

基于 MODBUS 协议的车载空气质量检测系统设计

孙彦赞¹ 彭肖峰¹ 王涛¹ 吴雅婷¹ 严伟²

(1.上海市特种光纤与光接入网省部共建重点实验室 上海大学通信与信息工程学院 上海 200072;

2.上海泛亚汽车技术中心有限公司 上海 201201)

摘要: 在车联网中,需要对车内空气质量进行检测,结合 Modbus 协议,设计了一种可拓展的车内空气质量检测系统。该系统以微型控制单元(MCU)STM32F439 为主控制核心,采用微控制单元(MCU)STM32F103 作为传感器协议适配器,对甲醛浓度传感器、温湿度传感器、PM2.5/PM10 传感器等气体传感器进行协议适配,将不同的传感器原生协议统一成一致的协议。基于 Modbus 协议通过 RS485 接口将传感器数据输出给主控制核心,在主控制核心对数据过滤及处理之后,发送给加速处理器(APU),并通过 GPRS 通信模块实时向服务端上传信息。

关键词: 空气质量检测;Modbus 协议;微型控制单元(MCU);气体传感器;RS485;数据过滤

中图分类号: TN919.5 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

Design of vehicle air quality detection system based on MODBUS protocol

Sun Yanzan¹ Peng Xiaofeng¹ Wang Tao¹ Wu Yating¹ Yan Wei²

(1. Shanghai Key Laboratory of Specialty Fiber Optics and Optical Access Networks,

School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. Pan Asia Technical Automotive Center Co., Ltd, Shanghai 201201, China)

Abstract: In the car network, air quality detection is needed. Combined with Modbus protocol, we design an extensible vehicle air quality detection system. In the system, Microprogrammed Control Unit (MCU) STM32F439 is adopted as the main control core and MCU STM32F103 is used as the sensor protocol adapter, which adapts to the gas sensors such as formaldehyde sensor, temperature and humidity sensor, PM2.5/PM10 sensor, unify different sensor protocol into an unified protocol, transmits sensor data to the main control core through RS485 interface on the basis of Modbus protocol. After the main control core filters and processes the data, it will send the data to the acceleration processor unit (APU), and upload the information to the server in real time by means of the GPRS communication module.

Keywords: Air quality detection; Modbus bus protocol; micro-control unit (MCU); gas sensor; RS485; Data filtering

0 引言

随着我国经济持续高速发展,人们生活水平不断提高,汽车作为重要的出行工具,其保有量不断创下新高。在电子、计算机、网络通信技术迅速发展的推动下,移动互联网正一步一步走进我们的生活,汽车移动互联网络成为汽车电子发展的重要方向。

目前,现有的车载空气质量检测系统基本有两个不足:一是检测车内空气质量的传感器偏少,类型不够丰富,不能给出多方面的参考。其次是此类系统无法对传感器进行统一管理,传感器欠缺拓展性,对设备故障检测和维修有一定的难度。本文设计了一种可拓展的车内空气质量检测系统,该系统采用微型控制单元(microprogrammed control

unit, MCU)STM32F439(以下称主 MCU)为主控制核心,利用微控制单元 STM32F103 作为传感器协议适配器,对甲醛、温湿度等气体传感器进行协议适配,应用 Modbus^[1] 协议通过 RS485 接口将传感器数据发送给主控制核心,在主控制核心对数据进行过滤之后,发送给加速处理器(accelerated processing unit, APU),并通过 GPRS 通信模块实时向服务端上传信息。

1 系统设计

基于 MODBUS 协议的车载空气质量检测系统主要分为 3 个部分:传感器部分、主 MCU 和 APU,如图 1 所示。

本系统中用到了多个传感器,如甲醛传感器,PM2.5/PM10 传感器,温湿度传感器。传感器通过 IO 口将自身的

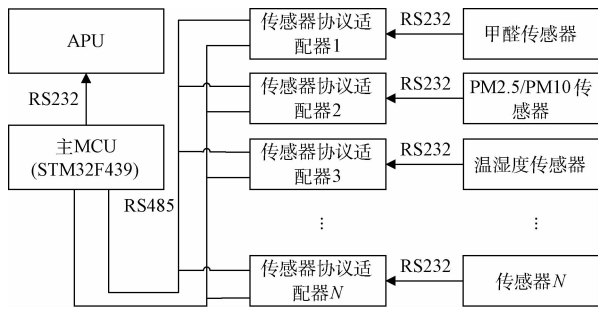


图 1 车载空气质量检测系统

数据传到传感器协议适配器上,传感器协议适配器将传感器的数据处理成统一的协议。适配器上运行实时操作系统 (real time operating system, RTOS) 以保证传感器数据的准确性、有效性和实时性,同时也运行 Modbus 从机协议^[2],以方便主 MCU 的统一管理。所有的传感器协议适配器统一搭载在 RS485 总线,接入主 MCU 的 RS485 接口。主 MCU 上运行 RTOS 及 Modbus 主机协议,对传感器协议适配器统一管理,对每个传感器分配优先级,方便任务调度,对传感器信息重要性分类。主 MCU 会对接收的传感器数据进行阈值处理和滤波,并把处理后的信息传给 APU, APU 进一步将这些信息上传至服务器。车载空气质量检测系统的硬件系统搭建如图 2 所示,右上角是主 MCU,下方是空气质量传感器和甲醛传感器,与之分别连接的是各自的协议适配器。它们通过 RS485 总线集线板接入主 MCU。

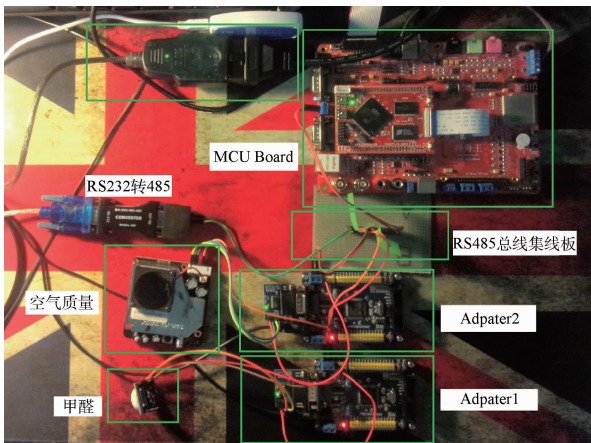


图 2 系统硬件搭建

2 硬件设计

2.1 甲醛传感器模块

甲醛传感器用的是 Dart Sensor 公司生产的电化学式甲醛传感器,其模块原理如图 3 所示。这种传感器是双电极电化学型,通过扩散原理使传感器产生一个较小的直流电流,再通过零漂运算放大器将电流信号放大,输出模拟电

压信号,实现对当前车内甲醛气体浓度值的采集。输出的信号会接入传感器协议适配器的 ADC 引脚,将数据转换。

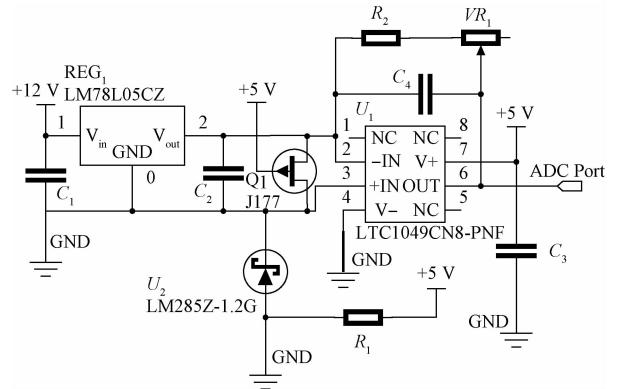


图 3 甲醛传感器模块原理

2.2 温湿度传感器模块

空气湿度是环境观测要素中很重要的一项内容^[3],车内温湿度的状况对乘车人员的乘车舒适度有很大的影响。温湿度传感器用的是 DHT11 传感器模块,其模块原理图如图 4 所示。传感器包括一个电阻式感湿原件和一个 NTC 测温原件,是一种复合式传感器,它输出的是数字信号,结构简单,在数字模块采集技术和温湿度传感器技术应用十分广泛^[4]。该传感器实现对当前车内温度值和湿度值的采集,输出的信号会接入传感器协议适配器的 GPIO 口,适配器会对温湿度传感器的串行数据进行转换。

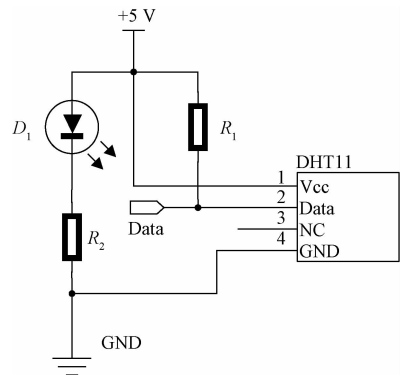


图 4 温湿度传感器模块原理

2.3 PM2.5/PM10 传感器模块

PM2.5/PM10 传感器用的是激光器和感光部件,当激光照射到检测位置的颗粒物时会产生微弱的光散射,在特定方向上的光散射波形与颗粒直径有关,通过不同粒径的波形分类统计及换算公式可以得到不同粒径的实时颗粒物的数量浓度^[5]。传感器使用以上原理,能够能到空气中 0.3~10 μm 悬浮颗粒物浓度。传感器实现对当前车内悬浮物颗粒浓度值的采集。输出信号会通过 UART 口接入传感器协议适配器,适配器会对悬浮物颗粒浓度值进行转换。

2.4 传感器协议适配器模块

传感器协议适配器模块是以 STM32F103 作为核心,并有丰富外围设备的模块。为了方便适应多种传感器接口,模块留有了丰富的 GPIO 口,并设计了 RS232 接口和 RS485 接口。

不同的传感器,接口不一样,现在常见传感器接口的有 UART 接口、RS232 接口、普通 GPIO 接口等等。同时传感器的数据格式也不一样。传感器协议适配器的目的是为了统一传感器的接口和数据传输协议,降低开发难度,增强可拓展性,方便后期增加传感器,比如甲苯传感器,一氧化碳传感器等。

传感器协议适配器运行 RTOS 对传感器数据进行实时采集,以保证数据的实时有效。在程序中会对采集的数据进行处理,封装成统一的格式。

传感器协议适配器模块如图 5 所示。适配器中运行 Modbus 从机协议,将适配器和传感器看成一个设备整体。整个从机设备会通过 RS485 接口接入主 MCU。



图 5 传感器协议适配器模块

2.5 主 MCU 模块和 APU 模块

主 MCU 模块和 APU 模块的框图如图 6 所示。主 MCU 是以 STM32F439 作为核心,主控芯片采用 STM32F4 系列基于 Cortex-M4 的 ARM。同时,它的主频也提高到了 168 MHz^[6],并有丰富外围设备的模块,设计了 RS232 接口和 RS485 接口。



图 6 主 MCU 模块和 APU 模块

主 MCU 上运行 Modbus 主机协议,通过 RS485 会对传感器设备(即传感器协议适配器+传感器)进行统一管理。在主 MCU 上运行 RTOS,以方便对传感器数据的实时获取,并根据需要分配优先级。

主 MCU 会对采集的数据进行卡尔曼滤波,提升数据的有效性。处理结束的数据会传给 APU,APU 会将这些数据信息通过 GPRS 上传至服务器。

3 软件设计

软件主要分为主 MCU 模块的软件和传感器协议适配器的软件。

主 MCU 的软件设计需要满足以下几个基本功能:传感器设备的调度、Modbus 主机功能、传感器数据的滤波处理,将数据发送给 APU。传感器协议适配器的软件设计需

要满足几个基本功能:统一传感器协议、Modbus 从机功能。

3.1 软件设计

在主 MCU 的软件中,为满足对传感器调度的功能,搭载了 RTOS,在这里用的是开源实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ ^[7]。 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时操作系统系统结构小巧,适合小型控制系统,执行效率高,占用空间小,实时性能优良和扩展性强^[8]。每一个传感器都会对应一个线程任务,并且分配优先级,比如说 PM2.5 的浓度值会变化频繁,则优先级设为较高的等级。

为统一管理传感器设备,主 MCU 的软件还运行了 Modbus 协议。Modbus 协议是应用于控制器上的一种标准协议,可以使得不同厂商生产的控制设备连成工业网络,以便于进行集中控制。按照 Modbus 协议,传感器通讯方式按照主从式,数据传输选择 RTU(远程终端单元)模式,采用 RTU 模式可以获得较快的通信速率^[9]。主 MCU 上运行 Modbus 的主机协议,而传感器协议适配器上运行 Modbus 的从机协议。主 MCU 会根据传感器设备的设备号,通过标准的 Modbus 协议请求数据,而传感器设备也会根据主机协议响应数据。

主 MCU 会传感器设备的数据使用经典的卡尔曼滤波算法进行滤波处理,保证数据的有效性。

3.2 主 MCU 发送至 APU 数据帧信息

主 MCU 将传感器数据重新封装成新的格式,通过 RS232 接口发送给 APU。主 MCU 的默认主机地址为 0xAA,设备码是根据不同传感器而定义的,PM2.5/PM10 传感器为 0x01,甲醛传感器为 0x02,温湿度传感器为 0x03。后续拓展传感器会以此类推。数据 1 和数据 2 均是传感器数据。校验位是采用 2 Byte 的 CRC16 校验^[9]。主 MCU 发送至 APU 数据帧的格式如表 1 所示。

表 1 主 MCU 发送至 APU 数据帧信息

| 数据段 | 数据 |
|-------------|----|
| 主机地址 | AA |
| 设备码 | 01 |
| 数据 1 高 Byte | 00 |
| 数据 1 低 Byte | CC |
| 数据 2 高 Byte | 00 |
| 数据 2 低 Byte | F5 |
| CRC 高 Byte | 25 |
| CRC 低 Byte | A9 |

3.3 传感器协议适配器接受数据帧信息

传感器协议适配器接受数据帧是主 MCU 向传感器协议适配器发送的请求帧。以甲醛传感器为例,从机地址为定义的传感器设备地址;功能码 0x04 在 Modbus 协议中指的是读输入寄存器,而在此帧中代表传感器;寄存器起始地

址默认为 0x0000;寄存器个数,即返回的传感器数据的个数,16 个 Byte 为 1 个数据,在这里定义了两个数据,方便复合型传感器(如温湿度传感器)的拓展;校验位是采用 2 Byte 的 CRC16 校验。传感器协议适配器接受数据帧格式如表 2 所示。

表 2 传感器协议适配器接受数据帧信息

| 数据段 | 数据 |
|------------|----|
| 从机地址 | 02 |
| 功能码 | 04 |
| 寄存器起始地址高字节 | 00 |
| 寄存器起始地址低字节 | 00 |
| 寄存器个数高字节 | 00 |
| 寄存器个数低字节 | 02 |
| CRC 高字节 | 71 |
| CRC 低字节 | F8 |

3.4 传感器协议适配器发送数据帧信息

传感器协议适配器接受数据帧是传感器设备向主 MCU 发送的响应帧。从机地址和功能码的解释跟接收数据帧一样;字节数是指数据 1 和数据 2 共有 4 Byte;数据 1 和数据 2 均是传感器数据;校验位是采用 2 Byte 的 CRC16 校验^[9]。传感器协议适配器发送数据帧格式如表 3 所示。

表 3 传感器协议适配器发送数据帧信息

| 数据段 | 数据 |
|-------------|----|
| 从机地址 | 02 |
| 功能码 | 04 |
| 字节数 | 04 |
| 数据 1 高 Byte | 0E |
| 数据 1 低 Byte | D6 |
| 数据 2 高 Byte | 10 |
| 数据 2 低 Byte | 01 |
| CRC 高 Byte | E7 |
| CRC 低 Byte | 94 |

3.5 卡尔曼滤波

卡尔曼滤波是一种经典的滤波算法,可以根据估计信号的过去和当前状态,甚至能估计将来的状态^[10]。基本思想是:以最小均方误差为最佳估计准则,采用信号与噪声的状态空间模型,利用前一时间的观测值来更新对状态量的估计,求出当前时刻的估计值^[10]。基于线性离散系统的卡尔曼滤波有点在于算法可以有计算机执行且不必存储大量数据^[11]。相比于其他精度算法,如维纳滤波和温度补偿算法等,卡尔曼滤波具有更高的反应速度和稳定性^[12]。

因此本系统中对传感器数据过滤使用卡尔曼滤波算法,避免坏数据的产生。程序设计使用的卡尔曼滤波算法

的实现简单,具体实现如下代码所示。

```
void kalman_init(kalman1_state * state, float init_x,
float init_p)
{
state->x = init_x; //测量值初始化
state->p = init_p; //后验估计协方差
state->A = 1; // 1×1 状态转移矩阵
state->H = 1; //1×1 量测矩阵
state->q = 2e2; //过程激励噪声的协方差
state->r = 5e2; //测量噪声协方差
}
//一维卡尔曼滤波
float kalman_filter(kalman1_state * state, float z_
measure)
{
/* 预测值 */
state->x = state->A * state->x;
state->p = state->A * state->A * state->p +
state->q; /* 计算当前时刻的后验估计协方差 */
/* 卡尔曼增益计算 */
state->gain = state->p * state->H / (state->p
* state->H * state->H + state->r);
/* 更新值 */
state->x = state->x + state->gain * (z_
measure - state->H * state->x);
state->p = (1 - state->gain * state->H) *
state->p;
return state->x;
}
```

4 实验验证

车载系统需要较高的性能,为了解该系统的性能,对系统的稳定性和数据处理效果这两方面进行了测试。按照交规规定,机动车驾驶人不得连续驾驶机动车连续驾驶机动车超过 4 h 未停车休息。所以系统的稳定性测试时间是 4 h。经过测试该系统工作 4 h 之后仍旧能保持正常工作。

为了更加严谨地测试系统稳定性,对系统和电脑端进行收发丢包测试。该系统将接受的传感器数据发送给电脑端串口通信软件将数据完整发回给该系统,经过 4 h 测试,数据结果如表 4 所示。

表 4 数据丢包测试

| 发送数据量/MB | 接收数据量/MB |
|----------|----------|
| 172.631 | 172.631 |

由此可见数据的丢包率为 0%,软件的稳定性和可靠

性较好。

5 结 论

本文设计了一套基于 MODBUS 协议,并搭建在微型控制单元上的空气质量采集系统,通过多种传感器对车内空气质量的检测,实现了对车内甲醛气体浓度,PM2.5/PM10 浓度,及温湿度状况的检测。本系统具有实时性强、易扩展性及稳定性高等特点。其检测结果对车联网、车主个性化定制、车内空气质量改善等方面具有重要的应用价值。

参考文献

- [1] Modbus application protocol specification, V1. 1b3 Modbus Organization, 2012. [EB/OL]. Available: <http://www.modbus.org>
- [2] NGUYEN T S, HUYNH T H. Design and implementation of modbus slave based on ARM platform and FreeRTOS environment[C]. Advanced Technologies for Communication, 2015:462-467.
- [3] 崔学林, 梁宝龙, 黄斌, 等. 湿度传感器测量不确定度评定[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(10): 1544-1549.
- [4] 周洁, 孟强, 李阳冬, 等. 基于 Raspberry Pi 的车载空气质量检测系统设计与实现[J]. 物联网技术, 2015(6):13-15.
- [5] WANG Y, MENG S, YI L, et al. Atmospheric PM2.5 automatic monitoring gas line system design based on laser scattering method[C]. International Conference on Instrumentation & Measurement. IEEE, 2014:706-710.
- [6] 王中石, 王福超. 基于 ARM 的快速反射镜鲁棒控制系统设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(5):74-78.
- [7] WANG K, PENG D, SONG L, et al. Implementation of modbus communication protocol based on ARM Cortex-M0[C]. IEEE International Conference on System Science and Engineering. IEEE, 2014: 69-73.
- [8] 潘丽蕊, 袁保社. 基于 Cortex-M3 核的 μ COS-II 移植与应用[J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(18): 5111-5114.
- [9] 乔爱民, 顾季, 张炜. 基于 SOC 单片机及 MODBUS 协议的数字模拟传感器[J]. 仪表技术与传感器, 2009(12):10-13.
- [10] 彭丁聪. 卡尔曼滤波的基本原理及应用[J]. 软件导刊, 2009(11):32-34.
- [11] 李江, 王义伟, 魏超, 等. 卡尔曼滤波理论在电力系统中的应用综述[J]. 电力系统保护与控制, 2014(6): 135-144.
- [12] 陶红波, 方勇, 许广宏, 等. 基于卡尔曼滤波的车内空气质量远程实时监测系统[J]. 电子测量技术, 2016, 39(11):126-130.

作者简介

孙彦赞, 1982 年出生, 讲师, 硕士生导师, 研究方向为研究方向为无线通信资源管理、干扰协调、绿色通信。

E-mail: yanzansun@shu.edu.cn

彭肖峰, 1990 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为移动互联网。

E-mail: shawnpeng@yeah.net

王涛, 1982 年出生, 讲师, 硕士生导师, 研究方向为研究方向为无线通信资源管理、Relay 通信、绿色通信。

E-mail: twang@shu.edu.cn

吴雅婷, 1984 年出生, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为数字信号处理、协作 MIMO 通信。

E-mail: yt-wu@shu.edu.cn

严伟, 1981 年出生, 本科, 研究方向为车身电子系统。

E-mail: weii_yan@patac.com.cn