

STK 在航电传感器设备试验环境中的仿真应用

王师逸

(中国电子科技集团公司第十研究所 四川 成都 610036)

摘要 随着航空电子传感器设备研制领域的不断发展,设备的试验已不再局限于单一设备的功能,而是需要在复杂的自然和电磁环境中将所有设备集成起来进行系统级试验。依赖传感器设备载机在真实环境的不断试飞,这不仅试验成本高,且设备故障的定位和复现也相当困难。针对这一问题,利用 STK 软件能建立复杂的陆、海、空、天仿真应用场景,并能提供易于理解的图表、文本、可视化分析报告的特性,实现载机航迹数据生成、传感器以及天线仿真应用分析、地理数据加载、地形遮挡分析、复杂电磁仿真环境分析、真实机载数据回放以及可视化演示等功能。该应用为实装机载航电传感器设备研制提供最佳的系统级试验仿真环境,实现试验研制过程的降本增效。

关键词 航空电子 传感器设备 仿真环境 STK 系统仿真工具包 系统级试验

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **DOI**:10.3969/j.issn.1000-386x.2019.01.030

SIMULATION APPLICATION IN AVIONICS SENSOR EQUIPMENT TEST ENVIRONMENT BASED ON STK

Wang Shiyi

(The 10th Research Institute of CETC, Chengdu 610036, Sichuan, China)

Abstract With the continuous development of the field of avionics sensor equipment, the test of the device can no longer be limited to a single device function. It requires integration of all devices in a complex natural and electromagnetic environment for system-level testing. Relying on aircraft which carries sensor device to do continual flight in real environment not only causes high testing cost, but also is quite difficult to locate the equipment failures and do recurrence. To solve this series of problems, STK was adopted to establish complex simulation application scenarios on the land, in the sea, in the air and in space. It could provide the comprehensible characteristics of graph, text and visualization analytical reports. STK could implement the functions of flight path data generation, sensor and antenna simulation application analysis, geographic data loading, terrain occlusion analysis, complex electromagnetic simulation environment analysis, real airborne data playback and visual demonstration. It provides optimal system-level testing simulation environment for real avionics sensor equipment development, decreases cost and improves efficiency in the developing process.

Keywords Avionics Sensor equipment Simulation environment STK system simulation kit System-level testing

0 引言

航空电子传感器设备研制主要是针对机载传感器电子设备之间的通信、探测、隐身等方面的功能,其主要涉及的设备包括机载雷达设备、电子战设备、红外探

测设备、通信设备、敌我识别设备、导航设备等。在研制过程中,试验单一设备的功能不能覆盖机载传感器综合系统的所有功能,而设备之间的关联以及飞行环境的影响是系统级试验的重要因素,仅仅依赖传感器设备载机在真实环境的不断试飞,不仅试验成本高,且设备故障的定位和复现也相当困难。为解决这一系列

3.1 运行计算

运行计算子系统具备想定场景编辑功能、仿真运行推进功能以及仿真计算功能。想定场景编辑功能根据仿真系统验证任务的需求,使用仿真系统制作对应的想定场景,场景可添加包括飞机、舰船、陆基车辆、卫星、地面设施等在内的实体对象,这些实体对象可加载各种附载在对象上的传感器,例如超短波通信、无线电导航、雷达等;另外,想定场景还能加载自然环境、电磁环境、地形数据等信息。仿真运行功能根据仿真系统时钟,推进整个仿真系统的运行,对数据通信节点进行管理和监控,驱动各个分布式仿真试验节点协调的完成仿真任务。仿真计算功能根据想定场景,叠加外部空间环境影响(包括自然环境、地形、干扰等)以及仿真实体对象的特性(如运动学特性、传感器特性、天线特性等),对场景中实体对象的传感器信号进行仿真计算分析。

3.2 模型库

模型库包含实体模型库、自然环境库以及地形库三部分。实体模型库为仿真环境提供根据实装载体、设备等的真实结构信息,通过建模和模型转换生成的飞行器、舰船、车辆、地面站、传感器等数字结构模型。自然环境库为仿真环境提供云、雾、雨、大气、环境电磁干扰、雷达地面杂波等自然环境模型,用于自然环境对电磁传播影响的计算。地形库提供标准坐标系下的卫星遥感图片数据和地形高程数据文件,通过格式转换能加载到仿真环境中自带的地球引擎中,形成带有相应三维地形数据仿真场景。

3.3 数据管理

数据管理子系统具备数据管理功能、数据记录回放功能以及数据库服务器存储功能。数据管理功能主要是对仿真环境导入导出的数据进行格式转换、数据分发以及对数据的访问权限进行管理。数据记录回放功能主要是对仿真系统中模型数据、分析计算数据等进行记录,并能对仿真数据和实装、实飞数据进行回放。数据库服务器存储功能是通过数据库服务器对仿真环境运行产生的数据、模型数据以及实装、实飞数据进行存储。

3.4 可视化

可视化子系统可结合加载到地球引擎的地理、地形数据,展示仿真环境中的实体对象模型、传感器波束形状范围、地形跟随等二三维视景图形图像。

4 仿真系统中 STK 的应用

在航空电子传感器设备试验环境仿真系统中,STK 主要应用在以下功能:想定场景编辑、模型加载、传感器仿真数据分析、回放分析。

4.1 想定场景编辑

在当前航空电子传感器设备试验环境仿真过程中,建立一个真实的仿真实想定场景是至关重要的一步。想定场景的创建需要根据设备仿真试验任务书对仿真中航空电子传感器设备的功能和应用场景进行分解,形成一个以时间轴为推进方式的时间-事件推进图,如图 2 所示^[2]。工程人员可根据仿真试验作战目标和区域,使用 STK 的提供的地理数据引擎选择相应的想定场景范围,并对载机的飞行路线进行规划。再根据时间-事件推进图中所标识的任务事件对载机的任务阶段以及传感器使用时间进行规划,最后按照仿真系统接口需求生成并发送想定场景数据。

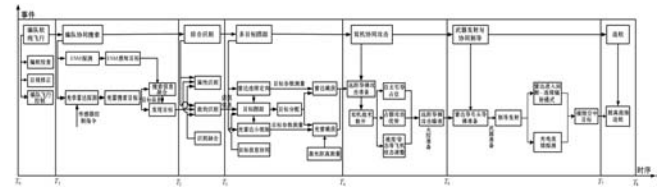


图 2 时间-事件推进图

在生成想定场景时,首先需要在 STK 中添加相应的实体对象,在航电环境仿真中常用的实体对象包括飞机、舰船、陆基车辆、卫星、地面设施等。另外还包括可加载在实体对象上的附载对象,例如:传感器、雷达、天线、接收机、发射机。利用以上的对象搭建出整个想定的基本框架。

为了满足机载航空电子传感器设备在仿真中对飞机飞行模型准确性的要求,在创建飞机对象时,一般都使用 STK 中飞机任务建模器对想定中载机的航路和任务进行规划。飞机任务建模器能提供更加精确、灵活的飞机任务规划方案,同时还能设置飞机模型特征,包括加速度参数、爬升参数、巡航参数、下降参数、坐落参数、起飞参数和地形跟随参数,有了这些灵活可设的参数,工程人员便可以根据真实飞机的飞行参数自定义某些型号飞机的飞行模型,提高仿真过程精确度。STK 飞机任务建模器如图 3 所示。另外,舰船和陆基车辆航路使用 STK 中 GreatArc 模型设置,卫星轨迹使用卫星专用模型设置,地面设施使用经纬高参数设置坐标即可。

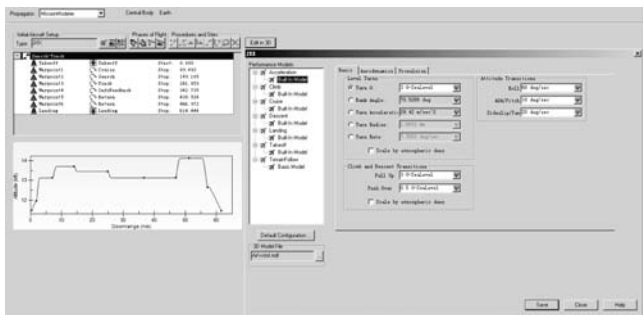


图 3 STK 飞机任务建模器

编辑好实体对象的航路规划和任务规划后,就需要生成想定场景的相关数据,STK 可以自定义相关实体对象数据的内容、格式、单位、数据时间精度以及数据持续时长,形成自定义数据类型,如图 4 所示。生成和发送想定场景数据,根据航空电子环境仿真的需求,可分为两种方式:一是使用 STK 的报告图表管理器根据定义的数据类型直接生成全数据报告文件,加载到仿真系统中,根据系统时间推进从内存中直接读取使用;二是使用 STK 提供的 Connect 接口连接 STK Engine 通过二次开发程序发送指令的方式实时地生成想定数据,并与仿真系统时钟同步,按照仿真的每一节拍向系统中的其他仿真模块发送数据。使用 STK 的 Connect 接口有两种实现方式:一是使用 TCP/IP Socket 通过端口进行通信;二是使用 COM 接口(通用组件接口)直接连接 STK Engine 进行通信,其架构如图 5 所示^[2-3]。

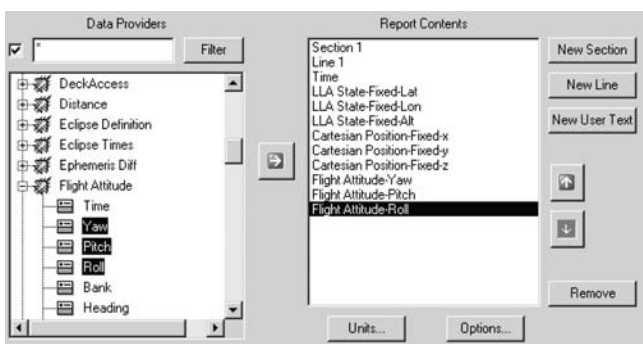


图 4 STK 数据类型定义

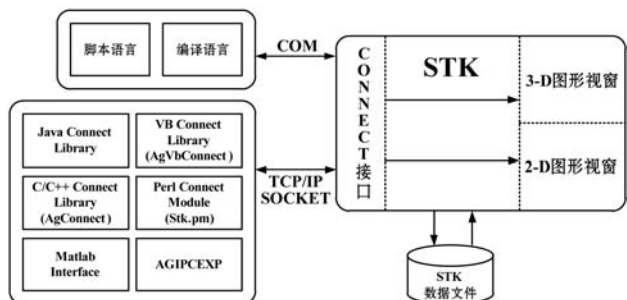


图 5 STK Connect 接口架构

通过以上的就可以制作符合航空电子传感器设备试验环境仿真需求的想定场景并生成和发送相应的数据文件^[4]。

4.2 模型加载

在搭建试验仿真环境时,为了保证整个仿真过程的真实性和有效性,使获取到的分析结果和验证信息更具有说服力,需要精细化设置想定场景的环境信息,其主要包括以下三个方面:载体实体模型加载、地形数据加载以及射频环境设置。

4.2.1 载体实体模型加载

载体实体模型加载是将挂载传感器模型的飞行器、舰船、车辆、地面站等实体的实装真实信息通过建模软件和模型转换软件生成可加载到 STK 中的数字模型。这种数字模型包含实体详细的三维外观形状信息,加载完成后,可通过实体直角坐标系 XYZ 在相应位置挂载传感器模型,用来分析实体外观形状对传感器以及辐射源信号的遮挡数据。

在航空电子传感器仿真数据分析过程中,使用真实型号飞机的相关外观形状信息以及真实机载设备的装机位置信息,可以提高传感器以及辐射源信号遮挡分析的准确性,使整个仿真分析数据更逼真。在 STK 软件中,实体模型支持 COLLADA 或 MDL 两种文件格式,设计者可以使用 AGI 公司在官网上提供的 Lightwave Converter 工具将 Lightwave 格式的模型文件转换为 .mdl 格式,另外也可以直接使用商用 3D 模型编辑或转换工具,例如 3D Studio Max、Maya、Core 等,将模型转换为 COLLADA 格式供 STK 直接使用。

4.2.2 地形数据加载

在做仿真数据分析时,可以通过 STK 软件提供的 Image Converter 工具将 WGS84 坐标系下的地形图片数据和地形高程数据转化为 jp2 或 pdtx (图片数据) 和 pdtt (高程数据) 文件加载到 STK 自带地球引擎中^[5],形成带有相应三维地形数据仿真场景,可提高陆、海、空实体部署的准确性,增加地形遮挡对传感器通视计算分析的影响。STK 地形转换流程如图 6 所示^[6-7]。

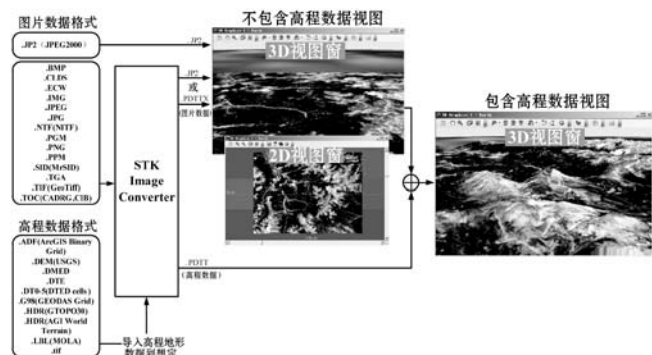


图 6 STK 地形转换流程图

4.2.3 射频环境设置

自然环境中的许多因素都会对传感器的信号产生

影响,例如大气、云、雾、雨、气温,在航空电子传感器仿真时,需要将自然环境中的这些特性通过射频环境模型根据需求进行设置,形成一个真实的仿真环境,STK可将这些影响传感器信号的因素在想定场景属性中的射频环境项进行设置,包括雨衰模型 Crane 1985, ITU-R P. 618-9;大气吸收模型 ITU-R P. 676-5, Script Plugin, Simple Satcom, TIREM 3. 20, Two-Ray, Urban Propagation WIRT 2. 5 Model; 云雾模型; 对流层衰减模型 ITU-R P. 618-8; 用户自定义模型; 以及环境干扰模型。在想定场景中的飞机、车、舰船、地面站等实体上能设置其特有的大气吸收模型和雨量模型,在接收机、发射机、雷达模型上还能设置传感器的系统噪度模型、附加增益/衰减模型、雷达横截面 RCS 模型。另外,STK 还提供给了一个高级雷达环境扩展模块,其通过引入全球 4 公里分辨率的地面杂波噪声等的反射率作为影响因素在动态雷达评估的过程中扩展 STK 雷达模块的能力。

4.3 传感器仿真数据分析

STK 本身就是一款非常强大的分析工具软件,在航空电子传感器设备试验环境仿真中,可以借助其强大的分析能力,对机载传感器信号通视计算、信传感器之间链路信号、雷达功能参数等数据进行仿真分析。

传感器通视计算分析过程是将 STK 中的传感器 (Sensor) 模型加载到想定场景中的载体对象上,其可以是飞机、舰船、车、卫星、地面站等。根据需要进行仿真分析的传感器类型来选择和定义 STK 中传感器模型的波束形状、波束角度、装机位置、波束指向模式。然后使用 STK 中的传感器载体遮挡计算模块,计算出在装机位置上该传感器波束被相应实体对象遮挡的数据文件,遮挡效果如图 7 所示。有了载体遮挡数据文件,再结合之前加载到想定场景的地形数据,就可以在该传感器模型上引入载体遮挡和地形遮挡。使用 STK 的 Access 模块来计算该传感器相对想定中任意其他实体对象的通视分析数据,在同样想定场景、飞机航迹以及传感器设置下,未引入地形遮挡和载体遮挡的通视分析数据如表 1 所示,引入地形遮挡但未引入载体遮挡的通视分析数据如表 2 所示,同时都引入地形遮挡和载体遮挡的通视分析数据如表 3 所示。在仿真系统中,STK 可以通过其自带的 Connect 接口将传感器通视分析数据按照仿真节拍的推进发送给相应的外部传感器仿真模型或半实物仿真设备,可以作为模型计算输入参数、模型或设备验证数据等,提高整个仿真系统的准确性和可验证性。

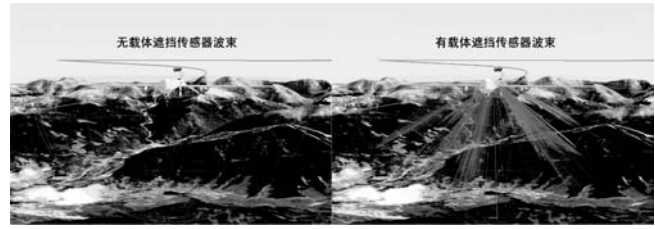


图 7 载体遮挡对比图

表 1 无地形、无载体遮挡通视时间分析

序号	开始时间/s	结束时间/s	持续时间/s
1	0	1 549. 123	1 549. 123

表 2 有地形、无载体遮挡通视时间分析

序号	开始时间/s	结束时间/s	持续时间/s
1	0. 000	1 314. 692	1 314. 692
2	1 440. 973	1 549. 123	108. 150

表 3 有地形、有载体遮挡通视时间分析

序号	开始时间/s	结束时间/s	持续时间/s
1	0. 000	186. 448	186. 448
2	195. 845	222. 674	26. 829
3	224. 019	486. 622	262. 604
4	620. 409	711. 504	91. 095
5	724. 039	742. 557	18. 517
6	747. 429	763. 915	16. 486
7	773. 644	1 018. 232	244. 589
8	1 020. 433	1 314. 693	294. 260
9	1 440. 969	1 549. 123	108. 155

传感器链路信号分析主要计算不同传感器的发射端和接收端之间的链路信号数据,同时还要考虑想定场景或者实体对象上设置的射频环境参数对链路的影响。传感器链路信号分析将 STK 中的发射端或者接收端模型挂载到相应的传感器模型上,并设置端机设备信号频率、功率、增益、天线参数、系统噪声温度等,同时继承想定场景或者传感器载体射频环境参数,通过 STK 的 Link Budget 模块分析计算出传感器之间端机通视时间段中任意时刻的功率、增益、EIRP、自由空间衰减、大气吸收衰减、雨衰、云雾衰减、电磁传播衰减、多普勒频移、天线噪声温度等数据。常用的具体参数如表 4 所示。

表 4 传感器链路信号分析常用参数

参数名称	参数描述
Xmtr Power	发射机功率
Xmtr Gain	发射机增益
EIRP	等效全向辐射功率

续表 4

参数名称	参数描述
Revr Gain	接收机增益
Range	发射机与接收机主链路距离
Freq. Doppler Shift	多普勒频移
Pol. Rel. Angle	极化匹配角度差
Bandwidth	接收机带宽
C/N	载波功率/噪声功率
BER	比特误码率
Atmos Loss	大气模型衰减
Rain Loss	雨量模型衰减
CloudsFog Loss	云雾模型衰减
Prop Loss	传播模型总衰减
Free Space Loss	自由空间信号传播衰减
Total RF Power	接收机射频总功率

雷达功能参数分析用于分析仿真场景中雷达各种模式下工作参数以及雷达自身的物理状态。主要包括雷达天线属性以及状态参数、雷达电磁信号传播参数、雷达工作几何参数、雷达多径效应、雷达 RCS 参数、雷达 SAR 模式功能参数、雷达搜索跟踪模式功能参数等。另外雷达 SAR 模式和搜索跟踪模式下还能加入干扰源对干扰后的雷达功能参数进行分析,并与无干扰状态下雷达功能进行对比。STK 产生雷达分析数据同样可以通过其自带的 Connect 接口将数据发送给仿真系统的分析评估模型,辅助仿真系统对外部创建的雷达模型进行功能和性能验证,提供多途径的仿真系统评估手段。常用雷达分析常用参数如表 5 所示。

表 5 雷达分析常用参数

参数名称	参数描述
Revr Ant Az	雷达接收机天线方位角
Revr Ant Elev	雷达接收机天线俯仰角
Revr Ant Gain	雷达接收机天线增益
Revr Range	雷达接收机距离
Xmtr Ant Az	雷达发射机天线方位角
Xmtr Ant Elev	雷达发射机天线俯仰角
Xmtr Ant Gain	雷达发射机天线增益
Xmtr Range	雷达发射机距离
SAR Max Scene Width	SAR 雷达最大扫描宽度
SAR Az Resolution	SAR 雷达方位角分辨率
SAR Rng Resolution	SAR 雷达距离分辨率
SAR SNR	SAR 雷达信噪比
S/T PDet1	搜索跟踪雷达探测概率

续表 5

参数名称	参数描述
S/T Integrated SNR	搜索跟踪雷达累积信噪比
S/T Integrated PDet	搜索跟踪雷达累积探测概率
S/T Integrated PDet w/Jam	搜索跟踪雷达干扰下累积探测概率
S/T Pulses Integrated	搜索跟踪雷达累积脉冲
S/T Pulses Integrated w/Jam	搜索跟踪雷达干扰下累积脉冲

4.4 回放分析

STK 软件提供了大量的外部数据接口,其可通过 STK Connect 接口通过命令行的方式向 STK 引擎输入相关数据;也可根据 STK 规定的格式生成相应的外部数据文件直接导入到 STK 软件中进行使用^[8]。外部数据接口和外部数据文件输入到 STK 中的几乎所有核心模型,涵盖气象数据、电磁数据、地形数据、传感器数据、天线方向图数据、实体模型数据、轨迹数据等。有了 STK 的这一功能便可将实飞航迹数据,真实机载传感器工作参数数据、天线方向图数据、传感器装机位置,实飞地区地形数据、天气数据等加载到 STK 中,对搭载航电设备的飞机实飞过程进行回放,利用 STK 强大的分析功能获取相关数据,并能在 STK 的 3D 窗口直观地展示整个实飞过程中传感器工作状态视景信息。

利用 STK 软件进行回放分析的意义在于可通过仿真多次回放、分析飞机的实飞过程,可较为精准地获取所搭载航电传感器设备的功能、性能数据以及自然环境影响因素数据,对实际载机传感器功能排故提供支撑和依据并能大幅度地降低试飞成本^[9]。

4.5 应用实例

本应用实例以搭建一个无人机对地 SAR 成像雷达和地面测控信号接收设备的试验仿真环境^[10]。根据无人机机载航电设备仿真试验任务书,从模型库中选取能加载到 STK 的无人机模型、地面测控站模型、地面运动目标模型、SAR 雷达模型、接收机模型、地形数据以及自然环境模型,按照任务书中时间-事件推进图编辑相应的试验仿真场景,如图 8 所示。

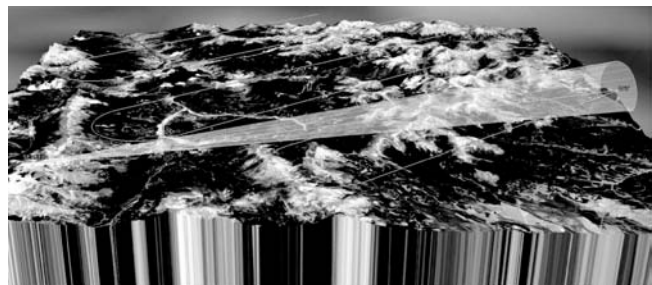


图 8 无人机仿真试验场景

根据无人机规划的飞行航迹、地面运动目标的轨迹、地面测控站坐标以及地形信息,计算 SAR 雷达传感器及地面测控传感器的通视信息,计算结果如表 6 和表 7 所示。

表 6 SAR 雷达传感器-地面运动目标通视分析数据

序号	开始时间/s	结束时间/s	持续时间/s
1	1 087.897	1 103.941	16.044
2	1 519.702	1 540.566	20.864

表 7 地面测控发射机-无人机测控接收机通视分析数据

序号	开始时间/s	结束时间/s	持续时间/s
1	0.000	186.448	186.448
2	195.845	222.674	26.829
3	224.019	486.622	262.604
4	620.409	711.504	91.095
5	724.039	742.557	18.517
6	747.429	763.915	16.486
7	773.644	1 018.232	244.589
8	1 020.433	1 314.693	294.260
9	1 440.969	1 549.123	108.155

根据以上两个表格的通视分析数据可以看出,在整个想定场景全周期(0~1 549.123 s)中,SAR 雷达对地面运动目标的通视状态分为 2 个时段,测控传感器设备的通视状态分为 9 个时段。试验环境仿真系统可将这两种类型传感器的通视分析数据下发给传感器设备控制端,可以满足地面系统试验时对传感器的工作时段的控制。

使用 STK 对无人机测控链路信号分析,以 0~186.448 s 时间段的链路信号分析为例,步长 20 s,如表 8 所示。

表 8 无人机测控链路信号分析数据

时间/s	自由空间衰减/dB	大气衰减/dB	雨衰/dB	传播衰减/dB	多普勒频移/kHz
0	-136.506 4	-0.109 7	-0.939 8	-137.555 9	1.760 690
20	-135.916 1	-0.102 3	-0.892 7	-136.911 1	1.735 559
40	-135.293 2	-0.095 1	-0.845 6	-136.234 0	1.704 562
60	-134.636 2	-0.088 1	-0.798 8	-135.523 1	1.665 890
80	-133.944 5	-0.081 3	-0.752 3	-134.778 0	1.617 065
100	-133.219 3	-0.074 7	-0.706 4	-134.000 4	1.554 687
120	-132.465 0	-0.068 4	-0.661 7	-133.195 0	1.474 117
140	-131.691 4	-0.062 5	-0.618 7	-132.372 6	1.369 166
160	-130.917 2	-0.057 1	-0.578 4	-131.552 8	1.231 959
180	-130.039 6	-0.051 6	-0.535 9	-130.627 1	1.708 679
186	-129.630 2	-0.049 2	-0.517 1	-130.196 5	1.880 426

试验环境仿真系统将获取到的链路衰减信息、噪声温度信息下发给传感器设备的控制端,可对设备试验的收发端的功率和灵敏度进行控制,实现传感器设备仿真环境下的试验和联试。

5 结 语

利用 STK 软件想定场景编辑、模型加载、传感器仿真数据分析、回放分析功能,以及其灵活丰富的二次开发接口搭建试验仿真环境,不仅仅提高了传感器设备的试验的效率,同时增加了实装设备验证的便捷性、准确性,为航空电子领域传感器设备的研制过程提供了有力的仿真环境和仿真数据支持。另外,随着航空电子仿真领域需求不断更新,半实物仿真和复杂电磁环境仿真都将作为以后的研究重点。利用 STK 这个平台来建立复杂电磁环境作为数字化仿真的激励源是一个不错的选择,但其数据运算能力也成为其大力发展的一个瓶颈,若能研发出 STK 的多核并行计算或者云计算的解决方案,那么 STK 在系统级仿真领域的发展前景不可估量。

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] 余贤圣. STK 在作战仿真中的应用研究[D]. 北京:北京邮电大学,2007.
- [3] Ralph C P, Sheila R M. STK Connect [R]. Analytical Graphics, Inc.
- [4] 李骏,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,2008,22(8):6110-6112.
- [5] STK/VO User's Manual[R]. Analytical Graphics, Inc. 325 Technology Drive, Malvern, PA 19355.
- [6] 邓晶,张明智,李志强,等. 基于 STK 的信息作战态势三维可视化表现方法研究[J]. 系统仿真学报,2010,22(11):2654-2659.
- [7] 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.
- [8] 彭会湘,陈顺昌. STK 开发包用法探讨[J]. 无线电工程,2007(11):62-64.
- [9] 杜增. 基于 STK 软件包的应用开发[J]. 软件,2015,36(4):102-106.
- [10] 刘世一,郝顺义,赵晓林,等. 基于 STK 的“全球鹰”无人机成像侦察能力分析仿真[J]. 火力与指挥控制,2015,40(8):23-26.