

基于颜色的足球机器人视觉跟踪算法

沈 濛 林锦国 梅 雪

(南京工业大学自动化学院,江苏 南京 210009)

Vision Tracking for Soccer Robots Based on Color

SHEN Meng LIN Jin - Guo MEI Xue

(College of Automation, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

摘要 针对机器人足球比赛环境中彩色视觉系统的实时性要求,利用了一种基于 YUV 色彩空间的利用改进的阈值向量的颜色判断方法,采用种子点区域生长的填充算法,并在此基础上运用卡尔曼滤波算法对目标进行跟踪,提出了一种新的测量值获取方法,该方法大大减少了计算量。实验结果证明该算法具有较好的实时性和抗干扰性。

关键词 机器人足球;图像分割;卡尔曼滤波

中图分类号:TP242.62

文献标识码:A

文章编号:1001-2257(2007)04-0069-03

Abstract For the request of real time color vision system in robot soccer, a new method called thresholding vector and region growing algorithm for segmentation are introduced. Then Kalman filter is used to track the target, and a new method for getting the measured value is proposed which dramatically save the time of calculation. Experimental results show the characteristics of real-time and anti-jamming.

Key words: robot soccer; image segmentation; Kalman filter

0 引言

视觉跟踪系统是足球机器人非常重要的一部份,是决策系统的基础,只有快速准确地跟踪机器人和足球的位置以及运动趋势,迅速做出相应的决策,才能使球队立于不败之地。本文根据足球机器人对目标识别和跟踪的特殊要求,提出了一种将实时性与抗干扰相结合的测量值获取方法。

1 基于彩色图像的目标识别

在机器人足球环境中,颜色信息是主要的识别依据。

1.1 色彩空间转换

色彩空间的选择对目标识别的效果影响很大。在机器人足球环境下,常用的色彩空间主要有 RGB 色彩空间、YUV 色彩空间和 HSV 色彩空间。RGB 色彩模型 3 个分量高度相关,对同一颜色属性,在不同条件下,RGB 值很分散,不适合用于识别特定颜色。HSV 空间比 RGB 空间更贴近人眼观察彩色的方式,但从面向硬件的颜色空间转换到 HSV 空间时计算量很大,影响系统的实时处理。YUV 空间只需要很小的计算量转换,就能消除颜色分量中的亮度信息^[1],因此采用 YUV 色彩空间。

RGB 空间到 YUV 空间的转换公式为:

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

1.2 颜色判断

在进行目标识别之前,机器人必须对要识别的颜色进行学习,建立颜色模型。由于光照条件不同会导致物体颜色变化,为了尽可能减小这些因素对目标识别的影响,在不同光照条件下对要识别的颜色进行学习。这样学习得到的颜色模型具有较强的鲁棒性。

常用颜色判断算法是阈值分割算法。这种方法首先确定每种颜色在 YUV 空间中的阈值,由于 YUV 空间是三维的,每种颜色需要 6 个阈值。要判断一个像素是否属于一种颜色,这种方法显然要进行 6 次判断。这只是对一种颜色而言,然而在机器人足球环境下,往往需要区分至少 8 种颜色,计算量相当大,影响了目标识别的实时性。为了解决这个

问题,采用参考文献[2]的方法,用3次“位与”运算,可以一次判断一个像素点属于哪类颜色,节省了数据量和计算时间。

首先定义3个一维的字节型数组 $YClass[256]$, $UClass[256]$, $VClass[256]$ ^[3]。用字节型变量的每1位代表一种颜色,这3个数组就能代表8种颜色。数组的索引表示该像素点在某一维中的值,例如 $YClass[10]$ 表示 $Y=10$,索引的范围为 $[0, 255]$ 。 U, V 值的范围在 $[-128, 127]$, 只要将 U, V 值加上128就可以作为索引,范围为 $[0, 255]$ 。接着对要识别的颜色进行离线学习,将图像中所有具有要识别颜色特征的像素点的 Y, U, V 值投影到数组到 $YClass[256]$, $UClass[256]$, $VClass[256]$ 中,图像应在不同光照条件和不同视角下得到,这样建立的颜色模型具有较强鲁棒性,实验测得橙色的 Y 值 $[30, 255]$, U 值 $[47, 120]$, V 值 $[160, 255]$ 。

经过这样的运算可一次判断像素点是否为这8种颜色中的任何一种,计算量远比通过阈值判断的小,能很好地满足机器人足球环境下的实时性要求。

1.3 种子点区域生长

用上述方法对第1帧图像进行扫描。如果扫描到的不是需要跟踪的对象,继续扫描,如果扫描到的是需要跟踪的对象,得到第1个像素后,停止扫描,建立球的特征集 $\{num, xsum, ysum, xp, yp, left, right, bottom, top\}$, 其中 num 表示被跟踪区域的像素点数目, $xsum, ysum$ 是所有属于被跟踪区域的像素点横坐标和纵坐标之和, xp, yp 是目标的特征, $left, right, bottom, top$ 是区域外接矩形的坐标。将该点作为种子点采用位与的方法对周围像素点进行判断,若是被跟踪目标,则更新特征集并继续对邻近的像素点进行判断,直到没有属于目标像素点为止。

1.4 目标特征提取

在目标识别出来之后,利用矩的方法可以获得目标的特征。矩具有旋转、比例和平移不变特性,所以矩作为特征比较稳定。提取区域的中心(一阶矩)作为特征,区域中心的计算公式为:

$$\begin{cases} xp = \frac{xsum}{num} \\ yp = \frac{ysum}{num} \end{cases}$$

其中 $num, xsum, ysum, xp, yp$ 均为特征集中的元素。

2 目标跟踪

识别出需要跟踪的目标后即转入跟踪状态。在目标动态跟踪过程中,尽管可以把这个过程看作是对许多独立的帧图像的目标区域分割过程,但如果这样做无疑会损失一个非常重要的信息,由于画面中目标的运动是连续的,这意味着上下帧之间存在着非常强的相关性。因此可以利用卡尔曼滤波算法对目标进行跟踪,减少计算量,而且卡尔曼滤波算法具有对图像质量要求不高、可在低信噪比条件下正常工作、具有较强的局部抗干扰能力、能够克服因局部遮挡而造成目标丢失的问题^[4-5]。

2.1 卡尔曼滤波

卡尔曼滤波 KF 属于线性递归滤波, KF 的基本思想是:采用信号与噪声的状态空间模型,利用前一时刻估计值和现时刻的观测值更新对状态变量的估计,求出出现时刻的估计值。预测时具有无偏、稳定和最优的特点。若满足状态变量和噪声都是无关的高斯过程,那么 KF 还是平方最优估计。设 KF 可以用线性动态模型描述系统状态和测量数据:

$$X_k = FX_{k-1} + W_{k-1} \quad (1)$$

$$Z_k = HX_k + V_k \quad (2)$$

其中 $X_k \in l^n$ 表示系统状态,描述在 k 时刻每个运动矢量的值, F 是 $n \times n$ 的线性函数矩阵,表示运动模型,用于描述刚体平移及旋转运动; $W_{k-1} \in l^n$ 为系统噪声,表示运动模型预测误差; $Z_k \in l^m$ 为测量数据, H 是 $m \times n$ 的线性函数矩阵; $V_k \in l^m$ 为测量噪声,表示运动估值过程中所产生的误差。KF 假设 W_{k-1} 和 V_k 为两两独立且服从均值为0的高斯分布的白噪声,协方差矩阵为:

$$E[W_k W_i^T] = \begin{cases} Q_k & i = k \\ 0 & i \neq k \end{cases} \quad (3)$$

$$E[V_k V_i^T] = \begin{cases} R_k & i = k \\ 0 & i \neq k \end{cases} \quad (4)$$

$$E[W_k V_i^T] = 0 \quad (5)$$

预测阶段:

$$\hat{X}_k^- = F\hat{X}_{k-1} \quad (6)$$

$$P_k^- = FP_{k-1}F^T + Q_{k-1} \quad (7)$$

修正阶段:

$$\hat{X}_k^+ = \hat{X}_k^- + K_k(Z_k - H\hat{X}_k^-) \quad (8)$$

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R_k)^{-1} \quad (9)$$

$$P_k^+ = (I - K_k H)P_k^- \quad (10)$$

2.2 目标的动态模型

由牛顿力学原理可以确定状态向量为:

$$X_k = [x_k \quad y_k \quad \dot{x}_k \quad \dot{y}_k]^T$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

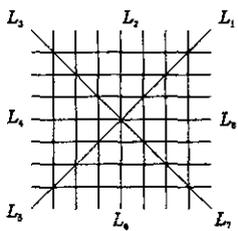
为了计算方便,取:

$$Z_k = [x_k \quad y_k \quad \dot{x}_k \quad \dot{y}_k]^T \quad H = I$$

其中 (x_k, y_k) 为球的位置分量 (\dot{x}_k, \dot{y}_k) 为球的速度分量 T 为两帧的间隔时间 I 为单位矩阵。

2.3 测量值的获取

状态预测值 \hat{X}_k^- 可以作为搜索目标新状态的根据。在获得状态预测值 \hat{X}_k^- 之后,将状态预测值位置分量 $(\hat{x}_k^-, \hat{y}_k^-)$ 作为搜索区域中心,搜索区域大小由特征集进行运算后获得: $\alpha \times \max(|left - right|, |top - bottom|)$,在两帧间隔时间内,跟踪目标不会与预测值位置分量相差太大,所以无需对整张图像进行搜索,搜索间隔同样由特征集进行运算后获得: $\beta \times \min(|left - right|, |top - bottom|)$,因为被跟踪目标并不是一两个像素点,是以区域出现,本文采用种子点区域生长方法,只要找到一个被跟踪目标像素点就可以获得被跟踪目标,所以无需对每个像素点进行搜索,只要找到被跟踪目标的种子点即可。其中 α, β 为比例系数,依据实验而定,取 $\alpha = 1.5, \beta = 0.1$ 。图 1 所示为搜索区域的一部分,十字交叉点的间隔为搜索间隔。



在搜索区域内采用如下方法进行搜索目标像素点:

以 $\ddot{x}_{k-1} > 0$ 为例,如果 $-0.4 < \frac{\ddot{y}_{k-1}}{\ddot{x}_{k-1}} < 0.4$,搜索轨迹就按照 L_8 所示,首先搜索

位置分量 $(\hat{x}_k^-, \hat{y}_k^-)$ 上的像素

点,通过颜色判断的方法判断是否为被跟踪目标上的像素点,如果是,则停止搜索,使用种子点生长方法对被跟踪目标进行扩充,并计算被跟踪目标特征集,如果不是,则再对右边间隔为 $\beta \times \min(|left - right|, |top - bottom|)$ 的像素点进行判断,按照同样的方法,直到离开搜索范围为止,如果在搜索范围中的 L_8 直线上的没有找到被跟踪目标的像素点,再判断 \ddot{y}_{k-1} ,若 $0 < \ddot{y}_{k-1} < 0.4$,则选择 L_1 作为下一根搜索直线,若 $-0.4 < \ddot{y}_{k-1} < 0$,则选择 L_7 作为下一搜索直线,若在 L_1 或者 L_7 上仍未找到被跟踪目标,则按

照原来顺序,若刚才选择的是 L_1 ,逆时针选择 L_2 ,若刚才选择的是 L_7 ,顺时针选择 L_6 ,直至所有搜索直线都搜索过为止。如果在搜索区域内没有找到被跟踪目标,那么增大 α 值,同时改变 β 值,增加搜索直线的数目,在新的搜索区域中重新进行搜索。

3 实验结果分析

利用采集到的图像序列,在 Windows 2000 系统下以 Visual C++ 6.0 作为软件开发工具,取得了较好的实验结果。实验测得,当小球在图像中以较快速度运动时,并存在目标部分被部分遮挡情况,系统仍然能够准确地跟踪小球,位置误差在 10 个像素点以内。实验表明,该跟踪算法具有较好的实时性,能够在目标被部分遮挡的情况下对目标进行连续跟踪,具有一定的抗干扰性。

4 结束语

本文在机器人识别与跟踪过程中,采用一种改进的阈值向量的颜色判断方法,提出一种新的卡尔曼滤波测量值获取方法,该方法利用加速度方向来帮助获得测量值,使计算量也得到减少。

参考文献:

- [1] Jayanta Mukherjee, Lang Manfred K, Mitra S K. Demosaicing of images obtained from single-chip imaging sensors in YUV color space[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26: 985-997.
- [2] Bruce J, Balch T, Veloso M. Fast and inexpensive color image segmentation for interactive robots[A]. Proc. of IROS '00[C]. 2000.
- [3] 朱莹, 洪炳镨, 阮玉峰. 全自主足球机器人快速目标识别与定位方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(9): 1060-1063.
- [4] 欧宗瑛, 原野, 张艳珍. 基于颜色信息足球机器人视觉跟踪算法[J]. 大连理工大学学报, 2000, 40(6): 729-732.
- [5] 张江山, 朱光喜. 一种基于 Kalman 滤波的视频对象跟踪方法[J]. 中国图像图形学报, 2002, 7(6): 606-609.

作者简介: 沈濂 (1982-), 男, 江苏常熟人, 硕士研究生, 研究方向为机器人视觉。