

基于嵌入式机器视觉的多瓶口缺陷检测系统设计

蔡晓军

(金陵科技学院 动漫学院视觉传达系, 南京 210000)

摘要: **目的** 为了解决瓶口质量人工检测效率低且不稳定的问题。**方法** 采用 HD-SDI 的高清视频图像技术设计一种基于频率为 70 MHz 的 STM32 硬件检测系统, 通过对视频读入、256 MB 存储、29.97 帧的视频输入输出和报警等硬件电路的设计, 基于此搭建视频处理主流程、通信程序和图像处理的一系列软件算法来实现瓶喉口的缺陷检测, 通过单张相片中塑料瓶口边缘轮廓来对比分析系统的可靠性。**结果** 实验证明, 系统可以在 0.26 s 内识别 1 个瓶口, 生产线产出速度为 2.4 s/个。**结论** 该系统可以稳定、实时地检测多个瓶体口缺陷效果。

关键词: 嵌入式; 智能识别; 码垛; 控制系统

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)23-0164-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.23.028

Design of Detection System for Multiple Bottle Mouth Defects Based on Embedded Machine Vision

CAI Xiao-jun

(Visual Communication Department of Animation College, Jinling Institute of Technology, Nanjing 210000, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem of low efficiency and instability in manual inspection of bottle mouth quality. An STM32 hardware detection system based on 70 MHz frequency was designed with the HD video image technology of HD-SDI. Through the design of the hardware circuits, such as video read-in, 256 MB storage and 29.97 frame video input and output and alarm, a series of software algorithms for video processing, communication program and image processing were built to realize the defect detection of bottle mouth. The reliability of the system was analyzed by comparing the edge profile of plastic bottle mouth in a single photo. Experiments showed that the system could identify one bottle mouth in 0.26 s, and the output speed of the production line was 2.4 s/pcs. The system can stably detect the effect of various bottle mouth defects in real time.

KEY WORDS: embedded; intelligent identification; stacking; control system

我国在各行各业中一直是瓶装包装生产和使用大国。由于瓶状物品是在高速生产线上快速制造出来的产品, 导致越来越多的瓶口会出现毛刺、缺损、不规则等问题。采用人工检测不仅效率低, 也会大幅度增加生产成本, 亟需一套嵌入式视觉检测方案识别并剔除瓶喉口不合格产品。

人工抽检不能满足检测速度, 也难以保证瓶口的一致性, 而机器视觉检测在工业应用中技术越来越成熟, 检测精度为 ± 0.5 mm^[1], 实现主要硬件平台包括

PC 和嵌入式 2 种。PC 平台成本过高, 不适合生产线这种大批量、低成本的制造行业, 因此采用嵌入式系统进行开发。

设计一种以 STM32 高速芯片为主的视觉检测瓶喉口缺陷系统, 首先根据工业图像检测方法设计电路整体功能框图, 设计视频检测、串口通讯和视频输出等电路^[2], 并依托硬件设计控制流程、双机通讯和特征提取等软件模块, 最后通过瓶盖预处理过程和破损瓶盖检测实验验证系统。

收稿日期: 2018-04-19

作者简介: 蔡晓军 (1975—), 男, 金陵科技学院副教授, 主要研究方向为视觉传达、广告平面设计。

1 瓶口视觉检测方案设计

瓶装产品在生产过程中都是利用吹塑设备进行制造,由于吹针堵塞或机台震动等多种原因都会造成瓶口异常,由于生产过程处于快速不稳定状态因此利用量具检测效率低且不稳定,采用视觉图像方法对产品进行检测^[3],整体结构和生产过程见图 1。一般瓶装产品都是在传送台上进行生产和传输,由于排列不规则或传送带振动等问题很难用接触式方法进行测量,采用高速 CCD 镜头对视角范围内产品进行拍照保存,把数据传送到图像处理嵌入式后台系统中,由于像素要求高且拍照速度快,图像数据存储量大必须外扩高速内存来中转缓存数据^[4]。图像数据在嵌入式平台中经过计算和特征提取后输出到人机交互系统中,也可以利用控制运动控制器等设备剔除不合格产品。

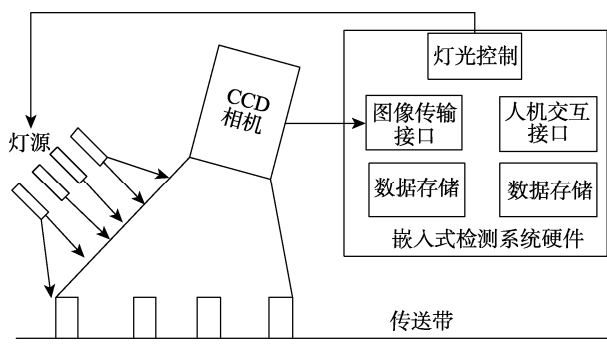


图 1 多瓶口检测系统

Fig.1 Multi-bottle mouth detection system

经过工艺流程分析后设计嵌入式硬件系统需要用到模块,被测瓶体在皮带生产线上以恒定转速运输过程中,利用红外摄像头对被检测区域进行拍照,高速相机把实时工件图像数据传送到内存中等被调用处理。图像被下位机控制器 ARM 采集过程是利用 HD-SDI 视频输入接口拍摄高清画面,经过视频解码后图像数据才能以数字量形式保存到内存区域中^[5]。特征提取部分利用 STM32 先对瓶盖进行灰度化、图

像增强等预处理,在特征提取过程中要利用二值化、边缘检测等算法进行实时运算处理。突出瓶口边缘轮廓后需要传送到液晶显示屏中,因此在图像传输过程中需要用到图像输出驱动电路,除此之外还要用到功率放大器等外设驱动电路。

2 图像检测系统硬件设计

瓶装口图像检测系统整体框图经过上面分析大致可以分 4 个模块,包括视频采集模块、视频解码存储模块、缺陷特征提取模块和显示控制模块^[6]。缺口检测硬件平台主要以图像采集和传输为主,因此对视频采集解码、图像数据解码保存和图像输出放大电路进行详细设计。

2.1 CCD 图像的 HD-SDI 输入接口

CCD 采集图像后可以直接传送给 STM32 模块进行特征数据提取,但为了降低 CPU 计算传输压力采用外置视频解码芯片 GV7700 进行数据格式转换,经过视频解码后原始图像质量可以得到提高,同时图像识别算法也会得到简化。视频解码整体电路见图 3,高性能解码芯片 GV7700 可以通过 SPI 总线进行控制,视频识别格式可以通过编程进行控制,内核低压电源 1.8 V 供电可以保证高速采集转换过程中电路芯片处于低功耗模式^[7]。当五针视频输入到 SDO 接口过程中利用电感和电容滤除信号中交流成分,然后芯片把直流成分和 SDO 接收到的小幅度交流成分进行合成。视频解码芯片工作在 27 M 高速过程中也可以保持低功耗,且视频输入输出都通过 20 位并行数据总线进行传输。

2.2 上位机通信程序

嵌入式系统在高速运行或处理大量图像数据时容易出现响应速度低的问题,为保证工作效率并升级检测系统开发 RS232 接口用于 MCU 和 PC 机的双机通信,为了增强系统的通用性,对图像处理系统来说 232 还可用作与其他上位机连接的通道。RS232 接口信号电平值较高,容易损坏接口电路的芯片,又因为该接口电平与 TTL 电平不兼容,故需要电平转换芯片完成 TTL 电平转换,MAX232 是主要电平转换芯片^[8]。MCU 处理器引脚输出高电平 3.3 V,因此需要考虑其逻辑电平的兼容性,MAX232A 为一款兼容型逻辑器件,输入低电平为 0.8 V,高电平为 2.4 V 满足兼容性要求,其接口电路见图 4。从综合接口的传输速率和抗干扰能力两方面考虑,选择 MAX232 的匹配电容为 0.1 μ F,同时在 VCC 和 VDD 之间加退耦电容,增加数据传输的可靠性。D0 和 D1 为数据传输状态指示,D4 为电源指示。其中为一路芯片的介绍,另外一路 CPU 与上述使用过程完全相同。

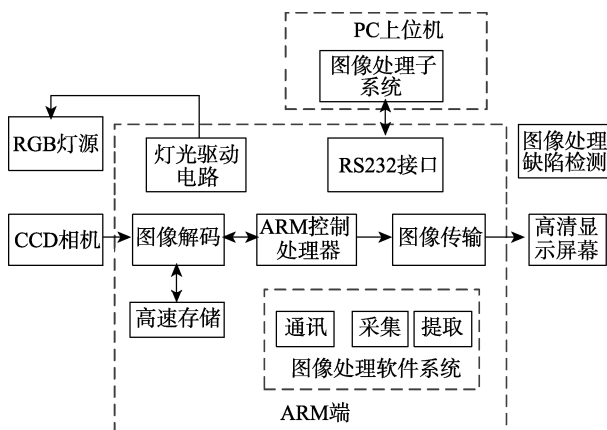


图 2 系统功能

Fig.2 System function

常超范围时可以用来保护后续电路,可以钳制输入接口的电压在-5 V 到+5 V 的范围之内。仪表放大器电路通过接入 RG 引脚的电阻进行倍数调节,且在视频信号输出部分接入 0.05 kΩ 阻抗匹配电阻。

3 缺陷检测软件系统设计

系统软件可以分为上位机数据处理端和下位机数据采集端 2 个部分,在上位机系统中以图像数据接收、图像预处理和边缘检测等识别程序为主^[10],上位机完成计算后把数字变量发送到下位机进行输出显示。下位机软件以 ARM 为核心开发视频输入输出程序、高速内存读取程序和输出控制等部分。

3.1 检测系统主流程

检测系统主流程是对图像传输和处理整体过程进行设计,因此在图像传输主程序中包括输入端、数据传输端和图像处理端等多个部分,整体程序见图 6。开始先对摄像头、图像采集传输和图像特征提取等部分进行初始化,之后软件系统通知 ARM 进行连续采集并保存数据^[11],并进行特征提取、中值滤波、图像增强、边缘和缺陷检测等机器视觉处理。当有残次品产生时就通知主控电路进行剔除操作,并可以把数据实时发送到 PC 上位机中进行校准、备份和显示等。

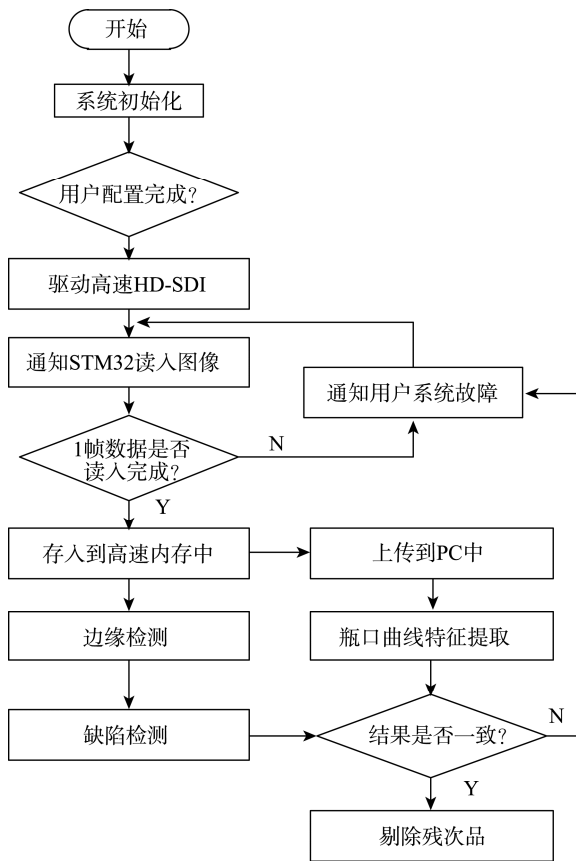


图 6 检测系统主程序
Fig.6 Main program of detection system

3.2 上位机通信程序

PC、STM32 的发送数据线 TXD 与接收数据 RXD 交叉连接,两者的地线 GND 直接相连,而其他信号线(如握手信号线)均采用软件握手的方式,这样既可以实现预定的任务,又可以简化电路设计^[12]。上位机编写程序见图 7,将 VISA 串口字节数 VBSP 函数的输出端口 VISA 资源名称与 VISA 读取函数的输入端口 VISA 资源名称相连。在顺序结构的 Frame 3 中添加 2 个局部变量,为局部变量分别选择对象:“返回十六进制数据”和“发送十六进制数据”,将其读写属性设置为读取。

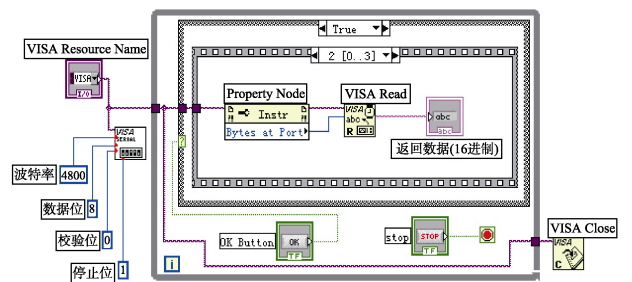


图 7 上位机串口通讯程序
Fig.7 Serial communication program of upper computer

3.3 瓶口图像灰度局部阈值提取

视频处理子程序是以嵌入硬件平台为主,主要用来频捕捉 CCD 相机输入的照片数据,单纯通过嵌入式平台解析图片需要优化特征提取算法,尤其是在光线不均匀的情况下利用灰度局部阈值方法可以快速提取到瓶口缺陷。灰度局部阈值法主要设计思路是利用水平和垂直方向的平均像素值作为阈值,然后利用阙值去除每个方向的峰值和凹值,防止缺陷分割丢失后进行区域划分并提取特征,具体实施过程可以分为 4 个主要步骤。

- 1) 按照常规图像处理办法先对瓶口照片进行灰度值转化并进行图像积分。
- 2) 局部阈值计算与普通阙值计算方法不一样,不是通过每行或每列像素平均值作为阙值,而是检测像素点 (i, j) 横向或纵向附近像素值并进行均值计算,根据计算结果区域分割相邻 $N \times N$ 的窗口,分割数值越大计算结果越大,但响应速度越低,具体局部分割阙值 $T(i, j)$ 计算公式为:

$$T(i, j) = \left(1 - \frac{1.3 \times p}{100}\right) \times Q(i, j) \tag{1}$$

式中: T 为局部阙值; Q 为分割区域的平均值; i 和 j 分别为水平垂直检测点; p 为分割系数。

- 3) 当瓶口灰度图的每个像素都经过式 (1) 分割完成后,需要对每个像素点进行加强或削弱即二值

化,通过式(2)判定像素为1或0。

$$B(x,y)=\begin{cases} 1, & \text{if } f(x,y) \leq T(x,y) \\ 0, & \text{if } f(x,y) > T(x,y) \end{cases} \quad (2)$$

式中: B 为加强后像素值; f 为灰度图像中像素 T 的灰度值。

4) 经过阈值计算出的二值化图像还存在噪声,利用均值滤波法对区域填充抹除无规律白点。

4 检测系统应用验证

关于机器视觉的缺陷检测系统验证集中在2个方面,一是对瓶口图像处理过程进行分析,通过观察预处理、二值化、边缘检测等图像特征提取过程来判断视觉检测系统的可靠性^[14];二是通过不同瓶盖缺陷的对比图像结果判断系统实际应用状况。

4.1 图像预处理

由于系统检测过程中生产线环境过于复杂,图像采集和传输过程都会受到抖动、噪声等外部影响,因此需要对瓶喉口图像进行预处理。预处理过程包含多个环节,比如对比度增强、确定有效区、噪声弱化等,选择处理效果比较明显的对比度环节进行测试,结果见图8。CCD相机直接拍摄出的瓶口灰度见图8a,利用三段分段变换函数可以选择需要特征区域进行图像增强^[15],如图8b所示选择瓶口位置进行图像对比度增强,其余部分进行削弱,图像处理结果对检测系统来说非常有效。



a 瓶口相机

b 线性变换灰度图

图8 图片对比度变换对比

Fig.8 Contrast of image contrast transformation

4.2 单图像的多瓶口缺陷检测

实验过程选择具有不同缺陷特征的瓶口测试,在瓶体不变形前提下提取瓶喉口边缘,结果见图10。对比正常瓶盖和缺陷瓶盖发现,检测系统可以识别瓶口任何部位的破损^[16],通过拍摄一张照片可以同时检测4个瓶口,而且经过效率测试实验发现系统0.21 s就可以提取一个瓶口特征。虽然照片边缘提取特征会有微弱变形,但可以满足瓶体生产实时性要求。



a 瓶口缺陷

b 正常瓶口



c 裂缝瓶口

d 变形瓶口

图9 单张图像检测结果

Fig.9 Detection results of a single image

5 结语

为实现多个瓶口的同时检测,设计一种嵌入式机器视觉检测系统。根据瓶体生产线流程设计图像检测系统和嵌入式硬件结构,设计高频视频输入、双机通讯串口和图像输出驱动等电路,并根据视觉检测平台设计主程序、图像采集、特征提取和通讯驱动等程序,最后通过图像检测和多瓶口图形验证系统。结果表明,嵌入式机器视觉系统可以被广泛应用于瓶口检测生产线。

参考文献:

- [1] 彭忠超,戚媛婧,舒斌,等. 基于机器视觉的激光器封装自动对准系统[J]. 工程设计学报, 2017, 24(6): 687—693.
PENG Zhong-chao, QI Yuan-jing, SHU Bin, et al. Machine Vision Based Automatic Alignment System for Laser Packaging[J]. Journal of Engineering Design, 2017, 24(6): 687—693.
- [2] 任永强,杜瑞,李军. 基于机器视觉的差速器卡簧装配防错检测研究[J]. 制造技术与机床, 2018(1): 30—34.
REN Yong-qiang, DU Rui, LI Jun. Error Detection of Differential Spring Assembly Based on Machine Vision[J]. Manufacturing Technology and Machine Tools, 2018(1): 30—34.
- [3] 翁政魁,管业鹏,罗宏杰. 基于机器视觉古陶瓷无损分类识别[J]. 硅酸盐学报, 2017, 45(12): 1833—1842.
WENG Zheng-kui, GUAN Ye-peng, LUO Hong-jie. Nondestructive Classification and Recognition of Ancient Ceramics based on Machine Vision[J]. Journal of

- Silicate Science, 2017, 45(12): 1833—1842.
- [4] 李纪峰, 赵凤霞, 金少搏. 玻璃纤维布的机器视觉缺陷检测系统设计[J]. 机械设计与制造, 2018(1): 163—165.
LI Ji-feng, ZHAO Feng-xia, JIN Shao-bo. Design of Machine Vision Defect Detection System for Fiberglass Cloth[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2018(1): 163—165.
- [5] 罗时光. 基于机器视觉的玻璃瓶口缺陷检测方法[J]. 包装工程, 2018, 39(3): 183—187.
LUO Shi-guang. Inspection Method of Glass Bottle Defects based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(3): 183—187.
- [6] 高红俐, 朱亚伦, 郑欢斌, 等. 机器视觉疲劳裂纹扩展试验裂纹测量系统标定方法[J]. 浙江工业大学学报, 2017, 45(1): 99—103.
GAO Hong-li, ZHU Ya-lun, ZHENG Huan-bin, et al. Machine Vision Fatigue Crack Propagation Test Crack Measurement System Calibration Method[J]. Zhejiang University of Technology Journal, 2017, 45(1): 99—103.
- [7] 郭政, 史建新, 周军, 等. 机器视觉在线检测核桃大小软件设计[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(3): 538—545.
GUO Zheng, SHI Jian-xin, ZHOU Jun, et al. Software Design for Machine Vision on-line Detection of Walnut Size[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(3): 538—545.
- [8] 黄森林, 王耀南, 彭玉, 等. 基于迟滞阈值分割的瓶口缺陷检测方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(8): 1289—1296.
HUANG Sen-lin, WANG Yao-nan, PENG Yu, et al. Bottle Defect Detection Method Based on Hysteretic Threshold Segmentation[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2017, 31(8): 1289—1296.
- [9] 周显恩, 王耀南, 朱青, 等. 基于机器视觉的瓶口缺陷检测方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(5): 702—713.
ZHOU Xian-en, WANG Yao-nan, ZHU Qing, et al. Research on Bottle Mouth Defect Detection Method Based on Machine Vision[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(5): 702—713.
- [10] 黄志鸿, 毛建旭, 王耀南, 等. 基于机器视觉的啤酒瓶口缺陷检测分类方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(6): 873—879.
HUANG Zhi-hong, MAO Jian-xu, WANG Yao-nan, et al. Research on the Detection and Classification of Beer Bottle Defects Based on Machine Vision[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(6): 873—879.
- [11] 钟鹏飞, 车爱兰, 冯少孔. 全波场映像技术以及其在高速公路路基缺陷检测中的应用[J]. 地震工程学报, 2016, 38(6): 942—947.
ZHONG Peng-fei, CHE Ai-lan, FENG Shao-kong. Full Wave Field Mapping Technology and Its Application in the Detection of Highway Subgrade Defects[J]. Journal of Seismological Engineering, 2016, 38(6): 942—947.
- [12] 唐燕妮. 基于机器视觉的陶瓷大花瓶内表面裂纹自动检测系统研究[J]. 陶瓷学报, 2016, 37(4): 417—422.
TANG Yan-ni. Automatic Detection System for Internal Surface Cracks of Ceramic Vases Based on Machine Vision[J]. Journal of Ceramics, 2016, 37(4): 417—422.
- [13] 杨欣宇, 李诚, 张宏烈. 基于机器视觉车祸车辆的识别方法研究[J]. 计算机仿真, 2016, 33(7): 238—241.
YANG Xin-yu, LI Cheng, ZHANG Hong-lie. Recognition Method of Vehicle Accident Based on Machine Vision[J]. Computer Simulation, 2016, 33(7): 238—241.
- [14] 周显恩, 王耀南, 李康军, 等. 一种多次随机圆检测及拟合度评估的瓶口定位法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(9): 2021—2029.
ZHOU Xian-en, WANG Yao-nan, LI Kang-jun, et al. A Bottle Location Method for Multiple Random Circle Detection and Fitting Degree Evaluation[J]. Journal of Instrumentation, 2015, 36(9): 2021—2029.
- [15] 郭克友, 廉丽冰, 李娜, 等. 基于 OpenCV 的啤酒瓶口缺陷检测系统研究[J]. 制造业自动化, 2014, 36(15): 61—63.
GUO Ke-you, LIAN Li-bing, LI Na, et al. Research on Beer Bottle Mouth Defect Detection System Based on OpenCV[J]. Automation of Manufacturing Industry, 2014, 36(15): 61—63.
- [16] 张利伟, 张航. 基于计算机视觉的玻璃瓶在线检测方法[J]. 计算机工程与科学, 2009, 31(10): 36—38.
ZHANG Li-wei, ZHANG Hang. Computer Vision Based On-line Detection Method for Glass Bottles[J]. Computer Engineering and Science, 2009, 31(10): 36—38.