

文章编号: 1671-7449(2025)01-0063-09

基于三维点云处理的枕簧高度测量方法

公勇¹, 杜珊², 王紫光^{1,2*}, 陈永飞², 张生芳¹

(1. 大连交通大学 辽宁省轨道交通装备智能化技术重点实验室, 辽宁 大连 116028;
2. 浙江联宜电机有限公司, 浙江 金华 322118)

摘要: 轨道列车转向架的枕簧需要定期进行检修, 枕簧高度是重要的检测项目。针对目前枕簧高度测量存在的效率低、精度差、不易实现自动化检测的问题, 提出了一种基于三维点云处理的高效高精度测量枕簧高度的方法。通过快照式传感器获取枕簧端面的点云数据, 对比常用的点云精简方法, 采用体素下采样方法对采集的数据进行精简; 结合直通滤波、半径滤波及统计滤波方法对枕簧端面数据进行降噪; 最后利用RANSAC算法进行平面拟合, 通过计算拟合平面之间的距离得到枕簧的高度。结果表明: 与高度卡尺测量结果对比, 利用该方法获得的枕簧高度测量误差小于0.3 mm, 符合行业检修规程和检修工艺要求。

关键词: 枕簧高度测量; 点云精简; 点云降噪; 平面拟合

中图分类号: U269.34 **文献标识码:** A **doi:** 10.62756/csjs.1671-7449.2025010

引用格式: 公勇, 杜珊, 王紫光, 等. 基于三维点云处理的枕簧高度测量方法[J]. 测试技术学报, 2025, 39(1): 63-71.

GONG Yong, DU Shan, WANG Ziguang, et al. Pillow spring height measurement method based on 3D point cloud processing[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2025, 39(1): 63-71.

Pillow Spring Height Measurement Method Based on 3D Point Cloud Processing

GONG Yong¹, DU Shan², WANG Ziguang^{1,2*}, CHEN Yongfei², ZHANG Shengfang¹

(1. Key Laboratory for Intelligent Technology in Railway Equipment of Liaoning Province, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China; 2. Zhejiang Linix Motor Co., Ltd., Jinhua 322118, China)

Abstract: The sleeper springs of railroad train bogies need to be tested periodically, and the height of the sleeper springs is an important test item. The article proposes an efficient and accurate method for measuring the height of the bolster spring in the bogie of a rail vehicle, addressing the issues of low efficiency, poor accuracy, and lack of automation in current height measurement techniques. The method is based on three-dimensional point cloud processing. Using a snapshot-style sensor, point cloud data of the bolster spring end face is obtained. Instead of commonly used point cloud simplification methods, a voxel downsampling method is employed to streamline the data collection process. Additionally, noise reduction techniques including passthrough filtering, radius filtering, and statistical filtering are applied to the point cloud data of the bolster spring end face. Finally, the RANSAC algorithm is used for plane fitting, and the height of the bolster spring is obtained by calculating the distance between the fitted planes. The results show that the height measurement error using this method is less than 0.3 mm when compared to measurements obtained using a caliper, meeting the requirements of industry maintenance regulations and processes.

Key words: pillow spring height measurement; point cloud simplification; point cloud denoising; plane fitting

收稿日期: 2024-04-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52375169)

作者简介: 公勇(2000-), 男, 硕士生, 主要从事基于点云处理的枕簧检测研究。E-mail: 2596607603@qq.com。

* 通信作者: 王紫光(1984-), 男, 讲师, 博士, 主要从事轨道交通装备智能检测技术研究。E-mail: wzg1107@qq.com。

0 引言

枕簧是铁路车辆转向架上的重要部件,起到支撑、缓冲和吸收震动的作用。铁路车辆的重量通常在几十吨,枕簧的高度变化将严重影响车辆的行驶安全。为了保证车辆的安全运行,需要定期对枕簧进行检修,对不符合使用要求的枕簧进行及时更换。我国目前的铁路车辆枕簧检修工作主要以手工使用高度尺测量或利用接触式枕簧检测机等接触式测量方法为主,接触式测量方法在对枕簧进行检测之前需要将枕簧进行拆分,分别对外簧、内簧进行测量,这种检测方式稳定性差、准确性难以保证、自动化程度较低。

针对接触式检测方式存在的缺点,非接触式检测逐渐被应用到枕簧高度的检测上。2017年,段乐^[1]基于3D结构光技术研制了一种枕簧尺寸检测系统,能够实现枕簧高度、半径等尺寸的自动化检测;2021年,Liu等^[2]利用单目相机获取枕簧图像,使用canny边缘检测算法处理枕簧图像,完成枕簧高度、直径等的测量;王永胜等^[3]利用激光源及面阵相机设计了一种枕簧三维图像测量系统,通过对枕簧轮廓信息进行提取得到自由高度值;李传翔等^[4]利用3D结构光基于点云处理完成枕簧高度、半径的检测;2022年,成奇龙等^[5]通过从弹簧点云数据侧面提取端面,计算端面之间的距离得到弹簧的高度。上述成果以枕簧测量系统的设计为主,检测方法的描述相对较少。2022年,王志远等^[6]利用线激光传感器获取点云数据,采用体素下采样、K-means聚类方法对点云数据进行预处理,然后通过高度测量算法得到枕簧的高度,该方法对利用激光传感器得到的点云数据处理效果好,但是不适用于其他类型传感器得到的枕簧点云数据;2024年,朱开源等^[7]利用线结构光传感器采集洗衣机缝隙图像,并设计阶差检测算法实现缝隙计算,能够满足洗衣机缝隙与阶差测量的要求;张亚南^[8]利用激光扫描管廊,通过对三维坐标的提取与分析实现管廊关键部件尺寸的测量;陈慧^[9]等通过RANSAC拟合构建隧道横截面数学模型,根据截面特征点完成地铁隧道特征的提取,检测精度较好;马智睿等^[10]利用ICP迭代最近点结合Octree算法对点云数据进行匹配,该方法利用Geomagic对匹配后的点云数据进行测量,测量精度和重复性较好。综合上述枕簧高度非接触测量方法及其他物体尺寸的研究,自动化程度有所提高,节

省了大量劳动力,但是测量精度、稳定性及适用性还需要提高。

利用快照式传感器获取枕簧点云数据,选用合适的算法对点云数据进行处理,能够提高枕簧检测的精度与效率。2020年,杨洋等^[11]综合使用直通滤波、统计滤波和空间密度聚类算法对点云进行处理,具有较好的降噪效果;2021年,焦亚男等^[12]采用不同方法分别对大尺度噪声、小尺度噪声进行剔除,提高了噪声去除效率和精度;赵涵等^[13]在2023年提出了一种结合密度聚类算法和统计滤波的降噪算法,该方法在有效去除噪声的同时能够较好地保留物体几何特征;2024年,聂济刚等^[14]基于融合统计滤波和中值滤波对巷道端面点云数据进行降噪,有效去除了点云数据中的噪声点;苏永利等^[15]提出一种运动多目标临近点云优化聚类算法,在含有噪声、分布离散的点云数据中能够有效提高聚类精准度,完成点云数据的预处理;王雪妮等^[16]通过统计滤波、聚类方法对焊接破口点云数据进行处理,在保留细节点云特征的同时实现了降噪处理;李屹等^[17]通过半径滤波、统计滤波实现了对管道破裂处点云的剔除。综合上述点云滤波、降噪方法,能够在滤除噪声的同时保持较好的点云原始特征,但是针对不同的点云数据适用性较差,因此需要针对枕簧点云数据的特征提出一种新的滤波方法。

针对现有非接触式检测方法及所用算法仍存在效率较低、稳定性较差及适应性差的问题,本文使用快照式传感器获取枕簧端面的点云数据,对比常用的点云精简方法并进行数据的精简处理,结合直通滤波、统计滤波和半径滤波方法对枕簧端面点云数据进行降噪处理,最后利用RANSAC算法进行平面拟合,通过计算拟合平面之间的距离高效高精度地得到枕簧的高度。

1 枕簧高度测量平台

枕簧高度测量平台由快照式传感器、电脑及Z轴位移台组成。通过Z轴位移台对3D结构光传感器进行上下移动,以达到最佳的扫描效果;利用电脑进行3D结构光传感器的参数设置和枕簧点云数据的采集,测量平台及枕簧如图1所示。枕簧由一个大弹簧和一个小弹簧组合在一起构成,如图2所示。测量平台选用LMI公司的快照式传感器,型号为Gocator 3520,枕簧高度检测算法基于python进行编写,电脑配置为Intel Core

i5-12700H。

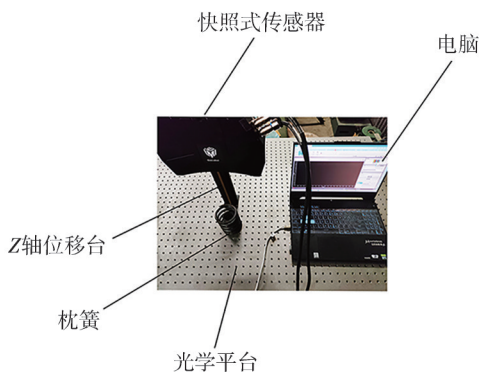


图 1 枕簧高度测量平台示意图

Fig. 1 Pillow spring height measurement platform diagram

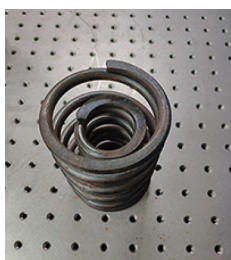


图 2 枕簧

Fig. 2 Bolster spring

2 基于点云处理的枕簧高度测量方法

2.1 测量方法流程

利用快照式传感器采集枕簧点云数据,先对点云数据进行简化、降噪等预处理。对预处理后的点云数据进行平面拟合,通过计算端面与基准面拟合平面之间的距离得到枕簧高度,整体流程如图 3 所示。

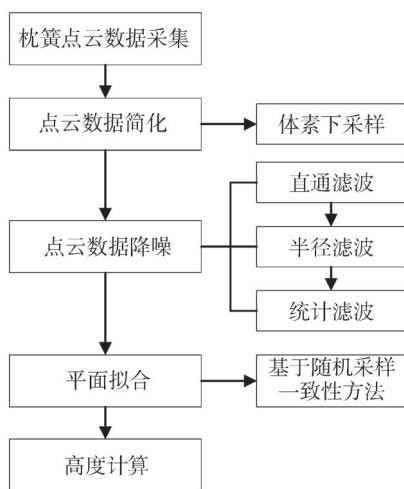


图 3 测量方法流程图

Fig. 3 Flow chart of measurement method

2.2 预处理

2.2.1 点云下采样

快照式传感器采集到的点数可达几十万,直接利用初始点云数据计算效率较低,还会影响处理结果的准确性,因此需要减少点云的数量,提高后续处理的效率及准确性。本文使用常用的点云简化方法对得到的枕簧点云数据进行精简,通过对比每种方法的简化效果,选取最合适的简化方法,利用不同方法对枕簧点云数据的简化结果如图 4 所示。其中,随机下采样、均匀下采样和最远点下采样方法设置为下采样至原点云数量的 1/10,为了比较不同下采样方法的简化效果,对体素下采样和曲率下采样方法分别设置合理的体素格大小和采样密度,使得简化后的点云数量与前 3 种方法简化后的点云数量接近,也大致下采样至原始点云数量的 1/10。

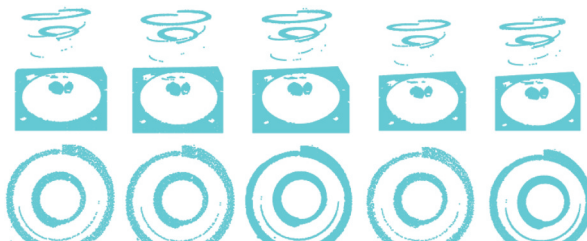


(a) 均匀下采样 (b) 随机下采样 (c) 体素下采样 (d) 曲率下采样 (e) 最远点下采样

图 4 下采样至原始点云数量 1/10

Fig. 4 Downsample to 1/10 number of origin clouds

由图 4 可以看出,当下采样至原点云数量的 1/10 时,每种方法的简化效果大致相同,特征保持也都比较完整,但是点云的数量依旧比较庞大,继续对点云的数量进行精简,下采样至原始点云数量的 1/50,结果如图 5 所示。



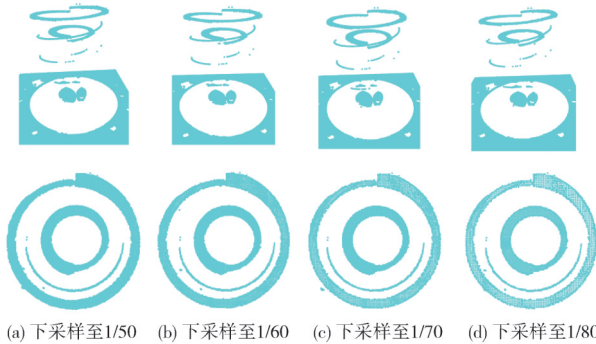
(a) 均匀下采样 (b) 随机下采样 (c) 体素下采样 (d) 曲率下采样 (e) 最远点下采样

图 5 下采样至原始点云数量 1/50

Fig. 5 Downsample to 1/50 number of origin clouds

由图 5 可以看出,均匀下采样、随机下采样、曲率下采样方法下采样至原始点云数量的 1/50 时,点云数据出现大量的孔洞,枕簧端面的细节特征也有不同程度的破坏。利用体素下采样方法和最远点下

采样方法精简后的点云数据细节保留都很完整,但是最远点下采样会导致点云密度不均匀,在一些区域有较多的采样点,而在其他区域则没有足够的采样点,从而影响点云的完整性,因此,本文选择体素下采样方法对转向架钢簧点云数据进行精简。继续利用体素下采样方法对点云数据进行简化处理,将点云数据降采样至原始点云数量的1/60, 1/70, 1/80,并对不同下采样比例后的效果进行对比,选择合适的比例对点云数据进行简化,如图6所示。



(a) 下采样至1/50 (b) 下采样至1/60 (c) 下采样至1/70 (d) 下采样至1/80
图6 不同下采样比例简化效果

Fig. 6 Simplified effect of different downsampling proportions

由图6可以看出,随着下采样比例的改变,端面点云数据开始出现孔洞,即点云的特征信息丢失,因此,为了在简化数据的同时能够保留点云细节特征,选择利用体素下采样方法将点云数据简化为原始点云数据的1/50。

2.2.2 点云降噪

受快照式传感器本身的误差、枕簧的结构及光照环境等因素的影响,获取的枕簧点云数据难免产生噪声,噪声对点云数据的处理结果影响较大,因此需要降噪处理。本文结合半径滤波、统计滤波和直通滤波方法进行降噪处理,可以达到较好的效果。

本文所提枕簧高度测量方法只需要保留点云的端面和基准面,因此有大量的点需要剔除。直通滤波的原理为选择 X , Y , Z 某一方向,确定在这一方向的一个范围,遍历枕簧点云数据,对上述设定范围内的点云数据进行保留或剔除。由于本文研究枕簧高度的测量,因此主要考虑 Z 方向上的信息,并且该研究所用枕簧高度都大于50 mm,点云数据最低处 $Z=0$,因此选择将 $5\text{ mm} < Z < 45\text{ mm}$ 内的点云进行剔除。直通滤波的目的是对点云进行粗降噪,能够将介于最低点和枕簧端面之间的一部分无用点云进行剔除,因此阈值的选取条件较为宽松,后续利用统计滤波、半径滤波对仍然存在的噪声进行精剔除。直通滤波可以快速去除大量噪声,但是参数的

选取较为困难,而统计滤波及半径滤波处理效率相对较慢,但是能够选择合适的参数阈值得到较好的降噪效果。因此,本文综合考虑处理速度和效果,选择利用直通滤波进行一部分点云噪声的剔除,利用统计滤波、半径滤波处理剩余噪声。对经过体素滤波处理的点云数据进行直通滤波后的效果如图7所示。



图7 直通滤波处理

Fig. 7 Through filter processing

由于点云数据是无规则的,直接对点云数据进行处理会增加计算负担,影响降噪效率。因此,通过构建 k - d 树数据结构,任意给定一个初始点,利用最近邻搜索算法找到枕簧点云数据中与初始点距离最近的点^[13]。统计滤波的流程如下:

i) 对直通滤波后的枕簧点云数 $P(P_1, P_2, \dots, P_n)$,构建点云数据的 k - d 树结构。

ii) 计算任一点与 k 邻域内的点之间的距离 S_i ,均值 μ 和标准差 σ ,点云中所有点之间的距离构成高斯分布。设点云中第 n 个点的坐标为 $P_n(X_n, Y_n, Z_n)$,该点到任意一点 $P_m(X_m, Y_m, Z_m)$ 的距离为^[18]

$$S_i = \sqrt{(X_n - X_m)^2 + (Y_n - Y_m)^2 + (Z_n - Z_m)^2}, \quad (1)$$

式中: X_n, Y_n, Z_n 为 n 点的坐标值; X_m, Y_m, Z_m 为 k 邻域内任意一点的坐标值。

iii) 遍历计算每个点到任意点的平均距离为

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i. \quad (2)$$

iv) 标准差为

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - \mu)^2}, \quad (3)$$

式中: n 为 k 邻域范围内的点的数目。

设标准差倍数为 S_1 ,给定邻域点个数 k 和标准差倍数 S_1 ,如果 S_i 在 $(\mu - \sigma \cdot S_1, \mu + \sigma \cdot S_1)$ 范围内,则进行保留;不在该范围内的点被当作噪点进行剔除。统计滤波流程图如图8所示。

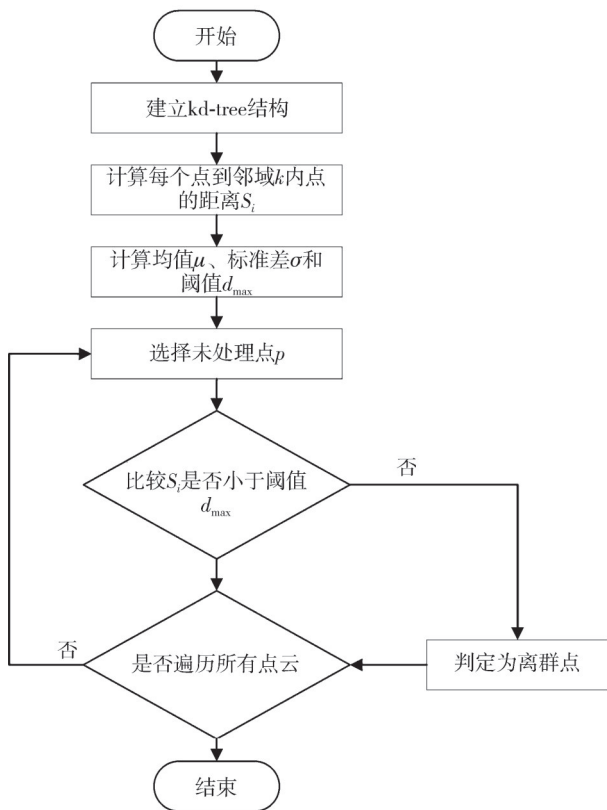


图 8 统计滤波流程图

Fig. 8 Statistical filter flow chart

通过设置不同的邻域点数 N_b 和标准差倍数 S_i , 对直通滤波后的枕簧点云数据进行降噪处理。首先确定 S_i 的值, 当 S_i 的值选取过小时会导致点云数据中的特征信息丢失, 当 S_i 的取值过大时, 只有一部分离群点能够被剔除, 达不到降噪的目的。因此, 分别选取 $S_i=4, N_b=20$; $S_i=5, N_b=20$; $S_i=6, N_b=20$ 对点云数据进行处理, 效果如图 9 所示。

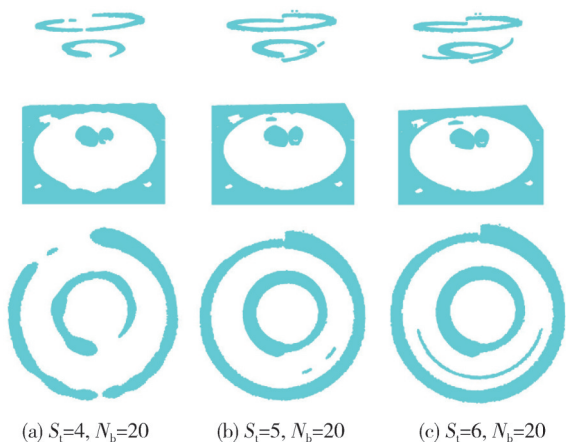


图 9 不同标准差倍数滤波效果对比图

Fig. 9 Comparison of filtering effect of different standard deviation multiples

可以看出, 当 $S_i=5, N_b=20$ 时去噪效果较好, 所以取 $S_i=5$ 。然后确定 N_b 的值, $S_i=5, N_b=20$; $S_i=5, N_b=30$; $S_i=5, N_b=40$ 时的去噪效果如图 10 所示, 可以看出当 $S_i=5, N_b=30$ 时的去噪效果最好, 且细节特征保留最为完整, 因此取 $N_b=30$ 。其中选取的所有参数如表 1 所示。

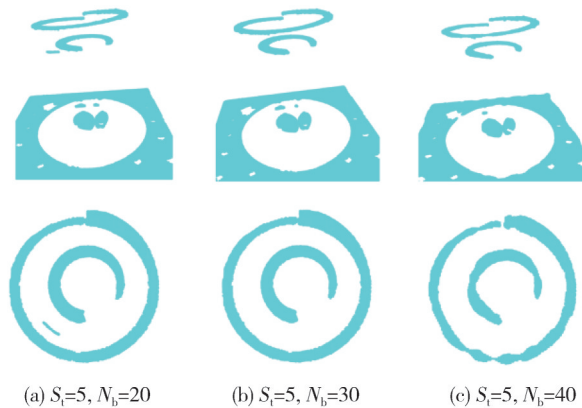


图 10 不同邻域点数滤波效果对比图

Fig. 10 Comparison of filtering effect of different neighborhood points

表 1 统计滤波参数选取

Tab. 1 Statistical filtering parameter selection

参数	数值选取				
S_i	4	5	6	5	5
N_b	20	20	20	30	40

利用统计滤波可以将离群噪声点剔除, 但是还有贴近端面点云的混杂噪声如图 11 所示。混杂噪声对测量精度有影响, 利用半径滤波对混杂噪声进行去除。半径滤波的原理为以点云数据中任意一点 o 为圆心, r 为半径, 得到一个球体, 计算这个球体内除 o 点以外的点的个数 a , 设置一个阈值 b , 如果球体内的点数 a 大于 b , 则保留点 o ; 若点数 a 小于 b , 则说明 o 点的邻域点数不符合给定阈值, 被当作噪声剔除。该方法需要确定阈值 r 和 b , 首先需要确定半径 r 的值, 由于点云数据密度较大, 因此较小的半径 r 内即包含大量点, 此处取 $r=2$ 。选取 $b=5, 15, 25$ 对数据进行处理, 处理效果如图 12 所示。对不同参数的选取如表 2 所示。经过半径滤波处理后, 混杂噪声基本被剔除, 对去噪后的枕簧枕面进行平面拟合。

表 2 半径滤波参数选取

Tab. 2 Radius filtering parameter selection

参数	数值选取		
r	2	2	2
b	5	15	25

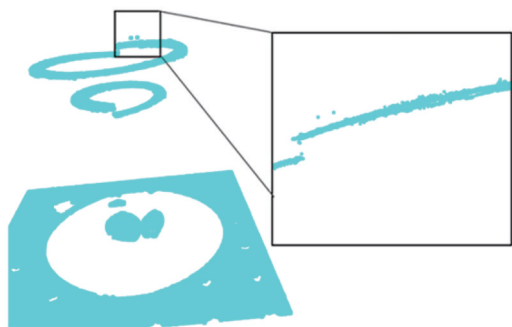


图 11 混杂噪声

Fig. 11 Hybrid noise

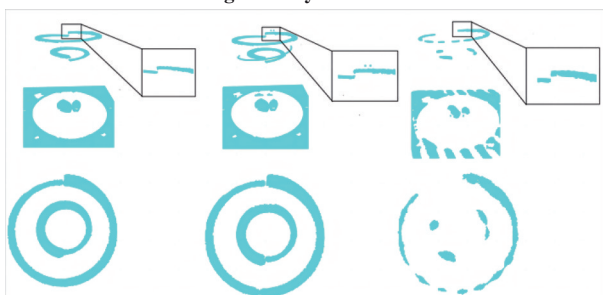


图 12 半径滤波处理

Fig. 12 Radius filtering processing

2.3 平面拟合

对经过点云精简、降噪预处理后的枕簧端面及基准面进行拟合,得到拟合后的平面方程用于枕簧高度的计算。本文采用基于RANSAC算法的平面拟合方法对枕簧端面及基准面进行拟合。实现流程如下:

i) 设平面方程的形式如式(4),由于对平面进行拟合至少需要3个点,因此首先随机选取3个点,对式(4)中的参数 A, B, C, D 进行求解

$$Ax + By + Cz + D = 0; \quad (4)$$

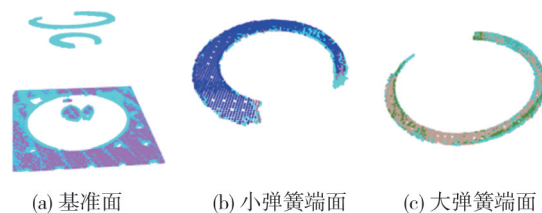
ii) 计算点云数据中剩余点到上述平面的距离,给定一个阈值 T ,将得到的距离与阈值 T 进行比较,小于阈值 T 的点即为处于同一平面的点;

iii) 给定一个阈值 e ,位于同一平面的点超过 e 个,则记为一个平面,并将构成这个平面的点进行标记,对剩余的点继续进行迭代;

iv) 迭代 N 次后找到的平面点数小于 e ,或者未被标记的点数小3个,迭代终止。

由于枕簧点云数据的底面部分比较平整,因此,给定一个较大的 e 值,此处取 $e=1\ 000$, $T=0.1\text{ mm}$,只得到一个拟合平面方程,并将其保存在txt格式的文件中。令得到的拟合平面作为基准面,如图13中紫色点即为拟合平面内的点,令该平面为 xoy 面,该平面的法向量方向为 Z 向,用于

后面的高度计算。



(a) 基准面 (b) 小弹簧端面 (c) 大弹簧端面

图 13 拟合平面

Fig. 13 Fitting plane

利用直通滤波剔除掉拟合完成的底面点,对小弹簧端面、大弹簧端面进行拟合,由于端面包含枕簧的特征,并且形状不规则,因此选用较小的 e 值,此处取 $e=1\ 000$, T 仍取 0.1 mm 来拟合小弹簧端面,获取多个枕簧端面的拟合平面。利用直通滤波剔除掉小弹簧端面后拟合大弹簧端面,平面拟合结果如图13所示,不同的颜色代表拟合出的不同平面,并将拟合出的平面方程保存在另一个txt格式的文件中。

由于枕簧向下弯曲的部分也会拟合出平面,直接利用拟合出的平面会导致枕簧高度的计算产生较大的误差。因此对拟合出的平面方程进行法向量判断,式(4)中的 A, B, C 即为拟合平面方程的法向量,拟合方程的法向量相等或成比例即认为拟合出的平面平行,将这些拟合平面保留用于枕簧高度的计算,将剩余拟合平面删除。

2.4 枕簧高度计算

利用式(5)及txt文件中拟合出的平面方程分别计算基准面与大弹簧端面、小弹簧端面拟合平面之间的距离,最终取所有计算结果的平均值为大弹簧和小弹簧的高度。原理如图14所示,基准面与小弹簧端面之间的距离为小弹簧的高度,基准面与大弹簧端面之间的距离为大弹簧的高度,计算结果如图15所示。

$$d = \frac{|D_1 - D_2|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}, \quad (5)$$

式中: D_1 和 D_2 分别为两个平面到原点的距离; A, B, C 为两个平面的法向量的分量。

以光学平台为基准面,利用高度卡尺对大弹簧和小弹簧进行测量,由于弹簧端面磨损并且弹簧有向下弯曲的趋势,因此,需要选取弹簧端面上的多个点进行测量来确定弹簧的最高点,以下简称端面上的不同点为端面点,大弹簧和小弹簧的高度测量分别如图16、图17所示。

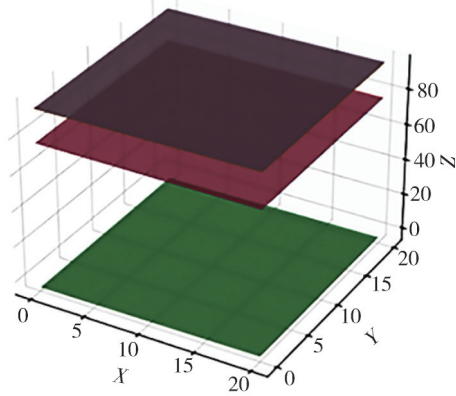


图 14 枕簧高度计算原理图

Fig. 14 Pillow spring height calculation schematic diagram

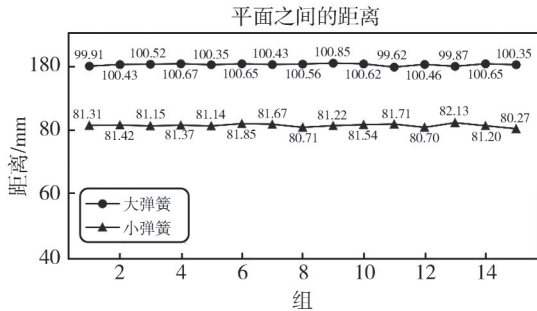


图 15 大、小弹簧高度计算结果

Fig. 15 Large and small spring height calculation results

大弹簧与小弹簧的高度测量结果如表 3 所示。由表 3 可得，弹簧不同端面点的高度不同，取最大端面点的值作为弹簧的高度，因此，大弹簧的高度为 100.77 mm，小弹簧的高度为 81.44 mm。

表 3 高度卡尺测量结果

Tab. 3 Height caliper measurement results

端面点	高度/mm			
	端面点 1	端面点 2	端面点 3	端面点 4
大弹簧	100.36	100.77	100.33	99.49
小弹簧	81.10	81.41	80.98	80.32

将本文方法得到的枕簧高度与利用高度卡尺所得到的枕簧高度进行对比，结果如表 4 所示。

由表 4 可以看出，本文所提方法的枕簧高度

表 4 本文方法与高度卡尺测量结果对比

Tab. 4 Comparison of this paper's method with height caliper measurements

	高度计算结果/mm				平均高度/mm	高度卡尺测量结果/mm	误差/mm
大弹簧	99.91	100.43	100.52	...	100.49	100.77	0.29
小弹簧	81.31	81.42	81.15	...	81.34	81.41	0.07

由表 5、表 6 的对比可以看出，利用本文方法计算出的不同枕簧高度与利用高度卡尺得到的结果误差均在 0.3 mm 以内，具有较好的适用性。利用高度卡尺对每组枕簧进行测量需要 5~10 s，利用本文所提方法进行检测所需的时间为平均每组

测量结果与利用高度卡尺所得结果的误差在 0.3 mm 以内，能够满足现有检修规程要求。

对不同高度、直径的多组枕簧进行点云采集，利用本文所提方法对点云数据进行处理，如图 18 所示。

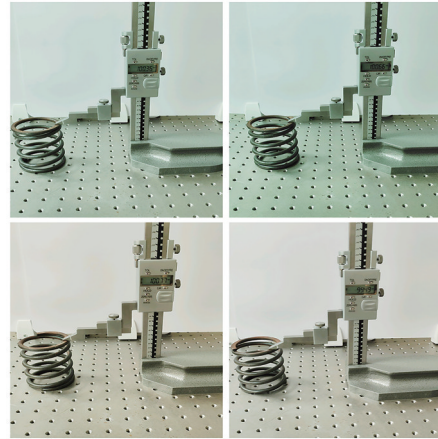


图 16 大弹簧高度卡尺测量示意图

Fig. 16 Large spring height caliper measurement diagram

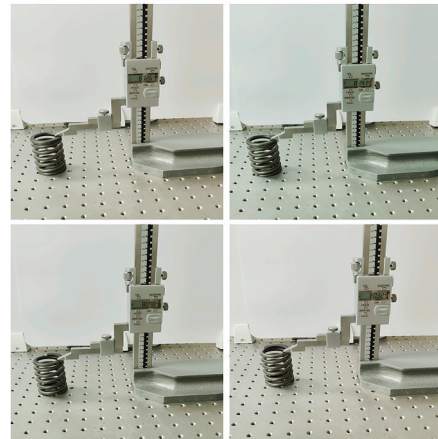


图 17 小弹簧高度卡尺测量示意图

Fig. 17 Small spring height caliper measurement diagram

对处理后的点云数据进行计算，并与利用高度卡尺得到的结果进行对比，如表 5、表 6 所示。

枕簧 2.9 s，在满足检修规程要求的同时检测效率也有较大提升。

并对同一组枕簧进行多次测量，利用式(6)计算其相对标准偏差以验证改方法的稳定性。结果如表 7、表 8 所示。

$$R_{SD} = \frac{S_D}{A_M} \times 100\%, \quad (6)$$

式中: S_D 为标准偏差; A_M 为计算结果的算数平均值。

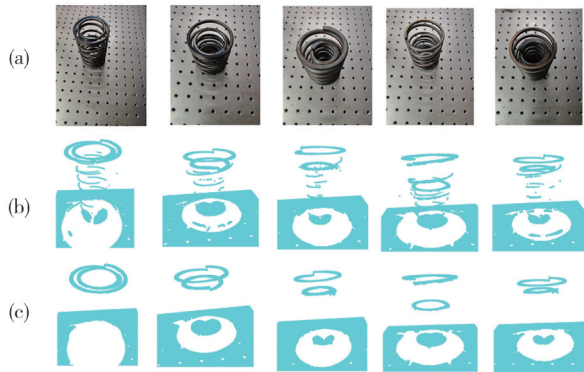


图 18 不同枕簧点云数据采集和处理

Fig. 18 Different pillow spring point cloud collection and processing

表 5 不同尺寸大枕簧高度测量结果

Tab. 5 Measurement results of different sizes of large pillow springs

方法	大弹簧高度/mm				
	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组
本文方法	121.14	101.71	83.73	92.64	101.75
高度卡尺	120.96	101.92	83.89	92.80	101.92

表 6 不同尺寸小弹簧高度测量结果

Tab. 6 Measurement results of different sizes of small pillow springs

方法	小弹簧高度/mm				
	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组
本文方法	121.06	82.64	71.59	59.22	83.59
高度卡尺	120.84	82.82	71.66	59.39	83.72

表 7 大弹簧高度多次测量结果

Tab. 7 Big pillow spring height measurement results

次数	大弹簧高度/mm				
	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组
1	121.14	101.71	83.73	92.64	101.75
2	120.98	101.85	83.92	92.68	101.86
3	121.05	101.90	83.85	92.86	101.79
4	120.90	101.86	83.78	92.75	101.95
5	121.12	101.70	83.65	92.82	101.80
相对标准偏差/%	0.082	0.091	0.125	0.099	0.076

表 8 小弹簧高度多次测量结果

Tab. 8 Small pillow spring height measurement results

次数	小弹簧高度/mm				
	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组
1	121.06	82.64	71.59	59.22	83.59
2	120.98	82.76	71.72	59.32	83.74
3	120.83	82.80	71.63	59.26	83.63
4	120.90	82.73	71.65	59.38	83.66
5	120.93	82.85	71.56	59.28	83.70
相对标准偏差/%	0.071	0.095	0.085	0.103	0.070

根据中国质量协会规定,测量系统重复性小于10%表示测量系统良好,重复性大于10%且小于30%

表示测量系统能力处于临界状态,重复性大于30%表示测量系统能力不足。由表7、表8可以看出,枕簧高度测量结果的相对标准偏差即重复性远小于规定要求,因此该方法具有较好的稳定性。

3 结论

本文利用快照式传感器得到枕簧点云数据,通过对常用的点云精简算法对点云数据的精简效果、特征保留能力,选用体素滤波对点云数据进行精简;综合直通滤波、半径滤波和统计滤波对点云数据进行降噪处理;利用RANSAC算法拟合预处理后的枕簧端面 and 基准面,通过拟合出的平面方程计算得到枕簧的高度。与高度卡尺测量的枕簧高度进行对比分析,测量误差小于0.3 mm,在规定范围内,具有较好的稳定性及适用性,并且该方法在测量过程中不需要接触枕簧,能够减少接触带来的磨损。本文仍然存在一些不足之处,对于阈值的选取需要进行多次试验确定,易受主观因素影响,后续可以根据点云密度及点云之间的距离等特征进行自适应参数选取的研究,提高算法的适用性。

参考文献:

- [1] 段乐. 枕簧智能检测系统[J]. 中国新技术新产品, 2017(24): 32-33.
DUAN Le. Intelligent detection system of pillow spring [J]. New Technology & New Products of China, 2017(24): 32-33. (in Chinese)
- [2] LIU H, JIANG B, LI D, et al. Measurement method of pillow spring based on machine vision[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1986(1): 012118.
- [3] 王永胜, 宋铁民. 基于线结构光的枕簧三维图像测量系统研究[J]. 铁道车辆, 2021, 59(5): 92-94.
WANG Yongsheng, SONG Tiemin. Study on three-dimensional image measurement system of bolster spring based on line structured light [J]. Rolling Stock, 2021, 59(5): 92-94. (in Chinese)
- [4] 李传翔, 杨兵, 杨顺. 铁路货车转向架弹簧视觉检测及机器人智能选配系统研究[J]. 铁道机车车辆, 2021, 41(6): 35-39.
LI Chuanxiang, YANG Bing, YANG Shun. Research on visual inspection and robot intelligent matching system for bogie-spring of railway freight wagon [J]. Railway Locomotive & Car, 2021, 41(6): 35-39. (in Chinese)
- [5] 成奇龙, 郭锐. 基于点云处理的弹簧参数测量[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2022(12): 136-138.

- CHENG Qilong, GUO Rui. Spring parameter measurement algorithm based on point cloud processing [J]. *Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique*, 2022(12): 136-138. (in Chinese)
- [6] 王志远, 刘桓龙, 刘威. 基于三维激光点云的枕簧几何尺寸测量方法[J]. *中国激光*, 2023, 50(19): 78-89.
- WANG Zhiyuan, LIU Huanlong, LIU Wei. Geometric dimension measurement method for bolster spring based on three-dimensional laser point clouds [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2023, 50(19): 78-89. (in Chinese)
- [7] 朱开源, 陆永华, 冯强, 等. 洗衣机装配缝隙与阶差测量系统设计[J]. *测试技术学报*, 2024, 38(4): 378-386.
- ZHU Kaiyuan, LU Yonghua, FENG Qiang, et al. Design of gap and flush measurement system for washing machine assembly [J]. *Journal of Test and Measurement Technology*, 2024, 38(4): 378-386. (in Chinese)
- [8] 张亚南. 基于激光扫描的管廊几何参数自动化检测研究[J]. *电力勘测设计*, 2024(5): 73-78.
- ZHANG Yanan. Research on automatic measurement of geometric parameters of pipe gallery based on laser scanning [J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*. 2024(5): 73-78. (in Chinese)
- [9] 陈慧, 杨朋卫, 韩潇. 基于三维激光点云的地铁隧道特征提取方法研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2024, 47(5): 183-187.
- CHEN Hui, YANG Pengwei, HAN Xiao. Research on the method of feature extraction in subway tunnels based on three-dimensional laser point clouds [J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2024, 47(5): 183-187. (in Chinese)
- [10] 马智睿, 朱金薇, 耿靖源, 等. 基于三维激光点云的固体火箭发动机喷管零部件尺寸测量方法研究[J]. *固体火箭技术*, 2024, 47(2): 278-284.
- MA Zhirui, ZHU Jinwei, GENG Jingyuan, et al. Research on dimensional measurement method of SRM nozzle parts based on 3D laser point cloud [J]. *Journal of Solid Rocket Technology*, 2024, 47(2): 278-284. (in Chinese)
- [11] 杨洋, 李明. 基于混合滤波和DBSCAN的点云去噪算法[J]. *计量与测试技术*, 2020, 47(4): 24-27.
- YANG Yang, LI Ming. A point cloud denoising method based on a hybrid filtering and density clustering algorithm [J]. *Metrology & Measurement Technique*, 2020, 47(4): 24-27. (in Chinese)
- [12] 焦亚男, 马杰, 钟斌斌. 一种基于尺度变化的点云并行去噪方法[J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2021, 54(3): 277-282.
- JIAO Yanan, MA Jie, ZHONG Binbin. Point cloud parallel de-noising algorithms based on scale change [J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2021, 54(3): 277-282. (in Chinese)
- [13] 赵涵, 刘永生, 赵德鹏, 等. 基于混合滤波的点云去噪算法研究[J]. *应用激光*, 2023, 43(9): 147-155.
- ZHAO Han, LIU Yongsheng, ZHAO Depeng, et al. Research on pointcloud denoising algorithm based on hybrid filtering [J]. *Applied Laser*, 2023, 43(9): 147-155. (in Chinese)
- [14] 聂济刚, 刘建伟, 李洪盛. 基于三维激光点云的巷道断面提取及变形检测方法[J]. *煤炭技术*, 2024, 43(6): 105-108.
- NIE Jigang, LIU Jianwei, LI Hongsheng. Roadway section extraction and deformation detection method based on 3D laser cloud [J]. *Coal Technology*, 2024, 43(6): 105-108. (in Chinese)
- [15] 苏永利, 陈平. 基于毫米波雷达的运动目标点云聚类 and 扩展算法 [J]. *测试技术学报*, 2024, 38(2): 170-178.
- SU Yongli, CHEN Ping. Cluster and expansion algorithm for moving object point cloud based on millimeter-wave ladar [J]. *Journal of Test and Measurement Technology*, 2024, 38(2): 170-178. (in Chinese)
- [16] 王雪妮, 彭飞, 王中, 等. 一种基于线激光扫描的V型焊接坡口尺寸检测方法[J]. *船舶工程*, 2024, 46(2): 99-105.
- WANG Xueni, PENG Fei, WANG Zhong, et al. A detection method for V-type welding based on line laser scanning [J]. *Ship Engineering*, 2024, 46(2): 99-105. (in Chinese)
- [17] 李屹, 董思奇, 史岩, 等. 基于激光点云数据的排水管道形变类缺陷定量检测技术 [J]. *工程地球物理学报*, 2024, 21(1): 54-61.
- LI Yi, DONG Siqu, SHI Yan, et al. Quantitative detection technology for pipeline deformation defects based on laser point cloud data [J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 2024, 21(1): 54-61. (in Chinese)
- [18] 周海燕, 杨悦, 刘阳春, 等. 基于激光雷达的作物收获导航线实时提取方法研究 [J]. *农业机械学报*, 2023, 54(S1): 9-17.
- ZHOU Haiyan, YANG Yue, LIU Chunyang, et al. Real-time extraction of navigation line based on lidar [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2023, 54(S1): 9-17. (in Chinese)