

Q9 GAによる実用的なカメラパラメータ推定について

建守 大[†] 高橋 章^{††} 石井 郁夫[†] 今井 博英[†] 牧野 秀夫^{†††}
[†]新潟大学大学院自然科学研究科 ^{††}長岡工業高等専門学校 ^{†††}新潟大学工学部情報工学科

1. はじめに

コンピュータビジョンにおいて、二次元画像より三次元情報を精度良く抽出することは重要な問題である。三次元情報を抽出する方法は、複数画像を利用する方法と単一画像を利用する方法の二つに分類できるが、そのいずれにおいても実画像からの計測を行なうためにはカメラキャリブレーションが必要である。

これまでに提案されているカメラパラメータを推定する方法には、要求される拘束条件を満たすために、いくつかのカメラパラメータを結合した中間的なパラメータを利用しているもの [3] がある。しかし、結合されたパラメータ間での相関が避けられないことが指摘されている [4]。また、格子パターンの平行四辺形を利用した推定法 [1] があるが、実用的なパラメータを得るには試行錯誤的な初期値を与えなければならない。そのため、複数回の実行を試みなくてはならず、ある程度の経験が必要とするため手動に近いという問題がある。

本稿では幾何学情報が既知の格子点画像に対して、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いたカメラキャリブレーション法を提案する。

GA を用いることにより、探索空間の大きさに依存せずに世代交代を行うことで、自然淘汰し比較的良好な解を探索できる。このため誤った方向の解に収束しにくく、任意の初期値に対して毎回実用的な範囲のカメラパラメータを推定できる。これにより、カメラキャリブレーションを自動化することを検討する。

2. カメラパラメータ

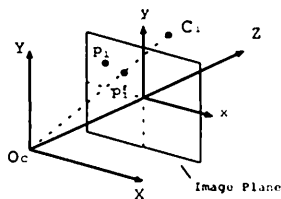


図 1: カメラ座標系

カメラキャリブレーションで推定するカメラパラメータは、外部パラメータと内部パラメータに分けられる。外部パラメータは、空間中の基準となるワールド座標系とカメラを中心とするカメラ座標系との写像であり、3自由度の回転パラメータと3自由度の並進パラメータで表される。一方、内部パラメータは三次元空間から二次元空間への投影を表す。図 1において、カメラ座標

$C_i = (X_i, Y_i, Z_i)$ の投影像を求めるには、まず $O_c C_i$ と画像面 $Z = 1$ との交点 $P'_i = (x'_i, y'_i)$ を式 (1) より求める。次に、画像歪みモデルに従う実際の投影像への変換式 (2) により、 C_i の投影像 $P_i = (x_i, y_i)$ が求まる。ここで、 $(g_1, g_2, g_3, g_4, k_1)$ を歪みパラメータといい、(2) 式の逆変換を表す歪み補正パラメータと併せて、非線形パラメータという。

C_i の投影像 P_i のフレーム座標 (u_i, v_i) は (3) 式より求まる。ここで、画像中心 (u_0, v_0) 、水平・垂直方向の焦点距離 (f_u, f_v) を線形パラメータという。

$$(x'_i, y'_i) = \left(\frac{X_i}{Z_i}, \frac{Y_i}{Z_i} \right) \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_i = x'_i + (x_i'^2 + y_i'^2)g_1 \\ \quad + x_i'^2 g_3 + x'_i y'_i g_4 + x'_i (x_i'^2 + y_i'^2)k_1 \\ y_i = y'_i + (x_i'^2 + y_i'^2)g_2 \\ \quad + x'_i y'_i g_3 + y_i'^2 g_4 + y'_i (x_i'^2 + y_i'^2)k_1 \end{cases} \quad (2)$$

$$(u_i, v_i) = (f_u x_i + u_0, f_v y_i + v_0) \quad (3)$$

3. カメラキャリブレーション法

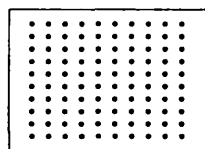


図 2: 格子平面

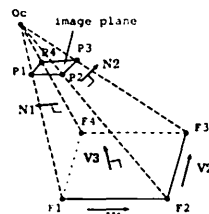


図 3: 姿勢推定

ここでは、まずカメラパラメータの推定法を説明し、次にカメラキャリブレーションで GA を利用する手続きについて説明する。

3.1 パラメータ推定

入力として、図 2 のような水平・垂直方向の点間の距離が既知の 10×10 の格子平面の画像を用いる。線形パラメータが与えられると、次の手順で残りのパラメータを推定できる。

1. 格子点のフレーム座標 $F_i = (u_i, v_i)$ を計測。
2. 線形パラメータを用いて、画像中心に近い格子点 4 点の投影像 $P_i = (x_i, y_i)$ を (3) 式より求める。ここで、画像中心部では歪みの影響が少ないので、非線形パラメータは無視する。
3. 平行四辺形の 4 頂点の投影像 (図 3) より平行四辺形の姿勢を推定する [1],[2]。

4. 平行四辺形の姿勢が定まると、位置推定は1自由度のスケーリング問題となり、最小2乗推定で解くことができる [1].
5. 平行四辺形の位置・姿勢より与えられる格子点の空間座標と、各格子点の投影像のフレーム座標を用いて非線形パラメータが最小2乗推定できる [3].
6. 1~5で推定したカメラパラメータから算出される推定点 (u'_i, v'_i) と、既知の格子点 (u_i, v_i) との距離の自乗平均が (4) 式より求まる。この誤差が小さければ小さいほど、推定したパラメータが良好なものである。つまり、この誤差を最小にする線形パラメータを探すことが重要な問題となる。

$$\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{(u_i - u'_i)^2 + (v_i - v'_i)^2\} \quad (4)$$

以上の処理を、同心の平行四辺形 (図2) について中心から近い順に施すことで、より歪みを考慮したパラメータ推定ができる。

3.2 GAによる解法

(4) 式を最小にする問題は非線形最適化問題である。ここで、線形パラメータを1つの染色体の遺伝子とし、染色体の適応度を (4) 式をスケーリングすることで決める。

まず、任意の線形パラメータを初期値として与え、これをもとに第一世代中の染色体の遺伝子情報を決定する。次に、個々の染色体の遺伝子情報よりパラメータ推定をし、その世代中で最も適応度の高いものを探す。そして、その適応度が妥当なものか評価し、妥当であれば、その染色体で推定したパラメータを最終的なカメラパラメータにする。妥当でなければ、世代交代を行なう。

世代交代において、まず、集団の中から親となる染色体のペアを適応度比例戦略とエリート戦略を組み合わせて選択する。次に、交叉確率により一点交叉を行い、さらに突然変異確率により交叉した子孫の遺伝子情報を突然変異させる。

世代交代を続けても最適な個体が見つからない場合は、最終世代中で最も適応度の高い染色体により推定したパラメータをカメラパラメータとする。

以上の手続きにより、カメラキャリブレーションの自動化を計る。

4. 実験・評価

まず、予め全てのカメラパラメータを設定しておき、それをもとに 10×10 の格子点のフレーム座標を計算する。次に、その格子点のデータを用い、任意の初期値を

与えてカメラキャリブレーションを実行する。そして、カメラキャリブレーションの結果推定したパラメータを、はじめに設定した真のパラメータと比較する。これにより、推定したカメラパラメータの誤差を評価し、本稿で提案したカメラキャリブレーション法の精度を評価する。

今回は、画像歪みのない画像をシミュレーションモデルとし、文献 [1] の姿勢推定法を用いた。この時、初期値として与える線形パラメータ (u_0, v_0, f_u, f_v) は毎回等しい値にし、扱う画像数も等しくする。また、最大世代数を200と2000に設定してキャリブレーションを実行した。真のパラメータに±10%未満の誤差を加えた初期値を用いると表1に示す通りの誤差となった。これにより、世代数を2000に増やすことでより精度のいいパラメータを探索できることがわかった。

表1: シミュレーション結果

真の線形パラメータ	320, 240, 700, -700	
	線形パラメータの推定誤差	
最大世代数 200	-15.54, -3.25, -47.68, 44.26	
最大世代数 2000	-3.22, 1.54, -3.66, 4.65	
	姿勢誤差	位置誤差
最大世代数 200	11° 未満	10% 未満
最大世代数 2000	8° 未満	0.7% 未満

5. まとめ

試行錯誤的に初期値を与えることを解消することにより、カメラキャリブレーションを自動化し、手軽にカメラパラメータを推定するために、GAを用いたカメラキャリブレーション法を提案した。

今後は、格子点画像だけではなく、幾何学情報が既知の任意の画像に対してカメラキャリブレーションを行なえるよう検討する。

参考文献

- [1] 高橋章, 石井郁夫, 牧野秀夫, 中静真, "A Camera Calibration Method Using Parallelogrammatic Grid Points", IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol. E79-D, No. 11, pp. 1579-1587, 1996
- [2] Long Quan, Zhongdan Lan, "Linear N-Point Camera Pose Determination", IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell., vol. 21, no. 8, pp. 774-780, Aug 1999
- [3] J. Weng, P. Choen and M. Herniou, "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation", IEEE Trans. Patt. Anal. & Mach. Intell., vol. 14, no. 10, pp. 965-980, Oct. 1992
- [4] REIMAR K. LENZ and ROGER Y. TSAI, "Techniques for Calibration of the Scale Factor and Image Center for High Accuracy 3-D Machine Vision Metrology", IEEE Trans. Patt. Anal. & Mach. Intell., vol. 10, pp. 713-720, Sep. 1988