

# 舰艇舱室二氧化碳检测装置

郝毫毫

(武汉工程大学电气信息学院,湖北 武汉 430074)

**摘要:**设计了一种超低功耗的检测装置,适用于舰艇舱室内的温度、湿度和  $\text{CO}_2$  浓度的数据采集. 分析了检测装置所采用微控制器、传感器和无线收发器的工作特点以及功耗,描述了检测装置的结构原理,给出了系统软件的设计方案和通信方法. 实测结果表明,所设计的系统硬件结构简单可靠,功耗较小,达到了舰艇舱室二氧化碳浓度测量的设计要求.

**关键词:**超低功耗,舰艇舱室,温湿度,  $\text{CO}_2$  浓度

**中图分类号:** TP23

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3969/j.issn.1674-2869.2012.1.014

## 0 引言

舰艇舱室是人员休息和工作或在核化条件以及生化污染条件下用于集体防护的场所,环境相对封闭,人员高度集中,舱内排出的废气浓度高,尤其是晚间门窗紧闭,舱内空气质量差,其中二氧化碳的含量对舰员的生理影响表现为:当  $\text{CO}_2$  浓度小于 0.05% 时,人员感觉舒适;当  $\text{CO}_2$  浓度大于 0.05% 小于 1.55% 时,人员短期无明显影响,但长期会影响战斗力;当  $\text{CO}_2$  浓度大于 1.55% 小于 2.00% 时,人员会出现轻微反应(疲劳、烦闷、头晕、气喘),使用武器装备困难;当  $\text{CO}_2$  浓度大于 3.00% 时,人员会有剧烈反应(呼吸困难),不能使用武器装备甚至引起死亡<sup>[1]</sup>.

由此可见,二氧化碳的浓度测量是十分重要的. 舰艇舱室气体检测装置多采用质谱仪<sup>[2]</sup>,虽具有检测范围广、运行稳定、分析速度快等优点,但其体积大、价格昂贵,因此不便携带和安装. 本文采用低功耗器件并采用合适的软件方案设计了一种二氧化碳浓度和温湿度检测装置,采用电池供电,具有功耗低、体积小、便于携带和安装、接口灵活等特点,适合舰艇舱室环境应用.

## 1 硬件设计

检测装置的电路原理图如图 1 所示. 它主要由 MCU(微控制器)控制单元、通信接口、温湿度传感器、二氧化碳传感器等构成. 所有单元均采用低功耗器件,MCU 采用 TI 的具有休眠功能的

MSP430F449 单片机,温度和湿度测量单元采用 SENSIRON 公司的具有休眠功能的 SHT21 温湿度传感器,  $\text{CO}_2$  浓度测量采用 GSS 公司的功率仅为 3.5 mW 的 COZIR 传感器. 所有器件均采用 3.3 V 供电,便于电池集中供电.

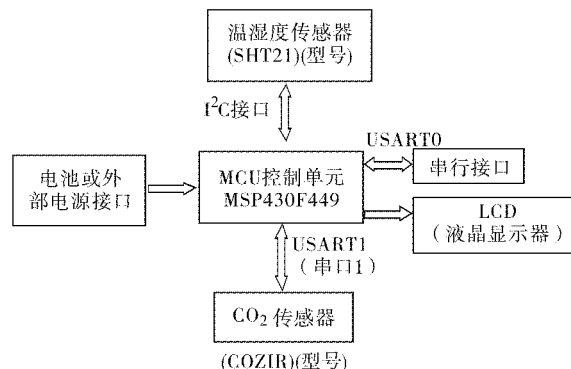


图 1 检测装置的电路结构图

Fig. 1 Structure diagram of the acquisition system

### 1.1 MCU 单元

MSP430F449 是 IT 公司推出的一种超低功耗单片机,其主要特点有:

a) 超低功耗:其供电电压为 1.8 ~ 3.6 V,工作在 LPM3 (低功耗模式 3) 模式时电流为 0.7 ~ 0.9  $\mu\text{A}$ ,工作在活动模式时电流为 0.2 ~ 0.3 mA, I/O (数字输入/输出) 口的漏电流不超过 50nA<sup>[3]</sup>. 它的矢量中断支持多个中断源,并可以任意嵌套. 当 MSP430F449 工作在低功耗模式时,外部事件所引起的中断请求最短只需 1  $\mu\text{s}$  唤醒系统.

b) 处理能力强大: MSP430 (单片机) 系列为

收稿日期:2011-11-23

基金项目:湖北省教育厅科学研究计划资助项目(D20091503)

作者简介:郝毫毫(1968-),男,河南邓州人,讲师,硕士.研究方向:智能仪器、无线传感器网络技术等.

16 位单片机,使用精简指令集,它的机器周期为一个振荡周期.同时它还采用了 16 位多功能硬件乘法器等一系列先进的体系结构.

c) 高性能模拟技术及丰富的片上外围模块: MSP430F449 组合了许多功能模块,其中包括 LCD (液晶显示器)驱动器,这大大节省了外围硬件的开销.

d) 系统工作稳定可靠:上电复位后,先由其内置的 DCO(数字控制振荡器)时钟启动 CPU(中央处理器),在外接的晶振稳定后,通过软件编程来确定系统时钟频率.如果外接晶体振荡器在用作主时钟时发生故障,内置 DCO 会自动启动,以保证系统正常工作.

在本应用中,MCU 是检测装置的核心,在无事件发生的情况下工作于 LPM3 低功耗状态.此时,高速时钟和 CPU 停止,32768 Hz 低速时钟处于活动状态,将 UART0 和 TIMER0(定时器 0)的时钟源设为 ACLK(辅助系统时钟),当 UART0 有数据接收或 TIMER0 定时发生时,MCU 可响应并退出 LPM3 状态进入活动工作状态. MSP430F449 功能丰富,编程方式灵活,完全可满足检测装置的设计要求.

### 1.2 低功耗传感器单元

温度和湿度测量单元采用 SENSIRON 公司的具有休眠功能的 SHT21 温湿度传感器,休眠时的电流仅为  $0.15\ \mu\text{A}$  左右. SHT21 配有一个全新设计的 CMOSens<sup>®</sup>(芯片的一种结构)芯片、一个经过改进的电容式湿度传感元件和一个标准的能隙温度传感元件,其性能已经大大提升甚至超出了前一代传感器(SHT1x 和 SHT7x 型号)的可靠性水平. SHT21 的测量分辨率高,可以达到 14 bit(温度)、12 bit(湿度). 量程范围广,温度为  $-40\sim 120\ ^\circ\text{C}$ ,湿度为:  $0\sim 100\%\text{RH}$ <sup>[4]</sup>. 通信采用标准 I<sup>2</sup>C 接口,便于微控制器访问. 在每次测量和通讯结束后, SHT21 会自动转入休眠模式,大大降低了功耗.

这里对 SHT21 采用 3.3 V 供电, SHT21 的 SCL 脚接单片机的 P2.0 口, SDA 脚接单片机的 P2.1 口,单片机模拟 I<sup>2</sup>C(一种串行通信的标准)口.

CO<sub>2</sub> 浓度测量采用 GSS 公司的 COZIR-A 型传感器,其功耗仅 3.5 mW,可温度补偿,湿度补偿,以及感知白天黑夜的环境状态<sup>[5]</sup>. 预热时间仅 10 s,量程 2%. 性能: 1) 功耗 3.5 mW; 2) 峰值电

流 33 mA; 3) 平均电流小于 1.1 mA; 4) 电源 3.3 V; 5) 响应时间 30 s; 6) 标准型号温度范围  $0\sim 50\ ^\circ\text{C}$ (可扩展  $-25\ ^\circ\text{C}\sim 55\ ^\circ\text{C}$ ); 7) 湿度适用范围  $0\sim 95\%\text{RH}$ ; 8) 存储温度  $-30\ ^\circ\text{C}\sim +70\ ^\circ\text{C}$ ; 9) 尺寸: 传感器  $18\text{ mm}\times 20\text{ mm}$ .

COZIR 连接简单,除了 3.3 V 电源和地线外,还有 RX(引脚名称)和 TX(引脚名称)引脚可直接连接单片机的 USART1(串口 1)口. 所有的通信均使用 ASCII(编码名称)码,命令格式按照文献[6]的规定执行. 传感器有三种工作模式:命令模式(Command Mode),流模式(Streaming Mode)和查询模式(Polling Mode).

其中工作于查询模式时传感器并不产生数据,但是周期性的测量在后台继续,当传感器收到读取命令时,会将最近的测量值转换成数据送出. 查询模式的功耗与查询频率有关,但是几乎接近 3.5 mW.

该设计将 COZIR 的通讯口接到单片机的 USART1(串口 1)口, COZIR 工作在查询模式(Polling Mode).

## 2 软件设计

软件的开发环境为 IAR Embedded Workbench(一种软件开发环境),使用 C430 语言. 检测装置作为从机其 USART0 口执行标准 MODBUS 协议,为点对多点的通信方式. MODBUS 协议是免费的用于工业现场的总线协议. 在我国, MODBUS 已经成为国家标准 GB/T19582-2008<sup>[7]</sup>. 可以支持多种电气接口,如 RS-232、RS-485 等<sup>[8]</sup>. 每一个检测装置都拥有一个唯一的 MODBUS 地址,工作方式为主站轮询,从站监听的方式. 检测装置软件的主要流程如图 2 所示.

### 2.1 程序流程

系统初始化时, MCU 进入 LPM3 模式, Timer0(定时器 0)选择 32.768 kHz 晶振作时钟源,定时 1 min 中断. 有两个事件会将 MCU 唤醒: Timer0 定时和 USART0 数据接收.

在 Timer0(定时器口)的中断服务子程序中做两件工作: 1、软时钟计时. 由于系统对实时性要求不高,时钟可以分钟为最低计时单位. 并且上位机可定期通过写指令对时钟进行校准; 2、采集数据. 从温湿度传感器和二氧化碳浓度传感器读取数据并按规定格式存放在规定缓冲区,等待上位机读取,刷新 LCD 显示器.

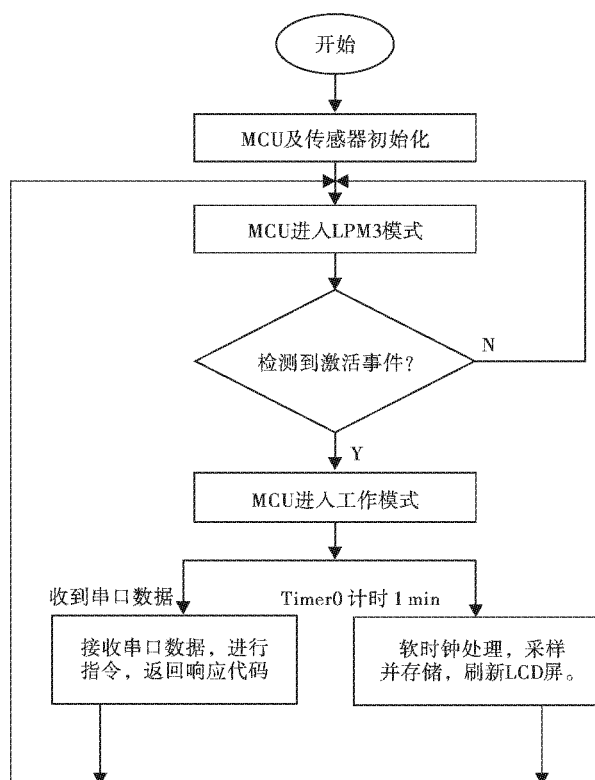


图2 系统程序框图

Fig. 2 Program flow chart

## 2.2 数据存储

MSP430F449 拥有较大的存储区, 其 FLASH 区有 60KB + 256B. 本系统地址分配如下:

USART0 配置参数 0X1000 ~ 0X107F

MOBUS 通信协议配置参数 0X1080 ~ 0X10FF

用户参数(用户信息等) 0X1100 ~ 0X1FFF

用户程序区 0X2000 ~ 0X6FFF

升级程序区 0XE000 ~ 0XFDFD

实时数据区位于 RAM(随机存取存储器)区, 在 MCU 处于 LPM3 模式下能够得到保存. 实时数据的存放格式如表 1 所示. 每次读取的采样数据和时间存放在两个位置, 一是地址 0x7003 ~ 0x7008, 二是沿地址 0x7009 ~ 0x707A 顺序循环存放.

## 2.3 程序升级

MSP430F 系列单片机的 FLASH(存储器的类型)存储器模块是可以通程序擦写的. 由于采用的是普林斯顿结构, 所有存储器安排在同一线性地址空间中, 地址结构清晰, 便于访问. FLASH 部分被分为多个可单独擦除的段(512 字节, 信息段大小为 128/64 字节), 因此特别适合在线程序升级(in-system program).

表1 实时数据的存放格式

Table 1 Storage formats of real-time data

MODBUS 地址	变量类型	数据	注释
0x7000	BCD 码	6 个字节(年月日时分)	实时时钟
0x7003	BCD 码(编码名称)	6 个字节(年月日时分)	最新采样点测试时间
0x7006	uint16		最新采样点温度值
0x7007	uint16(无符号整数)		最新采样点湿度值
0x7008	uint16		最新采样点 CO <sub>2</sub> 浓度值
0x7009	BCD 码	6 个字节(年月日时分)	采样点 1 测试时间
0x700C	uint16		采样点 1 温度值
0x700D	uint16		采样点 1 湿度值
0x700E	uint16		采样点 1 CO <sub>2</sub> 浓度值
0x700F	BCD 码	6 个字节(年月日时分)	采样点 2 测试时间
0x7012	uint16		采样点 2 温度值
0x7013	uint16		采样点 2 湿度值
0x7014	uint16		采样点 2 CO <sub>2</sub> 浓度值
...	...	...	...
0x7075	BCD 码	6 个字节(年月日时分)	采样点 19 测试时间
0x7078	uint16		采样点 19 温度值
0x7079	uint16		采样点 19 湿度值
0x707A	uint16		采样点 19 CO <sub>2</sub> 浓度值

程序升级的原理是在单片机中放置 2 段地址不重叠的相互独立的程序代码: 一段为升级程序, 另一段为用户应用程序. 同时为两者的特殊功能

寄存器分配两个不同的区域用于保存寄存器内容, 以便在程序跳转时使用.

单片机复位后先进入引导程序, 由它判断应

用程序是否存在或错误.若有正确的应用程序则引导程序指针跳入应用程序,恢复特殊功能寄存器内容.否则进入升级程序,开放通信接口,等待升级.

引导程序的 C430 语言描述如下

```
Void main()
{
    While(1)
    {
        If( App_Valid() ) // 判断应用程序
        是否存在,或存在错误
            Application(); // 进入应用程序
        else
            Udata(); // 进入升级程序
    }
}
```

在编写应用程序时,要在链接文件(\*.XCL)中指定应用程序的地址范围,编译完成后输出 TXT(文本)文件.在应用程序和升级程序之间跳转时,可通过使用“asm(“mov &0XXXX, PC;”);”语句改变程序指针,同时注意保存必要的寄存器的值.

### 3 实验测试

经测量,系统在绝大部分时间段工作电流为 1.4 mA,采用 ER18505H 型(3 500 mAh)锂电池可连续工作 3 个月左右.

采用 MF-4B 型标准气体稀释装置,用高纯氮作稀释气体对 1% 的标准 CO<sub>2</sub> 气体稀释得到 6 组不同浓度的 CO<sub>2</sub> 气体.分别用气相色谱仪和本装置对配置的 6 组气体进行测量比较,结果如表 2 所示.

表 2 测量数据比较  
Table 2 Comparison of measurement data

组别	气相色谱仪法 $C_1$	本装置 $C_2$	相对差值 $\frac{C_2 - C_1}{C_2} \times 100 \%$
1	0.019	0.019	0.000
2	0.041	0.040	-2.439
3	0.060	0.059	-1.667
4	0.080	0.081	1.250
5	0.101	0.099	-1.980
6	0.119	0.121	1.681

### 4 结 语

上述所设计的舰艇舱室二氧化碳检测装置硬件结构简单,成本低,技术开发成熟,所采用的器件均为超低功耗器件,使得整个系统的功耗很低,可采用锂电池供电,因此安装方便,也便于携带.检测装置每分钟更换一次数据并在 LCD 上显示,预留的 USART0 口可以对外通信,服从 MODBUS 协议,用户可根据需要升级用户程序.由于体积小,安装屏蔽罩容易,安装屏蔽罩的检测装置在舰艇舱室复杂电磁环境下可正常工作.

另外,依据 MODBUS 协议可通过 USART0 口对装置的采样时间等工作参数进行修改,以满足用户需求.同时由于检测装置具有升级功能,经过改动可适用于其它多种应用场合,如蔬菜大棚的空气质量监测等,具有较大的推广价值和广阔的市场前景.

#### 参考文献:

- [1] 王武田,杨洪禹.舰艇舱室毒害气体的危害及消除[J].海军大连舰艇学院学报,2003,26(4):50-52.
- [2] 彭光明. AIP 潜艇舱室大气环境控制系统研究[J].中国舰船研究,2006,1(2):62-65.
- [3] 沈建华,杨艳琴. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与实践[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [4] Sensirion Inc. Datasheet SHT21 [EB/OL]. [http://www.sensirion.com/en/pdf/product\\_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT21.pdf](http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT21.pdf). 2011-05-09/2011-11-18.
- [5] GSS Ltd. COZIR™ Ultra Low Power Carbon Dioxide Sensor [EB/OL]. <http://www.apollounion.com/Upload/DownFiles/GSS%20COZIR%20Wide%20Range%20Data%20Sheet.pdf>. 2010-01-01/2011-11-18.
- [6] GSS Ltd. COZIR™ Software User's Guide [Z]. Glasgow United Kingdom: GSS Ltd., 2011.
- [7] GB/T19582-2008. 基于 Modbus 协议的工业自动化网络规范[S].
- [8] 王欣,文小玲,刘义亭,等. 基于 MODBUS 协议的 TMS320LF2407A 与 PC 机串口通信软件设计[J].武汉工程大学学报,2011,33(1):75-78.

(下转第 78 页)