

基于机器视觉的烟箱包装带识别定位算法

李长勇^{1,2} 元利伟³ 曹其新¹

(1 上海交通大学 机器人研究所, 上海 200240; 2 新疆大学 机械工程学院,
乌鲁木齐 830046; 3 ABB 中国研究中心 机器人部, 上海 200131)

摘要: 为了提高烟箱拆包的效率,提出了一种基于机器视觉的烟箱包装带识别与定位算法。首先将采集到的 RGB 颜色空间的彩色图像转换为 OHTA 颜色空间中的灰度图像,通过采用复合动态阈值法在变化光线强度下将箱体与背景分割开,然后用 BLOB 滤波算法滤除图像中的噪声,沿箱体主轴利用剪切点搜索算法识别并定位了各条包装带的剪切位置。利用开发的智能烟草拆箱机器人系统,进行了大量的试验,结果表明:系统在光照强度为 150~400 lx 范围内,能对白、黑、灰、紫、青、黄、绿、蓝、咖啡色等 9 种颜色的包装带进行识别、定位,最大误差为 7 mm,检测时间最长 190 ms,满足实用要求。

关键词: 智能机器人; 机器视觉; 烟草; 包装带; 识别; 定位; 颜色空间

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4512(2008)S1-0061-04

Algorithm for recognition and localization of packing belt of tobacco boxes based on machine vision

Li Changyong^{1,2} Qi Liwei³ Cao Qixin¹

(1 Research Institute of Robotics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2 School of Mechanical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

3 Robotics Department, ABB Corporate Research China, Shanghai 200131, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of unpacking system, an algorithm of quick recognition and localization packing belts was proposed, which was based on machine vision. With dynamic threshold method, the image grabbed by camera was segmented in OHTA color space. The noise in the image was filtered out through the BLOB algorithm, and then the cutting positions of packing belts were located along the principal axis with the cutting point searching algorithm. Experiments were carried out with the developed intelligent unpacking robot system. The results show that: at the light intensity of 150 to 400 lx, the unpacking system can recognize and locate the packing belts in color white, black, gray, purple, blue, yellow, green, blue, brown and so on within 190 ms and the maximum error is 7 mm. The algorithm can satisfy practical requirements.

Key words: intelligent robots; machine vision; tobacco; packing belts; recognition; localization; color space

随着烟草行业工业自动化水平的不断提高,工业机器人也越来越多地用于烟草生产中的各个环节^[1-6]。研制能够代替人工以实现烟草生产过程中的原料烟包的自动化拆箱、自动化上料的智能烟草拆箱机器人已成了烟草企业的迫切需要。由上海交通大学机器人研究所和 ABB 中国研究中心机器人部联合研制了基于机器视觉的智能烟

草机器人拆箱系统。本文主要介绍该系统的难点与核心模块,即烟箱包装带的识别与定位算法。

1 基于 OHTA 颜色空间的图像分割法

本文采用的 OHTA 颜色空间是由文献[7]提出的一组适用于多种彩色图像分割的正交颜色

收稿日期: 2008-07-15.

作者简介: 李长勇(1976-),男,博士研究生, E-mail: LLCYong@126.com.

特征集. 与传统的 HSI, HSV 颜色空间相比, OHTA 颜色空间与 RGB 颜色空间的换算关系是线性的, 使用时不会出现非线性颜色空间与 RGB 颜色空间转换时出现的色彩奇异性问题.

OHTA 与 RGB 颜色空间的转换公式如下

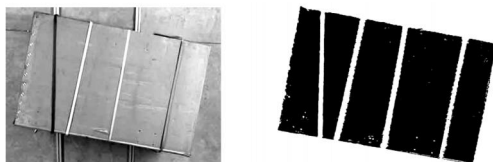
$$\begin{cases} I_1 = (R + G + B)/3; \\ I_2 = (R - B)/2; \\ I_3 = (2G - R - B)/4, \end{cases} \quad (1)$$

式中: R, G 和 B 为 RGB 颜色特征; I_1, I_2 和 I_3 为 OHTA 颜色空间的正交特征, 其中 I_1 反映图像的灰度特征, I_2 和 I_3 反映图像的颜色特征.

在工厂现场, 由于视觉系统处在开放的工作环境中, 因此光照强度不总是恒定的. 本文在 I_1 和 I_2 两个通道采用了随光照强度变化而变化的动态阈值, 并将二者相结合. 根据式 (1), 计算出每个像素点的 I_1 和 I_2 值, 由于烟箱箱体占据了图像 80% 的幅面, 并且居于图像的中部, 因此可以取每幅图像中间一定范围内的像素的 I_1 和 I_2 值的平均值, 作为烟箱箱体的 $I_{1\text{平均}}$ 和 $I_{2\text{平均}}$ 值, 取 $I_{11\text{阈值}} = I_{1\text{平均}} - L_1$ 和 $I_{12\text{阈值}} = I_{1\text{平均}} + L_1$ 作为 I_1 通道的阈值; 取 $I_{21\text{阈值}} = I_{2\text{平均}} - L_2$ 和 $I_{22\text{阈值}} = I_{2\text{平均}} + L_2$ 作为 I_2 通道的阈值, 其中 L_1 和 L_2 是阈值范围参数, 经试验确定 $L_1 = 30, L_2 = 10$. 因为包装带的颜色种类较多, 所以单纯通过一个通道进行阈值分割是不能完全将烟箱箱体和背景分隔开的, 通过试验验证, 组合 I_1 和 I_2 通道采用多阈值的方法可以得到很好的分割效果. 取

$$g(i, j) = \begin{cases} 0 & ((I_{11\text{阈值}} < I_1(i, j) < I_{12\text{阈值}}) \\ & (I_{21\text{阈值}} < I_2(i, j) < I_{22\text{阈值}})); \\ 255 & (\text{其他}), \end{cases} \quad (2)$$

式中 $g(i, j)$ 为像素点 (i, j) 的灰度值, 若该值为 0 则表示该像素属于箱体, 若该值为 255 则表示该像素属于背景. 根据式 (2) 进行图像分割, 分割的效果如图 1 所示.



(a) 原始图像 (b) 图像分割后的结果

图 1 分割算法结果

2 基于 BLOB 的降噪算法

在实际的工厂环境下, 所采集到的图像不可

避免地存在一定程度的噪音, 这对后续算法的准确度造成了影响. 采用传统中值滤波等降噪的方法效率较低, 需要对图像进行多次滤波才有可能使图像质量满足要求, 严重降低了算法的运算速度. 从分割后的二值图像可见, 图像噪声和箱体以及包装带之间在图形尺寸上存在较大差异, 为此本文充分利用了这一条件, 采用 BLOB 算法^[8]滤去图像中的噪声.

采用 BLOB 滤去噪声的步骤如下: a. 根据分割算法的结果将图像二值化; b. 对二值化图像进行一次遍历, 生成一个动态链表来记录图像中各个 BLOB 的大小、位置等几何信息; c. 在链表进行中将每个 BLOB 大小与设定的阈值相比较, 若其尺寸不超过设定的阈值, 则被认为是噪音, 将该噪音区域滤掉, 对尺寸大于设定阈值的 BLOB 则不做任何处理. BLOB 算法降噪的结果如图 2 所示. 这种方法只需对图像进行一次遍历即可完成操作, 提高了算法的处理速度.



(a) 含有噪音的图像 (b) BLOB 算法降噪后的结果

图 2 BLOB 算法降噪结果

3 确定烟箱箱体的主轴

烟箱箱体在流水线的传输过程中, 有时会出现箱体偏斜的情况, 根据研制的剪带装置的特点, 经多次试验证明, 剪带装置沿着烟箱的中部进行剪切, 效果最好. 所以需要通过视觉系统确定烟箱处于任意姿态时的主轴轴线. 确定过程如下.

a. 在分割图像上利用式 (3) 求得箱体的近似形心坐标:

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{\int \int x f(x, y) dx dy}{\int \int f(x, y) dx dy}; \\ y_0 &= \frac{\int \int y f(x, y) dx dy}{\int \int f(x, y) dx dy}, \end{aligned} \quad (3)$$

式中 (x_0, y_0) 为箱体的近似形心坐标. 由图 2 可以看出, 由于在分割出的烟箱箱体中包含着不均匀分布的表示包装带的白色像素, 因此由式 (3) 计算出的是箱体部分的近似中心而不是绝对中心. 但因为包装带相对于箱体而言, 其像素面积很小, 所

以箱体的近似中心和实际中心偏差非常小。

b. 在分割图像上,以箱体近似形心为中心,设定水平向右方向为 0°,沿箱体边缘逆时针方向每隔 1 确定一个点,共确定 180 个箱体边界点,通过下式计算箱体边界点到箱体近似形心的距离

$$D_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, 180). \quad (4)$$

c. 从这些点中找出到箱体近似形心距离最短的箱体边界点,近似形心与该边界点的连线即为箱体的短半轴,在箱体中过形心并与箱体短轴相垂直的线就是箱体的主轴,其与 0 线的夹角就是主轴的方向,也是机器人剪包装带的方向。如图 3 所示。

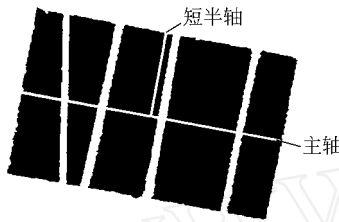


图 3 烟箱箱体的主轴示意图

4 确定包装带剪切点的位置

机器人剪切包装带的位置实际就是包装带与箱体主轴线的第一个交点位置,要确定交点位置,必须先识别和定位包装带,其过程如下。

a. 对经过滤波后的二值图像在烟箱箱体的范围内沿主轴逐个像素搜索,若该像素的灰度值是 0,则继续沿主轴搜索,若像素的灰度值是 255,则以该点为中心点,建立一个动态链表,并记录下该起始点的坐标和路径长。

b. 像素点的位置关系如图 4 所示,判断中心像素点 $[i, j]$ 是否与其相邻像素 $[i+1, j-1]$ 连通,若连通,则路径长加 1,像素点 $[i+1, j-1]$ 变为新的中心像素点;若不连通,继续判断中心像素点 $[i, j]$ 是否与其相邻像素 $[i+1, j]$ 连通。若连通,则路径长加 1,像素点 $[i+1, j]$ 变为新的中心像素点;若不连通,继续判断像素点 $[i, j]$ 是否与其相邻像素 $[i+1, j+1]$ 连通。若连通,则路径长加 1,像素点 $[i+1, j+1]$ 变为新的中心像素点。产生新的中心像素点后,重复执行步骤 b;若没有产生新的中心像素点,执行步骤 c。

c. 若中心点与相邻像素点 $[i+1, j-1]$, $[i+1, j]$, $[i+1, j+1]$ 均不连通,则停止搜索,返回主轴线上的起始搜索点,将路径长与设定的阈值相比较。若大于阈值,则说明目前搜索到了一

$[i-1, j-1]$	$[i-1, j]$	$[i-1, j+1]$
$[i, j-1]$	$[i, j]$	$[i, j+1]$
$[i+1, j-1]$	$[i+1, j]$	$[i+1, j+1]$

图 4 8-近邻示意图

条包装带,于是记录下来这条包装带与主轴的交点的坐标值,然后沿主轴越过一个带宽,继续重复步骤 a;若路径长小于阈值,则说明该搜索过程没有检测到包装带,沿主轴线继续搜索,重复步骤 a,直至到箱体的边界,完成包装带的搜索。

5 试验与结果分析

5.1 试验装置

试验设备包括机器人、剪带装置和视觉检测系统 3 个部分,试验设备如图 5 所示。



图 5 拆箱机器人示意图

a. 机器人采用的是 ABB 公司的 IRB6600 型机器人,机器人具有灵活性强、可长时间持续工作、精确度高、抗恶劣环境的能力,它的最大工作半径为 2 550 mm ~ 3 200 mm,拥有很强的运输能力,承重范围为 125 kg ~ 225 kg,适用于准确点焊、物料输送和机器管理等领域。

b. 剪带装置是由实验室自行设计的,能快速地剪断包装带,并将已剪断的包装带紧紧咬住,在剪切完所有的包装带后,能一并将剪断的包装带抽离箱体。

c. 视觉监测系统由摄像机、图像采集卡、计算机和光照系统组成。摄像机采用东芝公司的 TeliCS5260BDP 工业彩色 1/2 英寸 CCD 摄像机,分辨率为 768 x 576 像素,镜头采用 Computer 2/

3 英寸、12 mm/F1.4 镜头. 采集卡采用 EURESYS 公司的 PICOLO 图像采集卡,光照系统,采用了 8 个 40W 的日光灯,用以模拟不同的光照条件. 计算机采用的是 DELL Dimension 1100, 2.8 GHz CPU, 1 Gbit 内存.

5.2 试验结果及分析

试验用的烟箱取自于烟草公司的现场,烟箱尺寸为 1 160 mm × 720 mm × 820 mm 左右,质量在 250 kg 左右. 包装带采用白、黑、灰、紫、青、黄、绿、蓝、咖啡色等颜色的最常用的包装带,模拟现场的各种包装带状态,分别在各种光照强度下进行试验. 首先测试在不同的光照强度下,视觉系统对各种颜色包装带的识别能力,每种颜色在每一种光照强度下测试 10 次,每次打 4 条包装带,并且包装带的状态不同,测试的结果如表 1 所示.

表 1 包装带识别率 (%)

光强/ lx	白 色	黑 色	灰 色	紫 色	青 色	黄 色	绿 色	蓝 色	咖啡 色
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	70	10	20	20	40	0	40	20	10
100	100	70	80	70	90	40	90	80	70
150	100	100	100	100	100	80	100	100	100
200	100	100	100	100	100	100	100	100	100
300	100	100	100	100	100	100	100	100	100
400	100	100	100	100	100	70	100	100	100
450	80	100	100	90	90	20	100	100	100
500	0	80	20	70	40	0	70	80	70

从测试结果可看出视觉系统在光强为 150 ~ 400 lx 之间变化时能够准确、稳定地识别出白、黑、灰、紫、青、绿、蓝、咖啡等颜色包装带,而在其他区间均不能完全识别包装带,其原因在于在这两个区间内,摄像机获取的图像或太暗或曝光,箱体和背景难以区分. 表中数据同时也说明视觉系统在光强为 150 ~ 400 lx 之间时也可以准确稳定地识别出颜色和箱体颜色相差较大的其他黄颜色包装带. 在系统能 100 % 识别包装带的 150 ~ 400 lx 区间,测试视觉系统检测到的包装带剪切点的准确性,每种颜色在每一种光照强度下测试 10 次,每次打 4 条包装带,并且包装带的状态不同,烟箱箱体姿态不同,测试的结果如表 2 所示(因为检测到的剪切点的位置都在包装带的同一侧,所

以误差均为负值). 从表 2 可以看出包装带剪切点位置检测平均误差为 5 mm 左右,最大误差为 7 mm,出现误差的原因,主要是由于包装带的松紧程度、扭曲程度以及箱体的姿态和表面情况不同,造成包装带在灯光照射下产生的影子不同,从而影响了检测的精度.

经过大量的试验,结果表明当光照强度在 150 ~ 400 lx 区间时,这套视觉检测算法除了颜色和烟箱接近的包装带不易识别外,其他颜色的包装带均能准确识别出来,并且能够向机器人提供准确的剪切点位置信息. 经过测试,本算法检测时间为 190 ms.

表 2 包装带剪切位置检测平均误差 (mm)

光强/ lx	白 色	黑 色	灰 色	紫 色	青 色	黄 色	绿 色	蓝 色	咖啡 色
150	-4	-7	-5	-6	-6	-6	-5	-6	-6
200	-4	-6	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-4
250	-3	-3	-3	-5	-3	-4	-3	-4	-3
300	-3	-3	-4	-3	-4	-4	-4	-3	-3
350	-5	-3	-4	-5	-5	-5	-5	-4	-4
400	-6	-5	-5	-5	-6	-5	-5	-5	-5

参 考 文 献

- [1] 张建平. 计算机视觉在烟草行业中的研究及应用展望[J]. 烟草科技, 1998, 27(2): 22-23.
- [2] 詹跃乐, 黎英, 车文刚. 国有智能机器人技术研究和应用于烟草行业的策略[J]. 机器人技术与应用, 1999, 12(2): 4-6.
- [3] 杨灏泉, 张勇, 陈黎, 等. 基于机器人技术的片烟纸箱拆包系统[J]. 烟草科技, 2007, 36(10): 18-20.
- [4] 姜荣奇, 朱银周. 自动化物流系统技术在我国烟草行业中的应用[J]. 物流技术, 1997, 17(04): 30-33.
- [5] 蔡鹤皋. 机器人技术的发展与在制造业中的应用[J]. 机械制造与自动化, 2004, 33(01): 6-10.
- [6] 江宏. 上海卷烟厂的精细化物流系统[J]. 物流技术与应用, 2007, 12(05): 46-53.
- [7] Ohta Yur-ichi, Kanade Takeo. Color information for region segmentation[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1980, 13(3): 222-241.
- [8] 耿瑞芳, 沈晋慧. 基于 Blob 算法的机械手视觉系统[J]. 自动化博览, 2006, 23(5): 24-25.