

# 基于线激光传感器的客车轮廓三维测量方法

孟庆林 谷森 唐飞扬 尤勇 汝长海  
(苏州大学 机电工程学院 江苏 苏州 215021)

**摘 要:** 针对客车体积大、人工检测尺寸困难、检测精度低的问题,介绍一种基于线激光的三维检测系统,实现客车车身形位公差质量自动检测。系统包括相机标定、激光平面标定和运动机构标定。试验结果表明,线激光相机系统在 1 200 mm 范围内测量精度能达到 $\pm 0.6$  mm,可以满足工业现场对客车轮廓形位公差的测量精度要求。

**关键词:** 线激光; 客车轮廓; 三维测量

中图分类号: TP271<sup>+</sup>.4 文献标志码: B 文章编号: 1671-5276(2020)06-0210-03

## Three-Dimensional Measurement Method of Passenger Car Profile Based on Line Laser Sensor

MENG Qinglin, GU Sen, TANG Feiyang, YOU Yong, RU Changhai

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Soochow University, Suzhou 215021, China)

**Abstract:** Because it is hard to measure large passenger car volume with manual mode and the measuring accuracy is low, this paper proposes a three-dimensional measuring system based on line laser, which is used to implement the automatic measurement of the passenger car body size. Calibration of the camera, laser plane calibration, motion mechanism calibration, and image processing are made in this system. The test results show that the measurement accuracy of the line laser camera system can be up to  $\pm 0.6$  mm within the range of 1 200 mm. It can meet the accuracy requirements of measuring the passenger car profile in industrial field.

**Keywords:** line laser; passenger car profile; three-dimensional measurement

## 0 引言

目前,针对车体较大的大型客车空间轮廓检测是一项较大的难题<sup>[1]</sup>。人工参与检测的稳定性差。由于客车尺寸较大,检测耗费时间比较长,检测效率低<sup>[2]</sup>。传统的检测方法很难适应现代自动化生产需求<sup>[3]</sup>。相对于大体积、非接触式物体测量,光学测量有测量精度高、速度快的优点<sup>[4]</sup>。

国内外学者针对物体尺寸检测做了大量研究。许铭等<sup>[5]</sup>研究汽车零部件的虚拟装配技术,通过虚拟点技术提高 ICP 配准速度和精度,有效地实现了汽车外形匹配质量的检测。LIU Xingjian 等<sup>[6]</sup>设计了一套基于 GPU 并行运算加速的人体测量系统,在图像处理中使用 GPU 加速计算,和使用 CPU 运算相比,速度提高了 100 多倍。

本文提出了基于线激光的客车轮廓测量方法,研究相机标定、激光标定的方法,并搭建实验平台。实验验证本方法可以改善现有测量方式存在的问题,提高生产效率和产品质量。

## 1 线激光测量原理

线激光扫描系统主要包括 1 个线激光发生器和 1 台工业相机。原理如图 1 所示:线激光发生器投射出一条激光线,在空间形成激光平面,激光平面和物体相交的表面

形成一条激光线。该激光线的形状受到物体表面高度变化影响。同时工业相机拍照捕捉到变形的激光线<sup>[7]</sup>,并提取激光线像素中心坐标,然后根据三角测量原理即可获得待测点三维位置坐标。

假设  $O_c-x_c y_c z_c$  为相机坐标系,  $O_u-uv$  为图像坐标系,  $O_w-x_w y_w z_w$  为世界坐标系。世界坐标系下点  $P$  的坐标为  $P_w(x_w, y_w, z_w, 1)$ , 激光线中心坐标  $P_c(x_c, y_c, z_c, 1)$ , 该点相机像素坐标为  $P_u(u, v, 1)$ 。相机坐标系三维点坐标和相机像素坐标之间关系如式 1 所示:

$$zP_u^T = AP_c^T \quad (1)$$

式中  $A$  为相机的内参矩阵。

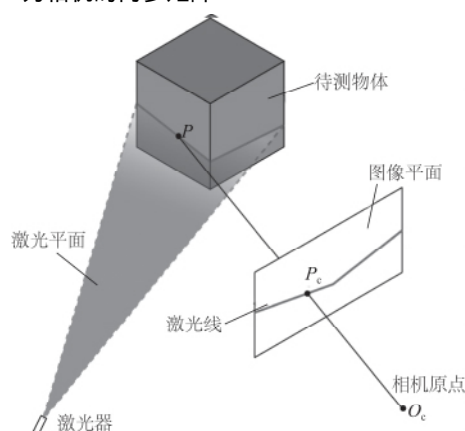


图 1 线激光测量原理图

## 2 系统标定

保证三维测量精度的关键在于准确标定相机和线激光、运动轴之间的旋转平移矩阵参数。本文根据张正友平面标定法<sup>[8]</sup>提出一种基于平面靶标的直线运动平台系统标定算法。

### 2.1 激光平面标定

激光平面标定原理如图2所示。标定时将线激光投射到标定板上,根据张正友平面标定法可以确定标定板平面的世界坐标系和相机坐标系的旋转矩阵 $R$ 和平移向量 $T$ 。

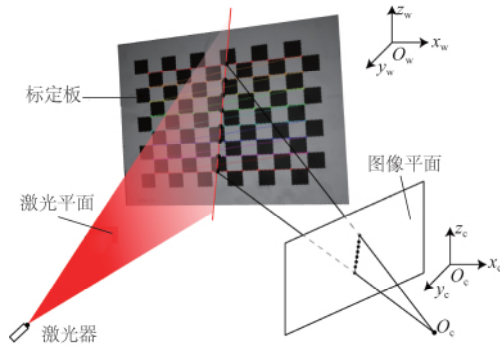


图2 激光标定原理图

激光平面方程在相机坐标系下的表示形式为:

$$A_L x + B_L y + C_L z + D_L = 0 \quad (C \neq 0) \quad (2)$$

假设标定板平面所在的世界坐标为  $Z=0$ , 相机坐标系中, 向量  $N$  和标定板法向量平行, 且  $\|N\|$  等于相机到标定板平面的距离。则标定板平面可以用法向量  $N(x, y, z)$  表示<sup>[9]</sup>:

$$N = -R_3 (R_3^T \cdot t) \quad (3)$$

式中:  $R_3$  为旋转矩阵的第3列;  $t$  为平移向量, 也是世界坐标系中相机的坐标。

已知标定板平面法向量  $N$  和平移向量  $t$ , 得相机坐标系下标定板平面方程:

$$A_1 x + B_1 y + C_1 z + D_1 = 0 \quad (C \neq 0) \quad (4)$$

标定上激光中心坐标均位于标定板平面, 结合式(1), 可以求解激光中心线在相机坐标系下坐标  $P_c$ 。移动标定板位置, 重复采集图像, 两条或两条以上激光线可以拟合相机坐标系下激光平面方程。

### 2.2 运动轴标定

标定过激光平面后, 还需要标定相机和运动轴。运动轴标定原理图如图3所示, 将标定板置于相机视野范围, 运动轴每移动固定距离  $d$  拍摄1张图片。

每次标定板平面外参为  $R$  和  $T$ , 相机坐标系各坐标轴分量分别移动  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 。单位距离相机和运动轴的运动增量为  $D_x, D_y, D_z$ , 则

$$\begin{cases} D_x = \Delta x / d \\ D_y = \Delta y / d \\ D_z = \Delta z / d \end{cases} \quad (5)$$

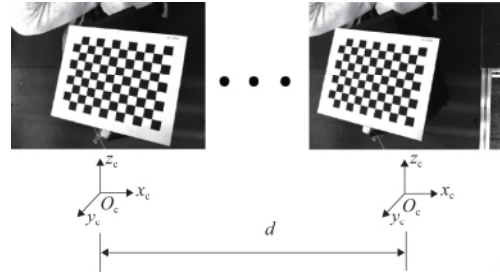


图3 运动轴标定原理图

## 3 实验平台搭建和测试

根据本文提出的方法, 搭建完整的实验平台如图4所示。实验平台硬件包括: 大恒水星相机、单线激光器、运动模组、大连榕树光栅尺等组成。为提高实验平台精度, 本实验使用光栅尺获取精确位置并触发相机采集图像。

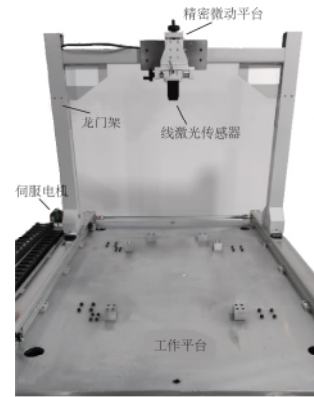
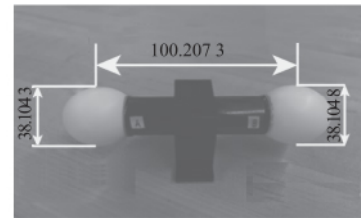


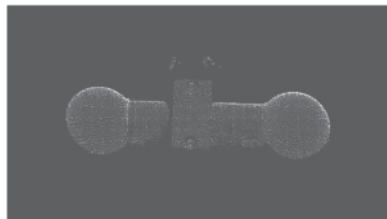
图4 实验装置图

### 3.1 精度分析

验证实验精度采用的陶瓷球规仪如图5所示。球规仪标准值来自国家高新技术计量站校准报告。使用该标准值和本实验设备测量值进行对比, 验证该车辆轮廓测量系统精度。



(a) 陶瓷球规实物图



(b) 实验采集点云图

图5 陶瓷球规仪

将球规仪摆放到不同位置, 利用本实验设备采集球规仪点云图, 分别计算 A 球、B 球和球间距。实验共测试 10 组, 测试结果如图 6 所示, 测量最大误差为 0.549 5 mm, 测量标准差 < 0.32 mm。可以满足客车轮廓测量的精度要求。

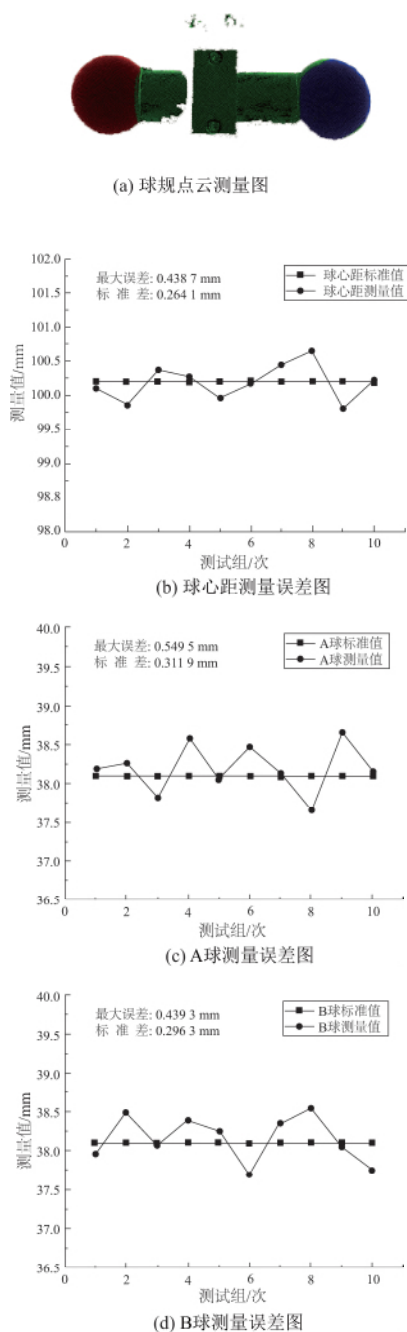


图 6 线激光相机测量误差图

### 3.2 客车模型测量

将车体置于检测平台, 启动测量系统, 对客车车体进行测量, 实验采集的客车部分点云如图 7 所示, 最后根据点云图检测车辆位置和外形尺寸。

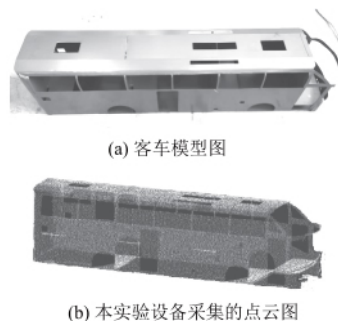


图 7 客车点云图

## 4 结语

根据客车实际生产和装配过程中尺寸等形位公差测量要求, 基于本文提出的方法设计的客车轮廓测量系统, 可以有效地提高客车测量的精度。实验结果表明: 该系统测量精度可以达到  $\pm 0.6$  mm, 可以满足实际生产时车身轮廓测量精度要求。

#### 参考文献:

- [1] 王贤煜, 何平安. 线结构光检测车体空间尺寸的标定方法研究[J]. 光学与光电技术, 2016, 14(3): 22-27.
- [2] 敖平, 云中煌, 李东风, 等. 基于线激光车体旋转扫描系统标定方法[J]. 新技术新工艺, 2018(10): 39-43.
- [3] 卞晓东, 张为公, 郭占军. 利用视觉伺服技术进行车辆尺寸测量的方法[J]. 汽车工程, 2004, 26(3): 341-344.
- [4] NOLL R, KRAUHAUSEN M. Online laser measurement technology for rolled products[J]. Ironmaking & Steelmaking, 2008, 35(3): 221-227.
- [5] 许铭, 刘胜兰, 张韬, 等. 基于点云测量数据的汽车车身外形匹配质量分析[J]. 机械制造与自动化, 2019, 48(3): 73-76, 111.
- [6] LIU Xingjian, ZHAO H, ZHAN G, et al. Rapid and automatic 3D body measurement system based on a GPU-steger line detector[J]. Applied Optics, 2016, 55(21): 5539-5547.
- [7] 张广军. 视觉测量[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [8] 马颂德, 张正友. 计算机视觉: 计算理论与算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [9] ZHANG Q L, PLESS R. Extrinsic calibration of a camera and laser range finder (improves camera calibration) [C]//2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat. No. 04CH37566), Sendai, Japan: IEEE, 2004.

收稿日期: 2019-08-29