

マルチスリット光を用いた小型距離画像センサの開発と障害物検出への応用

Construction of a compact range image sensor using a multi-slit laser projector and obstacle detection with the sensor

学 黒木 崇博 (中央大) 学 増田 覚 (中央大)
正 寺林 賢司 (中央大) 正 梅田 和昇 (中央大)

Takahiro KUROKI, Chuo University, kuroki@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

Satoru MASUDA, Chuo University, masuda@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

Kenji TERABAYASHI, Chuo University, terabayashi@mech.chuo-u.ac.jp

Kazunori UMEDA, Chuo University, umeda@mech.chuo-u.ac.jp

Detection of obstacles on a plane is important for a mobile robot that moves in a living space, especially for a humanoid that falls down even with a small obstacle. In this paper, a range image sensor for detecting small obstacles on a plane is constructed using a multi-slit laser projector. The sensor consists of a commercially available laser projector and a CCD camera. It measures a relative disparity map (RDMap) whose measurement errors are not affected by the distance. From the obtained RDMap, a plane is estimated using LMedS and regions out of the plane are detected as obstacles. Experiments show that the constructed sensor can detect small obstacles such as a LAN cable with the proposed methods.

Key Words: range image sensor, multi-slit laser, obstacle detection, relative disparity map

1. 序論

人間の生活する環境など多くの障害物が存在する環境でロボットが移動する場合、平面領域を検出する必要がある [1]。我々は、簡易に平面領域を検出するために、基準平面からの相対的な視差のみを用いた手法を提案した [2]。さらに、二足歩行ロボットが歩行中でも安定して平面領域および障害物領域を検出できる手法を構築してきた [3]。しかし、二足歩行ロボットは車輪型ロボットに比べて移動が不安定なため小さな障害物の検出が必要である。本論文では、小さな障害物の検出のためにマルチスリット光を照射するレーザプロジェクタと CCD カメラを組み合わせた小型距離画像センサの開発を行い、移動ロボットに搭載することを想定した障害物検出へ応用する。実験により、LAN ケーブルなど小さな障害物検出が可能であることを示す。

2. 小型距離画像センサの構築

2.1 センサの原理

Fig.1 に構築する小型距離画像センサのイメージ図を示す。センサはレーザプロジェクタと CCD カメラから構成される。レーザプロジェクタはマルチスリット光を投影できるものを用い、CCD カメラによってスリット光が投影されている画像を取得する。スリット光を画像内で抽出し座標値を取得した後、その値を用いて三角測量の原理から各スポット光が投影された点への光軸方向の距離を算出することが可能である。ここでマルチスリット光を用いていることから、各スリット光の対応点問題が生じる。画像内において、各スリット光は距離に応じてエピポーラ線上を移動する [4]。スリット光の移動量が大きいときに同じ行内で対応の一意性が保たなくなってしまうため、計測レンジを制限することによって対処する。この要因による計測レンジの制限を緩和するために、本センサでは Fig.3 に示すように CCD カメラをレーザプロジェクタに対して回転させる。これによって、Fig.2(b) に示すように各スポット光に割り当てられる画素数を増加させることができる。

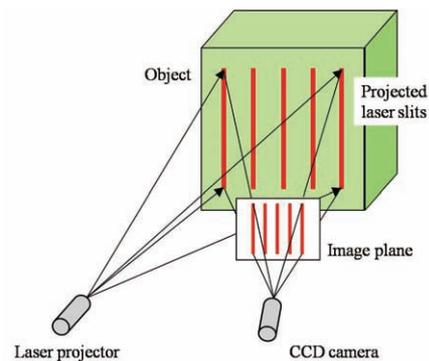


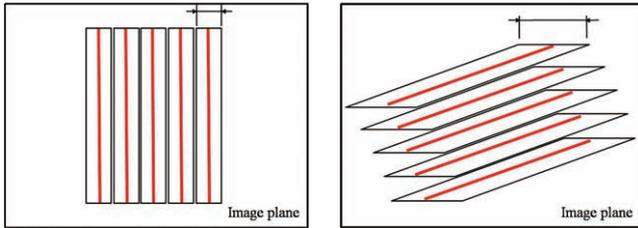
Fig.1 Structure of the range image sensor using a multi-slit laser projector

2.2 ハード構成

Fig.4 に構築した小型距離画像センサを示す。レーザプロジェクタには Stocker Yale Mini-715L を用いている。波長 660nm、出力 35mW で、15 本のスリット光を投影できる。隣接するスリット間の角度は 2.3° である。CCD カメラは IEEE1394 カメラの Point Grey Research 製 Flea2 を用いており、解像度は 1296×964、CCD 一画素のサイズは $3.75 \times 3.75 \mu\text{m}^2$ である。CCD カメラには焦点距離 4mm のレンズを取り付け、レンズには Hoya R64 フィルタが取り付けられて使用している。このフィルタによって 640nm 以下の波長の光をカットすることで外乱光の影響を低減させている。基線長は 60mm に設定し、CCD カメラをレーザプロジェクタに対して 70° 回転させている。

2.3 センサの初期設定

計測点のカメラ上での初期位置の取得、および移動領域の割り当てのためにセンサの初期設定を行う。まず、Fig.5(a) に示すようにセンサを平面に対して正対させて配置し、Fig.5(b) の画像を取得する。次に、計測点のカメラ上での初期座標を



(a) Without rotation (b) With rotation

Fig.2 Restriction for epipolar line of each slit

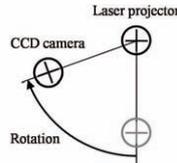


Fig.3 Rotation of CCD camera to increase measurement range

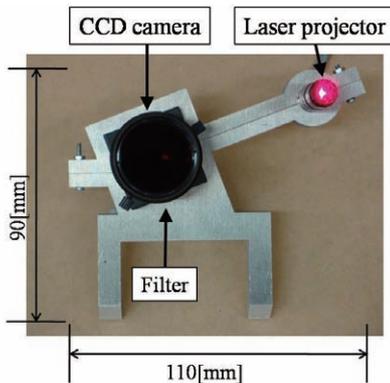
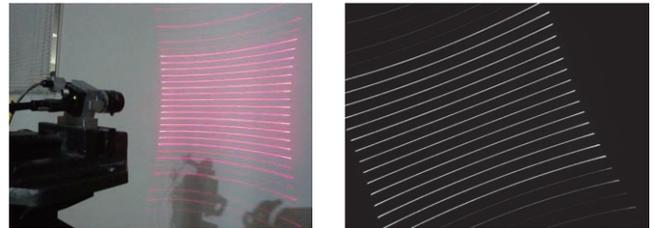


Fig.4 Constructed compact range image sensor

取得する。本センサは平行ステレオとなっているため、エピポラ線は取得画像上で水平方向となる。よって、Fig.6のように、縦軸方向1画素ごとに分割して考えれば良く、各行でスリット像の重心位置を求め、得られたスリット像の重心位置を計測点の初期位置とする。隣り合うスリットと誤対応を起こさないようにするため、計測点の移動領域を設定する。Fig.5(b)に対して、計測点の初期位置および移動領域を描画したものをFig.7(a)に示す。また、Fig.7(a)の一部を拡大した画像をFig.7(b)に示す。この場合、計測点の移動領域は計測点の初期位置から左右各27[pixel]に設定した。この移動領域内で計測点を探索することによって視差を算出し、計測を行う。

3. 相対視差画像を用いた障害物検出手法

本論文では、構築したセンサを移動ロボットに搭載し、小さな障害物を検出することを想定するために計測誤差が距離に依存しない相対視差画像 (RDMap)[2] を計測し、障害物検出を行う。基準平面に対する計測点の位置と対象物に対する計測点の位置の差を相対視差、また各計測点の相対視差が形成する画像を相対視差画像と定義している。実空間での平面は相対視差画像でも平面となるという性質があるため、相



(a) Projected laser slits (b) CCD image for (a)

Fig.5 Projected laser slits and corresponding image

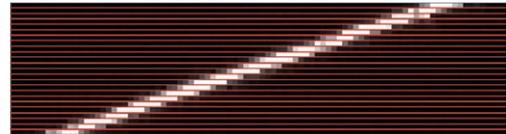
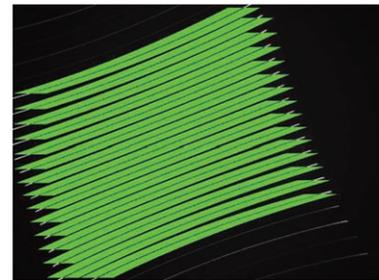
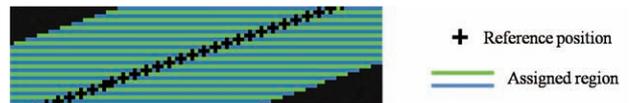


Fig.6 Magnified image of Fig.5 (b)



(a) Assigned regions to measure disparity for Fig.5(b)



(b) Magnified image of (a). Region are colored row by row alternately for visibility

Fig.7 Assigned regions to measure disparity

対視差画像のみを用いて平面を推定し、障害物検出を行う。Fig.8は本センサによって得られた相対視差画像の一例を示す。壁を基準平面として計測点の位置を取得し、センサを壁から50mm遠ざけ、Fig.8(a)に示すように壁と直径90mmのボールを対象物とした。Fig.8(b)は得られた相対視差画像を示す。相対視差画像上の u, v はセンサの初期設定のときに得た計測点の位置である。実空間での平面は相対視差画像上でも平面となり、ボールを計測した点是非平面となることが分かる。

相対視差画像に対して平面を推定し、平面から外れる相対視差を外れ値とすることで平面領域と障害物領域を検出することが可能である[3]。外れ値の含まれる点群に対して平面を推定するためにLMedS(Least Median of Squares) 推定[5]を用いる。推定値と相対視差の残差の標準偏差 σ を用いて、平面領域と障害物領域を分ける閾値は 3σ とする。

4. 障害物検出実験

本センサシステムにおける障害物検出の有効性を示すために実験を行った。基準平面は壁とし、基準平面取得後にセン

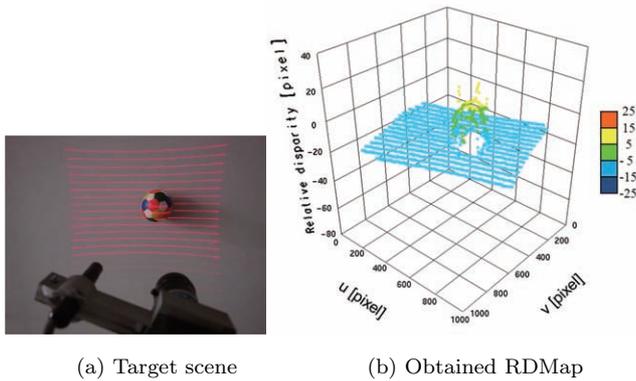


Fig.8 An example of RDMap

サを壁から約 50mm 遠ざけた状態で、壁と障害物を計測した。平面領域と障害物領域を分ける際に用いる σ は、あらかじめ実験によって求めた 0.3[pixel] とした。Fig.9, Fig.10, Fig.11 に動いているボール、平板、LAN ケーブルを障害物検出対象とした結果を示す。相対視差画像中に、推定された平面を薄緑で、検出された障害物領域を推定された平面に赤色で描画している。いずれも壁および障害物を検出していることがわかる。更に、Fig.12 にセンサを適当に動かした際の結果を示す。センサの位置姿勢が変わり、相対視差画像上で平面のパラメータが変わっても正しい平面を推定し、LAN ケーブルを障害物として検出できていることが分かる。

5. 結論

本論文では、マルチスリット光を照射するレーザプロジェクタと CCD カメラを組み合わせた小型距離画像センサの開発を行った。また、移動ロボットに搭載することを想定し、相対視差画像を用いた障害物検出へ応用した。実験により、LAN ケーブルなど小さな障害物検出が可能であることを示した。今後の展望として、構築したセンサを移動ロボットに搭載し、前進行動による時系列データを用いた、より高密度な計測の実現などがあげられる。

参考文献

- [1] K. Okada, S. Kagami, M. Inaba, and H. Inoue: "Plane Segment Finder: Algorithm, Implementation and Applications," Proc. 2001 Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 2120-2125, 2001.
- [2] K. Umeda: "A Compact Range Image Sensor Suitable for Robots," Proc. 2004 Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 3167-3172, 2004.
- [3] 黒木崇博, 寺林賢司, 梅田和昇: "小型距離画像センサにより得られる相対視差画像からの障害物検出の定量的評価," 第 27 回日本ロボット学会学術講演会講演概要集, 3R2-07, 2009.
- [4] R. Kurazume et al.: "Simultaneous 2D images and 3D geometric model registration for texture mapping utilizing reflectance attribute," Proc. of Fifth ACCV, pp.99-106, 2002.
- [5] R.J. Rousseeuw and A.M. Leroy: "Robust Regression and Outlier Detection," John Wiley & Sons, 1987.

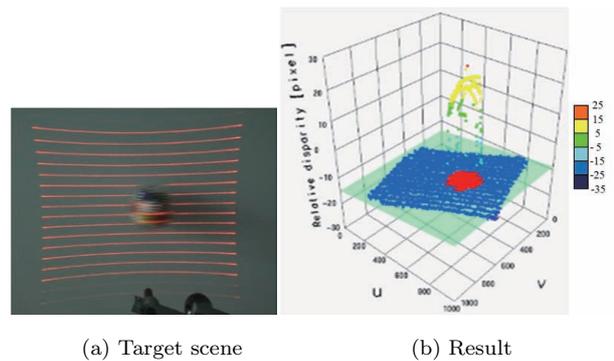


Fig.9 Obstacle detection: Moving ball

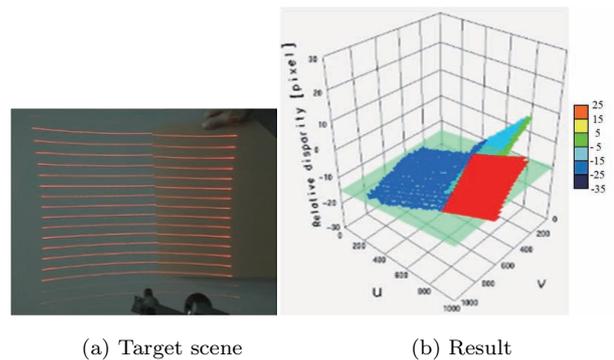


Fig.10 Obstacle detection: Plane board

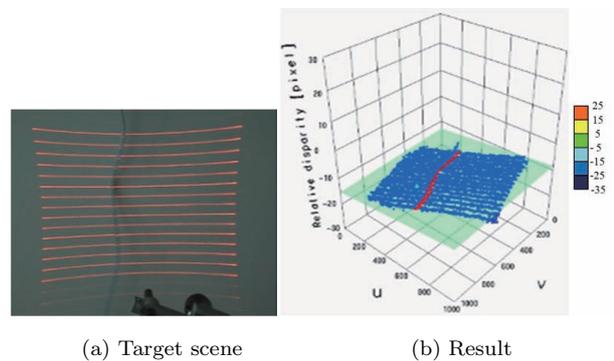


Fig.11 Obstacle detection: LAN cable

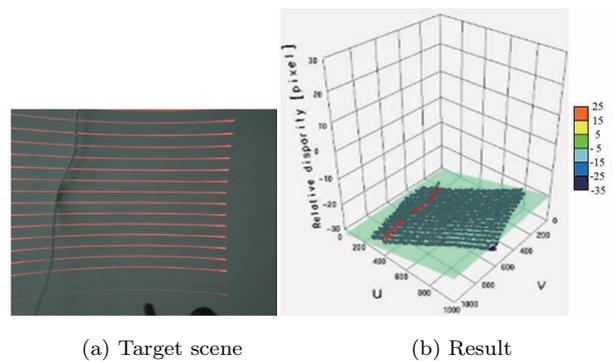


Fig.12 Obstacle detection(after sensor movement from Fig.11): LAN cable 2