

低速总线分析系统的设计实现

王晓飞, 闫淑群, 罗宇辉, 毋勇民, 高敏, 王瑞

(中国兵器工业第 203 研究所, 西安 710065)

摘要: 提出了一种适用于弹箭的多种总线自动诊断系统, 弹上总线诊断分析主要包括对多种总线的电气层和协议层的诊断分析, 论述了该诊断系统的方案、硬件架构和软件设计, 并阐述了系统实现原理和技术特点; 试验表明自动诊断系统能够实时分析多种总线数据的各种电气特性和通信协议, 并且能够对总线数据进行实时记录, 从而能够全面的对总线进行评价, 快速诊断多种总线中差分电压共模电压、显性电压、隐性电压、波特率等主要电气特性参数, 提高故障定位和分析的能力和手段。

关键词: 总线诊断; 虚拟仪器技术; 导弹武器系统

Design and Implementation of Low Speed Bus Analysis System

WANG Xiaofei, YAN Shuqun, LUO Yuhui, MU Yongmin, GAO Min, WANG Rui

(No. 203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an 710065, China)

Abstract: This paper presents a kind of multi buses automatic diagnosis system which is suitable for missiles. The diagnosis analysis of multi bus mainly includes the diagnosis analysis of the electrical layer and data link layer of multi bus. The scheme, hardware architecture and software design of the diagnosis system are discussed, and the realization principle and technical characteristics of the system are described. The test shows that the automatic diagnosis system can analyze all kinds of technical characteristics and communication protocols of the bus data in real time, and record the bus data in real time, so as to evaluate the bus and network comprehensively, diagnose the problems in the network quickly, and improve the ability of locate and analyze problems.

Keywords: bus diagnosis; virtual instrument technology; missile weapon system

0 引言

总线监测系统是一种能够实时监控多种总线通信信息, 并且能够显示、存储、回放和解析总线信息的系统, 常用的有串口 RS422、1553B 等总线检测系统^[1-3]。电气信号质量对于总线或信号通信的稳定性和健壮性有着最直接的影响。特别是当前武器系统中电子系统的综合化、交联关系日益复杂, 对于系统的稳定性和健壮性提到了前所未有的高度, 构建一种有效的总线或信号诊断分析方法就显得尤为必要。对于弹上总线信号, 传统的数据采集方式只能分析协议层的通信数据, 而无法对总线的电气特性进行量化分析, 更无法同时分析总线数据的电气层和协议层通信质量。示波器可以对总线数据的电气特性进行量化分析, 但是不够智能化, 而且只能短时间内“人在环”的分析总线的电气特性, 对于数据协议层的通信过程更是无能为力, 但是在通信的过程中, 往往需要探测总线或信号的电气质量。本文从实现原理和技术特点出发, 提出了一种弹上总线诊断分析的设计和实现方法。

1 弹箭总线诊断分析系统的结构和测试原理

弹箭总线诊断系统由总线诊断设备、信号适配箱、电源时序器、数据服务器和软件等组成, 通过 PCIe 和以太网

进行相关设备的配置与管理。低速总线分析系统相关设备均采用 19 英寸上架设备, 统一部署在 24 U 机柜中。低速总线分析系统结构具体部署情况如下: 数据服务器、BNC 面板、信号适配箱, 电缆穿引板、电缆穿引板、壁挂式显示器鼠标键盘支臂、以太网交换机、盲板、电源时序器。

总线诊断分析系统的测试原理如下, 总线诊断板卡硬件为 PCIe 接口高速 AD 采集板卡。总线诊断板卡提供外部信号接入接口, 通过该接口实现信号的采集功能。ADC 功能模块实时采集总线信号波形, 采用 FPGA 对电气特性和协议层解析, 并将解析的结果和采集的原始数据通过 PCIe 接口上传到数据服务器, 并由总线诊断系统管理软件完成后续的解析显示和数据存储功能, 系统工作原理如图 1 所示。

2 系统方案

弹上总线诊断分析系统由总线诊断分析板卡和 RAID 卡、磁盘阵列以及总线诊断分析软件组成, 其中总线诊断分析软件包括电气层诊断分析模块、协议层诊断分析模块和存储回放模块。

2.1 硬件总体设计

总线诊断分析系统由总线诊断分析板卡和 RAID 卡、磁盘阵列组成。核心器件是总线诊断板卡, 采用 HRP1620

收稿日期: 2021-04-28; 修回日期: 2021-06-07。

作者简介: 王晓飞(1980-), 男, 湖南岳阳人, 工程硕士, 高级工程师, 主要从事系统测试方向的研究。

引用格式: 王晓飞, 闫淑群, 罗宇辉, 等. 低速总线分析系统的设计实现[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(10): 25-31, 37.

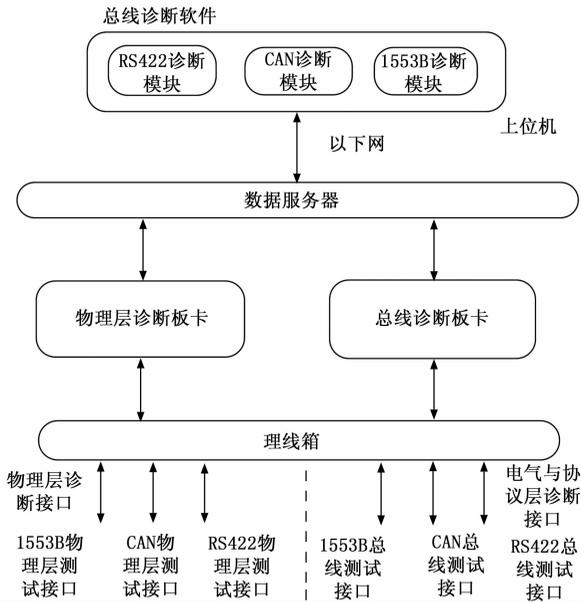


图 1 诊断分析系统工作原理图

采集板卡，板卡包括 FPGAXC7V485T、ADC、电源电路、DDR3、FLASH、晶振、传感器、信号调理电路、电源电路、SMA。PCIe 接口高速四通道 AD 板卡实现 CAN、1553B、RS422 的四通道 AD 采集、电气特性计算、协议解析。总线诊断板卡硬件如图 2 所示。

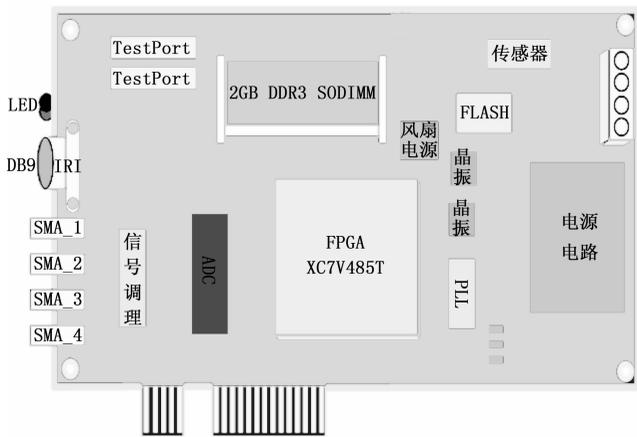


图 2 总线诊断板卡硬件框图

总线诊断系统采用通用化、模块化和综合化设计思想，基于分布式、开放式的体系架构进行设计，通过专用的总线诊断分析板卡实现，其系统架构如图 3 所示。

总线诊断分析板卡采用 PCIe 架构，内含若干高速的 ADC 进行总线数据采集，ADC 功能模块选用高速 ADC，采样率选用至少一百倍于总线的波特率，高速 ADC 实时采集总线信号，在采集之前需要一些辅助电路进行信号调理，将总线信号调理至 ADC 芯片的采集电压范围内，便于将总线信号量化采集和后续的分析。调理电路和 ADC 芯片的器件选型保证系统模拟带宽不小于 50 MHz (-31 dB)；采样

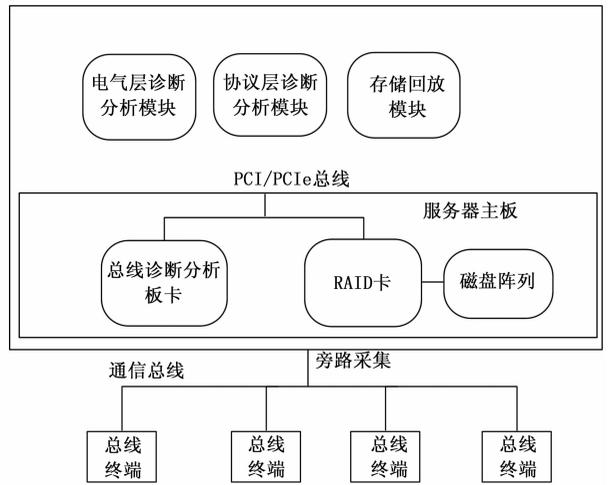


图 3 总线自动诊断系统架构图

失真度带宽范围内不超过 5%；电压采样精度带宽范围内误差不超过 50 mV，以保证信号的采集精度和准确性。

板卡有一个 PCIe×8 接口，采用 FPGA 的 PCIE IP 实现，该 IP 通过 8 对 Serdes 实现了高速的 PCIe 数据传输。FPGA 实现 ADC 采集控制逻辑，控制 AD 芯片进行采样和数据转换，并接收采集数据，进行电气特性分析和协议解析。采集数据通过 DDR3 控制器 IP 核对 DDR3 进行写入操作，实现采集数据的缓存；缓存数据在 PCIe IP 核的控制下将数据传输到 RAID 卡并存储到计算机的固态硬盘中，故障注入和诊断单元管理软件再完成数据处理。同时板卡还包括一组 DDR 板载内存，用于将采集数据进行缓存，并最终通过 PCIe 总线上传至主机内存，由总线诊断分析软件完成解析和显示处理。

物理层诊断板卡采用 3 U 的 PCI 接口，由专用的物理层诊断板卡（线缆测试板卡）实现。

2.1.1 1553B 总线模块硬件设计

1553B 线缆为双绞屏蔽线，包括正信号线、负信号线和屏蔽线。线缆检测原理是将线缆的电阻转变成电压，判断检测的电压大小从而计算出线缆电阻的大小。根据测量的线缆阻值，判断线缆的短路和开路状况。

物理层诊断板卡的线缆测试模块实现线缆检测、正线、负线、屏蔽线的连续性检测，可实现以下线缆检测项：线芯的短路检测、线芯的开路检测、线芯与屏蔽线短路检测、线芯反向检测、屏蔽网络连续性检测、线路连续性检测。

1553B 线缆检测连接如图 4 所示，通过板载继电器开关实现电缆两端测试线路的选择，S1, S2 可从正信号线、负信号线、屏蔽线中任意选择一路作为测试输入。通过切换 S1, S2 开关，可以实现正信号线、负信号线、屏蔽线或它们之间的短路、开路检测。

考虑到线缆电阻非常小，在 mΩ 级别，线缆检测模块电阻的测量采用四线制测电阻原理。四线制电阻测量方法

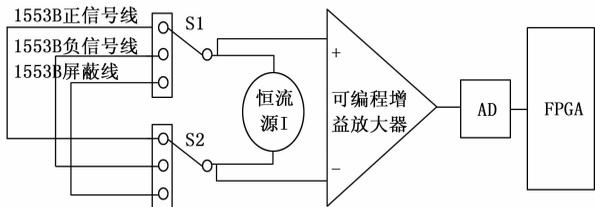


图 4 1553B 线缆测试原理图

可以消除导线电阻的影响。

2.1.2 RS422 总线模块硬件设计

RS422 通讯物理线路采用双绞线, 包括 TX+ 信号线、TX- 信号线、RX+ 信号线、RX- 信号线。线缆检测原理是将线缆的电阻转变成电压, 判断检测的电压大小从而计算出线缆电阻的大小。根据测量的线缆阻值, 判断线缆的短路和开路状况。

物理层诊断板卡的线缆测试模块实现线缆检测, 可实现以下线缆检测项: 接收端输入阻抗测试、正线对地线短路检测、负线对地线短路检测、正、负线间短路检测。

接收端电阻测试原理如图 5 所示。

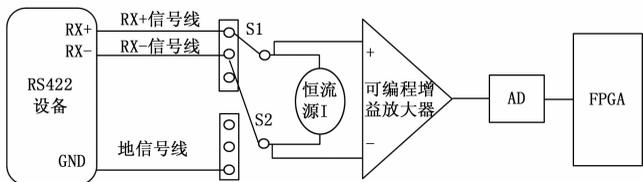


图 5 RS422 接收端电阻检测原理图

RS422 线缆检测连接如图 6 所示, 通过板载继电器开关实现电缆两端测试线路的选择, S1, S2 可从 RX+、RX-、TX+、TX- 信号线中任意选择一路作为测试输入。线缆检测原理是将 RS422 线缆的电阻转变成电压, 判断检测的电压大小从而计算出线缆电阻的大小。根据测量的线缆阻值, 判断线缆的短路和开路状况。

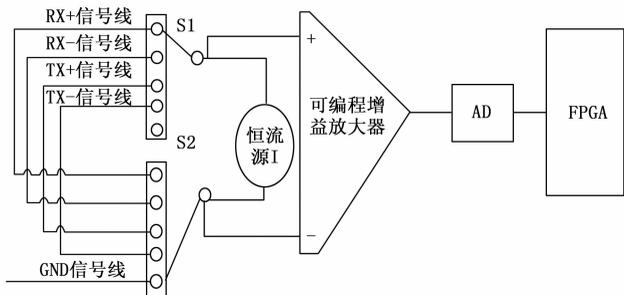


图 6 RS422 线缆测试原理图

2.1.3 CAN 总线模块诊断硬件设计

CAN 通讯物理线路采用双绞屏蔽线, 包括 CAN_H 信号线、CAN_L 信号线和屏蔽线。线缆检测原理是将线缆的电阻转变成电压, 判断检测的电压大小从而计算出线缆电阻的大小。根据测量的线缆阻值, 判断线缆的短路和开

路状况。

物理层诊断板卡的线缆测试模块可实现以下线缆检测项: 终端阻抗检测、CAN_H 对屏蔽线短路检测、CAN_L 对屏蔽线短路检测、CAN_H 对内部电阻检测、CAN_L 对内部电阻检测、信号线断路检测。

CAN 线缆检测连接如图 7 所示, 通过板载继电器开关实现电缆两端测试线路的选择, S1, S2 可从 CAN_H 信号线、CAN_L 信号线、屏蔽线中任意选择一路作为测试输入。通过切换 S1, S2 开关, 可以实现 CAN_H 信号线、CAN_L 信号线、屏蔽线或它们之间的短路、开路检测。

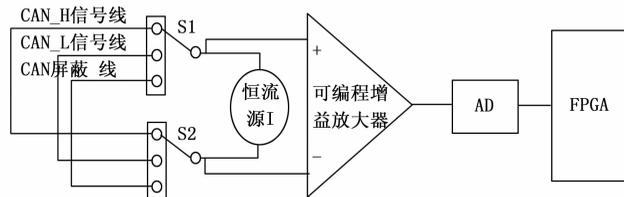


图 7 CAN 总线线缆测试原理图

对电阻检测时, 采用恒流源输出电流, 测试电压得方式检查 CAN_H、CAN_L 对地电阻的值, 如图 8 所示。当要测试 CAN_H 对地电阻时, 将开关 S1 接到 CAN_H 上, 测量 CAN_H 线对地电阻值; 当要测试 CAN_L 对地电阻时, 将开关 S1 接到 CAN_L 上, 测量 CAN_L 线对地电阻值; 当要进行终端电阻阻抗检测时, 需要将 S1 连接到 CAN_H 上, S2 连接到 CAN_L 上, 通过检查 CAN_H、CAN_L 之间的电压测量电阻值。

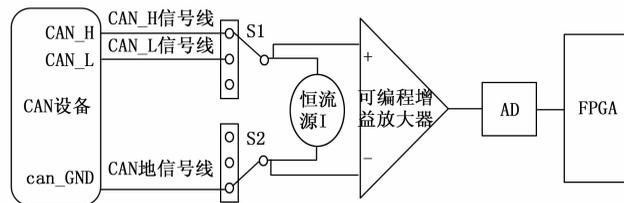


图 8 CAN 总线电阻测试原理图

2.2 软件总体设计

总线诊断分析软件主要实现总线数据的采集显示、分析结果的解析显示、存储回放等功能。总线诊断分析软件包括电气层诊断分析模块、协议层诊断分析模块和存储回放模块。

电气层诊断分析模块对电气层诊断分析的结果进行解析显示, 包括总线诊断分析板卡解析的各项总线电气层特性: 总线幅值、上升时间、下降时间等。电气层诊断分析模块实时显示总线诊断分析板卡采集量化的总线数据, 描绘总线波形, 用软件卡尺测量总线的各个电气特性。并且软件能够配置标准的总线电气层参数, 将总线诊断分析板卡解析的电气层参数和其进行对比, 对总线的电气层特性进行全方位的评价。协议层诊断分析模块对协议层诊断分

析的结果进行解析显示，能够对协议层通信的过程进行监控和解析显示，软件流程如图 9 所示。

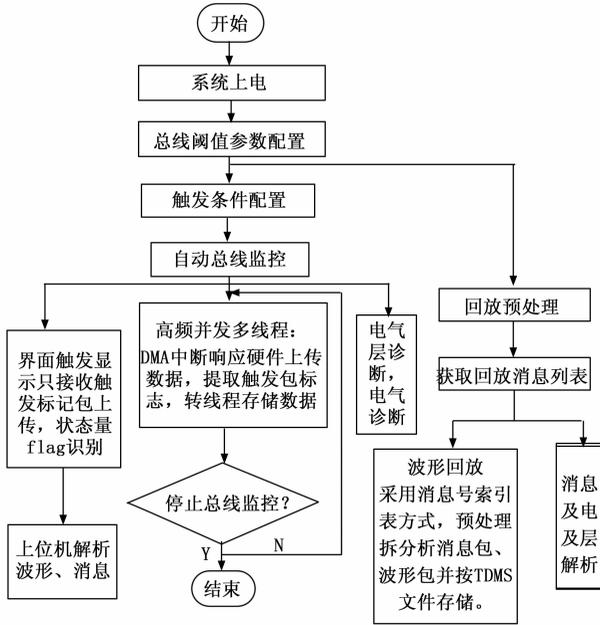


图 9 软件流程图

2.2.1 1553B 总线的电气层与协议层诊断

1553B 通信系统通常由总线控制器 (BC)、远程终端 (RT) 和总线监视器 (BM) 3 种终端通过总线介质互联而成。BC 用来组织总线上信息的传输，任何时刻总线上只能有一个 BC，总线上所有的数据传输。都是由 BC 发起的，BM 不响应 BC 的任何命令，用于接收、记录总线上传输的信息以便后续数据分析；RT 是不作为 BC 和 BM 的所用终端。监控 1553B 总线信息，需要利用具有 BM 功能的终端接入 1553B 总线网络^[4-9]。

检测时，总线诊断板卡作为 BM 通过耦合器的形式与总线相连，实现总线信号的旁路采集功能，除了完成电气层诊断测试以外，还能够将高速 AD 采集的信号通过 PCIe 接口传到服务器，并将 1553B 波形进行显示。

1553B 总线的电气层特性设计参数包括如下：

- 1) 输出电压 $VPP1$ ：总线的输出电压 $VPP1$ ，以 V 为单位；
- 2) 输出电压 $VPP2$ ：总线的输出电压 $VPP2$ ，以 V 为单位；
- 3) 过零稳定性 $|TZCP|_{max}$ ：总线的正过零稳定性，以 ns 为单位；
- 4) 过零稳定性 $|TZCN|_{max}$ ：总线的负过零稳定性，以 ns 为单位；
- 5) 上升时间 T_r ：总线的波形上升沿时间，以 ns 为单位；
- 6) 下降时间 T_f ：总线的波形下降沿时间，以 ns 为单位；

- 7) 输出波形畸变 max ：总线的输出波形畸变过冲与扰动，以 mV 为单位；
- 8) 输出对称性 max ：总线的输出对称性最大值，以 mV 为单位；
- 9) 输出隔离度 max ：总线的输出隔离度；
- 10) 上下电噪声 max ：总线的上下电噪声，以 mV 为单位；
- 11) 总线波特率：总线的波特率，以 % 为单位；
- 12) 终端响应时间：RT 的响应时间，以 μs 为单位。

电气层软件分析实现方法如下：1) 总线诊断板卡通过 PCIe 接口接收软件配置的电气层系统诊断测试项、总线类型、耦合方式、PAC 标准等配置信息；2) 总线信号经过总线诊断板卡信号调理电路后，输入到 ADC 电路。FPGA 接收采集控制命令，控制 ADC 进行信号采集；3) 总线诊断板卡的 FPGA 对 ADC 输出的数字信号进行电气特性分析和计算，通过分析信号幅度与时间的关系，计算出信号幅值、畸变电压、余度总线电压、噪声、上升/下降时间、残余电压、过零时间、信号频率、响应时间电气特性参数；4) FPGA 依据配置的 PAC 标准，判断电气特性是否满足 PAC 标准；5) 计算的电气特性参数和判定信息通过 PCIe 接口传给数据服务器，由软件进行电气特性参数显示，并对不符合判定标准的信号给出错误报警信息。总线诊断板卡通过高速 ADC 模块，旁路采集总线信号，进行协议解析，并依据 GJB289A 标准，判断信号是否符合协议要求。当不符合协议规定时给出协议层错误报警信息。系统诊断软件模块控制测试执行并显示测试结果，实现 1553B 总线协议层的诊断功能^[10-15]。协议层系统诊断如图 5 所示。

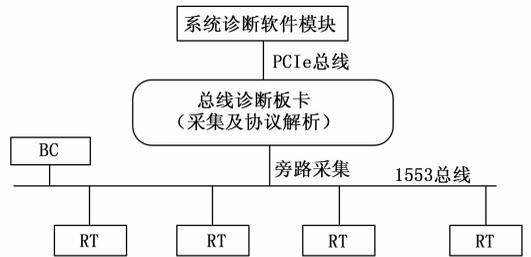


图 10 1553B 总线协议层系统结构图

协议层软件实现过程如下：1) 总线诊断板卡通过 PCIe 接口接收软件配置的协议层系统诊断测试项、总线类型等配置信息，选择配置为 1553B 总线；2) 总线信号经过信号调理电路后，输入到 ADC 电路。FPGA 接收采集控制命令，控制 ADC 进行信号采集；3) 总线诊断板卡的 FPGA 对 ADC 输出的数字信号按位进行量化，记录二进制数和字间间隔；4) 总线负载统计，按照单位时间内总线上的 bit 数进行统计，并通过上位机能够进行显示；5) 总线误码率统计支持如下两种统计方式：按照单位时间内总线上错误

字(包括曼彻斯特编码错误和奇偶校验错误)为单位进行统计,如果有错误则认为当前字是错误的,跟单位时间内接收的总线上的总的字数进行对比得出误码率。通过软件配置一条待接收的 1553B 消息,通过对比从总线上接收的消息和配置的待接收的消息,判断出接收到的错误的 bit 数,从而得出总线的误码率;6) FPGA 对二进制数进行解析,判断同步头、双向编码、字长、奇校验是否满足有效字要求,实现字的有效性监控。FPGA 对字进行解析,解析出同步头、奇校验、字长、地址字段、方式字段、状态位、数据信息、消息长度等信息;对字组合和字间隔进行分析,监控指令字与状态字的地址一致性、消息格式和消息的连续性、实际消息长度与指令字中数据字计数字段的一致性、状态位,实现消息监控,判断消息是否为有效合法消息;7) 测试结果通过 PCIe 接口传给服务器,由软件进行显示。当字或消息不符合协议规定时给出协议层错误报警信息^[16-18]。

通过总线诊断板卡实现 1553B 电气层的故障诊断分析功能,电压幅度检测;信号上升、下降时间检测;过零稳定性检测;输出波形畸变过冲与扰动检测;输出对称性检测;输出隔离度检测;上下电噪声检测;信号波特率检测;终端响应时间检测;1553B 总线波形监控显示^[19-21]。

2.2.2 CAN 电气层与协议层诊断分析

电气层检测与诊断分析通过总线诊断板卡可以实现 CAN 电气层的故障诊断分析功能,主要实现功能点如下所示:显性电压检测、隐性电压检测、信号上升沿、下降沿时间检测、对 CAN 总线共模电压检测、对 CAN_H、CAN_L 幅值检测、传输速率检测。

电气层系统诊断时,总线诊断板卡对总线信号进行旁路采集,不必响应总线信号。CAN 总线的电气层电气层特性参数包括如下:电气层诊断包括:显型电压、隐性电压、信号上升沿时间、下降沿时间、CAN 总线共模电压、CAN_H 幅值、CAN_L 幅值以及传输速率检测。

总线诊断板卡通过旁路采集的方式进行采集,实现总线信号的旁路采集功能,除了完成电气层诊断测试以外,还能够将高速 AD 采集的信号通过 PCIe 接口传到服务器,并将 CAN 总线波形特性显示。

协议层检测与诊断通过总线诊断板卡高速 ADC 模块,旁路采集 CAN 总线信号,进行协议解析,并依据 CAN 协议标准,判断信号是否符合协议要求。当不符合协议规定时给出协议层错误报警信息。系统诊断软件模块控制测试执行并显示测试结果,实现 CAN 总线协议层的诊断功能。协议层系统诊断如图 11 所示。

CAN 协议层系统诊断主要实现如下功能:对 CAN 总线报文进行二进制显示、总线误码率统计、总线负载率统计。实现过程如下:1) 测试项配置,总线诊断板卡通过 PCIe 接口接收软件配置的协议层系统诊断测试项、总线类

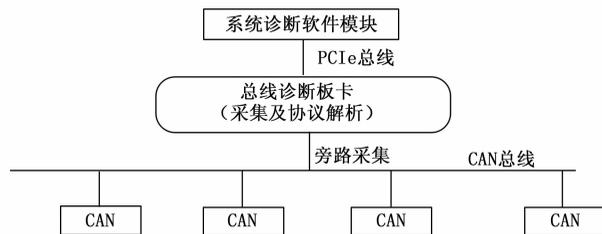


图 11 CAN 总线协议层系统结构图

型等配置信息,选择配置为 CAN 总线,配置总线的波特率等相关通信参数;2) 总线信号采集,总线信号经过信号调理电路后,输入到 ADC 电路。FPGA 接收采集控制命令,控制 ADC 进行信号采集;3) 采集波形量化,总线诊断板卡的 FPGA 对 ADC 输出的数字信号按位进行量化,记录二进制数,并上传至上位机进行二进制显示;4) 总线负载统计,总线负载统计,按照单位时间内总线上的 bit 数进行统计,并通过上位机能够进行显示;5) 总线误码统计,总线误码率统计支持如下两种统计方式。一是按照单位时间内总线上错误帧(包括帧长度错误和 CRC 校验错误)为单位进行统计,如果有错误则认为当前帧是错误的,跟单位时间内接收的总线上的总的帧数进行对比得出误码率。二是可以通过软件配置一条待接收的 CAN 帧,通过对比从总线上接收的帧和配置的待接收的帧,判断出接收到的错误的 bit 数,从而得出总线的误码率;6) 协议解析及 PAC 判断:FPGA 对二进制数进行解析,判断依据帧 ID、填充位、DLC、数据、CRC、ACK 等是否满足要求,实现 CAN 数据帧的有效性监控。FPGA 对数据帧进行解析,监控判断消息是否为有效合法消息;7) 测试结果上传,测试结果通过 PCIe 接口传给服务器,由软件进行显示。当 CAN 报文不符合协议规定时给出协议层错误报警信息。

2.2.3 RS422 总线的电气层与协议层诊断

通过总线诊断板卡可以实现 RS422 电气层的故障诊断分析功能:共模幅值检测、差模幅值检测、波特率检测。总线诊断板卡以旁路采集的方式进行采集,实现总线信号的旁路采集功能,除了完成电气层诊断测试以外,还能够将高速 AD 采集的信号通过 PCIe 接口传到上位机,并将 RS422 总线波形特性显示。1) 共模幅值检测,通过 AD 采集到的正负信号线上的电压,求得共模电压,范围要在 $-7 \sim +7$ V 之间,以此为依据或者上位机设置的共模电压参数为依据进行共模电压检测;2) 差模幅值检测,通过 AD 采集到的正负信号线上的电压,求得差模电压值,电压值在 $+2 \sim +6$ V 以内或者按照设定参数为标准作为电压检测标准;3) 波特率检测,将 AD 采集到的信号进行判断,检测 RS422 信号开始位,并按照设定的波特率计算当前的波特率是否与设定的波特率一致,最大支持到 1 Mb/s 的传输速率。

422 总线的电气层特性设计参数包括如下:

1) 上升时间 T_r : 总线的波形上升沿时间,以 ns 为

单位；

2) 下降时间 T_f : 总线的波形下降沿时间, 以 ns 为单位；

3) 差分电压高电平: 差分电压高电平电压值, 以 mV 为单位；

4) 差分电压低电平: 差分电压低电平电压值, 以 mV 为单位；

5) 共模电压: 差分总线的共模电压, 以 mV 为单位；

6) 总线波特率: 总线的波特率误差, 输入误差百分比。

总线诊断板卡通过高速 ADC 模块, 进行协议解析, 并依据 RS422 协议标准, 判断信号是否符合协议要求。当不符合协议规定时给出协议层错误报警信息。系统诊断软件模块控制测试执行并显示测试结果, 实现 RS422 总线协议层的诊断功能。协议层系统诊断如图 12 所示。

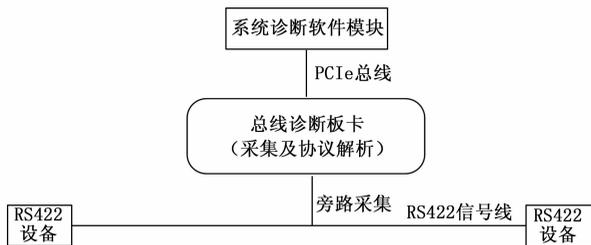


图 12 RS422 总线协议层系统结构图

实现过程如下: 1) 测试项配置, 总线诊断板卡通过 PCIe 接口接收软件配置的协议层系统诊断测试项、总线类型等配置信息, 选择配置为 422 总线, 并配置 422 的数据 bit 位、奇/偶校验、停止位等相关信息; 2) 总线信号采集, 总线信号经过信号调理电路后, 输入到 ADC 电路。FPGA 接收采集控制命令, 控制 ADC 进行信号采集; 3) 采集波形量化, 总线诊断板卡的 FPGA 对 ADC 输出的数字信号按位进行量化, 记录二进制数, 并上传至上位机进行二进制显示; 4) 总线负载统计, 总线负载统计, 按照单位时间内总线上的 bit 数进行统计, 并通过上位机能够进行显示; 5) 总线误码统计, 总线误码率统计支持如下两种统计方式: 第一种方式按照单位时间内总线上错误字 (包括字长度错误和奇偶校验错误) 为单位进行统计, 如果有错误则认为当前字是错误的, 跟单位时间内接收的总线上的总的字数进行对比得出误码率, 第二种方式可以通过软件配置一个待接收的字, 通过对比从总线上接收的字和配置的待接收的字, 判断出接收到的错误的 bit 数, 从而得出总线的误码率; 6) 协议解析及 PAC 判断: FPGA 对二进制数进行解析, 判断依据 422 的数据长度、奇/校验、停止位信息等是否满足要求, 实现 RS422 数据帧的有效性监控。FPGA 对数据帧进行解析, 监控判断消息是否为有效合法消息; 7) 测试结果上传, 测试结果通过 PCIe 接口传给上位机, 由软件进行显示。当 RS422 报文

不符合协议规定时给出协议层错误报警信息。

3 应用验证及分析

前面板中的物理层诊断区域为物理层诊断的接口, 故障注入和诊断单元支持对 1553B、CAN 和 RS422 总线的物理层诊断。支持对 3 种总线常用实验室线缆的自动诊断。

物理层诊断时, 将 1553B 线缆两端连接至信号适配箱中的 1553B-1 和 1553B-2 之间, 将 CAN 线缆两端连接至信号适配箱中的 CAN-1 和 CAN-2 之间, 将 RS422 线缆两端连接至信号适配箱中的 RS422-1 和 RS422-2 之间。

验证方法步骤如下:

1) 需要接口转换, 对 RS422 总线进行诊断时, 需要将 RS422 总线通道 1 的 RX+、地线和 RX- 通过信号适配箱 USER2 中的 13、14 和 15 管脚接入, 并且通过 BNC 线缆将信号适配箱前面板中 RS422-P1 和 BNC 面板中的 CH1 连接, 将信号适配箱前面板中 RS422-N1 和 BNC 面板中的 CH2 连接, 这一组接线对应的是 RS422 总线监控界面中的通道 0。同理, CAN 总线和 1553B 总线根据接口定义设计对接电缆, 串入联试系统使用。

2) 在硬件设置界面配置诊断单元的相关参数, 参数配置界面包括两部分配置参数, 包括总线通信参数配置和总线诊断电气层标准阈值配置。RS422 总线通信的参数包括: 波特率、停止位、校验位、数据位。CAN 总线通信的参数为波特率。

3) 配置参数保存和加载, 在该界面中配置的参数可以以文件的形式保存, 同时也支持对配置文件的加载。

4) 回放数据显示曲线。故障注入和诊断单元支持对 1553B、CAN 和 RS422 总线进行诊断, 对这 3 种总线进行诊断时, 系统采用分时复用的方式, 每次只支持对一种总线的诊断。

对 1553B 总线进行诊断时, 需要将 1553B 网络中的 A、B 总线分别通过信号适配箱中的 1553B-A-IN 和 1553B-B-IN 接入, 并且通过 BNC 线缆将信号适配箱前面板中 1553B-A-P 和 BNC 面板中的 CH1 连接, 将信号适配箱前面板中 1553B-A-N 和 BNC 面板中的 CH2 连接, 将信号适配箱前面板中 1553B-B-P 和 BNC 面板中的 CH3 连接, 将信号适配箱前面板中 1553B-B-N 和 BNC 面板中的 CH4 连接。

点击子菜单下的“1553B 总线”标签, 进入到 1553B 总线监控界面, 如图 13 所示。

1553B 总线监控和诊断支持对 1553B 总线的电气层和协议层的监控和诊断, 电气层支持对波形的触发监控和电气层参数的解析, 协议层的监控支持对消息的监控和解析, 以及波形和消息的存储和回放。

1553B 总线监控界面分为 3 个区域, “波形触发配置”区域、“电气层监控诊断”区域、和“数据监控”区域, 其中“数据监控”区域有 2 个子标签, 分别为波形监控和数



图 13 1553B 总线诊断

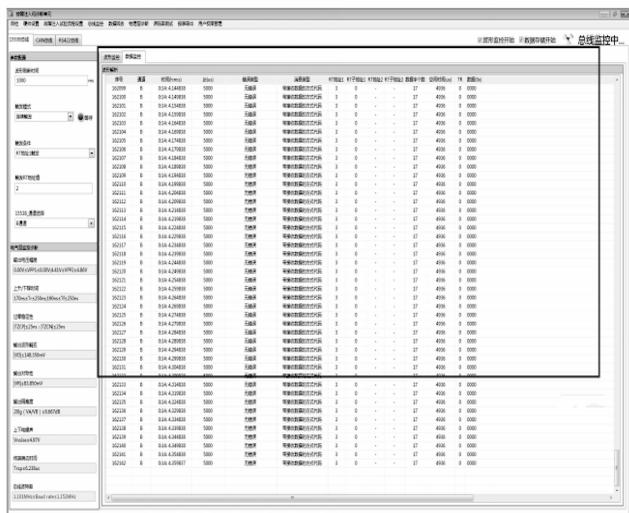


图 14 1553B 数据监控

据监控。

“电气层监控诊断”区域用来实时显示总线通道接收到的电气层指标的最大值或最小值。包括的项目有输出电压幅度、上升/下降时间、过零稳定性、输出波形畸变、输出对称性、输出隔离度、上下电噪声、终端响应时间和总线波特率。

根据《GJB5186》中对 1553B 总线电气特性参数阈值范围的规定, 1553B 总线电气特性参数阈值设置如下, 监控电压幅度范围: 4.41~4.86 V; 上升时间: 170~250 ns; 下降时间: 190~250 ns; 过零稳定性: $|TZCP| \leq 25$ ns, $|TZCN| \leq 25$ ns; 输出波形畸变 $|VD| \leq 148.350$ mV; 输出对称性 $|VR| \leq 83.85$ mv; 输出隔离度 $20lg(VA/VB) \geq 9.667$ dB; 上下电噪声 ≤ 4.97 V; 终端响应时间 $\leq 6.238 \mu m$; 总线波特率: 1.101~1.152 MHz。

对实现的效果分析: 结合实际被测件、接口转接线缆的长度, 进行设置 1553B 总线电气特性参数阈值范围, 超出阈值范围的波特率红色预警, 根据本次试验结果 1553B 总线信号的波特率超标, 应修改制导控制部件, 应按照 1553B 规范规定的波特率范围发送消息。

“数据监控”区域是以列表的形式对接收的消息进行解析并实时显示, 如图 14 所示。

数据监控界面中每一行显示一条消息报文, 显示的信息有序号、通道、消息时间、消息间隔时间、错误类型、消息类型、RT 地址 1、RT 子地址 1、RT 地址 2 (若没有则显示“—”)、RT 子地址 2 (若没有则显示“—”)、数据字个数、空闲时间、TR 位和数据。本次试验 1553B 总线消息报文正常。

总线监测系统的设计方案效果可以满足试验室对导弹功能和性能的自动测试要求, 完成了 RS422、1553B 等总线的实时采集、存储、实现数据的电气参数解析、显示、诊断、回放。该系统应用在弹箭总线通讯测试领域, 目前应用在舰炮末制导炮弹、超轻型空地导弹、红外防空项目中, 多种总线自动诊断系统实时监控总线通讯试验结果如图 15 所示。

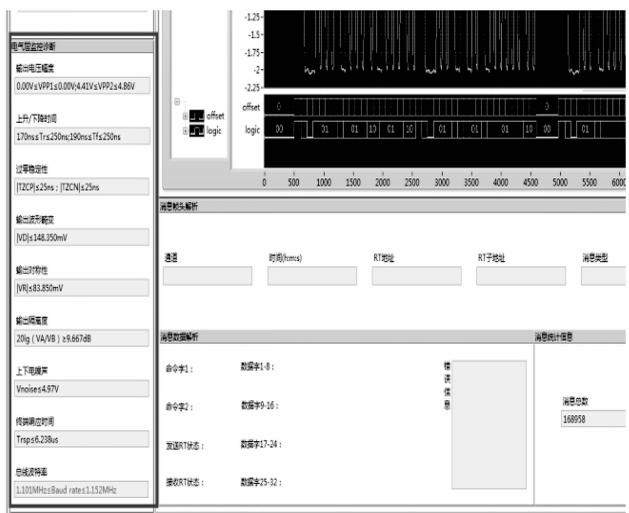


图 15 1553B 电气层监控诊断结果

4 结束语

弹上总线通讯故障是影响弹箭命中目标的主要因素, 总线通讯电气层和协议的诊断分析缺乏自动测试评价的手段, 研究诊断系统自动实时测试、显示弹上总线多种总线的差分电压、共模电压、显性电压、隐性电压、波特率等主要电气特性参数, 全面的对总线进行评价, 提高故障定位和分析的能力, 实践证明总线诊断分析系统所提方法的有效性。

参考文献:

[1] 林智伟, 蒋东方, 牛鹏宇. 基于 FPGA 与 ARM 单片机的 CAN 总线分析仪设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (9): 2308 - 2311.

(下转第 37 页)