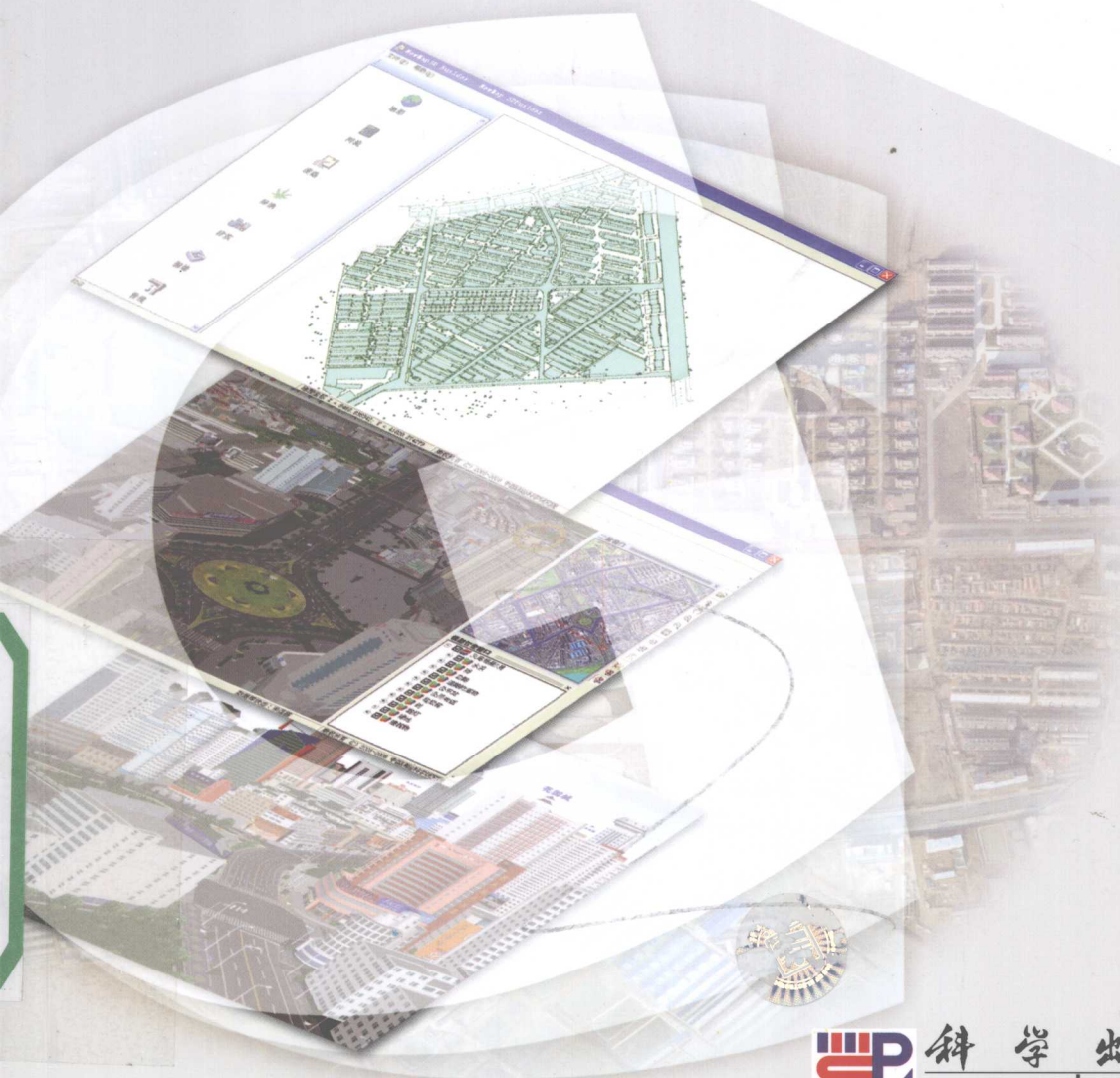




地理信息系统理论与应用丛书

数字城市 三维地理空间框架 原理与方法

● 李成名 王继周 马照亭 编著



科学出版社
www.sciencep.com

TU984/160

2008

地理信息系统理论与应用丛书

数字城市三维地理空间框架 原理与方法

李成名 王继周 马照亭 编著

国家973计划重大基础研究前期研究专项
信息产业部电子信息产业发展基金
国家测绘局“十一五”基础测绘重点项目
中央级公益性科研院所基本科研业务费专项

联合资助

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书针对当前“数字城市”建设中城市三维地理空间框架建设所面临的三维数据获取、三维建模、海量数据三维可视化、三维空间分析、行业应用等瓶颈问题,经过长期研究试验,探索出一套符合我国当前数字城市三维空间框架建设需求的技术路线,经过在山东、浙江、河北等省份十几座城市的应用,验证了其实用性与高效性。

本书适宜于作为测绘、遥感以及地理信息系统专业高年级本科生、研究生和从事数字城市研究与建设的科技人员的重要参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

数字城市三维地理空间框架原理与方法/李成名,王继周,马照亭编著.
—北京:科学出版社,2008

(地理信息系统理论与应用丛书)

ISBN 978-7-03-020408-0

I. 数… II. ①李…②王…③马… III. 三维-模型(建筑)-应用-城市建设-研究 IV. TU984

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 195421 号

责任编辑:彭胜潮 关 焱/责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008 年 1 月第一次印刷 印张:14 1/2 插页:8

印数:1—4 000 字数:332 000

定价:55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前言

自文明诞生以来,人类总是在持之以恒地认知环境,坚持不懈地探求未知和神秘的客观现实世界。从躬亲力行的直接实践,到阅读先驱者经验的间接实践,人类跨越了重要而关键的一步,其中符号化语言扮演了十分重要的角色,它是连接认知对象、直接实践者和间接实践者三座“孤岛”的桥梁。

地图作为符号化语言的一种,描述对象为地球表面景观,直接实践者为地图创作者,间接实践者为地图使用者。象形的图形化符号语言雏形于人类早期,用石块、树枝和泥土等手到擒来的材料做成指示方位、大小与远近的标志,后来示意性刻画在石壁、树皮和陶片之上。公元250年,尚书令裴秀通过和从前地图的对比,考证了《禹贡》所记载的山川、河流、原隰陂泽、水路径路等,发现了当时符号化语言地图存在的缺陷,创造性地提出“制图六体”,为科学描述地球表面客观存在建立了较为完整的规范。在此后漫长的历史长河中,地图囿于需求牵引和科技进步双重动力推动,不断地取得进步与发展。

当时代步伐掠过20世纪末,信息大潮扑面而来,一场地图领域新的变革也不期而至。一方面,人口急剧扩张使狭小地球中可供人类活动的范围越来越紧缺,不断向立体纵深发展,特别在城市区域,传统二维平面地图捉襟见肘,需求三维数字表达的呼声一浪高过一浪;另一方面,存储介质由纸变磁、虚拟现实技术蓬勃发展和计算机技术进步使得采用三维表现形式描述认知对象成为可能。相较模拟时代地图,符号化语言应是三维而非二维、尺度应是2的级数而非10的倍数、数据组织应是机器可读性强而非视觉效果、服务模式应以网络化为主而非人工传递。

站在信息时代的高度,接踵先行者足迹,摒弃传统专业思维的桎梏,探索采用三维符号化语言描述认知对象、传播知识当是技术变迁时代地图科研者最高追求。

近年来,不乏专业人士从理论的视角探讨三维认知表达、数据组织及可视化,也有先进的技术如激光雷达用于三维表面模型信息获取,但总体上看比较分散,构不成完整的技术体系,与真正生产力尚存相当大的距离。

经过数年努力,笔者及其团队系统研究了三维空间模型数据获取无人飞行器适宜性评价及提取理论、三维现实世界抽象和表达理论、地面景观剖分与快速建模理论以及大数据管理和三维可视化关键技术,提出了城市区域高分辨率遥感影像安全高效获取的方法,揭示了单影像量测地面景观立面信息的机理,建立了三维基础空间信息建模和可视化规范,成功开拓了完全不同于国内外已有技术方法的三维空间模型建设的有效途径。在此基础上,成功研制了“三维基础空间信息获取处理技术体系”,其核心包括:无人驾驶飞艇低空遥感系统、单影像立体量测系统、三维抽象表达及建模系统和三维增强现实及应用系统,为构建三维数字空间模型提供了全过程的、集成性很高的成套技术系

统,提升了测绘技术手段。该理论与技术已经在 Nottingham(英国)、威海、烟台、杭州、石家庄、西宁、温州、嘉兴、湖州、无锡、义乌和建德等 40 多个城市的三维模型建设中得到应用,效果显著。

今拨冗成文,旨在抛砖引玉,企盼更多有识同行深入其中,共同推动该研究领域的进步!限于时间仓促和作者水平,书中难免有疏漏之处,望不吝赐教!

目 录

前 言

第一章 绪 言	1
1.1 数字三维时代的来临	1
1.2 国内外相关技术现状	1
1.3 本书主要内容与组织安排	21
第二章 城市景观三维抽象与表达	22
2.1 当代主要表达方法	22
2.2 现实世界三维表达的信息传输模型	24
2.3 城市景观三维抽象	26
2.4 城市景观三维表达方法	29
第三章 城市三维信息获取	36
3.1 低空无人驾驶飞行器遥感	36
3.2 单影像立体量测	49
3.3 地形三维信息获取	67
第四章 三维空间数据模型	70
4.1 现实世界的模型化过程	70
4.2 三维空间数据模型的研究现状	71
4.3 三维空间数据模型构建要求	76
4.4 面向实体的三维空间数据模型	77
4.5 三维地形模型	88
第五章 三维信息组织与管理	93
5.1 三维空间信息管理方式	93
5.2 数据库系统平台	96
5.3 城市地物信息的数据库管理	104
5.4 数字地形信息的数据库管理	107
5.5 影像数据库管理	110
第六章 城市景观三维可视化	118
6.1 三维可视化原理	118
6.2 三维可视化渲染工具	124
6.3 LOD 细节层次模型	132
6.4 海量数据三维可视化关键技术	148
6.5 城市特征地物可视化	155

6.6	地形三维可视化	160
6.7	地形与地物的匹配集成	161
6.8	三维城市构建及可视化中的若干优化策略	164
第七章	三维空间查询与分析	176
7.1	空间查询	176
7.2	空间量算	181
7.3	场景编辑	186
7.4	场景控制	189
7.5	地形分析	191
7.6	通视分析	194
7.7	缓冲区分析	197
7.8	叠置分析	198
7.9	日照阴影分析	199
7.10	水淹分析	201
第八章	实践与应用	208
8.1	三维地理信息系统	208
8.2	在城市规划领域应用	211
8.3	在突发事件应急中应用	214
第九章	总结与展望	218
参考文献		220
后记		224
彩图		

第一章 绪 言

1.1 数字三维时代的来临

现实世界是三维立体空间的,并随着时间在不断发生变化。前人源于无需求或有需求但缺乏技术手段,长期以来惯性地使用平面地图和二维地理空间信息,并作为认识世界与改造世界的基础资料。当人类经济社会发展的步伐迈进 21 世纪以后,已经为人类接受和依赖的平面地图或二维地理空间信息在面对现代复杂的客观现象和层出不穷的人类杰作时渐显捉襟见肘之窘态。在立体化纵深发展的现代城市中,既有地上鳞次栉比的高楼大厦,又有地下密如蛛网的管线;在矿区开采过程中,犬牙交错的巷道;在地质勘查活动中,通过有限钻空抽样模型化整个地质构造情况等,这些“上天入地下海”的现代人类活动,迫切需要三维地理空间支撑,以实现立体表达、精细管理和科学决策之目标。

计算机技术、虚拟技术、数据库技术、可视化技术、海量存储技术以及认知科学等技术与理论的发展,为现实世界三维数字化表达和再建奠定了理论技术基础。近年来,机载、车载和固定站式激光扫描技术,以及无人驾驶飞行器结合单片立体量测技术的出现,使三维空间数据获取难的瓶颈基本得以突破,规模化作业模式形成在即。三维实体抽象、空间关系描述、模型化、数据组织、可视化和应用等理论与技术研究逐渐深入并达到实用化程度,国内外渐次出现了 Vega(美国)、Skyline(美国)、Virtools(法国)、NewMap(中国)、VRmap(中国)等一批三维地理信息管理或可用于三维地理信息管理的软件系统。纵观三维领域制约发展的技术问题,应当说从三维数据获取处理、表达、管理,直到应用的整套流程关键技术点基本得以突破。

在需求牵引和技术进步双重动力驱使下,数字三维无疑将进入高速发展和广泛应用期,必将拉动整个测绘产业队伍走向三维地理空间信息采集、处理和数据库建设,以及基于三维地理空间信息的应用与服务。这一切昭示着数字三维时代的来临!

1.2 国内外相关技术现状

数字城市三维地理信息系统的研究正在世界范围内蓬勃兴起,新理论、新方法、新技术层出不穷,推动地理信息产业不断向前发展。以下主要从城市三维空间数据获取技术、城市三维建模技术、三维可视化技术、虚拟现实技术、三维 GIS 软件系统等几方面综述分析当前的技术发展现状。

1.2.1 城市三维数据获取技术

由于理论和技术水平的限制,三维空间数据的获取能力相对较弱一直是阻碍三维地理信息系统发展的重要原因。一旦能够实现三维空间数据方便、快捷、廉价的获取,三维地理信息系统将会取得迅猛的发展。下文总结目前常用的几种城市三维数据获取方法,并简要分析各种方式的优缺点及适用范围。

1. 地形图+建筑设计图纸

由于城市景观以人文建筑物为主,而大部分建筑物体的平面坐标可以由现有纸质或数字化的二维平面地形图得到,建筑物的高度和形状信息可从设计图纸中获取,两者结合即可获得建筑物的三维数据。这种方法实现技术简单,且获取的建筑物高度信息具有较高的精度,但由于需要进行专业建筑图纸人工判读,对操作人员素质要求较高,同时还要手工输入大量数据并进行实地纹理采集,工作量非常大。而且由于建筑设计图纸属于保密资料或内部资料,获取相对困难。因此只适合城市小范围地区及少数建筑物的三维数据获取。

2. 数字摄影测量

摄影测量的发展经历了模拟摄影测量阶段和解析摄影测量阶段,现已进入数字摄影测量阶段。数字摄影测量是基于数字影像与摄影测量的基本原理,应用计算机技术、数字影像处理、影像匹配、模式识别等多学科的理论和方法,提取所摄对象用数字方式表达的几何与物理信息的摄影测量学的分支学科。

数字摄影测量系统是摄影测量技术发展的结晶,它是三维空间数据获取的一种重要途径。在20世纪60年代,第一台解析测图仪AP-1问世不久,美国的全数字化测图系统DAMC就有了初步的实验结果。武汉大学(原武汉测绘科技大学)王之卓教授于1978年提出了发展全数字自动化测图系统的设想与方案,并于1985年完成了全数字自动化测图软件系统WUDAMS,并采用数字方式实现摄影测量自动化。至1988年日本京都国际摄影测量与遥感协会第16届大会上展示出DSP-1型为代表的数字摄影测量工作站,基本上都是属于体现数字摄影测量工作站概念的试验系统。到1992年8月在美国华盛顿第17届国际摄影测量与遥感大会上,有了较为成熟的产品。武汉大学张祖勋教授所领导的研究团队在王之卓院士20世纪70年代末提出全数字化自动测图思想的基础上,突破了立体影像匹配构建计算机视觉的理论难关,创造了VirtuoZo摄影测量工作站;中国测绘科学研究院刘先林院士于1999年主持研制成功了JX4数字摄影测量工作站,这两种系统都能实现数字地面高程模型(DEM)自动采集、自动微分纠正,制作数字正射影像(DOM),利用X、Y手轮、脚轮,进行人工立体数字线化测图以及获取数字栅格地图(DRG)。它们为三维数据的获取提供了一种较为便捷的实现方法。目前,航空摄影测量和遥感技术可以提供目标的几何特征、语义特征,从而获取三维数据信息。它作为最为完善的技术体系在国内外得到广泛的应用。但是,由其立体像对成像和

解算的机理决定了它在数码城市建筑物三维信息和纹理信息提取的缺陷,即它获取的主要是建筑物顶面的信息,漏掉了建筑物立面的大量几何和纹理信息。同时,摄影测量数据在建筑物密集区会有遮掩,不能有效提供建筑物立面纹理信息,需配合地面摄影。

随着美国 1m 分辨率 IKONOS 以及 0.68m 分辨率 QuickBird 卫星的升空,航天卫星遥感已发展到高分辨率、高精度、多光谱、低费用的时代。极高分辨率的航天遥感影像能提供丰富的城市景观信息,包括几何、纹理、拓扑、语义等多种类型,正日益成为数字正射影像和数字高程模型生产的主要数据源。卫星遥感影像不仅具有很高的空间分辨率,而且具备高时间分辨率的特点,即可在短期内重复获得同一地区的影像;在城市飞速发展的今天,这对保证获取数据的现势性具有重大意义。随着卫星影像价格的不断下降和分辨率的进一步提高,航天遥感影像将会是未来城市三维信息获取的主要源泉之一。

3. 激光雷达系统

当将一束特定的光线投射到物体表面时,在与投射方向不同的方向观察,这一束投射到物体表面的特定光线就会受物体表面形状的调制产生形变,通过一定的算法分析这种形变,就可以得到物体的调制信息,即三维形貌,激光扫描仪应用该原理获取扫描对象的三维信息,其工作流程如图 1.1 所示。

激光雷达系统简称为 LIDAR,该技术可以实现空间三维坐标的同步、快速、精确的获取,并根据实时摄影的数码像片,通过计算机重构来实现大型实体或场景目标的 3D 数据模型,再现客观事物的真实形态。根据载体的不同,LIDAR 主要分地面三维激光扫描技术和机载激光雷达扫描技术两大类。地面三维激光扫描系统的空间载体是地面,类似于传统的地面近景摄影测量,它将激光扫描仪直接与数码相机、GPS 相结合,对目标物进行扫描成像,获取激光反射回波数据和目标表面影像,并在软件支持下构建三维数字模型和纹理的精确贴加,从而达到目标物快速、有效、精确的三维立体建模。地面三维激光扫描系统不但可以安置在固定设备上,也可以装载在运动的汽车上,进行连续的三维场景和目标形态的空间数据采集。机载激光雷达系统是一款高速度、高性能、长距离的航空测量设备,该系统由激光测高仪、GPS 定位装置、IMU(惯性制导仪)以及高分辨率数码照相机组成,实现对目标物的同步测量。测量数据通过特定方程解算处理,生成高密度的三维激光点云数值,为地形信息的提取提供精确的数据源。利用机载 LIDAR 系统进行测高作业,根据不同的航高,其平面精度可以达到 0.15~1m,高程精度可达到 10~30cm。

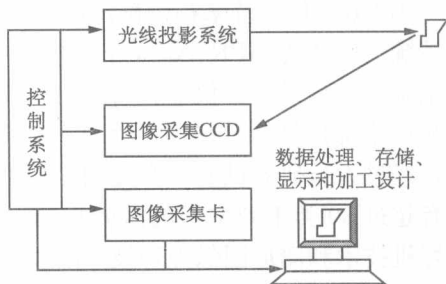


图 1.1 激光扫描仪的工作原理

与普通光波相比,激光具有方向性好、单色性好、相干性好等特点,不易受大气环境和太阳光线的影响。使用激光进行距离量测可大大提高数据采集的可靠性和抗干扰能力。当来自激光器的激光射到一个物体的表面时,只要不存在方向反射(包括镜面反

射), 总有一部分光会反射回去, 成为回波信号, 被系统接收器所接收, 当仪器计算出光由激光器射出到返回到接收器的时间为 $2t$ 后, 那么激光器到反射物体的距离(d) = 光速(c) $\times$ 时间(t)/2。在 LIDAR 系统中, 结合 GPS 得到的激光器位置坐标信息, INS 得到的激光方向信息, 就可以准确地计算出每一个激光点的大地坐标(X, Y, Z), 大量的激光点聚集成激光点云, 组成点云图像。

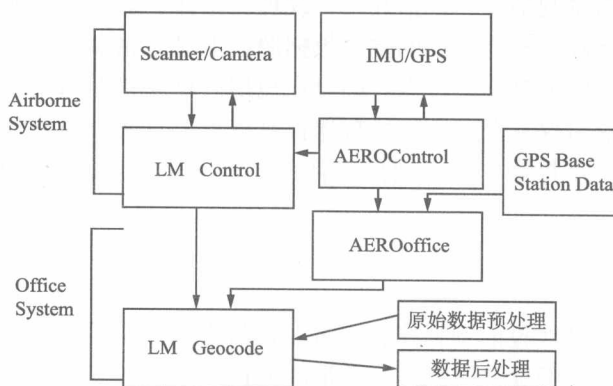


图 1.2 LIDAR 信息获取系统

用 LIDAR 系统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三维数据。到 20 世纪 90 年代, 经过大量研究试验, 激光扫描技术开始得到普及和大规模使用。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。

利用 LIDAR 技术可实现 DEM 和 DOM 的快速生成, LIDAR 最主要的数据产品是高密度、高精度的激光点云数据, 该数据直接反映点位的三维坐标。通过自动或人工交互处理, 把入射到植被、房屋、建筑物等非地形目标上的点云进行分类、滤波或去除, 然后构建不规则三角网 TIN, 就可以快速提取 DEM。由于激光点密度大、数目多, 使得生产高精度、高分辨率的 DEM 也成为可能, 它是解决快速进行 DEM 数据采集的最有效方法。另外, LIDAR 数据也可以辅助进行 DOM、DLG 数字产品的生产。

LIDAR 应用的另一重要领域是精密工程测量。很多精密工程测量都需要采集测量目标的高精度三维坐标信息, 甚至需要建立精确的三维物体模型, 如电力选线、矿山和隧道测量、水文测量、沉降测量、建筑测量、变形测量、文物考古等行业。地面和机载 LIDAR 就是解决这种实际问题的有效手段。通过数码像片获取的纹理信息与构筑物模型进行叠加构建三维模型, 是进行景观分析、规划决策、形变量测、物体保护的重要依据。如 LIDAR 技术为公路、铁路设计提供高精度的地面高程模型 DEM, 以方便线路设计和施工土方量的精确计算。在进行电力线路设计时, 通过 LIDAR 的成果数据可以

了解整个线路设计区域内的地形和地物要素情况。在树木密集处,可以估算出需要砍伐树木的面积和木材量。在进行电力线抢修和维护时,根据电力线路上的 LIDAR 数据点和相应的地面裸露点的高程可以测算出任意一处线路距离地面的高度,从而便于抢修和维护。

虽然利用激光雷达系统可以获取高精度的三维数据,但由于其价格昂贵,在短期内尚难以实现大范围普及使用。同时激光扫描获取的一般为密集的点状数据,后处理工作非常复杂。另外在数字城市应用中,由于某些物体表面没有漫反射(如窗户和金属结构部分),会在扫描时被漏掉,须同时配备近景摄影协同进行。

4. 机载三维成像仪

机载三维成像仪从空中同步获取地面目标的三维位置和遥感光谱信息,实现定位、定性数据的一体化获取。它与机载激光扫描系统具有明显的区别,它在硬件上共用一套主光学系统来实现图像数据和激光测距数据的同步采集,信息获取效率要高于激光扫描系统。中国科学院遥感应用研究所对机载三维成像仪进行了深入研究,进行了飞行试验。

机载三维成像仪由 GPS 接收机、姿态测量装置、扫描激光测距仪、扫描成像仪四个主要部分构成。GPS 能得到三维成像仪在空中的精确三维位置;姿态测量装置能测出三维成像仪在空中的姿态参数;扫描激光测距仪可以精确测定三维成像仪到地面点的距离,根据几何原理就可以计算激光点的三维位置。同时扫描成像仪同步获取地面的遥感图像,扫描成像仪和扫描激光测距仪在硬件上共用一套扫描光学系统而组成扫描激光测距-成像组合传感器(AL-Hi),从而保证地面的激光测距点和图像上的像元点严格匹配。

系统的原理如图 1.3 所示。在事后处理中,这些具有三维位置的激光像元点作为“控制点”来精确纠正所获得的遥感图像,从而快速获取正射影像。此外这些激光测距点也可以作为“种子点”来求出 DTM。和常规的遥感器以及国外的机载激光系统相

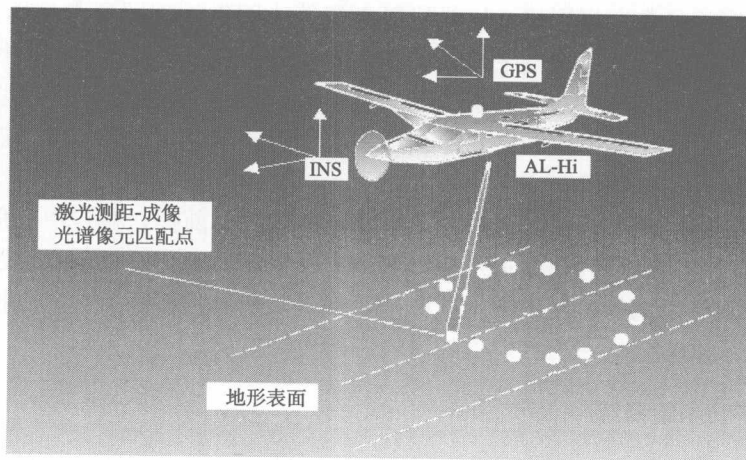


图 1.3 机载三维成像仪的原理

比, 机载三维成像仪具有如下特点: DEM 和遥感图像的准确匹配并同步获取, 通过在硬件上共用一套主光学系统, 实现图像数据和激光测距数据的同步采集; 获取的原始数据只要软件处理就可以生成 DEM 和地学编码图像等三维数据产品, 无须地面控制, 效率较高; 视距测量原理的实现, 应用 GPS、INS、SLR 直接按几何原理测得地面的三维位置; 既是位置测量系统, 又是遥感系统, 利用它可以得到地面的三维位置, 又得到图像, 可以生成 DEM 和地学编码图像。

在机载三维成像仪获取的数据中, 激光测距数据和图像数据是在空间位置上严格同步获取的, 但由于激光器的能量和重复频率有限, 因此不能在获取每个像元图像时都进行激光测距, 而是每隔固定数量的像元来获取一个激光测距值。根据飞行速度的不同, 扫描的速率一般为每秒扫描 20~40 行。由于姿态测量装置采集姿态数据的反应速率等原因, 一般也只是在每个扫描行图像的中间像元(称机下点)时才发送信号给姿态测量装置来采集当时的姿态参数。GPS 数据和姿态、激光测距数据的同步是通过时间进行的, 即控制单元向 GPS 发送一个同步信号, 并在原始数据中存储该同步信号的序列号, GPS 接收到该同步信号后, 存储该同步信号的精确时间(精确到 100ns)和序列号。

5. 近景摄影测量

在摄影测量中“近景”一般指在 100m 以内的摄影距离。其方法是通过从不同方向拍摄的、具有一定重叠度的、同一地物的多幅影像, 恢复摄影物体的三维模型。在近景摄影测量中相对于控制点的绝对定向并不起主要的作用, 最重要的是测求物体表面上点间的相对位置, 以所需要的精度确定其大小、形状和体积。近景摄影测量具有较高的精度, 一般采用交向摄影, 由不同的角度和方向摄取地物的多幅影像实现整个物体表面的立体覆盖。

近景摄影测量包括近景摄影和图像处理两个过程。近景摄影一般使用量测摄影机, 它是框标、内方位元素已知并且物镜畸变小的专用仪器, 有的还备有外部定向、同步摄影、连续摄影等设备。也可以使用非量测摄影机, 如电影摄影机、高速摄影机、全息摄影机、显微摄影机、数字摄影机、X 射线摄影机等。图像处理同通常的摄影测量类似, 分为模拟法和解析法, 可以获得平面图、立体图、断面图、透视图、等值线图以及包括物点坐标在内的多种物理参数。近景摄影测量在经济建设、国防建设和科学研究中有广泛的用途, 特别适用于重要工程的变形和自动生产线的监测, 弹体运动轨迹、炮口冲击波等不可接触物体的量测等。

由于近景摄影测量的高精度需要以大量物点的观测为前提, 在空中三角测量时, 一般每个模型只观测 6 个点; 而在近景摄影测量中常常需要观测几百个点。因此近景摄影测量一般应用于单个地物的三维数据获取, 尤其是复杂地物特征。古迹维护、数字遗产构建是目前近景摄影测量在三维建模领域应用的重要方向。

6. 车载移动测绘系统

车载移动测绘系统是一个基于多传感器与多技术集成的综合系统。传感器按作用可分为绝对定位传感器、相对定位传感器和属性采集传感器, 其中绝对定位传感器包括依

赖于外部环境的外部定位传感器(GPS、无线电导航、罗兰-C等)和自包含内部定位传感器(INS、DR、陀螺仪、加速计、罗盘等);相对定位传感器包括被动成像传感器(视频摄像机、数字摄像机等)和主动成像传感器(激光测距仪、雷达等);属性采集传感器包括被动成像传感器(视频/数字摄像机、多光谱扫描仪等)和主动成像传感器(激光测距仪、激光扫描仪等)。目前已有学者研究出实验系统。武汉大学李德仁院士建立了一套以GPS、电子罗盘和车轮计数进行定位,以双CCD摄像机和激光测距仪实现地物测绘,以视频录像和数字录音完成属性采集的车载测绘系统,可用于车辆导航、公路及铁路等道路网测绘、建筑物测绘、机动交通监测等多种领域,其量测流程如图1.4所示(李德仁,2001)。

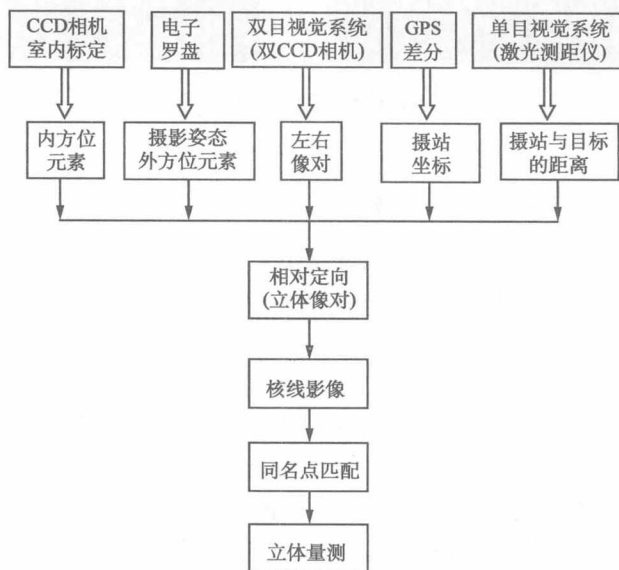


图 1.4 移动测绘系统量测流程(李德仁,2001)

1.2.2 城市景观三维建模技术

随着计算机硬件性能的提高、图像压缩处理技术和三维图形渲染技术的进步,国内外出现了越来越多的三维可视化和应用环境。综合分析它们所采用的景观建模方式,主要有以下几种。

1. 三维建模工具

即应用某种商用三维建模软件,依据所采集或设计的地物的三维信息,逐个制作完成后组合起来形成整体景观。此类软件如3DMAX,该软件功能强大,操作简单,支持多种模型的转入转出,应用十分普遍。使用建模工具生成的三维地物模型外观精细,造型细腻,就美观程度而言远高于其他方式,非常适合于单栋或少数建筑物的三维重

建。但是在区域范围扩大时,建筑物数量急剧增多,逐栋建模的工作量将会很大,同时将其定位到地表的难度也会增加。因此,此方式只适用于小范围区域,尤其多应用在建筑设计中查看效果图。图 1.5 为根据照片精细建模的三维建筑物模型。

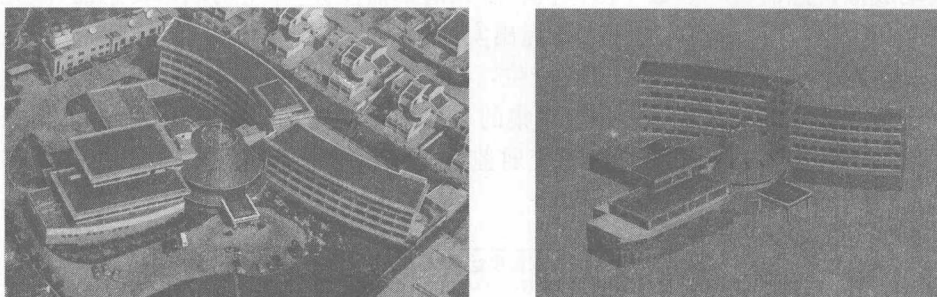
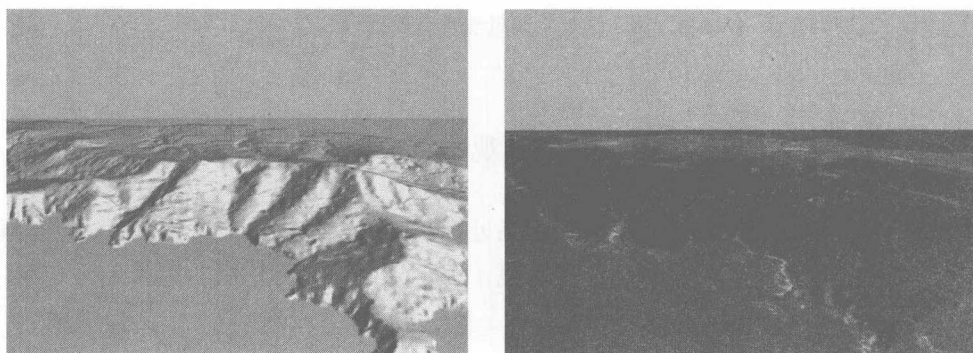


图 1.5 建筑物照片与精细三维模型

2. 数字地形叠加航空航天遥感影像

这种方法通过将数字高程模型(DEM)和作为纹理的航空航天影像叠加来生成三维景观。如 Lothar Koppers 使用 VRML 语言将空中影像叠加到高程格网上,实现了可以随意漫游的三维景观; Tsuyshi Honjio 借助 CAD 系统,不仅将影像纹理叠加到 DEM 上,而且还添加了植被模型和建筑物模型以及雾化效果,生成了十分逼真的地形景观模型。这种方式目前多用于地形显示领域,用于城市三维地理信息系统构建时由于纹理分辨率较低和不够精细而显得缺乏真实感;所生成的景观模型只是具有浏览的功能,在模型上不能进行 GIS 分析;而且也不能对单个的空间对象进行编辑、查询等操作。图 1.6 中(a)和(b)分别表示了数字高程模型上叠加遥感影像前后的示例。



(a) DEM的三维表达

(b) DEM叠加DOM的三维表达

图 1.6 数字地形叠加航空航天遥感影像的三维建模

3. 基于二维 GIS 数据库的三维扩展

经过多年的积累,目前各城市二维 GIS 的数据相对充分,在这些数据的基础上进行必要的三维扩展是建立三维城市景观的一种重要途径。虽然二维 GIS 数据库中没有存储建筑物的高程信息,但在其属性中保存了层数信息,因此可以通过使用假定的层高(例如住宅楼每层 3m、商业楼每层 3.5m 等)和模拟的纹理来构建三维建筑物对象,即在二维 GIS 基础上另外添加一些信息(如房屋高度、墙面纹理、规则屋顶等)来构建三维城市景观。这种方法在利用二维 GIS 现有数据的同时,也利用了二维 GIS 的部分功能(数据管理、查询检索等),而且还减少了数据采集的工作量,所建立的模型信息量少,操作速度快。但是这种方法仅适于表达相对规则的建筑物,难以重现复杂地物实体,例如底部与顶部形状不同的房屋、具有特殊形状特征的高楼等;而且由于均为按照统一的层高设置,精度较低;同时由于缺乏真实纹理和高程数据,景观的真实感不强。

4. 真三维空间数据模型

随着三维数据获取技术的发展,人们能够较容易地实现大面积的精细城市三维信息的获取,这些信息包括形状、高度、纹理、模型等,从而也迫切需要一个真三维的空间数据模型来高效的组织管理这些信息。针对三维空间数据模型,国内外都有专家、学者进行了大量的研究与探索,取得了一定成果,从不同的应用和描述角度建立了多种三维空间数据模型。它们基本可分为三类:基于矢量结构的、基于栅格结构的和混合结构的,但是由于现实世界的复杂性决定了用以描述现实世界的三维空间数据的庞大和复杂,目前仍没有建立一种可以适用于大多数领域的、并且易于计算机实现的三维空间数据模型。

上述几种方法侧重点各有不同,在数据采集、精细程度、空间分析等方面也存在差异,可适用于不同应用需求的系统建设。但从三维 GIS 发展的角度看,真三维空间数据模型既能满足高精度、高仿真性的要求,又便于各类专题属性信息的加载,同时有利于实现多种复杂的查询与分析操作,将成为今后三维城市景观构建的主要方式。

1.2.3 三维可视化技术

可视化是将不可见的事物转化为可见图像的过程。三维可视化就是将最终的图像以三维的方式显示出来。“三维”是一个数学概念,它表示我们生活的空间可以用三个数来描述,假设存在一个直角坐标系的话,那么用 X, Y, Z 坐标就能确定任意点的位置。

三维可视化是三维地理信息系统的一项基本功能。在建立、维护和使用三维 GIS 系统的各个阶段,不论三维对象的输入、编辑、存储、管理,还是对它们进行操作分析或是输出结果,都存在三维对象的可视表达问题。为了将客观世界尽量真实地再现,三维可视化需遵守五条基本原则,即代表性(representative)、精确性(accurate)、可信度(belief)、清晰度(clear)和无偏见性(broad-gauge)(Sheppard, 1989);在此基础上,邱茂林提出了抽象性、代表性、真实性、正确性、时间性的原则(邱茂林, 2001)。

目前三维可视化技术主要包括计算机透视图法、计算机影像编修法、计算机绘图及3D模型、计算机模型及影像合成、录像仿真法与虚拟现实等,这几种可视化方法的优缺点总结比较如表1.1。

表 1.1 可视化方法比较(邱茂林, 2001)

可视化方法	拟真性	操作性	时效性	适用性	工具设备
计算机透视图法	差	尚可	好	尚可	差
计算机影像编修法	尚可	好	尚可	好	尚可
计算机绘图及3D模型	尚可	尚可	尚可	差	尚可
计算机模型及影像合成	好	尚可	尚可	好	好
录像仿真法	好	差	尚可	差	好
虚拟现实	尚可	差	尚可	差	差

三维数据采集技术的飞速发展,为精确描述几何对象提供了海量数据,如何实现这些海量数据的裁剪截取、快速显示、实时漫游等仍有待解决。人们往往认为,可以利用高档计算机来处理、存储复杂的模型,如使用计算速度快、存储容量大、图形功能强的图形工作站等。虽然这是有效的方法,但不能完全解决问题。首先,随着应用需求的发展,模型复杂程度的增长几乎是无限的。机器的性能提高了,模型的复杂程度也在增加。其次,高档计算机需要大量的投资,非一般用户所能承受。特别是虚拟现实技术及交互式可视化的出现,对复杂模型的实时动态显示提出了更为迫切的要求。因此,在利用性能比较高的计算机的同时,人们提出了多种技术和算法,力求更有效率地解决复杂模型的处理、存储、传输和绘制问题。其中,复杂模型的简化和多分辨率表示是最有效的方法之一。

计算机图形学中的模型一般是由多面体表示的。模型简化指的是采用适当的算法减少该模型的面片数、边数和顶点数。模型的多分辨率表示则是指对于同一模型,存在着由简到繁、由粗到精的几种表示。模型的面片数减少以后,其表示精度必然下降。但是,在多种情况下,对应用并无影响。例如,当模型距图像平面很远时,其在图像平面上的投影必然很小,只有几个像素。那么,无论模型精确到何种程度,其细节都不可能在屏幕上显示出来。因此,用简化的、比较粗糙的模型表示就可以了,这样大大减少了存储容量、提高计算速度。当一个模型存在着多种分辨率表示时,可以根据不同要求选用不同分辨率的模型。具体地说,应根据模型在屏幕上覆盖像素的多少选择相应的层次。对近物体作绘制时,使用较精细的模型,对远物体则使用较粗糙的模型。其目的就是在保证对原模型的图像有良好的形状逼近的前提下,尽量减少用于表示该模型的多边形数目。

现有的模型简化方法可以按不同方式分为多种类型:

1. 保持拓扑结构和不保持拓扑结构

现有的大多数模型简化方法具有保持拓扑结构不变的性质,如 H. Hoppe 提出的渐