

天地一体化网络空间信息抗干扰技术

Space Information Anti-Interference Technologies in Integrated Space and Terrestrial Information Network

陈新龙/CHEN Xinlong
陈大可/CHEN Dake

(中国空间技术研究院, 北京 100094)
(China Academy of Space Technology,
Beijing 100094, China)

得益于低成本火箭发射技术、微小卫星平台技术和载荷技术的迅猛发展, 实现全球信息, 特别是天基信息共享的天地一体化信息网络正在全世界范围内引发广泛关注^[1]。空间信息系统作为一类在太空中组网应用的特殊信息系统, 因其应用环境的特殊性以及获取信息、传输信息的制约性, 面临着较地面信息系统更为复杂、特殊的抗干扰问题。空间信息抗干扰问题已经成为影响这一网络正常获取信息、有效传输信息的关键问题之一, 直接关系到空间信息在应急救援、智慧城市、国家安全等多个领域的应用。

1 空间信息抗干扰内涵

“空间信息抗干扰”与“空间信息对抗”密不可分。空间信息^[2]对抗是指“空间攻防中, 以信息获取、传输、存储、处理过程为中心构成的对抗。又称空间信息战。是一种信息化的作战形态, 通过破坏敌方信息内容、基于信息过程、信息系统和信息网络, 同时保护己方的信息、信息过程、信息系统和信息网络, 取得制信息

收稿时间: 2016-05-10
网络出版时间: 2016-06-23

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 04-0049-005

摘要: 基于空间信息抗干扰概念和典型系统抗干扰技术应用分析, 提出了天地一体化信息网络中空间信息系统在信息获取、传输、存储和处理过程中均面临干扰的特点。指出了国际上空间信息抗干扰的新趋势, 如系统防护能力愈加全面、系统抗干扰能力不断增强、卫星组网日趋成熟、网络安全协议标准化等, 同时还指出中国空间信息抗干扰面临的新问题, 如多重干扰并存、“弹性”体系中的抗干扰能力生成、国际新环境下空间系统主动抗干扰等, 并给出了天地一体化信息网络空间信息抗干扰未来的研究方向建议。

关键词: 天地一体化信息网络; 抗干扰; 空间安全

Abstract: In this paper, according to the definition of the space information anti-interference and the analysis of applications of the current schemes in foreign typical systems, we discuss the new characteristics during the procedure of the space information transmission, storage and processing. It points out the new trends, such as more comprehensive in system protection, stronger in resist interference, more mature in networking and standardization of network security protocols. In light of current developments in integrated space-terrestrial information network, some new information anti-interference issues must be considered, such as multi-type interference, ability achievement in resiliency satellite architecture and active behavior of space system in the new international environment. We propose some important and new directions for future work.

Keywords: integrated space-terrestrial information network; anti-interference; space security

权。”根据上述定义, 我们认为: 空间信息抗干扰是指以空间信息获取、传输、存储、处理过程为中心, 为保护己方信息、信息过程、信息系统和信息网络, 确保安全、有效地利用空间信息的技术手段。

天地一体化信息网络中, 面临干扰威胁的组成要素有空间段的卫星系统, 包括轨道段的卫星, 信息传输、处理过程的跟踪控制链路 (TT&C) 和数据链路, 以及地面段的地面站、用户设备等, 不同的空间系统和网络设施需要对抗的潜在干扰类型和环节

也不同。文章针对空间信息传输、存储和处理过程中的抗干扰技术, 研究了其他一些国家相关系统和技术的发展现状与趋势, 分析了目前存在的主要问题, 提出了未来的研究方向。

2 典型的空系统抗干扰技术

2.1 美军通信卫星抗干扰技术

美军的受保护通信卫星系统经历了从“军事星” (Milstar) 到“先进极高频” (AEHF) 卫星的更新换代。在

系统建设初期,鉴于当时的冷战、核战形势, Milstar I 卫星突出强调核作战条件下的防护性能;随着冷战结束, Milstar II 卫星弱化了核防护能力,提升了抗干扰能力及通信性能;而 AEHF 是美国新一代高防护性能的地球静止轨道军事通信卫星系统,用于替代“军事星”卫星系统,代表了国际上抗干扰卫星通信的最高水平。针对实时视频、战场图像、目标数据等战术信息传输的新需求, AEHF 进一步提升了通信速率、系统容量,在包括核战争在内的各种规模战争中,为美军关键战略和战术部队提供防截获、抗干扰、高保密和高生存能力的全球卫星通信^[3-4]。其在抗干扰方面的主要技术特点如下:

(1) 业务容量和数据速率获大幅提高

AEHF 卫星在 Milstar-II 卫星低数据率载荷(LDR)和中数据率载荷(MDR)能力的基础上,增加了扩展数据率载荷(XDR)能力,最大数据率提高到 8.192 Mbit/s。AEHF 卫星的单星数据容量从 Milstar-II 卫星的 40 Mbit/s 提高到 430 Mbit/s,超过了 Milstar 卫星通信系统的总和。星间链路数据率也由 10 Mbit/s 提到了 60 Mbit/s。

(2) 采取多重措施以增强抗干扰能力

采用波束成形网络提供调零天线,对于潜在干扰,波束成形网络将使天线自动调零,而在波束覆盖范围内的合法用户则可以正常使用卫星,不需要由地面控制和干涉。而且,采用的波形本身也具有很强的抗干扰能力。此外,除了采用扩频或跳频技术实现低检测概率和低截获概率,还应用了先进的加密技术,密钥由美国国家安全局提供。

(3) 星间链路能力提升互联互通能力

系统中卫星之间具有星间链路,与 Milstar 卫星之间也有星间链路。AEHF 星间链路通过 V 波段(60 GHz)星间链路天线实现,星间链路天线馈

源可以在 60 GHz 的频率上以 5% 的带宽实现单脉冲跟踪。

2.2 GPS 系统抗干扰技术

全球卫星定位系统(GPS)的重要作用和作用使其必然成为攻击的靶子。虽然目前 GPS 系统采用了扩频措施用于降低非授权用户定位精度的选择可用性(SA)措施(已取消),用于反电子欺骗和保密的反电子欺骗(AS)措施(P 码及 Y 码)等,具备了一定的防护能力;但随着攻击技术的研究和发展,只需要以足够高功率、具有适当时空特征的欺骗干扰信号,就可以在指定的威胁区域使 GPS 失效。为此美军方提出了全新的 GPS III 计划,重新设计天基导航和授时系统,包括卫星设计、补充要求、信号增强及抗干扰。有效载荷抗干扰措施主要包括:

(1) 提高空间信号的完善性,要求对星上故障或信号超差能在 60 s 内发出通知。

(2) 采用新的军用 M 码信号,结合新的 M 码信号以抗拒非授权者使用,且能抵抗干扰。

(3) 提高功率和点波束发射,采用高增益点波束天线,能对选定地区集中更高的功率。M 码信号至少增强 20 dB,以对付干扰的威胁。

此外,针对卫星导航在防欺骗方面的脆弱性,研究人员分别从信号体制、终端技术及外部辅助等 3 个方面提出了许多防欺骗技术^[5-8],开展了相关研究。

2.3 英国 Skynet 系列卫星通信系统抗干扰技术

英国的军用通信卫星天网(Skynet)迄今已发展到了第 5 代。Skynet-5 卫星体现了军事卫星通信的前沿,如星上载有特高频和超高频有效载荷,采用调零天线增强抗干扰能力,拥有多种可控点波束,并可通过铱星等提高其通信业务的覆盖面。其主要性能和特点有:

(1) 高性能的卫星平台

欧洲星-3000S 卫星平台是在欧洲星-3000 的基础上专门研制而成的,其综合性能世界领先,能够满足卫星的设计和尺寸要求,可携带 70 台以上的转发器。

(2) 高性能的星载设备

星载设备符合北约防核及防激光辐射设施安全标准。星载的超高频和 X 频段转发器数量是 Skynet-4 转发器数量的 3 倍多,且天线具有多点波束可旋转性;通信容量是 Skynet-4 卫星的 5 倍以上,通信速率也大幅提高,可提供安全可靠的实时加密语音和数据链路通信。

(3) 灵活的覆盖能力

具备覆盖大西洋和印度洋的通信能力,装备有先进的现代化通信设备,可为英军提供安全、高效、大容量的军事通信服务。卫星的 4 副可控天线及超高频和 X 频段转发器,可根据任务需要将波束指向某一地区,使通信效率和灵活性大大提高。此外,还与美国军用卫星相互兼容和联通,同时也与铱星、国际通信卫星和国际移动卫星等商业卫星联通,系统综合利用率既灵活又高效。

(4) 较强的抗干扰能力

采用调零天线增强了抗干扰能力,并且增加了硬度以防核辐射和激光侵蚀;同时采用如码分多址、星上处理和多波束调零天线覆盖等现代通信的高新技术,使得英军在未来 10 年的信息化作战能力和全球机动作战保障能力等方面得到了进一步的提升。

(5) 新型电子密钥管理

安装了新型密码装置,该系统中的 CLERISY 采用美国的电子密钥管理系统标准协议。为通信保密管理人员提供自动管理、生成、分发、存储、统计和访问控制等功能。

2.4 俄罗斯通信卫星抗干扰技术

俄罗斯卫星通信起步早,拥有多个卫星通信系统,陆海空三军都装备

有卫星通信终端,但是数字化水平低,功率小,数据传输速率低,其能力远低于美国等西方发达国家的卫星通信系统。其主要特点是依据较多种类的卫星以及卫星星座构成相应的卫星通信系统。

2.5 其他相关技术发展

随着空间技术的发展,一些新型的防御措施也可以起到信息抗干扰防护的作用^[9-10],例如,空间网络安全协议的标准化、在星间采用的具有高度保密性及抗干扰性的激光通信手段、卫星轨道机动技术以保障卫星正常工作以及“弹性”。

2.5.1 CCSDS 通信安全协议

民用空间链路采用国际空间数据系统咨询委员会(CCSDS)标准,美国和欧洲军用航天器也在推广CCSDS标准。CCSDS协议较为广泛的应用集中在链路协议。链路层安全协议只能hop-hop级,但是空间链路可以考虑采用链路层以上的安全协议实现端到端的安全性^[11-13]。对于现有的链路层通信安全协议来说,主要考虑CCSDS标准中的空间通信协议规范-安全协议(SCPS-SP)和地面成熟的互联网安全(IPSec)协议。

2.5.2 空间激光通信技术

空间激光通信是以激光作为信号载体,在自由空间信道和大气信道中传输,实现信息交换。较于微波通信,在传输速率和容量方面,激光通信具有频带宽、潜在传输速率高的优势;在通信安全性方面,激光通信具有保密性好以及抗干扰这一明显优势;此外,激光通信终端体积小、重量轻、功耗低,非常适合卫星搭载。美国把激光通信作为航天技术重点发展的18个领域之一。发展包括月球激光通信演示(LLCD)项目、火星激光项目等。其中,LLCD项目是世界上首次进行深空激光通信在轨演示验证的项目。该体制也为美国国家

航空航天局(NASA)今后发展深空激光通信的主要方式。

2.5.3 卫星轨道机动技术

美国在轨运行的高级光电成像侦察卫星“锁眼”具有极强的机动变轨能力,燃料用完后可由航天飞机对其进行在轨加注,因而可随时调整卫星轨道。利用卫星自身机动能力,既能够机动灵活地在轨道上运行,躲避反卫星武器的攻击进行被动防御,又可以在其上安装空间监视装置,攻击告警装置和针对威胁的对抗装置,部署在主卫星周围进行伴飞,当发现有针对卫星的攻击行为时,可以针对攻击进行诱骗、阻挡或拦截等主动防御。可以说,该系统是美军对空间防御问题进行长时间思考的结果^[14]。

2.5.4 灵活的“小空间”系统

“小空间”系统因研制周期相对较短,具有快速响应、按需发射、灵活组网、成本可控的独特优势,可显著增强美国的空天系统弹性^[15]。作为探索小卫星迈向作战应用的重要项目,美国的“作战响应空间”(ORS)项目已经取得显著进展。该类系统既可降低技术风险,节约研制费用,缩短研制周期,又可以增强空天系统的灵活性和强健性,空间单个节点失效将不会造成整个系统服务能力失效。

3 空间信息抗干扰发展趋势分析

(1)大力发展军事通信卫星的抗干扰能力

通过发展星载高分辨率多波束自适应调零天线技术、极高频(EHF)抗干扰技术、直扩(DS-SS)和跳频(FH)、跳时(TH)技术及其混合技术、星上再生处理技术等,消除对方的强干扰,保证卫星安全稳定运行。如美国的抗干扰系列卫星AEHF,英国的Skynet系列卫星等代表了当今世界卫星通信抗干扰技术的最高水平,并且保证了卫星具有很强的抗干

扰功能。

(2)系统防护能力愈加全面

根据可能面临的各种干扰威胁,美军对抗干扰卫星通信系统都进行了全面的防护设计,在系统平台、载荷、测控链路、通信链路等各方面都进行了精心考虑,采用了各种先进的电子防御手段,确保系统没有明显的短板,能够对抗各种形式的干扰威胁。英、法等国外空天系统也针对潜在的干扰采取了较为全面的防护设计。空间信息抗干扰技术正向抗核辐射、高可控、高防护能力方向发展。

(3)系统抗干扰能力不断增强

从Milstar-I系统的单用户最高速率为2.4 kbit/s,但是单星容量不到0.5 Mbit/s,发展到Milstar-II系统的单用户最高速率1.544 Mbit/s,单星容量40 Mbit/s,到AEHF系统单用户最高速率达8 Mbit/s、单星容量430 Mbit/s,其规划的下一代系统单用户最高速率为45 Mbit/s,单星容量近10 Gbit/s。空间信息抗干扰技术正朝着超大容量、超宽带、高速率保密通信的方向发展。

(4)卫星组网日趋成熟

无论是美国的军事星系列,还是英国的Skynet系列,或是借用商业卫星的军事通信,均为组网应用方式,既有高轨卫星组网,又有中、低轨卫星组网。卫星组网在很大程度上增加了卫星的自主性,提高了卫星系统的抗干扰和抗毁能力。

(5)网络安全协议标准化

无论是欧洲航天局(ESA)还是NASA,都对CCSDS中规定的标准大力推广。在民用航天方面,已经得到大量应用,在军用航天方面,也在推广。采取的安全方案往往简洁明了,易于执行。

4 空间信息抗干扰存在的问题

上面介绍了近年来典型空间信息抗干扰技术的主要研究成果,这些工作都取得了一定成效,但随着

新技术和干扰/攻击手段的不断发展,目前仍有几个方面的相关问题有待解决。

(1)多重干扰并存下的空间信息系统可用性问题

对空间信息系统的干扰手段是多样的,抗干扰的措施也层出不穷,但是现在还没有一种抗干扰技术可以抵御任何干扰。可以说,空间信息系统的抗干扰是一项系统工程,它要综合考虑到干扰方可能采用哪些干扰手段的最低通信需求,或者自然干扰的特征是什么,并根据其具体环境来选择相应的抗干扰手段。

(2)“弹性”体系中的抗干扰能力生成问题

未来空间信息网络不仅通过单一手段进行信息安全防护,网络中的路由技术可以是跨层设计,通信链路中的抗干扰手段可从信息层面到信号层面都进行防护,并采用多种新型的手段,防止信息被截获或者篡改。

(3)国际新环境下的空间系统主动抗干扰问题

从目前以美国为首等发达国家发布的空间战略中可以看到,其对于空间网络的安全观发生了重大转变,从以往的基于安全防护的基调转变为增加空间威慑力,但同时也表明开展航天国际合作的态度。

5 结束语

信息网络抗干扰问题不容忽视,

需要客观分析面临的潜在干扰威胁,特别是空间信息系统的抗干扰问题,寻找切实可行的技术方案。文中,我们讨论了空间信息抗干扰的概念内涵,研究了典型空间系统的抗干扰技术发展,总结了空间系统防护能力、抗干扰技术手段、应用模式、协议标准化等方面与空间信息抗干扰相关发展趋势,并探讨了这些技术存在的问题。

参考文献

- [1] 张乃通, 赵康健, 刘功亮. 对建设我国“天地一体化信息网络”的思考[J]. 中国电子科学研究院学报, 2015,6(10): 223-230
- [2] 王兆耀, 张育林, 张珩, 等. 中国军事百科全书(第二版)军事航天技术(学科分册)[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2008
- [3] 张春磊. 美军“移动用户目标系统”与“特高频后继”卫星性能对比分析[J]. 国际太空, 2015(4):46-50
- [4] 朱贵伟. 美国先进极高频-2军事通信卫星[J]. 卫星应用, 2012(4): 封三
- [5] LEE G C, GUO L X, SUN J J, et al. Research on the GPS Signal Scattering and Propagation in the Tropospheric Ducts[C]// International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP). USA: IEEE, 2013:1102-1105
- [6] JONATHAN A, LIU H. Modeling and Characterization of GPS Spoofing[C]//IEEE Conference on Technology for Homeland Security. USA: IEEE, 2013: 729-734. DOI: 10.1109/THS.2013.6699094
- [7] WANG E, ZHAO W, CAI M. Research on Improving Accuracy of GPS Positioning Based on Particle Filter[C]//in Processing of IEEE 8th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). USA: IEEE, 2013: 1167-1171. DOI: 10.1109/THS.2013.6699094
- [8] 黄龙, 吕志成, 王飞雪. 针对卫星导航接收机的欺骗干扰研究[J]. 宇航学报, 2012, 33(7): 885-890
- [9] DAVIS T M, ATWOOD T, SKARUPA V. Operationally Responsive Space: Assured Space Power Focused On Timely

Satisfaction of Joint Force Commander Needs [R]. 2013

- [10] YASAR N, FATIH M, YUCEL T. Operational Advantages Of Using Cyber Electronic Warfare(CEW) In The Battlefield[C]// in Processing of SPIE 8408 Cyber Sensing. USA: SPIE, 2012(8408G): 1-9. DOI: 10.1117/12.919454
- [11] CCSBS. Authentication/Integrity Algorithm Issues Survey: CCSBS 350 3-p1[S]. USA: CCSBS Secretariat, 2008
- [12] DIERKS T, RESCORLA E. The Transport Layer Security (TLS) Protocol: RFC 5246 [S]. USA: ISOC, 2008
- [13] CCSBS. Security Threats against Space Missions[S]: CCSBS 350 1-G-1.USA: CCSBS Secretariat, 2006
- [14] 王景泉. 美国调整军事航天器的发展策略[J]. 航天器工程, 2014, 6(23): 98-104
- [15] 梁巍. 斯诺登泄密文件暴露美国天基侦察系统发展现状[J]. 国际太空, 2014(8): 4-13

作者简介



陈新龙, 中国空间技术研究院(五院)钱学森空间技术实验室博士、高级工程师, 中国指挥与控制学会专业委员会委员, 五院科学技术委员会专业组专家; 长期从事新概念航天器总体设计、卫星动力学与控制等研究工作; 先后主持完成总装预研、“863”等多项课题研究; 发表学术论文10余篇, 获得多项国防/国家发明专利。



陈大可, 中国空间技术研究院(五院)钱学森空间技术实验室博士、工程师; 长期从事新概念航天器总体设计、卫星供电系统设计等研究工作; 作为课题技术负责人或主要成员承担总装预研、军口“863”、国防科工局项目10余项; 发表学术论文及国防科技报告8篇, 申请多项国防/国家发明专利。

综合信息

物联网五大新兴“战场”显现工业互联网规模庞大

战略咨询公司贝恩近日发布《物联网的新兴战场》报告称,物联网正在快速发展。该报告介绍了物联网的5个新兴“战场”,旨在帮助企业正确界定物联网。

(1)消费者物联网:众多公司将业务延伸到可穿戴设备、智能家居等领域,引领消费者物联网的发展。

(2)工业互联网:工业互联网规模将比消费市场更大。由于能帮助企业降低成本、增加需求和扩大影响,越来越多的企业包括国际大企业都开始采用工业

互联网技术。

(3)网络:许多行业将要求能够实时分析其网络,实现方法就是拥有能够支持超高网速的高效网络。

(4)实时分析:物联网的普及将导致企业对网络、服务器等的实时分析产生更大的需求,企业和分析服务提供商之间的紧密合作将会带来多个领域的创新。

(5)自动化:无人驾驶汽车、无人机和机器人等自动化技术的出现和发展,将为消费者和企业提供许多好处。

(转载自《中国信息产业网》)