

基于单片机的便捷式车载温湿度监测系统的设计与实现

张敏¹, 孙志刚¹, 高萌萌¹, 程海¹, 王国涛^{1,2}

(1. 黑龙江大学 电子工程学院, 哈尔滨 150008;

2. 哈尔滨工业大学 电器与电子可靠性研究所, 哈尔滨 150001)

摘要: 针对普通家用汽车存在的缺少车内实时温湿度监测功能的问题, 设计了一种基于单片机的便捷式车载温湿度监测系统; 系统由车载监测设备、蓝牙通信模块和手机 APP 软件组成; 车载监测设备控制温湿度检测模块实时采集车内的温湿度参数, 一方面在本地液晶屏进行显示, 另一方面通过蓝牙通信模块发送至手机 APP 软件显示; 系统包括本地与远程两种方式的预警阈值设定方法, 初始设定阈值的温度上限是 36 °C, 温度下限是 18 °C, 湿度上限 80% RH, 温度下限 30% RH; 设定完成后, 车载监测设备会实时判断当前温湿度数据时候达到预警阈值, 并及时进行本地声光报警; 以黑龙江省哈尔滨市为例, 多次测试结果表明: 本系统能够在温度范围为 -18 至 32 °C、湿度范围为 50% 至 80% RH 的环境中运行稳定, 蓝牙通信模块的有效传输距离为 8.2 m, 不同温度区间跨度带来蓝牙通信的平均时延为 265 ms; 本系统具有可移植性强、装配简易、性价比高等优点, 能够广泛应用于小型及中型车辆的车内环境的监测中。

关键词: 温湿度监测; 车载监测设备; 蓝牙通信; 手机 APP 软件; 预警阈值

Design and Realization of the Portable Temperature and Humidity Monitoring System for Vehicles Based on Embedded Microcontroller

ZHANG Min¹, SUN Zhigang¹, GAO Mengmeng¹, CHENG Hai¹, WANG Guotao^{1,2}

(1. School of Electronic Engineering, Heilongjiang University, Harbin 150008, China;

2. Reliability Institute for Electric Apparatus and Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Aiming at the problem of lack real-time temperature and humidity monitoring in ordinary family cars, a portable temperature and humidity monitoring system for vehicles based on embedded microcontroller is designed. The system consists of vehicle monitoring equipment, Bluetooth communication module and mobile phone APP software. The vehicle monitoring equipment controls the temperature and humidity detection module to collect the temperature and humidity parameters in the car in real time, on the one hand, it is displayed on the local LCD screen, and on the other hand, it is sent to the mobile phone APP software for display through the Bluetooth communication module. The system includes two setting methods for local and remote alarm thresholds. The initial setting thresholds are as follows, the upper temperature limit is 36 °C, the lower temperature limit is 18 °C, the upper humidity limit is 80% RH, and the lower temperature limit is 30% RH. After the setting thresholds is completed, the vehicle monitoring equipment will determine in real time whether the current temperature and humidity data reaches the early warning thresholds, and promptly carries out local sound and light alarms. Taking Harbin City, Heilongjiang Province as an example, the multiple tests show that, the system can operate stably in an environment with a temperature range of -18 °C to 32 °C and a humidity range of 50% to 80% RH. The effective transmission distance of Bluetooth communication module is up to 8.2 m. The average delay of Bluetooth communication caused by the span of different temperature ranges is 265 ms. This system has the advantages of strong portability, easy assembly and high-cost performance, and can be widely used in the monitoring of the small and medium-sized vehicles.

Keywords: temperature and humidity monitoring; vehicle monitoring equipment; bluetooth communication; APP software; early warning threshold

收稿日期: 2021-11-29; 修回日期: 2021-12-06。

基金项目: 国家自然科学基金(51607059); 黑龙江省自然科学基金(QC2017059, JJ2020LH1310); 黑龙江省博士后基金(LBH-Z16169); 黑龙江省高校基本科研业务费(HDRCCX-201604, 2020-KYYWF-1006); 黑龙江省教育厅科技成果培育(TSTAU-C2018016); 七台河市科技计划项目(20308C); 黑龙江大学研究生创新科研项目(YJSCX2021-067HLJU)。

作者简介: 张敏(1998-), 女, 黑龙江绥化人, 硕士研究生, 主要从事密封电子元器件多余物检测技术方向的研究。

程海(1979-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 副教授, 主要从事嵌入式系统与应用、保密通信及深度加速学习方向的研究。

通讯作者: 王国涛(1982-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 副教授, 主要从事密封电子元器件多余物检测技术方向的研究。

引用格式: 张敏, 孙志刚, 高萌萌, 等. 基于单片机的便捷式车载温湿度监测系统的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(5): 43-48, 54.

0 引言

近年来,随着经济的快速发展,普通家用汽车的保有率逐年提高。但是随之而来的有关汽车安全的新闻报道层出不穷,如某新闻报导中,监护人将女童遗忘在车内,最终因夏季温度过高、气压增强而使其缺氧窒息身亡。又如某老人在停车场被家人遗忘在车内,也因呼吸不畅导致昏迷。如果能在现有汽车系统中配备监测包括车内温湿度在内的智能化车载监测系统,能在一定程度上减少此类事件的发生。

目前,我国国内中高档汽车的中控系统已经集成有环境参数检测系统,包括胎压检测、车内温湿度检测和空气质量检测等功能^[1]。但这套环境参数检测系统在汽车出厂之前,已经统一安装到整车配件中。该系统通过有线传输方式将检测到的参数数据传输至汽车中控屏幕进行显示。因此,当集成化的车载环境参数检测系统的某个部件发生损坏时,需要前往固定维修地点,不仅维修过程复杂,而且所需维修费用高昂。而对于目前使用范围更广的普通家用汽车、旧款家用汽车以及运送批量货物的面包车来说,都不具备车内环境检测功能。因此,设计一个便携式的可方便装配的车载温湿度检测及报警装置有着重要的现实意义。

在万物互联的时代,信息可以快速、高效地在人与物或者是物与物之间传送^[2]。随着物联网的快速发展,近年来的智能家居产品层出不穷,和汽车有关的智能产品也逐渐涌现。文献[3]设计了一套无线温度智能监测系统,系统通过无线传感网络采集温度数据,借助 Zigbee 网络传输至车载智能终端进行实时监测与处理。文献[4]设计了一套基于车载 WSN 网络的车载环境监测系统,系统包括基于 Zigbee 的车载 WSN 网络组网设计、APU 模块设计、云端服务器以及移动 APP 设计。文献[5]设计了一个特种车辆温控系统的温湿度测量网络,系统设计了一种基于 XC164CS 单片机和单总线技术相结合的温湿度测量网络,通过单路检测电路完成多个温湿度测点信号的同步测量。文献[6]设计了一套基于信息融合技术的行车安全监测系统,系统由车载监测终端、远程监测管理平台和 Android 移动终端组成,实现了信息的采集与发送、本地预警判断及远程报警等功能。

本文在总结现有研究基础上,利用成熟的物联网传感器技术,设计了一套基于单片机的便携式车载温湿度监测系统。该系统采用 STC89C52 为硬件终端的主控制器,通过其控制 DHT11 温湿度检测模块实时采集车内的温湿度参数,并将参数数值显示在本地的 LCD 液晶模块上。该系统还设计了可远程使用的手机 APP 软件,它通过 HC-05 蓝牙通信模块与主控制器建立通信连接。这样,主控制器将实时采集的温湿度参数通过蓝牙通信链路,及时传输至手机 APP 软件进行显示。同时,该系统保留本地与远程预警阈值的设定功能。即:一方面,可以在本地通过按键设置温

湿度参数的预警阈值;另一方面,还可以在远程通过手机 APP 软件设置预警阈值,设置完成后传输到主控制器保存。在设置预警阈值后,主控制器在每次实时温湿度参数采集时都会进行一次判断,当采集的温湿度数据超过设置的预警阈值,系统会及时进行本地声光报警。由此可见,本文设计的基于单片机的便携式车载温湿度监测系统可移植性强,能够有机的集成到现有的汽车控制系统中,扩展其功能。同时,该系统信息化程度高,车主在离开车的一定范围内也能通过手机 APP 软件查看车内的温湿度信息,使车主突破了车内空间的限制。另外,该系统性价比较高,应用场景和使用范围较广。

1 硬件设计

本文设计的车载温湿度监测系统主要包括车载监测设备、蓝牙通信模块和手机移动端 APP 软件三部分,涵盖物联网技术的感知层、传输层和应用层^[7]。系统的硬件部分主要包括车载监测终端和蓝牙通信模块。车载监测设备主要包括以 STC89C52 主控制器为核心的最小控制电路,外接 DHT11 温湿度检测模块、LCD1602 液晶模块和基本外围电路。以 STC89C52 主控制器为核心的最小控制电路与其他硬件模块通过 I/O 口相连接。其中,DHT11 温湿度检测模块负责实时采集车内的温湿度参数,通过 I/O 口将温湿度数据传输至最小控制电路,最小控制电路再次通过 I/O 口将温湿度数据传输至 LCD1602 液晶模块显示。蓝牙通信模块同样通过 I/O 口与车载监测设备连接。它作为车载监测设备与手机 APP 软件的“中转站”,一方面,将车载监测设备实时采集的温湿度参数发送至手机 APP 软件;另一方面,将手机 APP 软件设置的预警阈值及时反馈至车载监测设备保存。需要说明的是,最小控制电路的外围电路包括电源电路、时钟电路和复位电路等,声光报警电路包括 LED 灯和蜂鸣器等。整个系统的硬件结构框图如图 1 所示。

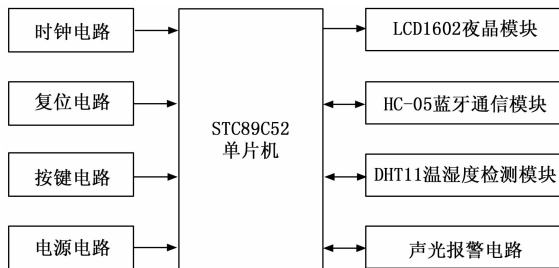


图 1 系统硬件结构图

1.1 最小控制电路

车载监测设备选取 STC89C52 型号的芯片为主控制器,它与电源电路、复位电路和时钟电路组成最小控制电路^[8]。该芯片具有 256 字节的内部数据存储器,8 k 字节的程序存储空间,共有 32 个 I/O 口^[9]。其中,P0 端口是 8 个具有漏级开路的双向 I/O 口,P1、P2 和 P3 端口都是 8 个具有内部上拉电阻的双向 I/O 口,可直接用串口下载数据及程序^[10]。同时,STC89C52 还拥有可编程的存储器 Flash,可

以借助 KEIL 软件对其进行程序设计^[11]。由此可见, 本文选取的以 STC89C52 为主控制器的最小控制电路能够有效满足温湿度参数的实时采集、双向蓝牙通信和预警判断的功能需求, 其电路原理图如图 2 所示。

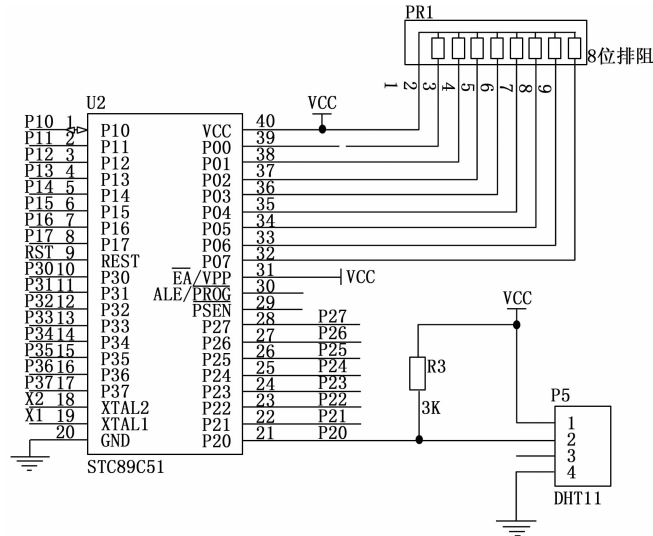


图 2 最小控制电路原理图

1.2 DHT11 温湿度检测模块

车载监测设备选取了结合 NTC 热敏电阻器和电阻感湿元件为一体的 DHT11 温湿度检测模块, 用于实时采集车内的温湿度参数。DHT11 温湿度检测模块的每个电阻感应元件都与一个高性能的单片机引脚相连, 具有较高的稳定性和可靠性^[12]。该检测模块各种模拟串行接口均采用单线制, 大大提升了传输效率。DHT11 温湿度传感器的温度测量范围是 -20 至 70 °C, 湿度测量范围是 20% 至 90% RH, 温度的灵敏度为 ±1 °C, 湿度灵敏度为 ±5% RH^[13]。通常情况下, 车内的温度范围为 -20 至 50 °C, 湿度范围为 20% 至 70% RH。可以发现, 使用该型号的温湿度检测模块能够有效、快速的对车内环境进行测量, 其电路原理图如图 3 所示。

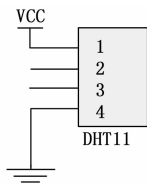


图 3 DHT11 温湿度检测模块电路原理图

1.3 LCD1602 液晶模块

车载监测设备选取 LCD1602 液晶模块作为温湿度数据的本地显示模块。LCD1602 液晶模块的 VCC 端口连接 5 V 电压源, VSS 端口连接接地端。该模块的寄存器选择引脚是 RS, 当输入高、低电平时, RS 分别选择为数据寄存器和指令寄存器。该模块的读写线为 R/W, 当输入高、低电平时, R/W 分别为读数据和写数据。E 为控制端, 当 E 电平发生由高到低的变化时, 液晶模块开始执行任务^[14]。该

模块可直接用引脚与主控制器相连, 它的读写操作都可以通过编程来实现。其电路原理图如图 4 所示。

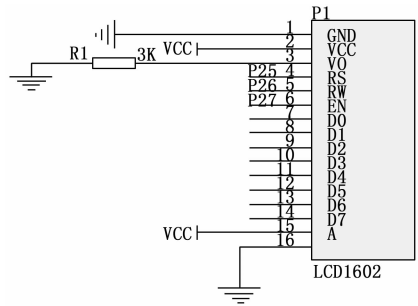


图 4 LCD1602 液晶模块电路原理图

1.4 蓝牙通信模块

车载监测设备选取 HC-05 蓝牙通信模块用于与手机软件进行双向数据通信。HC-05 蓝牙通信模块是可以配对手机、平板电脑等带有蓝牙功能的智能电子产品的蓝牙串口模块。HC-05 支持的波特率范围是 4 800 至 1 382 400, 通信距离为 10 m, 可支持的工作温度为 -25 至 75 °C^[15]。该模块默认状态为从机, 可随意进行指令切换, 实用性强, 方便灵活^[16]。由此可见, 使用该通信模块能够满足在车辆范围内的温湿度数据的快速传输, 其电路原理图如图 5 所示。

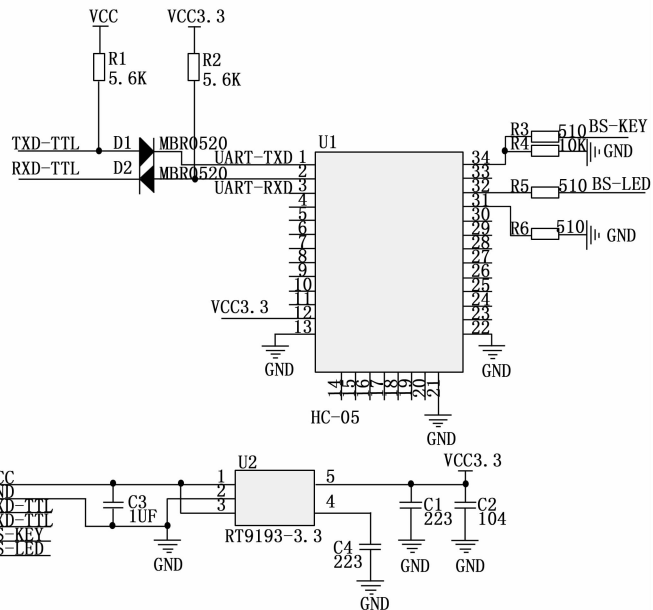


图 5 蓝牙通信模块电路原理图

1.5 其他硬件说明

按键模块用来设置本地温湿度预警阈值, 采用一排四列的连接方式。STC89C52 主控制器的 P1 端口连接着按键控制端, 按键按下的瞬间, 系统就有了输入信号的信息, 根据输入电平的高低决定 P1 端口如何执行操作。

声光报警电路在整个系统中起着提示作用, 本文选用的是压电式蜂鸣器和 LED 灯用于组成声光报警电路。当

STC89C52 主控制器判断实时采集的温湿度数据超过设定的预警阈值时，蜂鸣器发出报警声且 LED 灯闪烁提示。

2 软件设计

根据前文所述，系统软件设计部分也包括车载监测设备、蓝牙通信模块、手机 APP 软件 3 个部分。其中，车载监测设备在 KEIL 软件中基于 C 语言环境开发^[17]，主要包括温湿度数据的采集与传送、预警阈值的设置和声光报警。蓝牙通信模块集成在车载监测设备的软件程序设计中，并根据设定的蓝牙通信协议完成参数信息的发送、预警阈值的设置等双向数据传输功能。手机 APP 软件是基于 Android 技术开发的^[18]，主要包括温湿度数据的接收与解析、预警阈值的设定等功能。

2.1 系统软件流程设计

2.1.1 车载监测设备的流程设计

车载监测设备上电，系统初始化。初始化过程包括 STC89C52 主控制器初始化，外围电路初始化，蓝牙通信模块初始化配对连接，LCD1602 液晶模块初始化。初始化完成后，首先判断使用人员是否使用按键或手机 APP 软件设置预警阈值。如果有新的预警阈值被设置，将其保存至本地监测设备的存储空间中。如果未有新的预警阈值被设置，则开始一次实时的温湿度参数采集，并将采集的温湿度数据显示到 LCD 液晶模块。同时，通过蓝牙通信模块将该条温湿度数据远程发送至手机 APP 软件。车载监测设备对比采集的温湿度数据与设置的预警阈值，判断是否到达报警条件。若采集的温湿度数据到达预警阈值，则进行本地声光报警；若未超过预警阈值，直接进行下一轮温湿度参数采集。整个车载监测设备的软件流程如图 6 所示。

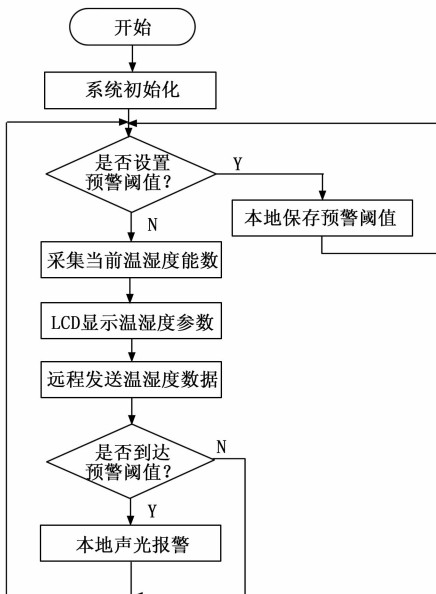


图 6 车载监测设备的软件流程图

2.1.2 蓝牙通信模块的流程设计

蓝牙通信模块初始化过程中，系统完成车载监测设备与手机 APP 软件的配对连接，直至配对成功。此时，蓝牙

通信模块时刻处于待“命”状态，判断是否有来自车载监测设备或手机 APP 需要远程传输的数据。如果判断到来自车载监测设备的温湿度数据，则及时转发至手机 APP 软件；如果判断到来自手机 APP 软件设置的预警阈值，则及时反馈至车载监测设备进行保存。蓝牙通信模块的软件流程如图 7 所示。

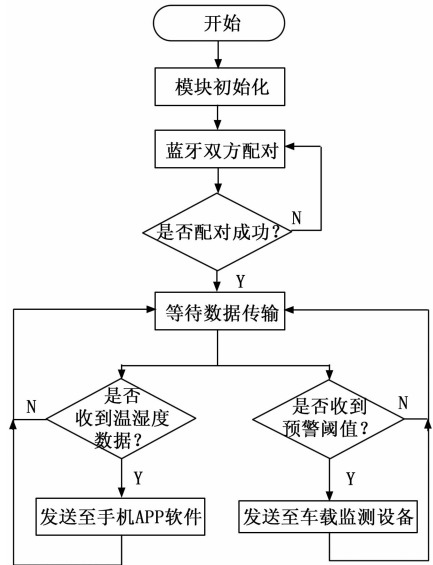


图 7 蓝牙通信模块的软件流程图

2.1.3 手机 APP 软件的流程设计

打开手机 APP 软件进入主界面，在初始化阶段与车载监测设备通过蓝牙通信模块配对成功。手机 APP 软件实时判断是否接收到来自车载监测设备发送的温湿度数据，在判断接收到温湿度数据后，手机 APP 软件解析温湿度数据并在主界面进行显示。在此过程中，手机 APP 软件实时判断使用人员是否在主界面设置预警阈值，若判断设置了新的预警阈值，则及时将设置的预警阈值信息通过蓝牙通信模块反馈至车载监测设备。手机 APP 软件的软件流程如图 8 所示。

2.2 蓝牙通信协议

车载监测设备与手机 APP 软件通过蓝牙通信模块建立通信链路后，进行双向数据通信需要遵守设定的数据通信协议^[19]，该协议包括参数传输协议和阈值设定协议。前者是由车载监测设备遵循，根据该协议车载监测设备将采集到的温湿度参数整合成一条数据，经蓝牙通信模块发送至手机 APP 软件。后者是由手机 APP 软件遵循，根据该协议将手机 APP 软件设置的预警阈值整合成一条数据，通过蓝牙通信模块反馈给车载监测设备。两种协议均采用“起始帧+帧间隔+数据帧”的设定形式，如表 1 所示。

表 1 蓝牙通信协议的设定形式

	起始帧	帧间隔	数据帧
参数传输协议	* HLJUC	,	下述
阈值设定协议	* HLJUY	&	下述

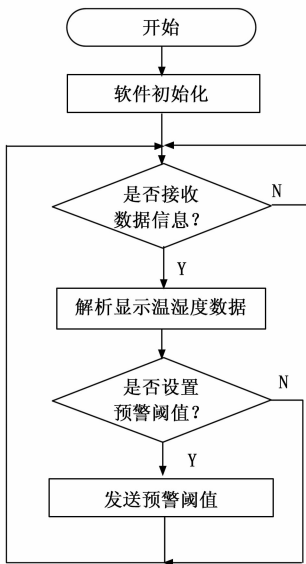


图 8 手机 APP 软件的软件流程图

参数传输协议的数据帧由温湿度参数与参数间隔组成, 本文中, 参数间隔符号选用英文半角下的“,”。数据帧的组成包括车内温度和车内湿度。一条参数传输协议的信息示例如下:

* HLJUC, 25, 60

上述数据帧表示当前采集的车内的温度为 25 °C, 车内的湿度为 60% RH。

阈值设定协议的数据帧由温度上限、温度下限、湿度上限、湿度下限和参数间隔组成。此处的参数间隔符号同样选用英文半角下的“,”。一条阈值设定协议的信息示例如下:

* HLJUC&.35, 15, 70, 40

上述数据帧表示当前设定的温度上限为 35 °C, 温度下限为 15 °C, 湿度上限为 70% RH, 湿度下限为 40% RH。

2.3 仿真测试

由于整个系统的硬件核心都在车载监测设备, 因此在制作整个系统的实物之前, 需要对设计的车载监测电路进行仿真测试。本文选用 proteus99 软件进行仿真测试^[20], 验证车载监测设备能否正常运行。我们使用按键在本地设置温度和湿度的预警阈值。如图 9 所示, 此次仿真设置的温度上限为 30 °C, 温度下限为 10 °C, 湿度上限为 50% RH, 湿度下限为 30% RH。

在仿真过程中, 我们手动设置当前温度为 22 °C, 湿度为 20% RH。此时, 温度和湿度都在设定的预警阈值范围内, 声光报警电路不工作, 如图 10 所示。

当实时采集的温度或湿度数据超出设置的预警阈值, 会触发声光报警电路。声光报警电路控制蜂鸣器发出鸣叫的同时, 还会控制对应的 LED 灯闪烁。声光报警电路中 LED 灯从左到右依次对应的是温度上限、温度下限、湿度上限和湿度下限。因此, 当我们手动将温度和湿度分别设置为 35 °C 和 45% RH, 此时湿度在预警阈值范围内, 但湿度超出预警阈值的上限。可以发现的是, 仿真图中的左一

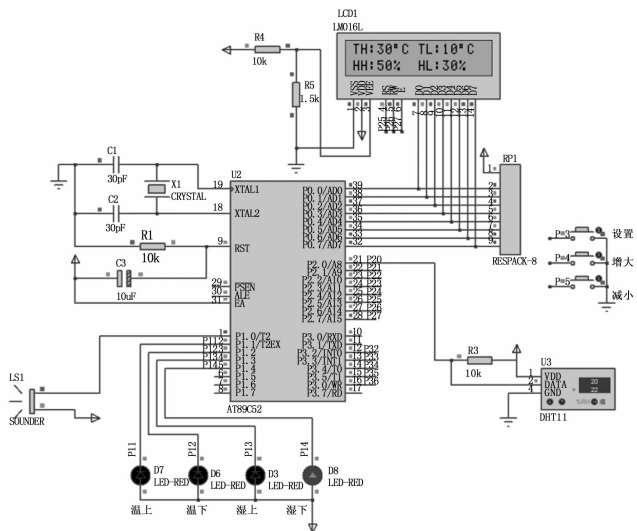


图 9 车载监测设备启动后仿真图

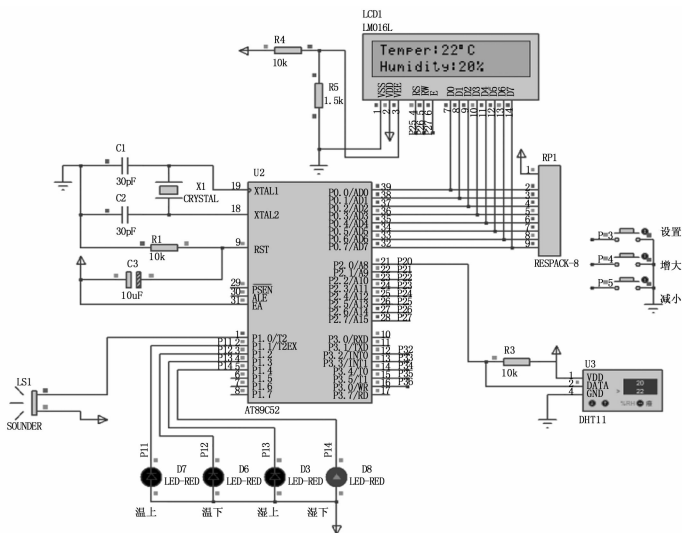


图 10 温湿度在预警阈值范围内仿真图

LED 灯亮起, 蜂鸣器鸣叫, 其仿真效果如图 11 所示。

3 系统测试

在对车载监测设备成功仿真的基础上, 我们制作整个监测系统的实物, 并对系统进行整体测试。首先, 我们启动车载监测设备, 此刻实时采集的温湿度参数为: 温度 22 °C, 湿度 66% RH。我们通过按键设置温湿度的预警阈值。其中, 我们设置温度上限为 36 °C, 温度下限为 18 °C, 湿度上限为 80% RH, 湿度下限为 30% RH, 如图 12 所示。

同时, 我们运行手机 APP 软件, 与车载监测设备建立蓝牙配对连接。我们可以发现, 手机 APP 的主界面也实时显示当前采集的温湿度数据。并且, 我们通过点击设置按钮和增大减小按钮也能设置温湿度的预警阈值, 如图 13 所示。

为了测试本地声光报警电路, 我们人为的将温度下限阈值重新设置为 23 °C, 则此时实时检测的温度数据 22 °C

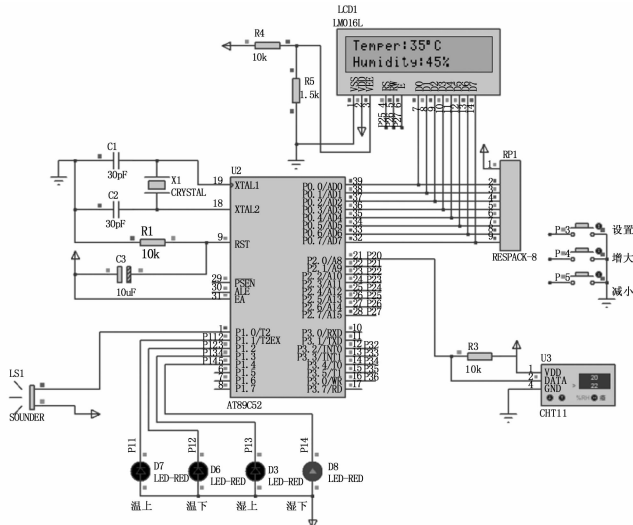


图 11 温度超过阈值上限声光报警仿真图

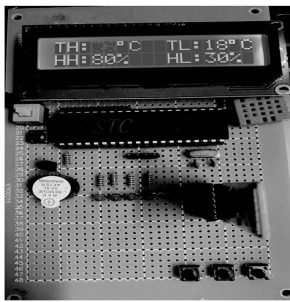


图 12 按键模块设置阈值图

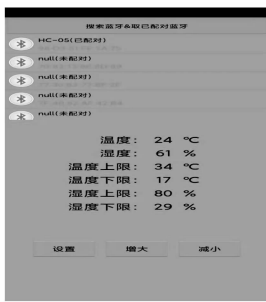


图 13 手机 APP 软件主界面

低于阈值下限。可以发现，车载监测设备进行声光报警，如图 14 所示。

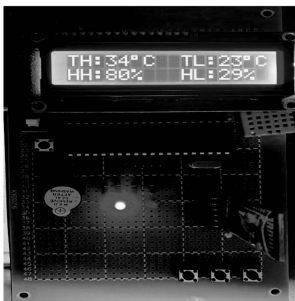


图 14 本地声光报警工作图

至此，系统整体测试结束。需要说明的是，在实际测试过程中，因为汽车外壳或温度等因素的影响，多次测试得出，蓝牙通信的有效范围为距离车载监测设备的 8.2 m 内。另外，在不同的温度区间内，车载监测设备通过蓝牙通信模块向手机 APP 软件传输温湿度数据存在时间延迟，如表 2 所示。

4 结束语

本文设计了一种基于单片机的便捷式车载温湿度监测系统，有效解决了普通家用汽车或小型运输车辆内部温湿度快速监测的问题。系统包含车载监测设备、蓝牙通信模块

表 2 不同温度区间的平均时延

温度范围/℃	平均时延/ms
-20 ~ -10	420
-10 ~ 0	360
0 ~ 10	220
10 ~ 20	200
20 ~ 30	200
30 ~ 40	190

和手机 APP 软件三部分。车载监测设备用于实时采集车内的温湿度参数，并及时在本地液晶屏上进行显示。同时，车载监测设备与手机 APP 软件通过蓝牙通信模块建立双向数据通信。这样，用户同样可以在手机 APP 软件的主界面查看车内的温湿度数据。用户还可以通过本地按键或远程手机 APP 软件设置温湿度参数的预警阈值，待设置完成后，车载监测设备会在实时参数采集的同时进行判断，并及时进行本地声光报警。以笔者所在的黑龙江省哈尔滨市为例，经过长时间的测试，本文设计的车载温湿度监测系统在车内温度范围为 -18℃ 至 32℃、湿度范围为 50% RH 至 80% RH 的环境中运行正常。经过多次测试，得出蓝牙通信模块的有效传输长度为 8.2 m。另外，在 -18℃ 至 32℃ 对应的大温度区间范围内，车载监测设备与手机 APP 软件之间参数传输的平均时延为 265 ms。

下一步，笔者打算从两个方面对本系统进行改进。一方面，目前本系统设计的车载监测设备还属于测试品，但多次测试表明其功能完备、原理设计可靠。笔者将考虑与科技公司合作，将该系统成品化，进一步增强其实用性。另一方面，本系统选用的蓝牙通信模块的参数传输距离会受车体、温度等因素的影响，具体表现为离开蓝牙通信模块 7 m 以后，信号开始迅速减弱。当超过 8.2 m 后，温湿度数据的传输开始不稳定，甚至出现蓝牙中断现象。因此，笔者计划将蓝牙通信模块更换为 GSM/GPRS 模块。此时，只要保证人和车处于基站覆盖的环境下，温湿度数据就能进行有效传输，真正突破了空间的限制。并且，考虑到每条温湿度数据的字节长度较小，通过设置 GSM/GPRS 模块的传输频次，能够减少数据通信的流量，降低使用成本。

参考文献：

- [1] 王树梁, 郭化超, 戴仲谋, 等. 现代汽车新技术现状及发展趋势展望 [J]. 汽车工程师, 2021 (9): 1-5.
- [2] 吴晓鹏. 智联万物, 物联网技术的发展与未来 [J]. 中国安防, 2021 (8): 45-48.
- [3] 谢晋飞, 靳 鸿, 史晓军. 车载无线温度智能监测系统 [J]. 自动化与仪表, 2020, 35 (8): 66-71.
- [4] 肖健超, 苏晋升, 郭 格, 等. 基于车载 WSN 网络的车载环境监测系统设计 [J]. 电子测量技术, 2020, 43 (13): 123-130.
- [5] 袁学飞, 赵京坡, 李春林, 等. 特种车辆温控系统的温湿度测量网络设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (3): 67-71.
- [6] 孙志刚, 王国涛, 蒋爱平, 等. 基于信息融合技术的行车安全监测系统 [J]. 计算机科学, 2020, 47 (S2): 642-650, 661.

(下转第 54 页)

明装置装置已经有故障，装置运行灯应熄灭，相关自检出错报文在装置界面弹出，并将自检出错报文上送后台。

名称	地址	值	类型
Event_I_CB	0x00188268	0x00188268{...}	struct: EV_G...
ev_created	0x00188268	0x00188268{...}	struct: CS_N...
ev_id	0x00188274	0x45564E54	unsigned int
ev_name	0x00188278	0x00188278{...}	unsigned cha...
ev_current...	0x00188280	0x00002010	unsigned int
ev_tasks_w...	0x00188284	0x00000000	unsigned int
ev_suspens...	0x00188288	0x00000000{...}	struct: EV_S...

图 6 CPU2 传给 CPU1 状态数据

4 结束语

多 CPU 协同工作是常见的应用模式，对多 CPU 内部通信管理、数据异常处理需要进行充分验证，才能保证多 CPU 装置或系统的稳定运行。本文设计的在 CPU 内部设置的专用检测模块，不依赖外部设备，不改变原有接线布局，测试方法简单，可以模拟 CPU 间各类数据通信及对异常数据的处理，使用该专用检测模块能够及早发现和解决智能变电站相关产品在可靠性和长时间运行下可能存在的问题，改进了测试方法，提高了测试效率，保证了智能变电站继电保护装置的运行可靠性，在许继电气股份有限公司智能变电站继电保护产品的质量保障过程中发挥了重要作用。

参考文献:

[1] 谢黎, 周华良, 于同伟, 等. 一种智能变电站新型双网冗余设备及实现 [J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47 (11): 151-156.

[2] 张颖, 曾翔, 文明, 等. 数字化变电站通信冗余实施方案的改进及可靠性分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40 (5): 124-128.

[3] 冯世林. 智能路由多层交换机在变电站自动化系统中的应用 [J]. 四川电力技术, 2009, 32 (3): 73-76.

[4] 宋一丁, 王振华, 田巧红, 等. 一种以太网重复报文网络风暴处理方法 [J]. 电子设计工程, 2020, 28 (12): 140-143.

[7] 高萌萌, 孙志刚, 李硕, 等. 基于 NB-IoT 的区域空气质量监测系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (10): 55-59.

[8] 乔琳君, 魏严锋. 基于 STC89C52 单片机的自动换气扇系统设计 [J]. 电子设计工程, 2021, 29 (8): 173-176, 181.

[9] 周泽文, 邵婷婷. 基于 STC89C52 单片机的指环脉搏测量仪设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (2): 246-250.

[10] 程瑶, 田又源, 张果, 等. 基于颜色传感器的彩色铅笔自动分选系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2021 (9): 70-73.

[11] 胡中南, 樊蓓蓓. 基于 LabVIEW 的空气质量监测系统设计与实现 [J]. 自动化仪表, 2021, 42 (7): 78-82.

[12] 吴付祥. 基于 STM32 的温湿度监控系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2020 (8): 111-113, 118.

[13] 陈星辰, 张丽萍. 基于无线传输的车载温湿度测量系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (5): 42-44, 48.

[5] 胡宝, 张文, 李先彬, 陈强林. 智能变电站嵌入式平台测试系统设计与应用 [J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45 (10): 129-133.

[6] 刘雪优. 电力系统自动化技术的应用及发展分析 [J]. 科技创新与应用, 2020, 33: 164-165.

[7] 李喜龙, 黄馨. 浅析电力系统及其自动化的现状与发展 [J]. 电力系统装备, 2020 (3): 51-52.

[8] 王勋. 电力系统自动化技术的应用现状及发展趋势 [J]. 价值工程, 2017 (13): 202-204.

[9] 左群业, 胡宝, 刘天祥, 等. 智能变电站装置网络流量处理模式及其测试研究 [J]. 电气自动化, 2018, 40 (3): 8-10.

[10] 张楠, 黄益庄, 唐晓泉, 等. 多 CPU 结构综合保护装置内部通信的实现 [J]. 电力自动化设备, 2001, 21 (11): 40-43.

[11] 韩春江, 董贝, 唐晓泉, 等. 可视化通用继电保护软件平台设计 [J]. 电力自动化设备, 2011, 12 (下): 207.

[12] 黄海悦, 缪欣, 权宪军, 等. 基于元件化和可编程逻辑构建的继电保护平台 [J]. 继电器, 2006, 34 (14): 11-14.

[13] 浮明军, 刘昊昱, 董磊超. 智能变电站继电保护装置自动测试系统研究和应用 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43 (1): 40-44.

[14] 吴在军, 胡敏强, 杜炎森. 变电站通信网络实时性能仿真分析 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (8): 45-49.

[15] 徐立子. 变电站自动化系统的可靠性分析 [J]. 电网技术, 2002, 26 (8): 68-72.

[16] 汪兴强, 丁明, 韩平平. 互联电力系统可靠性评估的改进等效模型 [J]. 电工技术学报, 2011, 26 (9): 201-207.

[17] 宋爽, 乔金星, 卜强生, 等. 智能变电站冗余数据处理方案的研究与应用 [J]. 电力工程技术, 2018, 37 (2): 83-88.

[18] 王永刚, 应战煌, 陈玉峰. 基于 ARM-Core4x 嵌入式软件平台的实现方法 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (5): 143-146.

[19] 冯立杰, 傅民仓, 李文波. 多 CPU 嵌入式系统的设计方法 [J]. 现代电子技术, 2006, 221 (6): 54-55.

[20] 乔文军, 万晓冬. 嵌入式软件覆盖测试工具的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (9): 1238-1240.

[14] 周颖, 张海宁, 刘翔. 四旋翼飞行器的温湿度环境采集系统 [J]. 国外电子测量技术, 2019, 38 (10): 88-92.

[15] 黄克亚. 基于蓝牙技术的时间同步与无线监控系统实验设计 [J]. 实验技术与管理, 2021 (11): 64-69.

[16] 李云强. 基于智能手机的厨房环境监测系统的设计 [J]. 昆明理工大学学报 (自然科学版), 2019, 44 (4): 55-63.

[17] 屈哲, 刘龙, 孙雅欣, 等. 电驱式蒜薹收获机控制系统的设计与仿真 [J]. 农机化研究, 2021, 43 (12): 78-84.

[18] 谢毅. 面向安卓的移动终端操作系统防护技术 [J]. 电子设计工程, 2021, 29 (20): 57-60, 66.

[19] 吴韶波, 王明浩. 消费级物联网中的通信协议与标准 [J]. 物联网技术, 2017, 7 (12): 31-33, 37.

[20] 朱其祥, 徐勇, 蒋宗华, 等. 基于 Proteus 的井字棋游戏设计与仿真 [J]. 辽宁大学学报 (自然科学版), 2021, 48 (2): 121-124.