

doi: 10.7690/bgzdh.2024.12.018

# 基于 Matlab 与 STK 互联的直升机作战场景建模及仿真分析

刘大伟, 孙 强, 辛 冀, 朱建军

(中国直升机设计研究所体系工程部, 江西 景德镇 333001)

**摘要:** 针对 STK 软件是实现作战场景 3 维可视化的一种重要手段, 以美军陆海空联合行动营救人质的作战场景为例, 运用 Matlab 编程实现基于 STK 的军用直升机作战场景的自动化建模。在此基础上应用综合地形模块和可访问性工具对作战任务期间通信信号进行仿真分析, 利用雷达模型分析了电子干扰机对敌方通信干扰效果, 验证了整个作战场景的合理性。结果表明, 该方法提高了场景建模效率。

**关键词:** 作战场景; STK; 仿真分析; 战场通信; 电子干扰

**中图分类号:** V211; E926.396 **文献标志码:** A

## Modeling and Simulation Analysis of Helicopter Combat Scenarios Based on Matlab and STK Interconnection

Liu Dawei, Sun Qiang, Xin Ji, Zhu Jianjun

(System Engineering Department, China Helicopter Research and Development Institute, Jingdezhen 333001, China)

**Abstract:** STK software is an important means to achieve three-dimensional visualization of combat scenes. Taking the military joint land, sea, and air operations to rescue hostages as an example, Matlab programming is used to achieve automated modeling of military helicopter combat scenes based on STK. On this basis, the comprehensive terrain module and accessibility tools were applied to simulate and analyze communication signals during combat missions. The radar model was used to analyze the interference effect of electronic jammers on enemy communication, verifying the rationality of the entire combat scenario. The results indicate that this method improves the efficiency of scene modeling.

**Keywords:** combat scenario; STK; simulation analysis; battlefield communication; electronic interference

### 0 引言

信息化战争条件下的信息作战是在陆、海、空、天、电磁、网络和太空等多维战场环境下进行的, 利用 3 维可视化技术可以对战场电磁与信息等抽象空间细节进行表现和描述。而利用 STK 对作战态势进行 3 维可视化表现, 具有低成本、便于实现、研发周期短等优点, 已受到国内外研究学者的重视<sup>[1]</sup>。STK 是美国图形公司 (AGI) 开发的仿真分析软件, 能够全面支持复杂陆、海、空天电一体, 覆盖卫星、雷达、传感器、导弹、飞行器、地形地貌、导航通信、电子对抗等元素的体系作战仿真分析评估<sup>[2]</sup>。目前国内针对 STK 软件的开发使用也从最初的主要集中在卫星领域<sup>[3]</sup>, 逐渐扩展到海、陆、空天各领域的作战仿真。年福纯等<sup>[4]</sup>解决了 STK 3 维场景数据格式的转换和数据的获取优化问题。戴俊<sup>[5]</sup>基于 STK 搭建了集成光学散射计算和目标特性演示等模块的可视化仿真平台。涂小波和陆奎等<sup>[6-7]</sup>则使用 STK 对预警飞机的作战方案进行了仿真、验证和

演示, 模拟了战场环境中预警机雷达对空间目标的探测能力。刘东青等<sup>[8]</sup>则基于 STK 对雷达的干扰效能进行可视化分析, 评估了电子干扰对雷达探测性能的影响。汪敬东等<sup>[9]</sup>利用 STK 对台湾铺路爪雷达的弹道导弹预警能力和空间目标编目能力进行了仿真和分析。刘峰等<sup>[10]</sup>基于 STK 设计开发了航空反潜全要素、全流程的基础仿真平台。

在仿真分析中, 通过 STK 与具有强大数据处理和逻辑实现能力的 Matlab 互联能够更好满足体系化的现代作战任务的仿真分析和评估需求<sup>[11]</sup>。王欣等<sup>[12]</sup>给出了一种基于 STK/Matlab 的通信卫星场景建模方法, 对通信卫星发射天线的覆盖区域进行了计算和分析。刘夫成等<sup>[13]</sup>基于 STK 与 Matlab 互联, 提出了一种能够在复杂星空背景下模拟微弱点状运动目标序列星图的生成方法。许丞梁等<sup>[14]</sup>研究了基于 Matlab/STK 互联的方法仿真分析了航天电子侦察效能。徐鹏等<sup>[15]</sup>利用 Matlab 提取 STK 仿真数据进行了单部干扰机与组阵式干扰机的雷达干扰对比

收稿日期: 2024-06-23; 修回日期: 2024-07-24

第一作者: 刘大伟(1985—), 男, 河北人, 博士。

仿真实验。

笔者以美军陆海空联合行动营救被恐怖分子扣押人质的反恐任务来体现军用直升机在现代战场中特种作战中的应用样式。运用 Matlab 软件编程实现了基于 STK 作战场景建模的自动化,提高了场景建模效率。在此基础上,利用 STK 中集成的综合地形模块和可见性分析功能对作战场景通信效能进行了仿真分析,验证了作战场景的可执行性。

## 1 STK 作战场景建模

应用 Matlab 脚本的方式实现基于 STK 的作战场景建模,首先,需要建立 Matlab 与 STK 的通信连接;而后,利用 Matlab 命令依次实现 STK 场景创建和参数设定、加载作战区域地表纹理及高程数据、添加作战单元(舰船、设施、传感器及飞机/直升机等),按照作战想定实现作战单元航迹规划;最后,在完成场景建模后应用相关工具模块实现作战仿真效能分析。

本文中陆海空联合营救人质的作战场景想定概述为:根据前期情报,人质被恐怖分子关押在作战区域内的村庄,红方救援直升机要在攻击直升机配合下搭载特战队员完成人质救援任务。由于恐怖分子装备有萨姆地空导弹和地面火力武器等武器装备,因此救援直升机应充分利用山区地形掩护,发挥直升机能够垂直起降和超低空贴地飞行的优势,在到达营救地点前不被恐怖分子侦测到而实施突然袭击,完成营救任务。作战场景建模仿真流程如图 1 所示。

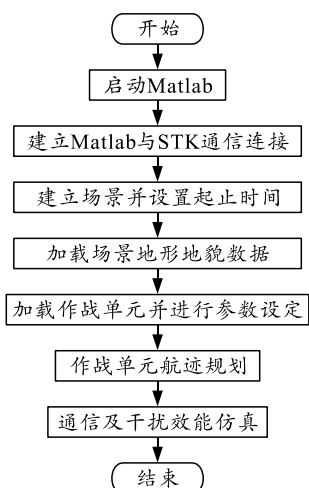


图 1 场景建模仿真流程

### 1.1 建立通信连接与场景初始化

基于 Matlab 脚本的 STK 场景建模应先建立 Matlab 与 STK 间的通信连接和完成场景建模的初

始化工作。应用 Matlab 与 STK 通信互联的命令如下:

```

uiapp=actxGetRunningServer('STK11.application')
root=uiapp.Personality2
uiapp.visible=1
root.NewScenario('Helicopter_Scenario')
scenario=root.CurrentScenario
  
```

在完成场景初始化后设置作战场景相关时间,其命令如下:

```

scenario.SetTimePeriod('24 May 2021 10:00:00.000', '24 May 2021 12:00:00.000')
scenario.StartTime='24 May 2021 10:00:00.000'
scenario.StopTime='24 May 2021 12:00:00.00000'
  
```

### 1.2 添加场景的地图纹理和高程数据

作战场景概述中规定了作战大致范围,敌我双方控制范围等信息。按照想定中的地理位置坐标,确定该作战区域下地图纹理和高程数据。STK 中集成了微软 Bingmap 在线地图服务器,可以直接联网使用,或者应用地图下载工具下载相应区域的地图切片文件。高程数据则可以使用能够免费获取的 SRTM 数据,其精度能够满足一般的场景建模需要。随后在 STK 软件中将地图纹理和高程数据转换成 STK 支持的 pdttx 和 pdtt 格式。以为作战场景添加地图高程数据为例,其命令格式如下:

```

manager=scenario.SceneManager
root.ExecuteCommand({'Terrain * Add Type PDTT File "' D\village.pdtt"'})
terrainTile=manager.Scenes.Item(0).CentralBodies.Earth.Terrain.AddUriString({'D\village.pdtt'})
  
```

其中 village.pdtt 为作战区域高程文件,同理可添加作战区域的地图纹理文件。在完成地图纹理和高程导入后,作战场景如图 2 所示。



图 2 作战场景地图纹理和高程数据

### 1.3 添加作战单元

按照任务设计规划,需要添加作战想定中各方的基本作战编成。在此作战场景中,美军要完成营救人质任务,需要海上、空中和地面力量的联合作战,包括海上航空母舰、巡洋舰,空中的救援直升机、攻击直升机、电子侦察机和电子干扰机,以及地面的任务指挥中心和特战小队,美军作战单元如表 1 所示。

表 1 作战场景中美军作战单元

单元类别	作战单元	说明
空中单元	攻击直升机 Cobra	一架 AH-1W 攻击直升机负责为救援任务提供对敌地面火力压制；同时能够作为侦察机和救援直升机的通信中继
	电子干扰机 Compass Call	一架 EC-130H Compass Call 在任务区域海岸线执行营救期间的对敌电子干扰任务
	电子侦察机 RivetJoint	一架 RC-135 电子侦察机将在营救任务期间执行电子侦察任务并实时同救援直升机进行情报共享通信
	救援直升机 MH-53J	在其他作战单元配合下，利用地形掩护搭载特战队员对扣押人质的村庄实施突击和人质救援任务
地面单元	地面指挥中心 TFO HQ	地面指挥中心，救援直升机将由此搭载特战队员起飞
	交战前线 FLOT	用一个 STK line Target 代表交战双方的前线
海上单元	导弹巡洋舰 CG_52	一艘提康德罗加级巡洋舰用于在营救行动中提供支援和必要时摧毁恐怖分子营地
	航空母舰 CVN_68	尼米兹级核动力航母搭载各类型飞机支援直升机救援任务

恐怖分子的作战单元主要包括 3 辆萨姆地空导弹发射车，尽管该类型地空导弹是移动单位，但是根据作战想定概述在此作战场景中设定为固定目标。根据该类型导弹发射车特点，为每辆导弹发射车添加传感器对象，用 2 个圆顶形状围成的区域代表各地空导弹的杀伤区域，如图 3 所示。

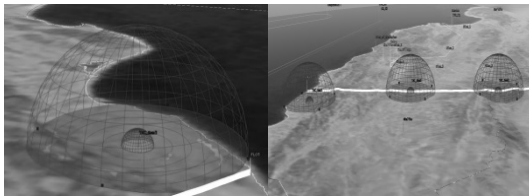


图 3 恐怖分子地空导弹阵地

以利用 STK 中的航空工具箱 (aviator) 添加救援直升机并将其命名为 Rescue 为例，其命令格式如下：

```
root.ExecuteCommand('New*/Aircraft Rescue')
root.ExecuteCommand('SetPropagator*/Aircraft/Rescue MissionModeler')
```

通过 Aviator 添加救援直升机后，可以使用脚本命令对直升机模型进行参数调整，主要包括性能模型设定，3D 模型的选取等，其命令格式如下：

```
root.ExecuteCommand('MissionModeler*/Aircraft/Rescue Aircraft Choose "MH-53"')
root.ExecuteCommand('MissionModeler*/Aircraft/Rescue Aircraft SetValue Model3D "D:\stkmodel\CH-53.mdl"')
```

其中"MH-53"为预先根据直升机机型参数定义的救援直升机性能参数模型。

### 1.4 直升机飞行轨迹规划

在应用 STK 建立军用直升机作战模型时，要根据作战想定规划飞行轨迹。以作战场景下营救直升机飞行轨迹为例，根据任务特点营救作战行动中直升机要充分利用地形掩护，发挥直升机能够垂直起降和超低空贴地飞行的优势，在到达营救地点前不能被恐怖分子侦测到而实施突然袭击，完成营救任务。营救直升机任务期间飞行轨迹包含出航→营救→返航 3 个阶段。每个阶段根据其特点可以分别定义性能模型。每个阶段又包含几个过程。表 2 即为整个作战场景中救援直升机的飞行轨迹规划，其中 TFO\_HQ 表示营救任务指挥中心，Rescue1、Rescue2 和 Rescue3 为根据任务规划设定的航迹点。

表 2 营救直升机飞行轨迹规划

阶段	过程序号	过程地点	过程类型	说明
Enroute	1	TFO_HQ	Vertical Takeoff	垂直起飞并设定悬停高度为 50 ft, 起飞朝向为 90°; 救援直升机是在其他所有海空单位就位后才开始执行的，所以设定起飞时间为场景开始后 5 min
	2	Endof previous procedure	Transition to Forward Flight	完成垂直起飞悬停后，转入前飞状态
	3	Rescue1	Basic Point to Point	为增加隐蔽性，设定飞行高度为 2 000 ft
	4	Rescue2	Basic Point to Point	继续飞往山区，飞行高度维持在 2 000 ft
Rescue	1	Rescue3	Terrain Following	地形跟踪飞行，设定飞行高度为 500 ft
	2	RescueArrival	Transition to Hover	到达营救点后，直升机转入悬停状态，悬停高度为距离地面 10 ft; 为使营救有足够时间，设定悬停阶段时间为 10 min
	3	Endof previous procedure	Transition to Forward Flight	完成营救后，直升机转入前飞，按规划设定航向角度转入前飞
	4	Rescue 3	Basic Point to Point	营救已完成，为更快飞回基地，提高飞行高度至巡航高度 3 000 ft
Return to Base	1	Rescue2	Basic Point to Point	维持默认巡航高度 3 000 ft
	2	Rescue1	Basic Point to Point	维持默认巡航高度 3 000 ft 点到点飞行
	3	TFO HQ	Transition to Hover	到达基地后转入悬停
	4	TFO HQ	Vertical Landing	垂直着陆，任务结束

根据作战场景规划,应用 Matlab 命令脚本形式添加救援直升机各个阶段过程的任务航迹。以救援直升机在 TFO\_HQ 点垂直起飞并设定离垂直起降点 50 ft 距离为例,其命令格式如下:

```
root.ExecuteCommand('MissionModeler
*/Aircraft/Rescue Procedure Add AsFirstSite
TypeVTOLPointProcedureType "Vertical Takeoff")
root.ExecuteCommand('MissionModeler
*/Aircraft/Rescue Site 1 SetValue Latitude 36.62 deg')
root.ExecuteCommand('MissionModeler*/Aircraft/
Rescue Site 1 SetValue Longitude-121.75 deg')
root.ExecuteCommand('MissionModeler
*/Aircraft/Rescue Procedure 1 SetValue Altitude
AbovePoint 50 ft')
```

其中命令行中的经纬度为 TFO\_HQ 垂直起降点的坐标。根据场景需要,要求添加多个阶段和过程模型时,可修改相关参数并重复以上指令,在完成整个作战任务阶段的飞行轨迹规划后,则可以直接在 STK 软件中生成救援直升机任务期间的飞行轨迹,如图 4 所示。

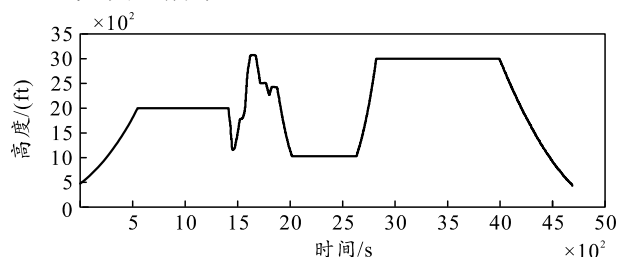


图 4 救援直升机飞行轨迹规划

同理,可以按照预定作战规划设定攻击直升机、电子侦察机和电子干扰机的任务航迹。其中攻击直升机的飞行轨迹过程为控制飞行高度的点到点直飞,侦察机和电子干扰机则在海岸线附近执行跑道式巡航任务。整个作战场景各作战单元运动轨迹如图 5 所示。

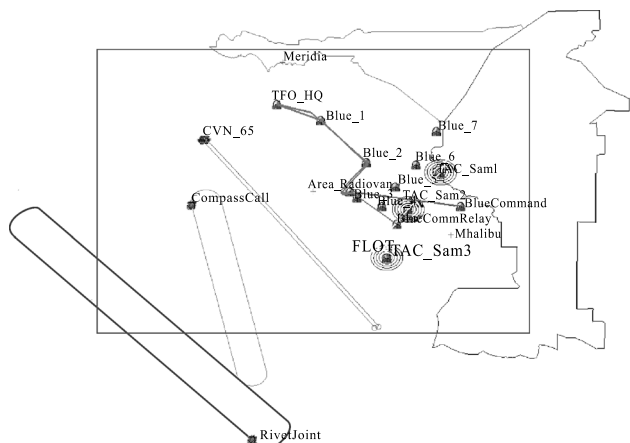


图 5 作战场景中各单元轨迹

## 2 作战仿真分析

### 2.1 通信质量分析

担负营救任务的救援直升机在飞往人质被关押村庄过程中,为了不被恐怖分子发现,要采用地形跟踪在山间进行超低空飞行,因此同时要能够实时接收来自 RC-135 电子侦察机的战术报告信息(tactical report)以随时掌握敌人的位置和动向。在真实战场环境中,能否清晰接收战术报告信息往往能够决定任务的成败。因此,为电子侦察机添加发射器对象(transmitter)和在营救直升机上添加接收器对象(receiver),其命令如下:

```
Receiver=Rescue.Children.New('eReceiver',
'Tacrep_Rcv')
Transmitter=RivetJoint.Children.New('eTransmitter',
'Tacrep_Xmt')
```

在添加完接收器和发射器并设定相关参数后,利用 STK 软件包中的地形集成粗糙地球模型(terrain integrated rough earth model, TIREM)进行可访问性计算分析。该模块可以较准确地预测电磁波因为地形和海水反射、散射及大气吸收等因素而造成的传播损失。该模块已被美国国防部等机构应用于战场通信仿真计算。在根据传感器性能参数定义好的电子侦察机和救援直升机上的发射机和接收机模型后,通过 STK 中的可访问性 Access 工具计算由电子侦察机至救援直升机的可访问性关系并计算,其命令格式如下所示:

```
Taccess=Rescue.Get Access To Object
(Rivet Joint)
```

```
Taccess.ComputeAccess
```

利用内置模板 The Link Budget Detail 生成通信质量报告,其中部分数据如表 3 所示。

表 3 The Link Budget Detail 部分数据

Time/UTCG	Atmos Loss/dB	(Eb/No)/dB
10:05:00	47.114 2	-28.156 4
10:05:01	46.276 7	-27.312 0
10:05:02	39.794 4	-20.822 7
10:05:03	33.201 1	-14.222 5
10:05:04	30.599 1	-11.613 5
10:05:05	30.443 2	-11.450 7
10:05:06	30.410 8	-11.411 3
10:05:07	30.349 2	-11.342 6
10:05:08	30.124 2	-11.110 6
10:05:09	30.007 6	-11.040 7
10:05:10	29.539 2	-10.739 0
10:05:11	28.935 0	-9.899 9
10:05:12	28.224 2	-9.181 9
10:05:13	27.649 2	-8.599 7

由表中数据可见,在使用了 TIREM 模块后,救援直升机在飞行过程中由于地形因素而造成的电

磁波大气吸收数据是波动的，任务期间的通信数据信噪比会随着飞行轨迹不断变化。整个任务期间的通信信号信噪比如图 6 所示。

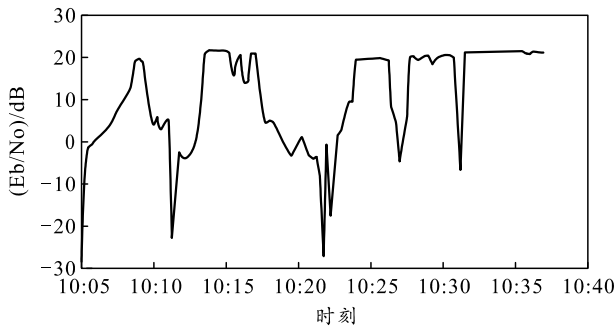


图 6 任务期间信噪比

图 7 为在任务开始后 16 min 时刻信噪比最低时救援直升机所对应位置。

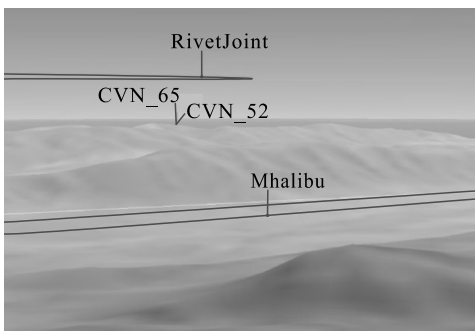


图 7 信噪比最低时救援直升机位置

由上图可见，此刻救援直升机正处于山谷最深区域，地形会对通信信号造成很大影响，由此也印证了计算得到的任务期间通信信号信噪比曲线的合理性。

根据不同的调制方式对信噪比的要求也不尽相同。在本文中使用的 bpsk 调制方式下，当信噪比大于 3 dB 时认为是可以保持语音通信正常通话的。由图 6 可见，在整个任务期间通信信号的信噪比是不断变化的，大部分时间满足清晰通话要求，但某些特定时刻信噪比小于基准线，可能会影响任务执行效率。通过将 STK 生成的 The Link Budget Detail 报告导入 Matlab 中进行统计分析，在整个任务时间段，满足正常通信要求的时长占整个任务时长的 74.9%。在设计此作战场景时，增加了攻击直升机在必要时刻担任电子侦察机和救援直升机间的通信中继任务。

## 2.2 电子干扰分析

在红方救援直升机和攻击直升机分队按照预定航迹规划执行解救人质任务的同时，红方固定翼电子战机在海岸线靠近己方攻击舰海域执行跑道式巡

航电子干扰。利用与添加救援直升机相同的方法在场景中添加名为 CompassCall 的电子干扰机。电子干扰机在巡航过程中开启主动电子干扰设备，以达到对敌方作战单元间的通信干扰。红方电子战机主动电子干扰器采用机身左右对称布置，视角范围为宽 45°长 5°的矩形，频率 30 MHz，功率 5 W，最大作用距离 150 km。其中实现传感器设置的程序如下：

```
sensor1=CompassCall.Children.New('eSensor',
'sensor1');
sensor1.CommonTasks.SetPattern Rectangular
(5, 45)
```

利用和救援直升机同样的方法为电子战机传感器添加发射器，最终效果如图 8 所示。

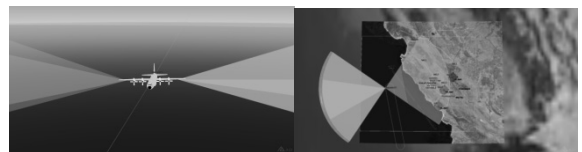


图 8 红方电子干扰机部署

敌方通信车是苏联早期型号，发射频率为 30 MHz，发射功率为 20 W。天线类型为偶极子天线，长度为 4.96 m。其在 Matlab 中的实现代码如下：

```
Facility=scenario.Children.New('eFacility','
RadioVan ');
Facility.Position.Assign Geodetic(36.03,
-121.239,0);
DistressXmtr=Facility.Children.New
('eTransmitter','DistressXmtr');
DistressXmtr.SetModel('Complex Transmitter
Model');
txModel=transmitter.Model;
txModel.Frequency=0.03; % GHz
txModel.Power=13.01; % dBW
antennaControl=txModel.AntennaControl;
antennaControl.SetEmbeddedModel('Dipole');
antennaControl.EmbeddedModel.Length=4.96;
```

应用相同的方法添加通信中继点及指挥中心的接收器。最终恐怖分子通信点位 (radiovan)、通信中继点 (bluecommrelay) 及指挥中心 (bluecommand) 部署位置如图 9 所示。

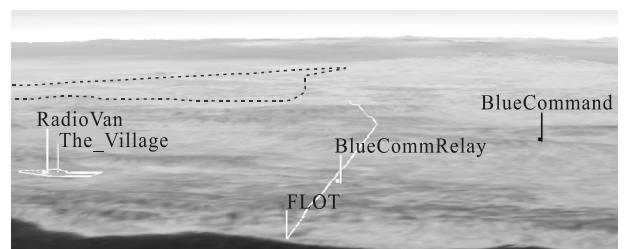


图 9 恐怖分子通信系统部署

利用相同的 Access 方法计算恐怖分子各通信点位间的通信质量。图 10 为红方电子战机开启电子

干扰前后恐怖分子指挥中心至通信中继站及通信中继站至关押人质通信点的通信质量图。

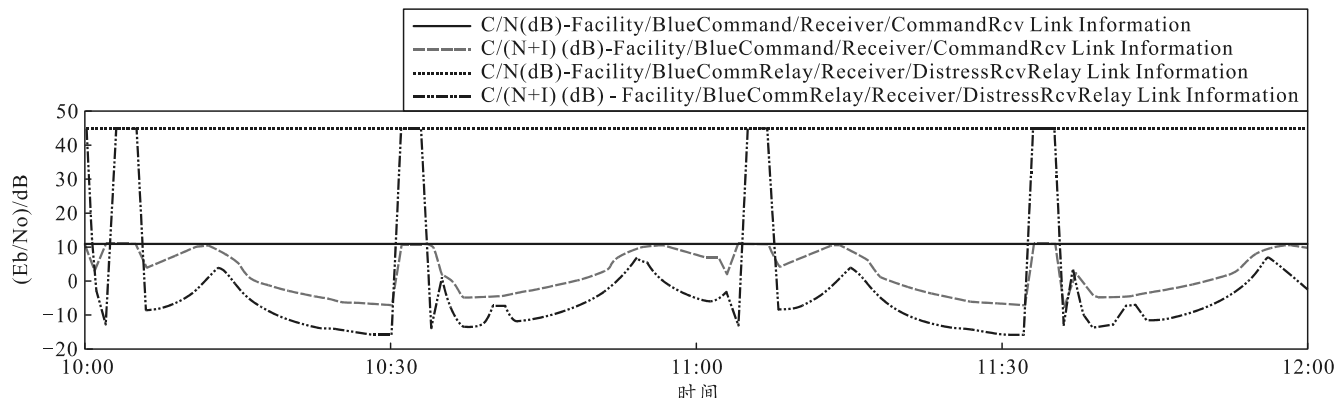


图 10 通信干扰开启前后恐怖分子通信质量对比

由上图可见，在任务期间美军电子战机能够对敌方单元通信进行有效地主动攻击干扰。其中对恐怖分子通信点位 (radiovan) 至通信中继点 (bluecommrelay) 的通信链路干扰效果更明显。要满足正常的通信效果一般需要信噪比大于 5 dB，在作战行动期间，如果红方实施电子干扰，恐怖分子大部分时间内不能满足正常通信要求。

### 3 结束语

笔者提出一种基于 Matlab 结合 STK 互联的军用直升机作战场景建模方法。应用 Matlab 通过 .com 方式与 STK 互联的方法，给出了作战场景建模中应用 Matlab 脚本自动添加任务区域地图地形文件、直升机、机载任务设备以及单元间可见性关系的方法。建立了基于 Aviator 方法的直升机从起降点垂直起飞、转入前飞、点到点巡航飞行、低空贴地飞行至悬停垂直降落这一典型直升机场景任务航迹模型。相比于传统的基于 STK 直升机作战场景建模方法提高了作战场景建模效率。

利用 STK 中综合地形模块与可访问性工具对仿真数据进一步分析，得到了该作战场景下的通信效率分析及红方电子干扰机对蓝方通信干扰效果。笔者建立的方法能够为基于 STK 的其他军用直升机场景建模分析提供参考，可根据作战任务规划，通过修改 Matlab 命令的方式建立其他场景的初步模型，并在 STK 软件中进行微调进而快速地得到所需 STK 作战场景模型。

### 参考文献：

[1] 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.

[2] 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, 2004: 229-236.

[3] 于燕婷. STK 软件及其在卫星导航系统中的应用[J]. 舰船电子工程, 2016, 36(7): 62-65.

[4] 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.

[5] 戴俊. 基于 STK 的空间目标飞行可视化仿真[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014: 32-42.

[6] 涂小波. 基于 STK 的预警机雷达应用及仿真[J]. 硅谷, 2013(24): 57-57, 76.

[7] 陆奎, 朱志国, 涂小波. 基于 STK 的预警飞机场景仿真研究[J]. 舰船电子对抗, 2014, 37(4): 62-65.

[8] 刘东青, 王振华, 彭赛阳. 基于 STK 平台下的雷达干扰可视化仿真分析[J]. 空军预警学院学报, 2017, 31(5): 360-364.

[9] 汪敬东, 王乾威, 蔡献祥, 等. 基于 STK 的台湾铺路爪雷达系统性能分析[J]. 电子技术与软件工程, 2022(12): 78-81.

[10] 刘峰, 刘金荣. 基于 STK 的航空反潜仿真平台研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2019, 14(12): 1291-1296.

[11] 卓硕. 基于 Matlab 和 STK 的无人机作战仿真研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.

[12] 王欣, 金虎. 基于 STK/Matlab 的通信卫星场景建模[J]. 电子测试, 2009(4): 1-5, 41.

[13] 刘夫成, 刘朝晖, 刘文, 等. 基于 STK/Matlab 的空间目标序列星图仿真[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(9): 3157-3161.

[14] 许丞梁, 郭福成, 刘洋. 基于 Matlab/STK 的航天电子侦察效能仿真技术研究[J]. 航天电子对抗, 2015, 31(3): 17-20.

[15] 徐鹏, 王振华, 马攀伟, 等. 基于 Matlab 的 STK 雷达对抗场景建模仿真方法[J]. 空军预警学院学报, 2018, 32(3): 174-177, 183.