

# 基于激光扫描的车灯安装间隙测量方法研究

林玉莹 穆平安 戴曙光

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院 上海 200093)

**摘要:** 鉴于目前车灯安装间隙多采用接触式测量,提出一种基于激光扫描技术和工业机器人技术相结合的车灯安装间隙测量方法。该方法用检具模拟车身,建立车灯安装间隙测量系统。首先对激光扫描数据进行预处理,去除超量程的无效数据点,然后选定双边滤波对数据进行平滑去噪。通过对车灯与检具边界点的确定算法中高度差阈值的选择,找到车灯与检具的边界点,利用车灯安装间隙计算模型确定间隙大小。实验结果表明,该测量方法准确性和效率高,且重复性满足要求。

**关键词:** 激光扫描;工业机器人;双边滤波;车灯安装间隙

**中图分类号:** TN98    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 460.4030

## Research on measuring method of installation gap of car light based on laser scanning

Lin Yuying Mu Ping'an Dai Shuguang

(School of Optical-Electronic Information and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** To measure the lamp installation clearance, this paper proposes a method for measuring the installation gap of the headlights based on the combination of laser scanning technology and industrial robot technology. The method simulates a vehicle body with a gage and establishes a measurement system for a lamp installation gap. First, the laser scan data is preprocessed to remove the invalid data points of the overrange, and then the bilateral filter is used to smooth the data denoising. Through the selection of the height difference threshold in the determination algorithm of the boundary point of the vehicle lamp and the inspection tool, the boundary point between the vehicle lamp and the inspection tool is found, and the gap size is determined by the lamp installation clearance calculation model. The experimental results show that the measurement method has high accuracy, high efficiency, and repeatability also meets the requirements.

**Keywords:** laser scanning; industrial robot; bilateral filtering; lamp installation clearance

## 0 引言

车灯作为汽车的重要部件之一,它的品质关系到整个汽车的外观和安全性。但在注塑加工过程中,不可避免会出现轮廓变形、熔接痕等不合格的产品。因此在进行汽车总成前,先对待安装车灯进行间隙的测量就显得至关重要<sup>[1]</sup>,据此评判车灯的制造加工是否合格。

为实现车灯安装间隙的测量,往往采用检具来模拟实物产品与车身匹配<sup>[2]</sup>。常规测量车灯安装间隙多采用接触式测量法,大致可分为以下两种:1)人工塞规测量。先在车灯上选取若干个检测点,利用塞规测量工具直接对车灯与检具的间隙进行测量。这种方式主观性强,读数不方便,且

无法精确定位检测点,误差较大。2)台式三坐标测量<sup>[3]</sup>。三维坐标测量机的采点发信装置是测头,以手动或机动方式移动到被测点上,由读数设备和数显装置把被测点的坐标值显示出来。其测量过程就是当测头接触工件并发出采点信号时,由控制系统去采集当前三轴坐标相对于机床原点的坐标值,再由计算机系统对数据进行处理。根据测量点的空间位置的计算,可以求出被测车灯的几何位置尺寸。此种方法仅限几个点的测量,检测速度慢、效率低。

近些年来研究人员还发明了一种新型的车灯间隙测量装置<sup>[4]</sup>。该装置包括一个车灯模拟框体,该车灯模拟框体设有多个沿框体外侧向框体内侧延伸的第一检测通孔,通过车灯检具上的第一检测通孔以固定测量间隙的百分表。

但此种检测方法也同样仅限几个点,其结果并不全面,不适合大批量高效率的检测。

针对上述测量方法存在的问题,本文在激光测量技术的基础上,充分分析了将激光测量技术应用于车灯安装间隙检测的可行性,最终提出了利用工业机器人带动激光扫描仪进行车灯安装间隙测量的方法<sup>[5]</sup>。该方法通过非接触测量,克服了传统接触式测量法误差大、效率低的缺点,在满足误差要求的基础上,最终达到测量车灯安装间隙大小的目的。

## 1 车灯安装间隙测量系统的建立

车灯安装间隙测量系统如图 1 所示。本文选用 FANUC 机器人公司的 Robot LR Mate 200iD 型机器人来带动激光扫描仪完成车灯安装间隙的数据采集,该型号机器人重复定位精度为 $\pm 0.02$  mm,且运动稳定性好,满足测量需求<sup>[6-7]</sup>。激光扫描仪将获取的车灯与检具扫描数据通过 USB 传递给 PC 机,通过设定和监控器软件系统 LJ-Navigator2 显示数据采集情况,并由 MATLAB 对采集到的扫描数据进行处理,根据车灯安装间隙测量算法计算间隙大小。



图 1 测量系统示意图

激光扫描仪相较于传统接触式的测量可以避免划伤和人为原因导致的测量偏差,数据获取速度快,精度高<sup>[8-9]</sup>。测量原理是通过发射大量激光线构成激光光束对被测物进行照射,在被测物上形成线型的测量线,利用图像传感器接收反射激光线,通过三角测量法求解出被测物在测量激光线上各个测量点的位置信息<sup>[10]</sup>。该方法利用三角几何关系求得距离,先由激光发射器投射出的激光束与车灯与检具相交后切出一条激光光线,该激光光线被光接收元件所接收并成像,由于激光光线上每个点的位置以及车灯与检具的表面情况都不同,所以经过车灯与检具反射回来的激光光线上的每个点在光接收元件上的位置也都不相同,而且具有一一对应的关系,如图 2 所示,已知入射光与反射光的夹角,激光光源与光接收元件之间的长度,由三角几何关系可算出扫描仪与车灯和检具之间的距离<sup>[11]</sup>。

基恩士轮廓测量仪使用线激光一次性测量,不会发生因被测物颜色不均而导致的误差,反射光量较强,可进行稳定测量。所以本文选用基恩士轮廓测量仪 LJ-V7060 进行

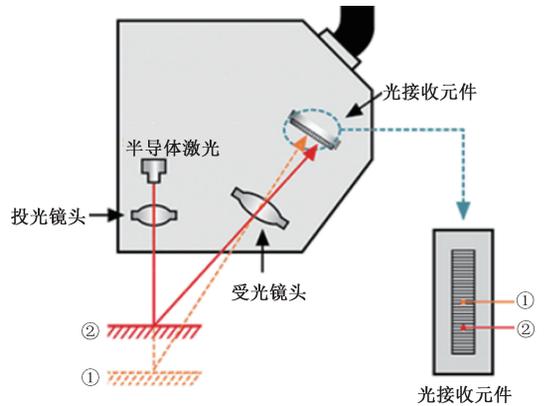


图 2 激光三角法成像原理

车灯安装间隙的测量<sup>[12]</sup>。它是一种线激光传感器,坐标系如图 3 所示。垂直方向为坐标的 Z 方向,水平方向为 X 方向,且 Y 轴代表激光扫描仪工作时的扫描行数。

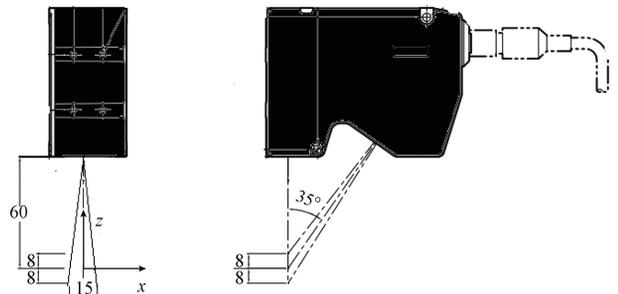


图 3 激光扫描仪坐标系

其技术指标如下:

- 1) 安装状态为漫反射;
- 2) 参考距离为 60 mm;
- 3) Z 轴测量范围(高度)为 $\pm 8$  mm(F.S.=16 mm);
- 4) X 轴测量范围(宽度),扫描距离近时,测量范围为 13.5 mm;扫描距离远时,测量范围为 15 mm;
- 5) Z 轴重复精度(高度)为 0.4  $\mu\text{m}$ ;
- 6) X 轴重复精度(宽度)为 5  $\mu\text{m}$ ;
- 7) Z 轴线性(高度)为 $\pm 0.1\%$ 的 F.S.;
- 8) X 轴轮廓数据间隔(宽度)为 20  $\mu\text{m}$ ;
- 9) 取样频率(触发间隔)为最快 16  $\mu\text{s}$ (高速模式)最快 32  $\mu\text{s}$ (高性能模式)。

其中,参考距离为激光扫描仪传感器头测量目标物时,测量值为 0 的点。线性表示理想值与实际测量结果误差的最大值。F.S.表示测量范围,指传感器头可测量目标物位移量的范围。

在完成测量系统的搭建工作以后,进行激光扫描并获取扫描数据,提出车灯安装间隙提取算法,包括激光扫描数据的预处理、车灯与检具边界点的确定,最后利用车灯安装间隙的计算模型确定间隙大小。

## 2 车灯安装间隙提取算法

### 2.1 激光扫描数据的预处理

激光扫描数据的预处理包括去除超量程的无效扫描数据点以及对激光扫描数据进行去噪。本文的激光扫描仪Z方向的量程为±8 mm,每一行激光扫描数据有800个数据点,  $x \in [1, 800]$ , 一共210行,  $y \in [1, 210]$ , 每一对 $(x, y)$ 所对应的测量值为Z高度值。超量程的无效扫描数据点出现在车灯与检具之间的缝隙里, 由于过深没有足够的光线反射, 使得车灯与检具中间的扫描数据不在量程范围内, 故对扫描数据中超量程的数据点Z值赋为NaN。去除无效数据点后的车灯与检具的原始激光扫描数据如图4所示。

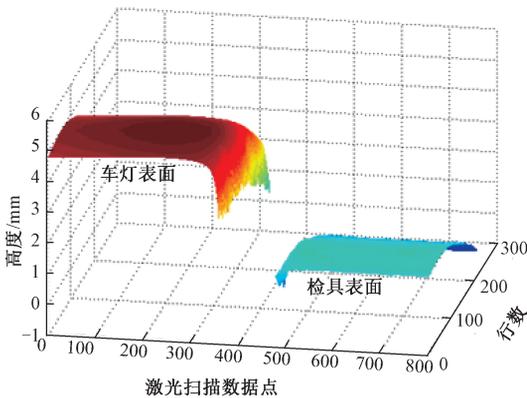


图4 210行车灯与检具的原始激光扫描数据

实际测量中, 由于检具表面质量欠缺, 存在较多不平整的地方, 且扫描过程中受随机因素的影响, 噪声点会混进激光扫描数据中, 对车灯边界点与检具边界点的提取产生直接影响, 图5所示为某行原始激光扫描数据, 因此需要对激光扫描数据(即每一点的高度值)进行去噪处理<sup>[13]</sup>。

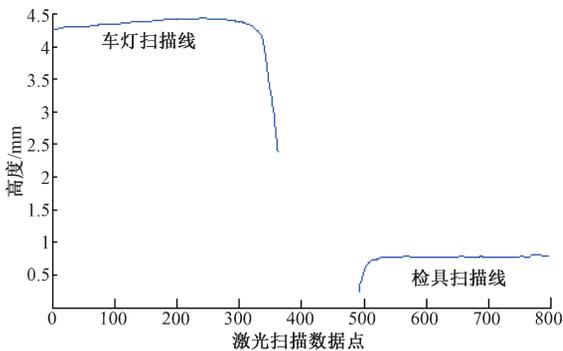


图5 原始激光扫描数据

由于激光测量区域既有平面又有弧面, 所以应尽量选用非线性方法进行滤波, 以减少几何因素对结果的影响, 防止失真。本文在对比了中值滤波和双边滤波对激光扫描数据的去噪效果后, 最终选用双边滤波进行处理<sup>[14]</sup>。双边滤

波是非线性滤波, 它同时考虑了空域信息和高度相似性, 从而在保持车灯与检具的边缘信息的同时, 又实现降噪的效果, 其原理为一个与空间距离相关的高斯函数和一个与高度值相关的高斯函数相乘<sup>[15]</sup>。

空间距离指的是当前点与中心点的欧氏距离, 空间域高斯函数其数学形式如式(1)所示。

$$e^{-((x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2) / 2\sigma^2} \quad (1)$$

其中 $(x_i, y_i)$ 为当前点位置;  $(x_c, y_c)$ 为中心点的位置;  $\sigma$ 为空间域标准差。

高度距离指的是当前点高度与中心点高度的差的绝对值。值域高斯函数其数学形式如式(2)所示。

$$e^{-((Z(x_i, y_i) - Z(x_c, y_c))^2) / 2\sigma^2} \quad (2)$$

其中 $Z(x_i, y_i)$ 为当前激光扫描数据点所测的高度值;  $Z(x_c, y_c)$ 为中心点高度值;  $\sigma$ 为值域标准差。双边滤波在高斯滤波的基础上加入了对高度距离的权重, 即在邻域内, 高度值越接近中心点高度值的点的权重更大, 高度值相差越大的数据点权重越小。此权重大小, 则由值域高斯函数确定。两者权重系数相乘, 得到最终的权重系数。

将210行车灯与检具的原始测量数据进行双边滤波去噪, 得到去噪处理后的高度数据如图6所示。为了更好的分析比较, 选择Y=150行的双边滤波去噪后的激光扫描数据与原始激光扫描数据以及中值滤波处理后的数据进行比较, 如图7所示。

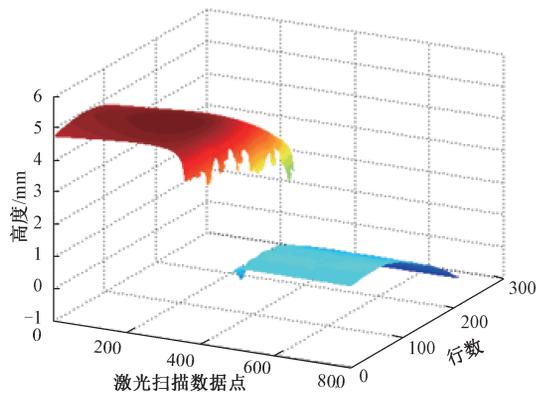


图6 210行激光扫描数据的双边滤波效果

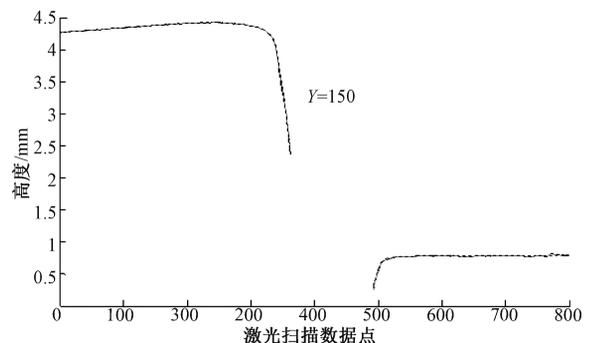


图7 原始数据、中值滤波后的数据、双边滤波后的数据

由图 7 可知在车灯的扫描数据部分三者没有明显差别。但在检具的扫描数据部分,如图 8 所示,双边滤波大量地平滑了检具扫描线的突变点,比中值滤波处理后的平滑效果更佳。双边滤波在去噪的同时能更好地保留边缘信息,真正地做到保边去噪的效果,是很好滤波的方法。

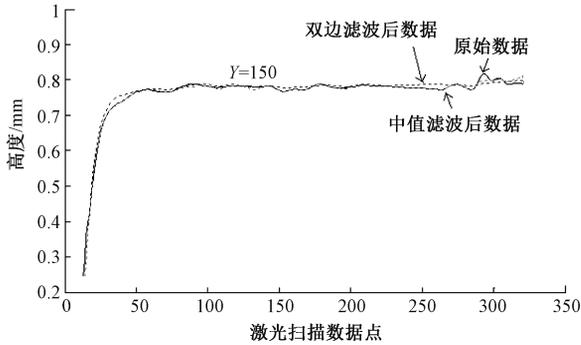


图 8 检具原始数据、中值滤波后数据、双边滤波后数据

### 2.2 车灯与检具边界点的确定

车灯安装间隙的测量最至关重要的一步是准确地找到车灯与检具的边界点,由于车灯边界与间隙有一定的高度差,检具边界也同间隙有一定的高度差,利用高度差确定车灯与检具的边界点,进而为下一步的间隙计算做准备。

基恩士轮廓测量仪一条激光扫描线上有 800 个数据点,线激光对车灯与检具进行扫描时其数据点分布大致如图 9 所示。其中,  $P_1(X_1, Z_1)$  为一条激光扫描线上的第一个数据点;  $P_c(X_c, Z_c)$  为车灯边界点的数据点;  $P_t(X_t, Z_t)$  为检具边界点的数据点;  $P_z(X_z, Z_z)$  为激光扫描线上的最后一点,即第 800 个数据点,  $P_{c+1}$  及  $P_{t-1}$  之间的数据点为车灯边界下方与检具边界下方的坡沿。

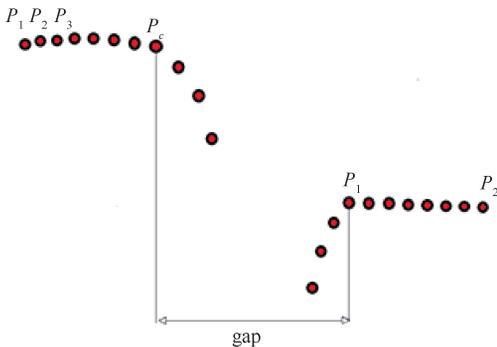


图 9 一条激光线上车灯与检具扫描时数据点分布情况

由图 9 可知,车灯与检具间隙 gap 即为检具的边界点  $P_t$  与车灯边界点  $P_c$  的横坐标的差值。车灯和检具的边界点确定算法流程如图 10 所示。

设  $P_k(X_k, Z_k)$  为此激光线上的一点,初始化  $P_k = P_1$ , 计算相邻两点  $P_k$  与  $P_{k+1}$  的高度差:

$$\Delta Z = |Z_{k+1} - Z_k| \quad (3)$$

判断高度差  $\Delta Z$  是否大于某一阈值  $h$ 。当  $\Delta Z < h$  时,

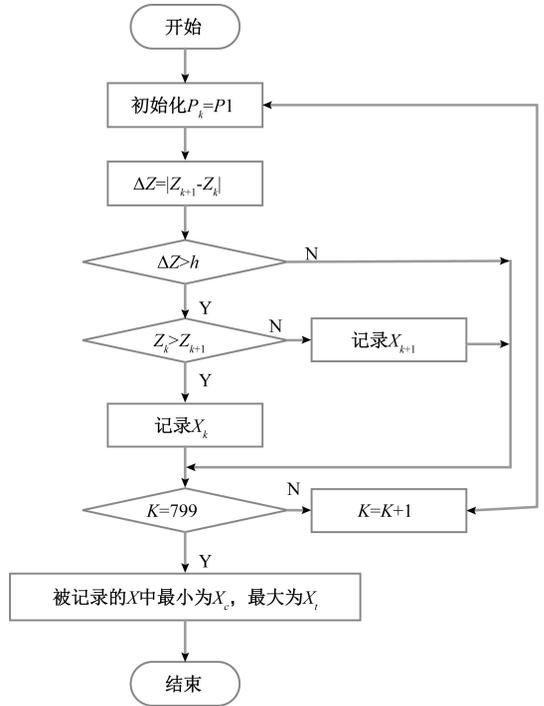


图 10 车灯与检具边界点确定算法流程

进行下一组相邻激光点  $P_{k+1}$  与  $P_{k+2}$  的高度差的计算并判断是否大于某一阈值  $h$ , 同时判别是否已经计算到最后一点; 当  $\Delta Z > h$  时, 将当前两点中高度值较高的那个点的横坐标  $X_k$  或者  $X_{k+1}$  记录下来, 判定是否已计算到最后一点, 计算下一组相邻激光点的高度差, 直至将所有满足  $\Delta Z > h$  的数据点的横坐标  $X$  记录下来, 也就是满足  $\Delta Z > h$  的所有数据点落在  $P_c(X_c, Z_c)$  和  $P_t(X_t, Z_t)$  之间。被记录下来的最小  $X$  数据点即为车灯边界点的横坐标  $X_c$ , 被记录下来的最大  $X$  数据点即为检具边界点的横坐标  $X_t$ 。

关于阈值  $h$  的选取。当  $h$  选择过小时, 会使车灯边界点落在  $P_1(X_1, Z_1)$  至  $P_c(X_c, Z_c)$  中间, 使检具边界点落在  $P_t(X_t, Z_t)$  至  $P_z(X_z, Z_z)$  中间, 使得车灯边界点的数据点偏左, 检具边界点的数据点偏右, 故计算得到的车灯安装间隙比实际中的间隙要大; 当  $h$  选择过大时, 会将车灯的边界点判定为车灯边界下坡沿的某一个点, 将检具的边界点判定为检具边界下坡沿的某一个点, 使得车灯边界点的数据点偏右, 检具边界点的数据点偏左, 故计算得到的车灯安装间隙会比实际中的间隙要小。

所以阈值  $h$  的选取直接影响车灯边界点与检具边界点的确定, 进而影响了车灯安装间隙大小的计算。本文通过选取多组不同的阈值  $h$ , 得到多组车灯和检具边界点对, 根据计算出的间隙与实际间隙误差大小来选定最佳阈值  $h$ 。实际的车灯安装间隙大小为 3.4 mm, 实验结果表明, 当选取阈值  $h = 0.008$  mm 时, 通过车灯与检具边界点算法得到的间隙误差大小为 0.06 mm, 对比其他组相对误差最小, 故本文将车灯与检具边界点算法中的阈值  $h$  确定为 0.008 mm。

由于激光扫描数据点为离散点,故存在实际车灯边界点与检具边界点出现在两个离散数据点中间位置的情况,如图11所示,这样计算得到的间隙值会比实际的间隙值要大。最大误差为:

$$\delta = 2\Delta x \quad (4)$$

式中: $\Delta x$ 为相邻两个激光点的横坐标的间距,为0.02 mm,所以间隙的最大误差可达到0.04 mm,此误差小于允许接受的最大误差0.1 mm,故此误差可以忽略。

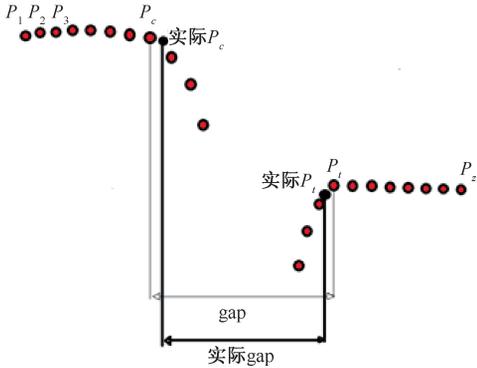


图11 实际边界点和间隙示意图

### 2.3 间隙计算模型

在去除超量程无效数据点和双边滤波的预处理后,通过车灯与检具边界点算法,可以确定车灯的边界点与检具的边界点,那么车灯安装间隙为:

$$gap = |X_c - X_i| \quad (5)$$

式中: $X_c$ 即为车灯边界点的横坐标; $X_i$ 为检具边界点的横坐标,将两横坐标求差得到的距离即为车灯安装间隙的大小。

### 3 实验分析

为验证车灯与检具边界点确定算法的有效性,选用某型号车灯样件进行实验。在实验测量中,机器人的运动速度是30 mm/s,激光扫描仪采集频率为1 kHz,以机器人带动激光扫描仪对车灯与检具进行激光扫描,获取了210行激光线数据,得到210对车灯和检具的边界点坐标 $\{P_{c1}, P_{i1}\}$ , $\{P_{c2}, P_{i2}\}$ , $\{P_{c3}, P_{i3}\}$ ... $\{P_{c210}, P_{i210}\}$ 。已知车灯安装间隙大小真值为3.4 mm,根据上述算法,计算得到210行车灯安装间隙大小以及绝对误差如表1所示。篇幅有限,只列出部分间隙大小及其误差。

表1 计算得到的车灯安装间隙及其误差(部分)

(mm)

行数	间隙	误差	行数	间隙	误差	行数	间隙	误差	行数	间隙	误差
1	3.320	0.08	61	3.360	0.04	121	3.410	0.01	181	3.440	0.04
2	3.320	0.08	62	3.360	0.04	122	3.410	0.01	182	3.440	0.04
3	3.320	0.08	63	3.380	0.02	123	3.410	0.01	183	3.440	0.04
4	3.320	0.08	64	3.380	0.02	124	3.410	0.01	184	3.460	0.06
5	3.340	0.06	65	3.380	0.02	125	3.410	0.01	185	3.460	0.06
6	3.340	0.06	66	3.410	0.01	126	3.410	0.01	186	3.460	0.06
7	3.360	0.04	67	3.410	0.01	127	3.410	0.01	187	3.480	0.08
8	3.380	0.02	68	3.410	0.01	128	3.410	0.01	188	3.480	0.08
9	3.410	0.01	69	3.410	0.01	129	3.410	0.01	189	3.480	0.08
10	3.440	0.04	70	3.360	0.04	130	3.410	0.01	190	3.480	0.08

进一步验证测量的重复性。在相同的条件下,重复测量车灯与检具某行的数据10次,测量结果如表2所示。

表2 车灯安装间隙10次重复测量数据(mm)

测量次序	$P_c$	$P_i$	gap	误差
第1次	6.520	9.880	3.360	0.04
第2次	6.520	9.860	3.340	0.06
第3次	6.520	9.860	3.340	0.06
第4次	6.520	9.840	3.320	0.08
第5次	6.520	9.900	3.380	0.02
第6次	6.520	9.880	3.360	0.04
第7次	6.520	9.880	3.340	0.06
第8次	6.520	9.900	3.380	0.02
第9次	6.520	9.880	3.360	0.04
第10次	6.540	9.900	3.360	0.04
均值	6.522	9.878	3.356	0.044

通过对实验数据的分析可知,本系统能够精确地测量车灯安装间隙。实际测量中,针对检具表面质量欠缺以及噪声点的混入等随机误差造成的影响,本文对测量数据进行去噪修正,获得了更高的准确度。由表1可知,间隙提取算法算得的车灯安装间隙的计算误差最大值为0.08 mm;表2得到的某行车灯安装间隙10次重复测量误差平均值为0.044 mm,且最大的测量误差为0.08 mm,均在允许的最大误差0.1 mm内,故验证了测量方法的准确性、重复性。说明该方法设计合理,观点得以证实,满足实际测试要求。

### 4 结论

针对车灯安装间隙测量的研究,本文构建了基于激光扫描的间隙测量系统,提出了车灯安装间隙提取算法,在对激光扫描数据点进行双边滤波去噪处理后,通过确定车

灯和检具的边界点来计算出间隙大小。相比于传统的接触式测量法,本系统采用非接触测量不仅对工件无损害,更能有效的克服前者误差大、效率低的缺点。大量的实验结果表明,本文提出的车灯间隙提取算法准确性和测量效率高,从而能在生产应用中快速地剔除不合格产品,提高生产效率。后期,将继续研究如何在满足稳定性和重复性的基础上进一步地减小由随机因素带来的测量误差,继而实现车灯安装间隙的全自动化测量。

### 参考文献

- [1] 王屹峰,张卫峰.对尾灯与侧围间隙不均的思考[J].汽车与配件,2013(9):38-39.
- [2] 陶永亮.汽车灯具塑件检具设计制造技术分析[J].塑料制造,2012(10):81-84.
- [3] 郑俊,郑继贵,叶声华.三维坐标测量技术在汽车车身检测中的应用[J].工具技术,2004,38(12):70-73.
- [4] 李代华.车灯间隙面差测量装置:中国,CN203837628U[P].2014-09-17.
- [5] KIDD J H, LIN H E N G-C H I H C, MYKYTIUK A R K M. Method for assessing fit and alignment of a manufactured part, EP1579285[P].2005-09-28.
- [6] 顾震宇.全球工业机器人产业现状与趋势[J].机电一体化,2006,12(2):6-9.
- [7] FANUC Robot series R-30iB/R-30iB Mate 控制装置[Z]. B-83284CM/04.
- [8] 王晓嘉,高隽,王磊.激光三角法综述[J].仪器仪表学报,2004,25(S2):601-604.
- [9] 刘亮.基于激光扫描的车灯三维轮廓测量技术研究[D].上海:上海理工大学,2015.
- [10] 冯国卫,张一丁,孔飞,等.基于激光测量的汽车零件间隙面差计算方法[J].激光与红外,2014,44(4):370-373.
- [11] 常城,张志峰.激光三角法测量的误差研究[J].中国科技信息,2006,(23):61-62,64.
- [12] Ultra-High Speed In-line Profilometer LJ-V7000 Series User's Manual[Z].96M13610.
- [13] 郭宁博,陈向宁,何艳华.基于 RANSAC 分割的点云数据 K-近邻去噪算法研究[J].电子测量技术,2017,40(12):209-213.
- [14] FLEISHMAN S, DRORI I, COHENOR D. Bilateral mesh denoising [J]. Proc Siggraph, 2003, 22(3):950-953.
- [15] JIEPRO. 双边滤波(Bilateral Filter)详解[EB/OL]. [2018-03-10].<http://blog.csdn.net/jfuck/article/details/8932978>.

### 作者简介

**林玉莹**,1995 年出生,硕士研究生,主要研究方向为测试计量技术及仪器。

E-mail: lyyusst@163.com

**穆平安**,1964 年出生,博士、教授、硕士生导师,主要研究方向为测试信号获取与处理,在线检测技术与装置。