

文章编号: 1001-2486 (2001) 03-0052-03

具有可控细节层次的阴影空间新算法*

谢剑斌, 余理富, 郝建新, 孙茂印

(国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南 长沙, 410073)

摘要: 首先阐述了阴影空间算法, 然后对基于层次结构化包围盒和光线投射技术的阴影空间新算法进行了详细地研究。采用本算法可使生成的阴影效果具有可控细节层次。

关键词: 阴影空间; 包围盒; 光线投射; LOD

中图分类号: TN911. 73 **文献标识码:** A

The New Algorithm of Shadow Volume with Lod

XIE Jian-bin, YU Li-fu, HAO Jian-xin, SUN Mao-yin

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: This paper first describes shadow volume algorithm, then discusses the new algorithm of shadow volume based on structural box and ray casting technology. The shadow effect produced by the algorithm has LOD.

Key words: shadow volume; structural box; ray casting; level of detail

阴影是指场景中那些没有被光源直接照射到的暗区, 通过阴影提供的位置和方向可表现物体在空间中的相互关系^[1]。传统的阴影空间算法在视景生成系统中应用非常广泛, 但只适用于多边形模型物体, 不能适用于球体、锥体等参数曲面模型物体^[2]; 而且不具有可控细节层次。在分析传统阴影空间算法的基础上, 采用光线投射的思想, 提出基于层次结构化包围盒和光线投射的阴影空间新算法。

1 基于包围盒和光线投射的阴影空间算法

1.1 算法思想

新算法将阴影空间方法和光线投射技术相结合, 对物体是否处于阴影区域之中的判断通过粗判和细判两步来实现: 粗判过程采用基于层次结构化的包围盒技术; 细判过程采用线性八叉树光线投射技术。

1.2 阴影测试算法实现

复杂景物可分解为多个物体的组合, 并分别采用 Brep 方法进行数学描述, 即用面、环、边、点来定义凸体的位置和形状。这样能详细地记录凸体的定义参数, 并有利于真实感图形生成。

如图 1 所示, 正长方体是每一对平行平面的法向都同物体空间坐标轴平行的正六面体。相对集中的物体组成一个族, 相对集中的族组成一个大族。根据对物体的搜索顺序, 将所有凸体及其最小外接正长方体包围盒进行登记, 为后续工作做准备。登记凸体的树型数据结构为:

```
struct ConvexObject {
    int IDOfObject;           // 凸体编号
    struct Tree * TreeBoundCube; // 层次化外接正长方体包围盒
    struct Cube * LocalCube;   // 最基本外接正长方体包围盒
}
```

采用层次化结构包围盒的方法实现粗判过程先定义两个相关概念: [A] 是指物体 A 的最小外接

* 收稿日期: 2001-01-25
基金项目: 国家部委基金项目资助
作者简介: 谢剑斌 (1971-), 男, 博士。

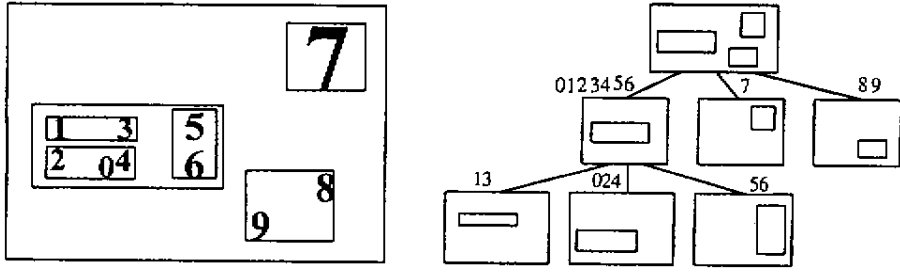


图 1 树型数据结构

Fig.1 The tree data structure

正长方体包围盒；[A]对[B]的阴影影响关系是指[B]的部分在[A]的阴影空间之中。采用层次化结构包围盒方法实现粗判的过程分成两步：

Step1 基于同层次包围盒的判断

从根节点开始逐级向下进行阴影判断，快速排除相互之间没有阴影影响的包围盒对；并登记存在阴影影响关系的包围盒对，为 step2 做准备。如图 1 所示，在第一层次的判断中，假设 [7]对[0123456] [89]对[7]；在第二层次的判断中，假设 [8]对[9] [56]对[13] [13]对[024]；在第三层次的判断中，假设 [5]对[6] [3]对[1] [4]对[0]。经过粗判之后，得到以上八个可能存在阴影影响关系的包围盒对。

Step2 基于叶节点包围盒的判断

将 step1 得到的包围盒对进行分类，第一类是存在阴影影响关系的包围盒对的成员都是凸体的最小外接正长方体包围盒，如 [8]对[9] [5]对[6] [3]对[1] [4]对[0]；其它包围盒对就属于第二类。将第一类包围盒对直接登记在可能阴影影响关系集合中；对第二类包围盒对还需逐级向下进行基于叶节点包围盒的判断。如 [7]对[0123456]的进一步判断为：首先将 [0123456]分为 [56] [13] [024]，假设 [7]对[56] [7]对[024]；然后进一步处理 [7]对[56] [7]对[024]，假设 [7]对[6] [7]对[2]；最后将得到的 [7]对[6] [7]对[2]登记在可能阴影影响关系集合中。

对于同一个点光源，若物体 A 在物体 B 的阴影空间之中，那么 B 肯定不在 A 的阴影空间之中。故在对 B 进行粗判时，给 A 还建立另外一个排斥集合，用来记录 A 处于 B 的阴影空间之中等相关信息。在生成 A 的可能阴影物体缓存器的过程中，对于排斥集合中的物体（如 B）就没有必要再进行可能阴影测试。

对登记的包围盒对采用线性八叉树光线投射算法进行细判。物体的线性八叉树是一个分层数据结构，记录物体空间的长方体空间域的占用状况^[3,4,5]。对于登记在可能阴影影响关系集合之中的某个包围盒对，如 [A]对[B]，采用线性八叉树光线投射算法进行细判。

Step1 基于包围盒 [B] 的初步判断

对于待测物体 B，判断从物体 B 所对应的最小外接正长方体包围盒 [B] 的八个顶点向光源发出的投射光线是否与物体 A 相交，来实现进一步的阴影判断：

若从 [B] 的八个顶点向点光源发出的投射光线与物体 A 都相交，则 B 位于 A 的阴影之中，对 B 进行阴影标志后，退出 B 的求交测试过程；并直接跳转到 Step3 继续执行。若从 [B] 的八个顶点向点光源发出的投射光线与 A 都不相交，此时存在两种情况：第一种情况是 B 的一部分位于 A 的阴影空间之中，此时直接跳转到 Step2 继续执行；第二种情况是 B 完全位于 A 的阴影空间之外，此时直接跳转到 Step3 继续执行。若在 [B] 的八个顶点向点光源发出的投射光线中，只有部分投射光线与 A 相交，则 B 只有一部分位于 A 的阴影之中。此时，跳转到 Step2 继续进行处理。

Step2 基于线性八叉树的细分判断

首先，确定物体 B 不在阴影中的顶点；然后以这些顶点为考虑对象，沿着 X、Y、Z 三个方向求

出与它邻近顶点的中点；接着对由上述顶点和相应中点组成的八个子长方体进行线性八叉树光线投射测试（类似于 Step1），只是将 [B] 替换为它的某个子长方体。

在细分过程中，要求注意一种非常重要的特殊情况：可能存在 [B] 上某个细分分子长方体 [Bi] 在物体 A 的阴影空间之中，但是 [Bi] 不是物体 B 的一部分。此时，我们通过判断 [Bi] 的八个顶点是否在 B 内部或表面上来决定它的后续处理：

若 [Bi] 的八个顶点都在 B 内部或表面上，则对它进行阴影标志后，退出 [Bi] 的判断过程；并继续处理 [Bi] 的兄弟子长方体。若 [Bi] 的八个顶点都不在 B 内部或表面上，则表示 [Bi] 不是 B 的一部分，退出 [Bi] 的判断过程；并继续处理 [Bi] 的兄弟子长方体。若只有 [Bi] 的部分顶点在 B 内部或表面上，则继续细分 [Bi]；并进行进一步判断测试。直到不再出现该类情况，或者达到用户设定的细分深度为止。

Step3 对登记在可能阴影影响关系集合之中的其它包围盒对进行 Step1 和 Step2 的判断处理，直到所有的包围盒对都细判完毕。

在线性八叉树分解中，设定细分深度，整个细分过程的最大深度就是线性八叉树的深度，若物体按照 $1024 \times 1024 \times 1024$ 的分辨率细分，那么八叉树的最大深度为 10。阴影区域内部的细分深度较小，一般取为 4；阴影区域边界的细分深度要求大一些，一般取为 8，这样可以使得阴影边界较为光滑。

1.3 对凹体物体和参数曲面物体的考虑

新算法的实现过程分为粗判和细判两步，实际上，其处理不仅可以不依赖于物体的凸体、凹体或参数曲面等形状特征，而且新算法对虚拟场景中的所有物体无需进行多边形分解，而是进行体测试。

2 对比实验及结果分析

在新算法中，计算量主要由粗判和细判两部分决定。其中粗判过程计算量很小，细判过程的计算量主要集中在线性八叉树分解上，假设物体按照 $1024 \times 1024 \times 1024$ 的分辨率细分，那么八叉树的最大深度为 10，计算速度也很快。

对传统阴影空间算法和新算法进行对比实验，其硬件平台为 Pentium133 的 CPU、32MB 内存；软件平台为 VC6、OpenGL。实验结果如图 2 所示，A 图对应传统阴影空间算法；B、C、D 图对应新算法（最小包围盒的最大边长 8（分别为 0.1f、0.02f、0.001f））。相对于传统的阴影空间算法，基于层次结构化包围盒和光线投射的阴影空间新算法主要有如下三个优点：

- 对于同一个多边形模型物体，新算法的阴影生成时间只有传统阴影空间算法的近 1/3；
- 取消了传统阴影空间算法中以多边形为单元确定物体模型轮廓的限制，新算法不仅能适用于多边形模型物体，而且能实际地适用于球体、锥体等参数曲面模型物体；

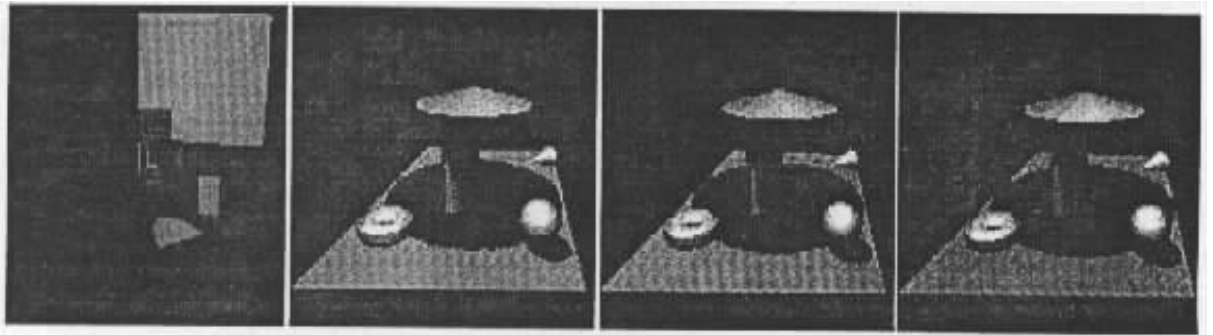


图 2 实验结果

Fig.2 The experiment result

·新算法所生成的阴影效果具有可控细节层次。

（下转第 76 页）

(上接第 54 页)

参考文献：

- [1] Toshimitsu Tanaka , Fast Shadowing Algorithm for Linear Light Sources [J] , EUROGRAPHICS ' 95 , 1995 , 14 (3) : 205 (216) .
- [2] Atherton . , Weiler K J . Polygon Shadow Generation [J] . Computer Graphics , 1978 , 12 (3) .
- [3] Andrew Woo . Efficient Shadow Computations in Ray Tracing [J] . IEEE Computer Graphics & Application , 1993 , 9 .
- [4] George Drettakis , A Fast Shadow Algorithm for Area Light Sources Using Backprojection [J] . Computer Graphics , Proceedings , 1993 .
- [5] James Steward . Fast Computation of Shadow Boundaries Using Spatial Coherence and Backprojections [J] . Computer Graphics , Proceedings , 1993 .

