

激光雷达 LIDAR 技术的发展及应用

王丽园 陈楚江 余绍淮 张 霄

(中交第二公路勘察设计研究院有限公司 武汉 430056)

摘 要:本文介绍了激光扫描系统 LIDAR 的起源及其发展技术特点,对近几年来 LIDAR 系统在国内的国土资源、电力、城市规划、交通等领域取得的应用成果及应用现状作了简要的回顾;并针对 LIDAR 在高密度、高精度地形测量中的突出特点,对其在公路勘察设计领域的应用前景进行展望。

关键词:机载 LIDAR 发展 公路 勘察设计

1 前言

激光雷达 LIDAR(Light Detection and Ranging,激光探测和测距),始于 20 世纪 70 年代后期,是一种集激光、全球定位系统(GPS)和惯性导航系统(INS)三种技术于一身的系统。它能快速获取地表点三维数据,相比航拍数据和二维矢量数据,有着更高的高程精度,在获取高精度 DEM 尤其是大比例尺的高精度 DEM 方面独具优势。

LIDAR 系统根据载体的不同,分为机载 LIDAR 和地面 LIDAR 两种模式。其中机载 LIDAR 多用于大比例尺地形测量,如地形图绘制等;而地面 LIDAR 适合更精细、更高精度的复杂地物量测,如古建筑三维模型重建、复杂场馆量测等。

LIDAR 的数据获取特性,使其在“数字城市”建设、城市规划、反恐等多个领域有了应用机会;同时,为森林、沙滩等传统航测费时、费力且很难获得高精度 DEM 的困难地区、野外高精度地形工程勘测资料获取等领域,也提供了高效、高精度的全新勘测手段^[1]。

2 LIDAR 的技术发展

3S(GPS、RS、GIS)技术的发展,使得空间数据的需求日益增长,但常规的数据获取方式远远不能满足信息可视化的需要。三维激光扫描系统作为一种国际领先的数据获取系统,将使客观目标得到活化并可操作,其经济效益及社会影响极为深远。

LIDAR 诞生初期由于没有高效的航空 GPS 和高精度 INS(Inertial Navigation System,惯性导航系统),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)的 Diverse feasibility studies;德国 Prof. Ackermann 教授领衔研制的在 Stuttgart 大学诞生的世界上第一个激光断面测量系统(1989~1990 年);SFB “High Precision Navigation”-First Laserprofiling at University of Stuttgart;德国 TopScan(1993 年);First commercial applications in Germany TopScan ALTM1020 等。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^[1]。

随着技术的成熟,激光雷达的应用领域和深度也日益拓宽和加深。美国、加拿大、澳大利亚、瑞典等国为浅海地形测量发展的低空机载系统,使用了机载测距设备、全球定位系统(GPS)、陀螺稳定平台等设备,飞行高度 500~600m,直接测距与定位,最终得到浅海地形(或 DEM)。美国 NASA 在 1994 年和 1997 年两次将航天激光测高仪(Shuttle Lasser Altimeter,SLA)安装在航天飞机上,用以建立基于 SLA 的

全球控制点数据库,激光脚点间隔 750m,光斑大小为 100m,每秒 10 个脉冲;随后又提出了地学激光测高系统(GLAS)计划,并于 2002 年 12 月 19 日将该卫星 ICESAT(Cloud and Land Elevation Satellite)发射上天。该卫星装有激光测距系统、GPS 接收机和恒星跟踪姿态测定系统。该系统发射近红外光(1 064nm)和可见绿光(532nm)的短脉冲(4ns)。激光脉冲频率为 40 次/s,激光点大小实地为 70m,间隔为 170m,其高程精度可望达到 m 级。NASA 的下一步计划是要在 2015 年之前使星载激光雷达系统的激光测高精度达到分米和厘米级。

从市场份额看,1995 年开始至今,LIDAR 在测绘市场的市场份额从 5%增长到 12%,年平均增长率为 7.1%。目前投入商业运行的激光雷达系统主要有:TopScan、Optech、TopSys 以及 Leica 公司的 Leica ALS50 等。

2004 年初,美国劳动部把地球空间信息技术与纳米和生物技术一起列为当今最具发展潜力的三大技术,其产值到 2005 年可达 600 亿美金。作为空间信息采集新技术的激光雷达技术在市场中的份额不断扩大,今后其必将随着空间信息产业的发展而不断发展^[2]。

3 LIDAR 技术的特点

机载激光雷达系统与机载 GPS、惯性导航系统 INS 及 CCD 相机相结合,能够进行精确的空间定位(图 1)。由于采用激光测距方式,与常规的航空摄影测量相比,其数据获取条件具有独特优势。



图 1 机载 LIDAR 数据产品

3.1 数据密度高

激光点云的地表测量采集间距在 0.8~1.2m 间,甚至更小,数据密度极大,非常有利于真实地面高程模型的模拟。

3.2 植被穿透能力强

由于其多次回波特性,任一束激光穿越植被空隙时,可返回叶面、枝桠、地面等多个高程数据,有效克服植被影响,更接近地面真实高程。

3.3 不受阴影和太阳高度角影响

以主动测量方式采用激光测距方法,不依赖自然光;因太阳高度角、植被、山岭等影响传统航测方式往往无能为力的阴影地区,其获取数据的精度完全不受影响。

3.4 人工野外作业量少

采集的每个地面点都带有真实三维坐标,仅需布设极少量野外地面控制点;由于能同时获取 0.2m 的高分辨率 DOM(Digital Ortho Map,数字正射影像),三维 DLG(Digital Line Graph,数字线划图)生产作业量更少。

3.5 高程精度不受航高限制

由于采用激光回波探测原理,LIDAR 数据的高程精度和比例尺,与测量时的航高无关。

3.6 产品更多样

高密度、高精度数据成果,使航测制图如生成 DSM(Digital Surface Model,数字表面模型)、DEM、等高线和特征地物要素的提取更快捷,同时大大提高了正射影像纠正精度,能生成内容更为丰富的各类专题图。

LIDAR 是为综合航摄影像和空中数据定位而设计的,其独特性在于能快速为数字制图和 GIS 应用提供精确的地面模型数据。LIDAR 系统在工作时通常都配有 CCD 相机,工作时沿测区设计航线采集地面点三维数据,数据获取完毕后即可处理得到测区正射影像和地面高程模型 DEM。实测时,系统可根据飞行姿态自动调节航带宽度,使其与航摄宽度精确匹配。通常情况下,LIDAR 数据的平面精度可以达到 0.5m,高程精度可达到 30cm。

4 国内技术发展及应用状况

4.1 在国内的主流设备及应用处理软件

LIDAR 引入国内的时间主要集中在 2004~2005 年。截至目前,国内有多家单位和公司分别购买了国外不同厂商的数套商用激光雷达设备,目前占据市场的 LIDAR 系统型号主要有美国 Leica 的 ALS40 和 ALS50、ALS50II 代,德国 IGI 的 LiteMapper 2800 和 LiteMapper 5600、加拿大 Optech ALTM3100 等^[3]。由于 LIDAR 点云数据在分类处理时需要准确掌握地表的地物类型,机载 LIDAR 上通常都同时加载了 CCD 相机以获取和制作正射影像,在辅助数据处理的同时也为用户提供了更丰富的产品类型。

随着 DGPS(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,现代 LIDAR 数据经过相关软件数据处理后,可以生成高精度的数字地面模型 DEM、等高线图及正射影像图。国外目前 LIDAR 数据处理的商业软件,主要有微软 Windows2000TM 和 Microstation SE/JTM 平台下的芬兰 Terrasolid 公司的 TerraModelerTM、TerraScanTM 和 TerraPhotoTM 等,用于处理三维坐标数据和影像数据。

LIDAR 技术的引入和使用,不仅使人们对 LIDAR 技术的掌握和应用能力得到了增强,而且提高了国内测绘行业的水平。由于国内尚无自主知识产权的整套 LIDAR 数据处理软件,而 LIDAR 数据处理主要还是依赖国外配套软件,如芬兰的 Terrasolid;同时,LIDAR 的数据特性要求数据处理团队具备一定的软件工具研发能力,这也导致一些拥有 LIDAR 设备的公司如太原通用航空公司,因数据处理能力较低而被市场淘汰。

4.2 LIDAR 在国内的应用现状

当前,国内的空中对地测量仍以传统的航空摄影测量为主,地面数据的获取方式不像机载激光雷达系统采集的每个点都带有真实的三维坐标,可以直接生成 DSM。后续的数据处理不仅时间短,而且数据承载的信息精度高、内容丰富,大大提高了测量效率。在国外的电力、公路等行业,LIDAR 技术测量已非常成熟,在工程中的应用也极常见;国内也已有多家单位将机载或地面 LIDAR 测量系统应用到国土资源、电力、交通等不同领域中,并取得了不同的成就,其最终生产成果几乎均包括 DEM、DOM、DLG 三类产品。

4.2.1 电力行业

电力线的特点是沿带状分布,且带幅较窄,非常适合于机载 LIDAR 带状扫描的数据采集方式;同时,由于电力线排杆对地表测量的高程精度要求相对较低等原因,电力行业几乎成为机载 LIDAR 引入国内之初

的首个应用领域。

2005 年 9 月,广西电力设计院首次在国内就电力线设计项目——“广西钦防 500kV 送变电设计项目”,利用 LIDAR 系统对“南宁变—邕州变、防城港电厂—久隆变、钦州电厂—久隆变、久隆变—玉林变”等四段线路进行激光和数码影像数据获取的生产性实验并进行 DEM、DOM、DSM 等产品处理和生产,累计测量面积 1 700 余平方公里,成图比例尺为 1:5 000,高程精度误差在 20cm 左右,成果达到了电力设计线的数据精度要求。

2007 年 3 月 22 日,华北电网超高压公司的电力巡线项目顺利完工。该项目线路全长 308km,由于突遇 50 年不遇的暴风雪造成超高压输电线路的大面积放电,直接影响到首都北京的用电安全。当时既不能拉闸断电量测出线距要求在 5cm 精度的准确距离,又不能应用传统航拍技术获取所需数据,因此在国内首次利用直升飞机加装设备,快速获取了相关数据,并在最短的时间内向客户提供了高质量数据成果。该项目的成功实施证实了新飞行平台在激光雷达应用的可行性,为我国在激光雷达应用方面的探索做了实质性的推进。

随后,在广东电力 500kV 电力选线(1:5 000)等工程项目中,由于具有快速、精确、直观的特点,并且大大降低了人工野外地面作业的工作量,缩短了工作和数据生产周期,机载 LIDAR 的数据采集能力和成果得到了广泛认可,LIDAR 在电力行业的应用就此全面展开,并在多个项目中得到应用。

4.2.2 城市规划、资源调查领域

机载 LIDAR 三维激光扫描系统在数据采集时同步获取的目标范围的三维坐标数据和数码照片,可用于快速获取大型实体或实景等目标的三维立体信息。由于数据处理周期短,地物及属性信息获取方便,且能客观再现事物实时的、变化的、真实的形态特性,因此它为“数字城市”等逆向三维建模领域的空间数据提供了非常快捷、准确、可靠的数据来源,同时也为国土资源调查数据的获取提供了有效手段。

2006 年 3 月起,河北省基础地理信息中心在长城资源调查中,利用机载 LIDAR 和地面 LIDAR 技术完成了长城源头秦皇岛—唐山段明长城的测绘工作,其中机载 LIDAR 主要用于整体建模,而地面 LIDAR 则用于对重点部位和较复杂部位进行更详细的测量。“数字长城”工程建立了该区域 1m 分辨率的三维模型,并获取了翔实的数据资料,为该段明长城的保护与修缮事业提供了可靠的测绘保障。在该工程的一期成果鉴定中,机载 LIDAR 测量手段得到了较高评价,现在二期工作正在开展中。

与传统航空测量相比,LIDAR 技术在资源调查方面,也毫不逊色。秦皇岛市国土资源局组织实施了《航测秦皇岛市沿海地区 1:2 000 DEM、DOM、DLG 项目》。项目全部采用机载 LIDAR 测量手段,对秦皇岛市沿海地区总面积为 1 424km² 的航测区域进行了 1:2 000 大比例尺的地形图绘制,生成了彩色正射影像、数字线划图等测绘产品,通过了河北省测绘产品质量监督检验站的检测验收。

在江苏省沿海滩涂 1:1 万基础测绘数字高程模型项目中,测区范围较大且地形特殊,不仅人工施测困难,外业工作量也较大。工程采用机载 LIDAR 技术,并综合运用精化大地水准面成果等技术,不仅完成了江苏省沿海滩涂和海岛礁高精度、高分辨率测绘,而且开创了我国在该领域高精度测图技术的新途径,并取得了较高质量的数据成果。

在促进京、津、冀地区的数字化建设中,同样利用 LIDAR 激光数码和 DCS 数码航摄系统完成了天津城区(1:500~1:2 000)的地形测量工作;此外,机载 LIDAR 系统先后完成了南京、常州、无锡、上海等城市的数码城市方面的数据采集工程,并被应用到三峡库区地质灾害调查的数据采集项目。全国范围内,LIDAR 系统在该领域内总共完成的任务已超数千平方公里^[3]。

LIDAR 系统在快速获取地表信息方面,已远远超过传统的航空摄影测量方式。其高密度和精确的三维空间坐标、极少量的野外工作量和大大缩短的数据处理周期,成为在城市规划、资源调查等需要大范围施测领域得到广泛应用的重要原因。

4.2.3 公路等交通领域

公路、铁路等交通也属于带状交通,同样非常适合机载 LIDAR 测量。

由于其高程精度能达到 20cm 以内,且无需上路测量、中断交通,目前,机载 LIDAR 在国内公路交通方面都有应用,但多见于高速公路的改扩建,如广东莞—深高速公路旧路改造(1:2 000)、深—汕高速公路旧

路改造(1:2 000)、广清高速公路旧路改造(1:2 000)等。在新公路的勘察设计,即公路设计带状区域的地形高精度测量中,机载 LIDAR 的应用还较少见。

我公司于 2007 年 7 月进行了困难、复杂地区公路机载 LIDAR 三维勘测设计方法研究,研究的依托工程赣州至大余(茅店~三益段)高速公路新建工程位于江西省赣南山区,全长约 43.7km。当地地表植被茂盛,工程现场部分山岭过于陡峭;同时,受天气影响,传统航空摄影测量与人工地面测量的开展均十分困难,工程测量进度缓慢,工期严重滞后。

本研究采用德国 REIGL 公司 LiteMapper5600 型号的 LIDAR 设备进行了工程地形的高精度、快速三维测量。在整个路线施测范围,仅布设 GPS 基站一个,野外地面控制点 8 个(含大地水准高转换用),地表高程采集的格网间距约为 1.14m,共设计航线 17 条。经野外验证,测量精度基本满足平面精度误差不大于 0.5m、高程精度误差不大于 0.2m 的要求(图 2),一次施测即可满足项目设计的初测、详测需要,且已直接应用于项目的施工图文件设计^[4]。



图 2 采集获取的高分辨率地表影像

4.2.4 其他领域

国内部分高校如首都师范大学、武汉大学、中国地质大学等,对地面和机载 LIDAR 技术在空间数据的自动提取、城市建筑的自动三维建模、重大地质自然灾害应急监测与快速处理等应用领域也分别展开了技术专项研究和应用。如 2008 年汶川大地震抗震救灾工作中,武汉大学利用 ALS50II 型号机载 LIDAR 设备,不仅准确获取了唐家山堰塞湖三维地形图,而且利用地面光谱反射信息,精确圈定了失事直升机的坠落地点,极大缩短了搜救时间。

机载激光在海洋测深方面也大有可为。它利用机载激光发射和接收设备,通过发射大功率脉冲激光,进行海洋水底探测的先进技术;利用 LIDAR 的回波特征,还可以对海水中的成分进行检测,在海洋监测管理、大陆架和海洋地质信息、海洋灾害预测预报减灾等信息管理系统中,成为新的数据提供手段。

LIDAR 系统快速提供实时、动态的城市空间信息和丰富的地表属性信息数据的能力,为城市反恐安全同样提供了新的技术支持。

5 结论与展望

机载 LIDAR 系统是测绘领域的又一个技术革命。该技术在国外已相当成熟,并广泛应用于公路设计,水利,洪水和雪崩的预报,城市三维模型的构建,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领域中。同时,地面 LIDAR 系统同样得到了快速发展,并用于文物、建筑、桥梁、铁塔、矿井等的三维测量、建模和监测。

目前国内 LIDAR 技术行业在技术掌握和应用管理上,仍然存在一定的问题,如稻田、水塘等地表水体的激光能量吸收情况严重,造成此部分地表数据的缺失需人工补测、数据处理主要依赖于国外软件系统、数

据采集和生产费用至今尚无统一的国家标准等;同时,其多重回波,高密度、高精度的海量数据,精度控制等方面的相关技术,尚未得到更深入的研究和推动。

机载 LIDAR 获取的 DEM 具有极高的数据密度和精度,无需构网即可生成横断面数据,从而为路线设计提供可靠、精确的高程信息;同时施测周期短、数据精度高,且省去了野外横断面施测环节,极大改善了当前公路设计领域的作业模式。随着 LIDAR 技术在国内日趋成熟,该技术在公路领域必将有大的作为。

参 考 文 献

- [1] 隋立春,张宝印. LIDAR 遥感基本原理及其发展. 测绘科学技术学报, 2006, 23(2): 127-129.
- [2] 国内外激光雷达设备应用和市场现状. <http://www.tianyablog.com>.
- [3] 杨洪,兀伟,马聪丽. 机载 LIDAR 的特点及其用于西南高山峡谷地区大比例尺测绘工作的可行性探讨. 四川测绘, 2007, 30(2): 60-66.
- [4] 王丽园,陈楚江,余绍淮,等. 困难复杂地区公路机载 LIDAR 三维勘测设计//第四届全国公路科技创新高层论坛论文集[上卷]. 北京:人民交通出版社, 2008: 386-389.