

# 摄像机运动参数实时跟踪算法

骆德渊, 秦东兴, 黄大贵

(电子科技大学机械电子工程学院 成都 610054)

**【摘要】**介绍了虚拟演播室系统典型结构,分析了带透镜径向畸变的小孔摄像机模型及采用径向排列约束求解摄像机参数的方法;提出基于相邻特征点间距比较/比值联合编码方案及特征点匹配算法,实现了高端虚拟演播室视景融合的核心技术。实际应用证明,在速度及稳定性方面具有较好的性能。

**关键词** 模式识别; 虚拟演播室; 摄像机跟踪; 交叉比

**中图分类号** TP311 **文献标识码** A

## Dynamic Tracking Algorithm of the Parameters of the Moving Camera

LUO De-yuan, QIN Dong-xing, HUANG Da-gui

(School of Electromechanical Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** In this paper, the typical structure of virtual studio is introduced, the method of obtaining the parameters of the moving camera based on the radial alignment constraint and the pinhole camera model which concerned radial lens distortion is analyzed. A new advanced algorithm which based on the union encoding method of the comparing and scaling value between two characteristic point is put forward, A core technology of virtual scene of high level virtual studio is realized. Through actual application, it demonstrates that this algorithm has better performance in speed and stability comparing to all the others.

**Key words** pattern recognition; virtual studio; camera tracking; cross ratio

色键技术是电视台广泛应用的一种虚拟场景制作手段,它是将演播室蓝背景(或绿背景)前的演员图像叠加在预先制作好的二维图像,但其局限性在于当演播室摄像机运动时,即使静止不动的演员在场景中的位置也会改变,演员好象是漂浮在背景上,没有完全融合到虚拟场景中。为产生出逼真视觉效果,用计算机场景工作站生成三维图形替代简单的二维图像作为演播室的“虚拟”背景,并跟随摄像机作实时调整,与演员图像同步变换,演员完全融入三维虚拟场景中。除此之外,还可制作出大量传统演播室无法实现的效果。这就是应用三维图形学、人工智能与模式识别、虚拟现实和计算机图形图像处理相结合的“虚拟演播室系统”,它是广播电视设备领域研究的热点<sup>[1~3]</sup>。

### 1 虚拟演播室系统原理

一个典型的虚拟演播室系统组成如图1所示。在虚拟演播室系统中,实时析取摄像机参数是关键。目前用于获取摄像机参数的方法有3种,即:精密机械/光学传感装置,红外/超声定位装置,模式识别及特征匹配方法计算摄像机参数。由于前两种方法存在需安装调试、使用复杂、可靠性差、改装摄像机和硬件成本较高等问题,使得虚拟演播室至今难以推广。后一种方法能够克服上述问题,是虚拟演播室技术发展的必

收稿日期: 2004-04-27

作者简介: 骆德渊(1970-),男,博士,讲师,主要从事计算机视觉及图像处理方面的研究。

然趋势。

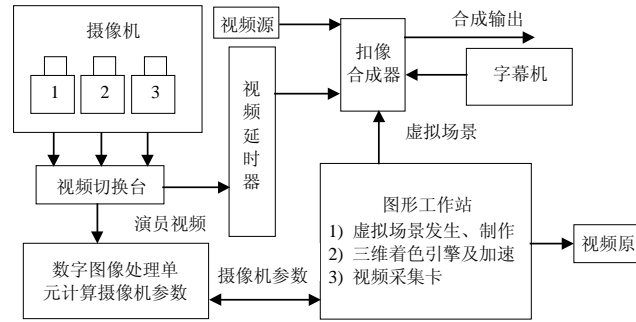


图1 虚拟演播室典型结构图

基于图像识别方法计算摄像机参数就是在演播室中放置经特别制作的蓝色网格图形，录制节目时，演播室摄像机拍摄的图像中，除演员本身图像外，还有携带摄像机参数信息的蓝色网格图形。该方法就是运用图像处理和模式识别方法从蓝色网格图形中析取摄像机参数。

## 2 基于图像识别的摄像机参数求解原理

摄像机成像几何模型和透视变换过程是摄像机参数计算的基础，也是计算机视觉的基础。因虚拟演播室系统对摄像机参数的精度要求很高，角度测量精度须达到 $0.001^\circ$ ，位置测量精度必达到 $0.1\text{ mm}$ ，比一般计算机视觉应用要求高。在摄像机各个部件中，镜头径向畸变对参数计算精度影响最大，所以采用带镜头径向畸变的小孔摄像机成像模型<sup>[4-7]</sup>。

根据小孔摄像机成像模型并结合径向约束原理得到如下线性方程组和非线性方程组<sup>[8]</sup>：

$$\begin{bmatrix} x_{wi} Y_i & y_{wi} Y_i & Y_i & -x_{wi} Y_i & -y_{wi} X_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{r_1}{T_y} \\ \frac{r_2}{T_y} \\ \frac{T_x}{T_y} \\ \frac{r_4}{T_y} \\ \frac{r_5}{T_y} \end{bmatrix} = X \quad (1)$$

$$\begin{cases} Y(1+kr^2) = f \frac{r_4 x_{wi} + r_5 y_{wi} + T_y}{r_7 x_{wi} + r_8 y_{wi} + T_z} \\ X(1+kr^2) = f \frac{r_1 x_{wi} + r_2 y_{wi} + T_x}{r_7 x_{wi} + r_8 y_{wi} + T_z} \end{cases} \quad (2)$$

在式(1)、(2)中， $f$ 为焦距， $k$ 为镜头畸变系数， $x_{wi}$ 、 $y_{wi}$ 、 $X_i$ 、 $Y_i$ 分别是特标及其相应的图像坐标就可求解摄像机参数，为提高参数求解精度和稳定性，特征点数应尽可能多。作为特征点的图像坐标，一方面本身参与计算，另一方面还应根据标定模板编码方案找到其世界坐标。图2所示给出了基于图像识别的摄像机参数的析取过程。

在机器人视觉和模式识别领域，静止摄像机参数的计算已得到较好的解决，但由于演播室摄像机的特殊性，其参数的实时跟踪还存在许多问题。从图2中可以看出，标定模板编码方案及特征点匹配是参数正确快速析取的关键。

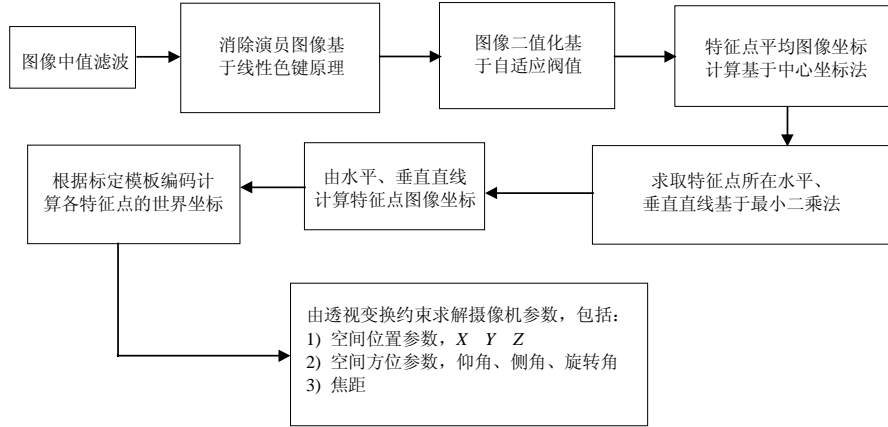


图2 摄像机参数析取过程

### 3 标定网格图案编码方案

在计算机视觉中, 空间透视不变量是模式识别及特征点匹配的重要依据。它分为局部不变量和完全不变量。完全不变量在理论上虽是完备的, 但在实际应用中, 由于系统部件的非线性失真, 完全不变量也只能是近似成立, 其计算一般较复杂, 不适合于实时性要求较高的场合。交叉比就是一种常用的完全不变量, 在几何物体识别、机器人手眼定位系统中得到广泛应用。但它仍存在以下3方面的不足: 1) 为提高其抗噪性能, 须扩大交叉比值的离散性, 但会导致特征点的分布极不均匀; 2) 对特征点间距的精度要求很高, 标定网格难以制作; 3) 对噪声敏感, 容易错误定位。

实验证明, 即使在摄像机静止不动的情况下, 同一区域标定网格的交叉比也会波动, 其误差足以导致定位错误。其根本原因是交叉比不变量的容差范围太小, 只适合于干扰运动范围较小的场合。针对虚拟演播室的应用环境, 以色列傲威 (ORAD) 公司提出了一种不等带宽度的标定模板图案编码方案, 该方法需采用高速专用计算设备进行大量的直线搜索和角点提取运算, 实现算法的成本较高。本文在总结该公司算法基础上, 提出一种基于近似不变量的标定模板图案编码方案及网格匹配算法。

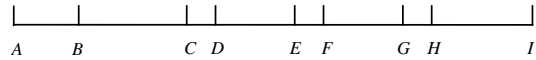


图3 相邻特征点间距宽窄比较编码示意图

相邻特征点间距的宽窄比较值是一种近似不变量, 如图3所示。通过实验得知, 线段 $AB$ 与线段 $BC$ 的长度大小关系受摄像机透视变换影响很小, 除非以极大的倾斜度拍摄, 这在演播室中是不可能出现的。允许的最大倾斜度取决于相邻特征点最小宽度比及拍摄距离, 标定模板图案上相邻特征点间距的宽窄关系与其在图像平面上相同。即在标定模板图案上若有:  $AB < BC$ , 在图像平面上同样有:  $A'B' < B'C'$ ,  $A'B'$ 和 $B'C'$ 分别是 $AB$ 、 $BC$ 在图像平面上的成像。根据实验研究得到的一种十分有效的近似不变量。一般的图像噪声和成像畸变均不会影响该值, 具有良好的鲁棒性。该标定模板图案编码规则如下: 1) 编码采用二进制编码; 2) 视标定图案大小确定编码长度; 3) 如前一相邻特征点间距大于后一相邻特征点间距, 则该二进制位为1, 反之为0, 为防止因图像噪声带来的误差, 禁止相邻两特征点间距相等。4) 为减少网格匹配所需连续特征点数, 还采用相邻特征点间距的宽窄比值进行联合编码, 得到二维编码。编码方法为: 如前一相邻特征点间距大于后一相邻特征点间距的 $\lambda$ 倍, 则该二进制位为1, 反之为0, 比值 $\lambda$ 可根据标定图案大小确定。

若选用40、55、70、85、100 mm 6种相邻特征点间距宽度, 则由此算法得到的标定图案特征点间距值序列为: 85 40 70 40 55 100 70 40 55 40 70 40 100 85 55 40 70 85 100 85 100。相邻特征点间距宽度/比值联合编码如表1所示。

在以上编码基础上, 就形成图4所示的相邻特征点间距比较/比值联合编码的特征点匹配算法。

表1 相邻特征点间距宽度/比值联合编码表( $\lambda=1.5$ )

间距序列		比较编码	比值编码	间距序列		比较编码	比值编码				
85	40	70	40	10	10	40	70	40	100	5	5
40	70	40	55	5	4	70	40	100	85	11	8
70	40	55	100	9	8	40	100	85	55	7	2
40	55	100	70	3	1	100	85	55	40	14	4
55	100	70	40	6	2	85	55	40	70	12	8
100	70	40	55	12	4	55	40	70	85	9	1
70	40	55	40	10	8	40	70	85	100	1	1
40	55	40	70	5	1	70	85	100	85	3	0
55	40	70	40	10	2	85	100	85	100	5	0

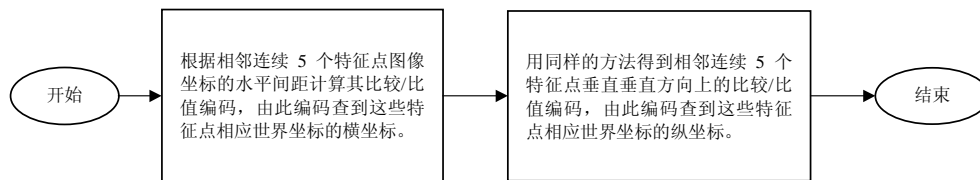


图4 特征点匹配算法

## 4 结 论

针对虚拟演播室的具体应用, 在分析现有各种运动摄像机参数标定和模式识别方法的基础上, 首次提出基于相邻特征点间距比较/比值联合使用的编码方案及特征点匹配算法。该算法已应用于国产虚拟演播室系统中, 为虚拟演播室技术的国产化奠定了一定的理论基础。该方法已获国家发明专利。

## 参 考 文 献

- [1] Bionde L. A virtual studio for live broadcasting: The mona lisa project[J]. IEEE MultiMedia, 1996, 3(2): 18-29
- [2] Gibbs S, Arapis C, Breiteneder C, et al. Virtual studio: an over view[J]. IEEE MultiMedia, 1998, 10(1): 18-29
- [3] Kazuo Fukui, Masaki Hayashi, Yuko Yamanouchi. A virtual studio system for TV program production[C]. SMPTE Journal, Montreal Canada, 1994. 386-390
- [4] Wen J, Cohn P, Herniou M. Camera calibration with distortion model and accuracy evaluation[J]. IEEE Trans. PAMI, 1992, 14(10): 965-980
- [5] Tsai R Y. An efficient and accurate camera calibration technique for 3D machine vision[C]. In Proc. IEEE Int.conf.CVPR, Raleigh NC, 1986. 364-374
- [6] Shih S W, Hung Y P, Lin W S. Accurate linear technique for camera calibration considering lens distortion solving a eigenvalue problem[J]. Optical Engineering. 1993, 32(1): 138-149
- [7] Mehrotra R. Corner detection[J]. Pattern Recognition. 1990, 23(11): 1 223-1 233
- [8] 郑南宁. 计算机视觉与模式识别[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998

编辑 孙晓丹