

三维复杂模型实时动态显示的研究与实现*

桂涛 周嘉玉 陈矛 唐泽圣 孙政

(清华大学计算机系 北京 100084)

摘要 三维复杂模型的实时动态显示已成为近年来计算机图形学的研究热点之一,它广泛应用于飞行模拟、科学计算可视化、建筑物漫游等领域。本文以玉溪卷烟厂信息管理与决策支持系统的需求为背景,讨论了三维复杂模型的实时漫游问题,多种实时动态显示技术在本系统中得到充分利用,包括多精度模型、层次模型、实例技术、可见性测试、纹理映射、分层切换与控制技术等。本文最后给出了显示结果及今后的研究工作。

关键词 三维复杂模型,实时动态显示。

随着虚拟现实、模拟仿真和科学计算可视化的发展,对三维复杂模型的实时动态显示提出了越来越迫切的要求。在虚拟现实,80%的信息来自视觉,只有场景的实时动态显示,人们才能真正“沉浸”于虚拟环境中。科学计算可视化可将大量的、冗繁的数据场用计算机图形学技术显示在屏幕上。如果要多方位观察这些图像并能按照时间序列把图像的变化表示出来,同样需要解决三维复杂模型的实时动态显示问题。

所谓复杂模型,并没有绝对的概念,称之为复杂,是与机器的性能相联系的。当一个模型在某种性能的机器上的显示速度不能达到实时的要求(至少达到刷新频率10帧/s)时,我们便称这个模型相对于这种机器是复杂模型。

本文所讨论的实时动态显示指的是系统具有连续计算及实时显示的功能。即系统可以随着交互命令实时地显示图像,可简称为交互实时。而不是一般动画中采用的逐帧计算、逐帧显示、逐帧记录或逐帧计算、连续显示、连续记录的模式。

一种传统的观念认为,实现三维复杂模型的实时动态显示主要依赖于提高硬件的性能,但这只是问题的一个方面。由于所显示对象的复杂性及对图像质量的要求越来越高,因而三维模型复杂程度的提高也是无止境的。何况,高性能的图形工作站价格十分昂贵,并非广大用户所能承受。因而,研究并采用适当的技术和方法,在中、低档计算机上实现三维复杂模型的实时动态显示,就具有重要的理论意义和实用价值。正是在这样的背景下,进入90年代以来,这个问题的研究已形成了计算机图形学中的一个热点。美国加州大学伯克来分校 C. H.

* 作者桂涛,女,1972年生,博士生,主要研究领域为计算机图形学。周嘉玉,女,1937年生,副教授,主要研究领域为计算机图形学。陈矛,女,1972年生,博士生,主要研究领域为计算机图形学。唐泽圣,1932年生,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机图形学,科学计算可视化。孙政,1974年生,本科五年级学生,主要研究领域为计算机图形学。

本文通讯联系人:周嘉玉,北京100084,清华大学计算机系

本文1996-01-30收到修改稿

Sequin 教授领导的小组研究并实现了该校新建的计算机系大楼外景及室内布景的实时动态显示. 模型中包括 1.4×10^4 个物体, 超过 2×10^7 个多边形, 显示速度达到每秒 10~15 帧.^[1] 他们的工作涉及层次模型、可见性测试及限时计算等多项技术.^[2] 更多的学者为了在实时显示三维复杂模型的同时, 提高图像质量, 不仅提出了多种简化模型的方法^[4,5], 还着重研究了如何提高辐射度方法的速度.^[6,7]

本文以玉溪卷烟厂厂区模型及地图模型为背景, 采用了多精度模型、层次模型、实例技术、可见性测试等方法, 利用 SGI Indigo2 工作站提供的软件工具 PERFORMER^[3], 研究并实现了三维复杂模型的实时动态显示. 其中玉溪卷烟厂的厂区模型共有 69 542 个多边形, 183 747 个三角形. 地图模型, 包括各省、地区、县的数据, 约有 10^5 个三角形.

本文第 1 节介绍厂区模型的实时动态显示方法, 第 2 节介绍地图模型的实时动态显示方法, 第 3 节给出结果, 第 4 节讨论今后的研究工作.

1 厂区模型的实时动态显示

1.1 模型简介

玉溪卷烟厂信息管理与决策支持系统需要厂区模型作为背景图. 该厂区模型包括外景(山、草地、路、桥、树、烟囱、停车场等)、厂房(4 个车间、5 个辅助厂房、科技楼、办公楼)、机器设备(卷包设备、制丝设备), 约有 184 000 个三角形. 对这样复杂的场景, 不仅要求能实时动态显示, 还对不同的景物有不同的要求, 譬如山、草地等的模型不能“钻”进去, 而车间厂房则可以进入, 并在其中漫游以参观机器设备, 因此厂区模型实时动态显示的关键是采用合理的数据结构, 充分利用各种技术来提高显示速度, 减少内存占用, 有效地管理场景数据.

1.2 模型的多精度表示

当一个物体离视点较远时, 许多细节特征都变得非常次要, 影响视觉的主要因素只是物体的轮廓等大致的特征; 当一个物体离视点很远时, 该物体在屏幕上的贡献只有少量的象素或几近于无, 因此可以认为该物体不可见, 不必去计算它的颜色. 由此, 如果将一个物体用多种精度的模型表示, 就可以根据视点与物体的距离或该物体的图像在屏幕上占有的象素数目来选择物体的复杂程度, 这样, 当前屏幕上将是多种精度的模型组合, 近处精细, 远处粗略, 达到图形质量与刷新速度的较优配合.

用简单模型和复杂模型 2 个层次来表示厂区模型中的外景、厂房和机器设备. 复杂模型根据厂房和机器设备的图纸造型得到, 简单模型是在复杂模型的基础上简化得到的. 简化的原则是: ① 删除孤立的小细节, 并用多面体包围盒代替被包围的物体. ② 简化模型的面片和顶点数, 比复杂模型减少一个数量级. ③ 从各个角度观察, 简单模型与复杂模型相似.

根据实际情况对不同的物体选用不同的距离阈值来控制这 2 个层次, 选择距离阈值的原则是使得简单模型到复杂模型的切换在屏幕上连续的. 漫游时实现简单模型与复杂模型的自动切换. 其程序如下:

```
lod = NewLOD();
numLOD = GetNumChildren(models); /* models 下有简单模型和复杂模型 2 个分支 */
for (k = 0; k < numLOD; k++)
    AddChild(lod, GetChild(models, k)); /* 将简单模型和复杂模型加入 lod 结点 */
```

```
LODRange(lod, 0, switch_distance[0]); /* 设置 lod 的切换距离阈值 switch_distance */
.....
LODRange(lod, numLOD, switch_distance[numLOD]);
LODCenter(lod, center_position); /* 设置 lod 的中心, 以便计算视点到物体的距离 */
```

1.3 实例技术

当三维复杂模型中具有多个几何形状相同但几何位置不同的物体时,可采用实例技术.在我们的系统中就存在这种情况,一个车间中有很多组结构相同、编号不同的机器,机器之间的差别仅在于安放的位置不同,将一组机器进行平移,旋转以后可以得到另一组机器.例如某种设备的模型中,一组有 1 189 个多边形,2 886 个三角形,共有 17 组,如果把每组机器都放入内存,将造成极大地浪费,所以我们采用内存实例的办法,相同的机器只在内存中存放一份实例,利用对该实例的平移和旋转来得到所有相同结构的机器,因而大大地节约了内存空间.

采用内存实例的主要目标是节省内存,从这个意义上来说,内存占用少,显示速度会加快.但同时由于物体的几何位置要通过几何变换得到,又会影响显示速度,所以采用内存实例的办法是速度与内存综合考虑的结果.

1.4 可见性测试

在多精度的层次模型中,当物体离视点很远时,该物体可以视为不可见;而当视点进入厂房内部时,我们又可以确定地认为厂房外部的场景是不可见的,也就是说,可以用可见性测试算法来判断物体的可见性,如果某些物体在某些范围内是不可见的,那么,可以节省很多时间去关注这些物体,从而达到较高的刷新频率.

实现的办法是对各个物体加上开关,如果物体不可见,则关掉这些物体,否则打开开关.厂区模型的可见性测试非常简单,只要进入厂房内部,就关掉外部物体.其判断方法是为每一个厂房设计一个包围盒,一旦漫游视点进入包围盒以内,则标志着进入.其程序如下:

```
switchNode = NewSwitch();
将各物体加入 switchNode;
CalculateBox(factory, &box);
if (InBox(view_point, box))
    SwitchVal (switchNode, factory);
```

1.5 纹理映射

为物体表面加上纹理是提高模型真实感的一种有效办法,也是减少模型复杂程度的方法之一.例如,一堵带窗户的墙可以用 1 个四边形贴上带窗户的墙的纹理,而不必去构造一个窗户模型、草地和树等用纹理来表示就更简单.所以我们在构造厂区模型时充分利用了纹理的优点,给山、草地、路、烟囱、树等加上了纹理.在这些景物中,树的纹理比较特殊,用一个面贴上一棵树的图象以后,如果视线转动到与面的法向垂直时,这个面变成了一条直线,因此,我们需要将这个面的法向随着视线的转动而转动.一种称为标志牌的技术可以解决这个问题.将待贴纹理的面定义为标志牌,并且预先规定它的法向随着视线绕 Z 坐标轴方向转动,在以后的漫游中该面的法向将始终与视线方向平行.

```
bill = NewBboard();
BboardAxis (bill, PF_Z);
BboardMode (bill, BB_ROT, BB_AXIAL_ROT);
```

在不带纹理硬件的 SGI Indigo2/Extreme 上,一旦加上纹理,实时漫游便成为不可能的了,所以,我们采用漫游过程中去掉纹理、画面静止以后加上纹理的方法来达到实时漫游的目标.

1.6 碰撞检测

为了实现对具体场景的控制,例如山和草地不能穿越,而车间厂房可以穿墙而入,我们在漫游时对山、草地等不能穿越的物体进行了碰撞检测,对车间厂房等则不加判断.碰撞检测是指对漫游视点与物体之间的几何位置关系进行限制,通过检测视点与物体的距离,一旦小于某个阈值,则认为发生了碰撞,于是视点略微后退,改变视线方向,使视点与物体保持一定的距离.

2 地图模型的实时动态显示

2.1 层次模型

将地图平面沿 Z 轴方向作平移扫描就构成一个三维地图模型,对于漫游来说,它仍是由空间面片构成的一个三维模型.地图模型与厂区模型不同之处在于:地图模型的全国地图上分布着各个省,各个省的地图上分布着各个地区,各个地区的地图上分布着各个县,是典型的层次模型;厂区模型中也存在着同一物体的简单模型和复杂模型这样的层次,但是两层之间只是分辨率不同,没有逻辑结构上的树状层次关系,实际上是一种多精度模型.

与厂区模型一样,地图模型可以采用大部分前面介绍的技术,由于它具有层次模型的特殊性,因此实时动态显示地图模型的关键在于如何采用合理的数据结构,有效地分层管理数据,以使得层间切换速度最快,内存占用最少.

2.2 漫游层次模型

层次模型的漫游与普通模型的漫游基本相同,差别在于对层次模型要判断何时进入下一层,以及何时退回上一层.我们的地图模型进入下一层的条件是:某省或者某地区占屏幕窗口面积的 1/2 以上.这样,如果我们要从全国地图进入某个县,只需不断地向这个县靠近,先进入所在的省,再进入所在地区,最后到达这个县.与进入下一层相对应,退回上一层的条件应是某省或者某地区占屏幕窗口面积的 1/2 以下,但这会影响到从全局观察这一层内容,所以退回上一层的条件改为命令方式,用鼠标按键的改变来实现.

对模型进行漫游时,人们可能希望知道当前屏幕上某个物体的其他信息,所以快速地拾取也是必要的.在地图模型中,对任意一个省、地区或县必须做到能被拾取,用户对感兴趣的地方可以通过在图上交互操作得到专项信息.

2.3 分层切换与控制

2.3.1 动态读入当前层

地图模型达到县的级别时,数据量剧增.其实当进入某省某地区某县时,我们所关心的只是这条线上的数据,其它省其它地区的数据可以忽略,因此我们不必把整个地图模型读入内存,也不必去计算整个地图模型,这是层次模型的特点所决定的.正是基于模型的层次性,在漫游时可以忽略上层其它物体的下层结点,如图 1 所示,我们可以只显示框内的内容.

实现这种控制的方法是动态读入当前层的数据,保留当前线索.每当进入下一层,就从硬盘读入这层数据,一旦退回上一层,便删除这层数据.这样模型大幅度减小,不但节省了内

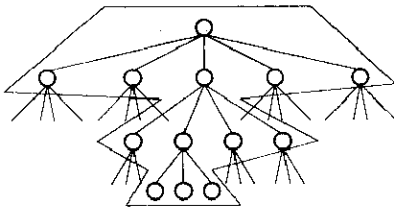


图1 部分显示层次模型

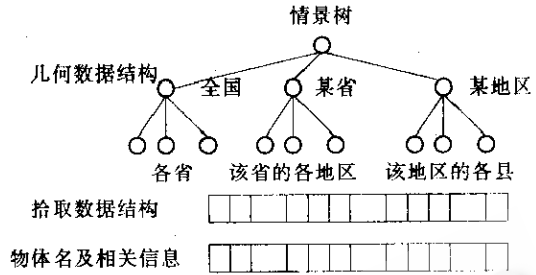


图2 数据结构

存,还提高了刷新速度.当然,层间切换比层内漫游的速度要慢,层间切换不能太频繁.

2.3.2 数据结构

为了实现动态读入,要求能从数据结构中快速找到对应层在情景树中的位置,所以直接将各层地图的几何数据并列放置在根结点下面(如图2).

对于层次模型,必须根据当前层次来拾取物体,因为同一个几何位置,在不同的层次中对应不同的物体.例如,鼠标拾取到某省的某地区,如果在省的层次,应该得到该省对应的物体,而不是该地区对应的物体.为了实现层次模型的拾取,我们建立了拾取数据结构,把待拾取物体的指针预先都放在拾取结构中(如图2).拾取时,通过求交得到情景树最底层的面片以后,由下向上沿着该面片在情景树中的路径回溯,通过与拾取结构中的物体比较,从而得到正确的物体.

模型的几何数据结构与拾取数据结构必须互相对应,才能较快地通过比较得到拾取结果.拾取结构中的物体指针随着各层的几何数据变化动态改变.

找到了物体,就可以通过对应的顺序数据结构得到相关的专项信息.当然,这些相关信息也是随着层次的变化动态加入的.

2.3.3 切换与控制

根据前面的叙述,层次模型的控制比多精度模型的控制更为复杂.对于多精度模型,只需根据距离或象素点的数目切换不同复杂程度的模型,对漫游来说,仍是同一个物体,可相同对待,模型的复杂程度是透明的.对于层次模型,为了动态读入并减小模型规模,漫游时需要知道处于哪层、有哪些物体以及到达本层的路径,并对内存进行相应的操作.

当某省(或某地区)在屏幕上的面积超过 1/2,进入下一层.首先得到该省名,读入分省的地图模型,在拾取结构中填入该省各地区的指针,在相关信息结构里填入这些地区的内容.退回上层时,进行相反的操作.

3 结果

按照上述思想及算法,我们在 SGI Indigo2/Extreme 上利用 Multigen 及 Performer 软件实现了厂区模型(见图3)及地图模型的实时动态显示,并对本系统进行了测试,当屏幕窗口大小为 1070x865(象素)时,得到结果如下:

表 1 动态显示的测试结果

模型类别	可见三角形	可见顶点	重画时间(ms)	一帧时间(ms)	刷新频率(帧/秒)
厂区模型	3817	7071	57.6	68.9	14.2
厂区模型	5243	9889	71.5	83.0	11.8
地图模型	1970	3658	43.9	55.1	17.8
地图模型	500	956	31.1	42.2	23.7

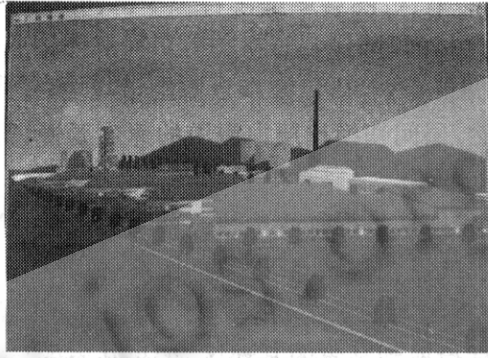


图 3 厂区模型

4 今后的研究工作

今后的研究工作主要有 2 个方面: ① 提高图形质量. 目前, 本系统采用局部光照模型 phong 模型进行绘制, 图像质量尚待进一步改进. 既能提高图像质量, 又不影响显示速度的一种方法是尽量将与视点无关的各种计算放在预处理阶段, 例如阴影计算、辐射度计算等. 如果能在预处理阶段算好阴影或辐射度, 图像的真实感将大大加强. ② 限时计算. 漫游时的刷新频率与当前屏幕上可见的面片数有关, 场景简单时, 刷新速度快; 场景复杂时, 刷新速度慢, 因而影响视觉效果连续性与稳定性. 因此, 规定每帧的刷新时间, 据此选择模型的复杂程度及绘制算法是可以提高漫游质量的.

参考文献

- 1 Sequin Carlo H, Bukowski Richard W. Interactive virtual building environment. Proceedings of Pacific Graphics'95, Aug. 1995.
- 2 Funkhouser Thomas A, Sequin Carlo H. Adaptive display algorithm for interactive frame rates during visualization of complex Virtual environments. Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH'95, 1995.
- 3 Rohlf John, Helman James. IRIS performer: a high performance multiprocessing toolkit for real-time 3D graphics. Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH'94, 1994.
- 4 Schroeder W J, Zange J A, Lorensen W E. Decimation of triangle meshes. Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH'92, 1992.
- 5 Turk Gray. Re-tiling polygonal surfaces. Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH'92, 1992.
- 6 Haraham Pat, Salzman D, Aupperle L. A rapid hierarchical radiosity algorithm. Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH'91, 1991.
- 7 Smiths B E, Arvo J R, Salesin D H. An importance-driven radiosity algorithm. Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH'92, 1992.

THE RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF REAL TIME DISPLAY OF 3D COMPLEX MODEL

Gui Tao Zhou Jiayu Chen Mao Tang Zesheng Sun Zheng

(Department of Computer Science Tsinghua University Beijing 100084)

Abstract The real time display of 3D complex models, which is widely used in flight stimulation, scientific computing visualization and architecture walkthrough, is becoming one of the most challenging issues in Computer Graphics. In this paper, the authors have developed several efficient techniques to perform real time display, including multi-resolution model, hierarchical model, instancing, visibility determination, texture mapping, levels switching and controlling and so on. These techniques have been successfully applied to the information management and decision support system of Yuxi Cigarette Factory. Finally, the result is given and the future work is presented.

Key words 3D complex model, real time display.