

空天地态势实时可视化展示系统设计与实现

徐军¹, 徐连军², 刘镇瑜¹, 俞雷¹, 王凌艳¹

(1. 中国人民解放军63891部队, 河南 洛阳 471003; 2. 空间电子信息技术研究院, 西安 710000)

摘要:为使观察者能够直观地审视空天地间实时、立体的态势,提出了将二维和三维态势显示有机结合、互为补充的实时可视化展示系统开发思路。详细描述了系统设计的要求,设计给出了系统总体功能框架;建立了系统的层次化结构;重点论述了系统设计中的几项关键技术问题,包括利用 AgConnect API 接口函数实现实时数据驱动,通过多种手段解决诸如无法加载纹理贴图等问题;采用滑动式窗口检测的方式设计开发异常值数据预处理程序,基于坐标变换原理实现传感器对动态对象的实时跟踪。在某次信息战装备的对抗训练中成功检验和应用了该系统,展示了其优越的性能。该系统的实现,为更广领域的应用提供了基础平台,具有广阔的应用前景。

关键词:空天地态势;高沉浸感;实时可视化

中图分类号: V271.4; TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1671-637X(2013)11-0088-05

Design and Implementation of Situation Real-Time Visual Display System Among Space, Sky and Ground

XU Jun¹, XU Lianjun², LIU Zhenyu¹, YU Lei¹, WANG Lingyan¹

(1. No. 63891 Unit of PLA, Luoyang 471003, China;

2. Academy of Space Electronic Information Technology, Xi'an 710000, China)

Abstract: In order to make the observer survey intuitively the real-time, stereoscopic situation among space, sky and ground, an real-time and visualized display system is proposed, which combines effectively 2D and 3D situation display. This paper describes the requirements, overall functions and hierarchical structure of the system in detail. Several key technical issues in the system design are discussed: achieving real-time data operation with the AgConnect API interface functions; solving problems such as texture map that can be loaded in 3D model with the help of various means; designing and developing abnormal data preprocessing program by use of a sliding window detection method; and real-time tracking dynamic objects based on the principle of coordinate transformation. This system was tested and applied in a certain information warfare equipment against training successfully, which shows its superior performance and wide application prospects.

Key words: stereoscopic situation among space, sky and ground; high sense of immersion; real-time visualization

0 引言

从最早的泥沙军事沙盘到如今的电子沙盘及各类态势显示系统,态势显示已经进入了数字时代。当前以空中交通态势、战场态势、空间态势等各类空天地态势为显示对象的二维或三维显示系统早已屡见不鲜,但这些系统却各有局限性。二维态势显示虽然具有全

局性好、整体性强的优点,但由于其多以数字地图为背景,用图形或符号代表实体对象,其视觉效果差、直观性弱,没有立体感和真实感;而三维显示虽然具有逼真度高、视觉效果好的优点,但其通常以某一局部环境为视角,存在视角小、偶有迷失感的问题。

显然,单一的二维或三维态势显示均存在短板,如果能够开发一套系统,将二维态势显示和三维态势显示有机结合,充分发挥二者各自的优点,可有效弥补二者的不足,全面满足用户的需求。基于此,本文以 AGI 公司开发的卫星工具包软件 STK 为基础,利用 VC++

开发平台对其进行二次开发,设计实现了空天地态势实时可视化展示系统。该系统不仅能够全面呈现空天地间的全局态势,更能实时、立体地展示各组成要素(如地面设施、设备、车辆、飞机、卫星等)间的实时状况、相对位置、相互关系和未来发展趋势,使观察者能够真实地感受地形的起伏变化、形象地理解信息交互过程、直观地感知信息对抗效果等。

1 STK 简介^[1]

卫星仿真工具包(Satellite Tool Kit,STK)作为一款在航天工业领先的商品化分析和可视化工具,支持陆、海、空、天等各种复杂任务的全时空和全领域分析和表现。不仅提供三维可视化模块 STK/VO,为 STK 和其他附加模块提供领先的三维显示环境;还提供 5 个扩展、集成和接口模块,使用户可以更加灵活地定制程序、应用于分布式仿真,方便将 STK 的分析数据与 VC++ 和 GIS 等软件结合使用。

STK 软件可以单独使用,也可以集成或嵌入到其

他应用程序中供用户使用。典型的使用方式为 STK Connect 模式,即将 STK 作为服务器,本机或网络中其他的应用程序通过 AgConnect API 向 STK 服务器发送指令,STK 服务器完成相应的操作并反馈执行结果(如图 1 所示)。该模式向用户提供了丰富的命令,几乎能完成在 STK GUI 中的所有功能,而且执行速度快。

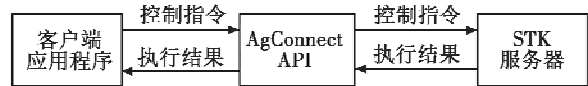


图 1 STK Connect 模式示意图

Fig.1 STK Connect mode

2 系统设计要求

为了使系统设计更具典型性和目的性,本文将以信息成为研究对象设计系统。该系统应具备实时数据获取接口,且能够从多种角度采用多种手段向观察者展示信息战装备性能、工作过程、相互关系等综合态势信息,详见表 1。

表 1 系统设计要求

Table 1 System design requirements

项 目	内 容	项 目	内 容
自然因素对装备性能影响的展示	地形起伏变化导致通信类装备间不能通视等 云层对星载装备可见性的影响等	装备局部特效的展示	装备天线等活动关节的旋转、移动等 飞行器的尾焰效果、起落架升降效果、空中投弹效果等
装备性能的展示	探测类装备所能有效覆盖的空间范围等 干扰类装备所能有效作用的干扰范围等	各类数据信息的展示	以静态或动态的文本、图表等多种手段展示诸如成员实体的经度、纬度、高度、姿态等实时数据 以画中画的多窗口方式从不同视角展示诸如卫星类实体的波束作用范围、过境情况等场景数据
装备工作过程的展示	探测类装备的扫描、探测过程 跟踪定位类装备的跟踪定位过程 干扰类装备的干扰过程	各成员实体间关系的展示	成员实体间的距离变化关系、通信传输关系、碰撞作用关系等
装备关键过程的展示	装备锁定目标的过程及锁定状态的表现 火控类装备发射导弹的过程 导弹攻击目标的过程及攻击效果的表现		

3 系统设计

3.1 实时可视化展示系统总体架构

依据系统设计要求,该系统按照功能可分为数据支持层、数据接口层、综合控制层、可视化效果展示层 4 大部分。系统总体架构如图 2 所示。

数据支持层用于制作、修改各类三维实体模型,获取各类实体模型所需实时数据、场景配置所需 DEM 数据和影像数据,为系统提供基础支持。

数据接口层将为系统提供各类数据交互接口,主要由 STK 接口引擎采用 TCP/IP 方式实现。

综合控制层用于实现对全系统的综合控制,包括用户接口控制、想定生成控制、数据库调用控制、数据预处理控制、模型驱动控制、回放再现控制、可视化效果展示控制等。

可视化效果展示层用于实现画中画的多窗口显示效果,根据观察者多视角的需要可实现全景展示、局部特效、装备状态、装备工作过程、关键过程等各类显示

效果。

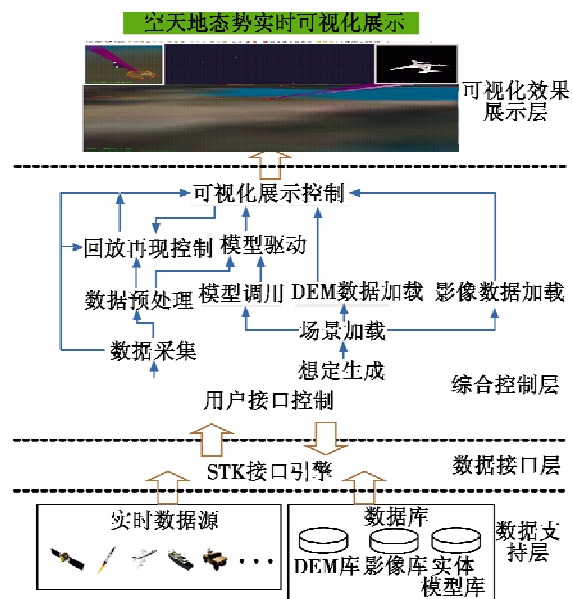


图 2 空天地态势实时可视化展示系统总体架构

Fig.2 General framework of the system

3.2 设计中的技术难点及处理

3.2.1 实时数据驱动^[2-3]

系统实现实时数据驱动的关键在于其通过 TCP/IP 方式与 STK 建立连接,并合理组织和调用 STK 提供的 API 函数实现场景加载、场景状态设置、模型驱动等相关操作,具体的实时数据驱动工作流程如图 3 所示。

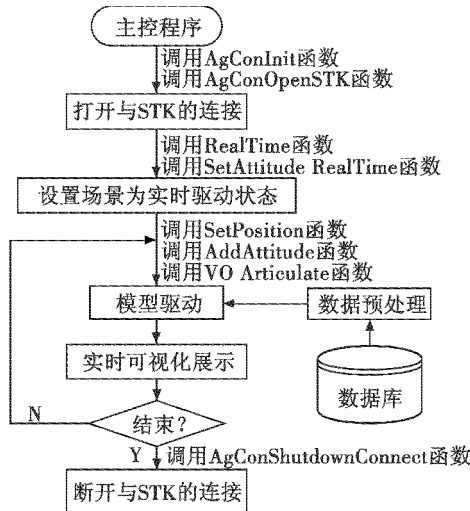


图 3 实时数据驱动工作流程图

Fig. 3 Flowchart of real-time data driving

在众多的接口函数中与实时驱动密切相关的主要是 RealTime、SetAttitude RealTime、SetPosition、AddAttitude 及 VO Articulate 等函数。这几个函数的具体使用方法如下所述。

1) RealTime。设置各类运载工具(如车辆、船只、飞机、卫星、火箭等)的轨道属性工作模式,令其工作在 RealTime 模式下。具体格式如下: Realtime */Aircraft/Craft SetProp。其中:“*/Aircraft/Craft”为运载工具路径,“SetProp”为 RealTime 设置命令。

2) SetAttitude RealTime。设置各类运载工具的姿态属性工作模式,令其工作在 RealTime 模式下。具体格式如下: SetAttitude */Aircraft/Craft RealTime Extrapolate 300 120。其中:“Extrapolate”设置运载工具采用外推方式计算姿态,“300”为从当前接收数据时刻向前推算的时间距离(单位为 s),“120”为从当前接收数据时刻起向后保留数据的时间距离(单位为 s)。

3) SetPosition。设置各类运载工具的实时位置。具体格式如下: SetPosition */Aircraft/Craft LLA " 1 June 2012 12:01:00.00" 35.126 112.236 2008.0。其中:“LLA”为位置的设置类型,“1 June 2012 12:01:00.00”为采集数据的时间,“35.126”为纬度数据,“112.236”为经度数据,“2008.0”为高度数据。

4) AddAttitude。设置各类运载工具的实时姿态。具体格式如下: AddAttitude */Aircraft/Craft YPR " 1

June 2012 13:01:00.00" 241.0 28.0 26.0。其中:“YPR”为姿态的设置类型,“241.0”为偏航角,“28.0”为俯仰角,“26.0”为滚动角。

5) VO Articulate。控制模型中事先定义好的活动关节使其在一个时间段内由一个状态变化到另一个状态。具体格式如下: VO */Aircraft/Craft Articulate " 1 June 2012 13:01:00.00" 1 TX1 Azimuth 45 45.1。其中:“1”表示活动关节的变化时间周期为 1 s,“TX1”表示活动关节的名字,“Azimuth - 45 45.1”表示活动关节的方位角 Azimuth 值由 -45° 匀速变化到 45.1° 。

3.2.2 三维模型制作与应用

三维模型作为实现系统可视化效果的承载平台,其与信息战真实环境中各类实体的一致性程度如何,将直接影响到系统的逼真性。但在三维模型的制作过程中,出现了个别模型局部脱离和新建模型只有形体结构却无法加载纹理贴图的难题;在模型应用时出现了采用实时的姿态数据驱动模型时,模型姿态与实际不符的问题。

正如文献[1]中提到的一样,制作个性化的模型需要将 3D MAX 等第三方建模软件生成的模型转换为 STK 可以识别的 *.mdl 格式文件来实现。受模型转换规则的影响,模型中几何体的不同分组在转换后有时会出现个别模型局部分离的问题,为此就必须在建模软件中将出问题的几何体与正常的部分进行合理分组、重新组合^[4];而由于模型在格式转换后,使用环境已发生了改变,所以纹理贴图也需做相应改变。可以通过两步来解决:1) 将转换前模型的每个纹理贴图格式通过转换工具(如 Onsee)转换为 *.TGA 格式;2) 将所有新格式的纹理贴图复制到“STK 安装路径\AGI\STK 8\STKData\VO\Textures”文件夹内。

模型应用时出现的问题主要是由于模型转换导致模型本体坐标系变化所致,具体而言就是本体坐标系与 STK 中的参考坐标系 TopCentric 的各坐标轴没有一一对应。可以通过三步来解决:1) 通过 AddAttitude 函数设置模型的方位角 Yaw、滚动角 Roll 和俯仰角 Pitch 均为零;2) 计算出模型坐标系与参考坐标系各轴间的偏移量;3) 用 VO ModelOffset 函数发送偏移量对其进行调整,最终使其与 STK 的参考坐标保持一致。

3.2.3 数据预处理^[5-8]

实时数据通常为通过各类测量设备获取的运载工具轨道、姿态等数据,这些数据在测量或传输过程中由于某些突发性异常因素的存在,使得异常值的出现不可避免。为克服异常值出现带来的不利影响,确保显示效果的连续性和平滑性,本文设计开发了一套独立的数据预处理程序。该程序计算量小、速度快,既可满

足系统实时性要求,又可快速地识别、剔除异常值,并对异常值剔除后留下的空穴进行插值补数。

该程序的核心思想是采用滑动式窗口检测的方式,以某一时刻起连续的 4 点数据为初值,采用最小二乘法外推第 5 点的估计值,并将其与该点的实测数据相减,判断残差是否超过相应数据测量误差均方差的 3 倍这个阈值:如果没有超过阈值,则认为是正常值;否则,认为该点实际数据是异常值,需将其剔除,并用估计值进行替换。滑动窗口以 21 点为累积值,当累积到最初的 21 点时异常值没有超过 4 点,则计算方差值,并进入循环检验阶段;否则,将丢弃前边数据,重新累积检验。数据预处理流程如图 4 所示。

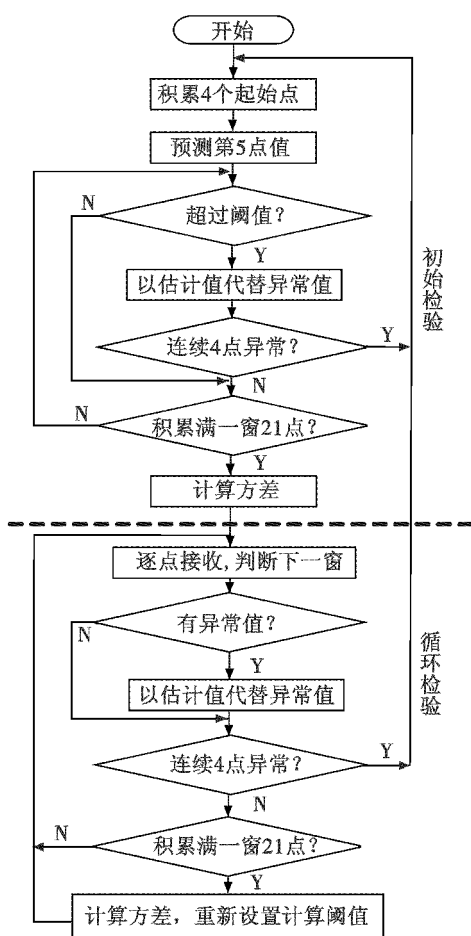


图 4 数据预处理流程

Fig. 4 Data preprocessing process

3.2.4 动态对象实时跟踪解决方案

对装备关键过程的展示是本系统设计的关键技术之一,而实现装备传感器对其作用范围内的指定动态对象进行实时跟踪又是其中的一个难点。为解决此问题,本文给出了一套动态对象实时跟踪解决方案。该方案的核心思想是实时监测 STK 接口引擎处指定动态对象是否有数据在传输,若无就继续监测,若有则以传感器所依附的装备(如某型炮瞄雷达)为站心,采用坐标变

换,计算出其与指定动态对象间的方位角、俯仰角和斜距,并与传感器自身的作用范围(可以是方位角、俯仰角和斜距中的一个或多个)进行比较,从而判断指定目标是否已进入传感器探测范围,继而决定是否对其进行跟踪。该解决方案中涉及的坐标变换公式如下所述^[9-10]。

1) WGS-84 大地坐标转换到 WGS-84 空间直角坐标。

$$\begin{cases} X_p = (N + H_p) \cos B_p \cos L_p \\ Y_p = (N + H_p) \cos B_p \sin L_p \\ Z_p = [N(1 - e^2) + H_p] \sin B_p \end{cases} \quad (1)$$

$$N = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_p}$$

式中: N 为指定目标的卯酉圈曲率半径; a 为椭球长半轴; e 为第一偏心率; (L_p, B_p, H_p) 为指定目标的大地坐标; (X_p, Y_p, Z_p) 为指定目标的空间直角坐标。

2) WGS-84 空间直角坐标转换到站心直角坐标。

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos L_0 \sin B_0 & -\sin L_0 \sin B_0 & \cos B_0 \\ \cos L_0 \cos B_0 & \sin L_0 \cos B_0 & \sin B_0 \\ -\sin L_0 & \cos L_0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: (L_0, B_0) 为站心的大地坐标; (X_0, Y_0, Z_0) 为站心的空间直角坐标; (x_p, y_p, z_p) 为指定目标在站心坐标系下的直角坐标。

3) 站心直角坐标转换到站心极坐标。

$$\begin{cases} R_p = \sqrt{X_p^2 + Y_p^2 + Z_p^2} \\ A_p = \arcsin \frac{Y_p}{\sqrt{X_p^2 + Z_p^2}} \\ E_p = \arcsin \frac{Z_p}{R_p} \end{cases} \quad (3)$$

式中, (R_p, A_p, E_p) 为指定目标在站心坐标系下的极坐标,分别对应斜距、方位角和俯仰角。

4 系统实现实例及效果

下面以某次信息战装备的对抗训练为例,验证系统在空天地态势实时可视化方面的优越性能。训练开始,系统根据想定加载相应场景,通过 STK 接口引擎读入 DEM 地形数据、影像数据、各成员实体模型和从各类测量设备获取的红方侦察干扰机轨迹和姿态数据,对轨迹和姿态数据做异常值处理后驱动红方侦察干扰机模型工作并实时显示;同时,系统发送控制命令,红方侦察干扰机发送侦察波束搜索目标,蓝方警戒雷达进入警戒状态。训练过程中,蓝方警戒雷达首先探测到了红方侦察干扰机,在炮瞄雷达锁定并跟踪目标准备实施火力打击时,红方侦察干扰机释放干扰信号,蓝方失去目标,红方侦察干扰机顺利逃脱。训练结束后,用户可以根据需要通过回放再现模块回放整个训练过程。在整个训练过

程中,用户可以根据自己关注的重点,采用旋转、缩放、静止等多种视点变换方式灵活观察目标,并可新建多个自定义的窗口,实现画中画的多屏展示效果。训练过程展示效果如图 5~图 9 所示。



图 5 红方侦察干扰机起飞效果图
Fig.5 Take-off effect of the red side reconnaissance jammer

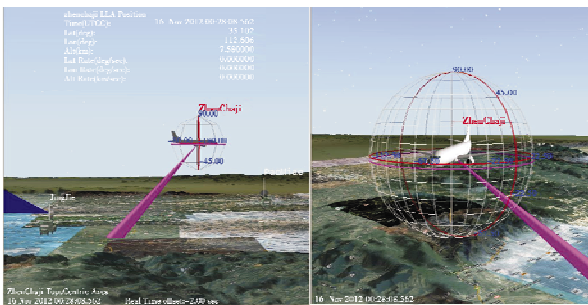


图 6 红方侦察干扰机侦察状态及姿态变化图
Fig.6 Reconnaissance state and attitude change of the red side reconnaissance jammer

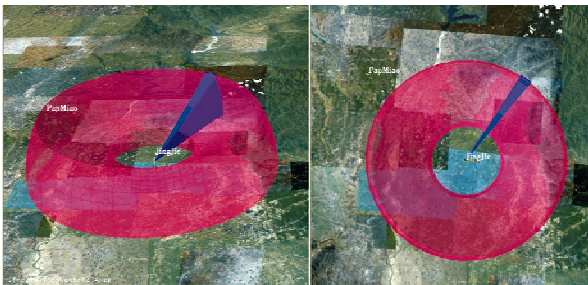


图 7 蓝方警戒雷达探测状态及警戒范围画面
Fig.7 Detection state and warning range of the blue side warning radar

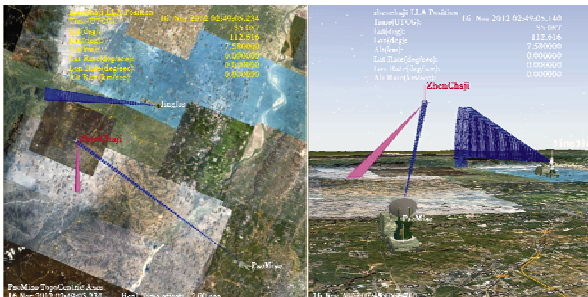


图 8 蓝方炮瞄雷达跟踪红方侦察干扰机画面
Fig.8 Blue side fire control radar tracking red side reconnaissance jammer

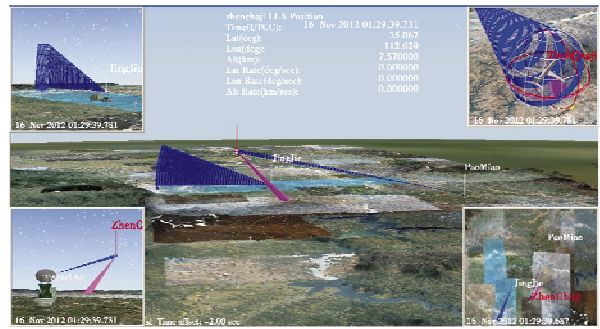


图 9 多视角全景展示画面
Fig.9 Multi-view panoramic display

5 结束语

在训练中的应用结果表明,空天地态势实时可视化展示系统能够快速生成三维可视化场景,能够对从各类测量设备获取的数据进行实时处理并驱动实体模型实现实时可视化显示,能够全方位呈现空天地态势,且显示画面清晰流畅、关键过程清楚。该系统可广泛应用于科研试验、训练演练、院校教学、汇报演示等领域,依据不同的应用需求以该系统为平台可开发出更多的系统,如装备预研评估系统、事后可视化评估系统、战场监视系统、城市公共交通可视化定位管理系统等。

参考文献

- [1] 杨颖,王琦. STK 在计算机仿真中的应用[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [2] 程建飞,张德育. 利用 VC 与 STK 设计实现飞行器航迹数字可视化仿真[N]. 科技创新导报,2010(36):25.
- [3] 李波,陈立云,连云峰,等. 基于 STK 的 Connect 模块设计与应用[J]. 科学技术与工程,2008,8(22):6110-6112.
- [4] 孟晓梅,刘文庆. MultiGen Creator 教程[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [5] 朱丹,徐秦,方建勋. 靶场外测数据实时处理软件设计[J]. 军械工程学报,2010,22(1):53-56.
- [6] 牟志华,张慧娟. 基于最小二乘的导弹外弹道精度分析系统[J]. 指挥控制与仿真,2007(4):43-44.
- [7] 林洪桦. 测量误差与不确定度评估[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [8] 杨旭武. 实验误差原理与数据处理[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [9] 汪连栋,张德锋,聂孝亮,等. 电子战视景仿真技术与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [10] 党亚民,成英燕,薛树强. 大地坐标系统及其应用[M]. 北京:测绘出版社,2010.