

8-7-2020

Efficiency Simulation of System of UAV Patrol System Base on STK

Yang Yong

Beijing Institute of Aerospace Systems Engineering, Beijing 100076, China;

Xijun Yan

Beijing Institute of Aerospace Systems Engineering, Beijing 100076, China;

Zhang Heng

Beijing Institute of Aerospace Systems Engineering, Beijing 100076, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Efficiency Simulation of System of UAV Patrol System Base on STK

Abstract

Abstract: In order to analyze problems such as coverage percent of mission area and reliable communication between unmanned aerial vehicle (UAV) and ground control station, a method for simulation and validation based on STK was proposed. *The condition should be satisfied in theory to achieve seamless coverage of the mission area by using UAV reconnaissance and communication system was analyzed. A method for down link calculation of UAV and the ground control station was proposed. STK simulation was used for validating the correctness of theoretical analysis.* It shows that the simulation results can provide rational support for UAV reconnaissance and communication system demonstration, design and optimization. Also the simulation results can provide reference to route planning and deployment of the ground station.

Keywords

UAV, reconnaissance, communication link, route planning, coverage

Recommended Citation

Yang Yong, Yan Xijun, Zhang Heng. Efficiency Simulation of System of UAV Patrol System Base on STK[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(9): 2031-2037.

基于 STK 的无人机侦察通信系统效能仿真

杨勇, 严晞隽, 张恒

(北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

摘要: 为有效分析实际工程应用中无人机侦察通信系统对任务执行区域的侦察覆盖率、无人机与地面测控站之间的可靠通信等问题, 提出了采用 STK(Satellite Tool Kit, 卫星仿真工具包)软件进行仿真分析与验证的方法。对实现无缝覆盖的所需要满足的边界条件进行了理论分析, 并分析了无人机侦察图像信息传输速率要求, 给出了链路计算方法; 采用 STK 软件进行了仿真验证与演示, 仿真结果显示理论分析正确, 能够为无人机侦察通信系统航迹规划、地面测控站部署方案论证、设计与优化提供可靠的数据支撑。

关键词: 无人机; 侦察; 通信链路; 航迹规划; 覆盖性

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 09-2031-08

Efficiency Simulation of System of UAV Patrol System Base on STK

Yang Yong, Yan Xijun, Zhang Heng

(Beijing Institute of Aerospace Systems Engineering, Beijing 100076, China)

Abstract: In order to analyze problems such as coverage percent of mission area and reliable communication between unmanned aerial vehicle (UAV) and ground control station, a method for simulation and validation based on STK was proposed. The condition should be satisfied in theory to achieve seamless coverage of the mission area by using UAV reconnaissance and communication system was analyzed. A method for down link calculation of UAV and the ground control station was proposed. STK simulation was used for validating the correctness of theoretical analysis. It shows that the simulation results can provide rational support for UAV reconnaissance and communication system demonstration, design and optimization. Also the simulation results can provide reference to route planning and deployment of the ground station.

Keywords: UAV; reconnaissance; communication link; route planning; coverage

引言

在实际工程应用中, 往往需要对人们所关心目标进行搜寻和回收, 如运载火箭/导弹飞行试验数据舱、运载火箭/导弹残骸、载人航天返回舱等。



收稿日期: 2014-06-30 修回日期: 2015-08-10;
作者简介: 杨勇(1987-), 男, 湖南人, 硕士, 工程师, 研究方向为信息集成总体设计; 严晞隽(1974-), 男, 山西人, 博士, 研究员, 研究方向为型号总体设计; 张恒(1976-), 男, 北京人, 硕士, 研究员, 研究方向为体系对抗总体设计。

采用无人机侦察通信系统对目标溅落区域进行扫描, 搜寻定位人们所关心的目标, 是一种经济高效的方法, 且能够在地面人员、车辆不方便进入或长期滞留的地区完成目标搜寻与定位, 具备搜寻范围广、速度快、持续工作时间长、人工干预少等优点。无人机侦察通信系统主要由无人机、机载侦察与通信载荷以及地面测控站等设备组成。执行任务时, 无人机按照装订好的航迹数据(包括关键点位信息、无人机飞行高度、速度等), 向指定目标区域飞行; 若目标区域发生变化, 地面测控站可通过无

线链路上实时航迹数据,更改无人机当前飞行航迹,控制无人机飞向新的目标位置。到达目标区域后,机载侦察载荷通过对地摆扫搜索的方式搜寻目标,获取目标区域的图像信息(如可见光、红外图像等),并通过机载通信载荷实时传输至地面测控站,地面操作人员则根据获取的图像信息完成目标识别与定位工作,为快速回收目标提供精确指引信息,缩短目标回收时间,节约成本。

为提高无人机侦察通信系统设计效率,确保能够圆满完成目标回收任务,在无人机侦察通信系统方案论证、设计过程中通常采用仿真手段开展系统分析工作,验证理论计算的正确性,实现设计分析、仿真验证到系统优化的闭环。本文采用在航空航天领域广泛应用的仿真设计软件 STK 来完成无人机侦察通信系统仿真分析。

STK 软件是由美国 AGI 公司开发的一款在航天工业领域处于领先地位的可视化、组件化仿真分析软件,具备良好的可视化效果、强大的数据处理能力以及多种分析工具,广泛应用于卫星、运载火箭/导弹发射与飞行、导弹防御、C4ISR 指挥系统、电子对抗、航空航天测控系统的仿真分析与二次开发,能够帮助设计人员快速开展仿真分析工作,为系统方案论证、设计与优化提供可靠的验证手段以及试验数据支撑^[1-2]。随着软件的不断升级,STK 现已逐渐扩展成为分析和执行陆、海、空、天、电磁任务的专业可视化仿真平台,具备更强大的仿真能力,能够实现复杂的作战仿真推演^[3]。在 2014 年,STK 发布了 10.0 版本,并且将名称更改为

System Tool Kit(体系工具包,仍简称为 STK),这标志着 STK 正在向体系仿真工具转变,将具备大规模体系仿真的能力。STK 软件具有覆盖性分析模块、可见性分析模块、轨道生成模块等基本功能模块,还具有众多的附加模块,如导弹工具箱等。本文主要利用 STK 软件的覆盖性分析模块和通信分析模块来完成无人机侦察通信系统的仿真分析。

本文主要内容如下:首先对无人机侦察通信系统实现目标区域无缝覆盖需满足的边界条件进行了理论分析,并给出了无人机与地面测控站之间通信链路计算方法;然后采用 STK 软件仿真了无人机侦察通信系统按照给定航迹对任务执行区域进行目标搜寻的过程,并利用 STK 软件的覆盖性分析模块分析了侦察载荷在不同摆扫频率情况下对目标区域的覆盖率,验证了理论计算方法的正确性,为航迹规划方案设计提供数据支撑;同时,利用 STK 软件通信模块分析了无人机与地面测控站之间的通信性能。最后对仿真结果进行了分析并得出相关结论,为无人机侦察通信系统航迹规划、地面测控站部署方案设计与优化提供可靠的数据支撑。

1 理论分析与计算

在本文中,假设目标落在 40 km×80 km 区域内,无人机侦察通信系统按照给定的航迹飞行,并利用机载可见光侦察载荷对该区域进行成像,完成目标搜索任务。无人机侦察通信分系统飞行航迹示意图如图 1 所示。

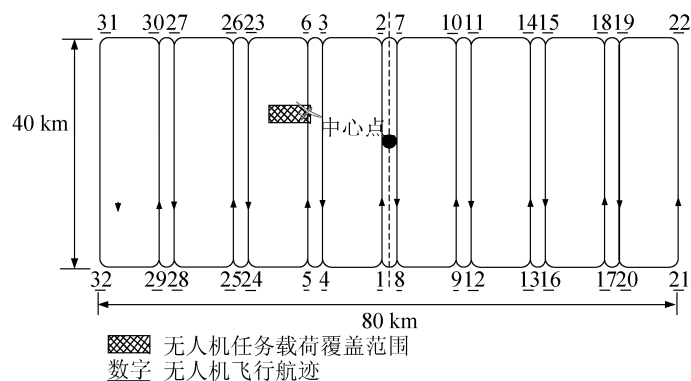


图 1 无人机侦察通信系统扫描示意图

<http://www.china-simulation.com>

在图 1 中, 无人机按照数字标定的路线进行飞行, 从序号 1 开始, 至序号 32 结束; 在飞行的同时, 无人机侦察载荷左右摆扫(以无人机航向为参考), 实现对 40 km×80 km 目标区域的无缝覆盖。

根据无人机侦察通信分系统工作模式可以看出, 无人机侦察载荷扫描覆盖范围与无人机的飞行高度、侦察载荷的视场角密切相关, 并且与侦察载荷摆扫频率共同影响对目标区域的覆盖率。

在此, 通过梳理无人机、机载侦察载荷以及目标区域之间的几何关系, 并考虑侦察图像信息要求, 对机载可见光侦察载荷覆盖范围、侦察图像传输所需的通信速率进行理论计算分析。

1.1 机载可见光侦察载荷覆盖范围分析

无人机机载可见光侦察载荷一般采用矩形 CCD 传感器, 视场角范围表示为 $\varphi_1 \times \varphi_2$ (宽×长, 无人机航向方向为长边), 如图 2 所示。

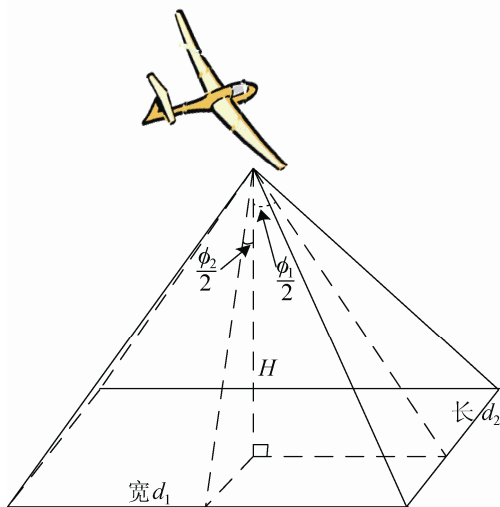


图 2 无人机侦察载荷覆盖范围示意图

可见光侦察载荷静止垂直向下时中心轴线垂直于地面, 则按照公式(1)可计算无人机在不同飞行高度下对地覆盖范围。

$$d = 2H \times \tan(\phi/2) \quad (1)$$

式中: H 为无人机相对于地面的高度; ϕ 为视场角, 取值为 φ_1, φ_2 ; d 为地面投影边长, 分别对应为地面投影矩形的宽 d_1 和长 d_2 。

假设无人机可见光侦察载荷视场角为 $10.4^\circ \times 14^\circ$ (宽×长), 则按照式(1)可计算得出无人机在不同飞行高度下侦察载荷的覆盖范围, 结果如表 1 所示。

表 1 无人机不同飞行高度对地覆盖范围

无人机相对地面高度/km	覆盖范围(宽 d_1 ×长 d_2)/m
1	182 × 246
2	364 × 491
3	546 × 737

由表 1 可知, 无人机飞行高度越高, 则在侦察载荷视场角不变的情况下, 其侦察覆盖范围越大, 越容易实现对目标区域的无缝覆盖, 但受侦察载荷成像能力以及目标尺寸限制, 随着无人机飞行高度的增加, 目标成像质量将会变差, 地面操作人员可能无法从获取的侦察图像中对目标进行有效识别, 因此, 实际中应结合无人机工作高度、可见光侦察载荷成像能力、目标尺寸大小等确定最优的无人机飞行高度, 在确保成像质量的情况下获得最大的覆盖范围, 缩短目标寻找时间。由于无人机最优飞行高度不是本文探讨的重点, 因此, 在综合考虑上述因素的基础上, 通过调研国内相关无人机巡航高度及其侦察载荷成像能力后, 本文在后续仿真试验中将无人机相对地面的飞行高度设定为 3 km。

根据上述分析可知, 无人机侦察通信系统对目标区域的覆盖率与无人机飞行高度、飞行速度、侦察载荷摆扫频率, 摆扫范围等因素密切相关。要实现对目标区域的无缝覆盖, 则根据无人机、目标区域以及侦察载荷之间的几何关系可知, 在 1 个侦察载荷摆扫周期内(以侦察载荷垂直向下时为零位, 分别向左右摆扫 1 次后回到零位, 即为 1 个摆扫周期), 无人机飞行前进的距离应不大于侦察载荷覆盖区域沿航向方向的边长 d_2 。假设无人机飞行速度为 V_{uav} (m/s)、侦察载荷左右摆扫幅度分别为 θ_{left} 和 θ_{right} (以无人机飞行方向为参考, 左边摆扫幅度为 θ_{left} , 右边摆扫幅度为 θ_{right} , 单位为 $^\circ$), 摆扫频率为 V_θ ($^\circ$ /s), 则上述参数需满足式(2)所示的关系。

$$2V_{uav} \times (\theta_{left} + \theta_{right}) / V_\theta \leq d_2 \quad (2)$$

取无人机飞行高度 H 为 3 km、飞行速度为 50 m/s, 可见光侦察载荷摆扫幅度左侧 θ_{left} 为 60° 、右侧 θ_{right} 为 20° 时, 则根据式(1)可知, $d_2=737$ m, 代入式(2)可得, 实现目标区域无缝覆盖要求无人机可见光侦察载荷的摆扫频率 $V_\theta \geq 10.9^\circ/\text{s}$, 亦即无人机可见光侦察载荷摆扫频率 $\geq 10.9^\circ/\text{s}$ 时, 即可实现对目标区域的无缝覆盖。同样在上述侦察载荷摆动幅度、飞行高度不变的情况下, 可利用式(2)计算得到不同飞行速度下实现目标区域无缝覆盖所要求的无人机侦察载荷摆扫频率, 如图 3 所示。

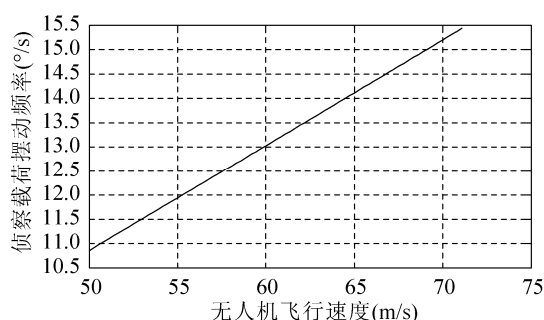


图 3 无人机飞行速度与侦察载荷摆动频率关系曲线

由图 3 可知, 在其它假设条件不变的情况下, 在不同的无人机飞行速度下, 只要侦察载荷摆动频率不小于图 3 中曲线上对应的纵坐标值, 即可实现对目标区域的无缝覆盖。同理, 利用式(2)还可以得出目标区域无缝覆盖条件下, 对侦察载荷摆扫幅度、无人机飞行速度、飞行高度等参数的要求。

由此可见, 在实际工程应用中, 可在满足式(2)的条件下, 根据具体应用情况对无人机飞行速度、飞行高度、侦察载荷视场角及其摆扫频率等参数进行调整, 实现对目标区域的无缝覆盖。

1.2 无线通信链路计算方法

无人机与地面测控站之间采用 S 频段进行通信, 实现侦察图像信息的下传。侦察图像信息下传所需的通信带宽由侦察图像分辨率 PI 、图像格式、帧速率 Z 以及图像压缩率 C 确定, 假设采用 RGBA 格式, 则侦察图像信息传输速率要求计算方法如式(3)所示。

$$R_b = PI \times Z / C \times 4 \quad (3)$$

无人机可见光侦察设备图像分辨率一般为 720×576 , 假设压缩率为 64:1, 图像帧速率为 25 帧/s, 则根据式(3)可计算出无人机通过无线将侦察图像传输至地面所需要的传输速率应不小于 5 Mbps。此外, 为确保通信质量, 无人机侦察图像传输误码率一般要求 $\leq 10^{-5}$ 。

根据上述无人机与地面测控站之间的通信速率要求, 综合考虑通信距离、发射机 EIRP、接收机品质因数等链路参数, 根据式(4)可以得到通信链路裕量 $M^{[4]}$ 。

$$M(\text{dB}) = P_t(\text{dBW}) + G_t(\text{dB}) + G_r / T_n(\text{dB}) - \frac{E_b}{N_0}(\text{dB}) - L_\Sigma(\text{dB}) - R_b(\text{dB}) + 228.6 \quad (4)$$

式中: M 为链路裕量; P_t 为发射功率; G_t 为发射天线增益; G_r/T_n 为接收机品质因数; E_b/N_0 为给定误码率要求下的接收机信噪比门限; L_Σ 为其它链路损耗总和; R_b 为数据传输速率。

此外, 在实际工程应用中通常会考虑一定的安全裕量, 因此, 利用式(4)计算获得链路裕量 M 后, 需利用式(5)判断是否满足安全裕量要求, 若满足式(5), 则表明无人机与地面测控站之间能够进行可靠通信, 否则需采取相关措施进行改善, 如增大发射功率、缩短通信距离等。

$$M(\text{dB}) \leq P_{\text{safe}}(\text{dB}) \quad (5)$$

在式(5)中, P_{safe} 为实际工程应用中的安全裕量要求, 单位为 dB, 该值通常从工程经验中获得。

2 仿真试验

2.1 仿真输入

无人机侦察通信系统主要由无人机、机载可见光侦察载荷、机载通信载荷以及地面测控站组成。在仿真试验中, 主要通过对 STK 软件中相关通用功能模型进行参数设置, 实现对无人机侦察通信系统的模拟。

机载通信载荷与地面站测控站均为通信设备,

其主要特征参数包括通信频段、发射端有效辐射功率 EIRP、接收端品质因素 G/T、调制方式、传输速率以及误码率要求等, 仿真试验中各参数取值如表 2 所示。

同理, 无人机、机载可见光侦察载荷的功能和性能也可利用一些特征参数来表征, 因此通过在 STK 中的对这些模型的特征参数进行设置, 即可

实现对无人机及其机载可见光侦察载荷的模拟, 具体参数设置如表 3 所示。

需要特别说明的是, 无人机航迹数据主要由时间、经度、纬度、飞行高度、飞行速度、飞行加速度以及转弯半径等组成, 并且需按照 STK 中航迹文件格式进行编写, 如图 4 所示。

表 2 机载通信载荷与地面测控站仿真参数设定

频率	无人机发射端 EIRP	地面接收端 G/T 值	调制方式	传输速率	误码率要求
S 频段	3 dB	5 dB/K	BPSK	5Mbps	$\leq 10^{-5}$

表 3 无人机、可见光侦察载荷等仿真参数设定

设备名称	参数	取值
目标区域	——	选取四点构成 40 km×80 km 的矩形区域。
地面测控站	部署位置	在目标区域附近选取合适点位坐标, 距目标区域最远点距离约为 150 km。
无人机	飞行速度	256 km/h。
	飞行高度	相对地面高度为 3 km。
	转弯半径	0.5 km。
	视场角	10.4°×14°(宽×长)。
可见光侦察载荷	无人机航迹	详见图 4 所示。
	摆动幅度	$\theta_{\text{left}} = 60^{\circ}$, $\theta_{\text{right}} = 20^{\circ}$ 。
	摆动频率	依据式(2)进行设定。

BEGIN GreatArc

Method DetTimeFromVelAcc
TimeOfFirstWaypoint 2 Apr 2014 12:00:00.000000000
ArcGranularity 5.729577951308e-001
AltRef WGS84
AltInterpMethod EllipsoidHeight
NumberOfWaypoints 32

BEGINWaypoints

Time	Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Accel TurnRadius
0.000000000000e+000	5.107990400000e+001	8.620503100000e+001	3.000000000000e+003	7.111111111111e+001	0.5e+003
6.475188500122e+002	5.149431800000e+001	8.620495500000e+001	3.000000000000e+003	7.111111111111e+001	0.5e+003
7.605611040764e+002	5.149431800000e+001	8.610873400000e+001	3.000000000000e+003	7.111111111111e+001	0.5e+003
1.408080464668e+003	5.107990400000e+001	8.610941900000e+001	3.000000000000e+003	7.111111111111e+001	0.5e+003
1.436340409395e+003	5.107990400000e+001	8.608551600000e+001	3.000000000000e+003	7.111111111111e+001	0.5e+003
2.083860006393e+003	5.149431800000e+001	8.608467800000e+001	3.000000000000e+003	7.111111111111e+001	0.5e+003
2.253425138784e+003	5.149431800000e+001	8.622901100000e+001	3.000000000000e+003	7.111111111111e+001	0.5e+003
2.900944002311e+003	5.107990400000e+001	8.622893500000e+001	3.000000000000e+003	7.111111111111e+001	0.5e+003

图 4 航迹数据文件示意图

2.2 仿真流程

首先在 STK 中构建场景, 设定好仿真开始时间、仿真步长、二维和三维场景显示等相关参数; 其次, 在场景内添加无人机模型, 并在无人机模型下分别添加机载发射机模型以及可见光侦察载荷模型, 并按照表 2~3 中的参数完成无人机、可见光侦察载荷以及机载发射机的参数配置; 然后采用相同的方法完成地面测控站模型的构建和参数设置, 并利用 AreaTarget 工具构建 $40\text{ km} \times 80\text{ km}$ 的目标区域^[5]。除了建立上述模型外, 还需在仿真场景中建立“覆盖性定义”模型, 建立可见光侦察载荷与目标区域的对应关系。

完成上述模型建立及其参数配置后, 即可开展仿真试验, 并可利用 STK 软件的三维和二维视景工具分别观看无人机对目标区域进行扫描的三维和二维动画, 初步判断是否与实际工作过程一致, 否则需进一步确认各模型相关参数是否已经配置正确。仿真的详细流程如图 5 所示。

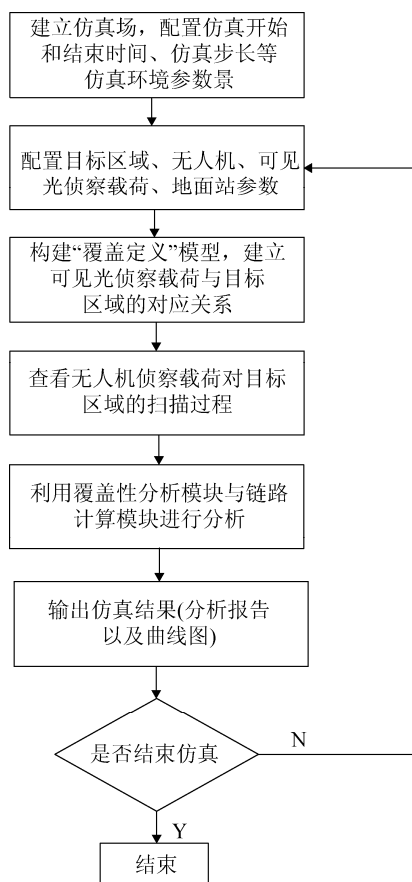


图 5 仿真流程图

仿真试验开始后, 利用 STK 软件中的覆盖性分析模块以及链路计算模块即可完成无人机可见光侦察载荷对目标区域的覆盖性分析和链路分析, 并以分析报告和曲线图的形式输出仿真结果。

2.3 仿真结果

利用 STK 软件中的 Coverage Definition 工具开展目标区域覆盖性分析可得, 在无人机相对地面飞行高度为 3 km 、飞行速度为 71.1 m/s 、侦察载荷摆扫频率为 $15.4^\circ/\text{s}$ 、摆扫幅度 $\theta_{\text{left}}=60^\circ$ 和 $\theta_{\text{right}}=20^\circ$ 的条件下, 无人机按照图 1 所示的航迹飞完全程耗时为 $3\text{ h } 25\text{ min}$, 同时在图 6 和图 7 所示的“时间——累积覆盖率”曲线以及覆盖性分析报告中可以发现, 在 $3\text{ h } 25\text{ min}$ 后对目标区域的覆盖率为 100% , 亦即实现了无缝覆盖, 验证了式(2)的正确性。



图 6 时间——累积覆盖率曲线

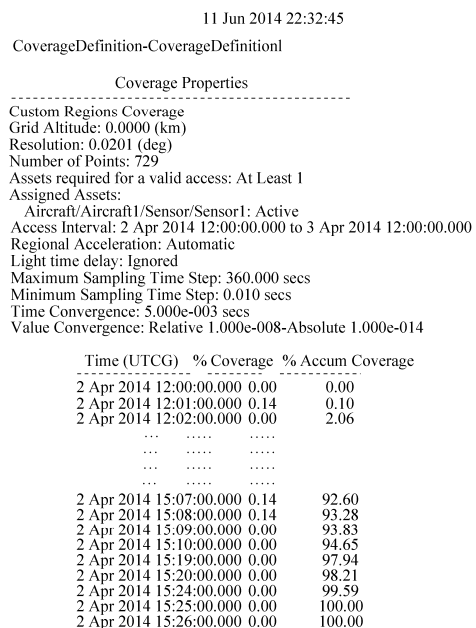


图 7 覆盖性分析报告

同理, 在其它条件下不变的情况下, 按照图 3 所示的无人机飞行速度与侦察载荷摆扫频率之间的关系, 通过修改无人机飞行速度以及对应的侦察载荷摆扫频率, 重新进行覆盖性分析可以发现, 在给定无人机飞行速度条件下, 只要侦察载荷的摆扫频率不小于图 3 中对应的纵坐标值, 即可实现对目标区域的无缝覆盖, 进一步验证了式(2)的正确性。

利用 STK 链路计算工具对无人机与地面站之间通信链路进行分析, 可以得到链路分析报告以及地面站通信仰角、方位角以及距离随时间变化曲线, 分别如图 8 和图 9 所示^[6]。

根据图 8 所示的链路计算报告可知, 在给定的仿真参数条件下, 无人机与地面站之间的通信误码率为 10^{-25} , 远远小于 10^{-5} , 因此, 无人机在对目标区域进行搜寻过程中能够与地面站之间进行可

靠通信, 确保侦察图像信息顺利传回地面。

图 9 给出了地面站在通信过程中天线仰角、方位角以及通信距离随时间的变化, 其中, 地面站与无人机之间的通信距离在 63 km~144 km 之间变化, 通信仰角变化范围为 $0.56^{\circ}\sim 2.45^{\circ}$, 方位角范围为 $89.2^{\circ}\sim 98.7^{\circ}$ 。由此可见, 地面测控站与无人机之间的通信仰角较小, 容易受到自然地形地貌影响, 如高山等障碍物, 因此, 在实际工程应用中, 建议将地面测控站部署在开阔地带。

此外, 通过将任务执行区域的 GIS 地图转换成 STK 软件支持的地形和地貌数据格式, 并导入至仿真场景中, 同样利用链路计算工具即可计算地形地貌对无人机与地面测控站之间无线链路的影响, 实现对无人机与地面测控站之间无线链路的精确仿真^[7]。

EIRP (dBW)	Rcvd. Frequency (GHz)	Rcvd. Iso. Power (dBW)	Flux Density (dBW/M ²)	g/T (dB/unitDegK)	C/N ₀ (dB*Hz)	Bandwidth (KHz)	C/N (dB)	Eb/No (dB)	BER
3.000	2.350000	-137.189	-108.312262	5.000000	96.409835	10000.000	26.4098	29.4201	1.000000e-025
3.000	2.350000	-137.114	-108.237293	5.000000	96.484804	10000.000	26.4848	29.4951	1.000000e-025
3.000	2.350000	-137.053	-108.176180	5.000000	96.545917	10000.000	26.5459	29.5562	1.000000e-025
3.000	2.350000	-137.007	-108.129533	5.000000	96.592564	10000.000	26.5926	29.6029	1.000000e-025
3.000	2.350000	-136.975	-108.097829	5.000000	96.624268	10000.000	26.6243	29.6346	1.000000e-025
3.000	2.350000	-136.958	-108.081401	5.000000	96.640696	10000.000	26.6407	29.6510	1.000000e-025
3.000	2.350000	-136.957	-108.080424	5.000000	96.641674	10000.000	26.6417	29.6520	1.000000e-025
3.000	2.350000	-136.972	-108.094906	5.000000	96.627191	10000.000	26.6272	29.6375	1.000000e-025
3.000	2.350000	-137.002	-108.124695	5.000000	96.597402	10000.000	26.5974	29.6077	1.000000e-025
3.000	2.350000	-137.047	-108.169478	5.000000	96.552619	10000.000	26.5526	29.5629	1.000000e-025
3.000	2.350000	-137.106	-108.228795	5.000000	96.493302	10000.000	26.4933	29.5036	1.000000e-025

图 8 链路分析报告

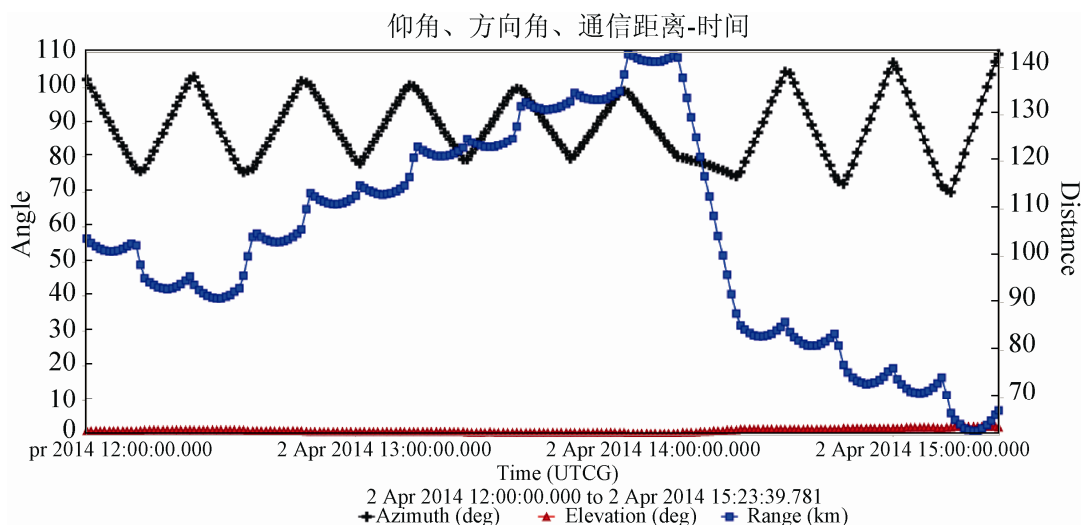


图 9 地面站通信仰角、方位角以及距离

(下转第 2043 页)

<http://www.china-simulation.com>