

天基目标信息数据自主管理系统设计研究^①

郭鹤鹤,牛跃华,汪路元

(北京空间飞行器总体设计部,北京 100190)

摘要:为解决目前星载文件系统无法有效支持作战任务对目标信息的灵活访问和目标信息动态随机更新的问题,从空、天、地三个维度对目标的特性进行分析,依据目标特性和存储芯片特性,提出基于MANAFS的目标信息数据管理系统。该系统通过建立多级目录结构,实现目标的快速索引和精细颗粒度的更新或重构,采用CCSDS航天器星载接口业务的基础功能服务和应用层文件传输协议,从而具备较强的互操作、任务快速响应、自主管理能力,通过对目标信息数据编码/加密、存储器件级冗余两种设计保证数据在轨的安全性和完整性。结合实际需求,该系统对于提升天基武器系统的作战效能具有重要的意义。

关键词:作战目标;目标信息数据库;MANAFS;自主管理

中图分类号:V443+.4

文献标识码:A

文章编号:1674-7135(2021)03-0112-05

DOI:10.3969/j.issn.1674-7135.2021.03.018

Research on design of spacecraft onboard targets information database autonomous management system

GUO Hehe, NIU Yuehua, WANG Luyuan

(Beijing Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100190, China)

Abstract: To solve the problem that current spacecraft onboard file system cannot effectively support the flexible access to targets information and the dynamic random updating of targets information, targets information database system based MANAFS (MRAM Aid NAND Flash memory Array File System) is presented, according to the characteristics of memory chip and targets from space, sky and earth three dimensions. By establishing multi-level directory structure, and adopt the spacecraft onboard interface services(SOIS) and CCSDS File Delivery Protocol (CFDP) interface protocol, the system can realize fast index of targets, update or reconstruct of BLOCK granularity, which have strong interoperability, autonomous management ability and versatility. The security and integrity of data onboard are ensured by adding coding encryption and memory device redundancy. Combined with the actual demand, the system is of great significance to enhance the operational effectiveness of spacecraft onboard weapon system.

Key words: combat targets; targets information database; MANAFS; autonomous management

0 引言

天基武器攻击主要是指对作战目标实施攻击,以实现破坏、甚至物理摧毁作战目标为目的。其中,硬杀伤可使目标永久丧失功能,甚至导致敌方作战体系的直接瘫痪,具备极强的破坏力,从而被广泛应

用于天基武器系统^[1]。

根据硬杀伤手段的不同,天基武器系统分为:

1)天基动能武器,如美国2012年开始研制的一种新概念武器系统“上帝之杖”,依靠弹体高空坠落形成的巨大动能造成毁伤响应,从而打击地下深层战略

^① 收稿日期:2020-07-30;修回日期:2021-04-08。

基金项目:装备发展部重大专项(编号:GFZX0406120203)

作者简介:郭鹤鹤(1987—),工程师,主要研究方向:空间电子信息系统。E-mail: xiaohes202@163.com

目标^[2]。

2)天基在轨操作,通过机械臂或对接抓捕、破坏目标,如美国 2016 年 5 月启动的地球静止轨道卫星机器人服务(RSGS)项目,为目标提供辅助推进和变轨及抵近检测、测量^[3]。

3)天基激光武器,如美国弹道导弹防御局提出的在高度为 1 300 km、倾角为 40°、不同升交点赤经的圆轨道上,部署 24 颗激光作战卫星,可在 2 s~5 s 内摧毁以其为中心、半径 4 000 km 范围内的导弹。

4)天基微波武器,如美国规划采用低轨多星组网的方式,在 500 km~916 km 的轨道高度上部署攻击频率覆盖为 1 GHz~100 GHz、峰值功率为 100 MW~100 GW 的微波武器,通过对目标产生电效应、热效应或生物效应,从而破坏目标电子设备,达到干扰、杀伤或摧毁^[4-6]。

从上述 4 类天基武器系统可以看出,作战目标覆盖空、天、地,而实施太空有效攻击的首要任务是对作战目标的精确识别,为此,天基武器系统需要基

于作战手段和作战目标建立天基目标信息数据管理系统,并且该系统可以自主响应作战任务,具备数据重构、更新、为武器载荷装订目标信息的能力。然而,在不同的作战手段和作战目标下,作战目标属性信息和图像特征数据也存在较大的差异,且并非一成不变,对目标信息数据库在轨的高效自主管理提出了较高的要求。

文章对作战目标从空、天、地 3 个维度对目标的特性进行了分析,提出基于 MANAFS(MRAM Aid NAND Flash memory Array File System)的目标信息数据管理系统,具备较强的自主管理能力、通用性和任务快速响应能力,能够简化作战任务实施流程,提升天基武器的自主任务规划能力和威慑效能,对于提升卫星好用性和易用性具有重要的作用。

1 作战目标分析

根据天基武器作战对象,作战目标主要分为地基目标、天基目标和空间目标,如图 1 所示。

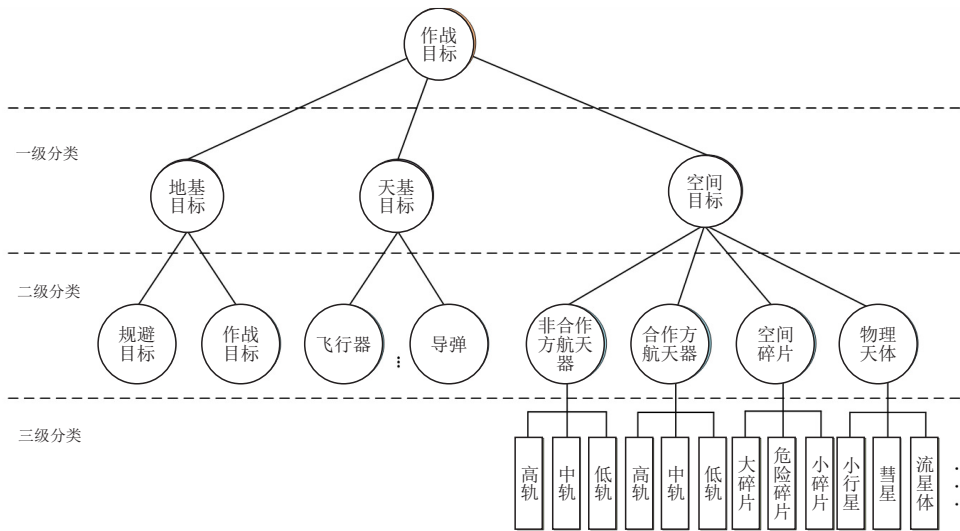


图 1 目标分类

Fig. 1 Target classification

1)地基目标主要包括作战目标和规避目标。作战目标主要为挂载武器提供末制导数据,其目标属性主要包括:图像数据、位置信息、高程信息等。规避目标是指地基反卫星武器,主要是来自其他国家的地基激光和地基动能,其目标属性包括:规避类型、位置信息等。

2)天基目标主要包括各类导弹、飞行器等。其

目标属性包括:目标类型、位置信息、速度信息、轨迹预测信息、图像数据等。

3)空间目标主要包括物理天体、空间碎片、合作方航天器、非合作方航天器。

物理天体是指太阳系内的小行星、彗星、流星体以及其他星际物质。如美国在 2005 年进行的“深度撞击”试验,该试验的撞击对象是“坦普尔 1 号”彗

星^[7]。其目标属性包括轨道特性、形状特征、自转模型、地形地貌数据等。

空间碎片是指除正常工作的航天器外所有在轨的人造物体,包括失效载荷、火箭残骸、操作性碎片、由爆炸和碰撞产生的残碎片、固体火箭的燃烧剩余物、核动力卫星泄露的冷却剂以及航天器老化而脱落的表面材料和组件等。根据空间碎片的尺寸大小,空间碎片分为:大碎片(大于 10 cm),具有较高的能量和破坏力,可使航天器解体;危险碎片(1 mm ~ 10 cm),根据碰撞部位的不同,可使航天器表面或部件损伤或整体失效;小碎片(小于 1 mm),可使航天器表面损伤或无保护部件受损^[8-9]。其目标属性包括:轨道、动态特性(旋转)、外形、体积、质量、表面物理特征数据、图像数据、图像质量信息等信息。

航天器又可以根据轨道的位置划分为低/中/高轨道。其目标属性包括:轨道、动态特性(旋转)、外形、体积、质量、表面物理特征数据、图像数据、图像质量信息、寿命、健康状态等信息^[10]。

2 目标信息管理系统

据统计,目前能够编目跟踪的尺寸在 10 cm 以上的空间碎片约有 1.8 万个,1 cm ~ 10 cm 以下的空间碎片据估计有 70 万个。因此,随着观测设备精度不断的提升,产生的目标数量和数据量也将会急剧

增加,需要天基目标信息数据管理系统具备更新、重构能力和更高容量的存储空间;同时,作战任务时效性强,要求目标信息数据库管理系统具备实时高效的数据处理能力。此外,为避免目标信息数据被窃取和空间电磁波或者粒子辐射会造成的损害,目标信息数据库应具有很高的安全性和完整性,因而必须具备可靠的数据防护措施。

2.1 系统架构

为实现不同任务对天基目标信息数据系统的互操作,依据空间数据系统咨询委员会(CCSDS, The Consultative Committee for Space Data Systems)建议的航天器星载接口业务(SOIS, Spacecraft Onboard Interface Services)的基础功能服务,采用指令与数据获取业务(CDAS, Command and data Acquisition Services)、文件及包存储业务(FPSS, File and Packet Store Services)使得用户(任务规划、武器载荷等)可通过此层业务直接访问目标信息数据获取目标相关信息进行任务规划,无需关心设备的物理位置信息^[11-12],系统架构如图 2 所示。其中,目标数据管理系统由存储区、存储管理系统 2 部分组成。存储管理系统主要响应应用层协议,完成目标信息数据的上注、重构、删除和存储区数据的自主管理,输出指定编目的目标信息,对武器载荷进行目标信息的装订。

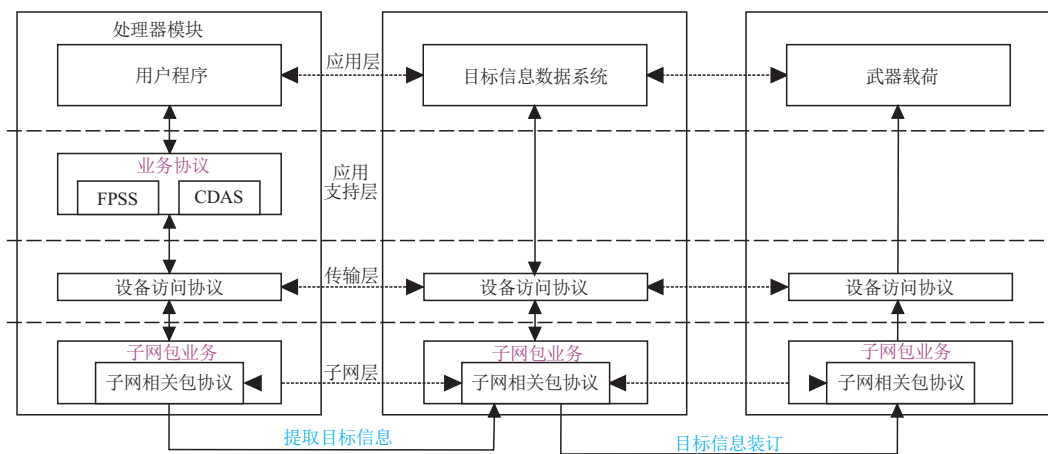


图 2 系统架构

Fig. 2 System architecture

2.2 方案设计

在航天器上广泛应用的存储芯片主要有 Nand-Flash 存储器和磁阻式随机存取存储器(MRAM,

Magneto Resistive Random Access Memory) 2 大类。NandFlash 存储器具有容量较大,改写速度快等优点,适用于大量数据的存储。MRAM 是一种以磁电

阻性质来存储数据的随机存储器,具有非挥发性、随机存储、高读写速度、耗电率低、最小芯片面积、可以无限擦写等各种优良特性,具有极高的可靠性^[13]。基于上述芯片的特性和目标属性、图像数据量的大小,本文提出基于 MANAFS(MRAM Aid NAND Flash memory Array File System)的文件管理系统,在 MRAM 分区、分类存储目标属性和文件信息,通过

多级目录结构,实现编目目标的快速索引;在 Nand-Flash 以文件存储的方式缓存目标图像数据,按照图像数据量的大小,可以实现以 BLOCK(4 Mb)为最小单位的精细化更新或重构^[14]。目标数据管理系统结构如图 3 所示,其中一级、二级、三级分类按照图 1 所示的目标分类开展设计。

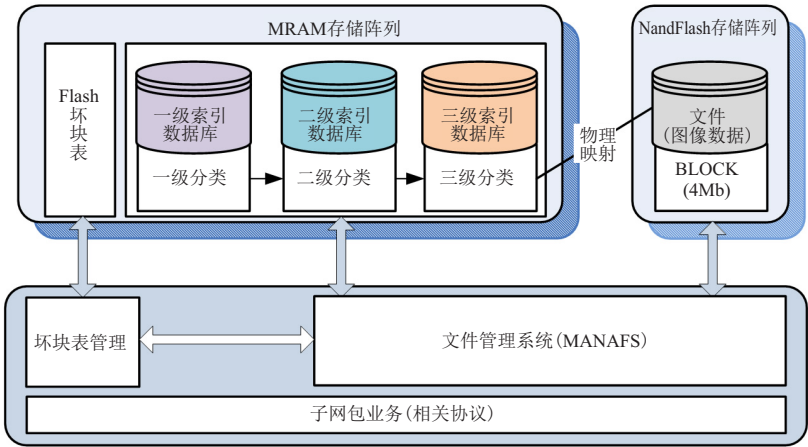


图 3 目标信息数据库系统结构

Fig. 3 The architecture of target information database system

2.3 自主高效管理设计

为保证目标数据按照顺序且无间隙或无重复的进行在轨上注、重构或武器载荷目标信息数据的装订,提升目标信息数据传输效能,采用 CCSDS 提出的文件传输协议 (CCSDS File Delivery Protocol, CFDP) 来实现目标数据文件在空间链路和星内链路

的闭环传送。CFDP 协议支持可靠传输的文件传输模式,在该传输模式下启用了确认机制,接收实体通过 NAK (Negative Acknowledgment) 向发送实体发送重传请求,请求发送实体重传出错和丢失的文件数据 PDU,保证了文件数据的完整性和可靠性,发送实体与接收实体间信息交互机制如图 4 所示。

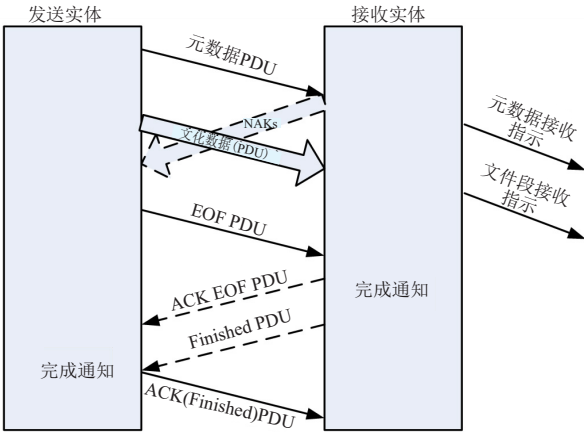


图 4 信息交互机制

Fig. 4 The mechanism of information interaction

2.4 安全防护设计

为提升系统的安全等级,采取的措施如下所示:

1) MRAM 存储/Flash 存储采用 RAID1 级别冗余,从而增加系统容量,提升系统吞吐率,并具有很高的可靠性,在任何一块存储区出错的时候,都可以通过其他存储区恢复出数据,保证系统在一块存储区出错的情况下继续工作。

2) 关键数据编码/加密,空闲时段周期性关键数据读取译码/解密检测,判断数据的完整性,对不完整的数据,可以从备份区/星地链路据两条路径进行数据的更新。

3 结论

根据天基武器作战对象,文章从空、天、地三个维度分析了天基武器系统的作战目标及属性信息,建立了以 SOIS 为基础的系统架构,提出基于 MAN-AFS 的目标信息数据管理系统,具备实时高效的数据处理能力;在应用层,采用 CCSDS CFDP 文件传输协议,提升了文件传输的效率,保证了文件传输的完整性和可靠性;此外,通过安全防护措施,提升了系统的安全等级,保证数据在轨的安全性和完整性。结合任务需求,文章提出的天基目标信息数据系统具备较强的自主管理能力、任务快速响应能力、通用性。

参考文献:

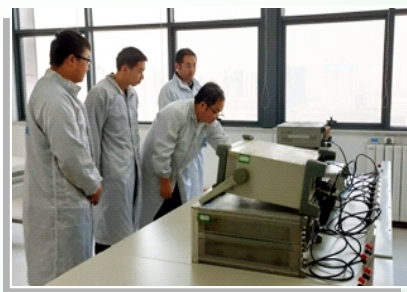
- [1] 刁华飞,张雅声.美国高轨态势感知卫星能力分析[J].航天电子对抗,2019,35(4):48-51.
- [2] 李争,刘元雪,胡明,等.“上帝之杖”天基动能武器毁伤效应评估[J].振动与冲击,2016,35(18):159-164+180.
- [3] 李青,刘爱芳,王永梅,等.美国空间攻防体系发展与能力研究[J].航天器工程,2018,27(3):95-103.
- [4] 周鼎,张安,常欢.天基对地武器作战效能评估及其灵敏度分析[J].弹道学报,2016,28(2):5-11.
- [5] 李飞,汝枫,赵军贵,等.导弹武器全天候自然环境实验室研究[J].导弹与航天运载技术,2016(3):40-43.
- [6] 王晓海,周宇昌.欧洲航天局航天4.0时代及发展[J].空间电子技术,2017,14(3):69-79.
- [7] 王杰娟,于小红.从“深度撞击”试验剖析美国天基武器试验[J].装备指挥技术学院学报,2009,20(1):69-73.
- [8] 季江徽,胡寿村.太阳系小天体表面环境综述[J].航天器环境工程,2019,36(6):519-532.
- [9] 宋薇,冯诗淇,石晶,等.基于散射光谱的空间碎片分类研究[J].光谱学与光谱分析,2015,35(6):1464-1468.
- [10] 邓武东,张国强,龚迪.非合作电子目标数据库技术研究[J].航天电子对抗,2016,32(3):46-48,60.
- [11] CCSDS 850.0-G-1 Spacecraft Onboard Interface Services[S]. Washington D C:CCSDS Secretariat,2007.
- [12] 张庆君,郭坚,董光亮,等.空间数据系统[M].北京:北京科学技术出版社,2016:372-380.
- [13] SANG O P, SUNG J K. An Efficient Array File System for Multiple Small-Capacity NAND Flash Memories[C]//2011 International Conference on Network-Based Information Systems,569-572.
- [14] LIM S, PARK K H. An efficient NAND flash file system for flash memory storage[J]. IEEE Transactions on Computers,2006,55(7):906-912.

◆ 验证能力

实验室具备FPGA全流程验证能力，涉及文档审查、代码审查、仿真测试、逻辑等价性测试、静态时序分析、板级测试、系统测试实验室全部7项认可能力。

序号	检测对象	项目/参数		检测标准（方法）	说明	是否推荐	状态
		序号	名称				
来分组							
1	可编程逻辑器件软件测试	1	文档审查	航天型号可编程逻辑器件软件测试要求 QJ 20353-2014 5.1		是	保持
		2	代码审查	航天型号可编程逻辑器件软件测试要求 QJ 20353-2014 5.2		是	保持
		3	仿真测试	航天型号可编程逻辑器件软件测试要求 QJ 20353-2014 5.3		是	保持
		4	静态时序分析	航天型号可编程逻辑器件软件测试要求 QJ 20353-2014 5.5		是	保持
		5	逻辑等效性检查	航天型号可编程逻辑器件软件测试要求 QJ 20353-2014 5.4		是	保持
		6	板级测试	航天型号可编程逻辑器件软件测试要求 QJ 20353-2014 5.6		是	保持
		7	系统测试	航天型号可编程逻辑器件软件测试要求 QJ 20353-2014 5.7		是	保持

实验室具备各类FPGA开发与验证软件工具、项目数据管理软件以及各类测试仪器设备。



◆ 可提供的服务

★ FPGA第三方验证

业务包括：模块仿真、配置项验证、定型鉴定测试、仿真环境构建服务、专项时序验证。

★ FPGA咨询：

业务包括：型号FPGA工程化要求及研制技术流程、型号FPGA验证质量管理体系建设、型号FPGA产品保证要求、FPGA设计、FPGA编程规范、FPGA开发和验证技术、EDA工具选型咨

联系方式：

地 址：陕西省西安市长安区东长安街五〇四园区

电 话：029-89253165、17392814867

热诚欢迎国内外专家、学者莅临指导和交流合作！

空间电子技术

(双月刊·1971年创刊)

SPACE ELECTRONIC TECHNOLOGY

第18卷第3期总第195期 2021年6月25日

责任编辑 申建伟 周宇昌

《空间电子技术》第四届编辑委员会

顾问 闵桂荣 张履谦 杨士中 郑南宁 段宝岩 郝跃

主任 李军

副主任 宋燕平 孙彤

编委 (以姓氏拼音为序)

安建平 段崇棣 宫丰奎 郭陈江 郭福成 贺永宁

焦永昌 解学通 李赞 李青侠 李团结 李正军

廉保旺 廖桂生 刘海文 马凯学 马晓华 倪桂强

阮新波 盛卫星 苏涛 孙文方 王立 王伶

王力军 吴志刚 邢孟道 杨宜康 殷柳国 于洪喜

张华 张安学 张更新 张华振 张林让 张首刚

张天序 章秀银 周诠

主编 陈豪

副主编 崔万照

主管单位 中国航天科技集团有限公司

主办单位 西安空间无线电技术研究所

出版发行 《空间电子技术》编辑部

地址 西安市165信箱

邮编 710000

电话 029-85613384

E-mail kjdzjs504@163.com

网址 kjdzjs.paperopen.com

印刷 陕西海丰印刷有限公司



中国标准连续出版物号

ISSN 1674-7135
CN 61-1420/TN

国内定价:12.00元