网络出版时间：2015-06-16 11:12
网络出版地址：http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1043.N.20150616.1113.020.html
第 28 卷 第 2 期 石家庄铁道大学学报(自然科学版) Vol. 28 No. 2
2015 年 6 月 JOURNAL OF SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE) Jun. 2015

无线传感器网络在矿山微震定位系统中的应用

薛 强[1]， 叶 明[2]， 范君菲[3]

(1. 石家庄铁道大学 电气与电子工程学院，河北 石家庄 050043；2. 河北省科学技术馆，河北 石家庄 050000；
3. 北京铁路局 石家庄职工培训基地，河北 石家庄 050000)

摘要：针对传统矿山定位监测系统中有线方式成本高、资源浪费、可操作性差等问题，将无线传感器网络技术应用于矿山微震定位。通讯系统采用由末端网络节点和中心节点构成的星形无线传感器网络结构。应用时钟同步技术，末端节点将矿震信号通过射频模块上传给中心节点，进而通过上位机完成对数据的进一步处理。该系统为无线通信在矿山越界开采监测中的应用研究。

关键词：无线传感器网络；数字信号处理；无线通信；时钟同步

中图分类号：TN98 **文献标志码：**A **文章编号：**2095-0373(2015)02-0102-05

0 引言

越界开采行为是当前我国矿产资源开采中普遍存在的“顽疾”。执法部门应加大对越界开采违法行为的打击力度，维护矿产资源开采秩序，并依法处罚违法主体。在采用炮采开矿的矿山中，利用矿山开采时所产生的微震信号对震源进行定位，是执法部门获取越界开采证据的重要手段。但是，目前很多研究中大型矿山的监测定位系统采用有线传感器方式采集矿山震动信号[1-2]，这种有线方式降低了监测的实效性和可操作性，同时又加大了人力和财力的投入。

针对传统矿山矿震事件监测的特点，以无线通讯为核心技术，设计开发了适合于野外无人值守的无线传感器网络，并将之应用于矿山越界开采监测系统。该系统由无线传感器网络节点和中心站组成，传感器节点利用太阳能实现不间断供电，采集震动信号波形及震动波头到时参数，通过无线射频模块上传至中心站，位于中心站的上位机将结合接收到的各通道波形以及时间参数通过已有的定位算法计算得到矿山开采爆破震源的准确位置。该系统主要针对矿山越界开采监测而设计，并已将之成功应用于矿山越界开采在线监测系统当中；另外，系统所采用的太阳能供电方案以及无线通讯数据传输方式亦可应用于其它无人值守野外监测领域中。

1 系统总体设计

系统总体硬件结构如图 1 所示。无线传感器网络采用星形网络，硬件结构由无线传感器网络节点和中心节点两部分构成。无线传感器节点主要为 Cygnal 公司的 C8051F020 单片机和以 nRF905 芯片为核心部件的射频模块 RFC-30H。C8051F020 单片机采用低功耗设计，25MIPS 高速流水线结构，内嵌 8 通道的 12 位可编程增益放大器 ADC，64K 系统可编程 FLASH 存储器，4 352 Byte 片内 RAM。nRF905 射频模块 RFC-30H 工作于 433 MHz 开放的 ISM 频段，工作电压为 1.9～3.6 V。系统中各节点采用太阳能电池供电，外部扩展了多路 ADC 输入口、前置信号调理模块、电源管理模块、时钟模块；中心站则包括了 GPS 授时模块、异步串行接口以及震源定位上位机系统等。

收稿日期：2014-01-15 **责任编辑：**刘宪福 DOI：10.13319/j.cnki.sjztddxxbzrb.2015.02.20
作者简介：薛强(1977-)，男，讲师，研究方向为数字信号处理与模式识别，电能质量测量。E-mail：xueq77@163.com
基金项目：河北省国土资源厅项目(200903)
薛强，叶明，范君菲. 无线传感器网络在矿山微震定位系统中的应用[J]. 石家庄铁道大学学报：自然科学版，2015，28(2)：102-105.

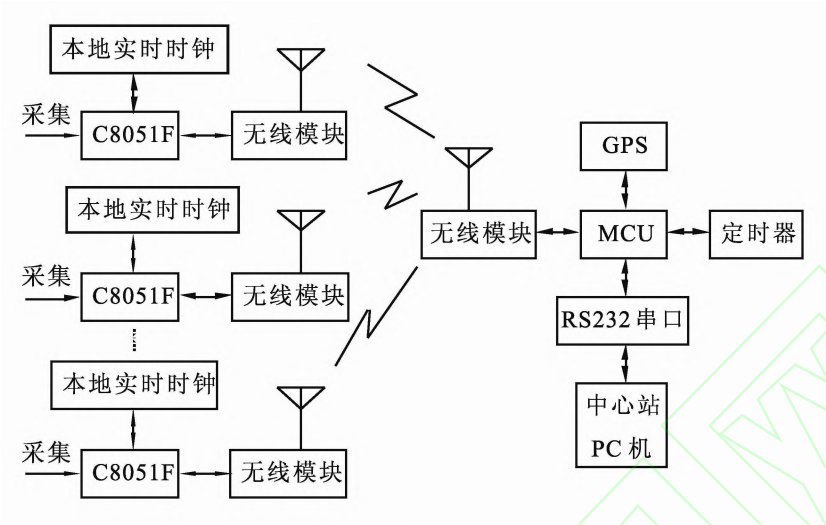

图 1　无线传感器网络总体结构图

2　同步管理机制

绝大多数的震源定位算法是根据精确提取的震动波到时来计算的，震动波到时时间标识是记录震动事件的关键参数，时间精度直接影响震源定位精度，如何保证多路信号的同步则是系统的必须考虑的问题之一。与此同时，由于每个节点都是完整独立的小系统，采用了相互独立的数字时钟来产生采样控制信号，而产生时钟频率的晶体易受外界环境温度、激励电平及晶体老化等多种不稳定因素的影响，使得晶体本身的时钟脉冲存在着不可避免的误差，从而造成不同节点同步测量数据的不同步。针对以上两点，本文提出将 GPS 结合无线电方式实现系统同步的管理机制[3]。

(1)中心站 GPS 授时系统。中心站的授时系统使用了两种类型的 GPS 时钟信号输出，分别是 RS-232 输出和 1 pps 电平信号输出。一是 RS-232 输出，提取的时间信息与协调世界时 UTC(国际标准时间)的同步误差不超过 1 ms；二是 1 pps 电平信号，秒脉冲的上升沿对应输出的 UTC 时间，如图 2 所示。将 UTC 和 1 pps 相结合能够得到准确的时间信息，且设计简单、实用。

GR87 OEM 板的串口 1 是异步串行数据输出，串口配置电平为 RS-232 电平，为了匹配 C8051F020 单片机 I/O 口的 TTL 电平，需要先经过 MAX232 转换后再进行通信，如图 3 所示。

秒脉冲电平信号直接连接 C8051F 的 I/O 口，通过 1 pps 的上升沿触发单片机提取 $GPRMC 语句，得到精准的 UTC 时间，实现中心站的 GPS 精确授时。

(2)采集终端的时钟校准。各个终端节点装有本地实时时钟 PCF8583 定期的接收中心站发送过来的 UTC 时间信息，校准终端节点的实时时钟与接收到 UTC 时刻一致，最终实现以中心站的 GPS 时间为基准的全网时钟同步。

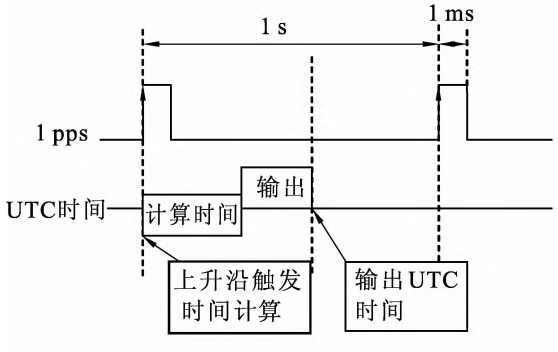

图 2　1 pps 与 UTC 时间关系图

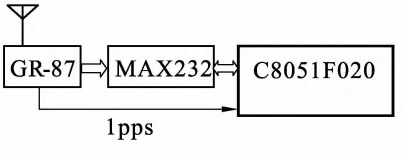

图 3　GPS 与 C8051F 连接示意图

3 无线通信设计

在无线数据传输中,对数据必须进行规定格式的编码才能有效的降低传输过程中的误码率。RFC-30H 模块数据传输格式为依次由前导码、目标地址码、数据码、CRC 校验码构成,其中数据码长度可以自行设置,最大设置为 32 字节。在最长 32 个字节数据中,为了完成系统的多项功能,将第一个字节设置为命令码,用于区分不同的功能命令,第二个字节为发送方地址码,在这里主站地址码设置为 0,从站地址码设置为从 1 开始,依次加 1,第三个字节开始依次为有效数据。

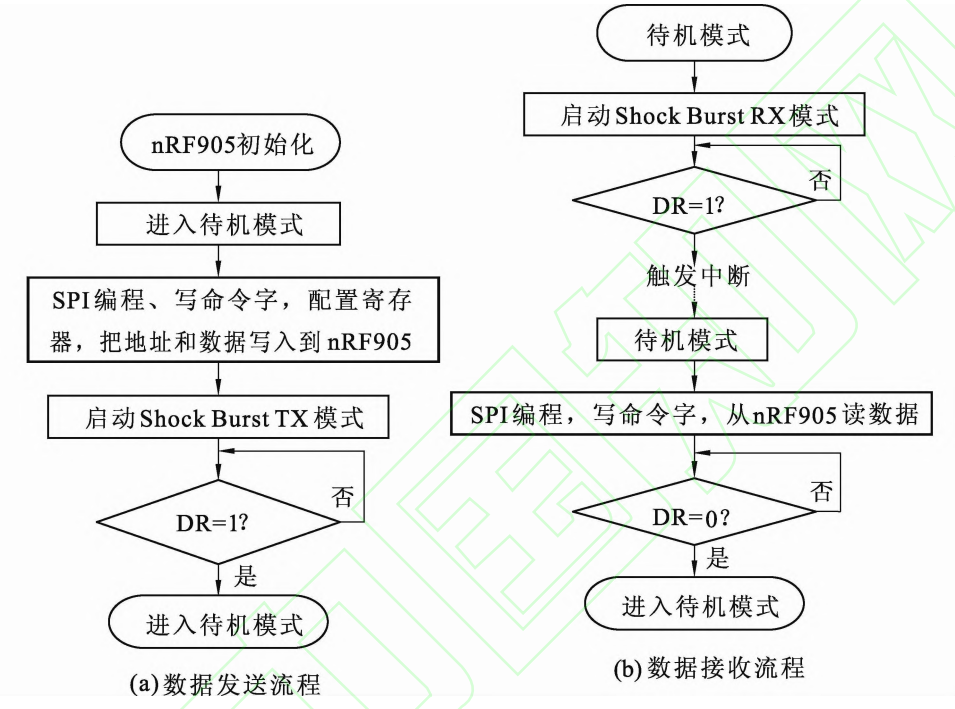

图 4 nRF905 数据发送接收流程图

数据发送流程图如图 4(a)所示,nRF905 通过 Shock Burst TX 模式发送数据,这时发送数据前禁止外部中断。发送数据流程为:首先将 TRX_CE 引脚置低,进入待机模式后,低速写入接收节点地址和待发送数据;然后再将 TRX_CE 引脚置高、TX_EN 引脚置低,使其进入发送模式,待整个数据包高速发送出去后,DR 引脚自动置位。nRF905 采用 Shock Burst RX 模式进行数据接受,此时,使能外部中断,设置 P3.7 引脚工作在中断方式。数据接收流程图如图 4(b)所示。接收数据流程为:首先配置本机地址,然后将 TRX_CE 和 TX_EN 引脚都置高,nRF905 进入监视状态,等待数据的到来[4]。当接收到正确的数据包后,DR 脚自动置位,触发 P3.7 口的上升沿中断,并通知 MCU 读取数据;读取数据完毕后,nRF905 将 DR 引脚置低。

基于本系统的分布式特点,在多个节点和一个中心站进行无线通信时,多个节点有可能在某一时刻同时和中心站主机建立通信连接,如果没有合适的协调机制,会导致通信冲突,信道阻塞,丢失传输数据。在数据传输时,通过采用基于竞争方式的 MAC 协议[5],不仅提高了信道资源的利用率,又增加了通信的可靠性。工作流程如下所述:

(1)子站有数据送出前,先侦听信道状态,通过竞争的方式获得信道的使用权,然后再发送请求传送报文 RTS(Request to Send)给目标端,请求与目标段的通信连接。

(2)目标段接收到子站的 RTS 后,向该子站回应 CTS(Clear to Send)报文。

(3)接收到目标端 CTS 命令帧的子站,可以认为与目标端已经建立通信连接,开始向其发送采集到的数据;若子站没有收到目标端的 CTS 命令,则认为发生冲突,重新发送 RTS 请求。

(4)目标端收到子站传送的数据并确认数据正确后,向改子站发送 ACK 确认帧,子站收到 ACK 后则

完成与目标端的数据通信。

利用 RTS-CTS 握手(handshake)程序来确保各个子站传送数据时不会相互冲突，同时由于 RTS-CTS 封包都很小，让传送的无效开销也变小。

为了减小能量的消耗，系统采用“侦听/睡眠”交替的无线信道使用方法。当阈值触发有数据收发时，传感器节点开启 nRF905 无线通信模块进行数据的发送和侦听；在没有数据需要收发时，节点则控制 nRF905 无线通信模块进入睡眠状态，以减小空闲侦听所造成的能量消耗。

4　应用结果及数据分析

上位机由 PC 构成，运行矿山微震定位系统应用程序，通过 232 串口与中心节点连接。由中心节点无线射频模块接收各传感器节点的微震信号，用于定位系统进行震源定位，以辅助监管部门的执法职能。上位机应用程序以 LabVIEW 为软件开发平台，利用结合了几何定位算法和 Geiger 算法的联合定位法实现了震源定位[6]，由于篇幅所限，这里不再详细介绍震源定位系统，只将无线采集到的数据应用于该定位系统，用以检测无线采集系统的可用性。图 5 是中心站 PC 运行的震源定位系统软件界面，其信号为本文无线传感器节点采集到的波形，界面中给出了信号波形、传感器坐标、和利用震源定位算法得到的定位结果。

实验中无线传感器网络的采样频率设置为 5 kHz，每帧采样长度为 512 个点。无线传感器节点采用扇形布设在放炮点附近，地表水平布设如图 6 所示，其中点 1～6 为检波器布设点，其地表水平面坐标依次为(0,0)、(0,15)、(0,40)、(－14,0)、(－31,0)、(－7,7.5)，单位：m。

试验中实际放炮点的水平坐标位置如图 6 中点Ⅰ、点Ⅱ和点Ⅲ所示，位于传感器网络附近，图 5 中显示数据为针对于炮点Ⅰ的计算结果，其计算坐标为(－9.15，－5.57)，与实际炮点坐标(－8.5，－5)距离为 0.86 m。通过实验结果可以看出，利用无线传感器网络采集到的震动数据进行震源定位计算，其定位精度在 1 m 以内，能够满足越界开采定位系统项目要求。

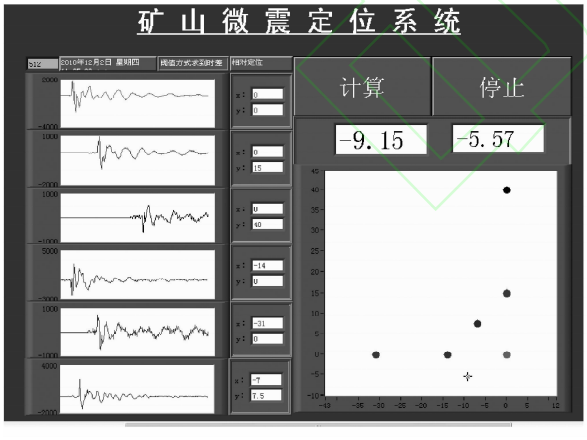

图 5　定位结果

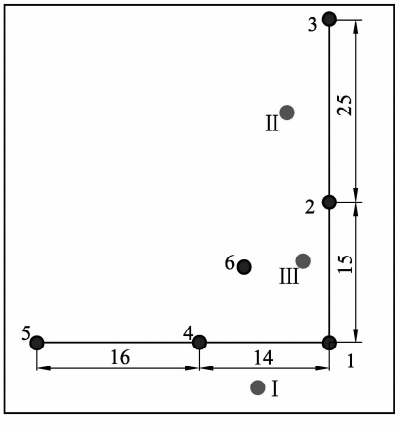

图 6　检波器排布规则

5　结论

针对传统的有线式微震监测系统的不足，本文将无线传感器网络技术应用于矿山越界开采监测系统。实验数据结果表明，采用这种方式所得到的震源位置，其精度能够满足现场要求。该方式提高了监测的实效性和可操作性，降低了人力和财力的投入，尤其适用于无人值守野外监测；同时本文所涉及到的数据实时传输及在线分析、GPS 时钟校时、太阳能不间断供电等措施亦适用于无人值守的监测方案，为多个矿区实时在线监测提供了现场基础，也为类似越界开采等野外作业的监测提供了有效手段。

(下转第 110 页)

[9] 陈勇. 对几类混沌加密系统的分析和改进[D]. 重庆:重庆大学, 2006:96-101.
[10]Percival I, Vivaldi F. Arithmetical properties of strongly chaotic motions[J]. Physica D. , 1987, 25:105-130.

The Periodic Analysis of Chebyshev Map Over the Finite Field

Xu Ming

(Department of mathematics and physics, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: The security of public-key cryptosystem based on Chebyshev map is determined by the periodicity of Chebyshev map. In this paper, the period problem of Chebyshev map over the finite field Z_N is analyzed, and a fast algorithm for period search is proposed, thus making the attack to the Chebyshev public-key cryptosystem possible.

Key words: Chebyshev map; public-key cryptosystem; periodic analysis; attack

(上接第 105 页)

参 考 文 献

[1]李庶林,尹贤刚,郑文达,等. 凡口铅锌矿多通道微震监测系统及其应用研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(12):2048-2053.
[2]汪令辉. 微震监测系统在冬瓜山铜矿的应用[J]. 现代矿业,2009,12(12):102-103.
[3]谭朋柳,金海,张明虎. 分布式实时系统的集中式相对时钟同步方法[J]. 华中科技大学学报,2007,35(2):16-18.
[4]王军. 地震测量数据无线传输与监控系统[D]. 武汉:华中科技大学电子与信息工程系,2005.
[5]聂光义. 点对多点多任务无线通信[J]. 电子质量,2003(4):152-154.
[6]薛强. 震源定位系统在矿山越界开采监控中的应用研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学电气与电子工程学院,2011.

Application of Wireless Sensor Networks in Mine Micro-vibration Location System

Xue Qiang[1], **Ye Ming**[2], **Fan Junfei**[3]

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;
2. Hebei Science and Technology Museum, Shijiazhuang 050000, China;
3. Shijiazhuang Training Base, Beijing Railway Bureau, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: In view of the high cost, resources waste and poor maneuverability in cable methods in mine monitoring system, by application of wireless sensor networks, a system of mine micro-vibration location is built in this paper. The star wireless sensor network is made up of the end network nodes and the center network node. In order to achieve the purpose of synchronization acquisition, clock synchronization technology was adopted. The signal was transmitted to the center node through the RF module and was processed by the PC. This system is an application research on radio communication in Cross-border mining monitoring.

Key words: wireless sensor network; digital signal processing; radio communication; clock synchronization