

腔体 RCS 计算前置处理中网格单元的相互遮挡判断

李争亭, 胡毕富, 席平

(北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 北京 100083)

摘 要: 在对飞行器的腔体进行 RCS 计算时, 需要考虑各部分的相互散射影响, 即需要判断腔体内表面上各网格单元之间的相互遮挡关系。论文提出了一种快速高效针对腔体网格进行网格单元相互可见性判断的新方法。该方法利用网格单元的拓扑关系进行判断, 需要先对整个腔体剖分的网格单元按照拓扑关系从腔体曲面的一端到另一端按照环状结构排序。算法具有其他常规算法不可比拟的优点。

关 键 词: 计算机应用; 雷达散射截面计算; 可见性判断; 遮挡计算; 网格排序
中图分类号: TP 391.72
文献标识码: A **文章编号:** 1003-0158(2008)01-0061-06

Mutual Occlusion Evaluation of Duct Mesh Elements in Processing of RCS Calculation

LI Zheng-ting, HU Bi-fu, XI Ping

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: RCS calculation of air intake duct needs to evaluate the mutual visibility of mesh elements located on the interior surface of duct. Topological relationship among triangle mesh elements is set up through ordered numbering the elements first, circumferentially, then lengthwise. This approach facilitates the quick sorting of neighborhood among triangle elements, thus greatly accelerating the process of occlusion evaluation.

Key words: computer application; RCS calculation; visibility evaluation; occlusion test; numbering of mesh elements

雷达目标反射或散射的能量可以表示为一个有效面积和射入功率密度的乘积, 通常这个面积称为雷达散射截面(RCS, Radar Cross Section)^[1]。RCS 是衡量目标隐身性能的主要指标。目标

RCS 计算可分为 3 个阶段——数据准备、遮挡处理与 RCS 计算, 其中数据准备和遮挡处理称为前置处理^[2], 该文着重研究腔体 RCS 计算前置处理中网格单元相互遮挡关系的快速判断。

收稿日期: 2006-08-08

基金项目: 航空基金资助项目(04C51053)

作者简介: 李争亭(1982-), 男, 湖南邵东人, 硕士研究生, 主要研究方向为 CAD/CAM。

在进行腔体 RCS 计算时, 首先把腔体离散成网格单元, 然后网格单元区域进行积分求解。在求解计算中需要考虑网格单元之间的散射相互影响, 即考虑网格单元之间的遮挡关系, 如果被遮挡, 网格单元不参与散射计算; 而未被遮挡的网格单元需要参与散射计算。这种遮挡关系是把每一个网格单元作为一个半空间上的发光光源, 发光面的法向指向腔体内部, 在和网格单元法线一致的那个半空间内的其他网格单元相对于该网格单元可见, 而另一个半空间内的网格单元则相对于该网格单元不可见。

目前遮挡处理是对给定光线方向上目标之间的相互遮挡处理, 主要采用 Z-Buffer 来实现多个物体的深度消隐计算, 而针对腔体 RCS 计算前置处理中判断多个网格单元之间的相互遮挡关系还没有现成的算法。

1 判断两网格单元相互可见的条件

定义 RCS 计算中的三角片网格单元其法向指向腔体内部时, 可作为一个半空间上的发光光源, 称作发光三角片。

三角片作为面光源对几何连续的被照射物体而言, 能直接照射到的区域近似等同于三角片的 3 个顶点单独作为点光源的照射区域累加之和。

如果两三角片网格 A 、 B 要判断为相互可见, 除了要求两三角片 A 、 B 都在另一三角片的发光面一侧, 还要求两三角片光源发出的光线能直接照射到另一三角片, 光线没有被其他的三角片遮挡。

1.1 两三角片 A 、 B 都在另一三角片的发光面一侧

要判断两三角片 A 、 B 都在另一三角片的发光面一侧, 先求解三角片 A 的法矢与其重心到三角片 B 重心的法矢方向的夹角, 满足小于 90° 的条件; 同样求解三角片 B 的法矢与其重心到三角片 A 重心的法矢方向的夹角, 满足小于 90° 的条件。如图 1 是管道内表面的半剖面, 三角片的法矢指向管道内部, 三角片 A 、 B 都在另一三角片的发光面一侧, 三角片 A 、 C 都不在另一三角片的发光面一侧, 则三角片 A 、 C 之间是相互不可见的。

1.2 两三角片 A 、 B 之间没有被其他三角片遮挡

先假设三角片 A 是发光三角片, 三角片 B 是被判断是否受遮挡的三角片, 从三角片 A 的 3 个顶点到三角片 B 的重心分别发出 3 条连线, 每条连线再和位于在这两三角片之间的其他三角片网格进行求交判断。如果有一条连线不和其他三角片相交, 则可认为两三角片 A 、 B 之间是直接相互可见的; 如果 3 条连线都和其他三角片相交, 则认为 A 、 B 之间相互不可见, 即被遮挡。在实际应用中, 如果三角片的数量比较多, 考虑到计算的速度, 可以只取一条线段即三角片 A 重心到三角片 B 重心的连线进行求交判断。如图 2 是管道内表面的半剖面, 三角片 A 、 B 之间没有被其他三角片遮挡, 三角片 A 、 C 的连线穿过其他三角片, 则三角片 A 、 C 之间存在遮挡关系。

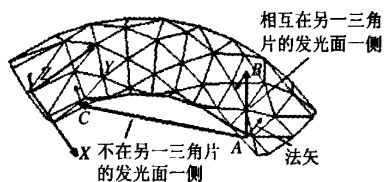


图1 发光面图示

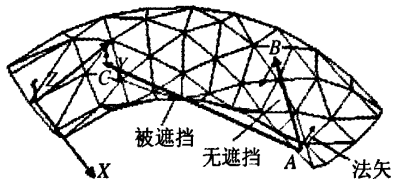


图2 遮挡图示

2 网格单元相互遮挡关系的判断方法

目前, 判断三角片网格单元相互遮挡关系的方法大致可以归纳为 3 种: 直接求交判断、半球面扫描判断和利用三角片网格的拓扑关系判断。

2.1 直接求交判断

一般的, 在剖分处理后得到的三角片网格数据存储了各三角片顶点的坐标点列和各三角片的 3 个顶点在点列中的索引, 建立了相应的数据结构^[3]。

采用直接求交判断时,三角片索引数组中的三角片从第1个开始按顺序依次和排序在后面的三角片比较相互可见性,定义每次比较时排序在前面的三角片为发光三角片,则使用发光三角片的重心与被比较的三角片的重心连成线段,该连线依次分别与其他三角片求交,如果该线段和其他三角片都没有交点,则判定该两三角片是直接相互可见,反之,则证明该两三角片是相互不可见的,即被遮挡。

直接求交判断计算三角片相互可见性的算法比较单一,对三角片网络的几何形状没有要求,但需要生成的每个线段逐一和其他三角片求交。如果三角片的数目为 N ,则需要比较线段和三角片求交的次数最多为 $\frac{N(N-1)(N-2)}{2}$ 次,三

角片数目太多则严重影响计算效率。在针对飞行器进气道的网格剖分结果进行测试时,进气道的网格剖分数目成千上万,故该方法一般不采用。

2.2 半球面扫描判断

在该方法中,三角片索引数组中的三角片从第一个开始按顺序依次作为发光三角片,和其他三角片进行比较。每次比较时,以发光三角片的重心作为发光球心,发光三角片平面法矢方向为半球面扫描方向,以 (θ, φ) 为参变量,从球心按照角度扫描方向依次发出射线,如图3所示,每条射线和该网格曲面求交,再用 Z-缓冲器算法求得该射线方向的可见三角片。

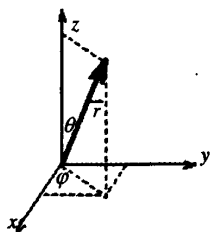


图3 半球面扫描

半球面扫描法对三角片网络的几何形状基本上也没有要求,如果只需要计算某一个三角片和其他三角片之间的相互可见性,假定 (θ, φ) 参变量的步长都为 1° ,则一个发光三角片一共需要发出 3240 条射线,每条射线分别和网格曲面求交,然后求得每一方向上与该发光三角片可见的网格总数。该方法的思路比较简单,但是需要

进行很多射线和网格曲面的求交计算,当三角片的数目过多时,也会严重影响计算效率。

2.3 利用三角片网络的拓扑关系判断

在该方法中,需要先对整个管道剖分的网格单元按照拓扑关系从管道曲面的一端到另一端按照环状结构排序。在具体比较两个三角片 A、B 之间的相互可见关系时,也是先判断两三角片 A、B 是否都在另一三角片的发光面一侧,再从三角片 A 的重心到三角片 B 的重心构造一条连线,该连线段再和几何位置在这两个三角片之间的三角片网络进行求交判断,即该连线段只和排序在该两三角片 A、B 之间的三角片进行求交判断。利用该方法判断三角片网络相互可见性的算法流程如图4所示。

3 管道三角片网络的重新排序

对整个管道三角片网络进行重新排序是进行两三角片网络相互可见性判断的必要前置处理,也是整个算法的一个难点。

在该文中,采用前沿法对曲面三角片网络进行排序。排序算法中需要应用到整个网格模型的数据,包括结点数和单元数组。每个结点的数据包括结点坐标、结点编号和结点所属的单元数组;每个单元的数据包括单元编号和依次构成单元的结点数组^[4]。

前沿法对曲面三角片网络进行重新排序的步骤如下:

(1) 网格顶点初始化 把管道曲面一端边界上的顶点某项属性值设置为 0,其他所有的顶点该项属性值设为 M (M 大于三角片总数 N)。如图5所示^[5]。

(2) 网格顶点标识 从属性值为 0 的某个顶点开始,按照宽度优先原则,搜索其相邻边,如果该顶点的属性值(设为 i)加 1 之后的结果小于该边的另一个顶点的该项属性值,则把该边的另一个顶点的属性值修改为 $i+1$,如果大于,则不修改。如图6所示。

(3) 三角片重新排序 从包含该项属性值为 0 的顶点开始,按照宽度优先原则,重新给所有三角片排序。具体方法是:先从某个顶点属性值分别为 0 和 1 的三角片开始编号,按照拓扑相邻的关系,逆时针方向给所有顶点属性值为 0 和

1 的三角片排序; 再从和上一轮排序有顶点相邻或边相邻且顶点属性值为 1 和 2 的三角片开始, 按照逆时针方向给所有顶点属性值为 1 和 2 的三

角片排序; 如此类推, 直到管道另一端最外端的三角片全部排序为止。如图 7 所示。

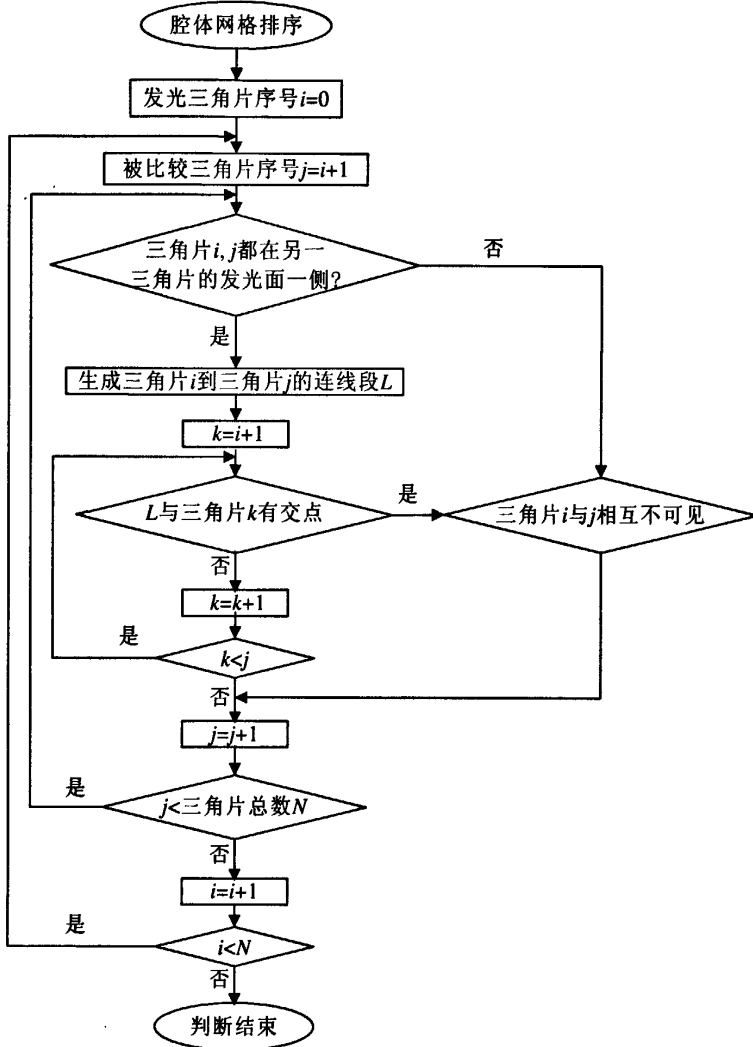


图 4 算法流程图

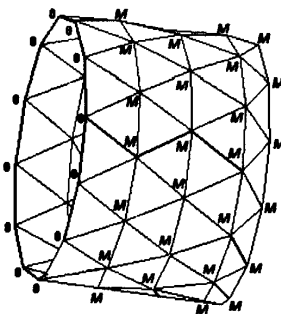


图 5 网格顶点初始化

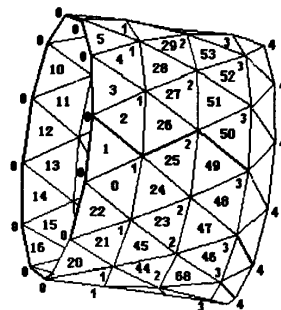


图 6 网格顶点标识

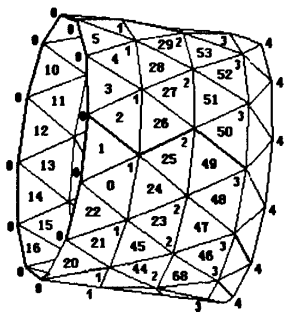


图7 三角片重新排序

4 拓扑法实现管道网格单元相互遮挡关系的快速判断

4.1 加速算法

利用三角片网络的拓扑关系进行管道网格单元相互遮挡关系的判断, 虽然每次只需要和排序在该两三角片 A 、 B 之间的三角片进行求交判断, 但当三角片数量较多时, 也会有很大的计算量。在对管道三角片网络进行重新排序后, 三角片序号将严格按照几何位置, 从管道的一端到另一端顺序递增, 即三角片严格按照环状结构排序, 排在前面环里的三角片序号总比排在后面环里的三角片序号小。

在具体进行两三角片 A 、 B 的可见性判断中, 假设三角片 A 属于第 i 个环, 三角片 B 属于第 j ($j > i$) 个环, 则两三角片 A 、 B 的连线段 L 只需要和环号排序在 i 、 j 之间的三角片进行求交判断。而在连线段 L 和第 k ($i < k < j$) 环的三角片进行求交判断时, 也不需要和第 k 环里的所有三角片进行求交判断。如果把第 k 环里的所有三角片平均分成 8 部分, 每一部分构造一个包围盒, 连线段 L 先和每个包围盒进行求交判断。如果连线段 L 和该包围盒有交, 则连线段 L 再和该包围盒里面的三角片进行求交判断; 如果连线段 L 和该包围盒不相交, 则连线段 L 不需要和该包围盒里面的三角片进行求交判断。

采用包围盒分割每个环的三角片, 可以极大地减少连线段和三角片的求交次数。如果每个环的包围盒个数为 8 个, 如图 8 和图 9 所示, 在一般情况下, 连线段最多和一个包围盒相交, 其他 7 个包围盒里面的三角片就不需要进行求交判断

了, 则整个求交判断的算法速度至少提高了 8 倍。

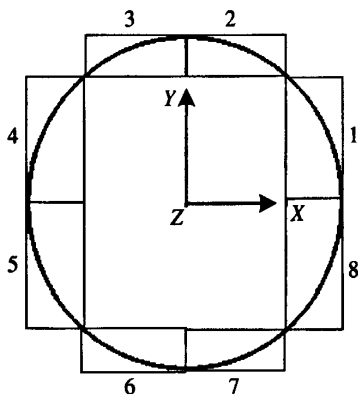


图8 包围盒平面分割

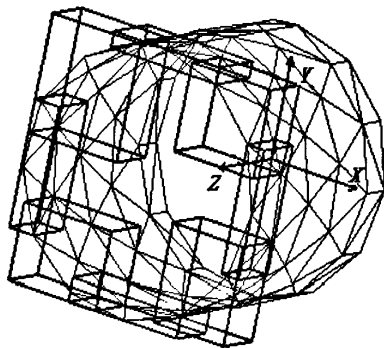
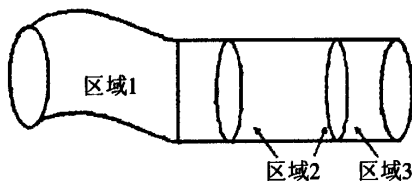


图9 包围盒立体分割第1个环的三角片

4.2 算法实现

利用网格单元的拓扑关系对三角片进行相互可见性判断, 需要满足多个条件, 比如要求被判断的网格曲面是常见的几何规则连续曲面, 典型的飞机 S 型进气道如图 10 所示, 满足拓扑法应用的曲面几何条件。

图10 飞机 S 型进气道

对飞机 S 型进气道的缩比模型进行网格剖分后的网格模型如图 11 所示, 三角片数目 514 个。采用拓扑法对进气道网格单元进行相互遮挡关

系的判断,耗时 2539 毫秒,效果如图 12 所示。采用拓扑法对三角片数目为 3840 个的长管道网格模型进行判断,耗时 195328 毫秒,效果如图 13 所示。

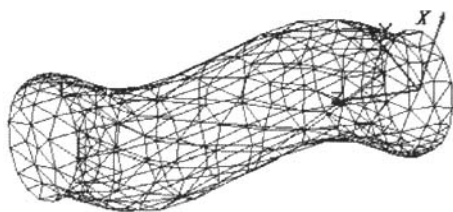


图 11 飞机 S 型进气道网格模型

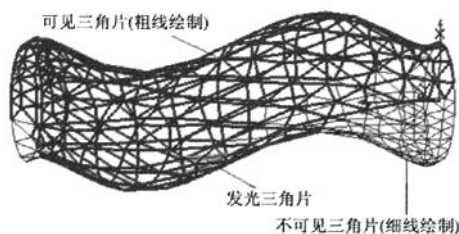


图 12 S 型进气道模型测试效果

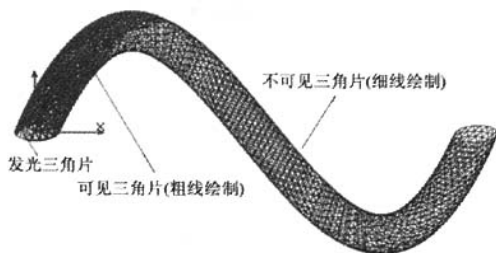


图 13 长管道网格模型测试效果

5 结束语

采用拓扑法对管道曲面的网格模型进行网格相互可见性的比较判断,不但适用于三角片模型,也适用于四边形网格模型,且具有其他常规算法不可比拟的优点。

在对特定的一对三角片进行相互可见性判断时,两三角片的连线段不用遍历其他所有三角片进行逐个相交比较,只要按照空间相邻的拓扑关系,进行有限的三角片比较判断,极大的缩小了比较的范围,有效的提高了算法的计算速度。

参考文献

- [1] 阮颖铮. 雷达截面与隐身技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998. 20-55.
- [2] Domingo M, Rivas F, Perez J, *et al.* Computation of the RCS of complex bodies modeled using NURBS surfaces [J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 1995, 37(6): 36-47.
- [3] 胡毕富. 飞行器 RCS 计算中 NURBS 曲面剖分技术的研究与实现[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2004.
- [4] 欧阳兴, 陈中奎, 施法中. 有限元网格结点编号[J]. 北京航空航天大学学报, 2002, 28(3): 339-342.
- [5] 褚莲娣, 陆国栋, 李基拓. 三维曲面展开算法在玩具设计中的应用[J]. 计算机应用, 2004, 24(6): 122-124.

雷达散射截面 (RCS) 分析培训课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司, 以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

雷达散射截面 (Radar Cross Section, 简称 RCS) 是雷达隐身技术中最关键的概念, 也是电磁理论研究的重要课题, 使用 HFSS 软件可以很方便的分析计算各种目标物体的 RCS。

由易迪拓培训推出的《HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装》是从零讲起, 系统地向您讲授如何使用 HFSS 软件进行雷达散射截面分析的全过程。该套视频课程由专家讲授, 边操作边讲解, 直观易学。

HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装



套装包含两门视频培训课程, 其中: 《两周学会 HFSS》培训课程是作为 HFSS 的入门培训课程, 帮助您在最短的时间内迅速熟悉、掌握 HFSS 的实际操作和工程应用; 《HFSS 雷达散射截面(RCS)分析》培训课程是专门讲授如何使用 HFSS 来分析计算雷达散射截面, 包括雷达散射截面、单站 RCS、双站 RCS 等的定义, 实例讲解使用 HFSS 分析单站 RCS、双站 RCS 和宽频 RCS 的相关设置和实际操作等。视频课程, 专家讲授, 从零讲起, 直观易学...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/130.html>

更多培训课程:

- **HFSS 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>