

doi:10.3799/dqkx.2010.047

三维地形渲染中视景体剔除效果的改善

张 唯

中国地质大学信息工程学院,湖北武汉 430074

摘要: 为提高三维场景的渲染质量,需要根据场景绘制的数据总量以及当前视点观察位置,对视景体外的实体进行消隐处理。在对三维地形渲染特征以及透视投影参数进行分析的基础上,针对以规则格网为原始数据的三维地形场景,建立了透视投影远近裁剪平面与当前场景观察模式之间的对应关系。采用裁剪平面动态设置的方法,在保证三维渲染精度与速度的前提下,有效改善了由固定裁剪平面引起的图形不正常裁切现象,提高了三维地形场景的渲染效果。

关键词: 裁剪平面;视景体剔除;透视投影;地理信息系统。

中图分类号: TP391.9

文章编号: 1000-2383(2010)03-0403-04

收稿日期: 2010-01-15

Improvement of View Frustum Culling Quality in 3D Terrain Rendering

ZHANG Wei

Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: To improve the quality of three-dimensional scene, view frustum culling according to the amount of rendering data and observation positions is needed. Based on the character of three-dimensional terrain scene and the parameters of far-near clip plane in perspective projection, this paper builds a relationship between the far-near clip plane of perspective projection and the observation model for the three-dimensional scene with grid raster terrain data. By using the dynamic setting of far-near clip plane, this method can change the abnormal phenomenon caused by the fixed clip plane. It enhances the quality of three-dimensional rendering and ensures the accuracy and quickening the speed of rendering at the same time.

Key words: clip plane; view frustum culling; perspective projection; geographic information system (GIS).

0 引言

随着图形学和虚拟现实技术的不断发展,地理信息三维可视化成为地理信息系统(geographic information system, GIS)的一个重要发展方向(樊文友等, 2006; 吴信才, 2009)。利用三维 GIS 技术建立各个城市乃至全球的各种数据专业分析系统,成为人们研究的热点问题,三维场景中需要表达的数据总量也在不断增大(郑坤等, 2006)。由于人眼的特殊构造,当人位于某一位置场景时,在人眼视角以外的物体是看不到的。因此,如果能够在场景实体显示之前,对人眼不可见的部分剔除不加以显示,就能够大幅度提升三维场景的响应速度。同时,由于隐藏的场景是人眼观察的盲点区域,因而不会对正确的显示

结果造成影响,从而能够维持场景的显示质量。

剔除技术是三维可视化领域一种基本的优化策略,它的主要思想是从可视性的角度对所要处理的空间数据进行删减,只保留确实可见的部分,从而降低绘制过程的复杂性,优化系统性能(郑坤, 2006)。目前的研究结果中通常将剔除技术分为两类:视景体剔除(view frustum culling)和遮挡剔除(occlusion culling)。视景体剔除是将那些落入视景体内的空间对象的数据调入到内存中进行显示。遮挡剔除则是将视景体剔除得到的三维对象集合根据对象间的遮挡关系做进一步地删减(Greene, 1993; Assarsson and Möller, 2000; 普建涛和查红彬, 2005)。

目前三维场景中的视景体剔除,大多使用三维引擎(OpenGL 或 Direct 3D)直接调用硬件查询可

见信息来实现. 以 OpenGL 为例, 它提供了深度缓冲区用来进行图形的自动消隐(邓郑祥, 2005). 深度缓冲也称 Z 缓冲, 它是一组存储单元, 其单元个数和屏幕像素个数相同, 也和帧缓冲器的单元个数相同, 并且一一对应. 缓冲器每个单元的值是对应像素点所反映对象上的 z 坐标值. 图形显示时, OpenGL 在将某点的值填入帧缓冲器中相应单元前, 会把该点的 z 坐标值和 Z 缓冲器中的相应值做比较. 只有前者大于后者时, 才改变帧缓冲器中的那个单元值. 同时, Z 缓冲器的相应单元的值也要修改为该点的值. 对显示对象的每一个面上的点都做上述处理后, 便可得到消隐后的图像.

1 视景物剔除的质量问题

透视投影是一种模拟人眼观察效果的投影变换方式, 其最显著的特征是物体离相机越远, 在图像上就显得越小. 在透视投影中, 视景物是一个四棱台, 位于视景物内的物体被投影到其对应的四棱锥的顶点. 由于距离视点较近的物体, 占据了视景物中较大的空间, 因而反映在人眼中的视觉效果, 该物体也就显得较大(图 1).

为了达到逼真的效果, 大多数三维场景均采用透视投影进行显示. OpenGL 深度缓冲区的精度与透视投影远近平面的比值有着直接的关系, 比值越大, 深度缓冲区中两个相近表面之间的区别就越小. 当 $r = \text{Far}/\text{Near}$ 时, 深度缓冲区的大约 $\log_2(r)$ 位的精度将被丢失, 而当 r 在 10 000 左右时, 能够得到最佳的显示效果(孙守迁等, 2005).

由于三维地形绘制往往采用真实的地理坐标, 在数值的数量级上一般较大, 因而在设置投影参数时, 为避免裁切现象, 往往将透视投影远平面设为较大数值, 而近平面则简单记为 1. 三维漫游系统具有极强的开放性, 因此, 观察者可以将视点定位于场景中的任何位置. 笔者在使用不同地形数据进行三维场景漫游的过程中发现, 在离视点较远处, 经常会出现后面的三角形遮挡住前方三角形的现象. 而在局部显示状态下, 除上述情形外, 漫游过程中还会出现部分三角形被裁切的情况, 极大地损害了图形的显示质量. 虽然通过调整透视投影近远平面参数, 可以消除当前位置的裁切现象, 但观察位置发生变化后, 该现象仍旧可能重现.

究其原因, 主要是固定裁剪面的设置导致

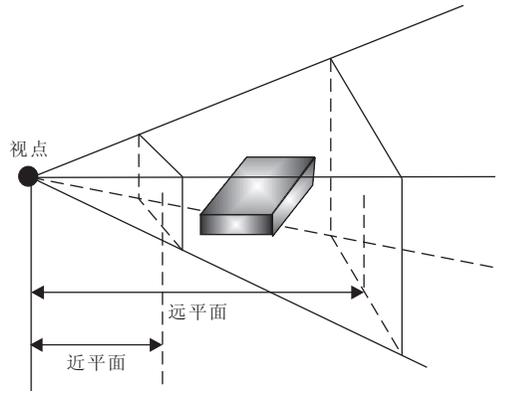


图 1 透视投影基本原理

Fig. 1 Principle of perspective projection

OpenGL 的深度检测不正确. 由于地形数据地理范围的数值较大, 因而当近平面恒定为 1 时, 使得远近平面的比值往往超过 10 000, 大大降低了深度缓冲区的精度, 从而出现远近场景交替显示的现象, 严重损害了漫游场景的渲染质量.

2 透视投影下保证视景物剔除精度的方法

笔者经过多次实践, 根据不同三维地形数据透视投影参数设置改变后地形显示效果的对比, 建立了透视投影远近裁剪平面与当前场景观察模式间的对应关系, 通过实时修改场景投影参数, 较好地保证了视景物剔除的精度, 从而改善了场景漫游中的三角形裁切现象.

2.1 透视投影参数设置

由于地形数据范围直接影响到透视投影中远平面的设置, 而透视投影远近平面比值与深度缓冲区精度有关. 因此, 在全景和局部观察模式下, 应根据地形数据范围, 分别设置透视投影近远平面参数, 保证在该参数确定的投影范围内, 场景能得到最佳的显示效果.

由于地形场景数据的不确定性, 因而笔者根据不同的地形数据, 首先计算出地形场景的外包围球, 在后续计算中, 则根据包围球半径 R 来估算地形场景范围(图 2).

(1) 全景观察模式. 该观察模式初始状态下, 视点位于地形场景外, 故透视投影远平面必然大于场景范围. 要使透视投影远近平面比值尽量小, 又不影响场景显示, 则投影平面与场景应满足如图 3a 中的

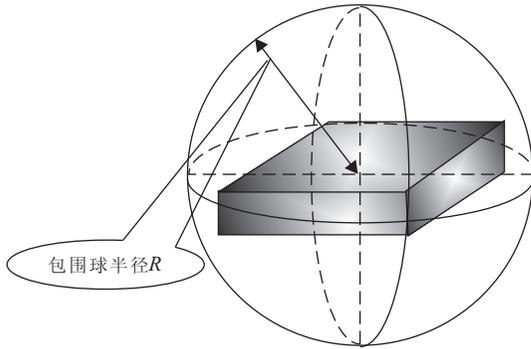


图 2 地形场景包围盒
Fig. 2 Bounding of terrain

位置关系。

经过多次实验, 当远近平面距离为 3 倍包围球半径时, 场景能获得最佳显示效果。即假定初始状态下, 观察点位于地形场景中心, 远近平面与场景包围盒的位置关系如下:

$$\text{Far} = \text{Distance} + 1.5 \times R, \quad (1)$$

$$\text{Near} = \text{Distance} - 1.5 \times R. \quad (2)$$

(2) 局部观察. 该观察模式下, 视点位于场景之内, 因而视点与观察点的距离必然小于场景包围球半径。要满足透视投影远近平面比值尽量小的原则, 又要保证渲染效果, 投影平面与地形场景应满足如图 3b 位置关系。

经过多次实验, 要使观察点落入投影视景体内, 则近平面应小于地形包围球半径, 而远平面应至少大于地形场景包围球直径。远近平面与场景包围盒的位置关系如下:

$$\text{Far} = 3 \times R, \quad (3)$$

$$\text{Near} = \frac{\max(\frac{dx}{2}, \frac{dy}{2})}{100}, \quad (4)$$

式(4)中: dx, dy 为地形场景; x, y 为方向坐标范围。

2.2 场景投影参数的实时修改

经过调整后的投影参数在各种观察模式下, 均可正常显示地形场景。但当用户在全景观察状态下

使用键盘漫游进入地形场景内时, 视点与观察点距离小于地形场景包围球半径, 此时的近平面可能会大于视点与观察点的距离, 场景会出现被裁切的情况。同样, 当用户在局部观察状态下调整视点观察点位置, 使得视点移出场景时, 过小的远平面会使得离视点较远出的场景被裁切。

为解决以上矛盾, 笔者采用了实时修改场景投影参数的方法。当地形场景发生变化时, 在渲染场景之前, 先判断当前视点与地形场景包围盒的范围, 当视点位于包围盒外时, 采用全景投影参数, 否则采用局部投影参数。

经多次实验证明, 用于限制改变投影参数的包围盒不应过小, 当包围盒为场景包围球的外接立方体时, 能够尽量减少投影参数的修改次数, 达到最佳的平滑效果。

3 实验结果

本文采用高斯坐标下的地形数据进行了渲染效果测试。地形绘制系统采用 Windows XP 操作系统, CPU 为 PIII Coppermine Model 9, 显卡为 Radeon Mobility 9000, 64 M 显存, 内存为 2 G。

地形数据为高斯坐标系下 MapGIS 格式规则格网数据, 左下角横坐标为 563 000 m, 纵坐标为 4 748 000 m, 右上角横坐标为 577 975 m, 纵坐标为 4 759 975 m。数据为 1:5 万地形图, 共包含 600×480 个高程数据点, 每个高程数据用浮点数表示, 采样点间隔为 25 m, 原始的数据文件为 4 M, 以 MapGIS 的 DEM 库格式存储后, 文件大小为 1.09 M。

由于三维地形漫游具有较大的随机性, 在动态设置裁剪平面之前, 漫游过程中可能出现多边形裁切现象, 但出现的时间和频率并没有确定的规律。图 4a 中截取了视点位于地形范围之外, 距离地形较远时, 地形边缘处出现的底部三角形显示在地表三角形之上的现象。图 4c 中截取了视点位于地形范围之

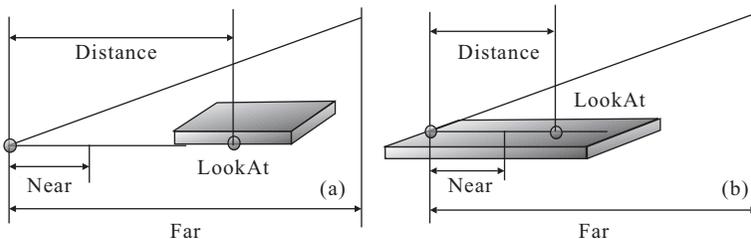


图 3 全景(a)和局部(b)观察下的位置关系
Fig. 3 Relationship of full (a) and local (b) observation

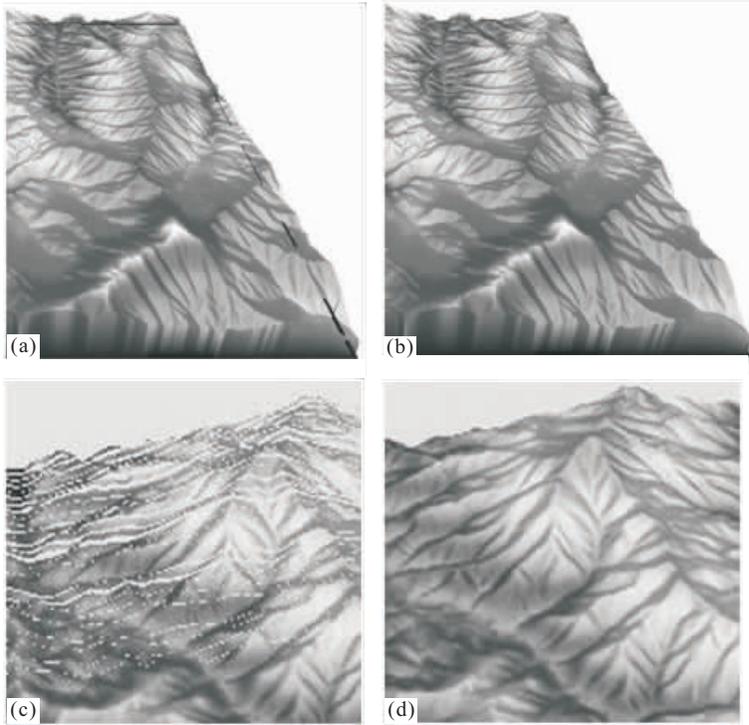


图 4 裁剪平面动态设置前后的渲染效果对比

Fig. 4 Contrast of rendering effect before and after set clip plan dynamically

a. 裁剪平面动态设置前远景观察效果; b. 裁剪平面动态设置后远景观察效果; c. 裁剪平面动态设置前近景观察效果; d. 裁剪平面动态设置后近景观察效果

内时,漫游到一定角度,地形中出现部分三角形被视景体剔除的现象.采用了裁剪平面动态设置的方法后,连续进行地形漫游 30 min 以上,没有出现如图 4a、4c 的三角形裁切现象.图 4b 和 4d 分别给出了对应修改后的显示效果.

4 结论

本文所介绍的改进方法已成功应用于地理信息系统平台软件 MapGIS 的 DTM 分析子系统之中,从系统三维场景显示及漫游效果来看,基本消除了原有地形漫游过程中可能出现的多边形撕裂及交错绘制现象,有效改善了三维地形漫游的渲染效果.

References

- Assarsson, U., Möller, T., 2000. Optimized view frustum culling algorithms for bounding boxes. *Journal of Graphics Tools*, 5(1): 9–22.
- Fan, W. Y., Xie, J., Bian, Z. G., 2006. MapSUV digital surveying and mapping production 3D simulation system design. *Earth Science—Journal of China University of Geosci-*

- ences*, 31(5): 739–742 (in Chinese with English abstract).
- Greene, N., Kass, M., Miller, G., 1993. Hierarchical Z-buffer visibility. In: SIGGRAPH, ed., Proceedings of the 20th annual conference on computer graphics and interactive techniques, New York, U. S. A., 231–238. doi: 10.1145/166117.166147
- OpenGL Architecture Review Board, 2000. OpenGL reference manual. Translated by Sun, S. Q., Wang, J., Lin, Z. K., et al., 2005. China Machine Press, Beijing (in Chinese).
- OpenGL Architecture Review Board, 2004. Translated by Deng, Z. X., 2005. Posts & Telecom Press, Beijing (in Chinese).
- Pu, J. T., Zha, H. B., 2005. Research on visibility for large-scale and complex scene. *Journal of Computer Research and Development*, 42(2): 236–246 (in Chinese with English abstract).
- Wu, X. C., 2009. Datacenter integration development technology: the next generation GIS architecture and development model. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34(3): 540–546 (in Chinese with English abstract).

(下转 462 页)

automation. 3rd ed., Kluwer Academic Press, New York.

Reinhard, D., 2005. Graph theory, Springer-Verlag Heidelberg. New York, 251—273.

Wu, X. C., 2009. Data center integration development technology: the next generation GIS architecture and development model. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34(3): 540—546 (in Chinese with English abstract).

Zhang, F. Y., Wang, Y., Li, C. X., 2006a. Designing an urban telecommunication pipe & cable management system based on GIS. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(5): 704—708 (in Chinese with English abstract).

Zhang, F. Y., Wang, X. F., Wu, X. C., 2006b. Application of

GIS in telecommunications. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(5): 683—687 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

吴信才, 2009. 数据中心集成开发技术: 新一代 GIS 架构技术与开发模式. *地球科学——中国地质大学学报*, 34(3): 540—546.

张发勇, 王勇, 李才仙, 2006a. 基于 GIS 的城市通信管线管理系统的设计. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(5): 704—708.

张发勇, 王新峰, 吴信才, 2006b. GIS 在通信行业中的应用. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(5): 683—687.

(上接 406 页)

Zheng, K., 2006. Study on the key techniques for 3D-GIS in urban areas (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan (in Chinese).

Zheng, K., Hou, W. S., Liu, X. G., 2006. Framework 3D urban geophysical data management and service system. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(5): 663—667 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

樊文友, 谢靖, 卞州罡, 2006. MapSUV 数字测图成果 3D 模拟系统的设计. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(5): 739—742.

OpenGL 结构评审委员会, 2000. OpenGL 参考手册. 孙守迁,

王剑, 林宗楷, 等译, 2005. 北京: 机械工业出版社.

OpenGL 体系结构审核委员会, 2004. OpenGL 编程指南(第四版). 邓郑祥译, 2005. 北京: 人民邮电出版社.

普建涛, 查红彬, 2005. 大规模复杂场景的可见性问题研究. *计算机研究与发展*, 42(2): 236—246.

吴信才, 2009. 数据中心集成开发技术: 新一代 GIS 架构技术与开发模式. *地球科学——中国地质大学学报*, 34(3): 540—546.

郑坤, 2006. 城市区域三维 GIS 关键技术研究(学位论文). 武汉: 中国地质大学.

郑坤, 侯卫生, 刘修国, 2006. 三维城市地球物理数据管理与服务系统框架. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(5): 663—667.