

陈日东. 影像三维激光扫描测量技术在风沙地貌台风响应模式中的应用研究[J]. 华南地震, 2018, 38(2): 75-80. [CHEN Ridong. Research on the Application of Image 3d Laser Scanning Measurement Technology in Typhoon Response Mode of Aeolian Landform[J]. South China journal of seismology, 2018, 38(2): 75-80]

影像三维激光扫描测量技术在风沙地貌台风 响应模式中的应用研究

陈日东

(广东生态工程职业学院, 广州 510520)

摘要: 影像三维激光扫描测量是目前前沿的监测技术之一。在阐述影像三维激光扫描测量的原理及在分析其理论测量误差的基础上, 采用影像三维激光扫描技术于2014年至2017年实地对福建平潭岛百犬山海岸地貌进行了21次观测, 分析结果表明: 影像三维激光扫描技术与传统的风沙地貌台风响应监测相比具有速度快、精度高、能实时测量出其变化量等优点, 在风沙地貌响应监测中具有广泛的应用前景。

关键词: 影像三维激光扫描; 海岸风沙地貌响应; 误差

中图分类号: TN247 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662(2018)02-0075-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.02.011

Research on the Application of Image 3d Laser Scanning Measurement Technology in Typhoon Response Mode of Aeolian Landform

CHEN Ridong

(Guangdong Eco-engineering Polytechnic, Guangzhou 510520, China)

Abstract: Image 3d laser scanning measurement, is currently one of the frontier monitoring technology. Based on the principle of image 3d laser scanning measurement and its theoretical measurement error analysis, the paper conducted 21 observations on the coastal landscape of Baiyingshan, Pingtan Island, Fujian from 2014 to 2017 by using the image 3D laser scanning technology. The analysis results show that comparing with traditional sand physiognomy typhoon response monitoring, the image 3d laser scanning technology has the advantages of fast speed, high precision, real time measurement of its variation, which has broad application prospects in aeolian landform response monitoring

Keywords: Images of 3d laser scanning; The response of coastal sand landscape; Error

收稿日期: 2017-05-25

基金项目: 国家自然科学基金: 华南海岸风沙地貌台风响应模式的典型研究(41371030)

作者简介: 陈日东(1963-), 男, 副教授, 主要从事工程测量及自然保护区建设与管理。

E-mail: 3063203039@qq.com.

0 前言

影像三维激光扫描测量技术具有扫描速度快、实时性强、精度高、主动性强、全数字特征等特点,可以极大地降低成本,是目前国际上最先进、最前沿的获取地面空间三维数据的测量技术之一。影像三维激光扫描测量技术克服了传统测量技术的局限性,采用非接触主动测量方式直接获取高精度三维数据,能够对任意物体进行扫描,且没有白天和黑夜的限制,快速将现实世界的信息转换成可以处理的数据^[1]。

影像三维激光扫描技术将传统测量方法的对单点测量扩展到对目标进行面测量,并且扩展到相对更加复杂的环境中,能将各种复杂大型的实体的三维数据迅速采集到计算机中,并且快速构建起目标实体的各种几何数据。三维激光测量技术的特点,使到以后的高速海量数据成为可能。

1 影像三维激光扫描测量原理

影像三维激光扫描仪发射器发出一个激光脉冲信号(图 1),经目标物体表面漫反射后,沿几乎相同的路径反向传回到接收器,可以计算激光点 P 与扫描仪距离 S,同步测量每个激光脉冲横向扫描角度观测值 α 和纵向扫描角度观测值 θ 。三维激光扫描测量可以为仪器自定义坐标系,也可以通过标靶点 A、B 的坐标匹配到 P 点上。X 轴在横向扫描面内,Y 轴在横向扫描面内与 X 轴垂直,Z 轴与横向扫描面垂直。获得 P 的坐标(图 2)。得到目标实体的采样点的集合,称之为“点云”。通过面状的“点云”坐标,即可实现对物体面状的形态及其变化^[2-4]。

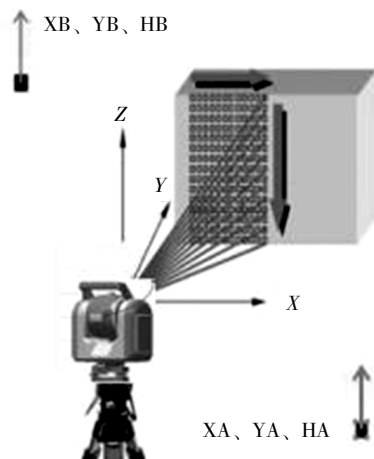


图 1 扫描原理

Fig.1 Scanning principle

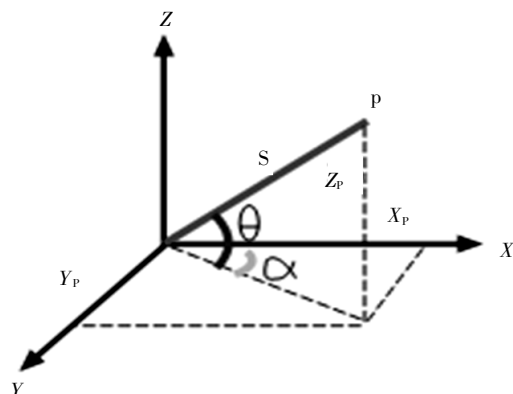


图 2 扫描坐标系

Fig.2 Scanning coordinate system

激光点 P 的坐标为:

$$\begin{aligned} X_P &= S \cos \theta \cos \alpha \\ Y_P &= S \cos \theta \sin \alpha \\ Z_P &= S \sin \theta \end{aligned} \quad (1)$$

式 (1) 中: S 是通过激光从发射到接收之间的传播时间来计算获得的。假设 t 为发射脉冲往返时间,目标点 P 与扫描仪的距离 S 为:

$$S = 1/2 C t \quad (2)$$

其中, C 为光速。

2 影像三维激光扫描测量误差分析

2.1 距离及角度误差

根据测量原理计算公式(1),要得出激光点 P 的坐标,由三个变量构成,即 S 、 α 、 θ ,根据测量误差传播定律,影像三维激光扫描测量的直接误差也是由该三个变量即:距离 S 、水平扫描角度 α 和竖直扫描角度 θ 测量引起。

2.2 被观测的物体倾斜引起的误差

影像三维激光扫描测量系统,其发射的激光光束有一定的发散角,扫描到目标物体表面形成激光斑点。当被观测的目标物体无倾斜时,设激光斑点大小 d 、孔径 D 和激光光束发散角 H 有以下关系:

$$d = D + 2S \tan H/2 \quad (3)$$

式中, S 为激光轴线到目标表面的距离。

当物体倾斜时,设 S_1 为激光点到倾斜面点的距离, Q 为倾斜角(图 3),因倾斜产生的激光测距误差为 dS

$$dS = S_1 - S \quad (4)$$

$$\tan Q = \frac{S - S_1 \cos H/2}{S_1 \sin H/2} \quad (5)$$

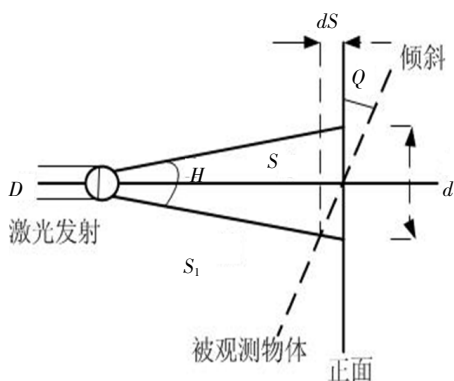


图3 物体倾斜

Fig.3 Object tilt

由于激光光束发散角 H 很小, 因此 $\sin H/2 \approx H/2$, 目标物体倾斜引起的测距误差为:

$$dS = S_1 - S = \frac{1}{2} S H \tan \frac{H}{2} \quad (6)$$

简化(5)得出:

$$\frac{S}{S_1} = \cos H/2 + \sin H/2 \tan Q \approx 1 + H/2 \tan Q \quad (7)$$

由于影像三维激光扫描仪出产时, 其激光束的发散角 H 是经过测定的, 是固定值, 因此要使测距误差最小, 应使到目标保持立面状态。

2.3 坐标拼接误差

当测量一个目标需要设立 N 个测站时, 必须要把 N 个测站的测量出来的面状“点云”合并成一个完整的物体“点云”, 必须要通过标靶点(图1)的坐标与点云坐标进行匹配, 从而实现多个面状“点云”的拼接, 其实质就是拼接误差(图4)。

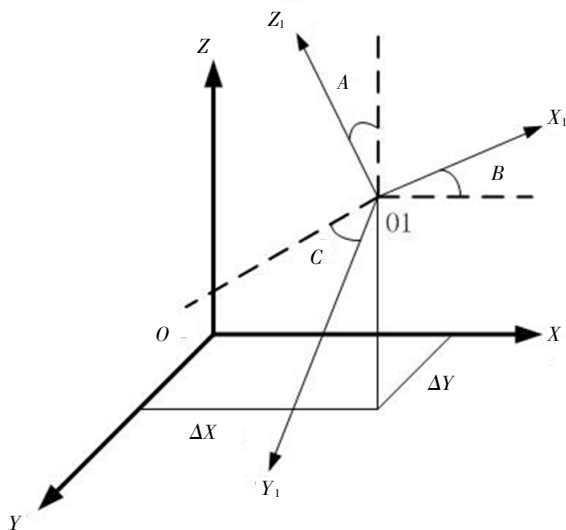


图4 拼接误差引起偏离

Fig.4 Deviation caused by stitching error

若点云坐标向量与坐标轴的交角 A, B, C , 平移参数为 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, 则配准模型 Ω 为:

$$\Omega = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R(A, B, C) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (8)$$

3 影像三维激光扫描仪在风沙地貌台风响应模式中的应用

3.1 观测设备、地点、时间

2014年7月14日至2017年9月16日在福建省平潭百犬山海岸(图5、图6), 使用天宝 SX10 影像三维激光扫描仪进行了台风前和台风后共21次观测, 实地扫描观测台风前、后海岸风沙地貌的变化(土方量的变化、剖面点的变化)。该设备扫描速度: 2万点/s, 扫描范围: $360^\circ \times 270^\circ$, 扫描距离: 400 m, 点云密度采用 0.3×0.3 cm 的间隔。

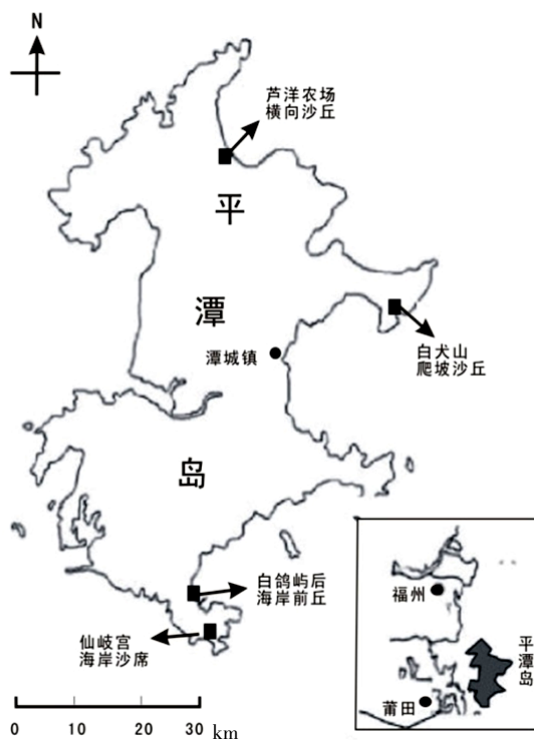


图5 观测点区位略图

Fig.5 A sketch of the location of the observation points

3.2 观测方法

采用自由设站的方式设置三维激光扫描仪, 每次观测设置两个已知点, 如: A 和 B(图7)两点(注: 如距离远、可以设置多个已知点, 如 C、D 点, 等), 两个已知点采用高精度的全站仪发展,

激光点间隔采用 0.3×0.3 cm 的密度分别进行监测。

用影像三维扫描仪，先扫描 A、B 点，之后扫描海岸地貌，通过 A、B 点坐标，把坐标匹配到被观测的海岸地貌上，被观测的海岸地貌把多个测站扫描的“点云”拼接在一起，得出扫描区域 DWG 矢量模型，根据不同时间观测的模型，即可在现场计算出海岸地貌形状的变化、泥土总量的变化^[9]。同时，通过不同时期对相同剖面点的观测，可以得出这些剖面点的高程变化，为研究海岸风沙地貌变化的提供科学数据。

每次观测选取相同坐标的 210 个点进行点位高程测量。由于数据较多，本文只选取 1-4 次 17-21 次扫描观测的点号 1031-1055 点的高程数据，通过 21 次观测，在相同点位不同时间扫描观测高程的变化，从而分析出海岸风沙地貌台风响应的变化(表 1、表 2)。



图 6 百犬山观测点实景图

Fig.6 Actual view of Baiquan Mountain observation point

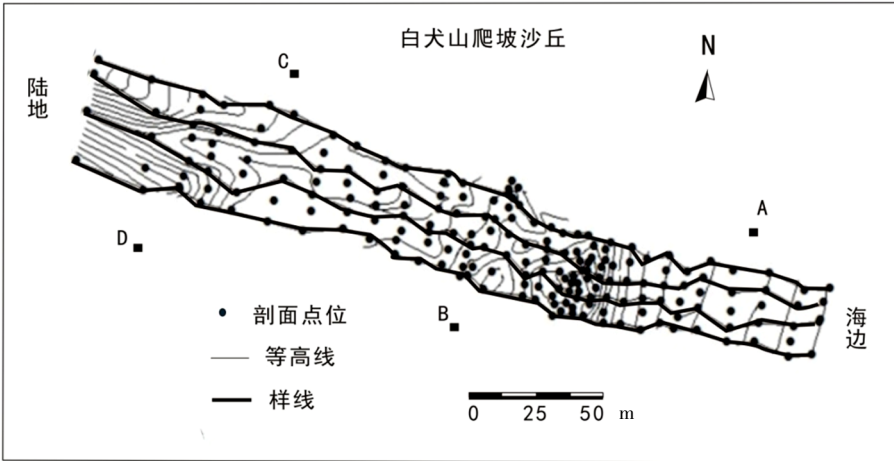


图 7 影像扫描地形扫描及拼接全图

Fig.7 Image scanning terrain scanning and splicing complete image

表 1 21 次扫描百犬山测区土方体积总量

Table 1 Total volume of earthwork during the 21 scans of Baiquan Mountain area

序号	观测时间/ 年-月-日	体积/m ³	相对前一次观 测变化量/m ³	序号	观测时间/ 年-月-日	体积/m ³	相对前一次观 测变化量/m ³
1	2014-07-14	34 740.4	0	12	2016-05-07	34 539.9	-178.7
2	2014-09-07	34 484.9	-255.5	13	2016-07-13	34 551.4	11.5
3	2014-12-14	34 807.7	322.8	14	2016-09-20	34 552.8	1.4
4	2015-01-25	34 756.5	-51.2	15	2016-10-03	34 531.5	-21.3
5	2015-03-03	34 891.2	134.7	16	2016-12-04	34 462.0	-69.5
6	2015-05-01	34 807.3	-83.9	17	2017-02-10	36 741.7	2 279.7
7	2015-07-18	34 894.7	87.4	18	2017-05-02	36 727.8	-13.9
8	2015-08-27	34 728.1	-166.6	19	2017-07-29	36 711.3	-16.5
9	2015-10-14	34 772.8	44.7	20	2017-07-30	36 756.0	44.7
10	2015-12-10	34 827.9	55.1	21	2017-09-16	36736.0	-20
11	2016-02-28	34 718.6	-109.3				

表 2 剖面点高程变化值(单位: m)
Table 2 Elevation changes of section points (unit: m)

点号	观测序号								
	1	2	3	4	17	18	19	20	21
1031	21.057	20.544	20.996	21.039	20.919	20.863	20.793	20.846	20.897
1032	21.017	20.834	20.975	20.951	20.846	20.813	20.717	20.860	20.850
1033	20.980	20.813	20.916	20.907	20.801	20.741	20.878	20.916	20.797
1034	20.988	20.784	20.856	20.868	20.718	20.677	20.867	20.926	20.772
1035	20.922	20.795	20.817	20.817	20.678	20.618	20.725	20.745	20.913
1036	21.300	20.711	21.054	21.211	20.951	20.945	20.680	20.843	20.839
1037	21.334	21.057	21.173	21.250	21.032	21.025	20.640	20.802	20.840
1038	21.375	21.084	21.214	21.390	21.068	21.095	20.710	20.813	20.953
1039	21.413	21.136	21.302	21.377	21.110	21.204	21.037	20.995	21.123
1040	21.452	21.149	21.346	21.435	21.141	21.213	21.163	21.152	21.916
1041	21.833	21.209	22.000	22.021	21.663	21.663	21.791	21.683	21.882
1042	21.902	21.700	22.003	22.054	21.698	21.682	21.802	21.788	21.868
1043	21.982	21.744	22.009	22.038	21.653	21.671	21.755	21.656	21.823
1044	22.045	21.751	21.759	22.021	21.600	21.588	21.661	21.567	21.705
1045	21.996	21.742	21.586	21.920	21.501	21.533	21.556	21.388	21.608
1046	22.839	21.781	22.777	22.741	22.280	22.131	22.746	22.625	22.447
1047	22.958	22.637	22.765	22.763	22.281	22.290	22.661	22.654	22.479
1048	23.067	22.606	23.045	22.868	22.488	22.433	22.798	22.725	22.731
1049	23.031	22.722	23.160	23.042	22.429	22.566	22.845	22.720	22.740
1050	22.693	22.716	22.915	22.903	22.477	22.407	22.611	22.428	22.662
1051	22.691	22.554	22.716	22.655	22.522	22.453	22.471	22.420	22.379
1052	23.308	22.954	23.347	23.412	22.918	23.025	23.121	23.109	22.976
1053	23.331	23.239	23.993	23.763	23.673	23.690	23.403	23.576	23.656
1054	23.459	23.454	23.961	23.968	23.917	23.745	23.793	23.718	23.955
1055	23.933	23.879	24.295	24.136	23.778	23.847	23.941	23.653	24.058

4 误差分析

由于被观测海岸地形是一个环形的斜坡海岸,从海边到陆地 512 m,需要进行拼接,实际测定其倾斜角度为 21°,基于上面的分析,该海岸地貌监测的误差来源主要是:距离 S 、水平扫描角度 α 、竖直扫描角度 β 、倾斜误差及拼接误差。

当采用相同测角精度的全站仪发展出来的已知点时,随着测站到被检测滑坡的距离增大,其误差就会越来越大,反之越小。由于,采用徕卡 TS60S 测角精度为 0.5 s 全站仪从 A 点发展出 B、C、D 点,其水平距离 S 测量精度较高,所以,要减少其拼接误差,标靶点的精度要很高,而标靶点的精度又是由全站仪的测角精度及观测的距离有关。假设全站仪的测角精度为 ρ ,观测时其垂直方向的误差为:

$$\Delta V=S\tan\rho$$
 (9)

水平方向的误差为:

$$\Delta H=\sqrt{\left(\frac{S^2}{\cos 2 \alpha}\right)-S^2}$$
 (10)

当 ΔV 、 ΔH 超出一定的范围时,拼接在纵向、横向就会引起较大误差而无法实现拼接。

图 7 中已知点 A、B、C、D 均匀布设在测量区域,经计算在影像扫描仪最大测量距离 400 m 时,其垂直方向误差为 9.7 mm、水平方向误差为 1.1 mm,拼接误差为 7 mm(表 3),其精度远高于目前我国行业标准。拼接效果良好(见图 7)。

表 3 误差分析(单位: mm)
Table 3 Error analysis(unit: mm)

测角精度	100 m 理论误差		400 m 理论误差		点云拼接 误差密度 (0.3×0.3 cm) (最大值)
	垂直方向 向 ΔV	水平方向 向 ΔH	垂直方向 向 ΔV	水平方向 向 ΔH	
0.5 s	4.8	1.0	9.7	1.1	7

5 结语

采用影像三维激光扫描技术在风沙地貌台风响应模式中的应用,实现了多次实时面状观测,

实时计算扫描区域的动态变化,同时能对扫描区域内相同的点实行多次扫描测量,通过拼接,可以实现大范围的海岸风沙台风响应观测,其测量点的密度、精度、速度都是传统方法无法实现的,结果表明:影像三维激光扫描技术在风沙地貌台风响应中具有良好的应用前景,也可以应用到相关的工程监测中。

参考文献:

- [1] Mathias Lemmens. Shortcomings in Spatial Documentation of Heritage Sites, Laser Scanning Technology Challenged[J]. GIM International. 2007(3):25-29.
- [2] 郑德华,沈云中,刘春. 三维激光扫描仪及其测量误差影响因素分析[J]. 测绘工程,2005,14(2):25-40.
- [3] 宋宏. 地面三维激光扫描测量技术及其应用分析[J]. 测绘技术装备[J]. 2008,10(2):40-43.
- [4] 丁巍. 浅述地面三维激光扫描技术及其点云误差分析[J]. 工程勘察,2009,37(2):447-452.
- [5] 董玉祥,黄德全. 河北昌黎翡翠岛海岸沙丘移动的初步观测[J]. 中国沙漠,2013,33(2):486-492.
- [6] YuXiang Dong, DeQuan Huang, JianHui Du. Observation of coastal aeolian dune movements at Feicuidao, on the Changli Gold Coast in Hebei Province[J]. Sciences in cold and arid regions, 2013, 5(3):324-330.
- [7] 黄德全,董玉祥,哈斯,等. 海岸横向沙脊的移动与形态变化——以河北昌黎黄金海岸横向沙脊为例[J]. 地理研究,2011,30(12):2 229-2 238.