

三维地形技术研究

第六图书馆

地形是自然界的复杂形体, 三维地形技术是虚拟现实(VR)的一项关键技术. 利用地理空间数据建立一个逼真、实时、可交互的地形环境是一项复杂的工作. 介绍了三维地形生成技术以及利用OpenGL实时显示三维地形技术. 地形是自然界的复杂形体, 三维地形技术是虚拟现实(VR)的一项关键技术. 利用地理空间数据建立一个逼真、实时、可交互的地形环境是一项复杂的工作. 介绍了三维地形生成技术以及利用OpenGL实时显示三维地形技术. 三维地形 DTM LOD 分形几何光电技术应用胡锦涛
电系统信息控制技术国家级重点实验室, 河北三河0652012007第六图书馆

第六图书馆

www.6lib.com

文章编号:1673-1255(2007)01-0074-05

三维地形技术研究

胡 涛

(光电系统信息控制技术国家级重点实验室,河北 三河 065201)

摘 要:地形是自然界的复杂形体,三维地形技术是虚拟现实(VR)的一项关键技术.利用地理空间数据建立一个逼真、实时、可交互的地形环境是一项复杂的工作.介绍了三维地形生成技术以及利用 OpenGL 实时显示三维地形技术.

关键词:三维地形;DTM;LOD;分形几何

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

Study of Three-dimensional Terrain Technology

HU Tao

(National Laboratory of Electro-Optics System Technology, Sanhe 065201, China)

Abstract: Terrain is a kind of complex physique in the nature, three-dimensional terrain technology is a key technology of virtual reality. It is a complex task using geography space data to constitute a reality, real-time, exchangeable terrain environment. Three-dimensional terrain build technology and real-time display three-dimensional terrain technology are introduced by using OpenGL.

Key words: three-dimensional terrain; DTM; LOD; fractal

三维地形是仿真领域中视景系统的重要组成部分.目前的计算机图形技术在生成地形、植物、云、火、海浪等方面已进行了卓有成效的工作,由于三维地形通常与物体的运动直接有关,更由于它的数据量庞大,因此在建模和实时显示 2 个方面都有较高的要求.

1 地形生成技术

1.1 基于真实地形数据库的地形仿真

根据真实地形数据库进行地形生成是实际工作中使用最多的一类.目前大多采用数字地面模型(Digital Terrain Model, DTM)来生成,数字地形模型最初是为了高速公路的自动设计提出来的(Miller, 1956).此后,它被用于各种线路选线(铁路、公路、输电线)的设计以及各种工程的面积、体积、坡度计算,任意两点间的通视判断及任意断面图绘制.

在测绘中被用于绘制等高线、坡度坡向图、立体透视图,制作正射影像图以及地图的修测.在遥感应用中可作为分类的辅助数据.它还是地理信息系统的基础数据,可用于土地利用现状的分析、合理规划及洪水险情预报等.在军事上可用于导航及导弹制导、作战电子沙盘等^[1].

地形可视化应用中经常会遇到的一个问题是,根据数字地面模型生成的模型数据库过于庞大,通常包含了超过图形硬件实时处理能力的三角形,而且地形模型纹理容量也可能超出了硬件纹理内存的容量,实时系统往往不能处理这样规模的地形.

对过于复杂的地形,通常使用细节层次技术(Levels of Detail, 简称 LOD)来简化. LOD 技术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.与原模型相比,每个模型均保留了一定层次的细节.在绘制时,根据不同的

收稿日期:2007-02-09

作者简介:胡涛(1979-),男,山东招远人,学士,研究方向为计算机仿真、计算机网络、三维建模.

标准选择适当的层次模型来表示物体. LOD 技术具有广泛的应用领域,很多造型软件和 VR 开发系统都支持 LOD 模型表示^[2].

恰当地选择细节层次模型能在不损失图形细节的条件下加速场景显示,提高系统的响应能力. LOD 模型的选择方法可以分为如下几类:(1)侧重于去掉那些不需要用图形显示硬件绘制的细节;(2)去掉那些无法用图形硬件绘制的细节,如基于距离和物体尺寸标准的方法;(3)去掉那些人类视觉觉察不到的细节,如基于偏心率,视野深度,运动速度等标准的方法.此外还有一种方法考虑的是保持恒定帧率.

目前,国内外主要的地形绘制算法都围绕着视点相关连续 LOD(连续层次细节,Continuous Level of Detail)技术展开.其思想是在地形绘制中,根据视点的位置,对于地形的不同区域,实时地给予不同的网格划分.

表 1 地形数据简化技术发展过程及其主要特点

发展阶段	主要特点
离散 LOD 模型	同一模型各处具有相同的细节层次水平,相邻 LOD 间切换时伴有视觉上的突跳感
连续 LOD 模型	同一模型各处具有相同的细节层次水平,可以实现相邻 LOD 间的平滑过渡
多分辨率模型	不同水平细节层次同时存在于模型的不同区域

1.2 基于分形技术的地形仿真

分形几何(fractal)关注的是物体的随机性、奇异性和复杂性,它试图透过混乱现象和不规则构型揭示隐藏在背后的局部与整体的本质联系和运动规律.分形几何具有细节无限以及统计自相似性的典型特性,它用递归算法使复杂的景物可用简单的规则来生成,在现代计算机图形学中,分形几何在对自然现象的真实绘制和建模方面起着重要作用.

分数布朗运动(fractional Brownian motion, fBm)数学模型是现代非线性时序分析中的重要随机过程,它能有效地表达自然界中许多非线性现象,也是迄今为止能够描述真实地形的最好的随机过程.

分形几何建模大致可归纳为泊松阶跃法(Poisson faulting)、傅里叶滤波法(Fourier filtering)、中点位移法(midpoint displacement)、逐次随机增加法(successive random additions)和带限噪声累积法

(summing band limited noises)等 5 类.

(1)泊松阶跃法是将泊松分布用于 fBm 的产物,它在服从泊松分布的间隔上,将高斯随机位移(或称步长函数)加到一个平面或球面上,其结果具有 fBm 特征.这种方法很适合于用球面生成类似星球的物体,它的主要缺点是算法的时间复杂度达到了.

(2)傅里叶滤波法是将一个二维的高斯白噪声进行傅里叶变换,在频域将变换结果同一适当的滤波器相乘,然后再将所乘结果进行傅里叶反变换,其结果就是 fBm,从而形成自然地景的形态.这种方法的优点是可以精确地控制所有的频率分量,产生不同的纹理图像效果,缺点是最终形成的地表结果具有周期性,且算法的时间复杂度是 $O(\ln \log n)$.此外还缺少细节的局部控制以及难以改变采样的精程度等缺点.

(3)中点位移法是标准的分形几何法,可用作快速地形生成.它是利用细分过程中,在 2 个点或多个点之间进行插值的方法来建模,因此中点位移法产生了真正的分形地表.但是不同细分阶段产生的点,在相邻区域中有不同的统计特性,这常会留下一道明显痕迹,即所谓的“折痕问题”(creasing problem),当添加更多细节时,该折痕也不消失.

(4)逐次随机增加法是一个灵活的细分方案,如果需要利用上一级细分过程确定的点,则这些点首先需要增加一个服从某种分布的随机变量,一般新的点可通过在上一级细分水平基础上进行线性或非线性插值得到.

(5)带限噪声累积法是将频率范围受到严格限制的信号反复叠加,其中每一个信号的幅度是随机变化的(即噪声),因此这种方法也称噪声合成法.这是一种基于函数的建模方法,每个点的确定独立于它的所有邻接点,这是此法区别于一般的随机分形算法的独特之处.

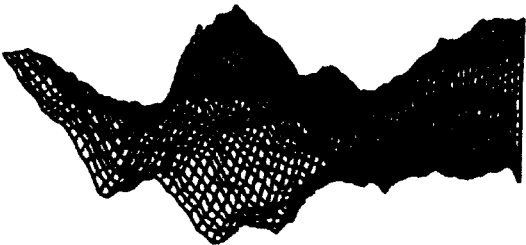


图 1 利用分形几何产生的三维地形

1.3 基于数据拟合的地形仿真

最简单且常用的地形仿真方法是由稀疏分布点的高程值构成一些简单的三角形平面,从而形成地形框架,并贴以纹理图像的方法.这种方法显示速度很快,但基本框架过于简略,且常有很强的卡通效果.因此,地景的真实感受到影响.很多情况下,地形仿真也用曲面(如二次、三次曲面等)进行拟合,曲面不需作分段线性近似,仍可以保证相邻面的斜率连续性,因此非常灵活.但由于其数学计算的复杂性,对于复杂场景来说,计算量较大.另外,为了增加逼真效果,也可以用分形技术直接对用上述方法生成

的光滑平面或曲面进行噪声扰动,从而形成真实感较强的地形表面.

2 三维地形实时动态显示

2.1 数字高程模型数据的获取

DEM(Digital Elevation Model, 数字高程模型)数据包括平面位置和高程数据 2 种,获取 DEM 数据的方法很多,比如:来自激光扫描仪,InSAR 技术,野外测量,摄影测量以及基于数字化等高线和高程点信息创建 DEM 等等.

表 2 DEM 的采集方法以及各自特性比较

	地面测量	摄影测量	立体遥感 Spot, MOMS-2	GPS	地形图手扶 跟踪数字化	地形图屏幕 数字化	激光扫描、 干涉雷达
DEM 精度	非常高 (cm)	较高(cm~m)	低	较高 (cm~m)	较低(图上精度 0.2~0.4m)	比较低(图上精度 0.1~0.3m)	非常高 (cm)
速 度	耗时	较快	很快	很快	较耗时	非常快	很快
成 本	很高	较高	低	较高	低	较低	非常高
更新程度	很困难	周期性	很容易	容易	周期性		容易
应用范围	小范围区域,大的工程项 特别的工程目,国家范围 项目		国家范围乃至全球范围 内的数据收集	小范围,特别 的项目	国家范围内以及军事上的 数据收集,中小比例尺地 形图的数据获取		

2.2 数字高程模型建模

DEM 是地形表面的一个数学模型,可以用以下的数学表达式描述:

$Z = f(X, Y)$, 其中 $f(X, Y)$ 为一多项式

表 3 用于 DEM 表面重建的通用多项式

子项	项次	表面性质	项数
$Z = a_0$	0 次项	平面	1
$+ a_1X + a_2Y$	1 次项	线性	2
$+ a_3XY + a_4X^2 + a_5Y^2$	2 次项	二次抛物面	3
$+ a_6X^3 + a_7Y^3 + a_8XY^2 + a_9X^2Y$	3 次项	三次曲面	4

地形表面建模有 4 种主要的方法:基于点的建模、基于三角形的建模、基于格网的建模和混合建模.

(1)基于点的建模

对于单独平面的子面域,其数学表达式可表示为: $Z_i = H_i$. 这里, Z_i 表示 i 点周围一定范围内水平面的高程, Z_i 为 i 点的高程值. 这种方法虽然非常简单,但是它没有办法确定相邻点间的边界,所以往往以其他的形式来被使用,如将点扩展为正方形格网、等边三角形、六边形等.

(2)基于三角形的建模

在多项式 $f(X, Y)$ 中,如果只取一次项和常数项,便可以得到简化后的 DEM 数学表达式. 求解简化后的 DEM 表达式,需要至少 3 个点,这 3 个点可以生成一个平面三角形. 如果每个三角形只代表它所覆盖的区域,那么整个 DEM 区域便可以由一系列相互连续的相邻三角形组成,这就是所提到的基于三角形的 DEM 建模. 由于三角形的大小和形状有很大的灵活性,它可以很容易地融合断裂线、生成线等,所以它成了主要的建模方法.

和其他方法相比较而言,在有相同数据点的情

况下,基于三角形的 DEM 建模更准确.而从另一个方面来说,它又需要更多的计算时间,因为基于三角形的建模其数据往往没有什么规律可循.由此基于三角形的建模又划分为 2 种:基于规整网格的三角网、常规 TIN(包括 Delauny 三角形).如图 2 所示.

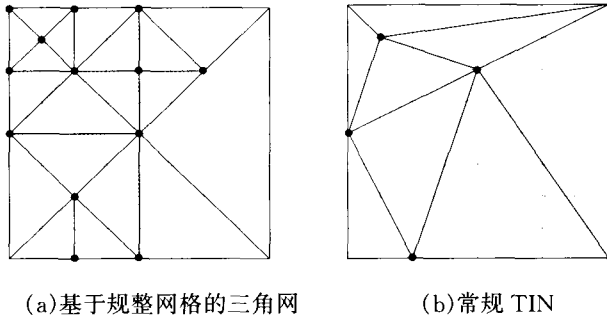


图 2 2 种基于三角形的建模方法

(3) 基于网格的建模

如果将通用多项式的前三项和 a_3XY 组合成另一个多项式,则至少需要 4 个点才能确定一个表面.理论上任意形状的四边形都可用作 DEM 建模的基础,但考虑到实际应用,正方形格网为最佳选择.

基于格网的建模往往用来处理覆盖平缓的区域,如果地势破碎,就不是很理想了.在显示 DEM 的过程中,考虑到其效果,往往是将格网再细分成若干个三角形来显示的.

(4) 混合建模

在实际使用过程中,有时需要简洁地表示地形,同时又要求尽量准确地表示地形,混合建模便应运而生^[3].

2.3 动态显示

三维地形的显示需要用到图形工业标准,图形工业标准是一种图形与硬件的接口,独立于硬件设备、窗口系统和操作系统.经常使用的图形工业标准有 2 种: DirectX 和 OpenGL,下面介绍一下基于 OpenGL 的 DEM 三维地形显示技术.

利用 OpenGL 显示图形,首先需要构造几何体要素(点、线、多边形、图像、位图),创建对象的数学描述,然后在三维空间上放置对象,选择有利的观察点.接着计算对象的颜色,这些颜色可直接定义,或由光照条件及纹理间接给出,最后进行光栅化,把对象的数学描述和颜色、信息转换到屏幕的像素.另

外,也可以执行消隐,以及对像素的操作(如图 3).

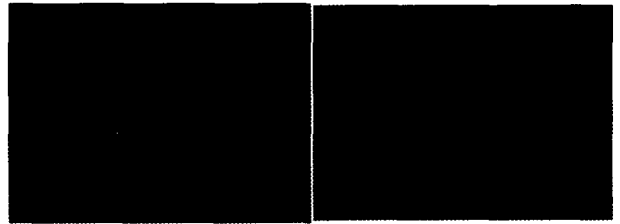


图 3 三维地形的显示效果

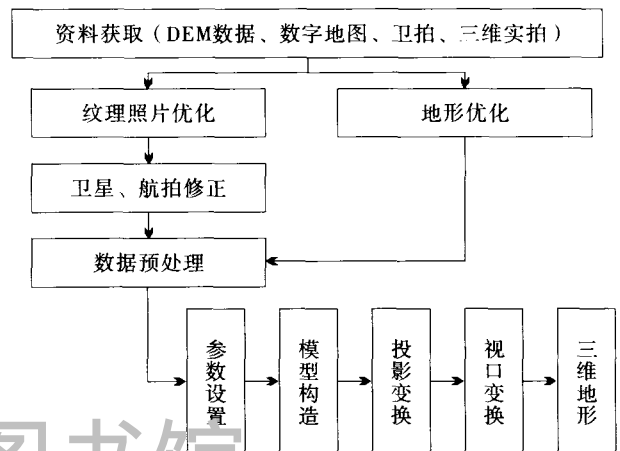


图 4 用 OpenGL 构造三维地形流程图

将获取的 DEM 数据作为几何数据,根据图 4 所示的流程图,就可利用 OpenGL 构造成地形表面的三维模拟景观图.三维地形的基本构造通常是以三角面为单元.三角面的明亮程度取决于光源和明暗处理方式外,还受到点与面的法矢量的影响,OpenGL 可以为每一个顶点设定一个法线,而物体的法线代表其空间曲面的方向,顶点的法线可以决定该顶点上接受的光强.OpenGL 不提供直接求解曲面法线矢量的函数,它只提供赋予当前顶点法向的函数,并不在内部具体计算其法向量,需要自己计算得出.计算法线矢量的方法非常重要,其质量的高低直接影响光照的效果,并最终影响绘图的质量.正确的求算法线矢量可使地形显得更为平滑,立体感增强^[4].

对于一个曲面而言,法线矢量是与顶点紧密相连的.曲面上某一点的法线矢量方向是一个邻域垂直的方向,这里的垂直是与极限有关的概念,当邻域尺寸收缩为足够小时,原本属于曲面的邻域可足够精确地看作平面.设一个三角面的 3 个顶点为 P_1

$(X_1, Y_1, Z_1), P_2(X_2, Y_2, Z_2), P_3(X_3, Y_3, Z_3)$, 则其法线矢量 N 可由下式计算:

$$N = (P_2 - P_1) \times (P_3 - P_2) = (nx, ny, nz)$$

$$\text{即 } nx = \sum_{j=1}^3 (Y_i - Y_j)(Z_i + Z_j)$$

$$ny = \sum_{j=1}^3 (Z_i - Z_j)(X_i + X_j)$$

$$nz = \sum_{j=1}^3 (X_i - X_j)(Y_i + Y_j)$$

3 结 束 语

计算机技术的发展,对数字地形的产生和应用都产生了深刻的变革性的影响,具有真实自然视觉

效果的三维地形技术将在三维浏览、可视化的模拟实验等方面发挥出重要作用。

参考文献

- [1] 郭伦. 地理信息系统—原理、方法和应用[Z]. 数字地形模型(DTM)与地形分析, 2004.
- [2] 王乘. Creator 可视化仿真建模技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005: 23-44.
- [3] 吴凡, 宋鹰. 数字地图制作原理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002: 57-63.
- [4] 吕恒. 基于 OpenGL 和地形图支撑下的地形三维显示[M]. 南京: 中科院南京地理与湖泊研究所出版社, 2004: 81-89.

(上接第4页)

设施附近,可装载于坦克、装甲车和各种战车上,也可用于单兵使用。陆地应用的光电设备最为复杂,主要的光电设备和作用范围如下:

可见光照相机和电视摄像机,工作距离可达几公里;热成像仪的观测距离通常在1~20 km,用于手持观察和瞄准射击时,其作用距离约为2~3 km;主动式红外夜视仪被广泛用于狙击枪和坦克在夜间的观察、瞄准和驾驶等,作用距离可达1000 m;近程激光测距机可测几十米,远程车用激光测距机则可测近百千米;各种光电告警设备的探测视场通常为360°,探测距离可达5~20 km;光电制导武器的作用距离通常为几百米至几十千米;激光欺骗式干扰机主要用来对敌方激光制导武器或激光测距机实施角度欺骗或距离欺骗,干扰方位通常为360°,干扰距离可达10 km;地基反卫星激光武器有效射程达4000~5000 km,战术激光武器的作战距离一般在几十千米以内。

另外,地面上还大量使用各种烟幕器材,极大地影响了战场光信号传输环境。

(4) 海面和水下

海面和水的平台主要是航母、水面舰艇、潜艇及其他浮留平台等。陆地上的光电设备大部分都可以移植到水面舰艇,这里不再赘述。

实际上,由于航母的存在,飞机几乎可以到达所有海域的上空,在沿海陆地上也分布着各种海域监视和警戒系统。

现代战争已经是海陆空天一体化的战争,光电设备几乎可以到达每一个角落,光电信息无处不在,光电设备分布位置的不断扩张,作用距离的远近搭配,决定了战场光电信号环境具有高密度、宽范围、多变化的构成特点。

3 结 束 语

随着光电武器的不断应用,战场光电环境日益复杂,如何更好地利用战场光电环境成为决定成败的又一关键;控制光电环境成为战争双方争夺的焦点。任何作战行动都有特定的战场环境,光电信号环境不仅是光波段武器装备应用和对抗行动的客观条件和依据,同时也是战术运用的舞台。只有承认光电信号环境的客观存在,并且积极研究其规律和特点,才能全面客观地认识现代战场宽频域、高密度、瞬息万变的射频——光波复合型电磁环境。

参考文献

- [1] 宛东生. 对光电对抗基本内容的认识[J]. 国防技术基础, 2005(5): 25-27.
- [2] 王汝群. 战场电磁环境[M]. 北京: 解放军出版社, 2006.
- [3] 王志刚. 战场光电信号环境分析[J]. 光电技术应用, 2005, 20(3): 14-18.
- [4] 张建奇, 方小平. 红外物理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.