

文章编号:1009-4490(2003)04-0017-05

# OpenGL 在复杂目标 RCS 计算中的应用

李 兵<sup>1</sup>, 邱兆杰<sup>2</sup>, 王 超<sup>2</sup>, 吕爱龙<sup>2,3</sup>, 侯新宇<sup>2</sup>

- (1. 西安理工大学计算机科学与工程学院, 陕西 西安 710048;
2. 西北工业大学电子工程系, 陕西 西安 710072;
3. 山西师范大学物理与信息工程学院, 山西 临汾 041004)

**摘要:** 在复杂目标的电磁散射计算中, 图形电磁计算方法(graphics electromagnetic computing, GRECO)可以克服其他方法的缺点, 实现电大复杂目标雷达散射截面(RCS)的实时计算。然而目标实体模型的建立需要依靠各种 CAD 软件, 计算对 CAD 软件依赖性很强, 本文提出的 OpenGL 技术, 可以使计算和造型分开, 形成独立的软件, 同时还可以通过模型数据文件同 CAD 软件保留接口。

**关键词:** OpenGL; 雷达散射截面(RCS); 图形电磁计算方法(GRECO)

**中图分类号:** TN011      **文献标识码:** A

## 0 引言

在电大尺寸复杂目标的 RCS 分析计算中, 图形电磁计算(GRECO)方法自被提出之日起便受到了重视<sup>[1]</sup>。GRECO 充分利用了计算机硬件的图形加速功能, 将 RCS 计算中耗时的三维消隐过程交由计算机硬件完成, 而计算软件的 CPU 时间只花费在电磁计算部分。RCS 计算中的面积分和线积分可以直接通过对屏幕上目标的可视象素求和来实现, 对于固定大小的视窗而言, 计算时间和存储量的需求与目标的复杂性和电尺寸关系不大。因此具有其他方法不可比拟的运算速度快, 实时性强, 存储量小的特点, 并且能准确模拟目标和现场。

现有的 GRECO 软件大都是基于 SGI 图形工作站, RCS 计算所需要的前置模型处理均需借助于各种 CAD 软件完成(如 UG, CATIA, I\_DEAS 等)<sup>[2]</sup>。RCS 计算模块对 CAD 软件依赖性和计算机图形卡要求很强, RCS 计算中前后置处理整合性不强。为了满足同时具有建模、计算、CAD 软件接口和 PC 硬件要求的可移植性的独立软件的需求, 若能脱离 CAD 建模环境, 在 RCS 计算软件中自行设计模型显示程序, 可使前置处理、RCS 计算模块、后置处理紧密结合, 从而形成功能完备的 RCS 计算软件。

收稿日期: 2002-09-04

作者简介: 李兵(1972—), 男, 陕西礼泉人, 西安理工大学计算机科学与工程学院助教, 研究方向为万方数据机图形学及图形软件开发。

OpenGL 技术是近几年发展起来的一个性能卓越的三维图形标准,在 SGI 等多家计算机公司的倡导下,已由最初图形工作站开发扩展到独立于操作系统和硬件环境的图形开发系统。此外,为了方便用户使用 OpenGL 方法,一个方便于用于完成 OpenGL 编程的公开的工具包 GLUT 也已开发,使得 OpenGL 开发更加方便和快捷。

## 1 图形算法原理

在计算电大尺寸复杂目标的 RCS 时,GRECO 利用不同光照模式来获取目标表面各点法向矢量并利用 Z-Buffer 技术获取表面上各点深度信息和实现遮挡消隐,结合复杂目标在高频区的物理光学近似(PO)和物理绕射理论(PTD)计算每一点的散射场和绕射场,叠加获取总散射场<sup>[3]</sup>。具体步骤如下:

- (1) 显示目标三维图形(CAD 软件生成的数据文件);
- (2) 计算机图形渲染(设置目标材质、颜色,仿射变换和光照等);
- (3) 利用 Z-Buffer 技术获取表面上各点的深度信息;
- (4) 根据设置的光照获取表面目标各象素法向矢量;
- (5) 利用 PO/PTD 计算各点散射场;
- (6) 叠加计算结果,求总散射场.

## 2 复杂目标的计算机图形显示

计算机图形的显示和图形信息的提取实际上是通过对计算机实现图形缓冲区的读写操作实现的。三维目标的几何参数一经定义,需要经过适当的几何投影,即可在帧缓冲区中得到其几何轮廓。如果辅以一定的背景处理、光照模式处理和纹理贴图处理,即可得到具有真实感的三维图形。反过来,图形的几何信息也可以直接从帧缓冲区中读出。

可视化电磁计算中比较重要的概念就是 NURBS 曲面地定义和显示,透视变换技术,深度缓冲(Z-Buffer)技术和光照处理等。

### 2.1 NURBS 曲面

OpenGL 图形辅助库提供了显示 NURBS 曲面的函数。可以非常方便的直接使用 NURBS 方法建模,也可以读取 CAD 三维模型文件,只需将模型信息转换为 NURBS 格式,OpenGL 就可以非常方便的显示。NURBS 曲面定义如公式(1)。一张 mxn 次 NURBS 曲面的数学表示如下:

$$\tilde{p}(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \omega_i \tilde{d}_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \omega_i N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)} \quad (1)$$

其中  $\tilde{d}_{ij}$  是控制点,  $\omega_{ij}$  是控制顶点的权因子,  $N_{i,k}(u)$  和  $N_{j,l}(v)$  是 B 样条基函数。

NURBS 显示还可以采用实体、网格,控制顶点三种形式显示,如下图表示 NURBS 实体曲面和网格曲面(一张 NURBS 曲面):

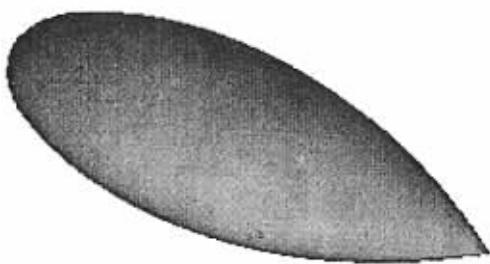


图1 美国国家航空航天局(杏仁状实体图)

Fig. 1 NASA — Almond

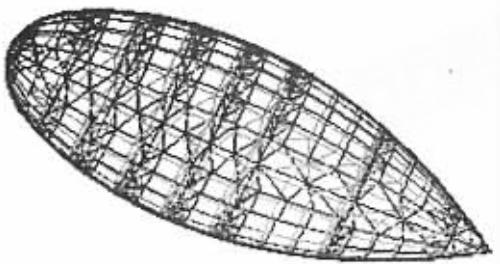


图2 美国国家航空航天局(杏仁状网格图)

Fig. 2 NASA — Almond

## 2.2 投影变换

几何模型在图形显示之前必须经过一定的投影变换,投影变换主要分为平行投影和透视投影。根据近场和远场的不同特点,需要进行不同的投影变换进行模拟。平行投影是最简单和最直观的投影变换,平行投影处理为观察点距离目标无穷远,无论从什么角度观察,目标向三个主平面上都是进行平行投影。一般生活中观察事物距离目标都是有限的,观察点到目标连线不再是平行线,而是一系列相交于观察点的非平行射线,此种情况下投影变换就需要进行透视变换,经过透视变换处理的几何图像真实地反映了被观察物体与观察点之间地空间位置和角度关系。计算远场时,观察点到目标距离远远大于目标尺寸,可以处理为距离为无穷远;计算近场时,观察点到目标距离和目标尺寸可以比拟,可以处理为透视图。所以远场计算可以采用平行投影模拟,近场计算时可以采用透视投影进行模拟。图3和图4显示了两种投影变换的差别。

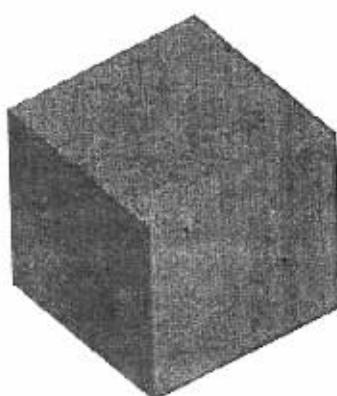


图3 平行投影(远场模拟)

Fig. 3 Parallel project

(Far field simulation)

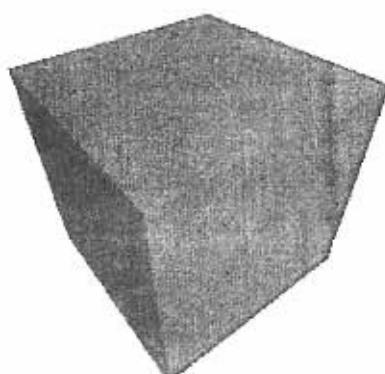


图4 透视投影(近场模拟)

fig. 4 Clairvogance project

(Close field simulation)

### 2.3 深度缓冲区(Z-Buffer) 技术

从显示器上观察到的三维图形实际上只是三维形体在前剪切面上的二维几何投影,只包含了  $x, y$  坐标信息,实际上帧缓冲区中还贮存着图形的深度( $z$  坐标)信息,这个内存区域称为深度缓冲区(Z-Buffer). Z-Buffer 的提出首先是为了获得三维图形的快速消隐功能. 物理光学假设电流仅仅分布在照射明区,计算的时候,必须将照射暗区剪切掉,即实现消隐. 传统的消隐的工作量需要计算大量的几何参数和比较,Z-Buffer 技术的引入,可以大大加快消隐速度. Z-Buffer 技术对于 GRECO 来说还具有提供散射体表面上不同位置上的准确的  $z$  坐标功能,进而提供散射体到观察点的距离.

### 2.4 光照处理

进行电磁场计算中,还需要获取目标每一个象素的表面外向单位法向矢量( $n_x, n_y, n_z$ ),要获取该单位法向矢量,可在屏幕上沿三个方向分别用红绿兰三种单色光单独照射获得,计算机图形缓冲区还记录了每一个象素对应的三原色(RGB)分量,可以直接获取屏幕每一个象素的三原色分量. 光照处理需要定义光源和材质. 采用设置适当的光照(光照方向,光源位置等)可以模拟单站、双站计算环境,远场入射和近场入射效果. 如图 5 所示:

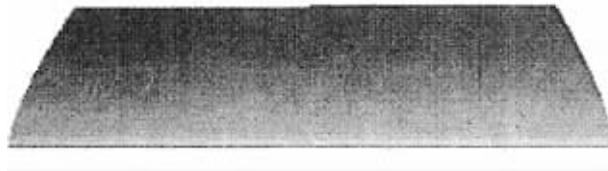


图 5 某型机翼的单站近场光照

Fig. 5 Single station close field illumination of some type aerofoil

## 3 GLUT 的使用

OpenGL 承担了三维图形绘制的大部分工作,但是仍然不可以完全替代图形设备接口(GUI),最终还需要和外围设备进行连接,这无疑新增加了对 OpenGL 开发的要求和编程的工作量. 开发 OpenGL 程序,特别是在 Windows 上采用 MFC 开发可执行的软件,需要将 OpenGL 的 RC(Render Context)同 DC(Device Context)匹配,设置环境,响应系统消息时的图形变换等一系列工作. 由于 OpenGL 函数库是大量零散的函数,缺乏包装性,使用比较繁琐,此外考虑到不同硬件和操作系统,程序的系统间的可移植性较差. 最新推出的完全开放的 OpenGL 开发工具包(GLUT)将 OpenGL 函数封装成一个独立与硬件环境和操作系统无关的类,将大量的工作整合成为少量的函数调用,用户仅仅需要关心相关函数,将大量具体设置任务移交给函数内部处理. 而且用户不用考虑硬件环境和操作系统的不同. 如创建一个 OpenGL 窗口,用 OpenGL 需要进行大量的函数调用,用 GLUT 仅仅一个 GLUTCreateWindow() 函数就可以了,GLUT 类可以自己根据系统不同选择合适的函数对应. GLUT 的使用可以大大缩短 OpenGL 程序的开发周期,进一步提高程序的可移植性. 有关 GLUT 的详细资料可参见<sup>[4]</sup>

## 4 结 论

本文在研究图形电磁计算(GRECO)方法的基础上提出 OpenGL 开发对于 RCS 计算软件的重要性,利用 OpenGL,可以形成独立的计算软件,同时保留和 CAD 软件之间的接口。通过几个最基本的 OpenGL 变换与处理,解释了 GRECO 算法的依据,并给出了直观的图形实例,在建立模型及与 CAD 软件接口方面,本文提出了 NURBS 曲面格式,并给出 NURBS 格式三维模型的图形实例,显示了 OpenGL 在 NURBS 曲面显示上的巨大优势。本文最后推荐了 GLUT 类,为进一步提高程序的开发进度和可移植性提供了参考。

### 参考文献:

- [1] JM Rius, M Ferrando, and L. Jofre, GRECO. Graphical Electromagnetic Computing for RCS Prediction in Real Time[J], IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 35, No. 2, pp7—17 , April 1993.
- [2] S R Rousselle, S S Sorby and W F Perger. New IDEAS(Numerical Electromagnetics With I—IDEAS) for Visual Electromagnetics[J], IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 36, No. 4, pp7—13, August 1994.
- [3] 杨正龙,方大纲,刘铁军.复杂目标电磁散射计算软件的改进[J].系统工程与电子技术,2002,24(4):86~88.
- [4] <http://reality.sgi.com/opengl/glut3/glut3.html>.

## Application of OpenGL for RCS Computation of Complex Targets

LI Bing<sup>1</sup>, QIU Zhao-jie<sup>2</sup>, WANG Chao<sup>2</sup>, LU Ai-long<sup>2,3</sup>, HOU Xin-yu<sup>2</sup>

- (1. Shool of Computer Science and Engineering, Xian University of Technology, Xian, Shaanxi 710048, China;
- 2. Dept. Electronic Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xian, Shaanxi 710072, China;
- 3. Shool of Physics and Information Engineering, Shanxi Teacher's University, Linfen, Shanxi 041004, China)

**Abstract:** Graphical Electromagnetic Computing (GRECO) is recognized as one of the most valuable methods of RCS (Radar Cross Section) because of its speediness and accuracy. However, the target is modeled with solid—modeling software, so there is much dependence between the computation module and the CAD software. This paper present the technology of OpenGL, which can apart the computation module from CAD software and provide separated software with modeling and computation, at the same time, it has a interface with CAD software from the modeling files. Furthermore, it introduce the a convenient class with OpenGL ,GLUT, to everyone.

**Key words:** OpenGL; Radar cross section; Graphical electromagnetic computing (GRECO)

## 雷达散射截面（RCS）分析培训课程

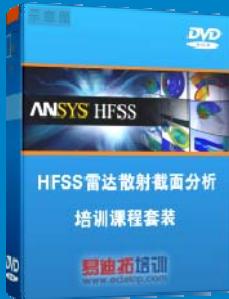
易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

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/>