

引文格式: 杨书哲. 基于动态阈值与小波变换的三维激光扫描数据去噪[J]. 北京测绘, 2019, 33(7): 843-846.

DOI: 10.19580/j.cnki.1007-3000.2019.07.023

# 基于动态阈值与小波变换的三维激光扫描数据去噪

杨书哲

(广东省核工业地质局测绘院, 广东 广州 510800)

**[摘要]** 三维激光扫描是一种可快速高精度进行非接触式量测的新技术,但由于仪器以及测量环境等因素的影响,其获取点云数据通常存在孤立的噪声点。小波变换是近年来发展的数学分支新领域,目前在众多领域中应用效果良好。引入小波变换并结合动态阈值进行扫描点云数据的孤立噪声点去除。结果表明,基于动态阈值的小波变换能有效滤除三维激光扫描点云孤立噪声点,去除噪声后的点云与真实情况更接近。

**[关键词]** 动态阈值; 小波变换; 三维激光扫描; 去噪

**[中图分类号]** P258

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1007-3000(2019)07-0843-4

## 0 引言

与传统量测技术相比,三维激光扫描技术具有快速、高精度和非接触式等优势,目前在隧道、矿山、水利和交通等众多领域已有广泛的应用<sup>[1-5]</sup>。然而受三维激光扫描仪仪器本身和量测环境等因素的影响,其获取的点云数据通常存在孤立的噪声点,如何消除噪声点是保障三维激光扫描结果质量的关键之一<sup>[6-8]</sup>。因此,研究三维激光扫描数据去噪具有重要的现实意义和理论价值。

小波变换是近年来发展的数学分支新领域,目前在众多领域中应用效果良好<sup>[9-12]</sup>。陈光武等<sup>[13]</sup>基于小波变换提出了一种改进的滤波方法,并应用于去除 MEMS 陀螺仪测量噪声,提高了其量测精度;肖静等<sup>[14]</sup>利用小波变换对噪声信号与非噪声信号进行分离,并采用试验仿真对比了中值滤波、双边滤波与小波变换的去噪效果,结果表明小波变换具有更高的 PSNR 值以及 SSIM 值,去噪效果更好;毛玉星等<sup>[15]</sup>指出当噪声强度较大时采用非局部均值滤波去噪效果不理想,若先进行小波变换再进行非局部均值滤波效果具有显著提升;地震信号具有信噪比低和有效信号

弱等特点,欧阳敏等<sup>[16]</sup>采用小波分析与 CEEMD 联合去噪获取了高质量的地震数据。

综上所述,小波变换对信号去噪效果明显,然而目前应用小波变换对点云数据去噪的研究尚比较少。因此,本文引入小波变换进行点云数据滤波处理。

## 1 三维激光扫描系统

三维激光扫描技术是目前精度最高的非接触式全自动立体扫描技术,是目前最先进的获取空间多目标三维数据量测技术,可方便的进行各种大型、不规则和复杂的实体三维数据采集,进而重构其线面体及空间等制图数据。

三维激光扫描仪(Laser Scanner, LS)获取数据为全离散式的矢量距离点。三维激光仪发射的激光脉冲信号经物体表面反射后为接收器接收,以激光发射点为原点,其扫描点的立体坐标可描述为,

$$\begin{cases} X = S \cos \theta \cos \alpha \\ Y = S \cos \theta \sin \alpha \\ Z = S \sin \theta \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $S$  为目标点与发射点间距离;  $\theta$  为目标点与发射点连线与竖向线的夹角;  $\alpha$  为目标点与发射

**[收稿日期]** 2019-03-24

**[作者简介]** 杨书哲(1986—),男,江西九江人,大学本科,工程师,从事测绘与地理信息系统工程的生产研究工作。

**E-mail:** pr7mwm@163.com

点连线水平投影线与其垂线的夹角。

## 2 小波分析

小波变换去噪原理为不同尺度信号小波系数均具有较强的相关性而噪声小波系数相关性较弱。小波变换定义为<sup>[10]</sup>

$$W_f(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi_{ab}(t) dt \quad (2)$$

其逆变换为

$$f(t) = \frac{1}{C_\Psi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} a^{-2} W_f(a, b) \Psi_{(a,b)}(t) da db \quad (3)$$

其中

$$C_\Psi = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega \quad (4)$$

小波分析数据分解流程如图1所示,三维激光扫描数据经小波分析逐级处理后,噪声点逐渐被去除,说明采用小波分析进行噪声去除是有效的。

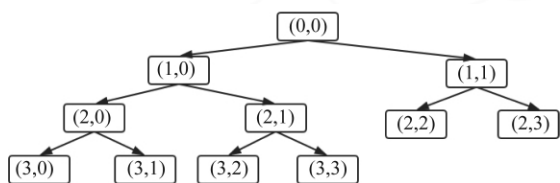


图1 小波分析的数据分解过程

## 3 动态阈值

小波分析去除三维激光扫描数据噪声,其关键为去噪阈值的选择,采用相同的去噪阈值,难以多变的噪声类型。为提高三维激光扫描数据质量,引入动态阈值,建立基于动态阈值的小波分析去噪,其表达式为

$$T(w) = \begin{cases} w, & |w| > \alpha T \\ \text{sign}(w), & |w| \leq T \\ 0, & T \leq |w| \leq \alpha T \end{cases} \quad (5)$$

式中, $w$ 和 $T(w)$ 分别为进行动态阈值处理前后的小波系数。

## 4 精度评价指标确定

本文模型模拟结果评价指标体系采用均方根误差(RMSE)、相对均方根误差(RRMSE)、模型效率系数( $E_m$ )和决定系数( $R^2$ )综合分析精度,具体公式如下。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (Y_i - X_i)^2} \quad (6)$$

$$\text{RRMSE} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (Y_i - X_i)^2}}{\bar{X}} \quad (7)$$

$$E_m = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2} \quad (8)$$

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (9)$$

式中, $Y_i$ 为不同方法处理值; $\bar{Y}$ 为其平均值; $X_i$ 为测得的标准值; $\bar{X}$ 为 $X_i$ 的平均值; $m$ 为数据样本数。RMSE和RRMSE越小,表明该方法误差越小; $E_m$ 和 $R^2$ 越接近1,表明该方法精度越高。

由于评价指标过多,单一的评价指标对许多具有不同统计指标的模型进行排序或比较是很困难的,因此引入GPI指数对模型模拟结果进行综合评价。在计算时需对所有指标的值都进行了缩放,以防止任何特定统计指标出现显著影响,GPI指数的计算公式如下:

$$\text{GPI}_i = \sum_{j=1}^4 \alpha_j (g_j - y_{ij}) \quad (10)$$

式中, $\alpha_j$ 为常数, RMSE和RRMSE取1,  $E_m$ 和 $R^2$ 取-1;  $g_j$ 为不同指标的缩放值的中位数;为不同指标的尺度值。

## 5 处理结果与分析

将三维激光扫描点云数据导出,分别绘制未处理、高斯去噪处理和本文方法去噪处理等高线如图2所示。可知,未处理的三维激光扫描数据生成的等高线图含有较多的噪声点,导致其图形杂乱。经高斯去噪处理后,生成的等高线图质量明显提升,但仍存在局部噪声难以去除以及非噪声点被去除的问题。本文提出的基于动态阈值的小波分析处理后的三维激光扫描点云数据生成的等高线图质量明显优于传统常采用的高斯方法,去噪效果良好。因此,本文提出的动态阈值与小波变换的三维激光扫描数据去噪方法是有效的,且其去噪效果优于传统采用的高斯去噪法。

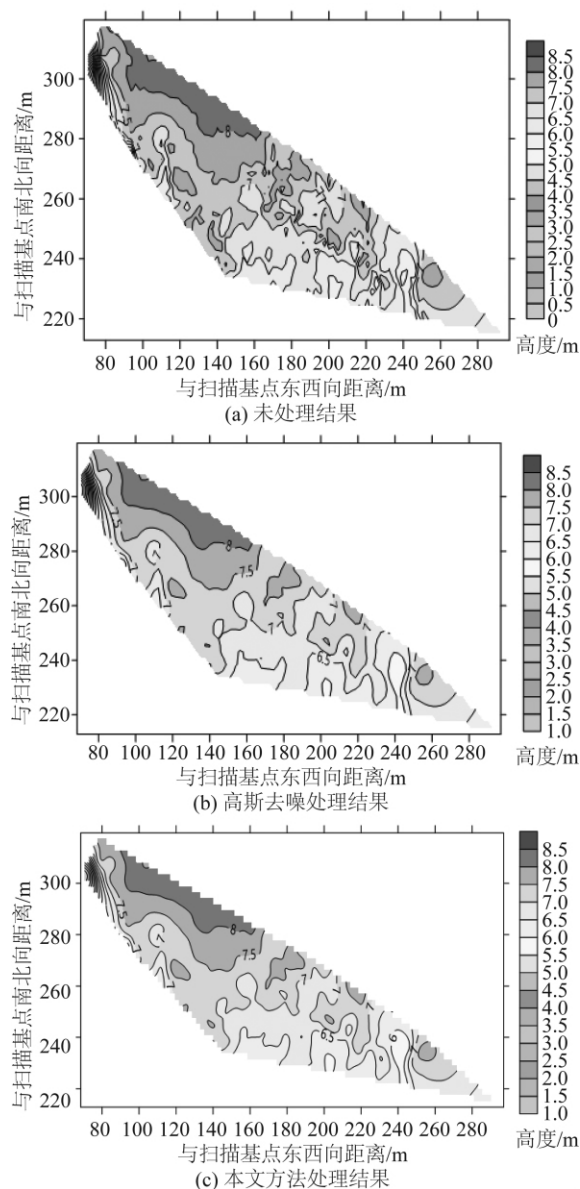


图 2 不同方法去噪处理等高线图

绘制在不同方法下的去噪处理云图,结果见图 3。

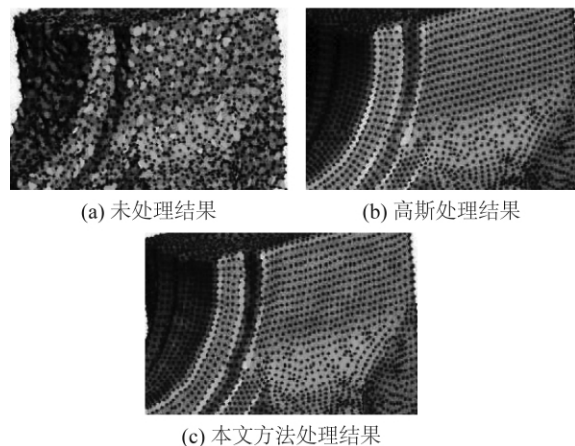


图 3 不同方法去噪处理云图

由图 3 结果可知,云图结果与前文结果基本一致,未处理的三维激光扫描数据生成的等高线图含有较多的噪声点,云图相对杂乱。经高斯去噪处理后,生成的等高线图质量明显提升,但仍存在局部噪声难以去除以及非噪声点被去除的问题。本文方法明显优于传统常采用的高斯法,去噪效果良好。

为定量分析本文方法处理点云的去噪效果,对采用未处理、本文方法处理和高斯法处理后点云的测量精度进行统计<sup>[17]</sup>,统计结果如表 1 所示。可知,经本文算法去噪后点云测量精度明显优于未进行处理的数据和高斯去噪的数据,高斯去噪处理后点云测量精度提升 5.7%,本文方法去噪处理后点云测量精度提升 6.9%。

表 1 测量精度分析

方法	测量精度/%	提升率/%
未处理	90.48	—
高斯去噪处理	95.65	5.7
本文方法去噪处理	96.72	6.9

为进一步分析不同处理方法的精度,本文计算了不同的精度指标,以此说明不同方法的精度,结果见表 2。由表 2 可以看出,未处理时的精度普遍较低,RMSE 达到了 5.201 m,而 RRMSE 达到了 0.384,  $E_{ns}$  和  $R^2$  的值较低,且与标准值的相关性较低,并未达到显著水平( $P>0.05$ ),高斯去噪处理和本文处理方法的精度较高,RMSE 和 RRMSE 的值较低,而  $E_{ns}$  和  $R^2$  与标准值的相关性达到了极显著水平( $P<0.01$ ),本文方法的  $E_{ns}$  低于高斯处理,而其余指标均优于高斯去噪处理,综合比较 3 种方法的 GPI 指数而知,本文方法为精度最高的方法。

表 2 不同方法精度指标对比

计算模型	RMSE/ m	RRMSE	$E_{ns}$	$R^2$	GPI 指数
未处理	5.201	0.384	0.505	0.516	-0.17
高斯 去噪处理	2.899	0.213	0.847**	0.904**	0.13
本文方法 去噪处理	2.809	0.207	0.840**	0.913**	0.20

注:\*\* 表明处理值与标准值达到了极显著水平( $P<0.01$ )。

## 5 结束语

为找出去噪处理的最优方法,本文基于三维

激光扫描数据噪声特点提出了基于动态阈值的小波变换去噪方法,该方法能较好的去除三维激光扫描数据噪声点,生成质量较高的等高线图,本文方法的等高线图明显优于高斯去噪处理和未处理的情况;对比分析了基于动态阈值的小波变换去噪方法与目前常采用的高斯去噪法,比较不同方法的精度指标可知,本文方法可保证去噪处理具有较低的 RMSE 和 RRMSE 的值和较高的  $E_{ns}$  和  $R^2$  的值,同时本文方法较高斯去噪方法和未处理结果的 GPI 值最高,表明本文提出的方法去噪效果更理想。

### 参考文献

- [1] 郑俊,杨志强,张凯南. 基于三维激光扫描数据的建筑物建模研究[J]. 北京测绘, 2018, 32(7): 773-777.
- [2] FEKETE S, DIEDERICH S M. Integration of Three-Dimensional Laser Scanning with Discontinuum Modelling for Stability Analysis of Tunnels in Blocky Rockmasses[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2013, 57(1): 11-23.
- [3] CAU N, GALLI M, CIMOLIN V, et al. Quantitative Comparison between the Laser Scanner Three-dimensional Method and the Circumferential Method for Evaluation of Arm Volume in Patients with Lymphedema[J]. Journal of Vascular Surgery Venous & Lymphatic Disorders, 2018, 6(1): 96.
- [4] 刘哲,薛洋,刘科,等. 适用于准动态 GPS 与三维激光扫描联合定位精度测试的小区域基准网建立[J]. 北京测绘, 2018, 32(7): 778-781.
- [5] 徐教煌,王嘉伟. 三维激光扫描技术在地铁圆形盾构隧道检测中的应用[J]. 北京测绘, 2018, 32(6): 674-680.
- [6] 邓辉,蓝秋萍,廖威,等. 基于法向偏差的隧道点云去噪算法[J]. 测绘工程, 2018, 27(1): 59-63.
- [7] 秦亚光,罗周全,汪伟,等. 采空区三维激光扫描点云数据处理技术[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2016, 37(11): 1635-1639.
- [8] 冯发杰,刘会武. 基于 KNNS-ICP 拉近算法的三维激光扫描隧道变形分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2014, 34(6): 167-172.
- [9] 元宝莹. 基于小波变换的 CORS 站坐标时间序列周期性分析[J]. 北京测绘, 2019, 33(2): 232-236.
- [10] 崔腾飞,许章平,刘成洲,等. 基于小波分析的神经网络基坑变形预测模型[J]. 北京测绘, 2018, 32(3): 273-277.
- [11] ASHRAF R, AHMED M, JABBAR S, et al. Content Based Image Retrieval by Using Color Descriptor and Discrete Wavelet Transform. [J]. Journal of Medical Systems, 2018, 42(3): 44.
- [12] 万正忠. 基于小波变换的 GNSS 单差观测序列周跳探测方法[J]. 北京测绘, 2018, 32(3): 269-272.
- [13] 陈光武,刘孝博,王迪,等. 基于改进小波变换的 MEMS 陀螺信号去噪算法[J]. 电子与信息学报, 2019(5): 1-7.
- [14] 肖静,游世辉. 基于小波变换的发动机表面缺陷图像去噪方法的研究[J]. 表面技术, 2018, 47(12): 328-333.
- [15] 毛玉星,李超,贾海威. 基于小波预处理及自适应权函数的非局部均值滤波算法[J]. 小型微型计算机系统, 2018, 39(12): 2694-2698.
- [16] 欧阳敏,王大为,李志娜,等. 基于压缩感知的小波阈值和 CEEMD 联合去噪方法[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(2): 615-621.
- [17] 仲照东,任子炎,陈刚,等. 三维激光扫描技术的地形测绘研究[J]. 激光杂志, 2018, 39(7): 92-95.

## Denoising of 3D Laser Scanning Data Based on Dynamic Threshold and Wavelet Transform

YANG Shuzhe

(Surveying and Mapping Institute of Guangdong Nuclear Industry Geological Bureau,  
Guangzhou Guangdong 510800, China)

**Abstract:** Three-dimensional laser scanning is a new technology for non-contact measurement with high speed and accuracy. However, due to the influence of instruments and measurement environment, there are usually isolated noise points in obtaining point cloud data. Wavelet transform is a new branch of mathematics developed in recent years, and it has been applied in many fields with good results. Wavelet transform and dynamic threshold are introduced to remove isolated noise points from scanned point cloud data. The results show that the wavelet transform based on dynamic threshold can effectively filter the isolated noise points of point cloud in three-dimensional laser scanning, and the point cloud after noise removal is closer to the real situation.

**Key words:** dynamic threshold; wavelet transform; three-dimensional laser scanning; denoising