

基于无线数据采集技术的弹性波测量仪研制*

王洪辉 唐先国 余小平

(成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室 成都 610059)

摘要:工程勘探环境的日益复杂带来了弹性波测量仪的数据采集与传输难题。采用高精度 ADC 设计数据采集单元, nRF 无线收发集成芯片设计数据传输单元, 实现弹性波测量仪的无线数据采集。仪器在“5.12 汶川地震”某地质区域进行了地质勘探应用实验研究, 找出了某处隐伏断层, 结果表明, 该成果打破了传统的有线数据采集方式, 实现了便携式工程勘探, 作业时间缩短到传统测量仪的 1/3, 具有较好应用前景。

关键词: 弹性波; 无线数据采集; nRF; ADS1271; 便携式

中图分类号: TN763

文献标识码: A

文章编号: 1001-1390(2009)06-0072-03

Development of Elastic Wave Measuring Instrument Based on the Wireless Data Acquisition Technology

WANG Hong-hui, TUO Xian-guo, YU Xiao-ping

(State Key laboratory of Geo-hazard Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract :With the increasing complexity of the engineering exploration circumstance, the elastic wave measuring instrument's data acquisition and transmission problems were brought about. Thus, the latest ADC (Analog to Digital Converter) with high precision was adopted to design the signal sampling element, and the nRF integrated wireless transceiver chip was used to form the data transmission unit. In one of the geological region of the “5.12 Wenchuan Earthquake”, the geological survey has been done with the instrument above and somewhere a hidden CT has been found. The above achievements show that the research has broken down the traditional fixed wire mode, realized the goal of portable exploration and shorten the operation time to the 1/3 of the traditional measurement. The project has a better prospect.

Key words elastic wave, wireless data acquisition, nRF, ADS1271, portable

0 引言

弹性波测量仪是集中了传感技术、电子技术、计算机技术、数据传输技术、通讯技术等为一体的综合系统^[1,2], 主要用于解决矿山、铁路、建筑等各种工程地质测量问题。目前国内工程用弹性波测量仪的主要问题有^[1,2,4]: 采集系统绝大多数采用 24bit ADC, 但输出结果存在较大误差, 数据杂散范围为 500~600 个 LSB (最低有效位), 严重降低了系统的分辨率^[1,5,9]; 国内对遥测系统进行了一定研究, 多数基于 GPS 时间同步, 由于 GPS 接受机成本较高, 目前没有成功的仪器推

出。国外无线弹性波测量仪已经成功应用到实际施工中, 但价格较高。

据此, 对以上问题进行了新方法、新技术的研究: 采用先进的电子器件和完整的系统噪声设计, 提高系统的有效分辨率, 把采样摆动范围控制在 400 个 LSB 以内, 采用 nRF 系列芯片进行近距离(500 米内)无线数据传输^[8]。

1 系统总体设计

根据指标要求, 提出了以 MCU 为核心的设计方案^[3,7]。总体原理框图如图 1 所示。

* 国家自然科学基金资助项目(40574059) 国家创新方法工作专项资助项目(2008IM040500); 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室开放基金资助项目(GZ2007-02, Gz2007-12); 国家科技支撑计划课题资助项目(2008BAK47B04)

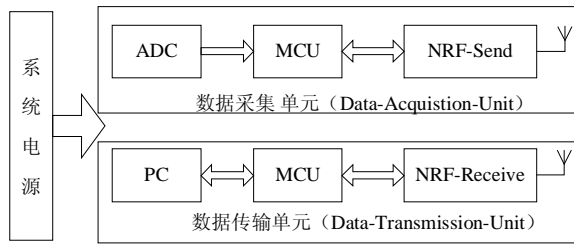


图 1 系统总体设计原理框图

Fig.1 Block diagram of the whole system

数据采集单元主要由 MCU 控制一个 24 位的 ADC 对弹性波信号进行采样, 转换之后的数字信号通过无线发射器 NRF-Send 实现与主机的无线传输; 数据传输单元包括数据、命令的无线发送和本地接收。MCU 控制无线接收器 NRF-Receive 完成数据的接收, 通信接口完成与上位机的通信, 信号处理部分在上位机 PC 上通过 VC++ 软件编程实现。

采用信号调理电路降低系统噪声, 同时参考基准电压为 ADC 提供高质量稳定直流参考, 共同保证 ADC 的有效分辨率。数据传输部分采用专用无线数据传输模块 nRF 实现。整个设计采用微控制器 MCU 作为控制中心, 软件开发主要包括 ADC 的时序控制、无线通信模块 nRF 的数据收发控制以及数据的编码、打包、解码等。

2 数据采集单元实现

采用 ADS1271 作为数据采集芯片。针对该芯片全差分的特点(输入信号全差分、参考电压基准全差分) 对其外围电路进行了设计, 原理如图 2 所示。

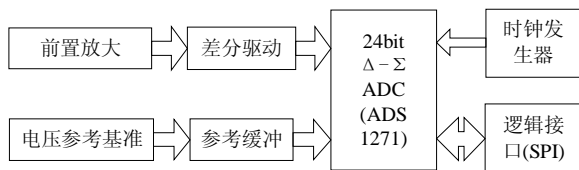


图 2 数据采集原理框图

Fig.2 Block diagram of data acquisition

首先对输入信号进行了前级预处理, 主要有前置放大器、差分驱动器设计, 使输入给 ADC 的信号为全差分, 参考电压基准采用了基准稳压芯片输出 2.5V, 并进行了参考输入的缓冲处理, 最大程度上减小后级对参考电压的影响; 由于 ADS1271 需外接时钟, 这里设计了外部时钟产生单元; 逻辑接口部分包括 ADS1271 的逻辑控制脚, 用以实现对其工作模式、数据输出格式进行控制; 数据接口部分采用 SPI 与 MCU 接口。

采用了具有极低噪声($1.2\mu V_{pp}$) 的电压基准芯片 ADR441^[10], 其输出电压为 $V_{out1}=2.5V$, 后级采用了容性

负载以避免其输出振荡输出 $V_{out2}=1.25V$ 。同时设计了双差分结构得到 $V_{REFP}-V_{REFN}=2.5V$ 的差分参考基准电压, 匹配 ADC 双差分结构, 如图 3 所示。

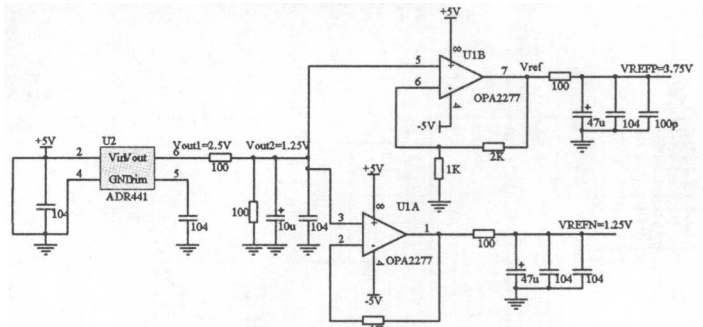


图 3 参考电压实际电路图

Fig.3 Circuit diagram of the Vref

为了满足后端 ADS1271 的结构要求, 设计了输入信号调理电路。前级采用了 INA163 进行了前置放大器, 其 $R_C=1k$ 根据 INA163 的内部电路结构, 计算其放大倍数为 $G=1+6000/R_C$, 这里 $G=7$ 。对 INA163 的 R_{ef} 端进行了跟随设计, 隔离地上的噪声。采用 AD8131, 实现 INA163 全差分信号输出。AD8131 固定放大 2 倍, 不需要另外加反馈电阻, 减小增益误差。结合前级, 总的增益放大为 $7 \times 2=14$ 倍。电路如图 4 所示。

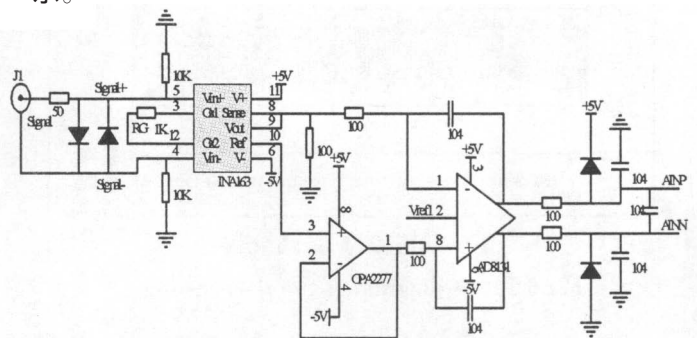


图 4 信号调理电路图

Fig.4 Circuit diagram of the Vref

3 数据传输单元实现

目前, 我国国产的工程弹性波测量仪都采用有线电缆传输数据, 需要大量的人力、物力, 并受到地形的限制, 大大降低了工作效率^[6,9]。无线弹性波测量仪主要集中在国外几家大型物探装备公司生产和销售, 价格偏高, 给国内一些物探公司带来较大的经济压力。由此, 提出了无线传输方案。

采用了 Nordic 公司 nRF905 无线收发芯片^[9]。它集成了 VLSI Shock-Burst 技术。在 Shock-Burst RX 模式中, 地址匹配 AM 和数据准备就绪 DR 信号通知 MCU 一个有效的地址和数据包已经各自接收完成; 在 Shock-Burst TX 模式中, nRF905 自动产生前导码

和 CRC 校验码 ,数据准备就绪 DR 信号通知 MCU 数据传输已经完成。

nRF905 无线收发电路如图 5 所示。

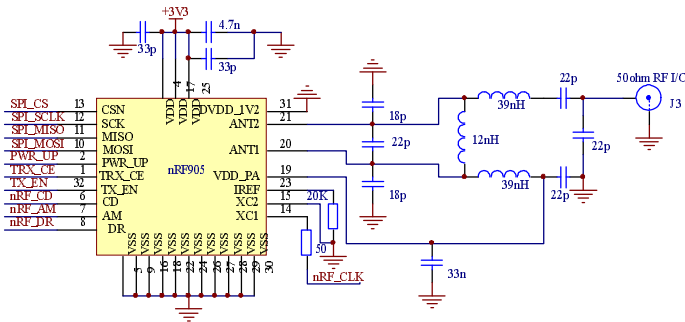


图 5 nRF905 电路图

Fig.5 Circuit diagram of the nRF905

4 测试结果及结论

4.1 实验测试

针对数据采集模块的采集精度(有效位)进行了实验,将输入端固定为一个直流电平,连续采样后,扣除直流,得到采样点摆动范围,如图 6 所示。

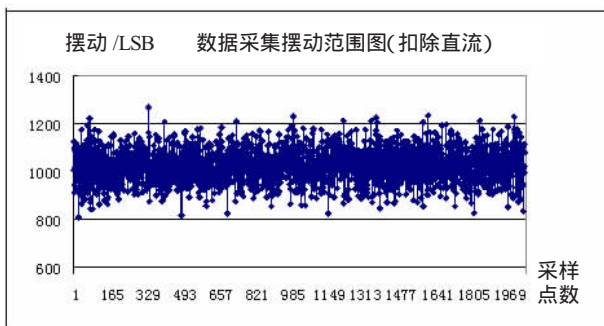


图 6 ADS1271 测试数据

Fig.6 Block diagram of the data testing

图中数据显示,ADC 输出数据 98% 分布在 400LSB 以内(800~1200LSB),折算成电压值为 119.2μV。

4.2 工程应用试验

在某地质调查课题野外施工的基础上,对弹性波测量仪样机进行了实际应用。通过对地质区域的实地测量(野外 500 米无误码传输,实现 48 通道弹性波数据采集与接收),找出了地下 57 米处的一个断裂,与高密度电法勘查的结果比较,位置信息一致,说明该仪器满足工程数据处理与解释的要求,应用效果较好。存在的问题是无线传输误码率随着野外施工环境的复杂度增加而增加,当使用大功率无线模块时,情

况较好,但整机功耗较大,有待进一步改进。

本文将无线数据采集技术应用到工程地质勘探上,打破传统的有线传输方式,布线简单,工作效率大大提高,时间缩短到有线方式的 1/3,是方法上的创新,设计的噪声控制方案,提高了数据采集的有效分辨率。

参 考 文 献

- [1] 熊章强,方根显.浅层地震勘探[M].北京:地震出版社,2002:55-89.
- [2] 张剑锋,李幼铭.横向非均匀介质中弹性地震波传播的数值模拟[J].地震工程与工程振动,1995,15(3):21-31.
- [3] ZHANG Ji-feng, LI You-ming. Numerical simulation of elastic seismic wave propagation in laterally inhomogeneous media [J] Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 1995,15(3):21-31.
- [4] 余小平,奚大顺.电子系统设计-基础篇[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007,(3):229-263.
- [5] 李志华,潘和平.基于虚拟仪器技术的浅层地震仪[J].仪表技术与传感器,2008,(8):31-32.
- [6] LI Zhi-hua, PAN He-ping. Design of shallow seismograph based on virtual instrument [J]. Instrument Technique and Sensor, 2008,(8):31-32.
- [7] 冯宏.地震勘探仪器中的 24 位数据采集技术[J].石油仪器,1997,11(3):10-15.
- [8] FENG Hong. 24-bit Data acquisition technique in seismic exploration instrument [J]. Petroleum Instruments, 1997, 11(3): 10-15.
- [9] 夏祥瑞.当今物探仪器的发展趋势[J].物探装备,2000,10(2):1-4.
- [10] Xia Xiang-ri. The trend of geophysical prospecting instrument [J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2000,10(2):1-4.
- [11] WANG Hong-hui, TUO Xian-guo, MU Ke-liang et al. Development of digital slip pulse generator based on FPGA & MCU [J]. Nuclear Technology, 2007, 30(10):868-871.
- [12] Nordic Semiconductor. Single chip 433/868/915 MHz transceiver nRF905. [EB/OL]. http://member.ic37.com, 2004.
- [13] 王文良. I/O System Four 全数字遥测地震仪的性能、特点及与以往地震仪器的对比[J].物探装备,2005,15(4):232-246.
- [14] WANG Wen-liang. Property and characters of I/O system four full digital telemetry seismograph and compare with former seismographs [J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2005,15(4):232-246.
- [15] Analog devices. Ultra-low Noise, LDO XFET Voltage®References with Current Sink and Source. [EB/OL]. http://member.ic37.com, 2000.

作者简介:
王洪辉(1985-),男,汉族,湖北孝感人,硕士研究生,从事电子电路设计。Email:wanghh_945@163.com
虞先国(1966-),男,汉族,湖南澧县人,博士(后)教授,博士生导师,四川省学术与技术带头人,从事核技术及应用科研与教学工作。
余小平(1970-),男,汉族,四川邻水人,硕士,讲师,从事电子技术应用科研与教学工作。

收稿日期:2008-12-13
(常会敏 编发)