

方形を用いたカメラ内部パラメータ推定

Estimate of the Camera Internal Parameter Using Rectangle

堀野 大治郎[†]
Daijiro HORINO

光本 浩士[†]
Hiroshi MITSUMOTO

1. はじめに

カメラキャリブレーションとはカメラの内部、外部パラメータを推定することである。3次元計測などコンピュータビジョンの分野において重要な処理である。近年、既知の平面パターンを用いてカメラ内部、外部パラメータを求める手法が提案されている [1]。光本ら [2] は方形図形の4点頂点を用いたより簡便な手法を提案している [2]。C.Ricofe-Vialaら [3] はカメラパラメータとレンズ歪パラメータを同時に求める事がエラーの原因となる事を指摘し、Zhangの手法を初期値として使い、カメラピンホールモデルとレンズ歪を順に求めることで精度を向上させた手法を提案している。本稿では [2] の手法で実現されていない光軸中心位置とレンズ歪パラメータの推定手法の提案および Zhang との比較を報告する。

2. カメラパラメータ

カメラパラメータは、内部パラメータと外部パラメータに分かれ、内部パラメータは、個々のカメラに固有の情報である。外部パラメータはカメラの回転、並進量を表す。カメラピンホールモデルを式 (1) に示す。

$$\tilde{M} = A[RT]\tilde{X} \quad (1)$$

ここで \tilde{M} は画像に投影された点 \tilde{X} の画像座標である。 A は内部パラメータ行列、 R と T はそれぞれ回転行列と並進ベクトルである。カメラキャリブレーションとは、これらのパラメータを推定する事である。図1にキャリブレーションパターンの撮影状況を示す。

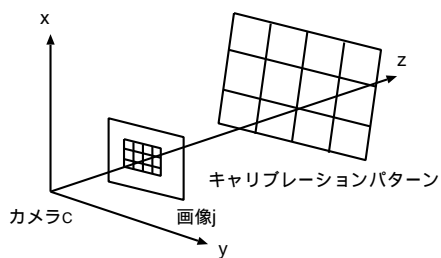


図1 キャリブレーションパターンの撮影

2.1 内部パラメータ

内部パラメータは式 (2) に示される行列で表される。

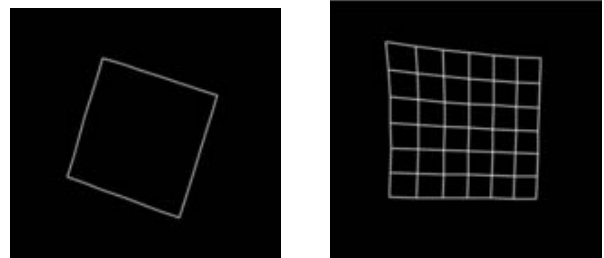
$$A = \begin{bmatrix} f & 0 & u_0 \\ 0 & f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

f は焦点距離、 u_0, v_0 は光軸中心の座標である。さらに、実際のレンズは歪みを持っている。これらのパラ

[†]大阪電気通信大学大学院工学研究科情報工学専攻

メータを内部パラメータといい、キャリブレーション処理によって求める。

図2にキャリブレーションパターンに用いる方形と格子パターンを示す。



(a) 方形 (b) 格子パターン

図2 キャリブレーションパターン

2.2 Zhangの手法

Zhangの手法は平面上に描かれた既知の市松パターンや格子パターンをキャリブレーションパターンとしている。撮影した画像とキャリブレーションパターン間の対応点からホモグラフィ行列 (H 行列) を求める。式 (3) はホモグラフィ行列による変換式である。

$$\tilde{M} = A[r_1 r_2 T]\tilde{X} = H\tilde{X} \quad (3)$$

\tilde{M} が画像座標、 A が内部パラメータ、 r_1, r_2 が回転行列の列ベクトル、 T は並進ベクトル、 \tilde{X} が3次元座標である。ホモグラフィ行列を分解することによりカメラパラメータを導出する。 $H = [h_1 \ h_2 \ h_3]$ とすると

$$[h_1 \ h_2 \ h_3] = A[r_1 \ r_2 \ t] \quad (4)$$

r_1, r_2 の正規直交性により

$$h_1^T A^{-T} A^{-1} h_2 = 0 \quad (5)$$

$$h_1^T A^{-T} A^{-1} h_1 = h_2^T A^{-T} A^{-1} h_2 \quad (6)$$

式 (5)(6) を利用し内部パラメータを求め、式 (4) より外部パラメータを求めている。

この手法では3枚以上の画像が必要となり、またキャリブレーションに用いる画像間の変化が小さい場合には誤差が大きくなる。このことからキャリブレーションパターンの撮影に制限がある。

2.3 方形図形を用いたカメラキャリブレーション手法

方形図形を用いたキャリブレーション手法 [2] は、従来法より簡便に、精度よく、パラメータを推定する。処理の流れを図3に示す。焦点距離とカメラ外部パラメータを推定している。

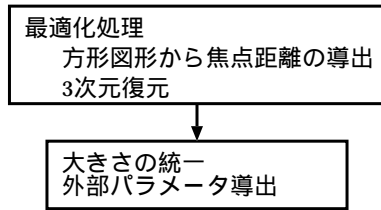


図 3 処理の流れ

3次元復元は、単眼視に基づく手法のため絶対スケールは得られない。1点の奥行き情報を与える事で、絶対スケールは得られるが、本稿では、絶対スケールは必要としていない。

提案手法では、画像座標から歪のない画像座標に逆変換する必要があるため Zhang の手法とは別の歪モデルを用いている (式 (7))。

$$\begin{bmatrix} \check{u} \\ \check{v} \end{bmatrix} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 - 4\kappa(u^2 + v^2)}} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (7)$$

κ は歪みパラメータ, u, v が画像座標, \check{u}, \check{v} は歪を受けた座標である。

3. 方形図形を用いたカメラ内部パラメータの推定

本節では方形を用いた手法を検討する。以下に示す評価関数を最尤法により最小化することで光軸中心位置, レンズ歪パラメータを推定する。

3.1 評価関数

光軸中心位置のずれやレンズ歪により, 方形図形の頂点位置が変わる。それに伴い, 焦点距離や 3次元復元後の縦横比に変化が生ずる。この点に着目し, 方形の寸法が未知であることを考慮し, 評価関数 E では焦点距離のばらつき (E_1) と方形図形の 3次元復元後の縦横比のばらつき (E_2) を評価する (式 (8))。 n は使用した画像枚数, k は画像番号, \bar{f} は焦点距離の平均を表す。 r は 3次元復元した後の方形の縦横比, \bar{r} は方形の縦横比の平均を表す。

$$E = E_1 + E_2$$

$$E_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (f_k - \bar{f})^2}, E_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (r_k - \bar{r})^2} \quad (8)$$

4 実験

4.1 レンズ歪の調整

Zhang の手法の歪モデル (式 (9)) は提案手法のモデルと異なるため, κ (式 (7)) による画像のずれから, 歪パラメータを同定し, その値を用いて実験を行った。ここで, $x' = \frac{x}{z}, y' = \frac{y}{z}, r = \sqrt{x^2 + y^2}$ である。

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \end{bmatrix} = (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (9)$$

4.2 シミュレーション実験

シミュレーションによって有効性を検証する。実験手順は, 方形 4 頂点に任意の回転と並進を加え, デー

タとして画像 15 枚分を用意し, 使用枚数ごとに使用する画像を 100 通りランダムに決める。画像値は, 整数化している。評価関数は, Levenberg-Marquardt 法により最小化する。光軸中心位置, レンズ歪の推定値と設定値との比較を図 4, 5 に示す。提案手法がよい推定結果を得ている。

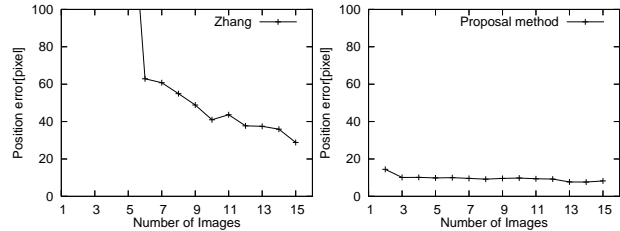


図 4 光軸中心位置の推定

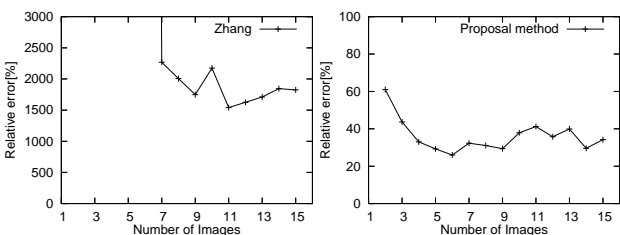


図 5 レンズ歪の推定

5. むすび

本稿では, まず, Zhang の手法について紹介した。次に方形を用いたカメラ内部パラメータの推定について検討し, シミュレーション実験においてその有効性を示した。従来手法より良い推定精度が得られている。画像座標値に誤差が含まれていない状況では, どちらの手法も設定値を推定することができている。レンズ歪に関し, 先行研究との比較のため歪量の同定後にその値により歪変換したデータを用い, Zhang の手法を評価した。提案手法では設定したキャリブレーションパターンの座標情報が必要ないためより自由度が高い。今後の課題として, 光学中心位置とレンズ歪を同時に推定した場合の比較検討, 実画像データに対するロバスト性に関して検討を加えたいと考えている。

参考文献

- [1] Zhengyou Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration", Microsoft Research Technical Report, MSR-TR-98-71 (1998.12).
- [2] 光本浩士, 浜田綾人, 田村進一, "方形図形の三次元復元からのカメラキャリブレーション", 信学論, vol. J95-D, no.5, pp.1295-1303 (2012.5).
- [3] Carlos Ricolfe-Viala, Antonio-Jose Sanchez-Salmeron, "Using the camera pin-hole model restrictions to calibrate the lens distortion model", Optics&Laser Technology, 43 pp.996-1005 (2011).