

カラー画像のエッジ情報を利用した距離画像からの三次元地図生成

○木村 優志 (中央大学), 増山 岳人 (中央大学), 梅田 和昇 (中央大学)

Three-Dimensional Mapping from Range Images Using Edge Information of Color Images

○Masashi KIMURA (Chuo University), Gakuto MASUYAMA (Chuo University),
and Kazunori UMEDA (Chuo University)

Abstract: In this paper, a method that performs registration of range images using edge information of color images is proposed. Edge information is detected as line segments. Range images and color images are measured by a range image sensor using a multi-slit laser. Three-dimensional mapping using the proposed method is performed by experiments.

1. 緒言

近年、ロボット産業の発展に伴い、介護の現場や災害現場での自律移動ロボットの利用が期待されている。自律移動ロボットが様々な障害物の存在する中で効率的に活動を行うためにはロボット自身と障害物の位置を知る必要がある。ロボットの周囲の環境における自己位置推定には三次元地図生成が不可欠である。

移動ロボットによる三次元地図生成には、一般に距離画像とカラー画像を同時に取得するセンサが用いられる。三次元地図は複数の画像の特徴量を対応付け、フレーム間の距離画像の位置合わせをすることで生成されることが多い。距離画像の位置合わせ手法としては、コーナー点を追跡する手法¹⁾やエッジ点を追跡する手法²⁾等が提案されている。

距離画像の位置合わせに画像の特徴を使用するとき、特徴の三次元座標より画像の移動量を求めて距離画像の位置合わせを行う。画像の特徴の三次元座標が未知の場合、近傍の既知の計測点における距離情報から特徴量の三次元座標を補間する必要がある。補間方法としては、線形補間が最も扱いやすい。しかし、Fig. 1のように計測点間の距離値の変化が非線形である場合には精度低下が起こるといった問題がある。そのため、特徴の三次元座標と計測点が同一直線上にあるような計測点のみを補間に使用することが望ましい。本研究で

は、画像においてエッジ特徴が線分状に検出される箇所においては三次元座標も線形に変化すると仮定する。距離画像の位置合わせに使用する特徴量に、線分状に検出されるエッジ特徴上の点を使用し、同一エッジ特徴にある計測点の三次元座標で補間を行うことで、計測精度が向上すると考えられる。そこで、本研究では、カラー画像で線分状に検出されるエッジ特徴上の点を利用し複数枚の距離画像の位置合わせを行う手法を提案する。

2. RGB-D センサ

2.1 RGB-D センサの構成

距離画像およびカラー画像の取得に使用する RGB-D センサの外観を Fig.2 に示す。本センサはレーザプロジェクトタとモノクロカメラ、カラーカメラで構成されている。レーザプロジェクトタからは波長 690nm、15 本のスリット光が照射される。モノクロ、カラーのカメラの解像度はともに 1296×964 である。距離計測手法にはアクティブステレオ法を用いる。レーザ光とモノクロカメラにより距離画像を取得し、カラーカメラによ

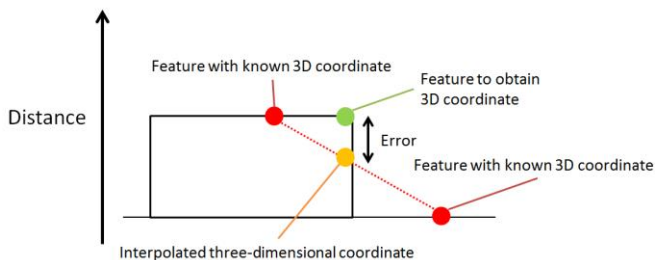


Fig.1 Interpolation of 3D coordinate

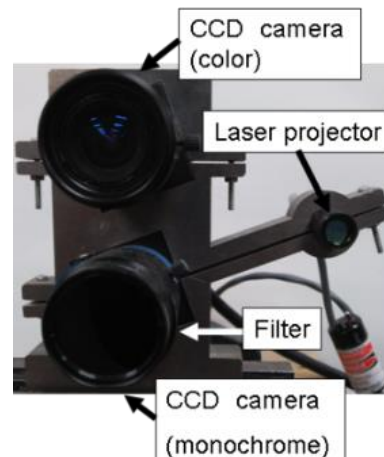


Fig. 2 RGB-D sensor

りカラー画像を取得する. モノクロカメラの先端に R64 フィルタを取り付け, 波長 640nm 以下の光を遮光することで, 外乱光の影響を低減させている.

2.2 カメラの幾何的關係

モノクロカメラで計測されたスリット光の三次元座標を (X, Y, Z) , カラー画像のスリット光の画像座標を (u, v) とする. このとき, 両カメラの關係は次式で表すことができる.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} f/\delta_x & 0 & c_u \\ 0 & f/\delta_y & c_v \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

f は焦点距離, δ_x, δ_y は x, y 軸方向の画素間隔, c_u, c_v は画像中心である. $r_{ij} (i, j = 1, 2, 3)$ はモノクロカメラとカラーカメラの姿勢を決定する外部パラメータの回転行列の成分, t_x, t_y, t_z は並進移動の成分を表している. また, $[u \ v \ 1]^T, [X \ Y \ Z \ 1]^T$ は, 同次ベクトルである.

3. 三次元地図生成

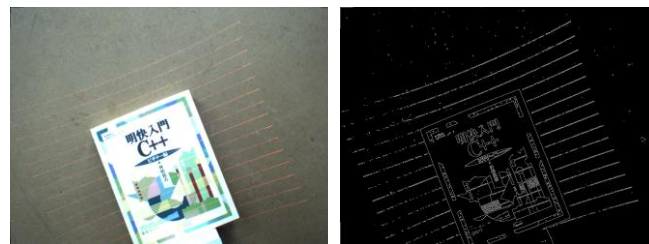
3.1 連続した2枚のカラー画像の対応付け

2枚のカラー画像それぞれに Canny オペレータ³⁾を適用し, エッジ画像を取得する. Fig.3(a)に示すカラー画像より取得したエッジ画像の例を Fig.3(b)に示す. 次に, それぞれのエッジ画像に対し Hough 変換⁴⁾を行い, 線分を検出する. Hough 変換を行った結果を Fig.3(c)に示す. Fig.3(c)の赤い線はエッジ画像で検出された線分である. 以後, Hough 変換により検出された線分をエッジセグメントと呼ぶ.

カラー画像は短時間に連続して取得されるため, フレーム間での変化が小さい. そのため, 2枚の画像間の対応するエッジセグメントの画像座標の変化は微小であると仮定できる. すなわち, 対応するエッジ特徴で検出されたエッジセグメントはほぼ同じ長さを持つと考えられる. そこで, 本研究では, 2枚のカラー画像で検出されたエッジセグメントの長さの差, さらに中点の移動量, 角度の変化量がそれぞれ閾値以下の場合, 対応するエッジ特徴で検出されたエッジセグメントとし, 対応付ける. 1つのエッジセグメントに対してすべての閾値を下回った線分が複数あった場合, 線分の長さが最小のエッジセグメントを対応付ける. 以後, 対応付けを行ったエッジセグメントのみを距離画像の位置合わせに使用する.

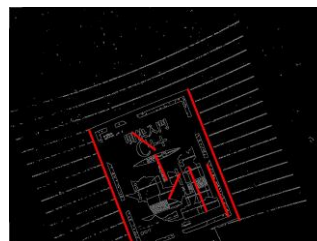
3.2 二次元の対応点探索

Fig.4 に二次元の対応点探索手法について示す. 2.2 節よりモノクロカメラとカラーカメラの幾何的な關係



(a) A color image

(b) An edge image



(c) Result of Hough transform

Fig.3 Result to detect line segments

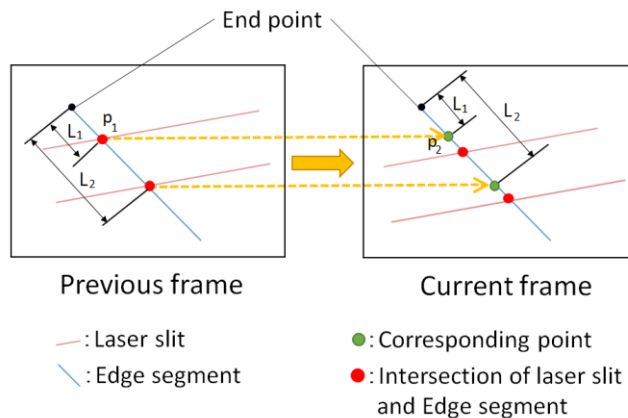


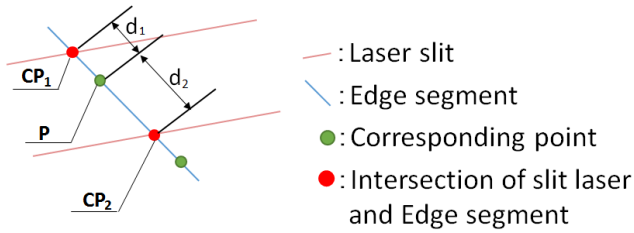
Fig. 4 Search for corresponding point

は既知である. そのため, スリット光の三次元座標をカラー画像に投影することができる.

前フレームにおいて, 画像座標系におけるスリット光とエッジセグメントとの交点を探索し, その交点の画像座標 p_1 を求める. 交点 p_1 からエッジセグメントの端点までの距離 L_1 とする. 2枚のカラー画像において対応付けられたエッジセグメントは同じ長さであると仮定しているため, L_1 から現フレームの対応するエッジセグメント上における前フレームの交点の位置 p_2 を算出することができる. このときの前フレームにおけるスリット光とエッジセグメントの交点 p_1 , 現フレームの対応するエッジセグメント上の前フレームの交点の位置 p_2 を 2枚のカラー画像の対応点とする.

3.3 対応点の三次元座標の補間

前フレームの対応点 p_1 の三次元座標は, 画像座標系におけるスリット光上に存在するため既知である. し



Current frame

Fig. 5 Interpolation of three-dimensional coordinate

かし、現フレームの対応点は画像座標系におけるスリット光上には存在しないため、近傍の計測点の三次元座標から補間する必要がある。現フレームの対応点の補間方法について以下に述べる。

対応点の三次元座標の補間には、対応点があるエッジセグメントとスリット光の画像座標上の交点の三次元座標を用いる。Fig.5に示すように、対応点の両隣に存在する交点を補間に使用する。対応点の三次元座標の補間は次式のように行う。

$$\mathbf{p} = \frac{d_2 \mathbf{cp}_1 + d_1 \mathbf{cp}_2}{d_1 + d_2} \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{p} は現フレームの対応点の三次元座標、 $\mathbf{cp}_1, \mathbf{cp}_2$ は、交点の三次元座標、 d_1, d_2 は現フレームの対応点と交点の距離である。

3.4 レジストレーション

三次元の対応点から RGB-D センサの運動パラメータの回転行列 R と並進ベクトル \mathbf{t} を求める問題について、対応点間の距離の二乗和の平均である評価関数

$$f = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \|\mathbf{x}_i - R\mathbf{p}_i - \mathbf{t}\|^2 \quad (3)$$

を最小にする R, \mathbf{t} を求める。 N_p は対応点の数、 \mathbf{x}_i は前フレームの対応点の三次元座標、 \mathbf{p}_i は現フレームの対応点の三次元座標である。求めた R, \mathbf{t} を用いて距離画像の位置合わせを行い、三次元地図生成を行う。

4. 三次元地図生成実験

4.1 実験環境

提案手法を用いて、Fig.6, 7の2種類の環境において三次元地図生成を行った。Fig.6は計測対象に立方体、Fig.7は円筒を配置した環境である。距離画像およびカラー画像の取得はRGB-Dセンサを床から垂直に移動させながら行い、得られた画像からオフラインで三次元地図生成を行った。三次元地図生成に使用した距離画像の枚数はFig.6, 7それぞれの対象で50枚、RGB-Dセンサの移動量は約200mmである。また、エッジセグ

メント比較の閾値は、エッジセグメントの midpoint の移動量 20 pixel、角度の差 5.7°、長さの差 30 pixel とした。

4.2 実験結果

Fig.6の環境の三次元地図生成を行った結果をFig.8, 9, 10に、Fig.7の環境の三次元地図生成を行った結果をFig.11, 12, 13に示す。このうち、Fig.8およびFig.11は線分検出を行った画像、Fig.9およびFig.12は1枚の距離画像、Fig.10およびFig.13は生成した三次元地図である。

実験結果より、立方体、円筒の双方の対象において三次元地図生成を行うことができています。しかし、距離画像の位置合わせに微小のずれが発生している。提案手法では、2枚のカラー画像の対応するエッジ特徴で検出されるエッジセグメントの長さは同じになると仮定し、二次元の対応点をエッジセグメントの端点からの距離 L_1 で求めている。しかし、実際に検出されるエッジセグメントの長さは必ずしも一致せず、正確な端点の位置を得ることが出来ないことがあった。 L_1 の値と対応点の三次元座標が不正確なため、距離画像の位置合わせの精度が低下したと考えられる。



Fig.6 Experimental scene: cube



Fig.7 Experimental scene: cylinder

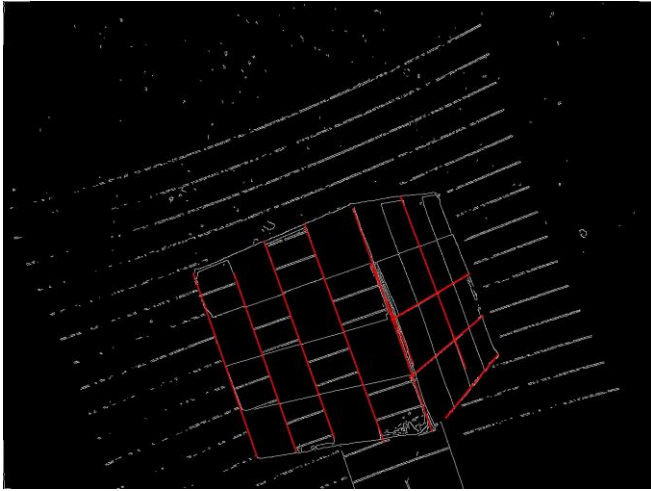


Fig.8 Result to detect line segments for Fig.6

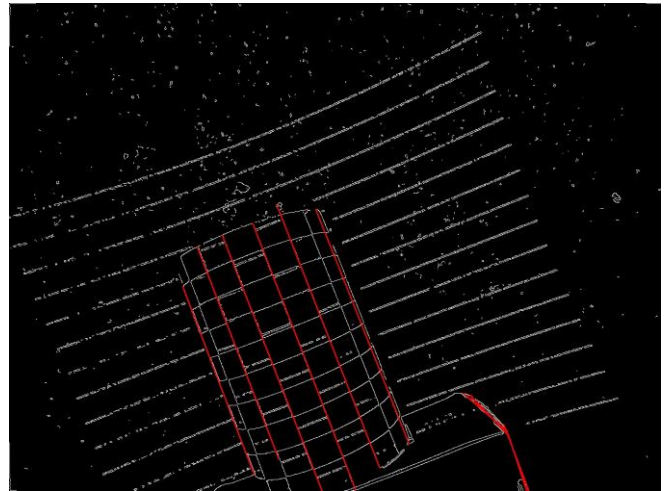


Fig.11 Result to detect line segments for Fig.7

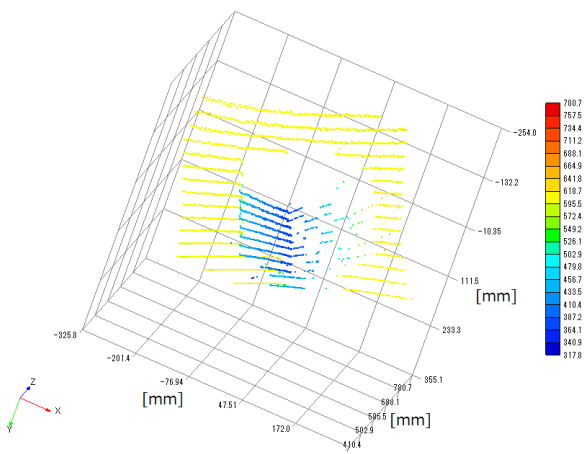


Fig.9 A range image for Fig.6

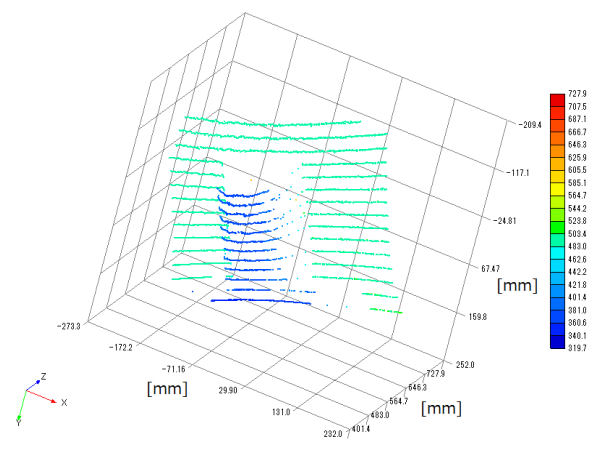


Fig.12 A range image for Fig.7

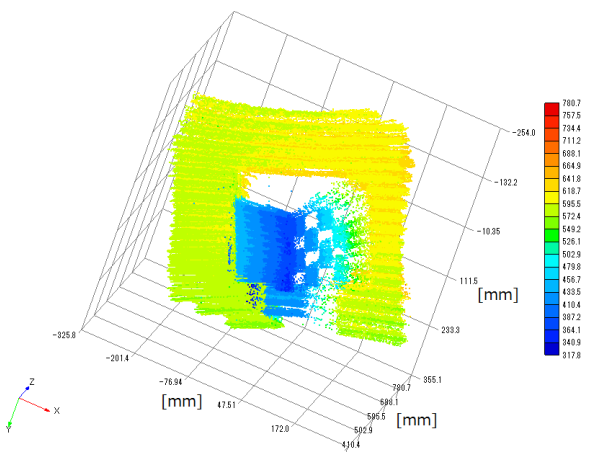


Fig.10 Three-dimensional map for Fig.6

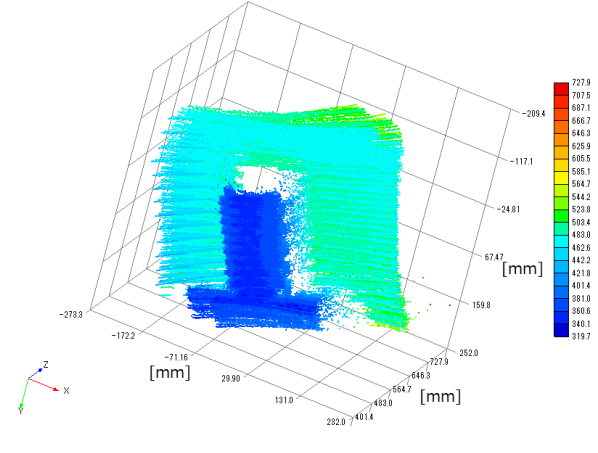


Fig.13 Three-dimensional map for Fig.7

5. 結言

カラー画像のエッジ特徴を利用することで、マルチスリット光を用いた距離画像センサより得られた距離画像の位置合わせを行う手法を提案した。カラー画像において線分状のエッジ特徴が検出できる環境において、提案手法により三次元地図生成を行うことができることを示した。

提案手法ではカラー画像において線分が検出されない環境ではカラー画像の対応点を求めることができない。そこで、今後の展望として、エッジ情報として線分のみではなく曲線を組み合わせることで提案手法による三次元地図生成ができる対象の拡大を目指す。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 26330205 の助成をうけたものである。

参考文献

- 1] 加賀美聡: “ステレオカメラからのオンライン 3 次元 SLAM”, 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.4, pp.310-313, 2008.
- 2] 友納正裕: “エッジ点追跡に基づくステレオカメラを用いた三次元 SLAM”, 日本ロボット学会誌, Vol.27, No.7, pp.759-767, 2009.
- 3] J. Canny: “A Computational Approach to Edge Detection,”IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.8, No.6, pp.679-698, 1986.
- 4] P.V.C. Hough: “Method and means for recognizing complex patterns,” U.S. Patent no.3069654, 1962.
- 5] R.O. Duda and P.E. Hart: “Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures, Applications, Technologies, and protocols for Computer Communication,” ACM, Vol.15, No.1, pp.11-15, 1972.