

# 基于三维 GIS 的地形可视化研究及实现

卞海红<sup>1</sup>, 王 峰<sup>2</sup>

(1. 河海大学 信息中心, 江苏 南京 210098;

2. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450011)

**摘 要:**给出了一个适用于水利领域的三维可视化系统的组成, 介绍了解决超大数据量数字高程模型(DEM)快速显示的算法, 将地物在地形中进行显示, 研究了基于三维场景空间分析的理论, 最后对系统的实现作了简要介绍。实践表明该系统能在 PC 机上流畅地运行, 图形的生成速度和质量令人满意。

**关键词:**三维可视化; 地形可视化; 数字高程模型; 空间分析

**中图分类号:** TP391.9; P208

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2006)07-0230-03

## Research and Implementation of Terrain Visualization Based on 3D-GIS

BIAN Hai-hong<sup>1</sup>, WANG Feng<sup>2</sup>

(1. Information Center of Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

**Abstract:** Introduces the complement of simulation of driving water from Changjiang to Taihu system, that is a 3D visualization system used to the water conservancy. And the technology of how to display huge volume of digital elevation model(DEM) data is introduced, and spatial analysis is studied based on the terrain created using DEM. In the end, the paper introduces the process of the implementation in brief. The practice improved that this system can run well in PC with satisfied speed and quality to generate graphics.

**Key words:** 3D visualization; terrain visualization; DEM; spatial analysis

### 0 引言

水资源调度, 又称水利调度(water project operation), 即“为兴利除害, 综合利用水资源, 合理利用水工程和水体, 在时间和空间上对径流进行重新分配, 以适应国民经济各部门的需要<sup>[1]</sup>。”解决太湖流域水污染问题一直是中国水污染治理的重点。2001 年, 国务院批复《太湖水污染防治“十五”计划》, 确定实施引江济太生态调水工程, 扩大引水规模, 改善太湖水质。

目前中国水资源调度系统中也在积极探索三维可视化技术与应用研究, 希望突破传统二维形式的二视图, 通过三维可视化技术简化工程量, 模拟并重现调度现场, 向外界提供一个宏观、生动、立体的演示现场。

笔者在参加水利部科技创新项目“引江济太三维动态模拟系统”期间, 开发了引江济太三维虚拟景观原型系统, 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。

### 1 三维场景的构造

一个三维虚拟景观系统应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; 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信息查询, 并进行空间分析等。

本系统的基本框架如图 1 所示。以下将就其中的几项关键处理技术作详细探讨。

#### 1.1 地形数据的简化及实时显示

系统中的原始数据采取太湖全流域 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 数据进行了三维地形可视化。

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, 为了在中低档桌面工作站上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。

系统中结合视因素的 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

收稿日期: 2005-10-30

作者简介: 卞海红(1979-), 女, 江苏盐城人, 硕士, 工程师, 研究方向为计算机图形学、计算机网络与应用。

算法如下<sup>[2]</sup>: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。下面对该算法的主要技术进行介绍。

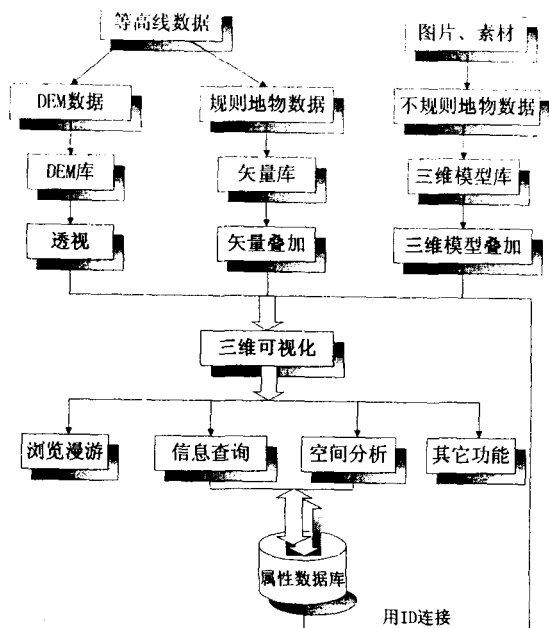


图1 三维场景生成流程图

#### (1) DEM 的稀疏采样。

该算法在处理好的格网 DEM 数据的基础上,对整个大范围地形分块。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的层次模型,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,通过等间距网格重采样,生成精细度较低的一级模型<sup>[3]</sup>。

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。第一层模型为最精致的一级,保留了该块的原始数据;第二层则对原始数据稀疏采样,抽取其中的部分网格点高程值,形成该块的第二级模型。对于再下一级,采样更少的网格点,在文中所采用的稀疏采样示例如图2所示。

图2左图表示了某块中的原始采样点,LOD 简化时,第一级模型保留所有的点,第二级模型隔列重采样后保留点 00,02,10,12,20,22,第三级模型隔行隔列重新采样后保留点 00,02,20,22,第四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<sup>[4]</sup>。

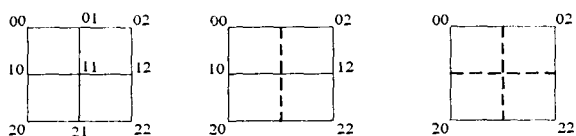


图2 稀疏采样

在简化过程中由于采用的是分块绘制,为了确保边界

不被丢失和改变,边界点必须为采样点,这样就能够实现块与块之间的严密结合,并保证地形的完整性。

#### (2) 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<sup>[4]</sup>。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  $d = |VP| =$

$$\sqrt{(x_p - x_{view})^2 + (y_p - y_{view})^2 + (z_p - z_{view})^2}$$

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极其微小,所以可将此度量标准从三维空间简化为二维平面,这样

$$d = \sqrt{(x_p - x_{view})^2 + (y_p - y_{view})^2} \quad (1)$$

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的因子,  $d = d +$

$$d * \text{element}, \text{取因子 element} = \frac{1}{2} \sin \theta \quad (2)$$

综合(1)、(2)两式,得到  $d$  的最终表达式:

$$d = (1 + \frac{1}{2} \sin \theta) \sqrt{(x_p - x_{view})^2 + (y_p - y_{view})^2} \quad (3)$$

实现时可考虑各块与视点的相对距离用该块的中心点来代表,即计算视点与目标块中心点对应的  $d$  值,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,即第一层模型,其次小的若干块调用第二层模型,以此类推, $d$  值最大的块调用最粗糙的一层模型。

在系统中将  $273\text{km} \times 273\text{km}$  的 DEM 数据分成  $1000 \times 1000$  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,度量标准按照公式(3)计算。

采用该算法,很容易发现第二层数据量是原始三点数的  $1/2$ ,第三层为  $1/4$ ,第四层为  $1/6$ ,大大地简化显示时的数据量。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十分令人满意。

#### 1.2 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<sup>[5]</sup>。这是因为现实世界中物体具有其表面细节,在系统中采用在三维地形上叠加模型地物来增强地形图显示效果。系统中的原始数据包括地形、地物、纹理以及三维模型等数据。其中,地物主要包含闸门、枢纽、河流、湖泊、道路、植被等;纹理主要包含地形表面粘贴所需的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、面及混合四种类型。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四类进行显示。

①闸门、枢纽类地物:对于不规则地物,在该系统中数据来源主要是 3DMAX 三维模型,将其转换成 OpenGL 格式的文件,用 TIN 模型显示。

②河流、道路类地物:对于河流、道路地物,根据它的中心线及宽度得到其剖分三角形,然后再对每个三角形贴上道路的纹理。

③对于湖泊类地物:同河流类地物一样,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,其三维显示的方法也有所不同。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的分类绘制。

## 2 信息查询与空间分析

### 2.1 信息查询

系统中利用 OpenGL 中的拾取与反馈机制,实现了工情信息、水文信息以及工程信息的查询。具体实现步骤如下:

①在绘制场景中不同类型地物的同时,向名称堆栈中推入该地物类型的类别号;再在绘制每一个类型的单个地物时,向名称堆栈中推入该地物的 ID 号。

②得到屏幕上的查询点坐标后,进入选择模式,重画场景,同时得到查询点坐标附近小范围在三维空间中的范围矩阵。

③OpenGL 返回一个在该范围矩阵内的所有对象对应的有关信息(名称堆栈),分析名称堆栈中的信息,得到选中对象的类别号与 ID 号。

④最后,将 ID 号用 VC++ 6.0 与数据库通过 ODBC 连接,利用简单的 SQL 语句:Select \* From 属性表 Where ID=" \* \* \* \* \*",从数据库中选择记录并用对话框返回地物信息。

在查询过程中可能得到若干个选中的对象,它们都在查询点坐标范围内,只是深度不同。可根据返回信息中对象的最大最小深度来选择离屏幕最近的对象。

### 2.2 水淹分析

水淹分析的主要目的是在三维地形上表现水淹没状况并为水淹造成的损失进行评价。在水文中通常是通过求解控制水流运动的二维浅水方程,建立大坝瞬间全溃或局部溃倒所致的洪水演进过程数学模型,用该模型对水面曲线进行数值计算。该模型能够较为真实地模拟出实际的洪水演进过程,但局限于二维的模拟<sup>[6]</sup>。

基于能够更加真实表现水淹三维模拟的思想,系统采用种子蔓延算法,其算法思想为:从水源点 P 开始,按照左上右下的顺序判断与其邻接的点的高程值是否高于水源点 P 的高程值。若高于水源点 P 的高程值,该点则不被淹没;否则,该点被淹没,淹没点成为下一比较过程的种子点,直至 4 个邻接点的高程值均高于该过程种子点高程值,判断过程结束。这样,从水源点出发,可以确定所有被

淹没点,形成淹没区域。系统根据上述算法思想,实现了判断地形上任一点为水源的淹没区域。代码如下:

```

BOOL WATER_3DCtrl::Searchseed(Cpoint point)
{
    marked[point.x][point.y] = 1;
    flood[point.x][point.y] = 1;
    //left,bottom,right,top 为区域范围,应保证种子点在范围内
    if(point.x-1 >= left)
        if(currentH[point.x-1][point.y] < point.height
            && marked[point.x-1][point.y] == 0) //判断左点
        {
            point.x = point.x - 1;
            Searchseed(point); //左点被淹没,作为种子点
        }
    //判断下点、右点、左点
    .....
    return TURE; //当 4 个条件都不满足时,判断结束
}

```

## 3 系统的实现

引江济太三维虚拟景观原型系统将三维可视化技术、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,建立起虚拟的太湖流域三维场景(如图 3 所示),并用图形方式形象地对太湖流域进行水淹分析。

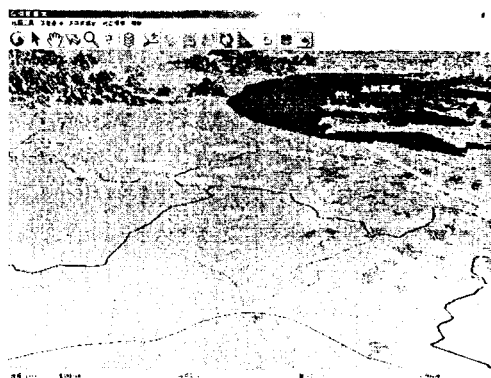


图 3 引江济太虚拟景观

笔者采用 OpenGL 作为底层图形驱动程序,以 VC++ 6.0 为开发工具实现了该系统。该系统中,场景可视化程序的流程概述如下:

(1)系统初始化:此过程包括设置图形运行环境、加载三维视图数据库、初始化各类参数、导入场景模型、建立对象的显示列表。

(2)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,实现对场景进行实时渲染。

(3)释放对象占用的内存,程序结束。

系统需要读取各种类型的数据文件,都是采用 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

(下转第 235 页)

if 蚂蚁  $k$  没有完成指定的任务

按照公式(1) 计算  $p_k(r, s)$ , 选择下一个将要访问的主机  $s$ ;

将蚂蚁移到  $s$ , 将  $s$  加入到它的禁表;

计算  $\Delta\tau^k(r, s), \Delta\tau(r, s)$  的值, 根据公式(2)、(3) 对路径  $(r, s)$  上的信息素强度进行局部更新;

(3) for  $k = 1$  to  $m$

根据禁表求出本次循环中的最优解和最差的解;

if 最优解与  $N$  个迭代前的最优解相等

由公式(7) 更新  $\rho$  值;

由公式(5)、(6) 对最优路径与最差路径的信息素强度进行全局更新;

if 不满足终止条件

清空所有蚂蚁的禁表;

对每一条路径  $(r, s)$ , 置  $\Delta\tau(r, s) = 0$ ;

$N_c = N_c + 1$ ;

返回步骤(2)

else 输出最优解

## 2.5 算法的性能评估

为了验证算法的性能, 依照实际网络拓扑结构产生所需要的数据来进行仿真实验。需要的数据包括: 主机数  $n$ , 主机间的移动的时间  $d(i, j)$ , 完成任务的概率  $p_i$ , 主机的时延  $t_i$  等。

实验中需要设置的参数包括  $\alpha, \beta$ , 蚂蚁的数量等如下:

$\alpha = 1, \beta = 3$ , 蚂蚁的数目笔者取与主机数目相同,  $\rho_{\min}$  分别取 0.1 和 0.01。分别对蚁群算法和文中算法进行实验, 每项实验执行 10 次, 每次执行共运行循环 2000 次, 结果如表 1 所示。

由实验结果可以看出, 相对于传统的蚁群算法, 文中的算法具有更强的全局最优解搜索能力, 且收敛性更好。而通过调整  $\rho_{\min}$  值的大小, 能够在全局最优解和收敛性之

间寻求最佳的选择。

表 1 实验结果对比

	蚁群算法	文中算法( $\rho_{\min} = 0.1$ )	文中算法( $\rho_{\min} = 0.01$ )
最优解	134.1	112.7	108.9
迭代次数	1531	1206	1326

## 3 小结

蚁群算法作为一种新的生物进化算法, 具有分布计算、信息正反馈和启发式搜索等特点, 在求解一系列优化组合问题时, 在解的质量、收敛速度等方面具有较大的优势。但它也存在一些缺陷, 如需要较长的搜索时间, 当规模较大时, 还时可能陷入局部最优解, 产生过早收敛的问题。为克服蚁群算法的这些缺陷, 通过修改它的全局以及局部更新规则, 并引入自适应的挥发系数来求解 TAP 问题。实验结果表明, 相对于传统蚁群算法, 文中的改进算法不仅收敛速度较快, 而且具有更强的全局最优解搜索能力, 能很好地解决 TAP 问题。

## 参考文献:

- [1] 朱森良, 邱瑜. 移动代理系统综述[J]. 计算机研究与发展, 2001(1): 16-25.
- [2] Brewington B, Gray R, Moizumi K. Mobile agents in distributed information retrieval[A]. In: Klusch M. Intelligence Information Agent[C]. Berlin: Springer-Verlag, 1999. 355-395.
- [3] Dorigo M, Vittorio M, Alberto C. The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1996, 26(1): 1-13.
- [4] 李士勇. 蚁群算法及其应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [5] 骆正虎. 移动 agent 系统若干关键技术问题研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2002.
- [6] 王颖, 谢剑英. 一种自适应蚁群算法及其仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(1): 31-33.

(上接第 232 页)

程中关键的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。

## 4 结束语

讨论了引江济太三维虚拟景观原型系统的设计和实现, 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还是令人满意的, 并提供了三维查询与空间分析功能。但系统在处理复杂场景时, 还存在一些不足之处, 有待于进一步改进和提高。

## 参考文献:

- [1] GB/T50095-98. 水文基本术语和符号标准[S]. 1998.

- [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 [A]. In: Computer Graphics (SIGGRAPH Proceedings) [C]. Los Angeles, CA, USA: [s. n.], 1997. 209-216.
- [4] Xia J C, Varshney A. Dynamic view-dependent simplification for polygonal models [A]. IEEE Visualization '96 [C]. San Francisco, CA, USA: [s. n.], 1996. 327-334.
- [5] 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.
- [6] 魏文礼, 沈永明. 二维溃坝洪水波演进的数值模拟[J]. 水利学报, 2003(9): 43-47.