

文章编号: 1672-8785(2016)03-0032-04

星载总线系统的测试方法研究

王 帅 顾明剑

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘 要: 针对星载总线系统在实际应用中可能会遇到的故障问题, 提出了一种针对 1553B 总线物理层和协议层的测试方法。其中, 物理层的电气特性测试包括电压、阻抗、波形和码元分析等; 复杂的协议层测试内容包括指令传输、地址识别、有效数据、校验位和消息间隔等。最后, 通过实验验证了这种测试方法的有效性和实用性。

关键词: 1553B; 总线系统; 物理层测试; 数据链路层测试

中图分类号: TP3 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.03.007

Research on Test Methods of Spaceborne Bus System

WANG Shuai, GU Ming-jian

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy
of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: According to the failure problem which might be occurred in the application of a spaceborne bus system, a test method for the physical layer and protocol layer of a 1553B bus is proposed. In the method, the test of the electric characteristics of the physical layer includes the analysis of voltage, waveform, code, etc. The test of the complex protocol layer includes the analysis of instruction transmission, address recognition, effective data, check bit and message interval, etc. Finally, the validity and practical applicability of this test method are verified experimentally.

Key words: 1553B bus; bus system; physical layer test; protocol layer test

0 引言

为了满足现代航电复杂光电系统的应用需求, 实现多个处理器之间的通信和数据交换, 航空航天系统和地面检测系统已广泛采用总线系统来实现复杂终端之间的数据管理和数据传输。目前, 以 MIL-STD-1553B 等总线为关键技术所构建的总线系统已经在保证复杂数据管理和高速数据传输方面得到了广泛应用。

由于 MIL-STD-1553B 总线系统是整个航电

系统的控制中心, 对其进行测试是保证整个系统稳定工作的基础。MIL-STD-1553B 总线规定了物理层和数据链路层的相关通信标准, 但是目前大多数 MIL-STD-1553B 测试产品基本上都只是完成数据链路层的性能测试分析, 而对于物理层的某些特性, 一般都需要等到系统工作出现问题并经反复求证才能发现。针对这个问题, 本文提出针对物理层和数据链路层的相关测试方法, 以保证被测总线系统在物理层和数据链路层中具有较高的工作稳定性和可靠性。

收稿日期: 2016-02-19

作者简介: 王帅 (1987-), 女, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事信息处理与故障检测研究。

E-mail: zi5wang@163.com

1 1553B 总线简介

作为一种双冗余时分制的指令/响应式串行数据总线, MIL-STD-1553B 总线采用曼彻斯特码, 具有双向传输、半双工等特点, 其传输速度为 1 MHz/s。一个 MIL-STD-1553B 总线系统可以有 1 个总线控制器 (Bus Controller, BC)、1 个总线监视器 (Bus Monitor, BM) 以及最多 31 个远程终端 (Remote Terminal, RT)。

1553B 总线的物理层严格规定了总线接口、特性阻抗和耦合电压等电气特性。1553B 总线系统的所有通信都是通过 BC 发起的, 其终端与终端之间无法直接通信, 必须通过 BC 控制才能进行数据交换和通信。1553B 总线系统的通信工作以消息为基础, 并具有命令字、状态字和数据字等三种不同的消息字。其中, 每个字都是 20 比特长, 前 3 位是同步位, 最后 1 位是校验位, 中间 16 位是数据位。

2 物理层的测试内容和测试方法

2.1 物理层的测试内容

物理层处在网络层次的最底部, 对其进行测试的主要目的是为了验证节点和系统的电气性能。从物理层分析波形的优点是, 能够采集到协议板卡和协议工作过程中自动滤除的错误, 从而对错误信息进行更加精确的定位。

2.2 物理层的测试方法

作为测试电平特性的常用工具, 数字示波器具有较高的精度, 并且便于记录观察 1553B 总线上的电平状态, 因此能够比较精确地监视和采集总线物理层的原始信号。

在测试过程中, 使用测试工具将总线信号从相应的测试节点引出, 并将其连接到示波器上; 然后采集波形信息, 并对实验参数进行分析。常用的物理层测试包括以下几项。

2.2.1 波形分析

示波器用于分析一般信号的波形, 可以得到信号在一段时间内的电压、信号周期、上升和下降时间等细节信息。

2.2.2 眼图测试

眼图是由示波器上的数字信号累加而成的。与单一波形相比, 眼图所分析的是信号的整体特征。从眼图中可以分析出信号的码间串扰和噪声影响, 从而为系统性能的改进提供重要参考。

2.2.3 故障注入

物理层的错误注入可以使用专业的故障注入设备完成。其原理是, 该设备通过 FPGA 对采集到的信号进行重新处理, 并对采集点的电压值进行修改, 形成有故障的信号; 然后将其输入到物理层的电阻网络中, 从而实现 1553B 总线信号的故障模拟。

3 协议层测试

协议层测试主要是测试节点的协议层参数, 以确保总线通信性能的一致性, 包括帧同步、有效数据、终端地址、命令方式和校验位等复杂协议的测试。在保证正常数据传输的同时, 还要对故障性能进行监测, 这可以采用软件错误注入的方式来实现。具体的测试方法主要有以下几项。

3.1 按照协议标准进行的正常数据传输的测试

3.1.1 有效数据的传输

测试系统对正确的数据内容以及有效数据长度的反馈能力。

3.1.2 指令更换

测试数据是否按照计划进行预期操作。对于 BC-RT 方向上的数据, 测试终端能否正确接收并在规定时间内给予 BC 正确应答。对于 RT-BC 方向上的数据, 测试 RT 终端系统对有效指令的接收和处理能力。对于 RT-RT 方向上的数据, 测试发送终端正确发送各种形式指令的能力和接收终端对指令进行有效反馈的能力。

3.1.3 地址识别

一条 1553B 总线最多可以挂 31 个终端, 其中每个终端都有自己在总线系统中的唯一地址。通过更改命令消息中的终端地址, 可以测试终端对有效地址的识别能力。此外还可以利用子地址来区分每个终端的不同模块。子地址同样也是地址识别测试的一部分。

3.1.4 响应时间

验证系统对协议范围内规定的响应时间的判断和响应能力、系统对超时未响应情况的处理能力以及终端在消息间隔内对消息的有效应答能力。

3.2 错误注入的测试

3.2.1 消息字长错误

发送超过规定字长的消息，然后测试系统对字长错误的检查和正确反馈能力。

3.2.2 校验位错误

人为地将正确的校验位设置错误，然后测试总线系统对校验位的检错和处理能力。

3.2.3 有效地址错误

向终端发送超过规定终端地址范围的地址信息，然后测试总线系统对地址位是否具有错误反馈能力。

3.2.4 有效数据错误

对于每条消息，相应的输入项都有预期输出。改变正确输入以测试系统对错误数据的检查和处理能力。

3.2.5 消息间隔与响应时间错误

更改系统已设定好的时间，减小消息间隔，加快消息发送速度，减小响应时间设置，然后测试总线系统的工作极限状态。

4 实验验证

4.1 测试系统的结构

图 1 所示为测试系统的结构框架。

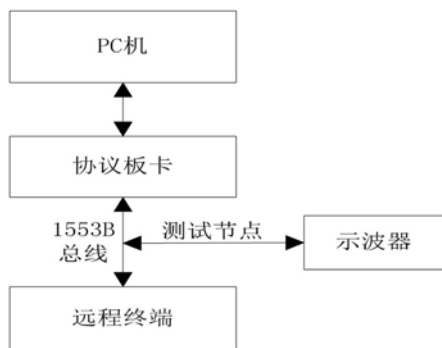


图 1 测试系统的结构框图

远程终端和 1553B 总线构成了整个总线系统。示波器和 PC 机是测试工具。PC 机与远程终

端之间的通信通过协议板卡来实现。实验中使用的是北京旋极公司生产的 Alta PCI-1553 协议板卡。该板卡提供的 API 函数可以实现数据转换等各项功能。利用 PC 机实现人机交互和完成总线系统的协议层测试。通过使用 Windows 操作系统，可以实现更换终端地址和子地址、更改命令方式以及实现数据注入等功能的配置。

4.2 物理层的实验验证

测试节点输出信号的电压大小为 5 V，总线上的数据每比特占 1 μ s。通过上位机往总线上发送特定指令，然后对示波器接收到的数据参数进行采集，最终得到信号的波形和眼图 (见图 2 和图 3)。

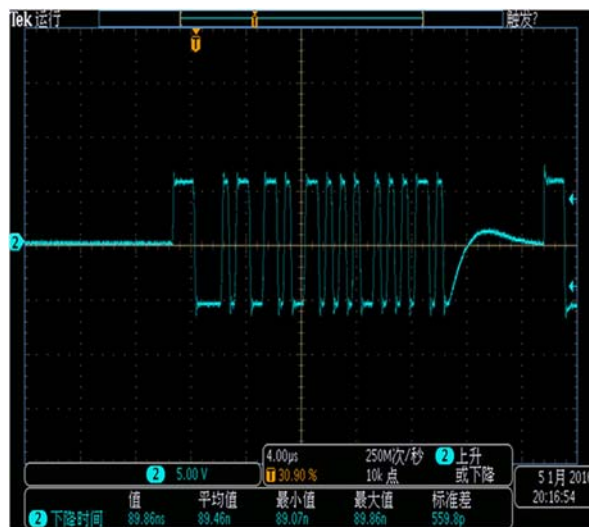


图 2 物理层的信号波形

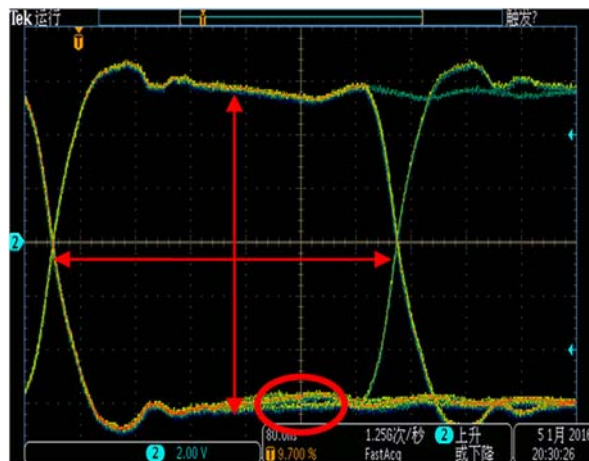


图 3 图 2 中信号的眼图

对图 2 中的示波器波形进行了分析。其中, 电压幅值接近理论值 5 V, 一个命令字 20 比特占 20 μs , 即每位 1 μs , 与理论值相符。从波形来看, 第一条消息字同步头的前 1.5 位是高电平, 后 1.5 位是低电平, 第 10 位是 1, 由此可得该消息字是命令字。接下来的消息字的前 1.5 位是低电平, 后 1.5 位是高电平, 第 10 位是 0, 由此可得该消息字是数据字。这是一条带有数据字的方式命令, 数据内容为 9999H 的消息, 与上位机的指令设置相符。

图 3 为与图 2 中信号相对应的眼图的部分截图。该眼图的线迹比较细, “眼睛” 比较端正且张开幅度较大, 眼高约为 10, 眼宽约为 480, 噪声约为 0.3, 抖动微弱, 噪声小, 信号质量好。

4.3 协议层的实验验证

4.3.1 通信测试软件的设计

软件开发环境为 Windows 操作系统。基于 C++ 开发语言, 使用 MFC 设计用户界面进行了人机交互。图 4 为 1553B 总线测试系统软件的数据流图。

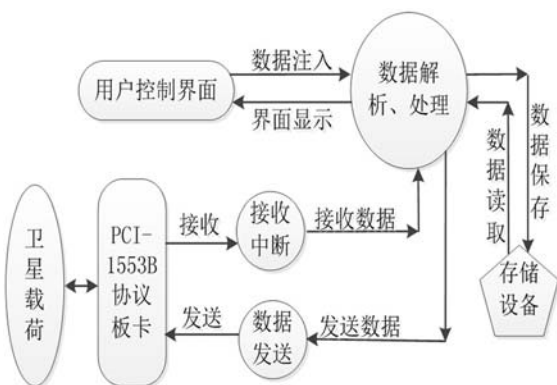


图 4 1553B 总线测试系统软件的数据流图

测试软件包含以下几个模块:

(1) 初始化配置模块

初始化配置模块主要用于对设备和消息配置进行初始化, 即对 PCI-1553B 板卡型号、版本、总线工作模式的初始值进行设置。

(2) 运行设置模块

运行设置模块用于控制程序的运行, 包括程序的开始和停止, 即配置开始运行函数和停止运行函数。程序开始运行时会启动协议板卡

工作, 并将相应的标志位置位, 等待具体命令的发送。程序停止运行时会停止所有消息链和中断信息的处理, 将相应的标志位清零, 并停止设备运行。

(3) 中断设置模块

中断设置模块的主要功能是在发送完指令之后, 获取回应消息, 并查询终端的矢量字信息。包含中断查询线程函数和中断处理线程函数, 中断查询函数查询是否有中断信息, 中断处理函数接收到中断信息之后按照具体的中断信息进行分类处理。

(4) 消息设置模块

该模块的主要功能是配置消息类型, 以初始化时设置好的消息链, 按照消息号发送具体消息。此模块可以验证协议层次的命令更改、地址识别、有效数据位和校验位识别等功能。

(5) 输入与输出显示模块

输入与输出显示模块主要用于实时显示输入与希望输出及实际输出之间的关系, 以便进行人机交互。

4.3.2 实验结果

按照上述协议层测试方法, 更改了注入指令中的子地址、终端地址、有效数据和校验位等信息, 获取了相对应的输出响应。图 5 所示为截取的部分测试结果。

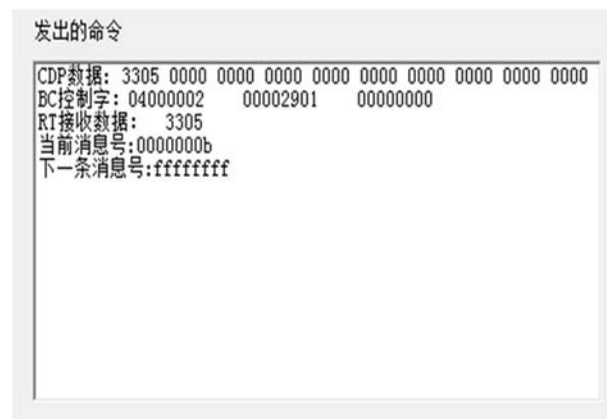


图 5 1553B 命令输入

该栏显示最新注入到总线中的命令, CDP 数据显示注入的有效数据, RT 接收数据显示远 (下转第 44 页)