

# 一种辐射度全局光照网格模型的简化方法\*

刘学慧<sup>1</sup> 吴恩华<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院软件研究所计算机科学实验室 北京 100080)

<sup>2</sup>(澳门大学科学技术系 澳门)

**摘要** 全局光照模型计算通常将环境中的表面分解得足够细,以精确地捕捉由于物体间相互遮挡所引起的阴影效果及其他一些光照效果.因而,一个复杂场景经全局光照计算后,其模型复杂度远远超出了当今图形工作站的实时绘制能力.给出了一种辐射度全局光照网格模型的简化方法.算法首先根据辐射度计算的特点以及人眼的视觉特点,提出以辐射度最大相对变化值为准则,以面片合并法实现全局光照网格模型的第1步简化,将原辐射度全局光照网格模型简化为能量相对变化在用户定义误差范围内的一些超面区域.然后利用顶点删除法实现超面区域边界的简化,进一步加大原网格模型的简化程度.试验表明,这种算法不仅能有效地简化辐射度全局光照网格模型,而且能较好地保持原光照网格模型的特征.

**关键词** 全局光照模型,辐射度全局光照网格模型,网格简化,多细节层次模型,虚拟现实.

**中图法分类号** TP391

对于虚拟现实的虚拟环境而言,高度真实的图形视觉效果无疑是产生“现实”感觉的必要条件. VR(virtual reality)所期待的目标自然是高质量真实感的逼真图形,使用全局光照模型显示具有复杂场景的真实感图形必然是VR所追求的目标.

就全局光照模型来说,光线跟踪由于算法开销过大且与视点相关,因而在相当长的一段时间内不可能作为VR可用的光照模型.而辐射度技术在景物空间计算光能分布,其计算结果与视点无关,大量计算可作为预计算,因而极有可能成为虚拟现实真实感图形生成的工具.国外已有一些试验性系统成功地使用辐射度技术作为VR的光照模型<sup>[1]</sup>.

在辐射度计算中,为精确捕捉由于物体间相互遮挡所引起的阴影及其他一些光照效果,环境中的表面往往被分解得非常细,辐射度计算结果的模型复杂度往往是原有场景的几十甚至上百倍.虽然人们相继提出自适应划分<sup>[2]</sup>以及各种阴影生成方法<sup>[3,4]</sup>已较有效地减少整个场景的复杂度,但一个具有辐射度全局光照效果的复杂场景的模型复杂度已远远超出了当今计算机图形工作站的绘制能力.这种情况不仅存在于具有全局光照效果的模型实时绘制中,而且随着计算机图形学应用范围的不断扩大而变得日益尖锐,急待解决.

考虑到人眼的视觉特点,人们提出了多细节层次模型LoD(level-of-detail)技术.该技术允许在不影响图像质量的前提下以不同的细节表达同一三维模型,并根据物体的重要程度决定模型细节的选择,以此减小图形处理的复杂度,实现复杂模型的实时绘制.

本文给出一种辐射度全局光照网格模型的多细节层次模型的自动生成算法.算法首先利用辐射度的计算特点,以辐射度最大相对变化为准则、以面片合并简化算法实现对辐射度全局光照网格模型的第1步简化,得到一组能量相对变化在用户定义范围内的大面积多边形区域.然后算法以原模型中各顶点的RGB值决定该多边形区域边界顶点的删除,实现该多边形区域的边界简化,进一步加大模型的简化程度.试验表明,本算法不仅能有效

\* 本研究得到国家自然科学基金资助.作者刘学慧,女,1968年生,博士,主要研究领域为计算机图形学,虚拟现实.吴恩华,1947年生,研究员,博士生导师,主要研究领域为计算机图形学,并行处理,虚拟现实.

本文通讯联系人:刘学慧,北京 100080,中国科学院软件研究所计算机科学实验室

本文1997-11-04收到原稿,1998-02-18收到修改稿

效地简化辐射度全局光照网格模型,建立起整个场景的具有辐射度全局光照效果的多细节层次模型,而且能较好地保持原光照网格模型的特征。

## 1 相关工作

在网格模型的自动简化生成物体的多细节层次模型方面,人们进行了多方面有意义的探讨,相继提出了基于顶点删除的多边形消减法<sup>[3~7]</sup>、基于边蜕化的多边形消减法<sup>[8]</sup>、基于面片合并的多边形消减法<sup>[9]</sup>、网格重新划分的模型简化法<sup>[10]</sup>、基于三角形移去的模型简化法<sup>[11]</sup>以及基于小波的多分辨率方法<sup>[12]</sup>等等,其中,基于面片合并的多边形消减法以近平面判定实现近似位于同一平面上的相邻三角形的合并,达到模型简化的目的.该方法不仅对模型的简化程度较大,而且适合于任意多边形表示的模型。

以上所介绍的网格模型的简化算法皆以几何误差约束的变化来指导模型的简化,然而网格模型的其他各种约束性质,如光照颜色纹理,应具有与几何约束性质同等重要的地位,特别是光照颜色纹理,它不仅为人们提供了物体真实的外部特征,而且为人眼提供了丰富的临近、遮挡等视觉信息.基于以上算法,人们在具有全局光照效果的网格模型的自动简化上也作了一些尝试,取得了一些成果。

Huges<sup>[13]</sup>分析了具有光照效果的网格模型与一般网格模型中特殊网格模型——地表网格模型的特点,指出了二者的相似之处,即两种模型皆可看作二维平面上一族带某种约束的点的网格模型.文献[13]利用这种相似性将RGB约束值与地表模型中的一维高度约束值对应,并以基于几何约束的一般网格模型的简化方法——顶点删除法实现光照网格模型的简化.此外,Hoppe在文献[14]中将文献[6]中的几何距离函数推广至网格模型的其他约束性质,以边蜕化简化模式实现全局光照网格模型的简化.相对于能量函数中的几何距离函数,Hoppe定义了其他性质类似的距离函数.为保持模型中各种约束性质的不连续性,算法根据顶点间的各约束性质的距离量差,如RGB值,判定各特征边,以决定该边是否可以蜕化为顶点.该算法对具有辐射度全局光照效果的网格模型进行简化,取得了较为满意的效果。

## 2 算法原理

辐射度技术假设环境中的物体表面为理想漫射面.所谓辐射度  $B$  即指物体表面单位面积向外辐射的能量.根据能量守恒,环境中任一点  $x$  向外辐射的能量除自身作为光源向外辐射的能量外,还包括经物体表面反射周围环境对其辐射的能量.即

$$B(x) = E(x) + \rho(x) \int_S B(x') \frac{G(x, x') V(x, x')}{\pi |x - x'|^2} dA', \quad (1)$$

其中  $B(x)$  为场景中物体表面任一点  $x$  的辐射度,  $\rho(x)$  是该点的漫反射系数;  $x'$  为  $x$  周围环境表面任一点;  $dA'$  为该点所在微面元的面积;  $G(x, x') = \frac{\cos\theta_i * \cos\theta_o}{|x - x'|^2}$ ;  $V(x, x')$  为  $x$  与  $x'$  的遮挡因子;  $S$  为环境中所有表面的集合。

为求解整个环境的光能分布,辐射度方法将整个环境划分成若干个面片  $P_i (i=0, \dots, n)$ , 并假设每一面片  $P_i$  具有常值的辐射度  $B_i$ , 即理想漫射面.对  $x$  所在面片求积分并以有限的和近似方程式(1),得到以下一组方程

$$B_i * A_i = E_i + \rho_i * \sum_{j=0}^n A_j * B_j * F_{ij}, \quad i=0, \dots, n;$$

其中  $A_i$  是面片  $i$  的面积;  $F_{ij}$  是面片  $P_i$  对面片  $P_j$  的形状因子,且

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos\theta_i * \cos\theta_j}{\pi r^2} dA_i dA_j,$$

求解上述方程即可得到整个景物空间的光能分布,场景的色彩明暗变化即反应在各面片的辐射度大小变化上。

因而,辐射度计算的结果即原物体表面的网格化,且网格中的面片具有常值辐射度.由于人眼对光能跳跃的敏锐分辨能力,在实际绘制中一般采用各种插值法,重新建立物体表面的光能分布,以得到光能均匀过渡的虚拟场景的图形画面.为利用图形加速器的图形生成能力,人们通常采用  $C_0$  插值.首先以顶点周围面片的辐射度值的面积平均求取面片各顶点的光强,然后在图像空间以各面片顶点的光强线性插值生成整个环境的图形画面。

从方程(1)我们知道,由于环境中物体的相互遮挡,物体表面辐射度的分布存在着各类间断点.这些间断点,

特别是第 1、2 类间断点为人类视觉提供了丰富的形体、临近及遮挡等视觉信息,因而在光照网格模型的简化中不但应最大限度地简化模型,而且在简化过程中应充分认识并保持原光照网格模型的特征。

根据以上辐射度全局光照模型计算的特点,我们提出以辐射度最大相对变化值为合并准则、利用面片合并简化操作实现辐射度全局光照网格模型的第 1 步简化。这样得到的一组由原模型顶点、原模型边组成的、在用户定义范围内能量相对变化的多边形区域。为进一步加大模型的简化程度,算法以原模型顶点的 RGB 值的变化决定超面边界点的删除,实现原光照网格模型的进一步简化。为描述清楚,我们引入如下基本定义。

定义 1. 空间中一组多边形沿公共边及顶点处相邻接,把这样的一组多边形定义为网格模型 TM。

定义 2. 网格模型 TM 中一组邻接的多边形构成的集合 M 称为此网格模型 TM 的一个板块。

定义 3. 称以网格模型 TM 中一个板块的所有边界顶点构成的空间多边形为相应于此板块的超面 SuperS<sub>M</sub>。构成此多边形的边称为此超面的边界。而与此超面邻接的原网格模型 TM 中的多边形叫做此超面的边界面片。

辐射度光照网格模型的简化过程即是面片自顶向上不断合并的过程,也即是相应超面不断合并周围面片的过程,算法主要分以下几个步骤:(1) 首先利用面片简化机制,将辐射度全局光照网格模型划分为满足一定合并条件的板块,生成相应的超面,实现模型的第 1 步简化。(2) 利用原模型顶点的 RGB 值,通过递归分割法实现超面的边界简化,完成模型的第 2 步简化。(3) 然后以平均形态比加权的局部三角化方法实现超面的三角剖分,完成辐射度光照网格模型的简化。

### 3 主要算法

#### 3.1 超面的生成

超面的生成过程即是其边界不断扩张的过程,也即是其边界面片不断被合并的过程。算法首先选择原模型中的面片作为初始值。随着其边界面片不断被合并,其边界不断扩张直至其所有边界面片不再满足合并条件。在这里,我们称初始值面片为“种子”面片。

##### 3.1.1 合并准则

从上节辐射度计算的介绍我们知道,辐射度计算的结果是原物体表面的网格化,并在画面最后的绘制中采用 C<sub>0</sub> 插值生成较光滑的图形画面。由于采用线性插值,对间断点边缘处必须采用较密的网格,否则生成的画面会产生较明显的“漏光”现象。基于以上因素,本算法提出辐射度最大相对变化值的合并准则,并以所合并的面片的辐射度最大相对变化值的平均作为相应超面的辐射度最大相对变化值。试验证明,辐射度最大相对变化值准则不仅能较好地识别位于间断点边缘处的面片,而且能较准确地反映物体表面光能的变化。

假设面片 P<sub>i</sub> 具有辐射度值 B<sub>i</sub>,面积为 A<sub>i</sub>。它与 n 个面片 P<sub>j</sub> 邻接,各面片 P<sub>j</sub> 面积分别为 A<sub>j</sub>,辐射度值为 B<sub>j</sub>, (j=1, ..., n)。我们定义面片 P<sub>i</sub> 的辐射度最大相对变化值 C<sub>i</sub> 为

$$C_i = \max( \text{abs}(B_i - B_{j_1}) / ((A_i + A_{j_1}) * B_i), \text{abs}(B_i - B_{j_2}) / ((A_i + A_{j_2}) * B_i), \dots, \text{abs}(B_i - B_{j_n}) / ((A_i + A_{j_n}) * B_i) ), \quad j=1, \dots, n.$$

如果超面 SuperS<sub>M</sub> 的某个边界面片 P<sub>j</sub> 满足

$$C_j < \epsilon \ \&\&. (C_j * A_j + C_{\text{SuperS}_M} * A_{\text{SuperS}_M}) / (A_j + A_{\text{SuperS}_M}) < \epsilon,$$

则边界面片 P<sub>j</sub> 满足合并条件,可以为超面 SuperS<sub>M</sub> 所合并;否则,不能为此超面所合并。这里,ε 为用户定义的误差允许范围值。A<sub>SuperS<sub>M</sub></sub> 为超面 SuperS<sub>M</sub> 的面积,它是所合并的面片的面积和。

但以上合并准则仅能处理位于辐射度最大相对变化值在用户定义误差范围内的面片,却不能简化位于间断点边缘处的辐射度最大相对变化值大于用户定义误差范围但却具有相同的变化特性的面片。为此,我们相对于超面 SuperS<sub>M</sub> 重新定义其周围面片 P 的辐射度相对变化值 C', 如下。

$$C'_j = \max( \text{abs}(B_i - B_{\text{SuperS}_M}) / ((A_i + A_{\text{SuperS}_M}) * B_i), \text{abs}(B_i - B_{\text{SuperS}_M}) / ((A_i + A_{\text{SuperS}_M}) * B_{\text{SuperS}_M}) ),$$

这里, B<sub>SuperS<sub>M</sub></sub> 为超面 SuperS<sub>M</sub> 的辐射度值,是超面所合并的各面片的辐射度值的面积平均。如果该值小于用户定义的误差范围 ε, 则此面片可被超面 SuperS<sub>M</sub> 合并;否则,此面片不能被合并。

综上所述,面片合并条件的测试可以总结为以下伪程序代码:

```
int Merged(SuperS S, Patch P, threshold)
{
```

```

float C'_P;
if(P→merged) return(0);
if (C'_P<threshold){
    if ((C'_P * A_P + C'_S * A_S)/(A_P + A_S)<threshold)
        return(1);
    else
        return(0);
}
else{
    C'_P = max(abs(B_P - B_S)/((A_P + A_S) * B_P), abs(B_P - B_S)/((A_P + A_S) * B_S))
    if (C'_P<threshold)
        return(1);
    else
        return(0);
}
}

```

### 3.1.2 “种子”面片的选择

正如文献[6]中所指出的,网格模型的简化问题是一个完全 NP 问题.本算法在网格模型的简化合并过程中,仅以局部误差度量指导简化,“种子”面片的选择顺序对模型的简化结果将产生一些影响,因而本算法在模型的简化过程中由小到大顺序建立整个网格模型所有面片的辐射度最大相对变化值队列,并以此指导“种子”面片的选择.算法每次以队列头结点相应的面片为“种子”面片,不断合并周围面片,直至周围面片不再满足合并条件.如面片已被合并则不再参与“种子”面片的选择,并删除其在辐射度最大相对误差值队列中的相应结点.算法重复以上操作直至辐射度最大相对误差队列为空.

当然,以上算法仅以单一频率光的能量分布对网格模型进行简化.而在实际应用中,辐射度的计算结果一般为 RGB 三种单色光的能量分布.对此,人们通常采用两种方法来处理.第 1 种方法即如文献[13]中所做的一样.将 RGB 三色约束值与地表模型的一维高度约束值对应.第 2 种方法则将 RGB 三值同等对待,如文献[14].本文采用第 2 种方法.在面片合并过程中同时考虑 RGB 三色光能的最大相对变化.只有在三色光能的最大相对变化在用户定义误差范围内时,面片合并操作才能实施;否则边界面片不能被超面合并.而辐射度最大相对变化值队列则以 RGB 三色光能中最大的最大相对变化值作为队列位值进行由小到大的排列.

### 3.2 超面边界的简化

通过上节的超面生成算法,我们将原模型简化为一些在用户定义误差范围内相对变化的区域,并得到相应区域由原模型顶点、原模型边组成的平面多边形——超面.两个超面共享一个或多个顶点.这些顶点有的不仅位于同一条直线上,而且在用户定义的视觉误差范围内其色彩值呈线性或近似线性变化.因而有必要简化所得到的超面边界.

假设超面  $SuperS_M$  有边界顶点集  $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots\}$ , 它们按逆时针顺序组成超面  $SuperS_M$  的边界边.超面  $SuperS'_M$  为其邻接多边形中的一个,顶点集  $V' = \{v_j, v_{j+1}, v_{j+2}, \dots, v_{j+r}\}$  是这两个多边形所共有的边界顶点,  $v_{j_0}, v_{j_0+1}$  组成它们的公共边界边 ( $j_0 = j, \dots, j+r-1$ ).我们采用递归分割法实现超面边界的简化.算法首先以线段  $v_j v_{j+r}$  近似表示超面  $SuperS_M$  与  $SuperS'_M$  的边界.如果中间顶点  $v_{j+1}, v_{j+2}, \dots, v_{j+r-1}$  的 RGB 值与经两端点的 RGB 值线性插值后得到的相应点的 RGB 值之差小于用户定义范围  $d$ , 且各中间顶点到线段  $v_j v_{j+r}$  的距离小于用户定义误差  $d$ ; 否则,以这些中间顶点中与端点 RGB 值插值相差最大的顶点或距离线段  $v_j v_{j+r}$  最大的点  $v_{j_1}$  分割边  $v_j v_{j+r}$ , 得到边  $v_j v_{j_1}$  和  $v_{j_1} v_{j+r}$ .我们对这两条边重复以上操作,直至介于各边的中间顶点与边端点的 RGB 值插值的差在用户定义误差范围,近似为一条直线或者不再存在中间顶点.

在本文中,由于采用的试验光照网格模型都是均匀网格模型,因而在算法中仅考虑各顶点的色彩因素,即仅以各顶点的颜色值作为边界简化的条件,而不考虑几何距离因素.

### 3.3 三角化过程

从上述面片合并的过程描述可知,所生成的超面区域将是原模型中在用户定义误差范围内能量相对变化的所有面片区域,有可能为多连通域,因而所生成的超面有可能是带内环的多边形。为实现带内环的多边形的三角剖分,我们首先通过内环与外环之间的连通线将多连通域转化为广义的凹多边形,然后利用以平均形态比加权的局部优化三角化方法实现超面的三角剖分,以较少的三角面逼近原模型。

#### 3.3.1 多连通域转化为单连通域

多连通域是内部具有孔洞的域,通过连接外环的边界点与内环的边界点生成连通线,我们将多连通域划分为广义的凹多边形(如图 1 所示),连通线是对一个个内环依次生成的,为避免产生与环相交的连通线,必须首先对环排序。在这里,我们将内环  $P$  记为  $InnP$ ,外环  $P$  记为  $OutP$ 。假设超面位于  $XY$  平面上。

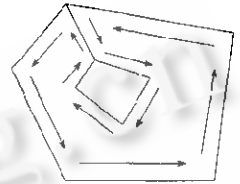


图1

我们对平面上的点定义一种顺序:如果  $y > v$ ,或  $y = v$  且  $x > u$ ,则称  $(x, y) > (u, v)$ 。按以上顺序定义,我们记环  $P$  的最大顶点为  $TOP(P)$ 。

为保证所生成的凹多边形具有良好的形状,同时保证所生成的连通线除端点外不与其他环相交,定义函数  $D(l, v)$ ,  $l$  为一线段,  $v$  是一个点。如从  $v$  到  $l$  的垂线的垂足在线段内,则  $D(l, v)$  为  $v$  到  $l$  的距离;否则,  $D(l, v)$  为点  $v$  到  $l$  的两个端点的距离的较小值。

算法首先将所有内环按其  $y$  坐标值最大的点从大到小定义排序,然后依次取序列中的内环  $InnP$ 。为生成外环  $OutP$  与内环  $InnP$  的连通线,算法首先在外环中寻找一条最佳边  $l$ ,然后从边  $l$  上寻找最佳端点与  $TOP(InnP)$  相连产生一条连通线,并将该内环并入外环,逐个处理内环,最后将多连通域转化为单连通域。

寻找最佳边  $l$  时,并非  $OutP$  的所有边都可作为候选边,只有那些至少有一个端点的  $y$  坐标值大于  $TOP(InnP)$  的  $y$  坐标值的边才可作为候选边。从这些候选边中选择一条边  $l$ ,使得  $D(l, TOP(InnP))$  的值最小,然后在此边的端点中寻找一个最佳端点,使得这个端点到  $TOP(InnP)$  的距离最小。连接此端点与  $TOP(InnP)$  即为外环  $OutP$  与内环  $InnP$  的连通线。

#### 3.3.2 加权的局部优化三角化方法

平面多边形的三角剖分可采用局部贪婪三角剖分、Kong 算法等算法。本文采用我们自己设计的平均形态比局部优化三角化方法。

所谓三角形平均形态比,即三角形的内切圆半径与外切圆半径之比。平均形态比最大准则是有限元网格划分中网格划分质量的重要评判标准。<sup>[15]</sup>它与 Circle 准则以及最小角最大准则等价,都产生 Delaunay 三角划分。在这里,我们借用此概念定义多边形顶点的权值,控制多边形剖分所获得的三角形形态质量。

算法使用环形链表组织多边形顶点,并建立多边形的所有凹点的集合。为控制多边形剖分所获得的三角形形态质量,算法按从大到小顺序建立各顶点的权值队列。各顶点权值定义如下:若  $v_i$  为凹点,则点  $v_i$  的权值为 0;否则,从循环链表中顺序取出顶点  $v_i$  及其相邻顶点  $v_{i-1}, v_{i+1}$ ,计算三角形  $\Delta v_{i-1} v_i v_{i+1}$  的平均形态比  $Ratio(\Delta v_{i-1} v_i v_{i+1})$  作为该点的权值。 $Ratio(\Delta v_{i-1} v_i v_{i+1})$  的计算如下。

$$Ratio(\Delta v_{i-1} v_i v_{i+1}) = \cos(\angle v_{i-1} v_i v_{i+1}) + \cos(\angle v_i v_{i+1} v_{i-1}) + \cos(\angle v_{i+1} v_{i-1} v_i) - 1。$$

在多边形的三角剖分过程中,每次取队列的头结点的相应顶点  $v_j$  进行三角剖分操作。如果该顶点及其相邻顶点  $v_{j-1}, v_{j+1}$  组成的三角形  $\Delta v_{j-1} v_j v_{j+1}$  不包含多边形中的其他顶点,则剖分成功。从链表和队列中删除顶点  $v_j$  的相应结点,并重新计算相邻顶点  $v_{j-1}$  与  $v_{j+1}$  的凸凹性及权值,以重新计算的各顶点权值重排权值队列,重复以上操作直至权值队列为空。否则,以权值队列中的下一个结点的相应顶点作剖分操作。

## 4 实验结果

通过以上算法,我们得到在用户定义误差内的由原模型顶点的子集组成的原辐射度全局光照网格模型的简化模型。我们用 room 模型和 office 模型验证此算法(如图 2~7 所示),并给出相应简化模型绘制的效果图。

图 3、4 分别是  $\epsilon=0.1, \delta=2$  与  $\epsilon=0.8, \delta=50$  时,算法对 room 模型简化的带网格和不带网格的效果图。从中可以看出,随着用户误差限制的放宽,辐射度光照网格模型的简化程度亦随之增大,而整个场景的光能分布亦趋

于单一,位于相对变化在用户误差范围内的软影区的面片亦不断为周围面片所合并.我们对 office 模型进行了同样的实验.这里仅给出  $\epsilon=0.06, \delta=1$  与  $\epsilon=0.8, \delta=4$  的最后效果图(如图 6,7 所示).

根据以上两个模型的试验数据,我们绘制了算法在  $\delta$  取常值 2 时,算法的简化程度随  $\epsilon$  变化的性态曲线图以及算法在  $\epsilon$  取常值 0.8 时,算法的简化程度随  $\delta$  变化的性态曲线图(如图 8~11 所示).

### 5 结 论

本文根据人眼的视觉特点和辐射度计算特点,以最大相对变化值为准则,以面片合并简化操作将最大相对变化在用户定义范围内的面片合并起来,实现辐射度全局光照网格模型的第 1 步简化,并以原模型顶点的 RGB 值的变化进一步加大辐射度网格模型的简化,建立起整个环境具有辐射度全局光照效果的多细节层次模型.本算法不仅有效地简化了辐射度全局光照网格模型,而且能较好地保持原光照网格模型的特征.算法随着用户误差限制的放宽,模型的简化程度亦随之增大.试验表明这个算法是令人满意的.

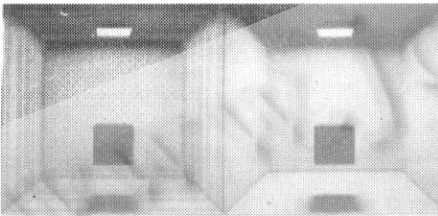


图 2 原模型 room

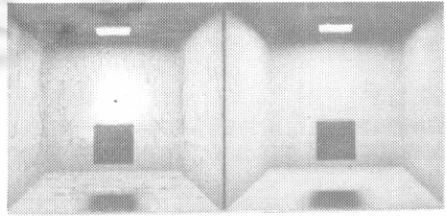


图 3  $\epsilon=0.1, \delta=2$

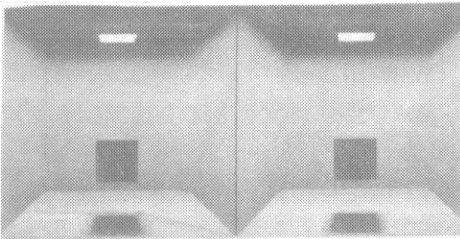


图 4  $\epsilon=0.8, \delta=50$

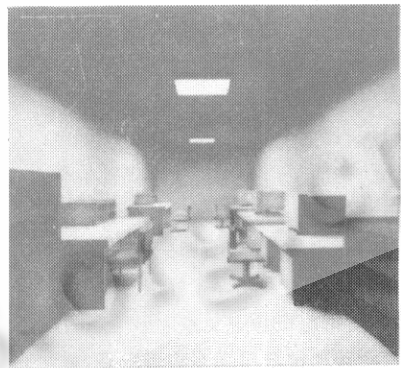


图 5 原模型 office

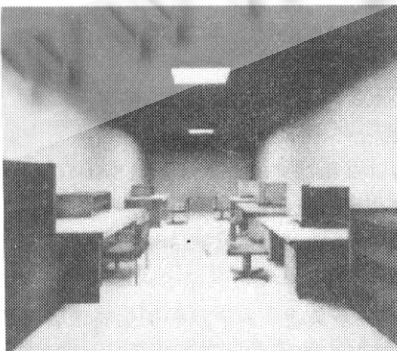


图 6  $\epsilon=0.06, \delta=1$

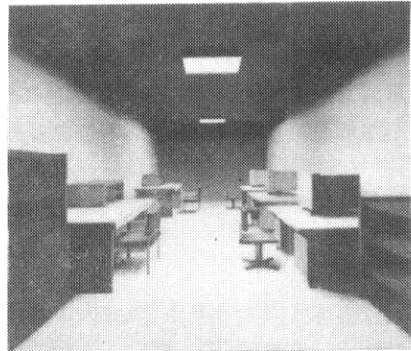


图 7  $\epsilon=0.8, \delta=4$

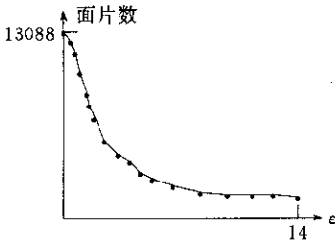


图8 模型room的简化程度随 $\epsilon$ 变化的性能曲线图( $\delta=2$ )

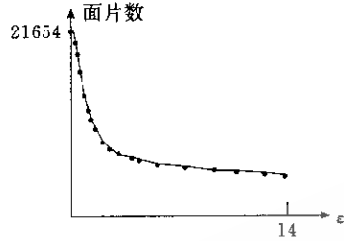


图9 模型office的简化程度随 $\epsilon$ 变化的性能曲线图( $\delta=2$ )

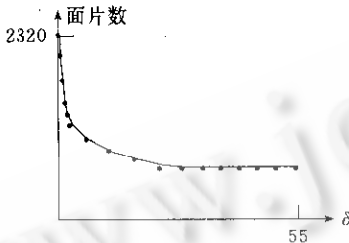


图10 模型room的简化程度随 $\delta$ 变化的性能曲线图( $\epsilon=0.8$ )

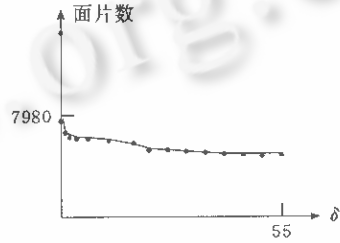


图11 模型office的简化程度随 $\delta$ 变化的性能曲线图( $\epsilon=0.8$ )

#### 参考文献

- Peter Astheimer. Virtual design: a generic V. R. system for industrial application. *Computer & Graphics*, 1993, 17(6): 671~678
- Cohen M F, Greenberg D P, Immel D S *et al.* An efficient adiosity approach for realistic image synthesis. *IEEE Computer Graphics and Application*, 1986, 6(3): 25~35
- Campbell A I, Fussell D S. Adaptive mesh generation for global diffuse illumination. *Computer Graphics(Proceedings of SIGGRAPHICS'90)*, 1990, 24(4): 155~164
- Schroeder W J, Zarge J A, Lorensen W E. Decimation of triangle mesh. *Computer Graphics(Proceedings of SIGGRAPHICS '92)*, 1992, 26(2): 65~70
- Heckbert P. Discontinuity meshing for radiosity. In: Chakmers A, Paddon D eds. *Proceedings of the 3rd Eurographics Workshop on Rendering*. Bristol, UK: Consolidation Express, May 1992. 203~226
- 周晓云, 刘慎权. 基于特征角准则的多面体模型简化方法. *计算机学报*, 1996, 19(增刊): 212~223  
(Zhou Xiao-yun, Liu Shen-quan. Polygonal model simplification method based on feature angle criterion. *Chinese Journal of Computers*, 1996, 19(supplement): 212~223)
- 潘志庚, 马小虎, 石教英. 虚拟环境中多细节层次模型自动生成算法. *软件学报*, 1996, 7(9): 532~536  
(Pan Zhi-geng, Ma Xiao-hu, Shi Jiao-ying. The automatic generation algorithm for models at multiple levels of detail in virtual reality. *Journal of Software*, 1996, 7(9): 532~536)
- Hoppe H, DeRose T, Duchamp T *et al.* Mesh optimization. In: *Proceedings of SIGGRAPHICS'93*. Anaheim, California; ACM SIGGRAPH, 1993. 19~26
- Kalvin A D, Taylor R H. Superfaces: polygonal mesh simplification with bounded error. *IEEE Computer Graphics and Application*, May 1996, 16(3): 64~77
- Turk G. Re-tiling polygonal surfaces. *Computer Graphics(Proceedings of SIGGRAPHICS'92)*. 1992, 26(2): 55~64
- Hamann B. A data reduction scheme for triangulated surfaces. *Computer-Aided Geometry Design*, 1994, 11(2): 197~214
- Eck M, DeRose T, Duchamp T *et al.* Multiresolution analysis of arbitrary meshes. In: *Proceedings of SIGGRAPH'95*. Los Angeles, CA; ACM SIGGRAPH, 1995. 173~182
- Hoppe H. Progressive mesh. In: *Proceedings of SIGGRAPHICS'96*. New Orleans, LA; ACM SIGGRAPH, 1996. 97~108
- Merlin H, Anselmo A L, Edward S. Simplification of global-illumination Mesh. *Computer Graphics Forum(Proceedings of Eurographics '96)*, 1996, 15(3): 339~344
- 闵卫东, 唐泽圣. 二维 Delaunay 三角划分形态比最大性质. *计算机学报*, 1994, 17(增刊): 20~25  
(Min Wei-dong, Tang Ze sheng. Maximum average aspect ratio property of the 2D delaunay triangulation. *Chinese Journal of Computers*, 1994, 17(supplement): 20~25)

## A Simplification Method for Radiosity Global-illumination Meshes

LIU Xue-hui<sup>1</sup> WU En-hua<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(Laboratory of Computer Science Institute of Software The Chinese Academy of Sciences Beijing 100080)

<sup>2</sup>(Faculty of Science and Technology University of Macao Macao)

**Abstract** The solution to the global illumination problem using radiosity method is usually represented by an illumination meshes, which are frequently very finely tessellated in order to capture shadow boundaries and other significant illumination features. So the geometry complexity of a complex scene with global illumination effect is beyond the capability of the current computer graphics workstation. In this paper, an automatic method is presented for simplifying the meshes produced as the solution to global illumination problem using radiosity method. Based on the character of the illumination meshes produced by radiosity and the characteristic of human eyes, it simplifies first by merging faces with maximum relative radiosity difference below the threshold that users define. And then the vertices on the perimeters of the merged face are deleted to further simplify the original meshes model. The model simplification samples based on these methods are given and the results show that the algorithm only significantly reduced the complexity of original meshes model, but also performed well to capture the coherent shadow discontinuity feature of illumination meshes.

**Key words** Global illumination models, radiosity mesh, simplification of meshes, level of detail, virtual reality.