

地震监测系统的电磁信号的采集设计与实现

庞瑞涛, 雍珊珊, 王新安, 金秀如, 曾敬武, 韩朝相

(北京大学深圳研究生院 集成微系统科学与工程应用重点实验室, 广东 深圳 518055)

摘要: 基于多分量地震监测系统 AETA 对电磁前兆异常信号的监测需求, 提出了一种电磁信号的采集系统方案。系统包括信号调理和信号实时采集两部分。在信号调理部分, 通过对模拟信号进行放大、滤波等处理输出高灵敏度的原始信号。在信号采集部分, 为了实时采集和传输所有频段的电磁信号的原始数据, 采用了高速、高精度的模数转换器, 选择了支持千兆数据传输的 TCP/IP 网络传输协议。同时为了减少设备维护成本, 提高系统的便利性、安全性和可靠性, 基于 STM32F407 设计了软件系统的自动更新机制, 提高了系统的运维效率。测试结果表明, 信号调理电路输出电磁信号符合设计需求, 采集电路实现了快速采集和传输, 系统更新功能运行正常。

关键词: 电磁信号; 采集; STM32F407; 软件系统; 自动更新

中图分类号: TP311.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2018)02-0027-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2018.02.007

Design and Implementation of Electromagnetic Signal Processing Circuit for Earthquake Monitoring System

PANG Rui-tao, YONG Shan-shan, WANG Xin-an, JIN Xiu-ru, ZENG Jing-wu, HAN Chao-xiang

(Key Laboratory of Integrated Micro-systems Science and Engineering Applications,
Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Based on the monitoring requirements of multi-component seismic monitoring system named AETA, we propose an electromagnetic signal acquisition system which is comprised of signal conditioning and real-time acquisition. In the signal conditioning, the analog signal is converted into original signal with high sensitivity through its amplification, filtering and other processing. In the signal acquisition, in order to collect and transmit the raw data of the electromagnetic signals in all bands in real time, a high-speed, high-precision analog-to-digital converter is used, and a TCP/IP network transmission protocol supporting 100M data transmission is selected. At the same time, in order to reduce the cost of the equipment maintenance and improve the convenience, safety and reliability of the system, the automatic updating mechanism for the software system is designed based on STM32F407, which improves its operation and maintenance efficiency. The test shows that the signal conditioning circuit output meets the design requirements, and the acquisition circuit achieves the goal of rapid acquisition and transmission. The updating function of the system works normally.

Key words: electromagnetic signal; acquisition; STM32F407; software system; automatic updating

0 引言

我国是世界上地震灾害最严重的国家之一, 能够在地震发生前给出预警, 为人民争取更多的时间准备并逃离震源发生地, 将极大地降低人民生命及财产的损失。电磁辐射是一种在地震发生前地下岩石破裂面附近出现以压电效应、电子热发射为主的电磁脉冲, 其作为一种地震前兆信号用于地震短临预报已经有较多的观测和研究基础^[1]。然而电磁辐射在传播过程中是

有损耗的, 且频率越高, 损耗越大, 因此目前的监测频段以超低频监测为主, 极低频和甚低频也有所覆盖。

目前地震前电磁异常虽然存在但还不能有效地进行地震预测。现有仪器多以高性能和高环境为要求, 在设备的性能稳定性、可靠性和一致性等方面存在问题, 对安装成本和安装环境要求非常高。同时, 现有仪器多为模拟量输出, 与数据采集部分是分离的, 不能实现数据的快速全频带信号采集和远距离传输的要求。笔

收稿日期: 2017-02-16

修回日期: 2017-06-23

网络出版时间: 2017-11-15

基金项目: 国家自然科学基金(61471011); 深圳市科技研发资金项目(JCYJ20160428153956266)

作者简介: 庞瑞涛(1990-), 男, 硕士生, 研究方向为集成电路设计与电子线路应用; 王新安, 教授, 从事数模混合集成电路可重构算子设计方法以及传感器件和集成技术的研究。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20171115.1425.024.html>

者认为,地震电磁异常没能被有效利用的原因在于设备的布设密度不够,不能充分排除各地地质结构的差异性带来的异常差异性,而要进行广泛的布设就需要有行之有效的、低成本和易安装的监测设备给予支持^[2]。北京大学提出的多分量地震监测系统 AETA 由地声传感探头、电磁传感探头、数据处理终端以及云平台数据存储和分析系统组成,具有低成本、易安装、监测频段广等特性,可支撑大区域的密集布设。

基于 AETA 对电磁前兆异常信号的监测需求,文中提出了一种电磁信号的实时采集系统并对其进行设计和实现。系统包括信号调理和实时采集两部分,其中原始信号调理部分采用各种高性能的微电子器件设计了放大、滤波电路,获得了高灵敏度的原始信号。实时采集部分针对原始数据量大的特点,基于 STM32F407 设计了软件系统,选择支持百兆数据传输的 TCP/IP 网络传输协议,实现了与高速以太网通信接口器件 W5300 的交互,确保了数据传输的实时性和稳定性^[3-6]。同时设计了远程自动更新机制,提高了系统的运维效率^[7],减少了人工成本,使得大面积密集布设成为可能。最后对该系统进行测试。

1 电磁信号采集系统方案

电磁信号采集系统主要包括原始数据信号调理部分、数据采集部分及数据中心对地面终端进行的远程升级和参数配置部分,其中原始数据信号调理部分将采集到的 0.1 Hz ~ 10 kHz 的原始电磁信号进行放大、磁反馈电路、滤波、次级放大、A/D 转换后传给数据采集部分,数据采集部分基于 STM32F407 与 W5300 的交互将采集到的数据打包发送到远程数据中心,数据中心再对数据进行后续处理并远程实时监控设备情况。通过这几部分,电磁信号采集系统可实时采集到原始的电磁数据并通过远程得到有效的升级和维护。

1.1 信号调理电路

由电磁传感器采集的大地电磁信号,需要经过放大、磁反馈电路、滤波、次级放大、A/D 转换等处理,才能进行下一步的分析。文中设计的电磁信号处理电路需要处理的电磁信号强度范围为 1 ~ 1 000 nT,频带为 0.1 Hz ~ 10 kHz。即使对采用了高磁导率、拥有上万匝线圈的感应式传感器,当电磁信号频率为 0.5 Hz 或者更低时,磁场强度为 1 nT 时感应线圈输出的电压也低至微伏级,容易淹没于噪声之中,要放大至毫伏级信号才便于处理^[8]。因此采用了两级放大,第一级放大主要是为了提高信噪比,第二级放大是为了方便下一步的处理。

根据感应式磁传感器线圈的幅频特性和相频特性,在谐振点处线圈相位会发生突变现象。为解决相

位突变问题、扩展传感器采集频带,在频率高于 1 Hz 时电磁传感器采用磁反馈方法,这样传感器在谐振频率附近较宽的范围内可以获得平坦的幅频特性曲线。

电磁传感器采集的信号经过前级放大后,低频噪声及失调电压和有效信号仍旧一起输出,所以在放大电路之后需要加入滤波器滤除。根据设计要求,所需要处理的信号频带在 0.1 Hz ~ 15 kHz 范围内,采用未放大的通带内平坦、实现简单的四阶巴特沃斯带通滤波器对前端信号进行带宽限制^[9]。

A/D 采用了高速、18 位高精度的模数转换器 ADS8681。ADS8681 是一款基于 16 位逐次逼近寄存器(SAR)模数转换器(ADC)的集成数据采集系统,工作吞吐量达 1 MSPS。对于每个输入范围,均可在指定的数值范围内精确调整 AFE 电路的增益误差和偏移误差,从而实时、稳定地采集原始电磁信号。

1.2 信号采集电路

1.2.1 采集电路框架

信号采集电路的逻辑框架如图 1 所示。



图 1 采集电路框架

处理器采用 STM32F407。STM32F407 是基于 ARM Cortex (tm) -M4 内核的一款 32 位闪存微处理器。内部具有自适应的实时加速器模块 ART,含有 1 MB 大小的 FLASH 存储器,192 KB 大小的 RAM。其主频高达 168 MHz,使得其处理能力达到 210DMIPS,且电流消耗仅为 38.6 mA。寄存器方面,STM32F407 含有一个输入和一个输出寄存器,一个 Reset 寄存器,一个 Lock 寄存器和两个功能选择寄存器。结构清晰,参数功能设置独立,使用方便。STM32F407 控制高速以太网通信接口器件 W5300 将 A/D 转换后的数据通过 TCP/IP 协议传输到远程数据中心。软件系统主要实现与 W5300 芯片的交互设计以及系统升级机制。下面重点讲述 STM32F407 与 W5300 芯片的交互设计部分以及基于 Bootloader 的升级机制^[10-13]。

1.2.2 基于 STM32F407 与 W5300 的交互实现

系统采用了一种高速以太网通信接口器件 W5300,W5300 采用常见的 +3.3 V 和 +1.8 V 两种电源方式供电。其中 +1.8 V 电源为其内核系统供电,+3.3 V 电源为接口等部件供电。该芯片内部集成了 10BaseT/100BaseTX 的以太网 PHY 和基于 WIZnet 网络协议处理技术进行硬件逻辑化的 TCP/IP 内核,内含主机接口管理单元、存储器管理单元、寄存器管理单元以及介质接口管理单元,能够实现以太网高速数据传输,满足了实时监测地震的数据传输量大的需求。

图 2 为 STM32F407 与 W5300 芯片之间的交互过

程框架。

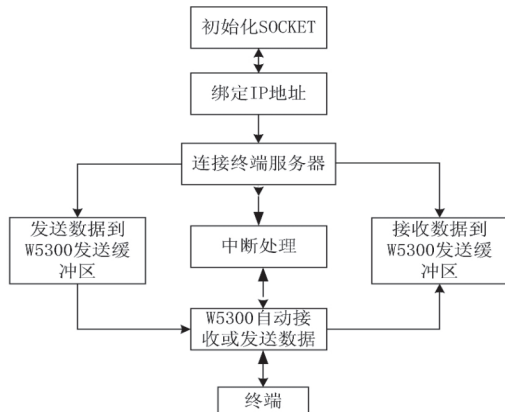


图2 STM32F407与W5300交互框架

STM32F407与W5300芯片之间的交互主要包括网络初始化、发送数据、接收数据、中断处理四个过程。

(1) 网络初始化: 首先由STM32F407对W5300进行网络初始化,即初始化socket,bind和connect这三个过程。在完成了与地面终端的连接之后,W5300就可以与终端服务器进行收发数据。

(2) 发送数据: STM32F407首先将数据发送到W5300的发送缓冲区,由W5300根据TCP/IP协议自动将数据发往远程终端服务器。

(3) 接收数据: 远程终端服务器往设备下发数据,W5300首先将数据接收到接收缓冲区,然后STM32F407从接收缓冲区读取数据。

(4) 中断处理: 在W5300连接远程终端服务器、STM32F407发送数据到W5300接收缓冲区以及W5300往远程终端服务器发送数据的过程中均可能产生中断,中断处理部分根据中断类型做出不同的处理。整个系统内部有两个中断源,分别为兼容TCP和UDP协议的网络芯片W5300和STM32F407内置定时器,前者用于网络连接和通信,后者为ADC采集的采样触发器。整个软件系统主要由这两个中断源来控制数据的接收与发送。

1.2.3 基于bootloader的自动更新机制

考虑到系统内采集软件存在更新换代的可能,增加系统需求或者简化系统功能。为了保障系统的便利性、安全性、可靠性,降低设备维护成本,设计了基于Bootloader的自动更新机制。

图3为系统自动更新机制的逻辑框图。

具体升级流程为:

(1) 在地面终端的TFTP Server工作目录下面需要存放两个软件升级工作相关的文件,文件名分别为stm32f407_earthquake_version.txt和stm32f407_earthquake_app.bin,其中version.txt文件是为了控制系统软件升级,并防止系统上电或复位时进行反复升级而设

立的。

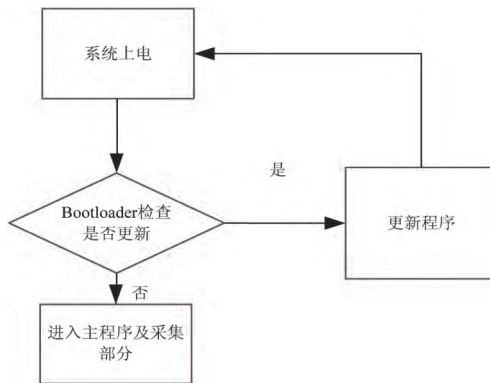


图3 自动更新机制逻辑框图

(2) 在地下信号采集电路板上电或者系统复位时,Bootloader作为tftp client从地面终端的tftp server下载stm32f407_earthquake_version.txt文件,然后跟存放于STM32F407内部FLASH的当前的软件version信息进行比较,如果相同,则跳过升级流程,执行应用程序。

(3) 如果版本信息不相同,则表示需要进行软件升级,进入系统软件升级流程。通过TFTP网络文件传输协议,Bootloader作为tftp client从地面终端的tftp server下载stm32f407_earthquake_app.bin应用程序文件,并将其烧录到存放应用程序的FLASH地址,烧录完成后,再将本次软件的version信息也存放在特定的给version分配的FLASH存储区域,最后执行新的应用程序,升级完成。

2 测试结果

2.1 性能测试

测试所得到的仪器频响曲线如图4所示。由图4可知,在1 Hz~10 kHz范围内,频率响应平坦区覆盖100 Hz~4 kHz范围。证明所设计的电路基本达到设计要求。

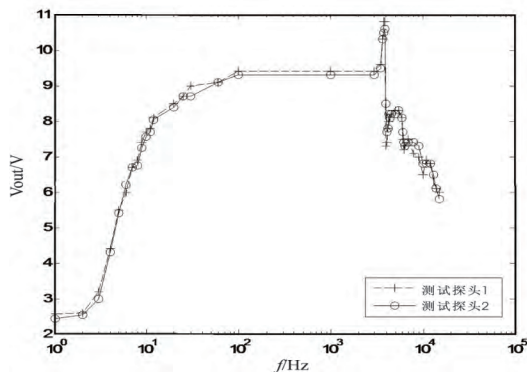


图4 电磁探头频响曲线

2.2 功能测试

(1) 数据采集测试结果。

感应式电磁传感器将采集到的原始电磁信号进行

放大、磁反馈电路、滤波、次级放大、A/D 转换后传给数据采集部分,数据采集部分基于 STM32F407 与 W5300 的交互将采集到的数据打包发送到远程数据中心,在这个过程中,系统在数据中加入了校验位,保证了数据的正确、稳定传输。图 5 为使用原始数据所画的实时波形图。

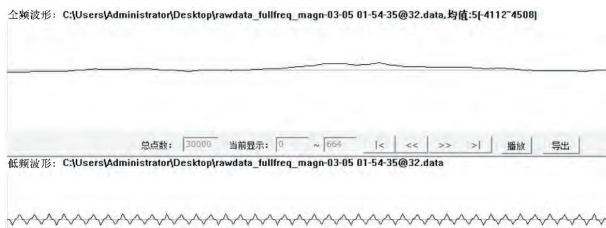


图 5 原始数据波形图

(2) 软件升级测试结果。

设备上电或者系统复位时,Bootloader 作为 tftpclient 从地面终端的 tftp server 下载 stm32f407_earthquake_version.txt 文件,然后跟存放于 STM32F407 内部 FLASH 中当前的软件 version 信息进行比较,如果相同,则跳过升级流程,执行应用程序。在版本信息不一样时,执行升级程序。如图 6 所示,在版本信息不一样时,使用 tftpd32 工具和网络调试助手进行测试。tftpd32 工具提示如下:其中请求了两次下载 APP 镜像,第一次是探测 APP 镜像是否存在于地面终端的 tftp server 中,如果 tftp server 中只有 version 版本文件而没有 APP 镜像文件,要跳过升级过程;第二次才是真正的下载镜像文件,并烧录到 STM32F407 内部 FLASH 中^[14-17]。图 6 网络调试工具中黑框部分显示:Update firmware ok 表示系统远程升级成功,也说明了系统远程升级设计的正确性^[18]。

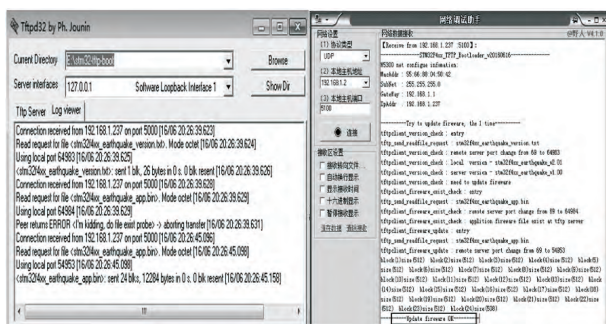


图 6 系统软件升级调试图

3 结束语

文中实现了电磁原始信号的数据采集系统的方案设计,为了使系统能够实时传输电磁信号并保障系统运行的可靠性和稳定性,基于 STM32F407 设计了与 W5300 的交互机制以及自动升级机制,使得远程维护成为可能,减少了设备维护成本,也使得大规模布设设备成为可能。测试结果表明,感应式磁传感器的信号

调理系统具有良好的性能指标,采集电路可实现快速采集和传输,自动升级功能均正确实现,为进一步的数据分析工作打下了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 希玉久.地震电磁辐射观测是短临预测重要手段之一[J].国际地震动态,2009(7):39-46.
- [2] 曾敬武,雍珊珊,郑文先,等.适用于大地震临震预测的地声传感单元[J].计算机技术与发展,2015,25(12):133-137.
- [3] 鲁力,张波.嵌入式 TCP/IP 协议的高速网络数据采集系统[J].仪器仪表学报,2009,30(2):405-409.
- [4] 焦继业.单片机嵌入式 TCP/IP 协议的研究与实现[D].西安:西安科技大学,2003.
- [5] 孔金生,任平英.TCP 网络拥塞控制研究[J].计算机技术与发展,2014,24(1):43-46.
- [6] 郭锐,冯志杰,高宗宁.一种新型网络通信协议的设计与研究[J].计算机技术与发展,2017,27(1):75-79.
- [7] 颜丽莎,朱力宏.基于 ARM-linex 嵌入式系统运行参数的配置方法和实现[J].电子商务,2011(8):56-57.
- [8] CRESCI A, DE ROSA R, PUTMAN N F, et al. Earth-strength magnetic field affects the rheotactic threshold of zebrafish swimming in shoals[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2017, 204: 169-176.
- [9] LOPETEGI T, LASO M A G, FALCONE F, et al. Microstrip "wiggly-line" bandpass filters with multispurious rejection[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2004, 14(11): 531-533.
- [10] NICHOLS T J, LINBERG K R. Apparatus and method to automatic remote software updates of medical device systems: U.S. 6363282[P]. 2002-03-26.
- [11] BARTEL M A, SKINNER C, JOHNSON K, et al. Method and system for automatic firmware updates in a portable handheld device: U.S. 6754895[P]. 2004-06-22.
- [12] 康文军,鄢萍,胡新元.在内核下的 BootLoader 自动更新方法[J].计算机工程,2012,38(4):215-217.
- [13] 赵宏伟,孙永清,崔宇寅.一种软件自动更新方法[J].电脑知识与技术,2012,8(1):74-76.
- [14] 谢希仁.计算机网络[M].北京:电子工业出版社,2008.
- [15] 游雪峰,文玉梅,李平.以太网分布式数据采集同步和实时传输研究[J].仪器仪表学报,2006,27(4):384-388.
- [16] 肖积涛,马幼鸣,周鸣争,等.基于 FPGA 的高速数据采集系统的设计与实现[J].计算机技术与发展,2012,22(6):217-220.
- [17] 曾浩,张祺,郑斯凯.基于 STM32F407 的图像远程采集终端[J].工业控制计算机,2014,27(11):81-83.
- [18] 林晓松,陈惠滨,林少芬,等.工程机械车载监测终端软件远程升级的实现[J].电子技术应用,2015,41(5):156-158.