

三维激光扫描技术在路基沉降监测中的应用研究

张 魁

湖南金君检测公司 湖南长沙 410000

摘 要: 三维激光扫描技术作为近些年测绘领域迅速发展起来的一门新兴的激光测量技术,相较于以往传统的测绘技术,三维激光扫描技术具有全景化扫描、有高分辨率、非接触测量、高精度、数据采样率高等特征,可以不用接触到被测物体的表面就获取到物体表面点的三维空间坐标,并且会在处理完空间数据后,自动地建立起物体的三维空间模型。随着科学技术的进步以及三维激光扫描技术的进一步进步和发展,当下该种技术已经逐渐被应用在路基的沉降监测之中,为工程应用与科学研究提供了更加准确、更加全面的基础数据信息,成为了广大工程技术工作人员与科学研究工作者解决问题的一种全新方法。

关键词: 三维激光扫描技术; 路基沉降监测; 应用研究

Application of 3D laser Scanning Technology in Subgrade Settlement Monitoring

Kui Zhang

Hunan Jinjun Testing Co., LTD. Changsha, Hunan 410000

Abstract: Three-dimensional laser scanning technology is an emerging laser measurement technology developed rapidly in the field of surveying and mapping in recent years. Compared with traditional surveying and mapping technology in the past, three-dimensional laser scanning technology has the characteristics of panoramic scanning, high resolution, non-contact measurement, high precision and high data sampling rate. The three-dimensional space coordinates of the points on the surface of the object can be obtained without touching the surface of the object being measured, and the three-dimensional space model of the object can be automatically established after processing the spatial data. With the progress of science and technology and the further progress and development of 3D laser scanning technology, this technology has been gradually applied in the settlement monitoring of roadbed, providing more accurate and more comprehensive basic data information for engineering applications and scientific research, and becoming a new method for the majority of engineering and technical staff and scientific researchers to solve problems.

Keywords: Three-dimensional laser scanning technology; Subgrade settlement monitoring; Applied research

随着我国经济的进一步发展与社会不断进步,公路建设的里程数日益增大,而且,为了满足现代经济与社会发展的需要,公路的扩建、改建工程也在不断地增多。在公路的具体施工过程中,由于会受到温度、地下水、降雨等自然条件和施工机械碾压所形成的巨大荷载,以及填土的不断增多等综合因素的影响,会导致路基出现一定程度上的沉降现象;而在公路正式运营之后,路基长期承受车辆的运动荷载和其他荷载,再加上公路自身的荷载,也会出现一定沉降。但是过大的沉降速率与沉降量会引起路基失稳,严重时甚至会破坏路基,这不仅将会对工程的运营安全和施工安全构成极大的威胁,还严重威胁到了人们的财产和生命安全与经济社会的发展。所以,为了路基能够安全的运营和顺利地施工,需要实时地监测路基沉降的情况,将三维激光扫描技术应用在路基沉降的监测中不失

为一个行之有效的方法。

1 工程概况

合宁高速公路起点位于合肥大蜀山,与合淮阜高速公路相接,终点位于陇西立交,与合徐、合巢芜高速公路相连,全长42.64公里。该段原有四车道,高速公路的路基宽在26米,扩建后为双向八车道的高速公路,采取“两侧直接拼宽为主,局部分离加宽为辅”的扩建方式,扩建后整体式路基宽度42米,也就在原有的路基两侧各加宽8米;分离式路基宽度为:13.25米+老路26米+13.25米。为了对路基的沉降情况进行研究,本文在该区域选取了部分试验路段进行实验,实验区域共分为两部分,每个实验区的宽约8米,长约30米。

2 三维激光扫描技术的基本工作原理

三维激光扫描仪一般是由水平角度传感器、激光测距

仪、内置数码相机、倾斜补偿器、垂直角度传感器、数据存储设备（笔记本电脑等）以及水平与垂直方向的控制马达等部分构成^[1]。

三维激光扫描技术以激光作为信号，而后由被测物体的表面反射回来，经激光测距仪对反射回来的激光信号接收，并经过分析和计算，从而完成对被测物体不同位置的扫描工作。

3 控制点、监测点的布设

为了比较同一坐标系中的监测点数据和得到同一坐标系内的区域DEM，在路基的周围设置了用于定向和设站的控制点。对于控制点的选择应选择点与点之间可以互相通视、与公路路基距离适中且相对平稳的地方。由于公路的施工区域较小，因此在设置公路路基的监测点时不需要进行多次设站；在公路路基的左右位置都可以观测到标靶，因此，可以设置两个站点，以一个站点为母站，架设仪器，一个站点作为观测所需的定向点，利用作为监测点的标靶进行拼接就可获得路基施工区域的DEM，并通过对三维激光扫描仪进行定向即可得到同一坐标系下的DEM。

4 数据的获取以及处理

4.1 点云数据的外业采集

一般情况下，点云数据的外业采集主要涵盖仪器扫描、方案制定与现场踏勘两大部分^[2]。在应用三维激光扫描仪扫描之前，首先要到路基的施工现场进行勘查，了解扫描对象与测区地形的分布状况，从而合理、科学地选择控制点与测站点，以及确定扫描方案。以下是方案制定与现场踏勘需要注意的几点。

(1) 坐标系的选择

在应用三维激光扫描仪器进行数据扫描时，应先构建一个空间直角坐标系，在此坐标系内获取点云数据。不同的测站之间有着不同的坐标系，其中存在的误差也不同，因此要选择合理。适当的坐标系。

(2) 测站点的选取

在设置测站时，应根据扫描对象的环境、数量与精度合理地设置测站，不宜太多，也不能过少。一般情况下，通常都是在符合测量精度的要求下力求设置最少的视点，对扫描场景进行全方面的覆盖。同时，要根据测站的实际设置情况和扫描场景制作设计图，并标注清楚测站的编号，以方便日后的点云数据的拼接以及扫描测量工作^[3]。

(3) 标靶点的设置

标靶是利用三维激光扫描技术进行扫描测量的重要辅助工具，可在后续工作过程中提高点云数据拼接的速度与精度。一般情况下相邻的两个测站之间的公共扫描范围内需要设置的公共标靶不能少于三个，而且这三个公共标靶不可以放置在同一直线上；如果标靶的数量多于四个，则标靶不可以存在于同一平面内。

(4) 控制点的选取

在点云进行拼接时，通过对标靶的扫描来完成数据拼接是其较为常用的一种方式。此外，基于控制点完成数据拼

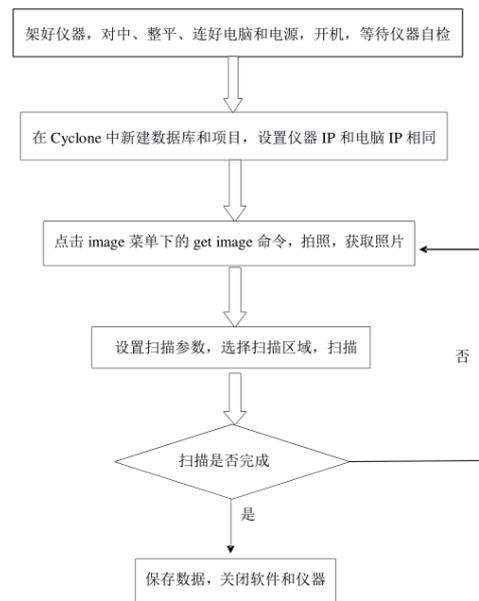
接的方式是点云数据拼接的又一方法，这种方法假设扫描的点云在已知点，而后运用极坐标法对点云数据的所在的坐标系进行转换。需要注意的是，在运用控制点方法进行点云数据的拼接时，要求全站仪等其他测量仪器配合着使用，通常不用于场景较大的点云数据拼接。

(5) 其他因素

除了以上因素外，现场的振荡、湿度、以及温度等环境因素也会对扫描的数据结果地造成影响

4.2 三维激光扫描仪的数据处理过程

路基沉降点的点云数据采集完成之后，测试人员应使用与其相配套的Cyclone软件对采集到的数据信息进行预处理。单个监测站点的数据采集操作流程如图一所示。



图一 三维激光扫描仪的数据采集流程图

一般情况下，数据的预处理过程通常包括点云数据的拼接、点云数据的缩减处理、数据的分割、点云滤波以及数据的输出等

(1) 点云数据的拼接

点云数据的拼接，又被称为坐标配准或是坐标纠正，是进行数据处理最为主要的一种方式。在进行点云数据的处理过程中，由于被测物具有复杂性，因此经常需要通过多个测站的不同视角的扫描，才可以全面地扫描完被测物。再加之每一个测站所扫描出的点云数据都有属于自己的空间坐标系，在构建三维模型时，要求将在不同测站扫描下的点云数据都统一纠正到一个坐标系下^[4]。其中坐标纠正通常包括两个部分：一方面是将不同的仪器坐标系下的点云数据纠正到同一个仪器坐标系下；一方面是将仪器自定义坐标系下的点云坐标纠正到某一测量坐标系下，这样就增加地理参考（注：地理参考就是通过坐标变换，把点云数据纠正到全球或是同一地方坐标系统下）。

点云数据在进行拼接时需要7个坐标系的转换参数进行求解，包括1个尺度参数、3个旋转参数及3个平移参数。

较为常见的配准算法包括ICP（迭代最近点法）、四元数配准算法、改进算法以及七参数配准算法。

(2) 点云数据的滤波

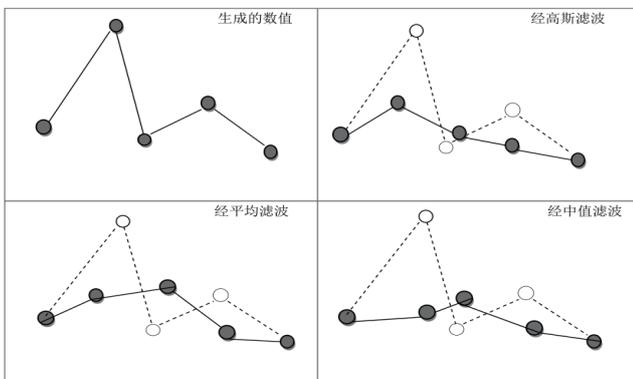
在具体的扫描中，因为会受到各种随机或是人为因素影响，不可避免会有噪声点混入到点云数据中，根据噪声的产生原因不同，大致可分成三大类：

(1) 被测物体的表面因素：例如物体的材质、物体表面粗糙、物体的波纹及表面存在缺陷等，这些客观因素都会对激光束的反射率造成影响，进而导致误差。可通过调整扫描目标与三维激光扫描仪之间的距离来滤波。

(2) 扫描系统自身因素：例如系统的电噪声、CCD传感器的分辨率及扫描仪的精度等。此种噪音属于系统的固有噪音，可以利用平滑滤波或是调整扫描仪参数的方式来去噪。

(3) 突发因素：例如鸟、汽车、树木等，一旦这些原本不属于被测物体的数据被扫描到目标物体的点云数据中，就会形成空洞或是散乱点。这类噪声现阶段只能进行手动删除。

如若在进行点云数据处理之前不进行滤波，这些噪声点将直接影响重建模型的质量和特征点提取的精度，造成模型的精度不高、重构曲面、曲线不光滑等情况，因此，对点云数据进行滤波是十分有必要的。一般较为常用的去噪方式有平均滤波、中值滤波、高斯滤波等，路基沉降的监测人员应根据产生噪音的具体原因，选用不同的去噪手段。保证数据平滑的四种常用算法如图二所示。



图二 各种滤波方法效果示意图

4.3 点云数据的缩减

三维激光扫描点的云数据虽然能够用极短的时间获得，但是在进行数据点的处理、存储、输出、传输等操作的过程中会占用计算机大量的内部存储空间，导致数据处理效率低、速度慢^[5]。由于单站扫描难以得到全面、完整的模型，因此需要将不同测站的点云数据都转换到统一的坐标系下，其中存在着很多重复的点云数据，这无疑会产生大

量的冗余数据，不仅降低计算机对数据的处理速度，还会在一定程度上影响曲面重建的效果与准确性。所以，路基沉降的监测人员有必要在保证数据完整的情况下，对数据进行简化和去冗。

我们所说的数据简化主要是指依据点云数据的实际特点应用适合的手段对点云数据进行简化、抽象。对于像墙面、地面这类曲率相对较小的目标物体，通常选择使用最小阈值的方法进行数据的精简；而对于那些曲率较大的目标物体，一般可采用均匀网格法、曲率估算法、非均匀网格法、包围盒法等方式对点云数据进行简化。

4.4 点云数据的分割

点云数据的分割就是对点云数据进行相应的处理与分割，将完整的数据分割成若干个小区域，让每一个小区域里的点具有相同的属性，从而方便数据后续的处理工作。

4.5 TXT格式的数据输出

三维激光扫描仪获取的点云数据，是以*.IMP的格式存储在相应的工程文件下，而Cyclone软件能够以多种格式直接将数据导出，如XYZ、SVY、PTX、TXT，另外，还有AutoCAD的DXF格式^[6]。其中使用最多的是.TXT格式的数据文件，文本内的每一行内容被作为一个结构体存储在结构体数组中，读取数据文件即可获得文件内离散点的三维坐标。

结束语

总而言之，近些年三维激光扫描技术已经逐渐趋于成熟，被广泛地应用于城市三维建模、文物的修复与保护、数字化工厂、灾害防控治理、地面景观形体的测定、矿山隧道测量、地质调查等领域，并取得了一定的成效，鉴于此种情况，在路基的沉降监测领域应用三维激光扫描技术，对社会经济和科学研究来说具有重大的现实意义。

参考文献：

- [1] 成枢, 朱玉明, 牛英杰, 董加江. 三维激光扫描技术在高速公路沉降监测中的应用[J]. 矿山测量, 2020, 48 (03): 20-23+40.
- [2] 张飞, 张建坤, 曹伍富. 三维激光扫描技术在道路沉降监测中的应用探讨[J]. 工程勘察, 2019, 47 (05): 53-57.
- [3] 贾亮, 徐国双. 路基沉降监测中几种监测方法的应用[J]. 北京测绘, 2010, (03): 31-35.
- [4] 崔成龙. 修正指数—AR模型在路基沉降监测中的应用[J]. 矿山测量, 2019, 47 (03): 41-44.
- [5] 刘尧军, 赵玉成, 冯怀平. 路基沉降监测方法应用研究[J]. 公路交通科技, 2004, (01): 33-34+50.
- [6] 韦逸清. 高速公路路基沉降监测数据异常值识别方法研究[J]. 广东建材, 2018, 34 (12): 57-59.