

LiDAR及其数据后处理技术 初级培训教程

南京市测绘勘察研究院有限公司

二零零七年一月

前言

本来作为一本内部使用的资料，没有考虑它会有一个什么样的名字。在 2006 年的时候，这本书的名字为“LiDAR 数据后处理初级培训教程”，通过一年的使用，发现技术本身的连续性造成培训的效果不佳。所以，在 2007 年元月把 LiDAR 技术的相关知识加进来作为本教程的第一部分。使读者在进行枯燥的软件使用之前有一个良好的 LiDAR 技术基础知识，这更有利于培训和学习。

本教程的第二部分是主要部分，重点阐述了芬兰 TerraSolid 公司英文版软件使用初级技巧和方法，使读者能够习惯软件的操作方式，为进一步熟练的工程应用打下坚实基础。这部分包括：TerraScan、TerraModeler、TerraPhoto 三个软件模块的介绍、安装、初级使用。

跟随本教程有一套练习数据，有 900 兆的容量，涵盖了本书提到的软件所有功能的练习内容。数据主要来自芬兰软件提供的培训数据和研究小组收集的工程实际数据，具有一定的代表性。

本教程是南京市测绘勘察研究院有限公司 LiDAR 项目研究小组根据 TerraSolid 公司软件的英文帮助文档、软件使用培训材料，特别是两年多来生产实践经验编写而成，版权归南京市测绘勘察研究院有限公司所有。未经允许，不能随意翻印、传播，南京市测绘勘察研究院有限公司保留其所有权力。

本教程由南京市测绘勘察研究院有限公司 LiDAR 项目研究小组成员：韩文泉、黄金浪、刘行波、周伟、袁薇丽、郑真起草编写，由韩文泉统稿和最后修订，配套练习数据的组织由刘行波完成，测试由袁薇丽完成。

在本教程的编写过程中，LiDAR 项目研究小组得到了南京市测绘勘察研究院有限公司总经理储征伟研究员的大力支持，并且给予大量指导和帮助，在这里表示由衷的感谢。

由于时间仓促，可能会有一些不恰当的词语描述，欢迎广大 LiDAR 数据处理专家提出宝贵意见。

我们的联系方式：

联系人：韩文泉

地址：南京市白下区王府大街 8 号 邮编 210005

南京市测绘勘察研究院有限公司 七楼 技术部

电话：86-25-66675688

E-Mail : cspringhwq@yahoo.com.cn

目录

第一部分 LIDAR 技术

第 1 章 LIDAR 技术概述.....	4
1.1 LiDAR技术发展及相关介绍	4
1.2 LiDAR技术原理	5
1.3 LiDAR技术应用	7

第二部分 数据后处理初级培训教程

第 2 章 关于 TerraSolid 软件.....	13
第 3 章 TerraSolid 软件安装.....	14
第 4 章 TerraScan 教程.....	16
第 5 章 TerraPhoto 教程.....	36
第 6 章 TerraModeler 教程.....	55

第 1 章 LiDAR 技术概述

1.1 LiDAR 技术发展及相关介绍

LiDAR —— Light Detection And Ranging，即光探测与测量。是利用 GPS（Global Position System）和 IMU（Inertial Measurement Unit，惯性测量装置）机载激光扫描。其所测得的数据为数字表面模型（Digital Surface Model, DSM）的离散点表示，数据中含有空间三维信息和激光强度信息。应用分类 (Classification) 技术在原始数字表面模型中移除建筑物、人造物、覆盖植物等测点，即可获得数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)，并同时得到地面覆盖物的高度。LiDAR 技术具有测点密度高和纪录多重回波观测值两个特点，使得 LiDAR 所得数据可同时表现地面与非地面高程，非地面高程是指地面高程加上地物特征高度如建筑物、人造物、植物的外表面高程。

用 LiDAR 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，机载断面记录仪)，主要用于辅助空中三角测量。最初的系统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三维数据。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，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。随着差分 GPS 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，LiDAR 技术已成为直接获取地表模型的有效手段。这种自动化的获取地表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测量，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、城市三维模型的直接获取、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三维仿真研究等具有极高的价值。

我国一直在自主研发 LiDAR 硬件设备，但目前在精度方面还远不如国外的

设备高。另外，由于 IMU 主要应用于军事，欧美发达国家一直对我国进行技术封锁，使得 LiDAR 设备的进口一直受到限制，直到 2004 年，我国才陆续引进部分硬件设备。到 2006 年，公开报道的有太原（LM2800、ASL50）、广西（LiteMapper 5600）、北京（Optech ALTM 3100）等地区购买了较高精度的 LiDAR 硬件设备，并且都包括数码相机。可以测水下地形的 LiDAR 硬件设备，到目前为止没有见到有报道国内有引进。针对 LiDAR 数据处理的软件，目前也主要依赖进口，主要有芬兰（TerraSolid）、美国（LID-MAS）、日本等国家开发的数据处理和数据分析软件。

尽管我国很早就对 LiDAR 技术进行跟踪和研究，在理论方面已经达到了国际先进水平，但是，由于没有商品化的硬件设备，直到 2005 年才成功利用引进的硬件设备采集了大规模的我国本土数据，这种状况使得我国许多行业对 LiDAR 技术还十分陌生，以致于 LiDAR 数据在我国只有少数几个成功应用案例。随着软硬件的引进，国内外的公司开始对我国的 LiDAR 技术应用关心起来，一致认为 LiDAR 是继 GPS 之后的又一个改变空间信息获取手段的革命性变革，将对地理信息科学和技术领域产生深远的影响。

1.2 LiDAR 技术原理

1.2.1 原理

a. 激光测距原理

激光雷达测距有两种基本方法，即脉冲测距法和相位测距法，脉冲测距法基于测量脉冲发/收时间延迟的原理，即： $R = (1/2)ct$ ，式中 R 是被测目标的距离， c 是光速（ $c=30$ 万公里/秒）， t 为脉冲往返时间。测距精度取决于测时精度，而测时精度由两个因素决定，其一是产生计时脉冲的标准频率发生器的脉冲重复频率及其频率稳定性，这个频率越高、越稳定，则测距精度越高。其二是发射激光脉冲的宽度，脉宽越窄，前沿越陡，测计时精度越高，测距精度就高。相位测距法是连续波雷达所采用的方法，它基于测量回波与发射信号间的相位延迟。

b. 几种技术的集成应用

机载激光测图系统严密整合三个高技术：激光测距仪、高精度惯性参考系统和全球定位系统。

c. 影响其精度的几个因素

测时不准

测角不准

客观条件影响

数字采集卡的选择和使用，扫描基线偏移和信号反冲，近端强激光干扰。

d. 原理图，见图 1。

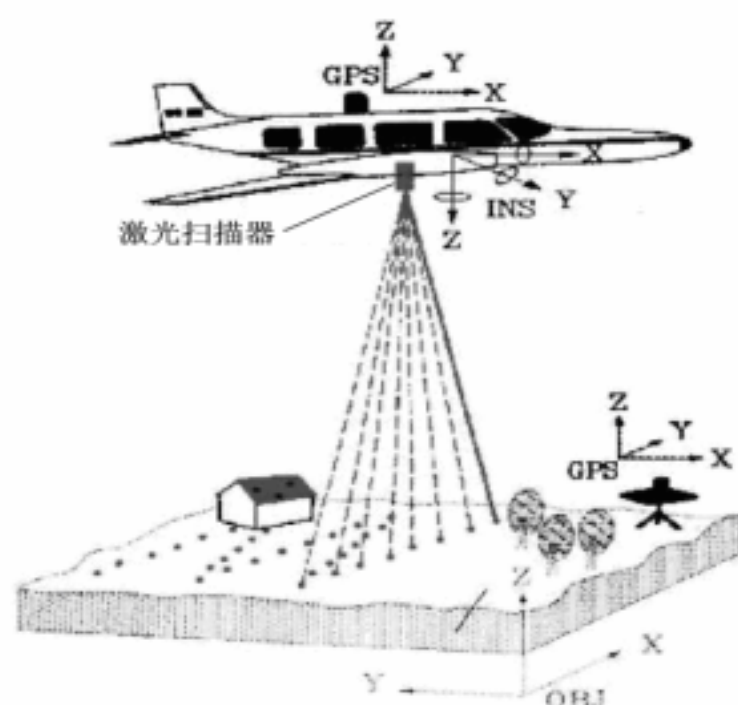


图 1 LiDAR 工作原理

1.2.2 相关技术介绍

a. GPS与 IMU

差分 GPS技术与 IMU的组合应用，使准确地获取航摄影曝光时刻的外方位元素成为可能，从而实现无（或少）地面控制点，甚至无需空中三角测量工序，即可直接定向测图，从而大大缩短作业周期、提高生产效率、降低成本。

b. 激光扫描

地面激光扫描

地面激光雷达小型便捷、精确高效、安全稳定、可操作性强，能在几分钟内对所感兴趣的区域建立详尽准确的三维立体影像，能提供准确的定量分析，可广泛应用于各相关领域，如快速建立局部城市三维模型、古建筑测量与文物保护、逆向工程应用、复杂建筑物施工、地质研究、建筑物形变监测等领域。

机载激光扫描

机载激光雷达是目前能够大规模及时获得地面三维数字信息的最有效的技术手段，此外，利用其多次反射可以同步获得诸如像地表信息及树高信息，以及水底地形信息及水深信息等，机载激光雷达在地形测绘、森林测绘及数字城市建设等领域有着广泛的应用。

c. 测深激光 LiDAR

机载激光测深系统的回波信号是由海表反射、海水散射以及海底反射信号叠加组成, 强海表反射信号叠加在海水散射信号上, 当水深很浅时, 海底反射信号也叠加在海表反射和海水散射信号上, 使得海底反射信号被淹没在混叠信号中。

机载激光测深系统确定平均海平面有两种不同的方案: 发射系统发射的红外激光(1064nm) 和绿色激光(532nm) 作共线扫描, 红外激光用于确定瞬时海面的位置。由于海浪的波动可看作是一均值为零的随机运动, 因而可根据一个扫描周期内若干个扫描点的波高确定平均海平面的位置, 这种方法在美国的 LARSEN 系统中得到了应用。在发射系统发射的两束激光中, 仅绿色激光作矩形扫描, 红外激光扩束后垂直投射到海面, 在海面的作用范围大约为 25m, 由红外激光的表面回波可以确定 25m 范围内的平均海面。这种构想在澳大利亚的 LAD 系统中得到了实用。这两种方案各有利弊, 比较而言, 第一种方案的优越性较为明显。

1.3 LiDAR 技术应用

1.3.1 地形测量

机载 LiDAR 是一种作业速度快、成本低获取的高程数据精度高、密度高的技术。它不仅能生产数字高程模型 (DEM), 也能生产数字表面模型 (DSM) 和数字城市模型 (DCM)。基于分类和滤波技术, 该技术能把树冠层和地面剥离, 这在传统测量中很难做到。

DEM/DSM

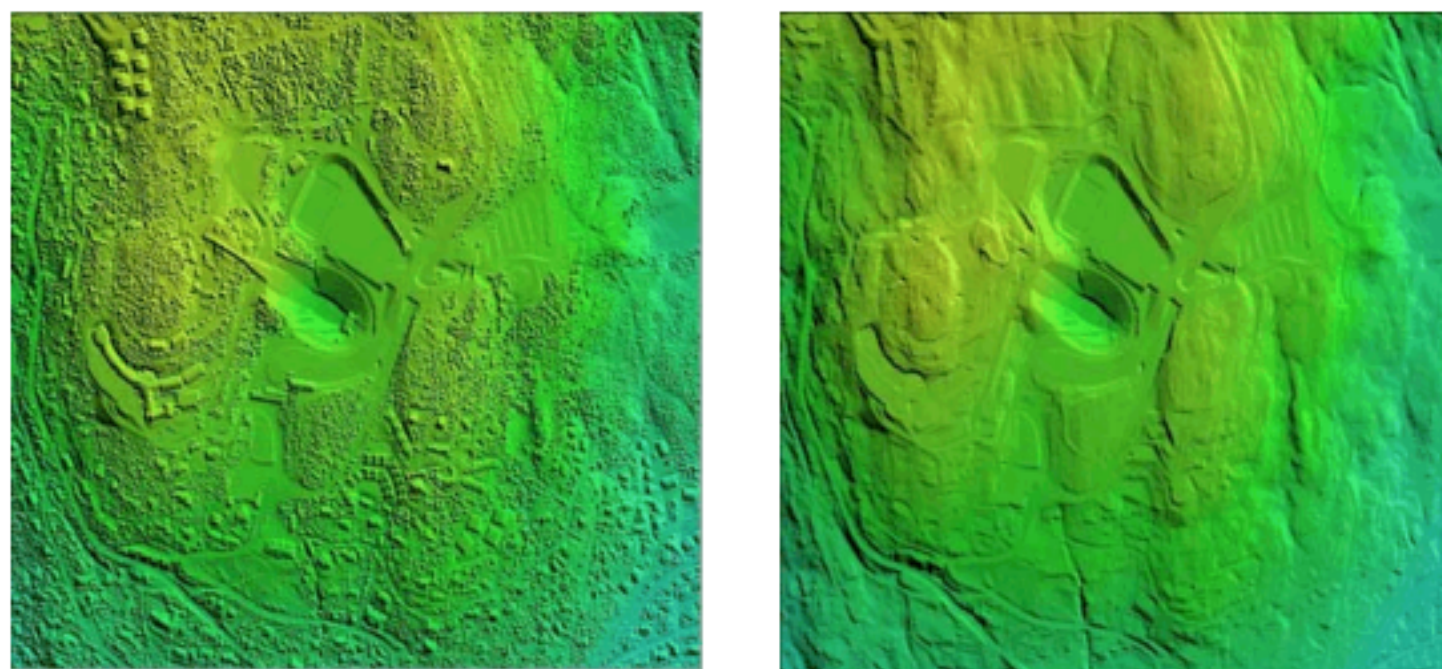


图 2 DSM与 DEM

DEM 一般是由地形高程按一定网格构成的二维数组。地形高程一般不包含诸

如树、建筑物等地表景观高度。然而，航空摄影无法获得被树林等地表覆盖所遮挡的地形高度。所以森林地区的地形高程是从森林树冠高程减去估计的树高得到的。由于森林等地表覆盖地形高程存在误差，我们一般直接使用包含植冠表面高度的数字表面模型(DSM) 利用数字摄影测量自动提取 DEM或 DSM一般包括 7 步：数据准备、像片内定向、相对定向、核线排列（重采样）、影像匹配、绝对定向、DEM或 DSM生成。数字摄影测量现已走向实用化。目前市场上商用系统一般具有自动生成 DEM或 DSM的功能。较有代表性的有国产的 VirtuoZo、美国的 SocetSet、德国的 MATCH-和加拿大的 PCI 等。在不同的系统中，上述七步会略有不同。关键的一步为影像匹配，即将左右立体相对上的同名地物点自动对立起来。不同的系统应采用不同的算法而性能不同。一般来说，在城市建筑区和稀疏森林区自动影像匹配是很难的，而对纹理清晰、高程起伏小的草坡、土坡或无树木等遮挡的沟谷洼地等较容易。因此，数字摄影测量的方法有其局限性，而 LiDAR技术能很好地解决 DEM获取地局限性。

DOM

机载激光雷达系统与数字航摄仪、机载 GPS及惯性导航系统 (INS)相结合，使用大容量高速计算机，经过专用软件处理，可在空中完成地面高程模型 DEM及数字正射影像图 DOM 的大规模生产，将大大提高航测成图的作业生产效率，减少生产环节，缩短生产周期，提高成图精度，提供更为丰富的地理信息。

地面断裂线与特征线

由于 LiDAR获取高精度的地表特征，通过软件可以方便的获得地面断裂线与特征线数据，在水利中有广阔的应用前景。

三维建筑物

三维建筑物有好多种方法可以获得。LiDAR技术虽然作为一种比较有效的手段，也有其优点和缺点。优点是可提供精确的地表起伏数据、地表与建筑物顶面数据和建筑物高度；缺点是不能获取到建筑物侧立面的纹理。

1.3.2 电力应用

机载 LiDAR系统允许快速度、低成本、精确的铁路、输电线路的选线测量，例如铁路、电力线的笔直线路、煤气管线或高速公路。主要市场是对电力线通道的测图，允许以专有模型执行线路的弯曲、下垂、离地面距离、侵蚀和精确确定

塔的位置。机载激光数据结合瞬间测量空气和导电体的温度和载荷电流数据，建立在电力线的载荷能力上可容许的提升量。

输电公司的电网维护和选线设计在国外应用 LiDAR 设备非常普遍，但国内没有一家电力或输电公司这样做。因为 LiDAR 设备能够很好测量地面起伏状态特别是带状图，最大的优势是在空中测量，自动化程度高、精度高。下面是高压电力输电线三维可视化应用的例子，如图 3。

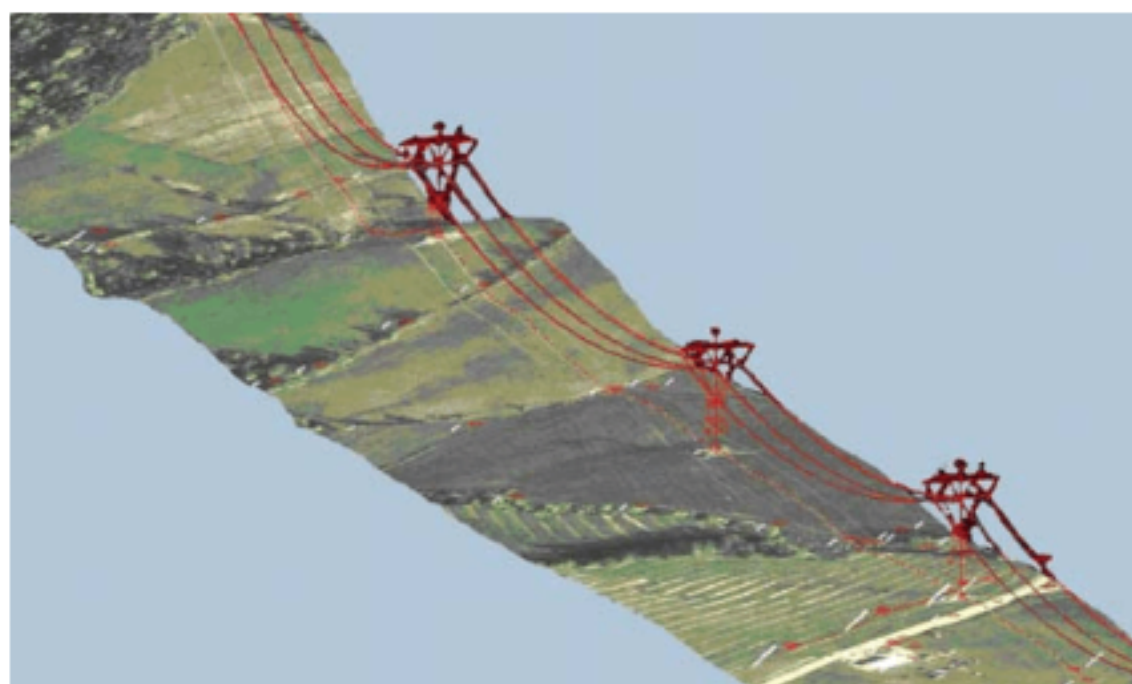


图 3 电力线的三维可视化图

红色的部分是电力线的三维矢量化数据，能够精确的描绘出电力线的空间位置和电力杆塔的空间分布，以及它们与周围的环境（农田、树木、山脉、房屋）的空间关系，在图上可以清楚地看出影像上的电力线。有的研究者在研究用数码相机的影像直接从单片中提取电力线信息，笔者认为这种方法远不如用 LiDAR 技术设备来得直接，精度也不如后者。

1.3.3 交通应用

我国的高速公路几乎在每个省都有工程项目，而且投资不菲，也在开展高速铁路的修建工作。随着 LiDAR 技术和设备的引入中国，使修路和维护有了全新的方法和实施手段，主要体现在以下几个方面：

- （1）在道路选线 and 设计阶段，LiDAR 技术代替传统的航空摄影测量（包括全数字航空摄影测量）和野外的大量断面测量工作，可以自动生成任意间距断面；生成有房屋、树木、等高线等要素的地形图；生成数字地面模型和数字地表模型；
- （2）在设计修改时，实时为设计人员提供线路两边的空间信息资料，省去所有的外业工作，极大地提高设计效率而缩短工期；
- （3）在道路的维护和交通事故处理方面，LiDAR 技术可以发挥重要作用，将改

变原来的管理方式，使信息化程度得到大幅度的提高。

下图（图 4）是国外 LiDAR 在交通管理中的应用的例子。左上为 DSM 高程设色图，右上为三维真彩影像，中为横截面点云图，下为纵截面点云图。

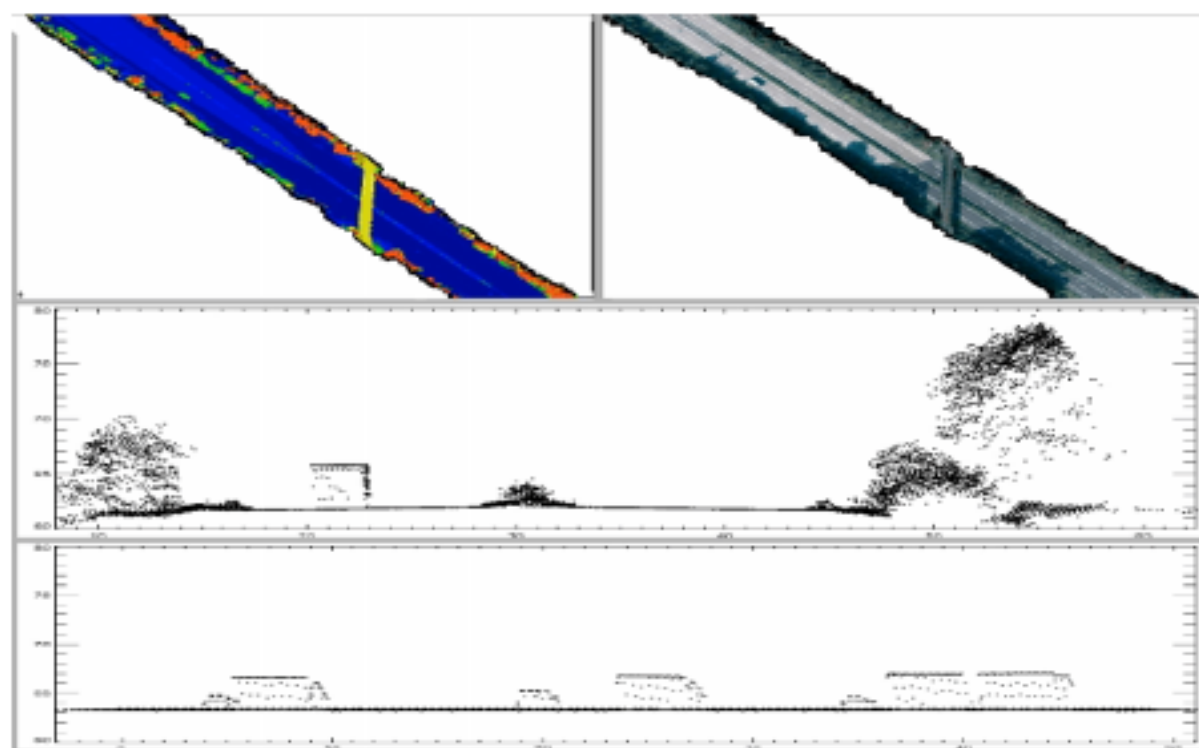


图 4 交通应用示例

1.3.4 林业应用

林业应用机载 LiDAR 系统进行该领域调查研究是目前的热点。如地面上或树冠上的三维精确信息，对林业和自然资源管理是非常重要的。树的高度和密度的精确信息也是至关重要的，用常规技术来做是相当困难的。机载 LiDAR 系统不同于雷达、多光谱成像和航空摄影，它可以对树冠下方的地面以及树高同时测量。数据的后处理允许分析和对各个激光返回脉冲进行分类和滤波，能产生裸地表的 DTM 或精确导出植被参数如树高、树的密度、树冠直径、森林边界和生物量评估。

1.3.5 灾害预防与评估

洪患、地震、飓风、森林大火等突发事件常要求快速测量，这些地区往往不可直接到达，目前公认机载 LiDAR 系统是最快捷的技术，可为灾害的评估、灾后的恢复、重建的规划、洪患保险等目的服务。

a. 灾难评估

美国 9·11 事件后曾用 LiDAR 对灾难现场进行快速获取三维数据工作。

b. 滑坡与泥石流

c. 海岛移动

d. 地表变化、台风

e. 洪灾评估

1.3.6 数字城市方面的应用

LiDAR 技术能够为“数字城市”系统提供下面基础数据：

(1) 高精度的 DEM

LiDAR 系统能够获得高密度、高精度的激光点云数据，通过专门软件处理后，得到地表面点。这些地表点可构成 TIN 生成精细的 DEM 对于表示复杂地形有着重要的作用。见图 5 之 a 是由 LiDAR 点构成的 TIN 模型。

(2) 真正射影像

通常情况，普通航测方法生成的影像都是经过校正的中心投影影像。而使用 LiDAR 系统能够很方便的获得真正射影像。真正射影像可以使计算机能够自动将建筑物顶部纹理贴到三维建筑物模型的顶部，解决建筑物模型顶部纹理不易获取问题。图 5 之 b 是真正射的影像图。

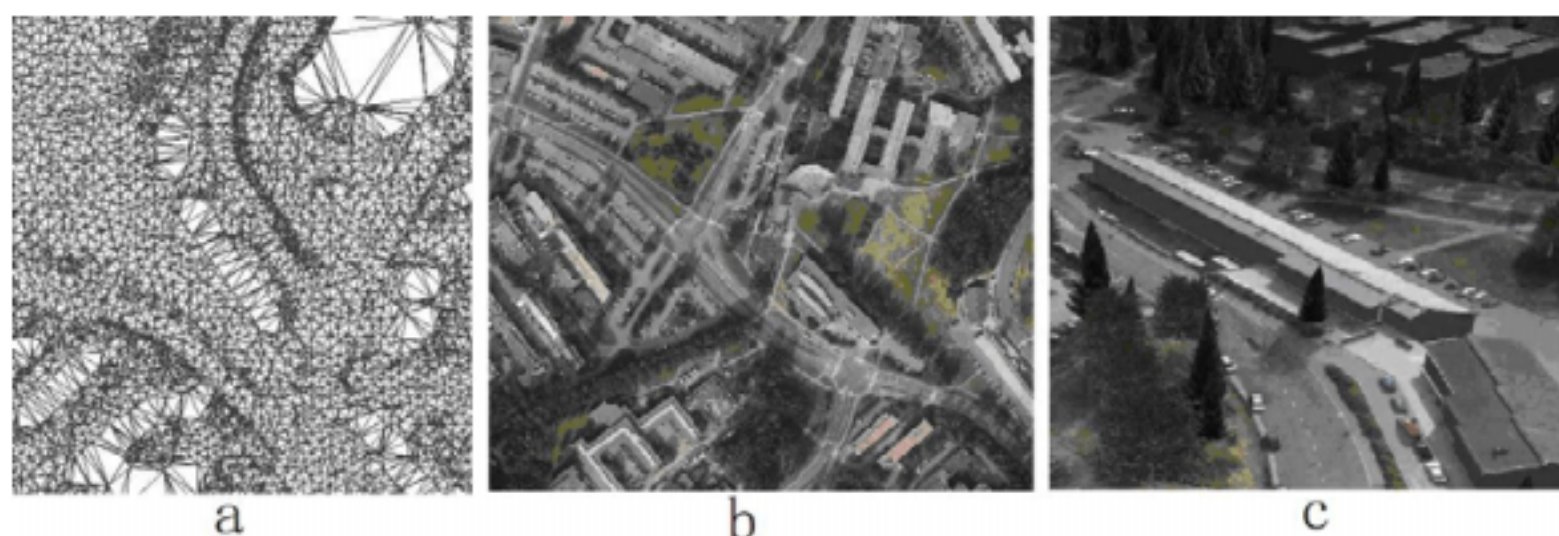


图 5 数字城市里要用到的空间数据

(3) 三维模型

LiDAR 系统通过激光点云数据结合影像数据的方法获得建筑物的 3D 模型和树木的三维模型，可以在短时间内获得大范围区域的 3D 模型。这种效率是其它方式无法比拟的。在城市规划中，可以利用它来快速更新现有“数字城市”的基础数据。图 5 之 c 是建立起来的三维房屋模型。

(4) 等高线图

大面积区域等高线的获取是由传统航测内业方法获得，但工作量大，效率低，成本高。而通过 LiDAR 技术，我们可以由密集的高精度点云数据，内插得到等高线，与其他方法相比，效率大大的提高。图 6 之 a 是用激光点云数据自动获得的等高线数据。

(5) 数字表面模型

数字表面模型是使用 LiDAR 系统得到的一种重要数据，是所有表面点（包括地表面、建筑物表面、植被表面等）所构成的模型。图 6 之 b 是用 ALTM1020 型机载激光扫描仪获得的意大利佛罗伦萨的数字表面模型，这个数据没有进行后处理。

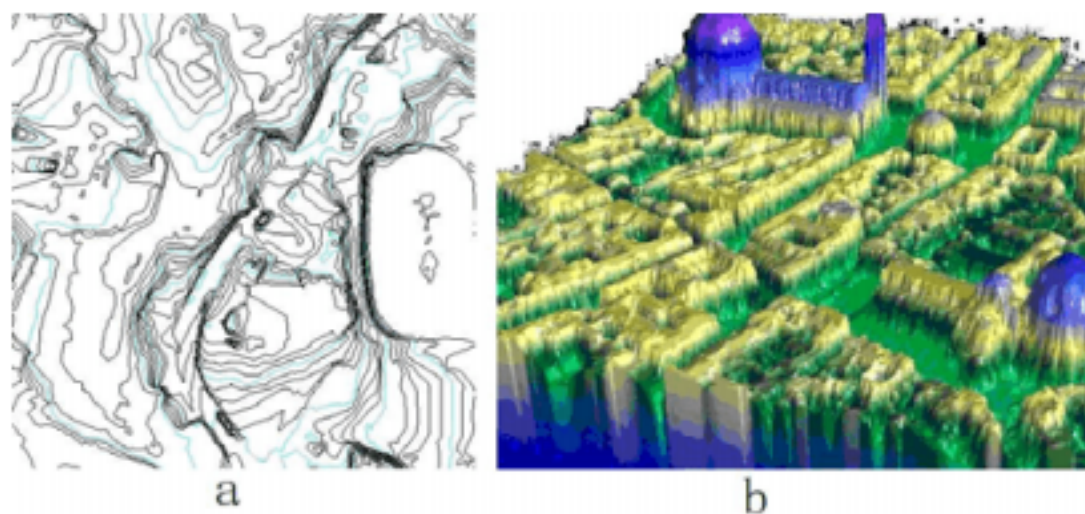


图 6 用 LiDAR 技术获取的数字成果图

由于 LiDAR 系统能为“数字城市”建设提供众多的基础数据，利用 LiDAR 数据与 GIS 系统有机的结合，可以建立和完善“数字城市”系统。