

电子对抗条件下异构星座的多维多层次效能评估方法

王楚宣 柳罡 肖飞 吴彦锋 陈粟 仇林遥

中国电子科技集团有限公司电子科学研究院

DOI:10.12238/pe.v3i3.13619

[摘要] 本文面向电子对抗条件下多源异构星座提出“信号层、链路层、平台层、系统层和体系层”五层以及“时间域、空间域、频率域、能量域和综合域”五域架构评估方法,并构建了指标体系。同时提出指标加权模型,根据各参数对体系综合效能的影响程度不同,通过标度准则和分析方法确定体系效能评价中各指标的权重划分进而支撑构建加权评估,为电子对抗条件下异构星座的效能评估提供支撑和数字化参考。

[关键词] 异构星座; 体系效能评估; 评估指标设计

中图分类号: TN975 **文献标识码:** A

Multi-dimensional and Multi-layer Effectiveness Evaluation Method for Heterogeneous Constellations under Electronic Adversarial Conditions

Chuxuan Wang Gang Liu Fei Xiao Yanfeng Wu Su Chen Linyao Qiu

China Academy of Electronics and Information Technology

[Abstract] This article proposes a “signal layer, link layer, platform layer, system layer and architecture layer” five layer and “time domain, spatial domain, frequency domain, energy domain and comprehensive domain” five domain architecture evaluation method for heterogeneous constellations under electronic adversarial conditions. The method provides the necessary evaluation indicators for systematic task evaluation, design and management models for evaluation algorithms. Based on the construction of indicators, a networked evaluation indicator system is designed according to the structure, with the ability evaluation indicators and the mutual influence relationship between indicators as the benchmark. At the same time, a weighted model of indicators is proposed to determine the weight division of each indicator in the evaluation of influence of each parameter on the overall effectiveness of the system and supports the construction of weighted evaluation, providing support and digital reference for the effectiveness evaluation of heterogeneous constellations under system adversarial conditions.

[Key words] heterogeneous constellations; system effectiveness evaluation; evaluation indicator design

引言

随着科学技术的快速发展与不断进步,现代社会对电子科学与技术提出了巨大的挑战。近年来,如何在电磁领域中保持信息优势已成为国内外关注的重点,西方各国正为塑造电磁频谱优势而加速研究。

本文面向电子对抗条件下异构星座的效能评估,重点提出了“信号层、链路层、平台层、系统层和体系层”五层架构评估方法,提出指标加权模型,负责根据各参数对装备体系综合效能的影响程度不同,通过标度准则和分析方法确定装备体系效能评价中各指标的权重划分进而支撑构建加权评估,为电子对抗条件下异构星座的效能评估提供支撑和数字化参考。

1 体系效能评估原理

体系对抗从指挥控制的层面来看,双方所有的活动都是由

决策者所决定,其本质是人与人之间的对抗,但由于物联网时代的到来,万物互联、集群效应,单纯靠人的经验、意识的作战决策以作战管理已经严重难以满足复杂的战场环境和对海量的作战对象的作战指挥,必须将体系对抗进行数字化模型描述,支持计算机自动化,并引入智能作战管理系统,辅助开展体系对抗决策。太空作战域其已经从战略支援的支撑域向战略威慑的作战域发生重大改变,丧失太空领域将严重影响“所有作战领域发挥体系优势”,而去中心化的弹性架构,已经使得体系对抗成为必然甚至是唯一取胜之道。

美基于体系演化机理实现战场非对称优势的快速生成,使其既有的领先优势进一步加强,必须加速创新太空体系作战概念和理论。作战概念和理论是未来作战方式的全面、可视表达,是引领和设计未来战争的灵魂和抓手。着眼太空网络化、弹性化发展趋

势,面向抗毁顽存的弹性体系破击问题,提出基于异构星座的太空体系对抗效能评估的概念和理论,为对美太空作战提供新思路。

目前国内关于电子对抗的体系效能评估的研究还较少,因此需要对电子对抗条件下异构星座的多维效能评估方法进行研究。

2 电子对抗条件下异构星座效能评估模型构建

2.1效能评估流程。电子对抗条件下异构星座的效能评估基本思路是:首先,根据设备系统的评估目标和评估类型,对系统模型进行了分析和构建。其次,根据评估指标体系的设计原则,从架构建模中提取了能力指标和网络影响关系,以形成效率评估指标体系。然后,使用标准化尺度标准构建指标权重矩阵,并通过矩阵的数学运算获得每个指标的权重。接着,基于指标权重矩阵和指标能力值构建加权效率指标矩阵。最后,构建设备系统有效性的评估模型。图1给出了异构星座作战能力评估流程,具体流程为:

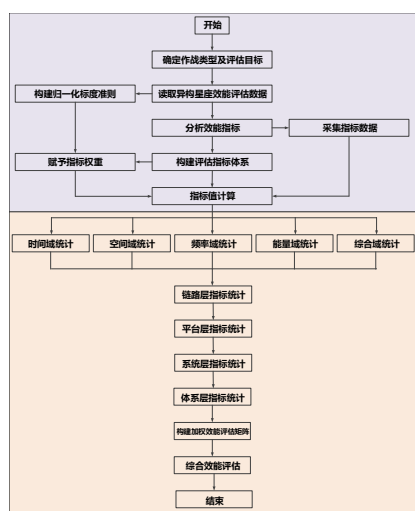


图1 异构星座建模及评估流程

(1)确定评估目标和类型:以设备系统效能的分析、改进和演绎为出发点,认清任务逻辑和任务边界,并在此基础上全面调查影响评估对象整体效能的各种因素。(2)读取异构星座性能数据:读取异构星座数据,综合采集到的系统任务和需求等相关信息,形成装备系统作战概念描述。通过对设备系统的“自上而下”的逐层分解,采用系统建模和结构设计方法,描述系统的运行过程、结构和功能。(3)效能指标分析:根据异构星座作战系统建模的数据分析结果,对影响效能评价的变量数据进行分析并参考。(4)构建评价指标体系:借助建立异构星座作战指标的方法,基于模型提取的能力指标和指标之间的交互关系,按照多层次结构设计网络化绩效评价指标体系。(5)构建归一化尺度标准:划分不同数据信息关系和优势关系的不同重要性水平,分配不同的配准尺度,形成尺度标准,作为判断设备平台或设备系统重要性的依据。(6)分配指标权重:在异构星座战斗力评价指标体系中,各参数对装备系统综合效能的影响有高低,在装备的性能评价中需要确定各指标的权重划分。(7)指标值的计算:首先根据红蓝边的数据统计时域索引、空间域索引、频域索引、能量域索引和综合域索引,然后根据各域的统计指标计算出链路

层索引、平台层索引、系统层索引和系统层索引。(8)构建加权绩效评价矩阵:根据前面步骤构建的绩效评价指标体系,以及求解得到的各指标的指标权重和能力值,选择并构建适配加权绩效评价矩阵,为最终的效率解决方案提供数学参考。(9)综合效益评价:最终的综合分析评价是从全面、系统的角度进行的,综合评价的结果可以作为综合评价的结果。

2.2评估指标体系构建。异构星座效能评估过程中,将效能评估指标依据单装效能、系统效能和体系效能的原则划分为五层:信号层、链路层、平台层、系统层和体系层。

2.2.1功能层级评估指标体系。功能层指标是根据作战装备系统的兵力属性进行功能级别的划分,包括五层指标,分别为体系层指标、系统层指标、平台层指标、链路层指标和信号层指标。其中功能层指标具体包括:

(1)体系层指标:体系层指标评价的是红方作战体系和蓝方作战体系之间的整体效果,反映了全局作战下各武器装备系统的最终效能和根本质量特征。(2)系统层指标:系统层指标可以表征同一类型型号的可用性、可依赖性和能力。(3)平台层指标:平台层指标指运用装备系统时,达到单一使用目标的程度,如异构星座效能评估中单一卫星的干扰效能、侦察效能或通信效能等。(4)链路层指标:链路层指标指导异构星座效能评估中,单一节点的单波束指向形成的链路。(5)信号层指标:信号层指标描述的是卫星节点内链路中物理层信号的特征,包括误码率,星座图等,是反应异构星座效能评估中具体链路通断的底层表征。

2.2.2功能域级评估指标体系。功能域指标根据作战装备的物理属性进行划分,包括五层指标,分别为时间域指标、空间域指标、频率域指标、能量域指标和综合域指标。其中功能域指标具体包括:

(1)时间域指标:异构星座效能评估中,各个环节的功能流转都需要一定的时间,时间域指标可以直观的反应电子对抗系统性能的优劣。在电子对抗过程中,干扰时间与恢复时间也能直观的反应红蓝双方的措施的有效性,因此时间域指标是一种直观且有效的效能评估准则。(2)空间域指标:空间域指标直观的反应了在异构星座作战中红蓝双方的空间覆盖能力。空间域指标可以反应红蓝双方在空间资源上的博弈,也是一种重要的评估准则。(3)频率域指标:频率域指标反应异构星座红蓝双方在电磁频谱资源的动态运用能力。在电子对抗过程中,作战双方对整个电磁频谱和用频装备的管控,可以影响整个战局。(4)能量域指标:能量域指标通过异构星座作战过程中电子信息系统被有效干扰时干扰效果。通常用来衡量不同干扰样式的压制效率。(5)综合域指标:综合域指标反应了除前四种指标外,其他对异构星座作战过程中存在影响的因素。通过在作战场景中设定相关因子对影响进行表征。

除了功能层与功能域指标外,任务模式也对异构星座效能评估存在影响。根据侦察、控守或干扰等不同任务模式的设定,异构星座作战评估指标也会有相应的改变。

3 异构星座效能评估仿真系统

3.1 异构星座效能评估仿真系统构建。电子对抗条件下异构星座效能评估仿真系统结构如图2所示, 仿真系统采用STK11.6构建。

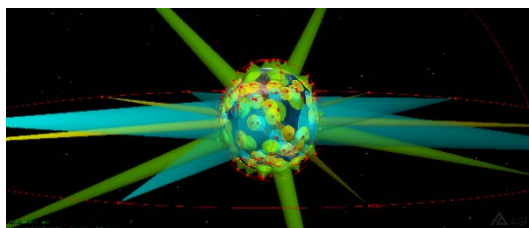


图2 异构星座效能评估仿真系统

异构星座效能评估仿真系统中星座构型及主要参数如下:

LEO轨道: 共设置3型9组卫星共计143颗, 其中轨道高度最低设置为507km, 最高设置为1057km。倾角设置最低为35度, 最高为99度。根据轨道高度不同分别设置载荷波束角, 载荷覆盖范围直径设置为1000km~2000km。

GEO轨道: 共设置2型2组卫星共10颗。定点从37.8°到249.8°。载荷波束覆盖直径为4000km~6000km。

IGSO轨道: 共设置1型1组卫星共5颗, 倾角为54°, 载荷波束覆盖直径为4000km~6000km。

3.2 异构星座效能评估仿真系统指标计算。电子对抗条件下异构星座效能评估仿真系统指标设置根据场景中的实际链路, 以从模型中提取出的能力评估指标和指标之间的相互影响关系为基准, 按多层次结构设计网络化评估指标体系。

统计结果表明, 3组低轨卫星在体系内贡献度分别为16.33%, 12.40%以及11.15%, 2组倾斜轨道卫星体系内贡献度分别为15.92%和17.00%, 1组高轨卫星体系内贡献度为27.21%。这是因为高轨卫星在对固定点以及慢速移动目标覆盖时, 单波束可以实现较长的覆盖时间以及较大的覆盖范围, 因此在本次试验中体系内贡献率较高。

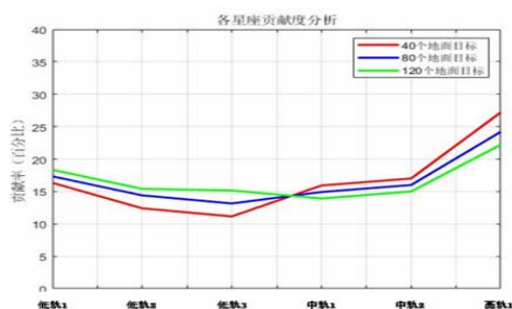


图3 不同目标情况下各星座贡献度

调整地面靶标的数量, 可以看出低轨卫星在体系内贡献度随着靶标数量增多而提高, 高轨卫星以及倾斜轨道卫星体系贡献度有所降低, 这是由于高轨卫星以及倾斜轨道卫星波束数量的限制, 在时间覆盖性上对目标的跟踪能力下降, 因此体系贡献率有所降低。

总之, 相比于文献与文献[9]中提出的效能评估方法, 本文面向电子对抗条件下多源异构星座提出的“信号层、链路层、平

台层、系统层和体系层”五层架构评估方法, 既可以全面整体的评价各卫星系统及节点的体系级或系统级贡献度, 同时也可以根据“时间域、空间域、频率域、能量域和综合域”评价各卫星系统及节点的单项能力, 在实际任务评估系统中有着较好的应用前景。

4 结语

本文面向电子对抗条件下多源异构星座提出“信号层、链路层、平台层、系统层和体系层”五层架构评估方法, 为体系化任务评估提供所需的评估指标、评估算法的设计与管理模型。在指标构建的基础上, 以能力评估指标和指标之间的相互影响关系为基准, 按“时间域、空间域、频率域、能量域和综合域”五域结构设计网络化评估指标体系。基于五层五域的体系效能评估设计方案, 本文构建了面向电子对抗条件下异构星座效能评估仿真系统对评估指标体系进行验证。

仿真结果表明, 本文提出的五层五域指标加权模型, 可以根据各参数对装备体系综合效能的影响程度不同, 通过标度准则和分析方法确定装备体系性能评价中各指标的权重划分进而支撑构建加权评估, 为电子对抗条件下异构星座的效能评估提供支撑和数字化参考。

[参考文献]

- [1]王博阳, 甘荣兵, 张京瑞. 电子对抗效能评估技术综述[J]. 电子信息对抗技术, 2017, 188(04): 54-60.
- [2]陈宁, 权冀川. 电子对抗效能评估技术研究[J]. 舰船电子对抗, 2022, 304(04): 56-62.
- [3]曹嘉平, 欧萌歆. 岛礁防空电子对抗装备体系构建与效能评估[J]. 系统工程与电子技术, 2023, 528(09): 2784-2792.
- [4]施京, 陈伟明. 复杂电磁环境下通信与通信对抗训练效能评估研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2017, 74(06): 626-631.
- [5]李建勋, 童中翔, 樊晓光. 红外对抗过程的效能评估方法研究[J]. 红外与激光工程, 2016, 45(03): 79-88.
- [6]黄建明, 高大鹏. 基于OODA环的作战对抗系统动力学模型[J]. 系统仿真学报, 2012, 238(03): 561-564+574.
- [7]方冰, 张翠侠, 戴昕林. 基于OODA环的网络信息体系信息架构贡献度评估[J]. 指挥信息系统与技术, 2022, 76(04): 52-57.
- [8]周宇昌. 国外天基信息网络概念和体系结构研究[J]. 空间电子技术, 2016, 13(04): 52-56+77.
- [9]于小岚, 熊伟. 基于DBN的天基信息支援装备体系效能评估方法[J]. 指挥控制与仿真, 2023, 304(04): 14-23.
- [10]于小岚, 熊伟, 韩驰. 天基信息支援装备体系效能评估方法研究[J]. 系统仿真学报, 2023, 35(11): 2429-2444.

作者简介:

王楚宣(1996--), 男, 满族, 北京市石景山人, 工程师, 博士研究生, 中国电子科技集团有限公司电子科学研究院, 研究方向为电子科学与技术。