

基于 LoRa 的无线多参数环境监测节点设计

赵 全 徐 光 郝 龙 韩卫济 李 瑶 马德常

(北京航天试验技术研究所 北京 100074)

摘 要: 为了提高对大气污染物违规排放的监控能力,针对传统的大气环境监测站数量少、监测范围小、成本高等不足,提出了一种以 STM32F103 微控制器为核心基于 LoRa 的无线多参数环境监测节点的设计。利用 STM32F103 内置基于 DMA 功能的 ADC 采集 6 路电化学传感器的气体浓度数据;利用串口功能实现 GPS 定位数据、PM_{2.5}/PM₁₀ 颗粒物浓度数据和温湿度等参数的处理;通过 LoRa 无线模块,将采集的数据传输至 LoRa 网关并在终端上进行显示。测试结果表明,监测节点可以远程实时监测 6 种气体浓度、PM_{2.5}/PM₁₀ 颗粒物浓度、温湿度及行程轨迹等参数,误差结果在允许的范围内。该节点结合无人机、无人车等载体平台使用,具有监测范围广、检测效率高、机动性强、成本低等优点,为环境监测提供一种新的技术手段。

关键词: 多参数环境监测;STM32F103;SX1278;电化学传感器;LoRa

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8040

Design of wireless multi-parameter environment monitoring node based on LoRa

Zhao Quan Xu Guang Hao Long Han Weiji Li Yao Ma Dechang

(Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074, China)

Abstract: In order to improve the ability to monitor the emissions of atmospheric pollutants, and for the shortage of the traditional atmospheric environmental monitoring stations, such as the lack of distribution, the limited monitoring scope and the high cost, a design of multi-parameter environment wireless monitoring node based on STM32F103 microcontroller and LoRa is proposed. The ADC and the serial port with DMA function inside of the STM32F103 is used to collect the data of 6 electrochemical gas sensors, GPS location data, PM_{2.5}/PM₁₀ particle concentration data, the temperature and humidity. The collected data is transmitted to the LoRa gateway through the LoRa wireless module and displayed on the terminal. Test results show that the node can monitor 6 kinds of gas concentration, PM_{2.5}/PM₁₀ particle concentration, temperature and humidity and travel path in real time, and the error is within the allowable range. The node combined with UAV or unmanned vehicle has the advantages of wide monitoring range, high detection efficiency, high mobility and low cost; and it provides a new technical means for environmental monitoring in real time.

Keywords: multi-parameter environmental monitoring; STM32F103; SX1278; electrochemical sensor; LoRa

0 引 言

当前,极端天气气候事件频发,与工业化的快速发展关系密切,生产企业违法向大气中排放污染物^[1]。冬季,华北地区的雾霾天气给人们敲响了警钟,有毒有害气体、PM_{2.5}颗粒物^[2]等大气污染物排放的监测及其治理刻不容缓^[3]。政府机构在主要城市设立了大气监测站,采用气相色谱法检测 CO、NO₂、O₃、SO₂ 等有害气体浓度^[4],存在价格高昂、监测范围小、容易受到人为因素干扰等缺点。

LoRa 是由美国 Semtech 公司开发并推广的 LPWAN 通信技术^[5]。对比 ZigBee 技术的网状网络结构,LoRa 采用具有最低延迟、最简单的星型网络结构;对比蓝牙、WiFi 等通信技术的高频段(2.4 GHz)通信,LoRa 采用具有更强穿透能力的低频段(1 GHz 以下)通信^[6]。LoRa 采用特殊的扩频技术及降低通信速率,通信距离甚至可达到 15 km,接收电流仅 10 mA,实现低功耗远距离无线通信。

基于此,本文设计了一种便携式、价格低廉、长距离无线通信的环境监测节点用于大气污染物排放监测^[7]。

1 监测节点的组成结构及工作原理

无线监测节点由电源模块、LoRa 无线模块、电化学传感器、PM2.5/PM10 颗粒物浓度传感器、GPS 定位模块及 STM32F103 微控制器组成,整体组成结构如图 1 所示。GPS 定位模块提供精确的 UTC 及经纬度的信息,电化学传感器感测节点所在区域的 SO_2 、 CO 、 O_3 、 NO_2 、 H_2S 、VOCs 等 6 种气体浓度及 PM2.5/PM10 颗粒物浓度、温湿度等环境参数,STM32F103 微控制器负责数据汇总并处理编码后发送给 LoRa 无线模块,同时 LoRa 无线模块向 LoRa 网上传其监测的路径和环境参数,并由 LoRa 网在终端实现显示及报警等功能。

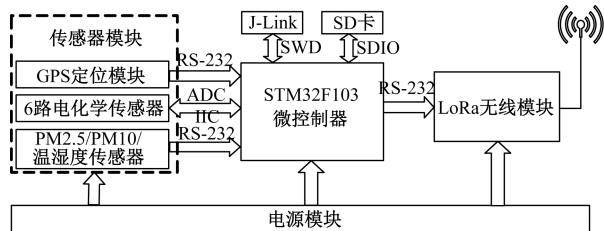


图 1 无线监测节点总体结构

2 硬件设计

首先是电源模块设计。无线监测节点与无人机、无人车等载体配合工作,从载体上的 12~24 V DC 电源取电,而节点上的各功能模块需要 +2.5、+3.3 和 +5 V 3 种电平。如图 2 所示,将载体上的电源 VIN 输入到高效率 DC-DC 转换芯片 MP1593,配置输出电压 +5 V 供给 GPS 定位模块及 PM2.5/PM10 颗粒物浓度传感器,同时将 +5 V 通过 LDO 电源芯片 AMS1117-3.3 转换成 +3.3 V 供给 STM32F103 微控制器、电化学传感器处理电路及 LoRa 无线模块。同时,为了提高 STM32F103 的 ADC 的采样精度,由基准电压源 REF3125 提供 +2.5 V 参考电压;电化学传感器在感应电极上发生还原反应的气体,如臭氧气体,其模拟前端芯片需要提供 +2.5 V 偏置电压。

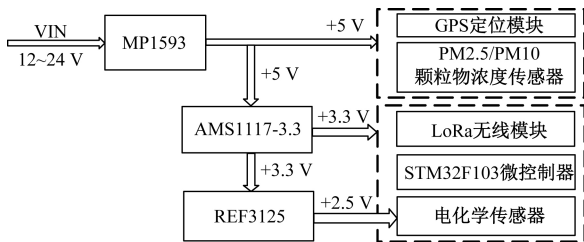


图 2 各模块的电源供电关系

其次是无线监测节点的微控制器通信接口设计。多路传感器产生的模拟信号及数字信号,对微控制器的通信接口及模数转换通道数量提出了较高的要求。基于此,节点选用 32 位高性能、低功耗的“ARM Cortex-M3”内核的

STM32F103ZET6 微处理器,该处理器的主频高达 72 MHz,内置 512KB Flash,64KB RAM,提供硬件除法和单周期乘法功能,快速可嵌套中断工作模式,3 个 USART,2 个 UART,2 个 I²C 接口,3 个 16 通道 12 位精度的 ADC。如图 3 所示,USART3 与 GPS 定位模块通信,EXTI0(PA0)通道用于接收 GPS 模块秒脉冲信号;USART2 与 LoRa 无线模块进行数据交换;USART1 采集 PM2.5/PM10 颗粒物浓度传感器数据;I²C 用于配置电化学传感器模拟前端(AFE)芯片 LMP91000 的参数;6 个 ADC 输入通道用于采集电化学传感器输出的经调理放大后的模拟信号。

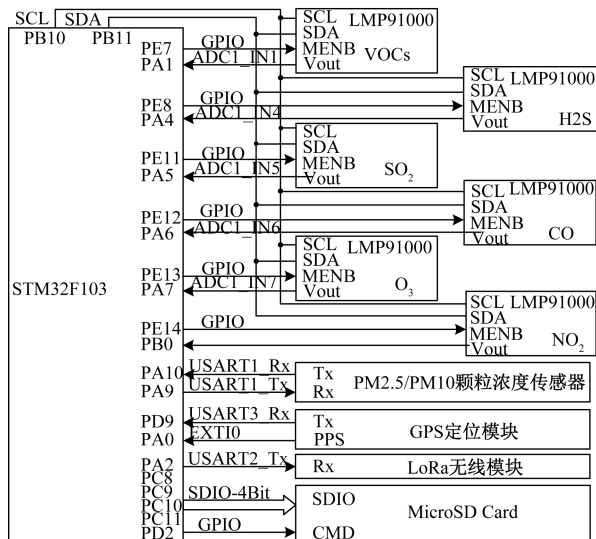


图 3 微控制器的硬件接线图

污染源的准确定位是亟待解决的问题,无线监测节点采用 GPS 定位模块配合载体主动巡检的方式,一定程度可以提高定位精度。定位模块选择 Ublox 公司的低功耗超小外型的 GPS 接收模组 NEO-7 M GPS 模块,具有超高灵敏度,可以同时接收 4 个卫星导航系统的 GNSS 信号,并且实现联合定位、导航与授时。模块由 +5 V 单电源供电,提供 TTL 串口通信接口及 USB2.0 通信接口,NMEA 0183 V 2.3 标准协议,定位精度小于 2 m,授时精度 30 ns,满足无线监测节点的设计要求^[8]。GPS 定位模块与微控制器通过 USART3 进行数据交换,同时由 PPS 秒脉冲实现时间同步。

PM2.5/PM10 颗粒物浓度传感器采用激光散射原理测量颗粒物浓度^[9],即令激光照射在空气中的悬浮颗粒物上产生散射,同时在某一特定角度收集散射光,得到散射光强随时间变化的曲线。进一步利用米氏(MIE)理论的算法,得出颗粒物的等效粒径及单位体积内不同颗粒的颗粒物数量。温湿度传感器检测传感器内部的采样空气温度及湿度。信号输出采用主动模式,即传感器通过 USART1 主动向微控制器发送检测数据,时间间隔 200~800 ms。

气体浓度检测采用电化学传感器,电化学传感器具有

体积小、操作简单、携带方便、价格低廉等优点。TI 公司推出的 LMP91000^[10],是专门为电化学传感器设计的可编程模拟前端(AFE)芯片,大大简化了传感器调理电路的设计。LMP91000 芯片结构如图 4 所示。对于在感应电极上反应的气体是 CO、H₂S、SO₂、VOCs 时,待测气体被氧化,输出信号为正,在图 4 中的 VREF 引脚只需要接地即可;而对于在感应电极上反应的气体是 NO₂、O₃ 时,待测气体被还原,输出信号为负,则图 4 的 VREF 引脚需要提供+2.5 V 的偏置电压,才能使输出电压 VOUT 为正。微控制器通过 I²C 接口调节跨导电阻 R_{TIA} 参数实现电流转电压的大小以满足 STM32F103 内置 ADC 的输入电压要求,C1 与 C2 之间接上滤波电容,降低干扰。

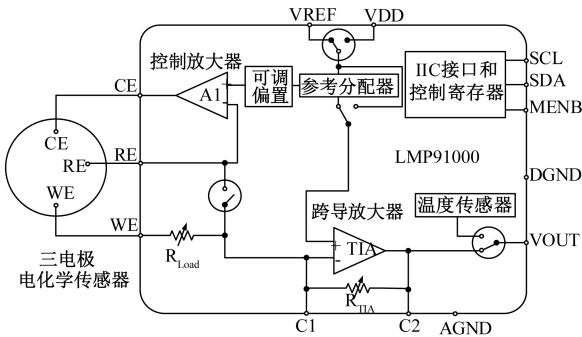


图 4 三电极电化学传感器模拟前端处理电路

LoRa 无线模块选用 ST 公司超低功耗 STM32L041 芯片加 Semtech 公司推出的 LoRa 芯片 SX1278 的设计方案^[10]。SX1278 芯片是一款支持 LoRa 协议的无线芯片,其支持的频率范围是 137~525 MHz,带宽 7.8~500 kHz,有效通信比特率为 0.17~37.5 Kbps,内置 14 dBm 的高性能 PA,接收灵敏度范围-111~148 dBm^[11]。模块选择免费许可的 ISM 频段 433 MHz,发射功率 20 dBm。LoRa 无线模块与 LoRa 网关组成星型网络实现相互通信。LoRa 无线模块的结构如图 5 所示^[12]。

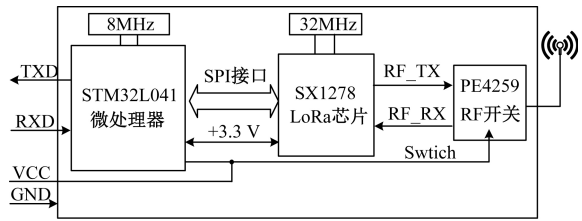


图 5 LoRa 无线模块结构

SD 卡接口选择 STM32F103 自带的 SDIO 接口电路设计,采用 Micro SD 卡座,使用 4 位 SDIO 方式驱动,用于记录采集到的实时环境参数。

3 软件设计

STM32F103 微控制器采用基于 HAL 库的库函数进

行程序开发设计。应用程序包括主程序及 GPS 解码程序、ADC 数据采集、SDIO 存储程序、IIC 配置程序、数据串行传输等子程序。

如图 6 所示,首先,进行硬件驱动的初始化。然后,根据不同的气体传感器,参考 LMP91000 数据手册,通过 I²C 接口进行参数配置,包括参考电压、偏置电压选择,跨导放大器的负载电阻和反馈电阻的选择^[13]。

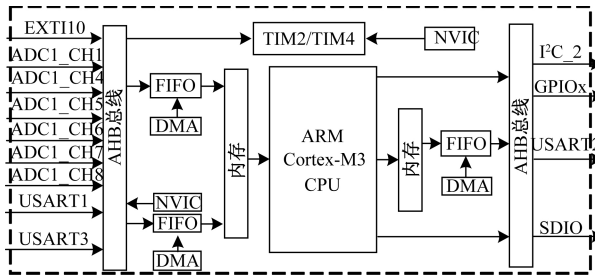


图 6 STM32 芯片内部信号流

为降低 CPU 的负担,对于 6 路气体浓度信号,采用 DMA 方式进行 ADC 转换。由定时器以 PWM 方式周期触发 ADC 注入组方式的同步转换,转换结束后进入定时器中断服务函数,提取其中的 N 组数据,按照 6 个通道顺序分别进行排序、去除两端极值后求均值的方式来减少误差。

USART1 以中断方式获取 PM2.5/PM10 颗粒物浓度传感器的数据,在 USART1 中断服务函数中判断数据帧头及帧尾信标后提取浓度值。USART3 以 DMA 方式获取 GPS 定位模块数据流,应用 nmealib 库函数对 GPRMC 协议信号流进行解码,获得 UTC 及经纬度数值,与 PA0 引脚连接的 PPS 秒脉冲信号用于校正定时器误差。

SD 卡采用 SDIO+FATFS 的方式实现监测数据的存储和读取。串口 USART2 采用 DMA 方式按照自定义的数据流格式与 LoRa 模块进行通信。

无线监测节点采集完数据后^[14]与 LoRa 网关进行通信。因此,设计了无线监测节点与 LoRa 网关之间的通信协议。无线监测节点与 LoRa 网关之间的通信协议帧格式如表 1 所示。目标地址是网关地址,网关具有广播及监听功能;配置网关与节点同处于信道;数据采用 16 进制数表示,包括北京时间、经纬度、气体浓度、PM2.5、PM10 及温湿度值。

表 1 无线监测节点与 LoRa 网关之间的通信协议帧格式

目标地址	目标信道	帧头	节点编号	数据	帧尾
------	------	----	------	----	----

4 测试及结果分析

无线监测节点通过 4 个螺栓与载体(无人机、无人车等)连接,方便拆卸。节点通过 Y4M-4 电连接器从载体获取供电电源;电化学传感器与待测气体反应输出电流信号

后经调理放大成电压信号,并输入到微控制器的 ADC;通过串口接收颗粒物浓度值、GPS 定位信息;微控制器将采集的数据整理成 LoRa 通信协议帧格式,并发送给 LoRa 无线模块。在空旷处进行通信距离测试。在实验室采用标准气对电化学传感器进行测试^[15]。PM2.5/PM10 颗粒物浓度数值与国家环保部发布的数据作对比,测量误差不大于±10%。

4.1 LoRa 通信距离测试

选择在空旷处进行通信距离测试,控制不同的距离进行数据收发试验,每个地点发送 100 组数据,用串口调试助手统计接收结果,具体如表 2 所示。在 1.5 km 范围内的通信丢包率为 0,满足节点设计要求。

表 2 通信距离测试数据

序号	距离/km	接收数据包	丢包率/%
1	0.1	100	0
2	0.2	100	0
3	0.8	100	0
4	1.0	100	0
5	1.5	100	0

4.2 标准气测试

在实验室里利用标准气进行电化学传感器响应测试,具体为 200×10^{-6} 的 CO(传感器量程 $1\,000\times10^{-6}$)、 50×10^{-6} 的 H₂S(传感器量程 100×10^{-6})、 20×10^{-6} 的 SO₂(传感器量程 20×10^{-6})、 10×10^{-6} 的 O₃(传感器量程 10×10^{-6})及 10×10^{-6} 的 NO₂(传感器量程 20×10^{-6}), 100×10^{-6} 的异丁烯测试 VOCs(传感器量程 $1\,000\times10^{-6}$),响应曲线如图 8 所示,响应时间 $T_{90}\leq30\text{ s}$,示值误差±5%FS。

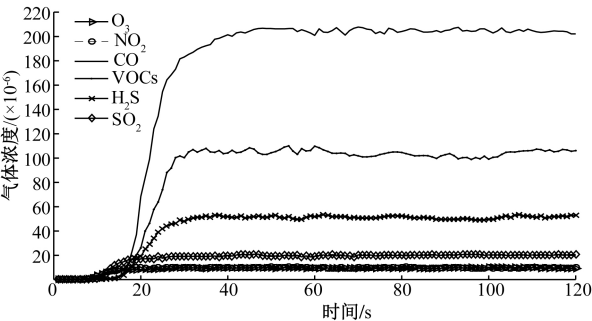


图 7 标准气浓度测试曲线

5 结 论

伴随着国家对工业生产过程中环保和安全的重视,多参数环境监测仪器仪表发挥了越来越重要的作用,同时对其性能提出了更高的要求。本文针对工业生产过程中的大气污染排放监测,设计了基于 STM32F103 及 LoRa 的无线多参数环境监测节点,该节点具有多通道气体传感器信号

调理、模数转换、定位授时、颗粒物浓度采集、LoRa 组网传输等功能,且装卸便捷、成本较低。测试结果表明,无线监测节点采集数据准确、传输范围广、通信稳定可靠,满足工业现场环境监测需求,为环境实时监测提供一种新的技术手段。

参考文献

[1] 程麟钧. 我国大气环境监测数据共享技术现状、问题及对策[J]. 中国环境监测, 2016, 32(6): 146-147.

[2] 赵鹏, 荆红莉. 无线 PM2.5 测试仪的设计与实现[J]. 电子测量技术, 2016, 39(6):134-137.

[3] 但德忠.环境空气 PM2.5 监测技术及其可比性研究进展[J].中国测试, 2013, 39(2):1-5.

[4] 郑海明, 姜岩, 蔡小舒. 环境空气质量监测系统在工业区的应用[J]. 仪器仪表学报, 2005(S1):288-289.

[5] 林硕, 张荣晶. 基于 LoRa 的车辆称重系统中低功耗无线模块设计[J]. 自动化与仪表, 2018, 33(5):79-83..

[6] 赵太飞, 陈伦斌, 袁麓, 等. 基于 LoRa 的智能抄表系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(9): 298-301.

[7] 唐海洋, 刘梦珂. 便携式油井环境监测及气体检测系统设计[J]. 电子测量技术, 2016, 39(7):128-131.

[8] 李远茂, 刘桂雄, 曾成刚. 基于 GPS 的室外放射源信息监控系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(8):1244-1254.

[9] 赵鹏, 荆红莉. 无线 PM2.5 测试仪的设计与实现[J]. 电子测量技术, 2016, 39(6):134-137.

[10] 姚俊杰, 张新晨. 基于超长距低功耗数据传输技术与无线通信技术的智能水表系统[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(5):282-285.

[11] 江武志, 罗玉文. 智慧校园之基于 LoRa 技术的环境检测分析系统[J]. 物联网技术, 2018, 8(4):64-67.

[12] 资文彬, 董楚楚, 曹康. LoRa 无线数据传输模块的设计与实现[J]. 集成技术, 2018, 7(3):54-61.

[13] 许剑锋, 芦静, 郝欢, 等. 基于 LMP91000 的电化学传感器调理电路设计[J]. 传感器世界, 2014, 20(2): 22-25.

[14] 王换换, 王晓荣, 刘超. 工业在线气体检测仪的设计与实现[J]. 电子技术应用, 2018, 44(1):49-51, 56.

[15] 白宗文, 周美丽. 低功耗便携式有害气体监测仪的设计与实现[J]. 现代电子技术, 2014, 37(17):151-153.

作者简介

赵全, 硕士、助理工程师, 主要研究方向为检测技术及自动化装置、危险品检测技术等。

E-mail:zhaoquan286@163.com

徐光, 硕士、工程师, 主要研究方向为检测技术及自动化装置等。

E-mail:bright-boy@163.com