

结合 HSL 模型与傅里叶描述子的三维彩色物体识别

冉冉, 杨唐文, 阮秋琦

(北京交通大学 信息科学研究所, 北京 100044)

摘要: 目标物识别是机器人导航中重要的一步, 现存的方法大多对于场景中的彩色物体仅采用颜色分割, 或者转化为灰度图进行识别, 不能满足彩色物体识别的需要. 提出在基于 HSL 模型颜色分割的基础上, 结合傅里叶算子对轮廓特征识别的优势, 先用三维目标各个角度成像的傅里叶描述子建立分类器, 再对三维物体的二维成像进行轮廓特征识别, 并在颜色分割的过程中采用了快速算法. 实验表明, 物体测试集的识别率达到了 73.3%, 可应用于对实时性要求比较高的彩色物体智能识别系统.

关键词: HSL 颜色分割; 傅里叶描述子; 轮廓特征; 三维彩色物体识别

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2011)01-0073-06

Recognizing a colored object based on an HSL model and Fourier descriptors

RAN Ran, YANG Tangwen, RUAN Qiuqi

(Institute of Information Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Object recognition is an important step for achieving robot navigation. There are many approaches in this domain to recognize a colored object. Most of them segment an image by color to determine the target, or convert the color image to grey before recognizing it. This study focused both on color and shape information. First, the image was segmented based on an HSL model and flood fill algorithm; secondly, by combination with the Fourier operator that has advantage in contour feature recognition, build a classifier by Fourier descriptor to discriminate a three-dimensional object from every angle, and then identify the two-dimensional image's outline feature of a three-dimensional object, and use a fast algorithm during color segmentation. The experiments show that the average recognition rate reaches 73.3% on the testing set. The method proposed in this paper can be applied to colored object intelligent recognition system which has higher real-time requirement.

Keywords: color segmentation using HSL; Fourier descriptors; shape recognition; colored object recognition

移动机器人的关键技术之一是自主导航, 该问题被定义为基于环境理解的全局定位、目标识别和避障. 其中目标识别是实现真正的智能化和完全自主移动的基础, 也是机器人领域的一大研究热点^[1]. 目前, 对彩色目标识别主要有 2 种思路: 1) 颜色分割和区域生长结合得到目标所在连通区, 该类方法利用目标物颜色和背景颜色的差别进行识别, 没有考虑到目标物的形状信息^[2]; 2) 将彩色图像转化为灰度图像, 利用傅里叶描述子、角点、不变矩、SIFT/SUFT、haar 特征、hough 变换等方法进行目标识别^[3]. 本文将这 2 种方

法结合起来, 在颜色分割的基础上, 对物体的形状进行识别, 达到彩色目标识别的目的; 并且采用了快速算法, 具有速度快、识别率高的特点.

1 图像分割

1.1 基于 HSL 颜色模型的彩色图像分割

选择 HSL 色彩空间模型是因为它在图像处理中具备以下一些优点: 在 HSL 模型中, 亮度分量 L 与色度分量 H 是分开的, L 分量与图像的彩色信息无关; 色度分量 H 和饱和度分量 S 概念上相互独立并与人的感知紧密相连. 这些特点使得 HSL 模型非常适合基于人的视觉系统对彩色感知特性进行处理分析的图像算法^[4].

对 HSL 模型表示的彩色图像进行基于颜色阈值的分割,实现图像二值化的关键是要确定出 1 个合理的分割准则. 经过对单一颜色目标在不同光照条件下的大量样本统计,可以确定它的色度 H 、饱和度 S 的大致取值范围. 这里,由于亮度 L 跟光照有很大关系,且不能反映出物体固有的颜色信息,因此,这里不将 L 作为颜色分割的条件^[5].

设统计出的色度 H 的取值范围为 $[H_1, H_h]$, 饱和度 S 的取值范围为 $[S_1, S_h]$. 由于色度 H 是沿圆周分布的角度信息而不是线性信息(如 0° 和 360° 附近其实是连续变化的颜色,而不是像数值所反映出的相差很远),参见图 1. 用阈值上下限构成区间这种表示方法不能正确分割图像,一种可行的方案是在 H 圆周上找到距 H_1 和 H_h 距离相等的点 H_m , H_m 到 H_1 或 H_h 的距离为 H_d , 计算余弦表示的色度差范围最小值 $\cos H_d$. 判定 1 个像素点是否为候选目标时,通过计算 $\cos(h - H_m)$, 若 $\cos(h - H_m) \geq \cos H_d$ 则认为 h 是目标颜色.

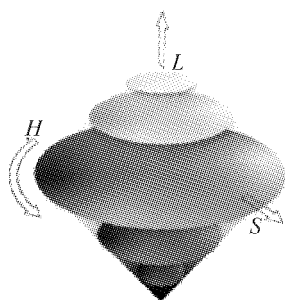


图 1 HSL 模型示意

Fig. 1 HSL model sketch

综上,得到对图像颜色分割的准则如式(1).

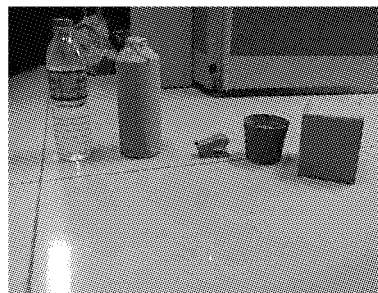
$$f_{\text{pix}} = \begin{cases} 0, & \cos(h - H_m) \geq \cos H_d, \\ & s \in [S_1, S_h]; \\ 255, & \text{else.} \end{cases} \quad (1)$$

式中: f_{pix} 是用于保存分割结果的图像像素.

1.2 区域填充

完成了图像的二值化,用种子填充方法去除二值图像中的背景干扰,以及一些小物体的干扰,进一步确定出候选目标. 使用 flood fill 填充算法,先对图像像素进行等间隔(如隔 3 个像素)顺序遍历,将经过式(1)处理后,灰度值为 0 的像素点确定为种子点,对每次得到的种子点通过判断它的 8 邻域(或 4 邻域)内的像素是否为 0,若为 0,则将该邻域像素纳入目标区域,否则,不进行填充. 这样经过填充的图像虽然在视觉上与颜色分割后的二值图像无异,但实际在填充过程中可以得到各区域的外接矩形、面积等信息的描述. 为了去除背景和小物体干扰,选取

面积最大的 2 个连通区域作为候选目标. 处理前后的结果如图 2 所示.



(a) 原始彩色图像



(b) 颜色分割后的二值图像



(c) 填充再筛选出的图像

图 2 提取橙色物体步骤

Fig. 2 Procedure of segmenting the orange objects

1.3 改进的快速算法

经典的 flood fill 方法存在以下几个缺点: 1) 种子填充时是对整幅图的像素点进行递归搜索填充, 时间复杂度高; 2) 当目标物处于一个复杂的背景中, 背景中相似颜色的干扰会导致填充结果中存在大量非候选目标的连通区域, 影响后续的目标识别的准确性; 3) 目标物颜色可能不是单一的, 或者由于目标物上存在污点, 或者图像获取过程中存在噪声, 导致在目标区域的填充结果往往不是连通的, 即目标物区域被错误地分裂成若干区域. 针对这些缺点, 本文先对图像进行缩小得到缩小图像矩阵, 并对其进行形态学滤波处理, 再用 floodfill 进行填充实现目标物体分割. 由于填充算法实现上是深度优先或广度优先搜索法, 查找每个像素邻接点的时间复杂度为 $O(n^2)$, n 为像素个数, 缩小 n 可以大大降低搜索时间. 这样, 改进算法一方面提高了物体识别的正确率, 同时又提高了分割效率.

采用双线性插值法对图像进行缩小. 在数学上, 双线性插值是有 2 个变量的插值函数的线性插值扩展, 其核心思想是在 2 个方向上分别进行 1 次线性插值, 该方法利用了原始图像像素点周围 4 个像素点的

相关性,用原始图像中的4个点来代替图像子块,效果比较理想.本文只用到 H 通道的图像和 S 通道的图像,因此只对 H 通道和 S 通道进行缩小.然后再对缩小图像进行 flood fill 填充,得到目标区域.

2 目标识别

传统的傅里叶描述子主要用于平面图形形状描述、重建、识别.由于三维物体成像所得平面形状与拍摄角度有很大关系,这些成像均对应同一物体,但没有明显的规律.考虑到本文的研究目的是让机器人识别1个简单三维物体,一般具有对称性和简单轮廓,因此提出将这类简单物体各个角度的投影图像建立分类器,包含的样本数较小,区分形状所需的FD阶数也较小,再用傅里叶描述子进行识别.

2.1 轮廓检测

对图2得到的二值图像平滑滤波后,用canny算子^[6]可以很容易地得到它的边缘点序列,但是边缘特征不同于轮廓特征,边缘信息过于庞大,包含了冗余和杂散特征,不利于进行物体识别.为了得到有用的轮廓信息,可以对边缘点序列进行重采样得到新的边缘点序列,并将最外层的边缘作为轮廓,如图3所示.设得到的某个连通域的轮廓点序列为 $c_K(x, y)$,其中 K 表示轮廓长度.

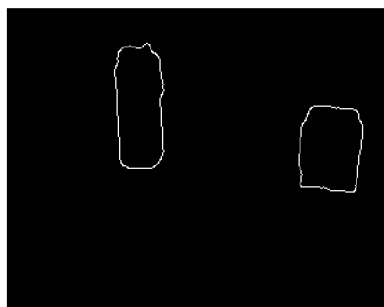


图3 外轮廓图像

Fig.3 Outer contours

2.2 基于傅里叶描述子的特征提取

令得到的轮廓序列 $c_K(x, y)$ 起始点为 (x_0, y_0) ,沿轮廓的逆时针方向得到一系列点坐标 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_{K-1}, y_{K-1})$,这些坐标可以写成 $x(k) = x_k, y(k) = y_k$ 的形式.轮廓点可以表示为 $s(k) = x(k) + jy(k)$, $k = 0, 1, \dots, K-1$ 的复数形式,相当于将图像坐标系的 x 轴看作实轴, y 轴看作虚轴^[7].这种表示方法并没有改变轮廓点的本质,除此之外还将二维图像表示转化为一维点列表示,问题得到简化.

对 $s(k)$, $k = 0, 1, \dots, K-1$ 进行离散傅里叶变换(DFT)得

$$a(u) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} s(k) e^{-j2\pi uk/K}.$$

式中: $u = 0, 1, \dots, K-1$.我们称傅里叶系数 $a(u)$ 为傅里叶描述子.由于傅里叶变换是可逆的,这种对轮廓的描述方法没有损失信息.根据傅里叶变换的物理意义可知,傅里叶系数的高频分量是对细节的刻画,低频分量是对总体形状的刻画.针对目标识别这一任务只需知道物体的大致形状就足以达到区分不同形状的目的,因此只需选取若干低频傅里叶系数作为形状的描述,对方盒轮廓线进行FFT^[8]可以得到频谱图如图4.

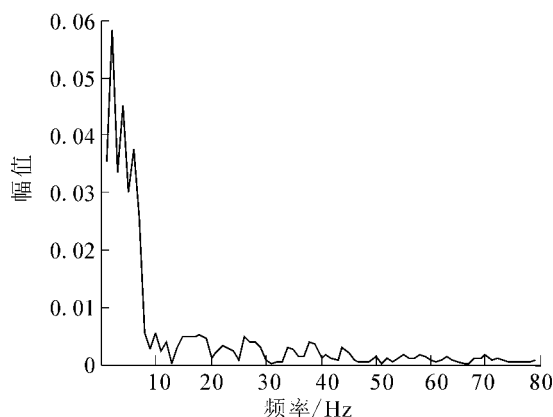


图4 方盒频谱图

Fig.4 Frequency spectrum of the box

可见,频率分量主要集中在低频部分,前8阶包含了轮廓的主要能量.因此选取前8个傅里叶系数用来表征轮廓,设 $P = 8$ 表示阶数.傅里叶描述子与平面形状的旋转、平移、尺度和曲线起点 (x_0, y_0) 选择有关,如表1所示.

表1 傅里叶描述子的基本性质

Table 1 Basic characters of Fourier descriptors

	轮廓	傅里叶描述子
原形状	$s(k)$	$a(u)$
旋转	$s_r(k) = s(k) e^{j\theta}$	$a_r(u) = a(u) e^{j\theta}$
平移	$s_t(k) = s(k) + \Delta_{xy}$	$a_t(u) = a(u) + \Delta_{xy} \delta(u)$
尺度	$s_s(k) = \alpha s(k)$	$a_s(u) = \alpha a(u)$
起点	$s_p(k) = s(k - k_0)$	$a_p(u) = a(u) e^{-j2\pi k_0 u/K}$

为了让识别效果具有旋转、平移、尺度和序列起点选取不变性,需要对傅里叶描述子进行归一化.有如下推导过程^[9]:设形状旋转 θ ,平移 (x_0, y_0) ,放大 α 倍,起点右移了 k_0 长度,新的傅里叶系数变为:

$$\begin{aligned} a'(u) &= F[(x' + jy') \alpha e^{j\theta} + (x_0 + jy_0)] = \\ &= \alpha e^{j\theta} F(x' + jy') + F(x_0 + jy_0) = \\ &= \alpha e^{j\theta} a(u) e^{-j2\pi k_0 u/K} + F(x_0 + jy_0); \end{aligned}$$

$$\begin{cases} a'(0) = \alpha e^{j\theta} a(0) + F(x_0 + jy_0), k = 0, \\ a'(u) = \alpha e^{j\theta} e^{-j2\pi k_0 u/K} a(u), u = 1, 2, \dots, K-1 \\ \Rightarrow \frac{\|a'(u)\|}{\|a'(1)\|} = \frac{\|\alpha e^{j\theta} e^{-j2\pi k_0 u/K} a(u)\|}{\|\alpha e^{j\theta} e^{-j2\pi k_0 u/K} a(1)\|} = \frac{\|a(u)\|}{\|a(1)\|}. \end{cases}$$

式中: $u=1, 2, \dots, K-1$; $\|\cdot\|$ 表示取模; $x' + jy' = x'(l) + jy'(l) = x(l+k_0) + jy(l+k_0)$.

由此可见, 无论形状旋转、平移、缩放还是起点平移, $\frac{\|a(u)\|}{\|a(1)\|}$ 恒定, 定义归一化傅里叶描述子:

$$d(u) = \frac{\|a(u)\|}{\|a(1)\|}, u = 1, 2, \dots, K-1.$$

2.3 模板匹配

在对模板图像进行傅里叶描述子计算可以得到一个 P 阶的数值点集. 由于识别对象是三维物体, 不同拍摄角度会得到它的不同的二维投影成像, 因此在建立分类器时需要考虑到三维物体旋转角度问题. 每一个类别对应 N 个不同角度样本投影, N 的选取与三维物体自身特征有关, 对称性高的物体, 比如正方体, N 的选取可以较小, 对称性低的物体, 如不规则物体, N 的选取应该较大.

形状相似度采用欧式距离度量, 计算目标图像与模板的 N 组不同角度投影图像的傅里叶描述子之间的距离 d :

$$d = \sqrt{\sum_{k=2}^P \|d_i(k) - D_n(k)\|^2}.$$

式中: $D_n(k)$ 表示模板的傅里叶描述子, $n=1, 2, \dots$,

$N; d_i(k)$ 表示目标图像的傅里叶描述子; P 表示选用的傅里叶描述子的阶数. 目标与模板差异越大, d 越大, 当物体投影与模板完全一致时, $d=0$. 可以为 d 设定一个阈值 T_d , 用目标图像与分类器中的模板图像的各组傅里叶描述子分别计算 d , 选出其中最小的距离 d_{\min} , 若 $d_{\min} \leq T_d$, 将物体判定为目标, 否则不是目标.

3 实验与结果分析

本文通过测试集和训练集来检测彩色物体识别的准确度. 训练样本是对一个橙色盒子从不同角度拍摄所得的彩色图片, 如图 5 所示. 用颜色分割得到的样本二值图像如表 2.

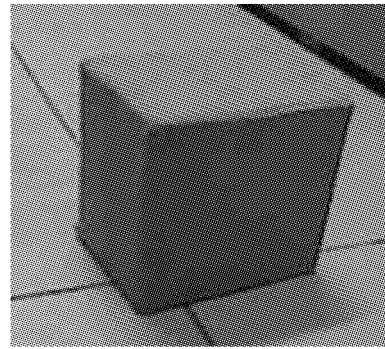


图5 待识别物体

Fig. 5 The object to be recognized

表2 采集的样本形状
Table 2 Collection of the sample shapes

样本号	1	2	3	4	5	6	7
图像							

处理 60 幅 640×480 大小的图像, 缩小的倍数为 $1/2$ 倍, 在 Intel(R) Core 2 CPU、1GB 内存、Win-

dows XP 下运行, 所用的未改进的 flood fill 方法和改进后的 flood fill 方法的运行时间对比如表 3.

表3 改进前后运行时间对比
Table 3 Comparison of programs run time

	经典方法/ms	改进方法/ms	改进/经典/%	改进后时间缩短的百分比/%
平均 flood fill 时间	37.759 44	3.520 3	9.32	90.67
平均总处理时间	190.256 80	67.202 3	35.32	64.68

对样本的轮廓求取前 8 阶傅里叶系数作为傅里叶








描述子, 上述图片对应的傅里叶描述子如表 4 所示.

表 4 样本形状的傅里叶描述子
Table 4 Fourier descriptors for sample shapes

样本号	阶 数						
	2	3	4	5	6	7	8
1	0.035 3	0.058 4	0.033 7	0.045 2	0.029 9	0.037 6	0.025 8
2	0.030 3	0.003 7	0.035 3	0.026 8	0.008 0	0.008 1	0.002 2
3	0.034 4	0.024 4	0.038 6	0.011 8	0.018 9	0.005 1	0.004 9
4	0.048 6	0.040 4	0.034 1	0.024 6	0.017 6	0.005 0	0.011 1
5	0.029 5	0.013 5	0.022 1	0.059 5	0.009 2	0.025 5	0.032 3
6	0.028 3	0.038 4	0.035 7	0.018 9	0.017 3	0.008 2	0.010 8
7	0.052 0	0.002 0	0.006 7	0.002 0	0.003 5	0.002 0	0.002 9








实验 1 选取 1 组正例测试图形进行测试,与上述 7 组傅里叶算子分别计算距离,取距离的最小值,得到表 5.

表 5 正例样本测试结果
Table 5 Test results for positive samples

正例测试 图像							
最小距离	0. 45	0.26	0.21	0.26	0.21	0. 28	0.46

实验 2 选取 1 组负例测试图形进行测试,与上述 7 组傅里叶算子分别计算距离,取距离的最小值,得到表 6.

表 6 负例样本测试结果
Table 6 Test results for negative samples

负例测试 图像							
最小距离	0.56	1.12	1.03	0.31	0.79	0.45	0.70

可以看出,正例测试图形与训练样本图形距离总体上较小,负例测试图形与训练样本图形距离总体上较大.实验表明,通过增加训练样本的拍摄角度从而增加训练样本数,可以生成更加精确的分类器.改进后,用了 20 个不同角度的训练样本,对 30 个正例测试图形进行识别,最小距离均值可以达到 0.22,30 个测试图形的最小距离均在[0.16,0.35]区间.

拍摄了 60 组彩色测试图像,其中 30 组为既包含目标物体又包含颜色相近干扰物体的图片,剩下 30 组为不包含目标物体的图片,这 2 类图片中均包含不同光照条件下的拍摄.经过颜色预分割、区域填充、轮廓提取、傅里叶算子计算、匹配整个流程,最终识别率达到 73.3%,误判率为 20%.

可见,本文改进的 floodfill 彩色分割方法在并无明显影响分割精度的前提下,显著降低了系统的运行时间,适合应用于对实时性要求比较高的系统;而

采用傅里叶描述子表征物体的形状特征,可以比较好地区分轮廓不同的形状.这 2 种方法的结合采用,可以达到识别彩色物体的实时要求.

4 结束语

本文方法的提出是基于三维场景中的彩色物体识别这一具体任务的,为了达到更好的识别效果,综合利用了物体的颜色信息和形状信息.首先利用物体区别于背景的特定颜色,使用 HSL 模型,对图像进行阈值分割,通过图像分割去除部分背景干扰信息.再对图像进行种子填充,得到可能包含目标的若干连通区域,根据区域面积大小进一步确定出 2~3 个候选连通区,去掉其余干扰.然后根据对这 2~3 个连通区分别进行轮廓提取,计算归一化傅里叶描述子,再进行模板匹配,最终得到目标.在种子填充过程中,本文采取对图像缩小再填充的策略,大大节

省了填充时间,提高了系统的实时性.提出的方法取得了较高的识别率,可以应用到具有单一颜色的彩色物体识别领域,还可用于机器人视觉导航、彩色图像分割等研究领域;但是对更具有复杂颜色的彩色物体识别,本文的方法不再适用,可以加入纹理特征、统计特征等分析方法.

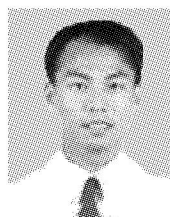
参考文献:

- [1] 张朋飞,何克忠,欧阳正柱,等.多功能室外智能移动机器人实验平台—THMR-V[J].机器人,2002,24(2): 97-101.
ZHANG Pengfei, HE Kezhong, OUYANG Zhengzhu. Multi functional intelligent outdoor mobile robot tested — THMR-V [J]. Robot, 2002, 24(2): 97-101.
- [2] 曲昆鹏,郑丽颖.基于目标、背景比例的灰度图像自动阈值选取法[J].应用科技,2010,37(2): 52-54.
QU Kunpeng, ZHENG Liying. Automatic thresholding of gray-scale image based on the proportion of object and background[J]. Applied Science and Technology, 2010, 37(2): 52-54.
- [3] 付永庆,宋宝森,吴建芳.边缘分类 SIFT算法[J].哈尔滨工程大学学报,2010,31(5): 632-636.
FU Yongqing, SONG Baosen, WU Jianfang. An improved scale invariant feature transform algorithm[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2010, 31(5): 632-636.
- [4] 林开颜,吴军辉,徐立鸿.彩色图像分割方法综述[J].中国图象图形学报,2005,10(1): 1-10.
LIN Kaiyan, WU Junhui, XU Lihong. A survey on color image segmentation techniques[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(1): 1-10.
- [5] 王红波.移动机器人视觉导航系统研究[D].北京:北京交通大学计算机与信息技术学院,2008.
WANG Honbo. Research on vision navigation system for mobile robot[D]. Beijing: School of Computer and Information Technology, Beijing Jiaotong University, 2008.
- [6] 阮秋琦.数字图像处理学[M].2版.北京:电子工业出版社,2007: 391-396.
- [7] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing [M]. Englewood Cliffs, USA: Prentice-Hall, 2002.
- [8] ZAHN C T, ROSKIES R Z. Fourier descriptors for plane closed curves[J]. IEEE Transactions on Computers, 1972, 21(3): 269-281.
- [9] 王涛,刘文印,孙家广,等.傅立叶描述子识别物体的形状[J].计算机研究与发展,2002,39(12): 1714-1719.
WANG Tao, LIU Wenyin, SUN Jianguang. Using Fourier descriptors to recognize object's shape[J]. Journal of Computer Research and Development, 2002, 39(12): 1714-1719.

作者简介:



冉冉,女,1986年生,硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理和机器视觉方向.



杨唐文,男,1971年生,讲师,博士,主要研究方向为智能传感与信息处理、机器人学与技术.



阮秋琦,男,1944年生,教授,博士生导师,博士,北京交通大学信息科学研究所所长,国务院学位委员会学科评议组成员,IEEE 高级会员.主要研究方向为图像处理、计算机视觉、多媒体信息处理、虚拟现实、计算机支持的协同工作.曾承担国家自然科学基金重大项目,国家自然科学基金项目,国家"863"计划项目,铁道部、省、市级科研项目50余项.曾获国家教委科技进步二等奖,铁道部科技进步二等奖和三等奖等.发表学术论文350余篇,出版书籍3部,获国家专利1项.