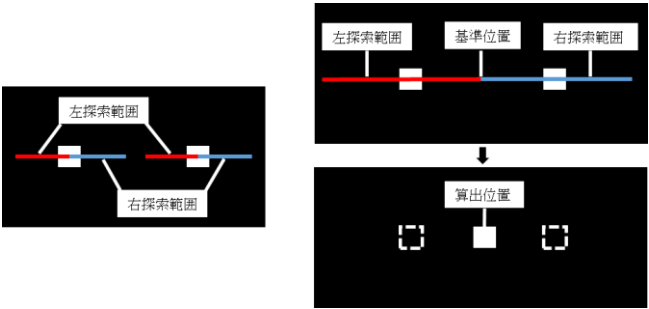


Fig.4 従来手法の探索範囲

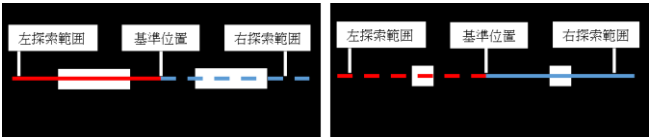


Fig.5 提案手法の探索範囲

5. 距離計測実験

5.1 距離計測精度の検証

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。計測対象には木製の板を使用した。計測は対象までの距離を 260 mm, 300 mm, それ以降は 800 mm まで 50 mm 間隔で変化させて行った。距離値を取得する点は、画像の中央部にあたる上から 8 番目スリットの v 座標 509 pixel の点 (点 1) と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 123 pixel の点 (点 2) の 2 点とした。計測はそれぞれの距離で 5 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。真値に近い計測結果を得られ、標準偏差も小さいため、高精度な計測ができたと考えられる。点 1 において、700 mm 以降、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。

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
260	263.8	0.66	262.4	0.12
300	303.5	1.45	303.9	0.89
350	351.9	0.03	349.5	0.69
400	392.2	1.78	397.5	1.10
450	451.9	0.87	442.7	0.14
500	502.0	0.27	489.2	1.34
550	549.4	2.80	540.7	1.51
600	603.6	0.09	596.1	0.15
650	644.8	0.08	645.8	0.04
700	700.1	2.55	695.1	0.26
750	755.0	2.04	753.5	2.96
800	802.7	2.75	808.8	0.23

5.2 距離値の異なる物体の計測実験

本手法の有効性を確かめるために、距離値の異なる物体の計測実験を行った。計測範囲の最小距離 260 mm, 最大距離 800 mm にそれぞれ木製の板を置き、計測を行った。図 6 に実験環境、図 7 に取得画像、図 8 に距離画像を示す。

図 8 よりわずかながら誤計測が表れているが、ほとんどの点において正確な計測ができていることがわかる。

6. 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、距離により光量に変化することを用いて対応点問題を解

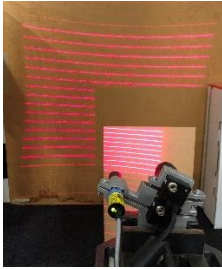


Fig.6 実験環境

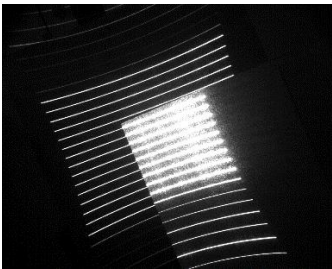
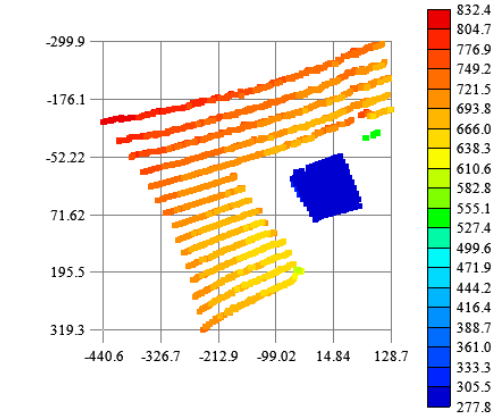
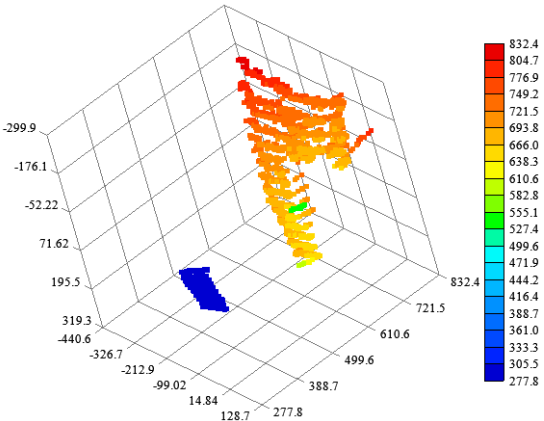


Fig.7 取得画像



(a)正面



(b)側面

Fig.8 距離値の異なる物体を計測した時の距離画像

決し、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と有効性を示した。今後の展望として、より小型の距離画像センサに提案手法を適用し、ロボット実装に対し実用的なセンサの構築を目指す。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19H04191 の助成をうけたものである。

参考文献

[1] 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, 312-4, 2010.9.

[2] 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, 2016.6.