

# 基于 STM32 的超市冷链监控报警系统设计

高奎, 李慧敏

(东华大学 机械工程学院, 上海 201620)

**摘要:** 为远程查看超市冷链的多路压力和电能表数据, 并在冷链系统出现异常时能及时采取措施, 设计了一种基于 STM32 的超市冷链监控报警系统; 该系统通过压力采集电路将压力信号转变为电压信号, 利用 STM32 单片机的 ADC 采集电压信号; 通过 RS485 总线实现 4 路电能表数据的采集; 通过继电器对现场设备的开关进行控制; STM32 通过相关算法对采集到的数据进行处理, 将结果显示在现场的 TFTLCD 显示器, 方便现场工作人员的观察; GPRS 模块将采集到的数据传送给上位机, 使用户能够远程查看现场数据; 数据异常时, 用户可以收到报警短信, 并通过回复短信对现场设备进行控制; 实验表明, 该系统测量准确, 反应迅速, 具有较强的实时性, 且成本较低, 有效减少了抄表人员的工作量, 确保超市冷链系统的安全运行。

**关键词:** 冷链; STM32; GPRS; 监控报警

## Design of Supermarket's Cold Chain Monitoring Alarm System Based on STM32

Gao Kui, Li Huimin

(College of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** In order to view the multi-channel pressure and Watt-hour meter's data of a supermarket's cold chain remotely and take measures in time when the cold chain system is abnormal, a monitoring alarm system for supermarket's cold chain based on STM32 was designed. The system converted the pressure signal into voltage signal through the pressure acquisition circuit, and the voltage signal was collected by the ADC of the STM32 microcontroller; and the data of the 4 Watt-hour meter's data was collected by the RS485 bus, besides the system controlled the switch of field equipment by relay. STM32 microcontroller dealt with the collected data through the relevant algorithm and the results would be shown on the TFTLCD monitor at the scene, which was convenient to observe for field staff. The GPRS module transmitted the collected data to the host computer, which enabled users to view field data remotely. When the data was abnormal, the user would receive alarm messages and could control the field device by replying to the messages. Experiments showed that the system measured accurately and responded quickly and had better real-time performance, besides the system had advantage of low cost and reduced the workload of meter readers effectively, which ensured the safe operation of supermarket's cold chain system.

**Keywords:** cold chain; STM32; GPRS; monitoring alarm

## 0 引言

随着社会经济的高速发展以及人们生活水平的提高, 人们对于生鲜产品的保鲜提出了更高的要求, 冷链的应用越来越多。在很多连锁超市, 生鲜品占有所有商品的比重快速上升。对生鲜品管理水平的高低已经成为连锁超市竞争的关键<sup>[1]</sup>, 而生鲜品保鲜的关键取决于其冷链水平。制冷压缩机是冷链系统中的核心设备, 压缩机内的气体压力和耗电量是两个非常重要的参数, 气压大小预示着压缩机是否处于正常的工作状态<sup>[2]</sup>, 耗电量则关系到超市冷链的运营成本。为了获知这两个参数, 超市管理人员需要按时去现场抄表, 但是现场抄表容易漏采, 实时性差, 且造成人力资源的浪费。为了更好地对压缩机的压力和耗电量进行实时监控, 并在压力数据异常时及时采取措施控制现场设备, 设计了一种基于 STM32 的超市冷链监控报警系统。

## 1 系统总体方案设计

系统总体设计如图 1 所示。MCU 作为系统的核心, 负责协调管理控制各模块工作, 采用基于 Cotex-M3 内核的 STM32F103VCT6, 它可以提供 5 路串口通信, 2 个 DMA 控制器, 3 个 12 位精度的 ADC 控制器, 多达 80 个通用 I/O 口<sup>[3]</sup>。GPRS 模块负责数据的传输, 短信的收发, 通过 STM32 的串口发送 AT 指令进行控制。TFTLCD 用于显示采集到的数据及系统运行状态, 由 STM32 的 FSMC 控制器驱动。蜂鸣器用于压力异常时进行报警, 继电器用于控制现场制冷设备的开关。系统网络拓扑图如图 2 所示。系统与上位机的连接方式为 TCP 连接, 系统每隔固定时间采集一次数据, 通过 MCU 对采集的数据进行处理, 将结果通过 GPRS 网络和 Internet 发送到上位机。当压缩机压力超出设定的阈值时, 系统可以在现场实现蜂鸣器报警, 并将报警短信发送到用户手机。用户可以回复规定格式的短信控制现场继电器的状态来实现现场设备的开关。同时, 上位机也将收到报警信息, 用户也可通过上位机发送数据包控制现场设备的开关。

## 2 硬件电路设计

该系统的硬件电路是以 STM32F103VCT6 芯片为核心进

收稿日期: 2017-08-22; 修回日期: 2018-03-12。

**作者简介:** 高奎(1992-), 男, 河北保定人, 硕士研究生, 主要从事检测技术及智能化方向的研究。

李慧敏(1975-), 女, 河南漯河人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事微机测控、智能化仪表方向的研究。

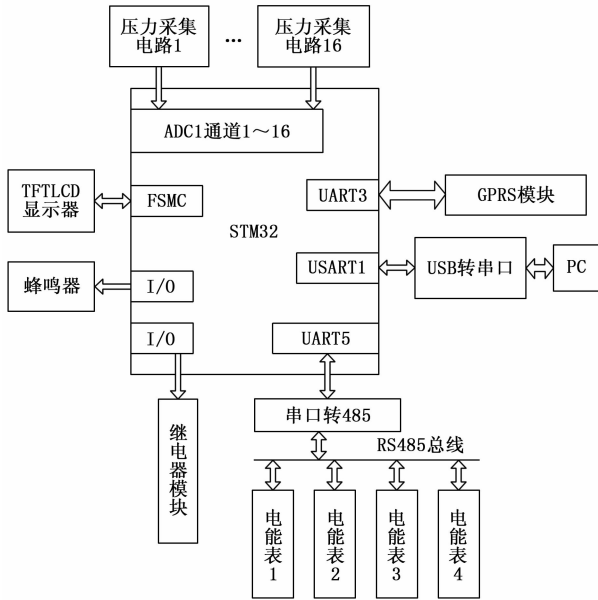


图 1 系统总体设计框图

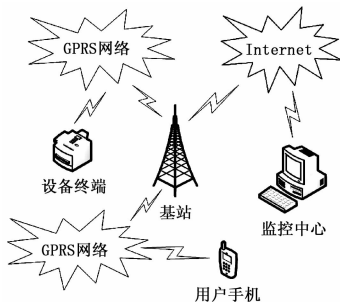


图 2 系统网络拓扑图

行设计的，该芯片是由 ST 公司推出的一款高性能、低功耗、低价格的单片机，内含 256 Kb 的 Flash，48 Kb 的 SRAM，最大主频可以达到 72 MHz<sup>[4]</sup>。为了实现各个功能，分模块设计各部分电路，下面分别介绍该系统中的几个重要电路。

### 2.1 压力数据采集电路

图 3 是其中一路压缩机压力信号采集电路。首先通过惠斯通电桥将压力的变化转变为电压  $U_i$  的变化。 $U_i$  的计算公式如下：

$$U_i = \left( \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} - \frac{R_4}{(R_3 + R_4)} \right) V_{cc} \quad (1)$$

式 (1) 中， $U_i$  为电桥将压力信号转变而成的差分电压信号， $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  为组成电桥的 4 个电阻，其中  $R_1$ 、 $R_3$  为压敏电阻， $V_{cc}$  为电桥的供电电压。

上式得到的电压  $U_i$  比较微弱，属于 mV 级信号，需要用差动放大器对其进行放大，一般选用低功耗、低失调、低温漂的差动放大器<sup>[5]</sup>，本文采用仪表放大器 AD623。它的放大倍数满足下列公式：

$$U_o - V_{ref} = \left( \frac{1 + 100 \text{ k}\Omega}{R_g} \right) U_i \quad (2)$$

式 (2) 中， $U_o$  是 AD623 芯片 OUT 端输出电压，是 AD623 参考电压， $U_i$  是差分输入电压， $R_g$  是可变阻抗，通过调整  $R_g$  的阻值即可改变 AD623 的增益。

调整  $R_g$  阻值为 1.01 k $\Omega$ ，使 AD623 的增益为 100 倍。调

整  $R_5$  使 AD623 的参考电压为 0.8 V。最终使 AD623 的 OUT 端输出电压大小为 0.8~4 V。

为了提高电路的供电电压范围，改善输出电压的稳定性，采用 V/I 变换芯片 XTR115 将  $U_o$  转变为 4~20 mA 的线性电流信号，在电流回路上串联 150  $\Omega$  的精密电阻  $R_7$  提取电压，最终得到 A 点的电压范围是 0.6~3 V，将其接入 STM32 单片机的 ADC1 通道对应的引脚进行采集。STM32 的 ADC1 的 16 路通道分别对应引脚 PA0~PA7，PB0，PB1，PC0~PC5。

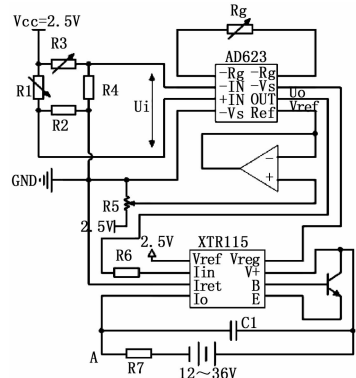


图 3 压力数据采集电路

### 2.2 电能表数据采集电路

为了实现对电能表进行自动抄表，要求电能表具有 RS485 接口，支持 DL/T645-1997 多功能电能表通信规约<sup>[6]</sup>，波特率为 1 200 bps。如图 4 所示，STM32 单片机的串口 4 通过 SP3485 芯片将 TTL 电平转变为 RS485 电平，RS485 通信方式为半双工，以一主多从的方式采集各个电能表的数据。为减少信号的回波与反射，在 A、B 端接入 120  $\Omega$  的终端匹配电阻  $R_{21}$ 。

将 4 个电能表链接在 RS485 总线上即可实现与 STM32 的通信。抄表时，STM32 通过 485 总线发送事先规定的数据帧，电能表收到数据帧后，若数据帧中的地址和电能表自身设定的参数相对应，则返回电能数据给 STM32。RS485 总线拓扑方式应为菊花链的方式，接线需用 RS485 通信专用的双绞线。电能表的“+”端与 RS485 接口“A”端相连，“-”端与电能表 RS485 接口的“B”端相连，若无共地端，则可不接 GND。

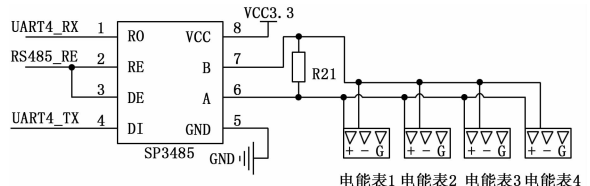


图 4 电能表数据采集电路

### 2.3 继电器电路

继电器主要用于控制现场设备的开关。图 5 是继电器的原理图。继电器选用松乐继电器，单刀双掷开关，采用光耦隔离，抗干扰性能好。将继电器的输入端 IN1 接到 STM32 的 PD6 口，控制 PD6 口输出低电平，光耦导通，继电器吸合，NO1 导通；输出高电平，光耦截止，继电器释放，NO1 断开。NC1 与 NO1 状态相反。

### 2.4 GPRS 模块

GPRS 模块选择 SIMCOM 公司生产的 SIM900A，该模块是双频的 GSM/GPRS 模块，可以工作于 EGSM 900 MHz 和 DCS 1 800 MHz 两个频段<sup>[7]</sup>。它内嵌 TCP/IP 协议，拓展的

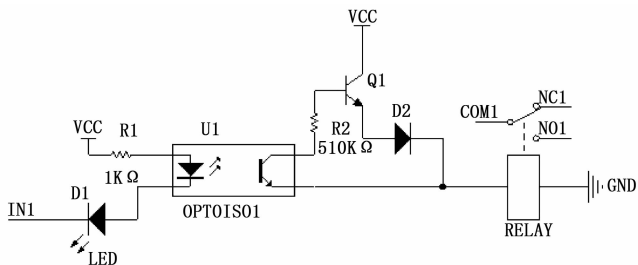


图 5 继电器电路图

AT 指令方便用户的操作。控制该模块仅需要电源端, 接地端, 开机端, 状态端, 串口几个引脚。该模块引脚图如图 6 所示, PWON 是电源端, 它接入 STM32 的 PD0 引脚, 控制 PD0 的电平高低的持续时间, 可以开启或关闭该模块。STAT 是状态端, 接入 STM32 的 PE1 引脚, 用来指示该模块的工作状态。通过 STM32 的串口 3 向该模块发送相应的 AT 指令来实现对模块的控制, 如给某个手机用户发送报警短信, 给某个服务器端发送采集到的数据。同时, 当模块收到移动数据或短信时, 模块也可以通过串口向 MCU 发送数据, MCU 解析这些数据, 进行相应的操作。

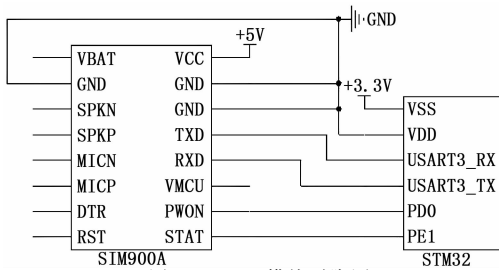


图 6 GPRS 模块引脚图

### 3 系统软件设计

由于本系统任务数量较多, 为了更好地对任务进行管理, 加快程序的开发进度, 提高系统的实时性, 在程序中加入了  $\mu C/OS-II$  操作系统。 $\mu C/OS-II$  操作系统结构小巧, 具有良好的可移植性、可裁剪性, 非常适合嵌入式开发<sup>[8]</sup>。

#### 3.1 主程序设计

系统软件主程序流程图如图 7 所示, 初始化  $\mu C/OS-II$  系统后, 创建一个初始任务, 在初始任务中按优先级从高到低的顺序创建图中从左到右的 5 个任务, 设置好各个任务的堆栈大小, 将程序的各部分功能分配到 5 个任务中, 然后挂起初始任务并启动系统。

#### 3.2 数据采集任务

首先采集 16 路压力数据, 先将 ADC1 的 16 路通道对应的 GPIO 口设置为模拟输入模式, 然后配置 ADC1 工作于独立模式, 扫描模式, 单次转换模式, 设置其为软件触发启动, 数据右对齐, 通道数目为用户设置的路数  $n$  ( $1 \sim 16$ ), 之后使能 ADC 并校准, 然后在内存中开辟一个类型为 volatile unsigned short a [n] [24] 的二维数组, 即每个通道的数值采集 24 次, 配置 ADC1 为 DMA 传输, 将 ADC1 数据寄存器的数据通过 DMA 通道传给二维数组。传输完成后, 首先将每个通道中的 24 个数据用冒泡排序的方法进行大小排序, 然后取中间的 6 个数据求平均值, 得到精度较高的采样值, 由采样值与 STM32 的参考电压求得采集的电压值, 再通过电压值与压力

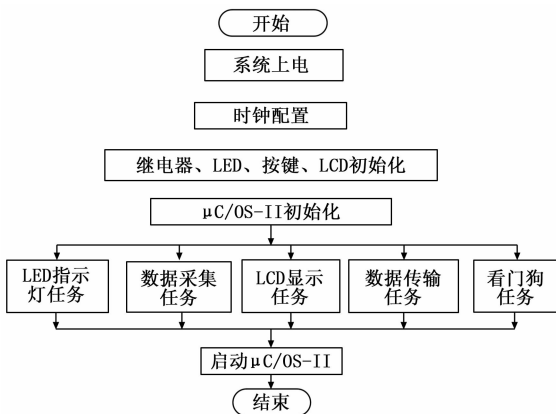


图 7 系统主程序流程图

值的函数关系求得压力值。

然后采集 4 路电能表数据, STM32 通过串口 4 向 RS485 总线发送数据帧, 等待电能表的应答。数据帧的格式如表 1 所示。

表 1 电能表数据帧结构表

说明	代码	意义
帧起始符	68H	标示一帧信息的开始
地址域	A0~A5	表号、资产号、用户号、设备号
帧起始符	68H	间隔标志
控制码	C	读写数据命令
数据长度域	L	数据域的字节数
数据域	DATA	标识、数据密码等
校验码	CS	各字节二进制算数和
结束符	16H	标识一帧信息的结束

其中, 地址域由低位地址在前, 高位地址在后的 6 个字节组成, 每个字节包含两位 BCD 码。控制码表明该帧数据的用途, 这里是读电能表数据。数据域包含数据标识和密码, 发送方将其转为余 3BCD 码再进行传送。电表收到数据帧后, 若与电表设定参数相匹配, 便返回数据帧, STM32 收到返回帧后, 对返回帧的数据域的值按字节进行“减 33H”操作, 即得到电能表的当前耗电值。

#### 3.3 数据发送任务

数据发送任务流程图如图 8 所示, 首先初始化 SIM900A 模块, 然后向 SIM900A 模块发送 AT 指令 AT+CIPSTART="TCP", "IP 地址", "端口号" 来使其与服务器建立 TCP 连接, 若连接失败, 则重新初始化 SIM900A 模块再次进行连接, 若连续三次失败, 则挂起看门狗的喂狗任务, 等待系统复位。若连接成功, STM32 将处理后的数据通过串口 3 传送给 SIM900A 模块, SIM900A 模块自动将数据上传到指定 IP 地址的服务器。发送完成后, 系统检测是否收到服务器端的应答, 若收到, 则表示发送成功; 若没有收到应答, 则重新发送数据。如果连续 3 次发送数据而没有收到应答, 则重新初始化 SIM900A 模块。此外, STM32 不断检测 SIM900A 的数据寄存器和短信缓冲区, 若收到数据或短信, 则读取并解析, 根据数据或短信的内容控制继电器的状态, 实现对现场设备的开关。

本系统采用的是 TCP 连接, 如果 SIM900A 模块与服务器端长时间不通信会造成连接断开, 为了保持连接状态, 系统会

在单位时间内向服务器端发送一个内容为“ht”的心跳包。

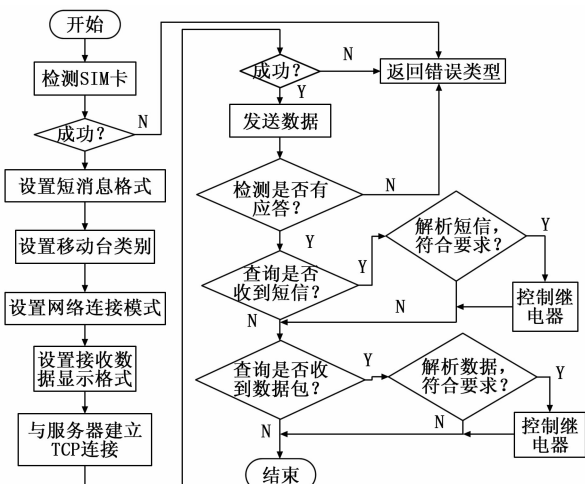


图 8 数据发送任务流程图

### 3.4 LCD 数据显示任务

最后是 LCD 数据显示任务，显示界面如图 9 所示。显示界面的设计分静态界面与动态界面设计，静态界面包括各个参数名称，如复位次数，CPU 使用率，信号强度，与服务器连接状态，数据发送状态，GPRS 模块开关状态，16 路通道压力，4 路 220V 开关量状态，2 路继电器状态，4 路电能表数据，动态界面显示这些参数的具体数值或状态，并在一定的时间刷新一次。通过  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  系统中的信号量来规范各个显示任务的顺序，避免造成冲突。利用函数 LockLcd = OSSemCreate (1) 创建了一个值为 1 的信号，当各个显示任务需要执行时，需先调用函数 OSSemPend (LockLCD, 0, &err) 请求该信号，只有请求成功时，才能获得 CPU 的使用权，进而显示数据。若有其他的显示任务已经请求成功该信号时，当前的几个任务需等待，直到其它任务执行完并调用函数 OSSemPost (LockLCD) 释放信号量之后，处于最高优先级的等待任务才能获得 CPU 的使用权。

### 4 系统测试

搭建好系统硬件框架并调试好程序后，开始进行系统测试。以下分别进行数据精确度，报警性能，数据传输 3 个方面的测试。

1) 首先测试采集数据的准确性，采用有机机械仪表的压力罐进行测试，先将压力路数设为一路，然后逐渐增加压力罐的压力，读取压力罐的机械仪表数值与系统 LCD 上显示的数值，结果如表 2 所示。

表 2 压力数值比较表

仪表数值/Bar	LCD 显示数值/Bar	相对误差/%
1. 0	0. 99	1%
2. 0	2. 02	1%
3. 0	3. 01	0. 3%
4. 0	3. 99	0. 25%
5. 0	5. 01	0. 2%

由表 2 可知，系统显示的数值与实际数值的误差在 1% 以内，满足要求。

2) 然后进行报警性能测试，首先设置好正常的压力阈值为 0~5 Bar，然后将压力罐的压力调整为 6 Bar，此时系统蜂鸣器报警，上位机也收到报警信息，同时手机也收到报警短信，短信内容为“DongHuaDaXue - WarningC2: 6.01Bar”，提醒用户名称为“DongHuaDaXue”的监测点的第二路压力过大。为了对现场制冷设备进行控制，可以回复内容为“87654321-DongHuaDaXue-0-0”的短信，即“密码-监测点名称-继电器 1 的状态-继电器 2 的状态”来控制继电器的开关状态，发送短信后，发现两路继电器均调整为断开状态，制冷设备断电，符合要求。

3) 最后进行 GPRS 数据传输测试，开启系统与上位机，等待数据的采集与传输，测试结果如图 10 所示。上位机每隔 10 秒会收到名称为“ht”的心跳包，每隔 1 分钟会收到采集到的各项数值，格式为“监测点名称；压力路数 n；第一路压力状态-第一路压力数值~第 n 路压力状态-第 n 路压力数值；电能表 1 的数值~电能表 4 的数值”，其中压力状态为“0”表示压力没有超出设定的阈值，为“1”表示超出设定的阈值。



图 9 LCD 显示界面图

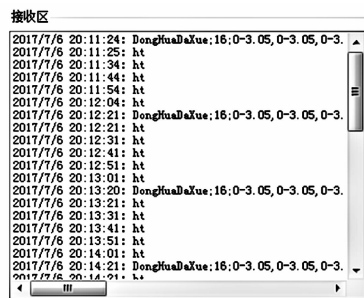


图 10 上位机接收数据图

### 5 结束语

本文设计的基于 STM32 的超市冷链监控报警系统，经测试精度较高，操作简单，可靠耐用，且成本较低，稳定性好。该系统可以有效减少超市管理人员去现场抄表的工作量，确保工作人员可以时刻监测冷链的工作状态，并在必要的情况下远程操控现场设备。此系统可逐渐在超市冷链中推广，有利于排除安全隐患，提高超市冷链的效益，确保超市冷链的安全运行。

#### 参考文献:

[1] 张玉洁. 连锁超市生鲜品冷链物流优化研究 [J]. 教育教学论坛, 2013, (6): 147-148.

[2] 林 辉. 中小连锁超市发展冷链之路 [J]. 信息与电脑, 2011 (4): 46-46, 51.

[3] 王佳权. 基于物联网的智能鞋柜系统设计 [J]. 电子技术应用, 2017, 43 (3): 84-87.

[4] 郑优讯, 李宗伯. 基于 STM32 微处理器的 GPRS 数据传输技术的研究 [J]. 微型机与应用, 2012 (21): 60-61, 64.

[5] 王 峰, 夏 龙. 压力传感器的二线制传输电路应用设计及分析 [J]. 传感器世界, 2001, 7 (5): 25-28.

[6] 储昭碧, 冯小英. 基于 ATT7022b 的多功能电能表实现 [J]. 仪表技术与传感器, 2008 (9): 26-28.

[7] 曲丽娜. 基于 STM32 的嵌入式 GPRS 网络远程数据采集控制系统设计 [J]. 煤炭技术, 2013 (8): 198-201.

[8] 关 海, 冯大政.  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  在基于 Cortex-M3 核的 ARM 处理器上的移植 [J]. 电子科技, 2009 (1): 69-74.