

张宏群^{1,2,3} 陈樯¹ 桑峰⁴ 班勇苗¹ 汪少林⁴

基于 LabVIEW 的 HDLC 协议收发器设计

摘要

HDLC 协议以其优异的性能在可靠性需求较高的场合得到了广泛应用.针对航天某领域的协议测试评估需求,解决传统协议测试设备程序复杂、开发周期长的问题.为了满足系统快速集成、协议参数灵活配置的总体要求,提出了一种基于 LabVIEW 软件构建 HDLC 协议收发器的方案,完成了 HDLC 核心收发模块设计,并以此为基础组成一套完整的测试系统.对 HDLC 协议处理及接收、发送程序设计进行了说明,着重介绍了收发器中核心循环校验码(CRC)校验模块及比特插入删除模块的实现方法,同时对收发器的主要功能模块进行了仿真和测试.使用 LabVIEW 设计的 HDLC 收发器轻量高效、运行灵活,可应用于 HDLC 协议设备的测试和协议性能分析等场合,提高数据通信系统的扩展性、实时性和稳定性.

关键词

高层数据链路控制(HDLC);收发器;LabVIEW 协议;CRC 校验

中图分类号 TN915.4

文献标志码 A

收稿日期 2021-03-15

资助项目 江苏省重点研发计划(BE2018719);南京信息工程大学无锡校区研究生创新实践项目(WXCX202002)

作者简介

张宏群,女,硕士,副教授,主要研究方向为信号与信息处理.835274814@qq.com

陈樯(通信作者),女,硕士生,主要研究数据通信网络.qqldchenlei@hotmail.com

1 南京信息工程大学 电子信息工程学院,南京,210044

2 南京信息工程大学 大气环境与装备技术协同创新中心,南京,210044

3 无锡学院 电子信息与工程学院,无锡,214105

4 上海卫星工程研究所,上海,201109

0 引言

高层数据链路控制(High-level Data Link Control, HDLC)协议是由国际标准化组织制定的面向位的高级数据链控制规程,具有较强的差错检测、高效和同步传输的优点^[1].HDLC 协议采用首尾界符法进行帧同步,并使用比特填充技术来解决帧中数据和帧同步码重复的问题.这种同步方式通用性强、收发实现简单,具有很高的可靠性,适合于对可靠性要求很高的场合.国内已经对其在机载嵌入式计算机、军用指挥控制系统等方面的应用进行了研究^[2-3].

一般设备上,HDLC 协议的实现可以考虑采用标准的协议芯片,如 MT8952B、MC92460 等;对于使用条件苛刻的场合,可以采用高等级的 FPGA 来实现^[4].为了便于对运行 HDLC 协议的设备测试,需要开发 HDLC 协议收发器.由于 HDLC 协议子标准较多,协议收发器应能适应不同设备的测试需求,配置相应的 HDLC 协议数据.因此 HDLC 协议收发器应具有便捷、通用、低成本的特点.

LabVIEW 是由美国 NI 公司推出的编程软件,具有友好的用户界面、强大的数据处理功能及广泛的对外接口.本文提供了一种基于 LabVIEW 的 HDLC 协议收发器的设计方案,并对该开发系统进行了测试.

1 HDLC 协议介绍

HDLC 采用如图 1 所示帧结构传输数据.HDLC 协议每帧的帧头、帧尾均有一个标识码(F),中间包含地址段(A)、控制段(C)、信息段(Info)、CRC 校验(FCS).

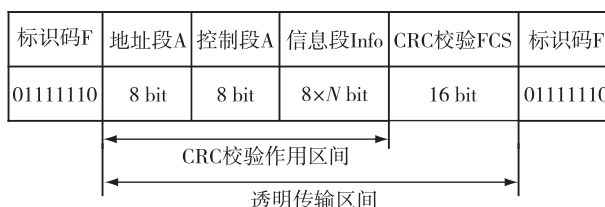


图 1 HDLC 的帧结构示意图

Fig. 1 HDLC frame structure diagram

HDLC 是面向比特型的协议,它比面向字符协议(如 IBM 提出的

BSC 协议,及目前卫星广泛使用的 CCSDS 协议等)具有更大的灵活性和更高的效率^[5].其中,标识码(F)帧头、帧尾相同,均为二进制码“01111110”(对应于十六进制 0x7E),地址段(A)、控制段(C)为 8 bit,信息段(Info)必须为 8 bit 的整数倍;采用 CRC 算法对数据进行校验,校验区间包括段(A)、控制段(C)和信息段(Info)^[6].为了防止数据被误判断为标识码(F),协议采用比特填充(Bit Stuffing)方法来解决.具体做法是,在发送时,当除了标识码(F)之外的比特流中连续出现 5 个“1”码时,在第 5 个“1”码后自动插入一个“0”码;在接收时,当除了标识码(F)外的比特流中连续出现 5 个“1”码时,自动剔除第 5 个“1”码后面的“0”码^[7].

HDLC 协议对地址段(A)、控制段(C)的选择均有详细规定.本文主要考虑 HDLC 协议的格式实现,对地址段和控制段不做特别要求,设计程序时,此两段可以自行定义.

2 HDLC 收发器的程序设计

2.1 数据传输方式

HDLC 收发器运行于 PC 机上,采用 UDP 协议(用户数据报协议)对外通信.UDP 是运行于运输层的协议,而 HDLC 协议是运行于数据链路层上的,其层次级别比 UDP 协议要低.但是本文的目的是使用 LabVIEW 设计 HDLC 收发器,数据传输只是验证协议收发正确性,传输方式不是本文主要解决和研究的内容.为了便于本地闭环自测试,本文采用 UDP 协议来建立数据传输链路,设本地及远程 IP 地址为 10.126.14.14,发送端口使用 7788,接收端口使用 7799.

2.2 核心程序单元设计

2.2.1 CRC 校验单元

CRC 码是循环码中的一种,设其长度为 $n-k$ (信息码长度为 k ,编码后总长度为 n),它能够检测出如下错误^[7]:

- 1) 长度 $\leq n-k$ 的突发错误(突发错误是一个错误序列,首尾均为 1,错误序列长度定义为包括首尾 1 在内的错误所波及的段落长度);
- 2) 大部分长度 $= n-k+1$ 的突发错误(漏检概率为 $2^{-(n-k-1)}$);
- 3) 大部分长度 $> n-k+1$ 的突发错误(漏检概率为 $2^{-(n-k)}$);
- 4) 所有奇数个随机错误;

5) 所有错误个数 $\leq d_{\min} - 1$ 个错误(d_{\min} 为许用码组的码距).

目前,常用的 CRC 码标准^[8]有 4 种: CRC-12, CRC-16, CRC-CCITT, CRC-32,其生成多项式分别为

$$\text{CRC-12: } x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1;$$

$$\text{CRC-16: } x^{16} + x^{15} + x^2 + 1;$$

$$\text{CRC-CCITT: } x^{16} + x^{12} + x^5 + 1;$$

$$\text{CRC-32: } x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1.$$

根据多项式理论,设 CRC 码的生成多项式为 $g(x)$ 、信息码元为 $M(x)$ 、生成的校验码多项式为 $r(x)$,则满足如下关系($n-k$ 为校验码长):

$$M(x)g(x) = x^{n-k}M(x) + r(x). \quad (1)$$

使用 LabVIEW 产生 CRC 校验的算法基于式(1),以 CRC-CCITT 为例,其生成多项式为 $g(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$,根据式(1),设计求解信息码元 $M(x)$ 的 CRC 校验码的过程如下:

1) 将 $M(x)$ 右移动 $r=16$ 位,得到 $x^{16}M(x)$ (设其为 $N(x)$),也即在信息码元后面添加 16 个 0.

2) $N(x)$ 对 $g(x)$ 取余式,采用按位异或来实现除,具体做法为

a) 将 $N(x)$ 与 $g(x)$ 高位对齐,若 $N(x)$ 最高位为 0,则删除最高位后替换 $N(x)$,直到 $N(x)$ 高位为 1;

b) 将 $N(x)$ 高 2~17 位与 $g'(x) = x^{12} + x^5 + 1$ 按位异或(由于此时 $N(x)$ 最高位已经为 1,而 $g(x)$ 高位也为异或值必然为 0,因此可使用 $g'(x)$ 异或),异或值添加到 $N(x)$ 剩余位的前面,得到 $N_1(x)$,以 $N_1(x)$ 取代 $N(x)$;

c) 重复 a) 和 b),直到 $N(x)$ 次数小于 16.

3) 此时的 $N(x)$ 即为 $M(x)$ 的 CRC-CCITT 校验码.

4) 将 $M(x)$ 和其生成的 CRC-CCITT 校验码拼接,即为所需的码组.

使用 LabVIEW 设计的 CRC 校验产生的图形化流程和图形化程序分别如图 2 和图 3 所示.

2.2.2 比特填充单元

HDLC 协议采用比特填充方法来解决帧中数据和标识码(F)重复的问题.在发送时,当除了标识码(F)外的比特流中连续出现 5 个“1”码时,在第 5 个“1”码后自动插入一个“0”码;在接收机,当除了标识码(F)外的比特流中连续出现 5 个“1”码时,自动剔除第 5 个“1”码后面的“0”码^[7].

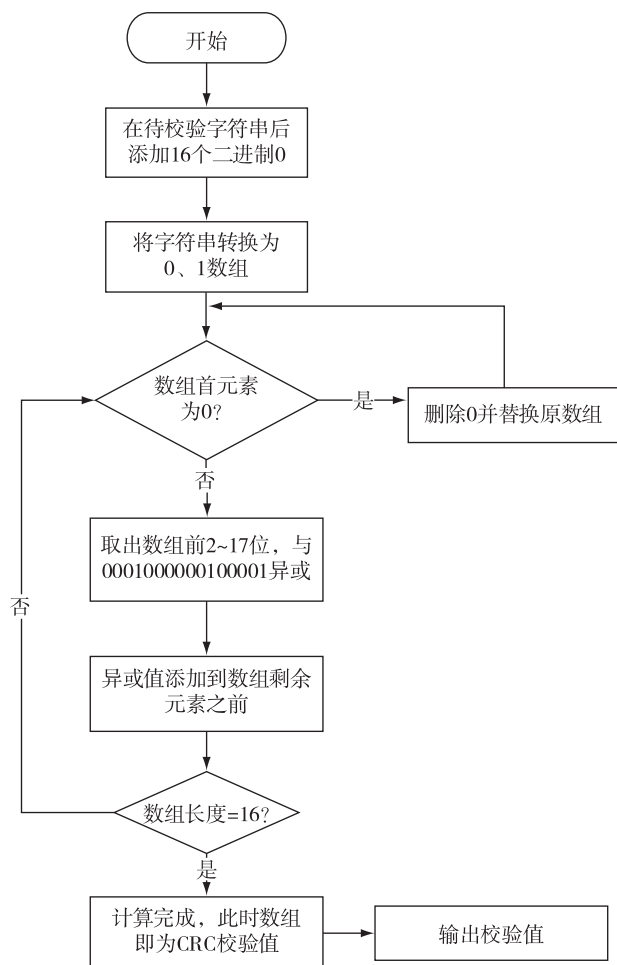


图2 使用 LabVIEW 产生 CRC-CCITT 校验程序流程

Fig. 2 Flow chart of CRC-CCITT verification generated by LabVIEW

LabVIEW 程序中处理字符和数据比较方便,而实现插“0”的处理涉及到对二进制的序列的操作,处理起来比较繁琐.本文设计了一个转换的方法,其具体流程如下.

1) 首先将输入的字符串转化为数组,数组的每个元素即为相应字符的 ASCII 码.

2) 将数组中的每个元素转换为布尔序列,并将

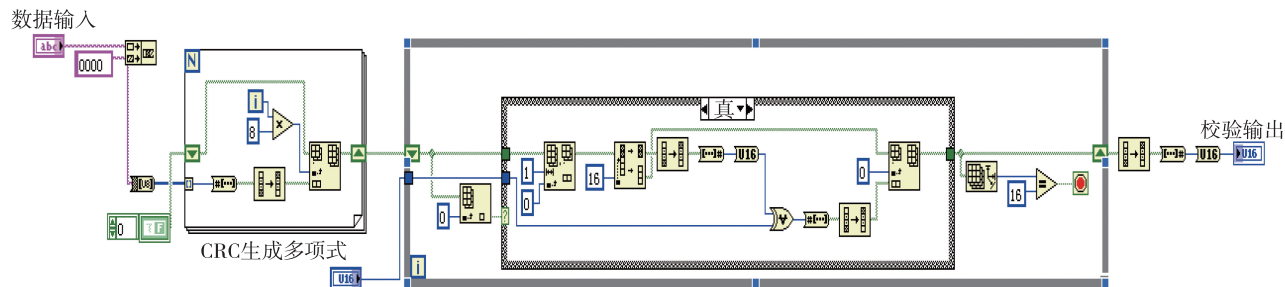


图3 使用 LabVIEW 产生 CRC 校验的图形化程序框图

Fig. 3 Graphical block diagram of CRC check generated by LabVIEW

布尔序列中的“真”替换为字符“1”,“假”替换为字符“0”,从而将字符串转换为“1”、“0”字符串序列.

3) 对于发送程序,利用 LabVIEW 的“搜索替换字符串”VI,搜索“1”、“0”字符串序列中的“11111”,并将其替换为“111110”.对于接收程序,搜索“1”、“0”字符串序列中的“111110”,并将其替换为“11111”.即实现了插“0”和删“0”的操作.

4) 由于插入“0”后,原先的“1”、“0”字符串序列长度有可能不再是 8 的整数倍,需要在序列后面添加若干“0”,将其调整为 8 的整数倍.

2.2.3 UDP 通信单元

UDP(用户数据报协议)为 TCP/IP 协议簇中传输层协议^[9-10],可以为应用程序发送和接收数据报.UDP 协议按照如图 4 的格式进行封装.

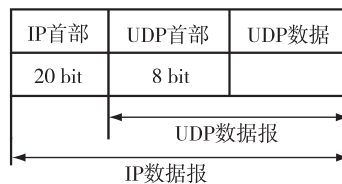


图4 UDP 协议的封装格式

Fig. 4 UDP protocol encapsulation format

使用 LabVIEW 设计的 UDP 发送、接收程序如图 5 所示.在进行 UDP 数据发送前首先打开一个 UDP 连接,配置发送 IP 地址和发送端口,然后通过“UDP 数据写入”VI 将数据写入远程接收端口,发送完成后关闭 UDP 连接.

在进行 UDP 数据接收时,首先配置接收数据的 IP 地址和端口,然后通过“UDP 数据读取”VI 将接收到的数据读出.

2.3 接收、发送程序设计

2.3.1 接收程序设计

HDLC 帧头、帧尾的标识码(F)均为字符 0x7E,且由于 HDLC 协议采用比特填充技术,在不出现误

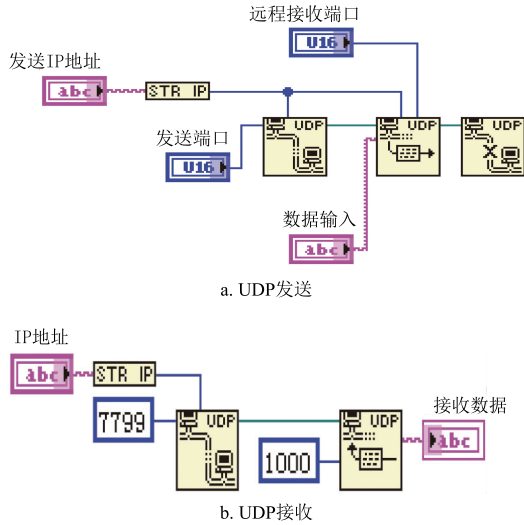


图 5 UDP 发送、接收程序框图
Fig. 5 Block diagrams of UDP sending (a) and receiving (b) program

码的情况下可以保证数据中不会出现 0x7E 字符.因此,HDLC 协议数据的接收以判断字符 0x7E 为开始,以判断下一个 0x7E 为结束.考虑到通信可能出现误码的情形,当标识码出现误码时能会导致报文的漏接收.因此,从可靠性的角度考虑,应考虑将每两个 0x7E 之间的报文接收,并对接收的报文数据进行校验.若校验正确,则认为其为合法的报文;若校验不正确,则认为报文出现误码.为了尽可能地恢复数据,对出现误码的程序仍进行解析.接收程序的流程如图 6 所示.

2. 3. 2 发送程序设计

在完成相关核心程序单元设计后,设计发送程序的设计流程如图 7 所示.程序首先将地址段(A)和控制段(C)的字符添加到待发送数据的头部,然后对整个待发送数据进行 CRC 校验计算,并将校验值添加到发送数据的尾部.根据 HDLC 协议的比特填充规则进行插“0”操作.完成上述操作后,首尾添加标识码(F),将数据发送出去.

3 实现结果

最终设计的 HDLC 协议的接收和发送程序如图 8 所示.配置地址段(A)为 0xAA,控制段(C)为 0x00,使用程序发送字符“上海卫星工程研究所”,原码为 0xC9CF BAA3 CEC0 D0C7 B9A4 B3CC D1D0 BEBF CBF9,添加了地址段和控制段后的原码为 0xAA00 C9CF BAA3 CEC0 D0C7 B9A4 B3CC D1D0 BEBF CBF9.使用 CRC-CCITT 校验码校验,校验多项

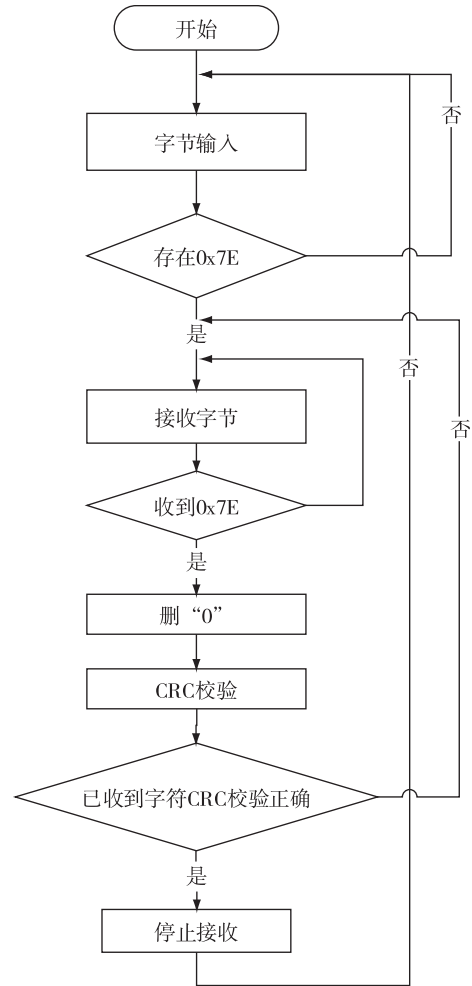


图 6 接收程序总体框图
Fig. 6 General block diagram of receiving program

式为 $g(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$,校验结果为 0x97FD,发送原码为 0xAA00 C9CF BAA3 CEC0 D0C7 B9A4 B3CC D1D0 BEBF CBF9 97FD,校验后的原码经过插“0”操作后为 0xAA00 C9CF 9D51 E760 6863 DCD2 59E6 68E8 5F2F B97D 997D E8,添加了标识码(F)后的原码为 0x7FAA 00C9 CF9D 51E7 6068 63DC D259 E668 E85F 2FB9 7D99 7DE8 7F,此即为最终发送的原码.

接收端接收到的原码为 0x7FAA 00C9 CF9D 51E7 6068 63DC D259 E668 E85F 2FB9 7D99 7DE8 7F,去除头尾的标识码 0x7F 后,进行删“0”的操作,得到原码为 0xAA00 C9CF BAA3 CEC0 D0C7 B9A4 B3CC D1D0 BEBF CBF9 97FD,对其进行 CRC 校验,提示 CRC 校验正确.程序最终恢复出地址段、控制端及发送字符信息.

在测试时,人为设置一个错误的 CRC 多项式 0x1022 取代原先的 0x1021 (CRC-CCITT) 进行发送.

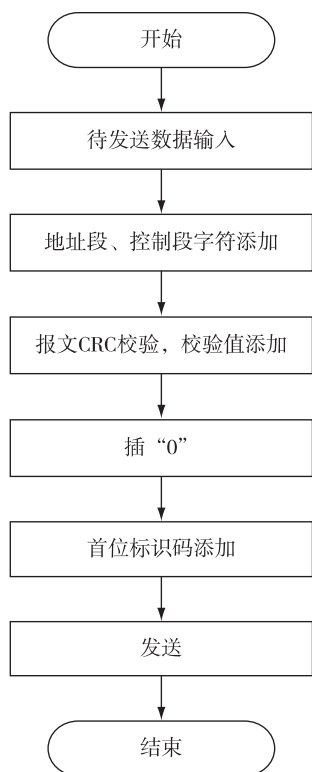


图7 发送程序总体框图

Fig. 7 General block diagram of sending program

接收程序识别出了CRC校验的错误,并给出提示.同时为了尽可能保证数据的接收,接收程序也进行了数据解析处理,如图9所示.

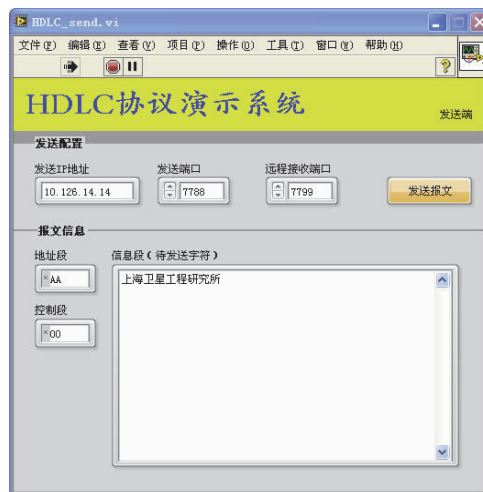
4 总结

HDLC协议具有通用性强、可靠性高的特点,在航空、军事等领域已经逐步开始应用.本文使用LabVIEW软件完成了HDLC收发的核心模块设计,并以此为基础设计了完整的收发器.该收发器可以灵活地运行于PC机上,且可以方便地进行各项参数的配置,可以用于HDLC协议设备的测试和协议性能分析,有利于工程研制中对于HDLC协议的设计和应用研究.

参考文献

References

- [1] 杨峰,秦兆涛.基于FPGA的USB-HDLC协议转换器的设计与实现[J].遥测遥控,2014,35(4):65-69
YANG Feng, QIN Zhaotao. Design and implementation of USB-HDLC protocol converter based on FPGA [J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2014, 35(4):65-69
- [2] 张凡,王小力.基于形式验证的HDLC协议验证[J].中国新通信,2017,19(19):22



a. 发送端



b. 接收端

图8 HDLC协议演示程序界面

Fig. 8 HDLC protocol demo program interface of sending (a) and receiving(b)

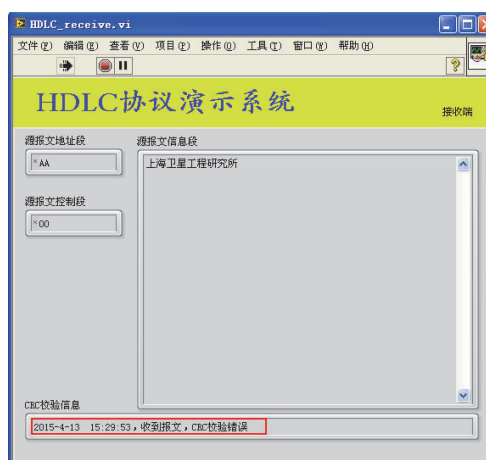


图9 CRC校验错误时的处理

Fig. 9 CRC handling check errors

- ZHANG Fan, WANG Xiaoli. Authentication of HDLC protocol based on formal validation [J]. China New Telecommunications, 2017, 19(19): 22
- [3] 陈曦原. 信道编码技术在卫星通信中的重要应用研究 [J]. 数字通信世界, 2019(2): 172, 175
- CHEN Xiyuan. Research on important application of channel coding technology in satellite communication [J]. Digital Communication World, 2019(2): 172, 175
- [4] 张晖, 高萍萍. 基于 LabVIEW 的串行通信接口设计 [J]. 通信电源技术, 2020, 37(4): 92-93, 102
- ZHANG Hui, GAO Pingping. Design of serial communication interface based on LabVIEW [J]. Telecom Power Technology, 2020, 37(4): 92-93, 102
- [5] 桑峰, 张宏伟, 张坤. 基于 LabVIEW 的帧同步码性能分析 [J]. 无线电通信技术, 2017, 43(1): 81-84
- SANG Feng, ZHANG Hongwei, ZHANG Kun. Performance analysis of frame synchronization codes using LabVIEW [J]. Radio Communications Technology, 2017, 43(1): 81-84
- [6] 张修建, 梁伟伟, 王兵, 等. 基于 HDLC 协议的图像实时压缩传输技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(2): 203-206
- ZHANG Xiujian, LIANG Weiwei, WANG Bing, et al. Research on image real-time compression and transmission technology based on HDLC protocol [J]. Computer Measurement & Control, 2018, 26(2): 203-206
- [7] 黄致绮. 基于 FPGA 平台的 HDLC 协议的应用与研究 [J]. 中国新通信, 2017, 19(1): 98
- HUANG Zhiqi. Application and research of HDLC protocol based on FPGA platform [J]. China New Telecommunications, 2017, 19(1): 98
- [8] 周进松, 李正宇, 吴小麟. 基于 HDLC 协议的通信通道设计 [J]. 通信技术, 2016, 49(3): 368-373
- ZHOU Jinsong, LI Zhengyu, WU Xiaomeng. Communication channel based on HDLC protocol [J]. Communications Technology, 2016, 49(3): 368-373
- [9] 戴跃伟, 刘光杰, 曹鹏程, 等. 无线隐蔽通信研究综述 [J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2020, 12(1): 45-56
- DAI Yuewei, LIU Guangjie, CAO Pengcheng, et al. A survey of wireless covert communications [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition), 2020, 12(1): 45-56
- [10] 邓昌晟, 刘昱, 李海洋, 等. ETC 系统中 HDLC 协议解码控制器的 Verilog HDL 实现 [J]. 微型机与应用, 2017, 36(19): 30-33
- DENG Changsheng, LIU Yu, LI Haiyang, et al. Verilog HDL implementation of HDLC protocol decoding controller in ETC system [J]. Microcomputer & Its Applications, 2017, 36(19): 30-33

LabVIEW-based HDLC protocol transceiver

ZHANG Hongqun^{1,2,3} CHEN Lei¹ SANG Feng⁴ BAN Yongmiao¹ WANG Shaolin⁴

1 School of Electronics & Information Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Collaborative Innovation Center of Atmospheric Environment and Equipment Technology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

3 School of Electronics & Information Engineering, Wuxi University, Wuxi 214105

4 Shanghai Institute of Satellite Engineering, Shanghai 201109

Abstract Traditional protocols are perplexed by complex testing equipment and long development cycle, thus are not appropriate for protocol testing and evaluation in a certain field of aerospace. The HDLC protocol has been widely used in applications demanding of high reliability because of its excellent performance. Here, we propose a scheme to build HDLC protocol transceiver based on LabVIEW software, with the aim of rapid system integration and flexible configuration of protocol parameters. The HDLC core transceiver module is designed, on which a complete test system is formed. This paper introduces the HDLC protocol processing as well as the program design of receiving and sending, and elaborates the realization of the Cyclic Redundancy Check (CRC) module and the bit insert & delete module in the transceiver. Meanwhile, the main function modules of the transceiver are simulated and tested. The results show that the proposed HDLC transceiver is light in weight, efficient and flexible in operation. It can be applied to scenarios such as the testing of HDLC protocol equipment and protocol performance analysis to improve the data communication system in scalability, real-time performance and stability.

Key words high-level data link control (HDLC); transceiver; LabVIEW; cyclic redundancy check (CRC)