

# 空间场景中实体的表示方法研究

汪荣峰, 张海波

(装备学院 试验指挥系, 北京 101416)

**摘要:** 卫星、空间站等实体是空间场景的重要组成部分, 卫星工具软件包 STK 建立了丰富的模型资源。为了脱离 STK 环境使用这些实体模型, 对模型格式进行深入剖析, 利用 OpenGL 完成模型的可视化。首先经过试验对比分析确定各类图元几何位置、法向和纹理坐标的计算方法, 提出对应绘制策略; 然后分析变换、关节动作、参数等模型中的关键要素, 并探讨绘制时的实现技术; 最后对上述技术进行了组件化封装。对绘制结果与 STK 软件进行比较, 二者完全一致, 该技术已成功用于构建空间战场可视化系统。

**关键词:** 实体; STK 模型; 图元; 空间场景

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2012)12-0112-03

## Research on Representation of Entity in Space Scene

WANG Rong-feng, ZHANG Hai-bo

(Department of Testing and Command, the Academy of Equipment, Beijing 101416, China)

**Abstract:** The entities, such as satellite and space station, are important parts of space scene, the satellite tool software establishes rich model resource. To use STK's model resource of space entity, the visualization of model was implemented by OpenGL based on analysis of internal format of model. Firstly, the calculating method of position, normal and texture's coordinate of varying primitives were confirmed via experimentation, followed by rendering method of primitive. Secondly, the meanings and implementation method of transform, articulation and parameter were analyzed. Finally, the entity visualization component was implemented based on technologies above. The display of model was identical to STK, and was applied in founding of space visualization system successfully.

**Key words:** entity; model of STK; primitive; space scene

## 0 引言

战场可视化系统中一般直接应用某种特定格式的实体模型, 空间场景也不例外: Vega 利用 Creator 软件建立 OpenFlight 格式模型, 利用 Vega API 将模型加入可视化系统<sup>[1]</sup>; 卫星工具软件包 STK (Satellite Tool Kit) 利用 LightWave 软件制作模型, 然后使用转换工具 LwConvert 将其转化为 mdl 格式模型; 黄权<sup>[2]</sup>等直接应用 OpenGL 驱动 3DS 模型; 张龙慧等<sup>[3]</sup>则采用 Open Inventor 仿真卫星姿态控制。

关于 3DS 格式模型的研究已经非常深入<sup>[4,5]</sup>, 解析 3DS 模型并进行绘制的源代码也可在互联网上下载, 即完全可以在自主开发的战场可视化系统中应用 3DS 模型; OpenFlight 模型的相关研究集中在模型格式的转化, 如 3DS 格式转化为 OpenFlight 格式<sup>[6]</sup>和 DXF 格式转化为 OpenFlight 格式<sup>[7,8]</sup>, 模型绘制采用

Multigen-Paragim 公司提供的二次开发函数库 Open-Flight API, 不能脱离 Vega 环境使用模型; STK 模型的研究方面, 只有韩潮等<sup>[9,10]</sup>尝试了将 STK 模型转化为 VRML 格式, 模型绘制等研究尚为空白。

## 1 STK 模型总体结构与优点

STK 软件在航天任务分析领域占据统治地位, 但是该软件只适于对象数目不多、非实时的场合<sup>[11]</sup>。STK 模型以文本文件的方式存储, 模型为树形结构, 树的节点用 Component 和 EndComponent 关键字表示, 指向子节点的指针用 Refer 和 EndRefer 定义, 如果组件内含 Root 关键字, 则是树根。模型最基本单元为图元, 将图元组织在一起依赖几何变换、纹理变换、参数改变和关节动作, 各有相应关键字及语法。

STK 模型具有如下优点:

①建立了丰富的实体模型资源, 包括各种卫星、空间站、飞机以及地面站等;

②模型不但支持静态显示, 而且支持卫星帆板展开、整流罩脱落等关节动作, 这对于武器平台的战术仿真非常必要;

收稿日期: 2012-03-28; 修回日期: 2012-06-30

基金项目: 财政部重大专项课题 (40602001)

作者简介: 汪荣峰 (1973-), 男, 河北玉田人, 副教授, 硕士, 研究方向为战场可视化。

③设计的图元适于描述空间实体,针对性强;

④空间实体采用树状结构表示模型,易于实现高效绘制;

⑤模型支持层次细节表达;

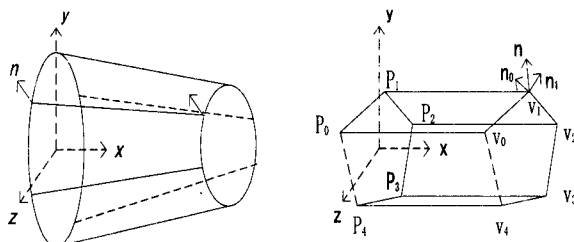
⑥支持基于纹理的导弹尾焰等特殊效果,效率高于粒子系统方式。

## 2 图元

STK 模型包括 8 类图元:Cylinder、Extrusion、Helix、Polygon、PolygonMesh、Revolve、Skin、Sphere。图元含义较为直接,但是其顶点位置、法向向量和纹理坐标的计算需要分析,并需构造相应绘制方法。

### 2.1 Cylinder 图元

定义了两端封闭柱体,参数有细分个数、柱底半径、柱底法向、柱顶半径、柱顶法向和柱长。形状如图 1(a)所示。



(a) Cylinder 图元

(b) Extrusion 图元

图 1 Cylinder 图元和 Extrusion 图元

解码和绘制涉及如下技术:

①位置计算,在柱面计算离散点;

②法向计算,顶点法向由其柱心指向该点,如图 1(a)中  $n$ ,顶面和底面法向由模型文件得到;

③纹理坐标计算,顶端  $v$  都为 1,底端  $v$  为 0,  $u$  分量根据细分个数由 0 到 1;

④绘制,顶端和底端以三角形扇绘制,柱面以四边形带绘制。

### 2.2 Extrusion 图元

定义平面线集沿  $x$  轴平移形成的“挤出形状”图元,参数有挤出长度、线集点个数、点坐标等。如图 1(b)所示,定义 5 个点  $P_0, P_1, P_2, P_3, P_4$ , 形成面有  $P_0P_1V_1V_0, P_1P_2V_2V_1, P_2P_3V_3V_2, P_3P_4V_4V_3$ , 如线集封闭,还包括  $P_4P_0V_0V_4$ 。

解码和绘制涉及如下技术:

①位置计算,模型文件给出平面  $x=0$  上点坐标,另一组点  $x$  坐标等于 length,  $y, z$  坐标不变;

②法向计算,顶点法向为相邻面法向均值,如图 1(b), 顶点  $V_1$  法向  $n$  为面  $P_0P_1V_1V_0$  法向  $n_0$  和面  $P_1P_2V_2V_1$  法向  $n_1$  的均值;

③纹理坐标计算,位于平面  $x=0$  的点  $u$  分量为 0, 新生成点  $u$  分量为 1,  $v$  值根据起点到其的累加距离插

值;

④绘制,以四边形扇绘制或单独四边形绘制。

### 2.3 PolygonMesh 图元

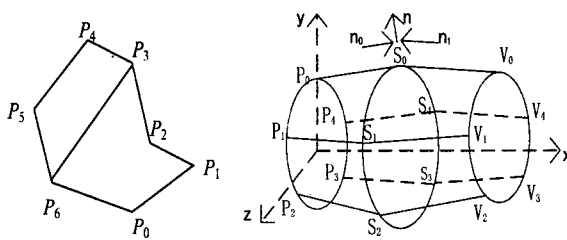
定义多边形网格,其数据形式为 {边数, 点索引值...}。多边形网格包含 1 点集合和 1 描述多边形的索引集合,多边形网格如图 2(a)所示,点数为 7,多边形个数为 2,多边形索引数据为 {5, 0, 1, 2, 3, 6} 和 {4, 6, 3, 4, 5}。

解码和绘制涉及技术有:

①法向计算,顶点法向为相邻多边形法向均值;

②纹理坐标计算,如数据为 DataTx 方式,则模型数据中包含纹理坐标,否则,如有 AutoGenTxCoord X (或 Y、Z)关键字,利用相应坐标平面产生纹理坐标;

③解码时需凸化,借助 OpenGL 辅助库中的镶嵌器来实现<sup>[12]</sup>。



(a) PolygonMesh 图元

(b) Revolve 图元

图 2 PolygonMesh 图元和 Revolve 图元

### 2.4 Revolve 图元

定义空间线集绕  $x$  轴旋转一定角度所形成形状,旋转 1 周则成管状,关键字包括起始角度、终止角度、沿旋转方向细分数、空间线集点数和点坐标。如图 2(b)所示,给定点为位于  $z=0$  平面上的点  $P_0, S_0, V_0$ , 细分数为 6 (旋转 1 周,第 6 点与第 1 点重合),最终形成表面包括  $P_0P_1S_1S_0, P_1P_2S_2S_1, P_2P_3S_3S_2, P_3P_4S_4S_3, P_4P_0S_0S_4, S_0S_1V_1V_0, S_1S_2V_2V_1, S_2S_3V_3V_2, S_3S_4V_4V_3, S_4S_0V_0V_4$ 。

解码和绘制涉及技术有:

①位置计算,在与  $x$  轴垂直的平面构造圆生产离散点;

②法向计算,对于处于边界处的点,如图 2(b)中  $P_0, V_0$ ,取圆心到该点方向,对于非边界点,如图 2(b)中  $S_0$ ,取沿  $x$  轴向相邻 2 点到该点构成矢量的均值,如图中法向  $n$  为矢量  $n_0$  和  $n_1$  的均值;

③纹理坐标计算,根据顶点  $x$  坐标生成纹理坐标  $u$  分量,第 1 点为 0,最后点为 1,其他点按  $x$  坐标线性插值,根据旋转角度生成纹理坐标  $v$  分量,将旋转角度映射到  $[0, 1]$  范围;

④以四边形带进行绘制。

### 2.5 Polygon、Skin、Helix 与 Sphere 图元

Polygon 图元定义逆时针平面多边形,其中给出了

表 1 参数的含义及实现

关键字	值	含义	实现方法
BackfaceCullable	Yes 或 No	是否进行背面裁剪	glCullFace()
FaceColor	颜色名或%RRRBBBGGG	当前颜色。查找 rgb.txt 中的颜色或直接应用各分量值	glColor()
FaceEmissionColor	颜色名或%RRRBBBGGG	定义当前发出的颜色	材质的 GL_EMISSION
FaceStyle	Hollow、Filled、Points	多边形填充模式	glPolygonMode()
FrontFaceCCW	Yes 或 No	前向面的方向	glFrontFace()
Shininess	0-128	镜面反射指数	材质的 GL_SHININESS
SmoothShading	Yes 或 No	明暗模式,影响部分图元的法向计算	glShadeModel()
Specularity	0-1	镜面参数	材质的 GL_SPECULAR
Translucency	0-1	透明度	改变颜色 Alpha 分量并进行颜色混合
TxDef	name + NoAA 或 AA 或 TranspAA 或 TranspNoAA	name 指定了纹理文件名,AA 与 NoAA 涉及纹理采样方式,Transp 表示纹理是否透明	见后面关于 Texture 关键字的讨论
TxGen	无	生成纹理坐标	图元解码时生成纹理坐标

顶点数及顶点坐标。纹理坐标计算采用如下方法:首先判断法向 3 个坐标分量的最大值方向,如为  $z$  轴方向,则将所有顶点坐标投影到  $yz$  平面上,计算多边形在该平面的包围盒,顶点纹理坐标根据顶点在该包围盒范围内的位置线性插值。

Skin 图元定义将 2 个或多个线集连接起来形成的表面,给出了线集个数、每个线集内点数以及具体的点坐标。模型文件已包括位置数据,纹理坐标计算方法为:以  $x$  轴向映射  $u$  分量,线集所在平面映射  $v$  分量,计算各方向总距离,然后以待处理点在相应方向累加距离除以总距离作为纹理坐标值。

Helix 定义螺旋线,参数包括螺旋个数、总长度、半径以及每个螺旋内细分个数等,螺旋线不涉及纹理坐标和法向计算,绘制时按顺序画线即可。

Sphere 定义中心在原点的细分球面,参数包括沿  $z$  轴方向细分数、 $xy$  平面方向圆周细分数和球半径,根据以上参数计算表示球面的多边形即可。

### 3 变换、关节动作与参数

利用几何变换将定义在各自局部坐标系的图元组合成模型,关键字有 4 个:Translate,平移;Scale,比例变换;Rotate,绕坐标轴旋转,旋转顺序  $x,y,z$ ;Uniform-Scale,等比变换。纹理空间也支持上述 4 个变换。

模型支持关节动作,由 Articulation 和 EndArticulation 关键字定义。命令格式一致,形式为{命令,名字,最小值,当前值,最大值},支持的关节动作作为沿各轴的

比例变换、平移变换和旋转变换,以及对应的纹理空间变换。以上变换和关节动作均调用相应 OpenGL 函数实现。

影响图元的另一因素称参数,相当于 OpenGL 中的状态,表 1 描述了各个参数的关键字、值、含义以及在 OpenGL 下的实现方法。

此外,关键字 Texture 和 EndTexture 之间可定义更多纹理信息,关键字有:RGB,颜色纹理文件;Alpha,透明度纹理文件;Env,纹理环境参数;Parm,参数与 TxDef 参数相同。模型支持的 Alpha 纹理与 RGB 纹理配合,表现尾焰等效果,2 种纹理格式相同,将 Alpha 纹理和 RGB 纹理组合为 RGBA 格式图像。也可以通过参数 Transp 设置纹理图像左上角像素颜色作为透明色,采用生成 RGBA 格式图像实现。

### 4 组件化封装与应用实例

在以上分析研究的基础上,基于组件对象模型(component object model, COM),利用活动模板库(active template library, ATL)实现了空间实体可视化组件。利用该组件开发了空间实体浏览软件,大量测试表明,在位置、尺寸、颜色、纹理等各方面,该软件与 STK Modeler 软件的显示结果完全一致。

### 5 结束语

为在自主开发的空间场景中应用 STK 丰富的模型

(下转第 118 页)

行任何应用,这样设计测试过程的目的是为了排除其他因素对 TCP 性能测试的干扰,而仅仅分析虚拟化对 TCP 性能的影响。

通过测试可以看出,虚拟化技术,尤其是完全虚拟化,其开销明显影响了 TCP 交互式、查询类应用的性能。这主要是因为虚拟化技术中的网络 I/O 机制,会增加 TCP 的 RTT(Round Trip Time),因此会对数据中心中时延敏感的应用产生显著影响。但通过适当地设置收发缓冲区的大小,可以使得虚拟机上进行批量数据传输的 TCP 通信不受虚拟化技术产生的不利影响。

以上测试了虚拟化技术对 TCP 性能的影响,未在文中列出的测试还表明 Dom0 中的 Memory、CPU 分配会对 TCP 性能产生很大的影响。这是因为 VM 与外面的网络通信都需要经过 Dom0 进行中转,若 Dom0 未分配足够的资源,反而会成为性能瓶颈。因此,通过改进 XEN Hypervisor 的 I/O 机制,避免经过 Dom0 的中转应该是一个值得研究的方向,因为这不仅可以降低 I/O 时延,还可以有效提升资源的分配效率。

文中测试与分析了 XEN 桥接组网方式下的 TCP 性能,另外探讨 XEN 中的其他组网方式(比如 NAT、Routing 模式)下 TCP 的性能,以及其它类型的 Guest OS(比如 RedHatLinux、CentOS、Windows 等)下的 TCP 性能也是值得关注的一项工作。

#### 参考文献:

- [1] Alizadehzy M, Greenberg A, Maltzy D A, et al. DCTCP[C]//Proc of SIGCOMM. [s. l.]:[s. n.], 2010.

(上接第 114 页)

资源,通过试验对比对其模型格式进行了深入剖析,解决了解码、绘制中的关键技术,进行了良好的组件化封装,以该组件作为重要组成部分的空间场景可视化控件可以方便地构建战场可视化系统。

#### 参考文献:

- [1] 张飞宇,闫晓勇.基于 Creator/Vega 的寻的导弹飞控系统[J].计算机工程,2010,36(9):43-45.
- [2] 黄权,学军.基于 OpenGL 的卫星跟踪仿真[J].计算机技术与发展,2007,17(2):131-134.
- [3] 张龙慧,宋杨,唐俊,等.基于 Open Inventor 的卫星姿态控制可视化仿真[J].计算机技术与发展,2009,19(11):214-217.
- [4] 胡平平,刘建明,王晶杰. OpenGL 显示 3DS 模型若干问题的研究[J].工程图学学报,2010(4):189-193.
- [5] Velsen M V. 3D-Studio File Format(.3ds)[EB/OL]. (1998-10-05)[1998-10-05]. <http://www.the-labs.com/>

- [2] Whiteaker J, Schneider F, Teixeira R. Explaining Packet Delays under Virtualization[J]. Computer Communication Review, 2011, 41(1):38-44.
- [3] Kangarlou A, Gamage S, Kompella R R, et al. vSnoop: Improving TCP Throughput in Virtualized Environments via Acknowledgement Offload[C]//Proc of the 2010 ACM/IEEE International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis. Washington, D C: IEEE Computer Society, 2010.
- [4] 胡翔羽,兰巨龙,邬江兴.基于固件虚拟的承载网络资源重构模型研究[J].通信学报,2011,32(12):36-42.
- [5] 张伟哲,张宏莉,张迪,等.云计算平台中多虚拟机内存协同优化策略研究[J].计算机学报,2011,34(12):2265-2277.
- [6] Wang Guohui, Eugene Ng T S E. The Impact of Virtualization on Network Performance of Amazon EC2 Data Center[C]//INFOCOM2010. [s. l.]:[s. n.], 2010.
- [7] 罗军舟,金嘉晖,宋爱波,等.云计算:体系架构与关键技术[J].通信学报,2011,32(7):3-21.
- [8] 顾晓峰,王健.基于 Intel VT-x 的 XEN 全虚拟化实现[J].计算机技术与发展,2009,19(9):242-245.
- [9] 朱团结,艾丽蓉.基于共享内存的 Xen 虚拟机间通信的研究[J].计算机技术与发展,2011,21(7):5-8.
- [10] 王位杰,王锋.基于网络的虚拟调试环境的研究[J].计算机技术与发展,2011,21(7):46-49.
- [11] 马飞,刘峰,刘真.云计算中高效节能的虚拟机分布式管理方法[J].计算机工程,2012,38(11):5-11.
- [12] 温少君,陈俊杰,郭涛.一种云平台中优化的虚拟机部署机制[J].计算机工程,2012,38(11):18-21.

Blender/3dsspec. html.

- [6] 肖羽,李光耀,王文举.基于 3DS 的 OpenFlight 模型构建方法[J].计算机应用,2009,29(6):302-304.
- [7] 刘立嘉,盛业华,周炯,等.基于 DXF 的 OpenFlight 数据创建方法研究[J].测绘科学,2008,33(4):215-217.
- [8] Autodesk Inc. AutoCAD 2007 DXF Reference v. u. 21. 1. 01 [EB/OL]. (2006-03-07)[2007-01-08]. <http://images.autodesk.com/adsk/files/acad-dxf.pdf>.
- [9] 宋殿宇,韩潮.关于在 VRML 技术中应用 STK 模型的研究[J].计算机仿真,2004,21(10):122-125.
- [10] 韩潮,曲艺. Open Inventor 在 STK 模型转换中的应用[J].计算机仿真,2005,22(10):63-66.
- [11] 张占月,徐艳丽,曾国强.基于 STK 的航天任务仿真方案分析[J].装备指挥技术学院学报,2006,17(1):48-51.
- [12] Wright R S, Lipchak B, Haemel N. OpenGL superbible[M]. 4th ed. American: Addison-Wesley Publication, 2007:409-414.