

# 基于 GIS 技术的城市 3 维景观动态仿真技术研究

陈颖彪 千庆兰 陈健飞

(广州大学地理科学学院, 广州 510006)

**摘要** 虚拟城市是 3 维城市地理信息系统研究的前沿领域, 为此首先对如何建立城市 3 维景观进行了初步的探讨研究, 同时概述了城市 3 维仿真的发展概况和基本原理; 然后分析了建立城市 3 维景观的两种方法路线; 接着重点介绍了 3 维场景的建模、动态仿真和实时驱动的实现方法, 并提出了城市 3 维景观动态仿真技术的作用、意义和发展前景; 最后总结了城市 3 维仿真与 GIS 结合应用的可能性和发展方向, 并制作出了城市 3 维景观动态仿真的应用实例。

**关键词** 虚拟城市 3 维地理信息系统 3 维景观动态仿真 Open Flight

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)01-0176-08

## The Research of Three-dimension City Landscape Dynamic Simulation Based on GIS Technology

CHEN Ying-biao, QIAN Qing-lan, CHEN Jian-fei

(School of Geographic Sciences of the Guangzhou University, Guangzhou 510006)

**Abstract** Virtual reality city (VR city) is one of the most important technologies in 3D urban GIS. This paper presents how to establish city landscape of three-dimension, generalize the development of general situation and basic principle of city 3D simulation, and analyze two kinds of methods of the establishment of city landscape of three-dimension. Then we introduce the methods of 3D scenes of establishing dynamic simulation and real-time driving, and put forward the function, meaning and development foreground of the city landscape of three-dimension dynamic simulation technology. Finally, we summarize the possibility and direction of development of combining city 3D simulation and GIS, and give an example of city landscape of three-dimension dynamic simulation.

**Keywords** virtual reality city (VR city), three-dimension geography information system (3D GIS), three-dimension landscape dynamic simulation, open flight

## 1 引言

城市是人类社会生活的聚居地, 作为人口、资源、环境和社会经济要素的地理综合体, 城市与人们的生活息息相关, 城市的结构、面貌及规划状况将直接影响人们的生活。由于城市是一个在空间、时间上动态变化的有机系统, 因此对它的描述也越来越困难。另外, 现代城市的信息量正快速增加, 这也迫使人们必须寻求解决信息爆炸与信息需求之间的矛盾。以往只以一张城市规划图来了解城市的做法现

在已显得无能为力, 现代社会的发展要求控制城市的总体景观, 要求建立 3 维甚至 4 维 (包括时间维) 的城市景观模型, 这些都为虚拟城市的产生与发展提供了良好的社会需求动力<sup>[1]</sup>。

## 2 城市 3 维景观动态仿真的基本特征

### 2.1 城市 3 维仿真的基本原理

3 维仿真虚拟现实技术在 20 世纪 90 年代初逐渐为各界所关注, 并在商业领域得到了较大的发展。这种技术的特点在于: 通过将计算机图形

基金项目: 建设部软科学研究项目 (06-k6-04-06-R1-16); 广东省科技计划项目 (2006B21001017)

收稿日期: 2007-04-24 改回日期: 2007-07-11

第一作者简介: 陈颖彪 (1969~), 男, 副教授, 博士。主要从事 GIS 与 RS 应用技术研究。已发表论文 20 余篇。E-mail: chenyingb@21cn.com

构成的 3 维数字模型编制到计算机中去产生逼真的“虚拟环境”,使得用户在视觉上有一种虚拟环境的感觉,这也就是虚拟现实技术的第 1 个特点——沉浸感或临场参与感;第 2 个特点是 3 维仿真虚拟现实与通常 CAD 系统所产生的模型及传统的 3 维动画是不一样的,由于它不是一个静态的世界,而是一个开放、互动的环境<sup>[2]</sup>,因此虚拟现实环境可以被使用者通过控制与监视装置来影响,具有交互性的特征;另外,3 维仿真虚拟现实不仅仅是一个演示媒体,而且还是一个设计工具,它以视觉形式反映了设计者的思想,即通过虚拟现实可以把构思变成看得见的虚拟物体和环境,使以往只能借助传统沙盘的设计模式提升到数字化的完美境界,从而大大提高了设计和规划的质量与效率,这就是它的第 3 个特征——想象性。3 维仿真虚拟现实技术的基本原理是先通过 3 维建模软件在 3 维空间建立与现实物体一样的 3 维模型,然后获取现实物体的属性和纹理数据对模型进行渲染,具体建模方法如图 1 所示。

维 GIS 相比,由于它具有连续的数据结构和与之相应的分析功能,可从空间的角度分析和显示物体,从而可帮助人们更加准确真实地认识感受客观世界。在 3 维 GIS 中,空间目标可通过 X, Y, Z 3 个坐标轴来定义,其不同于 2 维 GIS 中把垂直方向的第 3 维信息简单抽象成一个单一属性值的处理<sup>[3]</sup>。第 3 维坐标的增加使得 GIS 中的空间关系也不同于 2 维 GIS,其复杂程度更高。3 维 GIS 的研究对象可以归纳为点、线、面、体 4 类,其中的线不仅包括 2 维 GIS 中的平面曲线,还包括 3 维中特有的空间曲线,面不仅包括 2 维平面,还有 3 维中的空间曲面,而体则是 3 维中特有的研究对象。3 维空间数据库是 3 维 GIS 的核心,而 3 维空间分析的可操作性则是其独有的功能。3 维 GIS 是以立体造型技术给用户展现地理空间现象,其不仅能表达空间对象间的平面关系,而且能描述它们间的垂向关系,以便形象客观地描述真实世界(如图 2 及图 3 所示)。但是目前的 GIS 主

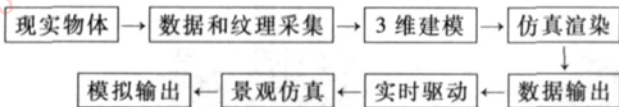


图 1 3 维仿真虚拟现实技术建模流程图

Fig 1 3D virtual reality technology model flow chart

### 2.2 3 维 GIS 相关软件发展概况

迄今为止,国际国内还没有一个成熟、完整的 3 维 GIS 系统,与 3 维 GIS 相关的系统大多集中在 3 维可视化和 3 维仿真方面,如 3DSMAX、Multigen Paradigm VEGA、Multigen Paradigm CREATOR 及各种 CAD 软件等,也有一些 3 维系统部分实现 3 维 GIS 的功能,其中比较有名的软件有: ERDAS 公司的 Imaging Virtual GIS, ESRI 公司的 ArcView GIS 3D Analyst, ArcInfo 3DX; 适普公司的 MAGIS, 吉奥公司的 CCGIS 等。其中, ERDAS 公司的 Imaging Virtual GIS 是 ERDAS Imagine 软件的一个附加模块,它是一个功能强大,支持栅格、矢量、注记等多种数据的 3 维可视化分析工具,它超越了简单的 3 维显示和简单飞行,可完成在 3 维环境中观察图像或建立贯穿飞行,并能完成在虚拟地理信息环境中进行交互操作、查询检索以及通视性分析 (view shed) 等等。

### 2.3 3 维 GIS 技术特点

3 维 GIS 是近年来兴起的前沿研究领域,与 2

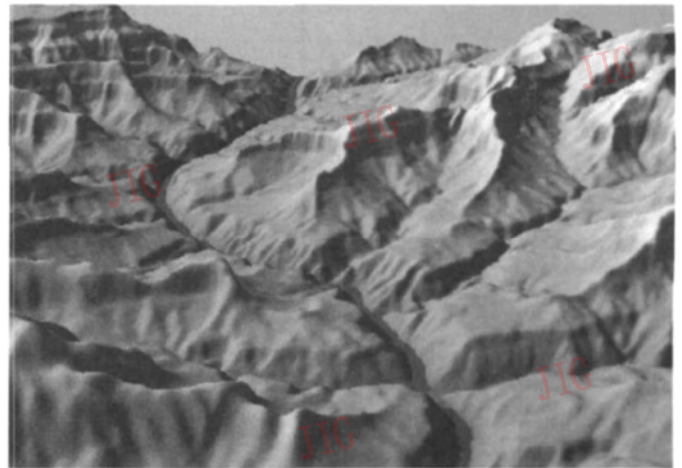


图 2 基于 DEM 数据的 3 维 GIS 建模

Fig 2 3D GIS model based on DEM data



图 3 基于影像数据加 DEM 数据的 3 维 GIS 建模

Fig 3 3D GIS model based on image data overlav DEM data

要局限于 2 维或 2.5 维空间数据的表达和处理, 还难以真实再现人们所生存的现实的 3 维客观世界, 也不能满足人们对 3 维地物的查询分析要求。在应用需求和计算机技术、图像图形处理技术等相关技术发展的多重推动下, GIS 从 2 维进步到 3 维成为其发展的必然。由于 3 维 GIS 的巨大的应用潜力, 致使众多科研机构、高等院校、公司积极投身于 3 维 GIS 的开发研究之中。

### 3 城市 3 维景观研究的实现方法及关键技术研究

#### 3.1 AutoCAD 和 3DSMAX 结合进行城市 3 维景观动态仿真

AutoCAD 和 3DSMAX 软件是目前工程界应用最广泛的两种软件。AutoCAD 软件在构造、编辑 2 维图形方面不仅功能强、使用方便, 并且开放性好, 还有 Auto LISP 编程语言的支持等许多优点。而 3DSMAX 软件则在 3 维造型、动画和渲染等方面有很大的优越性。

3DSMAX 软件可提供给用户一个功能强大的 3 维建模环境, 它有着良好的用户界面, 并提供了能够精确建模的工具。AutoCAD 软件具有精确的 3 维建模能力, 可以处理大量相对信息的复杂结构, 但其 3 维建模环境不如 3DSMAX 软件, 亦没有 3DSMAX 软件中丰富的建模工具, 并且它不具备像 3DSMAX 软件所具有的顶级渲染和动画制作能力<sup>[4]</sup>。尽管 3DSMAX 软件有很强的建模能力, 但对于 3 维技术建模来说, 还需要和 CAD 程序结合使用, 其主要原因如下:

(1) 使精确建模更容易。对 3 维技术建模来讲, 要求 3 维对象外观及其空间位置高度精确。由于 AutoCAD 软件是按双精度存储数据, 而 3DSMAX 软件为提高速度是采用单精度方式, 因此有时使用 AutoCAD 软件建模比用 3DSMAX 软件建模可以更快地达到需要的精度 (如图 4 所示)。

(2) 可利用大量已存在的模型信息。在 AutoCAD 软件中, 由于包含有很多的结构和详细的制造部件, 因此可能有建模需要的信息。如今大量的制造者提供了很多的 AutoCAD 软件模型, 可以直接加以使用 (如图 5 所示)。

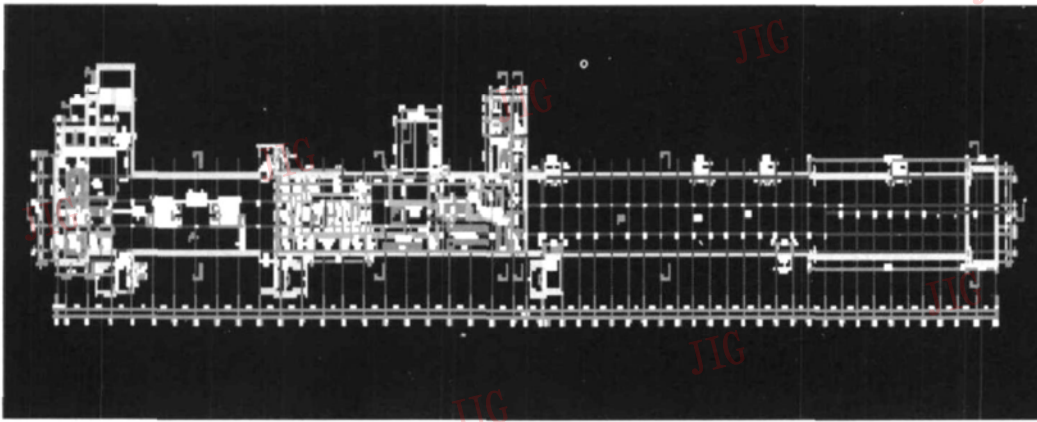


图 4 基于 CAD 的平面建模

Fig. 4 Flat surface model based on CAD data

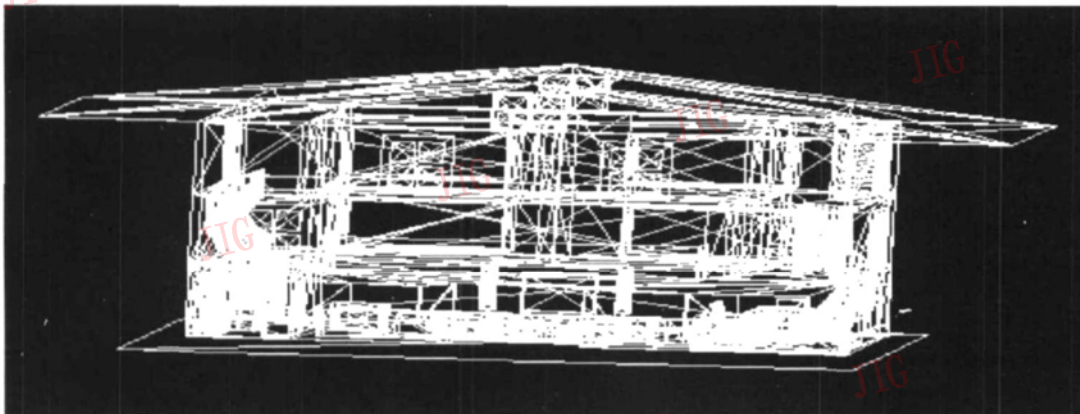


图 5 基于 CAD 的立体建模

Fig. 5 Stereoscopic model based on CAD data

(3) 可利用特殊的 AutoCAD 软件应用程序。与 3DSMAX 软件相比, AutoCAD 软件有着开放的体系, 可以在其上开发许多特殊的程序, 用于完成各种行业的复杂任务。当在 3DSMAX 软件中需要完成类似的任务时, 应了解 AutoCAD 软件是否已将类似问题做过优化, 是否能引用并做进一步处理。

### 3 2 运用 Multigen Creator 和 Vega 进行城市 3 维景观动态仿真

Multigen Creator 系列软件是由美国 Multigen-Paradigm (www. multigen. com) 公司开发, 它拥有针对实时应用优化的 Open Flight 数据格式, 其强大的多边形建模、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 3 维 (real time 3D) 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有着世界领先的地位。

Multigen Creator 与 3DSMAX 相比, Multigen Creator 软件具有许多更专业的建模工具和专业模块。它的基本模块为: Creator (Base Creator) 和 Creator Pro (是 Base Creator 的扩展集)。基本选项有以下两种:

(1) Terrain Bundle (大面积精确 3 维地形功能集成, 需 Creator Pro 模块)。

Terrain Pro 是一种快速创建大面积地形、地貌数据库的工具, 它是用 Project 统一管理各种资源 (地形数据、纹理、文化特征等)。它可以使地形精度接近真实世界, 并带有高逼真度的 3 维文化特征及纹理特征。它可利用一系列三角化算法及大地模型, 自动建立并转换地形, 同时保持与原型一致的地理方位。另外还可通过纹理贴图, 生成可与照片媲美的地形, 包括道路、河流、市区或其他特征区域, 如, 机场、港口、工厂等。

(2) Road Tools (标准道路生成工具, 其与 Base Creator、Creator Pro 均能结合)。

Road Tools 扩展了 Creator 的功能, 它是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 (如图 6、图 7 所示)。其特点是: ①符合美国国家高速公路交通协会 (AASHTO) 标准的 3 维几何构造; ②多重 LODs 生成; ③自动的纹理贴图; ④道路横截面定义; ⑤路边的几何结构; ⑥反射物、交通标志、路灯等路边几何模型的自动放置; ⑦有关的道路中线及分道线的定

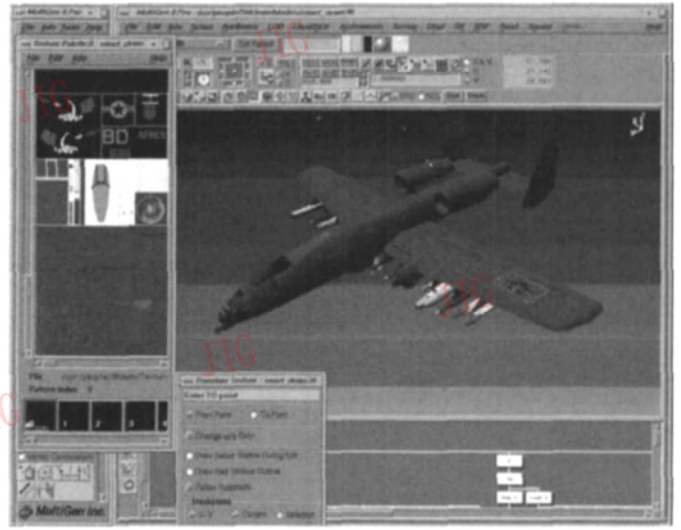


图 6 基于 Multigen Creator 的飞行设计  
Fig 6 Fly design based on Multigen Creator

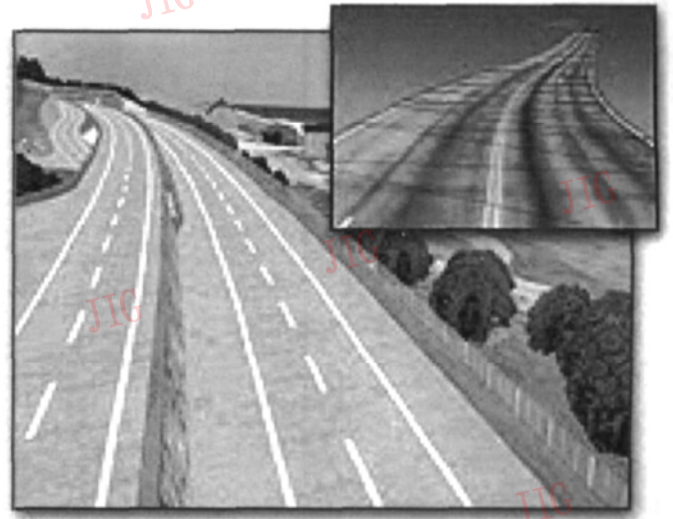


图 7 基于 Multigen Creator 的道路设计  
Fig 7 Road design based on Multigen Creator

义及输出; ⑧可模拟驾驶效果, 浏览已做好的路面 (drive roads)<sup>[5-8]</sup>。

## 4 3 维景观建模关键技术

### 4 1 3 维模型的放样、拉伸、路径设置等技术

3 维建模主要由 AutoCAD 和 3DSMAX 完成, 在建模过程中使用到的关键技术有: 精确的捕捉定位、拉伸、放样、旋转、布尔运算等。

#### (1) 精确的捕捉定位

在 AutoCAD 里, 善用点捕捉、线捕捉、交点捕捉、中心捕捉等功能, 在 3D SMAX 里善用 2 维捕捉、3 维捕捉、角度捕捉等功能来达到模型的精确定位。

## (2) 拉伸

拉伸主要针对 2 维图形进行操作。它是通过拉伸生成实体模型,使 2 维的图形成为有一定厚度的物体,在创建物体前,首先绘制出对象的 2 维截面,然后拉伸出厚度,而在 3DS MAX 中则是使用 Extrude 修改器来完成拉伸。

## (3) 放样

放样 (loft object) 是将一个 2 维形体对象作为沿某个路径的剖面来形成复杂的 3 维对象。同一路径上,可在不同的段给予不同的形体,还可以利用放样来实现很多复杂模型的构建。在制作放样物体前,首先要创建放样物体的 2 维路径与截面图形。在 3DSMAX 中 Loft(放样)可以通过获取路径 (Get Path)、获取图形 (Get Shape) 两种方法创建 3 维实体造型。通常既可以选择物体的截面图形后再获取路径放样物体,也可通过选择路径后再获取图形的方法放样物体。

## (4) 布尔运算

布尔运算 (Boolean) 可对两个相交对象进行差、并、交集运算。在 3DSMAX 中不仅可对一个物体进行多次的布尔运算,还可对原对象的参数进行修改,并且直接影响布尔运算的结果。

## 4.2 3 维渲染中的材质与贴图技术处理

3 维对象的渲染包括材质和贴图。3 维渲染对于不同的材质可以表现不同的效果,如金属材质、玻璃材质、透明材质等。贴图是物体材质表面的纹理,利用贴图可以不用增加模型的复杂程度就可突出表现对象细节,并且可以创建反射、折射、凹凸、镂空等多种效果,因此比基本材质更精细更真实。通过贴图可以增加模型的质感,完善模型的造型,使创建的 3 维场景更接近现实。3DSMAX 中最简单的是 Bitmap 位图,除此之外还有多种贴图形式,并且可在材质的同一层级赋予多个贴图,还可以通过层级的方式使用复合贴图来混合材质<sup>[9]</sup>。

如果赋予物体的材质中包含任何一种 2 维贴图时,那么物体就必须具有贴图坐标。这个坐标就是确定 2 维的贴图以何种方式映射在物体上。它不同于场景中的 XYZ 坐标系,其使用的是 UV 或 UVW 坐标系。每个物体自身属性中都有 Generate Mapping Coordinates 生成的贴图坐标。此选项可使物体在渲染效果中看到贴图。通常可以通过 UVW Map 修改器为物体调整 2 维贴图坐标,但不同的对象要选择不同的贴图投影方式。

Bitmap 是较为常用的一种 2 维贴图。在 3 维场景制作中,大部分模型的表面贴图都需要与现实中的场景纹理相吻合,而这一点通过其他程序贴图是很难实现的,也许通过一些程序贴图可以模拟出一些纹理,但这也是与真实的纹理有一定差距。在这时候大多会选择以拍摄、扫描等手段获取的位图来作为这些对象的贴图。

在 3DSMAX 系统中,除了 Bitmap 贴图方式外,还有多种的贴图方式。其中一些高级贴图,如自动反射贴图可以使物体产生真实的反射效果,并能自动计算反射场景中其他物体。蒙板贴图可以将两种贴图进行组合,通过相互遮挡产生特殊效果。通过这些高级贴图的使用可以使场景中的对象更具真实感。

## 4.3 3 维模型的数据处理技术

当 3 维建模完成以后,就需要对数据进行处理和转换。其中,关键是把\*.3ds 文件转换为 Multigen 的 OpenFlight 文件格式(文件名后缀为 .flt)。由于场景数据极为庞大,无法同时转换,因此可首先将场景划分为多个独立的物体 (object),然后将这些物体分别进行格式转换来生成单独的场景文件,最后在 Vega 中综合形成完整的虚拟场景<sup>[10]</sup>。

为了使转换后的模型适应实时应用的需要,必须对模型进行一些简化。在 Creator 中,模型的简化工作可分为以下两类:一类是采用一些简化模型,由用户进行简化;另一类是由程序自动生成不同细节的模型,即根据“远虚近实”的思想,建立细节层次模型。作者进行模型简化的规则是:(1)去掉隐藏的多边形;(2)当模型不太影响视觉效果时,可用 2 维图形代替 3 维模型;(3)以简单的轮廓代替复杂模型的细节;(4)由纹理来代替细节。

数据分块处理和分层技术是 Multigen 数据处理的两大重要技术。其中数据分块处理即是先将数据分成若干块,然后在使用时实时动态地调用相应块的数据;分层技术即 LOD (level of detail),它是先根据观察视点的位置来确定模型的精细程度,距离视点近的模型精细度高,而距离视点远的模型精细度低,其距离可以根据需要定义;然后模型会自动调整精细程度。由于采用分块和分层技术大大优化了数据的处理,从而使得数据处理更加合理、高效<sup>[11,12]</sup>。

## 4.4 3 维实时驱动的关键技术

利用 Vega 开发平台和工具集,可以开发出具有

实时性、交互性的应用程序,而且用户可以通过鼠标和其他设备操纵来从各个不同的角度观看物体,就好像你把物体拿在手中任意翻转一样;同时,用户还可以选择不同的操作模式,如高空飞行、地面行走、按指定路径运动等等,通过控制鼠标和其他设备,还可以从各个方向,以不同的运动模式来观看周围的景色,这就如同站在一个景点的中央环绕四周一样,有身临其境的感觉。在实时应用中, Vega 系统对每一帧的处理分为 Application(应用程序)、Cull(截取)、Draw(绘制)3个阶段。

## 5 基于 GIS 技术的城市 3 维仿真系统

3 维模型是本 3 维仿真系统的数据基础。综合上述技术分析,笔者选择 Multigen-Paradigm 公司的 MultGen Creator、Maya、3Ds Max 作为建模软件。Creator 支持数字高程模型数据 (DEM) 和数字文化特征数据 (DFAD),利用地理信息系统中的这些现有数据和与之配套的数字正射影像 (DOM, 航空或航拍影像) 就可以快速高效地构造任何地区地形和文化特征。仿真平台是采用自主研发的 LIBCITY 3 维引擎作为 3 维仿真平台, LIBCITY 具有实时视觉、虚拟现实应用的业界领先的软件环境,而高效易用则是其最大优点。

### 5.1 LIBCITY 图形引擎子系统

该系统如图 8、图 9 所示,其中左侧按钮均为原有系统功能按钮,分别包括信息查询、模型控制、空间分析、运动模式、方案替换、日照分析、参数控制等,左下角是导航图,导航图可以放大和缩小,屏幕下方是信息显示条。



图 8 基于 LIBCITY 图形引擎子系统

Fig 8 Graphics engine sub-system based on LIBCITY



图 9 基于 LIBCITY 界面管理子系统

Fig 9 Interface management sub-system based on LIBCITY

### 5.2 2 维图形界面子系统

该系统运行界面是用户直接面对的部分,也是引导用户使用流程的最有效手段,因此系统界面的画面设计和界面逻辑设计同样成为系统的研制重点。其主要包括启动界面、用户登录界面、地图选择界面、初始视点选择界面、系统运行主画面、信息查询界面、建筑方案选择界面、模型管理界面、空间分析界面、日照分析界面、参数控制界面、退出界面等。

### 5.3 多层次、多精度数据源调度子系统

多层次多精度数据源调度系统主要由以下 3 部分组成:

(1) 多层次多精度数据源生成模块,用于生成各个精度级别的 3 维地形模型;

(2) 地理坐标转换模块,负责对地理坐标和网格坐标进行转换运算;

(3) 数据源节点配置软件 由于地形分块越多,导致产生的精度级别也就越多,为了满足调度算法的要求,可按照可扩展节点的方式将其配置成为数据源节点配置文件。为准确地进行配置,特地开发此工具软件。

核心调度管理算法,该算法以视距为判断标准,根据视距和场景中心点的位置,采用异步多线程的方法将数据从硬盘实时加载到内存当中,这样就可以在视距较高时,大大节省内存中加载的模型总数量,从而比原有的单一层次地形调度更胜一筹,不仅降低了数据加载的数量,而且增加了视距覆盖的范围。如以  $16 \times 16$  大小的 5 级分块地形为例,最中间的 16 块为视距中心点所能够看到的详细地形区域;中间 8 块为视距中心点相关的中等精度地形数据;

外围 8 大块为视距最远覆盖范围的低精度地形数据。而以前同等视距范围的地形调度算法,则需要加载模型文件 256 块,对于都为同样尺寸的高精度地块模型来说,这样的负载将是致命的。按照此方式进行调度,一共只需加载不同精度的模型文件 32 块,这就大大减轻了系统负载。从另一个角度讲,在同样多边形显示的情况下,该方法将能看到更远的视距范围。

### 5.4 3 维空间分析与可视化

如图 10~ 图 13 所示,该系统可提供多种方便灵活的方式浏览大范围的 3 维场景,其不仅能在各种浏览方式间方便地切换、输出场景以及进行特效模拟等,并且采用数据库技术,能将相关数据按照标准直接录入,或经计算、转换后录入数据库中;可实现在 3 维环境中选择某一对象和查询相关信息(包括文字、图片、音频、视频等信息);在地形分析和测



图 10 LBCITY 固定路径算法

Fig 10 Fixed road arithmetic based on LBCITY



图 11 基于 LBCITY 实时距离量算

Fig 11 Real time distance measure based on LBCITY

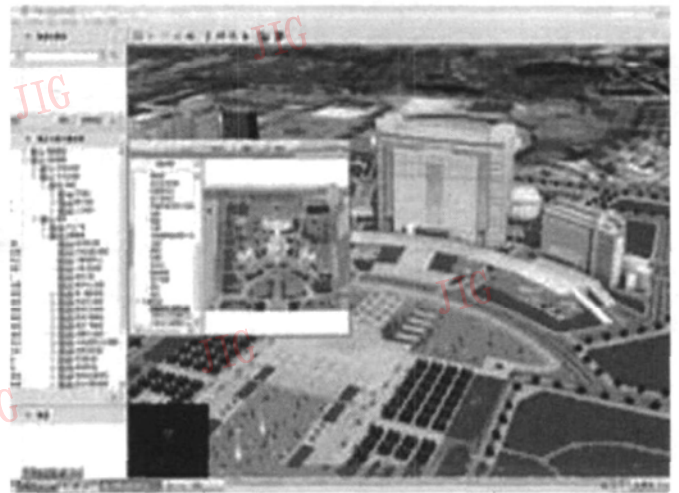


图 12 基于 LBCITY 实时信息查询

Fig 12 Real time information query based on LBCITY



图 13 基于 LBCITY 的整体分层显示

Fig 13 Integer layer display based on LBCITY

量方面,可以进行高程测量和两点之间的距离测量等,并可输入条件定位查询,同时根据查询条件,还可自动定位目标查询物。

## 6 结 论

在传统的 2 维 GIS 已不能满足应用需求的情况下,3 维 GIS 应运而生,并成为 GIS 的重要发展方向之一。综观 GIS 目前国内外的现状,对于 3 维 GIS 的研究虽然已取得了很大的进展,但是重点集中在现实世界的可视化表达,尚缺乏能直接服务于辅助决策的空间分析,而且 3 维 GIS 的理论和应用研究总体还处于探索阶段。虽然 3 维 GIS 可视化技术研究已取得了一定的成果,但在提高海量数据的漫游速度、提高场景的真实感和美感、景观数据库的建立等方面仍有待进一步的深入研究。随着 3 维数据获取技术的不断发展,3 维空间分析及相关议题将是

下一步研究工作的热点, 诸如空间关系的描述框架、拓扑空间数据模型、海量数据的漫游算法、网络分析算法等。GIS 的研究对象由 2 维到 3 维是该学科进步的必然, 人们所生活的现实的 3 维客观世界为 3 维 GIS 提供了广阔的发展空间。

3 维城市是数字地球的重要组成部分, 本文从 3 维仿真景观和动态显示两个方面详细阐述了 3 维虚拟城市的实现。由于 3 维 GIS 是 GIS 将来发展的趋势和目标, 因此 3 维仿真技术与地理信息系统相结合, 有着非常广阔的应用前景, 诸如用于建立虚拟地球体系的结构、综合开发与治理的虚拟实验、科学可视化、土地管理、城市规划、考古模拟、军事模拟等等。

### 参考文献 (References)

- 1 Rui Xiao-ping Yang Cong-jun Zhang Yan-m in The explored research of city virtual reality [ J ]. Geography and Territorial Research, 2002, 18(3): 27~ 33 [芮小平, 杨崇俊, 张彦敏. 城市虚拟现实研究初探 [ J ]. 地理学与国土研究, 2002, 18(3): 27~ 33 ]
- 2 Chen Xiao-yong Ding Song-qing The urban planning application of 3D virtual reality system [ J ]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2006, 29(5): 32~ 35 [陈晓勇, 丁松庆. 3 维虚拟现实系统在城市规划中的应用 [ J ]. 测绘与空间地理信息, 2006, 29(5): 32~ 35 ]
- 3 Xiao Le-bin Zhong Er-shun Liu Ji-yuan et al Basic problem discussion of 3D GIS [ J ]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(9): 842~ 848 [肖乐斌, 钟耳顺, 刘纪远等. 三维 GIS 的基本问题探讨 [ J ]. 中国图象图形学报, 2001, 6(9): 842~ 848 ]
- 4 Yan Wei 3D technology model and animation design based on 3DSMAX and AutoCAD technology [ J ]. Journal of Huaihai Institute of Technology, 2000, 9(2): 24~ 28 [阎伟. 3DSMAX 与 AutoCAD 结合进行三维技术建模及动画制作方法 [ J ]. 淮海工学院学报, 2000, 9(2): 24~ 28 ]
- 5 Chen Haq Hong Jing-xin Chen Huifhuang Scene simulation technology based on multGen and vega technology [ J ]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2005, 44(3): 45~ 49 [陈昊, 洪景新, 陈辉煌. 基于 MultGen 和 Vega 的场景仿真系统技术 [ J ]. 厦门大学学报 (自然科学版), 2005, 44(3): 45~ 49 ]
- 6 Jiao Pei-gang Zhou Yi-rqi Wang Can-yun et al The discussion of visual simulation model optimized method [ J ]. Development and Innovation of Machinery & Electrical Products, 2006, 18(2): 43~ 47 [焦培刚, 周以齐, 王灿运等. 基于 Creator 可视化仿真建模优化方法的探讨 [ J ]. 机电产品开发与创新, 2006, 18(2): 43~ 47 ]
- 7 Wang Wei-hong Zhang Wen-jun Wu Ya-dong The research and practice based on MultGen/Vega virtual and reality technology [ J ]. Journal of Shanxi Normal University (Natural Science), 2003, 31(2): 12~ 18 [王卫红, 张文君, 吴亚东. 将 MultGen/Vega 虚拟现实场景用于 GIS 的研究与实践 [ J ]. 陕西师范大学学报 (自然科学版), 2003, 31(2): 12~ 18 ]
- 8 Yin Wen-sheng Dai Li-fhong Li Shi-rqi 2D and 3D linkage simulation system based on MFC and VEGA technology [ J ]. Computer Simulation Technology, 2006, 23(4): 21~ 26 [尹文生, 代丽红, 李世其. 基于 MFC 和 Vega 的二三维联动视景仿真系统 [ J ]. 计算机仿真, 2006, 23(4): 21~ 26 ]
- 9 Li Bao-jie Yu Fa-zhan Li Zhang-cheng et al The design and implementation based on OpenGL to simulate school cruise system [ J ]. Journal of University of Science and Technology of Suzhou (Engineering and Technology), 2006, 22(1): 18~ 22 [李保杰, 于法展, 李战成等. 基于 OpenGL 虚拟校园漫游系统的设计与实现 [ J ]. 苏州科技学院学报 (工程技术版), 2006, 22(1): 18~ 22 ]
- 10 Chen Yong Ma Chun-yong Chen Ge The research based on VC/OpenGL technology to simulate school navigation system [ J ]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2007, 19(2): 21~ 26 [陈勇, 马纯永, 陈戈. 基于 VC/OpenGL 的虚拟海大校园导航系统 [ J ]. 计算机辅助设计与图形学报, 2007, 19(2): 21~ 26 ]
- 11 Xue Heng-an Shang Ming The rational analysis of urban planning desing based on GIS [ J ]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2004, 18(1): 32~ 37 [薛恒安, 尚明. GIS 在城市规划设计应用中的理性分析 [ J ]. 城市勘测, 2004, 18(1): 32~ 37 ]
- 12 Yu Hai-feng Xing Gui-fen Zhang Kai The application of scene simulation based on virtual reality technology [ J ]. Computer Engineering & Design, 2006, 27(6): 27~ 32 [于海凤, 邢桂芬, 张凯. 虚拟现实技术在视景仿真系统中的应用 [ J ]. 计算机工程与设计, 2006, 27(6): 27~ 32 ]