

Accuracy of Camera Parameter Calibration

○学 松村 浩道 (新潟大) 鈴木 孝宣 (新潟大)
 正 大矢 誠 (新潟大)

Hikomichi MATSUMURA, Niigata University, Ikarashi 2-8050, Niigata
 Takayoshi SUZUKI, Niigata University
 Makoto OYA, Niigata University

Key Words: Measurement, Accuracy, Camera Parameter, Camera Calibration,
 Calibration Board, Stereoscopic Image

1. 緒言

ステレオ画像計測では、その前段階として、使用するカメラの撮影条件を表すカメラパラメータの校正を行なう必要がある。ステレオのような3次元視覚では、従来の平面上の画像を観測する2次元視覚と比較してカメラ系の精度に対する要求⁽¹⁾が高く、パラメータを高精度に校正する方法は本計測法の重要技術となっている⁽²⁾。

カメラパラメータの校正では3次元空間で相互の位置関係が既知であるような点群を校正の基準点として用いる。本研究では平板に市松模様を描いた校正用ボードを用い、模様の交点を校正基準点としてパラメータの校正を行ない、この点群の分布が校正精度に与える影響について実験的に検討を行なった。

2. 校正方法

2.1 カメラパラメータ カメラパラメータは、カメラの位置・姿勢を表す外部パラメータとカメラ自身に依存し個々のカメラに固有の内部パラメータに分けられる。

図1のように、絶対座標系 Σ_w とカメラ座標系 Σ_c を設定し、任意の位置にある点Pを各座標系でそれぞれ $X_w(X_w, Y_w, Z_w)$ 、 $X_c(X_c, Y_c, Z_c)$ と表すと、これらの間には次の関係が成り立つ。

$$X_c = C(X_w - O_c) \quad (1)$$

ここに、行列Cを表すロール、ピッチ、ヨー(R,P,Y)とカメラ中心の位置ベクトル $O_c(O_x, O_y, O_z)$ の計6成分を合わせて外部パラメータ(R,P,Y, O_x, O_y, O_z)と呼ぶ。

次に、画像(CCD)面に相当する画像座標系 Σ_i を考える。これは正立像を得られるように図1のように仮想的に焦点の前方にあるものとする。 Z_c 軸と画像面の交点を (U_0, V_0) とし、1画素の大きさを (U_d, V_d) とする。点Pの画像上での位置 P' (U,V)を用いて、この点の Σ_c 座標系での位置ベクトル P_c を求めると、

$$P_c = (U_d(U - U_0), V_d(V - V_0), f)^T \quad (2)$$

となり、 X_c と P_c の間には次の透視投影の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} U - U_0 &= U_d(X_c/Z_c) \\ V - V_0 &= V_d(Y_c/Z_c) \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、 $U_d = f/U_D$ 、 $V_d = f/V_D$

このとき、 (U_d, V_d, U_0, V_0) を内部パラメータと呼ぶ。

2.2 校正用ボードによる校正方法 カメラの校正では、校正基準点の Σ_w 座標系における位置 X_w とそれに対応する画像上の位置 P' (U,V)が必要である。そこで校正の基準点を得るために、図1に示したような市松模様を平板(270×180mm)に描いたボードを用いることにする。模様の各交点を基準点とし、その相対位置関係をあらかじめ測定しておき、これを撮影して画像上の基準点位置を抽出すること

ができれば、校正作業は容易になるものと考えられる

ボードは縦横で5×8=40個の交点を持っており、これら基準点の位置は3次元測定機を用いて測定してある。また、校正時には3次元測定機の座標系を絶対座標系と考えて、校正用ボードを3次元測定機のZ軸に取り付けて各軸方向に移動し、3箇所のZw軸断面($Z_w=0, 150, 300\text{mm}$)についてそれぞれ5箇所、合計15箇所の位置でボードを撮影した。カメラパラメータの計算では、まず600点(40点×15箇所)の基準点を用いて全てのパラメータを求め、次に内部パラメータをそのときの値に固定しておき、ボードの測定位置や基準点の数などの条件を変えて外部パラメータを計算し、測定条件による精度の変化を比較した。なお、以下の実験例では、画像(512×512画素)上でのボードの大きさは170×120画素程度である。

3. 実験結果および考察

15箇所でのボードの画像を同時に用いて校正基準点を600点(40点×15箇所)とし、式(3)を観測方程式として最小2乗法によって求めたパラメータの最確値と標準偏差は表1のようになる。この場合には基準点の数も多く、それが画面全体に広く分布していることから校正精度が高く、最確値の標準偏差は最大0.4mm(Oz)、1分(R)程度である。

次に、ボードの校正基準点(40点)のうちから1点を選び、15箇所に移動した場合の15枚の画像を用いた校正結果(Case1)と、ボードの画像を個別に用いて、ほぼ一平面上の40個の基準点から校正した結果(Case2)について精度の比較

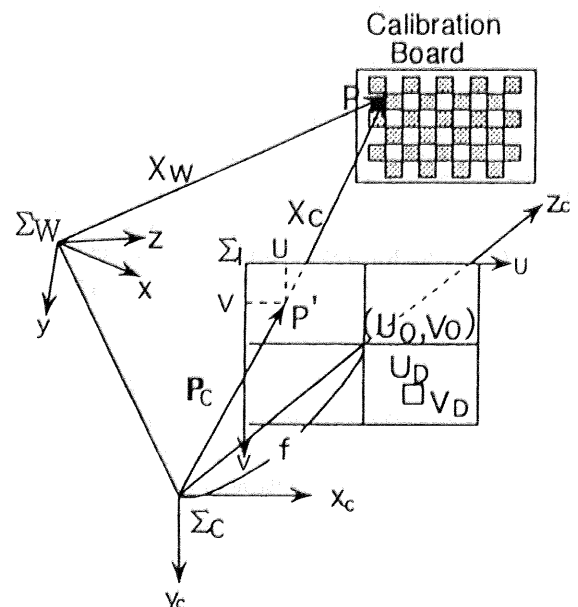


Fig.1 Coordinate System and Calibration Board

Tbl.1 Result of Camera Parameter)

	Most Probable Value	Standard Deviation
R (rad)	0.10419	0.00044
P (rad)	0.00170	0.00042
Y (rad)	0.01181	0.00003
Ox (mm)	33.05	0.06
Oy (mm)	117.07	0.07
Oz (mm)	-1189.39	0.40

Tbl.2 Result of Camera Parameter(Case 1)

	Average	Standard Deviation
R (rad)	0.10420	0.00027
P (rad)	0.00167	0.00020
Y (rad)	0.01174	0.00011
Ox (mm)	33.09	0.24
Oy (mm)	117.05	0.35
Oz (mm)	-1189.20	0.26

Tbl.3 Result of Camera Parameter(Case 2)

	Average	Standard Deviation
R (rad)	0.10535	0.00987
P (rad)	0.00648	0.00726
Y (rad)	0.01226	0.00064
Ox (mm)	26.42	10.52
Oy (mm)	118.86	13.956
Oz (mm)	-1189.19	2.69

を行なった。前者では校正基準点は15点であり、40通りの結果が得られる。後者では校正基準点は40点で、15通りの結果が得られる。表2、表3に求めたパラメータの平均値とばらつきの標準偏差を示す。この表より、後者では基準点数が多いにもかかわらず、各パラメータのばらつきが大きく、特にOx、Oy、R、Pのばらつきが大きい。平均値も表1に示した最確値と最大7mm(Ox)、30分(P)程度の相違が見られた。したがって、この測定例では1枚の画像からパラメータを正しく校正するのは難しいことがわかる。これはカメラが校正用ボードとほぼ正対しているためと考えられる。

校正作業の簡素化のためには、用いる画像の枚数を少なくできれば都合がよい。また、ボードの移動に特殊な装置を用いることも避けるべきである。そこで、1枚の校正用ボードを用いてZc成分も変化させることを考え、ボードをYw軸まわりに回転することを想定して計算機シミュレーションを行なった。その結果を図2に示す。この図より、カメラに対するボードの傾き角度が大きくなるにつれて各パラメータのばらつきが小さくなり、校正精度が高くなることわかる。しかし、実際に校正を行なう際には、ボードを回転することによってXc成分の変化量が小さくなったり、画像上での基準点の位置の抽出が困難になることなども考

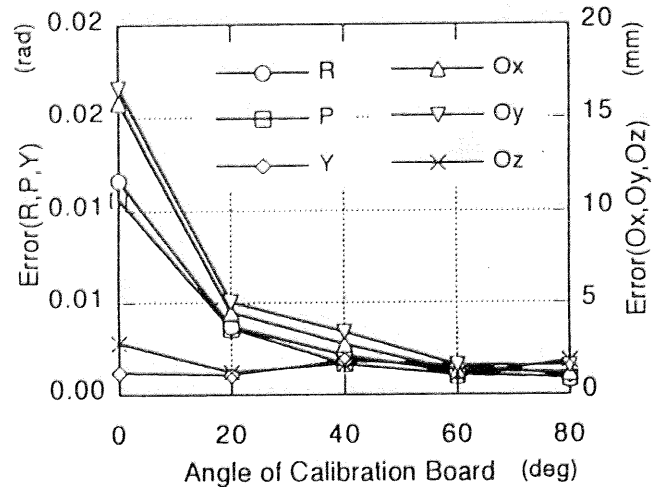


Fig.2 Error of Parameter for Board Angle

Tbl.4 Result of Camera Parameter(Case 3)

	Average	Standard Deviation
R (rad)	-0.00508	0.00239
P (rad)	0.00985	0.00130
Y (rad)	-0.00568	0.00122
Ox (mm)	31.34	2.39
Oy (mm)	-108.31	4.26
Oz (mm)	-1486.24	1.58

えられるので、30度から40度程度の傾きが適切であろうと思われる。

このシミュレーションの結果を確認するためにボードの傾き角度を約40度に固定して校正を行なってみた(Case3)。ボードの撮影位置は先と同じく15箇所とし、Case2と同様の測定を行なって、15通りの結果からばらつきを求めた。表4にCase3の結果を示す。この表より、ボードを傾けて撮影した1枚の画像を用いることによって、Case2と比較すれば、より良い精度でパラメータを求めることができるようになる。ただし、Case1と比較した場合には繰返し精度は約1/10程度になっているので、ボードの移動を伴わない1枚の画像による校正の精度には限界があることもわかる。

4. 結言

平板上に描いた模様を基準点とする校正用ボードを用いて、基準点の数や空間内での分布の違いが校正精度に及ぼす影響について実験的に調べた。その結果、カメラとボードが正対する条件では校正結果のばらつきが大きいことがわかった。そこで、ボードをカメラの光軸に対して傾けて基準点を広く分布させることを試みた。その結果、1枚の画像からでもある程度の校正精度が得られることを確認した。この方法であれば、特別な移動のための装置を必要としない。ただし、ボードを移動した校正方法と同等程度の精度を得るためには、ボード面を広くすることや、画像上での基準点の抽出をより正確に行なう必要があるものと考えられる。

文献

- (1)大矢,機講論, No.941-2(1994),257
- (2)江尻,画像処理産業応用総覧(下巻),フジテクノシステム,(1994)432