

基于矩阵式软件库的航天系统快速构建

李赣华^{1,2}, 樊恒海^{1,2}, 董黎^{1,2}, 邵能建^{1,2}

(1. 国家宇航动力学实验室, 陕西 西安 710043; 2. 西安卫星测控中心, 陕西 西安 710043)

摘要: 针对地面航天器数据中心多型号软件系统构建, 提出了一种基于多维矩阵式软件库的快速定制构建方法。首先, 分析了航天数据中心系统的整体结构, 提出了可以满足云计算应用的多态多层兼容复杂结构; 其次, 介绍了适应航天数据中心的硬件系统微模块机房部署方式, 提出了操作使用与操作场地分离、软件系统与硬件系统解耦的架构设计; 最后, 提出了一种矩阵式定制化动态调度软件库, 实现按需求灵活定制组建新应用系统、快速加载卸载应用系统的能力, 并介绍了按需快速生成和动态加载卸载的流程。系统满足了航天数据中心多系列多卫星地面数据处理系统构建的任务要求, 有效降低了系统开发成本, 减少了系统运维工作。

关键词: 复杂系统; 软件流水线; 航天数据中心; 软件库

中图分类号: TN820.4

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.222662

中文引用格式: 李赣华, 樊恒海, 董黎, 等. 基于矩阵式软件库的航天系统快速构建[J]. 电子技术应用, 2022, 48(11): 79-83.

英文引用格式: Li Ganhua, Fan Henghai, Dong Li, et al. The rapid construction of space system based on matrix software library[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(11): 79-83.

The rapid construction of space system based on matrix software library

Li Ganhua^{1,2}, Fan Henghai^{1,2}, Dong Li^{1,2}, Tai Nengjian^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Astronautic Dynamics, Xi'an 710043, China;

2. Xi'an Satellite Control Center, Xi'an 710043, China)

Abstract: This paper presented a fast custom made method based on multi-dimensional matrix type software library for the multi-model software construction of space data process center. Firstly, the architecture is introduced for the space data process center system, that is multi-layer and multi-state complex structure satisfied with cloud computation. Secondly, the deployment mode of micro module room is introduced adapt to the computer hardware of the space data process center. And the structure of the system is presented to divide the operation with the operation place, to divide the software management with hardware management. At last, a matrix type dynamic custom software library is presented, which could construct the new application flexibly and customizably, load and unload the satellite management system mirror file quickly. And the process flow of the operation is also introduced for quick generation and management. This method satisfied with the multi-series and the multi-satellite mission requirement of space data process center. The system development cost is reduced effectively and efficiently. And the system operation and maintenance are reduced obviously.

Key words: complex system; software pipeline; space data center; software library

0 引言

近年来,我国航天工业尤其是商业航天的发展速度很快,面向民商轨航天器数量井喷式增长。面对每年型号多样、数量较多的卫星数据处理,航天地面数据处理中心系统的功能很多、组成复杂,硬件系统数量不断上升,软件建设耗费人力和经费数量巨大,面向未来大量不断增加的在轨航天器,地面数据处理中心如何对主要分系统进行梳理分类,充分利用已经过充分验证的在用系统模块,结合在用模块配置更改和少量模块研发,快速构建新上卫星的地面数据处理系统,将是满足未来民

用和商用卫星数量增加,降低成本的关键技术问题。基于类统一建模语言(Unified Modeling Language, UML),本文提出一个利用矩阵式软件库快速组建新的卫星数据处理系统,对应用软件和部署硬件进行解耦分离,实现在用系统不中断情况下快速构建新增卫星任务系统的方法。

1 国内外现状分析

国内主要在软件流水线方面和软件库的管理方面开展了许多的研究。针对系统快速构建,金星波提出基于软件库的软件生产线过程模型及无缝迁移模型,采用

生产线技术达到降低初期投入成本,有助于生产线的迁移能力^[1]。陈永红提出了大规模工业化生产软件的模式,建立模块库管理系统,用户可以交互地和随意地往模块库中插入、删除、修改和查询模块^[2]。曹洪雨提出一种基于开源架构的在线研发流水线组件的设计实现方法^[3]。徐正权针对那些已经存在的传统相关联的软件资源能够利用 Internet 技术进行网络发布和互操作,提出一种新的 SoftStore 软件库系统模型——SSLM,并结合一个实际的类库系统讨论 SoftStore 软件库的具体应用^[4]。倪奇智针对存在精确异常要求的 Java 程序,提出了一种软件流水线的算法,并以安腾作为底平台对该算法进行了测试,实验结果显示该算法在保证 Java 精确异常要求的情况下能够大幅度提高 Java 程序的性能^[5]。同样,国外在系统快速组建和软件生产线方面开展了大量的研究,使系统开发时间大大缩短,降低软件开发费用^[6-9]。

国内外航天系统^[10-11]同样采用了基于云平台 and 相对分离模块化软件架构。但是因为航天数据中心系统主要应用于航天器的地面操控和管理工作,系统结构复杂,软件模块组成量大,同系列不同型号系统组成相似,可以通过配置和相应更改实现构建,在这样的要求下,上述方法可以借鉴但难以直接利用。

2 多态多层解耦的软硬件结构

针对航天数据处理中心,本文提出一种云计算三层服务架构,即基础设施层(IaaS)、平台服务层(PaaS)和软件服务层(SaaS),如图 1 所示。在云计算系统下是硬件设

备层,为云计算系统提供硬件资源支撑。同时,为了减少不同系统层建设和运行维护产生的相互干扰,需通过技术手段实现 SaaS、PasS、IaaS 和硬件设备层的解耦合,分别通过建设通用模块化硬件平台和动态调度定制化矩阵式软件库等途径来实现。

3 通用模块化硬件平台

计算机系统包含服务器、终端、磁盘阵列、网络交换机及配套设施等,按照功能划分,主要包括标准化的模块设计机房和统一管理的集中部署硬件平台等,详细如下。

3.1 标准化模块设计机房

为了标准化设计航天数据中心机房,保证系统具备统一管理和集中部署能力,同时满足软硬件系统解耦合要求,可采用标准模块化机房设计,根据需要对机房进行隔断,实现功能区划分。机房包含温湿度监控系统、水浸监控系统、门禁系统、工具柜等配套设施。每个机房的布局如图 2 所示。

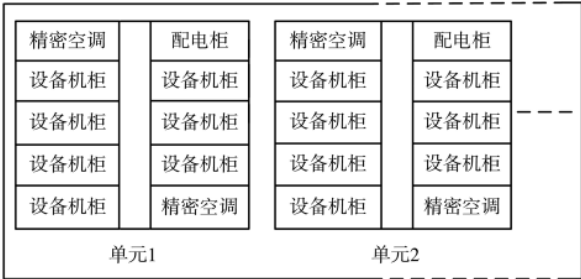


图 2 标准化模块化机房设计示意图

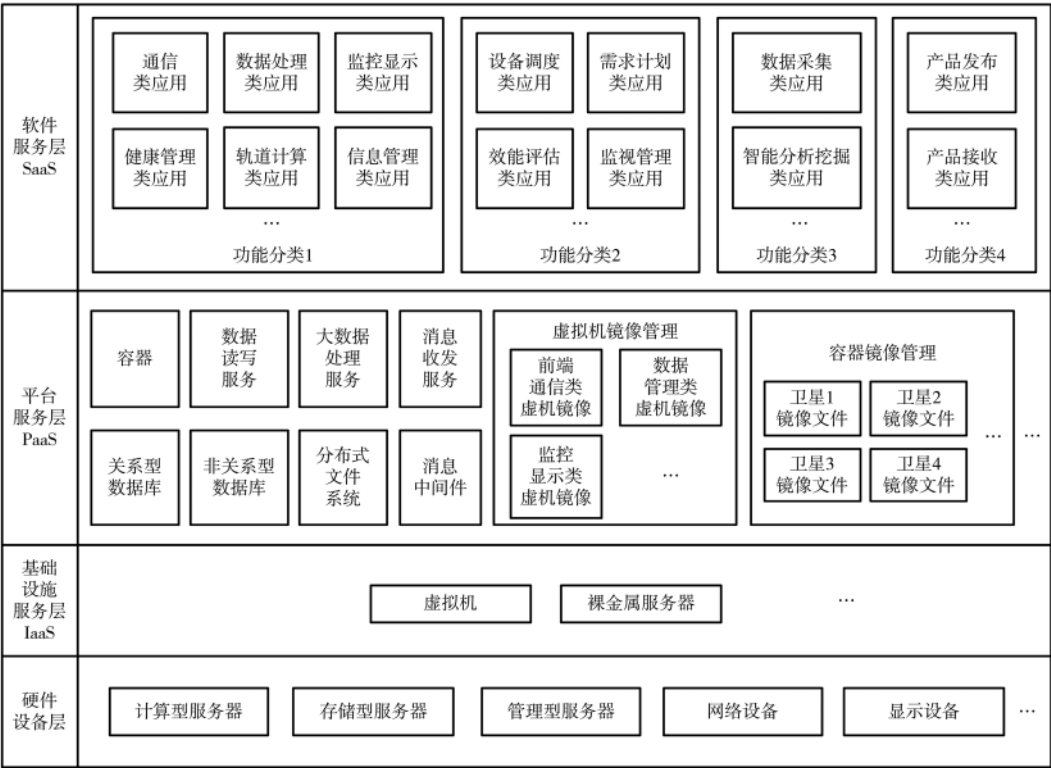


图 1 航天数据处理中心多态多层兼容结构示意图

3.2 操作与系统分离的架构设计

按一体化云架构建成的航天数据处理中心如图3所示,初步计划采用国产芯片硬件平台,从物理实体的视角看,主要由统一的计算中心、数据中心、操控中心、信息网络、安全中心以及云管理中心等组成,航天数据处理中心软件系统由统一平台提供硬件资源。

其中,计算中心包括各类计算硬件资源和虚拟化管理软件,以及承载在虚拟机上的多种粒度的应用软件;数据中心包括存储硬件资源以及承载其上的数据存储管理软件、各类任务数据;操控中心包括各类显示资源和承载其上的任务显示或用户交互软件;信息网络实现各中心和系统之间的信息传输;安全中心完成中心云平台用户认证、终端防护、应用审计等,并为天地信息交互提供密码保障;云管理中心实现中心私有云资源分配、服务管理、状态监控和日志管理等。

4 矩阵式定制化动态调度软件库

如图4所示,航天数据处理中心所有软件系统将采用统一的硬件系统平台,建设核心矩阵式软件武器库,通过需求可灵活地定制化组建新应用系统,按照系统运

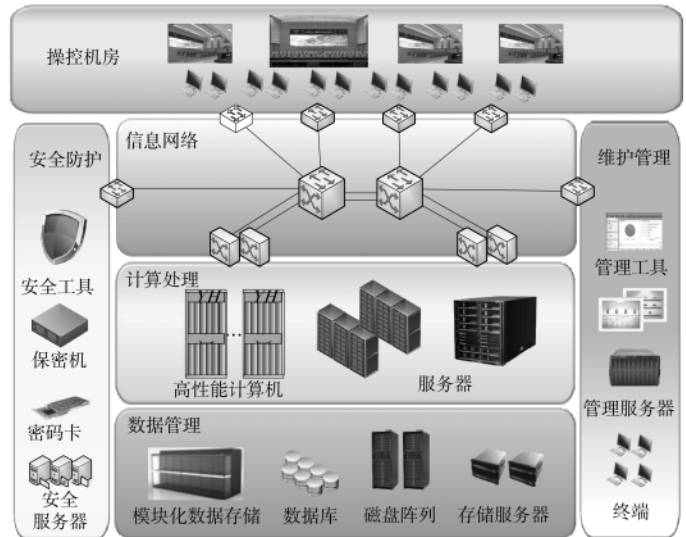
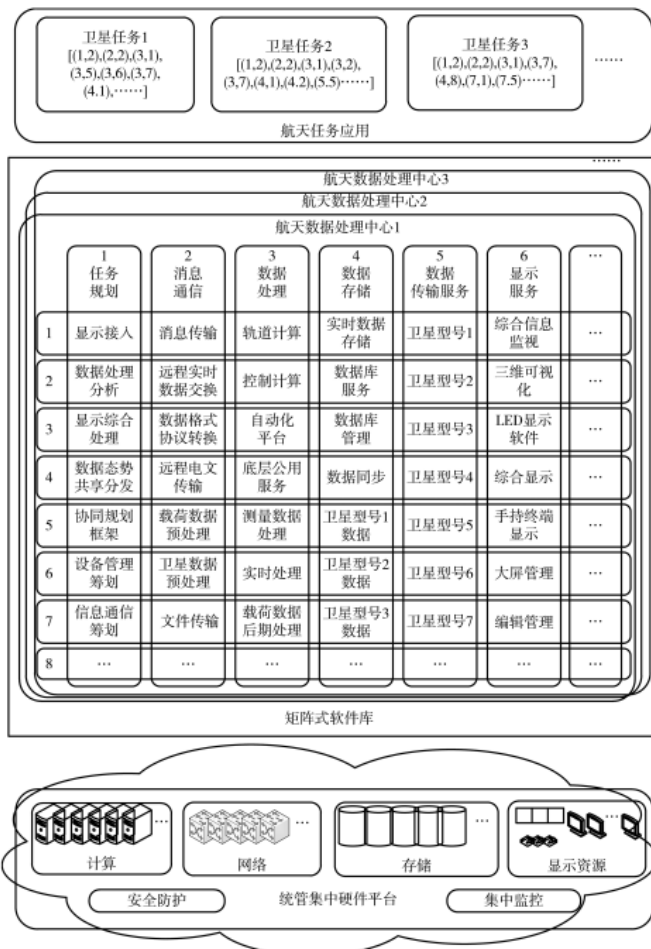


图3 统管集中硬件平台架构示意图

行要求,快速动态调整及加载卸载应用系统,达到“硬件资源充分优化利用,软件平台按需动态使用”的目的。

以其中一个型号卫星为例:首先,系统根据该星飞



(a) 软件矩阵式软件武器库架构

	1 任务 规划	2 消息 通信	3 数据 处理	4 数据 存储	5 数据传 输服 务	6 显示 服务	...
1	显示接入	消息传输	轨道计算	实时数据 存储	卫星型号1	综合信息 监视	...
2	数据处理 分析	远程实时 数据交换	控制计算	数据库 服务	卫星型号2	三维 可视化	...
3	显示综合 处理	数据格式与 协议转换	自动化 平台	数据库 管理	卫星型号3	LED显示 软件	...
4	数据显示 共享分发	远程电文 传输	底层公用 服务	数据同步	卫星型号4	综合显示	...
5	协同规划 框架	载荷数据 预处理	测量数据 处理	卫星型号1 数据	卫星型号5	手持终端 显示	...
6	设备管理 筹划	卫星数据 预处理	实时处理	卫星型号2 数据	卫星型号6	大屏管理	...
7	信息通信 筹划	文件传输	载荷数据 后期处理	卫星型号3 数据	卫星型号7	编辑管理	...
8

(b) 卫星功能软件选择配置

1	1	1	1	0	1	...
0	1	1	1	0	1	...
1	1	1	0	0	1	...
0	0	1	0	0	1	...
0	1	1	1	0	1	...
0	1	1	0	1	1	...
0	1	1	0	0	1	...
...

(c) 软件需求矩阵

图4 软件矩阵式软件库架构及选择使用示意图

控任务软件配置需求,可对照矩阵式软件库的存储状态表生成软件模块配置矩阵;其次,系统读取配置矩阵,完成所需模块的快速精准抽取;最后,系统通过规则判断和软件配置/设置,完成任务应用系统的快速拼装组建。

4.1 矩阵式软件库

航天数据处理中心系统与协同单位、卫星用户、卫星研制等单位按照统一的信息传输要求,如图5所示,采用模块化和标准化软件架构设计,由“矩阵式软件库”和“大数据分析管理”等组成软件数据层,支撑各个业务系统组成的系统应用层,通过统一的“航天信息交互系统”通信接口进行信息交互,实现航天数据处理中心的数据统一存储管理,对所有需部署的软件模块通过标准流程测试验证后,定型补充到矩阵式软件库中,持续扩展完善,形成航天数据中心的矩阵式软件库。

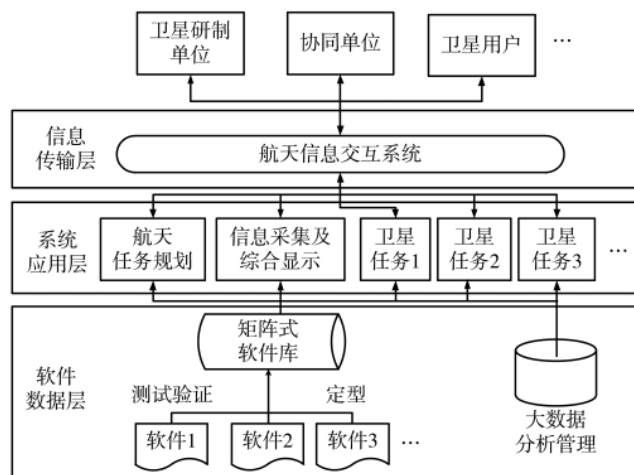


图5 矩阵式软件库运行架构示意图

4.2 定制化组建应用

应用系统的组建将主要包括两种方式,一种是新建系统定制化生成,另一种是同系列型号的快速生成系统。下面介绍主要组建过程。

4.2.1 新建系统定制化生成

航天数据处理中心软件系统采用多维中心软件库进行存储和管理,应用系统将采用流水线方式开展应用系统的定制化组建,“组建”及“下线”的运行流程如图6所示。在用户申请下,提出新建应用需求,按照映射表建立库映射模板,通过软件武器矩阵库生成软件需求矩阵。针对系统必需的汇集分发、数据处理、数据存储、显示服务等功能要求,按规则对软件需求矩阵辅助判断检查,经查后,通过软件配置设置、应用系统生成,实现应用上线运行。当前系统不再使用时,根据系统运行需求,可对应用及数据进行卸载,并形成镜像文件封存,完成应用系统下线,释放硬件资源。

4.2.2 同系列系统快速生成

对于同系列卫星的航天任务系统,如图7所示,可选

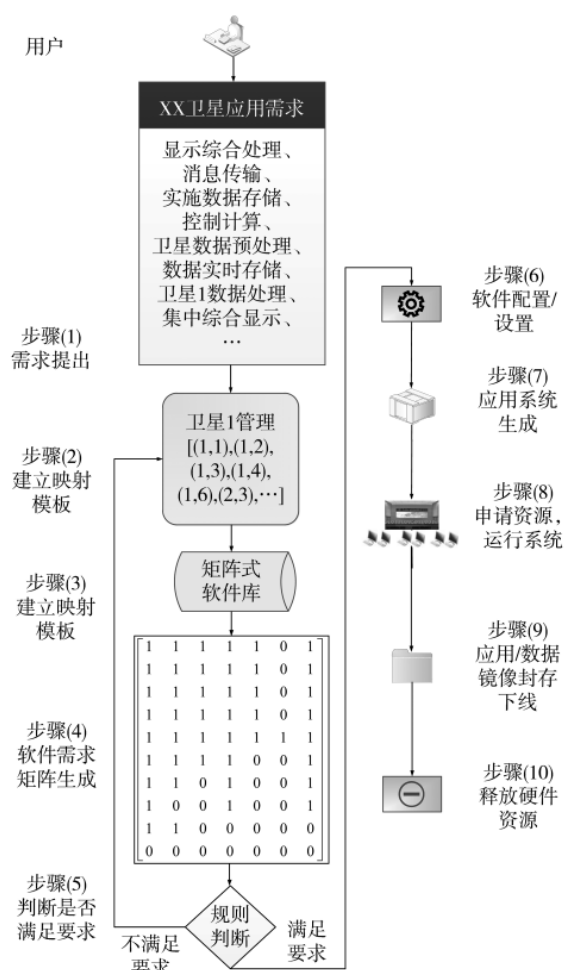


图6 新建系统定制化组建流程示意图

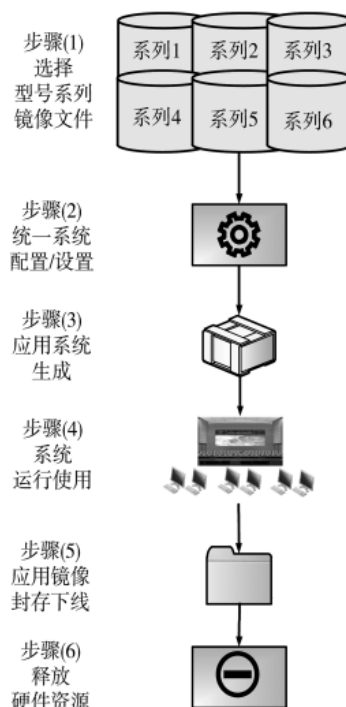


图7 同系列航天任务系统组建流程示意图

择库中保存的同系列型号镜像文件,采用快速统一系统配置,实现快速应用系统生成,实现快速组建,并同样可根据使用要求灵活动态加载和卸载应用。

4.3 按需动态加载系统

如图8所示,通过镜像文件方式,应用软件系统按需具备快速动态加载和卸载的能力,在集中部署和统一管理的硬件平台上,运行重要和长期驻留的应用软件,需临时和间断性运行的应用软件将按需上线和使用,达到充分优化硬件资源利用效率的目的。

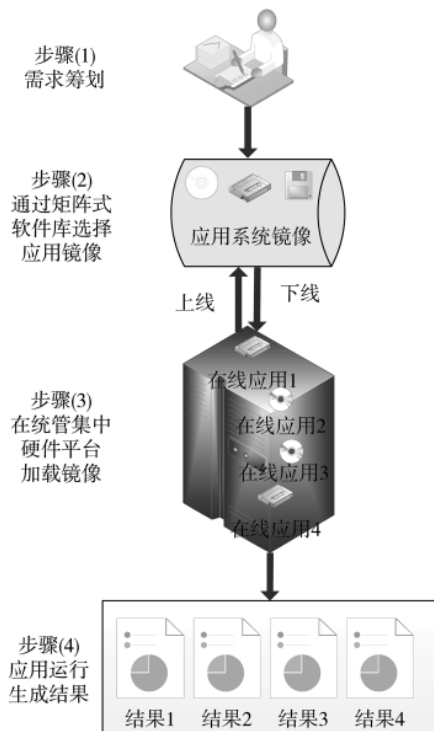


图8 应用系统按需动态加载使用示意图

5 结论

针对航天数据中心同系列卫星地面系统的快速构架和加载卸载应用,本文提出了一种基于多维矩阵式软件库的快速定制构建方法,同时提出了软硬件分离、操作和操作场地解耦的一体化方案,有效提高了系统研制的效率,降低了系统应用和管理的成本,提高了硬件系统和操作场地的使用灵活性。通过在航天数据中心的使用,能够满足当前我国井喷式增长的民商用航天器地面管理的任务要求。

参考文献

- [1] 金星波.基于软件库的软件生产线模型研究[J].吉林大学学报(信息科学版),2014,32(4):441-445.
- [2] 陈永红.一种软件的工业化生产方式[J].华侨大学学报(自然科学版),2008,29(2):229-231.
- [3] 曹洪雨.一种基于开源架构的在线研发流水线组件的设计实现[J].软件研发与应用,2018(3):43-45.
- [4] 徐正权,谢卫平.类库系统研究及其与软件库的融合[J].计算机与数字工程,2007,38(6):67-69.
- [5] 倪奇智,张为华,臧斌宇,等.保证Java精确异常的软件流水线技术[J].计算机应用与软件,2008,25(2):21-23.
- [6] PARNAS D. On the criteria to be used in decomposing systems into modules[J]. Communication of the ACM, 1972, 15(12): 1053-1058.
- [7] BROWNSWORD L, CLEMENTS P. A case study in stressful product line development[D]. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 1996.
- [8] THUM T, BATORY D, KASTNER C. Reasoning about rdits to feature models. software engineering[C]//IEEE 31st International Conference on Vancouver, ICSE 2009. Canada: IEEE, 2009: 254-264.
- [9] VIERHAUSER M, HOLL G, RABISER R. A Deployment infrastructure for product line models and tools[C]//Software Product Line Conference (SPLC), 2011 15th International. Munich, Germany: IEEE, 2011: 287-294.
- [10] LY V. Ground system architectures workshop GMSEC services suite(GSS): an agile development story[EB/OL]. (2017-03-15)[2022-02-20]. https://ntrs.nasa.gov/citations/2017-0002277.
- [11] MURRAY-KREZAN J, HOWARD S, SABOL C, et al. The joint space operations center(JSPOC) mission system(JMS) and the advanced research, collaboration, and application development environment (ARCADE)[C]//Conference on Sensors and Systems for Space Applications IX.0, 2016.

(收稿日期:2022-02-20)

作者简介:

李赣华(1977-),通信作者,男,博士,高级工程师,主要研究方向:航天测控总体、信息工程,
E-mail: liganhua666@163.com。

樊恒海(1968-),男,博士,工程师,主要研究方向:航天测控总体。

董黎(1978-),女,本科,工程师,主要研究方向:航天测控通信。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所