

一种新的自定标算法——图像变换法*

刘侍刚 吴成柯 唐 丽 贾 静

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室, 西安 710071)

摘 要 提出了一种新的基于图像变换的自定标算法, 由于绝对二次曲线的像的各个元素不在一个数量级上, 导致自定标过程中对噪音极其敏感. 该方法针对于这一缺点, 首先估计一个内参矩阵, 然后通过图像变换, 使绝对二次曲线的像的各个元素在一个数量级上. 理论分析及模拟图像序列和真实图像序列的实验结果表明, 该自定标算法能够提高定标准确度及鲁棒性.

关键词 绝对二次曲线; 定标; 图像变换

中图分类号 TN911.73 **文献标识码** A

0 引言

摄像机定标是从二维图像获取三维信息必不可少的步骤. 传统的方法是通过结构已知的物体(如定标块或定标平板)在图像中的投影来计算摄像机的内参量^[1,2], 这种方法的缺点是需要一个高精度的定标块或定标板, 在很多实际应用中难以实现, 如空间机器人、危险恶劣环境下工作的机器人等. 自从 Faugeras^[3]等人提出摄像机自定标的概念, 证明可以直接从图像序列中标定出摄像机内参量, 这方面的研究已成为计算机视觉领域中最重要研究方向之一^[4,5].

在传统的摄像机定标过程中, 有许多关于利用景物中的先验知识(例如: 平行线、直角、长度比等)来实现摄像机的定标方法^[6,7]. 近年来 Marta 等提出了基于平行六面体的自定标技术^[8], 此方法的最大优点是不用计算灭点. 这些方法的最大缺点是要利用景物中的先验知识, 在许多的情况下, 很难知道景物中的先验知识, 同时这些方法也没有克服摄像机自定标鲁棒性差的缺点, 所以这些方法的应用也受到一定的限制.

1992 年, Faugeras^[3]提出了基于绝对二次曲线的 Kruppa 方程的自定标方法, 但该方法极易发散, 所得到的结果不稳定, 所以很难得到真实解. 这一方法主要出现在自定标理论的早期, Heyden^[9]将绝对二次曲线的像用于摄像机自定标, 得到的方程形式较为简洁, 且绝对二次曲线的像同时包含空间的仿射和欧氏结构. 后来的各种各样的自定标方法大多数都是基于绝对二次曲线的像的. 但在这些方法中, 都需要解一个非线性方程组或解一个相应的非线性规划问题, 由于绝对二次曲线的像的各个元素

数量级相差非常大, 导致了这些方法鲁棒性差.

本文针对于上述求解绝对二次曲线的像的鲁棒性差这一缺点, 提出了通过图像变换使绝对二次曲线的像的各个元素处于同一数量级, 这样提高求解的鲁棒性. 理论和实验表明, 这种方法能够提高自定标的准确度及鲁棒性.

1 投影矩阵

本文假定相机模型为经典的针孔模型, 那么相机的投影矩阵 M_c 为

$$M_c = A[R \quad t] \quad (1)$$

式中 $A = \begin{bmatrix} f_u & s & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为内参矩阵, $[R \quad t]$ 为外参

矩阵, 其中 R, t 分别为在拍摄位置对应的旋转矩阵和平移矩阵.

若三维空间点的齐次坐标为 P , 对应的图像平面点的齐次坐标为 p , 则空间点 P 和图像平面点 p 有下列关系

$$p \sim M_c P = A[R \quad t]P \quad (2)$$

\sim 表示相差一个因子意义下的相等.

2 绝对二次曲线的像

在三维欧氏空间中, 存在一个绝对二次曲线, 其矩阵表达形式为

$$\Omega_\infty \sim \begin{bmatrix} I_{3 \times 3} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

绝对二次曲线在欧氏变换下是不变量, 即它在序列图像中的成像, 只与相机的内参量有关, 而与相机的位置无关. 因此可以通过求解绝对二次曲线的像来确定相机的内参量, 达到相机自定标的目的.

在欧氏空间中, 对于相机投影矩阵 M_c , 绝对二次曲线与它的像 θ 之间的关系为

*国家自然科学基金(60473119)资助项目
Tel: 029-88200187 Email: shgliu@mail.xidian.edu.cn
收稿日期: 2004-12-07

$$M_p \Omega_\infty M_p^T \sim A [R \ t] \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R^T \\ t^T \end{bmatrix} A^T = AA^T \sim \theta \quad (4)$$

设从欧氏空间到射影空间的变换矩阵为 T , 则绝对二次曲线在欧氏空间及射影空间有下面关系

$$\Omega \sim T \Omega_\infty T^T \quad (5)$$

因此, 在射影空间中, 绝对二次曲线与它的像 θ 之间的关系变为

$$M_p \Omega M_p^T \sim M_p \Omega_\infty M_p^T \sim AA^T \sim \theta \quad (6)$$

式中 θ 为对称矩阵, 在相差一个系数意义下的相等的情况下, 它含有 5 个未知数.

现有的自定标方法一般都是基于式(6), 用求解非线性方程组的方法或求一个相应的优化问题, 得到绝对二次曲线的像 θ , 再对 θ 进行 Cholesky 分解, 求到相机的内参量, 最后完成相机的定标.

从二次曲线的像 θ 的定义可以看出, 其各个元素的数量级相差非常大, 一般情况下它的各个元素的数量级相差 10^5 倍以上, 因此, 必然导致自定标方法鲁棒性较差.

3 二维图像的坐标变换及其对求解 θ 的影响

若通过一个变换矩阵 H 将图像序列 p 变为图像序列 p' , 由式(2)可得

$$p' \sim H p \sim H M_p P = H A [R \ t] P = A' [R \ t] P \quad (7)$$

式中 $A' = H A$

由于绝对二次曲线的像 θ 其实质就是绝对二次曲线在图像上所成的像, 因此, 变换后绝对二次曲线的像 θ' 为

$$\theta' = H \theta H^T \quad (8)$$

式中 θ' 为相机内参矩阵为 A' 所对应的绝对二次曲线的像.

因此, 从式(8)可知, 如果能够通过一个变换矩阵 H , 使得变换后的绝对二次曲线的像 θ' 的各个元素在同一个数量级上, 那么求解 θ' 比求解 θ 要鲁棒性好, 因为变换后的绝对二次曲线的像 θ' 的各个元素在同一个数量级上. 如果求到了变换后的绝对二次曲面的像 θ' 就可以通过反变换求到变换前的绝对二次曲线的像 θ , 即可以实现相机的鲁棒性定标.

4 算法总结

1) 利用 Heyden 方法进行射影重建^[10], 求到射影空间中的投影矩阵 M_p ; 2) 估计相机内参矩阵 A' ; 3) 通过变换矩阵 $H = A'^{-1}$, 将图像序列 p 变为图像序列 p' ; 4) 利用图像序列 p' , 求到其对应的绝对二次曲线的像 θ' ; 5) 求解非线性方程组(6), 得到 θ' ; 6) 根据式(8), 求到真实图像序列 p 对应的绝对二

次曲线的像 θ ; 7) 对 θ 进行 Cholesky 分解, 求到相机的真实内参矩阵 A .

5 模拟与真实图像实验

5.1 模拟实验

为了检验本文提出的算法能够提高相机的自定标准确度及鲁棒性, 用计算机模拟在空间单位球内随机产生 100 个点, 在假设相机的内参量 $f_u = f, f = 1000, s = 0, u_0 = 0, v_0 = 0$ 的条件下, 变化外参量, 产生 10 幅大小为 480×640 的图像, 同时在图像中加入 0 至 2 个像素的高斯噪音, 并分别假设相机的初始 $f = 1, f = 100, f = 1000, f = 10000$ 等 4 种情况下, 各计算了 100 次, 用平均重投影误差及其方差来衡量相机定标的准确度. 当假设 $f = 1$ 时, 此时的图像变换矩阵为

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

这时, 也相当于图像并没有发生任何变化. 从图 1 可以看出, 当假设初始 $f = 1$ 时, 重投影误差的均值及方差最大, 也就是计算准确度有稳定性最差, 而当假设的初始内参矩阵和真实内参矩阵一致时, 重投影误差及方差都是最小, 说明本文所提出的算法能够提高自定标的准确度及稳定性.

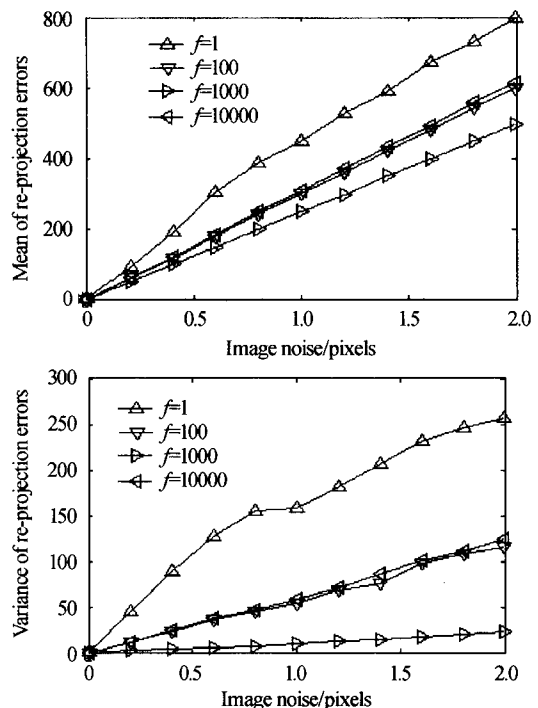


图 1 重投影误差均值及方差随噪音分布图

Fig. 1 Mean and variance of re-projection errors

从图 1 可以看出本文提出的图像变换算法可以提高相机的定标准确度及鲁棒性, 若假设的始初相机内参矩阵和真实内参矩阵一致或比较接近时, 此

时的定标准确度和鲁棒性最好,原因是此时经过变换后的绝对二次曲线的像的各个元素比较接近,因此求解鲁棒性比较好,求解准确度也比较高.

5.2 真实图像实验

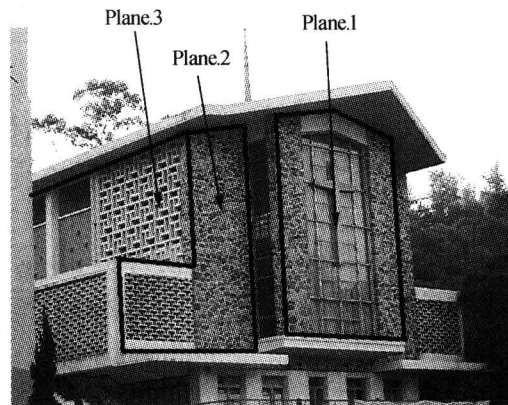
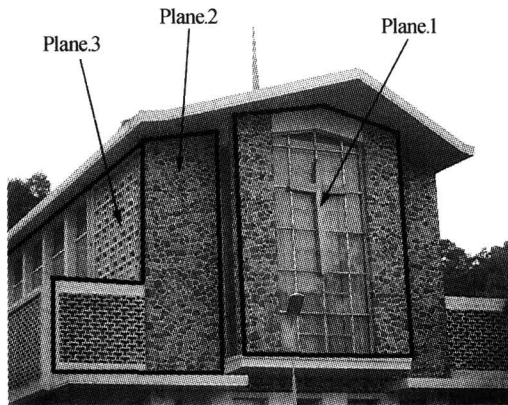


图2 某一教堂的2幅平面图
Fig.2 Two images of a temple

本文利用了100个特征匹配点,分别采用和不采用本文提出的图像变换算法进行自定标并进行三维重建,重建结果如图3.

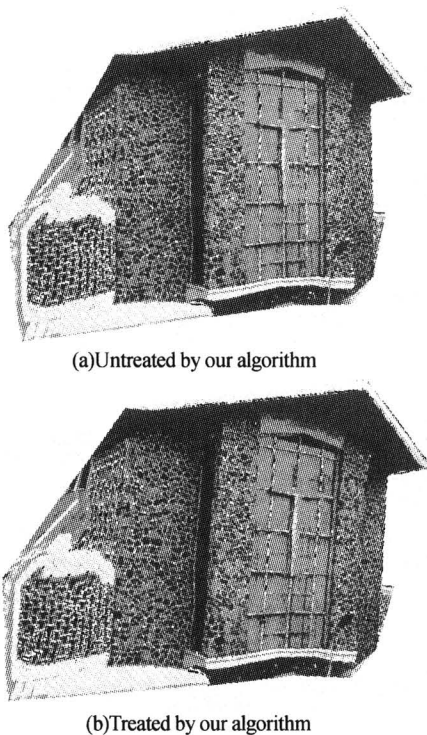


图3 三维重建结果立体图
Fig.3 Reconstruction results

为了验证本文提出的算法能够提高计算准确度,计算了平面1和平面2及平面3之间的夹角,结果如表1.

同时,为了验证本文提出的算法可以提高定标准确度及鲁棒性,本文利用数码相机,得到某一教堂8幅480640的图像,其中两幅图像如图2.

表1 平面1、2、3之间的夹角($^{\circ}$)

	平面1、2 的夹角	平面1、3 的夹角	平面2、3 的夹角
真实值	0	90	90
未经过图像变换	3.0754	85.1959	97.8776
经过图像变换处理	1.5617	89.4559	92.0986

从表1可以看出,利用本文提出的图像变换算法可以很好地提高自定标的准确度及鲁棒性.

6 结论

本文针对于绝对二次曲线的像 θ 的各个元素不在一个数量级上,导致自定标鲁棒性差这一缺点,提出了一种图像变换自定标算法.该算法能够使绝对二次曲线的像 θ 的各个元素变换到同一个数量级上,然后鲁棒性的求解绝对二次曲线的像 θ ,最后完成相机的自定标.理论及模拟图像序列和真实图像序列的实验表明,该自定标算法能够提高自定标的准确度及鲁棒性.

参考文献

- 1 Tsai R. An efficient and accurate camera calibration technique for 3D machine vision. CVPR, Miami Beach, America, 1986. 364~374
- 2 Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Trans PAMI*, 2000, **22**(11):1330~1334
- 3 Faugras O, Luong Q, Maybank S. Camera Self-calibration: Theory and experiments. ECCV. Italy, 1992. 321~334

- 4 Ha, E. 3D structure recovery and calibration under varying intrinsic parameters using known angles. *Pattern Recognition*, 2001, **34**(2): 351~359
- 5 刘金根. 一种基于现场定标的光电图像畸变校正算法. *光子学报*, 2004, **33**(6): 732~735
Liu J G. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(6): 732~735
- 6 Zhao T, Wang T, Shum H. Self-calibration of a camera from video of a walking human, ICPR, Quebec City, Canada, 2002. 562~567
- 7 刘勇, 吴成柯, 陈泽志. 一种综合景物垂直性约束的自定标算法. *西安电子科技大学学报*, 2002, **29**(6): 729~732
Liu Y, Wu C K, Chen Z Z. *Journal of Xidian University*, 2002, **29**(6): 729~732
- 8 Ma W, Boyer P, Sturm P. Camera Calibration and 3D Reconstruction from Single Images Using Parallelepipeds. ICCV, Vancouver, Canada, 2001. 142~148
- 9 Heyden A, Astrom K. Euclidean Reconstruction from Constant Intrinsic Parameters. ICPR. Vienna, Austria, 1996. 339~343
- 10 Heyden A, Berthilsson R, Sparr G. An iterative factorization method for projective structure and motion from image sequences. *Image and Vision Computing*, 1999, **17**(13): 981~991

A New Self-calibration Algorithm Based on Image Transformation

Liu Shigang, Wu Chengke, Tang Li, Jia Jing

National Key Laboratory of ISN, Xidian University, Xi'an 710071

Received date: 2004-12-07

Abstract A camera self-calibration algorithm based on image transformation is presented in the paper. The differences among all the elements of the image of absolute conic in magnitude are so large that solution is extremely sensitive to noise. To challenge the problem, the algorithm is proposed which includes two steps: Firstly, the camera intrinsic matrix is estimated. Secondly, with the estimated intrinsic matrix of the first step, all the elements of the image of absolute conic become in the same magnitude by image transformation. The theory and experiments with both simulation and real data demonstrate that the algorithm can lead to an enormous improvement in the stability and robustness of the result.

Keywords Absolute conic; Calibration; Image transformation



was born in Jiangxi province, China, on Nov. 15, 1973. He received the M. S. degree from Harbin Engineering University, Harbin, China, in 2001. Since 2002, he has been working towards the Ph. D. degree in Image Processing at Xidian University, Xi'an, China. His current main research interests are 3D reconstructions, applications of Computer Vision and virtual reality.