

国产龙芯抗辐照处理器 在航天工程中应用情况和发展目标

安全应用事业部



2017.10.12

目录

第一部分

我国航天工程应用发展趋势以及存在的问题

第二部分

龙芯抗辐照处理器的系列产品

第三部分

龙芯抗辐照处理器的技术特点

第四部分

龙芯抗辐照处理器航天工程应用

第五部分

龙芯抗辐照处理器的替代方案和优势

第六部分

龙芯抗辐照处理器的发展目标

第一部分

提出问题

我国航天工程应用发展趋势以及存在的问题

我国航天工程应用发展趋势

- 商业卫星的发展和應用成为主流
- 航天器（空间站、不同轨道的卫星）之间通过星间链路组成空间高速通信网络
- 要求航天器（空间站和卫星）在空间具备完成复杂计算的能力

我国航天工程对抗辐照处理器性能要求

- **低成本**：商业卫星应用要求卫星元器件成本必须降低
- **系列化**：针对不同卫星计算机处理器应用，提供不同等级的抗辐照产品
- **高性能**：强大计算和处理能力（通信和图形）

存在的问题

- 随着我国航天工程和应用的发展，卫星平台和载荷对抗辐照处理器的性能要求提高，航科集团采用主流SPARC V8体系的国外进口抗辐照处理器已经不能满足卫星的性能要求。
- 由于国外禁运、装发机关对型号任务的国产化率的要求等因素，导致航天型号任务中必须采用国产抗辐照元器件，但是国产元器件存在性能指标、抗辐照指标不能满足任务的要求、价格普遍偏高、没有相应的技术服务等问题。
- 普遍采用航天工程化方法解决元器件的抗辐照问题，存在很大的技术隐患以及成本过高的问题。

第二部分

龙芯有什么

龙芯抗辐照处理器的系列产品

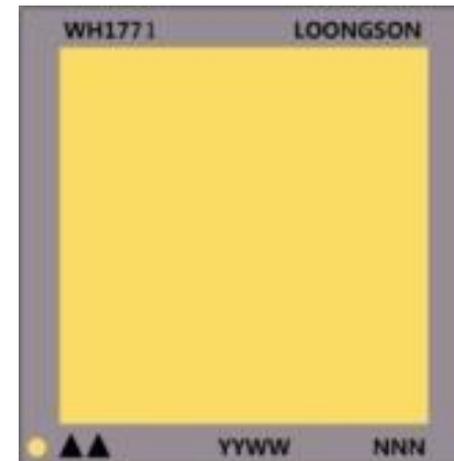
龙芯1E（高性能计算和数据处理）

➤ 功能&性能

- 龙芯32位GS232处理器核、64位浮点处理部件，主频最高100MHz
- PCI控制器、SDRAM/SRAM控制器
- NOR/NAND FLASH控制器、中断控制器、串口、EJTAG调试端口
- 0.18um CMOS体硅工艺

➤ 环境适应性

- 抗辐照总剂量：300 Krad (Si)
- 单粒子翻转率：SEU \leq 10⁻¹⁰ errors/bit.day
- 单粒子门锁阈值：SEL \geq 75 MeV/mg/cm²
- ESD：2000V (HBM)
- 工作温度范围：-55°C-+125°C
- 最大功耗：3W
- CBGA-276 陶瓷封装
- 尺寸：27mmX27mm



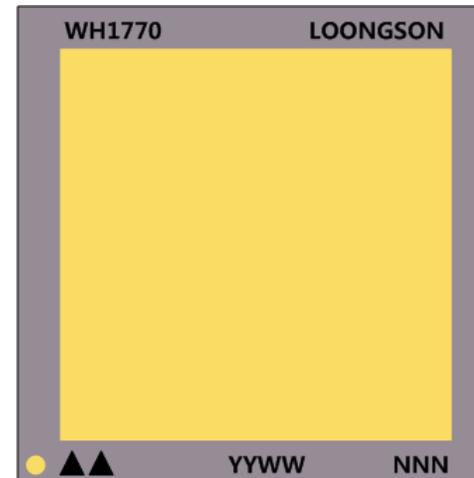
龙芯1F（1E桥片、SOC处理器）

➤ 功能&性能

- 龙芯32位GS132处理器核，主频33MHz
- PCI控制器、SRAM控制器，1553B控制器、CAN控制器等
- 集成ISA接口、串口、AD、OC门、PWM、PCM、PPC、GPIO、EJTAG
- 0.18um CMOS体硅工艺

➤ 环境适应性

- 抗辐照总剂量：300 Krad (Si)
- 单粒子翻转率：SEU \leq 10⁻¹⁰ errors/bit-day
- 单粒子门锁阈值：SEL \geq 75 MeV/mg/cm²
- ESD：2000V (HBM)
- 工作温度范围：-55°C-+125°C
- 最大功耗：3W
- CBGA-276 陶瓷封装
- 尺寸：27mmX27mm



龙芯1J（单片机）

➤ 功能&性能

- 龙芯32位GS132处理器核、主频最高10MHz
- 集成Flash、SRAM
- 集成I2C、UART、SPI、PWM、ADC
- 0.13um EF130工艺

➤ 环境适应性

- 抗辐照总剂量：20 Krad (Si)
- 单粒子翻转率：SEU \leq 10⁻⁵ errors/dev.day
- 单粒子门锁阈值：SEL \geq 37.5 MeV/mg/cm²
- ESD：2000V (HBM)
- 工作温度范围：-55°C-+125°C
- 最大功耗：50mW
- CQFP48/QFP48
- 尺寸：8.5mmX8.5mm

龙芯1E300（二代产品）

➤ 功能&性能

- 龙芯32位GS232e处理器核、128位向量部件，主频最高200MHz
- PCI控制器、SDRAM控制器、SpaceWire控制器（6x6）
- NOR/NAND FLASH控制器、中断控制器、串口
- 0.13um SOI工艺

➤ 环境适应性

- 抗辐照总剂量：300 Krad (Si)
- 单粒子翻转率：SEU \leq 10⁻¹⁰ errors/bit.day
- 单粒子闩锁阈值：SEL \geq 75 MeV/mg/cm²
- ESD：1000V (HBM)
- 工作温度范围：-55°C-+125°C
- 最大功耗：3W
- CBGA-276 陶瓷封装
- 尺寸：27mmX27mm

龙芯1F300（二代产品）

➤ 功能&性能

- 龙芯32位GS132e处理器核、主频最高100MHz
- PCI控制器、SDRAM控制器、1553B控制器、片上RAM、SpaceWire
- 集成ISA接口、串口、AD、OC门、PWM、PCM、PPC、GPIO、EJTAG
- 0.13um SOI工艺

➤ 环境适应性

- 抗辐照总剂量：100 Krad (Si)
- 单粒子翻转率：SEU $\leq 10^{-10}$ errors/bit.day
- 单粒子门锁阈值：SEL ≥ 75 MeV/mg/cm²
- ESD：1000V (HBM)
- 工作温度范围：-55°C-+125°C
- 最大功耗：2W
- CBGA-276 陶瓷封装
- 尺寸：27mmX27mm

龙芯1E1000（三代产品）

➤ 功能&性能

- 两个GS232E处理器、128位向量部件、主频最高1GHz
- 集成高速串行接口RapidIO/FC-SpaceWire
- 集成DDR2/3，NOR/NAND Flash控制器，串口，SpaceWire
- 28nm SOI工艺

➤ 环境适应性

- 抗辐照总剂量：100 Krad (Si)
- 单粒子翻转率：SEU \leq 10⁻⁵ errors/bit.day
- 单粒子门锁阈值：SEL \geq 75 MeV/mg/cm²
- ESD：2000V (HBM)
- 工作温度范围：-55°C-+125°C
- 最大功耗：5W
- CBGA陶瓷封装

2020年样片

龙芯抗辐照系列芯片

	1J	1F	1F300	1E	1E300	1E1000
处理器核	GS132	GS132	GS132E	GS232	GS232E	GS232E
片上缓存	-	-	-	8K+8K	16K+16K	32K+32K+1M
协处理器	-	-	-	浮点	浮点+向量	浮点+向量
核数	1	1	1	1	1	2
工艺	EF130	180	130SOI	180	130SOI	28SOI
频率	10	33	100	100	200	1000
内存接口	-	SRAM	SRAM/SDRAM	SDRAM	SDRAM	DDR2/3
片上存储	32K Flash 8K RAM	8K RAM	64K RAM	-	-	-
RapidIO						√
SpaceWire			√		√	√
1553		√	√			
PCI		√	√	√	√	
UART	√	√	√	√	√	√
I2C	√			√	√	√
SPI	√			√	√	√
遥测遥控		√	√			

第三部分

龙芯为什么好用

龙芯抗辐照处理器的技术特点

龙芯抗辐照处理器特点

➤ 产品系列化

- 低端产品：使用0.18um/0.13um体硅加固（代表：LS1E、LS1F以及LS1J等）
- 中端产品：使用0.13um SOI，性能提高3-5倍（代表：LS1E300、LS1F300等）
- 高端产品：使用28nm FDSOI，性能再提高10-20倍（代表：LS1E1000等）
- 高端用户定制化产品：按照用户的需求定义，定制具有自主知识产权的个性化产品。

➤ 服务专业化

- 服务对象：中科院创新研究院、航科集团、科工集团卫星总体单位、电科集团、商业卫星载荷研制单位等国内所有抗辐照处理器需求单位。
- 服务内容：提供基于LS抗辐照处理器相应开发板、开发系统、提供基于MIPS指令体系结构的设计师的培训和指导、为采用LS抗辐照处理器的卫星单位设计提供全面的解决方案等

龙芯抗辐照处理器技术先进性

➤ 全面采用龙芯自主可控处理器核

- 龙芯抗辐照系列产品全部采用自主可控处理器核，通过了地面军用、民用芯片的批量（100万片以上）应用检验，结构和逻辑成熟度高；
- 其他逻辑模块及接口在不同龙芯处理器上也得到过充分地面应用验证。

➤ 掌握抗辐照的技术和规范

- 使用环栅进行抗总剂量加固及抗闩锁加固；
- 使用三模冗余的互锁触发器，提升触发器抗单粒子辐照能力；
- 使用互锁存储结构及ECC，提升存储器抗单粒子辐照能力；
- 设计采用时空三模冗余，增强组合逻辑对单粒子辐射的承受能力；

➤ 抗辐照处理器航天工程应用验证

- 通过地面总剂量辐照试验和单粒子辐照试验；
- 在北斗工程装备星上无故障运行已达三年

第四部分

龙芯干了什么

龙芯抗辐照处理器航天工程应用

北斗全球系统导航卫星

➤ 数据处理计算机

- 遥测和控制，以及星间链路运算。包括：数据处理终端、专项管理终端、高速处理机等。
- 主、备均采用龙芯抗辐照处理器（LS1E和LS1F）。

➤ 自主运行单元处理机

- 自主定轨、时间同步、数传及路由管理、协议转换、代码上注。
- 主、备均采用龙芯抗辐照处理器（LS1E和LS1F）。

➤ 导航任务处理机

- 导航信息生成及载荷管理。
- 主、备均使用龙芯抗辐照处理器（LS1E和LS1F）。

实践十号返回式科学实验卫星

该实验卫星四个主要载荷，均采用龙芯1E和龙芯1F芯片，主要完成载荷信息的存储、接收、运算和控制：

- (1) 密封舱载荷管理器
- (2) 回收舱载荷管理器
- (3) 密封舱综合电控箱
- (4) 回收舱综合电控箱

2016年4月成功发射并回收，龙芯1E和龙芯1F工作状态良好。

在北斗导航卫星的工程应用情况

➤ 试验卫星工程首颗IGSO卫星

- 2015年3月31日，龙芯1E和龙芯1F随我国首颗新一代北斗导航卫星升空。
- 自4月20日开机至今，龙芯1E和龙芯1F状态良好，工作正常。根据下行遥测数据分析，未出现一次可记录的单粒子翻转事件。

➤ 北斗试验卫星工程MEO卫星

- 2016年2月1日发射新一代北斗导航MEO卫星，采用最新改版的龙芯1E和龙芯1F芯片。工作状态良好。



第五部分

龙芯还能干什么

龙芯抗辐照处理器的应用替代方案和优势

龙芯抗辐照处理器的应用解决方案

➤ 卫星星上综合电子系统（星上数据处理系统）

- 采用龙芯1E（主处理器）+1F（协处理器）（桥片）全面替代采用SPARCV8体系进口AT695（AT697）+FPGA（扩展外部接口）的星上计算机系统或者国产3803+FPGA（扩展外部接口）的星上计算机系统。

➤ 卫星平台姿态控制的核心器件

- 采用龙芯1E+FPGA（扩展外部接口）方案替代原有FPGA、AT697+FPGA方案、国产3803+FPGA国产方案以及部分DSP+FPGA方案。
- 采用龙芯1F4独立处理器替代原有单片机（80C31、80C32等方案）
- 采用龙芯1F4独立处理器替代原有的FPGA（30万门以下）的应用解决方案。1F300可以替代原有FPGA（300万门以下）或者DSP的方案。

➤ 卫星载荷数据传输和处理系统

龙芯在航天工程应用的优势

➤ 自主可控

- 从流片到封装，从IP微处理器的结构到MIPS扩展指令集，从操作系统内核到应用程序优化，可以做到完全自主可控。
- 根据设计需求，为用户定制抗辐照处理器产品。

➤ 处理器性能

- 性能指标全面达到能够从国外进口抗辐照处理器的水平，部分指标已经实现超越。在北斗装备星在2万公里空间环境最恶劣的轨道上经过3年的运行，没有出现一次可确认的单粒子翻转事件。
- 具备抗辐照处理器系列化产品的设计和生产能力。最新LS1E300将在北斗导航装备星上搭载使用，全面打破国外对我国高性能航天元器件（抗辐照处理器）的禁运。

龙芯在航天工程应用的优势

➤ 超低价格

- 龙芯中科的抗辐照处理器价格是国外同等性能的四分之一，也远远低于国产3803等同类产品。

➤ 全面服务

- 为卫星设计单位提供服务：
 - 支持龙芯抗辐照处理器板卡的设计。
 - 板卡级的硬件驱动。
 - 提供图形化的开发系统和开发板。
 - 为用户提供实时操作系统级的适配和调试等工作。
- 为卫星设计单位提供全面解决方案：
 - 采用双抗辐照FLASH替代采用国外PROM的方案，解决卡脖子禁运问题。

第六部分

龙芯想干什么

龙芯抗辐照处理器的目标

龙芯抗辐照处理器的目标

➤ 全面推动自主可控的龙芯抗辐照处理器的生态建设

- 现阶段：以航天科技集团为代表抗辐照处理器技术路线主要采用SPARCV8架构。这条技术路线已经使用了将近二十年，优势是指令集和微结构都是开源，有利于国产化设计硬件设计以及相应的板卡级软件驱动和应用程序的开发。实际航天应用过程中，抗辐照处理器主要是采购国外ATMEL公司的AT695和AT697系列产品。国产3803抗辐照处理器性能和可靠性还有相当的差距。
- 战略目标：由于龙芯中科已经全面掌握MIPS指令集和处理器微结构的设计以及抗辐照加固的技术和设计规范，设计研制以LS1E和LS1F为代表的抗辐照处理器，性能完达到国外抗辐照处理器的指标。推动以航科集团、中科院创新研究院以及电科集团为主设计和研制的航天器中抗辐照处理器部分采用以MIPS为架构的技术路线。在卫星平台和载荷中采用龙芯抗辐照处理器，形成特有的国产化安全自主可控抗辐照处理器的体系。只有这样龙芯抗辐照处理器才能在航天应用中发挥自主可控、价格和服务的优势，形成良好的竞争局面，在抗辐照处理器市场上立于不败之地。

谢谢

安全应用事业部

