

基于 OpenGL 的三维地形可视化技术与实现

曹 为 刚

(长安大学地质工程与测绘工程学院, 陕西西安 710054)

【摘 要】 介绍了 OpenGL 的基本概念以及以 MFC 为平台进行 OpenGL 编程的方法。详细说明了三维地形的制作以及可视化实现。利用建模技术建立了三维地形模型, 在场景中使用光照、纹理映射技术, 使图像具有较强真实感, 并通过键盘, 实现人机交互, 实现了三维地形可视化。

【关键词】 OpenGL; 三维地形; 可视化

【中图分类号】 P217

【文献标识码】 A

1 引 言

20 世纪 60 年代以后, 地形可视化的概念随着地理信息系统的出现而逐渐形成。在地理信息系统中, 传统的纸质地图变成为电子地图, 大大方便了人们对地图的使用和查询。但由于仍然采用二维表现形式, 在可视化方面并没有实质性的改善, 因而以地形地貌为研究重点的地形三维可视化成为人们关注的焦点。然而早期的三维可视化进程却十分缓慢, 其主要矛盾来自于计算机的硬件和软件两个方面: 在计算机硬件方面, 由于三维可视化需要进行大量的消隐和着色运算, 而开发出能完成这类算法的硬件并不是一件容易的事。因此, 在过去很长一段时期, 专用芯片迟迟不能问世; 在软件方面, 由于缺少统一的接口标准, 使得人们在实现三维可视化时不得不将大量的工作投入到设计三维显示的算法上, 这一工作是庞大而繁琐的, 但却是基础的。20 世纪 90 年代后, 随着三维图形硬件芯片的出现和 OpenGL、Direct3D 等三维图形软件标准的建立, 地形三维可视化技术才取得了长足的发展。

2 基本概念

2.1 OpenGL

OpenGL 指的是开放图形程序库 (Open Graphics Library), 是由 Silicon Graphics Incorporated (SGI 公司) 为其图形工作站 IRIS 开发的一种快速、高质量的 3D 图形软件, 是近几年发展起来的一个性能卓越的三维图形平台。OpenGL 规范由 ARB (OpenGL Architecture Review Board, OpenGL 结构评审委员会) 负责管理, 充分保证了它的独立性、开放性、前瞻性和跨平台性。它被集成到 Unix、Windows 2000、Windows XP 等窗口操作系统中。目前它已被广泛应用于 G/CAM/G、地质、航空、医学图像处理, 广告、艺术造型, 电影后期制作等领域。OpenGL 由 120 多个功能强大的图形函数组成, 它集成了所有几何建模、图形变换、光源设置、材质设置、纹理映射、运动模糊、像素操作、融合、反走样技术、雾化等复杂的计算机图形学算法。开发人员可以利用这些函数对整个三维图形轻松进行渲染, 这些都为在微机上实现高品质、交互式三维图形开发提供了良好的便利条件。为了利用 Visual C++

6.0 的强大功能来实现对 OpenGL 三维图形的绘制, Windows 提供了 OpenGL32. DLL 和 GLU 32. DLL 动态链接库, Visual C++ 6.0 包含了 GL 库 (openg 132. Lib)、辅助库 (glaux. Lib) 和实用库 (glu 32. Lib), 开发者可以在多种硬件平台及操作系统下方便地利用这个图形库, 使我们方便地编程, 简单、快速地生成美观、复杂的三维彩色图形。并且 OpenGL 在网络上工作时, 显示图形的计算机 (客户机) 可以不是运行图形程序的计算机 (服务器), 客户机与服务器可以是不同类型的机器, 只要两者服从相同的协议。

2.2 数字地面模型及构网技术

数字地面模型 (DTM) 是描述地面特征空间分布的有序数值阵列。它以抽象的数字阵列表示地貌起伏、地表形态, 计算机可以从中直接、快速、准确识别, 进行数据处理。数字地面模型通常分为规则数模、半规则数模、不规则数模三大类。在建立的三维地形模型中运用的是不规则三角网 TIN (Triangular Irregular Net)。这是因为在同样的地形条件下, 达到同等高程内插精度时, 该类数模所需的原始地形点的数量远少于其他类型数模所需的已知点数。

生成三角网 DTM 的关键是构网技术, 笔者依据的是 Delaunay 构网原则, 因为它是目前最优的三角网构网原则。Delaunay 三角形定义为: 组成三角网的每个三角形不包含数据点集中除构成该三角形三顶点以外的任何其他点, 即 Delaunay 三角网能最大限度地保证网中三角形满足近似等边 (角) 性, 对于任意给定的离散数据点集, 三角网的网形是唯一的。

3 VC 下 OpenGL 的编程框架

在以 MFC 为平台运用 OpenGL 绘图软件包进行三维地形可视化研究过程中, 应用了如下的编程框架:

- (1) 构造 OpenGL 窗口的风格;
- (2) 设置支持 OpenGL 的像素格式;

[收稿日期] 2005-09-07

[作者简介] 曹为刚 (1982~), 硕士研究生, 研究方向为地理信息系统与地图制图学。

(3) 创建 OpenGL 的绘图描述表, 并将其设置为当前绘图描述表;

(4) 初始化 OpenGL 的绘制环境, 例如光照模型、颜色和深度缓冲区的设置;

(5) 添加 Windows 消息处理函数, 例如鼠标、窗口、键盘消息, 在这些消息处理函数中, 就包含 OpenGL 的绘制命令;

(6) 在应用程序结束并撤销视窗时, 删除绘制描述表。

最后, 应把 opengl32.lib、glu32.lib 和 glaux.lib 3 个静态库加入到应用程序中, 它们可以支持开发者对 100 多个 OpenGL 图形函数的调用。

4 三维地形可视化的实现

4.1 建模技术

实现三维图形可视化首先要解决建模问题。目前建模方法主要有两种: 其一是用 AutoCAD 和 3DMAX 等建模工具建立三维模型; 其二是直接利用 OpenGL 或 VRML 等专用建模语言完成建模。

4.1.1 3DMAX 建模

3D Studio MAX 是专门的三维建模软件, 功能强大, 并且生成的 3DS 文件是一种非常普遍的数据格式, 用它建模可以大大缩短建模时间, 但需要把 3DS 文件转换成 OpenGL 文件, 以便于实现模型的控制。转换的方法大致有两种:

(1) 利用 3D Studio MAX 建立物体模型, 并将其输出为 .3ds 格式的文件。

(2) 通过转换工具将模型转换成 OpenGL 的显示表形式, 用 OpenGL 命令进行编程控制。使用模型转化工具 View3DS.exe 生成 OpenGL 程序, 使用方法如下: 在 DOS 提示符下键入命令:

View3ds<filename.3ds>[_t][_s][_f][_r][_c][_x], 则在窗口中显示出模型。在窗口中单击左键, 弹出一个菜单, 点击生成 c 语言代码菜单项, 则生成两个文件: filename.h 和 filename.gl。

4.1.2 OpenGL 建模

OpenGL 提供了丰富的基本图元绘制命令, 可以采用多个三角形或四边形拼接而成的曲面来近似模拟地形表面, 但必须保证多边形的方向是一致的。物体的法向量决定了物体在空间中的方向——特别是相对于光源的方向, 通过计算得出法向量, 来确保多边形的方向一致。选取相邻 3 点 v_1, v_2 和 v_3 , 求取向量 $v_2 - v_1$ 和 $v_3 - v_1$, 则差积 $(v_2 - v_1) \times (v_3 - v_1)$ 即是垂直于该三角形的法向量。也可以使用 Bezier 曲面或 NURBS 曲面来创建所需要的曲面。绘制 Bezier 曲面的主要代码为:

```
glEnable(GL_MAP2_VERTEX_3);
glMap2f(GL_MAP2_VERTEX_3, 0, 1, 3, 5, 0, 1, 1, 5, 5,
&ctrlpoints[0][0][0]);
glMapGrid2f(10, 0, 0, 0, 1, 0, 10, 0, 0, 1, 0);
glEvalMesh2(GL_LINE, 0, 10, 0, 0, 10, 0);
```

4.2 真实感的地形绘制

真实感图形的绘制技术主要包括消隐处理、纹理映射和光照处理等。

4.2.1 消隐处理

当在场景中绘制三维地形时, 各个顶点绘制顺序不同, 地形的某些部分可能会被其它的部分所遮挡。当观察场景时, 在视线范围内看不到的部分应该是不可见的, 无论以什么样的角度观察场景, 都应该保持这种遮挡关系。为了绘制出的地形具有三维立体感, 应该隐藏不可见的线条, 这个问题称为图形的消隐处理。方法为调用函数 `glClearDepth(GLclampf depth)` 设置缓冲区的初始值, 然后调用函数 `glClear(GL_DEPTH_BUFFER_BIT)` 用设定的深度值 `depth` 填充深度缓冲区, 最后调用函数 `glEnable(GL_DEPTH_TEST)` 激活深度缓存, 即实现消隐功能。

4.2.2 纹理映射

通过点、线、面等几何图元创建的物体表面往往过于光滑和单调, 致使真实感不够强。应用 OpenGL 提供的纹理映射技术可把从真实世界中拍摄到的某种物体的表面细节, 采用贴图的方式贴到三维场景中同种物体的表面, 从而使渲染后得到的图像中物体与真实世界中的物体惟妙惟肖。

4.2.3 光照设置

三维场景中的物体在没有光照的条件下看起来没有三维立体的感觉。物体表面所呈现的颜色是由表面向视线方向辐射的光能决定的, 照射到物体表面的光称为入射光, 而从物体表面反射回来的光称为反射光。所看到的物体表面的颜色就是由物体表面的材质特性即表面向不同方向上反射的红、绿、蓝各颜色分量的百分比决定的。对地形模型进行光照设置的具体步骤为:

(1) 把四边形地形模型分为许多个小三角形, 然后按照求出垂直于各个小三角形的法向量。

(2) 调用函数 `glLight *()` 创建光源, 设置好光源之后, 必须再调用函数 `glEnable(GL_LIGHTING)` 来启动光照效果, 同时调用函数 `glEnable(光源号)` 打开某个光源。

(3) 调用函数 `glLightModel()` 指定光照模型。

4.3 虚拟场景的绘制

4.4 视景变换

创建完模型后, 只有放在三维空间中的适当位置, 并选择适当的视点及观察方向才能更有利于用户的观看: 为了观察场景中的模型, 需要进行视景变换, 包括视点变换、模型变换、投影变换和视窗变换。主要有以下几个步骤:

(1) 执行视点变换, 在三维场景中定位观察物体的视点位置和方向。调用函数 `gluLookAt(eyex, eyey, eyez, centerx, centery, centerz, upx, upy, upz)` 来指定视点变化, 其中参数 `eyex, eyey, eyez` 指定观察点, 参数 `centerx, centery, centerz` 指定观测场景的参考点, 这两点就明确了视线的方向。参数 `upx, upy, upz` 指定视图体自下而上的方向, 通常将该方向设置为指向 Y 轴的正方向。

(2) 利用模型变化命令 `glTranslate(x, y, z)` 和 `Rotate(angle, x, y, z)` 进行平移和旋转两种操作, 确定物体在场景中的位置和方向。

(3) 把三维模型投影到二维屏幕上, 即投影变换。一是确定物体投影到屏幕上的方式, 是透视投影还是正投影。二是确定场景中有哪些物体要显示在最终的屏幕区域内。利用函数 `gluPerspective()` 和 `glOrtho()` 定义投 (下转第 95 页)

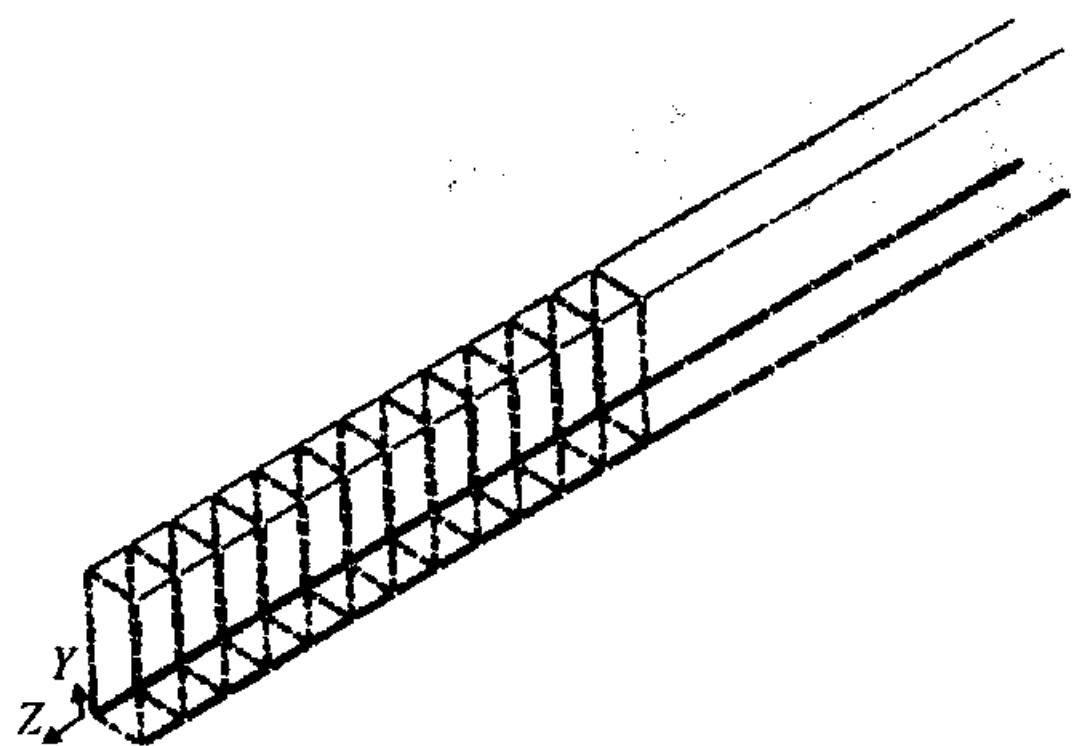


图6 1/2 试验梁配筋有限元模型图

4.3 ANSYS 计算结果分析

在各级荷载作用下,试验梁主要特征点荷载计算值与试验值见表3所示。表3中试验值引自《碳纤维布补强加固混凝土结构新技术》^[2]。由于计算机仿真时采用了1/2模型,故表3中的各荷载试验值应为文献^[2]中对应值的1/2。

表3 试验梁主要特征点荷载的试验值与仿真计算值

荷 载	试验值(N)	仿真计算值(N)	相对误差(%)
开裂荷载	3876	4020	3.7
屈服荷载	13250	12560	5.2
极限荷载	15500	13570	12.5

从上表可以看出,应用ANSYS软件进行仿真求解计算结果与相应的试验值非常接近。其中,开裂荷载的仿真计算值与试验值相对误差仅为3.7%,屈服荷载的计算值与试验值相对误差为5.2%,极限荷载的计算值与仿真值相对误差为12.5%,都在工程容许误差范围之内,完全可以满足工程

上对混凝土结构和构件计算与设计的要求。

由于钢筋混凝土梁在开裂后,钢筋与混凝土之间会产生相对滑动,然而在本算例模型建立过程中并未考虑钢筋的滑移,所以导致梁开裂后仿真计算值与试验值相差较大。在以后的分析中应尽量考虑钢筋的滑移效应,从而使计算结果更加精确。

5 结束语

过去长期以来,人们对钢筋混凝土结构的研究大都是靠大量试验所得的经验公式来进行计算和设计的,这不仅过程繁琐复杂,需要大量人力物力,而且也只能得到部分试验数据。随着有限元法和计算机技术的不断发展,大型通用有限元程序完全可以弥补传统方法的不足。应用有限元软件ANSYS可以实现对钢筋混凝土结构的非线性有限元分析,并且能得到工程上较为理想的计算结果。

参 考 文 献

- [1] 郝文化. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [2] 赵彤,谢剑. 碳纤维布补强加固混凝土结构新技术[M]. 天津:天津大学出版社,2001.
- [3] 朱伯龙. 钢筋混凝土结构非线性分析[M]. 上海:同济大学出版社,1996.
- [4] 徐秉业. 塑性力学[M]. 北京:高等教育出版社,1998.
- [5] 张立明. Algor、Ansys 在桥梁工程中的应用方法与实例[M]. 北京:人民交通出版社,2003.

(上接第91页) 影方式:透视投影和正投影。透视投影同现实生活中人们看到的景物效果一样,距离视点越远的物体看起来越小,距离视点越近的物体看起来越大,符合人们的视觉习惯。透视投影的应用比较广泛,通常用到视景仿真和模拟真实场景的应用程序中。正投影中无论视点到视景体的距离多远,经过投影后,物体的大小总是不变的。因此在三维地形可视化中采用透视投影。

(4)利用glViewport()来确定视窗的大小,规定屏幕上显示场景的范围及尺寸,即视窗转换。

4.5 人机交互的实现

交互式不仅允许用户指定屏幕上的物体,而且还可以通过鼠标或键盘移动,选择或用其它方式操作这些物体,以实现不同角度、不同方位、不同距离的观察,方便用户变化角度进行观察。能够交互式地从各个不同的角度形象、直观地展示三维地形,进行三维地形可视化,具有很大的实用价值。此事例中用键盘响应交互事件,定义Page up、Page down抬高、降低视点,↑前移视点、↓后移视点,←左移视点、→右移视点。

5 结 论

本文利用建模技术建了三维地形模型,在场景中使用光

照、纹理映射技术使之具有较强的真实感,通过键盘进行人机交互,最终实现了三维地形的可视化。该实例证明,三维地形可视化能够交互式地从各个不同的角度更形象更直观地展示三维地形。通过地形表面的可视化,可以了解研究区域的三维信息特征,为进一步研究区域地形演变、泥沙冲淤提供实时帮助,具有很大的实用价值。

参 考 文 献

- [1] 拿颖,薛海斌,朱伯立.等. OpenGL 技术应用实例精粹[M]. 国防工业出版社,2001.
- [2] 和平鸽工作室. OpenGL 高级编程与可视化系统开发[M]. 中国水利水电出版社,2002.
- [3] 张俊霞. 三维地形可视化及其实时显示方法概述[J]. 北京测绘,2001.
- [4] 李汇军. 三维地形可视化研究[J]. 解放军理工大学学报,2001.
- [5] 许家帅. 三维地形表面的可视化实现[J]. 水道港口,2003.
- [6] 辛海霞,吕秋灵. 基于OpenGL的三维地形可视化技术与实现[J]. 水道港口,2004.
- [7] 韩样. 基于OpenGL的三维地形可视化方法研究[J]. 车辆与动力技术,2003.