

# 基于机器视觉的油画棒检测系统的设计<sup>\*</sup>

王祖德<sup>1</sup> 张大伟<sup>1</sup> 杨海马<sup>1</sup> 涂建坤<sup>2</sup> 姚龙隆<sup>1</sup>

(1. 上海理工大学光电信息与计算机工程学院 上海 200093;

2. 上海电缆研究所 上海 200093)

**摘要:** 油画棒装盒传统方式采用人工,针对其摆放效率低、成本高的问题,设计了基于机器视觉的油画棒装盒系统,选用 ARM 芯片做图像处理,在有限的资源配置和时间条件下完成任务。系统通过摄像头对油画棒进行图像采集,控制电机转动油画棒,进行图像匹配,完成投放。系统先对图像定位、选取,滤波去噪,再采用改进的自适应阈值的直方图匹配算法,并结合模板图像和待匹配图像的相关系数,有效降低了计算量,提高了系统的识别率。实践证明系统的工作稳定,能实现对油画棒角度的有效调整,匹配速度快,单台识别率达到 99% 以上,能完成产品的自动装配。

**关键词:** 机器视觉;图像处理;直方图匹配;相关系数

**中图分类号:** TN202    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.1050

## Design of oil painting stick detection system based on machine vision

Wang Zude<sup>1</sup> Zhang Dawei<sup>1</sup> Yang Haima<sup>1</sup> Tu Jiankun<sup>2</sup> Yao Longlong<sup>1</sup>

(1. School of Optical-for Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Electric Cable Research Institute, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** The traditional way of oil painting stick packing is artificial. In order to solve the problem of low efficiency and high cost, this paper designs the system based on machine vision. The ARM chip is chosen as core of the image processing system, under the condition of limited resource and time. The system collects the image through the camera, controls the motor to rotate the oil painting stick, carries on the image matching, completes delivers. The system first locates, selects the image and filters to denoise the image. Then the system uses the improved histogram matching algorithm of adaptive threshold, and combines the correlation coefficient between the template image and the image to be matched, which effectively reduces the computation and improves the recognition rate of the system. Practice shows that the work of the system is stable, can achieve the effective adjustment of the angle of the oil painting with a high matching speed. The recognition rate of the system is above 95%. The system can complete the automatic assembly of products.

**Keywords:** machine vision; image processing; histogram matching; correlation coefficient

## 1 引言

油画棒装盒是油画棒生产过程中重要的一环,现阶段装盒这一工作还依赖人工完成,但人工装盒速度慢效率低,劳动成本高,受主观影响大。研制高效的油画棒装盒检测系统,节约成本,解放生产力,就显得尤为必要。

在实现装盒自动化的过程中,一个重要的要求是使油画棒身贴纸的卡通图案朝上,这是本系统的一个技术难点,但随着机器视觉与图像处理技术的发展,为解决这一难

点提供了行之有效的方案。

机器视觉技术是目前国内外正在深入研究与应用的技术。其关键性技术就是运用计算机或微处理器来模拟人的视觉功能,在从摄像头采集到的图像数据中运用复杂的图像处理技术对图像进行分析理解,并做出相应的判断,控制不同的执行机构进行协同工作,以达到控制和检测的目的<sup>[1]</sup>。

用机器代替人眼来做测量和判断,国内外已将此技术成功地运用到众多产品的质量检测上<sup>[2]</sup>。与人工视觉检测

收稿日期:2016-11

<sup>\*</sup> 基金项目:上海市自然科学基金(15ZR1417400)、国家自然科学基金青年基金(61302181)资助项目

相比较,机器视觉具有自动化程度高、识别能力强、测量精度高等优点,具有广泛的应用前景。另外随着图像处理技术的日趋成熟、微型计算机成本的下降及其处理速度的提高,在各种品质自动检测和分级领域应用机器视觉已变得越来越具有吸引力。

## 2 系统结构

系统由硬件部分与软件部分组成。

### 2.1 硬件部分

系统的整体框架如图 1 所示。整个系统由 ARM Cortex-M4 处理器、工控 PLC 实现、LCD 显示模块、图像采集模块、图像缓存模块、通信模块、电机驱动模块、按键模块、机械结构组成。

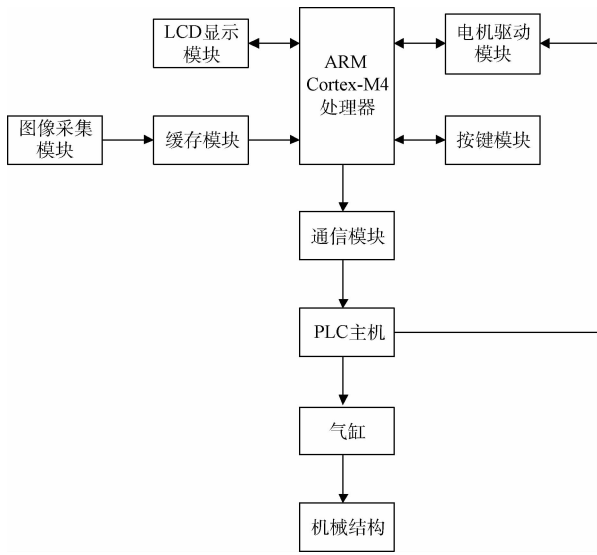


图 1 系统结构

系统使用基于 ARM Cortex-M4 内核的 32 位 STM32F407 进行图像采集、处理、匹配,它集成了 FPU 和高达 1MB 的 Flash 及 192+4KBRAM,并有丰富的 I/O 口,完全可以满足系统中数字图像采集处理以及判定算法的需求。另外,系统采用双机通讯方式,而不是采用单处理器控制,使得图像处理系统不必控制气缸等设备和机械结构的动作,以缓解图像处理系统的处理压力。步进电机控制和气缸动作控制选择更为稳定可靠的 PLC。摄像头采用 OV7670,并增加照明电路给其补光以采集到质量更高的图像,提高识别率。显示部分采用 TFT 屏,设计人机界面,实时显示摄像头采集的图像和匹配结果,系统设有按键进行一些参数的设置,实现人机交互。机械部分用于完成油画棒的正确投放,不再赘述。其电机及其驱动部分用于转动油画棒,使油画棒贴纸上的卡通人物朝上,完成匹配后,等待笔盒在传送带上到达,在光电开关检测到笔盒到达时,控制气缸使机械结构动作完成油画棒的装盒,其结构如图 2 所示。

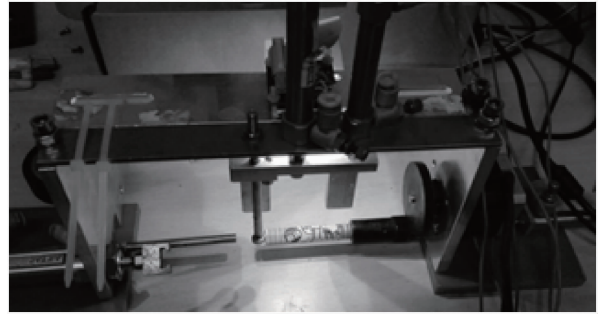


图 2 装置结构

### 2.2 软件部分

系统软件流程如图 3 所示。开始上电瞬间,系统初始化,包括 PLC 的初始化,图像处理系统的初始化。这时传送带会进入传动状态,在光电检测开关检测到物料边沿时,PLC 控制气缸按固定电气动作,待推料气缸将物料推入检测夹紧装置时,PLC 向图像处理系统发送图像开始检测信号,步进电机旋转。

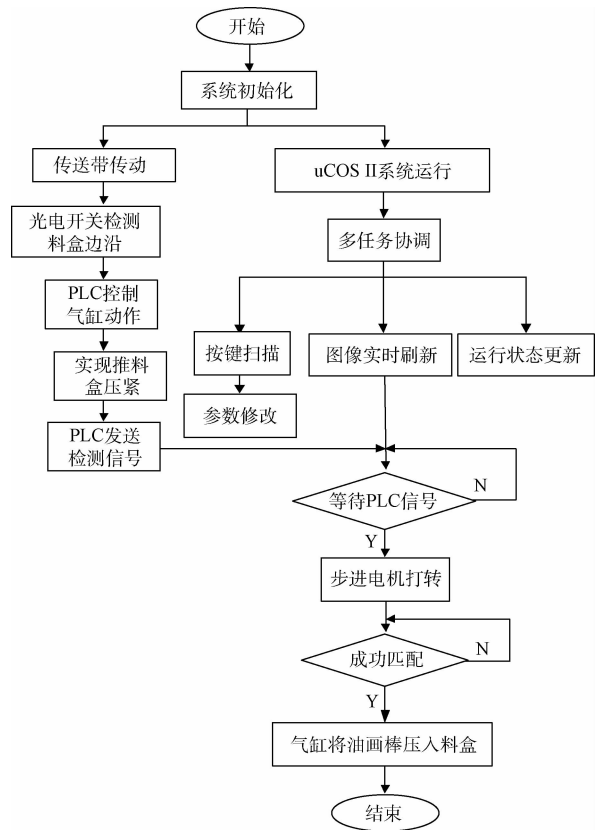


图 3 软件流程

一旦成功匹配,图像处理系统向 PLC 发送检测完成标志,并记录匹配时间,匹配的时间需控制在一定时间之内,否则强行发送匹配完成标志,显示匹配失败,将油画棒强行打入包装盒内,以保证传送带上每个包装盒都有油画棒,待

后续人工校正。整个软件实现过程中,气缸动作的有效实现,步进电机控制策略以及图像处理系统的算法实现是整个系统实现的关键。

### 3 图像处理与算法

#### 3.1 图像预处理

整幅图像中,匹配特征信息主要集中在一个有限的区域,对图像进行定位,选取最具匹配特征信息的部分进行匹配可以有效减少匹配的计算量。

本设计通过控制图像处理模块,通过设置 OV7670 开窗大小,直接读取卡通人物部分图像,完成图像的定位与分割。这么做可以不用传输多余图像数据,提高系统速度。

另外,本设计对图像进行均值滤波,降低图像的噪声干扰。均值滤波算法是利用 Box 模板对图像进行模板操作的图像平滑算法<sup>[3]</sup>,其原理如图 4 所示。图 4 中加黑的数据部分为经过滤波后的效果,Box 模板就是指模板中所有系数都去相同值。系统采用  $3 \times 3$  模板对整个图像进行均值滤波。其软件设计过程就是通过将相邻  $3 \times 3$  模板的像素值相加取平均作为中间像素点的实际像素值。

1	2	1	4	3	1	2	1	4	3
1	2	2	3	4	1	3	4	4	4
5	7	6	8	9	5	4	5	6	9
5	7	6	8	8	5	6	7	8	8
5	7	6	8	9	5	7	6	8	9

图 4 均值滤波原理

#### 3.2 匹配算法

图像特征属性提取和识别技术作为机器视觉技术中一个非常重要的研究领域,图像匹配的算法也较多,如 Surf、Sift 算法等<sup>[4-5]</sup>,适当使用这些算法可取得较好的匹配效果,但缺点是这些算法较复杂<sup>[6]</sup>,计算量大,常见于以工控机做处理器的设计中,不适合应用于本设计。因此为本设计选择一个合适的,复杂度较小的算法就显得尤为重要。

本设计采用的算法流程如图 5 所示。由于采集图像时,机械结构并不能保证油画棒在转动时能够得到最佳图像信息,即匹配图像会发生倾斜。直方图(histogram)描述了图像颜色的统计分布特征,具有平移、尺度和旋转的不变性,本设计利用直方图匹配算法克服图像的倾斜问题。但通过这种具有统计特性的匹配算法并不能保证图像较高的识别率,故本设计又加入了相关性系数算法以提高识别率,且这两种算法的计算量都比较小,能够满足系统要求。

##### 3.2.1 直方图匹配改进算法

灰度直方图是灰度级的函数,它表示图像中具有每种灰度级的像素的个数,反映图像中每种灰度出现的频率。灰度直方图的横坐标是灰度级,纵坐标是该灰度级出现的频率,是图像最基本的统计特征<sup>[7]</sup>。

从概率论的观点来理解,灰度出现的频率可视为其出

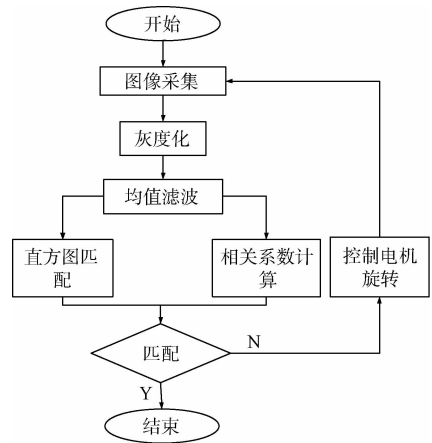


图 5 算法流程

现的概率,这样直方图就对应于概率密度函数(probability density function, PDF),而概率分布函数就是直方图的累积和,即概率密度函数的积分<sup>[8]</sup>。

$$P(r) = \int_0^{\varepsilon} p(r) dr, p(r) = \frac{dP(r)}{dr} \quad (1)$$

式中:  $P(r)$  和  $p(r)$  分别为概率分布函数和概率密度函数。

若从代表每种灰度的像素数目的直方图来观察,常用如下的表示:

$$A(r) = \int_0^{\varepsilon} H(r) dr \quad (2)$$

式中:  $A(r)$  表示灰度值的像素点数目,  $H(r)$  表示灰度值为  $r$  的像素点数目,  $A_0 = \int_0^{255} H(r) dr$  表示一幅图像的总面积,或图像的像素总数目。

概率密度函数如下:

$$p(r) = \frac{H(r)}{A_0} = \frac{dA(r)}{dr} \quad (3)$$

概率分布函数如下:

$$P(r) = \frac{1}{A_0} \int_0^{\varepsilon} H(r) dr \quad (4)$$

在离散情况下,取  $dr=1$  时,  $p(r) \approx \frac{d(A)}{A_0}$ 。

若记像素总数为  $n$ ,灰度为  $r_k$  的像素数为  $n_k$ ,则概率密度函数为  $p(r_k) = \frac{n_k}{n}$ ,概率分布函数为  $P(r_k) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n}$ 。

灰度直方图的计算是比较简单,跟据定义,若图像具有  $L$  (通常  $L$  取 256,即 8 位灰度级) 级灰度,则大小为  $M \times N$  的灰度图像  $f(x, y)$  的灰度直方图  $hist[0 \cdots L-1]$  可用如下计算获得:

初始化  $hist[k] = 0, k = 0, 1, \dots, L-1$ ;

遍历所有的  $x = 0, 1, \dots, M-1$  和  $y = 0, 1, \dots, N-1$ ,

统计  $hist[f(x, y)] = hist[f(x, y)] + 1$ ;

归一化:  $H[f(x, y)] = hist[f(x, y)] / (M \times N)$ 。

本设计参考直方图计算基础上做了改进,把  $L$  取为

16,每 16 个灰度级和为一组,以减少匹配时间。

系统实际运行时,先计算出模板图像的灰度直方图,再用其与待匹配图像的灰度直方图进行比较。单纯采用数值做阈值带来的匹配不准确,本设计在采用自适应调整阈值的方法,即把每个灰度级的频率  $P$  乘以不同的系数得数  $N$ ,再将对对应灰度级频率加减  $N$ ,求出允许的范围  $P - N \sim P + N$ ,如果待匹配图像的灰度直方图的该灰度级的频率在此范围之内,则认为匹配成功。

### 3.2.2 先系数算法

相关系数又称皮氏积矩相关系数,是研究变量之间相关程度的量<sup>[9]</sup>。相关系数计算如下:

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{(\sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2)(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2)}} \quad (5)$$

式中:  $\bar{A}$  是矩阵  $A$  所有元素的平均值,  $\bar{B}$  矩阵  $B$  所有元素的平均值,  $A_{mn}$ 、 $B_{mn}$  为对应矩阵的  $m$  行  $n$  列的元素值。

计算模板图像与实时图像相关系数的方式来实现图像的匹配。模板的选择区域为浮动方式,根据不同物料种类进行不同模板大小的选取和标定。式(5)是算法的矩阵形式,在应用于本设计时,可以把矩阵  $A$  看作图像  $A$ ,矩阵  $B$  看作图像  $B$ ,而  $\bar{A}$  是图像  $A$  所有像素值的平均值,  $\bar{B}$  是图像  $B$  所有像素值的平均值。  $r$  表示了两幅图像之间相关程度的高低。显然,  $r$  的值在  $0 \sim 1$ ,  $r$  与相关度的关系如表 1 所示。

表 1  $r$  与相关度的关系

$ r $	相关度
0.00~0.30	微相关
0.30~0.60	实相关
0.60~0.80	显著相关
0.80~1.00	高度相关

结合相似系数  $r$  来衡量图像的匹配度,计算量小,复杂度小,匹配效果相对较好,比较适合应用于本设计。

### 3.3 图像处理仿真对比

算法设计先对图像进行灰度化处理,然后进行直方图匹配和相关系数计算,根据两者结果进行评定油画棒是否摆正。

首先假设 CMOS 摄像头获取的彩色图像经灰度化后如图 6 所示。图 6(a)代表所选取的模板,图 6(b)~(d)代表分别是经过  $10^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  旋转后图像的状态,其灰度直方图如图 7 所示。为方便对比,以灰度值为横坐标,对应灰度值的像素点个数为纵坐标做出折线图,如图 8 所示。由图 8 可更直观的看到图 8(a)~(d)灰度值的分布,根据峰值的不同可知图像灰度的集中区域,对比发现这 4 副小图的灰度集中区域是不同的,具有较好的区分度。

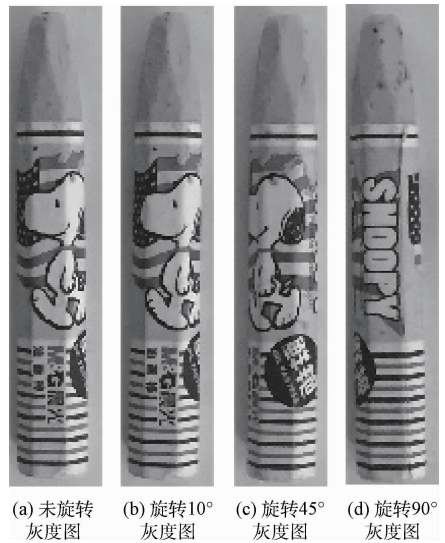


图 6 灰度化后的图像

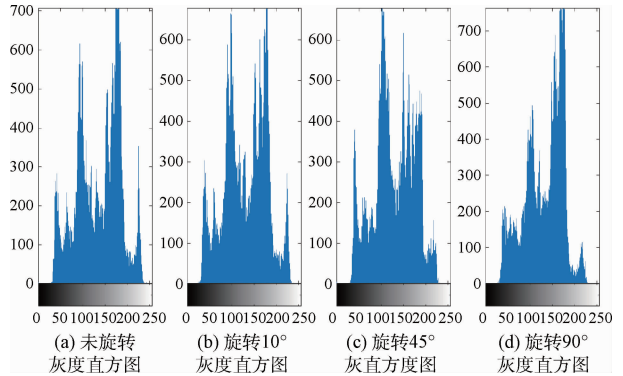


图 7 灰度直方图

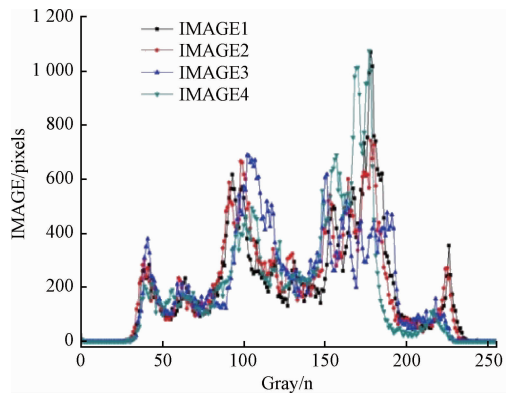


图 8 灰度折线图

另外,本设计又把灰度图图像进行了二值化操作,验证二值化后进行相关系数计算效果是否更好。操作后如图 9 所示。

分别对图 7、图 9 中的(a)~(d)的数据进行相关性运算,参考公式为  $\text{corr2}()$  函数<sup>[10]</sup>,经过运算后可以得到表 2 的数据。



图9 二值化后的图像

表2 仿真数据

	(a)	(b)	(c)	(d)
灰度图	1	0.7221	0.3934	0.3771
二值化图	1	0.5471	0.1669	0.1374

从仿真数据来看,图像经过灰度化后可以得到较好的相似系数,二值化后的图像相似系数较小,且不易区分,实际运用时可能会出现比较严重的误判。所以,最终我们采取综合考虑灰度直方图改进匹配算法和灰度图相关系数的算法做为确定图像是否匹配的依据。

#### 4 系统验证

系统实际运行时,油画棒偏差角度在 $10^\circ$ 以内时,因为机械有一个加紧的动作,可以将六棱柱形状的油画棒夹正,认为满足装盒的要求,可以匹配成功,偏差角度超过 $10^\circ$ 则认为匹配失败。

为验证系统的有效性,根据此要求对设计的系统进行了5组试验,每组试验测试次数为100次,其结果如表3所示。由表3的匹配试验数据可知,算法能够较好的进行图像匹配,正确率较高,可达99%以上,能够满足实际应用需求。

表3 匹配试验数据

测试组	测试次数	偏差角度		匹配率
		$<10^\circ$ 的个数	$>10^\circ$ 的个数	
第1组	100	99	1	0.99
第2组	100	100	0	1.00
第3组	100	100	0	1.00
第4组	100	99	1	0.99
第5组	100	99	1	0.99

## 5 结论

本系统利用机器视觉和图像处理技术实现油画棒自检测和装盒,以代替人工进行油画棒装盒、检测。本设计有别于通常选用工控机做图像处理的方法,而选用ARM芯片做处理,以降低成本。利用改进的自适应阈值的直方图匹配算法,并结合模板图像和待匹配图像的相关系数确定结果,以降低计算量。实践证明这一检测过程可以做到非常迅速,整个过程能控制在1s之内,这对于整个流水线装配的效率起到了很大的提高作用。本系统实用性强、效率高、匹配准确、性价比高等优点,降低了劳动强度,减少了人为误差,对于节约成本,提高经济效益有着重要意义。

## 参考文献

- [1] 陈英. 机器视觉检测技术在工业检测中的应用[J]. 电子测量, 2015, 18(1): 79-80.
- [2] NING J F, ZHANG L, ZHANG D, et al. Interactive image segmentation by maximal similarity based region merging[J]. Pattern Recognition, 2010, 43(2): 445-456.
- [3] YU W S, HOU Z Q. New filtering algorithm based on correlation coefficient model[J]. Application Research of Computers, 2009, 26(12): 4811-4813.
- [4] 许佳佳. 基于改进 Harris-SIFT 算子的快速图像配准算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(1): 48-54.
- [5] 阳吉斌, 胡访宇, 朱高. 基于改进 SURF 算法的遥感图像配准[J]. 电子测量技术, 2012, 35(3): 69-77.
- [6] 张之光, 雷宏. 基于 SAR 图像样本的本征维数检测人造目标[J]. 电子测量技术, 2016, 39(9): 34-39.
- [7] 张龙涛. 基于模糊熵改进的直方图匹配算法研究[J]. 西南大学学报, 2016, 38(4): 124-129.
- [8] 陈丽芳. 改进的归一互相关法的灰度图像模板匹配方法[J]. 计算机及应用, 2011, 47(26): 181-183.
- [9] 李卓, 邱慧娟. 基于相关系数的快速图像匹配研究. 北京理工大学学报, 2007, 27(11): 998-1000.
- [10] 李宝方. 基于 MATLAB GUI 的数字图像处理仿真系统设计[J]. 计算机与数字工程, 2014(11): 2177-2180.

## 作者简介

王祖德, 1990 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、嵌入式设计。

张大伟, 1977 年出生, 博士, 教授, 主要研究方向为紫外 CCD/CMOS、光学薄膜、亚波长光栅、光学生物传感器。

杨海马(通讯作者), 1979 年出生, 博士, 讲师, 主要研究方向为在线检测、智能光电仪器设计。

E-mail: snowyhm@sina.com