

基于计算机视觉的空瓶检测系统

吴 斌, 胡彦彦, 肖爱民, 何存富, 宋国荣

(北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100022)

摘 要: 为了利用数字图像处理技术实现空瓶缺陷的自动检测, 对啤酒瓶缺陷的光学特征进行了分析, 研究了检测过程中的图像获取、图像预处理、图像分割、缺陷识别、外围设备通信控制等关键技术, 实现了一个适用于实验室环境的、基于计算机视觉的小型空瓶缺陷在线检测系统。实验结果表明, 该系统可有效地检测出有缺陷或异物等不合格空瓶。

关键词: 计算机视觉; 图像处理; 图像分割

中图分类号: TP 391

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2007)02-0134-06

啤酒空瓶的质量检测是啤酒生产过程中的一个重要环节, 随着工业生产自动化水平的提高, 传统的人工检测方法已难以适应实际生产的需要。计算机视觉是用计算机分析摄像机获得的图像的一种方法。基于计算机视觉的空瓶缺陷检测系统精度高、速度快, 是保证啤酒瓶质量和提高生产效率的有效方法^[1]。目前国外已有相关产品应用于实际生产中, 而我国在该领域的研究还处于起步阶段。一些大学和科研机构进行了一些探索性的研究, 如湖南大学的智能空瓶检测机器人系统^[2], 浙江大学的基于 DSP 的空瓶图像检测系统^[3]等。作者旨在研究并搭建一套用于实验室的小型空瓶在线检测系统, 一方面, 研究空瓶图像采集处理的各个要素环节, 将传统的图像处理算法进行优化组合, 实现对空瓶缺陷的快速检测; 另一方面, 对整个系统的控制元件和控制流程进行调解配置, 在保证检测精度和速度的同时, 实现系统的小型化。

1 空瓶检测系统组成

作为一个高精度、高速度、非接触性的测量系统, 空啤酒瓶检测系统需要多方面紧密配合, 首先, 图像采集设备必须能采集到高质量的图像, 以满足空啤酒瓶检测的精度要求, 这要求综合考虑相机、采集卡、镜头、装置、环境等各种因素; 其次, 机械装置应当有足够的精度且能方便调节, 以尽量减小外界环境的影响并满足实验室的模拟实验研究条件; 在软件功能方面应能检测出瓶口、瓶身、瓶底具有缺陷或异物的不合格空瓶, 并与相应的外围控制设备通讯, 最终驱动执行机构对不合格的空瓶作出处理。系统的整体设计如图 1 所示。系统主要由 5 部分组成, 其中图像采集设备接受来自图像采集模块的拍照命令, 并向其传递图像数据, 这些数据在图像分析处理模块中进行处理, 判断空瓶是否有缺陷, 根据结果利用通讯控制模块向外围设备发送相应的指令, 驱动执行机构作出处理, 同时通讯控制模块还接受外围传感器的反馈信息, 以掌握整个系统的工作状况, 并适时地作出调整。

1.1 图像采集设备及环境

要进行精确检测, 首先应当实现高质量图像的快速采集, 这需要综合考虑多种因素的影响: 首先光源的亮度应达到一定要求且具有较长的使用寿命。光照必须均匀, 因为工业 CCD 多对红光较为敏感, 故本系统采用红色发光二极管作为光源。在照明方式选择方面, 瓶口使用环形光进行照明, 瓶底使用带导向的

收稿日期: 2005-11-03。

基金项目: 北京市教育委员会资助项目(KM200310005012)。

作者简介: 吴 斌(1962-), 男, 山西大同人, 教授, 博士生导师。

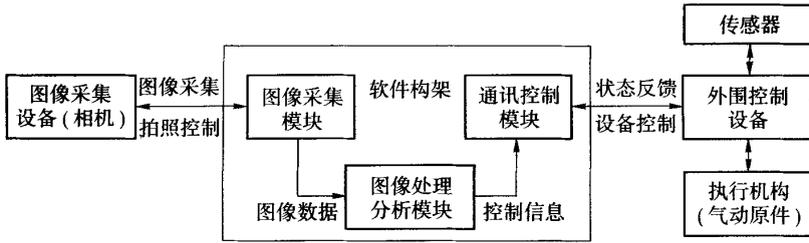


图 1 系统整体结构

Fig.1 Architecture of the system

平板光源进行照明,瓶身使用日光灯进行照明,如图 2 所示。

为了保证图像处理的精度,采集到的图像必须有较高的分辨率,因此,选择了 16.9 mm 的 CCD 芯片作为感光元件,图像分辨率为水平 1 272 像素,垂直 1 024 像素,灰度等级为 256 级,配以焦距为 25 mm 的光学镜头,可以采集到高质量的空瓶图像。图 3 为有缺陷瓶口和瓶身的图像。

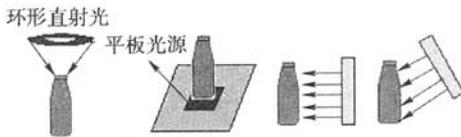
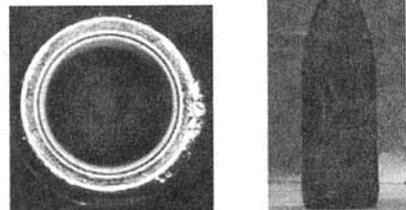


图 2 照明方式

Fig.2 Style of illumination



(a) 瓶口磨损

(b) 瓶身划痕

图 3 空瓶缺陷图像

Fig.3 The image of bottle with flaws

由于图像采集环境的选择会在很大程度上影响图像的质量和后续处理的步骤,因此本系统采用封闭的图像采集环境,尽可能地排除外界环境对成像的干扰,保证采集到质量稳定的图像。

1.2 外围控制设备及执行机构

外围控制设备要求能与计算机进行即时的信息交互,接受来自主机的命令,驱动执行机构对流水线进行控制,同时监控整个外围系统的状态,并将该信息及时地反馈给主机,以便作出相应的调整。考虑速度、稳定性以及通用性等因素,采用了可编程逻辑控制器(PLC)作为底层控制的核心部件。PLC 与主机之间采用 RS232 串行通讯接口进行数据传输^[4],主机根据图像分析处理的结果,给 PLC 发出相应的控制指令,PLC 外围连接了直流电机和电磁阀,分别用来控制流水线的运行和空瓶剔除机构的动作;同时,PLC 接受来自各个传感器的信号,将系统状态信息发送给主机,由主机根据预定的方案作出调整。外围控制系统如图 4 所示。

在整个机器视觉系统中,最后的执行机构完成对次品的剔除操作。对高速的制造生产线来说,要求执行机构响应快、频率高、容易控制等。在自动化控制系统中主要的执行元件有:电机、气动装置、液压装置、本系统选用气动装置是因为气缸的执行速度比液压缸和直线电机更快。

1.3 系统软件设计

上述所有的外围设备都需要软件进行协调控制,本系统在 Windows 平台环境下,采用 VC+ + 6.0 进行开发,其主要功能模块包括:图像采集模块、图像处理及缺陷识别模块、通讯控制模块和系统控制模块。

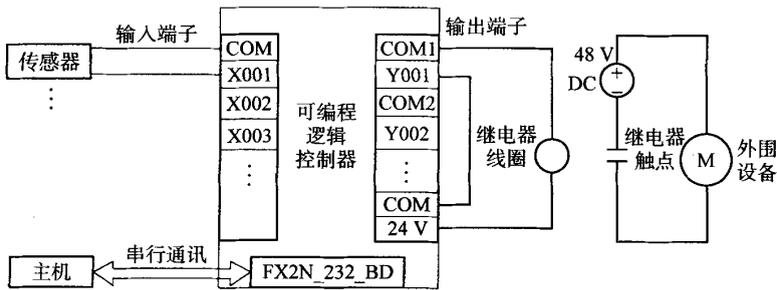


图4 外围控制系统

Fig. 4 Peripheral control system

图像采集模块负责对图像采集设备进行控制,如拍照时间、图像参数设置、图像数据传输及存储。整个图像处理及缺陷识别模块封装在一个图像处理类 CImageList 中,其数据成员中存储了图像数据,并给外界提供了数据访问及操作的接口,各接口函数中封装了各种图像处理算法,如滤波、分割、边缘提取、形态学运算等,还可以根据需要进行算法的搭配,以达到最好的处理效果。通讯控制模块使用 VC++ 提供的 MScComm 串行通讯控件和可编程逻辑控制器进行通讯,实现数据的交换。系统控制模块主要负责以上 3 个模块的协同工作,监控系统的运行状态,并根据具体情况进行调整,同时记录检测结果。考虑到系统要进行大量数据运算和快速的系统调度,为了保证对用户请求的快速响应,将各模块运行在多个线程中,充分利用系统资源。

2 缺陷检测原理及图像处理算法

2.1 缺陷检测类型

本系统的核心在于空瓶的图像处理及缺陷识别算法,而该算法取决于缺陷的类型及其光学特征。实际生产中的瓶口的缺陷类型一般分为:缺口、磨损、完全破裂。空瓶属于玻璃材质,一旦出现缺陷,反光特性会发生明显变化,瓶口图像就会发生扭曲,如图 5 所示。如果对瓶口的边缘特征进行分析,则可以有效地判断出是否存在缺陷。

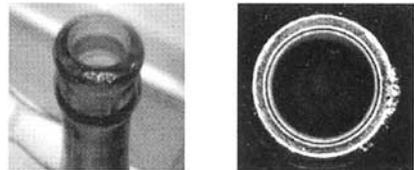


图5 典型的瓶口缺陷图像

Fig. 5 Images of typical bottle jaw flaws

2.2 图像处理算法

本系统利用传统算法进行空瓶缺陷检测,其关键在于如何对算法进行合理搭配,以满足实际检测的需要。经过大量的实验调整,最终优化瓶口图像处理的步骤为圆心定位—覆盖处理—中值滤波—图像分割—边缘提取—长度计算—结果识别,其关键技术在于圆心定位和边缘检测。考虑到空瓶生产线是在高速运转的,拍照时不可能每次都稳定在同一位置,如能准确判定出空瓶的位置,将有利于提高图像处理结果的一致性。传统的圆心定位方法(如 HOUGH 变换),由于其运算量太大,难以满足快速定位需要,因此本系统采用了一种较为简单的圆心定位方法^[2],步骤为

$$a[i] = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

$$A_i = (L_i + R_i) / 2 \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

$$a[A_i] = a[A_i] + 1 \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

$$C_x[i] = a_{\max}[i] \quad (4)$$

其中, N 为图像水平方向的像素数; L_i 、 R_i 为每行最左侧和最右侧白色像素的水平坐标; A_i 为其平均值;

$a_{\max}[i]$ 为数组的最大值项. 用同样的方法逐列遍历图像, 即可获得垂直方向的中心坐标 C_y , (C_x, C_y) 即为圆心位置.

实际生产过程中发现, 瓶口的缺陷大都出现在边缘的位置, 而中间区域的缺陷也会使瓶口边缘图像的亮度偏离正常值, 或者使形状上产生扭曲, 因此可以考虑只对边缘部分进行处理. 实验证明, 这样不仅减少了干扰因素, 提高了处理速度, 检测精度也没有受到影响. 因此, 每次都以圆心定位的结果 (C_x, C_y) 为基础对图像进行覆盖处理, 算法为

$$D = \sqrt{(i - C_x)^2 + (j - C_y)^2} \tag{5}$$

$$\text{if}(r < D < R) \ g[i][j] = 255 \tag{6}$$

其中, i, j 为像素的坐标; r, R 为内外环门限, 其值由瓶口类型决定. 处理效果如图 6 所示, 可以看出边缘的扭曲被保留下来, 圆环中间的黑色条纹已经被覆盖.

滤波时选用了 3×3 的中值滤波模板, 与均值滤波相比, 中值滤波在有效消除噪声的同时不会造成图像边缘的模糊, 计算方法为

$$g(i, j) = \text{median}(f(m - k, n - l)), (k, l) \in \omega \tag{7}$$

在拍照环境较为稳定的情况下, 图像分割采用 OSTU 法^[5-7], 该方法在一定条件下不受图像对比度与亮度变化的影响, 对类间方差为单峰的图像产生较好的分割效果, 是最常用的自适应阈值分割方法之一. 图 7 为覆盖处理后瓶口图像的灰度直方图. 该图是典型双峰形式且目标大小适中, 用 OSTU 算法可以得到较好的分割效果, 计算方法为.

- 1) 选择一个初始阈值的估算值 T (图像强度均值), 并利用 T 把图像分割成 R_1, R_2 .
- 2) 计算区域 R_1, R_2 的均值 μ_1, μ_2 , 即

$$\mu_1 = \frac{\sum_{k=0}^{T_i} h_k \times k}{\sum_{k=0}^{T_i} h_k} \quad \mu_2 = \frac{\sum_{k=T_i+1}^{L-1} h_k \times k}{\sum_{k=T_i+1}^{L-1} h_k} \tag{8}$$

其中, L 为灰度级的个数; h_k 是灰度值为 k 的像素点的个数.

- 3) 选择新的阈值

$$T_{i+1} = (\mu_1 + \mu_2) / 2 \tag{9}$$

- 4) 重复步骤 2)、3), 直到 μ_1, μ_2 的均值不变, 此时的 T 即为最终门限.

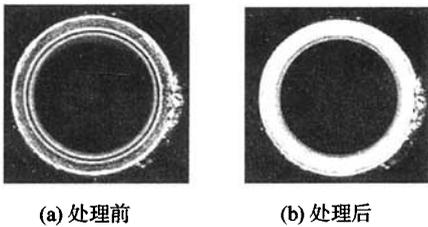


图 6 瓶口图像覆盖处理效果

Fig. 6 The result after covering operation of the bottle jaw image

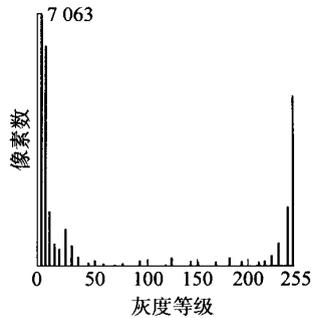


图 7 覆盖处理后瓶口图像灰度直方图

Fig. 7 The histogram of the bottle jaw image after covering process

边缘提取采用了形态学方法^[8]. 为了保证最后边缘长度统计结果的正确性, 应当提取出连通的单边缘, 而形态学的方法可以很好地做到这一点.

结果识别时需要分别计算出 4 个象限的边缘长度, 然后求出最大值和最小值之差, 如果差值超过了设定的门限 T , 则识别为有缺陷. 在此, 门限 T 的选择非常重要, 应当通过大量的实验来确定. 在本系统中设定方法如下: 设初始门限值 $T = 0$, 采集标准瓶图像并进行处理, 记录检测结果 D , 如果 D 大于当前门限值 T , 则用 D 更新门限值 T .

瓶身和瓶底的缺陷主要是划痕和粘着的污物,其检测方法主要是计算出这些特殊区域的面积,如超标则认定为有缺陷.其图像处理主要步骤为:中值滤波—图像分割—区域标记—面积计算—结果识别.其中图像分割是关键步骤,如果直接采用 OSTU 方法,则得出的效果很凌乱,目标分辨不清楚.应该结合图像的灰度分布图进行实验,在大量的实验数据基础上确定好搜索区域和起始值,得到较好的分割效果.门限值的选取采用与瓶口处理时同样的方法.

利用上述方法,同时对瓶口、瓶底和瓶身进行缺陷检测,如有一项检测结果超标,则认定为不合格产品.

3 系统测试

利用上述算法,实现了各个检测模块的功能,所开发软件的检测界面如图 8 所示.该瓶口为典型的磨损类型缺陷,由于磨损区域的反光特性与正常区域有所不同,因此瓶口边缘图像发生了明显的扭曲变形.利用上述方法进行处理,对最终提取的图像单边缘长度进行分象限比较,可以最终计算出最大边缘长度差为 23 像素,超过标准瓶的预设门限值,故可判断该空瓶有缺陷,同时系统控制模块会通知其他模块进行相应处理,并自动更新统计结果.

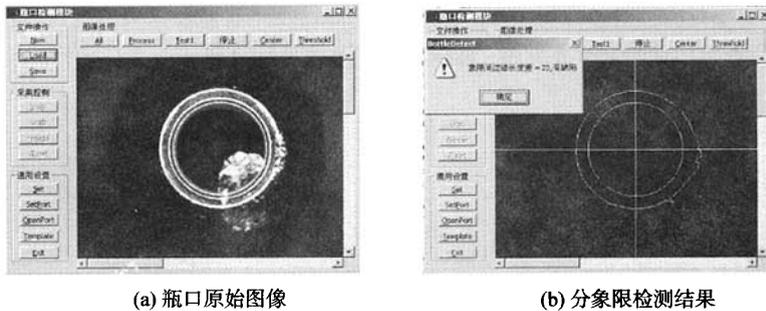


图 8 图像处理主界面

Fig. 8 The mainframe of imaging processing system

在系统运行时间方面,实际生产线的检测速度一般需要达到 2 万瓶/h 或者更高,本系统初步确定的是 6 瓶/s,也就是每个瓶检测的时间约为 167 ms,因此需要合理地分配运行时间,保证整个系统的处理速度. PLC 和气动控制部分约占用 36 ms(PLC 响应 10 ms, 阀门 10 ms, 气缸 16 ms); PLC 调度生产线时间(接收空瓶到达信号并通知上位机进行采集)约 20 ms;最后分配给采集和处理的时间约 111 ms. 本系统采用的工业相机曝光时间最高可达 0.1 ms,在加强光源的情况下可以满足图像快速采集的要求,同时还可以把图像采集和处理的工作采用流水线的方式进行,即采集传输第 2 幅图像的同时处理分析前一幅图像,缩短系统工作时间.

利用本系统可检测出 10 余种有缺陷的破损空瓶,但受实验条件的限制,未能进行大量的样本实验,因此,在以后的工作中须对该系统的误检率和识别率作进一步验证.

4 结束语

作者设计了一套基于计算机视觉的空瓶检测平台,在实验室模拟生产现场的检测过程中,外围控制和图像采集都选用小型化的设备,软件系统在 VC++ 环境下进行了自主开发,并考虑了代码的复用性,可以在其他相关类型的检测中直接使用,图像处理和缺陷识别用常规算法来实现.相比成熟的大型设备,该系统检测速度较慢,精度较低,但整个系统开发周期短,成本低,具有小型化、方便调节等特点,还可根据实际需要对整个系统进行改造和升级.经过大量实验,对光源强弱、照明方式、物距、目标移动等计算机视觉的关键因素对后续处理结果的影响进行了分析,同时也验证了利用常规算法对空瓶缺陷进行检测的可行性.

参考文献:

- [1] 王玉林, 赵美宁, 晋小莉. 机电一体化技术在食品饮料包装设备中的应用[J]. 机械加工自动化, 2003 (11): 19-20.
WANG Yu-lin, ZHAO Mei-ning, JIN Xiao-li. Application of mechatronics technology in the food and drink packing equipment[J]. New Technology & New Process, 2003 (11): 19-20. (in Chinese)
- [2] 段峰, 王耀南, 刘焕军. 基于机器视觉的智能空瓶检测机器人研究[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(5): 624-627.
DUAN Feng, WANG Yao-nan, LIU Huan-jun. Study on machine vision based empty bottle inspector[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004, 25(5): 624-627. (in Chinese)
- [3] 蒋庆, 蔡晋辉, 周泽魁. 基于 DSP 的空瓶图像检测系统[J]. 科技通报, 2003, 19(5): 424-427.
JIANG Qing, CAI Jin-hui, ZHOU Ze-kui. Empty bottle image inspection system based on DSP[J]. Bulletin of Science and Technology, 2003, 19(5): 424-427. (in Chinese)
- [4] 李耿, 宗光华. PC 机与 PLC 串行通信的实现[J]. 微计算机信息, 2002, 18(4): 8-9.
LI Geng, ZONG Guang-hua. Serial communication between personal computer and PLC[J]. Control & Automation, 2002, 18(4): 8-9. (in Chinese)
- [5] 付忠良. 图像阈值选取方法: OSTU 方法的推广[J]. 计算机应用, 2000, 20(5): 37-39.
FU Zhong-liang. The selection method of threshold: the extension of the OSTU algorithm[J]. Computer Applications, 2000, 20(5): 37-39. (in Chinese)
- [6] 杨淑莹. VC++ 图像处理程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [7] 章毓晋. 图像处理和分折[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [8] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing[M]. Indianapolis: Prentice Hall PTR, 2002: 579-583.

Study on Machine Vision Based on Bottle Inspecting System

WU Bin, HU Yan-yan, XIAO Ai-min, HE Cun-fu, SONG Guo-rong
(College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology,
Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: For the purpose of detecting bottle flaws automatically with the computer vision technology, this paper analyzes the optical characteristics of the bottle flaws and studies the technology of image acquisition, image pre-processing, image segmentation, flaw recognition and peripheral device communication and control in the procedure of flaw detection. It implement a on-line flaw detection system based on computer vision technology which is suitable for the lab environment. The result demonstrates that the system can effectively inspect the defective empty bottles.

Key words: computer vision; image processing; image segmentation