

非测控链路遥控遥测上下行软件设计与应用

罗 涛, 李锴杰, 贾元妹

深圳航天东方红卫星有限公司, 广东 深圳

收稿日期: 2022年4月8日; 录用日期: 2022年5月4日; 发布日期: 2022年5月11日

摘 要

随着国内外商业航天的发展, 微小卫星是目前商业航天发展的重要方向之一, 它具有体积小、重量轻、研发周期短、研发投入低等优势, 但从另一方面看, 对短周期、大批量卫星地面测试提出了新的挑战。本文研究卫星地检总线实现实时通信和测试的系统方案, 设计地检数据信息的实时处理算法, 搭建一种非测控链路遥控遥测地面测试系统, 有效节约测控设备资源成本和人工成本, 提高卫星生产效能。

关键词

卫星测试, 非测控链路

Design and Application of Non-Measurement Telecontrol and Telemetry Uplink and Downlink Software

Tao Luo, Kaijie Li, Yuanmei Jia

Shenzhen of Aerospace Dongfanghong Satellite Ltd., Shenzhen Guangdong

Received: Apr. 8th, 2022; accepted: May 4th, 2022; published: May 11th, 2022

Abstract

With the development of commercial aerospace at home and abroad, microsattellites are one of the important directions of commercial aerospace development. They have the advantages of small size, light weight, short R&D cycle, and low R&D investment. On the other hand, new challenges are presented for short-cycle, high-volume satellite ground testing. This paper studies the system scheme of real-time communication and testing of satellite ground bus, designs the real-time processing algorithm for ground bus data information and builds non-measurement telecontrol and telemetry uplink and downlink software ground test system, which effectively saves equip-

ment resource costs and labor costs, and improves the production efficiency of satellites.

Keywords

Satellite Test, Non-Measured and Controlled Links

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.
 This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

目前，针对微小卫星的测试一般沿用传统大卫星的测试模式，通过测控设备和测试前端软件实现卫星与地面系统的遥测遥控上下行通信。这种测试模式需要很多地面测试设备去搭建复杂的测试系统，复杂测试系统搭建不仅增加了人力物力的耗费，更容易出现人工操作错误。此外，当星上测控上下行链路无法正常工作、星上测控模块未安装或地面测控设备紧缺时，无法进行后续测试。因此，这种传统卫星测试模式无法满足微小卫星快速、便捷、持续的测试需求[1] [2]。



Figure 1. Comparison of satellite test modes
图 1. 卫星测试模式对比

如图 1 所示，采用非测控链路测试模式，非测控链路遥控遥测上下行软件作为连接专用测试软件与卫星的中间软件，能够根据网络配置与遥控/遥测前端建立 TCP/IP 连接，根据总线配置连接卫星地检接口，然后根据帧格式配置适配星上地检和遥控/遥测前端格式要求，实现遥测遥控数据接收和转发，同时能够对操作事件进行日志显示和保存。非测控链路遥控遥测上下行软件具有通用性，只需通过选择、修改相关配置信息，即可实现不同类别地检总线与测试系统的链接。系统搭建非常便捷，只需要使用总线适配器连接卫星和测试计算机即可；当测控链路出现异常时，也可进行后续测试任务。

2. 总体方案

非测控链路遥控遥测上下行软件集数据通信、数据转发处理、数据存储等功能于一体的地面测试软

件。将实际测试需求与公司降成本、提效能目标相结合，满足型号卫星高质量、高效率、高效益批量化测试要求。系统的软硬件设计采用模块化的思想，实现了软硬件资源的有机结合。设备成本方面，对于批量化卫星测试任务，要求地面测试系统满足资源数量多、系统搭建快捷、数据通信通畅等。全部采用测控设备搭建系统，不仅设备成本昂贵且搭建过程复杂，而采用总线适配器搭建非测控遥控遥测上下行链路，测试设备投入成本较低且搭建快捷。功能需求方面，非测控链路遥控遥测上下行软件作为星上地检接口与地面综合测试系统的中间软件，实现数据遥控遥测通信转发及相关功能。此外，各种低成本商业货架总线适配器产品，可提供工业应用上各类物理总线的通信驱动控制和软件应用开发基础能力[3]。

为实现非测控链路遥控遥测上下行软件与星上地检接口的数据通信、降低测试系统软硬件定制和开发成本、加速与综合测试系统快速集成，系统采用低成本货架产品作为硬件平台进行系统软件开发，实现系统快速搭建和测试。非测控链路遥控遥测上下行测试系统组成包括非测控链路遥控遥测上下行软件、总线适配器设备和综合测试系统等[4] [5]。系统组成如图 2 所示，系统各组成功能如下：

非测控链路遥控遥测上下行软件：连接综合测试系统与卫星地检的中间软件，实现遥测遥控数据接收和转发，遥测本地存储、操作日志显示等功能；

总线适配器设备：通过专用总线电缆与被测产品和测试计算机建立通信连接，实现对 CAN、串口等物理总线的遥控、遥测数据通信转发；

综合测试系统：主要实现遥控指令转发、遥测数据解析、数据监视和报警、历史数据查询、过程数据入库等功能。

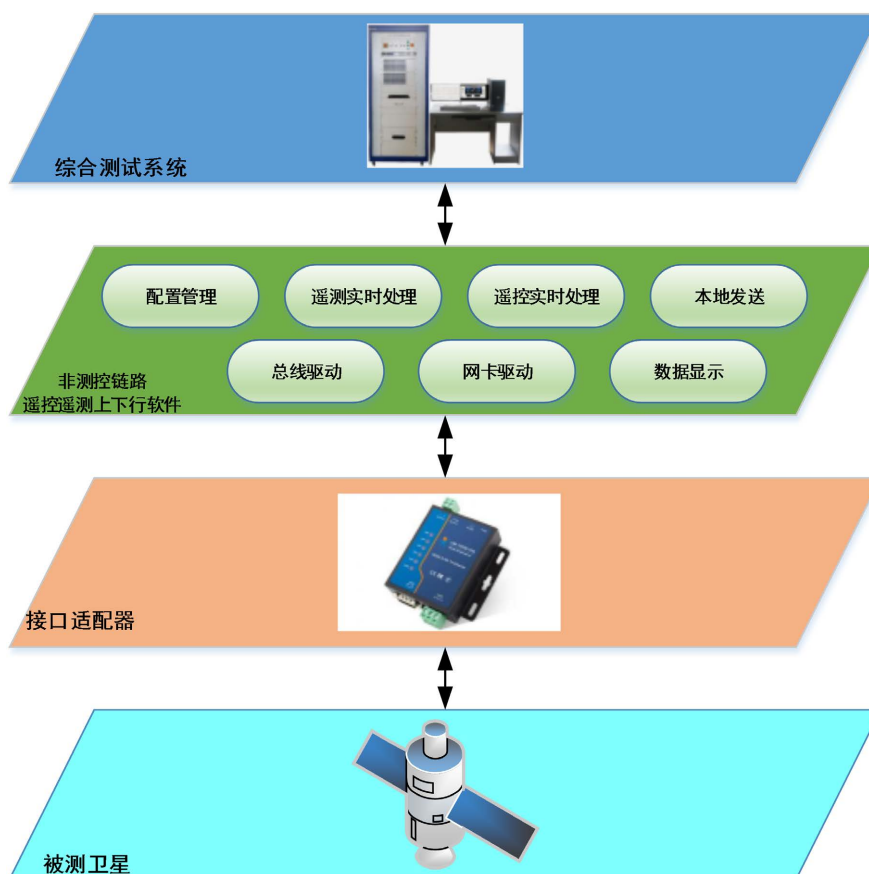


Figure 2. System composition
图 2. 系统组成

3. 关键技术

3.1. 软件技术架构

卫星非测控链路遥控遥测上下行软件架构如图 3 所示，主要的功能是将遥控前端软件的指令处理后发送到星上，同时将星上的遥测数据通过处理后发给前端软件显示，这样就实现了地面与卫星的通信。

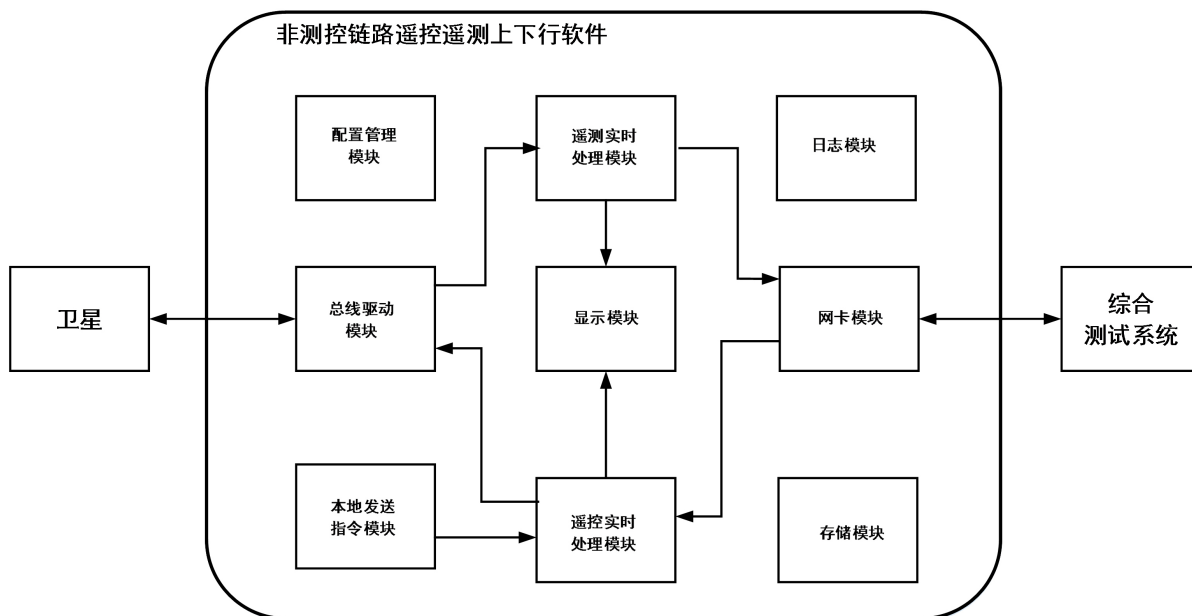


Figure 3. Software architecture

图 3. 软件架构

软件主要模块功能如下：

显示模块：显示星地间的通信的遥控遥测数据以及软件的状态信息；

日志模块：记录配置更改、总线选择、总线启停等操作；

存储模块：存储遥测下行原始数据、操作日志记录等信息；

总线模块：选择通信总线的种类，支持 CAN、串口等多种总线的格式；

网卡模块：为 TCP/IP 网络通信提供基础，实现软件与测控前端软件的数据交换；

配置模块：上下行数据格式以及监听端口/IP 的配置，对上下行数据进行格式化处理；

驱动模块：总线适配器的驱动模块，实现软件与适配器的通信；

遥测实时处理模块：接收星上总线遥测数据，进行实时处理，转发给综合测试系统；

遥控实时处理模块：接收综合测试系统遥控指令，进行实时处理，转发给星上总线。

3.2. 通信实时处理

总线通信与网络通信产生帧数据实时处理方式不同，采用测控设备测试时，遥测或遥控数据一般通过测控设备配套对前端软件进行处理转换成完整网络帧数据，一个循环即可实现全部数据实时处理。而总线设备测试时，将总线数据分成多帧高速传输给测试系统，因此，设计采用生产者/消费者架构技术 [6] 实现双循环实时处理，隔开具有不同数据生成速率和消耗速率的进程进行处理。

总线完整数据帧的定义：帧头 + 数据长度 + 数据域 + 校验。帧头表示一帧数据的开始，数据长度

表示当前数据帧中负载数据大小，校验用来检查接收到的数据是否正确。如图 4 所示，在生产者处理循环中，总线在接收遥测数据时，读取有效数据并截取总线遥测有效数据域，将遥测帧数据在生产者队列中入栈[7]。在消费者处理循环中，先对总线数据进行消费者队列出栈，对接收到的每一字节数据进行判断，如果检测到帧头数据，则将接收到的数据存到缓存中，同时记录下该帧数据的数据长度字段，然后一直接收，直到接收到的数据长度与设定的数据帧长字段值一致或接收到下一帧帧头数据，到此一帧数据接收完成，组成完整数据帧将发送给以太网。遥控实时处理流程同样处理，此处不再累述。

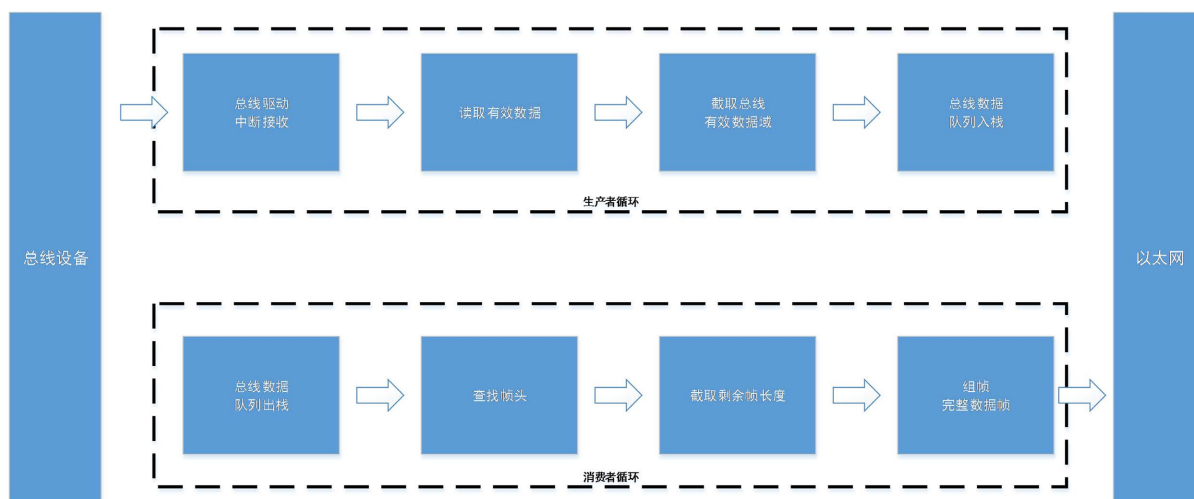


Figure 4. Real-time processing communication

图 4. 通信实时处理

4. 软件工作流程

卫星非测控链路遥控遥测上下行软件的星地通信的实现方法如图 5 所示，数据通过应用层、协议层、驱动层、硬件层到达星上，方便的实现星地间的上下行链路。针对不同型号通信总线的不同，只需要选择相应的总线配置即可，不需要改变软件的其它部分，很大程度的提升了软件对不同型号地检测试的兼容能力，减少了测试人员的工作量，提高了测试效率[8]。

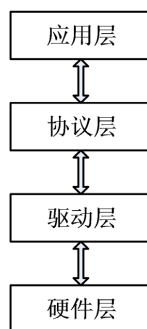


Figure 5. Satellite ground communication layering

图 5. 星地通信分层

应用层：在应用层对遥控/遥测数据进行处理、显示、存储，同时负责与遥控遥测前端软件建立数据传输连接。

协议层：根据星上总线的数据传输格式，对总线数据根据软件配置进行处理，获取遥控遥测有效数据域。

驱动层：为上层应用提供总线适配器的操作接口，并实现总线适配器的驱动程序。

硬件层：主要作用是通过总线适配器进行遥控遥测上下行数据的比特流收发，实现前端软件与星上总线的数据交换。

4.1. 运行启动

在非测控链路遥控遥测上下行软件中，用户首先要选择总线类型，软件会自动检查该总线是否存在，若选择的总线存在，然后配置总线参数，再连接总线适配器，连接成功后再设置遥控遥测监听端口，打开监听成功后就可以实现遥控遥测上下行通信[9]。软件的操作流程如图 6 所示。

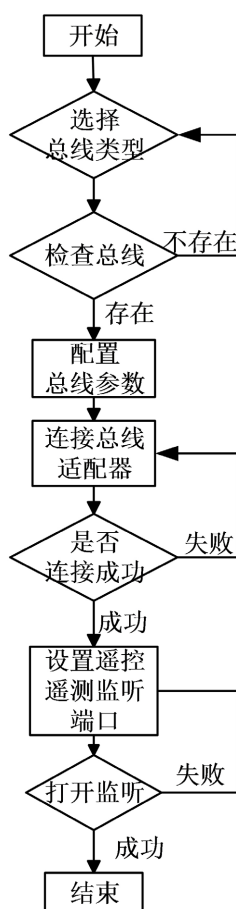


Figure 6. Run the startup flowchart
图 6. 运行启动流程图

4.2. 指令发送

对于卫星上行链路而言，非测控链路遥控遥测上下行软件接收遥控前端软件发送的遥控指令，软件判断接收到的遥控指令接收状态是否正确，若指令接收状态正确，软件按照配置模块的配置对数据的格式进行转换，然后将转换格式后的数据通过总线发送到星上，数据发送完成后停止发送数据。非测控链路遥控遥测上下行软件发送指令的流程如图 7 所示。

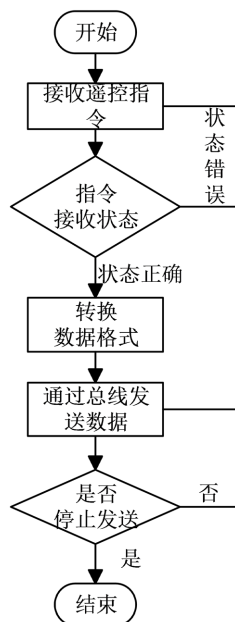


Figure 7. Remote command sending flow chart
图 7. 遥控发送流程图

4.3. 遥测接收

对于下行链路而言，非测控链路遥控遥测上下行软件接收星上通过总线传输下来的遥测数据，遥测数据接收完成后，软件按照配置模块的配置对星上遥测数据进行格式转换，然后通过 TCP/IP 网络将转换格式后的数据发送到遥测前端，发送完成后就停止数据发送，遥测前端实现遥测数据的接收。测控链路遥控遥测上下行软件遥测数据接收的流程如图 8 所示。

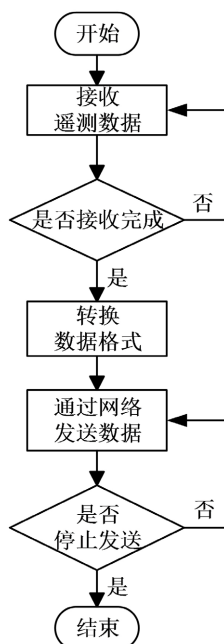


Figure 8. Telemetry receiving flowchart
图 8. 遥测接收流程图

在数据链路通信的实现过程中,日志模块会记录用户对非测控链路遥控遥测上下行软件的操作日志;存储模块会将卫星总线上的下行遥测原始数据保存,方便在后期进行数据查验;数据显示模块会在界面上显示原始遥测数据、上星的遥控指令数据、遥控/遥测的监听端口/IP 以及连接状态、总线连接状态、操作日志等信息;本地指令发送模块是将遥控指令或上注数据通过地检总线进行本地发送[10]。

5. 系统运行情况

5.1. 运行启动

如图 9 所示,采用接口适配器、测试电缆和普通计算机,即可快速完成测试系统搭建工作。用户启动软件后,需根据总线适配器类型,选择相应总线类型,软件自动加载本地总线、网络、帧格式配置文件并初始化后,进行软件主界面。

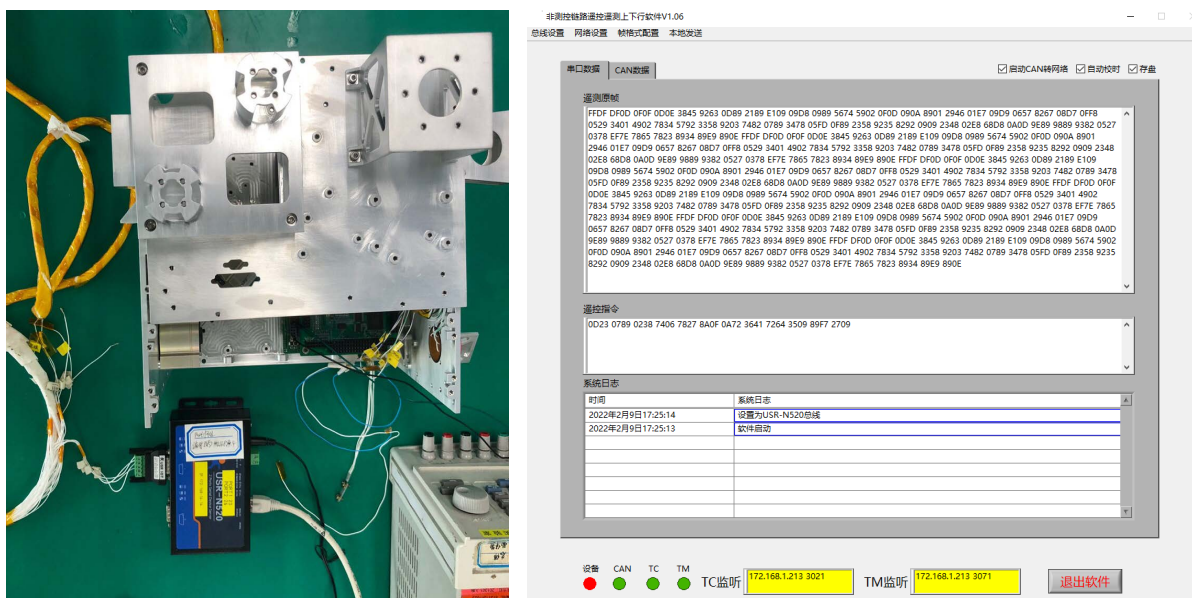


Figure 9. Test scene and software main interface
图 9. 测试现场和软件主界面

软件启动后,主界面上居中从上到下依次排列三个显示窗口,分别为实时显示遥测原帧、遥控指令和系统日志;系统日志显示同时会产生日志文件本地存档;主界面菜单栏上有总线设置、网络设置、帧格式配置和本地发送;左下方显示当前设备、总线状态、遥控/遥测地址和连接状态指示灯。

5.2. 应用效果

非测控链路遥控遥测上下行软件已成功应用于 8 型 15 星整星测试、15 套通用综合电子测试和 21 套星载计算机测试,大幅降低测控测试地面设备成本和人工成本,加速卫星测试系统的搭建进度,从而提高型号卫星的生产效率。与传统测试模式相比,应用效果如表 1 所示。

设备成本方面,采用测控测试设备搭建遥控遥测上下行链路通常需要基带设备、变频设备、衰减器等射频测试设备,一套完整测控设备成本一般需上百万元。而通过地检总线搭建遥控遥测上下行链路,硬件设备只需总线适配器即可,设备成本一般在千元左右,对于卫星的批量化测试,可成倍节约测试设备资源成本。

Table 1. Apply effect comparison
表 1. 应用效果比对

序号	系统指标	传统测试模式	非测控链路测试模式
1	设备成本	上百万元	千元左右
2	系统搭建时间	120 分钟	10 分钟
3	系统冗余能力	当测控链路或测控模块异常时，无法进行测试。	即可作为传统测试模式辅助手段，测控链路异常时，仍可进行测试，也可独立完成测试任务。

系统搭建时间方面，通过测控链路搭建测试系统，需进行大量射频相关设备配置(码速率、上下行频率、调制解调方式、输出电平等)、测试设备搭建(架设射频设备、衰减器、频谱仪、三脚架、射频天线等)和链路调试工作，而采用地检总线方式，只需确认总线适配器电缆连接节点和总线通信特性配置参数，即可在短时间内完成系统搭建，可节约 80% 以上链路搭建准备时间。

非测控链路遥控遥测上下行软件除了在节约设备成本上、缩短系统搭建时间上有突出贡献外，系统冗余方面，可在星上测控模块出现异常时，仍然可以接收到星上遥测数据和发送星上遥控指令，为地面测试提供数据参考。

6. 结束语

成本指标是企业经营指标中最重要的指标之一，非测控链路遥控遥测上下行软件应用于卫星整星、综合电子组件以及星载机组件测试和试验中，有效地降低了测控测试地面设备成本，加速遥控遥测上下行链路的搭建进度，从而提高型号卫星的生产效率，帮助深化推进商业航天发展进程。除在节约设备成本上、缩短系统搭建时间上有突出贡献外，还可在星上测控模块出现异常时，辅助完成后续卫星测试任务。

参考文献

- [1] 王华茂. 航天器综合测试技术发展展望[J]. 航天器工程, 2021(5): 125-132.
- [2] 王华茂. 航天器综合测试技术与发展趋势综述[J]. 测控技术, 2021, 40(10): 1-8, 16.
- [3] 刘建斌, 张淑萍. 基于 LabWindows/CVI 的遥测数据采集系统设计[J]. 测控技术, 2014, 33(1): 31-33, 37.
- [4] 毕于莲, 孟晓风, 王国华. 卫星地面测试通用 MTP 软件设计与实现[J]. 中国测试技术, 2008, 34(1): 70-73.
- [5] 付伟达, 张士峰, 张锐, 姬云龙, 任光杰. 小卫星测控的模块化自动测试系统构建[J]. 航天器工程, 2013, 22(2): 104-107.
- [6] 周炀挺, 王时龙, 周杰, 杨波. 生产者/消费者模式在剪切机检测系统中的应用[J]. 重庆大学学报, 2020, 43(10): 12-19.
- [7] 盛维涛, 曾祥豹, 张文君, 袁宇鹏, 张祖伟. 基于生产者-消费者程序结构的振动传感系统[J]. 重庆邮电大学学报, 2021(3): 507-512.
- [8] 龙可, 吕良庆. 星载 CAN 总线即插即用解决方案[J]. 计算机工程与设计, 2011, 42(6): 9.
- [9] 云颖, 宋雷军. 基于 CAN 总线的星载软件测试系统设计[J]. 上海航天, 2014, 31(5): 65-68.
- [10] 深圳航天东方红卫星有限公司. 非测控链路遥控遥测上下行通信装置及其实现方式[P]. 中国专利, 202111123754. 2021-09-25.