

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2005512

基于 CR600 的海洋多参量传感数据长线传输设计*

王旋 郑永秋 崔娟 张浩凌

(中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室 太原 030051)

摘要: 针对海洋传感器数据在水下、长距离传输困难的问题,提出了一种 PLC 长线传输电路系统。该系统采用电力线通信(PLC)技术,以 CR600 为控制核心,CR150 为模拟前端配合芯片控制数据收发。通过脐带缆将数据回传到地面,再由地面控制系统与上位机对数据进行接收,实现海洋传感器数据的传输。为保证电路系统在水下 1 000 m 正常工作,设计了耐压仓,根据理论计算与 COMSOL 仿真,确定了耐压仓具体参数。经验证,该系统工作稳定,长时间传输数据接收完整,能够实现海洋传感器数据的长线传输。

关键词: 电力线通信(PLC);CR600;长线传输;正交频分复用技术(OFDM);COMSOL

中图分类号: TN79;TN913 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

Long-line transmission design of ocean multi-parameter sensor data based on CR600

Wang Xuan Zheng Yongqiu Cui Juan Zhang Haoling

(Key Laboratory of Instrumental Science and Dynamic Testing, Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: To solve the problem of underwater and long-distance transmission of ocean sensor data, a PLC long-line transmission circuit system is proposed. The system adopts power line communication (PLC) technology, CR600 as the control core, CR150 as the analog front end with chip control data receiving and sending. The data is transmitted back to the ground through the umbilical cord, and then the data is received by the ground control system and the upper computer, realize the ocean sensor data transmission. In order to ensure the normal operation of the circuit system in 1 000 m underwater, the pressure chamber is designed. According to the theoretical calculation and COMSOL simulation, the specific parameters of the pressure chamber are determined. It has been verified that the system works stably, the long-term data transmission is complete, and it can realize the long-term transmission of marine sensor data.

Keywords: power line communication (PLC); CR600; long line transmission; orthogonal frequency division multiplexing(OFDM); COMSOL

0 引 言

海洋中蕴藏着丰富的资源,探索海洋的工作迫不及待^[1]。目前国内外海洋数据的传输方式主要包括光纤传输、卫星通信等,这些传输方式各有优缺点,光纤传输速率快,传输容量大,但是光纤脆弱,在恶劣的海洋环境中容易造成断裂且成本比较高;卫星通信深海数据的实时传输技术虽然已经实现,也是目前海洋数据传输的主要方式,但是其成本昂贵,还没达到普遍使用的标准,所以在本系统中也不适用。领域内一般的传输方式包括 LVDS、RS422、

RS232、网线传输等有线传输方式,这些传输方式传输数据稳定,技术比较成熟,但是其不能满足 1 000 m 的实际传输需求^[2-3];基于节点-链路评估模型的移动物联网数据传输稳定算法的研究能够解决数据传输质量不高,网络传输带宽较低的问题,但是网络传输传输距离较短,不能满足实际需求^[4];类似的钻井技术布线更加复杂,虽然这类数据传输突破 10 km 的传输距离,但技术突破主要是靠借助水声通信技术的钻杆声波进行数据传输,本系统不适用^[5]。LVDS 长线传输技术成熟,误码率低,但传输距离较短,无法达到 1 000 m 传输距离的要求^[6-7]。基于上述状况,最终

收稿日期:2020-12-10

* 基金项目:国家自然科学基金项目(61727806,61704160)、山西省青年科技研究基金面上项目(201801D221214)、中北大学青年学术带头人支持计划(QX201804)资助

• 126 •

选用目前较为成熟的电力线载波通信技术(PLC),设计了一种基于CR600的海洋数据长线传输方案。

本文的传输线为脐带缆,脐带缆相对光纤电缆成本低、抗拉能力强,在恶劣环境中能稳定工作。传输电路与地面控制系统通过1 000 m脐带缆进行数据的实时传输。同时脐带缆在母弹回收的过程中充当拉力绳,保证母弹机械结构的顺利回收。

1 长线传输的硬件系统电路结构

长线传输的硬件系统电路结构如图1所示,该系统由主

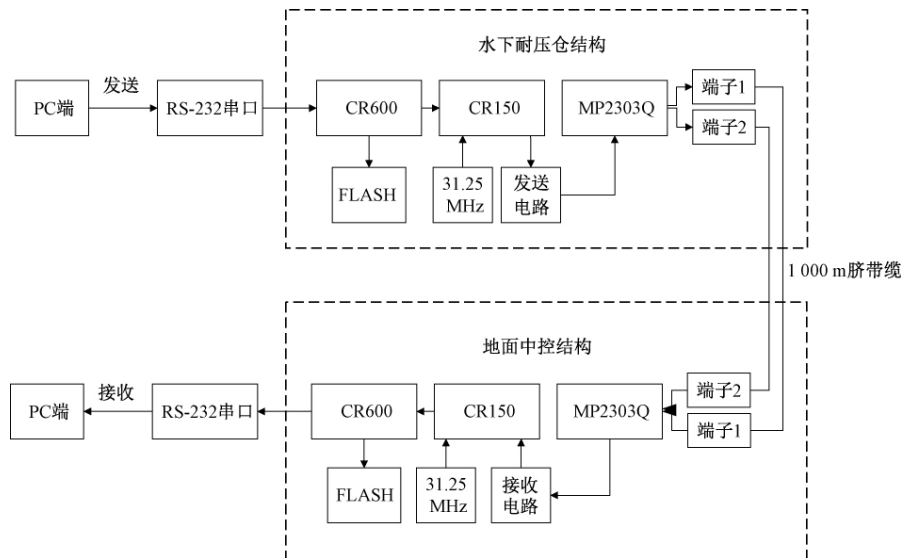


图1 长线传输实验装置

1.1 CR600 集成处理模块

本文中,运用的主控芯片为CR600,CR600是一款带有宽带PLC(电力载波通信)高性能的单片机^[7]。在本文中设计了标准的接线端口,为实际的应用提供标准化的接口定义,使其应用范围更广。

本文采用CR600主要是因为芯片自带正交频分复用技术(OFDM)^[8],OFDM理论技术采用特殊的多载波传输方案,对信道干扰有良好的对抗作用^[9]。OFDM技术的主要原理是利用多个子载波进行传输,将数据调制成多路信息进行并行数据传输,每个子信道上都能够得到一个数据流的转换,各个子信道之间采用相互正交的方式,将整体载波信号的传输性能提高^[10]。这种技术为PLC的传输提供了强有力的技术支撑,数据传输在调制解调的过程中得到了保证,传输率大大提高,这也是该设计传输数据的优势所在。

1.2 模拟前端模块

CR150是本文中的另一个主要芯片,作为模拟前端芯片的CR150,与主控芯片CR600通过接口AFE interface进行连接,PLC_DAT[9:0]是并行数据接口,PLC_PGA[5:0]是可编程功率的数据增益接口^[11],时钟信号为PLC_

控芯片CR600、模拟前端芯片CR150、FLASH芯片GD25Q16CSIG等组成,为验证电路设计的可靠性,设计了在实验室环境下的模拟数据收发实验。整个实验系统中,信号由PC端通过RS-232接口传入,经过CR600传输给CR150,CR150模块经过调制、滤波,将信号传输给变压器MP2303Q,信号经过接线端子在线缆上进行传输。在信号接收端是相同的模块,线缆接在信号端子上,通过信号端子传输给变压器MP2303Q,再通过CR150模块进行信号的解调与滤波,传输到CR600,经过CR600外接的RS-232接口,在PC端的串口上将传输信息进行显示,从而实现整个系统中信号的传输。

CLK,接收和发送使能信号是PLC_RX_EN、PLC_TX_EN,另外CR600采用SPI的方式编程,CR150的内部寄存器引脚主要包括PLC_SPIM_CLK、PLC_SPIM_CS、PLC_SPIM_DAT 3个引脚。CR600与CR150具体的电气连接方式如图2所示。

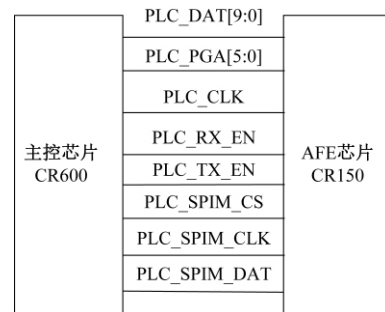


图2 CR600与CR150的电气连接

除了模拟前端芯片CR150,在模拟前端模块中,还包括收发耦合电路。当发送数据的时候,CR150在时钟上升沿进行数据的接收,10位并行数据通过ADIO[4:0]/RX[4:0]和ADIO[9:5]/TX[4:0]进行每次5位的传输,在

RXSYNC 低电平的时候接收高字节数据,高电平时接收低字节数据^[12]。

PLC 传输电路分为发送与接收两个部分,采用同一块电路板可以同时实现数据的发送与接收,数据发送、数据接收电路中,采用的滤波设计有效的减少了电路中的噪声,降低了数据传输误码率,提高数据传输的可靠性^[13]。在数据发送端和接收端,采用高频耦合电容和耦合变压器 MP2303Q 组成高通滤波器^[14],如图 3 所示,该设计有效降低工频干扰进而提高数据的可靠性。

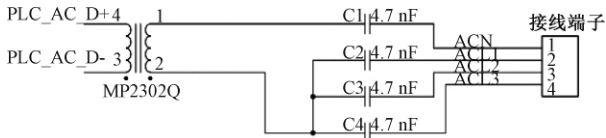


图 3 高通滤波电路

1.3 复位电路与晶振电路

复位电路采用 MAX811TEUS-T 芯片,复位电路的主要作用是在上电或者复位的过程中,控制 CPU 的复位状态^[15],在这一段时间内,保持 CPU 的复位状态,防止电路系统一上电就工作完毕,导致 CPU 发出错误的指令,这一设计也能提高电磁兼容的性能。复位电路如图 4 所示。

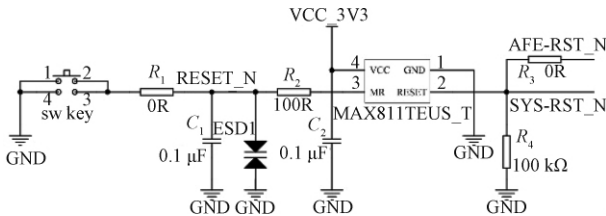


图 4 复位系统电路

在该复位电路中,复位引脚应为高电平,才可以保证程序下载,如果此处为低电平,对程序的下载产生影响。

晶振的主要作用是为用户提供基本的时钟信号。通常一个系统共用一个晶振,便于各部分保持同步^[16]。在该系统中,晶振采用 31.25 MHz,晶振首先为 CR150 提供晶振,进而 CR150 再为 CR600 提供晶振,这样保证了系统时钟的同步性。图 5、6 所示为晶振走向示意图和晶振电路。



图 5 晶振走向

2 长线传输控制逻辑设计

基于 IAR 的开发环境,利用 C 语言进行逻辑设计。CR600 内部模块主要包括 SPI 模块、UART 模块、通用 IO 口模块、PLC 模块等,本设计中这些模块均有涉及。SPI 模块连接外设 FLASH,负责存储数据;UART 模块负责将接收发送数据;PLC 模块负责将数据通过长线进行传输。

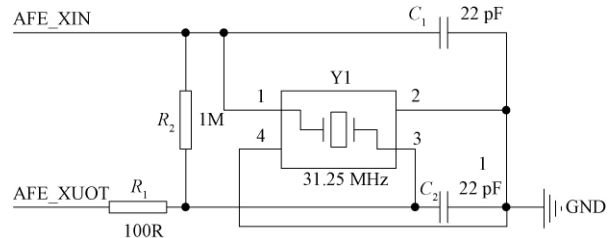


图 6 晶振电路原理

在数据传输中,运用到串口协议,协议帧是通过一帧一帧进行传输的,在串口数据接收数据的过程中,时间超过 5 ms,认为串口完成一帧数据的接收^[17]。

协议包括 4 个部分,分别是目的地址 (DES)、源地址 (SRC)、数据 (DATA) 和校验 (CRC16)。DES 为 1 Byte,偏移为 0,当 DES 的值为 0 的时候,代表广播地址,表示帧目的地址;SRC 为 1 Byte,偏移为 1,值不可以为 0,表示帧的发送方地址,每一个发送方都有唯一的地址;DATA 为帧携带的数据;CRC16 为帧数的 CRC16 检验,检验数据包括 DES、SRC 和 DATA;其中数据低 8 位在前,高 8 位在后。帧结构格式如图 7 所示。

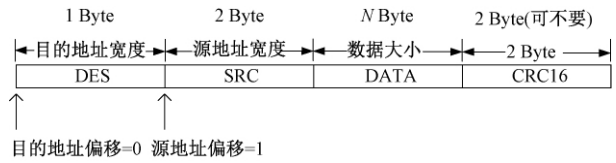


图 7 帧结构格式

CR600 单片机的程序流程如图 8 所示。

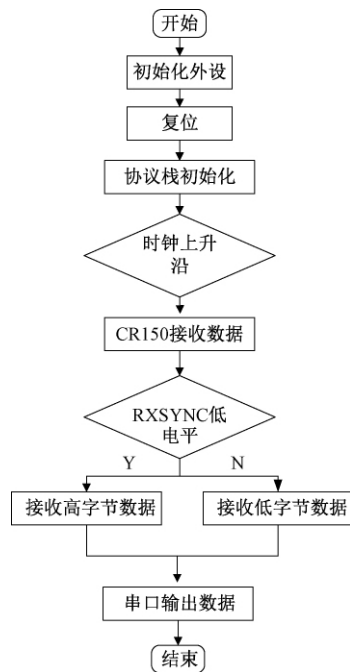


图 8 CR600 单片机程序流程

在系统上电之后,首先初始化外设,再对协议栈进行初始化,协议栈初始化之后需要判断是否为时钟上升沿,如果是时钟上升沿,则CR150开始接收数据,CR150开始接收数据之后,判断RXSYNC的电平高低,如果是低电平,接收高字节数据,反之接收低电平数据,最后通过串口将数据输出。从而完成整个数据的传输。

3 电路耐压仓仿真

电路耐压仓的设计采用不锈钢的材料进行制作,不锈钢管承压计算公式如下:

$$P = \frac{2RS}{D} \quad (1)$$

式中: P 为试验压力,MPa; R 为材料抗拉强度的40%; S 为钢管的公称壁厚,mm; D 为钢管的公称外径,mm。其中不锈钢304材料的其抗拉强度为520 MPa,耐压仓要求耐压深度为海底1 000 m,压力位10 MPa。钢管的公称外径为50 mm,通过计算得到钢管的公称壁厚为1.2 mm。为保证耐压仓在装配时有足够空间,最终将耐压仓的壁厚设置为3 mm,耐压仓总长设计的300 mm。此次仿真所用的材料为不锈钢304,材料属性具体参数如表1所示。

表1 SUS304 材料属性

| 属性 | 变量 | 表达式 | 单位 |
|------|--------|---------|-------------------|
| 杨氏模量 | E | 194 020 | MPa |
| 泊松比 | ν | 0.3 | 1 |
| 密度 | ρ | 7 930 | kg/m ³ |

通过初步仿真,发现最大形变的位置在耐压仓两端,最大形变值为0.25 mm,耐压仓侧面的形变几乎为0,出于这种情况的考虑将耐压仓两端的厚度增加,进行仿真,形变结果如表2所示。

表2 耐压仓两端不同厚度的形变

| 底厚/mm | 形变/mm |
|-------|-------|
| 3 | 0.25 |
| 4 | 0.14 |
| 5 | 0.09 |
| 6 | 0.06 |
| 7 | 0.05 |
| 8 | 0.04 |
| 9 | 0.035 |
| 10 | 0.03 |

图9所示为仿真数据的简单处理,随着耐压仓两端壁厚的增加,最大形变量越来越小,耐压程度越来越大。为进一步验证耐压可靠性,进行应力仿真,结果如图10所示。

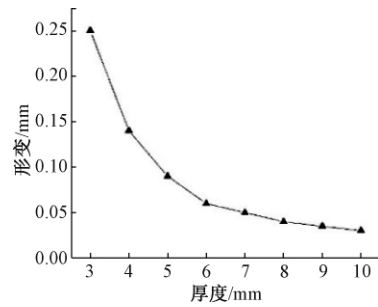


图9 耐压仓两端壁厚与形变关系

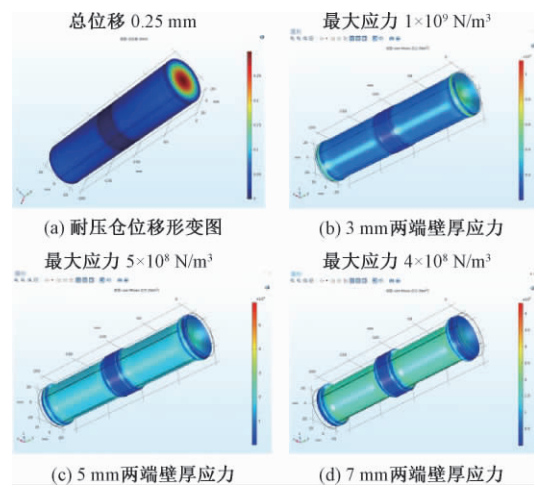


图10 耐压仓仿真

观其应力变化,具体数值如表3所示,结果显示耐压仓两端壁厚为5 mm的时候,两端所受最大应力为200 MPa,远小于材料的抗拉强度,结果可靠。综合考虑最终选用耐压参壁厚为3 mm,两端为5 mm。

表3 耐压仓两端不同厚度的最大应力

| 耐压仓两端厚度/mm | 最大应力/MPa |
|------------|----------|
| 3 | 600 |
| 5 | 200 |
| 7 | 200 |

4 实验与验证

本文完成最小系统的设计,实物如图11所示,图11(a)为系统的正面,包括RS-232接口、下载口、电源模块、复位模块以及FLASH模块等。图11(b)为系统的背面,包括模拟前端模块,和数据的收发电路。

在实验室中进行模拟数据的收发实验,采用1 000 m的线缆进行传输,传输结果如下图所示,传输的波特率为9 600 bit/s,对采集的CTD数据进行传输,并制作了一个简单的上位机对传输的数据进行接收,上位机界面如图12所示。

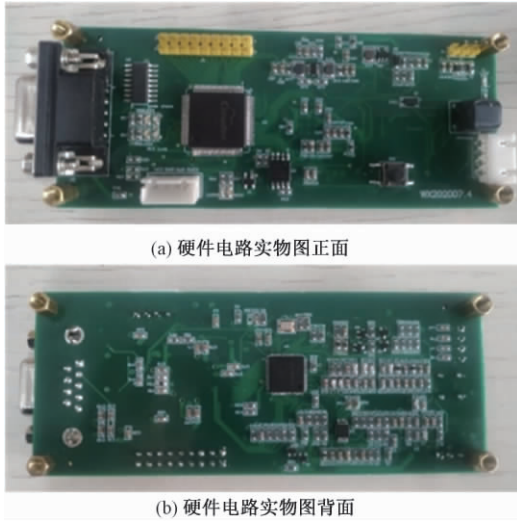


图 11 系统硬件电路实物

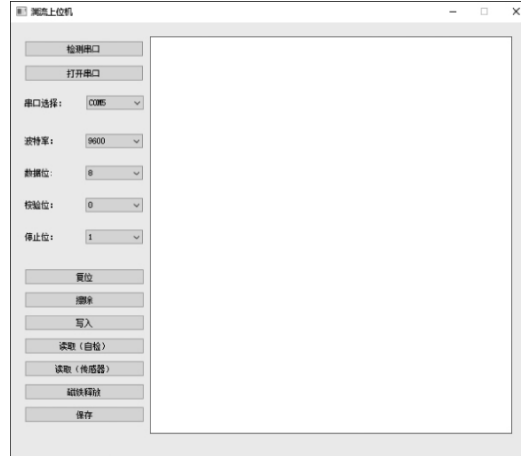


图 12 上位机接收数据界面

通过上位机对数据进行保存,得到的部分数据如图 13 所示。

图 13 中每组数据后的 0D 0A 表示一组数据接收完成,这样对后期数据的处理比较方便。图 14 所示为地面上上位机接收到的部分数据处理图形,分别为温度、深度、盐度和电导率等,经过分析,整体数据接收完整,没有丢数的现象发生,整体系统经验证可靠较高。

```

74 20 20 31 36 2E 35 30 35 33 20 70 20 20 20 2D 30 2E 34 37 31 20 63 20 20 30 2E 30 30 30
30 20 73 20 20 30 2E 30 30 30 0D 0A
74 20 20 31 36 2E 35 30 35 36 20 70 20 20 2D 30 2E 34 38 37 20 63 20 20 30 2E 30 30 30
30 20 73 20 20 30 2E 30 30 30 0D 0A
74 20 20 31 36 2E 35 30 35 38 20 70 20 20 2D 30 2E 35 31 38 20 63 20 20 30 2E 30 30 30
30 20 73 20 20 30 2E 30 30 30 0D 0A
74 20 20 31 36 2E 35 30 36 30 20 70 20 20 2D 30 2E 34 38 37 20 63 20 20 30 2E 30 30 30
30 20 73 20 20 30 2E 30 30 30 0D 0A
74 20 20 31 36 2E 35 30 36 32 20 70 20 20 2D 30 2E 34 39 35 20 63 20 20 30 2E 30 30 30
30 20 73 20 20 30 2E 30 30 30 0D 0A
74 20 20 31 36 2E 35 30 36 36 20 70 20 20 2D 30 2E 34 37 39 20 63 20 20 30 2E 30 30 30
30 20 73 20 20 30 2E 30 30 30 0D 0A
74 20 20 31 36 2E 35 30 37 31 20 70 20 20 2D 30 2E 34 39 35 20 63 20 20 30 2E 30 30 30
30 20 73 20 20 30 2E 30 30 30 0D 0A
74 20 20 31 36 2E 35 30 37 34 20 70 20 20 2D 30 2E 34 37 39 20 63 20 20 30 2E 30 30 30
30 20 73 20 20 30 2E 30 30 30 0D 0A

```

图 13 接收到的部分数据

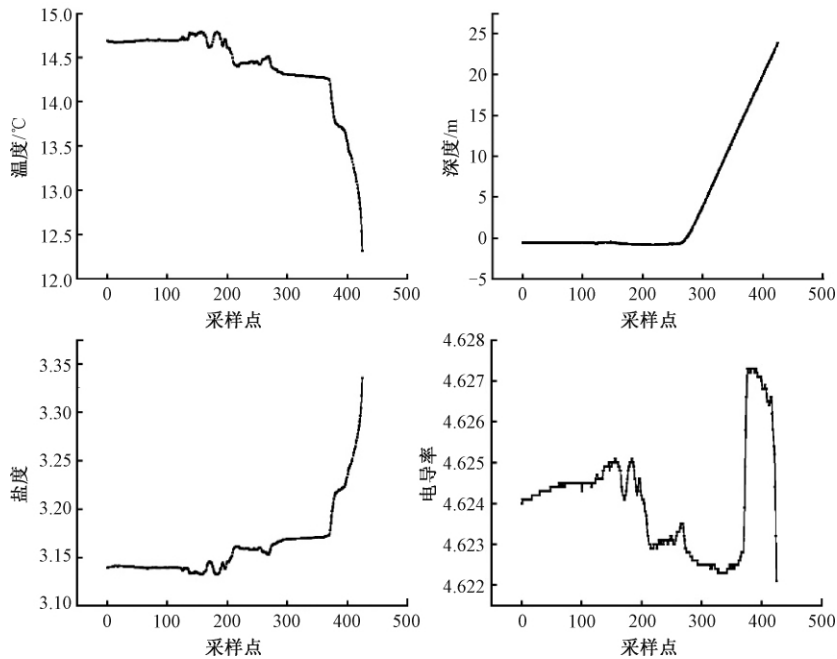


图 14 母弹回收 CTD 数据

5 结 论

针对海洋多参量传感数据传输问题,设计了基于

CR600 的长线传输电路系统,在波特率 9 600 bit/s 下,进行数据传输,没有发现丢数、错位的现象。设计水密耐压仓,保证电路板能够在海底 1 000 m 进行工作,提高了海洋

传感器数据传输的可靠性。具有体积小、功耗低、数据传输稳定等特点。本文是针对特定的需求做出的实践,对长线传输的设计进行了分析与实践,对数据传输具有良好的实际使用效果,可适用于多种场合。

参考文献

- [1] 王国忠,刘磊,储成群,等.基于USB3.0高速图像数据传输系统设计[J].仪表技术与传感器,2019(3):106-109,113.
- [2] 杨凯祥,陈鸿,陈一波.多通道光纤高速串行传输系统的设计与实现[J].仪表技术与传感器,2017(1):61-64,69.
- [3] 芮正雄.井下实时成像检测技术及系统[D].太原:中北大学,2018.
- [4] 唐静,田波,陈华君.基于节点-链路评估模型的移动物联网数据传输稳定算法[J].电子测量与仪器学报,2020,34(10):194-201.
- [5] 冯其涛,耿艳峰,郑重,等.基于钻井液的随钻声波数据传输技术[J].仪器仪表学报,2019,40(3):106-113.
- [6] 朱泽琿,任勇峰,贾兴中.基于LVDS长距离高可靠性传输的优化设计[J].电子测量技术,2020,43(20):150-154.
- [7] 薛时凯,张新玉.基于ADV212的图像远距离传输系统的设计[J].国外电子测量技术,2020,39(1):103-107.
- [8] 沈琨.基于OFDM系统的LS信道估计降噪技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2017.
- [9] 赵璠.CMOS图像传感器图像数据采集硬件系统的设计与实现[D].西安:西安电子科技大学,2017.
- [10] 钱乐平.磁性液体加速度传感器的理论及实验研究[D].北京:北京交通大学,2017.
- [11] 常昊天,冯径,段超凡,等.海洋监测数据多级传输控制[J].北京理工大学学报,2020,40(6):648-654.
- [12] 魏凡其.虚拟移动终端大规模海洋监测数据实时传输方法[J].舰船科学技术,2020,42(2):145-147.
- [13] 潘孟琦,董理君,李晖,等.面向海洋传感器供能的船载能量网络参数配置技术[J].中国舰船研究,2019,14(3):129-134,151.
- [14] 龙凯.基于计算机视频长线传输视频信号完整性处理技术[J].中国高新科技,2019(9):86-88.
- [15] 吴爱平,祁红学,熊晓东,等.海洋多道地震拖缆数据实时传输系统的设计与实现[J].海洋科学,2019,43(3):75-81.
- [16] 印涛,李素华,李龙.基于海上采油平台的数据采集监控系统[J].中国仪器仪表,2018(8):52-55.
- [17] 刘佳宁,文丰,王淑琴,等.基于LVDS的高可靠性长线传输设计[J].电子器件,2017,40(5):1209-1213.

作者简介

王旋,硕士研究生,主要研究方向为电路系统。

E-mail:1193254662@qq.com

郑永秋,博士,硕士生导师,主要研究方向为电路与系统、传感器测试。

E-mail:zhengyongqiu@nuc.edu.cn