

激光雷达在隧道衬砌病害检测中的应用研究

李东方¹ 杨玉芳² 颜俊波¹ 张苏龙² 毛益佳² 王 捷²

1. 浙江公路技师学院 浙江 杭州 310000

2. 江苏东交智控科技集团股份有限公司 江苏 南京 210000

【摘要】隧道检测是保证隧道施工和运营安全的一项重要工作。传统的隧道病害检测方法,存在工作量大、效率低、数据少等缺点。本章基于车载激光扫描技术进行隧道监测方法研究,对点云数据进行绝对定位的方法来提高拼接精度,并以设计轴线为基准提取隧道断面,同时结合扫描仪获得的点云数据与影像数据分析隧道的断面收敛和管壁渗水、裂缝等病害情况。

【关键词】激光雷达;隧道检测;数据采集;点云滤波;三维建模

1 绪 论

近年来,随着我国公路事业的飞速发展,交通流量日益增大,公路管理及养护的压力也随之增大,面对复杂的交通情况,如何及时有针对性地进行桥隧病害检测是公路管理者面临的现实问题。传统的人工巡查方法不仅工作量大而且条件艰苦,特别是对隧道的检测,以及在冰灾、水灾、夜晚期间等条件下的公路巡查,所花时间长、成本高、效率低、作业安全难以保障。因此,有必要进行调研与探索,尝试一种全新的智能化方式途径来解决这一棘手问题。

激光雷达是一种通过记录激光束在到达目标物体回到传感器的传输时间,进而计算得到目标物体三维空间坐标的主动遥感技术。其检测效果与传统检测方式相比较具有受光环境影响小、全天候工作、检测数据分析方法多样化、对检测车速要求低等多方面优势^[1]。且激光雷达检测技术不受地形限制,不受交通堵塞影响,不占用有限的道路资源,如果能够研究出成套的经济高效的解决方案并将其应用到公路隧道检测和养护中,将对提高公路管养工作的信息化水平起到重要作用,创造更高的经济效益和社会效益。

2 车载移动测量系统简介

车载移动测量系统^[2]是指将三维激光扫描仪、GPS/GNSS(全球定位系统)、惯性导航系统(INS)、距离测量装置(DMI)、CCD 全景工业相机、POS 计算机系统(PCS)等这些先进的传感器设备安装在机动车上,随着车体的移动可以采集到经过路段及道路两旁的三维空间信息以及纹理图像信息等,车辆

实时的姿态和位置信息可由 GPS/GNSS 定位系统解算得到。



图1 车载移动测量系统硬件组成

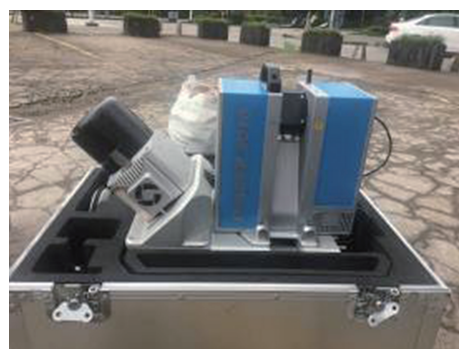


图2 Z+F 5010X

3 隧道数据采集与处理

3.1 前期准备工作

在作业前的准备主要包括收集资料、现场勘察、制定作业技术方案和作业前的准备工作。准备工作主要从收集资料、现场勘探及建模需求确认这三方

面来进行。

在收集资料过程中需要收集测区的道路行车状况,以及沿线的 CORS (Continuously Operating Reference Stations) 站的分布,对隧道现场进行踏勘,了解隧道的车流信息。保证作业时道路畅通。根据现场勘探情况制定符合测区的作业方式,同时对测区的作业路线及人员设备投入做出合理的规划。详细设计安排基站的配置,并提前做好部署。根据作业范围确认投影参数,保证所有的作业数据按照规范的投影参数进行解算。

3.2 外业数据采集

数据采集作业具体包括运行设备、在开阔地静止和机动对准、测区测量和测量后测区对外对准,外业测量结束后储存数据。

3.3 内业数据处理

外业数据采集完成后,要进行内业数据预处理工作,目的是将采集到的原始数据加工成可以进行使用的中间数据,为后续道路三维点云数据的预处理工作奠定基础。内业数据预处理主要过程包括:监控端数据下载、数据预处理、点云数据分块等操作。

本项目使用海达点云测图建库软件点云库中的类 VoxelGrid 实现道路点云数据的精简,VoxelGrid 指的是根据给定的点云数据构造出一个三维体素栅格并进行下采样达到滤波效果。具体而言,Voxel-Grid 根据输入的点云数据构建一个三维体素栅格,然后对体素内的点云数据进行分析,将每个体素内的所有点用体素中心来代替,这样就极大的减少了点云数据量,可以用这种方法对海量点云数据进行下采样,从而降低了后续处理的工作量,实现步骤如下:

第一步:创建滤波器对象;

第二步:输入待精简的隧道点云数据;

第三步:调取参数设置函数 setLeafSize,根据实际情况设定体素栅格的大小;

第四步:对处理后的点云数据进行存储。

3.4 隧道三维建模及分析

经过对车载激光雷达采集数据的内业处理后,基本满足三维建模的需求。因此,本节对其建模方法及其病害分析进行了研究^[5]。

利用车载移动测量系统的三维扫描仪作为信息传感器对目标物体和环境进行点云数字化数据的采

集,这种通过计算机和测量仪器获取的数据是一些离散的点云数据,可以大致看出目标实体的轮廓,但是他们之间没有明显的拓扑关系,不适合后续的查询检索管理等操作,需要利用三角剖分进行三角网格的构建,生成简单的几何图形的集合,从而用这些点云数据构建曲面。根据曲面重建的类型,可以将曲面重建方法分为多面体网格重建 (Polygonal Mesh Reconstruction)、参数曲面重建 (Parametric Surface Reconstruction)、隐式曲面重建 (Implicit Surface Reconstruction) 和细分曲面重建 (Subdivision Surface Reconstruction)。

对处理好的点云数据进行曲面重建,根据构造参数的不同,可以分为矩形域参数曲面和三角域参数曲面^[6]。不规则三角网 (TIN) 作为三角域参数曲面的一种,在很好的反应地物表面特征同时避免数据冗余方面具有独特优势,是散乱点云数据模型构建的常用形式。因此,将其作为本项目采用的主要构网方法。

4 现场实施方案设计

4.1 外业数据采集

(1) iScan 设备安装

iScan 一体化移动三维测量系统硬件主要由基站、iScan、高清全景相机以及车轮编码器四部分组成,组装完成后开始检测工作。

(2) 基站架设

基站要求架设在卫星信号良好的地方,有已知控制点的话,优先架设在控制点上。基站架设与其他设备安装独立进行,没有严格的先后顺序要求。但是一般来说,iScan 进行数据采集前(包括 POS 采集),基站必须架设完成,并开始正常工作。基站架设分为对中、整平、测高、采集四个阶段,架设基站时,必须严格按此先后顺序进行操作。

(3) iScan 数据采集

数据采集过程依赖于一体化移动三维测量系统操控软件,该软件是一体化移动三维测量硬件设备的配套软件。

4.2 内业数据处理

采用 HD_3LS_SCENE 软件通过点云过滤、点云分类、影像与点云配准和数据格式转换等过程完成对外业数据的处理。最终建立的隧道三维模型如图所示。

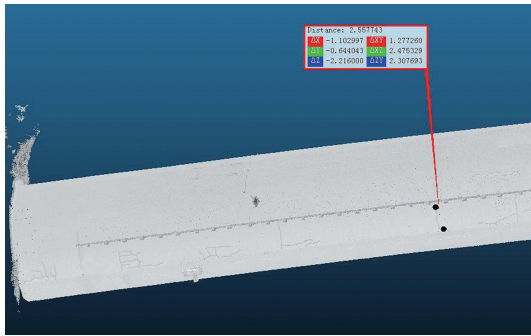


图 3 路湾隧道三维模型

4.3 隧道衬砌病害检测

对建立的隧道模型采用灰度模式进行显示后,采用第三章确定的分析方法,从点云模型中进行隧道病害的自动识别及统计分析,结果如图 4 及表 1 所示。

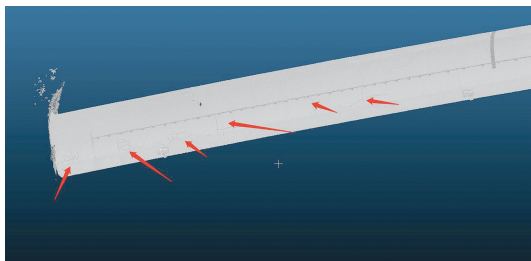


图 4 路湾隧道病害自动识别

表 1 路湾隧道激光雷达检测病害情况

隧道名称	分部工程	主要病害类型	数量
路湾隧道	洞口工程	正常,未见外观破碎	30
		裂缝较多,局部长达数米	
	路湾隧道	局部瓷砖脱落	
	洞身砌衬	可见拼缝	
		局部渗水	

5 经济、社会效益分析

综上所述,与现有的隧道检测技术相比,采用激光雷达进行隧道衬砌检测,其社会效益主要体现在如下几个方面:

- (1)检测效率高,一次检测可以覆盖隧道的整个衬砌,交通影响小;
- (2)抗干扰能力强,由于本技术采集的是激光点云数据,不受光照等因素的影响,保证了数据采集的质量;
- (3)自动化程度高,通过软件算法的可发,可以实现对典型隧道衬砌病害的自动化识别与分析;
- (4)采集到的点云数据可以进行信息化的管理,相比传统的纸质资料,有效的提升了管理的效率;
- (5)考虑到从检测效率等方面,检测费用方面相比人工检测可以节约 50%以上,具有较好的经济效益。

【参考文献】

- [1]黄文元,党建军,黄爱华.我国公路改扩建工程勘测方法对比分析[J].公路,2011,3: 84—86.
- 张熙,刘晓东,孙伟,刘玲.车载激光扫描技术在西藏公路改扩建中的应用[J].公路交通科技应用技术版,2011,(10): 155—157.
- [2]李永强,盛业华,刘会云,等.基于车载激光扫描的公路三维信息提取[J].测绘科学,2008,33(4): 23—25, 41.
- 闫利,张毅.基于法向量模糊聚类的道路面点云数据滤波[J].武汉大学学报,2007,32(12): 1119—1122.
- [3]尹恒,封全宏,廖紫骅,等.基于三维激光扫描技术的病害隧道监测[J].地下空间与工程学报,2014,10(4):895—901.
- [4]刘晓瑞,谢雄耀.基于图像处理的隧道表面裂缝快速检测技术研究[J].地下空间与工程学报,2009,5(S2):1624—1628.
- [5]刘振东.公路隧道隐伏病害快速无损检测与安全评价体系构建[D].中国海洋大学,2013.
- 袁玮,高菊如,张博,等.既有铁路隧道病害检测技术现状与展望[C]//海峡两岸隧道与地下工程学术与技术研讨会.2013.
- [6]Zaurin R, Catbas F N. Integration of computer imaging and sensor data for structural health monitoring of bridges[J]. Smart Materials & Structures, 2010, 19(1):015019.
- [7]Koch C, Georgieva K, Kasireddy V, et al. A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure[J]. Advanced Engineering Informatics, 2015, 29(2):196—210.