

引江济太虚拟景观系统关键技术的研究与实现

卞海红¹ 朱跃龙² 张新华¹ 徐立中²

(1.河海大学信息中心,江苏 南京 210098 ; 2.河海大学计算机及信息工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 :介绍了系统场景可视化采用的一些关键技术,开发了引江济太三维虚拟景观原型系统(YJJT3D 系统),用 OpenGL 作为底层图形驱动程序,以 VC++ 6.0 为开发工具,利用虚拟现实技术、多媒体技术和三维图形技术,实现了对大规模地形场景的实时动态显示、信息查询以及空间分析,并提出解决超大数据量数字高程模型快速显示的算法,将地物在地形中进行显示.该系统能在 PC 机上流畅地运行,图形的生成速度和质量较高.

关键词 :三维可视化;地形可视化;数字高程模型

中图分类号 :TP311 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2006)06-0709-04

三维可视化技术是我国水资源调度系统正在积极探索和研究的关键技术之一,其关键就是如何在低端 PC 机上用三维可视化技术简化工程量,模拟重现调度现场,向外界提供一个宏观、生动、立体的演示现场.

本文开发了引江济太三维虚拟景观原型系统(YJJT3D 系统),实现了对大规模地形场景的实时动态显示、信息查询以及空间分析.

1 三维场景的构造

三维虚拟景观系统具有如下特点和功能:能接受不同数据格式并实时动态显示三维地形;能依据地形特征对细分的 DEM 设置相应颜色,使用户对实际地形的高低起伏一目了然;增强模型的逼真性;可在地形之上叠加地物对象,模拟真实的场景信息;能够对场景中的对象进行空间分析等^[1].三维虚拟景观系统基本框架如图 1 所示.

1.1 地形数据的简化及实时显示

YJJT3D 系统的原始数据选用太湖全流域 1:100 000 的矢量等高线数据.系统采用克里格金平面插值法对等高线数据进行栅格化,得到格网 DEM 数据,然后对 DEM 数据进行三维地形可视化处理.

对于海量 DEM 数据的显示、空间操作,由于受到 PC 机性能的限制,如果不对地形进行简化处理,将会影响显示效果.因此,为能在中低档桌面工作站达到令人满意的实时显示交互操作效果,应采取一定的算法来简化地形数据.细节层次 LOD(Level of Detail)便是其中一种非常有效的控制场景复杂度的方法.

YJJT3D 系统结合视因素的 LOD 模型技术来处理大容量 DEM 数据的实时显示和简化.系统以栅格化后的格网 DEM 数据为基础,通过不同程度的稀疏采样来控制细节层次的精细度,以视因素决定所选取的 LOD 层次.具体算法如下^[2]:在格网 DEM 数据的基础上,对整个场景进行分块,以块为单位进行 LOD 化简,对每一块生成若干个不同详细程度的细节层次模型,并保存到多 LOD 模型库中.在绘制时,根据视点、视向因素决定各块应调用的模型层次.

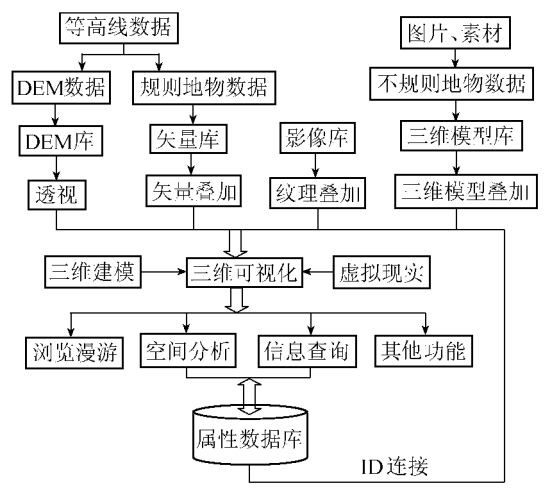


图 1 三维场景生成流程

Fig.1 Flow chart for 3-D scene generation

1.2 DEM的稀疏采样

在处理好格网 DEM 数据的基础上 ,DEM 数据简化算法对整个大范围进行地景分块 ,然后以块为单位进行 LOD 化简 ,对每一块生成若干个不同详细程度地层次模型 ,并保存到多 LOD 模型库中 ,在绘制时根据一定的度量标准决定各块应调用的模型层次 .此处的不同细节层次模型的生成采用的是稀疏采样技术 ,对于给定的位置规则的原始采样点 ,通过等间距网格重新采样 ,生成精细度较低的一级模型^[3] .

对于地形中的某一块来说 ,为其建立一个多 LOD 模型库 ,用来存放为其生成的多级精度模型 .第 1 层模型为最精致的一级 ,保留了该块的原始数据 ;第 2 层则对原始数据稀疏采样 ,抽取其中的部分网格点高程值 ,形成该块的第 2 级模型 ;对于再下一级 ,采样更少的网格点 .本文采用的稀疏采样示例如图 2 所示 .

图 2(a)表示某块中的原始采样点 ,LOD 简化时 ,第 1 级模型保留所有的点 ,第 2 级模型隔列重新采样后保留点 00 ,02 ,10 ,12 ,20 ,22(图 2(b)) ,第 3 级模型隔行隔列重新采样后保留点 00 ,02 ,20 ,22(图 2(c)) ,第 4 级可以隔行隔两列采样 ,以此类推 ,从而得到该块的多 LOD 模型库^[4] .

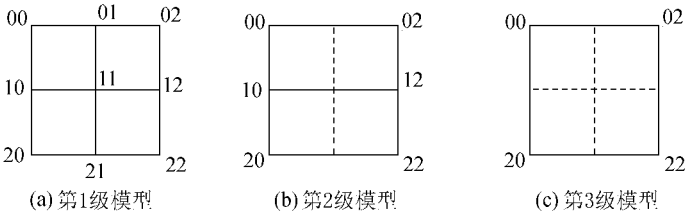


图 2 稀疏采样

Fig.2 Sparse sampling

1.3 视向模型

在数据调度过程中 ,采用了一个包含视点视向相关因子的表达式 , d 作为度量标准 ,以决定各块缩影调用的细节层次^[4] ,设坐标系原点为 $O(0,0,0)$,视点为 $V(x_{view}, y_{view}, z_{view})$,目标点坐标为 $P(x_p, y_p, z_p)$,则易得视点与目标点之间的距离

$$d = |VP| = \sqrt{(x_p - x_{view})^2 + (y_p - y_{view})^2 + (z_p - z_{view})^2} \tag{1}$$

由于视点在垂直方向上移动对于视点与各 DEM 块之间相对距离的影响及其微小 ,所以可将此度量标准从三维空间简化为二维平面 ,这样

$$d = \sqrt{(x_p - x_{view})^2 + (y_p - y_{view})^2} \tag{2}$$

在实际的视觉效果中 ,模型的详细程度不仅与视点位置有关 ,跟视线方向也有关系 ,所以在考虑视点因素之外 ,对于 d 表达式还加入了一个视向相关因子 e , $\tilde{d} = d + de$,取因子

$$e = \frac{1}{2} \sin \theta \tag{3}$$

综合式 (1) 和 (2) ,得到 d 的最终表达式 :

$$\tilde{d} = \left(1 + \frac{1}{2} \sin \theta\right) \sqrt{(x_p - x_{view})^2 + (y_p - y_{view})^2} \tag{4}$$

于是 ,各块与视点的相对距离用该块的中心点来代表 ,比较并排列其大小 . d 值最小的块即为视点最敏感块 ,显示时调用该块的最精细一层模型 ,即第 1 层模型 ,其次小的若干块调用第 2 层模型 ,以此类推 , d 值最大的块调用最粗糙的一层模型 .

具体实现时采用上述 LOD 简化算法进行模型简化 ,其实现分为两步 (a) 为物体建造一组详细程度不同的模型 (b) 建立好约定 ,即根据目标点与视点的关系调用相应的模型层次 .

在 YJJT3D 系统中 ,将 $273\text{ km} \times 273\text{ km}$ 的 DEM 数据分成 1000×1000 块 ,各块生成 4 个不同的细节层次 ,其稀疏采样规则分别取隔列、隔行隔列、隔行隔两列 ,度量标准按照式 (4) 计算 .

由于采用分块绘制 ,倘若边界点不是某层的采样点 ,即会导致绘制时两相邻块中某方或双方边界的改变造成二者不能准确接合的情况 ,形成块与块之间的裂缝 .为避免出现这种现象 ,限定边界点必须为采样点 ,这样可确保边界不被丢失或改变 ,实现块与块之间的平滑过渡 ,从而保证整个地形的完整性 ,这点在简化实现中尤其需要保证 .

采用 DEM 数据简化算法 ,很容易发现第 2 层数据量是原始 3 点数的 $1/2$,第 3 层为 $1/4$,第 4 层为 $1/6$,大大地减少了显示时的数据量 .实践证明 ,上述算法大大加快了大数据量三维地形的绘制 ,其漫游和空间分析的速度都令人十分满意 .

1.4 三维地形的伪色彩增强

对地形特征的描述可以针对地形的高程依据分层设色思想来实现 ,也可以针对地形的坡度设置颜色来

实现.本系统为提高三维地形的显示及浏览速度,采用分层设色方法(hypsometric tending method),根据相应区域的实际地形设定几个高程的经验值作为分层设色时的阈值,使用户对地形的高低起伏和高程分布等状况一目了然.分层设色方法较单一颜色均匀着色的方法其晕渲模型更具有立体感和真实性^[5].

本文采用 Gouraud 插值算法^[6]实现地形着色渲染及地形的分层着色处理.如图 3 所示,设 $\Delta V_1 V_2 V_3$ 各顶点对应的颜色值分别为 I_1, I_2, I_3 , 则三角形内任意一点 $V_p(x_p, y_p)$ 的颜色公式为

$$I_p = \left(I_1 \frac{y_4 - y_2}{y_1 - y_2} + I_2 \frac{y_1 - y_4}{y_1 - y_2} \right) \frac{x_5 - x_p}{x_5 - x_4} + \left(I_3 \frac{y_5 - y_2}{y_3 - y_2} + I_2 \frac{y_3 - y_5}{y_3 - y_2} \right) \frac{x_p - x_4}{x_5 - x_4}$$

(5)

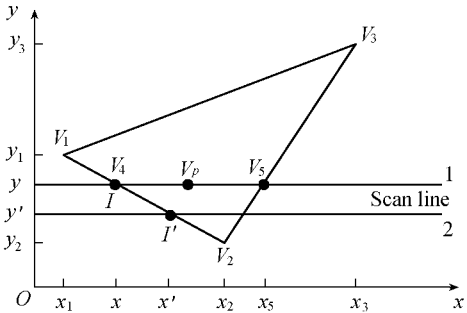


图 3 Gouraud 线性插值

Fig.3 Gouraud linear interpolation

假设点 $K(x, y)$ 的颜色值为 I , 则采用扫描线增量算法可获得三角形的边 $V_1 V_2$ 与扫描行 2 交点的颜色值为

$$I' = \left(I_1 \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} + I_2 \frac{y_1 - y}{y_1 - y_2} \right) + \frac{I_2 - I_1}{y_1 - y_2}$$

(6)

在对地形进行分层着色处理时,确定目标区域 DEM 数据的最大和最小高程值($H_{\max}, H_{\min}$)以及其高差值 ΔH ,假设可用颜色有 n 种,则可将其均匀分为 n 个高差($h = \Delta H/n$)的高程带,此时每个高程带 H_{height} 和颜色之间的对应关系即为

$$H_{\text{height}} = \begin{cases} I_i & \text{若 } H_{\text{height}} \leq H_{\min} \\ I_{i+1} & \text{若 } H_{\min} < H_{\text{height}} \leq H_{\max} \end{cases}$$

(7)

这样在对每个高程点的面片进行颜色绘制时,各点的颜色根据扫描线增量法内插的高程表即可得到.

1.5 地物的叠加

用 OpenGL 生成的三维地形图,虽可赋予材质和对其进行光照,但其表面还是过于单调和平滑.YJJT3D 系统在三维地形上叠加模型地物,从而增强地形图的显示效果.该系统中的原始数据包括地形、地物、纹理及三维模型等数据.其中,地物主要包含闸门、枢纽、河流、道路、植被等;纹理主要包含正射影像以及一些地物的表面纹理;三维模型则是为了某些特殊地物的需要而利用 3DMAX 等建模软件所建立的模型.

在通常的 GIS 软件中,一般将地物分为点、线、面及混合 4 种类型.YJJT3D 系统按照水利领域中地物的三维显示特点,将地形中的地物分为 3 类进行显示.

a. 闸门、枢纽类地物.对于不规则地物,在该系统中数据源主要是 3DMAX 三维模型,将其转换成 OpenGL 格式文件,利用 glCallLis()函数读取 3DS 模型进行叠加^[7].

b. 河流、道路类地物.对于河流、道路地物,根据其中心线及宽度得到剖分三角形,然后再对每个三角形贴上道路的纹理.

c. 湖泊类地物.同河流类地物一样,湖泊类地物也是先画出它的剖分三角形,然后贴上水波纹理.

以上是三维地形中不同类型地物的显示方法.对于不同的地物,其三维显示方法也有所不同.如果希望对地物有更详细的描述,可以在每个地物的显示列表中加入详细分类绘制.

2 YJJT3D 系统的实现

引江济太三维虚拟景观原型系统(YJJT3D 系统)将三维可视化技术与虚拟现实技术相结合,并利用数据库技术,以太湖流域 1:100 000 矢量等高线数据为处理对象,在继承二维可视化技术的基础上,建立虚拟的太湖流域三维场景(图 4).

笔者采用 OpenGL 作为底层图形驱动程序,以 VC++6.0 为开发工具实现 YJJT3D 系统.场景可视化程序的流程如下:

a. 系统初始化.此过程包括设置图形运行环境、加载三维视景数据库、初始化各类参数、导入场景模型、建立对象的显示列表.

b. 图形渲染及帧循环.根据从外设和系统设置中产生的状态参数,实现对场景的实时渲染.

c. 释放对象占用的内存,程序结束.

YJJT3D 系统读取各种类型的数据文件,均采用 VC 调用组织数据结构并显示,允许对几何数据及属性数据进行编辑修改。系统提供基于三维界面的查询,即用户能对工程中关键地物要素进行查询识别和数据浏览,如了解指定物体的空间位置和属性信息,从而实现相应的操作。

3 结 语

本文讨论了引江济太三维虚拟景观原型系统(YJJT3D 系统)的设计和实现,并介绍了系统场景可视化中采取的一些关键技术。目前,该三维可视化系统已经投入使用,能够在微机上流畅地运行,图形的生成速度和质量较好。该系统具有三维查询与空间分析功能,但该系统在处理复杂场景时,譬如对超大规模地形 4 级模型数据点的采样量依然很大,并随着复杂地物数量的增加,图形显示有略微停顿,这些问题有待进一步探讨。

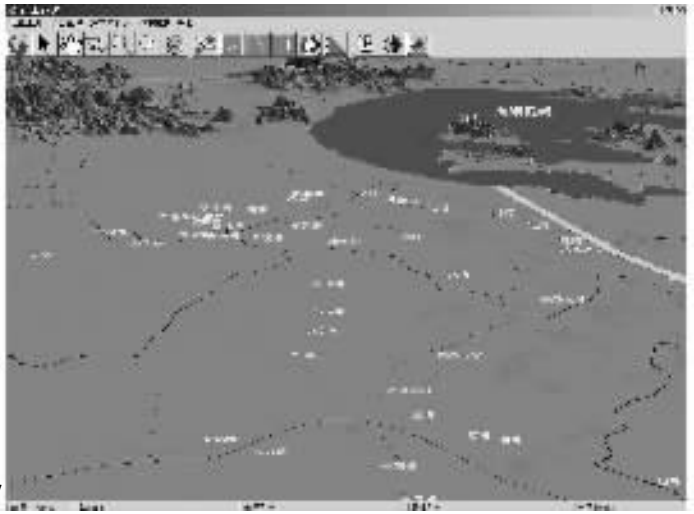


图 4 引江济太虚拟视景

Fig.4 Visualized scene for water diversion from Yangtze River to Taihu Lake

参考文献:

- [1] 王新光. 基于模型驱动的实时交互式三维场景构建方法及其在水利上的应用研究[D]. 南京: 河海大学, 2002.
- [2] 李军, 景宁, 吴秋云, 等. 基于面向对象数据库的三维 GIS 实验系统[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(7): 880-885.
- [3] GARLAND M, HECKBERT P. Surface simplification using quadric error metrics[C]//SIGGRAPH Proceedings. Computer Graphics, New York: ACM Press, 1997: 209-216.
- [4] XIA J C, VARSHNEY A. Dynamic view-dependent simplification for polygonal models[C]//Yangel R, Hagen H. IEEE Visualization '96, Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1996: 327-334.
- [5] 张立强, 童小华, 杨崇俊, 等. 三维地形的动态生成及空间分析[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2003, 31(6): 738-742.
- [6] DONALD H, BAKER M P. Computer graphics C version[M]. Peiking: Original Edition Published by Prentice Hall, Inc, 1998: 523-526.
- [7] 费广正, 乔林. Visual C++ 6.0 高级编程技术——OpenGL 篇[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000: 87-122.

Crucial techniques for implementation of scene visualization for water diversion from Yangtze River to Taihu Lake

BIAN Hai-hong¹, ZHU Yao-long², ZHANG Xin-hua¹, XU Li-zhong²

(1. Informaiton Center, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Computer and Information Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract An introduction was given to some crucial techniques for scene visualization. With OpenGL taken as driving program for bottom graph treatment and VC++ 6.0 taken as development tool, a 3-D scene visualization system for water diversion from Yangtze River to Taihu Lake (YJJT3D) was developed by use of visual reality technique, multimedia technique, and 3-D graphic technique; thus the real-time dynamic display, information inquiry, and spatial analysis of large-scale terrain were realized. Moreover, the algorithm for fast display of DEM with a great deal of data was proposed, so that the geographic characteristics can be displayed in terrain. The system can be applied in PC with high speed and quality for graphic generation.

Key words 3-D visualization; terrain visualization; DEM