

消失点を用いたカメラキャリブレーションの一検討

3P-2

守屋俊夫 塩尻史子 武田晴夫
 (株)日立製作所 システム開発研究所

1. はじめに

撮影画像から撮影時のカメラパラメータを推定するカメラキャリブレーションは、3次元形状復元、レンズの特性評価、画像合成等多くの目的に用いられる。

1枚の画像からパラメータ推定を行なう手法の一つとして、写る物体の直交性や平行性を仮定し、消失点を用いる方法がある。2消失点を用いる方法が知られているが、与えられる画像の性質によっては、必ずしも2つの消失点ともに精度良く読み取れるとは言えない。本稿では、第2の消失点の代わりに2直交方向を用いる方法を示し、検討を加える。

2. 前提条件

推定する未知パラメータは、視点位置 b 、カメラ回転 R 、焦点距離 f である。3次元空間におけるある点の位置を m とおくと、投影座標におけるその点の投影位置 $x = (x, y)^T$ との関係は、

$$z \begin{pmatrix} x/f \\ y/f \\ 1 \end{pmatrix} = R(m - b) \quad (1)$$

であらわされる。与えられる画像からは、ある方向の消失点 x_0 、その方向に直交する直線 l_1 、および直交頂点 o が誤差無く計測できるものと仮定する。 f が決まれば、各辺の画像上での方向や行列 R の正規直交性等の条件を用い式(1)から順次 R, b が求まるので、以下 f を求める問題を考える。

3. 視軸まわり回転の標準化

画像に写る各直交・平行成分の位置関係にはさまざまなケースが考えられるが、画像に対して消失点 x_0 が y 軸上に位置するように画像原点まわりの回転を行うことで、その回転自由度に関する標準化を行うことができる。すなわち、視軸まわりの回転 2R により式(1)の右辺は ${}^2R \cdot R \cdot (m - b)$ となるが、これは f に無関係に求まるのでその算出には影響無い。以下の論議で、画像上の各点はこの回転操作を行った後のものを扱う(図1)。

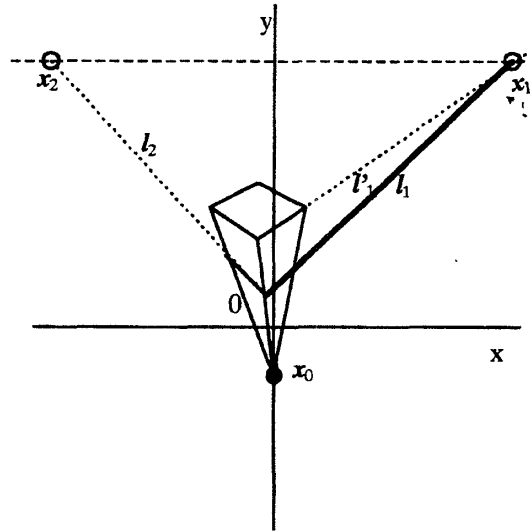


図1 標準化回転を行なった後の観測画像

4. 直交方向から f の算出

一般に、互いに直交する2つの方向の消失点 v_0, v_1 が計測できれば、消失点と焦点距離との関係

$$(v_0, v_1) = -f^2 \quad (2)$$

を用いて f が算出されることが知られている。

消失点 x_0 と直交方向をあらわす直線 l_1 、およびもう一つの直交方向が直線 l_2 として計測されたときに f を求める方法について述べる。直線 l_1 が式 $y = kx + n$ であらわされるとすると、消失点 x_1 がこの直線上を動くときに、消失点 $x_2 = (x_2, y_2)$ は、 $(x_1, x_2) = (x_0, x_1)$ より、

$$ky_2^2 + (x_2 - ky_0)y_2 - nx_2 = 0 \quad (3)$$

であらわされる曲線 g_2 上に存在する。この曲線 g_2 と直線 l_2 の交点が消失点 x_2 になり、これより f が求められる(図2)。

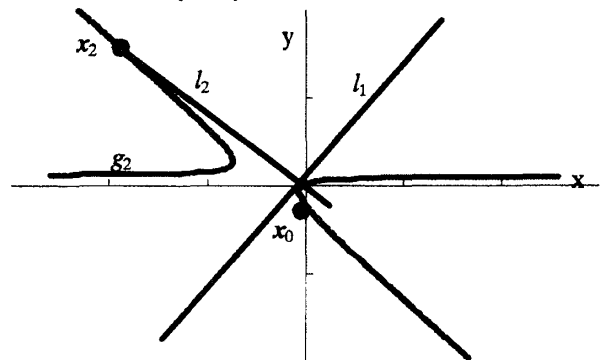


図2 消失点 x_2 の推定

5. 考察

以上述べたとおり、消失点 x_0 および直交方向をあらわす直線 l_1 が与えられたときに、 f を求めるためには、

(1) 3次元空間で l_1 と平行になる画像上の直線 l_1' を計測し、その交点としてもう一つの消失点 x_1 を求める、

(2) 3次元空間で l_1 と直交する画像上の直線 l_2 を計測し、4節で述べた方法で消失点 x_2 を求める、の2つの方法が考えられる。もし l_1' と l_2 の両者ともに計測可能な場合は、どちらを用いるのが適当かという問題が生じる。誤差の観点からこれを考察する。

式(3)であらわされる曲線 g_2 について、 $y_2 \gg k, n, y_0$ として $k/y_2, n/y_2, y_0/y_2$ についての1次までの近似をとると、

$$y_2 = 1/k \cdot x + y_0 - 1/k \cdot n \quad (4)$$

となり、直線 l_1 に垂直に交わる直線としてあらわされる。これを l_2 とおく。図3に $k=1.0$ とおき、 $n=1.0, n=3.0, n=5.0$ としたときのそれぞれの g_2 および l_2 を示す。

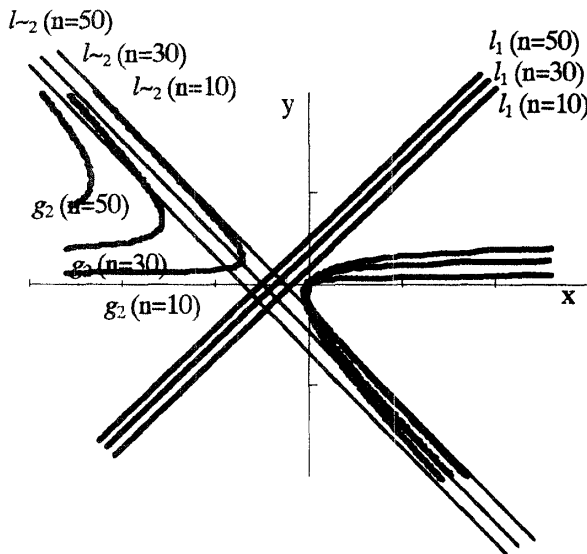


図3 各 l_1 に対応する g_2, l_2

l_2 は、消失点 x_0 と直線 l_1 から一意に決定される。よって前述の問題は、画像からある直線を計測して l_1 との交点を求めることと、別のある直線を計測して l_2 との交点をもとめることの比較として、近似的に見積もることができる。

具体的な数値計算により比較を行う。直線方向の

計測の際に生じる誤差は角度としてあらわされるものとし、観測する直線の端点の位置を (x, y) として固定とする。正しい消失点位置 x_1, x_2 に向かう直線に対して角度 $\Delta\theta$ の直線を誤差を含む測定直線とし、これを用いて求まる f を考える。

画像の大きさを 100×100 程度、画角として 30° 程度を仮定し、 $y_0 = -30.0, n = 10.0, k = 1.0, f = 180.0$ に摂動 $\Delta f = 10.0$ を与える測定誤差 $\Delta\theta$ を求める。 $\Delta\theta$ が大きいほど誤差に強いことを示す。表1に結果を示す。画像サイズおよび消失点 x_0 の位置を考慮し、 (x, y) として15点を選び $\Delta\theta$ を求めた。最上段は直線 l_1 より消失点 x_1 を求める方法、中段は直交方向 l_2 を用いる方法、最下段はその際に近似式(4)を用いた場合の $\Delta\theta^\circ$ である。端点位置によって値は異なるため、どちらの方法が適当かは一概には言えないが、全般的に直交方向を用いる場合の方が誤差に強いと言える。また、誤差評価を行なう際に近似式(4)を用いても計算結果はほとんど変わらないことがわかる。

表1 誤差 Δf を生じさせる観測誤差 $\Delta\theta$

$y \setminus x$	-40.0	-20.0	0.0	20.0	40.0
20.0	0.097 0.020 (0.020)	0.059 0.059 (0.059)	0.019 0.097 (0.097)	0.020 0.134 (0.134)	0.061 0.170 (0.170)
30.0	0.117 0.040 (0.040)	0.079 0.079 (0.079)	0.039 0.117 (0.117)	0.000 0.154 (0.154)	0.040 0.190 (0.189)
40.0	0.137 0.061 (0.060)	0.099 0.099 (0.099)	0.060 0.137 (0.136)	0.020 0.174 (0.173)	0.020 0.211 (0.210)

6. おわりに

消失点を用いてカメラパラメータを推定する方法として、1消失点と2直交方向を用い、回転に関する標準化を行なって求める方法を示した。また、近似式を用い誤差を求める方法を示した。本稿で誤差が無いと仮定した測定パラメータについても検討を加えることが課題である。

参考文献

- (1) Kanatani, "Geometric Computation for Machine Vision", Oxford Science Publication, 1993
- (2) C.Capirile and V.Torre, "Using vanishing points for camera calibration", International Journal of Computer Vision, Vol.4, pp.127-140, 1990.
- (3) 出口光一郎 "画像と空間", 昭晃堂, 1991