

基于 OpenCV 的透明瓶装无色液体液位实时检测

姚 坤^{1,2}, 葛广英^{1,2}, 肖海俊^{1,2}, 隋婉婉^{1,2}

(1. 聊城大学 物理科学与信息工程学院, 山东 聊城 252059;

2. 山东省光通信科学与技术重点实验室, 山东 聊城 252059)

摘要: 为了实现对无色液体透明瓶装产品的非接触性检测, 设计一种液位实时检测系统; 系统通过工业数字摄像头实时采集产品图像, 基于 OpenCV 开源平台, 对其进行相关的预处理, 检索液体区域的轮廓, 提出了一种适合液位检测的包围盒取高算法, 可得到液位高度; 图像采集过程中利用白色背景和特殊的光源设计突显液体区域, 不借助外部测量仪器对液位进行实时检测; 对 100 副不同液位的产品图像进行测试, 测量结果表明, 此系统能够快速准确地获得瓶装液体的高度信息, 最大相对误差 0.8%, 具有较好的准确性和实时性。

关键词: 无色液体; 实时检测; OpenCV; 包围盒

Real-time Detection of Colorless Liquid Level in Transparent Bottle Based on OpenCV

Yao Kun^{1,2}, Ge Guangying^{1,2}, Xiao Haijun^{1,2}, Sui Wanwan^{1,2}

(1. College of physics and information engineering, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China; 2. Shandong Key Laboratory of Optical Communication Science and Technology, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China)

Abstract: In order to realize the non-contact detection of colorless liquid level in transparent bottle, a kind of liquid level real-time detection system was designed. The system acquires the real-time image of products through a industrial digital camera, and then retrieve the liquid region after a series of pretreatments which are based on OpenCV open-source platform, a bounding box algorithm suitable for liquid level detection was proposed, the height of liquid level can be obtained. The white background and a special design of light source highlight the liquid area, the system can realize real-time detection without external measuring instrument. In a test including 100 images of products with different liquid levels, the measured results showed that this system can get the height of bottled liquid rapidly and accurately, the maximum relative error is 0.8%, which has a good accuracy and real-time performance.

Keywords: colorless liquid; real-time detection; OpenCV; bounding box

0 引言

随着社会经济的不断发展, 透明瓶装无色液体的包装应用越来越多, 在生产包装过程中液量检测是必需的检验步骤。目前国内很多生产线上依然使用人工目测的方法, 随着生产规模的扩大化和技术水平的不断提高, 用机器代替人工进行智能化生产检测已经成为工业发展的趋势。

在已有研究中, 提出了如超声波法, 光电传感器法, 电容式传感器法, 基于机器视觉检测等液位自动检测方法。作为一种非接触的无损检测方法, 基于机器视觉的检测方法受到人们广泛关注。1994 年尼若·施瓦茨等三人在美国申请了“用于质量和流程控制的动态液体液位及气泡的检测”专利, 检测效果理想, 但成本较高^[1]。黄玲等提出了一种带标杆的液位检测方法, 利用液体的折射原理, 识别标杆在液面处的虚拟的折断点位置, 以确定液面的高度^[2]。本文为了实现不借助外部测量仪器, 对液位进行实时检测的目的, 设计了一套高效的透明瓶装无色液体液位检测系统。该系统通过液位高度对液量进行检

测, 检测误差低于产品合格指标的要求。

1 基于 OpenCV 平台的液位实时检测系统原理

实验中搭建的液位检测系统硬件平台主要包括数字相机、LED 点光源和用于图像处理的计算机等。该系统的主要结构原理为: 对于一条水平方向稳定运行的传送带, 取一处旁侧安装相机, 并在相机左右两旁安装高亮 LED 点光源, 分别和取图方向成 30°夹角。在取图位置一侧安装光电传感器, 实现外触发控制图像采集。图像的采集应在光照条件较暗的环境中进行, 目标的拍摄背景为一块表面粗糙白色挡板, 这样可以利用白色背景对无色透明液体镜面反射作用增强的原理, 有效突出图像中液体对应的区域。硬件系统结构框图如图 1 所示。

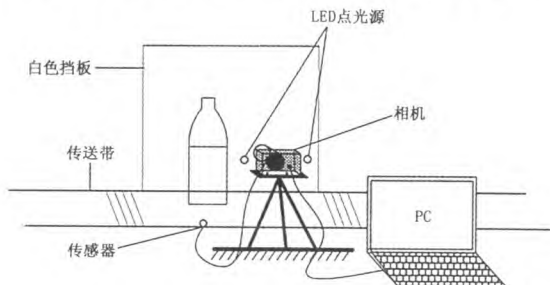


图 1 硬件系统结构框图

收稿日期: 2014-05-21; 修回日期: 2014-07-09。

基金项目: 国家自然科学基金(10874063)。

作者简介: 姚 坤(1990-), 男, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事机器视觉方向的研究。

葛广英(1964-), 男, 山东聊城人, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事机器视觉、物联网方向的研究。

2 液位检测系统设计

本文中我们对一次采集的图像进行处理，完成产品检测并对其进行过程作详细说明，检测系统的算法流程如图 2 所示。

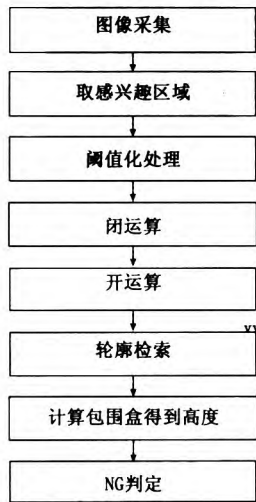


图 2 检测系统的算法流程

2.1 瓶子图像的获取及预处理

由于 CCD 相机的视场相对较大，目标物体在被采集的图像中只占据固定的部分区域，图像处理过程中 ROI（感兴趣区域）的选取可在不丢失重要信息的前提下有效压缩数据量^[3]。直接获取的目标图像和取 ROI 后图像分别如图 3（a）和图 3（b）所示。

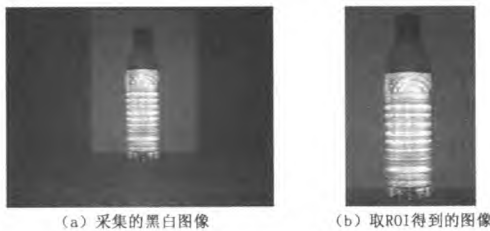


图 3 在采集的图像中取 ROI

为了进一步减少工程计算量，满足硬实时任务要求^[4]，同时突出液体区域的整体轮廓，我们需要对图像进行阈值分割，取二进制阈值化方式。它的操作原理是要按照灰度级对像素集合进行划分，得到的每个子集形成一个与现实景物相对应的区域，各区域内部具有一致的灰度属性。这样的划分可以通过从灰度级出发，选取一个合适的阈值（根据现场环境来确定）通过公式（1）实现。阈值分割后的图像如图 4 所示。

$$dst(x,y) = \begin{cases} 255 & src(x,y) > thresh \\ 0 & src(x,y) \leq thresh \end{cases} \quad (1)$$

阈值分割后的图像中白色区域内存在一些小型的黑洞（黑色区域），此外在黑色区域内存在一些小型白色团块。为了保证后面轮廓识别结果的唯一性，我们需要通过形态学运算将待处理图像分成两个独立而完整的区域。

数学形态学作为一种有效的图像处理工具，可以从图像中提取出表达和描绘区域形状的有用图像分量，如边界、骨架和凸壳等^[5-6]。集合论是数学形态学的基础，其中的集合表示图像中的对象，在二值图像中指的是二维整数空间 Z^2 的元素，

在该空间中，集合的每个元素都是一个二维向量，对应坐标为 (x,y) 的像素。

作为 Z^2 中的集合 A 和 B ，表示为 $A \otimes B$ 的 B 对 A 的腐蚀作用如式 2：

$$A \otimes B = \{z \mid (B)z \subseteq A\} \quad (2)$$

该式指出 B 对 A 腐蚀得到的是一个用 z 平移的 B 包含在 A 中的所有点 z 的集合。在图像中 B 代表掩码矩阵， z 点是它的中心位置，掩码矩阵的大小决定了图像腐蚀和膨胀的程度，选择合适的掩码矩阵可有效突出图像中的特征。同理，在二维空间 Z^2 中，表示为 $A \oplus B$ 的 B 对 A 的膨胀作用定义如式 3：

$$A \oplus B = \{z \mid [(B)z \cap A] \subseteq A\} \quad (3)$$

该式是以矩阵关于它的原点的映像，并且以 z 对映像进行平移为基础的。腐蚀和膨胀两种操作是形态学运算的基础，属于非线性操作。原理是选取合适的掩码矩阵（也称作核）重新计算图像中每个像素的值，掩码矩阵中的值表示近邻像素值（包括该像素自身的值）对新像素值的影响，其大小是决定图像处理效果的关键。

通过腐蚀膨胀运算可以实现二值图像中物体的细化或粗化，通过二者的组合，可以实现另外两种形态学操作。闭运算操作是先膨胀后腐蚀，而开运算操作是先腐蚀后膨胀，集合 B 对集合 A 的闭操作表示为 $A \cdot B$ ，其定义如式 4，类似地， B 对 A 的开操作可表示为 $A^\circ B$ ，其定义如式 5。

$$A \cdot B = (A \oplus B) \otimes B \quad (4)$$

$$A^\circ B = (A \otimes B) \oplus B \quad (5)$$

对于阈值分割后的图像，首先须去掉白区中的黑洞，可通过闭运算实现，然后再对输出的图像做开运算处理，去掉黑区中的白色团块。形态学操作后得到的图像如图 4（b）所示。

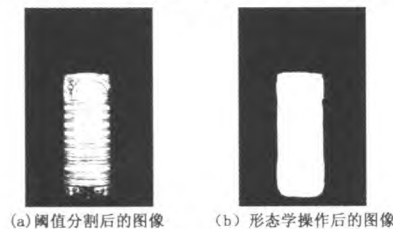


图 4 图像预处理的结果

2.2 检索二值图像中的轮廓

在已经得到的二值图像中，液体区域对应的像素点为白色，背景对应的像素点为黑色，现在我们要对图像中的轮廓进行检索。轮廓由一系列的点构成，这些点被保存在序列当中^[9]。序列是一种结构链表，在内存中被视为一个双端队列，可以实现快速的随机访问，以及顶端的元素快速删除。

OpenCV 提供了两种方法来表示轮廓：Freeman 链码、多边形顶点的序列。在 Freeman 链码中，多边形被表示为一系列的指定长度的位移，每一个位移有 8 个方向，这 8 个方向使用 0~7 表示，最后，轮廓曲线可以表示为方向性数字序列的编码，Freeman 链码对于识别一些特殊形状的物体很有帮助。数字边界还可以用多边形以任意精度来近似。对于一条闭合边界，当多边形的边数目等于边界上的点数时，这种近似会变得很精确，此时每对相邻的点定义了多边形的一条边。多边形近似的目的是使用尽量少的线段数来获取给定边界的基本形状。相比 Freeman 链码，多边形近似的求解过程比较复杂，一般利用耗时严

重的迭代搜索,寻找顶点,不过它描绘的轮廓准确度更高。

由于经过预处理的二值图像中只存在一个独立而完整的区域,所以在选择轮廓检索的拓扑结构时,我们可以选择只检测最外层的轮廓,这样可大幅减少计算量。后得到输出序列,其中存放着轮廓检索得到的一系列点。为了尽可能准确地获取图像中液体区域的轮廓信息,我们选择多边形近似的方法。

2.3 提取包围盒及液位的检测

在此系统中瓶内液体的液量是否达标可根据瓶内液体的液位高度进行判定。利用 OpenCV 计算轮廓的边界框(也称作包围盒),后得到包围盒的高度即是液体的液位高度。包围盒的提取基于 Douglas-Peucker 算法^[10],原理如图 5 所示。

对于一给定的闭合曲线如图 5(a)所示,得到包围盒的详细步骤如下:

1) 在一段曲线首尾之间连接一条直线,计算曲线上各点到直线的距离;

2) 取阈值 d_{max} , 曲线上的点到直线最远距离与阈值做比较,由于点 A 到直线 P1P3 的距离大于阈值则将 A 点保留,BCD 点到直线 P1P2 的距离均小于阈值,则将此段曲线上的点全部舍去,如图 5(b)所示;

3) 现取较小阈值(阈值越小,多边形拟合结果越接近真实的轮廓),根据保留的点,对曲线轮廓分两部分处理,重复 1、2 步操作,迭代计算,不断将最远的点添加到结果中,最后得到满足给定精度限差的曲线点坐标,如图 5(c)所示;

4) 最后保留的点为包含曲线信息最多的关键点,过上下左右最远的点分别做水平或竖直线,相交所得的矩形即轮廓的包围盒,如图 5(d)所示。

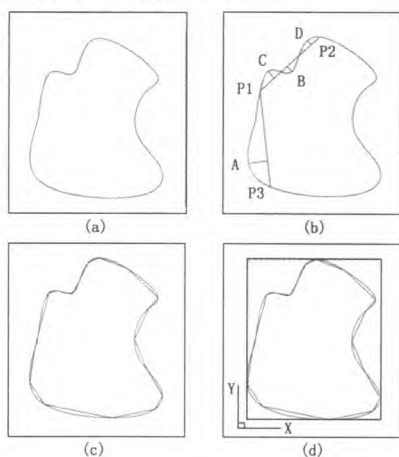


图 5 轮廓包围盒的计算步骤示意图

实验中程序运行后得到液体区域的轮廓及其包围盒图像如图 6 所示。

在多边形近似过程中设置合适的距离阈值,曲线逼近后得到多边形顶点的序列,通过计算输出 Rect 变量,这是 OpenCV 中的一种数据类型,成员变量有 (x,y) 、width、height,分别为包围盒左上角点的坐标和矩形的宽度和高度。取其高度变量,作为被测目标的液位高度,后对比合格品的标准高度,规定 ± 10 个像素为合理误差范围,通过判断检测产品液量是否达标。



图 6 液体区域轮廓及其包围盒图像

3 实验结果及分析

实验时,采用 PC 的型号 E5500, 2G 内存、Visual Studio 2010 和 OpenCV 的软硬件环境,实验对象为农夫山泉矿泉水瓶。实验中对装有不等量矿泉水的矿泉水瓶进行检测,利用程序开发测试工具 Intel® Parallel Studio XE 2011 对 100 次程序执行过程进行监测,CPU 平均耗时 0.246 s,可见该设计具有较好的实时性。在 100 个检测对象中,50 个为含量符合标准(550 mL)的合格品,其它瓶内液量均为不足 550 mL 或过量的不合格产品。在对 50 副合格品图像的检测中,检测为全部合格,另外在对 50 副不合格产品图像的检测中,只有一副图像出现误判,对应的实际液体体积和标准相差 8 mL,相对误差小于 1.5%,低于国家标准中对 600 mL 以下矿泉水净含量相对误差在 $\pm 3\%$ 以内的包装要求。

4 结束语

基于 OpenCV 的液位检测系统可不借助外部测量仪器,实现对透明瓶装无色液体的液位自动化检测。实验结果表明该方法检测精度较高,实时性和稳定性令人满意,达到了设计的期望要求。该系统可在实际生产过程中大大提高产品的检测效率,同时节约劳动力成本,系统节能环保,安全稳定,具有很好的扩展性和适应性,可广泛应用于各类透明瓶装无色液体的液位检测中,具有很大的市场价值和应用前景。

参考文献:

- [1] 尼若·施瓦茨,等. 用于质量和流程控制的动态流体液位及气泡的检测 [P]. 中国专利: 中国, CN94119000. 5, 1994-11-23.
- [2] 黄玲,张叶林,胡波,等. 基于机器视觉的透明瓶装液体液位自动检测 [J]. 自动化与仪表, 2012 (2): 57-60.
- [3] 熊光洁,马树元,聂学俊,等. 基于机器视觉的高密度电路板缺陷检测系统 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (8): 1824-1826.
- [4] 张玲,吴巍,刘苇娜. 图像处理在工业制造中的应用 [J]. 计算机与数字工程, 2006, 34 (12): 105-107.
- [5] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. Digital Image Processing Third Edition [M]. Science Press, 2011.
- [6] 赵于前. 基于数学形态学的医学图像处理理论与方法研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2006.
- [7] 徐平,邵定宏,魏樨. 最佳阈值分割和轮廓提取技术及其应用 [J]. 计算机工程与设计, 2009, 30 (2): 437-439.
- [8] Douglas D. H. and Peucker T. K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a line or its caricature [J]. The Canadian Cartographer, 1973, 10 (2): 112-122.