

文章编号: 0494-0911(2011)03-0004-03

中图分类号: P204

文献标识码: B

基于三维激光扫描技术的曲面变形监测

王婷婷¹, 靳奉祥¹, 单 瑞²

(1. 山东科技大学 测绘学院, 山东 青岛 266510; 2. 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

Surface Deformation Monitoring Using 3D Laser Scanning Technique

WANG Tingting, JIN Fengxiang, SHAN Rui

摘要: 研究采用双三次插值方法对点云数据拟合曲面函数, 建立曲面模型, 并通过多期观测建立的模型获取测区的整体变形信息。试验结果表明, 在地表实测点处此方法获取的沉降值与传统水准测量方法测定的沉降值比较吻合, 三维激光扫描技术在地表变形监测中具有较高的实用价值。

关键词: 三维激光扫描测量; 点云数据; 变形监测; 双三次插值; 曲面拟合

一、引言

从传统的大地测量技术到 GPS 技术, 地表沉降监测技术手段的相关方法及理论研究都已经比较深入, 但这些技术都是对有限的测点进行观测。地面三维激光扫描技术则改变了传统的单点变形观测, 使传统的“点测量”方式变为“形测量”方式, 因此, 将其引入到变形监测领域具有现实意义。

国内外对该技术应用用于变形监测领域已进行了一定的研究, 文献 [1] 介绍了应用三维激光扫描技术提取变形信息的两种方法, 即提取标志的坐标变化和基于点云数据进行模型求差; 文献 [2] 中的试验说明提取变形前后标志的坐标变化可满足变形监测的精度; 文献 [3] 在滑坡监测实例中表明, 基于点云数据进行模型求差的方法比传统方法获取的结果更符合事实, 具有较高的精度。

本文立足于该项技术用于地面变形监测的初步研究, 在实验室小场景下模拟局部地表变形的情况进行试验性探索。

二、点云数据处理原理与方法

1. 点云数据坐标系转换原理

在试验区域体积较大并存在遮挡情况时, 仅用一个测站进行数据采集, 其扫描范围不能将对象完全记录下来, 需要将多个测站的扫描数据拼接起来构成完整的模型。

对于点云拼接, 一般采取坐标系转换的方法。与三维激光扫描仪工作相关的坐标系主要有仪器

坐标系、统一坐标系和外部绝对坐标系三种^[4]。

本文利用 4 个目标球作为连接点, 将 2 个测站扫描的点云数据转换到某一个测站坐标系下, 即将仪器坐标系转化成统一坐标系。坐标系的转化采用七参数转换公式, 转换所需的 7 个参数的确定最少需要 3 个连接点。三维激光扫描仪配备的球形标志(如图 1 所示)由高反射材料做成, 对其进行高密度扫描后, 可自动提取中心坐标, 因此可用于坐标系转换的连接点。当连接点数较多时还可根据测量平差原理列立观测值的误差方程式, 组成并解算法方程, 求得转换参数^[5]。



图 1 球形标志

2. 点云数据曲面拟合原理

要分析整个盆地下沉情况, 需要对离散的点云数据拟合曲面。对于三维激光扫描仪采集到的数据 (x, y, z) , 将其表示为二维系统 $z = f(x, y)$ 。假设该二维系统对应的曲面为 S , 则该曲面是未知的, 需要根据已知点 (x, y, z) 重建曲面 S' , 使之与曲面 S 接近^[6]。

收稿日期: 2010-11-09

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2009AA12Z147)

作者简介: 王婷婷(1985—), 女, 山东邹平人, 硕士生, 主要从事现代测量数据处理理论及应用等方面的研究。

对于曲面重建,有多种插值方法。最邻近插值法最简单,所求的函数值与被插值点最邻近的节点函数值最接近,但是它一般不连续,形成的曲面比较突兀;双线性插值是由一片片的空间二次曲面构成的,对于有较大波动的情况,拟合的曲面不光滑,存在尖锐的地方;双三次插值拟合的曲面则较光滑。因此本文选取双三次插值的方法对点云数据进行曲面拟合。

双三次插值中,函数 f 在点 (x,y) 的值是通过矩形网格中最近的16个采样点的加权平均得到,可通过下式进行计算

$$f^*(x,y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{22}x^2y^2 + a_{30}x^3 + a_{03}y^3 + a_{31}x^3y + a_{13}xy^3 + a_{32}x^3y^2 + a_{23}x^2y^3 + a_{33}x^3y^3$$

三、曲面变形监测试验

1. 曲面的数据采集

试验采用 Trimble GX 三维激光扫描仪对某曲面进行三维激光扫描测量,并对获得的三维数据拟合曲面函数,建立曲面模型。

试验中,根据测区的特点及周围环境确定测站

数目为2个,球形标志为4个,并使扫描仪在2个测站位置都能观测。然后在每一测站上架设仪器对测区和球形标志进行高密度扫描。扫描完成后,破坏该曲面以模拟下沉,按照相同方式进行扫描。对2个测站的数据进行坐标系统一和杂点剔除后,得到该曲面的表面信息,如图2所示。

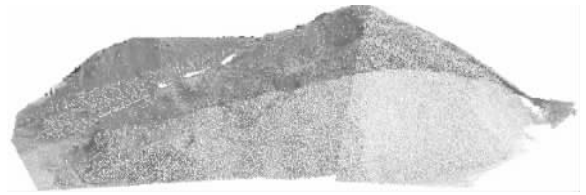


图2 曲面点云信息

同时,在整个试验区域平均布置13个实测点,在这些实测点位置放置一些木质垫片。当利用水准仪观测各实测点高程后,抽除这些垫片以模拟下沉以保证不破坏水准点位置,再次利用水准仪观测各实测点高程。

2. 数据曲面拟合

本次试验基于双三次插值曲面拟合的原理,应用最小二乘,对变形前后扫描的点云数据拟合的函数分别为

$$f^1(x,y) = 78.7210388797413 + 0.580391468193003x - 0.23784254191518y - 0.00559463976856478x^2 + 0.00576899672718723xy - 0.000966497247642972y^2 - 4.65016057365538e - 005x^2y + 3.26415984744921e - 005xy^2 - 1.37125900749877e - 007x^2y^2 + 1.59990213716754e - 005x^3 + 1.1858078656769e - 005y^3 + 2.42379593757471e - 008x^3y - 8.77986921097002e - 008xy^3 - 2.2653922935323e - 010x^3y^2 + 1.87895867587185e - 010x^2y^3 + 5.04149600538685e - 012x^3y^3$$

$$f^2(x,y) = 187.626098938599 - 2.48268664620939x + 7.50370175422549y + 0.0207234847270087x^2 - 0.1343620995754xy - 0.0563559034957731y^2 + 0.000739045191133637x^2y + 0.000583425492182424xy^2 + 2.94085522035744e - 006x^2y^2 - 5.42772689950829e - 005x^3 + 0.000520892941392227y^3 - 1.10878395305274e - 006x^3y - 8.6276615308498e - 006xy^3 - 3.18675556109934e - 008x^3y^2 + 2.37517898356775e - 008x^2y^3 + 9.46217852559889e - 011x^3y^3$$

利用拟合的函数建立曲面模型如图3所示。同时,对变形前后曲面模型的高程变化做出直观图,如图4所示。其中,安置的13个水准点部分标注在图中,曲面变形前后高程变化图中的各点与曲面拟合图中的点相对应。

3. 精度验证

利用 DS2 水准仪观测,采用四等水准测量,其

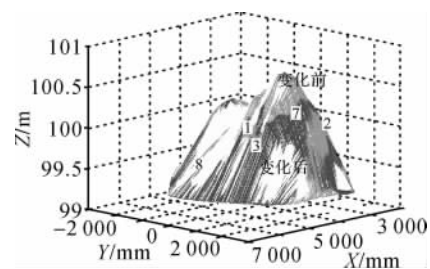


图3 变形前后的曲面拟合图

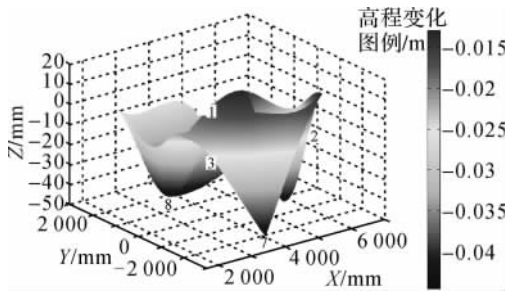


图4 曲面变形前后的高程变化图

每千米观测高差的中误差为 $\sigma_0 = \pm 3.0$ mm, 则水准仪观测的高程点的精度为 $m_1 = \frac{\sigma_0}{\sqrt{2}} = \pm 2.12$ mm。

对曲面选取的实测点, 利用水准仪进行变化前后的观测。其观测结果及应用扫描结果拟合的曲面函数求取的各实测点处高差如表1所示。

表1 水准仪观测高差及拟合函数求取的高差 mm

点号	观测高差	拟合高差	两种方法差值
1	-15	-17.154	-2.154
2	-27	-28.372	-1.372
3	-26	-25.511	0.489
4	-25	-26.899	-1.899
5	-23	-24.066	-1.066
6	-42	-41.829	0.171
7	-43	-43.315	-0.315
8	-43	-42.864	0.136
9	-43	-44.796	-1.796
10	-21	-20.103	0.897
11	-27	-26.788	0.212
12	-13	-13.921	-0.921
13	-16	-14.762	1.238

对两种方法在实测点处获取的高差值的差值进行计算, 可得均值 $\mu = -0.4908$ mm, 标准差为 $\sigma = \pm 1.1171$ mm。

4. 结果分析

利用三维激光扫描仪单次量测精度为 ± 10 mm, 应用双三次插值方法对其获取的点云数据拟合曲面函数时, 假设拟合点为 z'_i , 实际量测点为 z_i , 则各个点的拟合误差为 $v_i = z'_i - z_i$, 则可计算拟合精度为

$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n}} = \pm 6.84 \text{ mm}$$

因此, 应用双三次插值进行曲面函数拟合的方法可提高三维激光扫描仪单点量测精度。

对于实测点处水准仪所测结果与曲面函数拟合结果是否一致的问题, 采用 μ -检验法进行假设检验, 已知两种方法获取的高差的差值平均值 $\mu = -0.4908$ mm, 标准差 $\sigma = \pm 1.1171$ mm, 计算可得

$$\mu_0 = \left| \frac{\mu - 0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \right| = 1.5841$$

取 $\alpha = 0.05$, 查标准正态分布表 $z_{1-\frac{\alpha}{2}} = z_{0.975} = 1.96$ 。

因为 $\mu_0 = 1.5841 < 1.96 = z_{1-\frac{\alpha}{2}}$, 所以接受 H_0 。故利用三维激光扫描仪获取的数据拟合曲面函数, 在实测点处求取的结果与水准仪观测结果具有一致性, 说明三维激光扫描技术应用于地表变形监测具有可持续研究价值。

四、结束语

地面三维激光扫描测量仪使得传统的单点采集数据的测量方式变为密集、连续地自动获取数据的测量方式。本文主要研究了基于三维激光扫描技术的整体变形监测, 从初步的研究和试验结果可以看出, 三维激光扫描仪在实测点处求取的变形值与水准仪观测结果基本相吻合, 而且不需要布设监测点就可以获得整体变形值, 表明三维激光扫描技术应用于变形监测是可行的。

参考文献:

- [1] 张国辉. 基于三维激光扫描仪的地形变化监测 [J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 96-97.
- [2] TSAKIRI M, VALANI A. Terrestrial Laser Scanning for Deformation Analysis [EB/OL]. [2010-10-09]. http://www.ntua.gr/eseve/Vasikh_Ereyna/Thalis_projects_English_summaries/Tasakiri.pdf.
- [3] ABELLAN A, VILAPLANA J M, MARTINEZ J. Application of a Long-range Terrestrial Laser Scanner to a Detailed Rockfall Study at Vall de Nuria [J]. Engineering Geology, 2006(88): 136-148.
- [4] 朱凌. 地面三维激光扫描靶标研究 [J]. 激光杂志, 2008, 29(1): 33-35.
- [5] 张凤举, 张华海, 赵长胜, 等. 控制测量学 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999: 233-235.
- [6] WASSER F. Deformation Analysis via Terrestrial Laser Scanning [D]. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology Geodetic Engineering Laboratory, 2007.