

# 一种多特征自适应融合的球员跟踪算法

张晓伟<sup>a,b</sup>, 刘 弘<sup>a,b</sup>, 孙玉灵<sup>a,b</sup>

(山东师范大学 a. 信息科学与工程学院; b. 山东省分布式计算机软件新技术重点实验室, 济南 250014)

**摘 要:** 基于模型的跟踪方法难以处理足球视频中球员形态发生较大变化的情况。为此, 提出一种改进的多特征自适应融合的球员跟踪算法。利用自适应高斯混合模型检测球场和球员区域, 使用球员 HUE 颜色特征的 Bhattacharyya 距离度量法代替传统的模板匹配方法, 辨别球队归属, 自适应地融合目标模型的颜色、形状和时空特征信息, 实现对球员的跟踪, 采用三点估算预测方法解决球员完全遮挡现象。实验结果表明, 该算法能较好地解决球员之间的遮挡问题, 在球员形态变化较大时能实现稳定的跟踪。

**关键词:** 自适应权重; 特征融合; 时空特征; 三点估算; 完全遮挡; 目标跟踪

## A Player Tracking Algorithm of Multi-feature Adaptive Fusion

ZHANG Xiao-wei<sup>a,b</sup>, LIU Hong<sup>a,b</sup>, SUN Yu-ling<sup>a,b</sup>

(a. School of Information Science and Engineering;

b. Shandong Provincial Key Laboratory for Novel Distributed Computer Software Technology, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

**【Abstract】** An improved player tracking algorithm based on multi-feature adaptive fusion is proposed to solve existing problems that the model-based tracking method is difficult to deal with greater change of players' form in football video. This paper uses the adaptive Gaussian mixture model to detect football playfield and players. The Bhattacharyya distance of players' HUE color features is used to distinguish ownership of the team instead of traditional template matching methods. The method fuses the color, shape and temporal-spatial feature information of target model adaptively for tracking the players and uses three-point prediction method to solve the complete occlusion between players. Experimental results show that the algorithm deals well with the occlusion between players, and can track robustly when the players' shape changes greatly.

**【Key words】** adaptive weight; feature fusion; temporal-spatial feature; three-points estimation; complete occlusion; object tracking

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.17.058

### 1 概述

视频检测与跟踪是计算机视觉领域一个研究热点和难点。对体育视频中运动员的检测和跟踪, 有利于对视频进行各种高层次的处理, 如对视频中重要事件进行快速检索、对视频进行战术分析及三维动画生成等。

常用的跟踪方法有基于模型的跟踪、基于区域的跟踪及基于概率密度的跟踪等。文献[1]针对具有较复杂背景的美式足球场地, 提出封闭空间的概念, 依据场地背景的相关特征, 实现无遮挡情况下单个球员的跟踪。文献[2]将卡尔曼滤波与模板匹配相结合, 用直方图后投影法发现遮挡情形, 解决不同队队员发生遮挡的情况, 但是当跟踪对象发生严重形变时会跟踪失败, 且稳定性较差。文献[3]用椭圆表示被跟踪对象, 给出能够解决 5 个自由度(位置、长短轴尺度和方向), 基于颜色直方图的跟踪方法, 但由于

其忽略了对象的空间信息, 当 2 个对象具有相同的颜色分布和不同的空间配置时, 因此该方法将不具有区分力。

针对上述问题, 本文提出一种新的球员跟踪算法。利用自适应融合多特征的方法自适应地跟踪球员对象, 球员跟踪的遮挡问题通过三点估计预测方法解决。

### 2 自适应高斯混合模型检测方法

高斯混合模型<sup>[4]</sup>对图像中的每个像素点  $X_{ij}$  用多个高斯函数  $p_1, p_2, \dots, p_k$  线性组合而成, 如下:

$$f(X_{ij}) = \sum_{k=1}^K \omega_{i,j,k} \times p_k(X_{ij}, \mu_{i,j,k}, \Sigma_{i,j,k}) \quad (1)$$

其中,  $k$  为高斯分布的个数;  $\omega_{i,j,k}$ 、 $\mu_{i,j,k}$  和  $\Sigma_{i,j,k}$  分别为混合高斯模型中第  $k$  个高斯分布的权重、均值和协方差矩阵;  $p_k(X_{ij}, \mu_{i,j,k}, \Sigma_{i,j,k})$  为高斯分布的概率密度函数。

对帧图像像素值  $X_{ij}$  与其  $k$  个高斯分布函数进行匹

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60970004, 60743010); 教育部博士点基金资助项目(20093704110002); 山东省自然科学基金资助项目(ZZ2008G02, ZR2010QL01)

**作者简介:** 张晓伟(1987—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 图像处理, 跟踪算法; 刘 弘, 教授、博士、博士生导师; 孙玉灵, 硕士研究生

**收稿日期:** 2011-11-22 **修回日期:** 2011-12-26 **E-mail:** xiaowei19870119@sina.com

配, 若满足条件  $|X_{i,j} - \mu_{i,j-1,k}| < 2.5 \sigma_{i,j-1,k}$ , 则认为  $X_{i,j}$  与此高斯分布  $p_k$  匹配, 对所有的高斯分布的权值按下式更新:

$$\omega_{i,j} = (1 - \alpha)\omega_{i,j-1} + \alpha M_{i,j,k} \quad (2)$$

其中, 匹配的  $p_k$  其  $M_{i,j,k}$  取值为 1, 其他不匹配的  $M_{i,j,k}$  取值为 0。

对匹配的高斯分布的方差和均值按下式进行更新:

$$\mu_{i,j} = (1 - \beta)\mu_{i,j-1} + \beta X_{i,j} \quad (3)$$

$$\sigma_{i,j}^2 = (1 - \beta)\sigma_{i,j-1}^2 + \beta(X_{i,j} - \mu_{i,j-1})^T(X_{i,j} - \mu_{i,j-1}) \quad (4)$$

其中,  $\alpha$  是自定义的学习率;  $\beta = \alpha / \omega_{i,j}$ ; 不匹配的高斯分布保持不变。

在 HSV 颜色模型中, 基于自适应高斯混合模型算法<sup>[5]</sup>, 利用球场的主颜色信息, 自适应地更新高斯混合模型, 得到球场区域, 球场区域的提取结果如图 1 所示。



(a)原始视频图像



(b)检测到的球场区域



(c)球场区域灰度图像提取



(d)球场区域二值图像提取

图1 球场区域的提取结果

### 3 自适应融合多特征的玩家跟踪算法

特征融合策略主要有乘性融合方式以及加权融合方式<sup>[6]</sup>。从贝叶斯观点看, 乘性融合的结果是最优的, 但跟踪目标受到相似背景或目标等干扰。相反, 加权融合对特征按一定系数线性加权, 并不放大噪声, 而且通过权值的自适应更新进行特征融合。本文采用加权融合方式自适应融合多特征。

#### 3.1 多特征信息

多特征信息包括:

##### (1)颜色信息

在颜色模型中, HSV 模型受光照的影响较小, 而且由于 HSV 颜色空间中色度、饱和度和亮度的独立性, 因此提取 HUE 色度信息构建目标对象的颜色特征直方图。

##### (2)形状信息

在灰度图像中, 目标对象边缘上每一像素, 对应一个边缘梯度方向, 使用 Sobel 算子计算点  $(x, y)$  处沿着水平和垂直方向的边缘梯度  $G_x$  和  $G_y$ , 计算出其梯度方向  $\theta(x, y)$ :

$$\theta(x, y) = G_x / G_y \quad (5)$$

##### (3)时空特征信息

在视频序列图像中, 基于视频在时间上的连续性和空间上的一致性, 把跟踪的总时间段作为时序集  $Z_{1:T}$ ;  $Z_t^i$  表示第  $t$  帧视频图像中第  $i$  个目标对象;  $d(Z_{t-1}^i, Z_t^j)$  表示第  $t-1$  帧目标对象  $i$  与第  $t$  帧目标对象  $j$  之间的距离;  $d(Z_{t-1}^i, Z_t^j)$  要小于相邻 2 帧间目标对象移动的最大速度  $V_{\max}$ 。

#### 3.2 自适应特征融合

目标特征信息区分目标与背景的能力是目标跟踪的关键因素之一, 然而在跟踪的过程中, 目标特征对目标跟踪的区分度也是变化的。根据这些特征信息的区分度, 自适应地融合各特征信息, 得到跟踪权值, 其融合公式为:

$$\omega_i = \alpha \times S_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} + \beta \times \theta_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} + \gamma \times D_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} \quad (6)$$

其中,  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ;  $S_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)}$ 、 $\theta_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)}$  和  $D_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)}$  为第  $t-1$  帧目标  $i$  以及第  $t$  帧目标  $j$  归一化的 HUE 颜色特征的 Bhattacharyya 距离度量、形状信息的梯度方向变化量, 以及时空特征的欧氏距离变化量。

$$\begin{cases} S_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} = \sqrt{1 - \sum_l \sqrt{H_1(I) \cdot H_2(I)} \cdot 1 / \sqrt{H_1 H_2 N^2}} \\ \theta_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} = 1 - \Delta\theta(x, y) / 360 \\ D_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} = 1 - d(Z_{t-1}^i, Z_t^j) / V_{\max} \end{cases} \quad (7)$$

其中,  $0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1$ , 分别为 3 种特征信息在融合时的权值。权值  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  的更新方法为:

$$\begin{cases} \alpha = S_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} / (S_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} + \theta_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} + D_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)}) \\ \beta = \theta_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} / (S_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} + \theta_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} + D_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)}) \\ \gamma = D_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} / (S_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} + \theta_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)} + D_{(Z_{t-1}^i, Z_t^j)}) \end{cases} \quad (8)$$

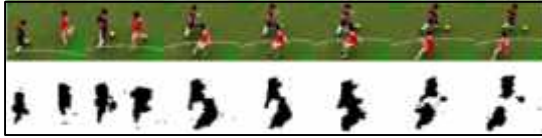
#### 3.3 基于 3 点估计的球员遮挡处理

遮挡是跟踪问题的主要难点<sup>[7]</sup>, 当一球员几乎完全遮挡住另一球员时, 单一的模板匹配方法就会失效。本文将

遮挡分为 2 种情况来考虑：部分遮挡和完全遮挡。具体如下：

#### (1) 部分遮挡

球员遮挡图如图 2(a)所示，球员之间出现了部分遮挡现象。对此，采用形态学处理将图像进行分割<sup>[8]</sup>，球员分割图如图 2(b)所示。将分割后的球员区域加入跟踪序列，使被跟踪的球员与历史帧的跟踪器建立关联关系，完善球员跟踪序列。



(a) 球员遮挡图



(b) 球员分割图

图 2 球员遮挡与分割图

#### (2) 完全遮挡

球员完全遮挡图如图 3 所示，球员之间会发生完全遮挡现象，对于这种情况，使用形态学处理是不能解决球员的跟踪问题。在此，使用 3 点估算预测方法解决完全遮挡现象。

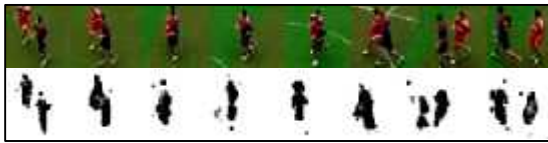


图 3 球员完全遮挡图

令当前帧为第  $i$  帧，前 3 帧某球员质心点坐标分别为： $P_{i-3}(X_{i-3}, Y_{i-3})$ ， $P_{i-2}(X_{i-2}, Y_{i-2})$ ， $P_{i-1}(X_{i-1}, Y_{i-1})$ ，该球员的  $X$  方向取值变化趋势如图 4 所示。

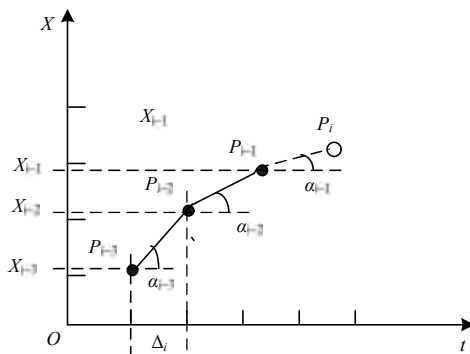


图 4  $X$  方向的取值变化趋势

由图 4 可知，直线  $P_{i-3}P_{i-2}$  和  $P_{i-2}P_{i-1}$  的斜率分别为：

$$K_{i-3} = \tan(\alpha_{i-3}) = \frac{X_{i-2} - X_{i-3}}{\Delta t} \quad (9)$$

$$K_{i-2} = \tan(\alpha_{i-2}) = \frac{X_{i-1} - X_{i-2}}{\Delta t} \quad (10)$$

则斜率变化率为  $K_{i-2}/K_{i-3}$ ，可知直线  $P_{i-1}P_i$  的斜率为：

$$K_{i-1} = K_{i-2} \frac{K_{i-2}}{K_{i-3}} \quad (11)$$

$$K_{i-1} = \tan(\alpha_{i-1}) = \frac{X_i - X_{i-1}}{\Delta t} \quad (12)$$

由式(14)和式(15)可得第  $i$  帧该球员质心点的  $X$  坐标为：

$$X_i = \frac{(X_{i-1} - X_{i-2})^2}{X_{i-2} - X_{i-3}} + X_{i-1} \quad (13)$$

同理，可得第  $i$  帧该球员质心点的  $Y$  坐标为：

$$Y_i = \frac{(Y_{i-1} - Y_{i-2})^2}{Y_{i-2} - Y_{i-3}} + Y_{i-1} \quad (14)$$

## 4 自适应融合多特征的球员检测与跟踪算法流程

自适应融合多特征的球员检测与跟踪算法流程如下：

**Step1** 初始化： $\alpha = \beta = \gamma = 1/3$ ，并计算球队模型的 HUE 颜色直方图  $h_q^1$  和  $h_q^2$ ，并将颜色直方图  $h_q^1$  和  $h_q^2$  作归一化处理。

**Step2** 在当前帧图像中，利用自适应高斯混合模型检测球场区域，通过形态学处理操作分割候选球员区域，利用矩形  $R = \{r_i(x, y, width, height)\}$ ， $i = 1, 2, \dots, n$  表示球员区域。

**Step3** 利用归一化颜色直方图  $h_r$  采用 Bhattacharyya 距离计算候选球员区域与球队模型的相似度，判断球队归属。

**Step4** 计算当前帧中，每个已归属球队的球员区域与上一帧中球员的特征融合相似权重：

```

For j=1,2,...,N
  For i=1,2,...,M
     $\omega_{\max} = \omega_i$ 
    If  $\omega_i > \omega_{\max}$ 
       $\omega_{\max} = \omega_i$ 
    End For
    If j>i
      Tracker++
    Else if j<i
      If Count>Death_Value
        Tracker--
      Else GOTO Step5
    End For
  
```

**Step5** 根据候选球员区域的  $r_i.width$  和  $r_i.height$ ，判定球员遮挡处理的类型，从而选择使用形态学处理方法，还是基于 3 点估算方法处理遮挡。

**Step6** 在新一帧图像中，更新高斯分布的权值  $\omega_{i,k}$ 、方差  $\Sigma_{i,k}$  和均值  $\mu_{i,k}$ ，并转向 Step2。

## 5 实验结果与分析

为了验证本文算法的有效性，以 VC++.NET 为开发工具加以实现，并在 2.60 GHz CPU，1 GB 内存的台式机上调试。选取长度为 829 帧的足球视频进行跟踪实验，并与现有的基于卡尔曼滤波和模板匹配跟踪算法进行比较。视频片段采用 FFDS 压缩的，分辨率是  $640 \times 480$  像素，帧率是 30 f/s。设置参数  $V_{\max} = 20$  和  $\theta = 0.4$ 。

图 5、图 6 为基于卡尔曼滤波和模板匹配算法与本文算法<sup>[2]</sup>的跟踪结果。



(a)100 帧



(b)120 帧



(c)150 帧

图5 基于卡尔曼滤波和模板匹配算法跟踪结果



(a)100 帧



(b)120 帧



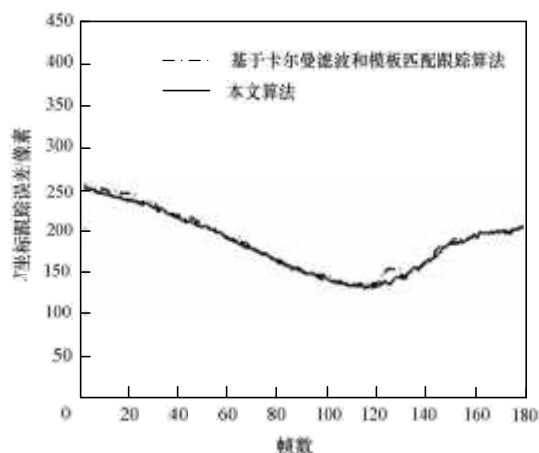
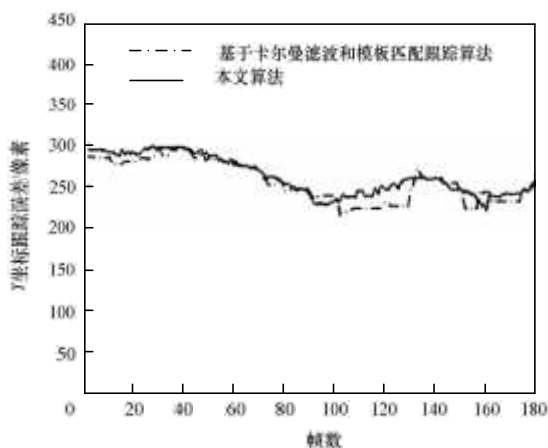
(c)150 帧

图6 本文算法跟踪结果

由图5、图6可知,在跟踪过程中,会出现误检及在

球员形态变化较大时偏离跟踪目标的现象,本文算法较好地解决这些问题。

图7、图8分别列出了基于卡尔曼滤波和模板匹配跟踪算法和本文算法的某一球员 $X$ 和 $Y$ 坐标跟踪误差比较。

图7  $X$ 坐标跟踪误差比较图8  $Y$ 坐标跟踪误差比较

由图7、图8可知,本文跟踪算法在图像每一帧中的跟踪误差都很小,而且球员坐标变化比较平缓、鲁棒性更好。

由上述分析知,本文算法实现了对除了守门员之外的所有视频图像中球员的检测和跟踪,采用自适应融合多特征信息的球员检测与跟踪算法,很好地解决了球员之间的遮挡问题,并且在球员形态变化较大时也能稳定地跟踪。

## 6 结束语

本文提出一种多特征自适应融合的球员跟踪算法。使用自适应高斯混合模型检测球场区域,利用球员区域HUE颜色直方图分布的相似性为每个要跟踪的球员分配跟踪器,建立帧间各球员的数据关联关系,从而实现对球员的跟踪。在球员之间发生完全遮挡现象时,利用三点估计法预测球员区域坐标位置,完善球员对象的跟踪。结果表明,该算法与基于卡尔曼滤波和模板匹配相结合的球员跟踪算法相比,具有更强的抗干扰性能和较高的跟踪精度。今后的工作中,将进一步研究体育视频场景中,基于在线学习的运动员自动识别与跟踪方法。(下转第225页)

