

智慧虚拟城市

智慧城市概念源于 IBM 公司“智慧地球”的理念,自 2008 年 11 月,IBM 公司提出该理念以来,全球掀起了智慧城市建设的热潮。现阶段对智慧城市的解读可以概括为利用信息化的先进技术,借助物联网和云计算等大数据手段,通过检测、分析和整合及智能相应的方式,综合各智能设备,优化资源,加强城市规划建设、管理和服务的智慧化城市新模式。很多城市为了更进一步深化、落实智慧城市的战略部署,都在努力将自身打造成特色鲜明的区域性智慧性中心城市,可是具体怎么实施呢?很多城市都通过应用虚拟现实技术,预先建成智慧虚拟城市,打造出城市的实景虚拟环境,目的是提前测试应用的技术,判断项目实施的有效性,帮助推进智慧城市的建设。本章包括两个部分的内容:第一部分介绍智慧虚拟城市,第二部分介绍虚拟城市系统。

3.1 智慧城市

1. 智慧城市的发展历史

欧盟于 2006 年发起并研制了欧洲 Living Lab 智慧生活实验项目,采用新的工具和方法,调动先进的信息和通信技术融合“集体的智慧和创造力”,用于解决社会问题。Living Lab 以用户为中心,借助开放创新空间的打造,提高居民的生活质量,使人的需求得到满足。2009 年,迪比克市与 IMB 公司合作建立了美国第一个智慧城市,通过物联网技术和智能系统,把城市公共资源(水、电、油、气、交通和公共服务等)链接起来,更好地方便市民工作和生活。我国智慧城市的理念已经深入各个城市城镇化建设。在政府主导和企业参与下,我国智慧城市建设取得了阶段性进展,截至 2020 年 9 月 7 日,我国 95% 的副省级城市、83% 的地级城市,总计超过 500 座城市,均明确提出方案或正在建设智慧城市。

2. 智慧虚拟城市

智慧城市的目标在于依靠信息数据对城市和城市发展中的问题进行科学分析并制定智慧方案,使城市朝着可持续的方向发展。依靠信息技术,城市的许多活动的场所空间不再限于传统的实体城市空间,而是包括具有相对独立性的虚拟城市空间。智慧城市

发展,常常忽略虚拟空间的重要作用。在未来的智慧城市建设中,应该考虑虚拟技术和智慧技术相结合。

智慧城市的技术特征主要包括以下3个方面:①虚拟城市生态环境的创建,利用先进的虚拟现实技术将城市空间实体等比例全场景转化;②城市实体建筑“智慧化”,即建立以智慧型超级计算机为数据处理中心,以广泛分布的超敏感应器为触角的一体智能机,实现从实体城市到虚拟城市的实时、全息投映;③“镜像”智能系统,以“互为镜像”为建设标准,将实境与虚境整合成实时动态“共同体”,为社会提供高度智慧化的城市管理和服

务。智慧虚拟城市通过对虚拟现实技术的利用,实现了城市虚拟智慧环境的设计。用户能够通过智能终端实现与虚拟城市的交互,进而达到控制智慧城市的目的。当前存在许多建模软件都能够辅助完成虚拟城市的实现,如GIS、3ds MAX、AutoCAD、Maya和Unity 3D等。通过GIS能够获取城市的建筑数据,而3ds MAX、AutoCAD或者Maya则能够对城市进行具体的三维模型构建;使用Unity 3D能够设计出交互界面,并实现虚拟漫游效果。这些软件的融合使用能够建立与城市实际景观相符合的智慧城市。并实现展示小地图、调控界面的多个参数以及对界面进行定位等功能。其次,通过对虚拟和智慧本质的应用价值的解析,提取并解构人文虚拟、艺术虚拟和科技虚拟3个领域中的数字智慧,将其运用建构虚拟智慧方法和途径。并在此基础上,将数字智慧与虚拟现实的特性融会贯通,建构出虚拟和智慧的城市模式。

智慧虚拟城市的理论建构承载了包括社会经济和生产活动等城市运行活动,也包括居民工作、交通和娱乐等民生活动。人类城镇化的发展会引发土地利用和供需问题,环境污染问题和资源效率降低等问题。如果这些活动中的一部分可以在虚拟空间进行,就可以有效缓解城市建设出现的问题。在信息技术和网络空间高度活跃的时代,这个问题可以得到部分解决。当前,城市的产业经济、管理服务与居民的交流、购物、医疗、服务体验都逐步向虚拟的网络平台靠拢,这标志着城市活动场所正从物质实体空间向虚拟空间拓展。人们在虚拟空间中获得自己的需求,而城市也在虚拟空间中进行日常的经济和生产活动运作。

牛强等指出虚拟城市与实体城市同为城市空间的组成部分,具有城市空间的一般特征,即两者同为城市和居民活动的场所。从关系上看,实体城市空间是虚拟城市空间的基础,而虚拟城市空间为实体城市空间的映射模拟及拓展延伸。实际上,虚拟空间和实体空间是互相影响的,虚拟空间的商业发展影响着实体空间商业的研发、营销和物流仓储的布局等,而实体空间中的市场关系和人的需求的变化也在影响着虚拟空间。就作用而言,虚拟空间扩展了实体城市空间的活动场所,降低了用地需求,促使经济产业多样化发展,推进了社会交流和沟通。因此,虚拟空间具有空间特征、时间特征、传递效益特征以及容量特征。空间特征是相对于实体空间具有固定的空间点和边界,虚拟空间没有严格限定的边界,社会公众可以自由地畅游于各处。时间特征指的是不同于实体空间具有不可逆性,虚拟空间即参照实体空间中的时间,又自成系统。在虚拟空间中,人们可以重塑事件的发生,以此来修正历史或预测未来。传递效益特征指的是和实体空间中信息传递总是需要消耗一定的时间相比,虚拟空间的信息几乎是瞬时的。容量效益指的是和实



体空间中土地、人口和环境的容量总是有限的相比,虚拟空间中有着近乎无限的容量。

高小康等提出智慧城市建设的功能化具有分形化、开源化和海绵化的特征。分形化指的是某种物体或现象在不同尺度观察下呈现出相似的形状或特点,这种现象又称为自相似现象。互联网和大数据运算造成了虚拟空间的高度集约化,最终造成了实体空间的分形:每个终端都和整个系统具有结构的相似性和递归性。分形化是智能技术的内容化——通过 O2O 等各种对接模式把移动互联技术成果转化成为具体应用。用大量分形终端具有瓦解了都市空间集中化发展趋势。刘立之等研究发现“淘宝村”对乡村重建具有积极意义,使得农村以一种特殊的形态融入当代消费空间中。这也是当代消费空间从集中转向分形化的一种特殊形态。开源化指的是网络化、公众化的参与共享机制,她认为这种城市建设机制有助于推进城市向开放、多元和共享方向发展。开源城市建设理论是在政企合作的 PPP 开发模式之后对传统大都市宏观规划建设理念的进一步智能化转变。将 PPP 模式从政企合作扩展到政、商和民三方的合作,通过对基础层的开放而使城市、社区不同的群体都有机会参与和影响空间建设。使不同群体的需要和知识相互沟通、叠加和优化。海绵化是为了应对现代化都市的土地硬化表层所产生的环境问题,即更多地恢复生态要求的土壤、植被和开放的自然排水系统,从而改善排水不畅的环境问题,形成海绵式渗水的地表。海绵化是环境生态的活化,是城市生态空间建设的一个重要方面。对城市空间建设而言,这个理念还可以从深化的层面来理解,那就是生态城市建设理念的渗透性转化。

3. 虚拟智慧城市的未来

进入 21 世纪以来,中国的城市建设理念有了很多创新和发展,一个重要的方面就是生态城市建设理念的提出。但是在城市建设的规划和实践中,生态文明建设变成了园林化景观的形象工程,城市建设变成了“绿皮城市”。从“绿皮城市”向海绵城市的改造不仅仅是地表生态建设,更是智能技术向后台空间等的渗透和活化。近些年来,信息化手段正在全面适用于各个领域,其中就包括虚拟现实技术。从根本上来讲,智慧城市是建立于虚拟现实建模技术的基础之上,通过结合人工智能技术来创建新型的虚/实相结合的城市。自从诞生以来,智慧城市迅速获得了有关部门以及研究院校的密切关注。智慧城市涉及多层次的虚拟现实技术,通过运用此项技术来设计智慧城市,因地制宜地探求可行性较强的智慧城市实现路径。

注:后面的是人工智能算法与虚拟城市技术相互融合的内容,如果感兴趣,请接着往下读第二部分虚拟城市系统;如果您想阅读人工智能技术在汽车驾驶领域的应用,请跳转至 127 页;如要重温第 2 章的人工智能与虚拟现实的关键技术,请回到第 36 页。

3.2 虚拟城市系统

3.2.1 系统概述

长期以来,城市规划人员的一个重要工作就是进行各种设计或规划图的绘制,但是

这些图纸并不能提供给人们一个直观的、富有真实感的场景。后来,虽然人们也使用纸板或木料来制作三维模型,以实现城市景观的三维可视化,但其制作工作量巨大、费用昂贵、须具备较高的制作技巧,而且仅从外围来看,无法进入,修改也很困难。鉴于以上原因,在计算机上建立三维虚拟城市成为必然。虚拟城市的建立能够全方位、直观地给人们提供有关城市的各种具有真实感的场景信息,并可以以第一人称的身份进入城市,感受到与实地观察相似的真实感。虚拟城市的各种模型易于修改,而且可以实现城市信息的查询与分析功能,这些都是传统的方法所无法比拟的。

我国正处于一个快速城市化和高速经济发展的时期,城市人口的迅速增加导致城市用地的增长。城市用地的快速扩展又暴露出许多的严重问题,如交通拥挤、环境污染和建设用地紧张等。随着人们对城市问题的日益关注和重视,如何使城市环境、城市生态和城市建设有机结合,已成为当今城市建设迫切需要解决的问题。因此,许多大、中城市已建立或正在建设虚拟城市,系统再现城市现有各种资源分布情况,为城市建设合理配置资源和优化城市资源在空间和时间上提供依据,并宏观地制定城市发展规划和发展战略,减少资源浪费,实现城市可持续发展。沉浸在仿真建模的虚拟城市中的人员通过亲自观察体验以及与多种传感器和多维化信息的、适合人的环境发生交互作用,从而对实际区域产生更生动直观的了解和更深刻的认识。

虚拟城市的建设研究是利用虚拟现实软、硬件与多种传感器结合的高科技系统,综合应用全数字摄影测量技术、地理信息系统(Geographic Information Systems, GIS)技术和仿真技术等,在有关城市数据的基础上建立虚拟城市。首先利用全数字摄影测量技术和 GIS 技术快速获取所研究区域的基础地理数据(四维产品),建筑外表结构与纹理数据等,建立研究区域的地理数据库。建立虚拟现实系统与国家空间数据转换标准间的接口程序,实现包括数字高程模型的 DEM 数据和矢量数据的转换。虚拟现实系统的数据格式输入为国家空间数据标准格式,输出为虚拟现实系统的格式。研究利用采集到的数据及虚拟现实建模技术,对研究区域进行快速建模。在此基础上建立虚拟城市的仿真环境,实现城市的真实环境再现以及规划环境的预见。研究 GIS 与虚拟现实技术的结合,利用 GIS 作为后台空间数据的管理工具,而将虚拟现实作为前台用户和地理空间信息交流的渠道,为用户提供更便捷高效的查询、分析功能和结果反馈途径。研究在虚拟现实系统对物体进行交互操作,进行实时修改控制的方法等,从而建立可交互操作、集成化和人机和谐的虚拟城市系统。

在国外,虚拟城市研究的起源可以追溯到 20 世纪 80 年代初,Skidmore 和 Merrill (SOM)那时就已经在三维城市模拟上有所表现。Strathclyde 大学的 UCLA 和 ABACUS 也在这方面做了研究。国外已经有比较成熟的虚拟城市三维可视化建模软件产品,如 Multigen Creator、Equipe、3ds MAX 和 Auto CAD 等,Eris 公司的遥感图像处理软件 ERDAS 也扩展了这方面的功能。虚拟城市的相关技术已经应用于很多领域,许多发达国家已经开始虚拟城市和数字城市的综合建设实验。芬兰计算机工程师林都立试图应用信息技术展现生活和城市的未来,在网络上复制真实世界的赫尔辛基市,成为世界上第一个虚拟城市;日本已经建成一批智能化生活小区、虚拟社区的示范工程;新加坡提出虚拟城市的设想,准备环绕 821.6 平方千米的岛屿,铺设一条光缆,为国民提供一



个综合业务数字网和异步数字用户专线,将新加坡 90% 的家庭连接在一起,使他们在网上可以随心所欲地购物、与政府机构联系、玩游戏、上剧院、上电影院、上学校、去图书馆和去医院等,实现“网上生存”的梦想。

美国加州大学伯克利分校漫游工作室在建筑漫游方面的工作颇具代表性。1996 年,他们对加州大学伯克利分校计算机系楼 Soda Hall 进行了事前漫游,及时发现并修正了建筑设计中存在的缺陷。Soda Hall 模型由 1 418 807 个多边形构成,占据 21.5MB 硬盘空间,使用了 406 种材质及 58 种不同纹理。由于研究小组开发了高效的漫游系统,实现了 Soda Hall 在 SGI Power Series 320 平台上的实时漫游。

在国内,一些著名科研院校一方面紧跟国际同行的最新研究进展,同时也相继研制开发了具有自主知识产权的虚拟现实软件系统,如解放军信息工程大学的 VRGIS,武汉吉奥信息技术有限公司的 GeoTIN、GeoGrid,适谱公司的 IMAGIS 和方正智绘的 Mirage3D 等。除此之外,各方在虚拟城市和数字城市建设的实际工作中也进行了努力的实践并积累了宝贵的经验。1997 年,清华大学成立了中国第一个“虚拟制造中心”,分布在清华大学的自动化系、精仪系和机械系,进行异地协同仿真研究。1998 年,浙江大学建成国内第一套用于虚拟现实技术的 CAVE 系统。1999 年,武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室成功解决构建虚拟城市与数字城市的关键技术:三维虚拟城市模型快速重建、大范围海量数据动态装载以及多种类型空间数据有效组织和管理等,并于 2002 年从国外购入价值 800 万元人民币的虚拟现实平台,包括大型的 SGIONXY-3 图形工作站和 MultiGen-Pardagim 公司的 Creator 和 Vega 等一系列软硬件产品,进行虚拟城市与数字城市的研究。华中科技大学投资 3400 万元,建设水电能源综合研究仿真中心,进行“数字流域”和“虚拟城市”研究。2000 年,中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室和广州城市信息研究所共同创办的城市信息联合实验室,主攻虚拟城市与数字城市研究。2001 年,南京大学专门组建了以虚拟城市和数字城市为主攻方向的城市规划与区域开发模拟实验室。实验室一期建设投资六百多万元,主要用于建立大型城市仿真与虚拟现实系统,形成了具有较强计算能力的数字仿真计算分析系统,拥有国内比较先进的 Powerwall 立体仿真屏和虚拟现实环境。近年来,深圳、广州、上海、襄樊、常州和苏州等城市也相继开始进行虚拟城市和数字城市示范应用研究。现在虚拟城市已经不仅仅局限于三维漫游,已经开始结合 GIS 在城市规划部门使用了。

尽管虚拟城市研究取得了很大的进步,总体上来看基本上还停留在软硬环境建设方面,并没有取得实质性的进展,虚拟城市还存在巨大的研究和利用潜力。

北京航空航天大学计算机系是国内最早进行 VR 研究的单位之一。他们实现了分布式虚拟环境网络设计,建立了网上虚拟现实研究论坛;可以提供实时三维动态数据库,提供虚拟现实演示环境,提供用于飞行员训练的虚拟现实系统,提供开发虚拟现实应用系统的开发平台,并将要实现与有关单位的远程连接。他们开发的虚拟北京航空航天大学校园项目,设计实现了虚拟环境漫游系统。在配置 V00D002 图形加速卡的图形工作站平台上,漫游引擎驱动了一个由 80 万个三角形构成的北京航空航天大学校园模型,其交互仿真率保持在 30 帧/s 以上。本书第一作者张天驰主持的国家自然科学基金项目(2020—2022 青年基金: No.52001039)研发的精细海浪模型由 200 万个三角面片组成,

导出后的一个海浪模型大小有 300MB,其交互保真率达到 50 帧/s。为了验证漫游引擎的通用性,还先后将漫游引擎用于房地产项目——虚拟恒昌花园以及虚拟珠穆朗玛峰等漫游应用中。

浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室开发出了一套桌面型虚拟建筑环境实时漫游系统。该系统采用了层面叠加的绘制技术和预消隐技术,实现了立体视觉,同时还提供了方便的交互工具,使整个系统的实时性和画面的真实感都达到了较高的水平。另外,他们还研制出了在虚拟环境中一种新的快速漫游算法和一种递进网格的快速生成算法。浙江大学开发的虚拟紫禁城项目就是虚拟环境漫游的研究成果。

中国地质大学(北京)分析了基于微型计算机的三维应用程序的结构特点,提出了一个基于 OpenGL 和 Direct3D 两种 3D API 的三维图形漫游系统。该系统已经成功应用到其开发的系统“三维城市景观浏览器 Map3DViewer”中,取得了较好的效果。

哈尔滨工程大学虚拟现实与医学图像处理研究室完成了一套国内最复杂建筑的虚拟校园。

济南大学人工智能与虚拟现实实验室荣获“吉动杯”2020 中国虚拟现实大赛建模创意组一等奖。

1) “虚拟城市”的概念

所谓“虚拟城市”(virtual city),就是以计算机技术、多媒体技术和大规模存储技术为基础,以宽带网络为纽带,运用 3S(Remote Sensing, RS,遥感技术;Geographical Information System, GIS,地理信息系统;Global Positioning System, GPS,全球定位系统)技术、遥测和仿真虚拟技术等对城市进行多分辨率、多尺度、多时空和多种类的三维描述,用于模拟和表达城市地形地貌、城市道路、建筑、交通和水域等城市环境中的现象和过程。也就是说,利用信息技术手段把城市的过去、现状和未来的全部内容在网络上进行数字化虚拟实现。具体而言,是在城市规划、建设、管理以及生产活动中,利用数字信息处理技术和网络通信技术,将城市信息资源以空间坐标为框架加以整合并充分利用,使城市管理、企业经营和居民生活在准确的坐标、时间和对象属性的五维环境中实现。从抽象的角度来说,虚拟城市是对真实城市及其相关现象的统一的数字化重现和认识,也可以把虚拟城市界定为将真实城市以地理位置及其相关关系为基础而组成数字化的信息框架,人们可以在这个框架内嵌入人们所能获得的信息,提供能够快速、准确、充分和完整地了解及利用城市各方面的信息。

严格地说,虚拟城市还是一个正在发展和演变的概念。从城市规划、建设和管理的角度来看,虚拟城市可概括为 4DVR,即“地理数据四维化、地图数据三维化、规划设计 VR 化”。其中,地理数据四维化是指城市空间基础地理信息数据库应包括数字线画图(DLG)、数字栅格地图(DRG)、数字高程模型(DEM)和数字正射影像(DOM)。地图数据三维化是指地图数据应由二维结构转换为三维结构;规划设计 VR 化是指规划和规划管理在四维数据、三维地图数据的支撑下,将二维作业对象和手段升级为三维和 VR 结合的作业对象和手段。虚拟城市具有五大特点:空间性、规范性、统一性、增值性和可塑性。其核心技术包括 3S 集成技术、3D GIS、VR GIS、数据库技术、虚拟现实技术和网络技术。



虚拟城市是关于虚拟现实技术在地理科学中的应用,具体来说,是在城市发展中的应用。在认识上,虚拟城市系统是一种虚拟环境,它是实现现实(物质)城市在数字网络空间的再现和反映,它不仅通过模拟或仿真再现现实(物质)城市,而且它超越现实(物质)城市实现了城市的虚拟化和网络化;在方法上,虚拟城市系统的设计、开发和建设同计算机科学、信息科学和地理科学相关学科的研究有着密切的联系,特别是随着虚拟现实技术、地理信息系统、地学可视化、摄影测量与遥感和通信技术等信息技术的飞速发展,数字城市建设进程的加快,直接推动了虚拟城市的产生和发展。简而言之,它是以信息技术和空间技术为核心的城市信息系统体系;在应用上,它是一个基于网络环境的城市信息应用服务体系,为数字城市的运行提供了城市虚拟环境平台。

2) “虚拟城市”建设的意义

虚拟城市能够将现代城市每一个角落的信息都收集、整理和归纳,并按照地理坐标建立完整的信息模型,再用网络连接起来,从而使每个人都能快速、完整和形象地了解城市的过去、现状和未来的宏观与微观的各种情况,充分发挥这些数据的作用,从而实现跨行业综合基础数据共享。通过虚拟城市,能够使城市地理、资源、环境、生态、人口、经济和社会等复杂系统实现可视化、虚拟化和网络化,从而使城市规划具有更高的效率、更丰富的表现手法和更多的信息量,并提高城市建设的时效性和城市管理的有效性,促进城市的可持续发展。因此,虚拟城市建设具有十分重要的意义,具体表现如下。

- (1) 虚拟城市是现代城市信息化发展的产物。
- (2) 虚拟城市提供给人们一种全新的城市规划、建设和管理理念。
- (3) 虚拟城市是信息社会中城市的信息源,可为数字城市中知识的生产、流通和应用提供场所和工具。
- (4) 虚拟城市能够适应并预测城市的变化,进而实现可持续的城市发展。

1. 系统的软件技术和硬件平台

用户能方便地构造虚拟世界,并与虚拟世界进行高级交互的几个典型的软件有 MultiGen、AutoCAD、3ds MAX 和 Lightwave3D,具体描述如下。

1) MultiGen

MultiGen 是在图形工作站上比较知名的实时三维模型建模工具软件系统,由 MultiGen 公司出品,具有良好的性能,系统可靠性、稳定性好,可交互构造三维模型用于创建相关联的现实事物。它的平台主要是著名的 SGI 公司提供的系统产品,并有支持 NT 的简化版本。MultiGen 基于 OpenFlight,即 MultiGen 公司的描述数据库格式的工业标准。OpenFlight 包括了绝大多数的应用数据类型和结构,确保实时三维性能和交互性的逻辑关系,在提供优质视觉的同时优化内存占用。同时,它还提供其他多种数据格式转换工具,如 AutoCAD、DXF、3ds MAX 和 Photoshop Image Inventor 等。这使有些已有的用其他软件建模的三维模型得到充分利用。它还具有动态数据库重组、动态仪表生成和实时地形生成等功能,并提供扩展工具 SKD(系统开发工具),可定制生成适合用户的特殊需求。

2) AutoCAD

AutoCAD 是一个开放型的 CAD 软件包,用它绘制图形具有极高的精度,AutoCAD 的双精度浮点运算可以精确到小数点后 16 位,无论怎样频繁地编辑图形,都能保持图形的精确。它提供了丰富的基本绘图对象,具有完善的图形绘制功能和编辑功能,内含 AutoLISP 语言和 ADS、ARX 开发系统,便于用户进行二次开发。AutoCAD 提供了多种接口文件(如 SCR、DXF 和 IGES 等),便于与高级语言进行信息交换,或者与其他以 CAD 系统进行交互的图形转换。在图纸的设置和输出方面,AutoCAD 能够把三维模型输出为精美的、符合工业标准的工程图纸,这在同类软件中是出类拔萃的。但它的缺点是灯光渲染和动画功能方面不如 3ds MAX 强大。

3) 3ds MAX

Autodesk 公司的 3ds MAX 是三维动画软件,近年来在三维仿真中也有应用,它具有多线程运算能力,支持多处理器的并行运算和建模,动画能力丰富,材质编辑系统也很出色。另外,如 Nurbs、Dispace Modify、摄像机跟踪、运动捕获等原本只限于专业软件中才可能具有的功能,现在也被引入 3ds MAX 中。3ds MAX 最大的优点在于插件特别多,其中许多插件是非常专业的,如专用于设计火、烟和云效果的 Afterburn、制作肌肉的 Metareye 等,利用这些插件可以制作出更加精彩的效果,但缺点是渲染质感相对较差,无论从渲染质量和渲染速度上来讲,同 Softimage3D 这类软件还是有差距。

4) Lightwave3D

Lightwave3D 是 NewTek 公司推出的,也是全球唯一支持大多数工作平台的三维软件。在 Windows 7/10/NT、SGI、SunMicro system、PowerMac、DECAlpha 等各种平台上都有统一的界面,操作相对比较简单,易学易用。其优势在于渲染质感非常优秀,而缺点是功能还不够完善,造型动作不够灵活。在影视艺术制作市场中,Lightwave3D 的软件安装率占有所有动画软件的一半。《泰坦尼克号》中的泰坦尼克号模型就是用 Lightwave3D 制作的。

2. 软件的选择城市三维实体的划分

城市空间是以地表为依托,向空中和地下略有延伸的立体空间。在虚拟城市的开发中,首要的任务就是三维城市模型(three-dimensional city model)的建立。根据城市地物所处的空间位置,城市地物可划分为地表、地上和地下 3 类。

(1) 地表地物,包括地形、植被、道路和湖泊等。

(2) 地上地物,主要为各种建筑物及其附属设施。

(3) 地下地物,包括管线、地铁等。其中,地形通过 DEM 表达,简单地物可用编程的方法实现,而复杂地物则需要借助专业三维建模软件(如 3ds MAX、MultiGen)完成制作后以通用格式导出。对虚拟城市的开发一般可归纳为以下两种方案。

第一种方案是利用高级编程语言加三维图形库的方法。当前大多数流行语言(如 C++、Dephi 和 Java 等)都可作为三维开发平台,常用的图形库有 OpenGL3D、DirectX3D 或 Java3D。这种方法的优点是灵活性强,能实现功能复杂的应用系统;缺点是开发者须熟练掌握编程技术,并且具备较高的计算机图形学知识。

第二种方案是使用专门的三维虚拟开发工具。使用较多的是 VRML 语言(现已发



展为新的 X3D 标准),它用 ASCII 文本来描述场景中的各个要素,使开发者无须深入三维内部即可制作出优秀的场景,并且由于它从设计之初便考虑到在 Internet 上的应用,因此网络应用前景广阔。然而,Web3D 标准较难统一,ViewPoint 技术和 Cult3D 技术将是 Web3D 标准的有力竞争者。采取这种方法制作虚拟城市的灵活性较前者稍逊,但开发迅速,比较适合于功能不太复杂的应用。

总之,对于虚拟城市建模的方法,应根据具体的应用选择,有时还可以将两种方法综合利用,各取所长,以取得更好的效果。

3. 框架结构

一般在设计虚拟城市之前,需要对整个项目有清晰的了解,包括项目的类型、希望达到的效果、复杂程度及数据库所处的地理位置和范围、是否需要精确的地形数据以及如何得到这些数据等。虚拟城市建设的具体技术流程如图 3-1 所示。

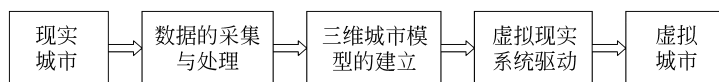


图 3-1 虚拟城市建设的具体技术流程

3.2.2 虚拟城市建设的关键技术

对真实景物的计算机描述,从广义上来讲应该是对真实世界物体及其周围环境的完整描述,但在计算机图形学、计算机视觉、虚拟现实和 CAD/CAM 等众多领域,最为普遍的需求却是对物体表面形状的描述,即完成三维物体的几何建模(geometric modeling),包括对物体的形状(多边形、三角形和顶点)以及它们的外表(纹理、颜色和表面反射系数)的描述。对象形状(object shape)可以通过 OpenGL 等图形库创建,但最简便的方法是结合具体应用,利用 CAD 和 VR 建模工具创建。流行的三维重建软件(工具)都提供对 DXF 或 3DS 等 CAD 文件的支持。对于复杂物体模型的创建,较为普遍的做法是利用 AutoCAD 或 3ds MAX 等 CAD 软件手工建模,保存为 DXF 或 3DS 等格式的数据文件,最后在程序中调用。但传统的做法存在手工建模、工作量大、无精度保证的问题。

1. 虚拟城市建模数据源

虚拟城市建模数据源主要包括卫星影像、航空摄影测量、机载激光雷达、地面数据采集设备和众源数据。

1) 卫星影像

常用的卫星影像有高分辨率卫星影像和微型卫星影像两种。高分辨率卫星影像具有高分辨率、高精度、高时间分辨率和多光谱的特点,微型卫星影像则在有效利用信息、微电子技术、微机械、新材料和新能源技术等方面具有优势。

高分辨率遥感影像能清晰看见地面的资源、环境等内容,可以为 3D 城市模型的建立提供详细、丰富的几何和语义信息数据;实现了以前只有用航空相片才能达到的精度,对

于较小目标特征的识别更加有效;高时间分辨率意味着可短期重复获得同一地区的影像,从而保证获取数据的动态性、实时性和现实性。例如,2019年3月,美国 DigitalGlobe 公司的商业卫星 WorldView-1 和 WorldView-2 卫星能够提供 0.5 m 全色图像和 1.8 m 分辨率的多光谱图像。2019年11月,中国成功发射的立体测绘卫星——高分七号,搭载了双线阵立体相机、激光测高仪等有效载荷,不仅具备同轨道前后视立体成像能力及亚米级空间分辨率优势,还能利用激光测高仪获得的高精度高程信息,大幅提升了立体影像的高程精度、空间分辨率和光谱分辨率,甚至可以媲美机载航空相片。

微型卫星在重量、功能密度、性价比和研制模式等方面显著区别于高分辨率卫星,极大地降低了卫星研发和制造的成本、缩短了研制周期、降低了投资风险,有利于大量生产和发射,形成卫星群具有的高分辨率卫星所没有的超强的整体数据采集能力。2017年,Planet 公司将 Terra Bella 收购并将 SkySat 并入其小卫星群。至此,Planet 小卫星群以其包含的 300 多颗小卫星成为世界上最大的小卫星群。中国的北京二号、吉林一号等商业卫星星座,可提供覆盖全球的分辨率为 1m 左右的遥感影像,吉林一号还包括分辨率为 1.12m 的高分辨率视频成像系统。相比高分辨率遥感影像来说,微型卫星影像在通信延时和信号衰减上都会少一些。随着技术的发展和进步,小卫星群的快速更新也为三维城市建模数据提供了更多的保证。

2) 航空摄影测量

数字摄影测量不仅可以为建立三维城市模型提供丰富的几何和相片纹理数据,而且还可以提供丰富的拓扑和语义信息。航空摄影测量能够有效地产生具有拓扑结构的几何数据,记录语义信息,对有明显轮廓的建筑物,能够提供高精度的三维重建模型。数字航空立体影像中包含建筑物的高程,可以建立地表面的数字地面模型(Digital Terrain Model, DTM),适合于大面积数据获取,航空摄影测量还可以灵活处理多细节层次(Levels of Detail, LOD)及精度问题,常被用于高精度目标重构。此外,它还可以在立体模型上放置矢量数据,方便检索和交互性的数据库更新。但航空摄影测量在建筑物稠密区域有遮掩现象,不能有效提供建筑物立面的几何和影像纹理数据,这些缺陷可以通过其他数据获取手段(如地面摄影)加以补充。正因如此,摄影测量是目前获取三维数据的具有吸引力的方法之一,众多专家学者对如何自动或半自动地从摄影测量影像中生成三维城市模型,快速地进行几何、相片纹理数据以及三维模型重构都做了大量的研究。其中,最主要的是针对无人机倾斜摄影技术的研究。

无人机倾斜摄影技术是通过无人机低空进行摄影测量的新技术。该技术可以通过 1 个垂直、4 个倾斜共 5 个不同的视角同步对采集的建筑物顶面及侧面高分辨率影像进行三维模型重建。该技术不仅能够真实地反映地物情况,获取高精度地物纹理信息,还可以通过先进的定位、融合和建模等技术生成真实的三维模型。

无人机倾斜摄影技术的优点如下。

(1) 无人机具有较强的执行能力,其飞行高度合理,可以从多个角度完成拍摄、测量等数据信息。

(2) 影像间具有紧密的关联,相邻影像存在一定程度的重叠,有助于全面地呈现地理信息,能有效解决传统测量方式下人为因素干扰过大的问题,能全程实现信息的自动化



匹配,程序执行效率高。

(3) 生成的三维模型包含的信息丰富,纹理清晰。在传统的垂直摄影方式中,只能获得物体顶层纹理,而对于侧面纹理的呈现能力不足。采用倾斜摄影技术后,可同时呈现物体多角度的侧面纹理。

(4) 倾斜摄影技术投入成本少,执行力高,信息采集以及建模效率较高。

基于上述优点,无人机倾斜摄影技术能够大幅提高城市三维模型构建效率,会在城市规划、建设、管理和国土安全等方面得到广泛应用。

3) 机载激光雷达

随着对高质量地形数据及精确的数字三维城市模型日益增长的需求,机载激光扫描(Airborne Laser Scanning, ALS)的 LiDAR 技术成为城市三维建模数据采集的重要手段之一,在地理、地质和自然资源管理和城市规划等领域得到了广泛应用。激光扫描技术通过非接触式测量快速获取物体表面大量且丰富的三维点云坐标和纹理颜色信息,可以更加快速、精确和高效地进行城市三维建模。正是因为扫描范围大、数据获取周期短、精度高和时效性高等特点,激光扫描技术逐渐成为大规模三维场景数据采集的重要方式之一。由美国地质调查局(USGS)启动的 3D 高程计划(3D Elevation Program, 3DEP)项目,采用的主要数据收集手段就是激光雷达。美国哈里斯公司的 Geiger Mode Lidar (GML)和西格玛航天公司的 Single Photon Lidar (SPL)两种新型激光雷达传感器能够针对地面进行大面积绘制。值得关注的是有些激光雷达设备是可以同时获取航空影像和机载激光扫描数据的,如专为机载城市制图而设计的 CityMapper-2 就是由倾斜成像和机载 LiDAR 传感器组合而成的;因此,它具有双倍数据收集的能力,可以更好地适应与日俱增的三维数据信息的需求。除此之外, CityMapper-2 能在各种飞行条件下对快速变化的城市环境进行快速有效的数字化处理,城市三维制图效率与传统的方法相比提高了 40% 以上。

4) 地面数据采集设备

除了卫星影像、航空摄影测量和机载激光雷达数据采集之外,以移动测量车、地面激光雷达和智能手机为代表的地面场景感知和数据采集设备也是三维城市模型数据采集的重要方式。尤其是针对隧道、地下管线空间设施和建筑物内部等区域,便携式数据采集设备能够发挥巨大作用。此外,地面传感器也是获取建筑物表面高质量纹理信息的重要工具。地面激光扫描仪(Terrestrial Laser Scanners, TLS)和移动激光扫描仪(Mobile Laser Scanners, MLS)能够产生毫米级高密度三维点云数据,是三维城市建模的重要数据源。例如,近年来出现的可搭载在汽车、手推车和背包等设备上的移动激光扫描系统,在建筑物、交通和管线设施等城市要素的精细模型构建方面发挥了巨大作用。以搭载在背包上的个人激光扫描仪(Personal Laser Scanners, PLS)为例,它能够用于如崎岖地形和复杂城市结构等特殊位置的快速测绘,可弥补 TLS 和 MLS 在复杂地形测绘方面的不足。Akhka R2 就是个人激光扫描仪的代表之一,其重量和尺寸非常轻巧,可将多星全球导航卫星系统(GNSS)耦合到光纤陀螺仪(FOG)制作的惯性测量单元(IMU)中,不仅可以确定轨迹,还能快速捕获扫描物体内部结构的精确细节,因而可用于复杂城市三维模型重建。此外有一款屡获殊荣的可穿戴式场景捕获传感器 Leica Pegasus,它不仅装备了

5 个相机,可进行完全自动校准的 360°立体拍摄,而且还有两个 LiDAR 轮廓仪。它独特的移动测量方式可以在室内、室外和地下任何地方进行高精度三维制图。徕卡测量系统发布的 Pegasus 背包可以同步图像和点云数据,确保对建筑物的完整记录,从而实现建筑物全生命周期管理;它还使用同步定位、制图(Simultaneous Location and Mapping, SLAM)技术和高精度 IMU,确保即使 GNSS 停机时也能精确定位。Pegasus 背包使专业建筑物建模(Building Information Modeling, BIM)被大众广泛使用成为了现实。

5) 众源数据

在数据采集、处理和使用都日益大众化的时代,大量由多种渠道得来的众源数据和公开的开源数据层出不穷。众源数据有街景地图(Open Street Map, OSM)、地理数据(crowd sourced geodata)和自发式地理信息(Volunteered Geographic Information, VGI),它们已经成为许多 GIS 系统的替代性数据源。开源数据有全球数字地面模型、美国 USGS 土地覆盖数据、世界城市数据库和中国国家基础地理信息中心发布的 30m 分辨率全球土地覆盖数据集等。这些众源和开源数据使用标签和属性值提供结构化的地图描述,还可以利用相关属性将这些已经存在的二维数据批量转换为三维模型。因此,这类众源数据也是三维城市建模的重要数据来源。OSM 作为一种结构灵活的众源数据,除了可以用于路径规划、地图导航和各种二维应用之外,还可以进一步用于建筑物三维建模。例如,采用 OSM 数据不仅可以自动批量创建 CityGML LOD1 和 LOD2 等多层次几何模型,还可以利用 IndoorOSM 数据模式来自动构建具有内部结构的 CityGML LOD4 多层次建筑物理模型。

2. 虚拟城市三维建模的数据获取途径

1) DEM 数据的获取

DEM 数据在虚拟城市三维建模中起着举足轻重的作用,2D GIS 中 DEM 一般由离散高程点通过 TIN 构造算法生成,这种方法精度高但获取比较费时。学者的主要研究方向转向一方面由高分辨率影像获取,一方面由机载激光扫描仪获取两种途径。虚拟城市三维建模中 DEM 的获取途径主要有以下几个方面。

(1) 直接使用 2D GIS 中的 DEM。由于其通过实测高程点构造 TIN 得来,因而精度最高,但是缺点是获取和更新速度太慢,不宜于构建和维护一个大型的虚拟城市系统。

(2) 通过数字摄影测量系统,处理航摄影像(包括高分辨率遥感影像)生成。受扫描分辨率和测量手段限制,成图精度稍微受到一些影响,但获取速度快。

(3) 由机载激光扫描系统直接扫描并经后续处理得到。其优点是直接测量地面要素高程,无须人工干预进行自动快速的数据处理,获取速度最快,且不受天气影响;其缺点是精度较低,需要专门的处理算法。

(4) 用合成孔径雷达(SAR)获取数字高程模型。其优点是不受白天黑夜以及天气的影响,分辨率高(可达到水平 1.5m,垂直 2m),但数据获取成本高,且不易推广。

2) 建筑物高度数据的获取

建筑物高度数据的获取主要有以下 4 种方式。

(1) 在 2D GIS 数据库基础上按层数粗略估算建筑物高度。这种方法获取的建筑物



高度只是一个估计值,且所有建筑物只能用平顶表达,或者人为地加一个修饰性屋顶。

(2) 用人工或半自动的方式借助软件基于影像获取(以建筑物屋顶数据为主)。通过该方法获取的数据重构的建筑物形状接近实际,但是工作量仍然很大。

(3) 以研究算法为主,从影像中直接提取建筑物高度以及其他信息。这是一种高效的方法,但还不适于进行大批量数据的自动处理。

(4) 用机载激光扫描仪结合空中影像,经过算法处理提取建筑物高程、纹理以及其他数据;该方法获取速度快,但后续处理工作量大,费用可观。尽管如此,它仍不失为一种很有发展前途的方法。

3) 三维对象几何要素数据的获取

三维对象几何要素数据获取的方法主要有如下 6 种。

(1) 将 2D GIS 中的建筑物轮廓与建筑物高度结合,用简单几何体表达建筑物外形特征。这种方法最简便,同时三维数据量少,但也与真实模型相差最大。

(2) 利用航空影像进行交互式获取。由于航空影像真实地反映了城市建筑的所有顶部信息,同时也反映了建筑的部分侧面信息以及大部分建筑物附属信息,因而可以运用数字化结合人工交互的方式获取建筑物的外部特征。这种方法能较真实地获取所需的信息,但由于需要人工干预,工作量相当大。

(3) 使用航空影像以及地面摄影对建筑物特征线进行自动提取。这种方法获取速度最快,但获取的集合信息不够完整,需要人工做大量的后续处理,较难达到实用目标。

(4) 在地面使用激光扫描仪与 GPS,通过测距求解获取。这种方法获取速度也较快,且所获取的几何信息相当精确,是一种具有发展前景的方法,但工作量也相当大。

(5) 采用近景摄影测量方法,获取建筑物的几何形状数据。这种方法获取的数据精度较高,且可以达到很细致的水平。它不仅可以获取建筑物外部的几何形状信息,也可以测量其内部几何信息,适用于对单体建筑的测量。对于获取结构复杂的建筑物,如古建筑物的数据,近景摄影测量也是一种比较理想的选择。缺点主要是受测量仪器设备的限制,对于较大的建筑,数据获取比较困难。同时难以快速获得较大范围的建筑群的几何形状信息。

(6) 使用高分辨率卫星影像进行建筑物的自动提取。高分辨率卫星影像的出现,使得人们很容易快速获取一个实时的、不低于 1m 分辨率的城区影像图,对于高分辨率卫星影像,该方法能非常有效地判别建筑物,因而是很有发展潜力的一种方法。

4) 纹理数据的获取

由于航空影像很容易得到,因此地形纹理与建筑物顶部纹理较易获取,相对而言,建筑物侧面纹理的获取遇到了与建筑物高度获取同样的问题,现有的纹理获取方法可以概括为以下 4 种。

(1) 由计算机做简单模拟绘制。这种方法采用了矢量纹理,其优点是数据量少,建立的模型浏览速度快;缺点是缺乏真实感。

(2) 地面摄影相片直接提取。这种方法需要用相机拍摄大量的建筑物侧面包片,其获取速度慢,且涉及数据量大,后续处理工作量大。但用这种方法所建成的城市三维模

型真实感强。

(3) 根据航摄相片由计算机生成。对具有相似纹理的建筑物,使用计算机提取其纹理特征,对这些建筑物进行批量处理,可以大大减少纹理获取量和后续处理的工作量。但与前一种方法相比较,模型真实感相对较差。

(4) 由空中影像获取。这种方法主要用来获取地面影像。另外,由于在空中影像中也含有部分建筑物的侧面纹理信息,为了减少工作量可以对这些纹理进行提取并加以处理。但这种方式所获取的纹理变形较大,真实感也较差。

5) 其他数据的获取

关于其他数据(如植被、树木等有关数据)的获取途径与方法通常有以下4种。

- (1) 规划设计图纸、地形图和地籍图。
- (2) 现有 2D GIS 数据库。
- (3) 野外调查与现有数据库的结合。
- (4) 计算机简单模拟绘制。

3. 虚拟城市的建模技术

虚拟城市建设涉及多种技术,包括计算机技术、传感与测量技术、仿真技术、GIS 技术和三维建模技术等,并且许多问题还需要开发人员解决,而需要采用的关键技术主要有如下5种。

(1) 数据获取技术,指利用研究区域的基础资料,采用野外测量、地形图数字化和全数字摄影测量等方法,获取研究区域的地理数据,包括数字高程模型、建筑外表结构与纹理数据等。三维原数据的数据模型及数据存储格式、获取方法和应用软件系统有关。

(2) 三维实体快速建模技术,指根据采集到的数据,利用建模软件建立各种地理实体,如地形、建筑物、道路、水面、树木和草地等在虚拟现实系统中的模型。

(3) 仿真技术。建立虚拟仿真环境,实现研究区域的真实环境再现以及规划环境的预见。

(4) 接口技术。它包括 DEM 数据、矢量数据的转换;虚拟现实系统的数据格式输出为国家空间数据标准格式,以及国家空间数据标准格式,输入为虚拟现实系统的格式。

(5) 集成技术。如何将遥感、GIS、科学计算可视化系统和 VR 系统进行集成。

1) 常用的三维城市建模方法

按其所处理对象的不同划分为3种类型:基于图形的建模方法、基于图像的建模方法、基于图形和图像相结合的建模方法。不同的方法各有其优缺点和局限性,因此,集成多种方法来建立三维城市模型一直是研究与实践的焦点之一。三维城市模型的建立方法有如下几类:

基于二维 GIS 的三维城市建模方法和三维城市模型(3DCM)的构建需要真实三维的空间数据(包括平面位置、高程或者高度数据)和真实影像数据(包括建筑物侧面纹理等)。而现有二维 GIS 中除了二维空间数据之外,并不具有直接完整的第三维信息和纹理数据。在二维中一般只有建筑物的相对高度属性——层数信息,而建筑物层数所反映的高度信息与实际差别一般较大,所以需要进行专门获取。从二维数据到三维城市模



型,除了真实的表面纹理需要人工交互式完成外,根据建筑物的二维底边数据就可以自动生成建筑物形状的三维几何模型并自动关联二维 GIS 中的相应的属性信息。如 Hanzinger 等学者提出使用假定高度(如以层高 3m 计算建筑物高度)和模拟纹理来构建建筑物对象。可见,从二维 GIS 数据到 3DCM 有以下两种方法。

(1) 在二维 GIS 的基础上,直接利用给定的建筑物相对高度和纹理数据来构建建筑物的三维模型。这种方法的缺点在于模型真实感差,对城市景观信息的表达比较少。由于没有利用 DEM(数字高程模型)表达真实地形起伏特征,所有建筑物都立足于一个假定的水平面上。这种方法主要用于快速显示二维 GIS 对应的三维建筑物基本轮廓特征。

(2) DEM 和二维 GIS 数据结合的方式,用 DEM 作为建筑物的承载体表达地表的起伏,再根据建筑物的相对高度可以构建具有真实地理分布的城市景观。由于涉及不同类型数据的应用和比较专业化的三维建模与编辑功能,二维 GIS 软件须进行特别的扩展。

基于影像的三维城市建模方法:摄影测量方法使得同时获取大量复杂的三维城市模型几何信息与表面纹理信息的自动化成为可能,特别是随着近年来高分辨率遥感技术和计算机图形图像处理技术的发展,数字摄影技术被普遍认为是当前最适合用来获取大范围高精度三维城市模型数据的主要技术手段。但是,由于遥感影像自身成像机制的限制(缺乏直接的三维信息,不同成像条件导致影像存在差异等)以及景物域的复杂多变(非结构化目标的存在、建筑物类型的多样性和局部遮挡等)常常导致获得建筑物存在线索和三维重建的困难,使得当前遥感影像解释的自动化程度仍然很低,距离实用化程度还有很大的差距。

三维 CAD 建模:场景的真实性是数字城市 GIS 成功与否的重要评价标准之一。CAD 系统在三维空间数据处理方面的应用已经取得较大的进展,其在图形处理与真实三维建模方面具有独特的技术优势。因此,CAD 模型已成为数字城市 GIS 的一个重要数据来源。使用 CAD、3ds MAX 等设计数据,能够逼真地表示规划设计成果的精细结构和材质特征,这种方法可以达到较高水平的细节程度(“真三维”实体)。

三维城市模型的研究近年来得到了飞速发展,许多学者提出了很有价值的模型。但这些模型试图用一个通用的模型来表达客观世界中三维空间实体及其空间关系。若将它们用于 3D 城市模型建模,就会发现这些模型没有考虑城市三维环境特点。如没有考虑纹理表达、三维实体具体的几何特征、数据量及可视化方面的因素等。实际上,城市三维环境对 3D 城市模型建模具有许多特殊的要求,具体介绍如下。

(1) 应能表达包括城市建筑物、构筑物、道路桥梁、地形地貌和植被等在内的城市三维实体,这些实体的外形由简单到复杂,变化多样。

(2) 为了提供城市环境逼真的可视化效果,需要表达城市三维实体的纹理,也需要较真实和较精确地表达城市三维实体的空间外部几何特征,便于提供比较可信的空间分析结果。

(3) 由于地形是所有的构筑物以及其他许多实体的承载体,因此,对地形需要专门表达,以真实地反映城市三维环境。

(4) 由于现代城市规模庞大、结构复杂,为了有效地表达整个城市环境,提供快速浏览、动画以及基于城市大范围的空间操作与分析等功能,数据量是首要考虑的十分重要

的问题。

(5) 提供三维城市环境分析的性能,满足城市规划需要。

CAD 系统的实体表示方法 CSG 和边界表示的优点在于能描述单一的目标,这样对于建筑物单体来说是非常适合的。因此,对于目前的 CAD 系统进行建筑物单体的模型建立是非常有效的。

CAD 以其强大的数据建模与编辑功能和 GIS 有了越来越密切的联系。数码城市 GIS 也不例外,场景的真实性是它成功与否的重要评价标准之一,因此在数据采集和编辑上更需要 CAD 强大的技术支撑。CAD 系统在三维空间数据处理方面的应用已经取得较大的进展,其在图形处理与真实三维建模方面具有独特的技术优势,三维 CAD 模型已经成为数码城市 GIS 的一个重要数据来源。使用 CAD 和 3ds MAX 等设计数据与基于各种精确测量技术的建模方法相比往往具有事半功倍的作用,其不仅能表示物体的外观,而且还能充分展现物体复杂的内部形态。

当前的发展趋势则是 GIS 与 CAD 技术交织在一起,相互结合并相互补充,为功能更强的三维 GIS 发展提供了强劲的原动力。三维城市模型需要借助 CAD 交互式的建模和编辑功能,一种典型的应用方式就是使用 CAD 模型补充常规测绘手段对三维数据获取的不足。如使用航空摄影测量方式采集的模型由于中心投影的原因,物体相互遮挡,导致部分模型信息的丢失,因此可以将这些缺陷的模型导出为 CAD 文件,在 CAD 系统中重新编辑和修改补充。支持三维处理的 CAD 软件及其相应的三维图形数据格式已经有许多商品化成果,已经出现了许多不同特点的基于 PC 的 CAD 软件。

在实际应用中,有两类 CAD 软件应用较为广泛:用于大范围平面规划设计的 AutoCAD 和用于表现单个建筑物或者数目不大的建筑群所使用的 3ds MAX。在 AutoCAD 中,利用其 3D 功能,参照高度信息将规划设计平面图进行实体拉伸,获得整块的三维模型,最后以 DXF/DW 文件格式导出供数据交换之用。而在 3ds MAX 中根据建筑设计报表和蓝图效果,直接在三维空间中对建筑物进行三维建模、调整、修饰、赋材质、贴纹理、加入光照和相机效果等,取得满意的效果后,保存为 MAX、3ds MAX 或 OpenFlight 等专用三维图形数据格式。一个文件可以保存为一个模型或一个场景的数据。显然,在类似于 AutoCAD(3D)的平台上将平面设计图进行拉伸而获得的块状三维模型比较简单,并不能获得较高水平的几何细节程度,而且这种模型一般保存为线框模型,没有可用的拓扑信息,故在数码城市 GIS 中的应用是有限的。而类似于 3DS 的三维 CAD 模型则直接利用三维数据创建和编辑,具有很高的细节程度,能逼真地表达现状与规划设计意图;并且多表示为实体模型,具有一定的拓扑信息,无论对于场景可视化还是对于空间分析都具有较大价值。因此,以下所指的三维 CAD 模型专指类似于 3ds MAX 的三维 CAD 模型,三维 CAD 系统也仅限于 3ds MAX 与 MultiGen 及其类似的软件平台。

CAD 模型数据与 GIS 的集成:基于 CAD 的三维建模与编辑方法在城市规划、建筑设计等领域被广泛应用。将由 CAD 产生的三维模型数据纳入 GIS,实现 CAD 数据与 GIS 数据集成有两个重要意义:一是城市规划、建筑设计普遍采用 CAD 生产,CAD 数据广泛可得;二是 CAD 在三维模型创建与编辑上具有独特的技术优势,一些复杂而难于创



建但很实用的地物模型(如城市中的艺术建筑、交通导航所使用的路牌、航标)利用 CAD 系统创建和编辑往往比较方便。因此,三维 GIS 的成功应用迫切需要与 CAD 进行有机的集成。

CAD 数据和三维 GIS 不仅仅是两种数据格式的简单转换,更重要的是二者概念和内容的转换。

通过合适的方法将 CAD 模型数据正确地导入 GIS 或者将 GIS 中的模型导出为 CAD,系统进行“润饰”后,再重新导回 GIS,实现 CAD 数据与 GIS 数据的有机集成。有如下 3 种集成方式可供选取。

(1) 虚拟模型库方式。建筑物、树木以及一些基础设施的三维重建是一项主要的工作。故可预先挑选一系列通用具有代表性的建筑物模型由 CAD 平台制作出相应的 CAD 模型,形成一个模型集,经过必要的简化和优化后,将 CAD 模型数据通过格式转换成 GIS 的格式并放入内存或外存,这就建立了一个组件模型库。场景中需要某个模型时, GIS 建模单元直接从“组件模型库”中调入相应的“组件模型”,并利用自身功能为该模型添加语义属性,并建立拓扑关系。此方式的优点是“组件模型”可反复利用,不需要重复进行模型制作和数据格式转换;缺点是建立这样的模型库费时费力,需要较大的投入。

(2) 简单格式转换方式。即先在 CAD 系统中制作整个或部分场景模型,再将这个场景模型直接进行数据格式转换导入 GIS,这种方式的目性太强,只是在某个阶段、为了某个区域而进行,对于长时期内动态变化的场景模型几乎“束手无策”,而且对于大范围区域的场景模型也显得“力不从心”,只适合那些建模能力非常欠缺的 GIS 系统。

(3) 中心数据库方式。建立一个专门用于存放图形数据的中心数据库,并对外提供若干接口。与 CAD 的接口功能体现在 CAD 图形数据存入中心数据库,并可从中心数据库提取出某个模型的图形数据在 CAD 系统中进行再编辑;与 GIS 的接口表现在 GIS 系统从中心数据库提取图形数据并补足语义属性,然后在场景中插入模型。相反, GIS 系统也可将自身建立的场景模型的图形数据存放到中心数据库。这种方式在理论上可达到最佳的效果,但其算法的高度复杂性阻碍了自身的实现。前两种方式各有所长,可以根据开发的需要进行选取,也可相互配合使用;第 3 种方式虽然现在尚未实现,但它确实是一种可期望、具有潜力的模式。

下面是与地形三维可视化密切相关的遥感技术(Remote Sense, RS)、数字摄影测量(digital photogrammetry)技术、三维图形绘制技术、计算机仿真、虚拟现实技术和地理信息系统的研究情况。

遥感技术是从空间通过传感器对地观测获取地理信息的一种技术手段。经过 50 年的发展历程,该技术手段已从可见光发展到红外、微波;从单波段发展到多波段、多角度;从静态资源分析发展到动态环境监测;从空间维发展到时空维;从多维光谱发展到超维光谱。一个多层次、立体、多角度、全方位和全天候的地理信息获取系统业已形成,这为高精度、实时的三维地形数据采集奠定了坚实基础。

数字摄影测量是利用人工和自动化技术,从物体的二维数字影像提取其在三维空间中的可靠信息(包括几何信息、辐射信息和语义信息)的信息技术,是摄影测量和计算机视觉等相关学科相结合的产物。20 世纪 80 年代末,数字摄影测量的基本理论和算法已

经确立。国际上已出现了一些数字摄影测量系统(DPS),标志着数字摄影测量进入了实用化的发展阶段。地形三维可视化及其实时显示是数字摄影测量必不可少的研究内容,一方面,地形的各类三维逼真图形可为使用部门提供一种直观、形象的可视化测绘产品,这增加了 DPS 的应用领域;另一方面,这种地形的三维显示功能本身又能用于校验 DPS 所获取的地形数据的正确性。

三维图形绘制是一种计算机图形技术,它使三维图形在计算机屏幕上逼真地显示。伴随着现代数学、计算机图形学、计算机科学等理论和技术的发展,该领域已经经历了线框图、消隐图和真实感图形 3 种形式的表现阶段。在计算机图形学的发展初期,由于计算机处理速度、存储空间、颜色数和显示器分辨率的限制,人们只能绘制以线画符号表示的三维图形。该类图形内容单调、信息贫乏、真实感差。20 世纪 60 年代末,人们通过引用光照模型,绘制有表面灰暗度连续变化的消隐图。该类图形有较强的立体效果,有一定的真实感,但信息量仍不足,实用性也不够强。近年来,随着计算机显示设备性能的提高,以及许多性能极强的图形工作站的出现,高度真实感图形的生成算法不断涌现和完善,使三维图形绘制进入了高度真实感立体图绘制的发展时期。这为三维地形可视化的实现创造了条件。

2) 实体建模技术

为了给用户创建一个能使他感到身临其境和沉浸其中的环境,虚拟现实系统必须根据需要逼真地显示出客观世界中的一切对象。不只是要求所显示的对象模型在外形上与真实对象酷似,而且要求它们在形态、光照和质感等方面都十分逼真。虚拟视景中可见实体很多,从模型种类可以简单分为地形模型、地物模型和复杂实体模型;从数据结构上包括规则网模型、三角面模型;从建模技术上通常可以分为几何形态建模和纹理映射建模两种,这两种技术往往是组合使用的。

(1) 地物的几何建模技术。对象的几何建模是生成高质量视景图像的先决条件,它是用来描述对象内部固有的几何性质的抽象模型。一个对象由一个或多个基元构成,对象的几何模型所表示的内容如下。

① 对象中基元的轮廓和形状,以及反映基本表面特点的属性,如颜色等。

② 基元间的连接性即基元结构或对象的拓扑特性。连接性的描述可以使用矩阵、树和网络等。

③ 应用中要求的数值和说明信息,这些信息不一定是与几何形状有关的,例如基元的名称、基元的物理特性等。

对于几何建模方法的 4 点说明如下。

① 对象中基元的轮廓和形状可以用点、直线、曲线或曲面方程,甚至图像等方法表示,到底用什么方法表示取决于对存储和计算开销的综合考虑:抽象的表示利于存储,但使用时需要重新计算;具体的表示可以节省生成的计算时间,但存储和访问存储所需用的时间和空间开销比较大。

② 对象形状能通过 PHIGS、Stardase 或 GL、XGL 等图形库创建,但一般都要利用一定的建模工具。最简便的方法就是使用传统的 CAD 软件或 3ds MAX 建模。当然,得到高质量的三维可视数据库的最好方法,是通过使用专门的视景仿真建模工具,如



MultiGenCreator。

③ 几何模型一般可以表示成分层结构,因此可以使用自顶向下的方法将一个几何对象分解,也可以使用自底向上的构造方法重构一个几何对象。

④ 对象外表的真实感主要取决于它的表面反射和纹理。以前通过增加绘制对象多边形的数目来增加真实感,但是这样会延缓图像生成的速度。现在的图形硬件平台具有实时纹理处理能力,在维持图形速度的同时,可用少量的多边形和纹理增强真实感。纹理可以用两种方法生成,一种是用图像绘制软件交互的创建编辑和存储纹理位图,例如常用的 Photoshop 软件;另一种是用照片拍下所需的纹理,然后扫描得到或者通过数码相机直接进行拍照得到。

(2) 纹理映射建模技术。在目视条件下,存在大量的不规则物体需要模拟,如树木、花草、路灯、路牌、栅栏、桥梁、火焰和烟雾等,它们是构成地形环境、提高模拟逼真度必不可少的部分。可以采用纹理映射技术较好地模拟这类物体,实现逼真度和运行速度的平衡。纹理的意义可简单归纳为:用图像来替代物体模型中的可模拟或不可模拟细节,提高模拟逼真度和显示速度。以 OpenGL 中的纹理映射技术为例,在纹理映射中,以下几项关键技术必须加以解决。

① 透明纹理映射技术。透明纹理是通过纹理融合实现的。融合技术指通过指定源和目的地颜色值相结合的融合函数,最后效果是部分场景表现为不同程度的透明。

透明单面的显示机制有两种,如桥梁的侧面、车站牌等,本身的厚度可以近似为零,即视点从它们的侧面来看,只是一个单面;而树木等物体则不同,本身的厚度不可忽略,视点从任何角度的侧面来看,都应类似一个锥体或柱体的形状。在忽略这类物体各个侧面外观不同的条件下,可通过下面的方法予以解决。

- 采用两个相互垂直的平面,分别映射相同的纹理,在不同角度总可以看到相同的图像。但如果视点距离树木很近时,则会看出破绽;或者被映射的不是树木等具有不规则边界物体的纹理,而是如邮筒等较规则物体,此方法也是行不通的。
- 并没有采用两个或多个相互成夹角的平面,分别映射相同的纹理,仍然只采用一个平面映射纹理,所不同的是在显示时赋予该平面“各向同性”的特性,即随时根据视线的方向设定该平面的旋转角度,使其法向量始终指向视点。这种方法对于纹理具有规则边界的物体同样适用。

② 纹理捆绑。OpenGL 允许在默认的纹理上创建和操纵被赋予名字的纹理目标。纹理目标的名字是无符号整数。每个纹理目标都可以对应一幅纹理图像,也就是说可以将多幅纹理图像绑定到当前的面片上,通过名字使用某幅纹理图像。例如,可将模拟爆炸效果的 10 幅图像按一定顺序以一定的时间间隔显示出来,并采用透明纹理映射技术和各向同性技术,即可模拟一次爆炸过程。把这种技术应用到火焰、烟雾等的不定型物的自然景观的模拟上,与其他模拟算法(如粒子系统)相比,大大简化了系统资源的使用。这种技术应用的效果很大程度上取决于纹理图像的质量。

单面纹理映射的几种典型应用如下。

- 天空和远景模型。这是一种典型的应用。在环境仿真中,往往要求天空呈现出晴、多云、阴、多雾,还有清晨、黄昏等效果;而视线尽头的远景根据近景地形有诸

如海洋、山脉和平原等效果。这种模型具有的公共特征是：与视点距离很远，没有细节的要求，只强调表现效果。可以通过在地形的边缘构造一周闭合的、由若干多边形组成的“围墙”，而在相应四边形上映射相应的纹理，实现该方向上远景的模拟。同样，对天空的模拟，采用加盖一个四边形或棱台作为“屋顶”，在表面上映射相应天气效果的纹理。这样，当视点在这个由地形、边界立面、顶面组成的盒子内移动时，加上适当的光照效果，就可以感到强烈的远景、天空所产生的纵深感。为了增强动态感，可以采用纹理变换的方法实现动态移动的天空云彩。同样的思路，采用增加高度扰动的高度场加纹理变换的方式可以实现动态的海面模拟。

- 地形模型表面的纹理映射。地形表面也不是单一色彩的曲面，存在着诸如植被、道路、河流、湖泊、海域和居民地等大量的要素信息。在比例尺很小的情况下，即视点位于很高的位置对大范围区域的地形进行观察时，这些要素信息的高度信息已经不重要，可以通过纹理映射的方式将其表现出来，通过与地形模型数据的叠加反映出这些要素的空间位置关系。
- 房屋模型表面的纹理映射。房屋的表面并不是一个简单的平面，而是具有门窗、涂层和框架结构的复杂图案表面，这些房屋模型的细节如果也采用三维模型来表示，将大大增加模型的复杂度，因此可以通过纹理映射的方法来模拟这些细节。
- 复杂模型表面的纹理映射。诸如飞机、大炮和装甲车之类的复杂几何模型表面上的迷彩、军徽甚至细小结构均可通过纹理映射的技术将其表现出来。不过这里的纹理的映射要复杂得多，必须依靠诸如 3ds MAX、MultiGen 等专业软件中强大的纹理映射功能，建立纹理的不同部分与模型的不同部位之间的坐标映射关系和映射属性（如透明）。

③ 纹理拼接。在视景仿真系统中，纹理的使用可以大大简化复杂模型的建模工作，但如果使用大量纹理或者高分辨率纹理图像，就会给系统带来沉重的负担。可以采取的策略是：将大纹理拆分为若干小范围纹理，然后寻找具有代表性的纹理图像作为拼接因子，这样就可利用这若干个小图像拼接出一幅大图像的效果，这是一种很实用的技术。典型的应用是在地形纹理映射上，用几种小纹理图像即可模拟出一片斑驳、荒凉的地形来；同样，根据湖泊、水库的水涯线数据即可调用几种小纹理模拟出一片辽阔的水域。

3.2.3 漫游引擎子系统

构建一个虚拟现实漫游引擎就是采用高性能的计算机软硬件及各类先进的交互手段，创建一个参与者处于一个具有身临其境的沉浸感的，具有完善的交互能力的虚拟环境，从而帮助和启发构思。

1. 漫游引擎的功能

根据此漫游引擎主要工作在桌面系统上这一原则，对其应具有的功能和结构进行重点介绍。