

色差对机器视觉尺寸测量精度的影响研究

李旭, 王俊元, 曾志强, 张川川, 林娣
(中北大学, 太原 030051)

摘要: **目的** 机器视觉尺寸测量系统照明光源为复色光时, 色差会使图像边缘轮廓变得模糊, 主要研究色差对尺寸测量精度的影响。 **方法** 以搭建的机器视觉尺寸测量系统为平台, 分别采用白色(复色光)、红色、绿色、蓝色的LED背光源作为照明光源, 采集标准圆柱体图像, 经软件系统处理后获得测量结果。 **结果** 当照明光源为复色光时, 重复性测量误差和线性度误差分别在 $1\ \mu\text{m}$ 和 $2\ \mu\text{m}$ 以内; 当采用单色光作为光源时, 重复性测量误差和线性度误差分别控制在 $0.5\ \mu\text{m}$ 和 $1\ \mu\text{m}$ 以内。 **结论** 色差对机器视觉尺寸测量的重复性和线性精度都有影响, 可以采用单色光来避免色差, 从而进一步提高测量精度。

关键词: 机器视觉; 尺寸测量; 色差; 测量精度

中图分类号: TB486+.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)19-0093-04

Influence of Chromatic Aberration on the Size Measurement Accuracy of Vision

LI Xu, WANG Jun-yuan, ZENG Zhi-qiang, ZHANG Chuan-chuan, LIN Di
(North University of China, Taiyuan 030051, China)

ABSTRACT: Chromatic aberration would make edge contours of the image become fuzzy when the light source of the size measurement system based on machine vision is chromatic. This paper mainly studied the influence of chromatic aberration on accuracy of size measurement. To acquire images and dimension measurement results of the standard cylinder, a machine vision measurement system was built as a platform and white (chromatic), red, green, blue LED light sources were respectively used with treatment by software. When the light source was chromatic, the repeatability error and the linearity error of measurement were within $1\ \mu\text{m}$ and $2\ \mu\text{m}$; when using monochromatic light as the light source, the repeatability error and the linearity error of measurement were controlled within $0.5\ \mu\text{m}$ and $1\ \mu\text{m}$. The experiment showed that chromatic aberration influenced the repeatability and the linearity accuracy of measurement of machine vision and the monochromatic light can be used to avoid chromatic aberration and to further improve the measurement accuracy.

KEY WORDS: machine vision; size measurement; chromatic aberration; measurement accuracy

随着现代制造业的发展和检测要求的不断提高, 机器视觉越来越多地应用于零件尺寸测量领域, 并凭借其精度高、速度快、实时在线的优势, 大大提高了检测的精度和效率, 也很好适应了自动化检测的需求^[1-4]。机器视觉作为一门新兴技术, 涉及到了光电、机械、图像处理、计算机等相关学科, 机器视觉

技术的进一步发展, 必然离不开对各学科交叉领域的融会贯通和深入研究^[5-6]。

光源作为机器视觉中图像采集的一个重要因素, 直接影响到图像质量的优劣, 而光源的光谱又是照明技术中一个重要方面^[7-9]。理论上来说, 白色光(复色光)的照射效果没有单色光的照射效果好, 这是因为

收稿日期: 2014-09-24

基金项目: 山西省自然科学基金(2013011025-1); 山西省研究生优秀创新项目(20133095)

作者简介: 李旭(1986—), 男, 山西大同人, 中北大学硕士生, 主攻机器视觉尺寸测量技术。

通讯作者: 王俊元(1968—), 男, 山西繁峙人, 中北大学教授, 主要研究方向为机器视觉、图像测量技术。

白色光经过光学镜头后,由于各单色光的折射率不同,会导致色散,使所呈图像的边缘带有色斑或晕环,使图像模糊不清,这就是所谓的色差^[10]。显而易见,色差会影响到后续图像处理和尺寸测量的精度。文中在实验室条件下,利用已搭建的机器视觉尺寸测量系统,通过测量一些标准件来定量研究色差对机器视觉尺寸测量精度的影响。

1 色差原理分析

色差又称色像差,是透镜成像的一个严重缺陷,发生在以复色光为光源的情况下,由于各单色光的波长不同,经过透镜后的折射率就各异,导致透镜对各种色光的焦距也不同,单色光不产生色差^[11]。如图1所示,平行白色光(复色光)入射时,因色散各色光不会聚焦于一点上,红色的折射光束聚焦于C点,对应的成像平面为II,蓝色的折射光束聚焦于A点,对应的成像平面为I。如果成像平面在II的位置,则图像的中心是红色,往外是彩色,最外围呈蓝色;如果成像平面在I位置,则图像的中心是蓝紫色,往外是彩色,最外围呈红色;当成像平面在I和II之间移动时,图像的色彩会逐渐变化。在复色光作为照明光源的情况下,图像的边缘轮廓呈晕环状,模糊不清,这就是所谓的色差。有时候这种现象用肉眼难以观测到,但它是实际存在的,尤其在精确的视觉尺寸测量领域,色差对尺寸测量精度的影响是不容忽视的。

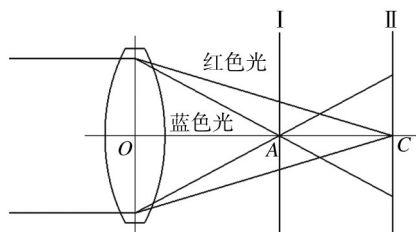


图1 色差原理

Fig.1 Principle of chromatic aberration

2 机器视觉尺寸测量系统及实验方案

在实验室条件下,利用已搭建好的机器视觉尺寸测量系统,通过测量一些标准圆柱体的直径,来定量研究色差对机器视觉尺寸测量精度的影响。

2.1 机器视觉尺寸测量系统

机器视觉尺寸测量系统由硬件系统和软件系统组成,硬件系统主要功能是实现图像的采集,软件系统用

来完成图像的处理与分析。系统的图像采集部分见图2,由CMOS相机、光学镜头组、工作台、LED背光源、光源控制器以及其他相应的机械结构组成。该系统选用 640×480 (30万像素)的CMOS摄像头,并且在摄像头前配备一组光学镜头,以提高图像的分辨率;背光源选用日本CCS公司生产的LED背光源,光源强度可实现连续调整。软件系统采用专业机器视觉处理软件Halcon,在HDevelop环境下编写程序,实现相机的调用,图像的采集、处理以及测量结果的显示。

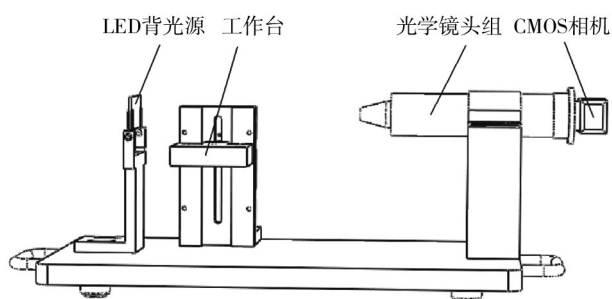


图2 图像采集装置模型

Fig.2 Model of image acquisition device

2.2 实验方案

为了定量研究色差对机器视觉尺寸测量精度的影响,晚上室内,没有外部环境光源干扰的情况下,分别采用白色光(复色光)和单色光照射,对标准件进行测量,完成色差对尺寸测量精度影响的分析。照明方式采取背景式照明,分别采用红、绿、蓝(单色光)3种LED光源来获得单色光;标准件采用钢制圆柱体,表面研磨光滑,测量其直径。具体实验步骤:测量件为直径3 mm标准圆柱体,分别利用白色、红色、绿色、蓝色的LED光源对标准件边缘进行照明,连续进行多次重复测量,用来分析重复性测量精度;测量件直径依次为2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 mm的10种线性尺寸的标准圆柱体,分别利用白色、红色、绿色、蓝色的LED光源对这一系列标准件进行照明,获得测量结果,用来分析线性测量精度。

2.3 图像处理与结果显示

图3a为所采集标准圆柱体的图像,图像处理流程为:灰度转换→亚像素边缘提取→边缘选择与联合→直线拟合→直径测量。在不需要图像彩色信息的情况下,灰度转换可以节省存储时间和空间,提高处理效率^[12]。亚像素边缘提取算法采用Canny检测算子,该算子具有优良的边缘检测性能,其本身已经包含了滤波、对梯度进行“非极大值抑制”等内容^[13-15]。边缘

的选择与联合是为了去掉边缘提取后的一些杂碎线段,并且将相邻一定距离范围内的线段连接起来,从而形成圆柱体完整的2条边缘轮廓,见图3b。对2条边缘轮廓分别进行直线拟合后,便可得到圆柱体的2条直边。由于整个图像采集与处理过程所产生的误差,2条直线并不会达到平行的效果,最后直径的测量是在2条直线上分别选取采样点,通过计算点到直线的距离,再取均值后得到直径的像素值。

图像处理采用专业机器视觉软件 Halcon, 在 HDevelop 环境下编写程序,包括摄像头的调用,图像的采集、处理以及测量结果的显示整个过程,最终测量结果(像素值)显示在 HDevelop 中图像窗口的左上角,见图3c。

3 实验结果与分析

3.1 重复测量结果分析

在测量过程中,对白色、红色、绿色、蓝色 LED 光源照度的选择,均经过反复试验,使图像达到较好的

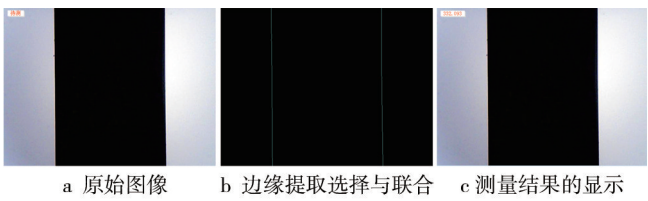


图3 图像处理流程
Fig.3 Process of image processing

对比度和较高的信噪比。在不同光源照射条件下,3 mm标准圆柱体直径的重复测量结果(像素值)见表1。

由表1数据可知,照明光源为白色光时,标定的像素当量为9.034 $\mu\text{m}/\text{pixel}$,最大像素差为0.089,则重复性测量误差为0.804 μm ($<1 \mu\text{m}$);照明光源为红色光时,标定的像素当量为9.041 $\mu\text{m}/\text{pixel}$,最大像素差为0.048,重复性测量误差为0.434 μm ($<0.5 \mu\text{m}$);照明光源为绿色光时,标定的像素当量为9.033 $\mu\text{m}/\text{pixel}$,最大像素差为0.044,重复性测量误差为0.397 μm ($<0.5 \mu\text{m}$);照明光源为蓝色光时,标定的像素当量为9.031 $\mu\text{m}/\text{pixel}$,最大像素差为0.041,重复性测量误差为0.370 μm ($<0.5 \mu\text{m}$)。

表1 3 mm标准圆柱体的重复测量结果
Tab.1 Repeated measurement results of 3 mm standard cylinder pixel

光源 颜色	测量次数										平均	最大
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	像素值	像素差
白色	332.022	332.099	332.069	332.097	332.080	332.072	332.111	332.087	332.058	332.046	332.074	0.089
红色	331.809	331.846	331.824	331.820	331.798	331.823	331.800	331.818	331.825	331.808	331.817	0.048
绿色	332.118	332.125	332.107	332.137	332.149	332.134	332.113	332.144	332.112	332.105	332.124	0.044
蓝色	332.197	332.217	332.209	332.200	332.203	332.210	332.176	332.213	332.180	332.180	332.198	0.041

由以上分析可以看出,照明光源为复色光时,重复性测量误差在1 μm 以内;照明光源为单色光时,重复测量误差在0.5 μm 以内。由于色差的影响,单色光的重复性测量精度要优于复色光。

3.2 线性测量结果分析

在以上的重复性测量实验中,对不同光源情况下

的像素当量已经进行了标定。为了进一步研究色差对于线性测量精度的影响,分别对3 mm附近具有线性度的10种尺寸的圆柱体进行测量,具体测量情况(实际值)见表2。

由表2可知,照明光源为白色光时,测量结果的线性度误差为1.879 μm ($<2 \mu\text{m}$);照明光源分别为红色、绿色、蓝色光时,线性度误差分别为0.948,0.886,

表2 10种标准圆柱体的尺寸测量结果
Tab.2 Measurement results of ten kinds of standard cylinder μm

光源 颜色	各标准圆柱体直径										最大
	2500	2600	2700	2800	2900	3100	3200	3300	3400	3500	误差
白色	2498.988	2599.422	2700.470	2801.337	2899.928	3100.217	3200.831	3299.819	3400.903	3498.121	1.879
红色	2499.116	2600.289	2700.036	2799.385	2900.217	3099.313	3200.108	3300.253	3400.948	3499.711	0.948
绿色	2499.350	2599.464	2700.542	2799.205	2900.433	3100.181	3200.072	3300.397	3400.886	3499.964	0.886
蓝色	2499.314	2599.567	2700.723	2799.603	2900.361	3100.903	3200.469	3299.747	3400.036	3499.784	0.903

0.903 μm ,均小于1 μm 。由以上分析可以看出,照明光源为复色光时,线性度误差在2 μm 以内;照明光源为单色光时,线性度误差在1 μm 以内。由于色差的影响,单色光的线性测量精度要优于复色光。

3.3 小结

色差对尺寸测量的重复性和线性精度都有影响,当照明光源为复色光时,重复性和线性测量误差分别在1 μm 和2 μm 以内;当采用单色光作为光源时,重复性和线性测量误差分别在0.5 μm 和1 μm 以内,较大程度地提高了尺寸测量精度。

4 结语

机器视觉尺寸测量系统的照明光源为复色光时,图像会产生色差,文中定量研究了色差对尺寸测量精度的影响,结果表明色差对尺寸测量的重复性和线性精度都有影响,当采用单色光时,可以避免色差,提高尺寸测量精度。

参考文献:

- [1] 张川川,吴秀玲,曾志强,等. 基于视觉的某炮弹药筒退弹槽槽底宽度精确测量研究[J]. 包装工程,2014,35(3):74—77.
ZHANG Chuan-chuan, WU Xiu-ling, ZENG Zhi-qiang, et al. Groove Width Detection of Right-angle Trapezoidal Groove Based on Vision[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 74—77.
- [2] 杜文华,李红钢,曾志强,等. 基于LabVIEW的小孔尺寸精确测量系统研究[J]. 测试技术学报,2013,27(4):300—303.
DU Wen-hua, LI Hong-gang, ZENG Zhi-qiang, et al. The Accurate Measurement System for Micropore Diameter Based on LabVIEW[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2013, 27(4): 300—303.
- [3] GADEMAWLA E S. Computer Vision Algorithms for Measurement and Inspection of Spur Gears[J]. Measurement, 2011, 40(9): 1669—1678.
- [4] SU J C, HUANG C K, TARNG Y S. An Automated Flank Wear Measurement of Microdrills Using Machine Vision[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 180: 328—335.
- [5] 赵鹏. 机器视觉研究与发展[M]. 北京:科学出版社,2012.
ZHAO Peng. Research and Development of Machine Vision [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [6] GOLNABI H, ASADPOUR A. Design and Application of Industrial Machine Vision Systems[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2007, 23: 630—637.
- [7] 朱宝伟. 机器视觉中的光源照明设计[J]. 电子科技, 2013(3): 80—82.
ZHU Bao-wei. Lighting Design in Machine Vision[J]. Electronic Technology, 2013(3): 80—82.
- [8] 张巧芬,高健. 机器视觉中照明技术的研究进展[J]. 照明工程学报,2011,22(2):31—37.
ZHANG Qiao-fen, GAO Jian. Research Progress of Lighting Technology in Machine Vision[J]. Journal of Lighting Engineering, 2011, 22(2): 31—37.
- [9] MAR N S S, YARLAGADDA P K D V, FOOKES C. Design and Development of Automatic Visual Inspection System for PCB Manufacturing[J]. Robotics and Computer-integrated Manufacturing, 2012, 27(5): 949—962.
- [10] 李俊. 机器视觉照明光源关键技术研究[D]. 天津:天津理工大学,2007.
LI Jun. Study on Key Technique of Light Source in Machine Vision[D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2007.
- [11] 楼宇丽,李俊昌,桂进斌,等. 彩色数字全息系统中透镜色差影响的研究[J]. 中国激光,2012(4):186—190.
LOU Yu-li, LI Jun-chang, GUI Jin-bin, et al. Analysis of Influence Caused by Lens' s Chromatic Aberration in Color Digital Holographic System[J]. Chinese Journal of Lasers, 2012(4): 186—190.
- [12] 王苗苗. 基于机器视觉的圆形零件尺寸测量方法研究[D]. 沈阳:辽宁大学,2012.
WANG Miao-miao. Research on Measurement Method of Circular Parts Based on Machine Vision[D]. Shenyang: Liaoning University, 2012.
- [13] CHEN Ping, CHEN Fang, HAN Yang-xiang, et al. Sub-pixel Dimensional Measurement with Logistic Edge Model[J]. International Journal for Light and Electron Optics, 2014, 125(9): 2076—2080.
- [14] 刘刚. MATLAB数字图像处理[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
LIU Gang. MATLAB Digital Image Processing[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2010.
- [15] 斯蒂格,尤里奇,威德曼. 机器视觉算法与应用[M]. 杨少荣,译.北京:清华大学出版社,2008.
STEGER C, ULRICH M, WIEDEMANN C. Machine Vision Algorithms and Applications[M]. YANG Shao-rong, Translated. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.