

三星堆月亮湾城墙遗址覆土方量计算

刘昌军,丁留谦,孙东亚

(中国水利水电科学研究院,北京 100038)

摘要 利用三维激光扫描技术获取三星堆月亮湾城墙遗址区高精度三维激光点云,实现了任意边界挖填方量的精确计算。采用 IDL 编制了海量激光点云存储与管理软件 LIDARVIEW,应用海量激光点云网格分块技术和动态四叉树空间索引方法实现了海量激光点云数据的存储与管理。提出基于网格分块的地表植被和建筑物的自动过滤技术,建立三星堆月亮湾城墙遗址现状地表的 DEM 模型。结合三星堆月亮湾城墙遗址的覆土设计方案,得到月亮湾城墙遗址覆土后地表 DEM 数据和覆土四周边界数据。最后利用覆土前后地表的 DEM 数据,对三星堆月亮湾城墙遗址覆土方量进行计算。工程实例表明,该方法可以快速、高效地解决复杂工程的挖填方的方量计算。

关键词 月亮湾城墙遗址;三维激光扫描;LIDARVIEW;植被过滤;工程覆土方量

中图分类号:TV221.1

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2011)02-0081-04

Calculation of soil quantity in Moon Bay Wall Site of Sanxingdui//LIU Chang-jun, DING Liu-qian, SUN Dong-ya (China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing, 100038, China)

Abstract : By using three-dimensional laser scanning technology, high-precision three-dimensional laser point cloud of the Moon Bay Wall Site of Sanxingdui was achieved. The volume of filling soil in arbitrary boundary could be accurately calculated. The massive laser point cloud storage and management software LIDARVIEW was programmed by means of the IDL language, in which the massive laser point cloud data could be stored and managed using the technology of massive laser point cloud grid blocking and the method of dynamic quadtree spatial index. The technology to automatically filter the vegetation and buildings on the ground was put forward, and a DEM model for the current ground surface of the Moon Bay Wall Site of Sanxingdui was established. Based on the design scheme of soil covering at the Moon Bay Wall Site, the DEM data of ground surface and the boundary data after covering soil were obtained. According to the DEM data of the ground surface before and after covering soil, the volume of filling soil was calculated. The project case indicates that the proposed method can rapidly and deficiently solve the calculation of the volume of filling soil for complicated projects.

Key words : Moon Bay Wall Site; 3D laser scanning; LIDARVIEW; vegetation filter; soil quantity

三星堆遗址由西城墙、南城墙和月亮湾城墙组成,位于四川省广汉市城西南兴镇,遗址分布范围达 12 km²。月亮湾城墙位于成都平原北部之沱江冲积扇上。为保护三星堆月亮湾城墙遗址,防止雨水冲刷和侵蚀,对月亮湾城墙遗址进行掩埋性保护。

月亮湾城墙填土主要以覆土保护为主,墙顶填土厚一般在 0.5 ~ 1.5 m 之间,局部稍厚,墙顶填土标高根据城墙墙顶现状地形顺坡就势,自然过渡,两侧坡面按自然稳定坡角进行放坡。

由于月亮湾城墙地形复杂,地表和四周边界不规则,覆土较薄,传统的测量方法(如全站仪和 GPS 等)因无法获取高密度的数据从而难以精确计算覆

土方量。针对这一问题,提出了采用激光测量方法进行复杂工程任意边界的挖填方的流程与方法。目前国内外采用激光扫描技术进行精细测量的应用研究较多^[1-2],对其误差影响因素也做了详细分析^[3-5]。笔者对海量激光点云的管理和存储问题、地表植被过滤问题和地表构网与 DEM 生成等问题进行了研究,并在此基础上采用 IDL(interactive data language)编制了基于海量激光点云数据的复杂工程挖填方计算软件 LIDARVIEW,该软件实现了海量激光点云的分块管理和动态四叉树的空间索引、地表植被自动过滤、复杂点云快速构网和任意边界的挖填方计算。

利用上述介绍的方法,采用激光扫描仪和高精度 GPS 系统获取了三星堆月亮湾城墙遗址多站点的三维点云数据,将点云数据拼接并转换坐标后导入 LIDARVIEW 软件。利用 LIDARVIEW 软件的全自动植被过滤方法将地表植被过滤后生成地表 DEM 数据。根据月亮湾城墙遗址的覆土设计方案,采用 LIDARVIEW 软件剖面自动加密技术,形成月亮湾城墙覆土方案下的地表 DEM 数据。根据覆土前后的 DEM 数据,采用 LIDARVIEW 软件的网格数据统计方法,计算得到了覆土方量,同时采用 SURFER 商业软件对覆土方量进行验证。

1 LIDARVIEW 软件开发及其关键技术

对海量激光点云进行管理和快速处理是影响激光测量技术广泛应用的主要问题。借助目前 GIS 领域的海量数据存储方法和分块技术,使用 IDL 开发了海量激光点云管理和快速处理分析软件 LIADVIEW^[6]。该软件界面简单,操作方便,可用于各种激光点云数据的管理和查询浏览,激光点云、影像和 DEM 数据的多元叠加与应用,植被自动过滤,激光点云的二维和三维的快速展示,等高线和 DEM 数据自动生成等。针对挖填方工程开发了挖填方模块,该模块可用于任意边界的挖填方工程的计算。

1.1 海量激光点云分块与管理技术

随着三维扫描技术的快速发展,海量激光点云的管理和查询是目前数据管理需要解决的问题。为了进行激光点云的海量数据管理、处理与显示,对激光点云分块处理显得尤为必要,笔者采用了等网格分割方法(图 1)对海量激光点云数据进行分块处理。在点云数据的 x, y 方向对分块网格采用空间动态四叉树的分析方法,在所有存在点的网格与点云之间建立索引关系,点云自动过滤处理时,只计算存在点的网格,对计算结果再以索引的方式动态存储,作为下次迭代计算的基础数据。

1.2 动态四叉树的空间索引方法^[7]

为了克服常规四叉树空间索引结构中的问题,

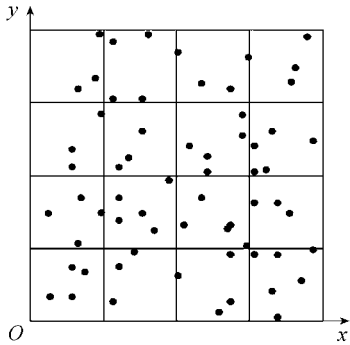


图 1 海量激光点云的分块处理示意图

利用文献 7 提出的动态四叉树的空间索引方法,即在开始建立四叉树时,不需要事先确定工作区域的范围,只需把要插入空间数据库的第 1 个对象的 MBR 中心作为四叉树的顶点,随着数据采集工作的进行,对作业空间进行分解。具体算法如下:

- 根据第 1 个插入的空间对象,确定四叉树空间的中心点,四叉树的 4 个叶子节点的某一个方向是开放的,如图 2 所示(图中字母表示节点,数字表示图元序号)。
- 计算空间对象的 MBR。
- 通过图 2 搜索出所有包含该空间对象的叶子节点。
- 判断这些叶子节点所包含的空间对象数是否超出阈值,如果节点中的对象数超出阈值,则分 2 种情况进行处理:如果是开放边界的节点(如图 2 中的节点 d)则要首先计算该节点内包含的所有空间对象的 MBR,然后把该节点分解成 4 个新的叶子节点,如果该节点是非开放节点(如节点 e),则直接把该节点分成 4 个新的叶子节点。
- 重新计算新生成节点中所包含的空间对象。
- 重复步骤 a~e。

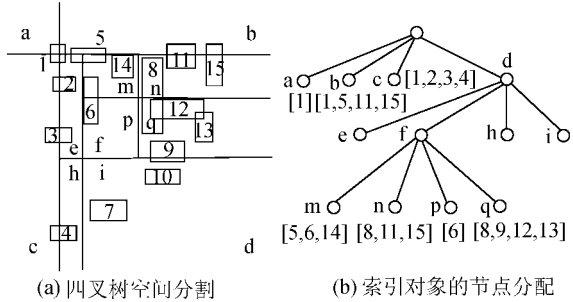


图 2 动态四叉树空间索引

1.3 植被自动过滤算法

为精确获取地表激光点云数据,有效过滤掉地表以上的植被、建筑物等激光点云数据,提出了激光点云植被的全自动获取算法^[8-9],即在海量激光点云分块处理并建立相应的空间索引关系的基础上,对网格内的点云数据进行抽稀。利用克里格插值技术对抽稀后的点云进行插值形成参考面,求取各网格内激光点云到参考面的距离,根据点云到参考面的距离大小对激光点云进行分类处理。具体处理方法如下:

- 对海量激光点云进行分块处理并采用动态四叉树方法对分块网格建立相应的索引。
- 将各网格内激光点云数据进行抽稀处理,即根据数据大小确定网格大小,建立位于激光点云最低点下方一定距离的一个 xOy 平面的参考平面,保留每个网格内距离参考面最低的激光点云数据。

- c. 对抽稀后所有网格内激光点云进行克里格差值,并形成分块网格的DEM数据。
- d. 求取每个网格内的激光点云到建立的 DEM 曲面的距离,将距离大于允许值的点云数据进行删除,其余数据保留。
- e. 将保留的激光点云数据,重复步骤 a~e。每次重复过滤时,分块网格依次减小,判别允许距离值也逐渐减小,直至所有点云距离参考 DEM 面的距离小于允许值。根据经验,后一次网格分块大小和距离判别值取前一次的 1/2~2/3。依次过滤 3~5 次,即可获取地表的激光点云数据。

1.4 空间三角网快速构建技术

不规则的海量激光点云数据在构建 TIN 网时速度较慢且效果不理想,本文使用了李逢春等^[10]提出的融合雕刻算法和生长算法的合成算法进行海量激光点云的三角网重构,该算法基于表面三角形任意一边的邻域结构,采用加权最小长度准则实现表面的快速生长。对拓扑复杂度极高的地形表面可以进行有效重构,重构的三角网格表面与被采样的地表表面拓扑误差最小。

1.5 任意边界挖填方计算方法

采用 IDLgrTessellator 对象对任意边界进行三角划分,在三角划分的三角形内使用 IDLanROI 对象的 ComputeMask 方法获取落在挖填区域内的 DEM 数据,对获取的高程点使用 Triangulate 函数构建 Delaunay 三角网,使用 Mesh_Merge 函数对所有三角剖分内的 Delaunay 三角网进行拼合,从而得到任意边界挖填区域的地表 TIN 模型构建。

根据建立的地表 TIN 模型,采用网格数据统计法计算任意边界的挖填方量。

2 月亮湾城墙遗址掩埋方量计算分析

2.1 现场数据采集

采用 REIGL 公司的 LMS420I 地面三维激光扫描仪和天宝 5800 高精度 GPS 设备对三星堆西城墙遗址进行了野外激光测量。利用激光扫描仪扫描 15 站,共获取扫描面积为 26.12 万 m²、精度为 5 cm 的三维激光点云坐标。在单站测量时,同时布置 5 个反射片,并采用高精度 GPS 获取了 75 个反射片中心点大地坐标。图 3 为三星堆月亮湾城墙遗址三维激光点云数据。

2.2 数据处理

野外激光点云的数据处理是将外业扫描的激光点云数据转换为可供分析的 DEM 网格数据,其处理流程包括:坐标转换、植被自动过滤和 DEM 网格化。

- a. 坐标转换。将获得的 15 站激光点云数据分

别进行坐标转换,将各站相对坐系统一为大地直角坐标系。转换坐标后的激光点云见图 3。

- b. 植被自动过滤。采用 1.3 节提出的植被自动过滤方法,将月亮湾城墙遗址的激光点云数据进行植被过滤,得到了地面的激光点云数据,见图 4。

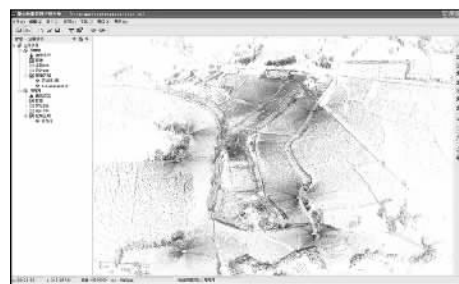


图 3 三维激光点云数据

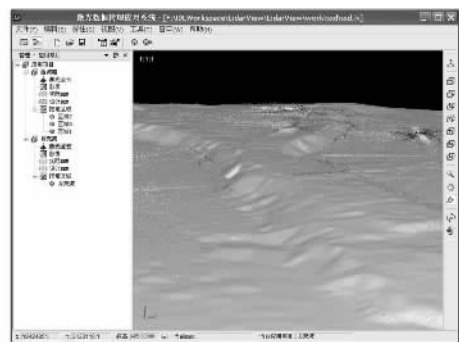


图 4 过滤植被后地表激光点云数据

- c. DEM 网格生成。利用过滤后的激光点云数据,对采集的高密度、大数据量的点云数据进行抽稀,使用克里金插值得到标准网格(1 m × 1 m)的 DEM 数据(图 5),作为计算的基础数据使用。

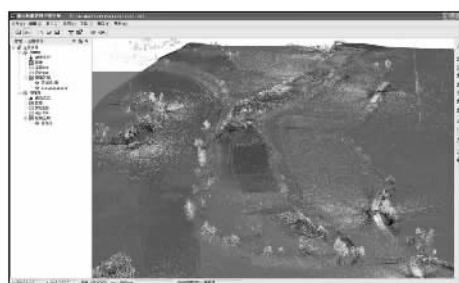


图 5 月亮湾城墙遗址激光点云和 DEM 数据

2.3 设计方案及处理

三星堆月亮湾城墙覆土采用粉质黏土,回填时应先清除表层种植土层并凿毛,分层回填,每层厚为 20 cm,并分层夯实,回填压实度应大于或等于 80%;覆土两侧放坡坡角为 24°,覆土顶面外倾坡度为 3°~5°。导流墙后回填时,应先清除坡面松散堆积层,再按自然稳定坡角进行换填放坡。月亮湾城墙遗址覆土设计方案工程布置见图 6。

利用图 6 中的《西城墙工程布置平面图》与《西城墙工程布置剖面图》覆土方案的设计原则对西城

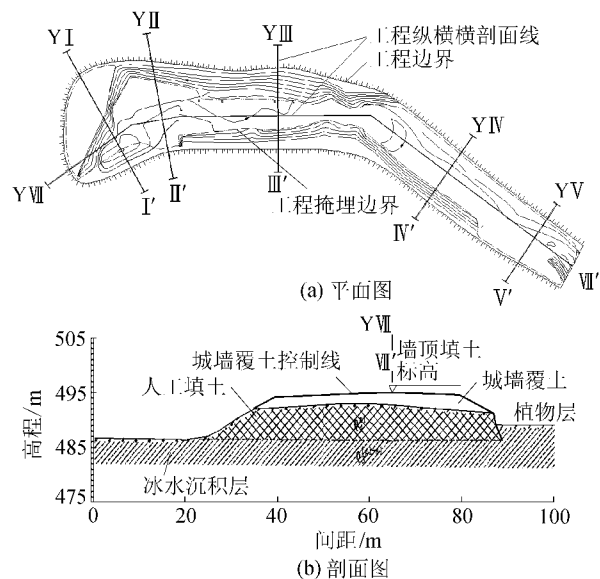


图6 月亮湾城墙遗址覆土设计方案工程布置示意图
墙遗址设计断面进行加密处理,获取了加密后1500多个断面的覆土后地表数据,建立设计覆土区的三维模型,构建得到网格间距为1m的DEM数据见图7。同时根据工程布置平面图设计数据(CAD图纸)提取设计填埋的四周边界。

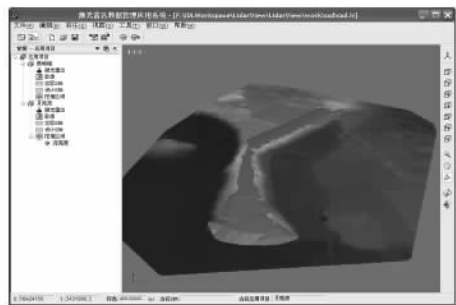


图7 月亮湾城墙遗址覆土前后的DEM数据

2.4 掩埋方量计算

将得到的月亮城墙遗址的激光点云数据和利用设计方案得到的覆土后地表数据导入LIDARVIEW软件,为得到高精度的掩埋方量,西城墙遗址现状下DEM数据和填埋设计DEM模型数据网格间距保持一致。

利用1.5节介绍的计算方法计算得到了三星堆月亮湾城墙遗址覆土前后的DEM数据及方量(图7)。同时采用Surfer软件对月亮湾城墙遗址覆土工程的覆土方量进行计算。其中利用LIDARVIEW软件计算得到覆土方量为 $19\,025\text{ m}^3$,利用Surfer软件计算得到的覆土方量为 $19\,361\text{ m}^3$,两者之间相差 336 m^3 ,误差为1.7%,小于允许误差5%。通过2个软件计算结果的相互验证,可最终验证计算结果的准确性。

3 结 语

a. 采用三维激光测量技术对三星堆月亮湾城墙遗址工程复杂覆土方量进行了计算研究。针对海量激光点云的管理和处理问题,提出了激光点云网格分块方法和动态四叉树空间索引方法,并采用IDL编制了海量激光点云的管理软件LIDARVIEW。

b. 利用LIDARVIEW软件提出了基于网格分块的海量激光点云数据的植被全自动过滤方法。该方法可以快速、自动地将植被、建筑物等激光点云过滤掉,为工程挖土方计算和地形图绘制提供高精度地面点数据。

c. 提出了任意边界的覆土方量计算方法,利用获取的月亮湾地表激光点云数据和设计掩埋方案的DEM数据,完成了月亮湾城墙遗址的覆土方量计算。

参考文献:

- [1] 范海英,杨伦,邢志辉,等. Cyra 三维激光扫描系统的工程应用研究[J]. 矿山测量, 2004(3): 16-18.
- [2] 马立广. 地面三维激光扫描仪分类与应用[J]. 地理空间信息, 2005, 3(3): 60-62.
- [3] 程瑞芳,张剑清. 基于激光扫描仪的点云模型的自动拼接[J]. 地理空间信息, 2004, 2(6): 37-39.
- [4] 毛芳儒,王磊. 三维激光扫描技术[J]. 宇航计测技术, 2002, 22(2): 1-6.
- [5] 郑德华,沈云中,刘春. 三维激光扫描仪及其测量误差的影响因素分析[J]. 测绘工程, 2005, 14(2): 32-34.
- [6] 韩培友. IDL 可视化分析与应用[M]. 西安:西北工业大学出版社, 2006.
- [7] 赵波,边馥苓. 面向移动GIS的动态四叉树空间索引算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(15): 86-88.
- [8] 刘昌军,丁留谦,孙东亚. 海量激光点云的分块处理及植被自动过滤技术研究[C]//郭华东. 第一届全国激光雷达对地观测高级学术研讨会论文集. 北京:中国科学院数字地球重点实验室, 2010: 101-106.
- [9] 刘峰,龚健雅. 基于3D LiDAR数据的城区植被识别研究[J]. 地理与地理信息系统, 2009, 25(6): 5-8.
- [10] 李逢春,龚俊,王青. 基于三维TIN的精细表面建模方法[J]. 计算机应用研究, 2006(8): 159-161.

(收稿日期: 2010-08-09 编辑: 方宇彤)

