

足球机器人视觉图象的快速识别

何超 熊蓉 戴连奎

(浙江大学工业控制技术国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 针对机器人彩色视觉系统的实时性要求,提出了一种基于YUV色彩空间的利用阈值向量来分割图象的识别方法,并改进了种子填充算法,从而明显减少了识别的计算量,并在保证识别精度的前提下,提高了处理速度.通过在MiroSot机器人足球系统上的应用,验证了此方法的有效性,而该方法与常用的基于RGB颜色空间的方法进行比较的结果也证明,此方法确有明显的优越性.

关键词 机器人控制(510·8050) 机器人足球 图象处理 图象分割

中图分类号: TP242.62 TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)03-0271-05

Fast Segmentation and Identification in Vision System for Soccer Robots

HE Chao, XIONG Rong, DAI Lian-kui

(National Laboratory of Industry Control Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract Robot Soccer game is become popular recent years. The system combined with mechanic, electronic, control, computer, image process and etc. In order to win the game, the system must be more quick and more accuracy. Because vision sub-system is the first step of the whole system, its speed and accuracy are important to the whole systems speed and accuracy. Real-time segmentation is the first step in the color-vision system on the robot system. A color image segmentation method using improved seed-fill algorithm in YUV color space is introduced in this paper. The new method dramatically reduces the work of calculation, and speeds up the image processing. The result of comparing it with the old method based on RGB color space was showed in the paper. The second step of the vision sub-system is identification the color block that separated by the first step. A improved seed fill algorithm is used in the paper. The implementation on MiroSot Soccer Robot System shows that the new method is fast and accurate.

Keywords Robot soccer, Image processing, Image segmentation

0 引言

机器人足球是近年发展起来的一项对抗性比赛项目,它综合利用了机械、电子、控制、模式识别、图象处理和计算机等多个领域的理论和技术.在标准的5对5比赛时,双方各有一台计算机作为控制主机,先由悬挂在比赛场地正上方的摄像机拍摄赛场画面,经图象采集卡输入控制主机;接着通过图象识别模块对画面进行识别来得到场上敌我双方和足球共11个目标的位置和方向角;然后决策程序则根据这些信息进行决策,以得到本方各个机器人小车的速度指令;最后通过无线电通信模块,将这些指令发

送给赛场上的机器人小车,再由小车执行.

由于比赛是激烈对抗和瞬息万变的,因此要求足球机器人系统具有较强的实时性.在足球机器人的各个子系统中,由于视觉识别系统作为环境变量的输入环节是整个系统循环的第1步,因此,视觉系统工作是否迅速有效,就成为整个系统能否正常工作的前提.

在足球机器人彩色视觉系统中,程序是根据贴在机器人小车顶上的色标来识别机器人是属于哪一队,以及是几号队员的.由于在每个机器人小车顶上有两种颜色的色标,分别是队标(team color)和队员标(ID color).因此,识别工作的第1步是把图象中的每一个像素,根据颜色分类到一组离散的色彩类中.

基金项目:“863”项目(2001AA422270)

收稿日期:2002-03-22;改回日期:2002-08-13

颜色分类常用的方法有线性色彩阈值法、最近邻域法和阈值向量法等。

其中,线性色彩阈值法是用线性平面把色彩空间分割开来.其阈值的确定可采用直接取阈值^[1]和通过自动训练来获取目标颜色范围^[2]等方法,也可采用神经网络(NNs)和多参数决策树(MDTs)^[3]方法来进行自学习,以获得合适的阈值;而用最近邻域分类法^[4]分割图象时,则利用隶属度函数,即根据最大的隶属度来判断这个颜色属于哪个类;阈值向量法是先使用一组事先确定的阈值向量来把色彩空间分割成长方体^[5],然后通过检查该像素的色彩值在色彩空间中的位置来判断其属于哪种颜色。

在色彩分类之后,必须对各个颜色类的点进行处理,最终辨识出场上的各个敌我队员和球在场上的位置和方向角。

识别时,通常的做法是对分类后的像素进行一次扫描^[6],即将相邻的同种颜色的像素连成色块,但由于这种方法几乎要处理画面上的所有的像素点,因此计算量很大。

文献[7]给出了一种基于区域投影算子的识别方法,这种方法是根据机器人小车的各个顶点的位置,用几何方法求出其中心点坐标和方向角(机器人小车前进方向与 x 轴正方向的夹角)。笔者在实际应用中发现,这种方法虽然有较快的识别速度,但其要求图象非常清晰,否则顶点坐标误差就会影响其精度,尤其是方向角的精度。而在足球机器人系统中,由于大多数摄像机均为普通的监视摄像机,画面清晰度有限,因此这种方法也难以应用于实际。

本文结合机器人足球系统对高速性的要求,使用了一种改进的基于阈值向量的颜色判断新方法^[6],该方法通过一次运算就能区分多种颜色。识别时,同时利用改进的种子填充算法,因而大大减少了计算量,另外,该方法不仅对摄像机图象的清晰度没有太高的要求,且具有较高的精确度。

1 彩色图象中颜色的识别方法

1.1 色彩空间转换

本文选取色彩阈值是在三维色彩空间中进行的,色彩空间的种类很多,比较常用的有色度(Hue)、饱和度(Saturation)、亮度(Intensity)空间,简称 HSI 空间,YUV 空间和红、绿、蓝空间(RGB)。

最常用的色彩空间是利用 R(红)、G(绿)、B

(蓝)3色不同比例的混合来表现各种颜色的,但是 RGB 色彩模式容易受到光照的影响。由于比赛场地上,不同位置的光照强度变化很大,使得一种颜色的 R、G、B 值在场上不同位置有较大的变化,这样就不能通过一组单一的阈值来判断颜色,因而辨识程序的鲁棒性也就无从谈起了。

不同于 RGB 色彩空间,由于 HSI 和 YUV 色彩空间是用二维来表示光谱,用第 3 维来表示色彩的强度,例如在 HSI 色彩空间中, H 和 S 表示颜色信息, I 表示强度;在 YUV 色彩空间中, U 和 V 表示颜色,而 Y 表示强度。由于这两种色彩空间比 RGB 模式更能适应光照强度变化的场合,因此,在实际应用中可把 RGB 信号转换成 HSI 信号或 YUV 信号^[8]。

在笔者等开发的 MiroSot 足球机器人视觉系统中,就采用了 YUV 色彩空间,这里采用如下公式^[9]将从摄像机得到的 RGB 图象,在程序中转化成 Y 、 U 、 V 值。

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

1.2 阈值的确定和色彩判断

本文采用的色彩判断方法能在色彩空间中用于同时判断多种颜色。通常,每个颜色类由 6 个阈值描述;每一维两个值,分别表示该颜色类在该维的最大值和最小值。

在确定阈值时,首先通过采样,在色彩空间中确定每维的上、下阈值,如图 1 所示。3 个色彩向量(Y 、 U 、 V)就在色彩空间中确定了一个长方体(如图 2 所示)。当一个待判断的像素在色彩空间中的位置落在这个长方体中时,就认为该像素属于要找的颜色。

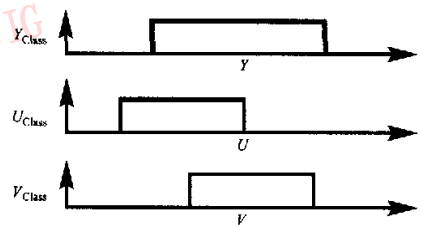


图1 三维色彩空间的二值阈值问题

在判断像素颜色时,为了将光照的影响降低到最小,可将所要识别的颜色分别放在场地最亮和最暗的部分来进行采样。

在 MiroSot 机器人足球系统中,由于其具有较高的实时性要求,使得它必须使用计算量小、速度较

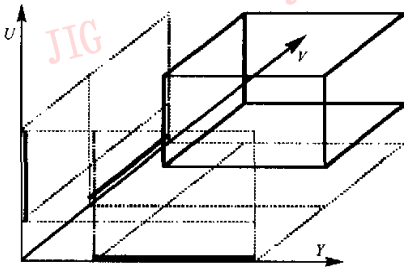


图 2 在 YUV 空间中的色彩空间

快的识别方法,因此选择直接确定阈值的方法。

通常,在已确定颜色类 color..class1 的 6 个阈值后,可用以下方法:

```
if ((Y ≥ Y1, lowerthreshold)
    AND (Y ≤ Y1, upperthreshold)
    AND (U ≤ U1, lowerthreshold)
    AND (U ≤ U1, upperthreshold)
    AND (V ≤ V1, lowerthreshold)
    AND (V ≤ V1, upperthreshold))
    pixel_color = color..class1;
```

来判断一个像素是否为一个颜色类的成员,由于这种方法需要用 6 条判断语句来处理一个像素,而对于一帧 NTSC 制式的画面,有 640×480 个像素点需要处理,而且这只是对一种颜色而言,因此处理量是相当大的。在比赛中,由于是通过不同颜色来区分敌我机器人和球在场上的位置的,因此往往需要同时区分至少 8 种颜色,这样大的计算量,使得不论用什么计算机硬件,其处理效率都非常低,难以满足程序的实时要求。

由于在 YUV 颜色空间中, Y 值是表示亮度的,且它的变化很大,因此在本文的方法中,只考虑 U 和 V 的值,即根据 U、V 值进行颜色判断。在进行颜色判断时,首先分别建立 U、V 的阈值向量,由于 U、V 的值在 0~255 之间变化,因此每个向量有 256 个元素。例如通过采样,黄色的 U 值在 7~9 之间;V 值在 7~9 之间,则得到的向量为

$$U_{class}[] = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, \dots\};$$

$$V_{class}[] = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, \dots\};$$

因此,当要判断画面中的一个像素是否需要识别的目标颜色的时候,只要将这一点的颜色值 U、V 与上面已经确定好的向量进行位与(BitAND)计算,就能得到结果。例如一个像素的 Y、U、V 值为 {1, 8, 9}, 可利用以下程序进行判断: $U_{class}[8]$ AND $V_{class}[9]$, 若结果为 1, 则该像素就是所要识别的颜色。

这种方法还可以用于多种颜色的识别,且也只要进行一次 BitAND 计算,就能判断出是哪种颜色。当有多种颜色要识别的时候,例如除了黄色,还要区分蓝色,通过采样,其蓝色的 U、V 阈值向量为:

$$U_{class}[] = \{1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, \dots\};$$

$$V_{class}[] = \{0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, \dots\};$$

将这两种颜色的向量组合在一起,即可组成每个元素为 2bit 的向量:

$$U_{class}[] = \{01, 01, 01, 00, 00, 00, 00, 10, 10, 10, 00, \dots\};$$

$$V_{class}[] = \{00, 00, 00, 01, 01, 01, 00, 10, 10, 10, 00, \dots\};$$

同样,对 Y、U、V 值为 {1, 8, 9} 的点进行判断: $U_{class}[8]$ AND $V_{class}[9]$, 若得到的结果是 10, 则该点是黄色,不是蓝色。

在实际程序中,阈值向量中的每一个元素有 8bit, 即 1Byte, 共 255Byte。这样,就可以最多同时判断 8 种颜色,也就满足了 MiroSot 5 对 5 机器人足球比赛的要求。

2 改进的图象分割方法

在本文的区域填充程序中,采用了种子填充算法,但对其做了改进。改进后的种子填充算法,其整个区域填充是和像素点的颜色判断同步进行的,其在一开始,并不是对所有像素进行处理,而是把一幅画面分成若干个小块,再从每个小块中取出其中心点用于进行颜色判断(小块大小一般为场上小球大小的 1/4, 约 8×8 pixels, 这样,计算量就是原来的 1/64)。当中心点是所要识别的颜色时,就以这个中心点为种子,再向四周扩散,并判断周围像素点的颜色,直到把整个色块填满为止,并在填充的同时,计算色块的重心。在这个过程中,应同时进行识别和过滤处理,即根据色块中各像素点的坐标,分别判断该色块是否是所要识别的目标,如扩散的点与已填充色块重心点的距离已经超出小车的大小,即可判断它已经不是目标,则将其滤除。这里颜色的识别是分级进行的,首先只识别黄色、蓝色、橙色 3 种颜色,它们分别为双方的队标色和小球的颜色。当找出我方队标色之后,再在队标色块旁边寻找确定队员号码的队员色,并再次用种子填充算法找出队员色标号码的重心。这样,既能提高识别的速度,又能保证较高的精度。其识别过程如图 3 所示。

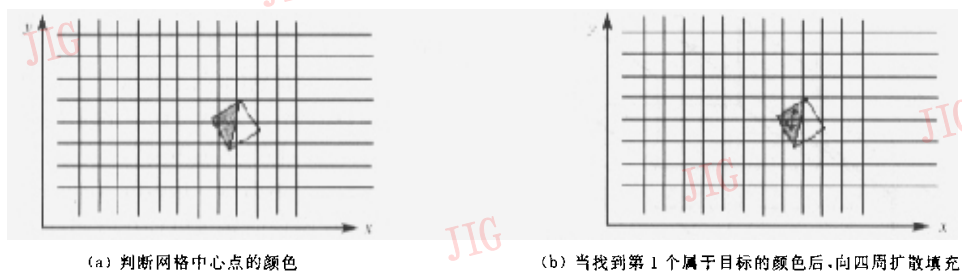


图 3 图形的分割填充过程

在得到队标色块和队员号码色块的重心之后,其连线的中点就是小车的重心,连线方向旋转 45° 就是小车的方向角(即小车前进方向与 x 轴正方向夹角)。

3 改进的图象分割方法在机器人足球系统中的应用

在将改进的图象分割方法应用于机器人足球系统时,首先,在 MiroSot 机器人足球系统中,使用一台 NTSC 制式的摄像机来拍摄画面,频率为 30Hz (图 4);然后通过 Matrox MeteorII 采集卡将图象信号数字化输入一台装有主频为 1.5GHz 奔腾 4 处理器的计算机,计算机配置 256M 内存,安装了 Windows98 操作系统,用 VC++6.0 编写相应程序。其使用基于 RGB 和 YUV 色彩空间的识别方法处理的结果如图 5、图 6 所示,图 5、图 6 分别为经过分割后的结果图象,图中显示的是已经分割出来的目标,背景已被滤除,呈黑色。

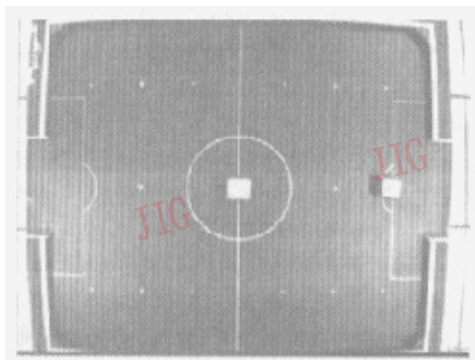


图 4 摄像机拍摄的原始机器人足球赛场画面

由图 6 可见,两辆小车所处位置不同,光照也不同,用基于 YUV 色彩空间的方法能较好地排除光照的干扰,而用基于 RGB 色彩空间的方法,位于高

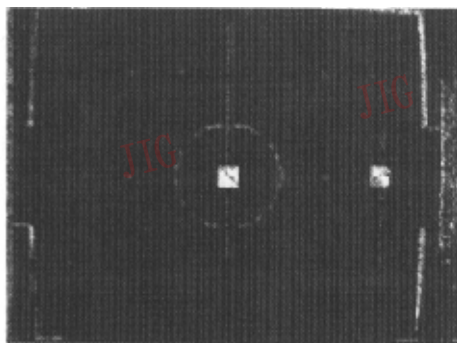


图 5 用基于 RGB 色彩空间的识别方法处理后的图象

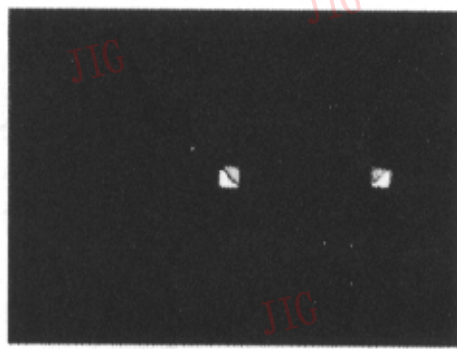


图 6 利用基于 YUV 色彩空间的识别方法处理后的图象

光处的小车(右边的一辆)则基本丢失。同时,基于 RGB 色彩空间的方法还误将一些杂点视为有效点。

在识别时,对于画面中间的小车,用基于 RGB 和 YUV 颜色空间的方法都能较好地识别。如用基于 RGB 空间的方法得到的实际位于球场坐标中心点、方向角为 0 度的左边小车的位置是 $x=0, y=1, \theta=1$;而用基于 YUV 色彩空间的方法得到的左边小车的位置也是 $x=0, y=1, \theta=1$ 。而对于实际位于 $x=60, y=0, \theta=0$ 的右边小车,用基于 YUV 空间的方法得到的位置是 $x=59, y=1, \theta=0$;实践证明,用基于 RGB 颜色空间的方法进行识别,目标丢失非常

严重,且方向角度偏差达到 $\pm 100^\circ$ 以上,已经不能有效地识别目标了。

在识别速度上,将基于 YUV 色彩空间的方法和改进的种子填充方法相配合,识别场上的 5 名本方队员和球一共 6 个目标的用时为 15~20ms,而用传统的扫描方法,需用时 50ms 以上。

4 结论

将改进的基于 YUV 颜色空间的种子填充彩色图象分割方法,应用于实际机器人足球系统的结果证明,其不仅对变化的光照具有较强的鲁棒性,同时在保证精度的前提下,能较快地完成图象的识别。

在 2002 年 6 月 8 日至 6 月 10 日于上海举行的 2002 年中国机器人竞赛中,使用本识别方法的浙江大学 1 队和 2 队分别获得 MiroSot 5 对 5 比赛的亚军和第 3 名。

本方法将来还可用于中型自主机器人的视觉处理。

参考文献

- 1 Castleman K R 著. 数字图象处理[M]. 朱志刚等译. 北京:电子工业出版社,1998.
- 2 王卫华,陈卫东,席裕庚. 光线自适应的水下管线识别与定位系统[J]. 机器人, 2001,23(2):132~136.
- 3 Brodley C E, Utgoff P E. Multivariate decision trees [J]. Machine Learning, 1995,19(1):45~77.
- 4 Brown T A, Koplowitz J. The weighted nearest neighbor rule for class dependent sample sizes [J]. IEEE Trans. on Information Theory, 1979,IT-25(5):617~619.
- 5 Jain R, Kasturi R, Schunck B G. Machine vision [M]. New York: McGraw-Hill, 1995.
- 6 James Bruce, Tucker Balch, Manuela Veloso. Fast and inexpensive color image segmentation for interactive robots [A]. In: Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System [C], Takamatsu Japan, 2000:2061~2066.
- 7 张艳珍,袁野. 基于区域投影的微型足球机器人系统识别[J]. 机械科学与技术, 2001,20(2):318~320.
- 8 吴卫国,陈辉堂. 基于彩色图像移动机器人定位[J]. 机器人, 1999, 25(5):340~348.
- 9 洪炳熔,刘新宇. 基于视觉的的足球机器人系统[J]. 计算机应用研究, 2001,18(1):1~3.



何超 1977 年生,硕士研究生. 研究领域为模式识别、图象处理、机器人。



熊善 1975 年生,工业控制技术国家重点实验室,现为讲师. 研究领域为机器人、图象处理。

戴连奎 1963 年生,副教授,浙江大学智能系统与决策研究所副所长. 研究领域为工业系统模型化、预测控制、智能控制及其应用。