

基于模板阴影体算法的矢量数据在三维场景中的绘制

刘昭华<sup>1</sup>,杨靖宇<sup>2</sup>,戴晨光<sup>2</sup>

(1. 江西理工大学 建筑与测绘工程学院,江西 赣州 341000;2. 信息工程大学 测绘学院,河南 郑州 450052)

摘 要:提出一种基于模板阴影体算法的矢量数据绘制方法,实现矢量数据在三维场景中的高质量实时叠加显示。由于该方法基于屏幕空间,所以具有像素级的精度,不会出现传统的基于纹理方法所产生的绘制走样现象;而且不受地形几何数据的约束,其执行效率与地形数据的复杂度无关,仅取决于矢量数据本身的复杂度。详细论述基于模板阴影体算法矢量数据绘制的关键技术,并通过试验验证该方法的有效性。

关键词:模板测试;阴影体;矢量数据多面体;矢量数据绘制

中图分类号:P391 文献标识码:A 文章编号:1006-7949(2009)01-0038-04

Rendering vector data over 3D terrain based on stencil shadow volume algorithm

LIU Zhao-hua<sup>1</sup>,YANG Jing-yu<sup>2</sup>,DAI Chen-guang<sup>2</sup>

(1. Faculty of Architecture and Mapping Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;  
2. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou, 450052, China)

**Abstract :**A method of rendering vector data over 3D terrain based on the stencil shadow volume algorithm is presented. And high-quality real-time overlay of vector data is allowed on virtual landscapes. Since this method is a screen-space algorithm, it is per-pixel exact and does not suffer from aliasing artifacts like texture-based techniques. In addition, since the method is independent of the underlying terrain geometry, its performance does not depend on the complexity of the data set but only on the complexity of the vector data. The key technique of vector data render based on stencil shadow volume is discussed and is proved by experiments.

**Key words :**stencil test; shadow; vector data polyhedron;vector data render

矢量数据在三维场景的分析与管理中具有十分重要的应用,长期以来,有关三维地形实时绘制的相关技术得到广泛深入的研究,但对在三维地形表面进行矢量数据绘制的研究却相对较少,大致可分为基于纹理的方法和基于几何的方法。本文提出一种基于模板阴影体算法的矢量数据绘制方法,实现了矢量数据在三维场景中的高质量实时叠加显示。该方法是基于屏幕空间的,因此,具有像素级的精度,不会出现采用基于纹理方法所产生的绘制走样现象;而且,该方法不受地形几何数据的约束,其执行效率与地形数据的复杂度无关,仅取决于矢量数据本身的复杂度。

1 现有矢量绘制方法的分析

基于纹理和基于几何的方法是目前在三维地形

上实现矢量数据绘制的两种常见的方法,它们各有优势,同时也都存在着一些局限性,分别适合不同的可视化环境。

1.1 基于纹理的矢量数据绘制方法

基于纹理的方法,首先在数据预处理阶段,将二维矢量数据栅格化为纹理图像,然后在地形绘制时采用标准的纹理映射方法进行绘制。这种方法的主要不足在于:首先,若要同时显示多层空间矢量数据,则需要分别构建每一层数据对应的纹理,对系统内存提出了比较高的要求;其次,矢量数据的绘制精度受所生成的纹理分辨率的限制,当场景放大时容易出现绘制走样现象。虽然提高纹理分辨率可以减轻走样现象,但是在绘制大范围场景矢量数据时,会引起巨大的纹理内存开销。

收稿日期:2007-11-17  
作者简介:刘昭华(1978~),男,讲师。

1.2 基于几何的矢量数据绘制方法

基于几何的矢量数据绘制方法的基本思想是根据矢量数据创建与地形几何表面相适应的矢量几何数据来进行绘制。通常,仅采用矢量数据所包含的顶点坐标进行绘制会出现与地形不匹配的情况,如图 1(a)所示;为此,需要根据相应的地形几何数据,在矢量数据中引入新的顶点或线段,从而生成与地形相匹配的矢量数据,而且,对于计算生成的与地形表面共面的几何单元,在绘制时还需要为其加上合适的  $z$  坐标偏移量,以免出现由于数据共面而造成  $z$  缓存混淆的现象,如图 1(b)所示。

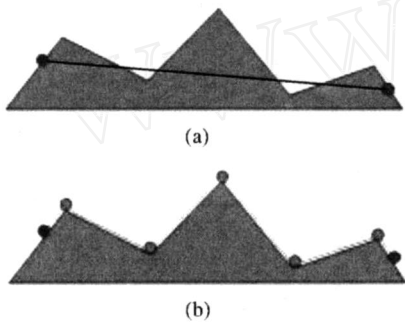


图 1 基于几何的线状矢量数据绘制方法

目前,大多数地形可视化系统的地形数据表示都采用了 LOD 模型,即根据当前视点的位置对地形数据进行简化处理,因此,采用基于几何的方法必须相应于地形几何数据的每个 LOD 模型创建一个与之相对应的矢量几何数据。如果上述的数据是通过数据预处理生成并存储的,将导致几何单元数据的显著增加;而若在场景显示时实时生成,又将带来巨大的计算负担。而且对于计算生成的共面几何单元,还需要为其加上合适的  $z$  坐标偏移量,以免在绘制时出现  $z$  缓存混淆情况。

2 基于模板阴影体的矢量数据绘制

在三维场景中绘制的矢量数据实际上是该矢量数据沿铅锤方向在地形几何表面的投影。这一投影区域相当于位于一个由矢量数据沿铅锤方向向两侧无限扩展的投影体内的地形数据。因此,通过恰当的限制该投影体的两端,即地表以上和地表以下的部分,确定矢量数据投影区域的问题就转化为一个判断地面点是否在投影体内的问题。

基于模板阴影体算法矢量数据绘制的基本思想是:将矢量数据延伸扩展为多面体组合,并利用这些多面体在模板缓存中生成掩模图像,该掩模图像与矢量数据在地形表面的投影是一致的,在绘制时,采用合适的模板测试方法,将掩模图像应用于三维地形场景,对矢量数据覆盖的范围进行栅格化以完成

矢量数据的绘制。该方法是基于屏幕空间的,对屏幕上的每个像素都能够精确地处理,且该方法独立于地形几何数据,因而具有较强的通用型,即使用于高分辨率矢量数据集,具有很高的绘制效率。

2.1 阴影体技术基本原理

阴影体(Shadow Volume)是光源照射遮挡物所形成的空间阴影区域,它是由光源和遮挡物顶点的连线所构成的一个半无穷区域大小的锥体,如图 2 所示。位于阴影体内的场景物体必然会产生阴影效果。判断某一像素点是否位于阴影体内的方法称为阴影测试,通常采用深度缓存技术和模板缓存技术进行,并根据测试时所采用的测试光线的不同分为 Z-pass 算法和 Z-fail 算法。

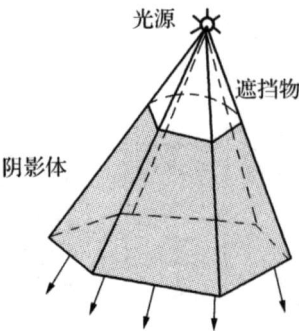


图 2 阴影体生成示意图

将阴影体技术中判断像素点是否在阴影体内的算法引申到判断点是否是多面体内的算法中,具体方法如下:假设点  $O$  是位于所有多面体外的一点,对于给定的任一点  $P$ ,考察线段  $OP$  与多面体间的相交关系。对于线段  $OP$  与多面体的每一次相交,如果线段进入多面体则计数器加 1,若线段离开多面体则计数器减 1。所有的相交测试执行完毕后,计数器的数值即为包含点  $P$  的多面体的数目。

点在多面体内的测试可以通过将多面体的前向和背向表面绘制到模板缓存的方法对场景中的所有可见点同时进行判断。如图 3 所示,对于每一个像素点  $P$ ,从视点通过像素  $P$  的光线将被用作测试。沿光线方向位于多面体外的点  $O$  有两种选择,第一种选择是选取光线与近剪裁面的交点  $O_{near}$ ,显然,如果近剪裁面与多面体不相交,则点  $O_{near}$  肯定位于多面体之外。另一种选择是选取光线的无穷远处点  $O_{inf}$ ,由于该点离场景无穷远,因此,该点必然位于多面体之外。

相交计算可以通过将多面体表面栅格化到模板缓存的方式来执行。相交计数不是沿整条直线而只在线段  $PO_{near}$  或  $PO_{inf}$  上执行。由于点  $P$  为可见点,这两类相交运算可以通过深度测试的方法来区分。

如果选用近裁减面上的  $O_{\text{near}}$  点,那么,只有通过深度测试的多面体表面才被计数,其中通过深度测试的多面体前向表面 stencil 值加 1,通过深度测试的多面体背向表面 stencil 值减 1,这与阴影体技术中的 Z-pass 算法一致。如果选用无穷远处的点  $O_{\text{inf}}$ ,那么只有未通过深度测试的多面体表面才被计数,其中未通过深度测试的多面体背向表面的 stencil 值加 1,未通过深度测试的多面体前向表面 stencil 值减 1,这与阴影体技术中的 Z-fail 算法一致。当模板缓存被渲染后,模板值为零表明相同数目的前向和背向表面被渲染,因此,相应的像素位于所有多面体之外,该像素点处无矢量数据;否则,该像素至少位于一个多面体的内部,即该像素点处有矢量数据。

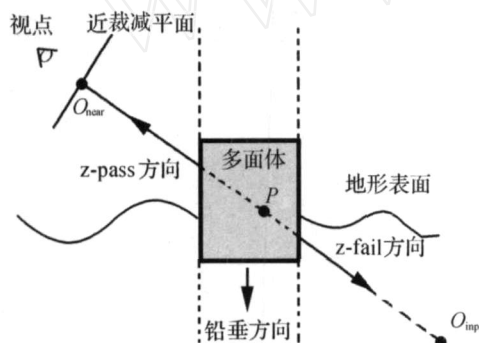


图 3 点在多面体内判断示意图

## 2.2 矢量数据多面体的创建

创建矢量数据多面体时首先对矢量数据的每一个顶点进行复制,复制后的每对顶点其中一个竖直向下平移,另一个反向上平移。这些经过平移的顶点组成了多面体的顶部和底部表面。其中经过平移组成多面体顶面的顶点应完全位于相应的地形表面之上,而底面顶点应完全位于地形表面之下,只有这样所生成的多面体将完全包含矢量数据所在的地形表面区域。

图 4 所示为线状矢量数据多面体创建的示意图,其中  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  为矢量数据中的顶点,  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ 、 $D_1$  为各顶点向上平移的点,  $A_2$ 、 $B_2$ 、 $C_2$ 、 $D_2$  为各顶点向下平移的点,上述平移后的点就构成了矢量数据包含其相应地形数据的多面体。多面体创建完成后将被剖分以保证所有表面的法向都指向多面体外部。

## 2.3 模板掩模图像的生成

利用矢量数据生成相应的多面体数据后,算法将把它渲染到模板缓存中。渲染算法可以采用 Z-pass 或 Z-fail 技术,在本文中采用 Z-fail 算法。首先,清空颜色缓存、深度缓存和模板缓存,绘制三维地形数据,利用得到的深度值初始化深度缓存。然

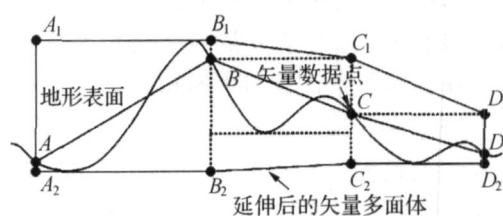


图 4 矢量数据多面体创建示意图

后,将深度缓存设置为不可写,但深度测试功能仍然保留,场景绘制被限制为仅渲染到模板缓存。根据矢量多面体的各面是面向相机还是背向相机,分别对其采用不同的模板绘制操作。这时需要采用面选取策略,且多面体要渲染两遍,一遍渲染多面体的背向表面,一遍渲染多面体的前向表面。

在模板缓存绘制时可以直接利用三角形扇来绘制多面体的顶部和底部平面,而不必提前进行三角化处理,即使是凹多边形或带洞的多边形也可以采用该方法,如图 5 所示。

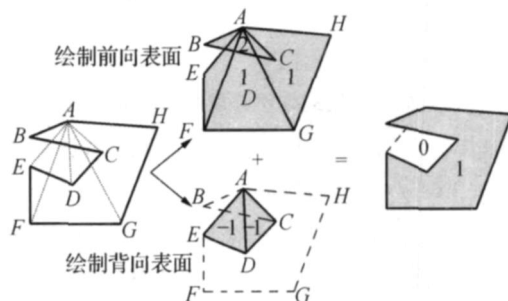


图 5 凹多边形掩模图像生成示意图

## 2.4 将掩模图像用于矢量数据绘制

在模板缓存中创建模板图像后就可以将其应用于场景的绘制。为此,重新将颜色缓存设置为可写的,并启动附加的融合功能。模板测试设置为仅当模板缓存中值不为 0 时通过测试。为了节省栅格化带宽,仅绘制每个多面体的包围盒而不是绘制掩模图像所对应的整个屏幕。在 Z-fail 状态下关闭深度测试只绘制背向表面,而且为了避免绘制每个目标都要清空模板缓存,对模板操作进行设置,将通过模板测试的每个面片所对应的模板缓存值设置为 0。这样,绘制完毕后整个模板缓存值将重新设置为 0,而不必再执行清空操作。

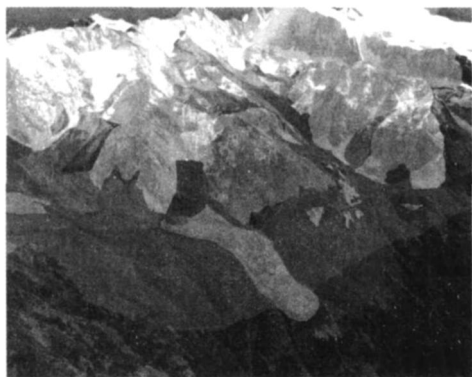
综上所述,基于模板阴影体算法的矢量数据绘制方法共包含 3 个步骤:创建矢量数据多面体,将矢量数据多面体渲染到模板缓存中创建掩模图像,将掩模图像用于矢量数据的绘制。

## 3 系统试验与分析

以上分析了利用模板阴影体算法实现矢量数据

在三维场景中精确绘制的关键技术和流程。在此基础上进行了系统试验。

首先,利用中蒙边界地区的地形数据和卫星影像数据构建了一个三维地形可视化平台;然后,在其上加载各种矢量数据,如河流、湖泊、道路以及边界线等。该地形可视化系统数据量大,覆盖范围广,但是通过提出的模板阴影体算法进行试验证明了该方法的有效性,试验效果如图 6 所示。



(a) 面状矢量数据的绘制



(b) 线状矢量数据的绘制

图 6 试验效果图

## 4 结 论

基于模板阴影体算法的矢量数据绘制方法与其他基于几何的算法相比,同样能够实现高质量的矢量数据可视化。但该算法能够克服传统基于几何的方法不足,即无需进行复杂的几何适应性处理以及地形复杂度相关的大量几何单元处理工作。和需要将矢量数据立即栅格化为纹理数据进行绘制的基于纹理的方法相比,该方法需要绘制稍多数量的几何单元,但能够得到较高的绘制质量。该方法同样可以执行对矢量数据的交互编辑和操作,只需要交互更新更改后矢量数据所对应的多面体数据即可。

## 参考文献

- [1] MARTIN SCHNEIDER, REINHARD KLEIN. Efficient and accurate rendering of vector data on virtual landscapes[Z]. Journal of WSCG, 2002.
- [2] OLIVER KERSTING, JURGEN DOLLNER. Interactive 3D visualization of vector data in GIS[Z]. GIS '02 2002.
- [3] ZACHARY WARTELL, EUNJUNGKANG, TONY WASILEWSKI, et al. Rendering vector data over global, multi-resolution 3D terrain[Z]. Joint EUROGRAPHICS - IEEE TCVG Symposium on Visualization, 2003.
- [4] 邓郑祥. OpenGL 编程指南[M]. 北京:人民邮电出版社, 2005.
- [5] 潇湘工作室. OpenGL 超级宝典[M]. 北京:人民邮电出版社, 2001.

[责任编辑:刘文霞]

(上接第 33 页)

## 3 乘幂计算的 JAVA 编程实现

在使用 J2ME 手机开发工程测量软件过程中,建立一个名为 roadMath 的类,在这个类中,按前述的数学计算公式编写以下方法(函数):反双曲正切函数:  $\text{atanh}(\text{double } x)$ ,  $e$  的指数函数:  $\text{exp}(\text{double } x)$ , 阶乘函数:  $\text{fact}(\text{int } n)$ , 求实数的位数函数:  $\text{GetDigits}(\text{double } x)$ , 自然对数函数:  $\ln(\text{double } x)$ , 整数次幂函数:  $\text{npow}(\text{double } x, \text{int } n)$ , 乘幂函数:  $\text{pow}(\text{double } x, \text{double } y)$ 。

以上这些方法(函数)的编制,一方面是为了编制乘幂函数的需要,另一方面扩充了 CLDC1.1 的数学计算函数。

## 参考文献

- [1] 王晋桃,朱欣焰. 基于 Java 手机的地理信息服务探索[J]. 测绘通报, 2004(3): 51-54.
- [2] 李鲁群,李明禄. 面向 Java 手机 GPS 数据采集与无线网络传输系统的研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2004, 29(8): 729-731.
- [3] 张小玮. J2ME 无线平台应用开发[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [4] 同济大学数学教研室. 高等数学[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社, 1988: 237-316.

[责任编辑:郝丽英]