

特种车辆温控系统的温湿度测量网络设计

袁学飞, 赵京坡, 李春林, 李敏, 孙颖力

(北京航天发射技术研究所, 北京 100076)

摘要: 某型特种车温控系统温湿度测量方式采用多个 4~20 mA 电流型温湿度传感器, 中央控制单元根据传感器数量设计多路专用测量电路完成信号的采集, 该测量方式带来了系统成本高、通用性不强、扩展性差、维修性差及知识产权自主性不足等一系列问题, 不利于武器装备的技术发展及实战化效能提升; 针对上述问题, 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, 且温度和湿度精度分别满足 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 3.5\%$ RH 的系统指标要求; 实践表明: 该方案在成本、可靠性、准确性、通用性及扩展性等各方面都较传统测量方案有较大的优势, 且总体架构简单, 极大地简化了特种车温控系统的总体设计, 具有很重要的现实意义。

关键词: 特种车辆; 温控系统; 温湿度测量; 网络

Design of Temperature—Humid Measuring Network for Temperature Control System of Certain Special Vehicle

Yuan Xuefei, Zhao Jingpo, Li Chunlin, Li Min, Sun Yingli

(Institute of Space Launch Technology, Beijing 100076, China)

Abstract: Abstract: In temperature control system of certain special vehicle, many temperature—humidity transducers of 4~20 mA are adopted and special measurement circuits are designed for those transducers to complete signal acquisition in central processing unit. It brings such problems as high cost, low universality, low expansibility, low maintenance and low independent intellectual property rights. It is adverse to technique development of weapon equipment and efficiency progressing of warfare. So a temperature—humid measuring network based on XC164CS and 1—wire bus technology is designed and multi—channel temperature—humidity signals are measured isochronously by single detecting circuit. Besides, the performance meets system requirement that temperature error is less than $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ and humidity error is less than $\pm 3.5\%$ RH. The practice indicates that this scheme is more advantageous than the traditional in many aspects, such as cost, reliability, measurement precision, universality and expansibility. Also the overall framework is more simple and the design of temperature control system of certain special vehicle is designed easily greatly, so it has significant senses in application.

Keywords: special vehicle; temperature control system; measurement of temperature and humid; network

0 引言

温控系统是某型特种车辆的重要系统之一, 其主要功能是给驾驶室内的人员和车辆的特种装备提供良好的温湿度保障环境。特种车辆温控系统(后简称“温控系统”)通常是一个多点温湿度测量系统, 温湿度信号作为控制依据起着重要作用, 它的准确测量与否直接决定着系统能否正常运转。随着科技的进步, 传统的温控系统温湿度测量方式在总体架构、成本、可靠性、通用性及扩展性等方面逐渐落伍, 不利于武器装备的技术发展及实战化效能提升。数字式传感器技术的发展, 可有效弥补上述不足, 为温湿度信号的测量带来了新的解决方案。

1 温控系统特点及方案选择

1.1 温控系统特点及要求

某型特种车辆是具有运输、起竖和特种操作等多种功

能的专用车辆, 对所属分系统及零部件的可靠性、扩展性及维修性有着极高的要求, 同时也关注系统成本及知识产权自主等问题。温控系统在规定的时间内为车辆人员和特种装备提供良好的温湿度环境, 要求温度和湿度的精度指标分别为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 3.5\%$ RH。驾驶室内环境舒适, 可保证人员精神状态良好, 提高作战和指挥能力; 特种装备温湿度适宜, 能最大限度保证装备的性能。温控系统性能已成为衡量特种车辆技术水平的重要指标。

传统的温控系统温湿度测量方式采用 4~20 mA 电流型温湿度传感器, 通过电缆与中央控制单元连接, 后者完成信号采集与控制。由于特种车辆空间狭小、温湿度测点较多且分布散乱, 采用该方式不但使得电缆布局走线困难, 不利于施工与维修, 而且传感器和电缆价格昂贵, 不利于成本控制。本设计采用 XC164CS 单片机和单总线技术相结合, 开发了一种网络式的温湿度测量装置, 有效解决了上述问题, 并极大地简化了温控系统总体设计难度。

1.2 单总线技术

单总线技术是 Dallas 半导体公司推出的新技术, 它将

收稿日期: 2019-09-11; 修回日期: 2019-11-05。

作者简介: 袁学飞(1980-), 男, 内蒙古临河人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事航天发射总体技术方向的研究。

地址线、数据线、控制线合为 1 根信号线,并允许数百个单总线器件同时挂接在这根信号线上,双向传送数据并实现独立工作。为了区分总线上的不同器件,每个芯片出厂时都具有唯一的 64 位光刻 ROM 序列号,是定位和寻址器件实现测控功能的前提条件。单总线器件在检测点便将被测信号数字化,因此总线上传输的信号均为数字信号,这使得系统的抗干扰性能好,可靠性高,传输距离远^[1]。单总线器件采用 CMOS 技术,耗电量很小,可采用“窃电”的方式从总线上获取电源,传输速率通常为 16.3 kB/s,超速模式下可达 100 kB/s 左右,传输距离一般达到 200 m^[2]。

1.3 单总线测量方案的优势

对于传统方案与单总线方案的两种温湿度测量方式,从总体架构、成本、可靠性、通用性及扩展性等几方面对比进行对比,如图 1。

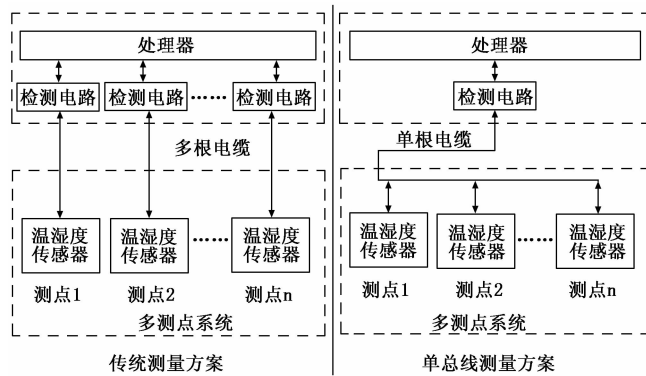


图 1 两种方案的对比

1.3.1 总体架构

1) 传统测量方案采用 4~20 mA 电流型温湿度复合型传感器,每个传感器都需配套一根电缆,并在测量环节为其设计专用的检测电路。在空间相对狭窄的特种车辆上,多点测量带来了电缆数量多、布局布线凌乱复杂、电磁兼容性差的问题;同时,多路检测电路的设计导致元器件数量较多,给测量电路印制板的设计及调试增加了难度。

2) 单总线测量方案只需要一路检测电路和一根电缆,便可对总线上的多个测点进行同步测量,电缆布局布线、印制板设计与调试都相对较为容易,而且总体架构清晰、简单。

1.3.2 成本

传统方案中由于使用了多路同样的检测电路和传感器,元器件数量根据测点数量成倍增长;而单总线方案的元器件数量则不随测点数量增多而增加,种类与数量大幅度降低,调试和试验过程简化,都有利于成本的降低。经测算,单总线方案的单路温湿度信号测量成本约为 650 元(含军标环境筛选测试及出厂试验,下同),而同等性能的传统温湿度测量成本约为 6000 元。可见,单总线成本优势非常明显。

1.3.3 可靠性及准确性

传统方案的信号传输方式为模拟量,采集过程中容易

受干扰,电磁兼容性差且准确性差;而基于单总线的测量方案,传输信号均为数字量,不易受干扰,且传输数据可通过软件进行 CRC-8 校验,使得误码率更低,从而可靠性和准确性更高。

1.3.4 通用性及扩展性

单总线测量方式的多个测点只需要一根电缆,其检测电路也唯一,测点的扩展方便简单,不需重新设计检测电路;增加测点时,只需进行软件的配置即可。而传统测量方案一旦确定后,如要增加测点,对应的检测电路、软件及接口必须同时增加,不利于测点的扩展,更不利于日常的维护。

1.3.5 知识产权自主

传统方案选用外购温湿度传感器,由于技术细节不透明,核心技术没有掌握,出现问题后往往不能从根本上解决问题,只是进行传感器的简单更换,不符合武器装备知识产权自主的研制宗旨。而采用集成芯片自行研制温湿度传感器,可以从根本上掌握技术秘密,出现问题容易“刨根问题”,有利于产品的进一步升级,有利于武器装备的技术发展及实战化效能提升。

综上所述,基于单总线的温湿度测量方案从总体架构、成本、可靠性及准确性、通用性、扩展性及知识产权自主等各方面都较传统测量方案有较大的优势。

2 系统硬件设计

按照温控系统总体设计要求,需要设计一个温湿度信号的测量网络,可完成 15 个甚至更多温湿度测点的信号测量,并具备传感器数量扩展的功能。同时,将采集到的温湿度数据解析和处理后以固定的帧格式发送给后端控制系统,以便其完成对特种车辆温控系统的控制,具体如下:

- 1) 最远端温湿度传感器的传输距离不大于 200 m。
- 2) 温度测量范围: $-40 \sim +60^{\circ}\text{C}$,误差不大于 0.5%。
- 3) 湿度测量范围: $0 \sim 100.0\% \text{ RH}$,误差不大于 3.5% RH。
- 4) 与后端控制系统的通讯距离不大于 500 m,通讯周期为 10 s。

2.1 温湿度测量网络组成

温湿度测量网络基于单总线架构进行设计,采用单主机多从机模式,由单总线温湿度传感器(从机)、单总线电缆和温湿度检测单元(主机)等组成。检测单元对连接在单总线上的温湿度传感器进行管理和信号采集,系统网络如图 2 所示。

2.2 温湿度传感器设计

2.2.1 结构设计

温湿度传感器采用不锈钢铠装杆式结构,将温度敏感元件和湿度敏感元件组装成一体式电气组件,并安装到不锈钢外壳内。在传感器的敏感元件端开设透气窗孔,并将敏感元件紧贴窗孔安装,传感器的感应侧只能通过透气窗

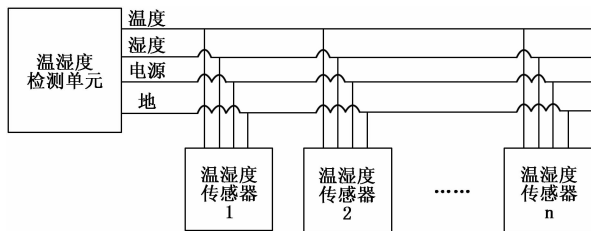


图 2 温湿度测量系统网络拓扑图

孔对其周边的空气进行测量, 透气窗处的体积越小, 敏感元件与周边空气建立温、湿度平衡的过程就越短, 测量到的信号就越准确和及时。本传感器的透气窗处的体积仅为 160 mm^3 左右, 因此, 与空气建立温、湿度平衡的过程很短, 这为信号的准确测量提供了有利的条件^[3]。

2.2.2 温度测量

传统温度测量通常选用热敏电阻, 由于其线性度较差, 产生数据处理复杂、控制效果差、占用 A/D 端口资源多等一系列问题, 且不利于总线系统的扩展^[4]。本设计选用单总线接口的数字式温度传感器 DS18B20, 其数据输出可以通过编程进行 9~12 位选择, 它采用单总线方式, 不需要另外添加 A/D 转换器。其测温范围为 $-55 \sim 125^\circ\text{C}$, 在 $-10 \sim 85^\circ\text{C}$ 范围内保持 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 的精度, 用户可自定义非易失性报警温度值, 当温度异常时, 主机可通过报警查询命令辨别、定位超限温度点。相对于传统温度传感器而言, DS18B20 温度传感器具有更高的经济性、灵活性、抗干扰性和精确度, 在科学研究和生产实际中得到了广泛的应用^[5]。

2.2.3 湿度测量

为便于温湿度信号的网络构建, 湿度测量与温度测量采用相同的测量方法, 即采用单总线方式进行。将 Dallas 公司的 10 位单总线电池监控芯片 DS2438 与 Honeywell 公司的相对湿度测量芯片 HIH-4000 配合使用, 设计出湿度信号的单总线测量电路, 并通过温度补偿的方法实现对环境湿度信号的测量, 从而设计出符合单总线规范的湿度传感器, 原理如图 3。

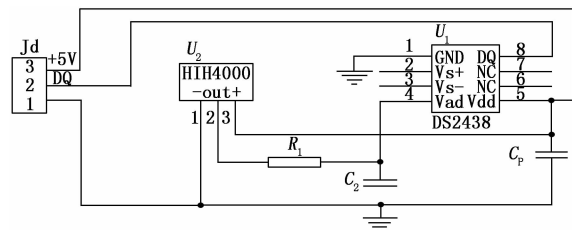


图 3 湿度测量原理图

与 DS18B20 类似, DS2438 同样满足单总线协议, 包括 1 路 10 位电压 A/D 转换器、1 路 10 位电流 A/D 转换器、1 路 13 位温度传感器、40 字节的 E²PROM。它只有一根数据线, 多个 DS2438 可以通过该数据线并联起来, 完成与 CPU 的通信。

HIH-4000 是 Honeywell 公司生产的具有低功耗特性的模拟大信号相对湿度传感器。该传感器采用热固聚酯电容式传感头, 内部集成了湿度传感器、信号调理与变换、数字通信接口、数字校准等功能电路, 是一种基于智能传感器设计理念的新型传感器, 实现了温湿度传感器的数字式输出, 且免调试、免标定、免外围电路^[6]。同时, 该传感器还具有精度高、响应快速、高稳定性、低温漂、抗化学腐蚀性能强及互换性好等优点^[7]。

HIH-4000 系列传感器数据手册^[8]给出了 25°C 时输出电压 U_o 、相对湿度 RH_s 、电源电压 U_s 之间的线性关系, 如式 (1); 当环境温度变化时, 其相对湿度随之进行相应的变化, 应进行温度补偿, 真实的环境相对湿度值 RH_{true} 如式 (2)。

$$U_o = U_s(0.0062RH_s + 0.16) \quad (1)$$

$$RH_{true} = \frac{RH_s}{1.0546 - 0.00216T} \quad (2)$$

因此, HIH4000 的湿度测量结果 RH_{true} 可以通过湿度传感器输出电压 U_o 、电源电压 U_s 和环境温度 T 计算得到, 如式 (3):

$$RH_{true} = \frac{152.9398U_o - 24.4704U_s}{U_s - 0.0021T \cdot U_s} \quad (3)$$

其中: 输出电压 U_o 由湿度敏感元件 DS2438 测量完成, 电源电压 U_s 为供电电压 $+5 \text{ V}$, 环境温度 T 由温度敏感元件 DS18B20 的测量完成。

2.3 温湿度检测单元设计

温湿度检测单元以 XC164CS 单片机为核心, 外部扩展单总线驱动控制电路、RS-422 通讯接口、存储器电路、键盘与显示接口电路及看门狗电路, 设计一个嵌入式的温湿度信号检测单元, 可完全满足系统要求, 检测单元原理框图如图 4。

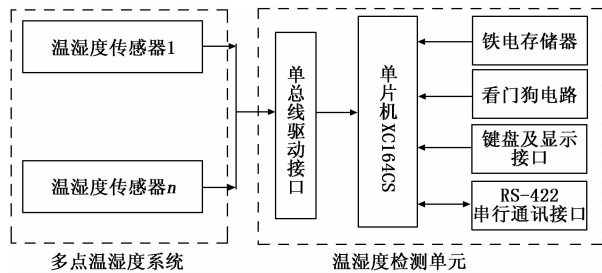


图 4 温湿度检测单元原理框图

2.3.1 微处理器

为了满足特种车辆元器件统型, 微处理器采用 Infineon 公司的 16 位车载级单片机 XC164CS 作为控制核心。XC164CS 采用 C166V2 内核, 具有 5 级指令流水线, 工作频率 40 MHz , 单周期指令, 具有 128 KB 程序 Flash, 6 KB 片上 RAM, 14 路模拟输入通道, 6 个串行接口。XC164CS 功能强大、集成度高, 其 MAC 单元加入 DSP 功能处理数字滤波算法, 大大缩短了乘除运算时间。

2.3.2 单总线驱动控制电路

单总线驱动控制电路完成对温湿度传感器的驱动和信号采集,使用高性能的 CMOS 线驱动器 74ACT245,其输出电流可达 75 mA,而输入电流仅 1 μ A,其强大的驱动能力为多点远距离温湿度测量的实现提供了保证。由于 74ACT245 和单总线器件均为集电极开路输出,使用上拉电阻使总线信号保持稳定、准确。

由于 DS18B20、DS2438、HIH-4000 的采样精度都受电源电压的影响,因此,系统没有采用单总线的“窃电”技术,而是采用单独的电源供电。另外,上述芯片采用相同的电源,保证了 DS18B20、DS2438 所测的电源电压就是 HIH4000 所使用的电源电压,确保式(3)中各项数据的准确性^[3]。

2.3.3 RS-422 串行通讯电路

本设计采用 MAX1490 芯片作为 RS-422 总线收发器,该收发器具有单片电气隔离功能,与外部电路连接时,无需设计隔离电路,可以减小 EMI,并降低由不恰当的终端匹配电缆引起的反射,实现最高 250 kb/s 的无差错数据传输,传输距离可达 1200 m。

2.3.4 看门狗电路

看门狗电路可以在程序“跑飞”情况下,对单片机 XC164CS 进行复位,重启检测单元,使整个系统的工作不间断,对于提高系统的可靠工作具有重要意义。本设计采用 MAX706 芯片,它将上电复位控制、看门狗定时器以及降压管理功能合于一体,有助于简化应用系统的设计,减少印制板的占用面积,提高可靠性。

3 系统软件设计

3.1 软件设计思路

温湿度检测单元采用单总线方式与温湿度传感器进行数据交换与控制,通过周期性循环采集传感器的数据,并以 RS-422 通讯方式按照约定的数据帧格式传输给后端控制系统。对于这个测量网络来讲,软件设计非常重要。本系统的软件设计主要包括:

- 1) 系统初始化:主要完成串口、铁电存储器、IO 及定时器等微控制器内核及外设功能的初始化;
- 2) 传感器搜索与编码:读取存储在铁电存储器内的传感器数量及序列号,判断是否需要重新搜索传感器序列号,如需搜索,则搜索序列号,并将序列号与前面读取序列号对比后,存储已更换传感器序列号;
- 3) 温湿度转换:启动温湿度传感器进行数据转换,并采集其对应的二进制编码;
- 4) 数据解析与处理:将采集到的传感器二进制编码进行解析、数字滤波和转换,并按照固定的帧格式存放于相应的存储单元;
- 5) 数据上传:通过自定义协议,以 RS-422 方式向后端控制系统传输采集到的温湿度数据。

系统的主程序流程图如图 5 所示。

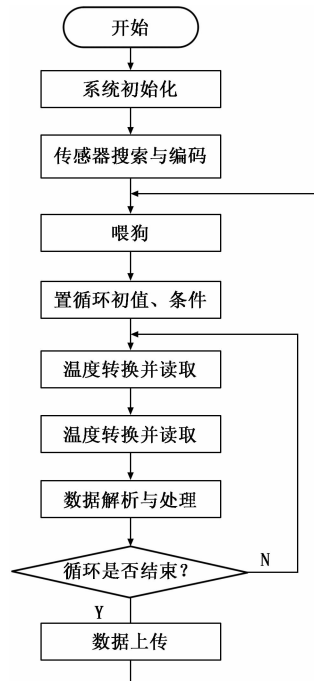


图 5 主函数流程图

3.2 单总线数据软件校验方法

DS18B20 和 DS2438 等单总线器件内部均集成一个 8 位 CRC (循环冗余检验) 处理器, CRC 码的生成原则可表示为式(4):

$$CRC = X^8 + X^5 + X^4 + 1 \quad (4)$$

单总线器件在完成数据采集后,自动在缓冲区的下一个单元产生相应的 CRC 码。检测单元在读取传感器数据时,连同其产生的 CRC 码一并读取,并利用式(4)的校验原则,将读取的一系列数据生成一个校验值,与从单总线器件中读取的 CRC 值进行比较,校验通过则表示数据传输正确,否则为无效数据^[9]。采用这种循环码冗余校验的方法,可有效保证传感器数据读取的准确性,从而提高温控系统的可靠性。

4 试验结果及应用

4.1 测试数据

选用 3 只温湿度传感器在国家认定的仪器计量机构进行精度鉴定测试。测试时将传感器置于标准温湿度调控仪中,设定调控仪创造标准的温度、湿度环境,对试验传感器的测量精度进行验证。根据温湿度传感器的使用工况,将温度测试点选为 -30 $^{\circ}$ C、-10 $^{\circ}$ C、10 $^{\circ}$ C、30 $^{\circ}$ C、50 $^{\circ}$ C 和 70 $^{\circ}$ C,湿度测试点分别选为 10 $^{\circ}$ C 和 40 $^{\circ}$ C 条件下的 10% RH、30% RH、50% RH、70% RH、90% RH,测试结果见表 1 和表 2。由数据分析可以看出:温度测量误差 $\leq 0.3^{\circ}$ C,湿度测量误差 $\leq 2.3\%$ RH,满足 $\pm 0.5^{\circ}$ C 和 $\pm 3.5\%$ RH 的精度要求。

表 1 温度试验测量

℃

温度 编号	-30.0		-10.0		10.0		30.0		50.0		70.0	
	测试值	误差	测试值	误差	测试值	误差	测试值	误差	测试值	误差	测试值	误差
1#	-29.8	0.2	-10.7	-0.7	10.1	0.1	30.1	0.1	49.9	-0.1	69.9	-0.1
2#	-29.7	0.3	-10.9	-0.9	10.1	0.1	29.8	-0.2	49.8	-0.2	69.8	-0.2
3#	-30.1	-0.1	-10.0	0.0	10.0	0.0	29.9	-0.1	50.1	0.1	70.2	0.2

表 2 湿度试验测量

% RH

标准湿度		10.0		30.0		50.0		70.0		90.0	
编号	条件	测试值	误差	测试值	误差	测试值	误差	测试值	误差	测试值	误差
1#	@10℃	12.1	2.1	30.8	0.8	51.7	1.7	70.2	0.2	88.6	-1.4
	@40℃	11.8	1.8	30.7	0.7	52.3	2.3	71.1	1.1	88.2	-1.8
2#	@10℃	11.7	1.7	28.7	-1.3	50.6	0.6	71.3	1.3	89.1	-0.9
	@40℃	12.2	2.2	31.3	1.3	52.1	2.1	70.6	0.6	91.0	1.0
3#	@10℃	10.9	0.9	28.4	-1.6	49.3	-0.7	70.8	0.8	88.3	-1.7
	@40℃	9.7	-0.3	30.1	0.1	51.7	1.7	69.1	-0.9	92.1	2.1

4. 2 应用情况

基于单总线技术的多点温湿度测量系统具有较强的通用性, 已在单位多型特种车辆得以成功应用。在多年的随车试验及特种操作过程中, 测量数据准确可靠, 系统运行良好。此外, 成本上的巨大优势, 使得其进行适当民用化改造后, 完全可以在数字化粮情检测、数字化仓储检测、蔬菜种植环境检测等民用领域中得以应用并形成相当的竞争力, 具有非常现实的意义。

5 结束语

在特种车辆温控系统中, 采用了单总线技术进行温湿度测量网络的构建, 设计指标满足系统性能要求。与传统方式相比, 该方案不但大大降低了成本, 而且在总体架构、可靠性、通用性及扩展性等各方面都具有较大的优势, 已在单位多型特种车辆得以成功应用, 具有重要的现实意义。

参考文献:

[1] 贾莉娜. 单总线技术在气象监测方面的应用 [J]. 计量与测试

技术; 2004 (10): 23-24.

[2] 刘 鸣, 陈兴梧, 赵 煜. 单总线技术及其应用 [J]. 仪表技术与传感器, 2002 (1): 40-42.

[3] 张成梁, 冯显英, 杨丙生, 等. 基于相对湿度的棉花回潮率在线检测 [J]. 沈阳工业大学学报, 2013, 35 (4): 443-450.

[4] 王凤国, 欧阳松, 王建军, 等. 基于 XC164CS 的直流组合电源温度监控系统 [J]. 仪器技术与传感器, 2013 (2): 58-61.

[5] 翟政凯. 基于单片机的单总线多点温度测控系统 [J]. 设计与研发, 2017 (1): 3-4.

[6] 李安玲, 何 强, 陈宝军, 等. HIH-4000 湿度传感器在粮情监控中的应用 [J]. 粮油食品科技, 2008, 16 (5): 25-27.

[7] 李 敏, 孟 臣. 基于一线总线的温湿度传感器 [J]. 传感器世界, 2003 (1): 20-23.

[8] 霍尼韦尔. HIH-4000 系列湿度传感器 [Z]. 2008.

[9] 姜维福, 王素青. 基于 DS2438 芯片的智能化火灾传感器的设计与应用 [J]. 电子工程师, 2008, 34 (11): 63-77.

(上接第 66 页)

[9] Zhao S, Chandrashekar M, Lee Y, et al. Real-time network anomaly detection system using machine learning [A]. 2015 11th International Conference on the Design of Reliable Communication Networks (DRCN) [C]. IEEE, 2015: 267-270.

[10] Wang H, Xiao Y, Long Y. Research of intrusion detection algorithm based on parallel SVM on spark [A]. 2017 7th IEEE International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC) [C]. IEEE, 2017: 153-156.

[11] Senthilnayaki B, Venkatalakshmi K, Kannan A. Intrusion detection using optimal genetic feature selection and SVM based

classifier [A]. 2015 3rd International Conference on Signal Processing, Communication and Networking (ICSCN) [C]. IEEE, 2015: 1-4.

[12] Sahu S, Mehtre B M. Network intrusion detection system using J48 Decision Tree [A]. 2015 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI) [C]. IEEE, 2015: 2023-2026.

[13] 王 萍. 基于大数据技术的网络异常行为分析监测系统 [J]. 电子技术与软件工程, 2017 (24): 172-173.

[14] 李若鹏. 基于大数据的网络异常行为检测平台的设计与实现 [D]. 广州: 华南理工大学, 2018.