

文章编号: 1000-0585(2002)01-0014-11

论“数字城市”及其三维再现关键技术

顾朝林¹, 段学军¹, 于涛方¹, 孙毅中², 陈启宁³

(1. 南京大学城市与资源学系, 江苏 南京 210093;

2. 常州市规划国土管理局, 江苏 常州 213003; 3. 苏州工业园区规划建设局, 江苏 苏州 215000)

摘要:“数字城市”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 技术、遥测、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。通过“数字城市”技术可以将现代城市的信息收集、整理、归纳起来, 并按照地理坐标建立完整的空间数据模型, 经过网络联结使每个人都能快速、完整、形象地了解城市的过去、现状和未来。目前国内外“数字城市”研究基本上是停留在软硬环境建设方面, 至多处于研究的初期阶段, 并没有在“数字城市”研究方面取得实质性的进展。本文主要探讨我国实现“数字城市”的关键技术, 诸如: 数字城市空间基础设施、多种 GIS 系统集成模型研究、3D-GIS、三维城市规划、城市仿真与虚拟现实技术、数字城市支持下的数字社区等等。

关键词: 数字城市; 关键技术; 三维城市规划; 虚拟现实

中图分类号: G202; TU.984 **文献标识码:** A

随着信息技术的发展, 数字技术和网络技术已经对城市生活的各个方面带来深刻的变化, 城市规划、设计与管理正在发生变革, 传统的以手工操作和技术经验为主逐渐转向以计算机应用为主, 城市三维建模与可视化、数字城市已经成为主要发展方向^[1~3]。

1 “数字城市”的概念

所谓“数字城市”, 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 技术 (遥感 RS、全球定位系统 GPS、地理信息系统 GIS)、遥测、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^[2], 即: 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。“数字城市”能够将现代城市每一个角落的信息都收集、整理、归纳, 并按照地理坐标建立完整的信息模型, 再用网络联结起来, 从而使每个人都能快速、完整、形象地了解城市过去、现状和未来的宏观和微观的各种情况, 并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“数字城市”能使城市地理、资源、环境、生态、人口、经济、社会等复杂系统数字化、网络化, 并虚拟仿真, 实现可视化, 从而使城市规划具有更

收稿日期: 2001-06-18; 修订日期: 2001-11-05

基金项目: 南京大学应用开发基金资助 (0209003101)

作者简介: 顾朝林 (1958-), 男, 南京大学城市与资源学系主任, 教授, 博士生导师。主要从事城市地理、城市和区域规划研究。E-mail: Gucl@nju.edu.cn

高的效率,更丰富的表现手法,更多的信息量,并提高城市建设的时效性,城市管理的有效性,促进城市的可持续发展。据此,“数字城市”研究具有十分重要的意义,具体表现在:(1)“数字城市”是适应现代城市信息化发展的产物;(2)“数字城市”提供给人们一种全新的城市规划、建设和管理的理念;(3)“数字城市”是信息社会中的信息源,可为知识的生产、流通和应用提供场所和工具;(4)“数字城市”能够适应并预测城市的变化,进而实现可持续的城市发展。

2 “数字城市”研究进展

2.1 国外研究进展

在国外,“数字城市”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^[4]。目前国外已经有比较成熟的数字城市三维可视化建模软件产品,如 Multi Gen Creator、Equipe 等,ESRI 公司的遥感图像处理软件 ERDAS 也扩展了这方面的功能。“数字城市”相关技术已经应用于很多领域,许多发达国家经开始“数字社区”和“数字城市”的综合建设实验。在美国大约有 50 个城市正在建设“数字城市”。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”、“数字社区”的示范工程;新加坡提出“数字城市”的设想,准备环绕 240 平方英里的岛屿,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、去医院等,实现“网上生存”的梦想。

2.2 国内研究进展

在国内,近 10 多年来,深圳、北京、海口、济南、广州等城市和国内著名科研院校相继建立了一些专业数据库和应用开发系统,为“数字城市”的研究积累经验和数据。例如,城市规划部门自 80 年代中期以来开始应用“城市规划管理信息系统 (UPMIS)”,进入到 90 年代加快 GIS、MIS、OA 技术的推广和应用,使更多的城市将计算机技术应用到城市规划管理与设计中。2000 年北京召开“21 世纪数字城市论坛”,上海“亚太地区城市信息化高层论坛”将数字城市列为会议的核心议题。2001 年在广州举办了“21 世纪数字城市论坛”专题讨论会。

近年来,国内一些高校、科研机构开始着手“数字城市”研究工作。1997 年,清华大学成立中国第一个“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数字城市的关键技术:三维城市模型快速重建、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。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“数字城市”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,主攻数字城市研究。2001 年南京大学专门组建了以“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 600 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,拥有国内最先进的 Power Wall 立体仿真屏和虚拟现实环境。

目前深圳、广州、上海、襄樊、常州、苏州等城市已开始进行“数字城市”示范应用研究,“数字江苏”率先于 2001 年 3 月拉开帷幕。但总体上来看,虽然目前国内外已有多家单位开始了“数字城市”研究工作,但基本上停留在软硬环境建设方面,并没有在“数字城市”研究方面取得实质性的进展^[3~5],“数字城市”具有巨大的研究和利用潜力。

3 “数字城市”对城市规划与设计的影响

在美国,“数字城市”的主要技术在城市规划中被广泛应用,如虚拟城市规划、虚拟建筑设计、破坏地区的重建、小区规划等。通过“数字城市”技术能将各种规划设计方案定位于现实环境中,评价其加入规划设计后对现实环境的影响,同时在虚拟的设计环境中能够感知空间设计的合理性,降低模型设计成本并缩短设计时间。在我国,利用虚拟现实技术进行城市规划和建筑设计,将实时三维仿真图形与 CAD、GIS 信息集成在一起,已受到重视,广州、武汉、南京、北京等地的研究机构和大专院校都已相继开展这项研究。

传统的城市规划与设计处在准三维的表现水平,即:通过规划设计平面图、效果图、沙盘模型和三维动画展示规划与设计成果。数字城市将虚拟现实技术应用于其中,这样在城市规划与设计阶段,就使人们能够在一个虚拟的三维环境中,用动态的交互的方式对未来的城区进行身临其境的全方位的审视,并将地理信息系统相关信息集成在其中。这是传统的规划设计效果图和预渲染回放的三维动画所无法达到的。概括起来,“数字城市”对城市规划与设计的影响是多方面的,它们是:

(1) 为城市规划设计创建逼真的、纯三维的场景;(2) 实施全方位、多方式、自由控制的场景漫游;(3) 多种城市规划与设计方案的对比;(4) 不同时期、不同阶段的城市发展变化对比;(5) 形成标准的三维城市信息平台;(6) 三维城市信息平台为城市管理服务;(7) 满足公众参与城市规划方案的需求;(8) 实时展示规划设计方案。

总之,通过数字城市可以实现城市规划从准三维向真三维的跨越。

4 “数字城市”关键技术研究设想

4.1 “数字城市”关键技术研究必要性

在国外,“数字城市”是由 UGIS—WEB UGIS—COM UGIS—VR UGIS—CYBER UGIS 发展而成的,是城市地理信息系统(UGIS)的延伸与扩展^[5],主要区别在于对城市的有关数据能够自动采集、处理分析、传输分发、自动或半自动智能决策,可以直接为社会公众提供便利的网络服务,其关键技术之一是虚拟现实技术。

近年来国内许多城市开始投巨资进行城市信息化建设,但由于缺乏统一的标准体系和基本的技术支撑,城市各自为战,低水平重复开发现象时有发生,信息共享、数据获取与更新机制和技术没有解决,许多必要的标准规范没有建立起来,致使一些已建成的

虚拟现实(Virtual Reality)是一种综合计算机图形技术、多媒体技术、传感器技术、显示技术以及仿真技术等多种学科而发展起来的 90 年代计算机领域的最新技术,它以模拟的方式为用户创造一个实时反映实体对象变化与相互作用的三维图形世界,在视、听、触、摸等感知行为的逼真体验中,使参与者可以获得直接参与和探索虚拟对象在所处环境中的作用与变化,使得参与者仿佛置身于一个虚拟的世界中。

“工程”成为“演示”系统，造成人力、物力资源的巨大浪费^[6]。在实际应用部门，我国大部分城市空间基础信息缺乏统一管理，尚未形成系统化、网络化，与真正建设城市空间数据基础设施的要求还有很大的差距。尤其在“数字城市”可视化方面，由于目前市场现有的 GIS 软件都只限于 2 维，至多是 2.5 维（即把高程视为地理实体的一种属性），这是一种虚 3 维环境，而在城市的地下空间规划、地下管线、多层建筑、立交道路、空间环境、以及城市工程地质、水文地质与环境地质的分析等的微观研究，都需要真 3 维 GIS 的数据支持。

为了加快“数字城市”建设，有必要进行真 3 维 GIS 的数据结构、数据组织、空间关系、数据显示、空间分析等方面的关键技术的研究，进行虚拟城市和 4D（DEM、DOM、DLG、DRG）融合技术开发，以推动“城市空间数据基础设施”的建设。

4.2 “数字城市”关键技术研究设想

按照“国家空间数据基础设施”的基本要求，根据城市信息数据的特点和需要，我们认为数字城市研究应该达到三个目标：（1）建立统一的数据和技术指标标准体系；（2）初步解决“数字城市”的关键技术；（3）通过示范研究，实现“数字城市”。据此，构建“数字城市”的关键技术框架见表 1。

表 1 “数字城市”关键技术及主要内容

Tab. 1 The key technique and its main contents of the Digital City

关键技术	主要内容
（1）数字城市空间基础设施研究	空间数据协调、管理与分布体系和机构以及空间数据交换网络体系 空间数据交换标准 三维城市模型的数据获取与更新方法 海量城市数据四库（DEM、DOM、DLG、DRG）一体化管理 以人口普查、社会经济统计数据为代表的非空间数据的采集与到门牌号码的地理编码技术研究
（2）多种 GIS 系统集成模型研究	基础地理信息系统 规划信息系统 管线信息系统 社区管理信息系统 110 报警信息系统
（3）3D - GIS 研究	三维城市模型中地形和建筑物动态显示和操作技术 三维城市模型的空间分析和查询 空间数据索引机制的建立 三维的图形和属性编辑 建立三维可视的 GIS 系统
（4）城市仿真与虚拟现实技术研究	城市景观的仿真技术 城市地下管网的断面剖示技术 大面积建筑群体的高效三维建模技术 城市、街道、社区的三维动画设计 城市灾害事故和突发事件的动态模拟 城市时空变化的 3S 动态模拟技术 虚拟城市规划技术（包括规划方案的景观、日照、周围环境等分析技术）
（5）数字城市支持下的数字社区研究	虚拟小区规划 社区空间信息管理（电子地图、三维分布图、商业网点分布图、设施设备分布图、地下管线分布图、三维户型结构图、地籍信息、房产权属信息、规划信息等） 社区物业管理 网上服务管理 社区电子商务 网上行业管理
（6）“数字城市”示范研究	常州试验区实证研究 苏州新加坡工业园区的实证研究

4.3 “数字城市”三维再现技术路线设计

借鉴国内外相关研究的成果^[7~15]，我们认为“数字城市”实现拟采用理论分析和实地调查相结合研究方法。首先，对 3D 城市模型进行分析，着重探讨城市道路、水系、地

形、建筑物等的三维模型 构造方法。其次，研究多层次场景引擎、视点相关动态多分辨率地形模型、动态多层次文理镶嵌等虚拟现实关键理论与技术，利用虚拟现实建模和显示软件建立虚拟城市仿真模型。第三，在此基础上提出城市时空变化、城市综合社会效应、城市灾害事故和突发事件等的虚拟设计的方案（图 1）。

“数字城市”的建立过程如图 2。以南京大学“数字城市”原型系统为例，介绍“数字城市”三维再现的技术实施路线。具体包括以下步骤：（1）搜集地形、高程、特征、属

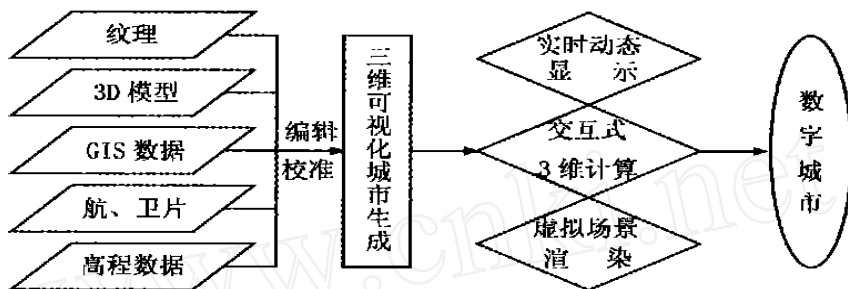


图 1 “数字城市”三维再现技术框架

Fig. 1 Sketch for techniques of the Digital City and its three dimensional re-appearing

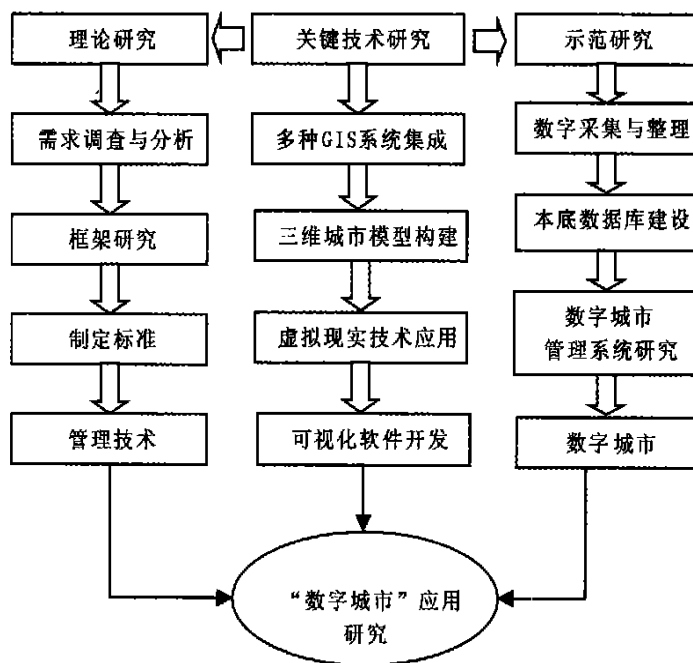


图 2 “数字城市”建立的过程

Fig. 2 The process to establish the Digital City

该模型要能够容多种数据源（DEM、DOM、DLG、DRG）为一体，能够容道路、水系、地形和建筑物等模型为一体。对于建筑物模型，不仅要能描述建筑物的外部形状，而且能描述其内部形状。3D 城市模型还应具有多角度观察、放大、漫游、旋转、任意选定路线的飞行或地面行驶效果的动态显示及可见点的识别。还要进行纹理贴合以增加模型的逼真性。基于 3D 城市模型的数据结构可进行一系列的空间分析和查询操作。如：3D 坐标查询、属性查询、断面绘制、空间距离量算及图形和属性编辑等功能。

性等源数据; (2) 创建实时三维数据库; (3) 通过 Vega API 开发实时应用程序; (4) 综合国内外在“数字城市”方面现有的开发研究成果, 利用已有软件与自主开发相结合的技术路线, 开发出具有自主知识产权的三维城市可视化软件产品—VCS (Virtual City System); (5) 以实验区建立数字城市示范研究。

5 “数字城市”系统平台构建

5.1 实时三维建模软件系统

在数字城市实时图形仿真开发中, 首要任务就是城市三维模型的建立。该模型包括地形、建筑物、街道、树木等静态模型以及运动的汽车、行人等场景。数字城市要求三维建模软件系统功能强大、使用简单和具备实时应用特性, 并支持大多数的硬件平台。MultiGen - Paradigm 公司的 MultiGen Creator 是重要的实时三维建模软件系统。

MultiGen Creator 具有支持数字地形高程数据 (DTED、DEM) 和数字文化特征数据 (DFAD) 的特征, 利用地理信息系统中的这些现有数据和与之配套的航空或卫星照片, 可以快速高效而又方便地构造任何地区地形和文化特征。MultiGen Creator 主要由基本建模环境 Creator Pro、增强选项 Terrain Pro、Road Tools 等模块组成。

5.1.1 Creator Pro (建模模块) Creator Pro 拥有针对实时应用优化的 OpenFlight 数据格式, 强大的多边形建模、矢量建模、大面积地形精确生成功能, 以及多种专业选项及插件, 能高效、最优化地生成实时三维 (RT3D) 数据库, 并与后续的实时仿真软件紧密结合, 在视景仿真、模拟训练、城市仿真、交互式游戏及工程应用、科学可视化等实时仿真领域应用广泛。Creator Pro 是一个功能强大、交互的建模工具, 你可以建立逼真的、针对实时应用优化的三维模型, 并将多边形模型、矢量模型及地表特征等集于一体。

(1) 多边形建模 使用 MultiGen Creator Pro 的可交互的、多边形建模及纹理应用工具可以快速构造高逼真度的 3D 模型, 并可对它实时优化而无需更多的人工干预。

(2) 创建地表 MultiGen Creator Pro 拥有一套完整的工具, 可以快速地创建大面积精确地形。自动化的层次细节 (LOD) 和组筛选能够很容易地创建多种分辨率的地表特征, 并能够精确控制地表的面片数以及与原始数据的误差值。

(3) 矢量化建模和编辑 利用文化特征数据 高效地将地景中的道路、河流、建筑等与地形精确地结合, 形成完整的三维地形/地貌数据库。

5.1.2 Terrain Pro (地形数据库模块) TerrainPro 是一种快速创建大面积地形数据库的工具, 它可使地形精度接近真实世界, 并有高逼真度三维文化特征及图像特征。它具有批处理操作、高级地形表面生成工具、整体纹理映射、三维文化特征的自动生成的特征。

5.1.3 Road Tools (标准路面数据模块) Road Tools 扩展了 Creator 的功能, 用高级算法生成标准路面数据, 特别可用于车辆设计、驾驶培训、事故重现等驾驶仿真应用, 其

OpenFlight 数据格式成为实时仿真、虚拟现实业界的标准数据格式。它的逻辑化的层次场景描述数据库会使图像发生器知道在何时、以何种方式实时地、以极高的精度及可靠性渲染三维场景。

特征数据, 又可称为“文化数据”、“矢量数据”, 在数据库中指除地形数据以外的所有具有地理信息和属性信息的特征, 可以是自然的如河流, 或人造的如房屋和道路; 引入到 Creator 中后, 能进行简化、修改并投射到数据库中。

特点有：符合 AASHTO（美国国家高速公路 & 交通协会）标准的三维几何构造；多重 LODs 生成；自动的纹理贴图；道路横截面定义；路边的几何结构；反射物、交通标志、路灯等路边几何模型的自动放置；有关的道路中线及分道线的定义及输出；可模拟驾驶效果，浏览已做好的路面（Drive Roads）。

5.2 实时场景系统

一般来说，数字城市的实时场景系统主要包括如下四个方面。

5.2.1 虚拟现实场景设置和预览图形化平台 引人入胜的虚拟现实场景的背后是一套 SGI Onyx2 Infinite Reality 系统，用来提供计算机图形数据，同时也提供复杂的图形变换所必须的高性能计算能力，并具有极强的扩展能力。首先，SGI Onyx2 具有 ccNUMA 体系结构。正是因为有了这种结构，基于 Onyx2 的仿真系统才能拥有最短的传输延迟，才能以胶片分辨率支持图像预览，才能支持海量生产数据（例如完整的人体数据）的交互式 and 浸入式可视化。同时，高性能的互连能力使 Onyx2 可以实现与外部世界的无缝集成，光纤通道和异步传输模式则将网络互连能力提高到了更高的水平。此外，PCI 选件本地总线使 Onyx2 系统可以与许多标准外设实现互连，而且能以 264MB/秒的峰值速率支持 32 位和 64 位 PCI 卡。仅此可以看出，将高性能计算和可视化技术紧密地结合起来，较好地适应了三维图形、图像和视频数据处理的需求，可以满足数字城市发展的需要。其次，具有 Vpro 图形系统的 Octane 2 可视化工作站把崭新的 VPro 图形系统和高性能 MIPS 处理器以及领先的系统带宽结合在一起，是制造、娱乐、城市仿真、军事成象、石油和天然气及科学领域中高级专业人员设计的得心应手的工具，它可以向地球科学、医学及高级城市仿真领域的专业人员提供业界领先的视觉精度及数据管理功能。第三，Origin 2100 可伸缩多处理服务器具备 UNIX 的工具和性能、多维的扩展性、互操作服务。Origin 2100 采用模块化设计。

5.2.2 完整的应用编程及其接口 VEGA 是开发实时视觉和听觉仿真、虚拟现实和通用的视频应用软件系统。VEGA 及其可选模块在视窗 NT 操作系统和 SGI IRIX 操作系统下运行，并支持大量种类的数据库加载器，允许很多种不同的数据库的交互应用，和单或多进程应用的开发。它把先进的仿真功能和易用的工具结合到一起，创建了一种使用最简单，但最具创造力的体系结构，来创建、编辑和运行高性能的实时应用，具有下述优点：（1）采用商品化产品减少了风险；（2）采用持续的、兼容的和易用的编程接口；（3）缩短了开发周期；（4）减少了图形的编程时间；（5）容易观察改变参数带来的变化，具有实时优化性能；（6）产品的可维护性。

VEGA 配置了强大的点击式图形化用户接口 LynX。LynX 可以在不需要编写程序代码或重新编译的情况下，通过改变应用的重要参数来对场景进行预览，从而大大提高了工作效率。视景通道、多 CPU 的分配、观察者、系统配置、数据库模型引入、运动体、运动模式、运动路径、特殊效果等，都可以根据具体的应用在 LynX 中加以改变。LynX 支

ccNUMA 的核心是一套交叉开关互连机构，它在 CPU、内存、I/O、图形部件以及其他节点模块之间实现高速数据传输。每个互连机构由 8 个双向连接构成。这就是说，即使是入门级的 Onyx2 系统也能提供 6.4GB/秒的传输带宽。交叉开关互连机构将每个处理器与任意 1 兆字节的内存块都无缝地连接起来构成一个单一计算机映像。另外，CPU 和内存之间的高带宽传输又进一步增加了整个系统的吞吐能力，可视化子系统又从另外一个方面提高了主机到图形部件之间的吞吐能力。

持非编程者在系统交付时,针对最终用户的要求,对系统进行重新配置。

5.2.3 相关的功能模块库 Vega 拥有一些特定的功能模块,可以直接根据用户的要求或特定的仿真应用,很容易地加以扩展来满足特殊仿真的需要。这些选项模块在大量的仿真应用领域里,提供了很多增强的功能,提高了开发效率。

(1) 特殊效果模块 特殊效果模块通过使用各种不同的实时技术,从基于没有纹理的硬件加阴影几何体到借助纹理分页技术的复杂的粒子动画,来产生实时应用中的三维特殊效果。用户也可以通过粒子动画编辑器或 API 定义、创建自己的特殊效果。通过定义选定的特殊效果的大小、方位、开始时间和持续时间,用户可以将其附着到运动体或场景里,实时控制其相关的视觉属性。特殊效果可以配置为在某些用户指定的状态下才可见,例如,只用在飞机处于毁坏状态下,烟火才会在机翼下出现。特殊效果也可无限制地重复其动画顺序,如从燃烧的火堆中永不停止的烟,或随时停止,如发射子弹时枪口的闪光。

(2) 大规模数据库管理模块 采用大规模数据库管理模块,使管理大型复杂数据库变得非常容易。大规模数据库管理模块使用双精度内核,定义并动态地重新设定移动数据库的地面坐标系原点,使观察者处于要显示的数据库附近。这样,消除了当观察者远离数据库原点时所带来的显示图形的抖动。通过支持用户所需的自定义区,可保证极高的效率。

5.2.4 显示系统和虚拟外设 显示系统是一套独立的系统,从“沉浸”的角度考虑,一般会选择如 CAVE、POWER WALL、I-Desk 类型的投影显示系统。在虚拟现实项目开发中,为了能够看到三维立体的虚拟场景、跟踪用户在场景中的位置及头部的转动方向,同时根据用户的方位更新场景,头盔、立体眼镜、数据手套、三维鼠标、相应的跟踪设备等是必不可少的。Vega 能直接支持 20 多种标准的虚拟外设,如 Stereographics' CrystalEye、Ascension Technologies Flock of Birds, CyberGlove, HMD 等。

(1) 跟踪器 Ascension 公司的鸟群跟踪器能进行其它跟踪器所不能的跟踪,即使在金属环境下也能对其微小的、轻便的传感器组进行快速、同时的跟踪。可以选择它来同时跟踪 1 - 4 个传感器。每个 Flock 接收器每秒钟能进行多达 144 次的位置和方位测量。在跟踪用户的头或身体各部位的主要关节时不会降低刷新率或者增加响应时间。无论用户向哪个方位转动,都能及时、精确、可靠地捕获其运动。

(2) 立体眼镜 CrystalEyes 立体眼镜通过显示具有深度感的图像增强了可视化效果。CrystalEyes 与显示器配合使你能“同时”看到左眼和右眼的视像。这模仿了真实世界中用两只眼睛看物体的方式。立体成像是这样形成的,当显示左眼视像时关闭右眼镜片,显示右眼视像时关闭左眼镜片,每秒钟最少要发生 120 次,所以你能同时看到左右眼的影像。从而感觉到令人惊奇的具有深度感的立体影像。

(3) 数据手套 CyberGlove 具有手套轻便、小巧,带有灵敏传感器,能精确地测量手指和腕部的位置和运动,可重复度高的特点。CyberGlove 设计中采用了高精度关节传感技术。CyberGlove 分 18 个传感器和 22 个传感器两种。18 个传感器包括每个手指上两个弯曲传感器、4 个外展传感器,再加上测量大拇指交叉、手掌拱弯、手腕翻转和外展等。22 个传感器另加上 4 个手指上指节的弯曲传感器。

(4) 头盔 V6 头盔具有新的矩阵式液晶显示器 LCD,可支持 640 × 480 像素的分辨率,色彩丰富明快,图像逼真。V6 头盔采用一个简单的后棘齿松紧机构和前弹簧预紧推拉机构,扣戴快速舒适,能进行快速而精确的调节,瞳距可用旋钮调节。前后推拉机构可

调节，戴着眼睛也能方便地扣戴。

6 实时三维应用的创建步骤

数字城市的实时三维应用的创建一般分为四个步骤。

(1) 拟定研究计划 数字城市实时三维应用的创建首先要对即将进行的项目有一个清晰的了解，包括数据库所处的地理位置，是否需要精确的地形数据及如何得到这些数据。数据库包括的地理范围，项目的类型，希望达到的效果和复杂程度，所用的硬件平台等。

(2) 搜集源数据 地形/地貌数据库是数字城市实时三维应用的基础。就一个完整的地形/地貌数据库而言，需要 4 个方面的数据（表 2）。

表 2 数字城市地形/地貌数据库

Tab. 2 The geography database of the Digital City

数据类型	主要内容
地形数据	高程数据：USGS DEM, NIMA DTED 等。 分辨率：精确度。 地区：面积 大小。
特征数据	特征数据的位置/类型：USGS DLG, NIMA DFAD 等。 属性表达。
单个模型数据	活动模型：坦克、飞机、汽车、目标物等。 环境模型：建筑物、街道、河流、树木、岩石等。
图形数据	卫星或航拍照片（地貌）。 细节：草、树、岩石、街道、河流，建筑物等的纹理。

对于数据的获取，一般求助于特定的测绘部门。数据类型主要包括：高程数据、地表航片或卫片、文化特征数据以及各种三维模型数据和纹理数据。

首先是高程数据，它以一定的地理间距将整个地形划分为网格状数据，每个均匀分布的网格点都有相应的 X、Y 坐标和高程（Z）数据；Multigen Creator 可以直接接受 USGS（美国地质勘察局）DEM 格式以及 NIMA（美国国家图像/地图局）DTED 格式的网格高程数据，进而转化为 Creator 专用的 DED 标准格式。

在得到 DED 格式的高程数据后，Creator 提供多种地图投射方式（Flat Earth、UTM 等）及多种三角化方法，将高程网格数据转化为 OpenFlight 格式的三角网格模型。在转化过程中，Creator 能自动探测山峰/山谷、海岸线；用户可以控制生成的三角面片数或 OpenFlight 文件与源数据的误差。

而航片或卫片主要用于在三维地表上生成相应的基本纹理。在 Multigen Creator 中，可以直接利用图像的地理位置信息，将纹理精确地贴到相应地形上；也可以修改、创建图像的地理位置信息。

文化特征数据属于 GIS（地理信息系统）中的一部分，是一些测绘得到的矢量数据，它拥有精确的地理坐标和各种特征编码，用于描述各种人文景观和自然景观，像建筑物、道路、电力电话线和杆、塔、桥梁等，各种森林、河流等，在三维地形数据库中，这些特征数据要借助于与特定三维模型和特定纹理来表达。在 Multigen Creator 中，提供了接受 USGS DLG 和 NIMA DFAD 标准特征数据的界面或由用户直接在 Creator 建模环境中创建点（单个的建筑物等）、线（道路、河流等）、面（城区、森林等）特征。另外，通过 Creator 提供的 API，可引入非标准的特征数据格式。

这样，我们就可将文化特征数据投射到地形上，生成相应的三维模型，并与地形相适应，形成一个完整的地形/地貌数据库。

在单个三维模型的建立上,可以直接通过 Creator 的建模环境建模。另外,也可以直接将 CAD DXF 文件、动画的 3ds/Obj 模型文件输入到 Creator 中,进行简化和优化后输出为 OpenFlight 格式。由于 Creator 提供标准的在 C 语言环境下的 API,用户可以扩展原有的功能及算法,开发用户自定义的数据库实体,它包括:读/写 APIs——一致、有效地读/写 OpenFlight 数据;OpenFlight 扩展 APIs——扩展 OpenFlight 格式,以支持特别需求;OpenFlight 工具 APIs——注册和插入用户自定义的插件和算法;DFD (数字特征数据)读/写 APIs——输入/输出非标准的矢量数据。

(3) 创建实时三维数据库 数字城市的实时三维数据库创建按下述 5 个步骤进行:

单个 3D 模型建立; 根据标准高程数据生成地形表面;

将 GIS 信息、文化特征数据与地形数据库结合; 纹理赋予 (自动、人工);

数据库组合和优化。整个实时三维数据库的建立过程如图 3。

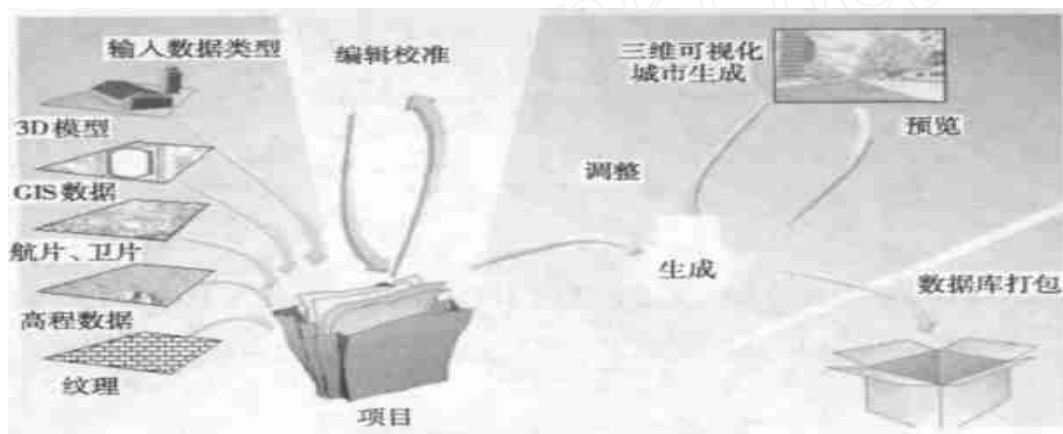


图 3 实时三维数据库的建立过程

Fig. 3 The process to establish the real-time three dimensional database

(4) 开发实时应用程序 Vega 提供一整套功能强大的、在 C 语言环境下 (IRIX 系统中为 ANSI C, NT 中为 VC++ 6.0) 的 API (应用程序接口) 及详细的帮助文件。在 IRIX 系统中,它是基于 OpenGL 和 Performer 的。所有的功能及用户开发 (如与特定数据库连接) 都可以通过 Vega API 来实现。同时, Vega 提供 Lynx 图形编程界面,简化了程序开发的过程。通过 Vega 的 Lynx 图形界面,可以很方便地实现以下功能:

三维模型 (包括地形/地貌数据库) 引入及窗口可视化; 运动体及多种运动模式指定 (如行走、驾驶、飞翔等); 显示通道分配; CPU 分配; 环境效果: 雾、天空等; 虚拟环境中三维声音效果; 支持 20 多种标准输入设备接入; 观察者及观察方式制定; 多种交互方式及效果制定; 特殊效果 (爆炸、烟雾、导弹的尾迹等); 导航 (按既定路线行驶) 和复位; 动态海洋效果及 Vega 其他可选模块功能; 立体显示设置。

在 Lynx 环境设置完成后的文件为 adf (应用定义文件), 可以在 C 环境中引入到 C 程序中, 并且可以在它的基础之上开发用户自己的程序。

上述原型系统是我们解决数字城市三维再现关键技术的方案, 并且已经投入实践应用。当然, 随着软硬件技术的发展, 这一原型系统仍处于不断完善之中, 尤其在虚拟现实与 GIS 技术结合、数据实时获取以及虚拟场景交互性设计等方面都有待深入研究。

参考文献:

- [1] 顾朝林,李满春.“数字城市”研究漫谈.城市规划汇刊,1999,(5):25~27.
- [2] 段学军,顾朝林,甄峰,等.数字城市的概念、框架与应用.现代城市研究,2001,(3):61~64.
- [3] 杨崇俊.浅论数字城市.见:赖明,王蒙徽主编.数字城市的理论与实践.北京:世界图书出版公司,2001.62~69.
- [4] 李德仁,等.数码城市:概念、技术支撑和典型应用.地理信息世界,2000,(3).
- [5] 龚健雅.数字城市建设的基本策略及关键技术.见:赖明,王蒙徽主编.数字城市的理论与实践.北京:世界图书出版公司,2001.46~50.
- [6] 丁烈云,孙峻.数字城市——城市规划面临的变革.规划师,2000,(6):21~23.
- [7] 《数字城市导论》编委会.数字城市导论.北京:中国建筑工业出版社,2001.107~127.
- [8] 刘祖文.数字城市及其在城市建设中的应用与展望.武汉城市建设学院学报,2000,(3):57~61.
- [9] 赵燕霞,姚敏.数字城市的基本问题.城市发展研究,2001,(1):20~24.
- [10] 周江评,崔功豪,张京祥,等.城镇交通网络信息图谱研究刍议.地理研究,2001,20(4):397~406.
- [11] 曹力鸥,毛其智.多媒体、可视化的规划支持信息系统.世界建筑,1999,(9):72~76.
- [12] 陈述彭,岳天祥,励惠国.地学信息图谱研究及其应用.地理研究,2000,19(4):337~343.
- [13] 王丹.数字城市与城市地理信息产业——机遇与挑战.遥感信息,2000,(2):9~13.
- [14] Fairbarin D, Parsley S. The use of VRML for cartographic presentation. Computers & Geosciences, (Special Issue on Exploratory Cartographic Visualization), 1997, 23(4):475~482.
- [15] Hendrik A. H. C. van Veen, Hartwig K. Distler, *et al.* Navigating through a virtual city: using virtual reality technology to study human action and perception. Future Generation Computer Systems, 1998, (14):231~242.

A study on the key techniques of the digital city and its 3D re-appearing

GU Chao-lin¹, DUAN Xue-jun¹, YU Tao-fang¹, SUN Yi-zhong², CHEN Qi-ning³

(1. Department of Urban and Resources Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Changzhou Urban Planning & Land Administration Bureau, Jiangsu 213003, China;

3. Suzhou Industrial Park Planning and Constructing Bureau, Jiangsu 215000, China)

Abstract: The Digital City is a multi-resolution, multi-scale, multi-space and time, multi-kinds description of a city in three dimensions with techniques such as 3S, telemetry, simulation and Virtual Reality (VR) based on such techniques as computer, multimedia and large-scale storage, and taking the wide band web as vinculum. By this technique, the modern city's information can be collected, collated and generalized, and the complete spatial data model can be established on the geographical coordinate system so as to facilitate each person's acquaintance of the past, present and future of the city rapidly, entirely and visually through the web. At the present time, studies on Digital City at home and abroad make no substantive advancement, but still remain at building hardware and software conditions, or at most, at the preliminary stage of the study. The paper mainly probes into the key techniques such as Virtual Reality, Urban Spatial Data Infrastructure, integrated model study of many kinds of GIS systems, 3D-GIS, the urban planning in three dimensions, city simulation and digital society supported by VR and Digital City, etc.

Key words: Digital City; key techniques; urban planning in three dimensions; Virtual Reality