

# 瓶装啤酒的高速实时在线容量检测装置的研制

苑玮琦, 薛丹

(沈阳工业大学 视觉检测技术研究所, 辽宁 沈阳 110023)

**摘要:** 设计了一种适用于广大中小啤酒生产企业的在线检测装置。光学系统设计上, 利用 DSP 处理器独立完成生产线上啤酒瓶的采集与处理, 利用图像开窗采集方法减小 DSP 的图像数据存储量, 降低了系统对内存容量的要求, 解决了检测实时性要求的技术难题。建立一种最佳的啤酒液位图像识别方法及其监测软件, 可实现对 54000 瓶/h 的高速自动生产线上啤酒容量的在线动态捕捉, 实时采集, 并能够显示液位值, 当容量不符合标准时可自动报警。该装置可独立运行和自动加载程序, 便于携带到现场进行实时检测。

**关键词:** 啤酒; DSP; SAA7113; 图像处理; 动态采集

**中图分类号:** TS262.5; TS261.4; TP274.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-9286(2007)12-0070-04

## Development of the Real-time Inspection Device of Beer Volume in Bottle on High-Speed Production Line

YUAN Wei-qi and XUE Dan

(Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang, Liaoning 110023, China)

**Abstract:** An on-line detecting device suitable for small and medium-size breweries was designed. It had achieved the collection and processing of beer bottle image on high-speed automatic production lines by use of DSP processor and an open-window method was introduced to reduce the data storing capacities of the image, thus it could reduce the memory capacity demanding of the system which was always a technical difficult in real-time detection. Simultaneously, it had established a best method to recognize the liquid level in beer bottle, and developed a software algorithm which could not only catch the high-speed moving object correctly and inspect the beer volume of 54000 bottles on high-speed automatic production lines per hour timely, but also recognize and demonstrate the fluid position value. When the volume in beer bottle was not in accord with the standard, the equipment would alarm automatically. This device could load program automatically and was easily carried in the beer bottle automatic production lines for real-time beer volume detection.

**Key words:** beer; DSP; SAA7113; image processing; dynamical image collection

随着生产线速度的不断提高, 传统的人眼检测已逐步被机器所代替。空瓶检测部分成为目前研究的主要对象, 而对于灌酒后的二次检测啤酒瓶内所装啤酒容量是否合格的研究还尚属少数。

尼若·施瓦茨等人曾于 1994 年在美国加利福尼亚申请了“用于质量和流程控制的动态液体液位及气泡的检测”专利; 美国 PPT VISION 推出 IMPACT 机器视觉微型系统, 使用 Inspection Builder 开发环境, 检测效果不错。国外的检测手段多采用高精度、高质量摄像头拍摄物体, 光学系统也采用高精度光源, 以保证成像的清晰, 通过 PC 机或 PLC 工控机来观测被检测物体的状

态。但这些检测手段成本较高, 不适合我国中小啤酒生产企业的推广。国内早期的研究多采用固态压阻传感器、电容传感器、电容式差压液位变送器、压力传感器、超声波、雷达、激光液位检测方法检测啤酒液位, 由于受外界温度、磁场、啤酒瓶瓶壁的反射等因素影响, 测量难度大、精度低、成本也相对较高, 有的甚至有放射性物质污染环境, 因此, 没有被广泛的应用。湖南大学在 2003 年首次使用机器视觉检测方法对“自动生产线上透明灌装瓶液体体积的机器视觉检测系统”进行了研究<sup>[1]</sup>。2004 年浙江大学继续提出了基于 DSP 的“啤酒液位与杂质自动检测系统的结构设计和开发”, 这些均收到了一定

收稿日期: 2007-08-13

作者简介: 苑玮琦(1960-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事应用计算机视觉研究。

效果。目前, 机器视觉方向正凭借其多方面的优势被广泛应用于各个行业的研究, 其实现手段主要是基于 PC 机, 基于 PLC, 基于 DSP 三大方向。

## 1 系统结构与原理

为体现检测设备的低成本、高速度、便携性的优点, 本文采用基于 DSP 的机器视觉检测方法。其主要涉及光学系统、硬件系统及软件系统的设计。通过 DSP 控制摄像机采集动态的啤酒瓶图像, 嵌入图像处理方法编写的识别检测瓶内液面高度的软件, 检测瓶装啤酒的容量是否达标, 若不达标则自动报警并剔出生产线重新灌酒。同时, 外扩一片非易失性的 FLASH 存储程序及结果, 可实现脱机运行, 从而实现了低成本、携带安装方便、适用于现场检测的研发目的。实验装置图见图 1。

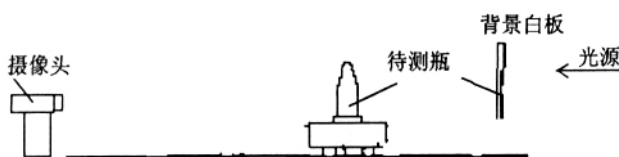


图1 实验装置图

## 2 光学系统设计

为了得到清晰的图像, 光学系统的设计是不容忽视的。其中光学相机及镜头的选择、光源及照明方式的选择恰当与否对后续图像处理至关重要。

### 2.1 光学相机及镜头的选择

目前, 市面常见的工业摄像机仍以 CCD 传感器为主流, 价格较低且拍摄的图像效果较好, 尤其是面阵帧曝光方式的摄像机特别适合动态图像的采集。本设计选择了一款适合国内中小企业推广的 CCD 模拟工业监控摄像机 Panasonic WV-CP460。其信噪比为 50 dB, 动态范围为 48 dB, 水平分辨率为 480 线, PAL 制式, 具有自动亮度控制, 白平衡控制及电子快门等功能。其采集一帧图像需 40 ms, 而按照生产线速度为 54000 瓶/h 的需要, 即平均采集一幅啤酒瓶图像需 67 ms, 完全可以满足图像的采集速度。另外 PAL 制式的传感器分辨率固定为 720×576, 再选择一款焦距为 16 mm, 视场角为 30.5° 的 C 口标准镜头, 通过以上参数可计算出合适的检测距离, 将摄像机与啤酒瓶的位置固定后即可采集到清晰的啤酒瓶图像。

### 2.2 光源及照明方式的选择

为避免啤酒因光照而使品质变差, 啤酒瓶通常都做成深色的, 主要有绿色和棕色两种颜色。深色不利于液位的提取, 提高了对光源的要求。各种光源经比较后, LED 光源凭借其具有使用寿命长、发热少、效率高、成本

低、反应速度快、亮度稳定、无污染、有很好的耐潮性、抗震性和防爆性等优点, 有着广泛的应用前景。

目前, 光源的照射方式主要有背光照、前光照、分光反照 3 种方式。经实验比较, 采用背光照效果最佳。从原理上分析, 也可知对于半透明的玻璃体, 反射现象明显, 背光照可提高光的反射度, 通过弧形玻璃体后形成漫反射, 无形中减少了光斑的产生。同时也提高了液位处的对比度。光照示意图见图 2。

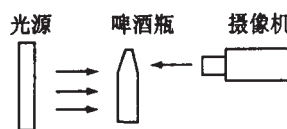


图2 背光照示意图

## 3 硬件设计

系统主要包括图像采集部分、图像处理部分及显示报警部分。其总体设计框图见图 3。

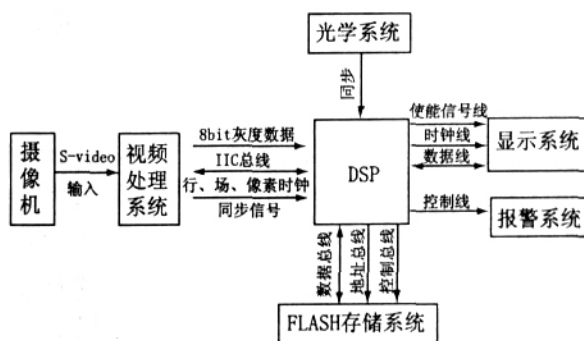


图3 总体设计框图

### 3.1 图像采集单元

模拟摄像机拍摄的图像是模拟信号, 而 DSP 只处理数字信号, 因此需另加一个模拟/数字转换器。本文选择一款将预处理、增益控制、抗混叠滤波、A/D 转换、同步电路、时钟发生器等模块集成于一身的视频解码芯片 SAA7113H<sup>[2]</sup>。这种集成的芯片不仅能简化硬件的设计, 同时转换成数字信号的速度及质量也很高。

对 SAA7113H 的控制主要包括对输入模拟信号的预处理、色度和亮度的控制、输出数据格式及输出图像同步信号的选择控制等。此设计主要针对灰度图像进行处理, 因此选择能够直接输出像素灰度值的 RAW 格式直接解码模拟信号的亮度信息。通过设置 12h 地址寄存器为 Oxa7, 可将 RTS0 设置为行同步信号, RTS1 设置为奇偶场同步信号, 即可选择隔行扫描方式, 20 m 采集, 20 ms 处理以达到实时性。其中, SAA7113H 的初始化是通过对串行数据线 SDA 和时钟线 SCL 进行 IIC 协议完成的, 另外时钟频率为 27 MHz, 像素时钟频率为 13.5 MHz。

标准 PAL 制式的摄像机采集的图像大小是一定的,而对于内部 RAM 并不大的 DSP 来说,如果完全采集整幅图像,存储空间是不够的,另外,由于待检测的目标图像只是一个啤酒瓶,显然采集整幅面的图像有些浪费。因此考虑开窗截取只采集有目标图像的位置。以往常用的开窗方法是硬件上采用 CPLD, 软件上配合 VHDL 语言进行编写。这种方法不仅增加了硬件资源,同时又复杂了软件的编写。分析 SAA7113H 的行、场信号及像素时钟信号的时序,配置内部关键寄存器后可直接用 C 语言编写开窗截取程序,从而减小 DSP 存储图像的数据量。

### 3.2 图像处理单元

流水线上的啤酒瓶传输速度较快(约 54000 瓶/h),这就对 DSP 处理器提出了特殊要求。实验采集大小为  $100 \times 100$  的图像占据空间 9.76 K, 存储背景图像、目标图像和运行中占用的一些数据空间,对比 TI 公司的几种主要型号 DSP, 综合考虑, TMS320VC5416<sup>[3]</sup> 有着内部 128 K  $\times$  16 位的 RAM, 160 MHz 的主频且价格低廉的优势,完全符合系统的设计要求。

由于传感器、解码器、DSP 三者在采集、处理控制时间上存在与生产线啤酒瓶行进速度匹配问题,动态采集时,拖尾现象是不可避免的。PAL 制式传感器采集图像时每帧采样 625 行,单场采集只采 312 行,用时 20 ms,即每采一行用 64 ns, 高速生产线上啤酒瓶与啤酒瓶之间几乎是紧挨着的。瓶底的直径为 5~7 cm, 以生产线 54000 瓶/h 来计算,生产线传送带速度平均约为 1 m/s, 因此单场采集的拖尾长度约 2 cm, 是瓶底直径的 30%, 这个数据是可以接受的。生产线是直线式传送,只是水平方向有拖尾现象产生。在啤酒瓶定位时有一定影响,定位可能在水平方向上多采集几个像素。而垂直方向不受影响,对液位检测影响不大。

### 3.3 显示报警单元

脱机运行,为了更直观地看到啤酒瓶内啤酒容量是否合格,用 LCD 液晶显示器显示出检测到的啤酒液面高度值作为参考。根据不同形状、不同规格的瓶子的液面高度值不同,针对性的分别定义其参考值,当检测到的液面高度与这个值进行比较,超过或小于都不符合标准,此时设备的报警系统可自动报警。

## 4 软件设计

当瓶子固定,瓶内所装液体体积的度量直观反映的就是液位的高度,所以对液位的检测实际上就是对瓶装液体体积的检测。软件流程图见图 4。

通过摄像机动态采集到的啤酒瓶图像如图 5 所示。

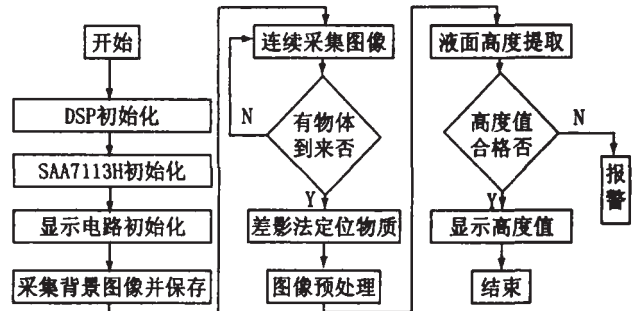


图4 软件流程图

从图 5 中可明显看到,由于反光瓶肩处的灰度值变化远远大于液面处灰度值变化,这给液面的检测带来影响。合格的液面高度必然在瓶肩以上,为避免误检,采集图像时只采集瓶肩以上部分,见图 6 所示。



图5 采集的啤酒瓶图像

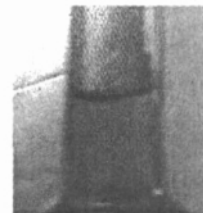


图6 实际处理时采集的图像

### 4.1 动态捕捉图像

对于动态图像的捕捉可从硬件及软件两种方法实现。其中硬件实现可通过光电传感器感受光的变化来判断物体的到来,从而产生触发信号触发 DSP 采集图像。但由于产生触发信号到 DSP 接受信号进行采集存在延时,可能导致捕捉图像错位或失败,对于实时性要求较高的场合并不适合。而用软件图像处理的方法则根据图像的灰度变化判断物体位置的方法有着明显的优势,既可节省硬件资源,又在精度上有所提高。

对于动态的物体,每一时刻采集到的图像的具体位置都是未知的,因此,根据直方图选择边界阈值确定物体位置不够精确。常见的动态目标捕捉的方法有差影法和帧差法两种。其中,帧差法适合背景变化的运动图像跟踪定位,差影法更适合背景单一,静止的运动图像分割定位。由于啤酒厂特定环境所致,检测背景简单,可选用差影法。为提高检测精度,在啤酒瓶检测处可加入白



色挡板,加强光照的漫反射,效果更佳。

差影法的定义如下:设连续两帧图像分别为  $f(x, y, t_i)$  和  $f(x, y, t_j)$ , 通过对比两帧图像的变化,找到目标图像。

$$d_{ij}(x, y) = \begin{cases} 1 & |f(x, y, t_i) - f(x, y, t_j)| > T \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

当  $d_{ij}(x, y) = 1$  时,认为有目标图像出现。

## 4.2 图像处理识别

图像处理识别部分主要包括滤波、定位、液面提取等几部分。具体步骤如下:

### 4.2.1 滤波

这里选用中值滤波。它最显著的特点就是在保留边缘信息的同时去除噪声。图像噪声来源主要是光照等引起的随机孤立点。另外,由于液位是在垂直方向上的灰度值变化,为了滤波时不干扰到液面的提取,只进行水平方向上的滤波,即选择  $1 \times 3$  中值滤波。选取整帧图像的宽作为滤波窗口。滤波后效果图见图 7 所示。

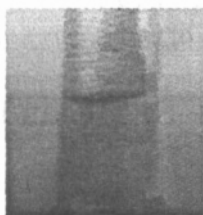


图 7 滤波后图像

### 4.2.2 图像定位

动态采集时,由于每次采集物体出现在整帧图像的位置是变化的,因此需对物体进行精确定位,以便缩小范围找到液面。定位的思想采用灰度值判断的方法,即在同一水平方向上,判断邻域的灰度值。设图像为  $f(x, y)$ ,  $i$  为行,  $j$  为列。即有:

$$t = \sum_{k=1}^n f(i, j+k) - \sum_{k=1}^n f(i, j-k)$$

当  $i$  固定时判断  $t$ ,  $t$  为最大时的  $j$  即为瓶子的左侧边界处;  $t$  为最小时  $j$  即为瓶子的右侧边界处。其中  $k$  是可调参数,范围可设在 3~5 之间。图 8 为  $i=80, n=4$  时定位后的图像。

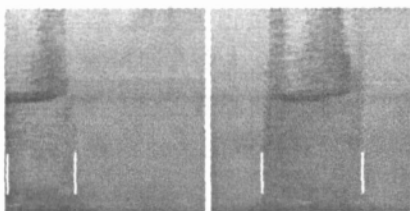


图 8 定位后图像

### 4.2.3 瓶内滤波

为了更精确地提取液面,在定位目标物体后再针对物体内部进行滤波,这次采用均值滤波,目的是消除少量光斑的影响。滤波窗口只选取物体最宽处的像素大小。效果见图 9 所示。

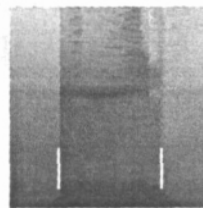


图 9 瓶内滤波后图像

### 4.2.4 液面提取

由于啤酒瓶的主视图是对称的,因此,底边的垂直平分线必然穿过啤酒的液面。由于运动中的啤酒瓶,因震动会有少量泡沫产生,在液位边缘提取中,不能精确地检测出液位的高度,为减轻这种影响,在液位边缘提取时,可选定瓶子的中心轴位置,沿列方向多行进行判断灰度值变化,即可提取出液面。另外,如果图像中啤酒瓶的瓶口存在的话一定会对液位的识别造成一定的干扰。当光源、啤酒瓶位置固定后可调节摄像机位置使采集的图像正好略过瓶口处,这样既可以降低检测的误差,同时提取到的液面高度即为液位到瓶口的高度,可作为啤酒瓶内啤酒容量的一种判断标准。液面提取图像见图 10。

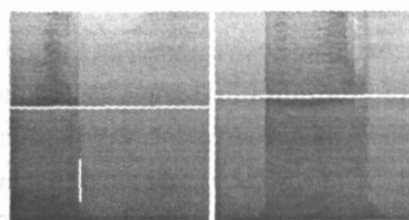


图 10 液面提取图像

## 5 结束

此系统设计时遵循了可靠性、经济性、发展性等原则,实现了其检测识别功能。通过 JTAG 接口下载程序,软件可重复编写,根据检测目标的特性,可自由编程。此设计针对啤酒瓶编写了一套检测算法。同样,对类似的半透明玻璃体检测如药瓶、饮料瓶等算法上稍作改动也同样适用。充分体现了整个设计的灵活性,具有一定的推广价值。

### 参考文献:

- [1] 刘焕军,王耀南,段峰.自动生产线上透明灌装瓶液体体积的机器视觉检测系统[J].计算机工程与应用,2004,(12): 229-231.
- [2] SAA7113H.pdf[EB/OL]. <http://www.omnivision.com>.
- [3] TMS320VC5416.pdf[EB/OL]. <http://www.ti.com>.