

# 基于机载激光雷达的海岸带三维景观仿真模拟

张晓浩<sup>1</sup>, 娄全胜<sup>1</sup>, 张春雨<sup>2</sup>

(1. 国家海洋局南海海洋工程勘察与环境研究院, 广东 广州 510300; 2. 山东煤矿安全监察局, 山东 济南 250031)

**摘要:** 在过去的几十年, 机载激光雷达作为一种快速获取地表信息、建立逼真三维模型的有力工具, 引起了人们的极大兴趣和广泛关注。作者利用机载激光雷达数据提取了研究区的地形信息, 结合同步获取的数码影像, 实现了海岸带景观的三维模拟。结果表明, 在“数字海洋”可视化方面, 机载激光雷达可以较精细地模拟海岸带的三维景观, 展示沿海地区的山体、沙滩、植被等自然景观。

**关键词:** 海岸带; 激光雷达; 景观仿真

中图分类号: P237 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2010)05-0044-05

## Coastal 3-dimensional landscape simulation based on airborne Lidar

ZHANG Xiao-hao<sup>1</sup>, LOU Quan-sheng<sup>1</sup>, ZHANG Chun-yu<sup>2</sup>

(1. South China Sea Marine Engineering and Environment Institute, SOA, Guangzhou 510300, China; 2. Bureau of Shandong Coal Mine Safety Supervision, Ji'nan 250031, China)

**Abstract:** In the past several decades, as a powerful tool for acquiring the information on the Earth surface and building vivid 3-dimensional models airborne Lidar has been generating incremental interest and broad attention. The authors use airborne Lidar to obtain digital elevation model of the study area, combine digital images captured by the digital sensor system, and realize coastal 3-dimensional landscape simulation. The result indicates that, in the field of "Digital Ocean" visualization, airborne Lidar can perfectly simulate 3-dimensional landscape of coast, and unfurl natural landscape such as mountain, sand beach, and vegetation in the littoral.

**Key words:** coast; Lidar; landscape simulation

海岸带是海洋系统与陆地系统相连接、复合和交叉的地理单元, 既是地球表面最为活跃的自然区域, 也是资源环境条件最为优越的人文活动区域, 与人类生存和发展的关系最为密切。另外, 海岸带又是对全球变化最为敏感的地带, 受到强烈的海陆作用, 成为海陆过渡的生态脆弱带和环境变化敏感区。近年来随着海洋经济的发展, 对海岸带进行的各种各样的开发活动也越来越多, 使得海岸带面临的压力越来越大, 资源和环境发生了前所未有的变化, 出现了许多有碍可持续发展的问题。对海岸带地区进行综合管理和监测是实现海洋经济和海洋生态环境可持续发展非常关键的一环, 已经引起了国

家的高度重视和关注。

“数字海洋”中明确提出, 在高性能计算机和先进的可视化设备支持下, 利用科学视算、3S(遥感、地理信息系统、全球定位系统3种技术的统称)、三维可视化、虚拟现实、仿真、互操作等技术, 基于“数字海洋”空间数据框架、功能强大的模型支持和三维可视化信息表达, 实现全信息化的海底、水体、海面及海岸的数字再现和预测, 建立包括自然景观、人文要素、自然环境、海上设施等的三维数字海面、海岸景观模型, 建立反映海洋资源与环境要素变化过程的可视化表达模型, 实现海洋动态变化的可视化。

收稿日期: 2010-01-04; 修订日期: 2010-04-21。孙淑杰编辑

基金项目: 国家海洋局南海分局海洋科学技术局长基金项目(0831); 国家海洋局青年海洋科学基金项目(2008425); 广东省自然科学基金项目(7300652)

作者简介: 张晓浩(1981—), 男, 河南省漯河市人, 工程师, 主要从事遥感与地理信息系统应用等方面的研究。

采用传统航空摄影技术进行海岸带三维可视化时, 外业控制点的测量和 DEM(digital elevation model)编辑加工耗时大、成本高、工期长; 利用卫星遥感的立体像对获取 DEM 并结合影像也可生成三维景观, 但又会受到光学传感器的诸多限制, 精度也不高。利用激光雷达(light detection and ranging, 简称 Lidar)技术进行空中激光扫描, 可以快速获取目标高密度、高精度的三维点坐标<sup>[1-2]</sup>。在软件支持下对点云数据进行模型构建、纹理映射和正射纠正, 可以方便地建立大面积的三维模型。目前, 航空摄影测量和机载 Lidar 已成为地表三维数据获取的主要手段之一。改进激光点云的滤波方法, 提高激光点云与影像、地物模型的融合效果是 Lidar 三维可视化领域研究的热点和难点。本文通过对中国海监南海航空支队采集的激光雷达数据的处理, 实现了三维景观的重构, 较好地展示了海岸带各类地物的空间分布, 为海洋及海岸带的综合管理及其开发活动的动态监测提供技术支持。

## 1 试验区概况及数据来源

### 1.1 试验区概况

试验区选在广东省茂名市龙头山旅游度假区附近。茂名地区海岸位于粤西沿岸的中段, 陆区主要为丘陵、台地和平原。北为三宝岭, 海拔高度 407m; 东为大岗岭, 海拔高度 249m; 东南为莲头岭孤山, 海拔高度 236m; 间于丘陵和孤山之间为台地及残丘。海区岸线绵长, 海域辽阔, 既有深水海区, 又有宽广的浅水海区与沿岸滩涂, 具有较为丰富的海洋渔业资源、港口资源、滨海旅游资源、盐业资源及矿砂资源。该区在多种地质和动力因素作用下形成了多样的地貌类型, 主要为海积平原、海滩、砂泥质潮滩、泥质潮滩以及少量的红树林海岸。虎头山附近具有丰富的沙滩、植被和基岩等海岸带景观资源, 沙滩绵延 12km, 宽阔平缓, 沙质洁白, 素有“南方北戴河”之美称。

### 1.2 数据来源

本研究主要采用两种类型的数据, 即激光雷达高密度小光斑数据及同步获取的数码影像, 数据获取时间为 2008 年 9 月 16 日上午 10 点左右。

所有仪器在飞行之前都做过严格的检校, 精度可靠。激光雷达数据是由徕卡公司 ALS50 仪器获取的离散一次回波 LAS 格式的三维坐标, 激光点平均空间采样间隔为 5m。同步获取的数码影像空间分辨率约为 0.44m, 航向重叠率为 70%, 旁向重叠率为

30%。飞机的飞行速度为  $180\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ , 飞行高度为 1800m。

## 2 工作原理及数据特点

### 2.1 工作原理

机载 Lidar 系统会主动发射激光脉冲, 并能精确记录传感器发生和接收激光脉冲信号的瞬时时刻, 然后利用光速恒定原理, 将脉冲发射和反射的时间间隔转换为斜距, 同时参照传感器的高度、激光扫描角度以及从 GPS 得到的传感器的位置信息准确计算出激光脉冲到达每一个地面光斑的三维坐标。工作原理如图 1 所示<sup>[3-4]</sup>。

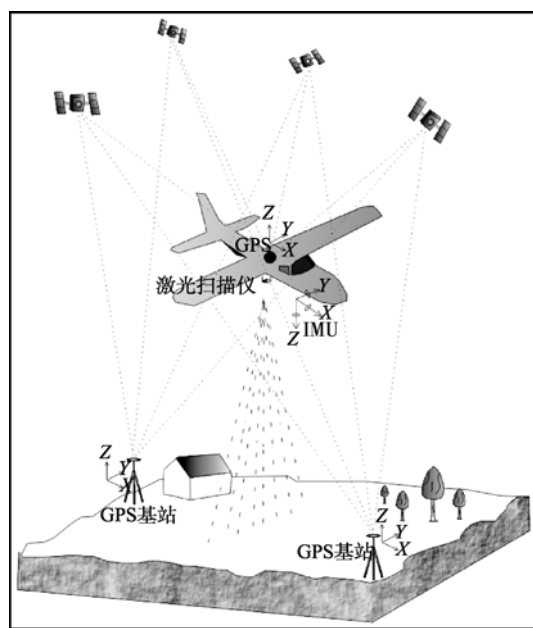


图 1 机载 Lidar 工作原理示意图

Fig. 1 Sketch of airborne Lidar at work

### 2.2 数据特点

机载 Lidar 自 1990 年代初投入商业运行以来, 在世界各地获得了迅猛的发展, 目前已进入实用化阶段, 并成为雷达遥感发展的重要方向之一。机载 Lidar 能直接获取三维地表地形数据, 这是对传统摄影测量技术在高程数据获取及自动化快速处理方面的重要补充, 其主要特性如下<sup>[5-6]</sup>。

1) 它是一个先进的主动测量系统。该系统本身发射受控制的激光来扫描地面和地面上的目标, 是一个全天时、全天候的获取地表三维数据的系统, 甚至可以在不需要同步数码影像的情况下进行夜间飞行。

2) 激光脉冲信号能部分穿透植被, 可同时测

量地面和非地面层。只要植被不太密,激光信号能够到达地面并被反射回去,Lidar 系统就能快速、高精度和高空间分辨率地获取植被覆盖区的地面高程。

3) 很少需要进入测量现场,不需要大量的地面控制点(1 个或 2 个即可),作业安全。它能进入危险地区(如沼泽地带、大型垃圾场等)进行测量工作,随着 GPS 广域差分技术的日益完善,在某些情况下也可以不使用地面基站。

4) 有很好的精度,其平面精度在 1200m 的飞行高度优于 15cm,在 3000m 的飞行高度优于 35cm;高程精度优于飞行高度的 1/2000。如果在常规的飞行高度,精度会更高,能够很好地满足数字区域的要求。

5) 每秒能够产生 1000 多个高程数据点,高程点密度远大于传统的地面测量方法。1 个小时可获得超过 10 000 000 个高程点,这样高的采样率,可以快速完成大区域的地面三维数字地形数据测量,同时可产生点距为 1m 或更小的 DEM。

### 3 数据处理方法

机载 Lidar 数据处理的一般流程如图 2 所示。首先将地面 GPS 基站和机载 GPS 所获取的数据作联合差分运算,确定飞机飞行的精确轨迹,得到航迹文件。然后对航迹数据、飞机姿态数据(IMU)、激光测距数据等进行联合处理,得到各测点(X, Y, Z)三维坐标数据。这样得到的大量离散点阵数据,是悬浮在空中没有属性信息的,因此形象地称之为“点云”。由于我国常用的坐标系主要是北京 54 和西安 80 坐标系,而 POS(position & orientation system)定位结果属于 WGS84 坐标系,因此需要对数据进行坐标及投影变换;同时由于水体对激光的吸收、镜面反射及其他原因,原始数据当中存在着一些噪声和异常值,所以要对原始激光数据进行滤波、分类等处理。对处理后的激光数据,可以在辅助数据的支持下,采用监督分类的方法进行数据分类,直接实现目标(建筑物、道路网、树木等)提取;也可直接采用计算机图像处理技术并结合强度和高度变化进行地物的分类和提取<sup>[7-8]</sup>。根据航线之间的重叠关系对多个激光后处理数据进行拼接,即可得到所测区域内的 DEM、DSM(digital surface model)、DTM(digital terrain model)等地学产品<sup>[9]</sup>。

如果机载 Lidar 系统同时搭载有数码相机,则可以直接获取地面数字影像;但由于传感器姿态和

地形起伏等原因,存在地物位置偏差及变形的问题。利用 Lidar 同步获取的 DEM,对数字图像进行逐像元微分纠正,即可消除在图像获取和处理过程中产生的位置误差,最终得到无变形的数字正射影像。

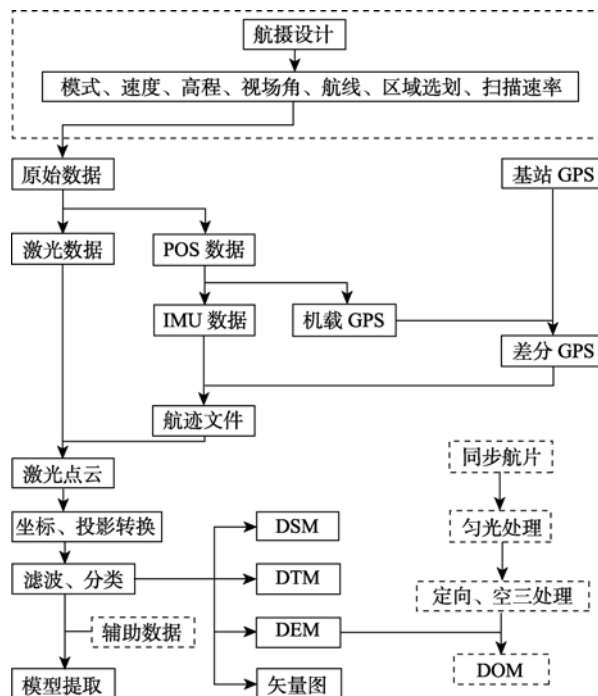


图 2 机载 Lidar 数据处理流程图

Fig. 2 Flow chart of airborne Lidar's data processing

#### 3.1 地形信息的获取

地形信息通常可用 DEM 来表征。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,生产效率低;后者一般包括摄影测量、摄影处理、地面测量、立体测量和制图过程等生产模式,周期长且高程点密度低,已难以适应信息化社会的需求。

基于机载 Lidar 系统所获取的点云数据,包含地面上所有地物的反射信息。在将 Lidar 数据应用于各领域之前,需要对 Lidar 进行非地面点的过滤处理<sup>[10-12]</sup>。本试验在微软 Windows 环境和 MicroStation 平台下,利用芬兰 Terrasolid 公司出品的 TerraScan 软件进行了三维坐标数据的处理。TerraScan 软件能装载和处理大量的激光扫描测距

数据,它的主要功能是根据点的坐标、光强、同一激光的首末反射值等信息将大量激光扫描测量数据进行滤波、分类。通过处理可以将非地表点(含噪声)剔除,实现区域内纯地形特征信息和地面物体特征信息相分离。然后,通过 ERDAS 软件的 Create Surface 工具,导入处理后的激光点 ASCII 文件,生成高精度规则格网的 DEM 产品(图 3)。

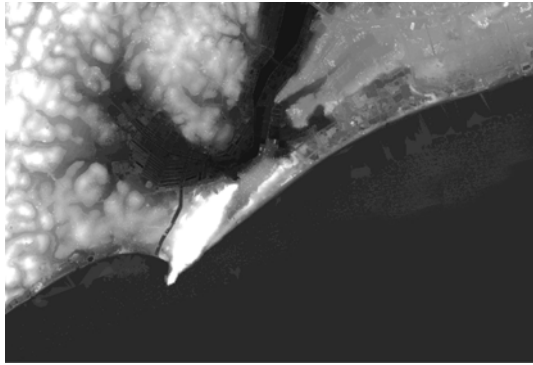


图 3 激光点处理生成的 DEM

Fig. 3 DEM acquired by dealing with laser points

### 3.2 航片的正射纠正

在 ERDAS 软件的 LPS(Leica photogrammetry suite)模块下,利用 DEM 图像进行正射操作。首先创建一个工程文件,然后在该文件下进行各项工作。工程文件包含了研究区域内所有图像、摄影机参数、地面控制点及相关信息,工程文件的地图投影参数和相机模型参数根据实际需要设置和导入。DEM 的来源为 Lidar 激光点数据生成的 DEM 文件,数码影像为 DSS(Digital Sensor System)拍摄生成的航片。单个航片正射纠正后,利用 ERDAS 的图像均衡器工具对正射后的影像进行图像统计、色差均衡化、无缝镶嵌等操作,最后获得了整个研究区的数字正射影像 DOM(Digital Orthophoto Map),见图 4。



图 4 正射纠正生成的 DOM

Fig. 4 DOM acquired by ortho-rectification

## 4 三维景观仿真模拟

和二维影像图相比,三维影像图增添了高程信息,可以较好地反映影像的立体形态,使影像图生动、形象、信息量丰富,更接近人们的直观视觉,对于非专业人员而言,可以大大提高影像的真实感、可读性,因此在挂图或专题图的制作中具有广阔的前景。

三维景观仿真模拟可在 ERDAS 软件中实现<sup>[13]</sup>。ERDAS 的虚拟地理信息系统(VirtualGIS)模块是一个三维可视化工具,给用户提供了一种对各种数据进行实时漫游的三维操作平台。VirtualGIS 采用透视的手法,为了增加三维显示效果,对于地形变化较大的图像,可采用较高的分辨率显示,而地形平缓的图像则以较低的分辨率显示。在 VirtualGIS 视窗中,可以打开并显示 DEM 数据、栅格图像数据、矢量图形数据、数字注记数据以及云图层、水图层等人为效果图层,一般步骤如下。

1) 在 VirtualGIS Viewer 中,打开 DEM 数据层,在 View 菜单中选择 Scene Properties 工具: 设置 DEM 高程放大倍数,对于起伏较大的地形高程放大倍数小一点,对于起伏较小的地形高程放大倍数大一点; 设置雾图层的颜色、密度及显示方式; 设置屏幕背景,可以选择单色、减淡色、已有图片等。

2) 在打开 DEM 的基础上,叠加该地区的栅格图像文件。

3) 在 View 菜单中选择 Level of Detail Control 工具,设置 DEM 和栅格图像的三维显示详细程度,百分比越大,详细程度越高,但数据量也随之增大,运行速度变慢。

4) 在 View 菜单中选择 Sun Positioning 工具,根据不同的需求和用途,设置太阳光源的方位角、高度、周围环境气氛等,可以更好地显示三维效果。

5) 根据实际需要选择相关参数,设置整个图片的旋转角度、倾斜角度、在屏幕中的位置等。

6) 在 File 菜单中选择 View to Image File 工具,给定输出图片的文件名和尺寸,即可导出为三维景观图。

7) 在 Navigation 菜单选择 Start / Stop recording to a movie file 工具,可以选择飞行路径,并导出为常见视频格式。

参考上述步骤,反复调整各项参数(如 DEM 放大倍数、太阳光源位置、影像显示详细程度等),以增强视觉效果,最终制作出一幅三维景观图(图 5)。由图 5 可以看出,研究区内水体、沙滩、植被和山体错落有致,给人以身临其境的感觉。



图 5 海岸带三维景观仿真模拟图

Fig. 5 Coastal 3-dimensional landscape simulation map

由于试验区是著名的度假旅游区,以自然岸线为主,人工岸线较少,因此仅利用 DEM 对正射影像做仿真模拟即可达到较满意的效果。在人工岸线较多的地区,为了增加地物在可视化方面的真实感,可在三维场景中增加一些模型,如建筑物、广告牌和电线塔等<sup>[14-15]</sup>。结合 Lidar 激光点提取的简单地物三维模型,贴上影像纹理即可达到较好的效果。地物纹理分为顶部纹理和侧面纹理。顶部纹理可从影像上快速获取,或采用计算机作简单模拟进行纹理贴合。侧面纹理在非垂直摄影的情况下可以根据影像提取,如果是垂直摄影或建筑物侧面被遮挡时,需要采用地面摄影的方式进行提取。该方式虽然在一定程度上加大了工作量,但所获取的纹理最真实,表达的细节也更细腻。

跟以往其他仿真方法相比, Lidar 的优势主要体现在:一是获取的 DEM 精度高,效率高;二是航片的分辨率高,两者的结合可以产生较好的三维效果。另外,与卫星遥感过境时受天气影响较大相比,

Lidar 获取时受气象因素干扰较小。因此,在常有云层覆盖的南方海岸带区域, Lidar 有着巨大的科研和应用潜力。

## 5 讨论和小结

1) 机载 Lidar 集 GPS 技术、INS 技术、激光扫描技术和计算机技术于一体,能够快速准确地获取精确的、高分辨率的数字地面模型,进而获取地表物体的垂直结构形态,因此在地球空间科学领域具有广阔的发展前景和强烈应用需求。

2) 本文利用机载 Lidar 数据对海岸带进行了三维仿真模拟,达到了较好的视觉效果。进一步的研究,可考虑提高激光点云密度,以凸显地表的亚米级变化;或利用可穿透水体的绿色波段,量测并展示浅海水下的地形起伏。

3) 对于有云层覆盖的局部区域,结合高空间分辨率的卫星影像(如 Spot、Quickbird、Worldview 等),也可实现三维景观的模拟,但高程和影像信息的非同步获取可能会产生一些错误。

4) 对于建筑物较多的人工海岸,可用不同方法对非地面激光点云滤波分类,同时借助 AutoCAD、3DMAX 等软件设计地物模型,逼真表示建筑物的垂直结构和材质特征,以达到更高水平的细节程度。

5) “数字海洋”需要构建高精度的三维模型作为海岛、海岸带的虚拟展示平台。可以预见,机载 Lidar 技术在“数字海洋”中有着广泛的应用前景,不断加强和拓宽其在海洋管理、开发和科学研究中的应用,意义深远。

## 参考文献

- [1] 舒宁. 激光成像[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005.
- [2] 王建宇, 洪光烈. 激光主动遥感技术及其应用[J]. 激光与红外, 2006, 36(5): 742-748.
- [3] 罗志清, 张惠荣, 吴强, 等. 机载 LiDAR 技术[J]. 信息技术, 2006(2): 22-25.
- [4] 张小红. 机载激光扫描测高技术[D]. 武汉: 武汉大学, 2002.
- [5] 李德仁. 摄影测量与遥感的现状与发展趋势[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25 (1): 1-6.
- [6] WEHR A, LOHR U. Airborne laser scanning-an introduction and overview[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1999, 54(2/3): 68-82.
- [7] 袁夏, 赵春霞, 陈得宝, 等. 一种基于激光雷达的路面提取算法[J]. 中国图形图像学报, 2009, 14(10): 2036-2041.
- [8] 徐景中, 万幼川, 赖祖龙. 机载激光雷达数据中道路中线的多尺度提取方法[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(6): 1100-1103.
- [9] 李英成, 文沃根, 王伟. 迅速获取地面三维数据的 LIDAR 技术系统[J]. 测绘科学, 2002, 27(4).
- [10] 赖旭东, 万幼川. 一种针对激光雷达强度图像的滤波算法研究[J]. 武汉大学学报, 2005, 30(2): 158-160.
- [11] 尤红建, 刘彤, 苏林, 等. 城市 DSM 的快速获取及其三维显示的研究[J]. 遥感学报, 2001, 5(1): 8-12.
- [12] 梁欣廉. 机载激光雷达数据滤波及建筑物模型重建[D]. 北京: 中国测绘科学研究院, 2005.
- [13] 石玉华, 康贵祥, 白建荣. 基于 ERDAS 的三维地形景观图制作[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(5): 413-414.
- [14] HU YONG. Automated Extraction of Digital Terrain Models, Road Networks and Buildings Using Airborne Lidar Data[D]. Calgary: Calgary University, 2003. 142-144.
- [15] KRABILL W B, WRIGHT C W, SWIFT R N, et al. Airborne laser mapping of Assateague National Seashore Beach [J]. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 2000, 66(1): 65-71.