

# 一种稳健的足球机器人目标识别算法<sup>①</sup>

耿盛涛 刘国栋 (江南大学 通信与控制工程学院 江苏 无锡 214122)

**摘要:** 视觉系统是类人足球机器人获取环境信息的主要途径。在比赛中,受场地光照等比赛环境的影响,用传统的分割识别算法难以达到满意的效果。文中提出一种结合目标颜色和形状信息的识别算法。该算法在 HSI 空间执行基于颜色信息的快速阈值分割,获取目标像素,并且加入了自适应阈值更新,然后利用目标像素和目标形状信息执行优化边缘检测识别目标,最终获得目标在图像中准确的位置信息。实验证明:该算法能长时间在不同光照条件下稳定获取对象在图像中的位置信息,满足实时性的要求。

**关键词:** 足球机器人; 色彩空间; 图像分割; 边缘检测

## Robust Target Recognition Algorithm of Soccer Robots

GENG Sheng-Tao, LIU Guo-Dong

(School of Communication and Control Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Vision system is the critical way to obtain environmental information for humanoid soccer robot. During the competition, because of the variable illumination conditions on the field, the Recognition algorithm using traditional segmentation is not satisfying. An object recognition algorithm, which combined target color with shape information is presented in this paper. This algorithm implements rapid image threshold segmentation based on color information in the HSI color space, obtain the pixel of the object, and joined the adaptive threshold update, then use object pixel and shape information implement optimizing edge detection to recognize the object, finally obtain the accurate target location information in the image. Experiments show that this algorithm can be a long time to obtain the target location information in the image in different illumination conditions, satisfy the requirement of the real-time.

**Keywords:** soccer robot; color space; image segmentation; edge detection

机器人足球比赛是一项复杂的高科技对弈项目,足球机器人系统有效地将人工智能、计算机视觉、模式识别、无线数字通讯、自动控制与最优控制、智能设计及电力传动等技术融为一体。足球机器人视觉系统的主要任务是实时采集图像并根据图像信息感知球场中各类目标的空间信息,最后将结果提供给决策系统。由于目标动态变化、光照不稳定以及图像失真等原因,视觉系统的实时性、自适应性及准确性都成为被广泛研究的热点问题。本文研究对象是类人自主足球机器人,它采用双足直立行走,体型小,搭载的硬件

设备有限,同时又需要较高的实时性,所以对算法要求很高。

在类人足球机器人比赛中目标都是颜色单一的物体,如球、球门等,所以颜色信息目前仍是目标识别的主要依据,基于颜色的分割主要有基于阈值的分割、基于边缘的分割和基于区域的分割。虽然基于阈值分割对光照较敏感,但其计算量相对较小,在足球机器人比赛中得到广泛应用<sup>[1,2]</sup>。

为了满足目标跟踪和定位等进一步的要求,需要知道目标在图像中准确的位置信息,单纯的阈值分割

<sup>①</sup> 收稿时间:2010-03-31;收到修改稿时间:2010-04-19

算法已经不能满足比赛要求,本文提出一种基于图像快速阈值分割和边缘检测相结合的认识算法,并且加入了自适应阈值更新,有效获取了目标在图像中的位置信息,且在光照条件逐渐变化的条件下,仍然有稳定的效果,满足了比赛的要求。

## 1 类人足球机器人系统简介

以 MOS2007 类人足球机器人为例,它选用 400MHz 的 ARM9 核心的 Acer n311 PDA 作为图像处理平台, Acer n311 所安装的 Windows Mobile 5.0 是由 WinCE 配置出的一个操作系统,支持部分 Win32 开发库。与摄像头通过 USB1.0 通信。以往的机器人本身处理能力有限,不能进行复杂的图像预处理以及滤波操作。但是目前采用 PDA 作为其图像处理的处理器,减轻了机器人自身的处理负担,同时经过 PDA 处理过的图像,特征更加明显,为机器人进行目标跟踪和定位提供了可靠的依据。

MOS2007 选用的是 CCD 摄像头,获取的图像大小为 320\*240,通过 USB 数据线,将数字图像采入 PDA 中进行处理。软件系统采用 VC++ 搭建,完成图像采集、处理工作。然后由决策程序向运动控制卡发出命令。如图 1 所示。



图 1 类人机器人系统

图像的采集时非常重要的一部分,图像采集与摄像机相关,其包括固有和可调参数,前者包括孔径、焦距、像素水平,后者包括光圈、快门、增益、曝光、调焦、亮度、对比度、饱和度、白平衡,一些参数可由摄像机自动调整[3]。

## 2 颜色空间选取

RGB 和 HSI 模型是最常见的两种颜色模型, RGB(Red, Green, Blue)模型被广泛应用在计算机图像领域,通过红绿蓝三种颜色光线的搭配混合,可以配置出绝大多数的可见光线,并且计算简单,但它存在严重的缺陷就是易受光照强度的影响。比赛场地不同时间和位置的光照强度有很大变化,同一颜色的 RGB 值也受到很大的影响,这样不利于对目标的识别。

HSI(Hue, Saturation, Intensity)颜色模型是基于人类对颜色的感知方式,由色调、饱和度、亮度来表示。只要对 HIS 的阈值的范围进行限定,就可以分割出物体。HSI 空间的模型是一个圆柱形。如图 2, H 为角度,从 0 度到 360 度覆盖了所有的颜色,饱和度在颜色环上用半径表示,亮度有 HIS 模型的垂直轴表示,底部亮度为最小,为黑色,顶部亮度最大,为白色[4]。

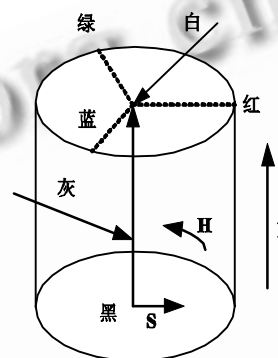


图 2 HSI 柱状颜色空间

以下给出 RGB 到 HIS 得转换过程。

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

然后由  $Y, C_1, C_2$  算出 HIS 的值:

$$\begin{aligned} I &= Y \\ S &= \sqrt{C_1^2 + C_2^2} \end{aligned} \quad (2)$$

$$H = \begin{cases} \cos^{-1}(C_1 / S) & C_2 \geq 0 \\ 2\pi - \cos^{-1}(C_1 / S) & C_2 < 0 \end{cases}$$

相比较传统的饱和度计算方法:

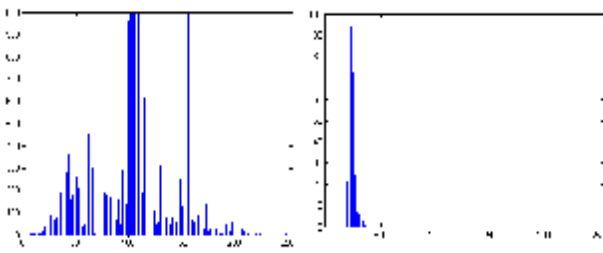
$$S = 1 - 3 \frac{\min(R, G, B)}{R + G + B} \text{ 而言具有更小的噪声敏感度 [5]。}$$

## 3 图像阈值分割

### 3.1 阈值的确定

本文利用对象的颜色信息在 HIS 空间执行阈值分割,实际要进行确定目标区域的  $H_L, H_H, S_L, S_H, I_L, I_H$  六个分量,它们分别代表该分量的最小值和最大值。并且由于本系统中目标色较少,通过阈值分割

可以迅速在图像中定位目标位置<sup>[6]</sup>。图3是环境和球色调的分布。



(a) 环境色调分布 (b) 球色调分布

图3 色调分布

首先通过现场采样,统计区域内色调、饱和度、亮度的范围,在色彩空间中确定每个分量上下阈值。即在 HIS 空间上确定一个长方体,如图4,同时记录阈值的宽度  $H$ 、 $S$ 、 $I(H=H_H - H_L)$ ,用于阈值更新。当一个像素的 HIS 值落在这个长方体内,即认为这个颜色为球的颜色。同时,为了获得更准确的阈值,阈值可在不同的光照条件下进行采集。

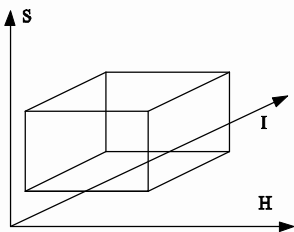


图4 目标空间

由于 HIS 空间中, I 是表示亮度的,受环境影响较大,无法用来确定目标,所以判断条件就可以减少为两条。例如在目标空间一点像素  $A(H_a, S_a, I_a)$ , 满足 3 式即可认为是目标像素点。

$$\begin{cases} H_L \leq H_a \leq H_H \\ S_L \leq S_a \leq S_H \end{cases} \quad (3)$$

### 3.2 图像分割方法

一幅图像有  $320 \times 240$  即有 7.68W 像素,如果每一个像素都对其进行颜色判别,其计算量是十分大的。可以把一幅图像分成若干小块,然后对每个小块的中心点进行颜色判别,取每个小块为  $5 \times 5$  pixels, 这样计算量即为原来的  $1/25$ 。当中心点为所要识别的颜色

时,就要以这个中心点向周围扩散,来判断周围像素点的颜色,直到把整个色块填满<sup>[7]</sup>,然后把相邻的目标色块连接在一起,构成目标区域,从而得到目标的快速分割。

### 3.3 目标获取

得到目标后,由于图像背景中的近似点以及图像噪声,会在图像上产生一些干扰点,对图像进行一次中值滤波,即可去掉离散的点,同时修补目标内部一些空白的点,如图5。

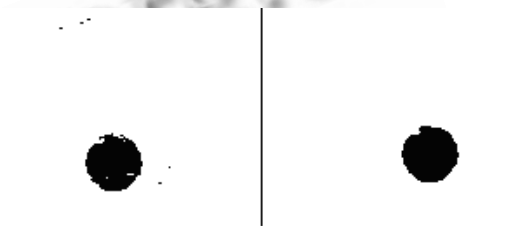


图5 滤波前后对比

完成滤波之后,根据预先定义好的目标形状参数,结合目标的颜色信息,进行目标中心定位。常用的有四关键点法和重心法,获取它的球心坐标和半径,也可以采用近年兴起的模糊 K 均值聚类算法<sup>[8]</sup>。本方法同样适用于球门的识别,只不过采用的判断中心的方法不同。识别结果如图6所示。



图6 识别结果

### 3.4 颜色阈值的自适应更新

在识别过程中由于受到光照强度和角度等环境因素的影响,颜色的阈值区间会发生变化,为了达到对目标的准确识别,文中提出一种对颜色阈值的自适应

更新方法。

作为机器视觉研究平台的类人机器人系统拥有每秒 30 帧的处理速度, 有理由相信 1 秒内目标色块颜色阈值的变化是很小的, 但在单一初始阈值下随着处理时间的增加, 识别的目标会逐渐丢失, 所以颜色阈值及时有效更新是必要的。经作者反复实验, 在比赛环境突变的前提下, 每处理 10 帧图像做一次颜色阈值的更新, 可以兼顾到处理速度和精度的要求, 实现两者的平衡。自适应更新过程如下:

1) 采集视频计数器 Count 值加 1, 记录颜色阈值分量的中点值  $H_{mn}$ 、 $S_{mn}$ 、 $I_{mn}$  ( $n=Count$ ), 当  $Count / 10=0$  时, 转入 2), 否则继续 1);

$$H_{mn} = \frac{H_{Hn} - H_{Ln} + H_{Ln}}{2} \quad (4)$$

2) 对第 Count 帧图像的  $H_{mn}$ 、 $S_{mn}$ 、 $I_{mn}$  ( $n=1、$

2...10)取平均值  $H_m$ 、 $S_m$ 、 $I_m$ 。

3) 更新阈值  $H_L$ 、 $H_H$ 、 $S_L$ 、 $S_H$ 、 $I_L$ 、 $I_H$ , 方法如式 5, 这样阈值宽度就不会越来越窄, 造成最后识别条件苛刻。H 为 3.1 节所保存的阈值宽度。

$$\begin{cases} H_L = H_m - \frac{H}{2} \\ H_H = H_m + \frac{H}{2} \end{cases} \quad (5)$$

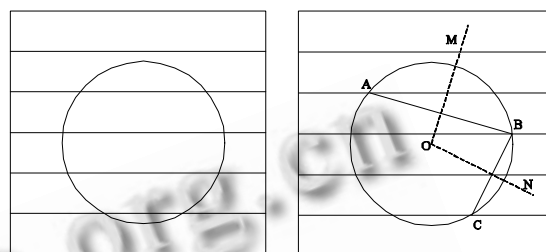
4) 令  $Count=0$ , 用更新的阈值对目标进行识别, 然后返回过程 1)。

颜色阈值的这种自适应更新能够及时记录场景目标颜色信息的变化, 避免颜色特征和实际目标颜色特征出现灾难性的偏差, 有效地抑制了目标识别和跟踪丢失情况的出现。

#### 4 边缘检测算法

传统的边缘检测应用于图像的每个像素, 所以它需要更多的计算, 但是它不受光照变化的影响, 有极好的鲁棒性。论文 9 也提出了一种改进的边缘检测算法, 但是很容易受虚假边缘的影响, 不能达到满意效果。本文利用图像阈值分割获取的目标位置和大小, 在图像该位置选取是目标长宽两倍的区域。例如目标为一球, 球心坐标(100, 100), 半径 10, 则可在图像上选取一个矩形区域, 它的左上角坐标为(80, 80), 右下角的坐标为(120, 120), 在该区域水平方向上每隔数个像素选取一行像素如图 7(a), 在这些行像素上执行 sobel 梯度边缘检测, 则可获取一些像素点。由

于会受到虚假边缘点和环境的影响, 这些像素点不全是球的边缘点。我们利用该像素点周围的 8 个像素中, 如果满足至少两个像素为黄色(球颜色), 两个为绿色(场地颜色), 则该边缘点为目标边缘点, 从而获取一系列准确的球的边缘点。



(a) 边缘检测 (b) 确定圆心

图 7 获取信息过程

三点可以确定一个圆, 利用找到的边缘点, 任选三个边缘点 A、B、C, 在线段 AB 和 CD 上分别做中垂线, 两线交与点 O, O 点即所求的圆心, OA 即为半径, 即可得球在该图像上的位置信息, 如图 7(b)。当然, 在比赛中, 我们可以用更多的边缘点求圆心坐标, 最后求取平均值。也可以用边缘检测求取的球心坐标半径值和图像阈值分割求得的值取平均来获取。论文 9 提出的一种基于图像分割和边缘检测的算法, 其算法在球受到光照不均匀或者球场标志等影响时, 不能正确识别边缘点, 造成球定位不准, 且由于阈值没有更新, 稳健性不高。

球门位置信息并不需要较高的精度, 用图像阈值分割即可达到要求, 且球门信息受到干扰较小, 用论文 9 的方法就可以达到较高精度, 在此不多赘述。

#### 5 实验分析

笔者选取一次比赛视频进行效果比较, 如图 8 所示, (a1)、(b1)、(c1)分别为第 1、5、10 分钟时比赛图像, (a2)、(b2)、(c2)用本论文的方法的识别效果, (a3)、(b3)、(c3)用传统阈值分割算法。起初一幅图像由于光照均匀, 没有明显干扰, 两种方法都能准确识别出目标位置, 但本文算法识别效果更准确, 第五分钟时传统方法获取的目标信息就很有有限, 第十分钟时由于光照的变化, 传统方法已经不能识别出目标, 而本文的方法由于加入阈值自适应更新和边缘

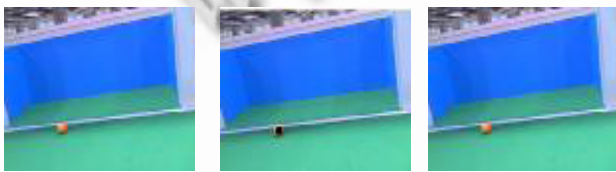
检测,仍能准确识别出目标。从中我们可以看到,本文的算法比单纯阈值分割算法识别效果更精确、更稳定。



(a1)第1分种原图 (a2)本文方法 (a3)传统方法



(b1)第5分种原图 (b2)本文方法 (b3)传统方法



(c1)第10分种原图 (c2)本文方法 (c3)传统方法

图8 识别效果图

实验证明该算法在MOS2007类人足球机器人上运行,识别结果准确度和稳健性高,能满足实时性的要求。今后努力的方向是进一步改进该算法,在获取目标精确位置信息上做进一步研究,为后期的控制提

供更准确的信息。

#### 参考文献

- 1 谢云,杨宜民.全自主机器人足球系统的研究综述.机器人,2004,26(5):474-480.
- 2 Carlos AA, Rajesh EM, Zhou CJ, et al. A modular architecture for humanoid soccer robots with distributed behavior control. International Journal of Humanoid Robotics. 2008,5(3):397-416.
- 3 张继文,刘莉,陈恩.足球机器人视觉系统的图像获取优化研究.机械设计与制造,2009,2:157-159.
- 4 冈萨雷斯著,阮秋琦,阮宇智等译.数字图像处理.第二版.北京:电子工业出版社,2007:224-239,482-499.
- 5 Lambert TP. Symbolic fusion of hue-chroma-intensity features for region segmentation. Processings of the IEEE International Conference on Image Processing ICIP, Langsanne, Switzerland. 1996:971-974.
- 6 何挺,杨向东,陈恩.机器人双目视觉目标跟踪研究.机械设计与制造,2008,3(3):161-163.
- 7 何超,熊蓉,戴连奎.足球机器人视觉图像的快速识别.中国图像图形学报,2003,8(3):271-275.
- 8 朴松昊,孙立宁,钟秋波等.仿人机器人视觉颜色空间的图像分割算法.华中科技大学学报,2008,10(36):98-101.
- 9 Ren HG, Zhong QB, Kang JF. Object recognition algorithm research based on variable illumination. Int'l Conf. on Automation and Logistics. Shenyang, China. August, 2009:1609-1613.