

基于 STM32 的地震动信号检测识别系统设计*

王杰雷 秦栋泽 裴水源 赵田丽
(中北大学机电工程学院 太原 030051)

摘要:地震动信号检测识别在边防预警、军事战争、石油管道监护、安全监控等领域有广泛应用,对此,设计了地震动信号检测识别系统。系统主要有以下4部分:地震检波器检测震动信号;STM32处理器进行A/D转换、识别算法的实现;GPS北斗定位模块实现目标的定位;无线传输模块进行数据无线传输。通过大量实验验证,该系统使用方便、性能可靠,能够准确识别人员和车辆目标。

关键词:STM32;地震动;信号检测;目标识别

中图分类号: TN971 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4010

Design of seismic signal detection and identification system based on STM32

Wang Jielei Qin Dongze Pei Shuiyuan Zhao Tianli

(School of Mechanical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Based on the wide application of ground motion signal detection and identification in border defense, military, oil pipeline monitoring, safety monitoring and other fields. The system designed the ground motion signal detection and identification system, which uses the ground motion sensor detection signal, STM32 processor is for A/D conversion and the realization algorithm. Combined with GPS Beidou positioning module and wireless transmission module, the system achieves the positioning of the target identification and data wireless transmission. A large number of experiments show that the system is easy to use, reliable performance, accurate identification of personnel and vehicle targets.

Keywords: STM32; ground motion; signal detection

1 引言

随着信息化和传感器技术的发展,现代侦查技术与监视技术有了显著的提高。光学、无线电、雷达等多样化侦察手段的运用,大大提高了侦查能力的精确性。地面传感器侦察系统凭借抗电磁干扰能力强、探测距离远、隐蔽性好、能够在恶劣的环境下全天候工作的独特性能,使其在各重大领域被广泛的应用^[1-3]。

目前国内已有很多对地震动信号检测的识别方法,其大多运用定点单片机和 DSP 作为运算控制器。传统的 8 位、16 位定点 MCU 没有浮点运算单元,运算速度慢,硬件结构不够完善。而现在较流行运算性能高的 DSP 处理器,虽然其精度高,运算速度快,但是由于其高额的成本和较大的功耗,不利于市场的推广。在此情况下,以 ARM Cortex-M4 内核的 32 位处理器 STM32F407 作为系统主

控制器,并结合 GPS 北斗定位模块和无线传输模块,设计了一种新型的地震动信号检测识别系统。

2 系统总体方案设计

地震动信号检测识别系统如图 1 所示,地震动传感器对震动信号进行检测,信号调理电路对检测信号进行放大、滤波处理。STM32 处理器内部集成 ADC 对处理后的信号进行模数转换。处理器配置 GPS 北斗模块,将位置信息和目标识别信息通过无线传输模块发送至 PC 上位机,从而实现远程的预警监控。

3 系统硬件电路设计

3.1 传感器

地震动信号由地面物体运动引起介质偏离平衡位置产生^[4]。地震动传感器又称为地震检波器,是一种能够直

收稿日期:2017-03

* 基金项目:中北大学研究生科技立项基金(20161302)项目资助

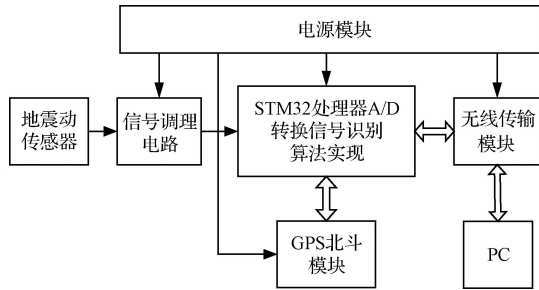


图1 地震信号检测识别系统

接拾取地表震动并将其转换为电能的装置。其种类有很多种,按其工作原理可分为感应检波器、压电检波器、激光检波器等^[5-6]。目前电磁感应式传感器应用较广泛,其依据是电磁感应原理:地面的震动引起传感器内部电磁线圈上下震动,线圈切割由内部永磁体形成的磁感应线,进而形成感应电动势来反应震动信号^[7]。这种传感器原理简单,无需电源供电,价格便宜,具有较强的环境适应力。选用ZF-20DX-10HZ地震检波器,能够检测频率200 Hz以下的垂直或水平地震波,适用于被检测人员和车辆的低频率特点。规格参数如表1所示。

表1 ZF-20DX-10HZ地震动检波器参数

参数	数值
自然频率/Hz	10±5%
假频/Hz	≥200
失真度/%	<0.2
开路灵敏度/(v/m/s)	28.0
开路阻尼	0.30
线圈电阻/Ω	610±5%

3.2 信号调理电路

由于传感器产生的感应电动势为毫伏级,在复杂环境下容易被噪声信号所淹没,根据地面振动信号的带宽主要集中在200 Hz以下的特点^[8],设计了一种低通放大滤波电路如图2所示,其具有低功耗、低噪声的特点。

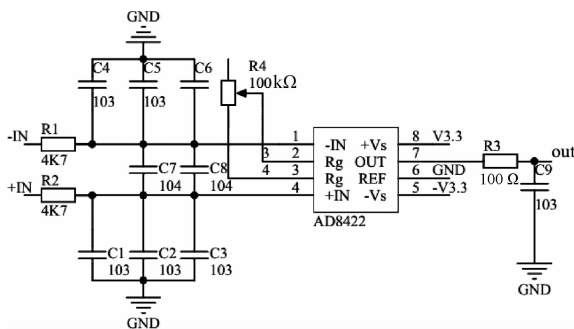


图2 信号调理电路

该信号调理电路使用AD8422仪用运放作为核心放大芯片。该芯片是一款高精度、低噪声、低功耗的轨到轨

仪表放大器,该器件的超低失真性能有利于信号的还原,在整个输出范围内负载不受影响。电压输出函数为:

$$V_{out} = G \times (VIN_+ - VIN_-) + V_{REF} \quad (1)$$

其中放大倍数G为:

$$G = 1 + 19.8 \text{ k}\Omega / R_g \quad (2)$$

电路的放大倍数通过调节电位器 R_i 来改变。信号输入和输出都采用低通RC滤波电路去除高频噪声^[9]。

3.3 STM32处理器介绍

本系统采用的处理器为STM32f407,具有丰富的外设、出色的数据运算能力及低功耗的特点。处理器基于高性能的ARM Cortex-M4的32位RISC内核,工作频率高达168 MHz,带有32位单精度硬件FPU,支持多种DSP指令集,具有很高的处理速度和运算能力^[10-11]。该处理器还具有3个12位ADC——能够完成信号的模数转换;2个DMA控制器,DMA传输方式无需CPU控制传输,通过硬件直接开辟一条I/O到RAM的数据传输通道,加快了数据的处理;6个串口能够完成控制器和GPS北斗定位模块、无线传输模块数据的交互。

3.4 GPS北斗定位模块

ATK-S1216F8-BD模块是一款高性能GPS/北斗双定位模块。该模块体积小、性能优异,使用方便,可以通过串口设置参数,并保存至内部FLASH。模块自带IPX有源天线接口,定位精度为2.5 m CEP,更新速度为20 Hz。该模块兼容3.3 V电平,方便与STM32处理器连接^[12]。模块与STM32连接如图3所示。

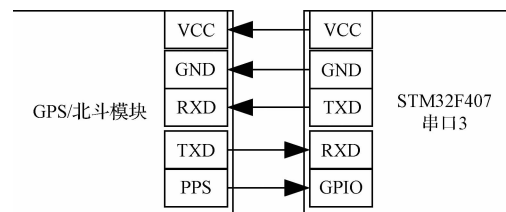


图3 GPS/北斗模块和STM32连接示意图

3.5 无线传输模块

无线传输模块采用YL-100IL无线透明数传模块,该模块能够在不改变数据及协议的情况下,完成无线数据传输功能。通过STM32的串口1可以灵活配置模块的通讯速率、发射功率、工作信道等参数。其接收灵敏度高达-121 dBm,传输距离为1 000 m以上。通过STM32的I/O引脚高低电平配置其休眠、唤醒状态。系统没有检测到目标时为休眠状态,电流小于10 μA时开启低功耗模式,目标出现即开始发送数据。

4 系统软件设计

4.1 目标信号识别

过零分析是指确定的时间段内时域上信号幅值与设定阈值的比较,计算出信号的正向越过和负向越过阈值的次数^[13]。其本质表征一定采样频率下,信号过零点数和

信号频谱的密切关系。若信号是频率为 f 的正弦信号,则其过零数^[14]。

$$N = kf \tag{3}$$

式中: k 为比例系数。

对于频率范围为 $f_1 \sim f_2$ 的平稳高斯随机信号,单位时间内的过零点数与功率谱 $G(f)$ 的关系为^[14]:

$$N = 2 \sqrt{\int_{f_1}^{f_2} f^2 G(f) df / \int_{f_1}^{f_2} G(f) df} \tag{4}$$

式(4)表明,信号的主频越高,则单位长度信号中过零点数越多。

图 4、5 分别是经过信号调理电路滤波放大后,获得的人员脚步震动信号和车辆震动信号,采样率为 1 kHz。在 5 s 的采样时间内,人员脚步信号可以看做离散的脉冲信号,而车辆信号频率较高,可近似为连续信号。运用过零分析原理设定过零阈值 θ , 信号过零数 M , 过零分界数 N 。通过比较 M 和 N 的大小即可分辨出目标是人还是车。

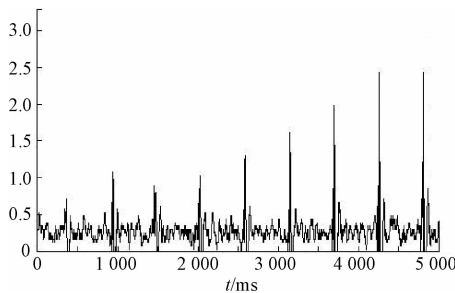


图 4 员脚步震动信号

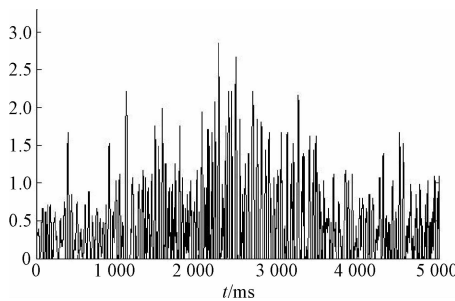


图 5 车辆振动信号

4.2 滤波去噪

信号处于复杂环境时,外部环境的干扰会使信号出现波动。系统要对采样的信号进行均值滤波,滤除随机干扰信号,使信号更加平滑,以便更好的还原震动目标信号^[15]。

4.3 控制系统程序设计

控制系统程序设计流程如图 6 所示,系统上电对 STM32 进行初始化,配置并启动 GPS 北斗模块进行定位;配置无线数传模块使其进入休眠状态;启动 A/D 转换,使能 DMA 进行数据转换存储,对转换的数据进行均值滤波。当检测到采样值大于预设阈值时,说明发现目标,此时开启定时器,计时 3 s,当定时器溢出时关闭定时

器并计算过零点数。3 s 内过零点数若大于分界数 N ,则确定目标为车辆,反之目标为人。此时唤醒无线数传模块,发送位置和预警信息给上位机。

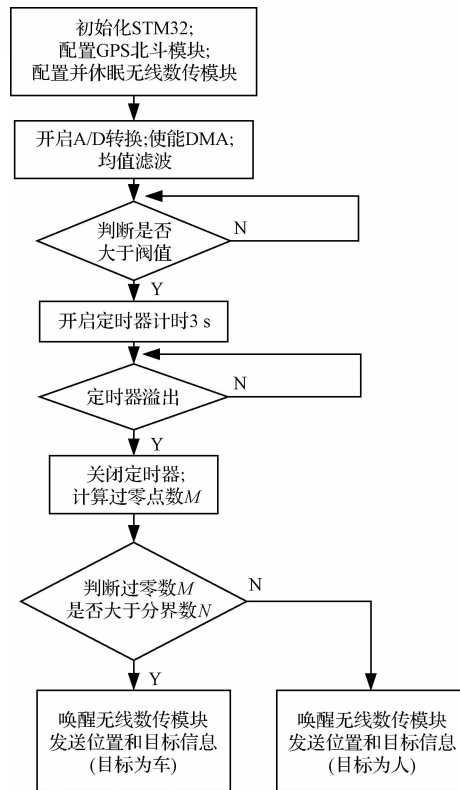


图 6 控制系统流程

5 实验结果与分析

此试验在硬质路面进行,天气晴朗,微风,人员目标和车辆目标与传感器的距离分别为 15、20、25 m。每组实验进行 60 次,实验结果如表 2 所示。通过实验可知,距离 20 m 以内时,系统有较高的正确预警率,距离增大到 25 m 时,出现一定的虚假预警但是概率很小。对比车辆和人的测试结果,相同距离下车辆目标的正确预警率高于人员目标。实验结果表明该系统有较高的可靠性。

表 2 实验测试结果

目标	距离/m	测试次数	正确预警次数	正确预警率/%
人	15	60	58	97
	20	60	56	93
	25	60	53	88
车	15	60	59	98
	20	60	57	95
	25	60	54	90

6 结论

针对现有地震动检测系统存在的缺陷,设计了基于

STM32F407 地震动信号检测识别系统。实验结果表明,系统有较高的准确性,能够进行目标的定位、预警信息的远程传输。随着距离的增加,系统的预警率降低。当距离达到 20 m 时,对车辆的正确识别率为 95%,对人的识别率可达 93%;距离增加到 25 m 时,对车辆的识别率为 90%,对人的识别率为 88%。系统结构简单、使用方便,具有较高的实际应用价值。但系统也存在一些不足,可对算法进行进一步优化,以达到更高的预警率。

参考文献

- [1] 李秀成. 基于地震动传感信号的目标识别研究[J]. 无线电工程, 2014(5): 26-29.
- [2] 李剑, 韩焱, 陈县辉. 一种新型地下震动传感器设计[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(11): 2458-2463.
- [3] 李淑清. 基于 DSP 与 FPGA 的光栅地震检波器的信号处理[J]. 国外电子测量技术, 2009, 28(10): 23-26.
- [4] 王京伟. 基于地震动信号的人员定位和跟踪滤波[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- [5] 吴学兵, 刘英明, 高侃. 干涉型光纤地震检波器研发及效果分析[J]. 石油物探, 2016, 55(2): 303-308.
- [6] 贝翠琳, 杨金鹏. 基于光纤光栅传感的地震检波器设计[J]. 计量与测试技术, 2016, 42(2): 47-49.
- [7] 管明波. 基于 FPGA 与 PC 机的地震动信号采集与处理系统的研究与实现[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
- [8] 石云波, 刘俊, 王玲. 地面运动目标的震动信号的特性分析[J]. 传感技术学报, 2007, 20(4): 874-876.
- [9] 荣少巍. 基于 STM32 的实收实发超声波检测系统研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(9): 54-58.
- [10] 冉国栋, 梁振. 地震勘探仪器前放的作用及增益参数选择研究[J]. 化工管理, 2016, (12): 213.
- [11] 郑一维, 李长俊, 吴讯驰, 等. 基于 STM32 的电能质量检测技术研究[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(6): 72-74.
- [12] 吴甜甜, 张云, 刘永明, 等. 北斗/GPS 组合定位方法[J]. 遥感学报, 2014, 18(5): 1087-1097.
- [13] 王建平, 焦国太, 秦栋泽, 等. 基于地震动信号的目标识别[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(1): 191-195.
- [14] 刘勇, 赵河明, 张亚, 等. 地面震动信号采集及分析技术研究[J]. 水电能源科学, 2010, 28(5): 130-131, 143.
- [15] 许永峰, 贺玉成, 周林. 脉搏搏振荡波动的三重软件滤波提取算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(3): 454-459.
- [1] 李云涛, 陈永光, 邓云凯, 等. 方位多通道合成孔径雷达数据重建方法[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(3): 628-632.
- [2] 郝参观. 高分辨率宽测绘带合成孔径雷达的新体制研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2012.
- [3] KIM H, CHANG Y K. Mission scheduling optimization of SAR satellite constellation for minimizing system response time[J]. Aerospace Science & Technology, 2015, 40: 17-32.
- [4] 徐青. 多通道雷达系统阵列误差校正方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- [5] 马喜乐, 孙造宇, 董臻, 等. 方位多通道 SAR 信号重建性能分析[J]. 电子与信息学报, 2014, 36(3): 545-551.
- [6] 赖涛. 星载多通道 SAR 高分辨宽测绘带成像方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.
- [7] 马喜乐. 偏置相位中心多子带 HRWS SAR 技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.
- [8] 杨桃丽. 星载多通道高分辨宽测绘带合成孔径雷达成像处理技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- [9] 刘艳阳, 李真芳, 索志勇, 等. 一种星载多通道高分辨率宽测绘带 SAR 系统通道相位偏差估计新方法[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(8): 1862-1868.

作者简介

王杰雷, 1991 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为探测制导与控制。

E-mail: 601346626@qq.com

作者简介

李奥坤, 1992 年出生, 硕士生, 研究方向为星载方位多通道 SAR 定标理论与技术。

E-mail: 452041332@qq.com

洪峻, 1960 年出生, 研究员, 博士生导师, 长期从事合成孔径雷达定标及定量遥感应用技术研究。

明峰, 1977 年出生, 副研究员, 从事 SAR 定标理论与量化的研究。