

中国下一代星载固存系统

Aerospace storage system (AS3)

随着遥感数据的爆发式增长，以及中国航天市场的独特性，航天遥感数据越来越依赖遥感卫星的数据处理能力，传统星载固存产品已无法满足超高分辨率所带来的存储容量的挑战。

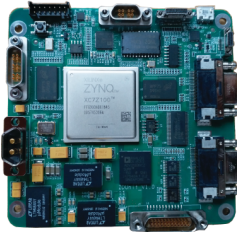
由艾可萨公司承担研制的中国下一代星载固存产品，参考了数据中心级别的存储阵列模式，将系统容量提升了100倍，达128TByte，传输速率提升至500Gbps，并将产品重量下降了50%，大大提升了星载固存系统的性能。

新一代星载固存架构设计采用多级冗余系统容错机制，在保证系统可用和数据安全的基础上，采用了工业级电子元器件代替昂贵的宇航级电子元器件，大大降低了制造成本。同时，产品采用结构化模块设计，可按不同容量和速率的需求自由组合，研发成果复用性高，大大缩短了研发时长，进一步降低了研发成本。相较于前一代星载固存产品，新一代成本下降了80%。

新一代固存系统（AS3）按形态分类如下：

C1/M1	Master + Unit	适用于10–1000KG卫星平台的立方星/微小/微纳卫星的载荷需求
G1	Master + N × Unit N≤12	适用于1000–2000KG卫星平台的中大卫星平台载荷需求
X1	18 × G1	适用于大于2000KG的超大卫星平台的载荷需求

Master:卫星载荷主控单元 Unit:标准星载存储单元



Master
卫星载荷主控单元

卫星载荷主控单元指标（Master）	
处理能力	Dual-Core ARM Cortex-A9ZYNQ7100 logic resource
外设接口	Camera Link medium（向下兼容两路Camera Link Base） Gige Vision CAN * 2 SPI * 1 I2C * 1 RS422 RS485 LVDS TX * 2 LVDS RX * 1 GPIO * 4（3.3V）
工作温度	-40℃~85℃
重 量	220g（不含加固件）
尺 寸	标准立方星产品尺寸 90 * 93.7
可 靠 性	关键节点三模冗余设计 防门锁设计
工作模式	序号记录模式 按文件回放模式（支持断点回放） 按时间回放模式（支持断点回放） 回放擦除模式 压缩回写模式 边记边放模式
系统软件结构	文件系统管理 支持Linux操作系统 支持用户二次功能开发



Unit
标准星载存储单元

标准星载存储单元指标（Unit）	
容量	支持：256GB、512GB、1TB可选
存储速率	最大记录速率不低于 480MBps（由于NAND FLASH特性，此速率为最大容量下测得的速率） 最大回放速率不低于 500MBps 边记边放速率不低于 480MBps
可靠性指标	2条冗余闪存控制通道 增强型纠错引擎 FLASH坏块管理 FLASH状态上报
工作温度	-40℃~85℃
重量	260g（不含加固件）
尺寸	90 * 93.7

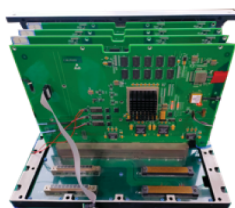
C1/M1



C1/M1
立方星/微小卫星产品形态

适用场景	高容量，高可靠性、高速率场景
容量	256GB-1TB
存储速率	3.8Gbps
可靠性	关键节点三模冗余设计 防门锁设计 防单粒子翻转 固态硬盘动态自适应调整备份机制
工作模式	序号记录模式 按文件回放模式（支持断点回放） 按时间回放模式（支持断点回放） 回放擦除模式 压缩回写模式 边记边放模式
案例	灵鹊星座

G1



G1
大卫星产品形态

适用场景	高容量，高可靠性、高速率场景
容量	4TB + 1TB备份存储空间
存储速率	3.8Gbps~24Gbps
可靠性	关键节点三模冗余设计 防门锁设计 防单粒子翻转 固态硬盘动态自适应调整备份机制
工作模式	序号记录模式 按文件回放模式（支持断点回放） 按时间回放模式（支持断点回放） 回放擦除模式 压缩回写模式 边记边放模式
案例	吉林一号宽幅卫星

X1



X1
超大卫星产品形态

适用场景	高容量，高可靠性、高速率场景
容量	5TB~128TB
存储速率	26Gbps ~500Gbps
可靠性	关键节点三模冗余设计 防门锁设计 防单粒子翻转 固态硬盘动态自适应调整备份机制
工作模式	序号记录模式 按文件回放模式（支持断点回放） 按时间回放模式（支持断点回放） 回放擦除模式 压缩回写模式 边记边放模式
案例	超高分辨率军用卫星、太空数据中心

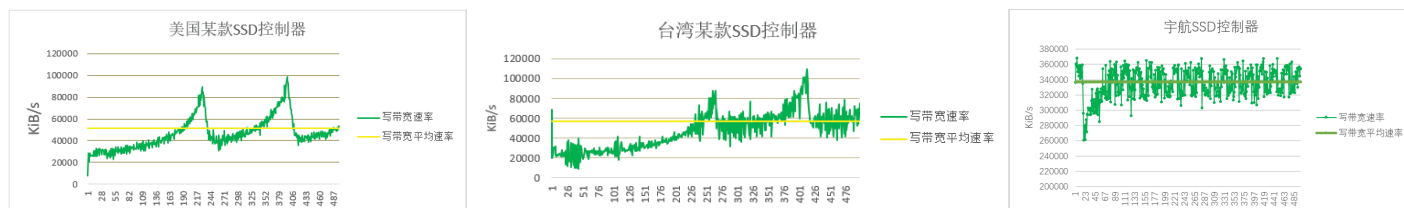
航天应用存储控制器算法

行业问题：

目前遥感卫星所使用的固存系统，均由简单的Nand Flash颗粒化方案来满足，控制单元采用FPGA芯片来驱动，并不涉及到复杂的读写算法管理。

随着前端相机或雷达产品性能的提升，一次性往后端载荷固存系统中写入的数据越来越大，对传输速率的要求也越来越高。工业级标准的SSD盘成为卫星制造行业正在尝试使用的固存替代方案。而标准的SSD盘在卫星应用领域存在许多需要解决的问题，其中数据传输性能的稳定性和可靠性是非常重要的因素之一。

由于使用标准的SSD产品，SSD内部的存储控制器的读写算法是不可更改的，在数据的传输过程中，诸如碎片整理之类的算法原因会导致数据传输时有较强的不稳定因素。



而遥感卫星应用的特点是，前端数据需一次性平稳完整写入，前端传输速率的不稳定，会使卫星丢掉此次开机拍摄的所有数据，这是无法接受的。

解决方案：

作为商业航天中唯一一家专业的存储公司，EXA Device掌握了存储控制器芯片对Flash的读写算法控制技术，可以专门针对卫星应用的数据传输特点，充分结合卫星任务的数据量大小，为卫星定制读写算法，可提高卫星数据传输性能的稳定性和可靠性，从而保证卫星载荷系统的可用性及数据安全性。

使用该技术的產品：新一代星载固存系统（AS3）、标准星载存储单元（Unit）

航天存储专用高速接口

HPSDI（High performance sensor data interface）接口，针对遥感数据特性设计的专用高速串行通信协议。

行业问题：

目前一些前沿遥感卫星制造商正在考虑使用工业级标准SSD固态硬盘来满足卫星载荷固存系统的方案，该方案的好处是使用了标准化的产品，成本低，存储容量可满足目前大部分遥感小卫星的应用。但该方案的主要缺陷来自于标准化的产品，使用了标准化的协议，而标准协议的协议开销非常大，会使系统的存储传输速率成为瓶颈。

以目前被航天广泛接受的SATA III存储传输协议为例，协议理论速率可达500MBps，而标准SATA III的SSD盘，最多可满足350MBps的实际数据传输速率，其余部分均被标准协议的开销以及传输机制消耗掉。因此使用标准SSD盘的方案，后期的技术迭代和升级，将会面临巨大问题。而且存储行业当前SLC NAND FLASH及MLC NAND FLASH已经停产，直接使用标准SATA/Nvme控制器搭载TLC NAND FLASH或QLC NANDFLASH在宇航上应用存在极大的可靠性风险。

解决方案：

EXA Device自研的传输协议专门针对卫星应用的数据传输特点做了相应的优化，从而打造了宇航存储专用的高速接口，其接口速率不再受限于标准协议的速率限制，并且基于标准Serdes实现，便于与市场所有主流FPGA进行对接。以此技术为依托，持续为航天应用，尤其是遥感卫星数据应用提供服务。

多级冗余容错系统架构

行业问题：

目前航天级存储介质价格昂贵，单GB容量成本比市场商业存储介质产品高1000倍左右。

解决方案：

为了降低成本，EXA Device的存储阵列架构采用经可靠性筛选后的工业级存储介质，同时为了满足航天级的高可靠性，EXA Device AS3在系统时采用了系统级多维容错容灾架构，通过软件配置，增减硬件，能够提供多级别的可靠性方案，方案级别如下：

solidation leve (可靠性等级)	additional hw required (是否需要硬件附加)	bad block managemen (坏块管理)	stronge ECC (增强型数据纠错引擎)	ce strip backup (片选条带备份)	nand channel backu (闪存控制器多通道备份)	unit backup (闪存模块备份)	unit RAID5 (闪存控制器RAID5)	array RAID5 (存储阵列RAID5)
5	x	√	√	x	x	x	x	x
4	√	√	√	√	x	x	x	x
3	√	√	√	√	√	x	x	x
2	√	√	√	√	√	√	x	x
1	√	√	√	√	√	√	√	x

使用该技术的產品：新一代星载固存系统（AS3）

宇航可用的高可靠PCIe Gen2x4 / SATA III双接口SSD控制器

基本介绍

Bifort是一款高性能、高可靠性 PCIe/SATA双接口SSD控制器。防辐射加固以及多种可靠性增强设计以适应恶劣条件下的辐照总剂量、单粒子翻转、单粒子门锁等环境效应。满足宇航、军工及高端工业等存储领域的高可靠SSD控制器需求。

Bifort包含PCIe Gen2 x 4 及 SATAIII双接口，提供6个独立的Flash 通道，并配备两个 ARM R4处理器。

主要特性

抗辐射特性		总剂量辐射能力（参数和功能）：100KRADs (Si) 单粒子门锁效应优于（LET）75 MeV-cm ² / mg 单粒子翻转效应优于1E-4 Error/Component/Day
容量		高达2TB
芯片电压		VCC(IC): 1.2v VCCQ(NAND): 1.8v VCCQ(OTHER): 3.3V VCCDDR: 1.5v
Host接口	速度&Lane	PCIe Gen2x4: 5Gbps/Lane, Total:20Gbps SATA3: Up to 6Gbps 支持 open-channel
NAND接口	Channel#/CE# 速度 Flash 接口mode	PCIe Gen2x4: 5Gbps/Lane, Total:20Gbps SATA3: Up to 6Gbps 支持 open-channel
DRAM 接口	Channel#/CE# 速度 Flash 接口mode	支持DDR3 400MHz, 32bit数据总线, (32bit+8bit ECC) 容量: 2GB 一个DRAM chip enable pin
性能	连续读/连续写 (MBps) 随机读/随机写 (4KB IOPS)	1600 90K/80K for SATA mode
功耗	控制器	Max: 4W
处理器		2个RISC处理器，400MHz
外设接口		SPI (X1) 接口（1路）：可以用于从外部设备boot-up UART接口（2个）：用于debug 或其他用途 多个温度传感器可用于芯片内部温度检测 I2C GPIO: 8个 Timer: 2个64bit timer, 1个32bit timer Watchdog: 1个 CAN 总线: 1路
数据可靠性		80bit/1KB BCH ECC RAID 算法为flash数据提供多页保护 SRAM 支持SECCDED TCM: 1bit ECC, 2bit EDC Chip Power-on/power-off voltage detector
安全特性		SM4 加密算法
功耗		PCIe mode Active: SATA mode Active: Idle:
工作温度		-55 ~ 125

模块图

