

自适应 1553B 总线通信功能系统级测试方法设计

刘佳昕^{✉1}, 赵欣博¹, 高洪宇², 刘海荣³

(1 中国空间技术研究院通信与导航卫星总体部 北京 100094

2 海装驻上海第九军事代表室 上海 200135

3 上海航天电子有限公司 上海 201821)

摘要: 一些通信卫星通过自适应 1553B 总线通讯, 因此总线控制端在上电前对终端设备的内部遥测参数容量、存储位置是未知的, 而是在系统上电后及运行期间动态地维护当前所有终端设备的状态信息, 并由总线控制端通过对终端设备的轮询确定终端设备的总线接入状态, 并动态获取终端设备的自描述信息, 从而解决综合电子总线自适应性能单一、普适性差、数据动态交互机制弱的缺陷。针对某通信卫星自适应 1553B 总线通信功能, 提出一种精准快捷的通信卫星 1553B 总线测试系统, 通过 1553B 总线终端监视与处理设备, 分别对 1553B 总线的自描述信息动态轮询获取功能和 A/B 总线自适应轮询功能进行测试, 实现对自适应 1553B 总线实时监视与分析功能。实验表明, 该测试系统有效验证了卫星 1553B 总线自适应通信功能, 为总线通信的有效性和实时性提供保障。

关键词: 1553B 总线, 自适应, 测试方法, 仿真测试平台

中图分类号: V556.1 文献标识码: A 文章编号: CN11-1780(2022)03-0037-07

DOI: 10.12347/j.ycyk.20220227001

引用格式: 刘佳昕, 赵欣博, 高洪宇, 等. 自适应 1553B 总线通信功能系统级测试方法设计[J]. 遥测遥控, 2022, 43(3): 37-43.

Testing method research based on communication of self-adaptive 1553B bus

LIU Jiaxin¹, ZHAO Xinbo¹, GAO Hongyu², LIU Hairong³

(1. Institute of Telecommunication and Navigation Satellites, Beijing 100094, China;

2. The ninth representative office in Shanghai of Navy Equipment Department, Shanghai 200135, China;

3. Shanghai Aerospace Electronic Co, Shanghai 201821, China)

Abstract: A self-adaptive communication protocol was applied to a certain telecommunication satellite, the telemetry parameter capacity and storage location of remote terminal didn't need to be pre-established in the bus control terminal. When on power, the information and bus status of remote terminal was transferred to bus control terminal dynamically, solving the problem of bad self-adaptive and poor universality of integrated electronic systems. In order to verify the communication function of self-adaptive 1553B bus based on certain telecommunication satellite, an accurate and efficient automatic testing system was proposed, and a bus monitor based on self-adaptive 1553B bus was applied. The results showed that compared with traditional communication protocol of 1553B bus, the proposed testing method validated the communication function based on self-adaptive 1553B bus was real-time, robust and efficient.

Key words: 1553B bus; Self-adaption; Testing method; Simulation platform

DOI: 10.12347/j.ycyk.20220227001

Citation: LIU Jiaxin, ZHAO Xinbo, GAO Hongyu, et al. Testing method research based on communication of self-adaptive 1553B bus[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2022, 43(3): 37-43.

引 言

随着通信卫星星载设备数量和整星信息容量的日益增加, 卫星总线通信协议对总线的数据动态交互机制和自适应性要求也日益增高^[1,2]。目前, 国内航天器主要采用 1553B 总线进行通信^[3]。根据协议, 为

✉通信作者: 刘佳昕 (jiaxin.Liu@aliyun.com)

收稿日期: 2022-02-09 收修改稿日期: 2022-04-10

保证远程终端 (RT 端) 与总线控制端 (BC 端) 顺利通信, 需要总线控制器端口应用软件中预先输入 RT 端通信时需要的内部遥测指标、存储位置等自描述信息, 因此导致了 1553B 总线自适应性能单一、普适性差、遥测信息无法动态交互的问题^[4]。

某通信卫星采用自适应 1553B 总线协议, 根据协议, 在 BC 端与 RT 端通信之前, 无需预置 RT 端通信时需要的自描述信息。卫星加电后, BC 端依次与各 RT 端通过循环访问的方式进行数据交互, 同时获得各 RT 端的遥测参数容量、存储位置等自描述信息, 并根据各 RT 端的自描述信息为其提供相应的数据交互服务, 有效解决了传统 1553B 总线协议中自适应性能差的缺陷^[5]。

文献[6]在某飞机通信中设计了自适应 1553B 总线, 有效解决了总线通信命令发送单一、不可控、配置不灵活的缺陷。文献[7]在多功能仿真测试卡的基础上设计了监控测试软件, 实现对 1553B 总线消息监控和对消息源码进行解析的功能。但 1553B 总线自适应功能在通信卫星领域应用甚少, 且缺少相关研究资料, 这给通信卫星 1553B 总线自适应功能验证工作带来了一定困难^[8,9]。

本文针对某通信卫星首次采用自适应 1553B 总线通信, 使用 1553B 总线 RT 端监控与交互系统对该卫星总线自适应性能进行测试, 模拟 1553B 的 BC 端和 RT 端, 设计了自适应 1553B 总线测试用例, 对卫星总线通信功能及自适应功能进行了逻辑验证。

1 自适应 1553B 总线通信协议

1.1 自适应 1553B 总线架构

某通信卫星采用 1553B 总线网络, 是以星务管理单元 SMU (Space Management Utilities) 为 BC 端, 综合电子分系统综合业务单元及其他分系统中的控制单元为 RT 端的分布式网络系统^[10]。考虑到不同的数据传输业务需求和可靠性、数据量及实时性要求的区别, 某通信卫星采用 2 条 1553B 总线设计, 分别为平台 1553B 总线和载荷 1553B 总线, 每套总线均包含 AB 通道, 两套总线采用互不耦合的并行工作方式, 提供与各网络单机设备的数据共享、数据传输的服务, 并提供可靠的通信通路和容错机制^[11], 1553B 总线架构如图 1 所示。

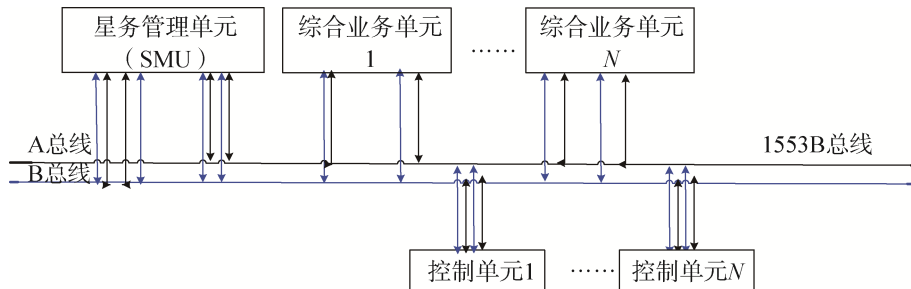


图 1 卫星 1553B 总线架构图

Fig. 1 1553B bus structure of a certain platform

1.2 自适应 1553B 总线通信功能

与传统 1553B 总线协议不同的是, 某通信卫星采用自适应 1553B 总线协议, 该协议自适应性能主要体现在: ① RT 自描述信息动态轮询获取; ② A/B 总线自适应轮询功能^[12]。

1.2.1 RT 自描述信息动态轮询获取

卫星 1553B 的 BC 端 SMU, 在卫星上电后采用循环访问的方式对 RT 进行检测, 系统上电前, 即 SMU 在与各个 RT 通信之前, SMU 对 RT 设备内部遥测参数容量、存储位置, 以及 RT 设备所需的数据传输服务都是未知的, RT 设备的自描述信息无需预置在 SMU 的应用软件中^[13]。

卫星上电后, BC 端 SMU 会建立 RT 状态表, 周期性地依次与该卫星的所有 RT (数量为 N) 进行数据交互, 获取每个合法 RT 端的自描述信息。当 RT 自描述信息校验正确时, SMU 按照 RT 设备自描述字段定义的内容进行相应的访问, 并动态获取该 RT 设备的自描述信息; 当 RT 的自描述信息无法校验成功时, BC 端 SMU 会将该 RT 端的地址设为无效通信地址, 并丢弃该 RT 端的自描述信息。卫星通

电期间, SMU以448ms为周期不间断地对1553B总线上的所有RT进行访问,每448ms完成一次对所有RT的轮询。1553B总线BC端对RT端周期性轮询握手流程图如图2所示。

1.2.2 A/B总线自适应轮询功能

卫星通电期间,BC端SMU以448ms为周期对总线上的N个RT设备循环进行访问,先通过A总线依次对RT₁至RT_N进行循环访问,若第i(1≤i≤N)个RT_i与SMU成功握手,则SMU动态获取RT_i自描述信息,同时认为RT_i为A总线的任务,并标志与RT_i通信成功;若未能成功握手,则SMU通过A总线重新尝试与RT_i进行通信握手,当第二次通信握手失败,则对该RT_i进行标记,接着去访问RT_{i+1},当一个循环访问周期后,SMU切换至B总线。再次轮询通信时,SMU只与已被标记未成功握手的RT进行数据交互,若握手成功,则SMU更新与该RT进行数据交互时状态表对应的相关信息,同时认为该RT端为B总线的任务,若A总线与B总线均无法与该RT进行通信,系统将认为该RT端通信超时。

当SMU与某一个标记为握手成功的RT设备通信时,若出现传输数据中断或异常的现象,则SMU按照总线容错管理方式,切换AB总线重试。切换后若不成功,则将该RT地址表示为未接入。期间始终保持AB总线循环切换,周期为448ms。若某条总线重试通信成功,则SMU将更新该RT端的AB总线使用状态,A/B总线自适应轮询流程图如图3所示。

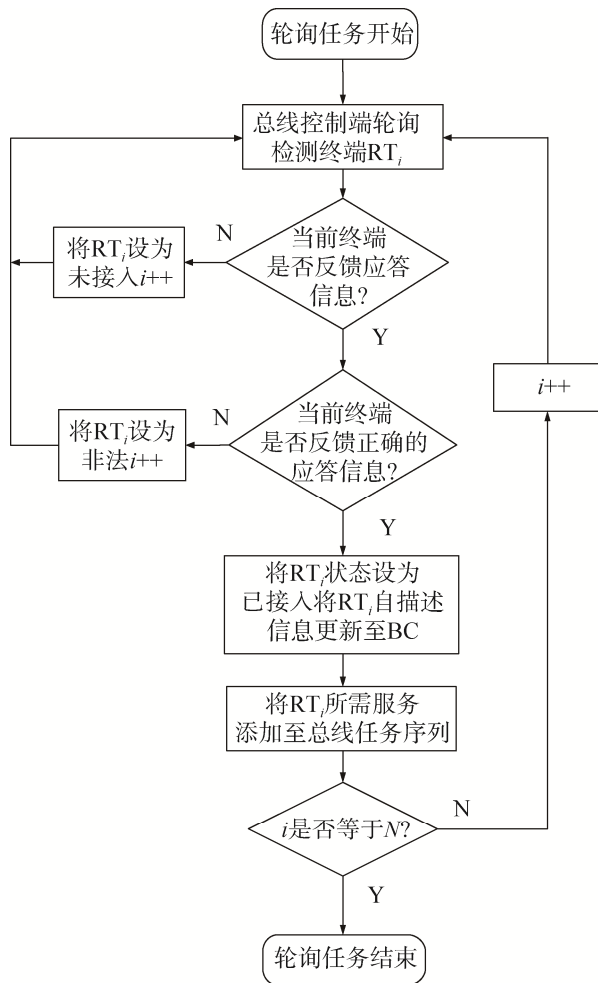


图2 BC端循环访问取得RT端自描述信息流程图
Fig. 2 Dynamic acquisition of self-descriptive messages

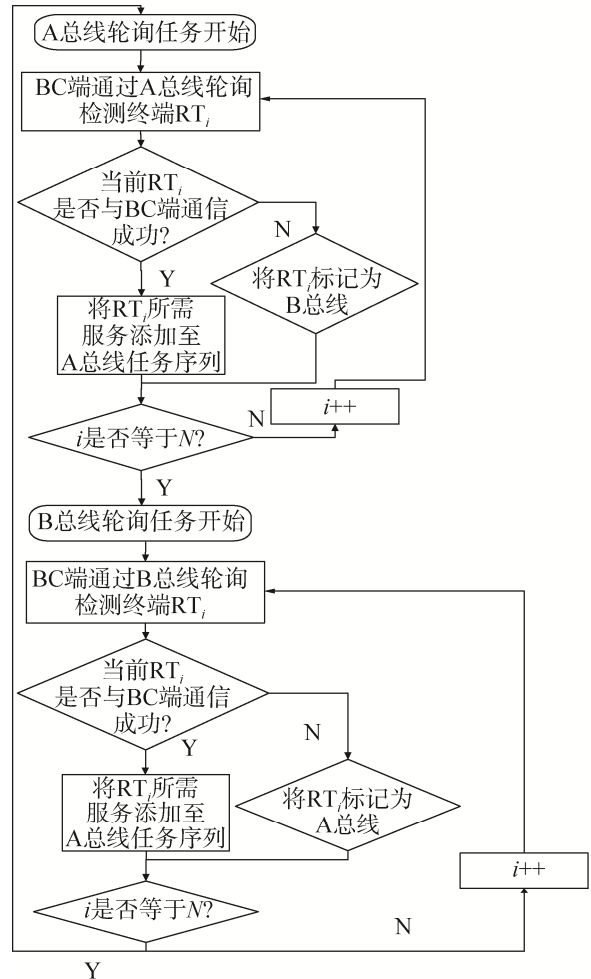


图3 A/B总线自适应轮询流程图
Fig. 3 A/B bus self-adaptive polling

2 自适应1553B总线测试方案

为验证某通信卫星自适应1553B总线通信功能,本文设计了系统级与整星级的测试方案,从而验证了

自适应 1553B 总线 RT 端内部自描述信息动态获取功能, 以及 1553B 总线 A/B 总线自适应循环访问功能。

根据某卫星 1553B 总线协议, 在地面遥控指令在系统上电后, 通过观测综合业务单元上电前后总线通信状态逻辑, 对 A/B 总线自适应循环访问功能进行测试, 不需要地面设备。自描述信息动态轮询获取功能在整星 AIT (总装集成测试) 阶段无法进行监测, 需要借助地面测试设备模拟 RT 对总线通信状态进行监视, 从而验证 BC 端对 RT 自描述信息动态获取的功能。因此, 卫星 1553B 自适应总线通信功能测试可按照功能分为两类测试方案: 一类是在分系统阶段, 通过设计自适应 1553B 总线仿真与测试平台, 并利用总线终端监视与处理设备, 可以验证 RT 端内部自描述信息动态获取功能; 一类是在整星阶段验证 A/B 总线自适应循环访问功能测试。

2.1 自适应 1553B 总线仿真与测试平台

为验证某通信卫星 1553B 的 BC 端对 RT 端自描述信息获取的功能, 本文搭建了 1553B 总线仿真测试平台, 实现对总线实时监控与分析功能。1553B 总线仿真测试平台由总线 RT 端监控与交互系统、SMU 和总线接口测试设备构成。其中, 总线 RT 端监控与交互系统由 RT 控制面板和 BM 监视软件构成, RT 控制面板用于设置各 RT 的自描述信息, BM 监视软件用于监控 BC 端是否与 RT 成功握手。通过总线 RT 端监控与交互系统模拟 RT 端、SMU 为 BC 端验证总线协议的正确性和自适应性。

2.1.1 总线 RT 端监控与交互系统

总线 RT 端监控与交互系统由 1 台 PCI 机箱、1 组 CPU 模块和 2 组 1553B 模块组成, 从而模拟 1553B 总线通信功能。各个功能模块安装在 PCI 工控机中, 通过底板的 PCI 总线与 CPU 模块进行信息交互, CPU 模块上运行有总线 RT 端监控与交互系统软件。

2.1.2 RT 自描述信息动态获取功能测试流程

根据总线协议中 RT 端自描述字段的定义, 总线 RT 端监控与交互系统软件在 RT 上电运行后, 将 RT 所属的自描述信息录入该系统规定的字段里, 并将之存在 RT 的子地址 1 的物理区域, 供 SMU 进行获取^[14]。为充分验证 BC 端与 RT 端握手后是否能正确获取其内部遥测参数信息, 根据自适应 1553B 协议, 分别在总线 RT 端监控与交互系统软件上, 设置正确的 RT 内部遥测参数信息与非正确的内部遥测参数信息, 监测 SMU 是否能够与 RT 端成功握手, 设计测试流程如下:

① 设置通信总线芯片为 RT 工作模式, 且下位机软件每次进行总线数据交互时, 确认该工作方式 (RT 工作方式), 若出现异常, 对收发数据不做任何处理, 重新初始化该总线芯片模式。

② 系统上电后, 验证 SMU 获取的 RT 端自描述信息是否正确, 若为正确信息则 SMU 与 RT 握手, 若 SMU 收到 RT 端反馈的自描述信息是错误信息, 则验证 SMU 是否将其视为无效消息。即观测总线 RT 端监控与交互系统是否显示 RT 一直在传送信息但 SMU 无法识别。

③ 当 SMU 与 RT_i 成功握手之后, 根据自适应 1553B 协议, 设置一个新的、正确的 RT_i 自描述信息, 通过总线 RT 端监控与交互系统, 监测 BC 端是否仍然可以与 RT_i 成功握手并获取其自描述信息。BC 端动态获取 RT 端自描述信息功能测试流程如图 4 所示。

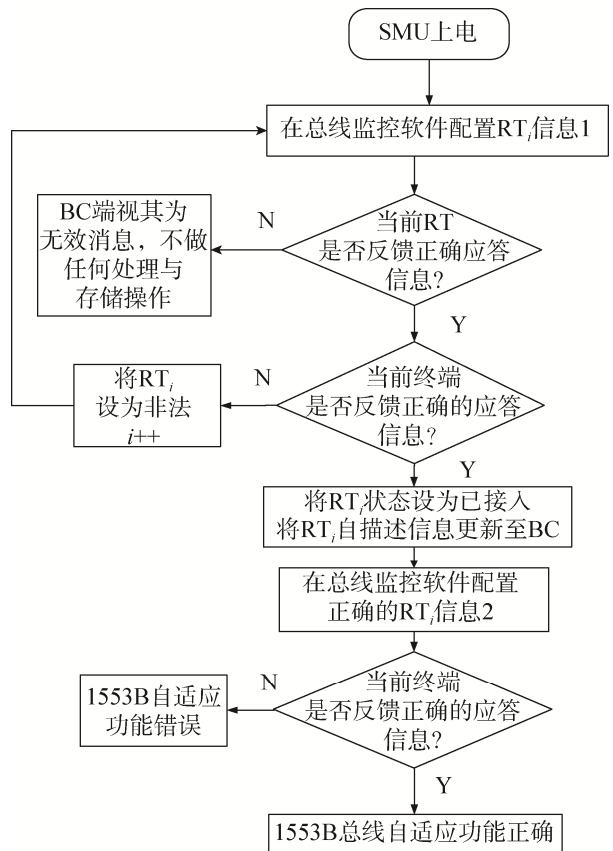


图 4 BC 端自适应获取 RT 端自描述信息流程图

Fig. 4 Acquisition of self-descriptive messages

通过总线 RT 端监控与交互系统, 监测 BC 端是否仍然可以与 RT_i 成功握手并获取其自描述信息。BC 端动态获取 RT 端自描述信息功能测试流程如图 4 所示。

2.2 A/B 总线自适应轮询功能测试

在整星 AIT 阶段进行 1553B 总线自适应通信功能测试时，以 SMU 为总线控制器端 BC，平台综合业务单元 PFISU(Platform Integrated Service Unit)为终端 RT 进行验证。按照自适应 1553B 总线协议，系统上电期间，SMU 通过应答机制对两条总线(A、B)的 $RT_1 \sim RT_N$ 终端设备进行循环检测。当 PFISU 未反馈应答信息时，则 SMU 先利用原总线 A 或者 B 再次尝试通信，如原总线通信异常，则切换另一条总线重试。如 A/B 总线均通信不成功，则再次进行 A/B 总线循环切换，当 RT 端正确反馈应答信息时，则认为该 RT 地址通信成功，并将当班的 RT 设备自描述信息更新至 BC 端的总线终端接入状态表^[15]。

因此，设计测试逻辑如下：SMU 加电后，保持平台综合业务单元不通电，这种状态下，SMU 无法获取平台综合业务单元反馈的信息，通信失败；按照 1553B 总线自适应功能设计，SMU 会首先尝试通过 A 总线与 PFISU 通信，通信失败后利用 A 总线再次尝试通信，通信再次失败后 SMU 切换至 B 总线与平台综合业务单元通信。因此，遥测参数“PFISU A/B 总线状态”值应为 1 (A 总线) 与 0 (B 总线) 两个值的重复循环。当 PFISU 上电后，向 SMU 传达通信自描述信息，通信成功，通信总线的选择为当前握手成功的总线；按照 1553B 总线自适应功能设计，遥测参数“PFISU A/B 总线状态”值应为固定值 1 (A 总线) 或者 0 (B 总线)。A/B 总线自适应轮询功能测试流程图如图 5 所示。

3 测试成果与实现

3.1 自描述信息动态获取测试

3.1.1 设置任意 RT 正确的自描述信息

搭建 1553B 总线测试仿真平台。在 SMU 加电后，启动总线 RT 端监控与交互系统，同时按照自适应 1553B 总线协议将 RT_1 的内部参数信息等自描述字段写入软件的 RT_N (RT 可根据需要而选择) 中。因为，RT 自描述字段 (共 24 字节) 存放在 RT 设备子地址 1 的物理空间，故在 RT_1 控制面板的子地址 1 (TX SA 01) 的编辑数据缓冲区设计指令位置状态字。

进行配置 1 设置：指令位置状态字为 003E，遥测位置状态字为 0FFFFFFC0，并计算正确的校验和填入软件中。因遥测位置状态字为 0FFFFFFC0，则表示 RT_N 在 SA7 到 SA28 中存在有效数据。测试结果显示，SA7 到 SA28 通信成功，SMU 与 PFISU 已经成功通信，并在 SA7 到 SA28 获取了平台综合业务单元的遥测数据，与遥测位置状态字的设置相一致。测试结果表明，在系统上电后，SMU 已通过应答机制对当前总线的 $RT_1 \sim RT_N$ 的终端设备进行轮询检测，并在与 RT_1 成功握手后，获取了其自描述信息，并根据自描述信息在 BC 端内部建立总线终端接入状态表初始态。

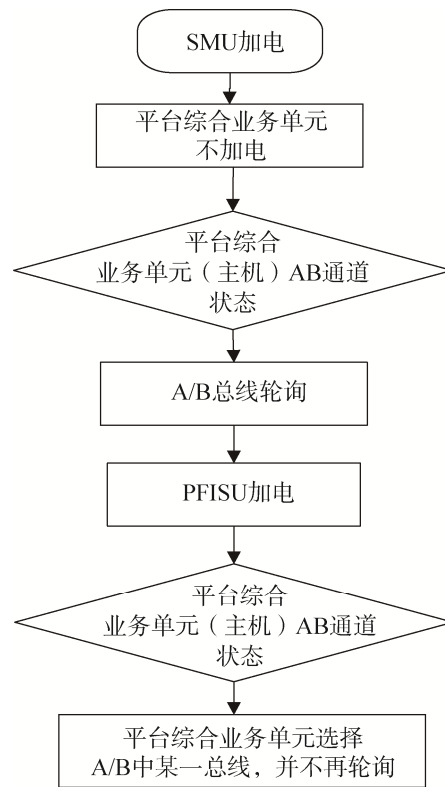


图 5 A/B 总线自适应轮询功能测试流程图
Fig. 5 Testing method for A/B bus self-adaptive polling

3.1.2 设置任意 RT 无效的内部参数信息

为了测试 BC 加电后通过轮询方式访问获取每个合法 RT 设备的内部参数信息, 若 RT 终端反馈的同步头信息与约定数据不相符时, 或内部参数信息不满足校验要求, 则 BC 端将该总线终端对应的 RT 地址表示为通信非法, 并丢弃该 RT 设备的内部参数信息”。更改配置 1 中的遥测状态字使其与位置状态字相冲突, 根据 1553B 协议, 若使遥测状态字与位置状态字位置重叠, 则 BC 端会自动丢弃该设备内部参数信息, 并认为该设备非法, 并开始重访自描述字段, 周期为 448 ms。

设置配置 2 中 RT_i 的自描述信息如下: 设置遥测状态字为 0FFF1111、位置状态字为 0040, 此配置为无效的自描述信息, RT_i 不能与 SMU 握手。测试结果显示: SMU 会自动丢弃配置 2 中 RT_i 自描述信息, 认为 RT_i 非法, 并开始重访自描述字段。

3.1.3 RT 自描述信息更改

为了验证 BC 端在与 RT 交互之前, BC 端对 RT 端的自描述信息都是未知的, 且 RT 设备所需的服务信息由自身提供描述, 无需提前将服务信息输入在 BC 端内。在系统上电后以及系统运行期间, BC 端周期性地与 RT 进行数据握手, 并确定 RT 所需的相关服务内容。在配置 1 的基础上, 设置配置 3 如下: 将 RT 控制面板的子地址 1 (TX SA 01) 的编辑数据缓冲区设计指令位置状态字为 0040, 遥测位置状态字为 0FFFFFFB。

测试结果显示: SMU 与 PFISU 通信成功, 并在 SA2 到 SA28 获取了遥测数据, 与自描述字中遥测位置状态字的设置相一致。可以证明 SMU 按照 PFISU 自描述字段定义的内容进行相应的访问, 在与 RT 通信握手成功后, 动态获取了 RT 设备自描述信息, 并按照 RT 自身提供的信息提供相应数据传输服务。

4 结束语

本文通过对卫星自适应 1553B 总线通信功能需求分析, 针对自适应 1553B 总线协议中两类总线性能, 即 RT 自描述信息动态获取功能以及 A/B 总线自适应轮询的功能, 设计了一种精准快捷的测试方法及系统, 分别在整星 AIT 阶段和分系统阶段进行验证, 同时通过利用 1553B 总线仿真与测试平台实现对 1553B 总线自适应性能的判读与仿真。测试结果表明, 某通信卫星 1553B 总线具有较高的自适应能力和通用性, 以及灵活的任务周期。

参考文献

- [1] PENDYALA P, PASUPUREDDI V S R. MIL-STD-1553B: Integrated remote terminal and bus controller at 100-Mb/s data rate[C]// Circuits and Systems (ISCAS), Lisbon, Portugal, May 24-27, 2015.
- [2] NICOLAI A, ROEMER S, ECKERT S. The TET satellite bus-future mission capabilities[C]// Aerospace Conference, Markham, Canada, February 06, 2014.
- [3] 朱晓辉, 吕德东, 张阁. 基于分级处理的星载数据总线综合测试方法[J]. 航天器工程, 2015, 24(5): 137-143.
ZHU Xiaohui, LYU Dedong, ZHANG Ge. A method of integrated test for on-board data bus based on leveled data processing[J]. Spacecraft Engineering, 2015, 24(5): 137-143.
- [4] SAVITHA A, DESAI K, RAVINDRA M, et al.. Automated analysis of MIL-STD- 1553B communication protocol test results[C]//Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT), May 08-10, 2015.
- [5] 连卉, 郝燕艳, 李延滨, 等. 基于信息流的星载软件需求分析方法[J]. 航天器工程, 2015, 24(2): 68-73.
LIAN hui, HAO Yanyan, LI Yanbin, et al. Software requirement analysis of satellite based on information flow[J]. Spacecraft Engineering, 2015, 24(2): 68-73.
- [6] WU Kan, JIANG Jingfei, HU Mianjiang. Intelligent fault-tolerant 1553B bus system based on adaptive learning[C]// Communication Software and Networks (ICCSN), Xi'an, China, May 27-29, 2011.

- [7] 罗运虎, 章宁, 周涛, 等. 1553B 总线监视器中数据读取与解析方法研究[J]. 测控技术, 2013, 32(10): 33–35.
LUO Yunhu, ZHANG Ning, ZHOU Tao, et al. Study on data read method in 1553B bus monitor[J]. Measurement & Control Technology, 2013, 32(10): 33–35.
- [8] 徐楠, 李东, 魏强, 等. 同步串行总线在通信卫星转发器中的应用[J]. 航天器工程, 2015, 24(2): 68–73.
XU Nan, LI Dong, Wei Qiang, et al. Application of synchronous serial bus in communications satellite transponder[J]. Spacecraft Engineering, 2015, 24(2): 68–73.
- [9] 刘淑芬, 孙昕. CAN 总线在卫星中的应用技术研究[J]. 航天控制, 2014, 22(6): 79–83.
LIU Shufen, SUN Xin. Study on application of CAN bus on satellites[J]. Aerospace Control, 2014, 22(6): 79–83.
- [10] 刘帅, 王虎妹. 卫星综合电子系统体系结构总体技术研究[J]. 空间电子技术, 2015, 12(6): 90–94.
LIU Shuai, WANG Humei. Overall design technology of integrated electronic system configuration for next generation satellites[J]. Space Electronic Technology, 2015, 12(6): 90–94.
- [11] 成飞. 新一代卫星综合总线系统即插即用关键技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2014.
- [12] 刘佳昕, 赵欣, 魏振超, 等. 基于自适应 1553B 总线通信功能测试方法及系统: 201811074263.1[P]. 2019-01-18.
- [13] 李树业. 基于 1553B 总线的星务仿真系统设计[D]. 长春: 中国科学院研究生院(长春光学精密机械与物理研究所), 2016.
- [14] LI Y, JIA Q Z, ZHAO Y, et al. Mathematical modeling and simulation of aviation 1553B bus based on parameter identification[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1549(4): 042071(1-17).
- [15] 郝燕艳, 李威, 安卫钰, 等. 一种星载综合业务单元验证系统: 201120355755.5[P]. 2012-07-18.

[作者简介]

- 刘佳昕 1991 年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为信息与通信工程。
赵欣博 1983 年生, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为信息与通信工程。
高洪宇 1984 年生, 学士, 高级工程师, 主要研究方向为导航工程和通信工程。
刘海荣 1988 年生, 学士, 高级工程师, 主要研究方向为信息与通信工程。

(本文编辑: 傅 杰)