

基于 opencv 的单目视觉测量系统的研究

马晓东, 蒋明, 柯善浩, 曾晓雁, 胡乾午

(华中科技大学 武汉光电国家实验室, 武汉 430074)

摘要: 介绍一种基于机器视觉的测量工件宽度的新方法, 在开源计算机视觉库 OpenCV 的支持下, 设计并实现一种对工件宽度进行动态实时测量的系统; 为了降低其它光的影响, 在 CCD 镜头下面固定一块红光滤光片, 系统通过采集经红光线激光器投射的工件图像, 对图像进行二值化、截取感兴趣区域、轮廓提取等处理, 最后实现工件宽度的自动测量; 对不同尺寸的工件进行了自动测量实验, 实验结果表明, 采用的测量方法在实际工件测量中是可用的, 整个测量过程用时在 100 ms 左右, 最大相对误差不超过 1.5%。

关键词: OpenCV; 线结构光; 机器视觉; 轮廓检测

Research on Monocular Vision Measurement System Based on OpenCV

Ma Xiaodong, Jiang Ming, Ke Shanhao, Zeng Xiaoyan, Hu Qianwu

(Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A new method of measurement about the width of the workpiece based on the computer vision was introduced. Under the support of the open source computer vision library OpenCV, designing and implementing a dynamic real-time measurement system on the width of the workpiece. In order to reduce the effects of other light, a red filter was fixed under the CCD camera, by grabbing the photo of the workpiece with the structured light that the red line laser projected, the system takes measures to deal with the image binarization, the interception of region of interest, contour extraction and so on, and finally realizes the automatic measurement. In the automatic measurement experiment on the different size of workpieces, the experimental results show that the method used in this paper is available in the actual workpiece measurement, the entire measurement process takes about 100 milliseconds, the maximum relative error does not exceed 1.5%.

Keywords: OpenCV; line structured light; computer vision; contour detection

0 引言

在工业生产中, 视觉测量已经成为一种广泛应用的非接触测量方法。跟传统测量方法相比, 非接触测量主要有检测精度高、测量方便、生产效率高等优点, 适用于传统测量方法难以直接测量的情况。视觉测量主要应用于包括汽车、电子与电气、机械制造、制药、包装^[1-2]和医学等领域的质量检查及三维数字化、位置^[3]/角度测量、特性/字符识别^[4]等, 视觉测量不仅可以应用在工件的在线实时检测^[5]上面, 还为智能化加工提供了前提条件。在激光加工领域, 激光焊接是激光材料加工技术应用的重要方面之一, 将视觉测量应用于激光焊接、激光飞行加工^[6]等加工过程控制以实现焊缝跟踪及加工长度的自适应调节控制。本文提出一种基于 OpenCV 的单目结构光视觉测量方法以及设计并完成一个在线实时测量工件宽度的视觉测量系统。通过对两种不同尺寸工件的在线测量, 验证本论文所采用算法的实际可行性, 在满足激光加工的要求下高效地实现工件宽度测量。

1 OpenCV 软件开发平台介绍

OpenCV 全称是 Open Source Computer Vision Library, 于 1999 年由 Intel 公司开发^[7], 2015 年 4 月 24 日发布最新版本 3.0RC1, 它是一个基于开源发行的跨平台计算机视觉库, 可

收稿日期: 2015-06-03; 修回日期: 2015-07-10。

作者简介: 马晓东(1989-), 男, 安徽亳州人, 硕士研究生, 主要从事激光先进制造及机器视觉方向的研究。

通讯作者: 蒋明(1976-), 男, 博士, 讲师, 主要从事激光 2D、3D 加工控制系统方向的研究。

以运行在 Linux、Windows 和 Mac OS 操作系统上。它轻量级而且高效, 由一系列 C 函数和少量 C++ 类构成, 同时提供 Python、Ruby、MATLAB 等语言的接口, 实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法。

OpenCV 拥有包括 500 多个 C 函数的跨平台的中、高层 API, 其中 OpenCV 主体包括 5 个模块, CV 模块包含基本的图像处理函数和高级的计算机视觉算法。本视觉测量系统对图像进行处理的函数主要来源于 CV 模块, 比如图像二值化处理函数 cvThreshold, 轮廓提取函数 cvFindContours 等。ML 模块是机器学习库, 包含一些基于统计的分类和聚类工具。HighGUI 模块包含图像和视频输入/输出的函数。CXCORE 模块包含 OpenCV 的一些基本数据结构和相关函数。CVAUX 模块包含辅助性的 OpenCV 函数。OpenCV 致力于真实世界的实时应用, 基于 OpenCV 的应用开发层出不穷, 比如人脸识别、图像分割、运动跟踪等。通过优化的 C 代码的编写对 OpenCV 与其它视觉函数库执行速度的性能对比带来可观的提升, 提高开发人员的工作效率。

2 单目视觉测量系统硬件结构

计算机视觉测量系统是集光学、光电子学、精密机械和计算机技术于一体的综合系统。本测量系统由 CCD 图像采集系统、线结构光照明系统以及计算机和相应的图像处理软件组成。图像采集系统使用的相机是维视 MV-EM200M 千兆网工业相机, 分辨率是 1600x1200, 帧率是 20。CCD 和工件垂直方向的距离不同, 相机幅面的大小就不同, 距离越近, 相机幅面就越小。线结构光照明系统使用富喆公司制造的 650nm 红光一字线激光器, 计算机图像处理软件的开发是基于 Win-

dows xp 系统, 开发工具是 visual studio 2010, 使用 MFC 框架对界面进行设计。

系统的硬件组成图如图 1 所示, 图中的 H 代表工件上表面跟 CCD 镜头的竖直距离, L 代表 CCD 幅面的长度, W 代表 CCD 幅面的宽度。该测量系统的工作过程为: 首先让红光一字线激光器投射的光的方向跟工件宽度所在的方向平行, 根据光的直线传播原理, 工件上面有一条笔直的亮线, CCD 的镜头前方固定一块滤光片, 目的是只允许 650nm 附近波长的光透过, 图像处理软件部分负责利用 OpenCV 的一些图像处理函数对实时采集的图像进行处理, 计算出工件的像素宽度, 再跟像素当量进行相乘, 最终算出工件的视觉测量宽度。

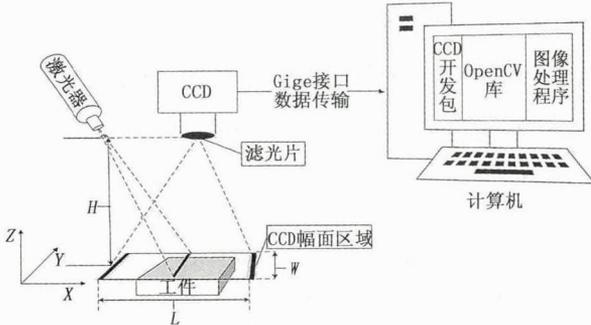


图 1 单目视觉测量系统结构图

3 基于 OpenCV 的视觉测量软件设计

本视觉测量系统的软件设计是整个系统的关键所在, 软件部分负责图像的采集以及相关的预处理, 利用 CCD 厂家提供的开发包对 CCD 进行二次开发采集实时的图像, 维视公司自定义一种图像数据类型 MVImage, 再利用 memcpy 函数将 MVImage 类型转换为 OpenCV 库函数常用的数据类型 Iplimage, 接下来利用 OpenCV 库中相关的图像处理函数对采集到的图像进行预处理。整个视觉测量系统的设计流程图如图 2 所示。

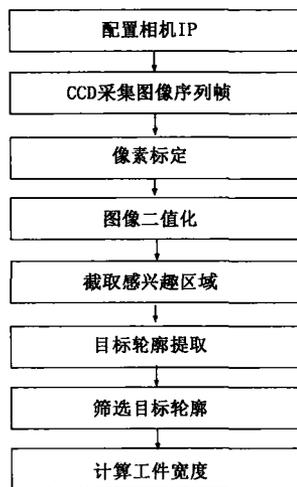


图 2 视觉测量系统处理流程图

3.1 Gige 工业相机配置

本视觉测量系统使用维视 MV-E200M Gige 工业相机进行图像采集, CCD 和计算机之间通过网口进行数据传输, 需

要对 CCD 和计算机进行 IP 地址的配置, 让 CCD 和计算机处于同一网段内。配置完 IP 地址之后再对相机进行初始化处理。程序界面使用 picture control 控件来实时显示采集到的图像, 程序界面上还设计了调节曝光时间和增益的进度条按钮, 通过移动曝光时间进度条来调节进入相机的进光亮, 曝光时间越长, 进的光就越多, 同理, 移动增益进度条来调节相机的感光度, 增益越大, 感光速度就越快。合理的调节曝光和增益会降低工件宽度的检测难度。CCD 采集图像的过程流程图如图 3 所示。

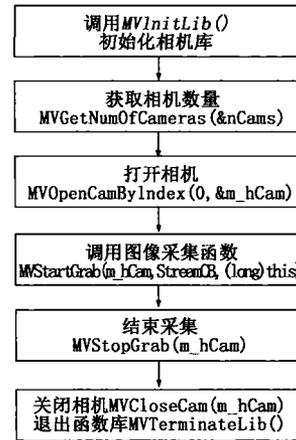
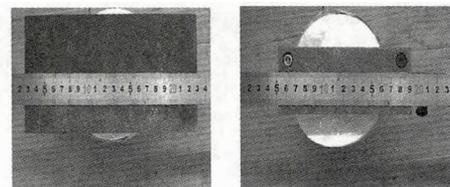


图 3 CCD 图像采集流程图

3.2 像素标定

在进行图像处理前, 需要对 CCD 进行标定, 标定的过程就是把图像中的像素单位转换成实际的长度单位, 像素当量在转换过程中起到一个桥梁作用, 它是指 1 个像素代表多少实际长度。本文采用的方法是在跟工件同样高度的位置水平放置一把尺子, 然后采集一张带有尺子的图片, 在尺子 10 cm 长度范围内观察尺子在图像中所表示的像素个数 n , 像素当量 $k = 100/n$, 单位是 mm/pixel。图 4 中的 (a) 和 (b) 是实验中两种不同尺寸工件进行像素标定使用的图像。



(a) 大工件标定图像 (b) 小工件标定图像

图 4 两种不同尺寸工件的标定

由于两种工件的厚度不同进而离 CCD 镜头的距离不相等, 因此两种工件的像素当量也不相等。为了实验结果的精确性, 本文对两种不同尺寸工件分别通过 8 组数据取平均值算出各自的像素当量, 表 1 是两种不同尺寸工件 8 组实验数据及平均值, 表 2 是两种不同尺寸工件的实验参数。

表 1 两种不同尺寸工件 8 组实验数据及平均值

工件序号	8 组 10cm 长度范围包含的像素数 (pixel)								平均值 (pixel)
	1	681	676	678	680	675	678	682	
2	705	707	709	713	712	710	707	704	708.375

表 2 两种不同尺寸工件的实验参数

工件序号	工件离 CCD 的距离 H /mm	像素当量 k /mm/pixel	CCD 幅面大小 $L * W$ /mm	尺子测得 CCD 幅面大小 $L * W$ /mm
1	382	0.147	235.2 * 176.4	237 * 176.2
2	366	0.141	225.6 * 169.2	227.5 * 170

3.3 图像二值化

CCD 采集到的图像是灰色图像, 灰色图像不利于轮廓提取, 因此对图像进行二值化处理, 使用 OpenCV 库中的二值化函数 `cvThreshold (const CvArr * src, CvArr * dst, double threshold, double max_value, int threshold_type)`。

此函数第一个参数 `src` 代表原图的数据, 第二个参数 `dst` 代表原图经过二值化之后存储的图像数据, 参数 `threshold` 代表二值化阈值, 阈值范围是 0—255。参数 `max_value` 是使用阈值类型 `threshold_type` 的最大值, 当 `threshold_type = CV_THRESH_BINARY` 时, 表示当图像中某个像素点的灰度值大于 `threshold` 时, 将该点的灰度值改为 `max_value`, 否则改为 0。当 `threshold_type = CV_THRESH_BINARY_INV` 时, 表示当图像中某个像素点的灰度值小于 `threshold` 时, 将该点的灰度值改为 `max_value`, 否则改为 0。参数 `threshold` 值不同, 二值化的结果就不一样, 通过程序界面上的编辑框控件手动设置二值化阈值, 观察阈值的变化对图像二值化所产生的效果, 选择一个能分离线结构光和图像背景的阈值。

3.4 设置图像的感兴趣区域 ROI

CCD 采集视场幅面通常超过需要检测的工件大小, 为了降低图像边缘检测的复杂性以及节约图像处理的时间, 需要对二值化后的图像设置感兴趣区 ROI, 以便屏蔽掉可能对检测造成影响的区域干扰。使用 OpenCV 库中的函数 `cvSetImageROI (IplImage * image, CvRect rect)` 设置感兴趣区域, 感兴趣区域使用矩形来表示, 此函数的 `image` 参数是二值化之后的图像数据, `rect` 参数代表的是矩形区域的左上顶点和右下顶点的坐标。程序界面上设计了 4 个编辑框用来手动修改矩形的两个顶点的坐标。

3.5 图像的轮廓提取及筛选目标轮廓

图像经过二值化处理以及设置感兴趣区域之后, 图像上每一个像素点的灰度值要么是 `max_value`, 要么是 0, 整个图像由黑白像素点组成, 接下来对感兴趣区域内的二值化图像进行轮廓提取, 调用库函数 `cvFindContours`。

此函数的作用是从二值图像中检索轮廓, 并返回检测到的轮廓个数。一个轮廓一般对应一系列的点, 也就是图像中的一条曲线, 有多重方法可以表示曲线, 表示的方法可能根据不同情况而有所不同。在 openCV 中一般用序列来存储轮廓信息。序列中的每一个元素是曲线中一个点的位置。

观察轮廓提取之后的图像, 图像中存在不止一个轮廓区域, 不能直接判断哪个是红光所在的目标轮廓, 此时使用函数 `cvBoundingRect (CvArr * points, int update CV_DEFAULT)` (0) 计算点集的最外面 (up-right) 矩形边界, 此函数将矩形边界的 4 个顶点坐标存在 `points` 数组中。通过比较矩形的高度来对红光所在的轮廓进行选择。读取 `points` 数组中的顶点坐标计算出红光在图像中的长度, 这个长度只是工件的像素宽度, 再跟像素标定步骤中算出的像素当量进行相乘就得出使用本系统测量的工件宽度。

4 视觉测量实验结果及性能分析

4.1 视觉测量的实验过程

本文提出了一种新的工件宽度测量方法, 通过线结构光和滤光片的配合使用, 在 OpenCV 开源视觉库的支持下, 利用 OpenCV 库中与图像处理相关的函数, 最终完成工件宽度的在线实时测量。为了验证本文的视觉测量系统的实际可用性, 选取两种不同尺寸的钢板作为实验对象。

当通过 CCD 采集到工件的图像之后, 首先对采集到的图像进行二值化处理, 处理的结果如图 5 (a) 所示。为了减少其他区域的干扰, 对进行过二值化处理的图像设置感兴趣区域 ROI, 工件的感兴趣区域如图 5 (b) 所示。再利用轮廓提取算法从感兴趣区域内提取出目标轮廓, 为了更好的呈现矩形包围盒在图像中的位置, 本文通过用红色的线来代表矩形边界框, 如图 5 (c) 所示。矩形框的高度就代表工件的像素宽度, 再乘以像素当量就是工件的测量宽度。

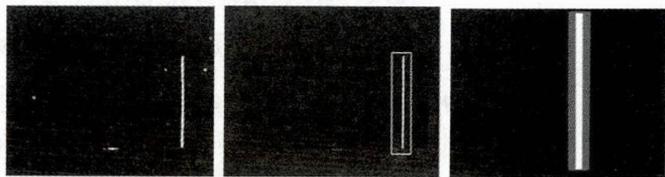


图 5 测量工件的实验过程

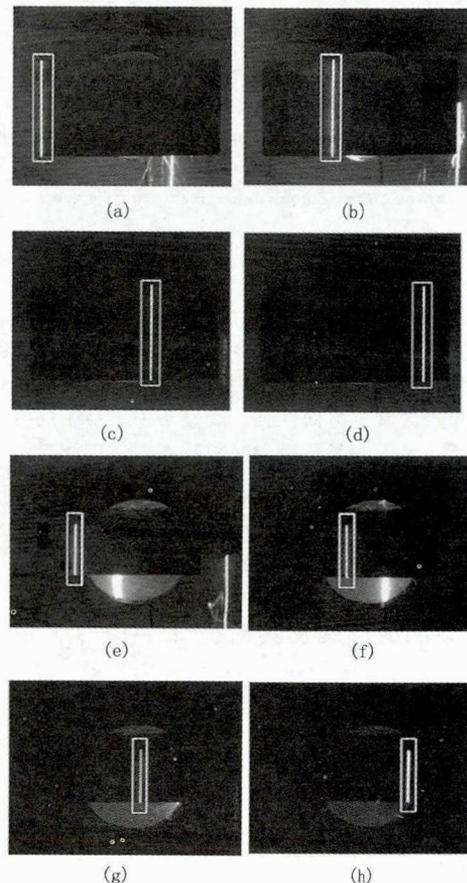


图 6 两种工件不同位置测量图

(下转第 3949 页)

sonic, 2010, 50: 340-346.

[2] 李戈, 孟祥杰, 王晓华, 等. 国内超声波测距研究应用现状 [J]. 测绘科学, 2011, 36 (4): 60-62.

[3] 赵海鸣, 卜英勇, 王纪婵, 等. 一种高精度超声波测距方法的研究 [J]. 湖南科技大学学报, 2006, 21 (3): 35-38.

[4] 张兴红, 向风云, 张天恒, 等. 超声波传输时间精密测量方法及应用研究 [J]. 中国机械工程, 2012, 23 (6): 651-654.

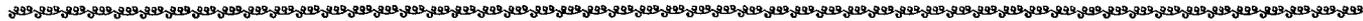
[5] 杨旭, 刘小方, 张泽奇, 等. 基于单片机的超声波测距系统设计 [J]. 机床与液压, 2011, 39 (8): 106-108, 124.

[6] 胡凤忠, 赵广复. 基于 AT89C2051 单片机的汽车倒车雷达设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (5): 1174-1175, 1192.

[7] 张攀峰, 王玉萍, 张健, 等. 带有温度补偿的超声波测距仪的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (6): 1717-1719, 1732.

[8] 苑洁, 常太华. 基于 STM32 单片机的高精度超声波测距系统的设计 [J]. 电子设计工程, 2011, 19 (15): 76-78, 82.

[9] 塞尔吉欧·弗朗哥. 基于运算放大器和模拟集成电路的电路设计 [M]. 刘树棠, 朱茂林, 荣玫, 译. 西安: 西安交通大学出版社, 2004.



(上接第 3945 页)

4.2 视觉测量的实验结果及性能分析

为了验证测量系统的精确性, 本实验分别对两种不同尺寸工件的 4 个不同位置进行测量, 工件 1 (大工件) 的测量位置图如图 6 (a) - 6 (d) 所示。工件 2 (小工件) 的测量位置图如图 6 (e) - 6 (h) 所示。

用游标卡尺分别对工件 1 和工件 2 的 4 个不同位置进行测量, 在实验中记录两种不同尺寸工件的 4 个不同位置卡尺的测量宽度和视觉测量宽度, 表 1 和表 2 分别代表工件 1 和工件 2 的实验数据, 从表中可看出, 工件 1 的最小相对误差为 -0.05%, 最大相对误差为 -0.58%, 工件 2 的最小相对误差为 0.32%, 工件 2 的最大相对误差为 1.47%。综合大小工件的测量结果, 测量误差在 1 mm 以内, 相对误差在 ±1.5% 以内, 基本符合工业生产的要求。通过对图像检测和处理的過程进行计时, 整个测量过程时间在 100 ms 以内, 体现出视觉测量高效率的特点。

表 1 工件 1 的测量结果

测量位置	视觉测量 /mm	卡尺测量 /mm	误差/mm	相对误差 /%
1	92.61	93.10	-0.49	-0.53
2	93.49	93.54	-0.05	-0.05
3	93.64	93.50	0.14	0.15
4	93.20	93.74	-0.54	-0.58

表 2 工件 2 的测量结果

测量位置	视觉测量 /mm	卡尺测量 /mm	误差/mm	相对误差 /%
1	50.76	50.46	0.30	0.60
2	50.76	50.60	0.16	0.32
3	50.76	50.16	0.60	1.20
4	51.04	50.30	0.74	1.47

通过分析发现测量的误差主要有测量仪器操作误差、标定过程的误差以及实验装置摆放的位置引起的误差。游标卡尺的精度是 0.02 mm, 使用游标卡尺进行工件宽度测量时, 卡尺不能很好地固定住工件, 致使读取的数据存在误差。当进行标定时, 是通过观察图像中 10 cm 所代表的像素个数, 这个过程也会存在误差, 误差在 1 个像素左右, 再加上尺子所在的方向不能保证跟 CCD 幅面的一边完全平行, 因此就不能保证 10 cm

长度范围内得到真实的像素个数。实验装置的误差就是线激光所在的方向要跟工件宽度所在的方向平行, 以及 CCD 拍摄图像时工件在 CCD 中也要平行放置, 如果位置没有满足这些要求就可能检测到倾斜的光, 通过轮廓提取之后, 用矩形包围盒包围轮廓时, 此时矩形的高就不能代表工件的像素宽度。

本视觉测量系统由于是采用线结构光对工件进行照射, 当外界的光线太强也会对最后测量的结果产生影响, 在强光照的情况下, 线结构光和背景光难以分开, 此时的检测结果不准确, 可以考虑让测量装置避免直接暴露在强光照下面, 这样就避免了强光照造成的影响。

5 结语

本文基于 OpenCV 平台采用 Gige 接口 Microvision CCD 开发实现了单目结构光视觉测量系统, 在经过多次的工件测量实验之后, 该测量系统的最大误差在 1 mm 以内, 最大相对误差不超过 1.5%, 尽管测量精度低于游标卡尺和千分尺等的测量精度, 但是对于精度要求不是特别高的工业应用来说还是实用的, 由于该系统图像处理部分利用的是 OpenCV 库里面的优化函数, 因此系统的实时性比较强, 采集一张图像并进行处理最后得到测量结果的时间在 100 ms 以内, 满足了激光加工的生产要求。通过对实验结果的分析, 本文的测量原理、图像处理算法是实际可用的。本系统的开发对视觉测量的广泛应用有着重要的研究价值以及实际意义。

参考文献:

[1] 周传宏, 王怀虎, 康少博. OpenCV 在装箱缺条视觉检测系统中的应用 [J]. 制造业自动化, 2011 (17): 85-87.

[2] 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.

[3] 谭同德, 王三刚. 基于 OpenCV 的车牌定位方法 [J]. 计算机工程与设计, 2013, 34 (8): 2816-2820.

[4] 李朝晖, 郝建军, 杨新桦. 视觉检测技术在曲轴锻件尺寸检测中的应用 [J]. 中国测试, 2009, 35 (6): 9-13.

[5] 黄凯, 余学才, 唐飞, 等. 基于 OpenCV 的六角钢坯尺寸测量研究 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (5): 1137-1139.

[6] 蒋明. 激光飞行标刻系统及激光加工机器人控制与仿真研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.

[7] Gary Bradski, Adrian Kaebler. 学习 OpenCV (中文版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 100-380.