

一种基于颜色聚类和种子填充的目标识别算法^{*}

潘海鹏, 胡丽花, 刘 瑜

(浙江理工大学 自动化研究所, 浙江 杭州 310018)

摘要:针对类人足球机器人目标识别易受光照强度变化影响的问题,改进了常规的扫描线种子填充算法,提出了一种基于颜色聚类分割和种子填充的目标识别算法。该算法采用 HSI 颜色模型,依据亮度和饱和度信息对图像粗分割,基于阈值将彩色区域和灰色区域分离,同时将灰色区域二值化;基于色调直方图聚类分析对彩色区域的像素进行了归类,通过改进扫描线种子填充算法实现了色块的最简扩充和特征提取,使颜色分割和特征提取同步进行,解决了目标物体的快速、精确识别。实验结果表明,该算法抗干扰能力强,分割精度高,能满足实时性要求,具有一定的实用价值。

关键词:足球机器人;图像分割;种子填充;目标识别

中图分类号:TP242.6

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)07-0769-05

A target recognition algorithm based on color clustering and seed filling

PAN Hai-peng, HU Li-hua, LIU Yu

(Institute of Automatic, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the problem that the target recognition is impressionable of illumination variation in humanoid robot soccer, conventional seed filling algorithm was improved, and a target recognition algorithm based on color clustering segmentation and seed filling was proposed. The HSI color space was employed in the target recognition algorithm. Based on intensity and saturation, the image was separated to two parts, which were color area and gray area, by the method of thresholding. Then the color area was sorted to different color classes by clustering method based on the hue histogram. Meanwhile, the improved seed filling algorithm was used to minimal expand the color regions and extract regions' features. In this way, fast and precise target recognition was implemented. Experimental results show that the proposed method is higher free of disturbance, precise in segmentation and satisfies the real-time. It has certain practical value.

Key words: robot soccer; image segmentation; feed filling; target recognition

0 引 言

类人机器人足球比赛(Humanoid League)是近几

年 RoboCup 的热点比赛项目之一,要求参赛机器人具有完全的自主行为。而视觉系统是机器人具有自主行为的重要感知系统,其信息处理能力是决定自主机器

收稿日期:2011-02-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60904052)

作者简介:潘海鹏(1965-),男,河南濮阳人,教授,硕士生导师,主要从事系统建模与控制、智能信息处理等方面的研究。E-mail: pan@zstu.edu.cn

启 事

本刊自 2011 年第 7 期起,启用 CODEN 号:JGJOAL。CODEN(Code Number)是期刊刊名的缩写代码,也是在世界范围内识别一种期刊的国际性编码,具有唯一性。它是由美国 ASTM(American Society for Testing and Materials)制定,被国际公认。美国《化学文摘》(CA)、《工程索引》(EI Compendex)、《乌利希国际期刊指南》(Ulrich'sIPD)等国际检索系统,以及各国图书馆收藏部门均采用 CODEN 码进行文献/期刊识别。该代码由美国化学文摘社(CAS)的国际 CODEN 中心负责分配和管理。

人智能程度的关键^[1]。视觉系统的设计必须满足实时性、精确性和稳定性要求。

RoboCup 类人机器人足球比赛提供一个颜色编码的比赛环境,机器人主要依据颜色信息识别场上物体,所以彩色图像分割是目标识别的关键。目前,图像分割方法可分为基于阈值的分割、基于边缘的分割和基于区域的分割^[2]。阈值分割^[3]在事先知道图像的某些性质时,可以方便地实现图像阈值化处理,实时性高,在机器人足球比赛中应用较多,但由于光照变化、其他相似颜色干扰等影响,基于颜色阈值分割得到的色块不一定是目标,需根据形状、大小等特征信息对色块进行过滤与定性。为此 Nathan Lovell^[4]先对图像进行边缘检测,再根据颜色信息确定目标,但计算量明显增加。Luca Iocchi^[5]利用直方图变换修正法实时地自动获取各颜色的阈值,但是对于相似颜色的干扰无法消除。Bandlow 等^[6]先对图像进行阈值分割,再利用八连通搜索和形态学方法进行区域合并和特征提取。杜鑫峰等^[7]结合阈值分割和八连通轮廓跟踪的方法同时进行分割和特征提取,提高了处理速度,但是当目标周围被另一种目标颜色包围时,容易导致误分割。

本研究根据类人机器人图像识别的特点,考虑到种子填充算法在区域描述上具有灵活性与可扩展性,改进了扫描线种子填充算法,提出了一种基于颜色聚类分割和种子填充的目标识别算法。该算法在 HSI 颜色空间模型下实现,利用阈值分割方法对图像进行粗分割,将彩色区域与灰色区域分离,并利用基于色调直方图信息的聚类分析法对彩色区域的像素点分类,同时采用改进的扫描线种子填充算法获得色块的特征信息,有效地识别出目标物体。最后通过实验数据与识别结果验证了算法在分割精度、实时性、抗干扰能力等方面的有效性。

1 彩色图像分割

1.1 粗分割

足球机器人视觉系统对光照变化较为敏感,为提高系统的抗干扰能力,本研究采用 HSI 颜色模型对图像进行分析。场地环境一般采用容易区分的颜色为标记,理论上虽可以只根据色调分量实现不同颜色的归类,但实际上当饱和度靠近 0 时,色调的变化非常敏感,所以通常利用色调和饱和度两个信息分量进行判

断。在实际系统中目标物体的颜色通常采用饱和度较高的色彩,本研究利用饱和度和亮度信息进行粗分割,将饱和度相对较低的灰色区域与彩色区域分离,其中的灰色区域通常可分割成白色和黑色两类。

粗分割的过程采用阈值法:

$$I_i + S_i \leq th_b \quad (1)$$

$$I_i - S_i \geq th_w \quad (2)$$

若像素点 x_i 的亮度 I_i 和饱和度 S_i 满足公式(1),将其归为黑色类,若满足公式(2)则将其归为白色类,否则认为像素点 x_i 属于彩色区域。

式中的 th_b 和 th_w 为两个可调参数,可根据光线变化作相应的调整,用于将彩色区域和灰色区域分离,同时将灰色区域二值化。通过粗分割能快速、有效地分割出场地白线和黑色的机器人本体,去除白色背景,减少了后续聚类分割的数据量。

1.2 基于色调直方图信息的聚类分割

常规的固定颜色阈值法,都是在赛前通过离线学习或者手动采样确定一组颜色阈值^[8],但由于比赛过程易受光线变化等干扰,即便在同一场地中,每次比赛前也要对所有的颜色阈值进行调整。因此,为提高系统的抗干扰能力,本研究在离线学习颜色阈值的基础上,提出了一种基于直方图信息的聚类分割算法,该方法实时地根据每帧图像的色调直方图分布对图像进行分割。

因为在足球机器人比赛中,场地中所有特征物体的颜色、形状和大小都是已知的,假设场地中可能出现的目标颜色最多为 k 种,第 l 种颜色的色调分布区间在 $[th_{l-1}; th_l]$, T_l 表示第 l 种颜色的目标物体的相对大小。聚类分割的思想是利用样本直方图各区段的峰值坐标表示各颜色类的聚类中心,若某区段的峰值(出现的最大频数)小于一定的数目,则本研究认为该目标类在该样本中未出现,置该类中心为空,根据所得到的聚类中心值,按照最近邻法则确定样本的聚类划分。简化后的算法描述如下:

$$[num_l, a_l] = \max(D(th_{l-1}; th_l)) \quad (3)$$

$$v_l = \begin{cases} a_l, num_l \geq T_l \\ NULL, num_l < T_l \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} d_{il} = \|x_i - v_l\|^2 \\ x_i \in C_j, j = \arg \min(d_{il}, l) \end{cases} \quad (5)$$

式中: D —色调直方图; num_l, a_l —区间 $[th_{l-1}; th_l]$ 内的峰值和峰值坐标。

直方图能直观地反映图像中各颜色的实际分布情况,由于各颜色在直方图中基本呈高斯分布状态,与采用均值作为聚类中心相比,采用峰值点色调值作为聚类中心在分割效果上差别不大,但算法简单、直观,无需多次迭代计算。同时直方图描绘了各颜色在图像中出现的频率,而在实际系统中目标物体(离摄像头最远时)的大小已知,所以可根据直方图中峰值的大小来判断颜色类是否在图像中出现,进而确定聚类簇的个数,有效防止噪声的干扰。

2 改进的扫描线种子填充算法

在类人机器人足球比赛中,由于光照变化,其他干扰物颜色以及摄像头分色性能低等影响,仅根据物体的颜色属性无法实现目标的准确识别。所以本研究利用改进的扫描线种子填充算法以得到色块的形状信息,进而利用统计分类的原理对色块进行过滤,提高了目标识别的准确率。

种子填充生长模型为4连通或8连通,经典区域填充扫描线算法需要大面积的颜色判重和不必要的回溯,效率低。文献[9]引入区段端点堆栈结构,消除了颜色判读的重复操作,文献[10]对此进行了改进,消除了不必要的回溯处理,提高了算法的处理效率。根据类人机器人图像中目标颜色区域基本为凸多边形的特点,并考虑到因地白线、球的白色纹理等因素,容易造成色块的连通性遭到破坏,本研究在文献[10]的基础上进行优化,减少了对种子实施出入栈操作。

优化后算法利用8连通生长模型,并在区段填充时增加了一个先验条件,即对同一扫描线上的各个区段之间的间距进行判断,若某两个区段之间的间距小于某个范围,则认为是噪声点干扰,将两个区段合并成一个,从而降低了种子点出入栈次数。算法在提高计算效率的同时对色块进行最简扩充操作,提高了分割精度,算法的核心步骤如下:

步骤1(初始化):对给定种子点 (x_s, y_s) ,本研究沿扫描线 y_s 对种子点及其左右像素进行颜色判断并填充,标记为new-color,直到遇到边界像素为止,区间内最左、最右的像素的横坐标标记为 x_l 和 x_r ,分别将 $(x_l, x_r, -(y_s-1))$ 和 $(x_l, x_r, (y_s+1))$ 入栈,并初始化新的目标区域的结构体(区域编号,区域线段表,颜色标识,区域面积,外接矩形等)。

步骤2(出栈):若堆栈为空,则算法结束;否则本

研究取栈顶元素,并保存于 $(xpl, xpr, signed_y)$ 中。

步骤3(区段填充):本研究对扫描线 $y = |signed_y|$ 进行填充:若“ $xpl+1$ ”为区域的内点,从“ $xpl+1$ ”向左进行填充,直到边界像素点为止;填充 xpl 到 xpr 区域内的所有区段(可能不止一个);若“ $xpr+1$ ”为区域的内点,从“ $xpr+1$ ”向右进行填充,直到边界像素点为止。

步骤4(定范围):对 k 个区段进行填充,且 k 个区段自左向右顺序分别为: $[xl1, xr1], [xl2, xr2], \dots, [xlk, xrk]$,计算各区段之间的距离 $[d1, d2, \dots, dk]$,若某距离小于 $delta$,则将两区段合并,并重新排列 k' 个区段,同时更新目标区域的结构体。其中 $delta$ 为一可调参数,通常可以选择 $0.5(xpr-xpl)$ 。

步骤5(入栈):对步骤4中的 k' 个区段分别入栈:若 $xl1 < xpl - 1$,将 $(xl1, xpl - 2, -(signed_y - 1))$ 入栈;若 $xrk' > xpr + 1$,将 $(xpr + 2, xrk', -(signed_y - 1))$ 入栈;将 $(xli, xri, signed_y + 1, (i = 1, 2, 3 \dots k'))$ 入栈。

步骤6(循环执行):转步骤2执行。

改进的扫描线种子填充快速聚类算法效果图如图1所示。下面以图1为例进一步说明改进的扫描线种子填充算法的实现过程和有效性。假设种子点为 $(7, 3)$, $delta = 0.5(xpr - xpl)$ 。本研究按步骤1~步骤6沿着扫描线 $y_s = 3$,对种子点及其左右像素填充直到边界,分别将 $(7, 8, -2)$ 和 $(7, 8, 4)$ 入栈,初始化区域结构体: $left = 7, right = 8, top = bottom = 2, count = 2$,线段 $(3, [7, 8])$ 加入线段表中。出栈,将 $(7, 8, 4)$ 保存于 $(xpl, xpr, signed_y)$ 中,得到一个区段 $[6, a]$,更新结构体;由于 $a > xpr + 1$,所以将 $(9, a, -3)$ 和 $(6, a, 5)$ 分别入栈。返回步骤2,出栈 $(6, a, 5)$,执行第3步后得到两个区段 $[5, 6]$ 和 $[8, a]$,由于两区段之间的距离为1,小于 $delta$,将两区间合并,只需要将一个种子点 $(5, a, 6)$ 入栈,下面继续循环执行,直到堆栈为空。本例总共入栈的种子数为10,读点数为69,若采用文献[10]的方法需要入栈的种子数为12,读点数为79。当噪声点增加时,改进算法的效率提高程度将会更明显。

本研究根据种子填充算法获得的色块描述信息,如外接矩形、色块的线段表、密度(填充度)等信息生成特征空间,并根据实验数据采用条件表达式建立分类模型,采用统计分类的原理对目标进行识别。举例来说:某个橙色色块要判断其是否是球,将其面积、外接矩形的长宽比、周围绿色点数等特征作为判据,判断其是否属于球。

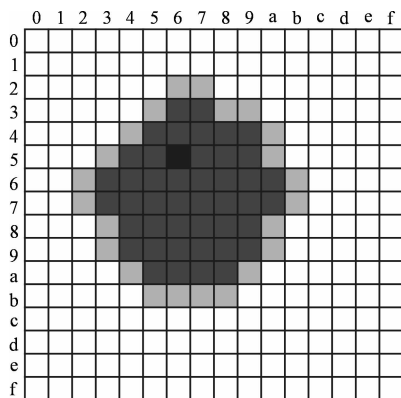


图 1 改进的扫描线种子填充快速聚类算法效果图

3 实验及结果分析

为验证可行性,笔者利用本研究算法对 Robocup 小型类人组比赛系统中的彩色图像进行了色块分割和目标识别实验。原始图像由单目视觉机器人采集得到,以 RGB 格式位图方式保存,大小为 320×240 ,如图 2(a)所示。首先将 RGB 格式的图像转换到 HSI 格式,粗分割采用的阈值为 $th_b = 0.45$, $th_w = 0.1$,区段端点 $th = [50, 80, 180]$,各目标颜色类的大小阈值 $T = [5, 60, 1\ 000, 60]$, T 的值以像素为单位。粗分割结果如图 2(b)所示,灰色部分对应原始图像中的彩色区域,而白色和黑色部分对应原始图像中的灰度区域,彩色区域的色调直方图如图 2(c)所示,从直方图可以直观地找出目标颜色的聚类中心,如图 2(c)所示,分别为 63、125 和 215,而分布在 $0 \sim 50$ 区段内的直方图分布几乎为 0,可认为第 1 种橙色在图中未出现,分割结果如图 2(d)所示。为了便于观察,将目标颜色的色块从图 2(d)中分解,得到如图 2(e)、(f)和(g)所示,分别表示蓝色、黄色和橙色,根据种子填充算法得到共有 10 个蓝色区域,58 个黄色区域和 9 个橙色区域,根据各色块的特征信息进行校验过滤,从而得到被矩形框圈起来的两个蓝色色块(图 2(e)中)和一个黄色色块(图 2(f)中),最后根据各色块的位置确定这 3 个色块共同组成了上下为黄色、中间为蓝色的路标。

为验证有效性,笔者将本研究算法与文献[2]所述的阈值向量法在分割效果上进行比较如图 3 所示。其中图 3(a)~(d)所示的 4 幅图像为在不同光照条件,不同的场地位置拍摄得到的原始图像,图 3(e)~(h)为基于阈值向量法的分割图像,不难看出,该方法在光线变化或者有阴影时容易造成误分割,白线很容

易丢失,抗干扰能力较弱;图 3(i)~(l)为本研究算法分割图像,不受阴影影响,对光线变化的自适应能力强。利用本研究提出的颜色聚类分割算法和种子填充算法同时进行分割以及特征提取,并经校验后得到的目标识别结果如图 2(m)~(p)所示,可以看出识别精度较高。

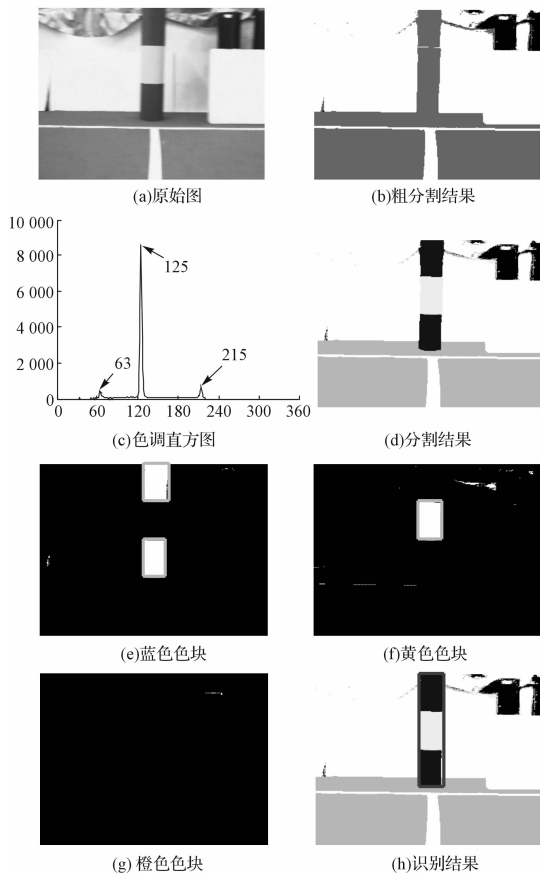


图 2 聚类分割和目标识别的实现过程

上述实验在一台主频为 3 GHz 奔腾 4 处理器、内存为 504 MB 的计算机上进行,操作系统为 Windows XP,采用 Matlab7.1 编程实现。为验证算法的实时性,对 1 000 幅原始图像进行处理,得到平均处理时间为 20.25 ms,2 种算法对图 3(a)~(d)4 幅图像的处理时间如表 1 所示,可见本研究算法的处理速度与阈值向量法相当,满足于每秒钟处理 30 帧图像的实时性要求。

表 1 两种算法处理速度的比较

图片	一	二	三	四
阈值向量法/ms	20.45	19.64	21.20	20.74
本研究算法/ms	21.01	19.26	20.11	19.75

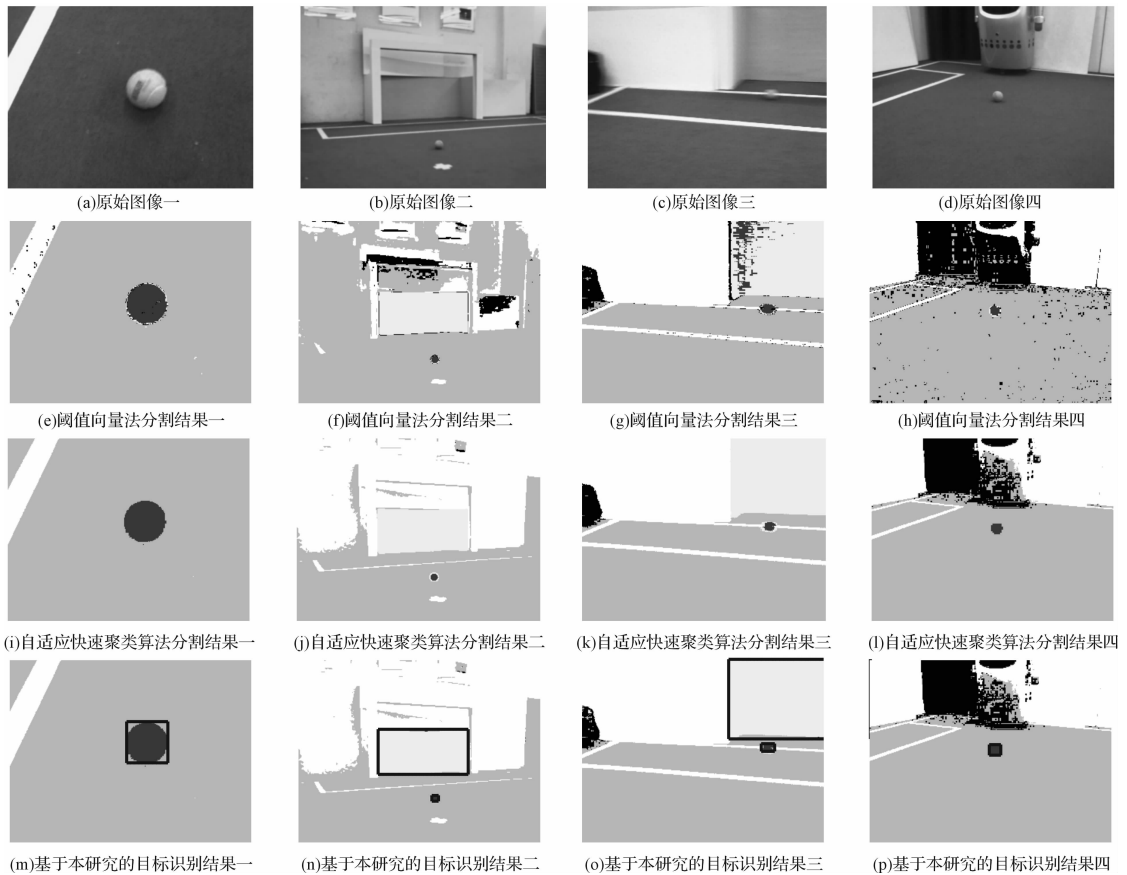


图3 自适应快速聚类算法与固定阈值算法分割结果比较

4 结束语

本研究针对类人足球机器人比赛系统,根据目标颜色区域基本为凸多边形的特点,并考虑到因场地白线、球的白色纹理等因素,提出了改进的扫描线种子填充算法,在提高计算效率的同时对色块进行最简扩充操作。结合颜色聚类分割和改进的种子填充算法,实现了适用于类人足球机器人视觉系统的目标识别。

从实验对比结果可以看到,该算法用于类人型足球机器人达到了较好的分割效果和识别精度,与阈值向量法相比,自适应能力强,不容易受光线变化或者有阴影的影响。该目标识别算法在智能机器人、计算机视觉等领域有较高的实用价值。

参考文献 (References):

- [1] 段勇,徐心和. 自主足球机器人视觉系统结构及关键技术[J]. 东北大学学报:自然科学版,2006,127(1):9-12.
- [2] CHENG H D, JIANG X H, SUN Y, et al. Color image segmentation: advances and prospects[J]. *Pattern Recognition*,2001,34(12):2259-2281.

- [3] BRUCE J, BALCH T, VELOSO M. Fast and Inexpensive Color Image Segmentation for Interactive Robots [C]//In Proceedings of IROS-2000, Japan,2000:2061-2066.
- [4] NATHAN L. Illumination Independent Object Recognition [C]//RoboCup 2005, LNAI 4020,2006:384-395.
- [5] LUCA I. Robust Color Segmentation Through Adaptive Color Distribution Transformation [C]//RoboCup2006, Springer-Verlag Berlin Heidelberg,2007:287-295.
- [6] BANDLOW T, KLUPSCH M, HANEK R, et al. Fast Image Segmentation, Object Recognition and Localization in a RoboCup Scenario [C]//RoboCup-99, LNAI 1856,2000:174-185.
- [7] 杜鑫峰,熊蓉,褚健. 仿人足球机器人视觉系统快速识别与精确定位[J]. 浙江大学学报:工学版,2009,43(11):1975-1981.
- [8] 何超,熊蓉,戴连奎. 足球机器人视觉图像的快速识别[J]. 中国图象图形学报,2003,8A(3):271-275.
- [9] 柳朝阳,李叔梁. 压入区段端点的区域填充扫描线算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,1996,8(6):415-419.
- [10] 任继成,杨代伦. 区域填充扫描线算法的改进[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,1998,10(6):481-486.