

# 基于 STK 的综合作战场景可视化仿真系统

谢 伟, 田 野, 周奕雯

(上海航天控制技术研究所, 上海 201109)

**摘要:** 在当今复杂而动态的战场环境中, 对武器性能进行准确评估和优化具有至关重要的意义; 研究采用 STK 平台成功开发了一套综合作战场景可视化仿真系统, 能够在这种复杂环境中对武器系统进行全面模拟和评估; 重点研究了离线场景建模技术、模型动画优化和多种数据处理传输方法等方面; 经实验测试, 实现了模拟系统在武器性能评估和优化、战术规划和军事演习、实时决策支持、武器系统集成验证等多个领域的关键作用; 研究推动了技术创新和研究方向的拓展, 着眼于确保成本效益的目标; 通过对战场环境的深入理解和模拟, 为提升武器系统的性能和应对复杂作战环境提供了有力支持, 为未来的军事应用和决策制定奠定了坚实基础。

**关键词:** STK; 可视化仿真; 综合作战场景; 三维建模; 数据传输

## Integrated Combat Scene Visualization Simulation System Based on STK

XIE Wei, TIAN Ye, ZHOU Yiwen

(Shanghai Aerospace Control Technology Institute, Shanghai 201109, China)

**Abstract:** In the current complex and dynamic battlefield environments, it is of great significance to accurately evaluate and optimize weapon performance. This paper successfully develops a comprehensive combat scene visualization simulation system on the STK platform, fully simulates and evaluates weapon systems in the complex environments, and focuses on researches such as offline scene modeling techniques, model animation optimization, and various methods of data processing and transmission. Through experimental testing, the results show that the simulation system plays a critical role in evaluating and optimizing weapon performance, tactical planning and military exercises, real-time decision support, and weapon system integration validation across multiple domains. The research drives technological innovation and expands research directions, with a focus on ensuring cost-effectiveness. By deeply understanding and simulating battlefield environments, it provides a strong support for enhancing weapon system performance and addressing complex operational scenarios, and lays a solid foundation for future military applications and decision-making processes.

**Keywords:** STK; visual simulation; integrated combat scenarios; 3D modeling; data transmission

## 0 引言

随着武器装备和作战指挥系统信息化程度的不断提高, 未来的战场环境将变得更加复杂和多元化。由于实际战斗环境的复杂性、保密性差以及高昂的成本, 实地作战场景的实验变得异常困难, 同时也难以准确评估攻防系统的性能。而在综合作战态势场景的仿真过程中, 会产生大量的数据和信息, 因此快速、高效地获取指挥人员所需信息并进行可视化呈现, 以便进行迅速决策, 成为传统综合信息平台急需提升的能力之一<sup>[1-2]</sup>。

可视化仿真在系统仿真中扮演着重要角色, 通过对仿真对象、物理结构和环境建模, 运用视景渲染等技术, 再现仿真对象及其行为过程, 使用户身临其境。综合作战态势的可视化仿真, 通过三维建模展现目标、攻防环

境等对象, 详细分析目标运动和电磁环境, 以逼真的方式呈现攻防过程<sup>[3]</sup>。这种综合作战态势的可视化仿真方式能够帮助用户更好地理解作战场景的复杂性, 提高指挥决策的准确性和效率。通过可视化呈现战环境中的各种情景和因素, 指挥人员可以更直观地进行决策和部署, 有效规划战术行动, 并评估不同方案的效果。通过详细的三维建模和电磁环境分析, 可视化仿真技术能够为军事指挥决策提供重要的参考依据, 同时也为人员培训和作战演习提供了强有力的支持。综合来看, 可视化仿真在军事领域中的应用有着广阔的前景和重要的意义, 将在未来的作战指挥系统中发挥更加关键的作用<sup>[4]</sup>。

在现有研究中发现, 搭建可视化仿真平台的难点在于需要综合考虑复杂的数据处理、模型精度、用户体验和技术更新等多方面的因素。而 STK 软件作为一款可

收稿日期:2024-03-27; 修回日期:2024-05-27。

作者简介:谢 伟(1996-),男,硕士,助理工程师。

引用格式:谢 伟,田 野,周奕雯. 基于 STK 的综合作战场景可视化仿真系统[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(6):153-160.

可视化、组件化仿真分析软件，能够快速、全面地支持对复杂的陆、海、空、天、电一体化仿真推演和分析评估应用。它涵盖了航空航天、空间环境、卫星、雷达、通信、导航、电子对抗、导弹、舰艇、飞行器等领域，并提供易于理解的图表和文本形式的分析结果，以及高逼真度的空间可视化呈现。通过过程推演和精确分析计算，能够为用户关心的研究问题提供直接、定量和直观的分析数据针对 STK 软件的研究往往存在以下不足之处：局限于特定领域或场景：部分研究者将研究重点局限在特定领域，如电磁环境建模分析、特定模型制作或特定场景仿真等<sup>[5-10]</sup>。

## 1 可视化仿真系统设计

### 1.1 系统设计思路

本研究对 STK 可视化研究进行了全面的改进和优化，最终成功建立了一个经过微调的全面可视化模拟系统。首先，在研究过程中，我们不仅关注了作战场景中单一问题，而是对综合作战模拟的各个方面进行了研究和优化，以确保系统的整体性和完整性。其次，我们还开发了 STK 软件中的离线地图服务器技术，旨在提高软件的运行效率，使其更好地适用于保密项目，确保数据安全和保密性得到充分保障。最后，针对建模和动画细节，我们进行了深入的优化工作，以确保模拟系统能够呈现出更真实、更精细的仿真效果，为用户提供更加逼真的体验。

通过以上关注点和优化措施，本研究所建立的可视化模拟系统在综合作战模拟中展现出了更加全面和细致的特性。这一系统不仅能够全面呈现作战环境的各个方面，还具有高效率的运行能力和更加优化的建模动画细

节，为用户提供了更加全面和逼真的作战场景模拟体验。同时，通过引入离线地图服务器技术，系统能适应更多的使用场景，为军事领域的数据安全提供了可靠的技术支持。总的来说，本研究所建立的 STK 可视化模拟系统在多个维度上的改进和优化为不同领域的指挥、决策提供了重要的技术支持和优势。

### 1.2 系统框架结构

可视化仿真系统由数据输入子系统、数据控制与调试子系统、图形显示和数据输出子系统 3 大部分。

其中数据输入子系统包括了对象三维模型数据、对象行为控制数据、对象运动轨迹与姿态数据、对象电子信息建模与环境建模五大部分。

STK Button Tool 是一种用于创建交互式用户界面的工具，可以与 STK 进行集成使用。该工具可以快速创建按钮、文本框、下拉菜单等交互元素，实现用户与 STK 软件进行交互的功能。可以通过按钮点击、文本输入等方式来控制 STK 软件的功能和参数，从而更方便地进行模拟和分析工作。帮助快速定制工作流程，提高工作效率和用户体验。通过简单的拖拽和配置操作，可以创建出符合自己需求的交互式界面，实现个性化的 STK 软件应用。

图形显示和数据输出子系统包括了计算模块、3D/2D 图像显示与图表数据显示与分析模块。

最终可在离线状态下，呈现出综合场景的可视化仿真并分析其结果，图 1 所示。

## 2 离线环境建模与仿真

对战场环境（包括陆地、海洋、大气和电磁因素）进行建模和仿真对于理解作战行动至关重要。人机交互

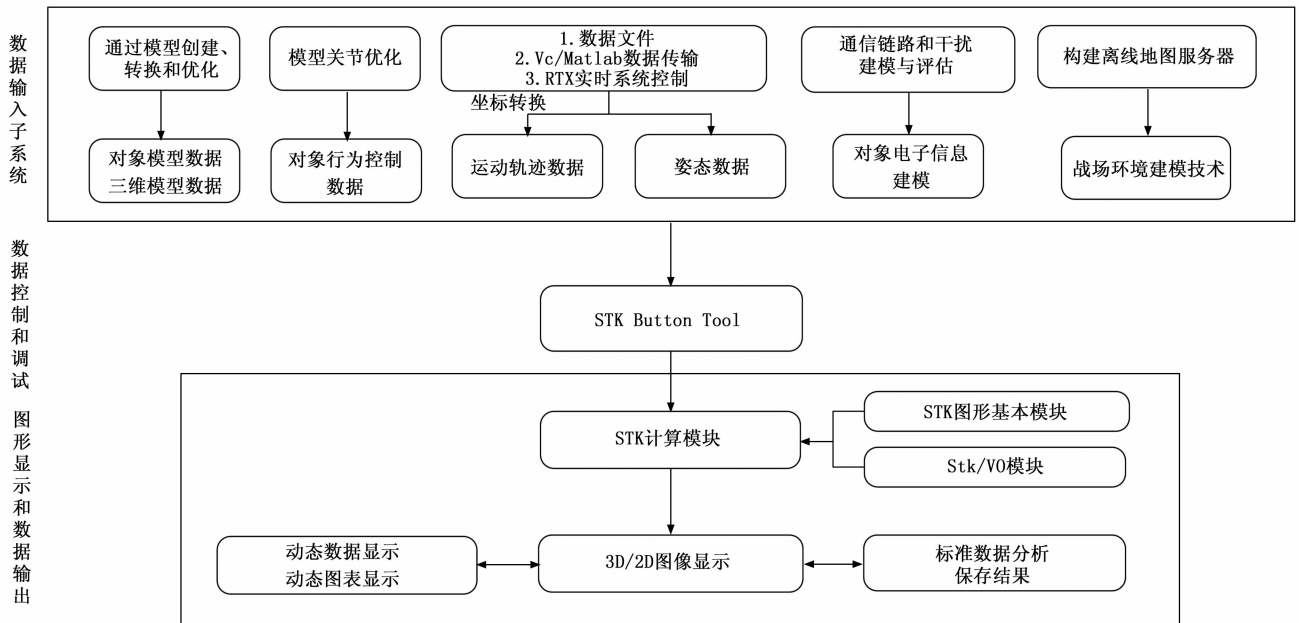


图 1 综合作战场景的实时可视化流程图

的视觉效果和量化环境对作战能力的影响至关重要。地形特征（如起伏的景观）会影响雷达覆盖范围、电磁波、地面车辆、坦克和飞机轨迹。以 2D 和 3D 形式可视化地形可以直接评估其对作战能力的影响。这种综合方法增强了对军事场景的理解和决策，确保有效应对各种战场挑战<sup>[11]</sup>。

使用离线地图服务器可以显著提高项目的运行效率。通过预先下载并存储地图数据，用户无需依赖互联网连接来获取地图信息。这样可以大大减少数据加载时间，提高仿真过程中的响应速度，使用户能够更快地获取所需的地图信息，加快仿真模型的构建和运行速度。

2.1 高分辨率地形数据转换

GeoTIFF 格式地形数据是一种常用的栅格图像文件格式，用于存储地理信息系统中的地形或地貌数据，很容易在互联网中获得资源。而 STK 的专有地形数据格式为 PDTT，该软件提供了地图图片转换工具（Utilities/Image Converter Tool），可支持将多种图片格式转换为 PDTT 或 JP2 格式。流程转换如图 2 所示<sup>[12]</sup>。

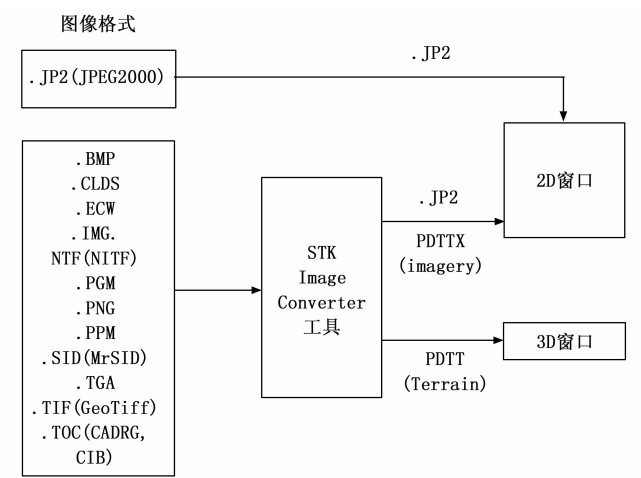


图 2 地貌数据转换流程图

2.2 离线地图服务器

2.2.1 ASP. Net Core 部署离线地图服务

当访问 STK 中的 Web Map Services 插件时，它主要在界面和实际应用中实现两个功能：输入服务器地址并单击“获取功能”按钮后，插件通过向服务器发送请求 `http://ip: port/2 *** ? &.SERVICE=WMTS &.REQUEST=GetCapabilities` 从而获取 WMTSCapabilities.xml 文件。

打开 WMTSCapabilities.xml 文件后，将在两个特定区域对“内容”部分进行修改：调整标题以与相应层的名称相对应；修改 ResourceURL 以与相应的模板相匹配。

ASP. Net Core 服务器端程序：在项目目录中的“Controller”文件夹中，将添加一个名为 WMTS.cs 的

控制器文件，其中包含以下代码：GetCapabilities 用于提供 WMTSCapabilities.xml 文件；GetTile 用于返回具体的瓦片。内部会根据图层的编号，处理后，再返回对应的瓦片文件。具体过程如图 3 所示。



图 3 ASP. Net Core 搭建 WMTS 服务器流程

2.2.2 ArcGIS Server 发布离线地图

ArcGIS Server 提供了专门的地图发布和管理功能，简化了地图服务的部署和维护流程，同时具备丰富的地图服务管理和配置选项，提高了地图服务的性能和可用性，减少了开发和管理的工作量<sup>[13-14]</sup>。

使用 ArcMap 连接 ArcGIS Server 发布服务

- 1) 启动 ArcMap 软件，确保你有一个 ArcMap 的项目（MXD 文件）。
- 2) 在 ArcMap 中，可以通过“文件”菜单中的“添加数据”选项或者直接从“标准工具栏”的“添加数据”按钮来添加需要发布的数据。
- 3) 在 ArcMap 中，选择“文件”>“发布到 ArcGIS Server”。
- 4) 在弹出的对话框中，选择“连接”，然后点击“新建”。
- 5) 在新建连接的对话框中，输入 ArcGIS Server 的 URL。这通常是服务的主机名或 IP 地址，例如：`http://yourgisserver.com: 6080/——arcgis`。根据实际情况修改端口号和路径。

6) 输入连接信息，包括用户名和密码，确保有足够的权限发布服务。如果 ArcGIS Server 设置了安全性，请提供相应的凭据。

7) 点击“测试连接”，确保连接到 ArcGIS Server 是成功的。如果连接失败，请检查 URL、用户名和密码。

8) 在连接成功后，选择你要发布的目标，可以是 ArcGIS Server 上的现有文件夹，或者新建一个文件夹。

9) 在发布对话框中，设置服务的名称、描述和其他参数。确保选择适当的发布选项，比如是否启用空间分析等。

10) 确认发布参数后，点击“发布”按钮，开始将数据发布到 ArcGIS Server。

11) 在发布过程中，可以在弹出的“任务”对话框中监视发布的进度。

12) 完成发布后，可以在 ArcGIS Server 的服务目

录中验证刚刚发布的服务，确保服务可以正常访问。最终效果如图 4 所示。

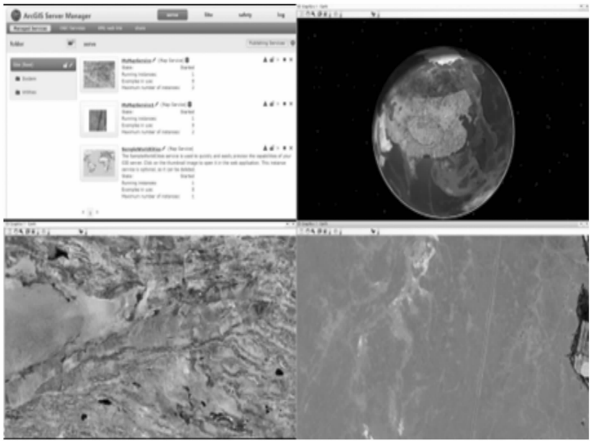


图 4 ArcGIS Server 发布离线地图服务

分别展示使用 STK 在中国区域内加载不同级别卫星图像效果。

2.2.3 背景优化

在场景中心附近，建立设施点，并将默认的设施点模型替换为天穹模型。

天穹模型为一个半球形 mdl 格式模型，包含由 4 个无缝纹理或位图图像组成的圆形顶部，每个图像的大小为 1 024×1 024。当映射到模型上时，组合图像面积为 4 096×1 024，保持 4：1 的比例。任何 360 度全景图像都可以分割成 4 个部分以供使用。

总之，通过采用各种方法和持续优化，可离线以实现完全逼真的战场环境建模，如图 5 所示。

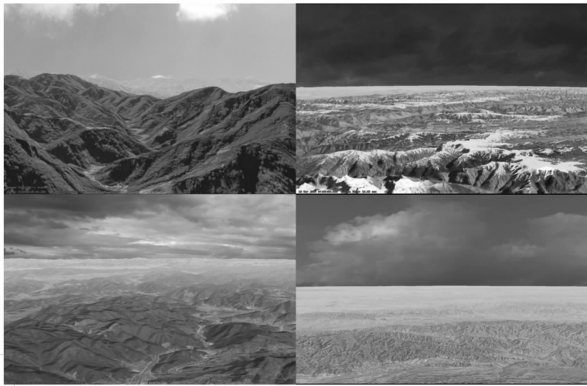


图 5 不同战场环境下的离线建模效果

3 对象模型优化与关节动画制作

3.1 对象模型优化

对象模型优化是指对 STK 中的模型进行改进和优化，以提高其性能、逼真度和模拟效果。这包括以下方面：

1) 模型精细度提升：优化模型的几何形状、纹理和细节，使其更加逼真和精细。

2) 减少模型复杂性：优化模型的复杂性，减少多边形数量和顶点数量，以提高性能和模拟效率。

3) 材质和贴图优化：优化模型的材质和贴图，使其在不同光照和环境条件下都能呈现出逼真的效果。

4) 模型层次结构优化：优化模型的层次结构，使其更加清晰和易于管理，提高模拟的效率和可维护性。

3D 模型优化方法如表 1 所示<sup>[15-18]</sup>。

表 1 3D 模型的转换优化方法

| 部分     | 方法          | 特点                          |
|--------|-------------|-----------------------------|
| 模型制作转换 | 直接获取        | 精细度高,渠道有限,活动关节不全面。          |
|        | 编写文件        | 适用于简单形状,不适合复杂模型制作。          |
|        | 转换模型        | 能满足个性化需求,但复杂且要求高。           |
| 模型拆分调整 | 内部层次调整      | 通过 mdl 文件中“Refer”引用相应组件调模式模 |
|        | 模型拆分        | 定位、删除相关代码,或新建单独模型。          |
| 模型合并   | 建立新模型的体系结构图 | 根据结构图拆分各模型,新建 mdl 文件形成新模型   |

3.2 关节动画制作与优化

关节优化的目的是使三维模型的各个子模型能够活动起来并模拟实体的动作过程。其本质是对模型的动态效果进行优化，通常通过调整模型的关节来实现。关节定义了组件的位置或方向的取值范围，在 MDL 文件中，关节以关键字“Articulation”开头，包含一组动作命令，命令格式为（<ArticulationCommand>（<ArticulationCommandName> <MinValue> <InitValue> <MaxValue>）。设置好动作关节的模型后，在场景中根据模型关节文件中的相关动作时间指令产生一系列变化，从而模拟实体的真实变化过程。

3.3 Blender 进行模型细化

3.3.1 Blender 软件优势

Blender 作为一款免费、开源且功能强大的三维建模和动画制作软件，为用户提供了丰富的建模工具和功能，使其具有无限的创作可能性。通过利用 Blender 软件自己搭建 GLTF 格式模型，用户可以根据个人需求和创意灵活地进行调整和修改，实现各种复杂的设计和效果。无论是模型的外观、纹理还是结构，用户都可以根据自己的理念和项目需求进行定制，确保模型完全符合预期。由于 Blender 提供了强大的编辑功能，用户可以随时根据项目需要进行修改和调整，保持模型的灵活性和适应性。

自行搭建 GLTF 格式模型意味着不会受到第三方模型提供商的限制，用户拥有对模型的完全控制权。这种自主设计和制作方式能够让用户自由地进行修改、定制和优化，而无需依赖外部资源或服务。因此，用户可以自由地探索各种可能性，从而创造出独一无二的模型，符合其独特的审美和需求。通过 Blender 软件自行搭建

GLTF 格式模型,不仅为用户提供了高度灵活性和自主权,同时也为其项目的成功实现提供了有力支持,并确保模型始终保持与项目目标的一致性和完整性。

3.3.2 GLTF 模型添加关节控制

1) 创建三维模型:打开 Blender 软件,进行建模、材质和动画等操作,确保模型符合需求。调整场景设置、光照等参数,确保模型呈现出最佳效果。将模型进行 UV 布局,并设置材质和纹理贴图,使模型更加真实和细致。

2) 导出 gltf 模型:在 Blender 中选择 File→Export →gltf (.glb/.gltf) 进行导出。在导出窗口中设置导出选项,如选择是否导出材质、动画等内容。点击导出按钮,保存 gltf 模型文件到指定位置。

3) 在 VS Code 中预览和注入 articulations 属性:打开 VS Code 软件,安装插件 glTF Tools 和 STK GMDF Tools。

4) 使用 glTF Tools 插件打开导出的 gltf 模型文件,可以预览模型的外观和结构。

5) 创建与 gltf 同名 gmdf 文件,内容包括 AGI \_ articulations 属性和 articulations 属性,定义了子级的动作控制属性。

6) 将 gmdf 文件注入对应 gltf 文件中,通过在 VS Code 中选中 gltf 文件并使用快捷键 Ctrl + Shift + P,选择 inject GMDF into glTF 命令进行注入。

7) 保存修改后的 gltf 文件,并在模型预览界面中查看控制关节运动的操作界面,通过拖动滑块来控制轮子的运动。

通过以上步骤,成功实现了在 Blender 中创建三维模型,导出 gltf 格式,并在 VS Code 中预览、注入控制属性,最终控制模型的轮子运动效果。

保存修改后的模型文件,并在 STK 程序中使用最终的 gltf 模型。如图 6 所示。

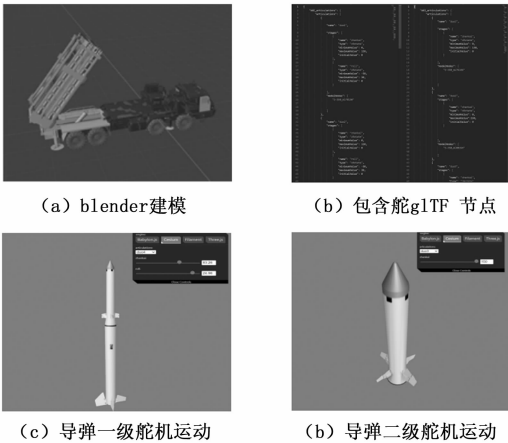


图6 利用Blender进行模型细化

3.4 关节动画指令

在 MDL 文件中,关节动画指令以特定的语法和格式进行定义和描述。这些指令通常包括关节的位置、旋转、缩放等属性的变化,以实现模型在动画过程中的各种效果。

要实现最佳效果,可以属性→模型→模型关节来给出指令;进一步优化,则需要通过时序给出关节指令,制作 \*.mima 格式的关节动画指令文件。

通过上述模型制作优化方法,可以对不同模型完成不同动画效果,如图 7 所示。

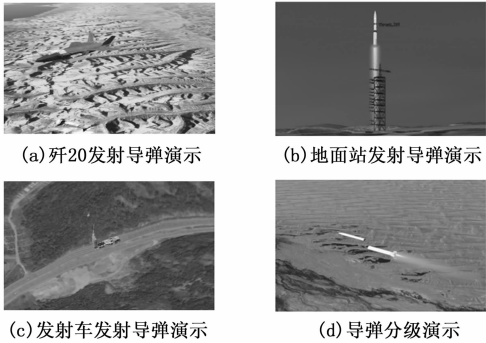


图7 不同模型完成导弹发射过程的不同动画效果

4 信息传输处理

STK 可以快速、逼真地模拟目标的高精度地理信息和姿态表达能力。通过不同的方法传输数据有多种模式。

4.1 生成数据文件

通过数据处理和坐标转换,对收集到的对象的位置和姿态信息进行处理和转换,然后以文件形式导入到 STK 软件中。位置和姿态文件如图 8 所示。

|                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| stk.v.5.0<br>BEGIN Ephemeris<br>NumberOfEphemerisPoints 7780<br>ScenarioEpoch 26 Sep 2023 04:16:19.785<br>InterpolationMethod Lagrange<br>InterpolationOrder 1<br>DistanceUnit Kilometers<br>CentralBody Earth<br>CoordinateSystem Fixed<br>EphemerisLLTimePos<br>0.0000 45 100 3d | stk.v.8.0<br>BEGIN Attitude<br>NumberOfAttitudePoints 7780<br>BlockingFactor 20<br>InterpolationOrder 1<br>CentralBody Earth<br>ScenarioEpoch 26 Sep 2023 04:16:19.785000<br>CoordinateAxes AWB FlightPath.Axes Missile/Missile<br>AttitudeTimeYPRAngles<br>0 0 0 0 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

图8 对象星历表和姿态文件示例代码

4.2 通过外部仿真软件实时传输数据

采用 VC/MATLAB 进行外部接口连接,仿真目标的飞行严格遵循 VC/MATLAB 生成的实时输入数据。该方案围绕 STK/Connect 和 STK/VO 模块进行设计和实现,可实现 VC-STK 或 MATLAB-STK 连接,如图 9 所示。

4.3 半实物的实时数据传输

利用半实物仿真技术,采用飞行转台作为战斗目标飞行模拟器,模拟战斗目标飞行的姿态和轨迹<sup>[19]</sup>。随后设计了基于 Windows+RTX 的实时飞行模拟通信与控制方案,并结合 STK 软件进行实时可视化场景集成。

以 STK 及其 VO、Connect 和 RT3 模块为核心组件,

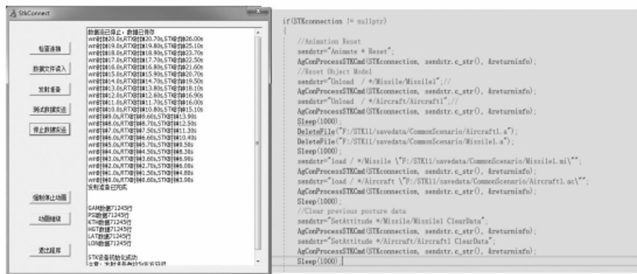


图 9 通过 VC 将仿真实时数据传输至 STK

建立了一个 Button Tool 控制台来基于时间控制仿真过程的主要方面。使用 STK 软件分析导弹的飞行姿态和轨迹,以确定是否符合实时可视化的要求和适用性。

## 5 通信链路建模与分析

### 5.1 建模雷达、传感器和天线

STK 允许用户创建和定义雷达、传感器和天线等系统的属性和参数。

用户可以指定系统的位置、方向、频率、功率、扫描模式、波束宽度、增益、信噪比等参数。

STK 提供了可视化界面和工具,使用户能够直观地创建和配置这些系统。

### 5.2 通信链路分析

STK 允许用户模拟和分析雷达、传感器和天线与其他目标或系统之间的通信链路。

用户可以定义通信链路中的发射端和接收端,以及传输介质和信号传播特性。

STK 提供了多种工具和算法,用于分析通信链路的性能、传输损耗、路径损耗、信号衰减等参数。

用户可以模拟不同条件下的通信链路,例如不同的天气条件、大气扰动、电磁干扰等情况下的通信性能。

### 5.3 数据输出和可视化

STK 允许用户输出通信链路分析的结果,并将其导出为报告、图表或数据文件。用户可以通过 STK 的可视化功能,将通信链路的分析结果以图形、动画或动态图表的形式呈现,以便更直观地理解和展示通信链路的性能和行为。图 10 是通过 STK 对不同使用场景下通信链路的使用情况<sup>[20]</sup>。

## 6 3D 可视化界面

### 6.1 多视角多目标显示

在 3D 窗口标题栏选择 Floating, 便可独立显示该窗口;

在 view→新建新 3D 窗口, 便可新增窗口;

在对象中选择 zoom to 在不同的 3D 窗口, 便可显示不同对象视角。

### 6.2 规划相机视角

用户可以保存和加载自定义的相机视角设置, 以便

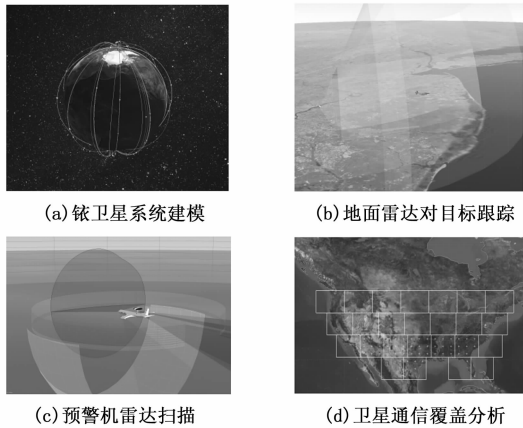


图 10 不同场景下的 STK 通信链路的建立与运用

在不同的场景中快速切换和应用。

在 3D 窗口中选择相机控制, 选择随时间改变相机路径, 便可实现视角自动转换, 如图 11 所示。

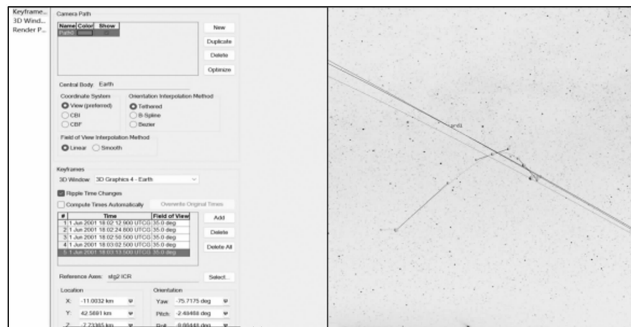


图 11 相机路径设置与相机路径显示

### 6.3 数据显示与字幕

在 STK 中, 数据显示和字幕显示功能允许用户以可视化的方式展示和呈现模拟数据、仿真结果或其他相关信息。数据显示和字幕显示功能在航天系统设计、分析、仿真和决策支持等领域具有广泛的应用。在卫星轨道分析中, 用户可以通过数据显示功能实时监测卫星位置和轨道变化, 从而优化轨道设计和任务规划。在导弹轨迹仿真中, 用户可以利用字幕显示功能实时显示导弹的飞行状态和目标击中信息, 以评估导弹性能和精度。在航天器任务规划和执行过程中, 数据显示和字幕显示功能可以帮助用户及时获取关键信息, 并做出相应的决策和调整。在航天器任务规划和执行过程中, 数据显示和字幕显示功能可以帮助用户及时获取关键信息, 并做出相应的决策和调整。

#### 1) 数据显示功能:

STK 允许用户在 3D 场景中显示和呈现各种类型的数据, 包括位置数据、运动数据、传感器数据、天气数据等。

数据显示功能可以帮助用户实时监控航天系统的状

态、运行情况和环境条件，从而进行实时决策和分析。

2) 字幕显示功能：

STK 允许用户在 3D 场景中添加文本字幕，以显示模拟数据、事件信息、系统状态等相关信息。

用户可以自定义字幕的内容、样式、字体、颜色、大小等属性，以适应不同的需求和场景。

字幕可以随着时间推移而更新和变化，以反映系统的实时状态和事件。

字幕显示功能可以帮助用户更直观地理解和解释模拟结果、仿真情况或其他相关信息。

7 综合场景应用

综合上述关键技术的运用，STK 能够弥补建模差距，扩大分析的范围和深度，同时减少对外部资源的依赖。分别以弹道导弹攻击过程和无人机侦察搜救过程为例进行综合作战场景分析，其实现功能如表 2 和表 3 所示。

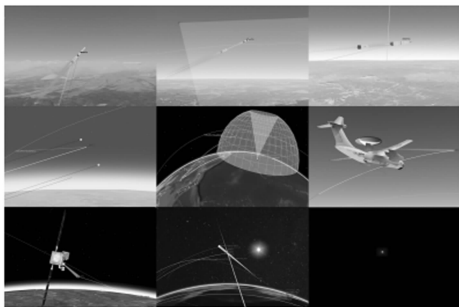
表 2 弹道导弹场景功能

| 功能        | 描述                             |
|-----------|--------------------------------|
| 高精度推进器    | 可指定燃尽状态矢量和相关力模型。               |
| 外部模拟      | 可从 VC/MATLAB 等动力飞行模拟中导入轨迹。     |
| 传感器建模     | 可对传感器进行建模，分析检测、跟踪时间、几何和传感器布置。  |
| 早期预警雷达    | 几何视场和搜索扫描参数。                   |
| 海基 X 波段雷达 | 参数包括脉冲多普勒雷达跟踪波束。               |
| 最佳 SBX 位置 | 雷达跟踪持续时间等高度线。                  |
| 作战分析      | 可将威胁和传感器结果提供给外部仿真进行分析。         |
| 拦截作战      | 可从 STK/导弹建模工具等外部仿真导入。          |
| 威胁复杂情况观测  | 作为 KV 观察到的角度分离。                |
| 通信链路分析    | 考虑相对几何、环境因素和干扰。                |
| 数据传输—下行   | 从 STSS 卫星到 SBX 的 EOIR 传感器跟踪数据。 |
| 数据传输—上行   | 在校准机动期间的飞行目标更新链接。              |

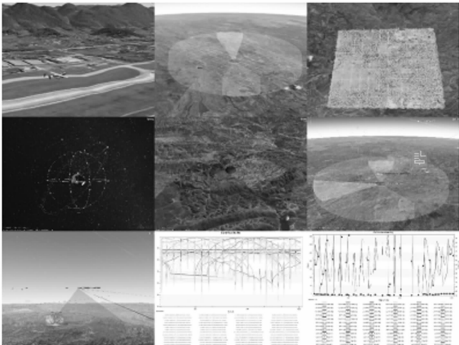
表 3 无人机场景功能

| 功能        | 描述                            |
|-----------|-------------------------------|
| 高精度传播器    | 可指定燃尽状态矢量和相关力模型。              |
| 外部仿真      | 可从 STK/AMM 等动力飞行仿真中导入轨迹。      |
| 传感器建模     | 可对传感器进行建模，分析检测、跟踪时间、几何和传感器布置。 |
| 可见性雷达     | 几何视场和搜索扫描参数。                  |
| 优化搜索轨迹    | 雷达跟踪持续时间等高度线。                 |
| 覆盖分析      | 搜索目标和传感器结果可用于外部仿真进行分析         |
| GPS 导航和干扰 | 计算 GPS 干扰对无人机 GPS 通信的影响。      |
| 通信链路分析    | 考虑相对几何、环境因素和干扰。               |
| 数据传输      | 地面控制中心—高空无人机—低空无人机—地面控制中心。    |

其最终演示效果如图 12 所示，图（a）展示了弹道导弹从发射到多级分离过程，以及被卫星、预警机、地面雷达站等对象进行跟踪的全过程，并且在红外传感器中显示了导弹目标。图（b）展示了无人机区域搜索覆盖，卫星 GPS 导航定位，多条通信链路信号仿真全过程。



(a) 弹道导弹攻击过程仿真



(b) 无人机侦察搜救过程仿真

图 12 综合作战场景的实时可视化仿真图

8 结束语

在当前复杂而动态的战场环境中，对武器性能进行准确评估和优化是保障军事实力的至关重要的任务。本研究成功地利用 STK 平台开发了一套综合作战场景可视化仿真系统，为武器系统在复杂环境中进行全面模拟和评估提供了有效工具。通过对离线场景建模技术、模型动画优化和多种数据处理传输方法等方面的深入研究，我们取得了显著的成果。

不仅如此，本研究推动了技术创新和研究方向的拓展，着眼于确保成本效益的目标，为军事应用和决策制定提供了有力支持。在 STK 可视化研究的多个维度上进行了改进和优化，最终建立了一个全面且经过调整的可视化模拟系统。与其他研究不同的是，我们不仅关注作战场景中的单一问题，而是在综合作战模拟的各个方面进行了深入研究和优化，且面对不同仿真环境和要求，对系统的每一个模块都提出来多种解决方案。使得仿真系统更加全面、细致、可靠。

综上所述，本研究为提升武器系统性能、适应复杂作战环境奠定了坚实基础。通过对战场环境的深入理解和模拟，不仅推动了技术的发展，也为未来的军事决策

提供了有力支持。这一成果不仅在军事领域具有重要意义,同时也为可视化仿真研究提供了有益的经验,拓展了研究领域实验测试表明,该仿真系统在武器性能评估和优化、战术规划和军事演习、实时决策支持、武器系统集成验证等多个领域发挥了关键作用。

#### 参考文献:

- [1] XÜ S, LI C, CHENG X, et al. A review of modeling and simulation of equipment based on visualization [C] // Third International Conference on Artificial Intelligence, Virtual Reality, and Visualization (AIVRV 2023). SPIE, 2023, 12923: 592–597.
- [2] 吴 枫, 刘秀罗, 王 佳, 等. 航天发射可视化仿真分析技术与应用研究 [J]. 系统仿真学报, 2022, 34 (4): 856–869.
- [3] GONG C, LEI X, SU Z. 3D real-time visualization and simulation platform for collaborative path planning of UA [J]. Journal of System Simulation, 2020, 28 (9): 1996–2001.
- [4] 赵金龙, 周 军, 姚雨晗. 高超声速飞行器抗饱和和控制技术发展综述 [J]. 飞控与探测, 2022, 5 (6): 1–9.
- [5] KIRSHNER M, VALERDI R. Integrating model-based systems and digital engineering for crewed mars mission planning [J]. Journal of Aerospace Information Systems, 2022, 19 (10): 668–676.
- [6] NICKEY G, BLACK J, ERNANDES K J, et al. Human-in-the-Loop space system simulation [C] // AIAA Scitech 2020 Forum, 2020: 2121.
- [7] ROBBINS W, RAO G. Exploratory study of stk towards an integrated visualization architecture for capability engineering [M]. Defence R & D Canada -Ottawa, 2005.
- [8] WANG X, ZHAO F, SHI Z, et al. Visualization simulation of mission planning schemes for remote sensing satellites [C] // 2022 4th International Conference on System Simulation and Design Optimization (ICSDO 2022). IEEE, 2022: 394–398.
- [9] WEI R, SONG A, DUAN H, et al. An effective procedure to build space object datasets based on STK [J]. Aerospace, 2023, 10 (3): 258.
- [10] 张伟军, 洪 闯, 关宝财, 等. 靶弹突防有源干扰机应用及其 STK 仿真研究 [J]. 计算机测量与控制, 2022, 30 (3): 133–138.
- [11] 李云龙, 欧阳春雷, 成加龙, 等. 目标保障中的 STK 建模与仿真方法研究 [J]. 火力与指挥控制, 2021, 46 (3): 1–7.
- [12] 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.
- [13] 刘志平, 张素华, 杜启胜, 等. 基于 ArcGIS 的 DEM 生成方法及应用 [J]. 地理空间信息, 2009, 7 (5): 69–71.
- [14] 年福纯, 周锦标, 何剑伟. STK 三维场景构建及优化方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24 (1): 224–228.
- [15] 丁溯泉, 张 波, 刘世勇, 等. STK 使用技巧及载人航天工程应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [16] 姚宇婕, 年福纯, 张 娟, 等. STK 三维模型制作与优化方法研究 [J]. 飞行器测控学报, 2013, 32 (2): 156–161.
- [17] SHORT C, HAAPALA A, BOSANAC N. Technical Implementation of the circular restricted three-body model in STK astrogator [C] // AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, South Lake Tahoe, California, 2020.
- [18] 年福纯, 周锦标, 何剑伟, 等. STK 三维场景构建及优化方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24 (1): 197–201.
- [19] 纪 录, 吴国东, 王志军, 等. 基于 STK 的弹箭半实物飞行实时可视化仿真 [J]. 火力与指挥控制, 2020, 45 (2): 170–174.
- [20] 张 娟. 一种基于被动探测的双机雷达协同定位方法 [J]. 飞控与探测, 2023, 6 (6): 63–67.
- [17] 赵 岚, 余 媛, 温秀兰, 等. 基于机器视觉的分拣机器人 6D 位姿估计 [J]. 计量学报, 2023, 44 (12): 1805–1811.
- [18] 高 琳, 梁朝辉, 董红娟, 等. 煤矸石智能分拣机器人运动规划技术的研究进展 [J]. 科学技术与工程, 2024, 24 (16): 6567–6575.
- [19] 张经天, 胡 晓, 翁 迅, 等. 考虑动态任务耗时与播种墙容量的移动机器人拣货系统任务分配优化 [J]. 运筹与管理, 2023, 32 (6): 61–67.
- [20] 葛新锋, 孙书情, 秦 涛, 等. 视觉引导的机器人条烟分拣系统设计与实现 [J]. 包装工程, 2022, 43 (7): 238–243.
- [21] 禹春来, 胡来红, 李文方, 等. 多自由度分拣机械手位置的 PLC 控制仿真 [J]. 计算机仿真, 2024, 41 (2): 359–363.

(上接第 144 页)

- [12] 王 华. 一种气动机器人垃圾分拣系统的设计与分析 [J]. 液压与气动, 2022, 46 (9): 86–91.
- [13] 薛旭升, 杨星云, 齐广浩, 等. 煤矿带式输送机分拣机器人异物识别与定位系统设计 [J]. 工矿自动化, 2022, 48 (12): 33–41.
- [14] 米西峰, 尚展垒, 范媛媛, 等. 基于双目视觉的食品分拣 Delta 机器人定位抓取技术 [J]. 食品与机械, 2022, 38 (6): 112–116.
- [15] 程子华. 基于机器视觉的残缺饼干分拣系统开发 [J]. 现代食品科技, 2022, 38 (2): 313–318.
- [16] 陈 林, 毕树生, 李大寨, 等. 基于贪心策略的直角坐标机器人动态分拣规划 [J]. 北京航空航天大学学报, 2022, 48 (5): 805–815.