

# 基于点删除网格简化算法在战场仿真中的应用<sup>①</sup>

Application of algorithm for mesh simplification based on deleting vertices in battlefield emulation

张顺岚 刘 钊 (成都电子科技大学 电子工程学院 610054)

韩传久 (桂林电子工业学院 541004)

**摘要:**介绍了基于点删除的网格简化算法的原理、方法、数据结构及实现技术。按照给定的条件通过重复执行顶点删除,并结合 Delaunay 三角形剖分技术进行局部三角化,实现了战场仿真中地形的多细节层次模型,并取得了良好的效果。

**关键词:**多细节层次 网格简化 点删除 三角剖分

## 1 引言

使用具有不同细节的描述方法来得到对同一场景中供绘制使用的物体的描述模型,称为层次细节(Level of Detail,简称 LOD)模型。由于人们通常用多边形网格(特例为三角形网格)来描述场景中的图形物体,因而 LOD 模型自动就转化为多边形网格简化问题。

战场中地形仿真是实现逼真的实地战场环境仿真系统十分重要的一步,它是战场环境仿真系统中其他环境的物理依托,尽管随着未来仿真技术和虚拟现实应用技术越来越精湛,而且目前的计算机图形技术在生成地形、植物、云火、海浪等方面已卓有成效。但由于三维地形通常与实地战场中目标的运动直接有关,更由于它本身的数据量庞大和高度的冗余给大规模地形的绘制与处理带来了非常大的困难。具体地讲,在实时显示方面,图形硬件加速器的发展无疑起着关键作用。但实地战场仿真系统中地形所需的图形数据量往往比硬件可以实时显示的数据量大一个或多个数量级,而且系统中运动目标的复杂程度往往超过当前图形工作站的实际处理能力,LOD 技术是解决地形数据量庞大和仿真系统实时显示的要求形成的矛盾。生成 LOD 模型的网格简化算法有多种,基于顶点删除的网格简化算法计算较快,也不需要占用太多的内存,非常适合地形 LOD 模型的生成,为大规模实地战场地形的漫游提供了可能。

## 2 网格简化算法

根据对图形显示帧速率及显示效果的不同,生成 LOD 模型的网格简化算法有多种,按分类方法的不同,网格简化算法一般有拓扑结构算法、自适应细分算法/采样算法/几何元素删除算法、局部算法/全局算法、误差受限算法/误差不受限算法、视点相关算法/视点不相关算法等。其中几何元素删除生成物体的 LOD 模型的方法又有顶点删除、三角形删除、三角形合并等,顶点删除和三角形删除是删去网格上不重要的顶点和三角形,三角形合并是将近平面的三角形合并为大的三角形。

## 3 基于点删除的网格简化算法实现

### 3.1 基于点删除的网格简化算法的基本定义

**定义 1** 顶点的相关三角形组。对于三角网中的任意一个顶点  $v_i$ ,所有与  $v_i$  共享一个顶点的三角形构成的集合,成为该顶点的相关三角形组。

**定义 2** 顶点的平均平面。设顶点  $v_i$  的相关三角形组中的每一个三角形的法向量为,中心为,面积为,则由下式定义的法向量和中心所构成的平面称为顶点的平均平面:

<sup>①</sup> 基金项目:桂林电子工业学院学科软环境建设基金资助项目

$$N = \frac{\sum n_k A_k}{\sum A_k} \quad n = \frac{N}{|N|} \quad x = \frac{\sum x_k A_k}{\sum A_k}$$

定义 3 Delaunay 三角网。具有空外接圆,以及最小角最大性质的三角网。它可最大限度的保证三角形网中三角形满足近似等边(角)性,避免了过于狭长和尖锐的三角形的出现。

### 3.2 基于点删除的网格简化算法设计思想

1992 年, Schroeder 提出了基于顶点删除的网格简化方法,其过程是根据对原模型逼近精度的要求,相应地减少模型中三角形数目,即在保持一定的几何误差的前提下,删除对模型几何特征影响相对较小的点。这样就用数量较少的大三角形来取代数量较多的小三角形,从而可获得不同复杂层次的同一场景模型的三角形网格描述,见图 1。

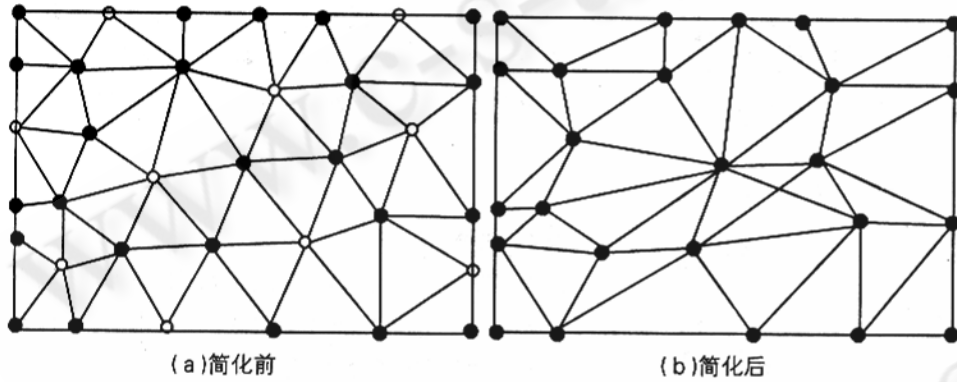


图 1

本文采用的基于点删除网格简化算法的设计思想是:在三角地形网格中,通过某点到其平均平面的距离  $d$  来判断该点与它周围三角面片是否共面,若共面且这一点的删除不会带来拓扑结构的改变,那么就删除该顶点,同时将与该顶点相连的所有三角形从原始模型中删除,然后对该点的邻域采用 Delaunay 三角形剖分法进行局部三角化,以填补由于这一点被删除所带来的空洞,如图 2 所示,继续这种操作直到三角网格中无满足上述条件的顶点为止。

### 3.3 数据结构

由于算法要处理的网格含有大量的三角形,因此要设计合理的数据结构,使得算法能处理数据量大的模型,而且要有较快的速度。本算法所用到的数据结构有:(a) 顶点表; (b) 三角形表。其数据结构设计如下:

```

struct VertexType //
顶点表结构
{
    int x; int y; float z; //
    顶点的 x,y,z 坐标
    float Error; // 顶点误差(即顶点到其平均平面的距离)
    int ErrorChangeFlag; // 误差重新计算标志
};

VTriangl
elist * tl; // 顶点所在三角形链表
};

struct
TriangleType // 三角形表结构
{
    int x [3], y[3]; // 三角形三顶点的 x,y 坐标
};
    
```

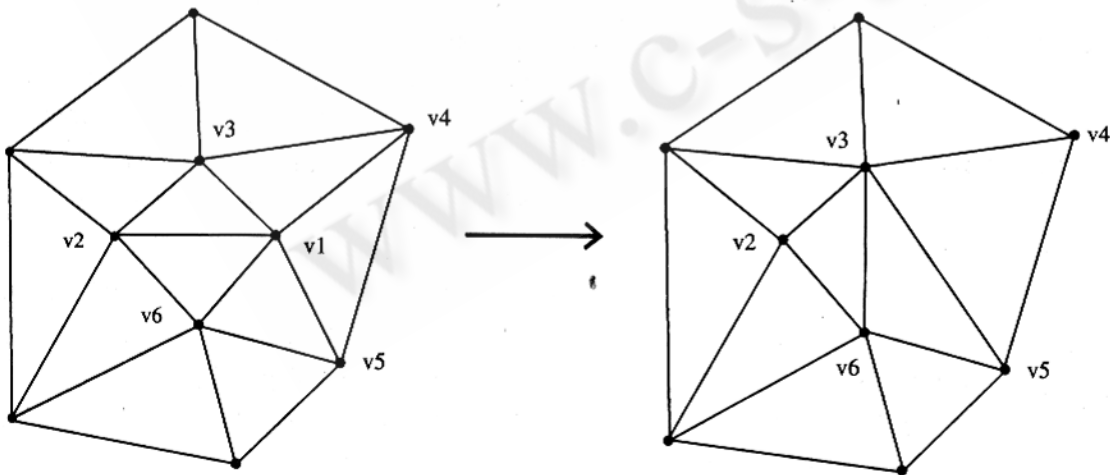


图 2 顶点删除

```

float area; //三角形的面积
float Nx,Ny,Nz; //法线向量坐标
float Mx,My,Mz; //中点坐标
TriangleType * next;
int DeleFlag; //被删除标志
};
struct VTriangleList //顶点所在三角形链表结构
{
TriangleType * t;
VTriangleList * next;
};

```

### 3.4 误差的度量

一般来说,顶点到其平均平面距离的大小反映了它所表示的几何特征的大小,距离越大,特征越大;反之亦然。所以我们通过确立排序表  $S$  并以此为前提建立显示列表  $T$ ,我们采用顶点到该顶点的平均平面距离计算该顶点删除的重要度,以保证先删除的顶点的重要度小。顶点的重要度的计算公式为:

$$\text{importance} (v) = D (v) = \frac{|n_x \cdot d_x + n_y \cdot d_y + n_z \cdot d_z|}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2}}$$

其中  $D$  表示顶点  $v$  到它的平均平面的距离,  $d = (d_x, d_y, d_z)$  表示顶点  $v$  到平均平面中点的距离,  $n = (n_x, n_y, n_z)$  为平均平面法线向量。

### 3.5 局部三角化

如果删除了一个顶点以及它的相关三角形,则必须对其留下的多边形进行三角化。本文采用 Delaunay 三角形剖分法进行局部三角化,算法步骤如下:

- ① 生成一个满足条件的三角形;
- ② 以其中的三条边为基础向 3 个不同的方向寻找满足条件的点,生成新的三角形;
- ③ 以新的三角形为基础向四周扩,直至三角形网充满整个局部区域。

算法的关键在于每一个三角形的生长,而三角形生长的关键又在于对每一条边的扩展,边扩展的实质是对第 3 点的寻找;在点集中找到满足一定条件的一个点,作为第 3 点构成新的三角形。经研究边扩展应同时满足下面 4 条准则:

- (1) 寻找点不在待扩展边或其延长线上。
- (2) 寻找点与待扩展的三角形的第三点分置扩展

边的两侧。

(3) 三角形的每一条边最多使用两次。

(4) 寻找点与待扩展边的两个端点构成的角应尽量大。

### 3.6 基于点删除网格简化算法实现步骤

基于顶点删除网格简化算法生成 LOD 模型的具体步骤为:

步骤 1:对三角形网格中每个顶点计算其到平均平面的距离,建立顺序排列的  $S$ ,建立与  $S$  相关的显示列表;

步骤 2:若顶点的平均距离  $D$  小于给定的近似误差,那么删除该顶点及将对应的三角形标记为删除标记;

步骤 3:对删除顶点后留下的空洞采用 Delaunay 三角形剖分法进行局部三角化;

步骤 4:根据顶点误差重新标记判断是否重新计算部分顶点的误差(即顶点到其平均平面的距离);

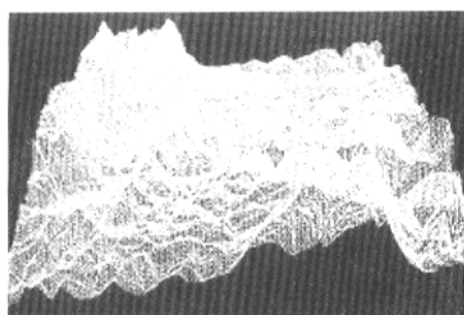
步骤 5:重复上述操作,直到三角形网格中无满足上述条件的点为止。

## 4 试验结果及结论

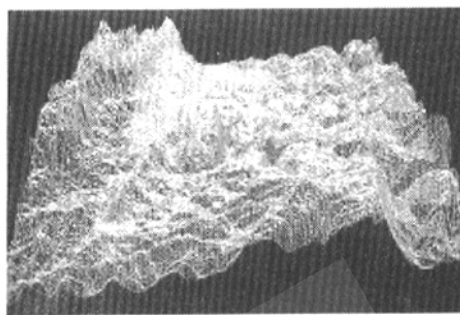
本文所有算法已在 PC 机上用 VC 和 OpenGL 得到了实现。图 3 为某战区 5 级层次细节简化图,软件环境为 Windows2000,原始试验数据大小为 33750 个顶点,67500 个三角形如图(a)所示,当删除总顶点数的 10% (3375 个点)、30% (10125 个点)时,分别剩余 60544 个和 46805 个三角形,如图(b)、(c)所示,没有明显的失真;当删除总顶点数的 50% (16875 个点)时,剩余 32875 个三角形,如图(d)所示,地形有些失真,但适合远距离观看;当删除总顶点数的 80% (27000 个点)、90% (30375 个点)时,分别剩余 13406 个和 7076 个三角形,如图(e)和(f)所示,有较明显的失真,适合比较远距离模糊观看。通过以上实验表明,该算法对三维实地战场地形的简化是有效的,在不影响视觉观看效果的情况下,可以用较少三角形,在较短的时间内绘制战区地形,大大提高了绘制速度。

我们通过基于点删除网格简化算法在实地战场地形仿真中的应用,得出如下结论:

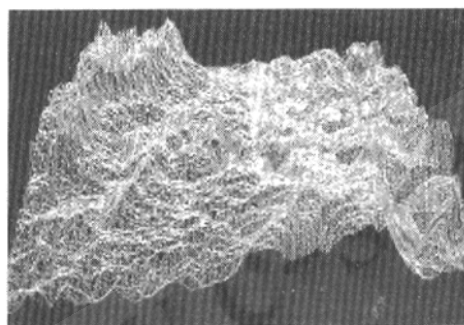
基于点删除网格简化算法计算较快,也不需要占用太多的内存,非常适合于流形结构的大规模地形模型,但保持地形表面的光滑性方面存在一定的困难。



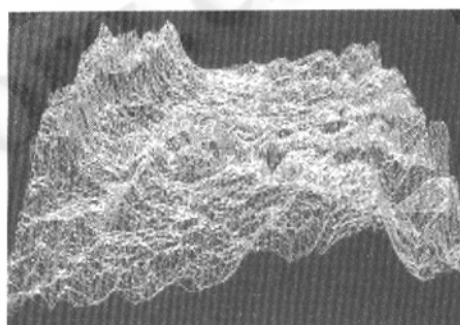
(a) 规则网格图



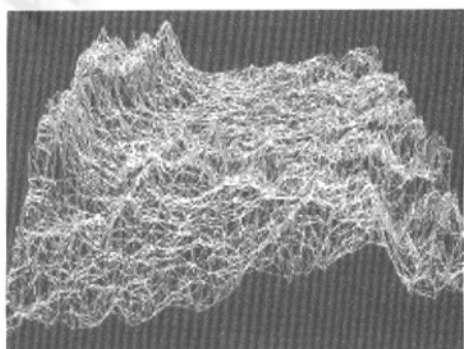
(b) 删除 10% 即 3375 个顶点结果



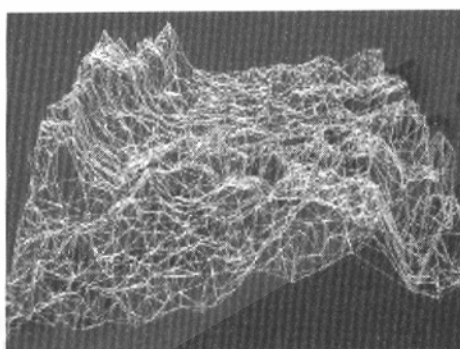
(c) 删除 30% 即 10125 个顶点结果



(d) 删除 50% 即 16875 个顶点结果



(e) 删除 80% 即 27000 个顶点结果



(f) 删除 90% 即 30375 个顶点结果

图 3 实地战场中地形的 5 级 LOD 模型

### 参考文献

- 1 潘志庚、马小虎,多细节层次模型自动生成技术综述[J],中国图象图形学报,1998,3(9):754~759。
- 2 何晖光、田捷,网格模型简化综述[J],软件学报,2002,13(12):2215~2224。
- 3 文伟、杨耀权,用 Visual C 语言实现的 Delaunay 三角剖分算法[J],华北电力大学学报,2000,27(4):54~58。
- 4 Schroder, w., Zarge, J., Lorensen, w. Decimation of triangle meshes. Computer Graphic, 1992, 26(2): 65~70。
- 5 Garland, M. Multiresolution modeling: Survey & future opportunities. In: Proceedings of the Eurographics99, 1999. <http://graphics.cs.uiuc.edu/~garland/papers/STAR99.pdf>.