

文章编号: 1007-4619 (2003)06-0445-06

扬州经济开发区三维演示系统研制

荐 军¹, 庄永祥², 吴国庆³, 赵志刚⁴, 孙晋岳⁴, 高雪迪¹, 常原飞¹, 吴俊杰⁴, 乔彦友¹

(1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 扬州经济开发区管委会, 扬州 225009;

3. 扬州市信息化领导小组办公室, 扬州 225009; 4. 上海炎黄在线集团, 上海 201300)

摘 要: 提出建立城市三维演示系统的一套技术流程, 并针对其中的主要环节提出了可行的优化解决方案。该流程从房产数据、国土数据和规划数据等基本数据出发, 利用数据分层存储的特性抽取有关建筑物、道路、水系及地形的空间数据和属性数据, 并与实际采集的纹理数据结合起来, 生成高分辨率城市三维演示数据。以此为基础建立城市三维演示模型。并利用 Visual C++6.0 和 Open GL 开发了三维演示模块, 实现城市三维数据的逼真演示。在该流程的支持下, 建立了扬州经济开发区三维演示系统, 验证了技术的可行性和有效性。

关键词: 城市三维演示; 地理信息系统; 数字城市; 优化; 三维重建

中图分类号: TP39/P208 **文献标识码:** A

1 引 言

城市是三维空间中集自然、地理、经济、文化于一体的复杂系统, 信息技术可以在促进其发展过程中发挥巨大作用。随着技术的飞速发展, 城市信息化应用已经进入一个崭新阶段, 即要建立数字化的城市, 三维演示是其重要技术环节之一。数字城市就是要利用地理信息系统(GIS)、遥感和全球定位系统等技术来实现城市地理信息的实时采集、传输、存储、管理、分析和应用。在时空数据模型的支持下, 有关城市发展的空间信息和属性信息被存储于海量地理信息数据库中, 从而实现城市现实情况的数字化描述, 为城市信息应用提供真实的数据基础。而这些数据在应用和分析时, 有关结果必须通过可视化技术还原成现实环境, 才能被人们所理解和接受, 而城市三维演示技术则是重要的可视化途径。如何从海量地理信息数据出发建立三维演示系统是必须解决的问题, 也是近年来空间信息科学的研究重点之一^[1-3]。

数据是进行三维演示的基础, 根据数据用途及特性的不同, 建立三维演示的技术流程也大不相同,

且演示效果也存在着一定的差异。从大比例尺正射影像数据出发, 利用摄影测量技术来取得城市建筑物、地形及基础设施等产生特征的三维参数, 然后构建三维演示模型, 是一种比较直接的方法, 也是现在很多城市所采用的方法。该方法的优点是数据比较单一, 而且反映了城市的最新情况, 因而在开发时有着明确的技术流程, 能够较快地完成三维演示数据的生成。但是, 其缺点也是非常明显的, 即必须有高分辨率的正射影像数据来支持, 而这往往就需要对城市进行一次全面航空摄影飞行, 不仅成本高, 而且总的周期也比较长。另外一种方法就是充分利用现有的地理信息数据源, 从中抽取三维重建所需要的信息, 及时生成三维演示数据。这种方法既不需要额外的航测飞行费用, 又比较灵活, 可以随时针对任何区域进行生成。它不仅充分发挥海量数据库的作用, 也符合数字城市循序渐进式的发展战略, 因此值得大力提倡。

本文将细致分析这种技术流程内部构成, 并针对其中的主要技术环节进行深入研究, 提出优化解决方案。在这种技术流程的支持下, 我们建立了扬州经济开发区三维演示系统, 从而验证了其可行性。

收稿日期: 2003-06-23; 修订日期: 2003-07-29

基金资助: 国家自然科学基金(40271001)和江苏省重大科技专项(980100)资助。课题编号为7002A134078; rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 荐军(1975—), 男, 山东诸城人。2001年毕业于西北大学地质学系, 获硕士学位。现在中国科学院遥感应用研究所攻读博士学位, 主要研究领域为地理信息系统, 数字城市等, 已发表论文4篇。Email: jianpanda@sohu.com

2 数据源分析

扬州经济开发区位于扬州市区西南部,行政区划面积 72km^2 ,共有 15.5 万人,两个乡镇,两个街道办事处。已经开发 46km^2 ,分为生活区、工业区和沿江经济带,港口工业园区(位于沿江经济带)包括纺织和化工两个工业园区。市政府各个主要职能部门如国土、规划、房产等在开发区都有相应的派出机构,仍然称为国土局、规划局和房产局等,分别负责相应的业务。

2000 年完成实测数据成图,基础较好。规划局数据采用扬州市地方坐标系,有 1:1000 地形数据、各种规划数据、城市基本要素数据等。这些数据都是 CAD 格式的,主要是工程用的,只有空间位置数据,而无相应的属性数据,因而不是地理信息系统意义下的数据库。但是,在这种格式的数据库中,又通过不同的编码及文字注记隐含着大量的属性数据,如街道名、建筑物的平面地图和楼层高度等,因此可以通过数据抽取来获得很多有用的数据(图 1 为规

划局数据示意图)。

国土局现有 1:500 地籍数据、1:10000 土地利用数据等,是以 Mapinfo 格式存储和管理的,通过地籍信息系统来完成土地局日常业务办公,如批地、权属变更、发放宗地证等。通过日常运行,土地利用数据在不断地进行更新,从而保证了数据的现实性和有效性。

房产局主要管理房产的信息,现有数据只有属性数据,而没有空间数据,在使用时应与国土局及规划局的数据结合起来。

其它如建设局、环保局、水利局等也都有一些积累数据,但与建立三维演示系统关系不大。所有这些数据都分散在不同部门,也存在着很多重叠甚至矛盾之处,不利于信息的共享。为了解决这一问题,我们在 863 项目的支持下建立了开发区基础地理信息平台,在将这些数据进行分类整理和标准化之后,分别存储于不同的服务器上,在网络环境支持下实现广泛的数据共享,使得所有部门都有了统一的地理数据框架,也方便了各种应用系统的开发。三维演示系统就是在该平台数据的支持下开发的。



图 1 规划局数据示意图

Fig.1 The Data of Urban Planning Bureau

3 三维建模过程

根据开发区现有数据特点,我们采用如下过程建立三维演示系统:

3.1 数据预处理

对现有数据进行手工编辑和格式转换,例如将CAD格式的数据转换成系统所能接受的矢量数据格式,将Mapinfo结构的地籍信息数据和土地利用数据转成本系统的数据结构。在完成数据格式转化的基础上,再进行坐标系转换,使得国土数据、规划数据和房产数据都采用统一的坐标系。

3.2 DEM数据生成

规划局数据中有大量的地面高程数据,它们以文字注记的形式出现,由于它们有着共同的编码特征,因此可以很容易地生成所有高程点的地理坐标和它们的高程数据,从而形成专门的点状图层,而高程值则存储在属性数据库中。

整个开发区的高程点分布非常密集,共有10多万个,如果将它们全部用于DEM数据的生成,在进行三维显示时,其显示速度将会非常慢,从而影响三维显示的逼真程度。事实上,整个开发区非常平坦,高程的最大差距控制在几米范围之内,大部分相邻高程点的高程差距仅仅是零点几米,因此没有必要使用这么多的点。为了解决这一问题,我们提出了一种基于斜率的稀疏算法,将大量影响不大的高程点去掉。在进行稀疏化处理时,要充分考虑高程点与其周围高程点的关系,使得一个高程点的去除不会显著影响DEM的生成效果。

在稀疏后的高程数据基础上,利用三角网算法,可以快速生成TIN(不规则三角网)和DEM数据。

3.3 背景数据提取

背景数据包括道路、水系、植被覆盖等,存储在土地利用数据库和规划数据库中。可以利用编码的不同,分别抽取这些数据,包括它们的空间数据和属性数据。然后,再对这些数据进行编辑,如节点闭合处理等。

3.4 建筑物数据提取

建筑物是三维演示的主要内容,为此就必须提取基本的建筑数据。在规划数据中,具有对建筑物的平面坐标描述,另外建筑物的高度则被作为文字

注记。通过编码特点,可以分别提取建筑物平面坐标,以及建筑物的高度(楼层数),分别形成两个不同的图层。建筑物平面数据必须是封闭的,而在规划数据中却并不一定完全封闭,为此必须对提取的平面数据进行封闭处理,并去除多余的边界。在高度数据和建筑物平面数据之间进行空间叠加运算,可以得到每幢建筑物的高度,并作为建筑物的属性数据进行存储,形成建筑物数据库。

3.5 纹理采集

根据三维建模的需要,实地采集需要的纹理。采集是用数码相机来完成的,为了使得采集结果不致产生混淆,在平面地图上进行了标记,每采集一栋建筑物后,都在平面地图上该建筑物的位置上标明其纹理文件的编号,以便室内处理时用。

纹理包括不透明纹理和透明纹理,用于建筑物、道路、水面、树木、草地等地物。在所采集数字照片的基础上,用Photoshop等图像处理软件进行纠正处理后,以TIFF或JPEG格式存储,作为模型纹理库。

3.6 建筑物三维建模

建筑物三维建模是通过3D MAX软件来完成的。首先,利用平面数据中建筑物的平面位置以及高度数据,形成三维的建筑物。将在Photoshop中纠正过的实地采集数码照片粘贴到建筑物上,并在其中栽上树木、花草等。这样,就把真实世界在计算机中虚拟再现了出来,生成更加逼真、生动的三维模型。每栋建筑在初步建立了三维模型以后,还要进行优化,以便减少不必要的冗余数据,提高三维演示的效率。

4 演示模块开发

在完成三维建模以后,要通过演示模块来进行显示,如漫游、放大、自动行走等,以便观众能身临其境般了解城市的各个侧面。由于开发区建筑物的总数比较大,现有的演示模块很难胜任,因此我们从底层出发,利用开发工具Visual C++6.0和OpenGL开发了专用的演示模块。

4.1 功能需求分析

整个演示模块应该具备如下一些功能:

(1) 数据引擎

从GIS公用平台提取(待显示区域)DEM数据、数字正射影像数据、建筑物模型数据(或建筑物空间

和属性数据,包括代码、空间位置、轮廓、名称、高度、层数、纹理等)。

(2) 模型库

存储三维建筑物模型、路灯模型以及树木、道路等物体的贴图。模型根据其位置和类型提供索引,贴图则提供其贴图 ID。

(3) 三维显示引擎

根据数据引擎提供的数据实时构建三维影像。首先将 DEM 与数字正射影像图叠加生成三维地面景观图像,在此基础上将三维建筑物模型进行纹理贴图,然后叠加在三维地面模型上,并添加其它地物实体(如路灯、树、雕塑等),进一步形成三维数字景观模型(Digital Landscape Model)。最后在三维数字景观模型基础上叠加特定的专题图层,优化显示效果,使三维显示在美观实用的基础上更加人性化。

(4) 三维漫游

在三维数字模型的基础上,在指定区域内,按照用户操作进行三维漫游,从而直观地观察区域内的三维地理信息。用户操作工具包括键盘和鼠标,均可控制漫游方向、观察高度、俯仰角度。

(5) 三维模拟飞行

在三维数字模型的基础上,在指定区域内,按照用户定义进行三维景观模拟飞行,从而直观观察区域内的三维地理信息。用户可定义的参数包括飞行路线、观察方向、俯仰角度、飞行高度、飞行速度等。

4.2 开发步骤

4.2.1 数据引擎

数据引擎包括与 GIS 平台的接口、数据优化模块以及数据存储模块三部分。

与 GIS 平台接口根据 GIS 平台的接口规范,从 GIS 平台和模型库中提取 DEM、道路、水系、人行道、植被以及与之对应的模型和贴图等数据。

数据优化模块将各种数据优化成 OpenGL 显示速度较快的三角带、三角扇等格式的数据。

数据存储模块将优化后的数据存储为文件,供三维显示引擎随时调用。

下面重点对数据优化的方法进行描述:

(1) DEM 优化

DEM 优化有两种方式:

a) 基于三角网的优化

根据从 GIS 平台提取的高程点数据构造不规则三角网(TIN),然后用基于斜率的稀疏算法对该三角网进行处理,剔除斜率变化较小的点,减少三角形的数目。

b) 基于网格的优化

根据从 GIS 平台提取的高程点数据构造网格(DEM 或 GRID),将其划分为 4×4 的小块,利用 LOD (Level of Design)算法,将每个小块分出 5 种精度等级(图2)。图中圆点代表使用的点,方点为没有使

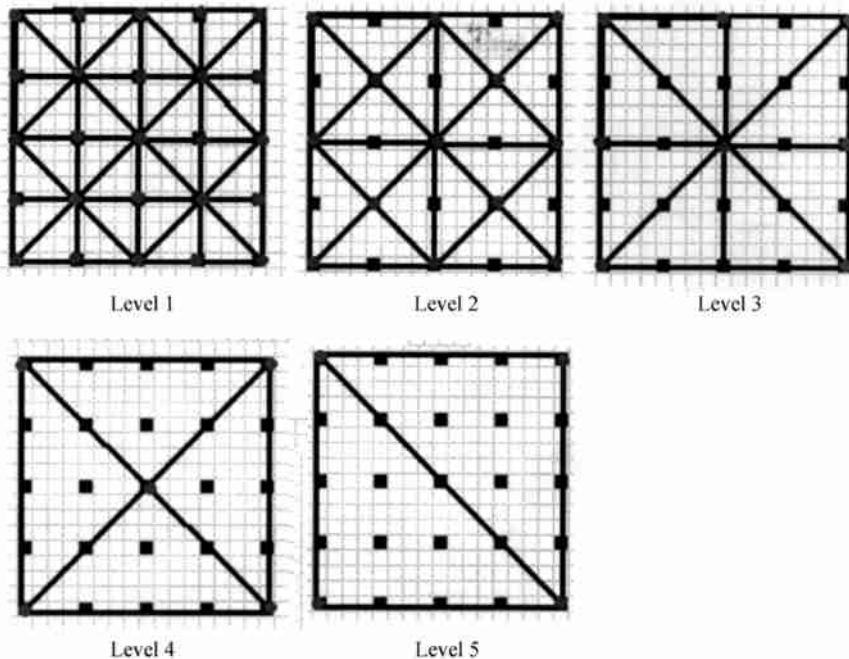


图 2 LOD 的精度等级

Fig.2 The levels of LOD

用的点。Level 1 中 4×4 个点都被使用了,而 Level 5 中只使用了 1 个点,注意左边与下边的点是“借用”了相邻的小块的点。显示时根据每一小块与观察点(眼睛)的距离不同使用不同的等级^[4,5]。

这两种优化方法各有优缺点,基于三角网的优化可以在三角形数目最少情况下表达更详细的地形特征,但在三维显示时不能使用随机贴图,并且在程序中实时化简的难度较大,需要用到 BSP 树;基于网格的优化生成的三角形数目较多,但可以使用随机地面贴图,程序中实时优化的实现也比较简单。程序中对不同的表现方式使用了不同的优化方法,TIN 点之间的距离约为 12m,DEM 使用的是 2m 的格网。

(2) 水系优化

将位于水系多边形内部的高程点设为相同的高度(低于水面高度,例如 0m),显示时定义一个高度为水面高度的水平面,使用 OpenGL 函数 `glClipPlane` 对数字地面模型进行裁剪显示水系。

(3) 道路、人行道、建筑物内部草地、建筑物地面优化

将 DEM 与道路等多边形数据叠加,计算出多边形各顶点的高度值和在多边形内部的 DEM 高程点,最后对多边形及其内部的高程点进行有边界限制的三角网化,形成三维显示需要的数据。

(4) 建筑物模型优化

三维建筑物模型的存储格式为 *.3DS,它将建筑物分解为由不同贴图、顶点和三角形组成的物体(Objects),将这些数据读入后,根据顶点斜率的变化对模型进行简化,剔除斜率变化较小的点,最终每处建筑物形成精度依次降低的三个不同文件。显示时依据建筑物与观察点的距离显示不同精度的建筑物。

4.2.2 三维显示引擎

三维显示引擎是在 Visual C++ 环境下使用 OpenGL 库开发的。OpenGL 是开放式三维图形应用程序接口(API),它是惟一真正开放、独立于销售商、跨平台的图形标准。它具有稳定、可靠、可移植、易用等特点,且有丰富的文档资料。

利用 OpenGL 实现三维绘图具体来说要做以下工作:初始化 OpenGL 绘图环境,包括定义颜色格式和缓冲模式、设置光源、设置材质、定义投影方式等;显示物体;实现漫游、飞行等演示功能。

(1) 定义颜色格式和缓冲模式、设置光源、设置材质、定义投影方式

这些工作均为 OpenGL 三维编程所需要的基本配置工作。编程时采用的颜色格式是 RGBA 模式;采用双缓存来绘制图像,以增加图像的输出速度;程序为光源设置制定了一个无模式对话框,可以设定环境光(Ambient light)、漫射光(Diffuse light)、镜面光(Specular light)及其强度以及光源的位置,并能够实时观察光源改变后的效果。程序中材质的颜色值采用的是 3DS Max 中缺省的材质颜色;使用的抗影方式是三维效果更为逼真的透视投影。

(2) 显示物体

在 OpenGL 中显示物体非常容易,只需要在 `glBegin()`、`glEnd()` 函数之间根据一定的格式(三角形、三角扇、三角带等)列出物体的顶点以及每个顶点的贴图坐标、法线方向即可。为了提高显示速度,可以使用显示列表(Display List),且根据距离不同显示不同精度的物体。

地面显示时根据使用的数据的不同(TIN、DEM 格网)采用不同的优化方式;水系的显示可以用一个大的具有透明度的平面来切割地面,也可以采用三角网显示;树木显示采用的是两个互相垂直的贴图的长方形,这样在空中飞行时显示效果也比较真实;绘制建筑物时,首先取得建筑物中心点的高度,然后将坐标转换(函数 `glTranslate`)到此点,进行建筑物的渲染。

(3) 用户控制

用户控制的漫游、飞行等操作只需要根据当前观察点的三维坐标值以及获得的键盘、鼠标的输入值等参数设置 `glTranslate`、`glRotate` 函数即可实现。

5 结果运行

针对开发区沿江(15km²)及建成区(17km²),我们分别建立了三维数字模型数据库、纹理贴图数据库和建筑物三维模型数据库。这些数据可以通过三维演示模块来进行演示,进行三维可视化管理、分析及查询,以及三维环境下的漫游、模拟飞行;可对区域进行直观的观察,还可以进行网络环境下的三维显示结果发布,提供网上浏览功能。

图 3 为三维演示系统运行结果局部示意图。扬州经济开发区沿江 15km² 区域的三角形数目约为 24 万多个,经过测试,在 CPU 2.4GHz、内存 512MB、显卡为双敏(UNIKA)火旋风 Power9218(128MB 显存)配置的机器上刷新频率为 15 帧左右。

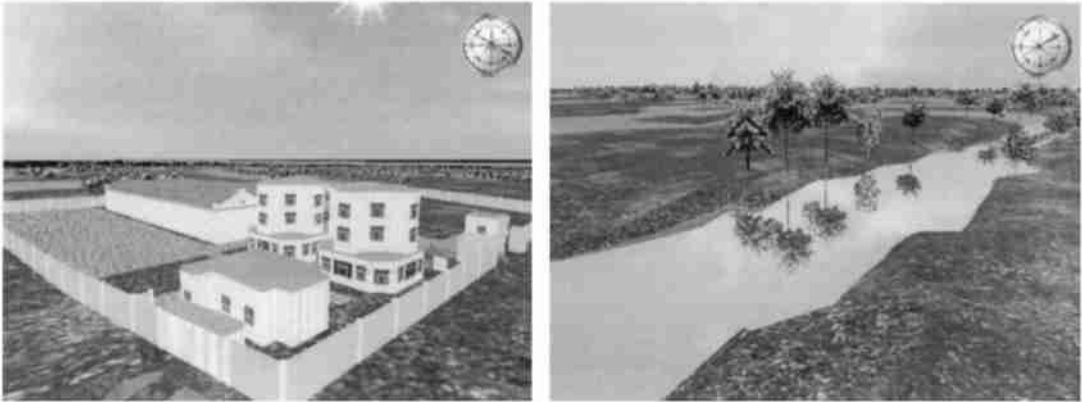


图 3 三维演示图

Fig.3 The Result of 3D Display

6 结 论

本文以扬州经济开发区三维演示系统的实际建设为例,提出了三维重建的一套技术流程,并针对其中的主要环节提出了可行的解决优化方案。主要解决了地理信息数据的整理与访问、三维建模、三维演示软件开发与优化等关键问题。进行三维重建所需的数据分别来源于房产、国土和规划等部门,并进行实地纹理采集。这一过程完全依赖于现有数据库中的信息,而不依赖航飞及摄影测量等手段,既可以节省费用,又充分发挥了海量地理信息数据库的作用,是一项非常有意义的工作,对于数字城市信息的可视化也具有重要的示范作用。

参 考 文 献 (References)

[1] Tang Hong, Sheng Yehua. Preliminary study of urban spatial informa-

tion and 3D urban GIS data model [J]. *Urban Surveying*, 2003, 3: 24-26. [城市空间信息的特点与城市三维GIS数据模型初探[J]. 城市勘测, 2000, 3: 24-26.]

[2] Liu Xiaoyan, Lu Guonian, et al. Design and building of virtual reality campus of Nanjing Normal University [J]. *Journal of Nanjing Normal University*, 2001, 24(1): 114-118. [刘晓艳, 闫国年, 张宏, 沈婕. 南京师范大学虚拟新校区设计与建设[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2001, 24(1): 114-118.]

[3] Li Deren. The concept, technology and applications of CyberCity, Theory and practice of Digital City, 2001. [李德仁. 数码城市(CyberCity)的概念、技术支撑和典型应用, 数字城市的理论与实践, 2001.]

[4] 3dExplorer Demo. <http://www.gameres.com/Production/3DExplorer/>

[5] Technique of Lod time topographic Romance. <http://www.gameres.com/Articles/Visual/3D/Roam/ROAM AND LOD MESH.htm>. [ROAM实时动态LOD地形渲染. <http://www.gameres.com/Articles/Visual/3D/Roam/ROAM AND LOD MESH.htm>]

Building 3D Visualization system of Yangzhou Economic Development Region

JIAN Jun¹, ZHUANG Yong-xiang², WU Guo-qing³, ZHAO Zhi-gang⁴, SUN Jin-yue⁴,
GAO Xue-di¹, CHANG Yuan-fei¹, WU Jun-jie⁴, QIAO Yan-you¹

(1. Institute of Remote Sensing Applications, Beijing 100101, China; 2. Yangzhou Development Administration Committee, Yangzhou 225009; China

3. Yangzhou Information Centre, Yangzhou 225009, China; 4. Chinese Online Group, Shanghai 201300, China)

Abstract: A methodology to build 3D urban visualization system is suggested, and optimized solutions to key problems are studied. Real estate data, cadastral data, and city planning data are the fundamental data. The data of buildings, roads, water system and topography are extracted, and they are used to build urban 3D visualization models. Texture data collected with digital camera are integrated with 3D building model to generate high resolution urban visualization data. Visualization procedures are developed with Visual C++6.0 and OpenGL to visualization the 3D data. With the help of this methodology, the 3D visualization system of Yangzhou Economic Development Region is constructed, and the efficiency of the methodology is proved.

Key words: 3D urban visualization; GIS; digital city; optimize; 3D model reconstruction