

# 摄像机自动标定在虚拟广告系统中的应用

陆兵 李士进

河海大学计算机及信息工程学院, 南京, 210098

E-mail: lubing421@yahoo.com.cn

**摘要:** 提出一种虚拟广告系统中的摄像机自动标定技术。该项自动标定技术首先自动提取出足球场的标志线, 通过对球场标志线的识别, 进而实现对整个球场进行自动标定。足球场标志线提取的第一步进行自适应彩色图像分割, 第二步对分割后的图像采用多次霍夫变换把标志线提取出来。摄像机自动标定需要的特征点由与世界物理坐标系下相对应的虚拟图像网格点计算得到。最后根据标定计算获得的参数将虚拟广告插入到事先设置的球场位置。实验表明该方法可以很好地满足虚拟广告系统的需要, 具有较高的实际应用价值。

**关键词:** 霍夫变换, 直线提取, 摄像机标定, 虚拟广告系统

**中图分类号** TP391.9

## 1. 引言

近年来, 视频图像处理技术飞速发展, 导致各种新颖的应用层出不穷, 虚拟广告系统即是其中之一。足球是世界上最大的体育运动项目之一, 每年都有许多重要的足球比赛在电视上转播, 吸引了数以亿计的球迷。对于一些十分精彩的足球比赛, 具有很高的收视率, 吸引了广大的球迷观看。这也为广告商带来了更多的利益, 但是广告播放的时间和空间是受限制的。为了能插播更多的广告, 虚拟广告技术应运而生。虚拟广告技术可广泛应用于各种体育或文艺节目的直播中, 将演播室制作的虚拟广告牌插入到赛场或表演场的空地上, 或用虚拟广告牌替换掉场地上原有的广告牌, 合成后可达到以假乱真的效果。并且各种二维或三维的动画广告, 更能吸引观众的注意力。

目前, 世界上比较著名的虚拟广告系统有: 以色列Orad公司的CyberSport系统, EPSIS公司的现场虚拟广告系统, 美国PVI公司的虚拟成像系统等。国内还未见同类产品报道。南京易麦嘉科技有限公司联合河海大学和南京理工大学于2001年开始进行虚拟广告系统的研制, 攻克了一系列技术难题。本文介绍其中的关键技术之一——摄像机自动标定。

首先给出系统整体架构, 如图1。

从图1可以看出, 虚拟广告系统通过获取摄像机的各种运动参数, 如摇移、俯仰、变焦, 实时生成和实际场景吻合的虚拟广告, 利用视频合成技术将广告图像叠加到实际拍摄的画面播出。我们研发的虚拟广告系统包括三大子系统: 摄像机跟踪子系统, 虚拟广告实时生成子系统以及视频合成子系统。摄像机标定是摄像机跟踪子系统正常工作的前提。在一期原型系统中[1], 摄像机标定是通过人机交互方式实现的(下称手工标定)。

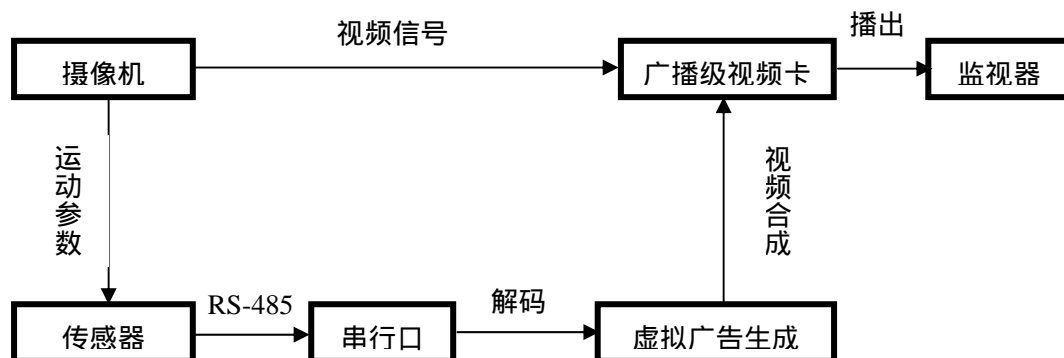


图1 虚拟广告系统架构图

手工标定有如下缺点:首先,手工标定需要通过一次次的点击鼠标来获得相应的图像坐标,受操作人员工作状态的影响,比较容易出错;其次,画面上的每个点在手工标定时总会出现一些误差,严重时会影响标定结果的精度;最后,手工标定对于点的输入顺序也有要求,必须按照要求输入点,只要一个点输入错误,标定的结果都将是错误的。为了克服上述问题,本文研究实现了自动标定技术对球场进行标定。

本文余下部分是这样安排的:第二节主要介绍球场标志线的提取,第三节给出了一种新的简单易用的标定方法,第四节描述了如何利用标定得到的参数进行虚拟广告的添加,并给出了部分样图,最后总结全文,探讨进一步改进的方向。

## 2. 球场标志线分割与提取

### 2.1 球场草坪主色提取

为了提取球场标志线,我们必须首先分割出球场,这样可以在后续阶段提取识别直线时排除球场外直线或观众席的干扰。因此,球场提取是本文工作的第一步,这一步主要通过彩色图像分割来实现。

在本文研究过程中,假设球场是待分析图像中最大的区域。这就意味着彩色直方图中最大的峰所对应的是球场草坪颜色。本文选择了HSI彩色空间,因为这种彩色模型十分接近于人的视觉特性。HSI彩色模型中,H分量表示色度,即颜色刺激的主波长。H的定义域是 $[0, 360]$ 。我们使用H的直方图对彩色图像进行分割。图像直方图的形状可给出图像特性的许多信息。多峰型灰度直方图反映图像中存在多个不同灰度区,H分量直方图的多峰则表示图像中有多个颜色不同的区域。我们假设每个区域的色度近似服从正态分布,其均值为峰的中心,方差则根据峰的邻域进行估算。根据图像H直方图中峰的位置和估算出的方差,运用 $3\sigma$ 准则对彩色足球场图像进行分割。

### 2.2 球场标志线分割

球场标志线的分割采用了高斯拉普拉斯算子,目的是为了突出草坪上的标志线。高斯拉普拉斯算子(LOG)是图像边缘提取的最佳算子,在对足球场地的标志线的提取中它要优于单个的高斯模板或是拉普拉斯模板。足球场地上的标志线都是分布在绿色草坪上的,而且球场标志线的颜色通常是白色的,在灰度图像上草坪和标志线有着明显的差别。相对于大块的草坪,球场标志线上的点都可以看成是边缘点,采用高斯拉普拉斯算子可以很好的将球场上的标志线分割出来。

将球场的灰度图像与高斯拉普拉斯滤波模板进行卷积,本文采用的是 $5 \times 5$ 的高斯拉普拉斯模板。完成卷积后,若得到的值大于事先设定的阈值,就可以认为该点是标志线上的白点。将所有大于设定阈值的点都置成白色,其余的点都置成黑色,这样可以得到球场的二值图像(其中的白色的点主要代表的球场的标志线,当然也有一部分噪声)。对这幅二值图像作些必要的预处理,如形态学的操作,可以将球场上的球员留下的噪声点去除,这样有利于减少参与霍夫变换的特征点的个数,从而减少了霍夫变换运算的时间。

### 2.3 霍夫变换

霍夫变换是图像处理技术中用来检测直线、曲线的经典方法。最基本的霍夫变换是从黑白图像中检测直线(线段)。霍夫变换的基本思想是点线的对偶性,即图像空间中共线的点对应于在参数空间里相交的线,而在参数空间中相交于同一点的所有直线在图像空间里都有共线的点与之对应。霍夫变换根据这些关系把图像空间中的检测问题转换到参数空间,通过参数空间中的累加统计完成检测。

霍夫变换对于提取单一的一条较长的直线没有问题,但对于存在多条标志线的足球场存在一定的困难。如果采用传统的方法,在霍夫变换空间上先找到一个最大的峰值点,再在峰值点周围的一个较小的窗口内进行清零工作[2],会遇到两个问题:第一,窗口太小将会出现

假的峰值点,即不能将该标志线峰值点周围的较大值完全清除,在寻找下面峰值点的时候仍有可能找到该条标志线;第二,若窗口太大,将会把其它较短标志线的峰值点给清除掉,因为它们在角度范围上比较接近并且截距的差值也不是很大,这样将导致不能正确地识别出所有的标志线,给下一步的球场线的确认工作带来困难。球场上的这些标志线可以分为两组,而每组标志线在实际物理球场上都是平行的。从角度上讲标志线的位置十分的接近,这样会造成清零工作时将较短的未提取出来的标志线的峰值点给清除掉,进而该条标志线就不可能识别出来,给后继的球场模型的确认带来困难。我们希望能够找到所有的标志线,特别是较短的线,但是不能重复。按照霍夫变换的规律越长的标志线越先找到。当找到最长的线后,有可能第二次还是找到了该条标志线,第三次还是,因为该条标志线很长,这就给后面的标志线识别带来了困难。

Szenberg 等[3]研究了足球比赛图像序列的摄像机自动标定方法。他们采用协方差矩阵分析的方法提取直线上的点。在标志线的识别时采用了基于模型的方法,事先制订了一组准则,然后利用树型结构来判别。树的每一个节点的确认都必须根据一系列的准则来实现,比较烦琐。而本文中线条的确认阶段依据球场的模型进行了较简单有效的识别,首先通过霍夫变换,可以识别出最长的那条标志线,然后基于这条标志线对整个球场的标志线进行分组识别。

刘国翌,杜威和李华[4]提出了足球场地标志线的自动提取算法并用于足球场的三维重建和视频解说。文章描述了从足球比赛录像中自动提取禁区线和球门线的方法,主要使用了数学形态学,霍夫变换,最小二乘法等多种方法来提取直线参数。文章中直线的提取侧重于形态学的方法,如使用了 Top-Hat 变换。

为了能正确的将球场标志线全部的提取出来,本文在前一步对球场图像分割后,采用多次霍夫变换来提取标志线。我们的策略是将提取得到的标志线在原来的霍夫变换的图像上擦除掉,这样对上述清零问题得到了很好解决。通过对峰值点的提取可以知道该标志线对应的斜率和截距,从而可以确定该标志线在图像上的位置。并且在霍夫变换的图像上抹掉刚刚提取的标志线,也能更好的突出未提取出来的标志线。

## 2.4 球场标志线识别

通过上一步的处理可以将球场禁区内的标志线全部提取出来,下一步的工作主要是将提取出来的候选标志线与球场模型上的标志线进行匹配对应,即分别识别出这些候选的标志线分别是球场上的哪些线。根据球场左右半场模型的不同,我们可以分别对左半场和右半场进行不同的识别。

我们以右半场为例来分析球场标志线的识别过程。首先,球场禁区线是由两组标志线组成的,且每组标志线组内的标志线都接近于平行。其次,与球门线接近于平行的那组标志线的斜率都是小于0的,而另一组标志线的斜率都是大于0的。通过这一差别,我们可以将候选的标志线将分成两组。对于斜率小于0的那组标志线,通过对截距的比较可以将球门线与其它两条标志线区分开来,因为球门线具有最大的截距。对于另一组标志线的识别可以通过比较与刚才识别出来的另两条标志线是否有交点来判断,加上截距的信息可以更加确认的识别出大禁区上的那两条标志线。

## 3. 摄像机自动标定

摄像机标定是通过已知坐标的空间点和图像点之间的对应关系来建立摄像机模型参数的关系方程,然后通过优化算法来求取这些参数。其中最具有代表性的是 Tsai 所提出的基于径向排列约束的标定算法[5]。通过摄像机的自动标定可以将物理球场上的点与图像中的像素点对应起来,进而可以实现虚拟广告的添加。所以球场的自动标定是虚拟广告添加的关键。

### 3.1 虚拟网格特征点的生成

摄像机标定算法对摄像机模型参数的计算是通过对特征点对建立方程,然后联立方程组,采用最小二乘法解超定方程组来得到摄像机的内外参数。通过对最小二乘法原理的了解,我们知道当所获得的特征点较多且分布较均匀时可以得到很好的标定结果。本文采用 20 组对应的特征点来进行摄像机的自动标定。在球场标志线的自动提取中,我们已经得到了球场大禁区的四条标志线的斜率和截距。对于自动标定时要使用的图像上的 20 个特征点采用网格化大禁区的方法自动生成。在球门线方向上对大禁区进行三等分,在与之垂直的方向上对大禁区进行四等分。通过求解这四条大禁区标志线和五条虚拟的网格线的交点,可以得到图像上 20 个特征点的像素坐标。由于这些点都在球场的大禁区标志线和虚拟的网格线上,可以很容易地将它们与实际的物理坐标点进行对应。

对于五条虚拟的网格线的获得需要通过平面单应性矩阵 (Homography) 来求取。平面单应性矩阵  $H$  给出了同一平面在不同视角下的两幅图像之间的关系[6]。设  $X$  和  $X'$  是空间平面  $\pi$  上某点在两幅图像上的投影,则满足式(1):

$$X' = HX \quad (1)$$

设  $(x, y)$  和  $(x', y')$  分别是空间一点在左右两个视角成像面的投影,则公式表示为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中“=”表示比例意义上的相等。这里的  $(x, y)$  和  $(x', y')$  分别代表了像素坐标点和物理坐标点。由图像上大禁区四条标志线的交点和实际球场上的大禁区线的四个交点可以得到八个方程,联立这八个方程可以获得一个方程组。将公式(2)中  $h_{33}$  固定为 1,求解该方程组便可得到平面单应性矩阵  $H$  (当点数较多时可采用最小二乘法求解平面单应性矩阵  $H$ )。

把一个已经将大禁区进行网格划分好的模板与图像中的大禁区作对应,利用刚才求解得到的单应性矩阵  $H$ ,可以将图像中的大禁区网格化,生成虚拟网格特征点。实际中计算得到了 20 个特征点对。

### 3.2 球场的自动标定

球场的自动标定采用基于径向排列约束的两步标定算法[5]。对于每一组特征点都可以得到一个方程,将这些方程联立起来可以获得一个方程组。该方程组的未知数的个数小于方程的个数,是一个超定方程组。通过最小二乘法可以求解该方程组的解获得有关摄像机的内参数和外参数。这种方法简洁、快速、准确,避免了非线性优化的搜索,并且使基于径向排列约束 (RAC) 两步法的标定过程都可以通过求解线性方程组来实现,适用于快速标定摄像机的场合。

## 4. 虚拟广告的添加

摄像机自动标定完成之后,也就确定了摄像机的内外参数。通过这组参数可以确定世界物理坐标系下的一个点与图像上的一个点的一一对应。这样就可以计算出虚拟广告应该添加的位置,将实际物理坐标系下应该添加的广告的位置,透视变换后的形状,大小确定好,比如在球场球门的一侧或两侧。把要添加的广告的四个顶点的坐标换算到图像上的像素点的坐



标可以得到虚拟广告的位置,再把广告图像或视频按照上述计算出的结果进行处理,叠加在背景视频流上,最后输出合成的视频信号。

图2给出了一幅足球比赛图像分割、直线提取以及虚拟网格生成的过程;图3是添加了虚拟广告后的画面图像;图4是图3中添加的广告原图。

## 5. 结束语

本文主要介绍了利用多次霍夫变换提取足球场的标志线,并通过对标志线的识别对整个球场进行自动标定。足球场标志线的提取主要是进行彩色图像分割,然后对分割后的图像采用多次霍夫变换提取标志线。针对虚拟广告系统的特殊需要,本文提出了基于生成虚拟网格点的摄像机标定方法,巧妙地解决了标定特征点数目不足以及标定算法的稳定性问题。

下一步主要工作是研究解决球场禁区未被拍摄完全时球场的自动标定问题以及将本文方法推广到其他体育比赛。

## 6. 致谢

感谢南京易麦嘉科技有限公司王晖对本文工作提供的帮助。

### 参考文献

1. 王建宇,刘哲等,虚拟广告系统关键技术研究,系统仿真学报,2005,17(7):1686-89
2. Yasutaka Furukawa, Yoshihisa Shinagawa, Accurate and robust line segment extraction by analyzing distribution around peaks in Hough space, Computer Vision and Image Understanding 92 (2003) 1-25
3. F. Szenberg, et al, Automatic Camera Calibration for Image Sequences of a Football Match, in Proceedings of ICAPR 2001, LNCS 2013, 301-310.
4. 刘国翌,杜威,李华,足球场地标志线的自动提取,计算机辅助设计与图形学学报,2003,15(7):870-74
5. 郑南宁,计算机视觉与模式识别,国防工业出版社,北京,1998
6. 马颂德,张正友,计算机视觉,科学出版社,北京,1998

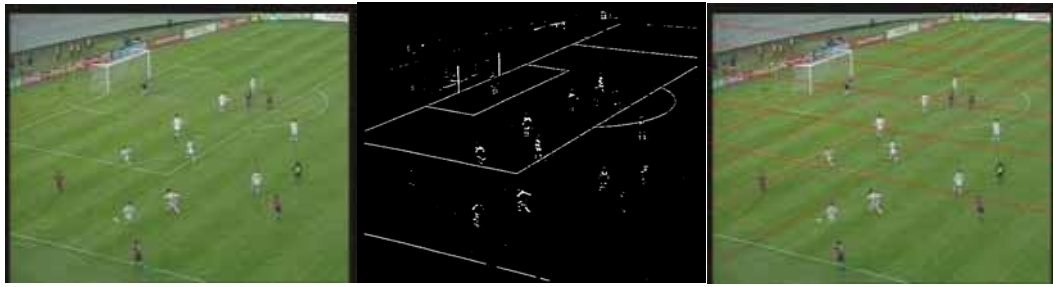


图 2(a)一幅足球比赛图象

图 2(b) 草坪提取及直线分割

图 2(c) 生成的虚拟网格 (红线)



图 3 在实际比赛中插入两幅广告图象 (见图 4) 的效果图



图 4 两幅广告图象

## The application of automatic camera calibration technique for virtual advertisement insertion system

Lu Bing Li Shijin

School of Computers & Information Engineering, HOHAI Univ., Nanjing, 210098

### Abstract

The automatic camera calibration technique for virtual advertisement insertion system is presented in this paper, which is made up of three steps: soccer field line extraction, the matching between real model and the lines, and the calibration based on virtual grid feature points. The first step depends on adaptive color image segmentation and multiple Hough transforms. And in the second step a new four-line soccer field model has been built, which facilitates the last step of camera calibration by generating a set of virtual grid points. Simulation results have shown that the proposed technique is capable of fulfilling the needs of virtual advertisement insertion system for soccer video broadcast.

**Keywords:** Hough transform , line extraction , camera calibration , virtual advertisement insertion system