

李从庆,滕云田,孙鸿,等.基于 GPS 的人工地震测深零时仪研制[J].地震工程学报,2018,40(6):1384-1388.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.06.1388

LI Congqing, TENG Yuntian, SUN Hong, et al. Development of a Clock Device for Artificial Seismic Sounding Based on GPS [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(6): 1384-1388. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.06.1388

基于 GPS 的人工地震测深零时仪研制

李从庆^{1,2}, 滕云田¹, 孙 鸿², 祝彦杭², 郭 磊²

(1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 2. 中国地震局地球物理勘探中心, 河南 郑州 450002)

摘要: 在人工地震测深野外数据观测系统中,通过人工爆破激发地震波,利用布设在测线观测点位置上的地震仪采集来自地壳上地幔的地震波震相信息来进行地震成像,获得研究区地壳上地幔精细结构、深浅部构造关系和发震构造的空间展布特征,进而研究岩石圈演化和动力学过程。为进行后期地震波资料信息的精确处理,需获得人工爆破地震波激发时刻的高精度时间和地理坐标信息。设计一种基于 AT89C5115 微处理器的 GPS 同步零时仪装置,介绍其硬件结构设计和固件程序实现方法,授时精度达微秒级,具有人机交互控制和信息数据通信功能。经室内测试和野外实验,零时仪装置运行稳定可靠,能完全满足野外测深工作的需要。

关键词: 地震测深; GPS; 零时仪; AT89C51 微处理器

中图分类号: P315.62

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)06-1384-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.06.1384

Development of a Clock Device for Artificial Seismic Sounding Based on GPS

LI Congqing^{1,2}, TENG Yuntian¹, SUN Hong², ZHU Yanhang², GUO Lei²

(1. Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China;

2. Geophysical Exploration Center, CEA, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: In field data observation systems for artificial seismic sounding, seismic waves are generated by artificial explosion. Seismometers deployed along the surveying line are used to collect the seismic phase information from the crust and upper mantle. This information helps understand the fine structure of the crust and upper mantle, the relationship between shallow and deep structures, and the spatial distribution characteristics of seismogenic structures. Information on these topics aids the study of the evolution and dynamic processes of the lithosphere. It is critical to determine the accurate explosion trigger time and geographical position of the explosion spot to meet the needs of the subsequent seismic data processing. In this study, a new GPS synchronization clock device based on MCU AT89C5115 is designed. This paper introduces the hardware structure and implementation method of the firmware program of the device. The device has the functions of human-machine interaction control and data communication. Indoor and outdoor test results indicate that the clock device is stable and reliable and can meet the needs of artificial seismic field work.

Keywords: deep seismic sounding; GPS; clock device; AT89C5115

收稿日期: 2018-05-17

基金项目: 中国地震局地球物理勘探中心青年优秀科技人才专项项目(SFGEC2014010)

第一作者简介: 李从庆(1982-),男,河南安阳人,在读博士,高级工程师,主要研究方向: 嵌入式系统技术与地震仪器研制。

E-mail: congqiangli@yeah.net.

0 引言

人工源地震方法探测地壳上地幔结构是了解地球内部矿藏资源、认识地球内部孕震构造和地球动力演化过程的重要途径。人工源地震测深利用人工爆破激发弹性波,通过地表布设的地震仪接收来自地下深部界面的各种地震波,并根据地震波的运动学和动力学特征对观测地震记录进行分析计算,从而了解特定区域的地壳上地幔结构^[1]。自 20 世纪 50 年代末以来,中国地震局地球物理勘探中心累计完成的深地震测深宽角反射/折射剖面近 4 万 km,深地震垂直反射剖面 1 000 km,为地震活动区深部构造及其细结构、大震孕育环境、发展构造的深部特征的研究,地壳和上地幔结构与地球动力学过程的研究,火山深部结构探测研究,油气生成的深部构造环境的研究取得了海量观测数据。在人工源测深野外数据观测中,井下爆破激发时刻如何精确捕获记录并获取爆炸点位经纬度信息,对野外数据的后期处理极其重要,如果出现意外,整个野外数据观测工作将蒙受巨大的时间、人力和经济损失。因此,为解决野外人工地震数据观测中这一实际技术问题,文本研制了一种基于 GPS 的人工地震测深零时仪。

1 零时仪硬件系统结构

零时仪硬件设计由 8051 微处理器、GPS OEM 接收模块、LED 显示、按键控制、RS-232 串口转换

接口以及外置电磁感应棒等构成。零时仪硬件系统框图如图 1 所示。

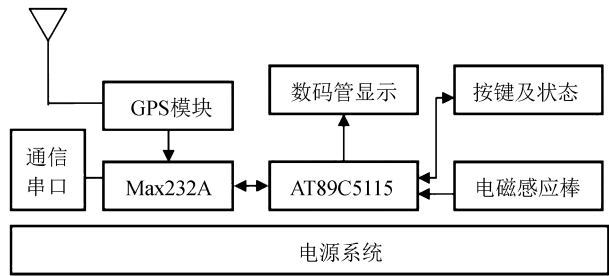


图 1 零时仪系统框图
Fig.1 Block diagram of the system

1.1 微处理器

微处理器采用 Atmel 公司低功耗、高性能 AT89C5115,内置 16 kB Flash 固件存储器,256 B 片上 RAM 和 XRAM,2 kB 片上 EEPROM,14 路 4 优先级中断源,3 通道 16 bit 计数器/定时器,全双工 UART 接口,以及 21 bit 硬件看门狗、10 bit 分辨率的 ADC^[2]。在 X2 模式下,AT89C5115 内核工作频率高达 40 MHz,具备 Idle 模式和 Power-down 模式最大限度降低系统功耗,工作电源 3.0~5.5 V。本设计采用 5 V 电源系统,为保证微处理器可靠上电复位,Reset 管脚需外接一 10 uF 电容上拉至系统电源。以微处理器 AT89C5115 为核心,主要控制和处理 UART 通信、爆破感应信号、GPS 报文信息、数码管显示驱动以及按键输入和 LED 状态指示等。零时仪器 AT89C5115 硬件电路设计如图 2 所示。

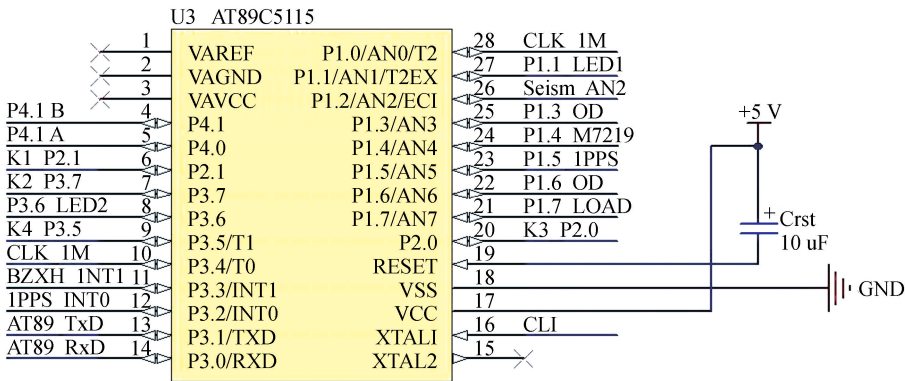


图 2 微处理器 AT89C5115 硬件电路
Fig.2 Hardware circuit of the MCU AT89C5115

1.2 LED 数码管显示与驱动

人工地震测深零时仪采用 LED 七段共阴极数码管显示运行时刻,包括时、分、秒和毫秒共 9 位。人工地震测深野外观测时段通常安排在夜晚进行,LED 相比 LCD 显示亮度更强、视觉更清晰,且 LED

数码管具备更宽的温度适应范围,特别是在温度降到 0℃以下时普通 LCD 基本上不能正常工作显示。为了节约微处理器的 I/O 资源和降低系统功耗,零时仪电路设计采用动态显示驱动方式,选用 Maxim Max7219 驱动芯片^[3]。Max7219 是一款串行接口 8

2 固件程序设计

零时仪固件程序存储在微处理器片上 Flash 中,同时开机上电后也直接运行在 Flash 存储器上。固件程序主要由软件时钟代码模块、GPS 报文解码同步代码模块、EEPROM 读写代码模块、数码管显示驱动代码模块、UART 串口通信代码模块、按键输入处理代码模块以及感应棒中断处理程序组成。下面简要介绍一下 GPS 报文解码和 Max7219 数码管显示驱动的代码设计。

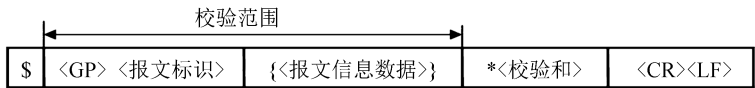


图 5 GPS 报文帧结构
Fig.5 Frame structure of GPS message

零时仪上电复位后微处理器串口首先切入 GPS 模块报文输入通道,固件程序以中断方式接收报文信息并利用 GPRMC 语句判断当前 GPS 定位信息是否有效^[7]。如果定位有效,则分别解析 GPGGA 语句和 GPRMC 语句提取经纬度、高程和日期、时间信息。然后把日期和时间赋值给软件时钟,并做时区校正为北京时间,待 1PPS 信号上升沿时刻把软件时钟毫秒数据置零,同时启动软件时钟,关闭 GPS 模块串口通道,结束 GPS 较钟过程。零时仪 GPS 解码较钟流程图如图 6 所示。

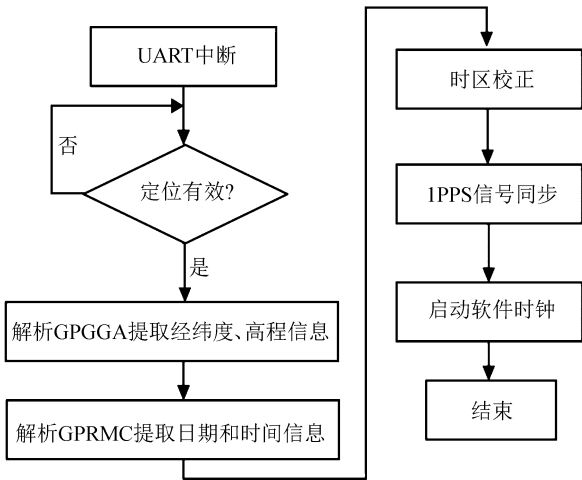


图 6 零时仪 GPS 解码较钟流程图
Fig.6 Flow chart of GPS message decoding

2.2 Max7219 驱动

零时仪在结束 GPS 较钟过程以后,因 GPS 报文 UART 通道和数码管显示 UART 通道分时复用 AT89C5115 微处理唯一的 UART 接口,固件程序

2.1 GPS 报文解码

GPS 模块 LEA-6T UART 默认波特率为 9 600 bps,无奇偶校验,8 个数据位,1 特起始位,1 个停止位。报文为 NEMA-0183 帧格式并以 ASCII 码形式输出。报文起始标识为美元符号“\$”,随后依次为“<GP><报文标识>”域,“{,<报文信息数据>}”域和“*<校验和>”域,以及结尾标识“<CR><LF>”。其中,校验和的校验范围只包括“<GP><报文标识>”域和“{,<报文信息数据>}”域^[5-6]。报文帧结构如图 5 所示。

需要重新初始化 UART 接口,使其工作在同步串行通信模式下与 Max7219 驱动芯片建立通讯连接。然后,固件程序调用 Max7219_Init() 函数完成对 Max7219 驱动芯片的初始化工作,包括设置解码模式、显示亮度等级、扫描频率等。最后,固件程序启动数码管显示刷新函数 LED_Display() 函数,这时时、分、秒和毫秒的时间信息就显示在零时仪面板上^[8]。在 Main() 函数主循环中,除完成数码管的显示刷新外,还需运行按键处理函数和爆炸感应信号处理函数。按键处理函数负责完成“锁定”“时钟”“回显”和“联机”4 个按键的功能定义。爆炸感应信号处理函数负责完成来自感应棒的触发脉冲上升沿信号的捕获,进而锁定爆炸触发的准确时间信息并连同经纬度、高程信息写入 EEPROM 存储器,形成一个事件记录。最终事件记录可以通过面板上的通信串口上载到 PC 机。固件程序主体运行流程如图 7 所示。

3 样机测试与试验应用

零时仪样机研制完成后,在室内对其做了测试和运行试验。零时仪外观如图 8 所示。首先,对两台零时仪做比对运行试验。其中一台使用泰克 AFG3051C 任意函数发生器产生 1 MHz 的标准频率信号作为软件时钟的参考信号,同时另一台样机使用板上的高精度 TCXO 作为其参考信号。室内安装有 GPS 信号转发器保证 GPS 信号的覆盖。两台零时仪同时开机上电,约 60 s 零时仪完成启动。对比试验以 24 h 为一个运行周期,经多次运

行发现,两台零时仪运行时间误差在 1~2 ms 之间,完全满足野外人工地震测试需要。其次,验证联机通信功能。使用 RS-232 串口线连接 PC 机和零时仪,并在 PC 机上运行串口助手软件,最后按下零时仪“联机”按键,即可在串口软件助手接收窗口中获取爆炸事件记录信息。PC 机联机通信如图 9 所示。

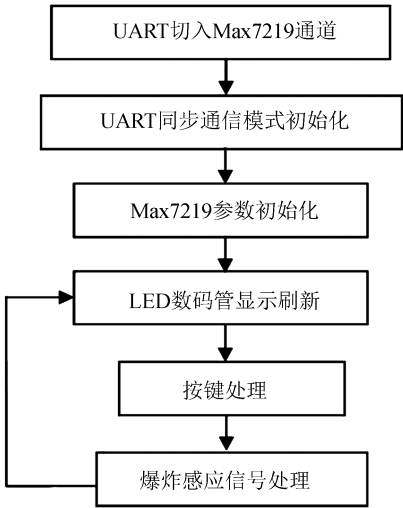


图 7 固件程序主体运行流程

Fig.7 Operation flow of firmware program



图 8 零时仪外观

Fig.8 Appearance of the device

4 总结

本文研制的人工地震测深零时仪利用电磁感应棒获得人工地震野外炮场井下爆破激发的高压激发信号,触发零时仪经 GPS 高精度同步的软件时钟,从而捕获人工爆炸激发的准确时刻信息,并同时获

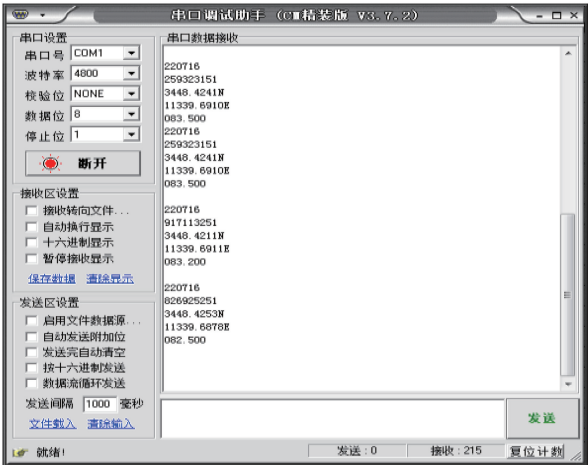


图 9 PC 机联机通信

Fig.9 On-line communication with PC

取爆破并位的经纬度、高程信息,形成具有固定数据格式的爆炸事件记录。该爆炸事件记录连同地震波形记录一起完成原始数据入库,为后期人工地震资料解释处理提供了重要的数据保障。

参考文献(References)

[1] 原秦喜,孙鸿,戴鹏,等.人工地震测深和天然地震流动观测兼用的轻便数字地震仪系统[J].中国地震,1999,15(2):159-166.
YUAN Qinxì, SUN Hong, DAI Peng, et al. Portable Digital Seismic Data Acquisition System for Deep Seismic Sounding and Earthquake Survey[J]. Earthquake Research in China, 1999,15(2): 159-166.

[2] RAMON Pallas-Areny.传感器和信号调理[M].北京:清华大学出版社,2003.
Ramon Pallas-Areny. Sensors and Signal Conditioning[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.

[3] 钟富昭.8051 单片机原理及软硬件设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,2014.
ZHONG Fuzhao. Principle of 8051 Microcontroller and Design of Software and Hardware[M]. Beijing: Beihang University Press, 2014.

[4] ATMEL. AT89C5115 Low Pin Count 8-bit Microcontroller [Z].Atmel Corporation, 2008.

[5] UBLOX. LEA-6/NEO-6/MAX-6 u-blox 6 GLONASS, GPS & QZSS modules Hardware Integration Manual[Z]. Ublox Corporation, 2015.

[6] NMEA. NMEA Reference Manual Revision 2.2[Z]. National Marine Electronics Association, 2008.

[7] UBLOX. U-blox 6 Receiver Description Including Protocol Specification[Z]. Ublox Corporation, 2013.

[8] MAXIM. Max7219 Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers[Z]. Maxim Integrated Corporation, 1997.