

基于点云数据的文物精细建模

孟志义 钱 林

(北京市测绘设计研究院 北京 100038)

Cultural Relics Fine Modeling Based on Point Clouds

MENG Zhiyi, QIAN Lin

摘要:以天安门华表的激光扫描为例,通过对点云数据的多视点拼接、三维构网、纹理映射、数字展示等数据处理技术的研究,提出一种改进的内业技术流程,以解决精细建模过程中的一些技术难题。

关键词:激光扫描;点云;三角化;纹理映射

一、引言

三维激光扫描技术又称“实景复制技术”,是20世纪90年代末激光应用研究的一项重大突破。它采用无接触方式,深入到复杂的现场环境中进行扫描操作,获取各种大型的、复杂的、不规则的实体的三维数据,从而得到被测对象表面的采样点集合“点云”。目前,这项技术已经广泛应用到文物保护、古建筑修复方案设计、文化遗产保护当中。

文物的数字化及虚拟展示是目前研究的热点。随着三维激光扫描技术的不断发展,以点云数据为基础的文物精细模型的构建及真实纹理的匹配受到了极大关注。本文以天安门华表为例,分析内业数据处理过程中的一系列问题,并提出一种改进的作业流程。

二、项目概况

对天安门华表进行三维激光扫描测绘作业,建立起一套完整的数据档案。项目最终提交的成果有配准后的原始扫描数据、正射影像图、可浏览的真实纹理精细模型。

三、数据采集

1. 点云数据采集

在进行扫描之前,需要了解扫描对象的基本情况,从而合理地设置扫描路线、布设扫描站点。设站的原则是要保障最终数据采集的完整性。扫描前还需要根据精度要求来设置扫描仪的采样密度,而采样密度的大小会直接影响最终三角网构建的精度。

在天安门华表的扫描项目中使用的是 RiegL VZ400 地面三维激光扫描仪,并按 5 m 左右的间隔

设置扫描仪站点。对于华表须弥座以下通视受阻部分加密扫描,拐角部分采取增设扫描站点的方法处理,按照 1~3 mm 的采样间距,共扫描 11 站(如图 1 所示)。扫描方式采用先全景概略扫描,后选择精细扫描,并在整个扫描过程中采用扫描标靶的数据拼接方式,两扫描站至少保证有 4 个共同标靶。

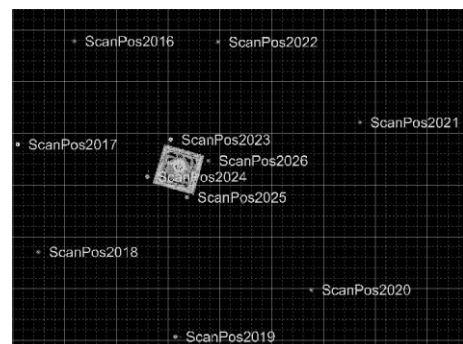


图 1 扫描站点布置图

2. 数字影像采集

为了准确生动地将扫描对象的纹理信息与精细模型匹配起来,需要进行数字影像的采集。项目中除使用仪器自身的同轴相机外,还使用单反相机进行影像的采集。

数字影像获取的原则跟点云数据获取的原则相一致,也是要求完整。数字影像在获取时设备的镜头应尽可能保持与扫描对象的立面平行,只有这样才能尽可能地保证各个位置的像素与原始影像的像素一致。

四、点云数据配准

激光扫描获取的每站数据均处于各自的仪器

收稿日期: 2011-08-24

作者简介: 孟志义(1960—),男,北京人,高级工程师,主要研究方向为城市地下管线工程,三维扫描工程及城市工程测量的研究应用。

坐标系下(SOCS),因此需要将不同视点获取的激光点云数据统一到某个固定的坐标系中,如统一的工程坐标系(PRCS)或全局坐标系(GLCS)。

点云数据配准是利用点云数据中的变换信息(如相邻测区公共标靶的信息或由全站仪建立的控制坐标系),对三维数据进行配准计算。点云配准通常是在相邻的2个测站公共区域安置3个或3个以上标靶进行扫描,并按照摄影测量影像匹配的原理,对相邻区域中的同一靶标组成的同名点对计算点云配准参数,以完成相邻点云的配准。

以两站扫描数据 Scanword1 和 Scanword2 为例进行配准。以 Scanword1 为基准,实际上就是求 Scanword2 到 Scanword1 的变换参数,即由3个角元素($\varphi \ \omega \ k$)组成的旋转矩阵 R 和3个平移量($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)组成的平移向量 T 。变换条件满足

$$\begin{bmatrix} x_p^1 \\ y_p^1 \\ z_p^1 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_p^2 \\ y_p^2 \\ z_p^2 \end{bmatrix} + T$$

由上式,就可以将 Scanword2 转换到 Scanword1 的坐标系中。这里不再对坐标系转换的数学模型进行推导。

在 RiSCAN PRO 软件中,从仪器坐标系到工程坐标系的转换参数(SOP)是用一个 4×4 的转换矩阵来表示的

$$M_{\text{SOP}} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

项目中利用公共标靶进行点云配准的标准偏差均小于 2 mm。完成所有扫描站数据配准后的华表点云数据如图 2 所示。

五、构建精细三角网模型

激光扫描获取的海量点云数据通过匹配同轴相机采集的影像数据能够真实地再现扫描现场,但离散点并不能有效地表达实物的表面,因此需要构建立体模型。几何模型的制作主要包括点云数据预处理和三角网模型构建这两部分。

数据预处理是在不影响模型构建精度的前提下,减少冗余点云数据并优化整体点云,其目的是降低三角网模型构建的复杂程度及错误。数据预处理的过程通常包括数据滤波、平滑、重采样、分割。

石质文物通常构造复杂、细节多,使用常规的建模手段将无精度可言且很难达到效果。基于扫描点

云数据,利用逆向工程手段构建不规则精细三角网模型,可以非常逼真地再现文物面貌。模型构建的过程通常包括三角网模型的建立、模型残缺数据的修复、错误拓扑关系的改正、模型平滑和模型简化。

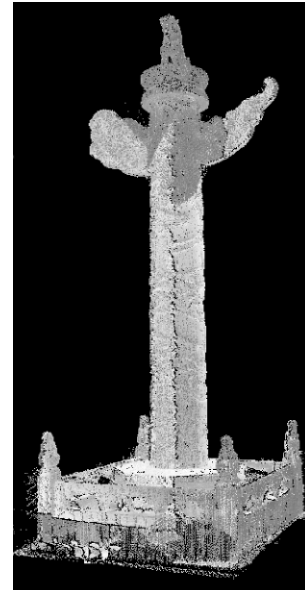


图2 华表的完整点云数据

在华表三角网模型(如图3所示)的构建过程中,主要使用逆向工程软件 Geomagic,主要操作为去除体外孤点、减少噪音、曲率采样、封装、填充、删除钉状物、松弛、简化等。

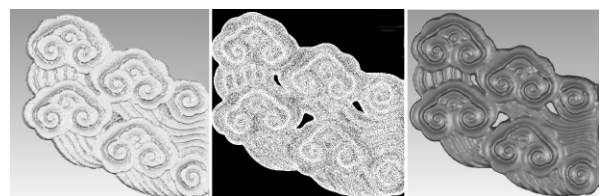


图3 华表模型构建(点云→三角网→面方式显示的三角网模型)

六、纹理映射

纹理映射就是将二维影像的颜色信息正确地映射到三角网模型的三角网面片上,这种映射关系是基于摄影测量学中共线方程的,公式如下

$$\begin{aligned} x_p - x_{pp} + \Delta x &= \\ -f \frac{(X_p - X_C) m_{11} + (Y_p - Y_C) m_{12} + (Z_p - Z_C) m_{13}}{(X_p - X_C) m_{31} + (Y_p - Y_C) m_{32} + (Z_p - Z_C) m_{33}} \\ y_p - y_{pp} + \Delta y &= \\ -f \frac{(X_p - X_C) m_{21} + (Y_p - Y_C) m_{22} + (Z_p - Z_C) m_{23}}{(X_p - X_C) m_{31} + (Y_p - Y_C) m_{32} + (Z_p - Z_C) m_{33}} \end{aligned}$$

式中, Δx 和 Δy 是旋转参数的改正数; m_{ij} 是旋转矩

阵 R 的转置矩阵中的元素,而旋转矩阵 R 则依赖于 P 点相对于坐标轴的 3 个旋转角度。

根据构建的三角网模型,加上外业获取的高分辨率影像就可以进行从影像到模型的纹理映射,得到单块的彩色三角网模型,而将多个具有邻接关系的单块彩色模型合并在一起则可以得到完整的彩色模型。其具体的操作方法是在三角网模型和影像上选定同名点,从而计算相片的内外方位元素和系统误差改正数。根据使用软件的不同,选取的最少同名点的数目也不相同,但最少不能少于 4 对,多选一般可以提高映射的质量。图 4 是华表的局部纹理映射。



图 4 局部纹理映射

七、数字展示

文物的数字化展示仍然是目前的一个技术难题。由于经过纹理映射后的精细三角网模型数据量大,且数据格式转换存在一系列问题,如纹理丢失、纹理失真、模型显示异常、模型精度下降等,因此做到大规模的文物的数字展示还很难。这里介绍两种笔者常用的精细展示小体量文物的方法:一种是将带有真实纹理的三角网模型生成 PDF 格式的文件,该文件可以在安装有 Adobe Reader 的机器上打开,并可以执行三维浏览及测量操作,方便高效;另外一种是在开发的三维浏览器平台上展示(如图 5 所示),这种方法能更好地展示文物,但需要一个小型的浏览器支持。

八、改进的内业作业流程

通过对内业数据处理技术的研究及对文物类扫描工程经验的积累,提出一种改进的内业作业流程(如图 6 所示),优化文物精细三角网模型构建的

效率。



图 5 在浏览器平台上展示的华表模型

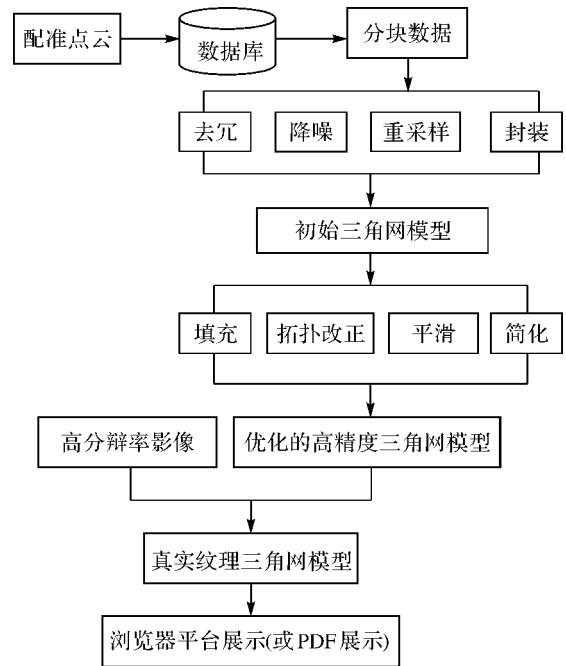


图 6 改进的技术流程图

以上的技术流程中省略了生成低精度三角网模型的步骤,只使用高精度三角网模型,这是由于受改进的纹理映射技术的影响。

九、结束语

利用激光扫描获取的点云数据结合高分辨率影像进行精细模型构建是目前文物保护、古建筑修复与

设计及文化遗产领域的主要技术手段,有很大的应用价值。本文提出的改进的内业数据处理方法在天安门华表项目中得到了很好的验证,用数字化的方式非常逼真地展现了华表的精细造型,并保证了模型构建的精度。同时,在国内首次尝试使用 PDF 格式的文件精细展示小体量文物,这在数字展示方面是一种技术创新。然而,对于点云数据的预处理、三角网模型的快速准确构建及高分辨率模型与影像的快速纹理映射还不能做到完全自动化,对于大场景的众多精细模型的展示目前也还没有相应的解决方案,这些都是尚待认真研究解决的迫切问题。

参考文献:

[1] 张爱武,孙卫东,李凤亭. 基于激光扫描数据的室外场

景表面重建方法[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(2): 384-391.

- [2] 吴静, 靳奉祥, 王健. 基于三维激光扫描数据的建筑物三维建模[J]. 测绘工程, 2007(5): 57-59.
- [3] 张远智, 胡广洋. 基于工程应用的三维激光扫描系统[J]. 测绘通报, 2007(1): 34-36.
- [4] 郑德华. 三维激光扫描数据处理的理论与方法[D]. 上海: 同济大学, 2005.
- [5] 李必军, 方志祥, 任娟. 从激光扫描数据中进行建筑物特征提取研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2003, 28(1): 65-70.
- [6] LAI J Y, UENG WD, YAO C Y. Registration and Data Merging for Multiple Sets of Scan Data[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1999, 15: 54-63.

(上接第11页)

根据式(3),可分别计算出所有地物检核点的 x 方向和 y 方向中误差 m_x 、 m_y 以及点位中误差 m

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i^2} \\ m_y &= \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta y_i^2} \\ m &= \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta P_i^2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

计算得

$$m_x = \pm 0.872 \text{ m}, m_y = \pm 0.849 \text{ m}, m = \pm 1.217 \text{ m}$$

地物检核点的坐标误差由在更新地形图上的误差 m_1 和实地测得的同名点坐标误差 m_2 两部分组成,则

$$m^2 = m_1^2 + m_2^2$$

这两部分误差认为是等精度的,则有

$$m_1 = m/\sqrt{2} = \pm 0.861 \text{ m}$$

根据航测内业成图规范,1:2 000 地形图图上单点定位绝对精度的要求为 $\pm 1.0 \text{ m}$,此项精度指标表明基于 EROS-B 高分辨率影像提取地物已经达到了

1:2 000 地形图的更新要求。

五、结束语

本文利用高分辨率现势遥感影像与原有数字线划图配准,通过两图的叠加、判读,获取地物的变化信息。试验表明,采用 0.7 m 分辨率的 EROS-B 影像可以实现矿区 1:2 000 大比例尺地形图的更新精度,该方法具有快速、准确、经济等优点,是大比例尺地形图更新的发展方向之一。

参考文献:

- [1] 王行风,邓喀中,汪云甲. 利用 DGPS 和高空间分辨率影像进行煤矿区地形图更新研究[J]. 中国矿业, 2008(5): 103-105.
- [2] 李世平,武文波,康停军,等. 基于遥感影像的矿区地形图更新方法与精度分析[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2008(2): 198-201.
- [3] 杨泽运,康家银,赵广东. 利用 QuickBird 全色遥感影像更新城市大比例尺地形图[J]. 测绘工程, 2005(14): 29-31.