

人工智能技术在航天工程领域的应用体系研究

郝晓龙¹ 白鹤峰¹ 熊春晖² 张永强¹ 刘念¹

(1 北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094)

(2 国防科技大学 信息通信学院, 武汉 430010)

摘要 在系统分析和总结人工智能航天领域应用研究现状的基础上,开展了智能航天体系顶层设计,从分系统、单星、体系等多维度研究了航天领域人工智能应用分级标准,提出了智能航天体系概念内涵,基于安全性、可用性、可扩展性等约束,提出包含底层基础设施、智能算法层、体系层、应用层等多层次的人工智能航天体系架构,给出了各层次的主要构成、支撑技术、相互关系以及交互模式,可为加速推进新一代人工智能技术在航天领域的应用提供参考。

关键词 人工智能;航天体系;架构设想

中图分类号:P128.4; P145.6 文献标志码:A DOI:10.3969/j.issn.1673-8748.2020.05.004

Research on Application Framework of Artificial Intelligence in Space System

HAO Xiaolong¹ BAI Hefeng¹ XIONG Chunhui² ZHANG Yongqiang¹ LIU Nian¹

(1 Beijing Institute of Tracking and Telecommunications Technology, Beijing 100094, China)

(2 College of Information and Communication, National University of Defense Technology, Wuhan 430010, China)

Abstract: Based on the systematic analysis and summary of the application research status of artificial intelligence in the field of space, the overall design of intelligent space system is carried out, the application classification standard of artificial intelligence in space field is studied from the perspectives of subsystem, single satellite and system, the concept of intelligent space system is proposed, the multi-level intelligent space architecture including the infrastructure, intelligent algorithm layer, system layer and application layer is proposed based on the constraints of security, availability and scalability, and the main structure, supporting technology, interrelation and interaction mode of each level are given, which provides a reference for accelerating the application of the new generation of artificial intelligence technology in the space system.

Key words: artificial intelligence; space system; system framework

近年来,新一代人工智能(Artificial Intelligence, AI)技术研究迅速升温,世界主要发达国家均把人工智能作为提升国家竞争力、维护国家安全的重大战略,加紧出台规划和政策,抢占战略制高点^[1]。2016年,美国发布全球首份国家层面AI发展战略计划——《国家人工智能研究和发展战略计划》^[2],

制定了人工智能的七大发展战略;欧盟启动全球最大民用机器人研发计划(SPARC)^[3];2017年,我国发布《新一代人工智能发展规划》,明确提出我国人工智能三步走的目标^[4]。

同时,以计算机视觉、自然语言理解与交流、认知与推理、机器人学、博弈与伦理、机器学习为核心

收稿日期:2020-04-28;修回日期:2020-08-31

作者简介:郝晓龙,男,硕士,助理研究员,从事航天总体技术研究。Email: haoxl@beidou.gov.cn.

Copyright © 2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的人工智能技术迅速发展,已逐步渗透到各个行业,引领传统产业转型升级。

作为战略前沿技术,人工智能技术与航天领域的结合有其特殊优势,空间环境广袤单纯、航天任务流程标准化程度高、航天器在轨自主性需求高、航天控制系统自动化基础较好,特别是近年来航天大发展积累的大量的、多维的、完备的基础大数据和知识库等,为人工智能技术在航天领域的应用提供了良好的基础,智能感知(学习)、主动认知、自动控制、自主管理、复杂处理、互联互通、重构升级等已成为未来航天系统的基础能力。

本文在分析航天领域智能化发展历程的基础上,研究了航天领域人工智能分级标准,提出智能航天体系概念内涵,设计了多层次智能航天体系框架,提出了航天领域人工智能应用的基础能力需求和重点方向,以推动智能航天系统发展,实现航天活动能力质的飞跃。

1 航天领域人工智能发展历程

航天任务是一个典型的知识处理过程,人工智能在解决航天任务的复杂逻辑推理和众多约束条件时具有天然优势,航天领域的人工智能应用研究始于20世纪70年代末,1977年,美国国家航空航天局(NASA)机器智能与机器人学的研究小组受命研究人工智能对整个航天领域的影响^[5],此后,航天领域的人工智能研究大致经历了诞生、萌芽、兴起、重视到深化几个阶段,如图1所示,可以看到,人工智能在航天领域应用的广度和深度都进一步拓展,人工智能已经渗透到航天设计、研制、发射以及运行各个阶段。

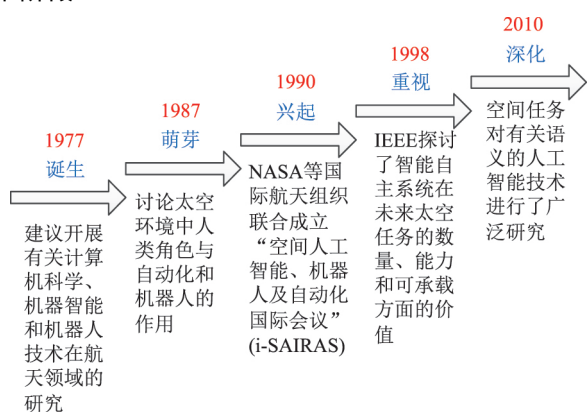


图1 航天领域人工智能技术发展

Fig. 1 Development of artificial intelligence

technology in space field

人工智能在航天领域应用主要集中在星上数据处理与解译、自主任务规划、自主故障检测、多星协同以及空间机器人等方向,其中以美国的研究最具代表性,开展了一系列智能航天系统试验和计划:①战术卫星-3(TacSat-3)的运载管理试验中对自动推理系统的行为问题进行了研究,自动推理系统主要用于故障检测和诊断^[6];②2006年发射的技术卫星-21(TechSat-21)用于演示编队飞行及在轨自主技术,以提高快速响应能力和改进操作效率,其自动科学与航天器(ASE)软件被安装在卫星上用于实现在轨任务规划、调度与执行,以及在轨观测规划分配^[7];③美国天基监视系统具有全天时持续工作能力,可以快速扫描、发现、识别、跟踪低轨至高轨目标,支持卫星在轨性能升级,如探测更小的目标、自动跟踪感兴趣目标以及提高系统使用效率等^[8];④NASA的深空探测计划中^[9-10],深空1号(DS-1)验证了部分自主技术,包括自主导航技术、自主远程代理技术、自主软件测试技术和自动代码生成技术,实现了一定程度的自主规划、诊断和恢复能力;2017年,NASA宣布用开普勒探测器发现了第二个“太阳系”,采用了Google提供的AI模型对探测器拍摄的天文图像进行分析;全新一代火星漫游车“火星2020”,能够自主避障,自主选择兴趣目标、探测条件和最佳探测方案。NASA未来的深空无人探测器,欧罗巴快帆计划和彗星漫游项目等都将全面具备AI能力。

经过近40年的发展,国外航天领域的智能化具备了初步自主任务规划能力、一定水平的自主识别分类能力以及空间机器人初步具备了“弱”智能。我国在航天器故障分析、任务设计和规划、自主决策、智能机器人、集群智能等领域积累了一定的研究基础^[11-16],总的来说,人工智能技术应用还非常有限,研究方向较为零散,对人工智能在航天领域的应用还缺乏整体认识与系统规划。

2 航天领域人工智能分级标准及定义

目前,学术界和产业界均未对航天领域人工智能应用提出相应的划分标准。本文从体系、系统、分系统等层次提出了初步的分级标准,如表1所示,主要划分为4个等级,分别为无人智能、分系统程控化、单星系统智能化和体系智能化,具体定义如下:

(1)无人智能。按照任务目标,设计、研发和构建卫星系统,由人工按照既定清单和任务指令完

成系统任务。

(2)分系统程控化。按照任务目标,设计、研发和构建卫星系统,在部分模块、产品、分系统层面使用程控化、自动化等技术,完成一些规律性、重复性的工作,减少人工参与造成的失误。

(3)单星系统智能化。单星系统能够根据需要对卫星系统的功能、性能进行有条件的调整和优化,地面实现全程无人参与,天地自主协同。

(4)体系智能化。航天体系具备从任务给定到结果输出全程无人参与,能够实现天地智能协同、天基资源智能调配,适应突发情形自主判断、决策,最终达到优于人工参与或不亚于人工参与的能力。

表 1 航天领域人工智能应用分级标准

Table 1 Classification standard of artificial intelligence application in space field

分级	主要标志		
	人工参与	增项要求	
0	无人工智能	全程	常规航天工业要求
1	分系统程控化	部分	模型、算法、硬件能力
2	单星系统智能化	无人	大数据、深度学习、更先进的硬件能力、图像识别、图像理解
3	体系智能化	无人	先进航天技术、先进空间通信网络技术、先进规划决策系统

3 智能航天体系概念内涵

3.1 概念

以功能、性能的弹性可重构的思路完成航天器的设计、研发,按照空间组网、功能齐备、统筹优化方式完成空间航天体系建设,具备智能感知、主动认知、自动控制、自主管理、互联互通和重构升级等一系列智能化基础能力,实现在给定任务目标后,能够

适应未曾预料情形,在无人参与条件下,自主调配天地系统软硬件资源,自主完成使命任务,包括任务解析、联合任务规划、评估、信息快速精确获取与传递、与其他应用系统全方位自主铰链服务等,最终达到实现的航天任务目标优于人工参与或不亚于人工参与的能力。

3.2 内涵和特征

(1)完备性。具备全域到达能力、全要素保障能力、全手段感知能力、全链路通信能力、全方位铰链服务、全流程智能化能力。

(2)智能化。从给定任务目标到任务目标的实现,全程无人工参与,全部依托体系内资源自行判断、决策。

(3)适应性。能够适应未曾预料情形,自主完成任务目标。

(4)准确性。能够确保目标和结果的准确性。

3.3 体系要素

智能航天体系主要包括五大要素:

(1)智能航天制造。包括卫星智能研制、运载智能研制,地面系统智能化。

(2)智能体系构建。包括智能卫星发射、智能空间组网、智能在轨处理、智能状态监测、智能维修重置等。

(3)智能目标规划。包括智能目标理解、智能任务清单生成等。

(4)智能任务实施。包括智能任务规划、智能资源调度、智能环境感知、智能信息支援、智能服务铰链等。

(5)智能效能评估。包括智能数据处理、智能效果评估、智能结果反馈等。

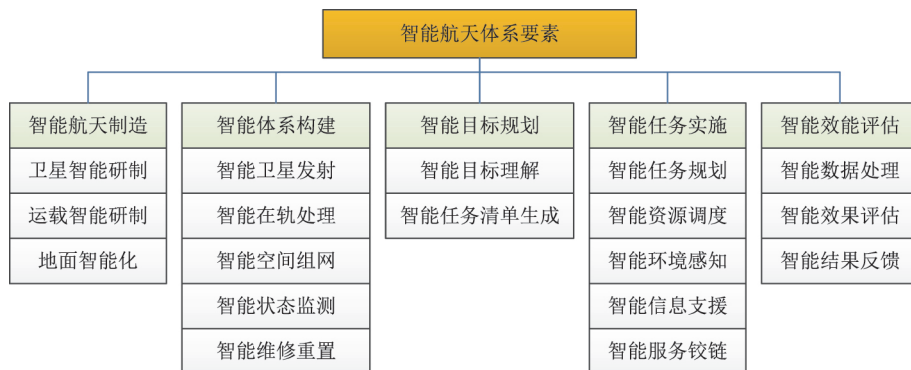


图 2 智能航天体系要素

Fig. 2 Elements of intelligent space system

4 智能航天体系架构设想

4.1 需求分析

(1)天基信息自动化保障需求。航天地面处理与应用系统均有不同程度的人为参与,人工环节多,机器对机器的闭环控制回路尚未打通。影响天基信息保障的自动化、时效性、客观性。

(2)自主星上处理、星间协同、在轨服务能力需求。天基计算存储共享环境尚未构建,实现自主星上处理、星间协同、在轨数据直接服务到用户的设想还存在差距。

(3)自适应、自组织、自学习、自提升等智能化应用能力需求。目前航天自动化还停留在低级智能阶段,知识库、样本库、规则库、特性库、算法库建设和天基大数据积累有待加强。

(4)航天体系效能最优化需求。对体系布局、协同配合、流程优化、软环境建设、软潜能挖掘不够,影响总体性能、体系效能发挥。

4.2 设计原则

(1)性能优异。实现体系能力弹性设计、天基资源配置合理优化、地基资源高度集成智能。

(2)安全性强。实现高级别的安全体系架构和

高安全保护等级。

(3)可用性好。确保系统在一个或部分节点出现不可预期问题时,整体依然可用。

(4)可扩展性。当增加功能时,实现可持续扩展或能力提升,确保对体系更改或变动影响最小。

(5)智能性高。系统具备深度学习、自我进化的能力,不断提高完成任务目标的能力。

4.3 体系架构初步设想

面向智能航天发展需求,从基础设施、算法、体系和应用4个层次构建智能航天体系,如图3所示,各层次具体内容包括:

(1)基础设施层。包括底层基础和物理形态。底层基础包括长期累积空间大数据,包括产生目标库、特征库、算法库、规则库、样本库、知识库等数据库,以及天基计算存储共享环境等;物理形态包括天地一体化综合平台,如通信网络、时空基准、环境感知、与其他资源铰链平台和一体化地面支持系统等。

(2)算法层。包括基于机器学习、深度学习的智能航天应用基础算法。机器学习通过利用底层基础的大数据统计,分析导出规则或流程用于解释数据或预测未来数据;深度学习通过建立类似于人脑的分层模型结构,对输入数据逐级提取从底层到高层的特征,从而建立从底层信号到高层语义的映射。

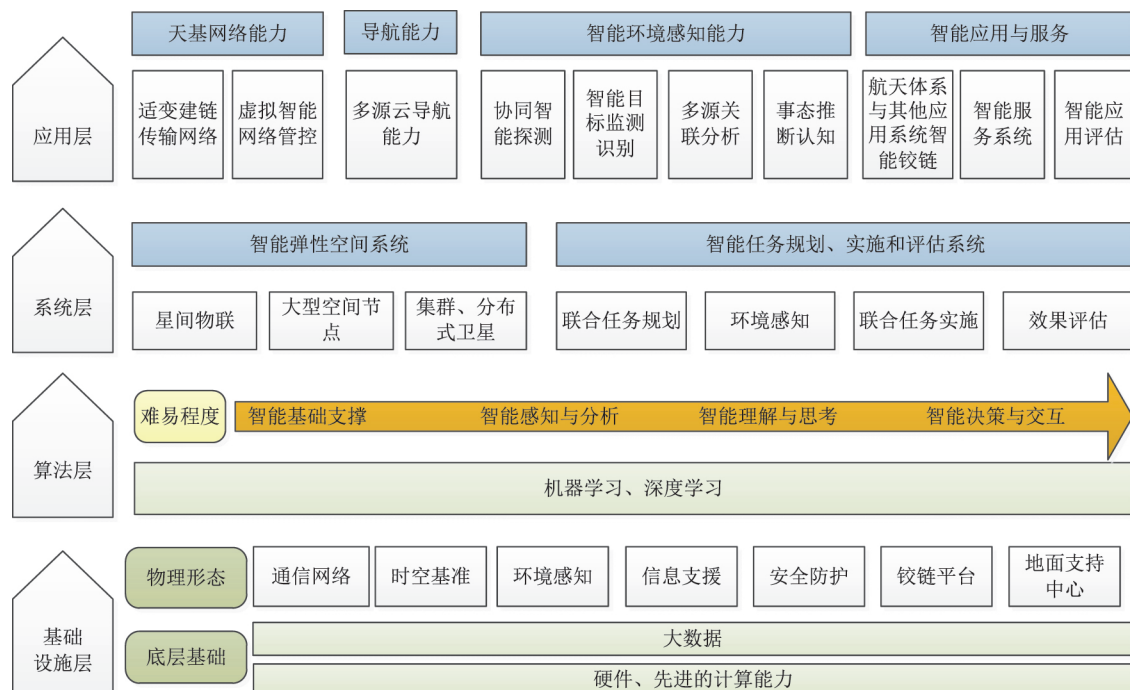


图3 智能航天体系架构设想

Fig. 3 Preliminary conception of intelligent space architecture

(3)系统层。包括智能弹性空间系统和智能任务规划、实施和评估系统。智能弹性空间系统需要完成大型空间节点与星群节点综合配置,星间物联网系统构建;智能任务规划、实施和评估系统运用智能处理技术,依托地面处理中心或天基信息港进行联合任务规划与评估,构建智能航天应用,缩短任务目标到实施评估的决策响应时间。

(4)应用层。提供天基网络能力、云导航能力、智能环境感知能力和智能应用与服务等能力。

5 结束语

当前,各航天强国为抢占航天制高点都在推出人工智能在航天领域应用的强有力政策,政策机遇和技术挑战并存。针对我国当前航天领域人工智能研究较为零散,系统性不够,对智能航天体系认识不充分等问题,本文从顶层设计出发,研究提出智能航天体系框架,构建“AI+航天系统”综合体系,全面系统梳理了智能航天发展的能力需求与重点方向,可为提前布局智能航天基础设施、算法、体系和应用等各层次的研究,推动智能航天发展提供参考。

参考文献 (References)

- [1] 李修全,蒋鸿玲. 美日欧政府发展人工智能的新举措及对我国的启示[J]. 全球科技经济瞭望, 2016, 31(10): 73-76
Li Xiuquan, Jiang Hongling. Recent actions of foreign governments for AI future and enlightenment to China [J]. Global Science, Technology and Economy Outlook, 2016, 31(10): 73-76 (in Chinese)
- [2] Holdren J P, Bruce A, Felten E, et al. The national artificial intelligence research and development strategic plan[R]. Washington D.C.: National Science and Technology Council, 2016
- [3] Uwe H. 2.8 billion to strengthen EU lead in robotics [DB/OL]. [20-03-20]. http://www.eu-robotics.net/cms/upload/PPP/28_05_2014_SPARC_Press_Release_English.pdf
- [4] 中华人民共和国国务院. 新一代人工智能发展规划 [M]. 北京: 人民出版社, 2017
State Council of the People's Republic of China. New generation artificial intelligence research and development plan [M]. Beijing: People's Publishing House, 2017 (in Chinese)
- [5] 冯健翔. 人工智能及其航天应用概论 [M]. 北京: 宇航出版社, 1999: 21-22
Feng Jianxiang. Artificial intelligence and it's space application [M]. Beijing: China Astronautics Press, 1999: 21-22 (in Chinese)
- [6] 庞之浩. 美国战术卫星系列试验卫星[J]. 国际航空, 2007(3): 2-3
Pang Zhihao. Test Satellite of Tactical Satellite Series [J]. International Aviation, 2007(3): 2-3. (in Chinese)
- [7] Maurice Martin, Steve Kilberg. TechSat-21 and revolutionizing space missions using microsatellites[C]// The Proceeding of the AIAA Small Satellite Conference, Washington D.C.: AIAA, 2001: 1-3
- [8] 汤泽滢, 黄贤锋, 蔡宗宝. 国外天基空间目标监视系统发展现状与启示[J]. 航天电子对抗, 2015, 31(2): 24-30
Tang Zeying, Huang Xianfeng, Cai Zongbao. Development status and enlightenment of foreign space-based space surveillance systems [J]. Aerospace Electronic Warfare, 2015, 31(2) 24-30 (in Chinese)
- [9] 李虹琳. 美国的载人小行星和火星探测[J]. 中国航天, 2014(8): 45-50
Li Honglin. Manned asteroids and Mars exploration in the United State [J]. Aerospace China, 2014(8): 45-50 (in Chinese)
- [10] 尹怀勤. 美国出台新的探测木卫二计划[J]. 太空探索, 2017(6): 22-25
Yin Huaiqin. New Europa detection program in the United State [J]. Space Exploration, 2017(6): 22-25 (in Chinese)
- [11] 张威, 魏炳翌, 闻新. 国内航天器故障诊断技术应用状况分析与展望[J]. 航空兵器, 2017(4): 67-75
Zhang Wei, Wei Bingyi, Wen Xin. Application status analysis and prospect on spacecraft fault diagnosis technology in China [J]. Aero Weaponry, 2017(4): 67-75 (in Chinese)
- [12] 吕红, 苏云, 陈晓丽, 等. 一种基于人工智能技术的卫星遥感载荷系统方案[J]. 航天返回与遥感, 2014, 35(3): 43-49
Lyu Hong, Su Yun, Chen Xiaoli, et al. A scheme of satellite remote sensing payloads based on artificial intelligence [J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2014, 35(3): 43-49 (in Chinese)
- [13] 张兵. 智能遥感卫星系统[J]. 遥感学报, 2011, 15(3): 1-3
Zhang Bing. Intelligent remote sensing satellite system [J]. Journal of Remote Sensing, 2011, 15(3): 1-3 (in Chinese)
- [14] 胡绍林, 李晔, 陈晓红. 航天器在轨服务技术体系解析[J]. 载人航天, 2016, 22(4): 452-458

- Hu Shaolin, Li Ye, Chen Xiaohong. Analysis of on-orbit servicing technology system[J]. Manned Spaceflight, 2016, 22(4): 452-458 (in Chinese)
- [15] 席政. 人工智能在航天飞行任务规划中的应用研究[J]. 航空学报, 2007, 28(4): 791-795
- Xi Zheng. Study on mission planning of space applying artificial intelligence[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2007, 28(4): 791-795 (in Chinese)
- [16] 李伯虎, 柴旭东, 张霖, 等. 面向新型人工智能系统的建模与仿真技术初步研究[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(2): 349-362
- Li Bohu, Chai Xudong, Zhang Lin, et al. Preliminary study of modeling and simulation technology oriented to neo-type artificial intelligent systems[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(2): 349-362 (in Chinese)

(编辑:张小琳)