Copyright © 2022 JSPE

マルチスリットレーザを用いた距離画像センサのリアルタイム化と計測範囲拡大

Expansion of the Measurement Range and Real-time Operation of Range Image Sensor Using Disparity and Blur of Multi-slit Light

中央大学　○佐々木　渉，顔　世荀，Sarthak Pathak，梅田　和昇

Chuo Univ. Wataru Sasaki, Shixun Yan, Sarthak Pathak and Kazunori Umeda

1.　緒言

自律移動ロボットにおいて，周囲の環境を把握するための距離画像センサは重要である．このようなセンサは高精度かつ高速な計測ができ，小型であることが望ましい．

これまでに，マルチスリットレーザを用いたアクティブステレオ法による距離画像センサの研究[1]が行われてきた．この手法では，画像中に複数あるスリットがどのスリットかを判別する必要がある．これはステレオ視における対応点問題の一つといえる．これまで，ぼけ情報を用いた計測の研究が複数行われてきた[2,3]．藤井ら[4]は対応点問題を緩和するために，視差推定にぼけを用いてスリット判別を行った．これにより，対応点問題を回避しつつ高精度な計測を実現した．しかし，オフライン計測での実現に留まっており，ロボットなどリアルタイムの処理が必要なものには利用できない．

本研究では，従来研究による対応点問題の解決を踏まえつつ，高精度かつ高速なリアルタイム計測の実現を目的とする．

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 Fig. 1 に示す．使用したモノクロ CCD カメラは FLIR の Blackfly S USB3 であり，画素数は 1280 × 1024 pixel である．また，ローパスフィルタをレンズに装着しており，波長 640 nm 以下の光を遮断することで，外乱光の影響を低減させている．レーザプロジェクタの波長は 690 nm であり，出力は 35 mW である．

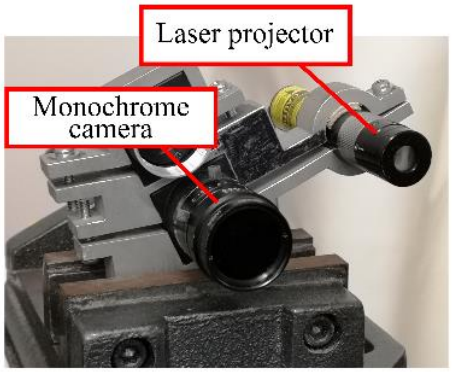

Fig.1 センサの外観

3.　距離計測手法

本センサは，三角測量の原理によってセンサからスリットの結像した位置までの距離値を得る．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の横座標を u [pixel]，無限遠から反射した場合に結像する位置を u_∞ [pixel]とすると，対象までの距離値を Z [mm]は次式のように表せる．

$$Z = \frac{b \cdot f}{p \cdot (u - u_\infty)} \equiv \frac{\alpha}{u - u_\infty} \tag{1}$$

また，本手法では，2 通りの視差推定を用いることで，複数あるスリットを判別する．Fig.2 に異なる距離値で取得された二つのマルチスリット像の画像を示す．これらより，視差の値によってぼけの大きさが変化していることがわかる．そこで，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．

$$w = a\Delta + b \tag{2}$$

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キャリブレーションしておく．

スリット中心の u 座標を u，無限遠から反射した場合に結像する位置をu_∞とすると，視差Δは次式のように表せる．

$$\Delta = u - u_\infty \tag{3}$$

式(2)と式(3)から求めたそれぞれ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判別する．

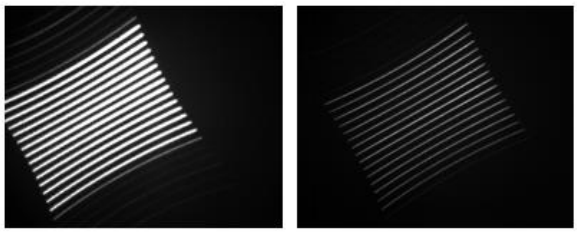

Fig. 2　異なる距離値での取得画像（左：200mm，右：800mm）

4.　計測範囲拡大手法

三角測量の計算において，ぼけ量の大きすぎる画像と検出される輝度値がしきい値を満たない画像は利用できない．そこで，本手法では計測範囲を広くするため異なる二つの露光時間の取得画像を用いる．同じ距離値において異なる露光時間で取得した画像を Fig.3 に示す．近距離の計測では露光時間の短い画像，遠距離の計測においては露光時間の長い画像を使い分け，計測範囲を拡大する．

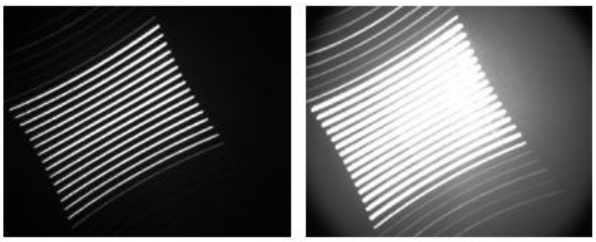

Fig. 3 異なる露光時間の取得画像（左：1ms 右：10ms）

5.　実験結果

計測速度について，1 フレームあたり平均して約 730ms の処理時間を要し，フレームレート値は約 1.4fps でのリアルタイム計測の実現となった．

また，センサの計測精度を検証するため特定の距離値での白色壁面に対して計測実験を行った．実験環境を Fig.4 に示す．計測を行う前，200mm から 2000mm の取得画像によりキャリブレーションを行った．以下の計測実験では，同じ距離範囲において 100mm 間隔で計測実験を行った．結果として 200mm から 1200mm の距離において取得された距離画像から，外れ値を除き誤差が真値の 10%以内に収まる距離値の計測結果となった．しかし，1400mm 以上の距離値においては，ほとんどの計測点が真値と比べて 100mm 以上の誤差があった．外れ値の発生について，Fig.5 に示す．外れ値の集合はスリット像の一部の形をしており，これらの計測点は

Copyright © 2022 JSPE

誤ったスリット判別により距離値を算出していると考えられる．

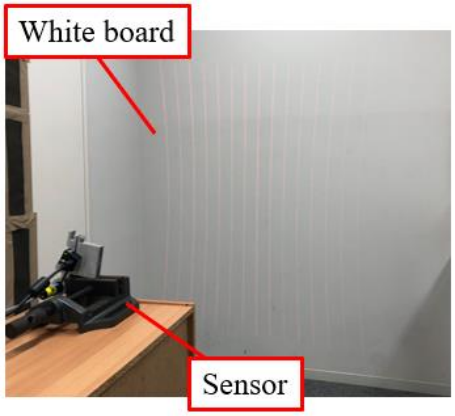

Fig. 4 白色壁面の計測実験

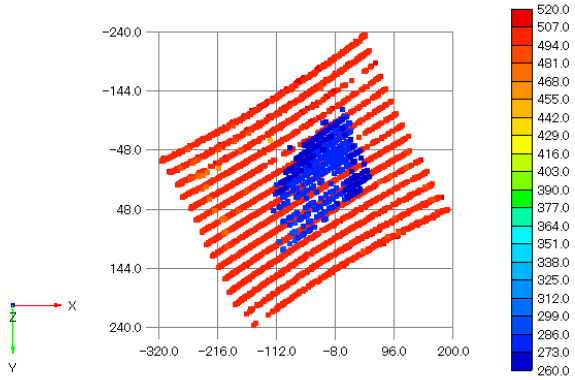

Fig. 5 外れ値の生じた距離画像（距離値：500mm）

また，近距離と遠距離を識別できるか検証するために遠距離にある白色壁面の前に板を置き，異なる距離値の壁面の計測実験を行った．Fig.6 に実験の外観を示す．
このとき処理に使われたモノクロ画像を Fig.7 に，得られた距離画像を Fig.8 に示す．計測点全体の中心付近に外れ値の集合があるが，ほとんどの計測点において近距離と遠距離を識別して計測できていることがわかる．

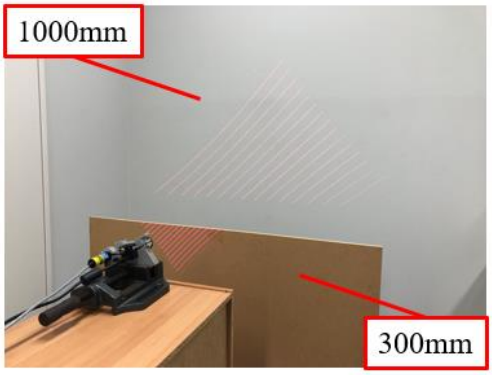

Fig. 6 異なる距離値における壁面の計測実験

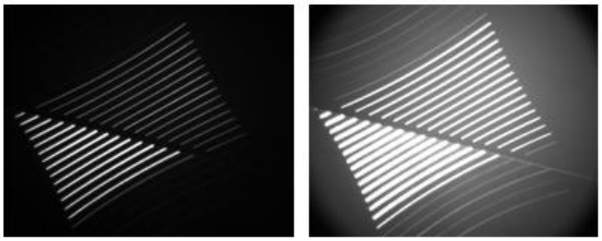

Fig. 7 異なる距離値の壁面での取得画像
（左：露光時間 1ms，右：露光時間 10ms）

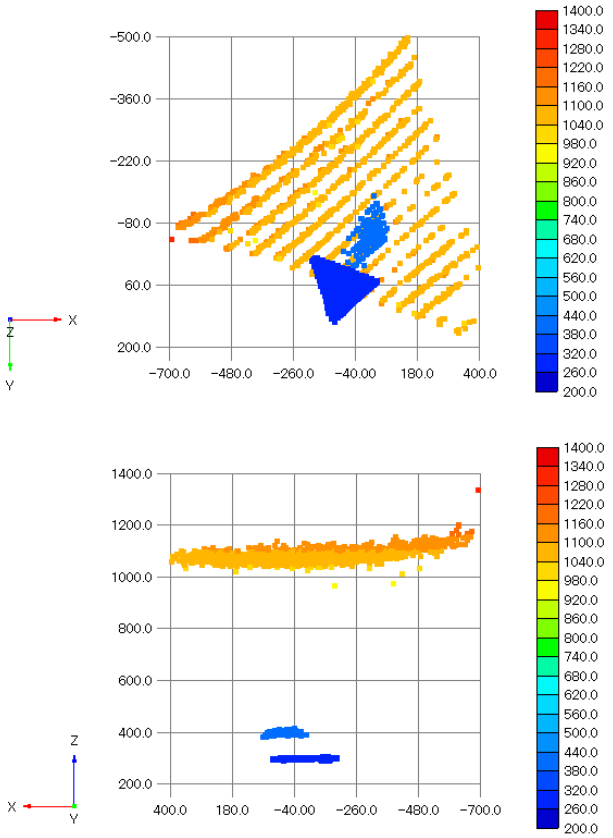

Fig. 8 取得した距離画像
（上：正面図，下：側面図）

6. 結言

マルチスリットレーザプロジェクタを用いた視差とぼけを用いた計測手法[2]をリアルタイム計測に適用することで，実用の幅を広げた．今後の展望として，精度の改善を図るためキャリブレーションの見直しを行い，外れ値の発生を抑える．また，多様な計測対象に対して有効な計測手法を考案する．

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] 福田 智章，池 勇勳，梅田 和昇：“マルチスリット光を用いたロボットハンドに利用可能な近距離計測用小型距離画像センサの構築，” 日本機械学会論文集， Vol. 85, No. 877, p. 19-00087, 2019.
[2] 望月優介, 青木公也：“焦点ぼけを利用した単眼視計測による表面形状再構築，” *IEICE Conferences Archives.* The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 2007.
[3] 土谷明大， 寺西雄一， 倉林大輔：“2P1-G01 撮像領域を考慮した単眼カメラ画像のボケ量に基づく距離計測，”ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2010. 一般社団法人 日本機械学会， 2010.
[4] 藤井 奈穂，池 勇勳，梅田 和昇：“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，” 精密工学会学術講演会講演論文集，2020 年度精密工学会春季大会, pp. 592-593, 2020.