

三维地形可视化及其实时显示方法

吕秋灵 张俊霞

(河海大学交通与海洋工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 描述了三维地形可视化的概念及数字地面模型的表示方法,重点介绍了可视化及其实时显示中数据简化方面的典型方法:层次细节方法,多分辨率模型方法,并进一步对三维地形的真实性研究作了阐述,最后对这一领域的前景进行了展望.

关键词 三维地形可视化;数字地面模型;层次细节方法;多分辨率模型方法

中图分类号 :TP391.72 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2002)04-0085-03

三维地形可视化是一门研究数字地面模型的显示、简化、仿真等内容的学科,它属于计算机图形学的一个分支.除了计算机图形学外,计算几何也是它重要的基础知识.它的应用涉及地理信息系统 GIS(Geographic Information System)、虚拟现实 VR(Virtual Reality)、战场环境仿真、娱乐与游戏、地形的穿越飞行、土地管理与利用、气象数据的可视化等领域.

1 数字地面模型 DTM(Digital Terrain Model)

1.1 概念

数字地面模型 DTM 是描述地面特性的空间分布的有序数值阵列.柯正谊等按空间结构形式将其分为 7 类:规则格点(格网)数字地面模型、散点数字地面模型、等值线数字地面模型、曲面数字地面模型、线路数字地面模型、平面多边形数字地面模型和空间多边形数字地面模型.

1.2 表示方法

数字地面模型通常有等高线、格网和三角网 3 种不同的表示方法.

等高线的数据结构通常是一种矢量结构,高程作为矢量的 ID,在 ID 之后便是等高线的 XY 对,如 Arc/Info 的 Generate 文件.用等高线图直接生成三维地形有两种方法,一种是采用称为 Tiling 的技术,另一种是直接利用 Delaunay 三角形对等高线上的点进行三维地形的造型.但直接用等高线进行地形造型有一个明显的缺点,就是造型留有明显的等高线的台阶痕迹,因此地形造型不是连续光滑的.所以,目前通常不采用这种方法,而是将等高线转换成格网数据,即通常所说的数字高程模型 DEM(Digital Elevation Model).

格网地形实际上就是一个二维数组,其元素为格网结点上的高程值,或高程加属性的值.一般从等高线转换到格网地形,通常需要找到格网结点周围等高线上的点,然后进行插值计算.插值的算法多种多样,但无论采用哪一种方法,都取决于精度与时间之间的平衡.

三角网的数据结构是 3 类数字地形表示中最复杂的,人们通常要在时间与内存之间找到平衡.如要想在三角形的修改时能快速搜索到需要的数据,就得采用复杂的数据结构,而这需要消耗更多的内存.由此可见,内存与时间对三维地形可视化及其实时显示同等重要.

至于采用哪种数据结构表示地形更具有优越性,众说纷纭.但从显示的角度来看,三角网的地形较有优势,因为大部分三维显示设备的显示速度只与三角形的数量有关,而几乎与三角形的大小无关,而且格网地形简化到三角网地形后,还使三角形的数量大大减少,这样也可以大幅度提高显示的速度.

2 三维地形可视化及其实时显示方法

简单的地景渲染算法,是将相邻的4个网格点定义的DTM单元转换成2个三维空间的三角形,然后将视景物内部区域的所有这些三角形送入图形流水线进行绘制.这种算法还可将图像纹理数据以它的最高分辨率映射到对应的多边形上,这是一个效率很低的方法.因为在一般情况下,三角形和遥感图像纹理像素的数量非常大,而每一个独立的三角形投影到图像空间后则很小,并且许多纹理像素可能被压缩到一个图像像素中,以至于对图像的影响可以忽略不计.因此,如果用DTM直接生成地形,即使在高性能的图形硬件平台上,要进行实时渲染几乎也是不可能的.通常要对DTM数据进行一定的简化.

2.1 层次细节简化 LOD(Level Of Details)方法

层次细节简化方法在不影响画面视觉效果的前提下,通过逐次简化景物的表面细节来减少场景的几何复杂性,从而提高绘制算法的效率.该技术通常对每一原始多面体模型建立几个不同逼近精度的几何模型.与原始模型相比,每个模型均保留了一定层次的细节.当从近处观察物体时,采用精细模型,而当从远处观察物体时,则采用较为粗糙的模型.这样,当视点连续地变化时,在两个不同层次的模型间就存在一个明显的跳跃,因而有必要在两个相邻层次的模型间形成光滑的视觉过渡,亦可称之为几何形状过渡(geomorphs).

层次细节简化算法有很多种,但这些算法不是过于简单,难以取得很好的简化效果,就是过于复杂,难以快速地实现模型简化.

2.2 多分辨率模型简化(Multiresolution Model)方法

多分辨率模型简化方法是对物体的几何性质、表面性质、纹理等进行多分辨率的分析和造型.根据物体在屏幕上所覆盖面积的大小选择相应分辨率下该物体的简化模型,尽量减少三角形的数量,使得在给定视点下获得的图像效果与用最精确的模型画出的效果完全相同或差距在给定范围内,从而大大提高绘制效率.这种方法所占用的内存空间较小,适用于动态场景,近几年来已受到图形学界的高度重视.

多分辨率模型简化方法基于多分辨率(如小波变换)理论来对多面体模型作重新采样,算法首先求得原多面体的最粗逼近,然后通过加密采样技术来获得精细的模型,其中后一层较高分辨率模型是前一层低分辨率模型的简单加密.这一性质使得用户能快速、连续地通过一种紧致的表示来获得多面体的多分辨率模型,从而使得人们可以多种分辨率对原多面体模型进行编辑,这是其它算法所无法实现的.较之其它算法,该算法稍显复杂,但它能产生连续的多分辨率模型而无须在不同分辨率模型间建立几何形状过渡,这也是其它算法所无法比拟的.

大规模数字地面模型DTM数据量大,若采用多分辨率模型简化方法则可以在保证图像质量的前提下加快显示速度,使得生成的地形画面在一定的视觉误差范围内,同时,只考虑处于视野范围内的一小部分地面模型,且距视点距离不同的区域采用不同分辨率的模型.

目前国内外已提出的三维模型多分辨率表示方法,可以分为静态生成和实时动态生成两类.静态生成方法是指事先产生对原模型作不同程度近似的多个逼近模型,在实时绘制中根据当前帧的视点参数选用相应的逼近模型进行绘制.这类算法的优点是简单易用.由于生成每一个近似模型不是实时进行的,因此对原模型转化成多分辨率表示的速度没有较高要求,而且多级分辨率模型的表现形式也可以较容易统一,因此,目前许多商业系统大多采用这种方法.但这种方法的缺点也是较明显的,主要有:(a)近似模型之间不连续.在不同模型的切换过程中,可能造成绘制图像的不连续变化,产生明显的走样.尽管Turk曾提出实时地在连续两种分辨率模型之间进行插值,但这无疑加重了图形处理器的负担.(b)大部分情况下,放置这些不同分辨率的逼近模型一般需要人工干预,不可能达到完全自动.(c)需要额外的内存来存放不同分辨率的中间模型.

静态生成方法的核心技术是模型简化,即用较少的三角形面片在一定精度的情况下表示原来的模型.其基本过程就是在误差容许的情况下,删除被认为是冗余的顶点,并对所造成的空洞进行重新三角化,其中重新三角化是模型简化不能够实时完成的主要原因.

也可通过局部的欧拉删除操作来加快简化过程,从而避免了静态方法中重新三角化这一费时的运算.这使得多分辨率模型有可能实时产生,从而克服了静态方法的所有缺点.我们称这类方法为动态方法.

3 三维地形的真实性

随着计算机硬件和软件水平的不断提高,人们对三维地形的真实性要求也越来越高.除了利用光照技术

使三维地形有明暗显示外,通常为了提高三维地形的真实性,还可以添加图像纹理(如叠加卫星照片、彩色地形图等)、分形纹理(利用分形产生植被和水系等)和叠加地表地物(道路、河流、建筑物等)。

3.1 图像纹理的叠加

在已有三维地形表面上叠加图像纹理(如卫星影像),这是公认的提高三维地形真实性的有效方法。但这一方法存在两个问题,其中一个问题是遇到了内存与速度之间的矛盾问题。由于加入了图像纹理,使得着色算法变得复杂化,明显影响了三维地形的显示速度。若在三维地形多分辨率模型中加入多分辨率的纹理,即将图像分成多级分辨率,然后根据视点的变化来选择其中的分辨率,这是提高显示速度的有效方法,但这一方法需要大内存的支持。另一个问题是大尺寸图像的叠加问题。

3.2 地物的叠加

将图像的纹理叠加在三维地形的表面,虽然可以增加三维地形显示的真实性,但在三维地理信息系统中,对地形中的建筑物、公路、河流、桥梁等需要进行三维空间造型,以生成空间三维实体。只有这样,才能进行空间信息查询和层的管理。对于非商用系统,一个有效的方法就是先利用现有的三维造型工具(如 3DMAX)来造型,然后再导入到三维地形可视化及其实时显示系统中。对于简单的建筑物,可以将其多边形先用三角剖分方法进行剖分,然后将其拉伸到一定的高度,就形成三维实体。而对于河流、道路、湖泊等地表地物,由于存在多边形的拓扑关系,如湖中有岛,所以这时的三角剖分就要复杂得多,但限定型 Delaunay 三角形和确保型 Delaunay 三角形可以保证在三角形剖分过程中,将河流或湖泊中的岛保留,尤其是确保型 Delaunay 三角形可以通过插入新的点,既保留了多边形的边界线,又保证剖分后的三角形具有良好的数学性质(没有扁平三角形)。

4 结 束 语

大范围、不规则三维地形的可视化及其实时显示是一个极富挑战性的课题,尽管前人已做了很多这方面的工作,但真正实用且适合大范围三维地形的可视化及其实时显示的算法还不多。目前首先要解决的是内存问题,其次是显示的速度。虽然三维地形的范围很大,但在视区范围内的三维地形是有限的,所以基于视相关的算法是大范围三维地形可视化及其实时显示的必由之路,由于二叉树和四叉树的数据结构具有规范、搜索快的优点,又能适合随着视点的变化而进行连续、动态的三维地形的实时显示,所以,它们是一种在三维地形可视化及其实时显示中优先考虑的方法,但这种数据结构不适合不规则地形的显示。目前,对于非矩形边界线的三维地形,分段矩形化也许是较好的选择。与此同时,由于三维地形可视化及其实时显示有着广泛的应用前景,相信在未来几年里,定会有更大的发展。

参考文献:

- [1] 唐泽圣. 三维数据场可视化[M]. 北京:清华大学出版社,1999. 196~238.
- [2] 王永明. 地形可视化[J]. 中国图像图形学报,2000,5(6):449~456.
- [3] 彭群生,鲍虎军,金小刚. 计算机真实感图形的算法基础[M]. 北京:科学出版社,1999. 371~398.
- [4] 王璐锦,唐泽圣. 基于分形维数的地表模型多分辨率动态绘制[J]. 软件学报,2000,11(9):1181~1188.
- [5] 李捷,唐泽圣. 三维复杂模型的实时连续多分辨率绘制[J]. 计算机学报,1998,21(6):481~491.

3-D terrain visualization and real-time display techniques

LU Qiu-ling, ZHANG Jun-xia

(College of Traffic and Ocean Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: The concept of 3-D terrain visualization and techniques of digital terrain modeling are presented with emphasis placed on the typical data simplification algorithms: Level of Details (LOD) and Multiresolution Model, and a further discussion is made on the reality of 3-D terrain. Finally, the application of the technology is prospected.

Key words: 3-D terrain visualization; digital terrain model; Level of Detail (LOD); Multiresolution Model