

文章编号:1673-6338(2006)02-0127-03

Lidar 遥感基本原理及其发展

隋立春¹, 张宝印²

(1. 长安大学 地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 西安测绘研究所, 陕西 西安 710054)

摘要:介绍了航空激光扫描 (Airborne laser scanning) 或者 Lidar 遥感信息获取系统的基本原理、系统的组成、数据获取的方法及其步骤;对近数十年来应用激光扫描遥感信息获取地形表面模型方面取得的主要成果、应用现状做了简要回顾和评述;结合 GIS 和影像融合方法对 Lidar 遥感技术未来发展趋势进行了展望。

关键词: Airborne laser scanning; 数据获取; 数据滤波; 数字高程模型

中图分类号: P237 **文献标识码:** A

Principle and Trend of Airborne Laser Scanning Remote Sensing

SUI Li-chun¹, ZHANG Bao-yin²

(1. College of Geology Engineering and Geomatics, ChangAn University, Xi'an 710054, China;

2. Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, Xi'an 710054, China)

Abstract: Airborne laser scanning (Lidar) as method for the three dimensional survey of topography became operational only with the availability of accurate systems of direct sensor orientation based on DGPS and IMU. Recent airborne remote sensing applications shows a tendency from an interpretation of single image strips to an evaluation of extended image maps for further usage in data fusion and GIS applications. Laser scanning is a sophisticated method for topographic mapping. It serves for the generation of digital elevation models (DEM). Principles and systemic composing of airborne laser scanning remote sensing are introduced. The methods of getting data of airborne laser scanning remote sensing is discussed. Primary harvest and applying actuality which applying Lidar remote sensing obtains terrain exterior models are reviewed in near 10 years. The prospect in future development of airborne laser scanning remote sensing is discussed.

Key words: Airborne laser scanning; data generation; data filtering; digital elevation model (DEM)

Lidar 技术是近数十年来摄影测量与遥感领域具革命性的成就之一。在 DGPS、INS 支持下, 激光扫描系统通过激光扫描器和距离传感器, 经由微计算机对测量资料进行内部处理, 显示或存储、输出距离和角度等资料, 并与距离传感器获取的数据相匹配, 经过相应软件进行一系列处理来获取被测目标的表面形态和 3 维坐标数据, 从而进行各种量算或建立立体模型。该技术的最初目的主要是获取困难地区的数字高程模型数据。在这些困难地区, 例如森林、沙滩等, 使用常规摄影测量方法费时、费力, 很难获取高精度的地面高程模型数据。使用航空激光扫描系统, 可以高效、高精度地直接获取地面的数字高程模型数据。

1 系统组成

GPS、INS 以及激光扫描器共同组成了一个整体的 Lidar 遥感信息获取系统^[1] (见图 1)。对

于地形测量而言, 从空中的飞行载体上对地面进行测量的原理是“双路”时间测量方法。即只需要记录激光信号从激光器发射到返回的时间, 结合其他数据就可得到地面目标的 3 维坐标信息^[2]。

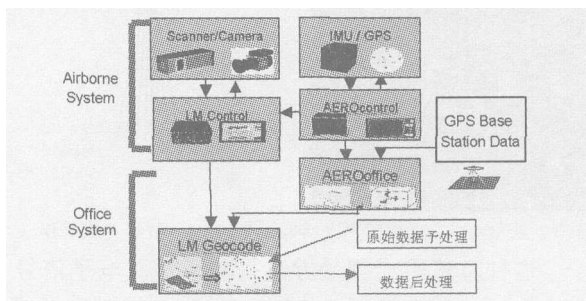


图 1 Lidar 信息获取系统组成部分

一个典型的 Lidar 遥感信息获取系统由多个部件组成, 各部分在飞行载体上必须按照严格的位置安排。整个系统是由 GPS、INS 以及激光记录器件组成。图 2 演示了一个 Lidar 遥感信息获取系统, 并附加了一台数字照相机 DigiCam 14 K

收稿日期: 2005-11-11; 修回日期: 2006-02-18

作者简介: 隋立春 (1963 -), 男, 山东栖霞人, 教授, 德国工学博士 (Dr.-Ing.), 主要从事数字图像处理及影像分析、Lidar 数据处理研究。

在飞机上整体安装的示意图^[1]。此系统被作为一个整体安装在飞行载体上,并具有一个固定的坐标系,一般称为飞机固定坐标系。激光器也有单独的坐标系,即激光器坐标系。以飞机固定坐标系为基础,通过严格的鉴定可以确定各个系统单元之间的相互方位。

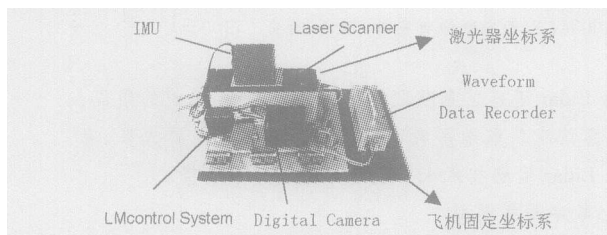


图2 系统硬件安排及组成

2 Lidar 数据获取的基本原理

地球的表面以及覆盖其上的目标,譬如植被、建筑物等都可以对电磁波产生反射。激光扫描系统上的接收单元所收到的反射信号包含了地面反射目标的信息。大部分激光扫描系统提供了两种不同的反射信号数据记录方式:即“首次脉冲”(first pulse)和“末次脉冲”(last pulse)记录方式。正常情况下,一束激光光束只产生一次反射,但是,在密集的森林地区则有可能产生两次或多次反射。图3演示了激光光束在地形表面上的多次反射^[3]。在这种情况下,必须选择是接收第一次反射的信号,还是最后一次反射的信号。根据不同的使用目的,可以选择不同的脉冲记录方式。图4演示了航空激光扫描系统数据获取过程^[3]。

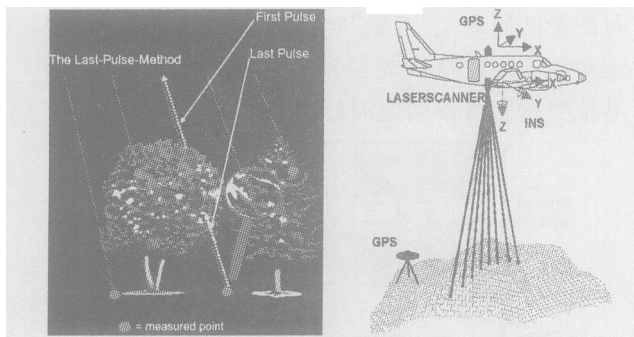


图3 激光光束在地面的多次反射 图4 数据获取过程

这种直接距离测量方法是基于短波电子信号在一个均匀的介质层内(即空气),以恒定的速度直线传播,并且在不同的介质分界面(地球表面)被反射回来。其一般原理可以简单描述为

$$C = C_0 / n \quad (1)$$

其中, C_0 为真空光速, n 为介质,即空气折射率。

从激光发射器发出的激光光束到达地面并被反射后,被激光器上的接收单元接收和记录。一般把从发射到接收这段时间称为运行时间 t , 这

个时间参数 t 与光束的出发点和地面之间的双倍距离 R 成正比,由此可以计算出此距离

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

角度参数的测量通过相应的 INS 系统完成。它们与距离参数、时间参数等一起可以完成对地面目标的 3 维定位和量测任务。

按照激光光束在地面上的轨迹和形状,激光扫描系统的扫描方式可以分为多种,图5演示的是其中 3 种扫描方式。由于扫描方式的不同,其数据获取的方式以及数据在地面上的分布情况也不同。在图(a)和(b)中,激光光束借助于一个行列扫描仪接收地面目标的反射信号。在飞行过程中,行列扫描仪围绕一个固定的轴线 360° 旋转。由于飞机速度等因素的影响,光束在地面上形成一个近似的椭圆,因而也称其为“行列扫描方式或者近椭圆扫描方式”。在图(c)演示的扫描方式中,激光光束通过激光器的调整而在垂直于飞行方向上左右摆动。左右摆动的幅度、速度和角度可以根据飞行的高度、飞行的速度、要求的航带宽度、地面高差以及要求的扫描密度等做出调整。由于扫描点在地面上是以“之”字型分布的,所以这种扫描方式也称为“之”字型扫描方式^[3]。

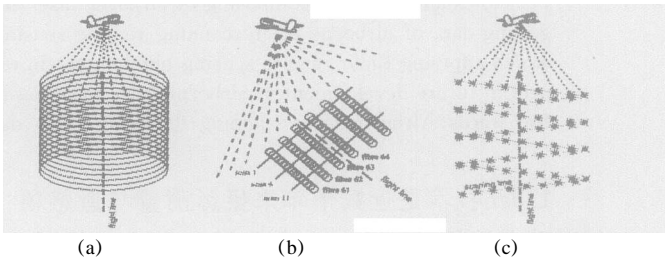


图5 激光扫描系统不同扫描方式获取的地面点分布情况

航空激光扫描系统获取的地面目标 3 维坐标是随机分布和不规则的。尽管可以选择不同的扫描方式(譬如间隔式的断面扫描方式或旋转式的近椭圆式扫描方式);不同的反射方式(譬如记录第一次反射的信号或记录最后一次反射的信号);或者选择合适的飞行季节(譬如为了更有效地获取地面信息,人们一般选择地面植被较淡的秋季或者没有雪覆盖的冬季等),获取的地面 3 维信息不可避免地会落在各种各样的地面目标上。图6演示了激光扫描系统获取的离散点在一个地面断面上的分布情况。

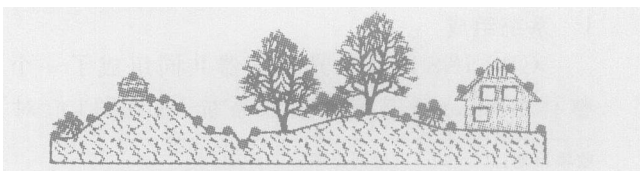


图6 离散 Lidar 数据的地面点分布

对激光扫描系统获取的数据进行处理的目的是,就是将上述分布在不同地面目标上的点进行分离。简单地说,也就是将分布在地形表面上的点与那些落在非地形表面上的点进行有效而准确的分离^[3~5]。整个 Lidar 系统以及数据处理有下列五类坐标系。

1) 激光器坐标系 此坐标系是基于激光传感器的局部坐标系,其原点位于激光距离测量仪的零点上。

2) 飞机固定坐标系 这是一个与飞机的整体捆绑在一起,并与飞机同步运动的坐标系。因为所有在飞机上的量测设备都是相对于此坐标系而确定其方位的,因而,此坐标系在整个坐标系统中起中心作用。其轴线方向定义为: X 轴位于飞行方向上; Y 轴垂直于 X 轴的方向,其指向是机舱的右手方向, Z 轴则指向地面。

3) 局部天文坐标系 其原点位于 GPS 天线上, Z 轴指向下面, X 轴指向北, Y 轴指向东。

4) WGS-1984 这是一种右手坐标系,其原点位于地球的质心。

5) 大地测量坐标系 在这里一般使用基于白塞耳椭圆球面的高斯-克吕格坐标系。

3 激光扫描技术的发展

用激光雷达来精确确定地面上目标点的高度,始于 20 世纪 70 年代后期。当时的系统一般称为 APR(Airborne Profile Recorder),主要用于辅助空中三角测量。最初的系统是仿型设备,仅能获得在飞行器路径正下方的地面目标数据。这些最初的激光地形测量系统很复杂,并且不适合于获取大范围地面目标的 3 维数据。由于没有高效的航空 GPS 和高精度 INS,所以很难确定原始激光数据的精确地理坐标,因此其应用受到了限制。到 20 世纪 80~90 年代,通过一系列的研究项目,如: USA、Australia (1980~1988 年): Diverse feasibility studies; 德国 Prof. Ackermann (1989~1990 年): SFB "High Precision Navigation" First Laserprofiling at University of Stuttgart; 德国 TopScan (1993 年): First commercial applications in Germany-TopScan AL TM 1020, 激光扫描技术已经得到了普及和大规模使用。至 2004 年全球已经有超过 30 类不同型号的激光扫描系统投放市场。随着 DGPS 技术、数据传输技术、计算机技术和图形图像处理技术的发展,现代

激光扫描系统已经在许多领域得到了普遍使用。除了用于获取 3 维地形表面模型外,这种技术已经成功应用于公路设计、水利、洪水和雪崩的预报、城市 3 维模型的构建、高压线监测、地面和大坝的变形测量、森林和树木高度的测量等。同时,地面激光扫描技术同样得到了快速发展,地面激光扫描系统可以用于建筑物 3 维测量、桥梁和矿井的 3 维建模和监测。激光扫描设备附加一台数字照相机,可以构成一套完美的遥感数据获取系统。因此,激光扫描技术及其相关技术的发展,为遥感领域开辟了一种全新的数据获取手段。

随着计算技术以及 GPS 技术的进一步发展和应用,Lidar 技术经过近 20 年的发展,其技术已经完全成熟。从应用上,Lidar 技术主要实现下列目标: 1) 在使用摄影测量方法获取地形模型有困难的森林和沙漠地区,这种方法提供了一种直接获取地形表面模型的有效手段。2) 这种自动化的获取地形表面模型的方法具有价格低廉,人员需求少的优点,其精度可以达到常规摄影测量方法获取的数字高程模型的精度,特别是适宜大面积的投入,在森林地区,这种方法采集的高程模型的精度比常规摄影测量方法要高。

结合影像及信息融合技术,Lidar 系统不仅局限于获取数字高程模型数据等传统的应用领域,而且广泛应用于农业土壤侵蚀、洪水预报、城市 3 维模型的直接获取、GIS 支持、高压线实时监测、林业监测等领域;如果同时使用一台 RGB 彩色照相机,还可以同时获取飞行地区的彩色影像。这对于快速、高精度地生成真实色彩的数字正射影像以及 3 维仿真研究等具有极高的价值。

参考文献:

- [1] IGI 公司演示文稿[R]. 德国,2004,10.
- [2] Lindenberger J. Laser Profilmessungen zur topographischen Geländeaufnahme[D]. DGK Reihe C, Heft Nr. 400, 1993.
- [3] SUI Lichun. Analysis of the laser scanner data by means of digital image processing techniques [D]. Munich: Bibliographical Information of the German Library, 2002.
- [4] SUI Lichun. Processing of laser scanner data and automatic extraction of structure lines using methods of digital image processing[J]. Journal for Geodesy, Geoinformation and Land Management, 2003, (5): 318-325.
- [5] SUI Lichun. Extraction of structure lines from laser scanner data using the methods of image processing[J]. PFG Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, 2002, (6): 423-434.

责任编辑 陶大欣