

ステレオビジョンと輪郭追跡を用いた帯状物体の三次元形状計測

Three-Dimensional Coordinate Measurement Using Stereo Vision and Contour Tracing

○民谷 真孝 (立命館大学) 平井 慎一 (立命館大学)

Masataka TAMIYA, Ritsumeikan University

Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University

In this paper, we propose three-dimensional coordinate measurement using a stereo vision and Contour Tracing. The first, by performing Image rectification, the study can facilitate the search for corresponding points. The second, this study performs binarization for to avoid matching between the target and background. The third, the thing that obtains the corresponding points of the contour of the cable by Contour Tracing is useful for measuring shape of object. The shape of a flat cable was measured by using the proposed method. As the result, we were able to measure the shape of the cable correctly.

Key Words: Vision, Stereo, Contour Tracing

1. 緒言

現在、工場での作業はロボットによる自動化が進められている。しかし、自動化が困難なため、人が手作業しなければならない工程が存在する。その例としてケーブルなどの柔軟に変形する物体の取り付けが挙げられる。ケーブルのような柔軟物をロボットで操作した場合は形状が変化してしまうので、目標位置へ正確に案内することが困難である。したがって、柔軟物の変形を計測して、操作にフィードバックすることで柔軟物を正確に操作する必要がある。そこで本研究では、ステレオビジョンと輪郭追跡によるマッチングを用いて帯状物体の形状を計測を実現する。

2. 輪郭追跡を用いたステレオビジョン

2.1 プログラム概要

本研究で使用したプログラムの流れについて説明する。プログラムの流れを図1に示す。まずカメラキャリブレーションを行うことでカメラパラメータを求める。次に対象物をステレオカメラで撮影し、カメラパラメータを用いて、平行化画像を作成する。画像の平行化を行うことで、2.5節で述べる対応点の探索を行いやすくする。次に平行化画像を二値化する。二値化した画像に輪郭追跡によるマッチングを適用し、視差を求める。視差から2.4節で述べる3次元座標の計測を行う。本研究では、三次元メディアが製作したライブラリであるTVLを用いて3次元計測を行う。

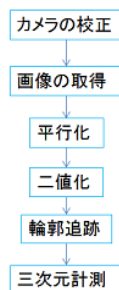


Fig. 1 Flowchart

2.2 内部パラメータと外部パラメータ

内部パラメータについて説明する。図2のように、左カメラの焦点をカメラ座標系の原点 O 、撮影される画像の左上をデジタル画像座標系の原点 O_L とする。カメラ座標系の z 軸と画像との交点を正規化画像座標系の原点 O_a とする。

カメラ座標系から正規化画像座標系への射影を次式に示す。

$$x = \frac{X}{Z}, \quad (1)$$

$$y = \frac{Y}{Z} \quad (2)$$

デジタル座標系と正規化画像座標系との関係は、レンズの歪みを無視すれば次式で表すことができる。

$$u = f_u x + u_0, \quad (3)$$

$$v = f_v y + v_0 \quad (4)$$

しかし、実際の画像はレンズの歪みの影響を受けている。レンズの歪みを考慮した式を次式に示す。

$$u = u_0 + s y + f_u x (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + 2p_1 x y + p_2 (r^2 + 2x^2), \quad (5)$$

$$v = v_0 + f_v y (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_1 (r^2 + 2y^2) + 2p_2 x y \quad (6)$$

なお式(5)で用いる s はスキューを表す。スキューとは、画像センサの素子並びの横方向と縦方向のなす角度が直角からずれた量を表すパラメータである。 k_1, k_2, k_3, p_1, p_2 は歪みのパラメータである。またここで $r^2 = x^2 + y^2$ である。これらのパラメータをまとめて、カメラの内部パラメータと呼ぶ。

次に外部パラメータについて説明する。外部パラメータとは、異なるカメラ間や、ロボット座標系とカメラ座標系の変換を行う回転行列と並進ベクトルのことである。左カメラ座標系における3次元座標を \mathbf{X}_l 、右カメラ座標系における3次元座標を \mathbf{X}_r とする。右カメラ座標系から左カメラ座標系への回転を行う行列を \mathbf{R} 、並進ベクトルを \mathbf{t} とする。変換を以下の式で示す。

$$\mathbf{X}_l = \mathbf{R} \mathbf{X}_r + \mathbf{t} \quad (7)$$

式(7)の回転行列 \mathbf{R} と並進ベクトル \mathbf{t} を外部パラメータと呼ぶ。

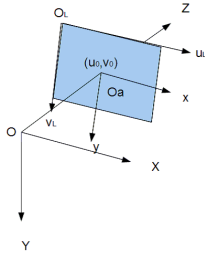


Fig. 2 Coordinate system setting

2.3 カメラの校正

次にカメラの校正について説明する。校正とは内部パラメータと2つのカメラ間の外部パラメータを求めることである。初めに適当な位置、向きで設置した校正ボードをステレオカメラを用いて撮影する。位置や向きを変更しながら M 枚の画像を撮影する。図3に校正に使用した画像を示す。

次に、校正ボードから白いドットの点のデジタル座標系での座標を求める。ここで j 枚目の画像の i 番目のドットの座標を $\mathbf{m}_{ij} = [u_{ij}, v_{ij}]^T$ とする。 i 番目のドットの3次元座標を \mathbf{X}_i とする。次式を用いてカメラ座標系を正規化画像座標系に射影する。

$$x = \frac{X_i}{Z_i}, \quad (8)$$

$$y = \frac{Y_i}{Z_i} \quad (9)$$

式(8), (9)を用いて正規化画像座標系からデジタル画像座標系に変換する。

$$u = u_0 + s \frac{Y_i}{Z_i} + f_u \frac{X_i}{Z_i} (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + 2p_1 \frac{X_i Y_i}{Z_i^2} + p_2 (r^2 + 2 \frac{X_i^2}{Z_i^2}), \quad (10)$$

$$v = v_0 + f_v \frac{Y_i}{Z_i} (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_1 (r^2 + 2 \frac{Y_i^2}{Z_i^2}) + 2p_2 \frac{X_i Y_i}{Z_i^2} \quad (11)$$

式(10), (11)より求めた u, v をまとめてベクトル $\mathbf{p}_{ij} = [u, v]^T$ で表す。画像から抽出されたデジタル画像座標系の \mathbf{m}_{ij} と、3次元座標を射影してデジタル画像座標系に変換した \mathbf{p}_{ij} を用いて評価関数 E を次式で定義する。

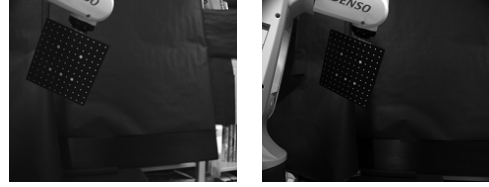
$$E = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{121} w_{ij} (m_{ij} - p_{ij}) \quad (12)$$

式(12)に示す w_{ij} は、 i 番目のドットが j 枚目の画像で抽出されていれば $w_{ij}=1$ であり、抽出されなければ $w_{ij}=0$ である。評価関数 E が最小となるとき内部パラメータと外部パラメータが求められる値である。

次に逆投影誤差について説明する。逆投影誤差とは画像上の1点あたりの誤差を表すものである。逆投影誤差 E_p は

$$E_p = \sqrt{\frac{E_{min}}{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{121} w_{ij}}} \quad (13)$$

と表される。



(a) Left image (b) Right image

Fig. 3 Stereo images to use for camera calibration

2.4 平行化ステレオの原理

平行化ステレオカメラの原理について説明する。平行化ステレオカメラを図4に示す。図4のように、左カメラと右カメラの光軸が平行となる配置のステレオカメラのことを平行化ステレオカメラと呼ぶ。左カメラの焦点をカメラ座標系の原点 O , 各画像の左上をデジタル画像座標系の原点 O_L, O_R とする。カメラを平行に配置した場合、図4のように対応する画像のデジタル座標である v_l, v_r は $v_l = v_r$ が成立する。また横軸の差を視差 d は

$$d = u_l - u_r \quad (14)$$

と表される。物体の奥行き Z と視差 d は次式を満たす。

$$Z = \frac{Bf}{d} \quad (15)$$

平行化画像の焦点距離を f とする。また、二つのカメラの焦点の距離を B とする。対象の3次元座標は

$$(x, y, z) = \left(\frac{u_l - u_{l0}}{f} Z, \frac{v_l - v_{l0}}{f} Z, Z \right) \quad (16)$$

と表される。

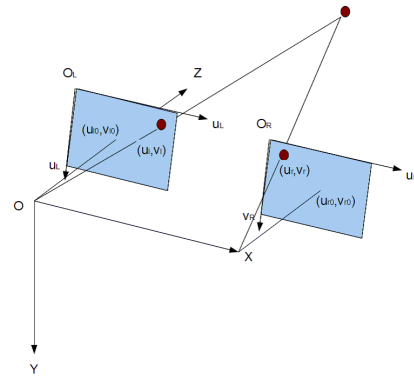


Fig. 4 Image rectification

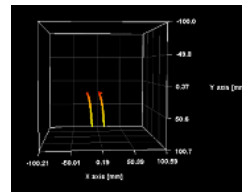
2.5 輪郭追跡を用いた対応点探索

輪郭追跡を用いた対応点探索について説明する。図5の平行化画像に二値化処理を行う。二値化された画像、図6に対して、図7のように1行のピクセルに対して左右から画素値のスキャンを行い輪郭部の探索を行う。対応点が求めれば、同時に視差が求まる。



(a) Left image (b) Right image

Fig. 5 Rectification image



(a) Measurement value



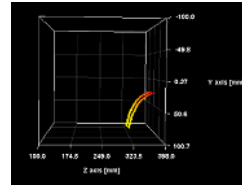
(b) Height

Fig. 9 Front view



(a) Left image (b) Right image

Fig. 6 Binary format image



(a) Measurement value



(b) Depth

Fig. 10 Side view

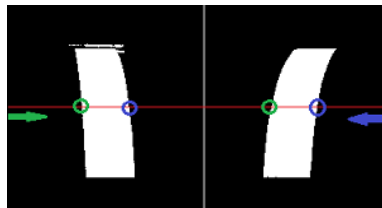
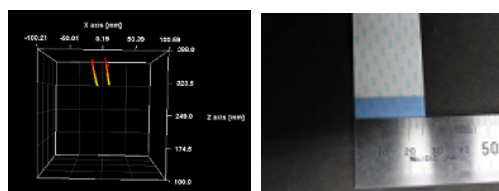


Fig. 7 Contour tracing

3. 物体の形状認識

フラットケーブルの計測を行い、形状が正しく計測できるか確認を行った。図 8 (a) が計測データ、(b) が実物の平面図である。図 9 (a) が計測データ、(b) が実物の正面図である。図 10 (a) が計測データ、(b) が実物の側面図である。



(a) Measurement value (b) Width

Fig. 8 Top view

4. 結言

本稿では、ステレオビジョンと輪郭追跡を用いた带状物体の三次元計測を行った。フラットケーブルの計測結果では形状が正しく計測できていることを確認した。今後は計測精度の評価とロボットによるハンドリング実験を行う予定である。

文献

- [1] 徐剛・辻三郎, "3次元ビジョン", 共立出版, 1999
- [2] 徐剛, "写真から作る3次元CG", 近代科学社, 2001