

李欣, 曹大成. 美国星载边缘探索计算机 Spaceborne Computer-2 太空应用概况及启发[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(6): 140-144. DOI:10.20169/j.issn.2095-2163.240619

# 美国星载边缘探索计算机 Spaceborne Computer-2 太空应用概况及启发

李欣, 曹大成

(山东航天电子技术研究所, 山东 烟台 264000)

**摘要:** 低成本、高性能、高可靠、智能化以及高实时性是未来太空计算机技术的重要特点。美国 Spaceborne Computer-2 (SBC-2) 星载计算机集低成本、高性能、云端处理、软件抗加等优势于一体, 具备星上实时高速计算、极端环境图像处理、故障数据保存和任务恢复等能力, 可实现 AI 检测、太空边缘探索、极端环境预测、星上 3D 打印等功能。目前该计算机已圆满完成在轨各项测试试验任务, 满足在轨实时计算处理、低延时数据传输、故障检测及任务恢复等要求, 为太空边缘探索和人工智能应用发展奠定了基础。本文对 SBC-2 计算机发展现状、应用软件、硬件组成及主要用途进行概述, 并初步探讨了其对国内星载高性能计算机发展的借鉴意义。

**关键词:** Spaceborne Computer-2(SBC-2); 人工智能; 边缘计算

**中图分类号:** V524 **文献标志码:** B **文章编号:** 2095-2163(2024)06-0140-05

## Space application overview and inspiration of USA spaceborne edge exploration computer Spaceborne Computer-2

LI Xin, CAO Dacheng

(Shandong Institute of Space Electronics Technology, Yantai 264000, Shandong, China)

**Abstract:** Low cost, high performance, high reliability, intelligenization and high real-time are important characteristics of future space computer technology. The USA Spaceborne Computer-2 (SBC-2) integrates advantages such as low cost, high performance, cloud processing and software Anti radiation reinforcement. SBC-2 has the ability to perform real-time and high-speed computing on board, extreme environment image processing, fault data storage and task recovery. SBC-2 can perform AI detection, space edge exploration, extreme environment prediction and onboard 3D printing. At present, the computer has successfully completed various testing and experiment tasks in orbit, meeting the requirements of real-time onboard computing processing, low latency data transmission, fault detection and task recovery, laying the foundation for future space edge exploration and artificial intelligence application development. This article provides an overview of the current SBC-2 development status, software application, hardware composition and main applications, and preliminarily explores its reference for the development of high-performance spaceborne computers in China.

**Key words:** Spaceborne Computer-2(SBC-2); Artificial Intelligence; edge computing

### 1 SBC-2 发展简介

Spaceborne Computer-2(SBC-2)星载计算机由微软、HPE 和 NASA 联合研制, 是目前最先进的商用星载计算机。SBC-2 由 HPE Edgeline EL4000 Converged Edge 系统和 HPE ProLiant DL360 Gen10 服务器组成, 是第一个具有专为太空数据处理而构

建的 AI 功能的商用现货边缘计算系统。SBC-2 可在 6 min 内处理 1.8 G DNA 原始数据, 并压缩成 92 KB, 于 2 s 内发送到地面。相比过去 12.2 h 完成地面下载, 下载提速 20 000 倍。该计算机验证了在轨实时数据处理技术, 满足在轨计算需求, 避免原始数据地面处理及处理数据返回太空的延迟和等待。SBC-2 旨在推进人类向月球、火星等深空旅行, 提

**作者简介:** 李欣(1983-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 追踪国内外航天技术最新动态, Email: lixincabbage@163.com; 曹大成(1979-), 男, 硕士, 研究员, 主要研究方向: 航天电子产品设计, 产业规划论证及情报等。

**收稿日期:** 2024-01-05

高星载计算能力,减少通信依赖。SBC-2 采用软件抗加,水冷制冷,完成了无保护太阳辐射、银河宇宙辐射等极端环境恢复或减轻错误的技术验证。

SBC-2 于 2021 年 2 月搭载 SpaceX 龙飞船进入太空。5 月在国际空间站安装并启动,2022 年 12 月完成电缆拆除,准备返回。其前身是 2017 年进入太空的 SBC-1。

## 2 SBC-2 主要应用软件

SBC-2 计算机安装了大量先进软件,支持太空探索,包括月球和火星探索。这些软件包括:图像分析软件 ENVI,国际空间康奈尔站 3D 打印软件、故障检测及恢复软件 SGLX (HPE Serviceguard for Linux) 等。

### 2.1 图像分析应用软件

图像分析软件 ENVI 由 HySpeed Computing 与 L3Harris Geospatial 和 HPE 合作运营。最初用于处理和分析地球观测数据和其他太空图像,目前兼具其它功能,如监测长期太空任务中植物健康状况;分析月球、火星表面特征和成分。SBC-2 和 ENVI 为探索边缘计算新功能提供了巨大机会。

首先,ENVI 具备数据分析效率高、速度快的优点。计算资源和软件算法在数据源头执行分析,结果实时下载,有利于灾难准备和响应等时间关键应用程序。如:传感器操作和图像采集。可实时分析获取图像,迭代重复采集,直到满足条件;或事件发生时,一个传感器的结果可指导具有不同分辨率或模式的其他传感器采集,自动获取表征该事件的附加信息。

其次,ENVI 具备更强的灵活性和广度。企业软件和计算结合提供整套图像处理和分析功能。能快速适应新情况或需求,将迅速更新或部署新算法到现有系统。适用于图像分析需求多样且难以预测的月球、火星等深空探索任务。其应用包括:检查暴露表面损坏或污染、监控基础设施或进行医疗诊断。

第三,技术示范和风险降低。独立自由飞行卫星部署有效载荷前,在操作环境中验证系统性能并评估软件执行可显著降低风险。ENVI in Space 的企业解决方案提供了一个强大测试平台,用于评估任意数量的其他有效载荷和应用程序。

第四,充当分布式传感系统的集中蜂巢思维或蜂巢服务器功能。例如,考虑一个由立方体卫星、无人机或漫游车组成的系统,每个系统都有自己的传感器和采集任务。集中式计算机不仅可以为该系统

提供操作管理,还可作为存储、处理、分析和分发收集数据的骨干。

### 2.2 康奈尔空间站 3D 打印软件

增材制造是 SBC-2 测试试验的主要项目之一,对 NASA 想要进行的深空探索和登陆火星任务至关重要。因粉末分层在基材上粘合或熔化需重力作用,所以严酷太空环境 3D 打印过程充满反复和不确定性。基于时间和空间尺度差异及高热梯度,之前太空 3D 打印不可行。康奈尔断裂小组为此进行了专门科学和工程研究,关注和预测 3D 打印过程的结构变形和破坏,开发了基于物理模型的软件,模拟所需组件 3D 打印过程并控制打印质量。该软件在 ISS 运行成功,运行结果与研究预测结果一致,时间、操作程序和打印结果与预设相同,成功完成国际空间站 3D 打印任务。

### 2.3 故障检测及故障数据恢复软件

故障检测及故障数据恢复软件(Serviceguard for Linux,SGLX)软件把端到端高性能计算技术与 HPE Cray EX 超级计算相集成,实现了理论峰值性能为 19.87 PFlops 的先进系统。基于完全集成软件套件,可使用 HPE Cray 编程环境优化 HPC 和 AI 应用程序;使用二代、三代 AMD EPYC™ 处理器进行强大计算,改进建模和仿真;使用 NVIDIA A100 Tensor Core GPU 以及 NVIDIA AI 和 HPC 软件支持数据和图像密集型工作负载的针对性 AI 功能,提供全面 SDK,包括用于计算加速的 AI 框架、编译器、库、模型和工具。

SGLX 软件有航天器及其地面支持设施停机解决方案:SGLX 持续监控基础设施运行状况,包括硬件、操作系统、虚拟化软件、存储、网络、应用程序、可影响应用程序功能的任何其他参数。检测到故障时,SGLX 自动且透明地确保健康节点在几秒钟内恢复正常操作。国际空间站利用 SGLX 软件进行故障检测并在 30 s 内成功进行任务恢复。SGLX 故障检测与任务恢复测试示意如图 1 所示。

Microsoft SQL Server 作为故障检测测试应用程序,其内置复制技术无需共享存储。通过 ProLiant DL360 服务器应用程序安装,创建高可用性 SGLX 集群。一台服务器作主节点,另一台热备用,出现故障随时接管。SGLX 集群可持续监控运行应用程序所需所有资源是否故障。SGLX 仲裁服务器软件安装在一台 Edgeline 服务器上,2 个节点间出现网络中断或分区时发挥仲裁或被仲裁者作用。设置 SGLX 集群后,数据库主节点和备用节点配置为具

有模拟“库存”应用程序的表。数据库事务开始时,会引发应用程序故障。此时,SGLX 能够检测到故障,向辅助节点发起故障转移,将其提升为新的主节

点,30 s 内成功从故障中恢复并复原功能操作,无任何数据或事务丢失。

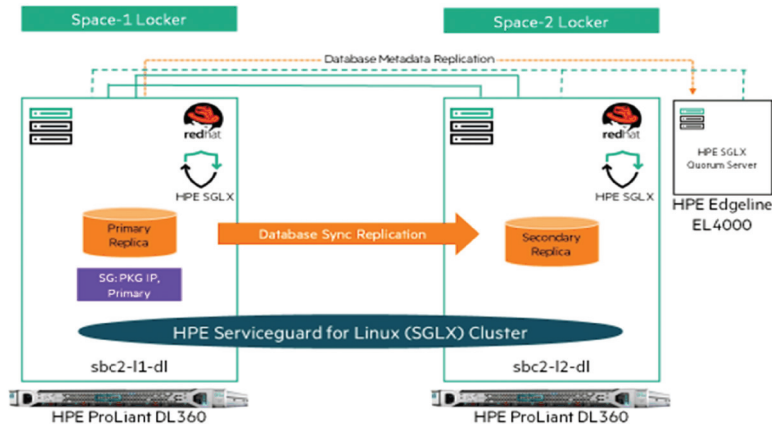


图1 SGLX 故障检测与任务恢复测试示意图

Fig. 1 Schematic diagram of SGLX fault detection and task recovery testing

### 3 SBC-2 硬件系统

SBC-2 为空间高性能计算设计,配备 Intel Xeon Gold 5215 处理器,含 10 个可运行 2 个线程的核心,提供 2 500 MHz 的 20 个核心运行,有 10 个 NVIDIA Tesla GPU,用于处理复杂问题。包括高速实时图像处理、深度 AI 学习和科学试验模拟。SBC-2 硬件采用 HPE 边缘计算方案,包括坚固紧凑的 HPE Edgeline EL4000 融合边缘系统及高性能 HPE ProLiant DL360 Gen10 服务器。SBC-2 处理系列工作负载,推动了医保、图像处理、自然灾害恢复、3D 打印、5G 及人工智能等领域进步。

#### 3.1 HPE Edgeline EL4000 融合边缘系统

HPE Edgeline EL4000 是业界首款融合边缘系统之一,将前所未有的边缘计算、精确数据捕获和控制、数据中心级安全性、设备和系统管理以及大容量和超快存储能力集成于一个融合机箱。将物联网基础设施扩展到传统数据中心范围外,打破云供应商限制,实现真正边缘计算。系统的功能特点包括:

(1) 基于开放标准的下一代应用安全网关计算和高容量存储。HPE Edgeline 融合边缘系统可精确采集数据,为操作员提供高性能人机界面(HMI)显示,从边缘本身实时启动控制操作,消除传输问题,提高敏捷性。

(2) 数据中心级安全性、设备和远程系统管理。HPE Edgeline 融合边缘系统将业界领先的 HPE 集成无人值守(iLO)系统管理和安全技术带到了边缘。HPE Edgeline EL4000 与物联网安全解决方案

完全兼容,可在高风险边缘环境提供保护。Aruba ClearPass 支持创建自定义配置文件来识别和保护物联网设备。

(3) 灵活插槽电源。HPE 灵活插槽(Flex slot)电源采用通用电气和物理设计,允许热插拔、免工具安装到 HPE ProLiant 服务器。该电源经高效运行认证,提供多种电源输出选项,允许用户针对特定服务器配置选择合适电源,低电耗,高节能。

#### 3.2 HPE ProLiant DL360 Gen10 服务器

HPE ProLiant DL360 Gen10 服务器具备高安全、敏捷和灵活性。支持英特尔至强可扩展处理器,性能提升 60%。内核数量增强 27%, 2933 MT/s HPE DDR4 智能内存支持高达 3.0 TB 容量,性能提升 82%。其特点包括:

(1) 性能和多功能计算行业领先。HPE ProLiant DL360 Gen10 服务器具有多达 28 个内核,可提供快速、大容量、经济高效的内存和存储,通过快速存储、移动和处理数据应对大数据工作负载。多达 10 个 SFF 和 4 个 LFF 灵活驱动器配置,支持多达 10 个 NVMe PCIe SSD 选项,提供增强性能、容量和可靠性,满足负载需求。其服务器外观如图 2 所示。

(2) 创新设计增强灵活性和可选性。HPE ProLiant DL360 Gen10 创新设计带来更多灵活性和选择余地。顶级 10 SFF NVMe 机箱背板能够在同一机箱内混合搭配 SAS/SATA 和 NVMe,支持 uFF 和 M.2 存储选项的 8+2 SFF 和 4 LFF 机箱。嵌入式 4 个 1 GbE 或 HPE FlexibleL OM 和 PCIe 立式



1 GbE、10 GbE、25 GbE 或 100 GbE 适配器提供了网络带宽和结构灵活性,可适应不断变化的业务需求。



图2 HPE ProLiant DL360 第10代服务器

Fig. 2 HPE ProLiant DL360 10<sup>th</sup> generation server

#### 4 SBC-2 主要用途

SBC-2 为 Axiom Space、康奈尔大学、Comucore、微软、NASA 等太空探索组织完成了数十次实验验证,具有广泛应用前景,包括:

(1) 实时远程跟踪。基于远程遥感数据实时星上处理,通过 SBC-2 空间边缘计算,可处理事件相关机载图像、信号和其他数据,实现实时监测和远程跟踪。

(2) 空间食品和生命科学研究。通过收集水培过程数据与地球大型数据集进行比较,评估太空种植液体使用和环境参数,支持食品和生命科学发展。

(3) 空间任务模拟和空间人工智能功能。NASA 使用 HPE 驱动的超级计算机对 2024 年阿耳忒弥斯任务升空期间肯尼迪航天中心的助推器分离事件和发射环境进行模拟,可有效提高航天发射任务成功率。此外,SBC-2 将提供更快和有针对性的人工智能功能,以满足轨道数据处理需求并推进太空探索。

(4) 灾后自动解读卫星图像。美国宇航局喷气推进实验室(JPL)使用 SBC-2 与嵌入式处理器配合测试了多个深度学习推理网络,自动解析灾后陆地和建筑物遥感图像。这些技术可用于未来航天器,可快速向有关当局提供可操作数据,协助灾后重建。

(5) 通过 5G 核心原型扩展国际空间站的网络能力。私人移动网络解决方案提供商 Cumucore 在 SBC-2 上测试了其 5G 核心网络及 RAN 模拟器和其他功能,模拟基站当前功能和最终用户设备。验证了在选定卫星和航天器上安装最先进 5G 功能的潜力。

#### 5 结束语

SBC-2 计算机的成功太空应用,为发展高性能、高可靠、低成本、智能星载计算机系统提供了宝贵借鉴经验,浅析如下:

(1) 从制造方式看,该计算机由 NASA 与商业计算机公司合作,既保留了 NASA 航天领域引领优势,又融合了商业公司强大智能计算机能力,为传统航天技术注入了新活力。国内目前也有部分商业卫星公司参与航天任务,研发低成本商用计算机应用于星上数据管理和姿态控制,与 SBC-2 相比,功能性存在较大提升空间。

(2) 从设计思路看,与传统注重单机能力和可靠性不同,SBC-2 是由功能强大的多核计算机及服务器构成的新型星载计算机系统。可将地面强大计算机服务器及终端能力直接或经适应性改造后应用到太空任务,使智能图像处理、3D 打印等复杂技术在轨实现成为可能。随着国内智能计算机和云计算等先进技术发展和成熟,对复杂太空任务的支持能力将再上台阶,强大计算机性能必将催生多样化太空软件生态。

(3) 商用计算机太空应用安全性将愈发依赖于软件。SBC-2 既采用航天传统三模冗余等软件抗加方法,也充分利用服务器系统强大故障检测、故障隔离及功能恢复技术,可预见未来高性能智能星载计算机必将具有专业软件容错冗余能力,对空间辐射环境等因素引发的在轨故障能快速检测、定位、隔离和任务恢复,保证商用电子产品在轨可靠性和实时性。

(4) 具有强大硬、软件能力的商用计算机太空应用前景广阔,为未来智能化和网络化太空技术发展提供有力支撑。地面数据处理软件未来将实现星上应用,地面用户将得到更多解析完毕的应用数据,为特定任务提供更加直接和实时的参考,在轨数据处理更加智能,用户数据应用体验更加流畅。

#### 参考文献

- [1] Hewlett Packard Enterprise. HPE Spaceborne Computer-2 returns to the international space station [EB/OL]. [2024-01-30]. <https://www.businesswire.com/news/home/2024012931403/en/>.
- [2] MITCHELL S. HPE spaceborne computer-2 heads to ISS with highest storage yet [EB/OL]. [2024-02-01]. <https://itbrief.com.au/story/hpe-s-spaceborne-computer-2-heads-to-iss-with-highest-storage-yet>.
- [3] Clarence Oxford. Spaceborne Computer-2 sets new benchmark for AI and ML on ISS [EB/OL]. [2024-02-06]. [https://www.spacedaily.com/reports/Spaceborne\\_Computer\\_2\\_sets\\_new\\_benchmark\\_for\\_AI\\_and\\_ML\\_on\\_ISS\\_999.html](https://www.spacedaily.com/reports/Spaceborne_Computer_2_sets_new_benchmark_for_AI_and_ML_on_ISS_999.html).
- [4] Space Defense & Security Summit. ISS National Lab-Sponsored experiments propel spaceborne computer toward new frontiers in space computing [EB/OL]. [2024-01-29]. <https://news.satnews.com/2024/01/29/iss-national-lab-sponsored->

- experiments – propel – spaceborne – computer – toward – new – frontiers-in-space-computing/.
- [5] SWOPE J, MIRZA F, DUNKEL E, et al. Benchmarking space mission applications on the snapdragon processor onboard the ISS [EB/OL]. [2023]. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:264322204>.
- [6] BLEIER N, MUBARIK M H, SWENSON G R, et al. Space Microdatacenters [C]//56<sup>th</sup> Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO '23). Toronto, Canada; ACM, 2023:1-16.
- [7] EMILY R D, SWOPE J, CANDELA A, et al. Benchmarking deep learning models on myriad and snapdragon processors for space applications[J]. AIAA Journals, 2023,20(10):660-674.
- [8] EMILY D, SWOPE J, CANDELA A, et al. Testing mars rover, spectral unmixing, and ship detection neural networks, and memory checkers on embedded systems onboard the ISS [Z]. Noordwijk, Netherlands: ASTRA 2022 16<sup>th</sup> Symposium on Advanced Space Technologies in Robotics and Automation. ESA-ESTEC, 2022.
- [9] EMILY D, SWOPE J, TOWFIC Z, et al. Benchmarking deep learning inference of remote sensing imagery on the qualcomm snapdragon and earning inference of remote sensing imagery on the qualcomm snapdragon and Intel Movidius Myriad X Processors onboard the international space station [C]// 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS2022). Kuala Lumpur, Malaysia; IEEE, 2022; 5301-5304.
- [10] SWOPE J, MIRZA F, DUNKEL E, et al. Benchmarking remote sensing image processing and analysis on the snapdragon processor onboard the international space station [C]// 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS2022). Kuala Lumpur, Malaysia; IEEE, 2022; 5305-5308.
- [11] WERNER D. HPE spaceborne computer-2 completes 24 experiments on ISS [EB/OL]. [2022-04-04]. <https://spacenews.com/spaceborne-computer-2-symposium-2022/>.
- [12] ALEKSANDAR K. HPE develops new Spaceborne Computer-2 Computing system for the international space station [EB/OL]. [2021-12-12]. <https://www.techpowerup.com/forums/threads/hpe-develops-new-spaceborne-computer-2-computing-system-for-the-international-space-station.278404/>.
- [13] KHIZERAN N. Hewlett-packard-enterprise-accelerates-space-exploration-with-first-ever-in-space-commercial-edge-computing-and-artificial-intelligence-capabilities [EB/OL]. [2021-02-11]. <https://www.businesswire.com/news/home/20210211005201/en/>.
- [14] NUTT D. Cornell software enables 3d printing space station [EB/OL]. [2022-02]. <https://news.cornell.edu/stories/2022/02>.
- [15] AMY-VOGT B. Spaceborne-2 supercomputer offers free availability for commercial research in space exascaleday [EB/OL]. [2022-10-16]. <https://siliconangle.com/2022/10/16/spaceborne-2-supercomputer-offers-free-availability-for-commercial-research-in-space-exascaleday/>.
- [16] RICHARD S. CHPE's updated Spaceborne Computer-2 ready to hitch another ride to the ISS [EB/OL]. [2024-01-24]. [https://www.theregister.com/2024/01/24/updated\\_hpe\\_spaceborne\\_computer2/](https://www.theregister.com/2024/01/24/updated_hpe_spaceborne_computer2/).
- [17] TAKAHATA K. Kioxia and HPE team up to send SSDs into space, bound for the international space station [EB/OL]. [2023-02-27]. <https://www.businesswire.com/news/home/20230227005968/en/>.
- [18] METAL A M. Cornell software supports Additive Manufacturing on International Space Station [EB/OL]. [2022-02-07]. <https://www.metal-am.com/cornell-software-supports-additive-manufacturing-on-international-space-station>.
- [19] TOKAR L. KIOXIA first as HPE spaceborne Computer-2 data center launches into space with KIOXIA onboard [EB/OL]. [2024-01-30]. <https://www.thessdreview.com/daily-news/latest-buzz/>.
- [20] NORRIS G. Hewlett packard marks first year of advanced space station computing [EB/OL]. [2022-04-04]. <https://aviationweek.com/shows-events/space-symposium/hpe-marks-first-year-advanced-space-station-computing>.
- [21] WANG Yuanle, YANG Yuchen, FANG Huoneng, et al. A reconfigurable on board high performance intelligent heterogeneous computing system [J]. Aerospace Contrd and Application, 2022, 48(5):125-132.
- [22] 姜同全, 薛淑娟, 张腾, 等. 一种高可靠的工业级星载计算机及其引导设计 [J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(6):253-258.
- [23] 蒲卫华, 谢成清, 姜文志, 等. COTS 星载计算机容错设计及可靠性研究 [J]. 空间控制技术与应用, 2020, 46(3):72-77.
- [24] 胡鑫彝, 王通, 刘书萌, 等. COTS 处理器单粒子效应检测系统设计 [J]. 航天器环境工程, 2022, 39(6):590-596.
- [25] 张越, 章宇兵, 马天琦, 等. 基于 COTS 产品的高效能空间计算技术研究 [J]. 天地一体化信息网络, 2020, 1(1):54-60.