

# 基于三维激光扫描技术的校园可视化

赵小平,刘文龙,高绍伟

(北京工业职业技术学院,北京 100048)

## Compus Visualization Using 3D Laser Scanning Measurement System

ZHAO Xiaoping, LIU Wenlong, GAO Shaowei

**摘要:**系统介绍三维激光扫描技术的工作原理以及数据处理理论。在此基础上,以某校园现场实践为例,阐述三维点云数据获取、数据处理、模型建立的基本方法,验证采用该技术进行校园可视化的可行性,为“数字校园”的建设提供有力的技术支持。

**关键词:**三维激光扫描技术;三维建模;数字校园

### 一、引言

“数字校园”是校园信息化建设的重要战略目标,同时也是“数字地球”的重要组成部分。作为重要的基础数据支持,测绘科学技术发挥着不可替代的作用。考虑到传统测量与测绘新技术的先进性差别,提出采用三维激光扫描技术进行空间数据的采集。该技术具有数据获取速度快、数据量大、实时性强、精度较高、主动性强、能全天候工作、全数据特征、便于信息传输与加工、表达容易等优势<sup>[1]</sup>,可以自动、连续、快速地获取目标物表面的密集采样点数据,即点云数据。

鉴于三维激光扫描技术的诸多优势,该技术已经成为测绘领域中的研究热点,并已较为广泛地应用于文物保护<sup>[2-3]</sup>、大型建筑的变形监测<sup>[4-5]</sup>、植物建模<sup>[6]</sup>、隧道工程<sup>[7]</sup>等不同领域。本文采用该技术进行校园可视化,并以某校园的实测数据进行数据处理和分析,得出一些有益的结论。

### 二、三维激光扫描仪

三维激光扫描仪主要由激光发射器、接收器、时间计数器、马达控制可旋转的滤光镜、彩色 CCD 相机、控制电路板、微电脑和软件等组成。

#### 1. 工作原理

三维激光扫描仪利用激光作为光源,采用某种与物体表面发生相互作用的物理现象来获取物体表面三维信息,采用的原理主要有 3 种。

1) 基于脉冲飞行时间测距的原理。扫描仪对扫描目标发射激光,根据激光发射和接收的时间

差,得到被测点与扫描仪的距离量测值  $S$ 。精密时钟控制编码器同步测量每个激光脉冲横向扫描角度观测值  $\alpha$  和纵向扫描角度观测值  $\theta$  (三维激光扫描仪一般使用仪器内部坐标系,  $X$  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,如图 1 所示)。由此可得到三维激光脚点坐标的计算公式,如式(1)所示。

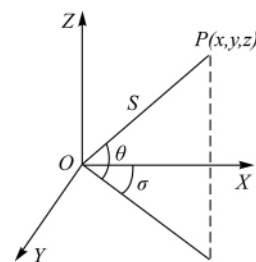


图1 仪器内部坐标系

$$\left. \begin{aligned} X &= S \cos \theta \sin \sigma \\ Y &= S \cos \theta \cos \sigma \\ Z &= S \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

然后利用距离量测值,与测量该数据时同时记录下来的扫描仪垂直和水平两个方向的步进角度值进行计算,得出被测点在  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  方向上的相对三维坐标。这个带有三维坐标值的点,被送到计算机上记录并显示出来。众多点依据各自的空间坐标排列,形成目标的点云数据,点云揭示了目标的形体和目标空间结构。

2) 基于相位差测距原理。采用检测调幅光波发射和接收的相位差来获取距离信息,其他与基于脉冲飞行时间测距的原理相同。根据空间几何关

收稿日期:2011-05-11

基金项目:2010年北京工业职业技术学院科研基金资助项目(bjzy2010kt15)

作者简介:赵小平(1976—),女,山西忻州人,讲师,主要研究方向为测绘新技术、3S技术应用。

系计算点位的空间三维坐标值。

3) 基于激光三角形原理。其基本原理是通过数据采集获得测距观测值。

## 2. 数据处理方法

针对不同的应用对象,不同的点云数据特征,数据处理的过程略有不同,但主要包括数据预处理和数据应用。其中,预处理过程主要包含:数据配准、数据去冗余、数据去噪、数据精简等。

1) 数据配准。由于被扫描物体或场景自身的复杂性,或是受到扫描仪器视场角的限制,一次扫描通常不能采集到完整的点云数据,需要通过多次在不同角度和位置进行扫描。因此配准的任务就是将不同角度扫描的点云数据从各自不同的坐标系转换到统一的坐标系下。

2) 数据去冗余。经过配准的多站数据在很大程度上存在重叠,造成数据冗余。冗余数据不仅占用了大量存储空间,而且影响了数据处理的速度和质量,因此要在配准之后进行去冗余处理。

3) 数据去噪。由于实际扫描过程中受到环境因素、人为因素和随机因素的影响,获得的点云数据不可避免地包含噪声。为了降低或消除噪声对建模质量的影响,要对数据进行去噪处理。

4) 数据精简。对于高密度的点云,在建模或数据分析之前,要在保证不改变被扫描物体曲面特征精度的前提下,尽可能缩减不必要的点云数据,以降低后续处理算法的复杂度,提高处理效率。方法通常是对扫描点云数据进行采样。

## 三、校园点云数据采集

### 1. 数据获取

采用 Leica HDS4400 三维激光扫描仪进行数据采集。HDS4400 的主要技术指标:采用脉冲式测距法;扫描速度 4 400 点/s;扫描半径 5 ~ 700 m(其中岩石扫描可达 600 m,煤炭扫描可达 150 m);视场角水平 360°,竖直 80°;点位精度  $\pm 10$  mm;角度精度  $\pm 1.4$  毫弧度;精度范围 50 m 处  $\pm 20$  mm。采集地点为北京工业职业技术学院,数据采集软件为 Cyclone 6.0。

由于扫描场景较大,在开始扫描之前需要进行控制网的布设和施测。根据北京测绘设计院提供的城市一级导线点,在北京工业职业技术学院院内施测了二级导线(33个),并同时施测二等水准测量。在二级导线的基础上,通过免棱镜全站仪进行了加密控制,直接测取扫描站点和标靶中心位置的空间坐标。三维激光扫描仪共设站 15 次,涵盖了校园内

大部分建筑物,整体点云效果如图 2 所示。

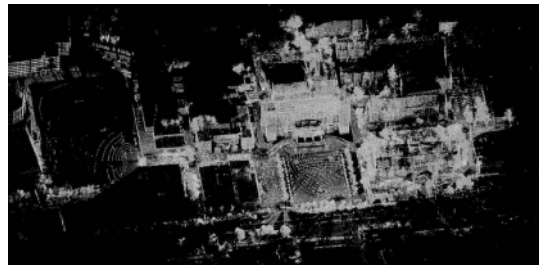


图 2 校园整体点云

### 2. 数据预处理

采用三维激光扫描仪进行数据采集时,采集的点云数据易受环境和系统等因素的影响,如数据采集时激光雷达旋转引起的抖动、运动物体干扰、扫描过程中的杂散光和背景光、接收信号的信噪比、激光束宽度、激光发散、激光波长、接收器反应、电子钟准确度、平台的定位定向准确度等,导致噪声数据点的产生,有时可能产生不属于扫描实体本身的数据导致冗余数据。为提供可靠精选的点云数据进行模型重建,提高最终结果的稳健性,需要对点云数据进行去噪操作。

对于比较明显的噪声数据如突起点(spikes)或孤立点(isolated points),可采取手工删除的方法剔除,或者利用矩形框选或任意多边形选择工具剔除这些点,如图 3 所示。

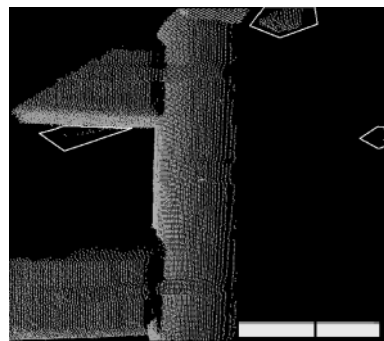


图 3 手动删除噪声数据

由于三维激光扫描仪获取的点云数据量比较大,全采用手动删除噪声点,劳动强度大,难免有所遗漏,因此可利用系统自动判断的方法进行处理。目前自动消除噪声数据的常用方法是曲率法、弦高法和距离值法等。它们共同的思路是基于给定的阈值,大于阈值的数据点则判断为异常点,不同的是它们选取的度量值不同。

曲率法采用点与相邻点之间的矢量夹角判断;弦高法采用点到相邻点连线的距离判断;距离值法

采用点到利用相邻点拟合的直线段或平面之间的距离进行判断。图4显示的是系统采用自动判断噪声点方法剔除的噪声点。

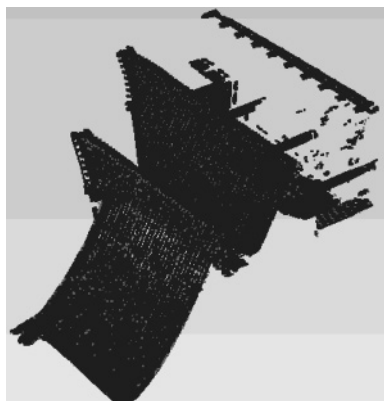


图4 系统自动的剔除噪声数据

### 3. 点云配准及拼接

使用控制点配准,将点云配准到控制网坐标系下。对于缺失的点云,利用公共区域寻找同名点对进行两两配准;当同名点对不能找到时,则利用人工配准法。后两种方法均为两两配准,为了将所有点云转换到统一的控制网坐标系下与控制点配准法得到的点云配在一起,两两配准时要求其中一站必须为已经配准到控制网坐标系下的点云。

先把外业采集的3dp格式数据利用Maptek I-site studio 3.3软件转换成TXT格式的数据,再把TXT格式数据导入至Cyclone 6.0软件,软件会根据坐标点自动拼接。但由于人为操作和角架的误差,一些点云接合处不太理想,这时需要进行手动拼接,对一些无坐标补扫面的拼接也进行手动处理。手动拼接时应该对点云适当地压缩,选择突出、尖角、不同平面的特征点,以降低操作误差,以及与目标物体反射面有关的误差。

### 四、点云数据的三维建模

在点云数据配准和拼接的基础上,考虑到局部特征难以在点云中表达,需要进行扫描体的三维建模,笔者借助AutoCAD和3ds Max软件进行相关处理<sup>[8]</sup>。限于篇幅,仅以该校园综合楼为例,进行相关问题的探讨,图5给出了AutoCAD软件勾勒出的该楼三维轮廓图。将该三维轮廓图导入3ds Max软件进行三维建模,如图6所示,并根据现场采集的数码影像进行纹理贴图,要求材质真实准确,渲染效果如图7所示。

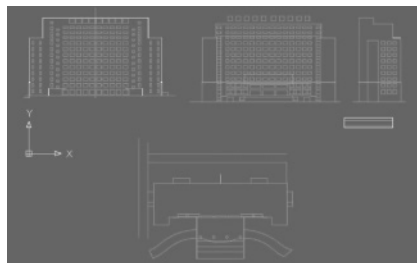


图5 综合楼轮廓图

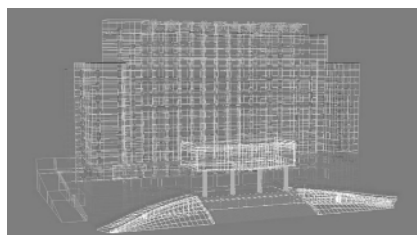


图6 综合楼3D模型



图7 纹理贴图渲染效果图

## 五、结论

针对三维激光扫描技术无需事先埋设监测设备、无接触测量、监测速度快、测量精度高等优点,本文采用该技术进行校园三维模型的建立,通过实际数据采集和处理,得出以下结论:

1) 基于三维激光扫描技术的数据采集,快速准确,数据量丰富,相比较于传统的数据采集手段,三维扫描技术有一定的优势。

2) 基于点云的建模,采用逆向与正向相结合的建模手段,方便快捷,很大程度上避免了精度的损失,提高了三维模型几何信息的可靠性,准确地实现了校园内建筑物乃至主要设施的三维定位,为“数字校园”的建设初步探索了一条可行之路。

### 参考文献:

- [1] 李鹏,张文兵,李静. 三维激光扫描测量技术[J]. 科技信息, 2009(31): 45-46.

(下转第50页)

次曲面拟合的方法进行了高程异常的拟合。二次曲面拟合是将高程异常近似的看作一定区域内各点坐标的曲面函数,用部分已知点拟合这一函数,进而确定其他点的高程异常和正常高。设区域内任一点高程异常为  $\zeta(x, y)$ , 二次曲面表达为

$$\zeta(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy$$

矩阵形式表达式为

$$V = Aa - L$$

当测区内已知点个数大于 6 时,使用最小二乘原理求系数

$$a = (A^T A)^{-1} A^T \zeta$$

在求得系数后就可根据曲面方程求未知点的高程异常。接下来就应用二次曲面拟合和向前 BP 神经网络对哈大客运专线数据进行了拟合,并与 Elman 神经网络进行了对比。3 种拟合方法残差结果如图 3 所示。

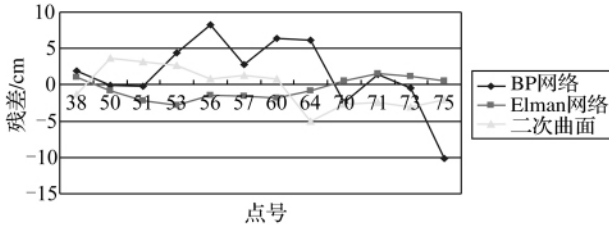


图 3 3 种拟合方法效果比较

由图 3 可知,采用 Elman 神经网络进行拟合的效果在一定程度上改进了 BP 神经网络拟合,且残差的分布也较为均匀。根据上述的拟合结果,比较了 3 种方法的拟合效果,如表 2 所示。

表 2 3 种模型对高程异常拟合效果比较 cm

模型	最大残差	最小残差	拟合中误差
二次曲面拟合	-5.05	0.76	2.67
BP 网络	-10.14	-0.11	4.67
Elman 神经网络	2.79	0.55	1.42

### 五、结束语

本文采用了 BP 与 Elman 两种神经网络模型在 Matlab 环境下实现了 GPS 高程转换,并与二次曲面拟合效果进行了比较。试验表明,用 Elman 神经网络可以实现 GPS 高程转换,并能在一定程度上提高 BP 网络训练的速度和精度,比二次曲面拟合具有更高的拟合精度。但 GPS 高程的逼近精度还受已知点的数量和分布状况的影响,所以在面积更大,地形条件更复杂的地区,神经网络拟合 GPS 高程的效果有待进一步的应用分析。

### 参考文献:

- [1] 鲁铁定,周世健,臧德彦.关于 BP 神经网络转换 GPS 高程的若干问题[J].测绘通报,2003(8):7-9.
- [2] 杨明清,靳蕃,朱达成,陈现春.用神经网络方法转换 GPS 高程[J].测绘学报,1999,28(4):301-307.
- [3] 潘国荣,谷川.改进的遗传算法用于工业测量数据处理[J].大地测量与地球动力学,2008(1):55-58.
- [4] 高宁,高彩云,吴良才.关于 BP 神经网络转换 GPS 高程的若干问题[J].测绘工程,2006,15(3):67-69.
- [5] 张德丰. MATLAB 神经网络应用设计[M].北京:机械工业出版社,2009:191-196.
- [6] 史峰,王小川,郁磊,等. MATLAB 神经网络 30 个案例分析[M].北京:北京航空航天大学出版社,2010.

(上接第 47 页)

- [2] 张瑞,骆岩林,周明全,等.文物数字化的关键技术[J].北京师范大学学报:自然科学版,2007,43(2):150-153.
- [3] 胡少兴,查红彬,张爱武.大型古文物真三维数字化方法[J].系统仿真学报,2006,18(4):951-954,963.
- [4] 刘文龙,赵小平.基于三维激光扫描技术在滑坡监测中的应用研究[J].金属矿山,2009(2):131-133.
- [5] 赵小平,闫丽丽,刘文龙.三维激光扫描技术边坡监测研究[J].测绘科学,2010,35(4):25-27.

- [6] 魏学礼,肖伯祥,郭新宇,等.三维激光扫描技术在植物扫描中的应用分析[J].中国农学通报,2010,26(20):373-377.
- [7] 叶英,穆千祥,张成平.隧道施工多元信息预警与安全管理系统研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(5):900-907.
- [8] 杨新林,冯冠辉,钱建国.三维激光扫描仪点云数据在 AutoCAD 中的处理方法研究[J].陕西煤炭,2008(3):37-38.