

足球视频三维重建中的摄像机标定及球员检测*

于俊清⁺, 王 旋, 何云峰

(华中科技大学 计算科学与技术学院,湖北 武汉 430074)

Camera Calibration and Player Detection in 3D Reconstruction

YU Jun-Qing⁺, WANG Xuan, HE Yun-Feng

(School of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

+ Corresponding author: E-mail: yjqing@hust.edu.cn, <http://media.hust.edu.cn>

Yu JQ, Wang X, He YF. Camera calibration and player detection in 3D reconstruction. *Journal of Software*, 2008,19(Suppl.):151-160. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/19/s151.htm>

Abstract: Based on the analysis of the existed research works, an improved GLA (generalized Lloyd algorithm) based method in LUV color space is employed to segment the playfield region. The camera calibration strategies in forbidden and middle zones are proposed. Using the dominate color of playfield, the region, which contain the playfield color, and the lines, which are independent of player and football, are filtered simultaneously. Line filling algorithm is applied to detect the player region and obtain the player's coordinates. Experimental results show that the proposed algorithms are effective and robust.

Key words: camera calibration; court model; middle zone; player detection

摘 要: 在分析现有研究方法的基础上,在 LUV 颜色空间中利用改进的广义劳埃德聚类算法(GLA)检测并确定球场区域,提出并设计了通过足球视频的禁区和中圈区域实现摄像机标定的方法.利用球场主色,去除了含有球场色的区域并同时虑掉了球场标志线等与球员和球无关的信息,然后使用线填充算法实现球员的连通区域的提取,并最终获取了球员的位置坐标.实验结果验证了算法具有很好的效果.

关键词: 摄像机标定;球场模型;中圈;球员检测

近年来,足球视频的高层语义分析逐渐成为计算机视觉中的一个研究热点.足球视频的三维重建可用于交互式电视转播、辅助训练、足球视频自动分析、误判问题的解决以及三维动画生成等应用领域.摄像机标定和球员检测是足球视频三维重建的重要步骤,受到了国内外研究者的广泛关注.在文献[1]中设计了一种通过预先确定 4 个特征点的方法用于网球视频的摄像机标定,但是这种方法需要前期的手工预处理.在文献[2,3]中介绍了一种用于足球视频的标定方法,利用旋转与缩放相机的自标定技术估计相机的内参数,需要在参数空间进行复杂而且耗时的前期计算.文献[4]中运用 Hough 变换检测网球视频球场线作为摄像机标定的基础,但该方法运用试探性的思想将检测到的直线与球场模型中的直线对应起来,无法适用于图像中出现的球场直线条数有限

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60703049 (国家自然科学基金); the China Postdoctoral Science Foundation under Grant No.20060400847 (中国博士后科学基金); the Wuhan "Chen Guang" Foundation for Young Scientists of China under Grant No.200850731353 (武汉市青年科技晨光计划)

Received 2008-05-03; Accepted 2008-11-14

的情况,因此缺乏通用型.以上算法都是对具有标志直线的区域的摄像机标定,基于足球视频中圈区域的摄像机标定算法仅在文献[5]中被提出,在获取中圈椭圆参数的基础上寻找摄像机标定的特征点.该算法使用通用的 Hough 变换检测椭圆参数,利用了一定的球场中圈区域的领域特征(如中圈上的中线特征)来辅助中圈椭圆的检测.球场的中圈区域中存在更多可以挖掘的领域特征用于椭圆中圈的检测,多结合相关的领域知识,可以提高中圈椭圆检测结果的准确性和降低算法的复杂度.文献[6]中的球员分割算法直接利用图像 R/G/B 各颜色分量的统计信息进行分割,不能有效地去除噪音.文献[7]中根据足球场地的颜色特征,利用在 RGB 空间的各颜色分量差值的统计信息,从视频序列中自动分割球员.文献[8]中的球员分割算法,结合 RGB 颜色空间和 HSV 空间的信息,更有利于过滤球场的草坪区域,对出现阴影面的球场区域同样有效.以上算法在去除球场色的基础上,均需要进一步去除球场标志线等噪音的影响,然后才能实现球员的分割,因此效率较低.

在系统分析足球视频的领域特征和现有摄像机标定方法的基础上,本文提出基于球场模型的摄像机标定方法.在禁区区域内,通过对球场模型的分析以及利用球场标志线均为白色像素这一特性,实现了基于禁区模型的摄像机标定.在中圈区域内,提出一种新的基于球场中圈领域特征的中圈椭圆检测的方法,该方法与现有的椭圆检测方法相比,具有设计简单、计算量小、速度快的特点.在球员坐标的获取上,我们在采用文献[9]中提到的改进的 GLA 聚类算法实现球场色去除的同时完成了对球场标志线的过滤,减少了计算的步骤.

1 基于球场模型的摄像机标定算法

足球视频三维重建的关键是得到球场上目标在世界坐标系下的坐标,而从视频中可以得到的只是目标在图像坐标系下的坐标,这就需要求得图像坐标系到世界坐标的投影矩阵,这个过程通常被称为摄像机标定.在足球视频中,具有确定的球场线以及中圈的位置关系,这为我们进行摄像机标定提供了很好的条件.基于球场是平面的这一条件,三维球场与二维视频之间可被近似地认为是平面到平面的投影映射关系.该投影关系可用八参数的单应矩阵 H 表示,即世界坐标系中的点 $p(x,y,z)$ 与图像坐标系中的点 $p'(x',y',z')$ 可用关系 $p=Hp'$ 表示,公式(1)给出了坐标之间的变换关系.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{00} & h_{01} & h_{02} \\ h_{10} & h_{11} & h_{12} \\ h_{20} & h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \quad (1)$$

从公式(1)中可以看出,要确定单应矩阵中的各个参数,至少需要获得不在同一条直线上的 4 对图像坐标系中点的坐标以及这些点在世界坐标系中的对应坐标,我们把这种易于确定其世界坐标系中的位置坐标的点称为特征点.在本文中,取如图 1 所示的各禁区线的交点或中圈椭圆边界上的点作为特征点.因此,摄像机标定的问题可以归结为以下两个问题:

- (1) 如何提取特征点.
- (2) 如何确定特征点在世界坐标系中对应点的位置.



Fig.1 Characteristic points in camera calibration in soccer video

图 1 足球视频摄像机标定的特征点

下面分别介绍在禁区区域和中圈区域中解决这两个问题的具体方法和步骤.

1.1 球场区域检测

用于摄像机标定的特征点均出现在球场区域上,球场区域检测作为摄像机标定以及球员检测的预处理,是球场三维重建的关键步骤.GLA 算法是一种典型的 VQ(vector quantization)方法,是以寻找最优矢量量化器为目标的迭代聚类算法.寻找最优量化器的过程就是矢量聚类过程,所以 GLA 算法可以用来对球场颜色进行分类.本文采用改进的 GLA 算法提取球场主色,引入了一种分裂和合并机制消除初始码书对分类效果的影响.然后采用寻找主色区域凸外集的方式确定球场区域的边界.最后填充这个边界内的区域,构造球场区域的二值 mask 矩阵,获取球场区域,详细的步骤参见文献[9].球场区域检测的过程如图 2 所示.其中图 2(b)为对球场主色分类后的 mask 矩阵,图 2(c)是在图 2(b)的基础上提取得到的球场的上边缘,图 2(d)为球场区域提取的结果.球场区域的检测,为在球场区域上提取特征点提供了有利的条件,同时也为球员检测中的球场色过滤提供了基础.

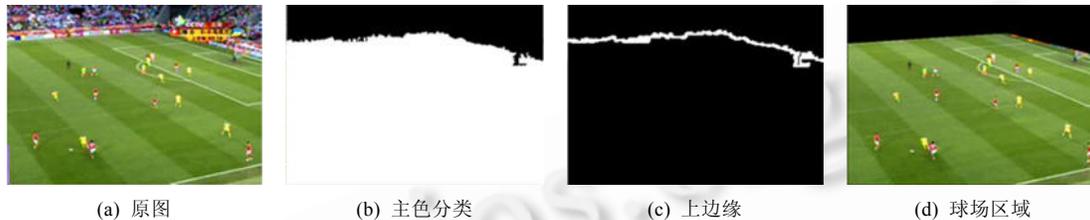


Fig.2 Illustration of playfield detection

图 2 球场区域检测示意图

1.2 基于禁区模型的摄像机标定

基于球场禁区模型的摄像机标定算法的基本思想是在待处理的帧图像中提取出可见的禁区直线和球场边界线,直线的提取方法参见文献[10].按照禁区线在球场上的位置,可将检测到的直线分为垂直和水平两类.根据其于球门线的位置关系,这里将与球门线垂直的直线称为水平线,其他称为垂直线.按照一定的顺序将水平、垂直线排列,如图 3(e)~(h)所示.当出现在图像中的水平直线条数大于 4 条,垂直直线条数为 3 条时,通过计算水平直线间的比例关系来确定出现的直线在模型中的位置.若不满足上述条件,则在图像中分别确定两条垂直、水平直线作为标志线,利用排列组合的方法,在禁区模型选取若干对可能与标定线位置相对应的模型线.对于这样的每一组禁区线的组合,获取其两两相交的点计算得到一个单应矩阵 H_m .选择准确度最高的 H_m 为摄像机标定的单应矩阵 H .算法流程如图 4 所示.

在实验中我们发现,当出现的水平直线条数大于 4 条,垂直直线条数为 3 条时,禁区线以及球场边界线的条数以及线段间距离的比例关系能够为禁区内的摄像机标定提供可靠的基础.尽管摄像机在拍摄的过程中图像发生了一定的变形,但是各线段间的关系仍然保持着一定的比例关系.

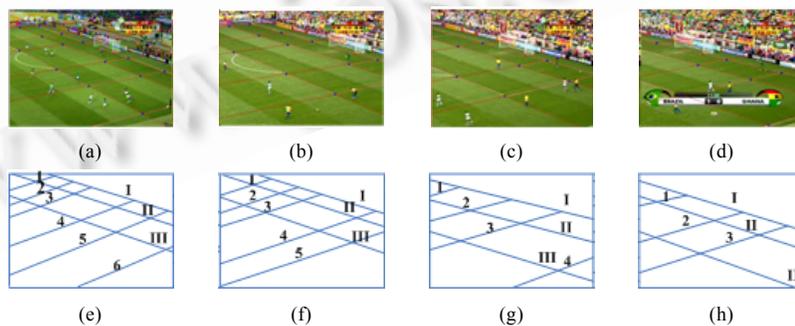


Fig.3 Illustration of lines distribution in forbidden area

图 3 禁区模型中的直线分布示意图

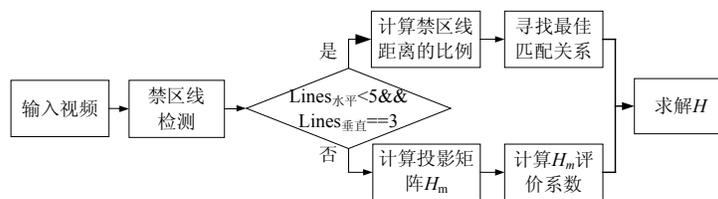


Fig.4 Flow chart of camera calibration in forbidden zone

图4 禁区区域内摄像机标定的流程图

(1) 图中6条水平线以及3条垂直线均出现.

此时容易确定各条直线在模型中的位置,可以任取其中不在同一条直线上的4个点进行摄像机标定.如图4(a)中所示.

(2) 图中水平直线条数为5条,垂直直线条数为3条.

① 水平直线12的距离与水平直线23间的距离的比例满足 $1 < d_{12}/d_{23} \leq 1.2$, 水平直线23与水平直线34间的距离比例满足 $1 < d_{34}/d_{23} \leq 3$, 此时可以判断出现的水平直线是离原点距离最大的水平边界线和4条水平禁区线,垂直直线(两条垂直禁区线和球门线)全部出现.任取其中两条为图像中的水平、垂直标定线,如图4(b)所示.

② 若不满足①中关系,则出现在图像中的水平直线离原点距离最小的水平边界线和4条水平禁区线.

当水平直线条数小于5条时,由于摄像机在拍摄过程中产生的畸变,仅仅依靠水平直线间的比例关系不足以判断出现在图像中的水平直线与模型中水平直线的对应关系,或是当出现的垂直直线条数为2条时,无法确定出现的直线是(I,II)还是(II,III).在这种情况下,需要在图像中分别确定两条垂直、水平直线作为标志线,利用排列组合的方法,在禁区模型选取若干对可能与标定线位置相对应的模型线.选择准确度最高的 H_m 为摄像机标定的单应矩阵 H .

那么,在图像中如何确定标志线,如何在禁区模型选取可能与标定线位置相对应的模型线,才能尽可能地减小 H_m 的计算次数呢?在本文中,我们分别选取间隔最大的两条平行、垂直线作为标定线.在模型线的选择上,选择与标定线的间隔相同的模型线与之对应,分别计算 H_m .如图4(c)中标定线为(1,4,I,III),图4(d)中标定线为(1,3,I,III).选取的水平、垂直直线的间隔越大,模型中可能与之对应的模型线对数就越少, H_m 的计算次数相应也就越少.

在完成了 H_m 的计算后,又如何衡量 H_m 的准确度呢?世界坐标系下禁区模型的每条线段经过投影到原始图像的二值图中,覆盖的白色像素数目 Eva 的多少表示了 H_m 的准确与否,公式(2)给出了具体的计算公式.

$$Eva = \sum_{i} \sum_{p_j} \begin{cases} 1, & d(x,y) = 255 \\ 0, & d(x,y) = 0 \text{ or } (x,y) \text{ out of the image} \end{cases} \quad (2)$$

其中, i 表示禁区模型内的每条禁区线, p_j 表示每条禁区模型上的点坐标.每条禁区模型线通过单应矩阵投影到图像坐标系下,经过投影后线段上对应的离散点 (x,y) 在二值图像中对应的值 $d(x,y)$ 如果为255,即为白色像素,则该 H_m 对应的评价系数 Eva 加1;如果 $d(x,y)$ 为0或者该点 (x,y) 在图像范围之外,则不作处理.对每个 H_m ,根据公式(2)计算其评价系数 Eva ,系数最大的 H_m 为最佳效果的单应矩阵 H .图5(a)即为评价系数 Eva 最高的 H_m .

(a) 评价系数最高的 H_m (b) 评价系数低的 H_m

Fig.5 Illustration of projection comparison in forbidden area

图5 禁区投影对比示意图

1.3 基于中圈模型的摄像机标定

中圈区域作为足球场地上重要的组成部分,与禁区区域同为球员活动的集中区域,吸引着观众的注意力.中圈区域上的中线标志线与中圈椭圆标志,同样能为实现摄像机标定提供良好的基础.与禁区模型的摄像机标定有所不同,中圈中的特征点集中在椭圆区域上,中圈椭圆参数的获取成为实现中圈内摄像机标定的关键问题.在获取中圈椭圆的基础上,容易判断椭圆上的特征点在模型中的相对位置.这里,我们利用球场中圈的领域特征准确快捷地实现中圈椭圆检测.众所周知,椭圆方程如公式(3)所示.

$$\frac{(X-x_0)^2}{a^2} + \frac{(Y-y_0)^2}{b^2} = 1 \quad (3)$$

其中, (x_0,y_0) 为椭圆中心, a 和 b 分别为椭圆的长轴和短轴.已知椭圆以上参数即可求解椭圆方程.中圈椭圆检测算法流程如图6所示.

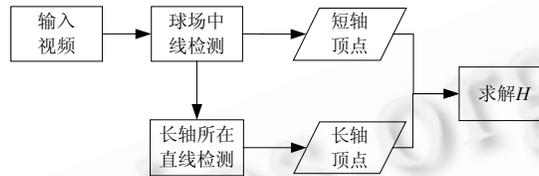


Fig.6 Flow chart of ellipse detection in middle zone

图6 中圈椭圆检测的流程图

具体步骤如下:

Step 1. 球场中线的检测.利用直线检测算法检测中线,确定椭圆短轴的位置,如图7(a)所示.

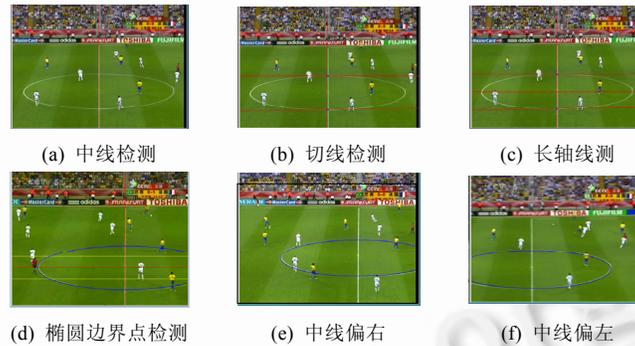


Fig.7 Illustration of middle zone detection

图7 中圈检测示意图

Step 2. 短轴端点的确定.利用中线与椭圆相交处的椭圆边界近似于直线这一特点,通过直线检测算法得到椭圆在该处的切线,取两条切线 $up_tangentline$ 和 $down_tangentline$ 与中线的交点作为椭圆短轴端点.如图7(b)所示.

Step 3. 利用 Step 2 中短轴两端点处的切线近似平行这一特点,取两切线的中线作为椭圆的长轴所在段 $line(up_line=line,down_line=line)$.如图7(c)所示.

Step 4. 取 up_line 与 $up_tangentline$ 的中线 up_middle , $down_line$ 与 $down_tangentline$ 的中线 $down_middle$, 若中线位于图像的偏右方,此时从 up_middle 和 $down_middle$ 最左侧开始寻找椭圆边界点;反之,则从右侧开始寻找椭圆边界点.若 up_middle 和 $down_middle$ 上出现的第 1 个白色像素点 up_point 和 $down_point$ 均为椭圆边界上的点(上下白色像素点总数 Sum 满足 $T_m < Sum < T_n$, 左右白色像素点数 Sum' 满足 $T_p < Sum'$, 本文中取 $T_m=1, T_n=7, T_p=2$), 并且点 up_point 和点 $down_point$ 关于直线 $line$ 近似对称($|up_point.x-down_point.x| < 6$), 则转向

Step 5. 否则, $up_tangentline=up_middle, down_tangentline=down_middle$ 或 $up_line=up_middle, down_line=down_middle$, 继续转向 Step 4. 实验表明, 中圈椭圆的四周均被球员遮挡或是均被噪音影响的情况并不常见, 因此, 在 up_middle 和 $down_middle$ 上的第 1 个白色像素点终会出现椭圆的边界点.

Step 5. 根据提取到的椭圆边界点, 求解椭圆方程. 图 7(e)和图 7(f)分别为中线偏右和偏左情况下的椭圆的检测结果.

按照上述步骤即能准确得到椭圆方程. 在椭圆上选取不在同一条直线上的 4 个点完成中圈球场上的摄像机标定计算.

2 球员的分割与定位

足球视频三维重建的关键是得到球场上目标在世界坐标系下的坐标, 球员作为球场上的运动目标, 获得其在图像中的位置, 是实现三维重建的重要一步. 由于球场上的球员表现为草坪上非绿色的块状区域, 本文采用的方法是先将球场上属于草坪的像素点进行过滤, 在剩下的像素点中提取出连通区域, 这些连通区域中必然包括所要提取的目标球员的区域, 然后根据形状信息, 对这些区域进行分类判断是否是球员, 从而确定球员在球场上的坐标位置.

2.1 球场主色区域过滤与球场标志线的去除

在绿色草坪被过滤后的二值图像中, 剩下的白色像素点是球员、足球、球场标志线以及一些噪声干扰, 球场标志线粘连球员的情况会干扰球员的准确提取, 因此在提取球员区域前, 需将球场标志线去除. 这里我们使用第 1.1 节中提到的主色提取算法, 在过滤球场色的同时实现了球场标志线的去除, 如图 8(c)所示. 用于主色提取的 GLA 分类算法是依照当前码书对图像颜色进行分类. 首先依据最近邻规则将颜色值归入对应簇; 然后采用基于颜色平均的方式重新计算簇质心. 球场上的标志线的宽度有限, 其颜色值被归入了邻近的颜色簇中, 因此在使用 GLA 分类算法过滤球场主色的同时能过滤掉球场标志线等狭长的区域.

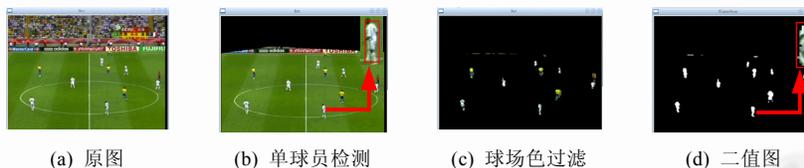


Fig.8 Filtration of the dominant color of playfield

图 8 球场色过滤示意图

2.2 球员区域的提取

从图 8(c)中可以看出, 经过球场色的过滤和数学形态学操作后, 球场上只剩下若干大小不等、形状各异区域. 这些区域可能是球员、足球, 或其他区域. 以连通为条件将这些区域提取出来, 以便进行分类操作提取球员区域. 球场上连通区域的提取在二值图上进行, 图 8(c)转化为二值图 8(d). 连通区域提取算法的具体步骤如下:

Step 1. 初始图 8(d)所有像素为未标记的, 区域数目 num 初始化为 0.

Step 2. 以光栅顺序扫描二值图像图 8(d).

Step 3. 若出现的第 1 个白色像素 p 像素未标记过, 则记下该像素出现的位置坐标 $p(i, j)$. 从该像素开始, 向右侧寻找与其相邻的白色像素点 q , 以 pq 为种子直线, 利用线填充算法寻找与之连通的区域, 将该区域内所有像素标记, 并记下该区域内上下左右 4 个方向上的最外侧点.

Step 4. 从点 $p(i, j)$ 开始继续以光栅顺序扫描二值图像图 8(d), 若图像扫描结束, 则转向 Step 5; 否则, 转向 Step 3.

Step 5. 扫描结束.

图 8(b)和(d)中箭头所示即为在原始帧图像和二值图中某连通区域的检测结果. 该区域是球员的区域, 但是

由于噪音等多种因素的影响,提取出的区域并不全是球员的区域.例如,由于球场检测的不完全准确,造成看台区域没有被完成过滤,该看台区域也会被作为连通区域.因此,需要利用各区域的形状信息进行分析和处理来提取出属于球员的区域.

2.3 区域的分类

球员在球场上是运动的非刚体物体,没有固定的外轮廓.根据观察,球员的大小在中长镜头中有一定的范围,所以球员区域中的像素点总数在一个阈值范围之内.同时,球员通常都是以站立的姿态出现,这对球员区域外接矩形的长宽比就有了一定的限制.如图9中各球员所示.



Fig.9 Illustration of player regions

图9 球员连通区域示意图

在这里,将球员区域外接矩形的高记为 $H(Region_i)$,宽记为 $W(Region_i)$,球员区域中白色像素点的个数记为 $WhitePix(R_i)$.

判断区域是否是球员的方法如公式(3)所示,其中的阈值为经验值:

$$T = \begin{cases} 1, & 250 < WhitePix(R_i) < 4500 \text{ and } 1 < ratio_1 < 5 \text{ and } ratio_2 > 0.35 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $ratio_1$ 是外接矩形的宽高比, $ratio_1 = H(Region_i)/W(Region_i)$, $ratio_2$ 是在其外接矩形中的所占的面积比, $ratio_2 = SumWhite(Region_i)/H(Region_i) \cdot W(Region_i)$.

球员检测是在经过球场色过滤处理的二值图中进行的,在二值图中,看台区域以及球场上属于草坪的像素被过滤后均为黑色.而球员区域中球员的头部为黑色,因此在二值图上确定球员的外接矩形区域时,漏掉了球员头部区域.在球员位置坐标的获取上,我们取球员区域的外接矩形底边的中点作为球员在图像中的位置坐标,因此,球员头部区域的漏检并没有对球员的重建造成太大的影响,不会影响到球员三维位置坐标的确定.

3 实验结果分析

本文选取2006年世界杯的比赛视频片断作为测试数据.图10中为西班牙队对法国队上半场比赛中摄像机对准禁区的镜头,图中所示为利用摄像机标定的结果,将球员定位到三维球场中,球场上四边形表示摄像机拍摄到的区域.实验表明在直线检测无误的情况下能保证摄像机标定的准确性.在进行形态学操作突出白色像素的步骤中,远离摄像机的小禁区线较短且远离摄像机,有漏检的可能;或是球门柱被误检为禁区直线,这些由于直线检测造成的误差会造成摄像机标定的不准确.表1给出了所示禁区内直线检测和摄像机标定结果的统计分析.



Fig.10 Camera calibration result in forbidden zone

图10 禁区内的摄像机标定结果示意图

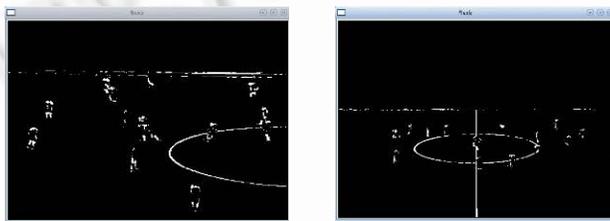
Table 1 Recall ratio and precision of camera calibration in forbidden zone**表 1** 禁区内摄像机标定查全率与准确率

帧数	禁区内直线检测			禁区内摄像机标定	
	正确帧数	查全率(%)	准确率(%)	正确帧数	准确率(%)
822	696	84.7	94.6	696	84.7

图 11 为中圈区域摄像机标定结果,选取视频为法国队对巴西队上半场比赛中摄像机对准中圈的镜头.实验表明当中线以及椭圆短轴两端点处切线出现时能够实现椭圆的检测.图 12 为椭圆检测的不准确情况,其中图(a)为中线丢失,图(b)为中圈远离摄像机,短轴端点处的椭圆边界在突出白色像素的步骤中表现为不连续,在检测椭圆端点处切线时遇到了困难.表 2 给出了所示中圈检测及摄像机标定结果的统计分析.

**Fig.11** Camera calibration result in middle zone

图 11 中圈内的摄像机标定结果示意图



(a) 中线丢失

(b) 切线漏检

Fig.12 Inaccuracy ellipse detection result in middle zone

图 12 椭圆检测不准确情况

Table 2 Recall ratio and precision of camera calibration in middle zone**表 2** 中圈内摄像机标定的查全率与准确率

帧数	中圈检测			中圈内摄像机标定	
	正确帧数	查全率(%)	准确率(%)	正确帧数	准确率(%)
535	487	91.2	96.2	487	91.2

图 13 中图像按从左向右顺序分别为原图、球场色过滤图、球场色二值图.这里,我们选取文献[7,8]中的球场色过滤算法与本文中的主色提取算法进行比较,图(a)为文献[7]中提出的算法的实验结果,实验表明通过 RGB 颜色差值信息并不能完全的实现球场色的分割,存在一定的误差.图(b)为文献[8]中的算法结果,文献[8]在文献[7]的基础上进行了改进,在分析 RGB 颜色空间颜色信息的同时引入了 HSV 空间的信息,能够更加准确地实现球场色的过滤,但是上述两种算法在提取球员区域均需要进一步完成球场标志线的过滤工作.图(c)为本文中算法所示结果,在过滤球场色的同时实现了球场标志线的分割.图 14 为球员检测的结果.

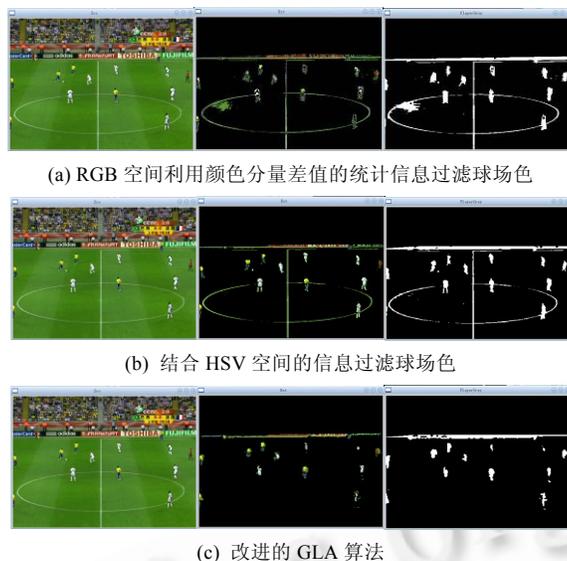


Fig.13 Comparison of different algorithms for playfield filtration

图 13 球场区域的过滤算法比较



Fig.14 Results of player detection

图 14 球员的检测结果示意图

4 总 结

本文利用足球比赛场地的既定尺寸及其领域知识,提出并实现了基于球场模型的摄像机标定算法.该算法不需要人工预处理,实现了摄像机的标定,为足球视频的三维重建工作研究提供了基础.该标定算法的思想也同样适用于场地上具有标志直线的其他球类运动比赛的重建系统中,如网球、排球比赛的三维重建等.在球员的检测上,我们使用改进了的 GLA 聚类算法在 LUV 颜色空间提取主色,在过滤球场色的同时过滤了球场标志线,减少了过滤球场标志线的步骤.但是对于球员身体上的某些狭长的区域可能会因被误检为球场标志线区域而被过滤,造成了一定的误差,在算法设计上需要进一步的改进与完善.另外,摄像机标定步骤只需在过滤看台的基础上提取球场标志线进行,而球员的区域提取需要过滤看台和球场草坪.这两步均需提取球场主色,但是后续提取步骤不同,所以需要分两步单独进行,以后基于多核处理器对程序进行并行化设计,以提高算法的效率.

致谢 在此,我们向对本文的工作给予支持和建议的同行,尤其是华中科技大学数字媒体实验室的各位老师和同学在本论文撰写期间给予的指导与帮助表示感谢!

References:

- [1] Sudhir G, Lee JCM, Jain AK. Automatic classification of tennis video for high-level content-based retrieval. In: IEEE Int'l Workshop on Content Based Access of Image and Video Databases. Washington: IEEE Computer Society, 1998. 81–90.
- [2] Kim H, Hong K. Robust image mosaicing of soccer videos using self-calibration and line tracking. Pattern Analysis & Application, 2001,4(1):9–19.
- [3] Watanabe T, Haseyama M, Kitajima H. A soccer field tracking method with wire frame model from TV images. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Image Processing. Washington: IEEE Computer Society, 2004. 1633–1636.
- [4] Calvo C, Micarelli A, Sangineto E. Automatic annotation of tennis video sequences. In: Proc. of the 24th DAGM Symp. on Pattern Recognition. Heidelberg: Springer-Verlag, 2002. 540–547.
- [5] Yu XG, Yan X, Hay TS, Leong HW. 3D Reconstruction and enrichment of broadcast soccer video. In: Proc. of the 12th ACM Int'l Conf. on Multimedia. Washington: IEEE Computer Society, 2004. 260–263.
- [6] Seo Y, Choi S, Kim H, Hong KS. Where are the ball and players? Soccer game analysis with color-based tracking and image mosaick. In: Proc. of the Int'l Conf. on Image Analysis and Processing. Heidelberg: Springer-Verlag, 1997. 196–203.
- [7] Liu YH, Du W, Li H. Tracking of players from soccer video sequences. Journal of System Simulation, 2001,13(Suppl.):90–93 (in Chinese with English abstract).
- [8] Xu ZF, Shi PF. Segmentation of players and team discrimination in soccer videos. In: IEEE Int'l Workshop on VLSL Design and Video Technology. Washington: IEEE Computer Society, 2005. 435–438.
- [9] Wang ZF, Yu JQ, He YF. Fast playfield detection method based on improved GLA. Journal of System Simulation, 2006,18(10): 2984–2987 (in Chinese with English abstract).
- [10] Liu GY, Du W, Li H. Automatic extracting feature lines from soccer video sequences. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2003,15(7):870–874 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献:

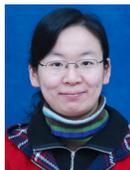
- [7] 刘国翌,杜威,李华.足球视频序列中球员的分割与跟踪算法.系统仿真学报,2001,13(Suppl.):90–93.
- [9] 王志芳,于俊清,何云峰.利用改进的GLA算法快速检测球场区域.系统仿真学报,2006,18(10):2984–2987.
- [10] 刘国翌,杜威,李华.足球场地标志线的自动提取.计算机辅助设计与图形学学报,2003,15(7):870–874.



于俊清(1975—),男,内蒙古赤峰人,博士,副教授,主要研究领域为数字媒体处理与检索.



何云峰(1977—),男,博士生,讲师,主要研究领域为数字视频处理与检索.



王旋(1984—),女,硕士生,主要研究领域为数字视频处理.