

文章编号:1671-251X(2018)08-0100-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018010002

多通道微震信号采集系统设计

蔡建美, 缪杰, 姚振静, 李亚南, 韩智明

(防灾科技学院 振动精密测量技术与仪器重点实验室, 河北 廊坊 065200)

摘要:针对现有矿山微震信号采集系统存在价格昂贵且通用性不强等问题,设计了一种多通道微震信号采集系统。该系统采用地震计拾取微震信号,利用采集电路实现对微震信号的放大、数模转换及数字滤波,利用 STM32 将滤波后的信号通过 USART 实时发送给上位机进行分析处理。测试结果表明,该系统可以准确采集、记录地震计拾取的 3 个通道的微震信号,稳定性好、可靠性高、成本低。

关键词:矿山微震信号;地震计;数据采集;信号监测;STM32

中图分类号:TD67 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180724.1037.002.html>

Design of acquisition system of multi-channel microseismic signal

CAI Jianxian, MIAO Jie, YAO Zhenjing, LI Yanan, HAN Zhiming

(Vibration Precision Measurement Technology and Instruments Key Laboratory, Institute of Disaster Prevention Science and Technology, Langfang 065200, China)

Abstract:In view of problems of high cost and low universality existed in current acquisition systems of mine microseismic signal, an acquisition system of multi-channel microseismic signal was designed. The system adopts seismometer to collect microseismic signals, uses acquisition circuit to implement amplification for microseismic signals, analog-to-digital conversion and digital filter, and uses STM32 to real-timely send filtered signals to PC for analysis by USART. The test results show that the system can accurately collect and record 3-channel microseismic signals collected by seismometer with good stability, high reliability and low cost.

Key words:mine microseismic signal; seismometer; data acquisition; signal monitoring; STM32

0 引言

微震是指由于岩体的破裂或者流体的扰动引起的微小震动事件,这种微震信号被多个领域广泛应用^[1]。微震监测原理:当地下岩体发生应力变化并产生破裂时,会产生一种微弱的地震波信号,向各个方向传播,通过分布在不同方位的地震计同时采集微震信号,得到微震信号的到达时间、传播方向等信息,然后通过上位机分析处理,判断地质灾害发生的

可能性及位置^[2-3]。微震信号的完整性直接决定着微震监测分析结果的正确性,决定能否及时发现且避开矿井中存在的危险^[4]。

20 世纪 80 年代我国才开始着手研究微震监测相关技术^[5-6],国内诸多企业开始是到国外采购微震监测系统并且学习国外的先进技术^[7]。2003 年,国内科研人员和澳大利亚微地震监测系统科研团队合作,共同研制成了我国第 1 套用于井下监测的微地震监测仪器,可对不同方位采集的微震信号进行处

收稿日期:2018-01-02;修回日期:2018-05-05;责任编辑:张强。

基金项目:中央高校基本科研业务费专项项目(ZY20160104);中国地震局地震科技星火计划项目(XH14072)。

作者简介:蔡建美(1978—),女,河北衡水人,副教授,博士,主要研究方向为控制理论与工程,E-mail:caijianxian@cidp.edu.cn。通信作者:

缪杰(1992—),男,江苏淮安人,硕士研究生,研究方向为灾害监测技术与仪器,E-mail:13231693174@163.com。

引用格式:蔡建美,缪杰,姚振静,等.多通道微震信号采集系统设计[J].工矿自动化,2018,44(8):100-104.

CAI Jianxian, MIAO Jie, YAO Zhenjing, et al. Design of acquisition system of multi-channel microseismic signal[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(8): 100-104.

理分析,但当时处理器性能低下,数据处理速度较慢^[8]。发展至今,微震监测技术受到越来越多的科研人员的重视,国内诸多的矿山企业、高校和科研单位都在积极研究微震数据采集、处理和传输技术^[9],如北京科技大学研发的BMS微地震监测系统等。但现用的监测设备多为数据采集卡与工控机配套组成^[10]的设备,在实际应用中存在许多工程问题,如设备昂贵,不适合大量铺设;设备不具备普遍适用性,不能应用于不同的作业现场等^[11]。针对这些问题,笔者设计了基于STM32的多通道微震信号采集系统。该系统能够准确采集、记录井下高频地震计拾取的3个通道的微震信号,并通过串口或者以太网将数据实时发送给上位机处理分析。系统能够适应井下不同环境,数据采集模块稳定性好、体积小、存储容量大。

1 系统整体框架设计

多通道微震信号采集系统整体框架如图1所示,系统以STM32为主控芯片,由CS3301放大电路、CS5372 AD转换电路、CS5376 数字滤波电路、SD卡存储电路、GPS电路等组成,其中采集电路有3个输入通道,用于采集地震计拾取的东西向(X方向)、南北向(Y方向)及垂直向(Z方向)的地震信号。地震计采用井下高频地震计FZ-1,其幅频特性为1~200 Hz,灵敏度为1 000 V/(m·s⁻¹),适合监测震级微小的地震。通常情况下,地震计采集到的信号十分微弱,无法直接对其进行处理,需要对信

号进行放大,再经过AD转换、数字滤波后通过SPI传输给STM32芯片。STM32再将滤波后的信号通过USART实时发送给上位机分析处理,同时把数据保存到SD卡中。

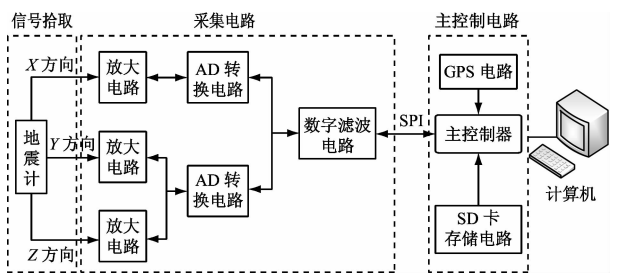


图1 多通道微震信号采集系统整体框架
Fig.1 Overall framework of acquisition system of multi-channel microseismic signal

2 硬件电路设计

2.1 放大电路设计

微震信号通过地下岩体层层传播后,地震计拾取到的信号已经变得十分微弱,如果不进行增益放大,就会导致无法获得完整的微震信号,因此,先将采集到的信号进行放大处理,再进行AD转换^[12]。对于不同情况的实际监测场地,可以通过软件设置放大增益系数。CS3301芯片是一个低噪声差分输入、差分输出,具有1~64倍放大范围的可编程增益放大器,噪声性能好,且具有极小的总谐波失真,非常适用于微弱信号监测,所以,采用CS3301芯片作为前段放大器,放大电路如图2所示。

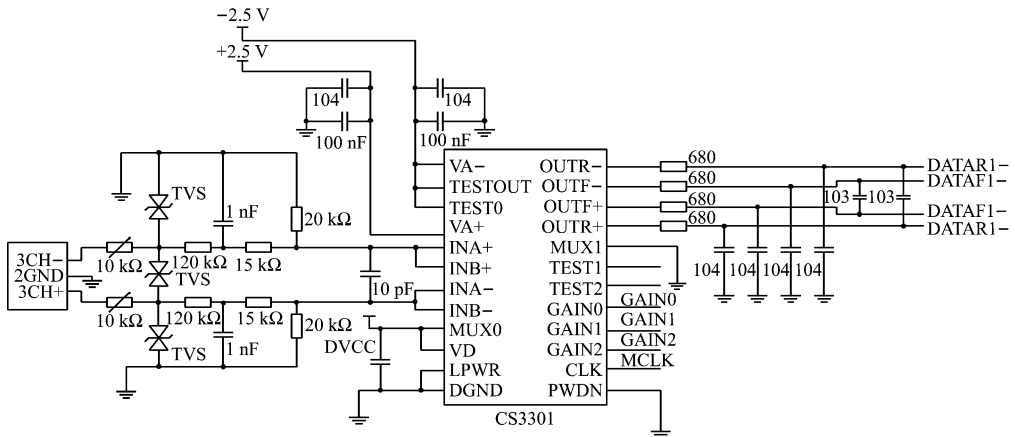


图2 放大电路
Fig.2 Amplifier circuit

为了消除高频噪声带来的影响,在CS3301芯片输入信号口设计RC滤波电路进行放大前的预滤波处理。差分信号INA+与INA-之间连接电容,可以进一步消除高频差模噪声。此外,接口处使用

TVS二极管组成限压电路,可以抑制外界引起的浪涌电压,保护芯片不被烧毁^[13]。CS3301的输出管脚OUTR与OUTF的输出信号还需要进行RC滤波,防止CS5372进行A/D采样时发生频率混叠。

增益放大系数由 3 个管脚 GAIN0、GAIN1 和 GAIN2 共同决定。

2.2 AD 转换电路设计

CS3301 放大后输出的信号仍然是模拟信号,无法被数字处理器所识别处理,因此,需要设计 AD 转换电路,在 AD 转换器中进行模数转换,AD 转换电路以 CS5372 为核心,如图 3 所示。CS5372 芯片为具有高动态范围、低功耗、高性能的模数转换芯片,其动态范围可达 121 dB,具有极低的总谐波失真(小于-118 dB)和较强的微弱信号监测能力,模数转换位数为 24 位。CS5372 作为前端采集电路的 AD 芯片,可与 CS5376 数字滤波器组合使用,组成具有较高分辨率的 AD 测量系统。

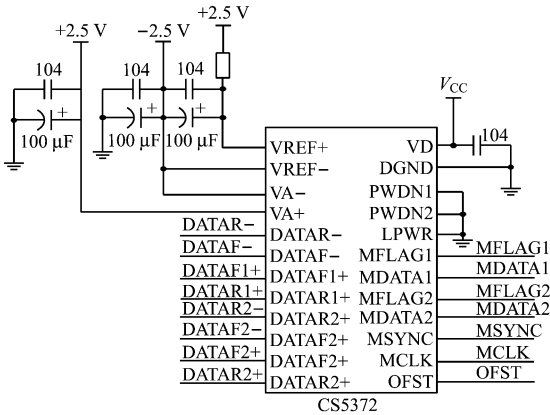


图 3 AD 转换电路

Fig. 3 AD conversion circuit

CS5372 芯片需要±2.5 V 的模拟电源、3.3 V 数字电源及±2.5 V 基准电压驱动,并且 VA-管脚必须与 VREF-管脚连接。在图 3 中,MFLAG 是超量程标志位,高电平表示调制器由于模拟输入过大而不稳定。MDATA 是 AD 转换的输出信号,其输出采用比特串行数据流的方式,位流的速率为 512 kbit/s 或者 216 kbit/s,输出速率根据 MCLK 的值进行调整。MSYNC 和 MCLK 都由 CS5376 产生,MCLK 给 CS5372 提供内部主时钟,MSYNC 给 CS5372 提供同步时钟。

2.3 数字滤波电路设计

数字滤波电路采用 CS5376 芯片设计,CS5376 芯片是一种低功率、多通道、数字可编程的数字滤波器。CS5376 数字滤波器的作用是将 CS5372 输出的 1 bit 数据流进行抽取滤波并转换成 24 bit 数据,同时滤掉通带以外的噪声信号。CS5376 主要包括以下模块:抽取滤波模块,用于将 1 bit 数字流转换成 24 bit 数据;SPI 接口模块,用于和外部控制器通信;SD 接口模块,用于传输滤波后的数据;时钟同步模块,用于产生时钟信号 MCLK 和 SYNC,同步外

部 CS3301 与 CS5372 芯片工作^[14]。数字滤波电路如图 4 所示。

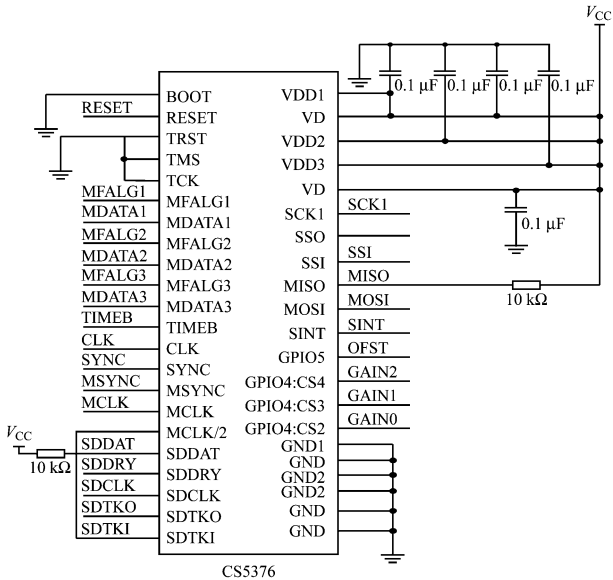


图 4 数字滤波电路

Fig. 4 Digital filter circuit

CS5376 滤波芯片将处理后的数据通过 SD 接口模块与 STM32 的 SPI 口进行数据传输通信。SD 接口的管脚及功能^[15]见表 1。

表 1 SD 接口管脚及功能

Table 1 SD Interface pin and its functions

管脚	性质	功能
SDTKI	输入	令牌输入,要读取数据,必须先给 CS5376 一个高脉冲
SDDRY	输出	数据就绪输出信号
SDCLK	输入	串行时钟输入
SDDAT	输出	串行数据输出,在 SDCLK 上升沿准备,下降沿输出
SDTKO	输出	串行数据输出结束信号

CS5376 把滤波后的数据存储到其内部的 FIFO 中,当 FIFO 存满数据后,在 SDTKI 第 1 个上升沿到来时拉低 SDDRY 信号,CS5376 开始进行数据传输。在串行时钟 SDCLK 脉冲下,SDDAT 不断进行数据发送。当 SD 端口 FIFO 中所有的数据被读取后,释放 SDDRY 信号,并且 SDTKO 触发 100 ns 的高脉冲,停止数据传输。

3 软件设计

多通道微震信号采集系统软件设计的主要工作是对 CS5376 滤波芯片进行初始化配置和信号传输控制,使其各项工作参数能够按照不同的实际现场需要进行实时改变。

3.1 CS5376 配置命令传输

STM32 与 CS5376 的 SPI1 端口连接,STM32 通过 SPI 向 CS5376 的寄存器进行相关配置,不同的寄存器参数可产生不同的控制信号和指令。主要配置的指令:设置主时钟信号 MCLK、信号传输通道的个数、数字滤波器的偏移校正、输出速率大小及滤波阶数等。此外,需要注意的是每条信号之间至少有 1 ms 的延时时间。针对不同监测环境,设置相应的控制指令。配置指令流程如图 5 所示。

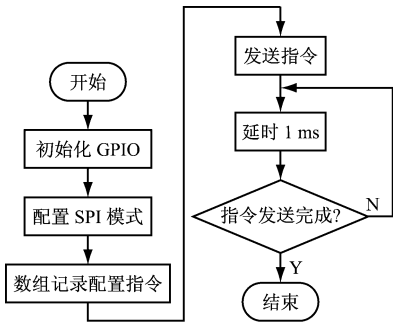


图 5 配置指令流程

Fig. 5 Configuration instruction flow chart

3.2 外部中断采集程序

为了将采集到的信号实时发送到上位机进行分析处理,STM32 与 CS5376 之间采用外部中断方式、STM32 与 CS5376 之间通过 SPI 进行数据传输,其中 STM32 为主机,CS5376 为从机,它们之间片选信号为 SDDRY。采用外部中断触发进行数据采集,当 SDTKI 上升沿到来时,拉低 SDDRY 信号,STM32 接收到下降沿信号后,进入外部中断进行数据采集,采集存储一帧数据后,通过 USART 实时发送给上位机处理分析。外部中断采集流程如图 6 所示。

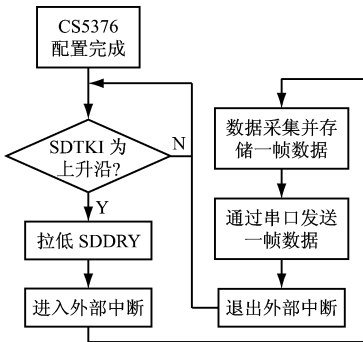


图 6 外部中断采集流程

Fig. 6 External interrupt acquisition flow chart

4 系统测试分析

系统搭建完成并且正常启动后,首先需验证采集系统能否较为完整地拾取不同频率信号的波形数据。使用信号发生器产生 10,40 Hz 等多种频率正

弦信号,并将这些信号连接到系统的采集模块,经测试采集效果良好。

为了进一步验证采集系统采集信号的可靠性,将常用的数据采集器连接到井下高频地震计,再将微震信号采集系统的采集器部分也连接到该地震计上,采样频率都设置为 100 Hz。

2 个数据采集器都连续记录了同一地震计多天的波形数据,截取两者同一时间段记录的数据进行相关分析比较。为了比较这 2 组波形数据的相关性,需要借助软件,将 2 组波形数据按照通道名分别导入软件中,使用 mscohere 函数对同一通道的 2 组数据进行相关性分析,得到两者相关系数坐标,相关系数越接近 1,表示信号越相似。通道 1—通道 3 相关系数计算结果如图 7—图 9 所示。

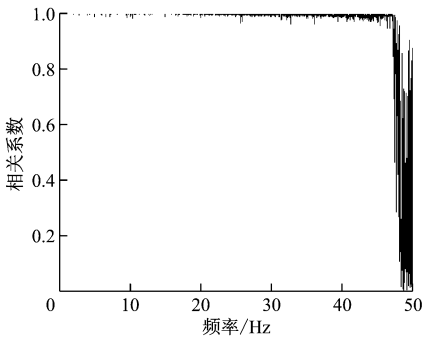


图 7 通道 1 相关系数

Fig. 7 CH1 correlation coefficient

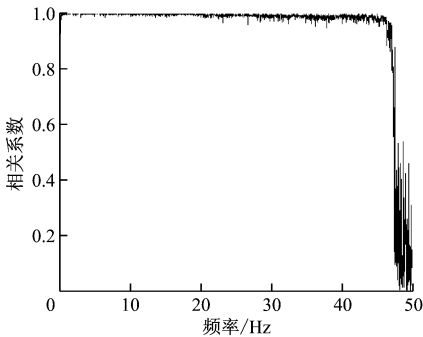


图 8 通道 2 相关系数

Fig. 8 CH2 correlation coefficient

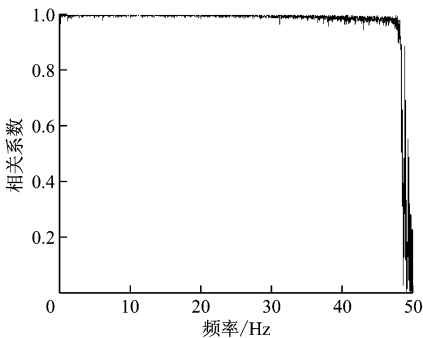


图 9 通道 3 相关系数

Fig. 9 CH3 correlation coefficient

采样频率为 100 Hz 时,只能记录 0~40 Hz 范围内的波形。结合上述测试结果,在 0~40 Hz 范围内,2 个数据采集器采集到的三通道波形两两之间的相关系数很高,而相关系数越高,表明 2 组波形越相似,验证了信号采集系统的可靠性,系统可准确地拾取井下高频微破裂地震信号。

5 结语

基于 STM32 微处理器与 CS5376、CS5372、CS3301 芯片搭建的多通道微震信号采集系统,采样速率快,研发成本较低。地震计采集的信号通过放大、AD 转换、滤波后发送给 STM32 处理,STM32 将处理后的信号发送给上位机进行分析。利用 STM32 的 SPI、USART、EXIT 等外设功能,可实现对信号的实时采集、发送及存储等,时效性高、存储量大,在矿山安全监测领域有很好的应用前景。测试结果表明,该系统稳定可靠,能够较为完整地记录微震波形数据,准确地拾取井下高频微破裂地震信号。

参考文献(References):

- [1] 柳云龙,田有,冯晖,等.微震技术与应用研究综述[J].地球物理学进展,2013,28(4):1801-1808.
LIU Yunlong, TIAN You, FENG Xuan, et al. Review of microseism technology and its application[J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(4): 1801-1808.
- [2] 彭红星,郭威.基于 STM32 的矿井微震数据采集监测分站[J].仪表技术与传感器,2013(10):67-69.
PENG Hongxing, GUO Wei. Design of mine microseism data acquisition monitoring sub-station based on STM32[J]. Instrument Technique & Sensor, 2013(10): 67-69.
- [3] 张法全,李宗敏,王国富.高动态范围微震信号采集系统设计[J].工矿自动化,2015,41(10):12-15.
ZHANG Faquan, LI Zongmin, WANG Guofu. Design of microseism signal collection system with high dynamic range[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(10): 12-15.
- [4] 朱超.微震实时在线监测系统研究与实现[D].武汉:武汉科技大学,2012:1-6.
- [5] 李魁.微震监测系统数据采集仪的研究[D].淮南:安徽理工大学,2016:2-5.
- [6] 李怀良.复杂山地多波宽频带地震数据采集关键技术研究[D].成都:成都理工大学,2013:1-6.
- [7] ZHANG B H, DENG J H. Microseismic monitoring analysis methods for disaster prevention in underground engineering[J]. Disaster Advances,

- 2012, 5(4):1420-1424.
- [8] 姜福兴, XUN Luo. 微震监测技术在矿井岩层破裂监测中的应用[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(2): 147-149.
JIANG Fuxing, XUN Luo. Application of microseismic monitoring technology of strata fracturing in underground coal mine[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(2): 147-149.
- [9] 许红杰,夏永学,蓝航,等.微震活动规律及其在煤矿开采中的应用[J].煤矿开采,2012,17(2):93-95.
XU Hongjie, XIA Yongxue, LAN Hang, et al. Application of micro-seismic activity rule in coal mining[J]. Coal Mining Technology, 2012, 17(2): 93-95.
- [10] 余芳芳,郭来功,李良光.基于 STM32F407 的微震信息采集系统设计[J].工矿自动化,2014,40(7):9-12.
YU Fangfang, GUO Laigong, LI Lianguang. Design of microseism information collection system based on STM32F407[J]. Industry and Mine Automation, 2014, 40(7): 9-12.
- [11] 李兴伟.基于 FPGA 的微震监测采集站的研究与设计[D].北京:北京建筑大学,2014:11-13.
- [12] 郭来功,欧阳名三.一种高精度微震信息采集系统[J].仪表技术与传感器,2013(11):65-69.
GUO Laigong, OUYANG Mingsan. Microseismic acquisition system of high precision[J]. Instrument Technique & Sensor, 2013(11): 65-69.
- [13] 毛小波,庾先国,李梁,等.一种新型微破裂信号并行采集电路的设计与实现[J].科学技术与工程,2014, 14(26):244-248.
MAO Xiaobo, TUO Xianguo, LI Liang, et al. The design and implementation of a new type of micro burst signal acquisition circuit in parallel[J]. Science Technology & Engineering, 2014, 14(26): 244-248.
- [14] 董健,马国庆,李守才.基于 ARM7 与 CS5376 的三分量采集系统设计[J].测控技术,2016,35(1):53-55.
DONG Jian, MA Guoqing, LI Shoucai. Design of three-component acquisition system based on ARM7 and CS5376[J]. Measurement & Control Technology, 2016, 35(1): 53-55.
- [15] 韦康,邓焱,汪海山.地震勘探数字滤波芯片 CS5376 与 FPGA 的接口设计[J].清华大学学报(自然科学版),2009,49(5):692-695.
WEI Kang, DENG Yan, WANG Haishan. Design interface between a seismic exploration digital filter chip CS5376 and an FPGA[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2009, 49(5): 692-695.