

文章编号:1000-582X(2007)09-0088-05

# 面向测控的数字化靶场环境生成系统设计

刘成国<sup>1</sup>, 柴毅<sup>2</sup>, 祁飞<sup>1</sup>, 魏洪波<sup>1</sup>

(1. 西昌卫星发射中心, 四川 西昌 615000; 2. 重庆大学 自动化学院, 重庆 400030)

**摘要:**数字化航天靶场环境生成系统是面向航天测控系统应用的可视化平台,其建模仿真是一项复杂的系统工程。立足于适应未来信息化航天靶场建设的要求,介绍了建立面向测控的数字化靶场环境生成系统的必要性,对其功能和主要特性进行分析说明,描述了系统的组成以及体系结构。对系统实现的关键技术进行分析讨论,主要包括三维地形的快速生成、基于复杂度的三维实体建模方法、分布式仿真环境的设计、人机交互方式的实现等技术难点。

**关键词:**数字化靶场环境;可视化交互仿真;地理信息系统

**中图分类号:**V551

**文献标志码:**A

信息是一种能创造价值和进行交换的知识,具有可识别、转换、存储、处理、扩充、压缩、替代、传递、扩散等特性,信息资源比物质资源更重要。未来的航天科技领域竞争,谁能广泛地占有信息,合理有效地利用信息,谁就掌握了竞争的主动权。航天靶场信息化主要有以下几个特点:一是靶场数字化,通过通信手段和计算机网络将指挥控制系统和测试发射系统、测控系统、通信系统、勤务保障系统、气象系统以及各参试单位有机地联系起来,实现靶场上下左右实时的信息获取、处理、交换,以实现在整个靶场范围内共享信息资源,实现指挥、控制、后勤保障一体化。二是指挥体系前后方界限模糊,航天靶场试验周期将缩短,局部问题可导致全局受影响。三是航天靶场的应用范围和试验领域增大,除传统意义的地面发射模式和基于地基的测控系统外,发射平台将呈现多样化、机动化,而测控系统也将逐渐形成地基、空基、天基的天地一体化测控网;而随着未来战争军事对抗重心和焦点的转移,空间军事化和空间攻防对抗也已成为不可避免的发展趋势<sup>[1-2]</sup>。

要建立信息化航天靶场,首先必须实现信息网络化和靶场环境数字化。有了这两项基础建设,靶场信息化建设才能实施,数字化靶场的特点才能得以体现。与传统靶场相比,数字化靶场的特点之一是参试力量

的一体化,使所有参试单元形成一个有机的整体。

实现面向测控的数字化靶场环境生成系统的主要任务是为航天靶场试验任务提供相应地区真实的地理、气象、电磁等环境信息。在分布式网络环境和地理信息系统平台的支撑下,采用可视化交互仿真技术,将种类繁多的海量靶场环境信息搜集、整理、归类、汇总,运用二/三维景象、图表、数据等多种表现方式为靶场指挥决策人员提供直观形象的决策支持。从而进一步提高了航天靶场测控网在面对航天任务趋于多型号、高密度时布局的合理性、可靠性,并满足靶场测控设备和飞行器之间动态交互分析的需求。

## 1 系统开发环境的配置和特性分析

系统的硬件开发环境是分布式的计算机网络,而系统软件开发环境的选择首先是仿真平台的选择,主要立足于以下需求:具备较好的实时视景仿真能力,能够在二/三维仿真环境中准确直观地表达复杂靶场环境中地理、气象、电磁等环境信息,可以对相关联开发平台(如GIS平台等)提供丰富的接口,并且满足大规模分布式仿真环境的要求以具备适应建立未来天地一体化建模仿真环境的能力。针对以上需求,系统的仿真平台选择为STK、地理信息系统平台为ArcGIS、建模

收稿日期:2007-04-25

作者简介:刘成国(1970-),男,西昌卫星发射中心高级工程师,主要从事复杂系统建模仿真研究。

柴毅(联系人),男,教授,博士生导师,(E-mail)Chaiyi@cqu.edu.cn。

平台为 Lightwave、主控程序开发平台为 VC++<sup>[1]</sup>。

STK 的全称是 Satellite Tool Kit (卫星工具箱), 最初的应用集中在航天、情报、雷达、电子对抗、导弹防御等方面。但随着软件的不断升级, 应用也得到了进一步深入, STK 现已逐渐扩展成为分析和执行陆、海、空、天、电(磁)任务的专业仿真平台<sup>[1]</sup>。

STK 提供分析引擎用于计算数据、并可显示多种形式的二维地图, 显示卫星和其他对象如运载火箭、导弹、飞机、地面车辆、目标等。STK 还有三维可视化模块, 为 STK 和其他附加模块提供领先的三维显示环境。STK 基本模块的核心能力是生成位置和姿态数据、可见性及遥控器覆盖分析。STK 专业版扩展了 STK 的基本分析能力, 包括附加的轨道预报算法、姿态定义、坐标类型和坐标系统、遥感器类型、高级的约束条件定义, 以及卫星、城市、地面站和恒星数据库。对于特定的分析任务, STK 提供了附加模块, 可以解决通信分析、雷达分析、覆盖分析、轨道机动、精确定轨、实时操作等问题<sup>[1,3]</sup>。

### 1.1 STK 的 GIS 拓展特性分析

为拓展 STK 的分析能力, STK 提供了与 ArcGIS 软件间的接口, 即 STK 的 GIS 拓展模块。通过对 STK/GIS 的高效利用, 使得 STK 软件与 ArcGIS 软件具有优秀的协同工作能力。

ArcGIS 可以利用 STK 的计算能力来为自己服务, 同时还可以与 STK 交换覆盖图以及轨迹数据。当然, ArcGIS 也可以自由读取由 STK 产生的 shape 文件。

### 1.2 STK 的模型接口特性分析

STK 本身并没有提供模型制作工具, 它所使用的模型首先需要通过三维制作软件 LightWave 建立(或者通过第三方软件将所建模型转换为 LightWave 支持的格式), 然后利用 AGI 官方提供的转换工具 LwConvert.exe 进行转换, 才能使用。

STK 模型制作的流程如图 1 所示。

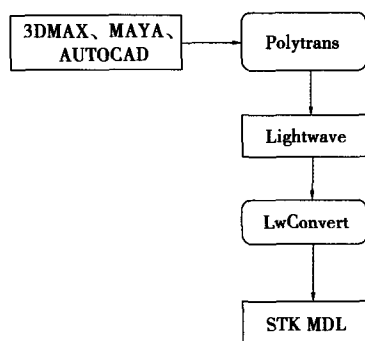


图1 STK 模型制作流程示意图

### 1.3 STK 的实时接口特性分析

STK/Connect 模块提供用户在服务器环境下与

STK 连接的功能。STK/CON 为第三方应用程序提供了一个向 STK 发送命令和接收来自 STK 数据的通信工具。STK/Connect 在早期名称是交互处理通讯模块(IPC), STK/Connect 包括一系列功能打开 UNIX 或 TCP/IP 到 STK 的接口, 以便给 STK 发送连接命令和接收从 STK 返回的数据, 当通讯完成后关闭接口。Connect 具有提供信息的功能, 可按用户规定的各种方式输出错误信息和诊断信息。如果需要, 用户还可取消此信息将之用于自己的目的。使用 STK/Connect 时仅需提供连接名和端口, 以便 STK 驻留和打开接口。IPC 指令可以用单一函数发送然后返回所希望的任何数据。其连接关系如图 2 所示。

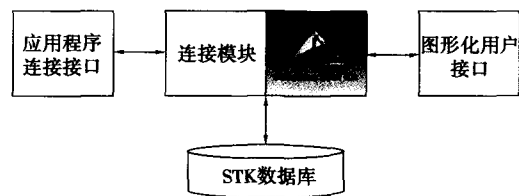


图2 STK/Connect 模块连接关系图

### 1.4 STK 的分布式接口特性分析

STK/DIS 模块是一个符合 IEEE 标准的分布式交互仿真(DIS)应用程序, 设计用于为高交互性领域创建复杂的虚拟场景。最终的场景是一个复杂的虚拟现实计划编制工具, 是精确的和最新的<sup>[4]</sup>。

其关键特性如下。

- 1) IEEE DIS 标准
- 2) PDU 处理
- 3) STK 场景的实时共享和同步
- 4) 2D 和 3D 可视化建模和实时军事环境

## 2 系统的组成与功能

系统主要分为主控平台和仿真平台两大部分。系统主控平台程序的开发主要基于 STK/Connect、STK/DIS 模块和 VC++6.0 开发环境。一方面完成主控平台对仿真平台中二/三维景象、图表、数据输入输出的控制; 另一方面通过与 Distributed Simulation Internet (分布式仿真网络 DSI) 的连接, 读取 Protocol Data Units(协议数据单元 PDUs), 然后建立一个共享场景。接收到的 PDUs 被过滤和转化为 STK 的对象, 诸如发射塔架、运载火箭、雷达、地面车辆等。一旦创建之后, 对象的状态(位置和姿态)将通过接收到的 PDU 的实际数据被周期性更新<sup>[5]</sup>。

系统仿真平台主要基于 Lightwave、STK、ArcGIS 实现靶场及试验任务航区地理环境的数字化、靶场测控设备和重要设施三维模型库的建立, 靶场上方气象环

境的数字化以及地理环境、电磁环境对测控设备制约因素的建模仿真。

系统组成结构如图 3 所示。

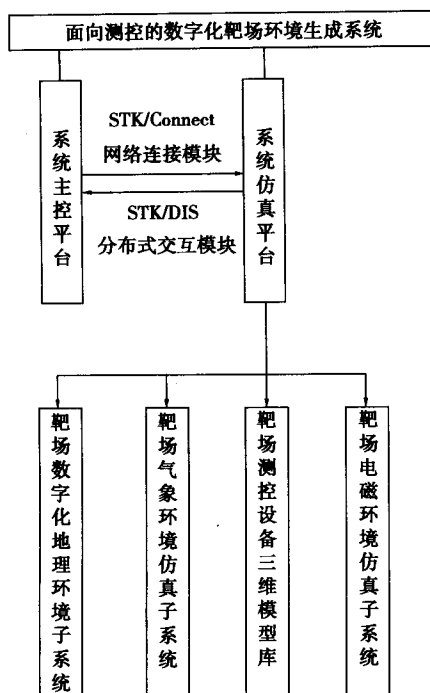


图 3 系统组成结构图

其中,系统仿真平台主要完成的功能有如下 4 个方面。

### 2.1 靶场数字化地理环境子系统

建立真实的数字化地理环境是靶场环境数字化的首要任务。要建立大范围的纹理真实、形状逼真的三维地景,首先必须获取地表环境的描述信息,包括描述地形高度的数字高程模型(DEM)以及描述地表真实覆盖状况的地表影像;其次是将描述靶场重要设施、路径、区域及名称的点、线、面、属性等 shp 格式的 GIS 数据通过 STK 的 GIS 拓展模块完成在仿真场景二/三维态势系统中电子地图的绘制;同时也可以充分利用 ArcGIS 的空间查询功能,通过 STK 将系统的地面站、区域及目标对象、传感器刈痕、各种轮廓线和等高线以及投影效果,输出为 shape 文件,供 ArcGIS 使用。

系统的地形数据源采用规则网格存储的地形数据,主要包括:

- USGS DEM(Digital Elevation Model):美国地质勘探局的数字化高度模型;

- NIMA DTED(Digital Terrain Elevation Data):美国国防部地图局的数字化地形高度数据;

以及 MUSE Raster File (.dte)、GTOPO30 DEM (.hdr)、NIMA/NGA DMED 等格式的地形数据。

地表面貌的表现主要采用地面照片、航拍照片、卫

星遥感影像等作为数据源。经过图像几何校正、图像镶嵌、图象融合处理后转换为符合 STK 要求的地景数据<sup>[3]</sup>。

数字地图的处理一方面利用国家基础地理信息系统提供全国 1:400 万比例尺的 GIS 数据完成全国电子地图的表现;另外利用靶场自行测量并处理的 1:500 比例尺 GIS 数据作为靶场电子地图的数据源。

该子系统的设计流程图如图 4 所示。

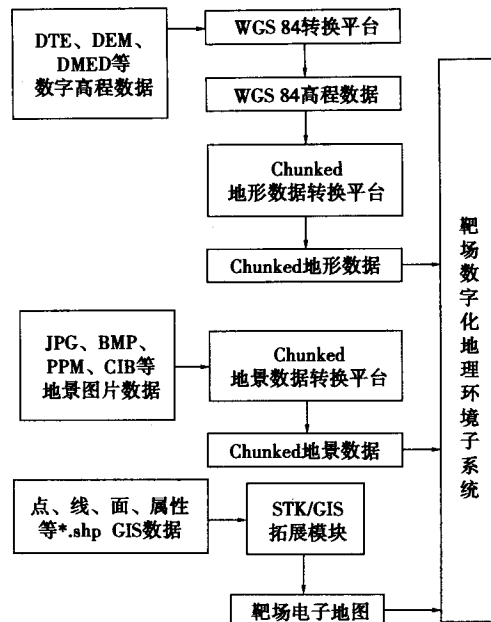


图 4 靶场数字化地理环境子系统设计流程图

### 2.2 靶场气象环境仿真子系统

靶场气象环境的仿真首先通过对 STK 地球仿真环境的雨量大小、分布模型,云层分布范围、高度、大小,光照强度、方向,地表温度,大气湿度等属性的设置完成仿真场景中地球整体气象环境的设置;其次完成靶场周围环境的光照仿真以及靶场上方云层分布的仿真。结合地形数据,可以准确地反映出在真实三维场景中地形对光照的影响。全球云层以及靶场上方云层的建模仿真一方面可以通过 NASA 提供的动态全球云层分布数据完成;另一方面可以根据靶场气象系统提供的云层预报数据,完成针对靶场上方云层分布的精确仿真。

同时,该子系统的拓展接口还可以实现风力大小、风向变化、雷电天气等不同气象环境的建模仿真功能。

### 2.3 靶场测控设备三维模型库

靶场测控设备三维模型库为靶场环境提供了各装备的真实模型和测控系统关心的技术参数,能够根据实时接受的测控设备数据,将设备的俯仰角、方位角等参数的变化在二/三维态势系统中准确直观地反映出来,并结合靶场地理环境的建模仿真,在仿真场景中反

映多种对测量设备的约束条件,如折射约束、基本约束(方位角,俯仰角,高度,距离及变化率,直线可见,地面特性)、太阳约束(太阳仰角,太阳地面仰角,月亮仰角,太阳、月亮排除角,太阳、月亮遮挡)、时间约束、高级约束(地球 Graze 角及高度、太阳 $\beta$ 角、地面仰角、背景、地面轨迹)等等,并为最终实现靶场测控网与飞行器的交互仿真分析奠定基础<sup>[5-6]</sup>。设计的原则主要为。

2.3.1 标准性

统一采用标准的 STK 模型文件格式,以组件和图元的层次来排列,文件结构为层次结构。在层次上,组件是所有图元和其中包括的子组件的父层,一个包括组件的图元是该组件的父层。一个模型文件不需要从文件的开始部分有顺序的定义,但是一个组件只能是一个组件用于定义模型的最顶层。模型文件以组件为根,然后连续向下建立每一个组件。以卫星模型为例,组件和图元的层次如图 5 所示。

2.3.2 交互性

所建立的测控设备能够满足与用户的实时交互,用户对模型的控制主要分为以下几个方面。

1) 空间属性的控制。空间属性可以被用于在三维空间内定义组件或图元的位置、方向和比例,所有的子组件继承父组件的空间属性,所有的空间属性因组件中的命令而进行,通过围绕父组件的 X, Y 或 Z 轴旋转、缩放、平移完成组件空间属性的控制。

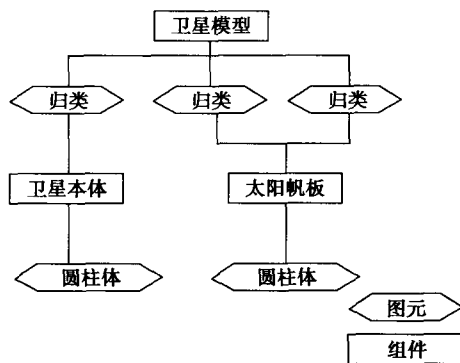


图 5 模型文件组成结构图

2) 纹理属性的控制。纹理属性仅仅应用于图元并且不能被继承,所有的控制因组件中的命令而进行,通过绕组件的 X, Y 或 Z 轴旋转、缩放、平移完成组件纹理属性的控制。

3) 动作属性的控制。在模型文件中定义的动作属性能控制图元或者组件进行动态变化。一个动作关键词区域在模型文件中的格式如下所示: Articulation < Articulation Name > < ArticulationCommand > EndArticulation。其中, < Articulation Name > 唯一标定了来

自外部文件的动作控制,在 < ArticulationCommand > 中的 < Min Value > 和 < Max Value > 决定了动作的范围, < Init Value > 确定了动作的初始数值。

任意数量的动作命令可以在模型文件的动作关键词区域中显示,对每一个要控制的轴都需要一个独立的命令。动作命令定义动作控制的范围,命令及其相应的描述见表 1。

表 1 模型文件中的动作命令及命令描述

动作命令	命令描述
XTranslate	沿父坐标系的 X 轴移动对象
YTranslate	沿父坐标系的 Y 轴移动对象
ZTranslate	沿父坐标系的 Z 轴移动对象
XRotate	沿父坐标系的 X 轴旋转对象
YRotate	沿父坐标系的 Y 轴旋转对象
ZRotate	沿父坐标系的 Z 轴旋转对象
Xscale	沿父坐标系的 X 轴缩放对象
YScale	沿父坐标系的 Y 轴缩放对象
ZScale	沿父坐标系的 Z 轴缩放对象
UniformScale	沿各轴平均缩放对象
XTxTranslate	沿 X 轴移动纹理
yTxTranslate	沿 Y 轴移动纹理
zTxTranslate	沿 Z 轴移动纹理
xTxRotate	沿 X 轴旋转纹理
yTxRotate	沿 Y 轴旋转纹理
zTxRoate	沿 Z 轴旋转纹理
xTxScale	沿 X 轴缩放纹理
yTxScale	沿 Y 轴缩放纹理
zTxScale	沿 Z 轴缩放纹理
mUniformScale	沿各轴平均缩放纹理。

2.4 靶场电磁环境仿真子系统

靶场电磁环境的仿真分为两大部分:一是根据相对精确的地球电磁环境参数来修改 STK 中地面反射率等电磁环境参数的属性设置;二是通过对传感器的建模仿真,在仿真场景中形象的表现出许多真实世界中无法“接触”到的抽象概念,比如光、电磁波、视距等,从而完成靶场测控网电磁环境的建模仿真。

传感器在 STK 中的应用非常广泛,但是在一个 STK 场景中,传感器是无法作为顶层对象而单独存在的。这是因为它所表达或者展示的一些概念,都必须依附于具体的对象而存在。

在基于 STK 的仿真应用中,可以作为传感器父对象的共有 8 种: Aircraft(飞机)、Facility(地面站)、GroundVehicle(地面机动目标)、LaunchVehicle(运载器)、Missile(导弹)、Satellite(卫星)、Ship(舰船)和 Target(地面目标)。

为了更好地对真实世界中的一些抽象概念进行仿真,还可以为传感器对象定义下一级子对象。这些子对象包括 Radar(雷达)、Receiver(接收机)和 Transmitter(发射机)。

因此,传感器的父对象都是具体存在的客观事物,而它的子对象则都是一些抽象的概念。

通过对靶场电磁环境的建模仿真,可以准确直观地反映出靶场测控网的覆盖分析、精度分析等等。

### 3 结束语

靶场环境数字化、信息化的建设工作是一个复杂的系统工程,笔者从立足于实际工程应用、面向天地一体建模仿真的角度出发,重点研究了靶场电子地图及三维地景的设计、靶场气象环境和电磁环境的建模仿真、动态可交互测控设备三维模型的建立以及相互之间的立体仿真分析等内容,同时基于 STK/Connect、

STK/DIS 建立了开放的分布交互式体系结构,满足多用户对仿真场景的实时控制需求,对于提高航天靶场测控系统的规划、设计、仿真、演示、验证等功能的效果和可靠性,具有较为重要的现实意义。

### 参考文献:

- [1] 杨颖,王琦,丛刚,等. STK 在计算机仿真中的应用[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [2] 王达,邱晓刚,黄柯棣. 基于 STK-RTI 中间件的天地一体作战建模仿真研究[J]. 系统仿真学报,2005, 17(2): 501-503.
- [3] STK6. 1. 2 Release notes[R]. [S. l.]: Analytical Graphics, INC (AGI), 2005.
- [4] 王强. 航天器空间飞行任务决策支持系统——分布交互仿真实时控制接口研究及实现[D]. 北京:北京航空航天大学,2003.
- [5] 刘成国,祁飞. 卫星工具包在分布式仿真中的实时控制研究[J]. 计算机应用, 2006, 26(6):1463-1465.
- [6] DERON OHLARIK, Future image & terrain handling in STK/VO [R]. [S. l.]: Analytical Graphics, INC (AGI), 2003.

## Design and Research of TT & C-oriented Generation of Digital Range Environments

LIU Chen-guo<sup>1</sup>, CHAI Yi<sup>2</sup>, QI Fei<sup>1</sup>, WEI Hong-bo<sup>1</sup>

(1. Xichang Satellite Launching Center, Xichang 615000, China;

2. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Based on the requirements of the space range informatization, the paper discusses the necessity of digital range environment construction; analyzes the function and the main characteristics of digital space range environment, and suggests the constitution and system architecture of digital range environment. The key techniques of digital range environment creation applying visualization interactive simulation are also analyzed and discussed, which include the techniques of 3D-terrain generation, a fast algorithm for 3D-modeling based on complexity, the design of distributed simulation environment and the human computer interaction, etc.

**Key words:** digital range environments; visualization interactive simulation; geography information system

(编辑 陈移峰)