

IV-86 近距離の測定用カメラのキャリブレーションの方法

東大生研 正員 工博 丸岡隆和
 東大大学院 学生員 ○田中總太郎
 千葉工業大学 牧野 純

これは内部標定要素を地上基準点を使用して決定する解析方法である。内容としては、Perspective centerの近似点を、知って、Perspective centerを決定するものである。方法としては、まず、2つの座標系を考える。一つは、地上のX-Y-Z系であり、もう一つは、指標座標系x-y-zである。z軸は指標座標の原点Oからの垂線である。

x-y-z系において、近似的に投影中心として、z軸上のfの距離にある点O'を考える。地上点P₁, P₂の座標をP₁(X₁, Y₁, Z₁), P₂(X₂, Y₂, Z₂)とする。これは乾板上の点p₁(x₁, y₁), p₂(x₂, y₂)に撮っている。(図参照) 地上座標系での投影中心をO₀とすると、次の条件が満たされなければならない。

$$\angle p_1 O'_0 p_2 = \angle P_1 O_0 P_2 \text{ ---- (1)}$$

近似的にO₀が与えられているから、 $\angle p_1 O'_0 p_2$ は計算できる。これをαと置く。O₀はP₁P₂を軸とし、 $\angle P_1 O_0 P_2 = \alpha$ である点O₀の描く曲面上にある。基準点が3点以上あれば、O₀はこのような多数の曲面上にあるべきであるから、点として決定することができる。実際には、O₀は多数の曲面が一点に交わることがないから、表面へ至る距離の2乗和が最小となる点を計算する。 ---- (*)

このようにして決定したO₀は、近似点O₀に対応するX-Y-Z座標系の点である。この場合 $\angle p_1 O'_0 p_2 = \angle P_1 O_0 P_2$ とはならない。O₀が真の投影中心であるならば、

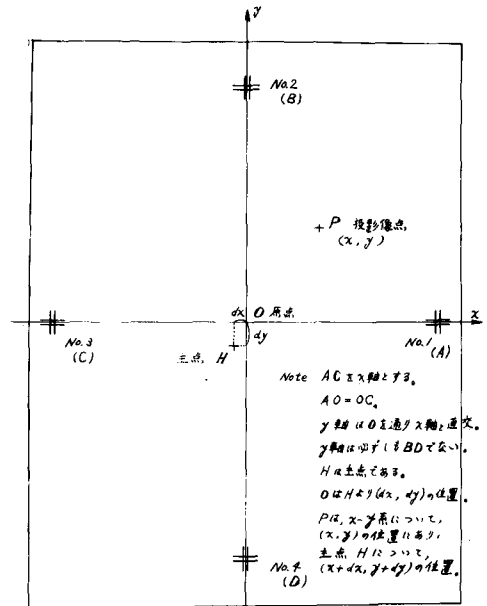
$$\angle p_1 O'_0 p_2 = \angle P_1 O_0 P_2 \text{ が成立するので,}$$

$$\sum_{i,j} (\cos(\angle p_i O'_0 p_j) - \cos(\angle P_i O_0 P_j))^2 \rightarrow \min \text{ ---- (2)}$$

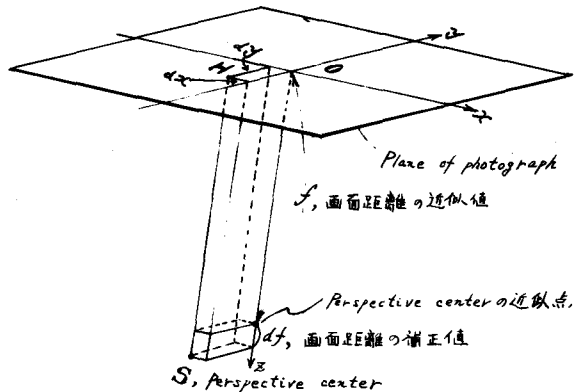
となるような投影中心を捜す。ここで、

$$\cos(\angle p_i O'_0 p_j) = \frac{O'_0 p_i^2 + O'_0 p_j^2 - p_i p_j^2}{2 \cdot O'_0 p_i \cdot O'_0 p_j}$$

$$\cos(\angle P_i O_0 P_j) = \frac{O_0 P_i^2 + O_0 P_j^2 - P_i P_j^2}{2 \cdot O_0 P_i \cdot O_0 P_j}$$



指標座標系x-y-zと主点位置の関係



Perspective centerと内部定位の近似値との関係

点 $O_0'(0, 0, f)$ に対応する点 O_0 の座標を $O_0(X_0, Y_0, Z_0)$ とし、条件式 (2) を満足する点を $O_1(dx, dy, f+df)$, $O_1(X_0+dx, Y_0+dy, Z_0+dz)$ とする。ここに 6 個の変数 $dx, dy, df, dX_0, dY_0, dZ_0$ は (2) 式の中に含まれている。(2) 式を最小二乗法で解く場合、重要になるのは、次の 2 点である。

(i)
$$\begin{pmatrix} dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ A_4 & A_5 & A_6 \\ A_7 & A_8 & A_9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dx \\ dy \\ df \end{pmatrix}$$
 なる係数行列を導入し、未知数を、 dx, dy, df の 3 個に削減すること。

(ii) 基準点が三

次元的に分布し

ていること。

この方法を確

めたるために、

数値モデルにつ

いて試験した。

$O_0(-1500, 600, 9000)$

, $f=59^{mm}$ とし

て、 O_0 を中心に

乾板を k, φ, ω

の傾は 0.01 ,

$-0.20, 0.04$

ラジアンだけ回

転したときの

1~10 の地上

点の写真座標を

計算し、これを

もとに、 $(X-0.2,$

$Y-0.3, f+0.123)$

なる写真座標を

作成した。表-2

に 係数行列あ

よび補正值の変

化を掲げた。補

正されるべき量

は $dx=0.2^{mm}$

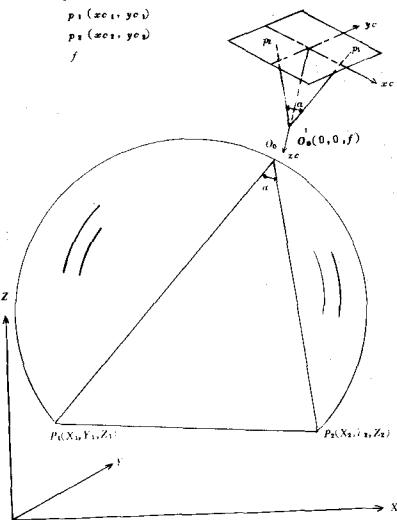
$dy=0.3^{mm}$,

$df=-0.123^{mm}$

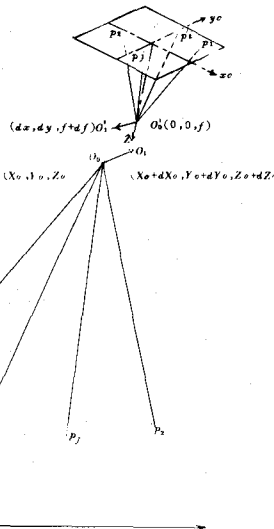
である。計算結果は妥当である。上述の理論は技術的

な安全を予えることとされた。

$xc=yc=zc \approx$
 $p_1(xc_1, yc_1)$
 $p_2(xc_2, yc_2)$
 f



O_0 の存在する曲面



射影中心の補正

表-1 作成データ

点名	基準点座標値 (mm)			写真座標値 (mm)	
	X	Y	Z	x	y
1	-1600	4600	51	12.139863	-24.177341
2	-4100	2200	51	30.561348	-9.213904
3	-4100	2200	1051	33.045708	-10.754981
4	-4500	-2000	51	34.701615	2.1157629
5	-4500	-2000	1051	37.848224	23.761304
6	-1900	-4000	51	15.370351	3.4289607
7	3400	-3100	51	-18.423602	25.439852
8	3400	-3100	1051	-21.882301	28.071317
9	3300	2800	51	-17.754334	-10.625353
10	3300	2800	1051	-21.049523	-12.062694

表-2 係数行列、補正值、射影中心の変化

回	I	II	III	
A_1	118.55	119.48	119.48	
A_2	11.76	12.30	12.30	
A_3	-47.38	-47.83	-47.84	
A_4	-2.23	-2.14	-2.14	
A_5	107.70	108.05	18.05	
A_6	-9.01	-9.48	-9.48	
A_7	4.146	4.163	4.163	
A_8	13.46	13.87	13.87	
A_9	13.610	13.619	13.619	計
dx	0.199953	0.000048	0.000000	0.200001
dy	0.299848	0.000152	0.000000	0.300000
dz	-0.122806	-0.000191	0.000000	-0.122997
X_0	-1533425	-1500017	-1501000	
Y_0	566846	599982	600000	
Z_0	9004463	9000022	9000000	