

基于机载激光雷达数据的DEM 获取及应用

周淑芳^{1,2}, 李增元², 范文义¹, 庞 勇², 陈尔学², 李晓松²

(1. 东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要: 作为直接获取对象表面点三维坐标的现代对地观测技术, 激光雷达技术能够快速获取高精度地面高程模型。基于Lidar系统所获取的点云数据, 通过过滤处理将区域纯地形特征信息与地物信息相分离, 最终生成高精度的DEM, 并在此基础上对同步获取的数码影像进行了正射纠正, 为进一步的信息提取、定量分析及实体建模奠定基础。

关键词: 机载激光雷达; 三维点云; DEM; 过滤; 正射纠正

中图分类号: TN 958.98 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0323(2007)03-0356-05

1 引言

数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM), 是一定区域范围内规则格网点的平面坐标(X, Y)及其高程(Z)的数据。高精度的DEM不仅可以非常直观地展示一个地区的地形、地貌, 而且也为各种地形特征的定量分析和不同类型专题图的自动绘制提供了基本数据, 因此高精度DEM获取意义重大。传统的DEM制作技术主要依靠数字化地形图和空中三角立体测量技术, 前者依赖手工, 生产效率较低, 而后者包括航空摄影、摄影处理、地面测量(空中三角测量)、立体测量、制图过程的生产模式, 周期明显太长, 已经无法适应当前信息社会的需要。

激光雷达(Light Detection And Ranging, Lidar)技术是现代对地观测的最新技术之一, 通过位置、距离、角度等观测数据直接获取对象表面点三维坐标, 对地面的探测能力有着强大的优势, 具有空间与时间分辨率高、动态探测范围大、能够部分穿越树林遮挡、直接获取真实地表的高精度三维信息等特点, 是快速获取高精度地形信息的全新手段^[1,2]。

本研究基于Lidar系统所获取的点云数据, 通过过滤处理将区域纯地形特征信息与地物信息相分离, 最终生成高精度的DEM, 并在此基础上对同步获取的数码影像进行了正射纠正, 为进一步的信息

提取、定量分析及实体建模奠定基础。

2 试验区概况及数据来源

2.1 试验区概况

研究试验区选在山东省泰安市的泰山林场。泰山林场位于山东省中部, 横亘于泰安、济南两市之间, 116°30' ~ 117°12' E, 36°11' ~ 36°31' N。本研究数据采集飞行约东西13 km, 南北12 km, 试验区总面积160 km²。泰山地势差异显著, 地貌分界明显, 主峰玉皇顶海拔1 545 m, 相对高差近1 400 m, 南陡北缓。总体地势表现为北高南低, 西高东低, 高程变化复杂。泰山地处暖温带大陆性季风气候区, 植被种类组成丰富, 垂直和水平分布规律亦相当复杂。主要森林类型有松林、侧柏林、刺槐林、栎林4大类, 森林覆盖率达81.5%。

2.2 数据来源

本研究采用两种类型数据, 即小光斑激光雷达数据及与其同步获取的数码影像, 数据获取时间是2005年5月18、19、24日。

激光雷达数据是由Rigol 2800获取的离散一次回波las格式数据, 平均激光点间隔1.6 m, 激光扫描角60°, 激光扫描重叠度为22%。飞机飞行地速180 km/h, 相对航高800 m, 绝对航高1 600 m。数码影像数据的空间分辨率大小为0.25 m, 航向重叠度40%, 旁向重叠度30%。

收稿日期: 2006-12-04; 修订日期: 2007-02-12

基金项目: 国家863课题“遥感区域综合应用示范”(2005AA133011)资助, 国家林业局948课题“高精度激光雷达树高测量技术引进”(2004-4-64)支持和林业科学研究院基金项目(2004204)支持。

作者简介: 周淑芳(1982-), 女, 硕士研究生, 主要从事激光雷达遥感的林业应用研究。

3 DEM 获取

3.1 激光雷达工作原理

激光雷达以脉冲激光作为技术手段, 以激光束扫描的工作方式测量从传感器到地面上激光照射点的距离, 即通过测量地面采样点激光回波脉冲相对于发射激光主波之间的时间延迟得到传感器到地面采样点之间的距离。其测距基本原理可表示为:

$$R = (C \cdot t) / 2 \quad (1)$$

其中: R 是传感器到目标物体的距离, C 是光速, t 是激光脉冲从激光器到被测目标的往返传输时间^[3]。

如图1所示, 激光雷达系统由激光扫描系统、全球定位系统(Globe Positioning System, GPS)和惯性测量单元(Inertial Measurement Unit, MU)组成^[4]。由该系统所获取的数据称为三维点云, 不仅包含地物对象的高程信息, 还具有丰富的目标多次回波信号及强度信息、地物类别信息, 以及与每一点高程信息对应的位置信息等。一般而言, 激光雷达系统得到的原始数据是依据时间进行采样的两类数据, 一类为导航定位定向数据, 包括差分GPS数据和MU数据; 另一类是对应瞬时扫描角的激光扫描测距数据^[5]。经过对GPS数据后处理、姿态确定、系统时间同步、检校场定标等一系列的处理后, 最终得到激光点的三维坐标^[6]。

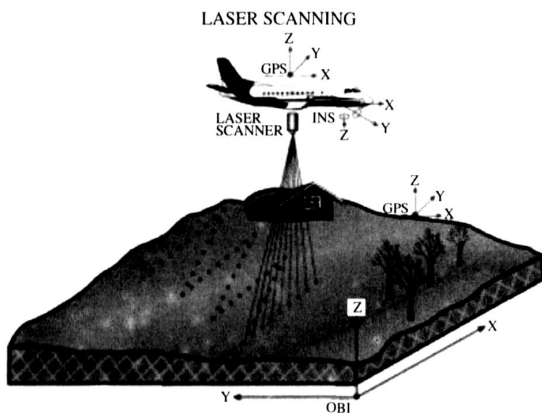


图1 激光雷达系统

Fig 1 Lidar system

3.2 激光点云过滤

利用激光点云数据生成DEM的关键是对其进行过滤计算, 即滤掉那些并非地面点的回波信号所产生的数据, 如房屋、植被、交通工具及桥梁等, 以得到DEM。过滤的基本原理是基于真实地面与地物高程差异的, 针对相邻点或点集之间的高程差, 通过构

建“网格”范围并采取一定的规则进行运算, 把混合在一起的属于不同对象的点分别开来, 特别是地面点与非地面点。对此国外已经进行过许多研究, 并且形成了很多过滤、分类算法。目前的Lidar点集过滤研究也主要集中在德国、瑞士、荷兰、美国以及加拿大等国家。我国张小红^[7]等近几年开展了一些该领域的研究, 在对机载扫描数据过滤方法进行了研究和评价后, 提出“移动曲面拟合预测”过滤算法。目前用于机载激光扫描测高数据过滤的方法绝大部分都是基于三维激光数据脚点的高程突变等信息进行的, 概括起来大致可分为以下几种:

(1) 数学形态学法^[8]。首先通过一片水平分布的记录点上的窗口得到初始地面, 所有与该初始地面在某一距离范围内的点都认为是地面点, 然后用一种自回归过程来检验和进一步优化这些地面点。自回归运算要求激光点是有序排列的, 因此非常适合处理lidar数据。然而, 由激光传感器得到的数据在二维空间(X, Y)上是离散的, 没有一维逻辑顺序。但是与自回归过程相反, 窗口以及在初始地面基础上筛选出的点可以很容易地扩展成二维离散数据。

(2) 基于地形坡度法^[9]。基本思想也是基于非地形坡度引起的两相邻点的与高程差异有关的坡度值, 认为其中较高的点是非地面点。那么显然, 在高差一定的情况下, 随着两点间距离的减小, 其中的较高点是地面点的可能性也减小。该法根据一个可接受的两点间的高程差, 构造两点间的距离函数的函数。

(3) 活动窗口法^[10]。地物水平方向的空间尺度是关系到过滤窗口大小的重要参数, 因此最佳窗口大小值并不固定。对于不同结构的目标, 使用不同尺寸的窗口。对于任意一点, 按照距其一定距离范围内的窗口的最小尺度, 将这个点赋予一个权重, 最后用于地表面的平滑过程。

(4) 迭代线性最小二乘内插法^[11]。该法采用一个含有4项参数的权重函数。根据相对高程越高的点其权重系数就越小的原则, 达到对地面情况的充分估计。

总体来讲, 这些算法往往具有一定的针对性, 例如对于不同的点分布状况、地物类型等, 过滤的效果不同。本文研究区为林区, 主要利用美国的LPD/LPV软件中提供的TN算法对点云数据进行了过滤处理, 结果证实TN算法对植被的分类效果很

好,可以通过阈值设定提取出不同高度的植被点。

过滤处理可以针对原始激光点云数据,也可以针对由原始数据内插后的规则格网数据。由原始数据内插规则格网时会造成一定的误差,若对其进行过滤将形成误差传播,本文采取直接对原始数据进行过滤的方法。

首先,通过点云抽稀和高程差阈值控制法,去除相邻航线重叠区上冗余数据点和高程异常的噪声点,它们可以通过PV软件中提供的Z-clip filter和Edge match filter分别得以实现;然后,按照高程分布及点位置特点,主要采用TN过滤算法等依次分离高大建筑物、部分植被等明显的非地面点,TN算法是先基于粗放尺度的地面点建立TN网格表面,然后根据其它点到该TN表面的距离或角度是否在某一阈值内来判断点的归属,并且不断地吸纳并参与新的计算^[12];最后,对于地形粗糙度大的区域或极低矮地物等难以自动滤掉的非地面点,通过细部放大点云数据,根据点的位置及其相应于地物的真实颜色信息目视判断,再利用手动编辑工具进行相应归类、过滤。值得一提的是,手动编辑过程也是对过滤结果的检验过程,即在去掉难以自动滤掉的非地面点的同时,把可能误除的地面点找回来。

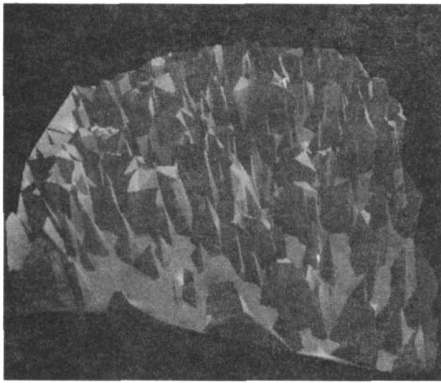


图3 林地所有激光点数据立体显示

Fig 3 3D vision of all lidar data in forest

3.3 数据内插和DEM的生成

激光点数据经过过滤去除地物点后产生了一些空缺点,如建筑物底部,那么需要将建筑物位置上地面点的高程补充上,以建立完整的地面高程模型;加之原始数据排列不规则,为获得规则网格的DEM,内插过程必不可少。已有研究证明:在平地附近,线性插值与非线性插值生成的DEM差别不大;而在山区,非线性插值要比线性插值法产生的DEM精

选取整个试验区激光点过滤结果中的一块,其点云过滤结果如图2所示。软件具有将分好类的点云数据分门别类存储的功能,过滤后的点云数据可以按照指定的类别显示为不同颜色。图2是该区域内所有激光点的侧面视图,其中处于较高位置的点群为TN算法过滤掉的植被层,其高程值明显比底部的地面点高;而底部的地面点群内也有一些与地表高差较小的点被分离出来。图3、图4分别是去除几种非地面点前后的立体效果图。可见,点云过滤可以有效地剔除地物点,提取真实的地表信息。

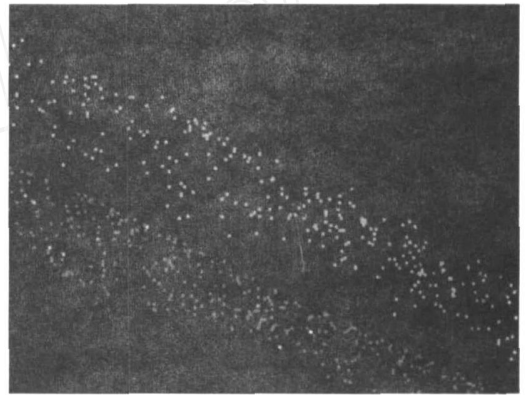


图2 林地点云过滤结果

Fig 2 Result of point-clouds filtering in forest

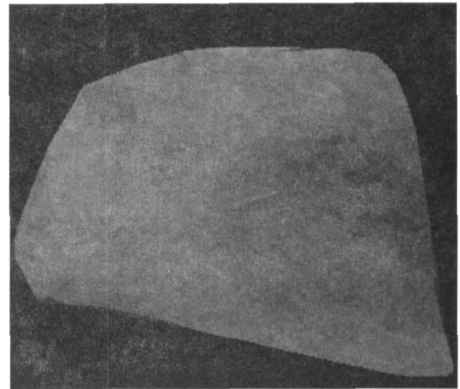


图4 林地过滤后地面点数据立体显示

Fig 4 3D vision of the lidar data on ground after filtering in forest

度高^[13]。本文采用5次多项式非线性内插方法内插出规则网格点上的高程,最终产生采样网格大小为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的DEM。同样办法可利用所有激光点数据生成数字地表模型(Digital Surface Model, DSM)。由图6明显可以看到,激光点数据经过过滤处理后,有效避免了地物信息对真实地形状况的影响;由地面点生成的DEM反映出了较细致的地形纹理,且对细部特征具有较强的表现力。

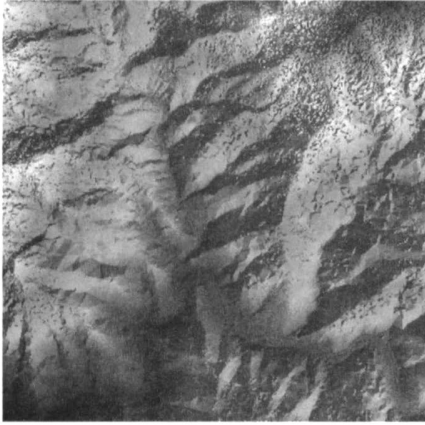


图5 所有激光点形成的DSM

Fig 5 DSM from all lidar data



图6 过滤后地面点形成的DEM

Fig 6 DEM from the lidar data on ground after filtering

4 数码影像的正射纠正

摄影测量技术直接获取的地面数字影像, 往往由于传感器姿态或地形起伏等原因, 存在地物位置偏差及地物变形的问题。正射纠正是解决这一问题的有效途径, 可以有效地剔除由于传感器和相机旋转、地形起伏以及在图像获取和处理过程中产生的位置误差, 最终生成无变形、同时具有地图几何精度和影像特征的图像, 即数字正射影像 (Digital Orthophoto Map, DOM), 对于遥感图像解译、信息提取等图像信息挖掘工作具有重要意义。目前, 最为快捷、有效地正射纠正方法当推计算机数字微分纠正。

数字微分纠正技术根据遥感器的构像方程和已建立的DEM, 对数字图像逐像元进行的微分纠正^[14]。其所需变量除航摄参数、内方位元素以外, 更需要高精度的DEM 以保证纠正质量。一般来说, 前两者通过航摄单位较容易获取, 而高精度的DEM 获取则费时、费力, 较为困难, 而基于Lidar 数据快速获取高精度的DEM 则很好地解决了这一问题, 可以有效地应用于航空影像正射纠正。本研究基于Lidar 数据获取的DEM 对同步获取的航空影像进行了正射纠正。

本次航空影像与激光点数据是同步获取的, 两者坐标系统一致, 因此不需进行DEM 与航空相片的图像配准。在此基础上, 在TerraPhoto 软件支持下直接利用影像的外方位元素、经反复优化好的相机校正参数和从激光点分类得到的地面高程数据, 对数码影像进行正射纠正。这里, 在航片的正射纠正上, 与单片正射纠正相比, 镶嵌时接边问题显得不是

那么复杂, 取而代之并且非常关键的是相机参数的优化过程。需要首先手动选取影像上同名地物点, 计算初始相机参数值, 然后基于初始值继续半自动、自动方式的选点, 并剔除匹配不准确的点, 将点误差控制在一个像元以内。反复以上计算参数、选点、剔除残差大的点的过程, 最终计算出最优的相机参数。相机参数的质量直接影响着镶嵌时的接边效果, 只要相机参数最佳, 即可以达到相邻影像间的最佳镶嵌效果。图7 是基于激光数据获取的DEM 生成的整个试验区的数码影像正射影像。正射纠正后的影像具有真实的几何信息和详尽的地物信息; 地物位置偏离得到了校正, 这一点在相对地面高程差大的高楼上的反映比较明显; 同一航线内相邻航片间的镶嵌效果很好, 航片接缝处无明显错位, 亦见相机参数的优化效果比较理想。

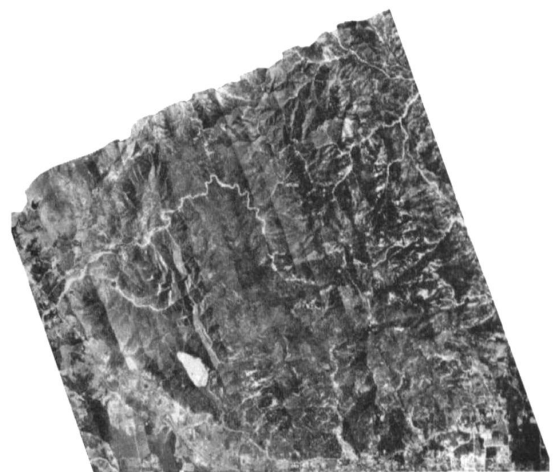


图7 整个试验区正射影像

Fig 7 Orthophoto map of whole test region

5 结 语

相对于其它遥感手段,激光雷达遥感技术的最大优势在于可以快速、直接并精确地探测到真实的地表及地面的高程信息。但是,基于激光雷达数据提取高精度的DEM 往往也受到一些因素的限制:

激光点数据的特点,包括点密度、回波次数、SLC 信息等;地面状况,包括地形复杂程度、受地形影响的地物、植被及真实地表的连续性等;非地面点过滤算法的适应性。因此,根据应用目的,结合所用激光数据处理软件承载能力,设计数据采集参数以获得适合的激光点密度大小、回波次数、强度及其它信息的数据,是实际应用时值得注意的问题。

发展一些适应性强或者针对自身数据特点的算法,对于更好地提取对象的高程信息非常有必要,在今后一段时间内仍然是一个值得探究的方向;此外,鉴于在光谱信息和数字图像信息上的不足,激光雷达数据与其它遥感数据的融合、与多种传感器的高度集成,充分利用各自的优势,将取得更广泛的应用。

参考文献:

- [1] 梁欣廉. 激光雷达数据特点[J]. 遥感信息, 2005, 78(3): 71-76
- [2] 张卡, 盛业华. 遥感新技术的若干进展及其应用[J]. 遥感信息, 2004, 2: 58-62
- [3] 庞勇, 李增元. 激光雷达技术及其在林业上的应用[J]. 林业科学, 2005, 41(3): 129-136
- [4] Robert B. Lidar Principles and Applications[A]. MAGN Conference[C]. Traverse City, M I, 2002
- [5] 舒宁. 激光成像[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005
- [6] 赖旭东, 万幼川. 基于平坦度的激光雷达强度图像的过滤算法[J]. 中国激光, 2005, 32(10): 1325-1329
- [7] 张小红, 刘经南. 机载激光扫描测高数据过滤[J]. 测绘科学, 2004, 29(6): 50-53
- [8] Lindenberger J. Laser-Profilmessungen Zur Topographischen Geländeaufnahme[A]. Deutsche Geodatische Kommission [C]. Series C, Munich, 1993
- [9] George V. Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data[A]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing[C]. Vol. XXX III, Amsterdam, 2000
- [10] Kilian J, Haala N, Englich M. Capture and Evaluation of Airborne Laser Scanner Data [A]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing [C]. Vol. XXXI, Part B3, Vienna, 1996
- [11] Pfeifer N, Kostli A, Kraus K. Interpolation and Filtering of Laser Scanner Data-implementation and First Results [A]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing [C]. Vol. XXXII, Part 3/1, Columbus, 1998
- [12] Sithole G. Filtering of Laser Altimetry Data Using A Slope Adaptive Filter [A]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing [C]. Vol. XXXIV - 3/W4, 2001
- [13] 智长贵, 郎奎建. 帽儿山林场航空像片数字立体正射影像图制作及应用[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(2): 52-55
- [14] 王佩军, 徐亚明. 摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005

DEM Extraction and Its Application Based on Airborne Lidar Data

ZHOU Shu-fang^{1,2}, LI Zeng-yuan², FAN Wen-yi¹, PANG Yong²,
CHEN Er-xue², LI Xiao-song²

(1. Northeast Forestry University, Harbin, 150040 China; 2. Research Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract As a modern global observation technology which can obtain the three-dimensional coordinate of surface of objects directly, Lidar (light detection and ranging) remote sensing can extract Digital Elevation Model (DEM) quickly. In the study, the point-clouds data from Lidar system were filtered and classified to separate the information of pure terrain from that of the objects, DEM was extracted and then the orthophoto map for Aerial Photos which were simultaneous with the Lidar data were produced. It will be based for information acquisition, quantitative analysis and substantiality modeling in further research.

Key words: Airborne Lidar, 3-D point clouds, DEM, Filtering, Ortho-rectification