

三维激光扫描技术在精细地形图绘制中的应用

胡奎¹, 王丽英²

(1.皖北煤电集团, 安徽 宿州 234011; 2. 辽宁工程技术大学 测绘地理科学学院, 辽宁 阜新 123000)

摘 要:为解决煤矿沉陷区由于其范围较小、地形复杂和人员通行困难等因素,致使全站仪内外业一体化数字成图或数字摄影测量方法因工期与成本原因,无法较好满足工作需求.采用三维激光扫描仪通过非接触测量极大的解决了通行问题,既保证成图精度要求,又提高了工作效率.将三维激光扫描技术与 GPS 技术相结合进行外业数据采集,通过点云处理,进行等高线、精细地形图绘制.研究表明:该方法可以满足大比例尺测图精度要求.

关键词: 三维激光扫描; GPS; 精细地形图; 煤矿沉陷区; 数字化成图; 等高线; 全站仪; 数字摄影测量

中图分类号: P 232

文献标志码: A

Applications of three-dimensional laser scanning technology in fine topographic map

HU Kui¹, WANG Liying²

(1.WanBei Coal-Electricity Group CO., LTD, Suzhou 234011, China;

2. School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: Due to the smaller range, complex terrain and difficult accessibility of coal mine subsidence area, plus the tight deadline and cost factors, the integrated digital mapping with both total station and digital photogrammetry is unable to meet the project demand. The method of non-contact measurement and 3D laser scanner gives a solution to the accessibility problem, and it not only ensures the mapping accuracy, but also improves the work efficiency. 3D laser scanning and GPS are adopted to collect field data, and then processes the point cloud, finally generates contour and fine topographic map. The study results show that this method of plotting can meet the accuracy requirements of large-scale mapping.

Key words: three-dimensional laser scanning; GPS; fine topographic map; coal mining subsidence area; digitized drafting; contour; total station; digital photogrammetry

0 引 言

传统地形图绘制方法是利用全站仪、航空影像测量等.全站仪数字测图对测区内特征点进行三维坐标测定后,通过内业处理绘制成所需比例尺的地形图.这种方法测量的点,数量有限,一般根据地形图的比例需要有选择性的进行测量,对不同比例尺的地形图其测量的详细程度不同,且数据采集时间长,外业工作强度大,对于一些危险无法到达的地段就无法测量了;航空、遥感影像数据的获取成本比较高^[1-2].三维激光扫描技术,可以深入到任何复杂的现场环境中进行扫描操作,并可直接实现各种大型、复杂、不规则的实体或实景三维数据的完整采集,其在数据采集的效率、模型的数据精度、数据处理的速度和数据分析的准确性等方面都具有

明显的优势,主要应用于^[3]三维立体建模、变形监测^[4]、地形测绘、虚拟现实等方面.本文以某矿区一沉陷区局部地形图测绘为例,探讨了基于三维激光扫描技术实现大比例尺地形图绘制的方法及步骤.

1 “GPS+三维激光扫描”精细地形测绘

近年来,随着三维激光扫描技术的不断成熟,采用三维扫描仪进行地形数据采集已经得到了应用.李建辉^[5]对三维激光扫描技术应用于滑坡体地形可视化进行了研究;何秉顺^[6]探讨了三维激光扫描技术在堰塞湖地形快速测量中的应用;陈冉丽^[7]对三维激光扫描用于获取开采沉陷盆地进行了研究;梅文胜^[8]针对基于地面三维激光扫描的精细地形测绘进行了研究;刘昌军^[9]对三维激光

收稿日期: 2013-03-09

基金项目: 辽宁省教育厅科研项目(12-1176);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20122121120002);对地观测技术国家测绘地理信息局重点实验室基础测绘经费资助项目(K201207)

作者简介: 胡奎(1963-),男,安徽宿州人,高级工程师,主要从事煤矿开采沉陷预计与数据处理和矿山地质环境治理等方面的研究.

本文编校: 朱艳华

扫描技术应用于矿山地形快速测量的关键技术进行了研究;曹玺^[10]尝试将三维激光扫描技术应用于地形测绘成图.综上所述,一般基于三维激光扫描技术的地形测绘主要作业流程包括外业数据采集、点云数据配准、地物的提取与绘制、非地貌数据的剔除、等高线生成和地物与地貌的叠加编辑等几个步骤,见图1.

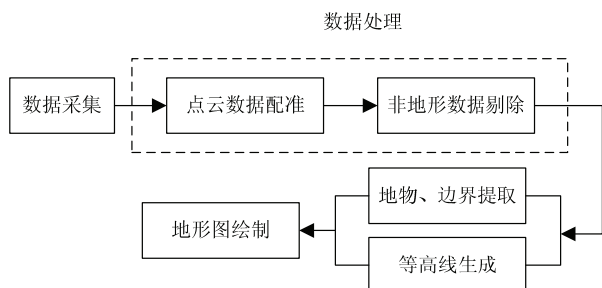


图1 地面三维激光扫描精细地形测绘的作业流程

Fig.1 Work flow of fine topographic map by terrestrial 3D laser scanning

试验目标区为某矿区的一沉陷区,长约700 m、宽约650 m.沉陷区中部的公路、沟坝将沉陷区分隔成东、西两部分,由于土地塌陷,中部已形成了一定区域的汇水,沉陷区已被复垦为鱼塘,沉陷区内的树木已被砍伐完,下沉的电线杆也得到了加固.由于煤层开采尚未停止,该区域仍在继续下沉.由于特殊的环境,传统的采用全站仪、GPS的地形测量方法已经很难进行,故采用GPS+三维激光扫描方法进行沉陷区高精度大比例尺地形图测绘.

2 数据采集与处理

2.1 外业数据采集

项目采用Leica公司的HDS ScanStation C10三维激光扫描仪进行测区点云数据采集,考虑到仪器最大扫描距离为300 m,且扫描精度随着距离加大而逐步降低,因此,扫描中采用“分块”的扫描策略,即东、西两侧并排向前推进扫描,西侧布设了15站、东侧布设了9站.

为了将三维扫描数据统一到大地坐标系下用于地形图编制,在测区范围内布设控制点13个,扫描时在此点架设靶标,并利用GPS-RTK技术测定其大地坐标值.

2.2 点云数据配准与坐标转换

在每一测站上所获得的点云数据都是基于仪器内部自定义的坐标系,为了得到完整准确的扫描

对象数据,必须将各站独立坐标系统一到同一坐标系下(如:大地坐标系或局部坐标系).为了最后与大地坐标转换时不影响其转换精度,需要将各扫描站的数据先统一到某一测站的局部坐标系下,通常选择第一站作为母站.通过相邻两站间3个或3个以上的同名控制标靶,将点云数据统一到第一测站定义的坐标系下.图2为利用cyclone软件完成的配准结果,配准误差均在毫米级水平,表明本次作业各测站之间具有很高的像对精度.

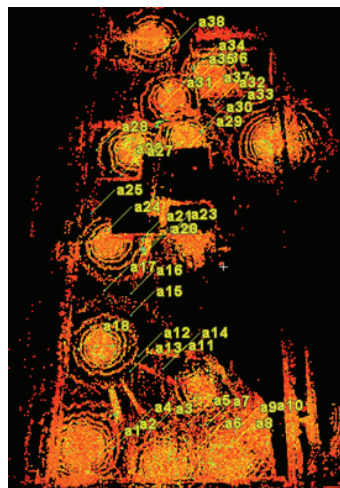


图2 配准点云

Fig.2 registration results

配准好的整个沉陷区的点云数据是基于相对坐标系下的,需要利用测区GPS控制点坐标数据进行一次坐标变换,将相对坐标转化到大地坐标系下.

对于每一个GPS控制点而言,在扫描和点云配置后获得了该点的扫描坐标系下的相对坐标,在GPS测量中计算出该点的大地坐标,通过每个控制点的两套三维坐标,就可以通过坐标转换模型建立两套坐标系的关系,从而把点云的坐标数据转换到大地坐标系下来.

由于三维激光扫描仪测量得到的数据与GPS控制点之间的欧拉角可能很大,所以在纠正中不能采用小角度的空间直角坐标转换.采用一种大旋转角的空间直角坐标转换的简便模型,该模型不仅能实现大角度的转换,而且计算过程简单,便于程序实现.它的主要思想是将旋转矩阵中的9个方向余弦都设为未知量,外加3个平移,1个尺度,共有13个未知数;由于旋转矩阵中仅有3个独立参数,根据旋转矩阵的正交特性,可列出6个条件式.若有 n 个公共点,则可列出 $3n$ 个观测方程,另外旋转矩阵中9个参数可列出6个条件,将这6个条件式作为条件方程,按附有条件的间接平差方法解算,就

可获得 13 个未知数的最小二乘解。

若记某点 a 在大地坐标系 $O-XYZ$ 中的坐标为 (X, Y, Z) , 在扫描坐标系 $o-xyz$ 中的坐标为 (x, y, z) , 二者的关系为

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \mu \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中, μ 为尺度; (X_0, Y_0, Z_0) 为平移参数; $(a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3)$ 为方向余弦值。基于旋转矩

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} X_0^0 \\ Y_0^0 \\ Z_0^0 \end{bmatrix} + \mu^0 \begin{bmatrix} a_1^0 & a_2^0 & a_3^0 \\ b_1^0 & b_2^0 & b_3^0 \\ c_1^0 & c_2^0 & c_3^0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_1^0 x_i + a_2^0 y_i + a_3^0 z_i \\ b_1^0 x_i + b_2^0 y_i + b_3^0 z_i \\ c_1^0 x_i + c_2^0 y_i + c_3^0 z_i \end{bmatrix} d\mu + \begin{bmatrix} da_1 \\ da_2 \\ da_3 \\ db_1 \\ db_2 \\ db_3 \\ dc_1 \\ dc_2 \\ dc_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, 上角标为 0 的数是近似值, $dX_0, dY_0, dZ_0, d\mu, da_1, da_2, da_3, db_1, db_2, db_3, dc_1, dc_2, dc_3$ 为改正数, 则误差方程为

$$V_i = A_i X + L_i, (i=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

但是 $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$ 是相关的, 根据条件可列出方程式

$$BX + W = 0 \quad (5)$$

按附有条件的间接平差法解算式, 就可以得到 X 。

经过计算, 转换后最大点位中误差小于 4 cm, 完全满足 1:500 比例尺测图精度要求。

2.3 信息提取与制图

三维激光扫描是对整个测区地表信息的扫描, 点云数据包含了地表及空间的所有信息。由于受到树木、植被、电线杆等地物的遮挡影响, 点云数据存在大量的噪声, 对于非地形、地物信息需要加以过滤、剔除。利用 Cyclone 软件中 fence 框选功能直接框选出非地形、地物数据, 并加以删除, 减少数据冗余。

对于测区地物数据的提取 (如电线杆), 在点云数据中直接选取最靠近地面的特征点, 必要时做简单的差值处理, 直接获得其特征点的三维坐标,

阵的正交特性, 可列出 6 个条件式

$$\begin{cases} a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 = 1 & a_1 a_2 + b_1 b_2 + c_1 c_2 = 0 \\ b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 = 1 & a_1 a_3 + b_1 b_3 + c_1 c_3 = 0 \\ c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 = 1 & a_2 a_3 + b_2 b_3 + c_2 c_3 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

设未知数为 3 个平移, 1 个尺度, 9 个方向余弦, 则式 (1) 用泰勒级数展开得

将此坐标作为电线杆在地形图中的坐标位置, 然后将数据整理成 txt 文档, 导入地形图中, 在 CASS 软件中直接加入地物符号。对于地表点云数据, 利用 Cyclone 软件点云导出功能, 形成 dxf 格式, 导入 CASS 软件中绘制地形轮廓, 道路及沉陷区形成的汇水区域边界等。

地表点云数据可以作为离散的高程点来对待, 利用 CASS 软件中“指定点生成数据文件”功能, 按一定间距, 手动提取测区内高程点数据, 自动生成等高线, 见图 3。



图 3 沉陷区局部等高线

Fig.3 local contour

对重点沉陷区可以根据需要, 提取较密的高程点, 生成等高距为 5 cm, 10 cm 或 20 cm 等不同等高距的等高线, 满足高精度工程设计要求。与传统的

地形测量获得的高程点相比,三维激光扫描方式一次扫描测量点密度大,能够满足不同的测量要求,具有很大的灵活性。

根据以上步骤,将得到的地物、边界、高程点及等高线进行叠加,并添加高程注记、符号注记及文字注记,生成图廓和局部修饰,生成 1:500 完整的地形图,见图 4。

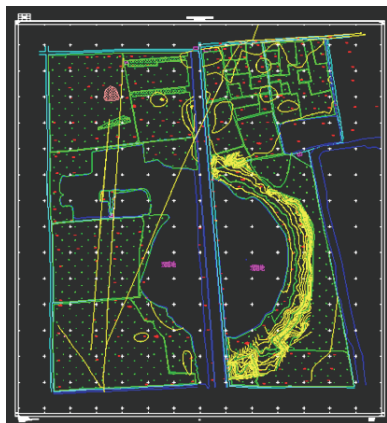


图4 沉陷区精细地形

Fig.4 fine topographic map

3 结 论

(1) 运用三维激光扫描技术进行精细地形图测绘,能快速、详细的获得地形表面所包含的全部信息,能够在计算机中以点云形式详细、真实的表现出地形及其周围的环境状况.与一般的全站仪地形测量相比,其快速扫描及获得海量点云数据的特点,大大提高了野外工作效率,同时降低了野外工作者的劳动强度,将难点转移到了内业数据处理方面.一次详细的点云数据能够满足用户的诸多需求,可以根据用户的不同需求,通过内业有重点的处理,来获得不同成果,是将来测绘领域的发展方向。

(2) 对于大范围的地形扫描,一些起伏较大的区域容易造成数据缺失,形成空洞。

(3) 由于点云数据量相对较大,目前还没有完善的软件能够满足点云的各种非地形点剔除要求,当需要从海量点云数据中提取有用的数据时,一般需要手动剔除大量的点云数据,存在很大的主观性,影响精度要求。

(4) 目前还没有一套完整有效的基于点云数据的地形图精细绘制的方法,只能通过将数据在各个软件之间转换、处理,最终绘制成地形图.因此将

三维激光扫描技术成熟应用于地形图精细绘制还需要长期的研究。

参考文献:

- [1] 韩晶,邓喀中.遥感影像在矿区地形图更新中的应用[EB/OL].
http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201011-286,[2010-11-12].
Han Jing,Deng Kazhong.Experiment of updated topographic maps of the mine area based on remote sensing images[EB/OL].http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201011-286,[2010-11-12].
- [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,2008,27(2):198-201.
Li Shiping,Wu Wenbo,Kang Tingjun,et al. Updating method and accuracy analysis of topographic maps for mining district based on remote sensing imagery[J].Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2008,27(2):198-201.
- [3] 董秀军.三维激光扫描技术及其工程应用研究[D].成都:成都理工大学研究生院,2007.
Dong Xiujun.The three-dimensional laser scanning technique and research on its engineering application[D].ChengDu:Graduate School of ChengDu University of Technology,2007.
- [4] 吴侃,黄承亮,陈冉丽.三维激光扫描技术在建筑物变形监测的应用[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2011,30(2):205-209.
Wu Kan,Huang Chengliang,Chen Ranli.Application of 3D laser scanning technology in monitoring building deformation[J].Journal of Liaoning Technical University:Natural Science,2011,30(2):205-209.
- [5] 李建辉,王琴.三维激光扫描技术应用于滑坡体地形可视化的研究[J].测绘通报,2012(10):51-54.
Li Jianhui,Wang Qin.On landslide terrain visualization by 3D laser scanning measurement system[J].Bulletin of Surveying,2012(10):51-54.
- [6] 何秉顺,赵进勇,王力,等.三维激光扫描技术在堰塞湖地形快速测量中的应用[J].防灾减灾工程学报,2008,28(3):394-397.
He Bingshun,Zhao Jinyong,Wang Li,et al.The application of landslide lake topographic measurement by LiDAR[J].Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering,2008,28(3):394-397.
- [7] 陈冉丽,吴侃.三维激光扫描用于获取开采沉陷盆地研究[J].测绘工程,2012(6):67-70.
Chen Ranli,Wu Kan.Research and application of 3D laser scanning to subsidence basin[J].Engineering of Surveying and Mapping,2012(6): 67-70.
- [8] 梅文胜,周燕芳,周俊.基于地面三维激光扫描的精细地形测绘[J].测绘通报,2010(1):53-56.
Mei Wensheng,Zhou Yanfang,Zhou Jun.Fine topographic mapping based on ground three-dimensional laser scanning[J].Bulletin of Surveying,2010(1):53-56.
- [9] 刘昌军,赵雨,叶长锋,等.基于三维激光扫描技术的矿山地形快速测量的关键技术研究[J].测绘通报,2012(6):43-46.
Liu Changjun,Zhao Yu,Ye Changfeng,et al.Study of the key technologies for mine rapid topographic survey based on 3D laser measurement[J].Bulletin of Surveying,2012(6):43-46.
- [10] 曹玺,梁俊,王延洪,等.三维激光扫描技术在地形测绘成图中的应用[J].人民长江,2011,42(21):22-24.
Cao Xi,Liang Jun,Wang Yanhong,et al.Application of 3D LIDAR in terrain surveying and mapping[J].Yangtze River,2011,42(21):22-24.