

未来智能化网络化多功能卫星系统技术发展思考

陈占胜

(上海卫星工程研究所,上海 201109)

摘要:我国卫星领域经过几十年的发展,现在正面临技术创新突破的关键时期。以美国“星链”为代表的大规模星座系统的出现,展现了互联网+航天时代的前景雏形。同时,人工智能技术迅猛发展,神经网络、机器学习和大数据挖掘等成果转化应用,可大幅提升卫星自主运行、星上数据处理以及多任务适应能力。本文通过对近年来国外典型卫星系统发展进行深入解剖,从未来卫星网络化、智能化和多功能特点分析技术发展布局、应用模式创新和研产模式转型等影响,提出适应上述改变的举措建议,为我国卫星技术创新发展提供有益参考。

关键词:智能化;网络化;大数据;低成本;批量化生产

中图分类号: V 474.2

文献标志码: A

DOI: 10.19328/j.cnki.2096-8655.2021.03.008

Consideration on the Development of Intelligent Networked Multifunctional Satellite System Technology in the Future

CHEN Zhansheng

(Shanghai Institute of Satellite Engineering, Shanghai 201109, China)

Abstract: After decades of development, China's satellite field is facing a critical period of technological innovation and breakthrough. American starlink epitomizes the emergence of large-scale constellation system, which shows the prototype of Internet+Space Era's prospect. At the same time, the rapid development of artificial intelligence technology and the transformation of neural network, machine learning, and big data mining can greatly improve the autonomous operation, on-board data processing, and multi-task adaptability of satellites. In this paper, the development of typical foreign satellite systems proposed in recent years is studied in detail, and the effects of networking, intelligence, and multi-function of future satellites on the aspects such as technology development layout and application model transformation are analyzed. Some useful suggestions and measures adapting to the above changes are put forward, which can provide beneficial reference for the innovation and development of satellite technology in China.

Key words: intelligent; networked; big data; low cost; mass production

0 引言

近年来,以互联网、信息技术等为代表的高科技发展日新月异,对传统工业领域形成猛烈冲击,形成新概念、新技术在不同领域交叉融合的新局面。在卫星领域,随着人工智能、大数据和互联网等多项前沿技术在“黑杰克”“星链”系统中的成功应用^[1-4],为未来先进卫星形态的形成以及高效应用

奠定了技术基础。本文对国外先进卫星进行深入研究,并基于应用需求和技术推动角度对我国卫星技术发展趋势做出研判,阐述了“互联网+”“人工智能+”“大数据+”及科研模式转型对我国卫星转型发展的具体影响,进一步提出后续发展举措与建议,为建设我国具备网络化、智能化多功能特点的先进卫星系统提供一定支撑。

收稿日期:2021-03-10;修回日期:2021-04-16

作者简介:陈占胜(1970—),男,硕士,研究员,主要研究方向为卫星总体设计。

1 国外先进卫星系统技术特点

1.1 发展现状

1.1.1 美国国防高级研究计划局“黑杰克”项目

2018年4月,美国国防高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)牵头启动了“黑杰克”卫星项目,旨在利用新兴商业低轨星座发展的经验成果,建立高度“弹性”、拥有自主运行能力、成本低廉的低轨卫星星座。项目远期目标是构建60~200颗规模的卫星星座,运行于500~1300 km的轨道高度,每颗卫星均装载智能化协同任务管理系统“Pit boss”,可完成多类信息融合处理、网络化传输和分发^[1-2]。基于通用化平台、模块化载荷及标准化接口设计理念,实现卫星“即插即用”和批量化生产,满足大规模星座“快速建设、组网运行、弹性维护”的紧迫需求。同时,利用大规模星座网络化特征,可以实现星座关键功能的冗余备份和“去中心化”,确保在部分成员卫星损失的情况下,星座的功能依然可靠。项目计划在2022年完成20星低轨演示验证星座的部署。

1.1.2 美国太空探索技术公司“星链”计划

美国太空探索技术公司(SpaceX)于2015年1月正式提出“星链”计划,旨在以部署大规模星座的方式,提供覆盖全球的低成本高速互联网服务^[3-4]。计划自2019年5月开始实施,截至2021年2月已完成1145颗卫星发射,由此拉开了大规模星座部署和卫星互联网服务的先河。“星链”计划采用分阶段实施方式,计划首先在2021年底发射1600颗卫星,重点为美国本土及加拿大提供服务,初步具备全球化覆盖能力,后续在2024年、2027年前分别完成4425颗Ka/Ku波段卫星和7518颗V波段卫星的发射,预计最终组网卫星总数达11943颗^[4-6]。2021年1月公布的测试结果表明,“星链”网络下载速率190 Mbit/s,上传速率28 Mbit/s,网络延迟约为53 ms,具有进一步提升空间。

1.1.3 美国一网公司“一网”项目

美国联邦通信委员会(Federal Communications Commission, FCC)于2017年6月22日表决批准了“一网”(Oneweb)星座建设计划。该星座拟在轨道高度1200 km的18个轨道面上部署720颗卫星,卫星与用户终端之间采用Ku频段通信,卫星与地面站之间则采用Ka频段通信,旨在为用户提供与光纤

网速相当的互联网接入服务。2020年8月27日,FCC批准“一网”增发1280颗运行在轨道高度为8500 km的V波段卫星,预计最终组网卫星总数达2000颗。截至2020年3月,已成功部署74颗卫星^[6-8]。“一网”卫星采用天星地网模式,卫星作为连接用户终端与地面站的通道,借助分布全球的地面站实现全球网络服务。“一网”卫星上无需实现路由、交换等复杂处理功能,卫星之间不设星间链路,降低技术复杂度,同时也降低了卫星成本。

1.2 技术特点分析

1.2.1 弹性化

21世纪以来,美国将空间弹性能力作为未来太空体系的重要发展方向,逐渐将“弹性”概念应用到实际项目中,并于2018年4月启动“黑杰克”项目,2019年7月公布“下一代国防空间架构”^[9-11]。“黑杰克”与“下一代国防空间架构”均通过部署大规模星座来有效降低系统风险,提升容错备份能力。以“黑杰克”项目为例,该项目通过第1期部署20颗技术验证星和第2期部署90颗技术验证星的分步建设、边建边用、以用促建的方式,实现星座规模的弹性扩展。“黑杰克”通过对组网卫星进行快速迭代更新,以确保硬件可靠、技术领先。组网卫星任务载荷支持即插即用,具备多元能力,可实现星座功能的弹性扩展。

1.2.2 模块化

部署大规模星座需要在短时间内完成大量卫星的设计、生产、测试和发射,卫星采用“模块化”研制模式,可提高多星并行研制效率^[7]。“一网”星座借鉴汽车制造理念,将整星拆分为4个可独立并行测试组装的模块,缩短整星装配时间,仅在关键生产点通过检查设备测试模块性能。“黑杰克”采用“通用平台+多元载荷”的设计理念颠覆了传统的“专用平台+专用载荷”设计模式,采用通用化商业卫星平台和可更换的模块化载荷,实现卫星功能“即插即用”,大幅缩短卫星研制周期。

1.2.3 低成本

大规模星座的部署以大幅降低单星成本为前提。如“黑杰克”使用工业化元器件代替宇航级产品,单星制造成本不超过200万美元。“一网”公司利用卫星批量化生产技术降低研发成本,已经完成了卫星生产线的建设,具备日产卫星2颗、单星制造成

本不超过100万美元的能力。SpaceX公司则通过集卫星设计、制造、装配、测试、发射和运营于一身来解决成本问题,已经实现了日产卫星7颗、单星制造成本约50万美元的能力。此外,SpaceX公司通过火箭可回收技术、一箭60星发射技术等,可使单位质量发射成本降低至竞争对手的1/3~1/2,单星发射成本降低至约60万美元。

2 我国卫星技术发展趋势研判

我国卫星领域历经60多年发展,实现了从无到有、从小到大的伟大转变。长期以来,我国卫星领域科研生产采取对标欧美发达国家的“跟随式”发展思路,集中力量解决装备有无以及单星性能提升问题,迅速拉近了与美俄等世界航天强国之间的技术差距,使我国跻身于世界航天大国之列。

近年来,随着防灾减灾、资源勘测、天气预报等业务应用需求的不断提升,要求卫星系统数据多源化、信息实时化、服务大众化,同时人工智能、大数据、云计算等新技术迅猛发展,为未来卫星系统的智能化、网络化发展提供了良好的基础。在国家战略需求牵引和技术发展推动下,以网络化、智能化、多功能、低成本、可批量生产和快速部署为重要特征的大规模卫星星座将成为发展的必然趋势。

2.1 具备网络化互联互通能力

互联互通是大规模星座实现弹性组网、自主协同的基础。然而,过去部署的星座仅仅是传统意义上的区域覆盖星座。星座拓扑固定,卫星之间的协同仍然依靠轨道设计与事先设定的配合模式,信息传输链路单一,无拓展功能,新入轨的卫星难以无缝链接进入星座之中。未来大规模星座将呈现网络化趋势,体系互联、自主协同,以星为主、星地互补,实现“天-地-终端”的“连接一切”的多节点贯通能力,用户节点可按需接入,解决全域要素的信息共享时效性问题,最终形成“信息触手可及、服务随信而至”的泛在服务能力。

2.2 具备高置信度的智能化水平

抢险救灾和应急观测等应用对卫星数据具有极高的时效性要求,信息获取、处理和传输都尽可能减少对地面的依赖。大规模星座任务多样、各成员节点间相互约束多,因此,智能协同是星座发挥

集群化效能的核心。未来大规模星座将拥有高度自主性,是具备强大的在轨数据处理、任务组织管理、数据实时传输能力的“智慧星座”,可以灵活组配功能子系统,实现对多重任务的灵活高效响应,实现从接收任务、智能规划、任务执行和完成效果评估的全闭环。可以融合处理多源数据信息,提升在轨卫星数据利用率,如通过星上数据处理,对疑似火灾区域进行判别,并对其他卫星进行任务调度、加密观测等。

2.3 具备极高的体系健壮性和功能可塑性

传统的卫星研制和应用重视单星或单个卫星体系的性能提升。单星规模较大,且造价昂贵,面临单星失效则任务停止的风险;而大规模星座将更加注重体系性能提升,将传统大卫星高精尖技术以及多功能分散到多颗子节点星上,降低卫星研制成本与技术难度,也降低大卫星失效带来的系统降效风险。另外,大规模星座由载荷手段齐备、轨道部署优化、性能搭配合理的各类卫星组成,可按需聚合成执行特定任务的临时子系统,大幅提升系统的功能可塑性。

2.4 具备快速、低成本、批量化研产能力

大规模星座的快速构建与长期稳定应用,需要在短时间内完成大量卫星研产和发射,对批量化制造能力提出了极高需求。新技术快速发展,带动卫星技术快速迭代更新,卫星系统的换代周期必将大幅缩短,研制周期也需相应缩短,才能始终保持技术的先进性。同时,随着空间碎片数量的大幅增长,卫星系统面临越来越复杂的空间环境,对快速补充能力的需求也愈加迫切。因此,缩短研制周期、批量化生产、降低成本造价等将倒逼传统科研生产模式转型。

3 我国卫星转型发展影响分析

我国卫星转型发展需要综合多方面影响因素,既受国外卫星技术发展趋势的影响,也有我国现实国情与产业升级的内在驱动,表现在三个方面:1)在功能性能方面,互联网、人工智能、大数据等前沿技术加速与卫星领域交叉融合,提升单星、星座的智能化、网络化和信息化水平,并从体系综合应用角度构建分布式、弹性化星座系统,提升卫星星

座的健壮性;2)在产能方面,持续推动科研生产模式转型,探索低成本、批量化卫星研产方法,有效支撑未来我国大规模星座快速部署及商业卫星竞争;3)在自主可控方面,大力推动我国卫星平台、单机和部组件的自主可控力度,确保我国卫星独立、可持续发展,打造我国自主可控、优势明显的卫星全产业链及产业生态系统。

3.1 “互联网+航天”重塑未来以信息为核心的卫星体系新架构

“互联网+”模式具备“连接一切、开放生态、重塑结构、创新驱动”4大特征,与卫星领域的深度融合可有效提升卫星系统信息化能力。1)“连接一切”的多节点贯通能力,快速、高效实现全域要素的信息共享,塑造信息高速交互、装备高效协同、行动高度统一的卫星体系新模态;2)基于身份验证、防火墙、拓扑重构等安全防护手段和理念,实现权限控制与网络稳定,维护天基信息网络安全;3)以构建多级根节点的方式搭建全链路系统总体架构,降低对个别根节点小系统的依赖,逐步完善体系内多级、分层互联能力;4)结合人工智能、大数据、云处理等领域研究成果,实现智能天基网络优化重组、智能节点装备和智能任务规划重组等能力。

3.2 “人工智能+航天”提升卫星在轨资源与任务管控能力

“人工智能+”是加速我国卫星装备智能化进程的有效方法,在卫星智能任务规划、管控及数据处理等环节应用效益明显:1)提升单星和星座任务规划自主程度,通过引入多智能体、深度神经网络等理论,可使在轨卫星在不依赖地面运控干预的条件下,即可实现任务自主闭合;2)为在轨资源管控提供最优选择,通过深度强化学习及相关资源管控策略,针对单星可支持热控、能源及计算资源的精准管控与高效分配,也可支持多星网络实现虚拟资源池、云资源等智能管理;3)为在轨卫星健康运行提供可靠保障,通过深度学习建立并维护专家知识库,单星具备重启复位与备份切换功能,星座网络具备故障节点发现、节点隔离等功能;4)在数据处理方面,开发天上超算力处理芯片,支撑卫星数据高效分级分类处理及深度处理融合。

3.3 “大数据+航天”拓展卫星信息服务的广度和深度

“大数据+”在卫星海量数据快速处理、多源信息高效融合和服务信息深度挖掘等方面具有天然优势,可大幅提升卫星数据的利用率。其应用优势主要表现在:1)提高了数据分析处理的时效性,依托空间组网与链路互通,通过打造多星分布式深度处理模式,大幅提升对海量数据的处理速度;2)提高了多源数据的利用率,充分利用天基信息多源大数据的特点,通过信息融合的方式实现多源大数据优势互补,整体可实现“1+1>2”的效果;3)拓展对服务产品的认知与应用,通过对海量大数据信息进行深度挖掘分析,可透过信息表象清晰认知到关注对象的本质意图,同时形成分级分类的情报专题产品,满足用户对便利化服务的需求。

3.4 科研模式转型大幅提升批量研产与成本/周期管控能力

新时期卫星科研模式聚焦解决传统定制化模式带来的研制流程固化、量产能力不足和产品升级缓慢等问题。具体实施途径如下:1)加强顶层思维和应用体系研究,深化对卫星装备的认识,可量化评估卫星装备与其他装备的综合应用效能,支撑卫星装备技术方案及应用模式优化;2)提升卫星设计、装测、试验流程的信息化水平,以数字化模装替代实物实装,避免技术状态反复造成的成本上升与周期延长;3)加强创新管理模式改革,以适用性为导向加大新技术投入力度,促进新技术的转化应用,提升技术创新带来的综合效益;4)优化卫星研制流程,修订完善各项规范和规章制度,加大数字化仿真验证能力建设,实现面向全员、全要素、全过程和全数据的精细化管理。

4 发展举措与建议

4.1 加强筹划,加速推动大规模星座体系建设

面向未来卫星系统综合化、网络化、智能化的新发展形态,建议加强顶层筹划,深入研究论证未来卫星系统的顶层构架、系统组成、运行和应用模式等,打破当前卫星系统以单星观测为主,体系交互通信、引导协同能力不足,综合观测能力尚未充分发挥的现状,构建“要素完备、体系互联、协同自

主、应用便捷和融合包容”的大规模星座卫星系统。

通信广播网、导航授时网作为大规模星座的“信息高速公路”,可实现对全网节点、全域用户的准实时连续覆盖,并集成导航增强、物联网等功能,支持针对不同业务类型的分类、分流、分级等服务应用。对地遥感网作为大规模星座的“信息获取端”,综合各种遥感手段的技术优势,由多个功能型星座组成。除常规任务外,可根据需求从各功能星座中抽取节点卫星,聚合成特定的任务系统,在通信广播网、导航授时网的支持下,协同完成各类任务。

4.2 提前谋划,逐步开展核心技术攻关和验证

提升卫星装备的信息化、智能化以及协同化水平将是大势所趋。通过引入人工智能技术,形成任务智能规划、资源智能管控、健康智能管理的全新应用模式,实现装备自适应学习能力,提高装备特殊环境应对能力;通过引入大数据分析技术,利用在轨多节点分布式计算、存储资源,进行海量信息处理和多源信息融合,揭示信息表象背后的意图与趋势。

构建未来大规模卫星星座系统,需要加大新技术投入力度,特别是对大规模卫星网络构建、自主任务智能调度协同、海量数据在轨存储/处理/快速传输等相关技术提前布局,作好相关技术规划和论证,强调技术的体系性和适用性,系统解决任务需求涉及的各项技术的协调统一,并有计划、有步骤地开展攻关和在轨验证。

4.3 系统思维,提升批量化低成本研产能力

大规模星座的建设,对卫星设计、制造和发射等提出了更高的要求。在卫星设计方面,采用“模块化载荷+通用化平台”的基本架构,打破传统卫星平台围绕载荷设计的“订制化”模式,实现业务去平台化、载荷去平台化、即插即用、缩短研制周期和降低研制成本。在卫星制造方面,推动工业化、标准化、自动化研制生产,以及批量化智能测试能力建设,适应大规模、批量化同构卫星的研试任务;加大数字化仿真验证能力建设,提升高效试验验证及评估能力;大力提升基础管理过程中信息化、数字化水平。在卫星发射方面,大力推动星箭一体化总体布局,研究适应一箭多星发射要求的布局构型、

机电控制技术群落,大幅提升卫星部署规模并降低部署成本。

4.4 夯实基础,提升产品自主可控能力

随着西方对中国的封锁压制逐渐拓展到高科技领域,在我国卫星领域持续推动自主可控是必由之路。1)加大基础投入,筑牢卫星工业基础,以提升卫星产能为重要目标构建新型卫星产业链和产业生态系统;2)促进技术研究成果转化应用,高度支持卫星工程产业化发展;3)加强知识专利重视程度,在未来空间资源、电磁频谱竞争愈加激烈的大趋势下,进一步加大对航天专利、技术的保护与应用,争取成为未来国际航天领域技术的引领者和规则的制定者;4)探索低成本国产化代替新方法,国产化代替是实现自主可控的有效保障,在当前国际商业卫星迅猛发展的背景下,发展低成本卫星将极大地提升我国商业卫星效费比、增强商业市场竞争力。

5 结束语

本文分析了国外先进卫星技术特点,从需求牵引和技术推动的角度对我国卫星技术发展趋势做出研判,明确了未来我国卫星将朝着网络化、智能化、功能可塑、低成本和自主可控等方向发展。同时,重点论证了“互联网+”“人工智能+”“大数据+”及科研模式转型对我国卫星转型发展的影响,并从体系建设、技术布局、研产能力和自主可控等多个维度提出发展举措与建议,可有效指导新时期我国先进卫星系统建设。

参考文献

- [1] 李菲菲,胡敏,武瞰,等.“黑杰克”项目动向及应用前景分析[J].中国航天,2020(9):57-61.
- [2] 刘韬,陈双.“黑杰克”之“赌台官”自主任务系统进展[J].国际太空,2020(12):32-37.
- [3] HUANG J, CAO J, Recent development of commercial satellite communications systems [J]. Artificial Intelligence in China, 2020(572): 531-536.
- [4] 李博.SpaceX启动大规模试验星部署的几点分析[J].国际太空,2019(6):12-16.
- [5] 杨文翰,花国良,冯岩,等.星链计划卫星网络资料申报情况分析[J].天地一体化信息网络,2021(1):60-68.

(下转第108页)