



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20160357

基于数字图像处理的非接触式液位测量方法

李纪扣, 司福东

(天津科技大学计算机科学与信息工程院, 天津 300222)

摘要: 根据激光定向投射原理, 使用有固定夹角的两激光发射器对待测液体进行投射并拍照, 利用激光光束与液面所形成的三角形底边边长与液面高度间的几何关系实现非接触式液位实时测量, 并在实验环境进行了实验验证, 最大绝对误差为 0.23 cm.

关键词: 激光; 非接触式; 测量; 液位高度

中图分类号: TP39

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2017)05-0064-04

Non-contact Measurement of Liquid Level Based on Digital Image Processing

LI Jikou, SI Fudong

(College of Computer Science and Information Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: According to the principle of laser directional projection, two laser transmitters with fixed angles were used to detect liquid projection, which was photographed with a camera. The relationship between the liquid level and the bottom side length of the triangle formed by the liquid surface and laser beam was used to realize non-contact measurement. A real time detecting system for non-contact liquid level is thus developed by using image processing techniques. Measurement experiments were carried out with this method and the results show that the absolute error is not more than 0.23 cm.

Key words: laser; non-contact; measurement; liquid level height

容器中液位的测量是生产和生活中非常常见的需求, 其中非接触、全自动的液位测量方法有着广泛的应用前景和市场需求. 常用的非接触测量方法有超声波、激光测量等, 然而超声波的传播速度受介质的密度、压力、温度、浓度等因素影响, 存在测量数据不稳定、精度易受环境干扰等问题, 激光测量则由于液面波动使测量结果出现不同程度的误差, 因此研究非接触式的快速液位测量技术有着重要的研究和实践意义.

已有较多基于机器视觉测量液位高度的研究, 例如 2002 年, 美国宾夕法尼亚大学的 Chakravarthy 等^[1]提出基于图像处理的密闭储罐液位测量方法, 在储蓄罐的顶端开一个小孔, 使自然光透过小孔投射在液面上, 采用摄像头拍摄自然光斑, 根据几何原理与数字图像处理算法测量液位. 2009 年, Zhu^[2]将摄像

头与容器以特定的方式进行安装, 利用摄像头采集液面图像, 伴随着液面高度的变化, 采集的图像中液面部分面积也以一定的几何函数关系变化, 由此关系得出液面的高度. 2012 年, 黄玲等^[3]提出一种带标杆的液位测量方法, 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. 2009 年, 吴颖^[4]在测量油罐中油的液位高度时使用标尺, 并对标尺周围液面提取图像, 使用嵌入式系统进行图像数据处理, 计算得出液位高度. 2015 年, 姚坤等^[5]进行瓶装液体液位测量, 当装满液体的瓶子在生产线上到达 LED 灯前的瞬间, LED 接收器控制相机对透明瓶装液体液位进行拍照, 通过分析图像测得液位高度, 达到实时测量的目的.

上述关于液位测量的研究表明, 运用图像处理技术测量液位是一种可行的非接触测量方法. 但是这

收稿日期: 2016-11-07; 修回日期: 2017-06-19

作者简介: 李纪扣 (1963—), 男, 天津人, 教授, lijikou@tust.edu.cn

种方法在使用中也有一定的局限性, 比如基于 OpenCV 的测量方法只能用于透明容器, 而借助于标尺则属于半接触式的测量方法. 本文根据液面两激光光斑间距与液位之间的几何关系, 采用图像处理技术实现了实时、快速的非接触液位测量.

1 系统的结构及原理

液位测量系统硬件包括激光发射器、图像采集设备等, 软件主要完成图像处理和计算功能. 系统的测量原理如图 1 所示, A 、 B 为两个固定夹角为 α 的激光光源, C 为 CMOS 摄像头, A' 、 B' 分别为 A 、 B 两光源的光束在液面处所形成的光斑, O 为光束 AA' 与 BB' 的交点, 两入射光线与液面形成一个三角形, 其中两光斑连线 $A'B'$ 的长度会随着液面高度的变化而变化. h 为液位高度, H 为 O 点到容器底部的高度, $H-h$ 为三角形的高. 使用摄像头对带有光斑的液面拍照, 通过图像测量 $A'B'$ 的长度, 即可得到三角形的高, 从而得到液位高度 h .

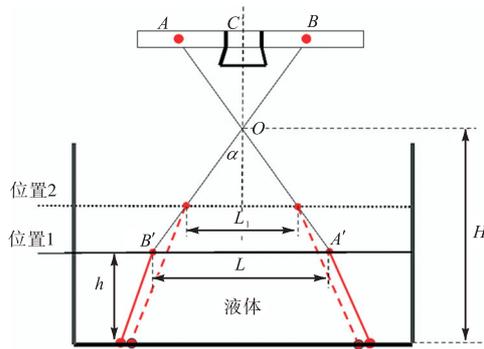


图 1 系统原理图
Fig. 1 Principle diagram of the system

2 图像的采集及处理

由摄像头 C 实时采集的激光光斑图像如图 2 所示. 图中 X 、 Y 为液面处的光斑图像 (简称光斑 X 、 Y), 较大的光斑 Z 是光束在容器的底部所形成的光斑, Z 与 X 之间的图像是激光光束在液体中所成的像. 由于被测液体的流体性质, 在采集的图像中存在光斑图像的不规则性扰动和干扰, 因此必须对图像进行识别处理. 由图 2 可知, 光斑图像主要集中在两个区域 S_1 、 S_2 , 其识别问题为从 S_1 、 S_2 中得到相对准确的光斑 X 、 Y , 图中其他孤立的光斑图像为干扰, 可通过图像处理去除.

2.1 图像预处理

为得到激光光斑图像的轮廓, 并减少计算量, 首先应进行阈值化处理. 采用二进制阈值化处理, 所有灰度大于或等于阈值的像素判定为属于特定物体 (B_1), 否则表示背景 (B_0)^[6-7].

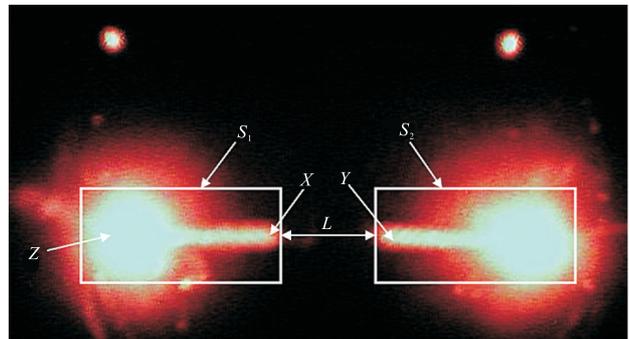


图 2 光斑图片
Fig. 2 Spot image

光斑周围存在“光晕”, 它是光斑与背景的过渡部分, 因此应找到合理的阈值将光斑与“光晕”和背景分割开, 较常用的是根据灰度直方图选取阈值. 因此, 先将图像转换为灰度图, 然后根据灰度直方图 (图 3) 得到分割阈值 T . 根据灰度直方图可以看出, 背景像素主要集中于 150 灰度级以下, 对比发现, 选取阈值为 180 时可以将光斑与背景和“光晕”相对较好地分割开, 如图 4 所示.

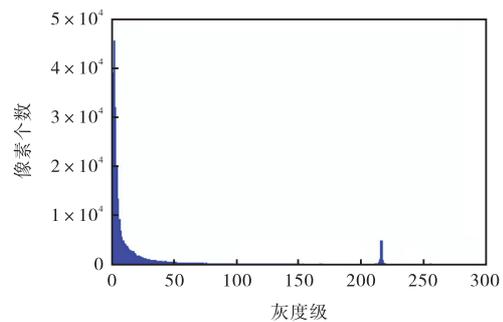


图 3 灰度直方图
Fig. 3 Gray histogram



图 4 阈值分割后的图像
Fig. 4 Image after threshold segmentation

2.2 边缘检测与轮廓提取

图 4 的二值图像存在轮廓间断和孤立干扰点的问题,不利于轮廓的提取. 因此,采用形态学闭运算来进行连通处理;同时,对图像进行形态学开运算^[6],去除孤立干扰点. 去干扰后的后的图像见图 5.

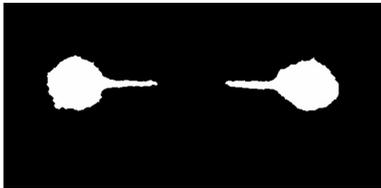


图 5 去干扰后的图像
Fig. 5 Image without interference

经过以上处理,虽然可以识别出位于区域 S_1 、 S_2 的内侧光斑 X 、 Y , 然而将其单独提取出仍较困难. 因此,计算光斑 X 、 Y 的内边界距离,采用此距离近似作为光斑 X 、 Y 的中心距离,以简化计算.

对区域作轮廓检索运算和边缘检测及提取^[6-7],进而计算内边界距离. 目前比较成熟的主要边缘检测算子有 canny 算子、sobel 算子、prewitt 算子、log 算子等. 采用上面的 4 种算子实验,实验结果如图 6 所示, canny 算子在轮廓平滑度方面的效果相对较好,因此选择 canny 算子进行边缘检测,并对得到的边缘进行坐标的标定.

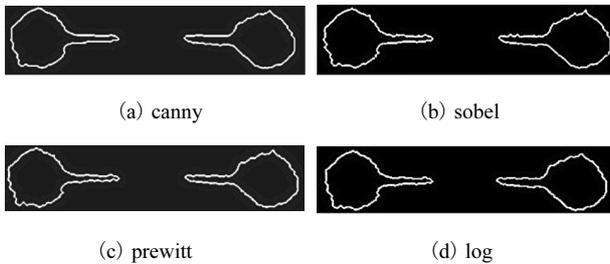


图 6 算子分析对比
Fig. 6 Comparison of operator analysis

设光斑 X 、 Y 两内边界点在直角坐标系下的坐标分别为 (u_1, v_1) 、 (u_2, v_2) , 则两点的距离为

$$L = \sqrt{(u_1 - u_2)^2 + (v_1 - v_2)^2}$$

为减小因液面波动引起的误差,对采样数据采用平均值滤波. 灌装液体的液面晃动具有周期性^[8-9],根据采集的图像数据分析发现,此实验中液面晃动周期约为 0.15 s,因此每 1.5 s 拍摄 10 张图像,根据 10 幅图像分别求得光斑距离 L ,然后求其平均值. 相应的采样程序采用 python 语言^[10-11]实现,其主要的采样程序代码如下:

```
from VideoCapture import Device
```

```
#引进摄像头设备
import time, string, os
interval = 0.15
# interval 为拍照周期
i = 0
while (i <= 10):
    #每 1.5 s 采集 10 张图片
    cam.saveSnapshot(str(loop) + '/' + \
        'image' + str(i) + '.jpg', timestamp = 3, \
        boldfont = 1)
    #采集并保存图像
    i + = 1
    time.sleep(interval)
    #等待
```

3 实验

根据实验装置实测得到 $H = 31.5$ cm, 容器直径为 20 cm. 向容器内注入一定量的水,采集图像,并记录当前的液位高度为初始液位高度,实验中的初始液位高度为 12 cm,液体高度每增加 1 cm,采集图像并记录其液位值,直至最高液位 22 cm. 最终得到 11 组液位高度值和对应光斑距离 L ,见表 1.

表 1 各液位高度对应的光斑距离
Tab. 1 Data set for liquid level and spot distance

液位高度 h /cm	光斑距离 L /像素
12	336.21
13	329.85
14	319.75
15	314.30
16	306.47
17	292.82
18	285.20
19	272.74
20	263.21
21	254.58
22	250.67

利用最小二乘法对数据进行拟合得到测量关系曲线. 分析表 1 中数据可知,数据分布的趋势基本为一条直线,因此用一次函数进行拟合,方程为

$$h = a + b \times L$$

其中: a 、 b 为系数; h 为实际液位; L 为光斑距离. 根据曲线拟合最小二乘法及残差平方和最小原则^[12-13]

可求 a 、 b , 由总误差 $Q = \sum_{i=1}^n [h_i - (a + b \times L_i)]^2$ 最小, 可得到方程组

$$\begin{cases} n \times a + b \times \sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n L_i \\ a \times \sum_{i=1}^n L_i + b \times \sum_{i=1}^n L_i^2 = \sum_{i=1}^n L_i \times h_i \end{cases}$$

根据表 1 可知 $n=11$, $\sum_{i=1}^n L_i = 3\,225.8$, $\sum_{i=1}^n h_i = 187$, $\sum_{i=1}^n L_i^2 = 955\,182.229$, $\sum_{i=1}^n L_i h_i = 53\,835.81$, 代入方程组后可得到拟合直线为

$$h = 48.958\,46 - 0.108\,978 \times L$$

随机采集 4 组数据进行方程验证, 结果见表 2. 最大绝对误差约为 0.23 cm, 此时的相对误差为 1.21%, 满足系统的测量要求, 说明此方法用于测量液位是可行的. 存在误差主要是由于液体波动、图像处理方法及计算液面光斑距离时的简化所带来的误差.

表 2 测试结果
Tab. 2 Test results

光斑距离/ 像素	液位测量 值/cm	实际液 位/cm	绝对误 差/cm	相对误 差/%
319.75	14.11	14.00	0.11	0.79
278.72	18.58	18.50	0.08	0.43
272.74	19.23	19.00	0.23	1.21
260.03	20.62	20.50	0.12	0.59

4 结 语

本文基于两点光源图像分析方法, 根据液面两激光光斑间距与液位之间的几何关系, 采用图像处理技术实现了非接触式液位高度测量. 针对液体波动所带来的误差, 进行了平均值滤波处理, 在快速、非接触测量的基础上有效地保证了测量结果的相对准确性, 实验的最大绝对误差为 0.23 cm.

本方法以智能家居产品中的自动饮水机为研究背景, 也可以用于其他容器的液位测量. 对需要更高精度的测量场合, 可将此方法扩展为多点区域面积方

法, 以得到更高的测量精度.

参考文献:

- [1] Chakravarthy S, Sharma R, Kasturi R. Noncontact level sensing technique using computer vision[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2002, 51(2): 353-361.
- [2] Zhu H. New algorithm of liquid level of infusion bottle based on image processing[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Information Engineering and Computer Science. Piscataway: IEEE, 2009: 1-4.
- [3] 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, 27(2): 57-60.
- [4] 吴颖. 基于视觉传感的嵌入式液位测量系统[D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [5] 姚坤, 葛广英, 肖海俊, 等. 基于 OpenCV 的透明瓶装无色液体液位实时检测[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(1): 34-36.
- [6] 张倩, 占军, 陈珊. 详解 Matlab 图像函数及其应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [7] Rafael C, Richard E. 数字图像处理[M]. 2 版. 阮秋琦, 阮宇智, 译. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [8] 李文刚, 金玉姬, 高锐. 水平地震激励下储罐液体晃动分析[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(2): 138-142.
- [9] 王敏. 基于 ARM 平台的液位检测算法研究与实现[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
- [10] Chun W J. Python 核心编程[M]. 2 版. 宋吉广, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [11] Solem J E. Python 计算机视觉编程[M]. 朱文涛, 袁勇, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2014.
- [12] 王能超. 计算方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2010.
- [13] 蔺小林, 王莉, 李莉. 计算方法[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2009.

责任编辑: 常涛