

文章编号:1007-2780(2016)10-0936-07

基于物联网的温湿度与风速信息 采集系统设计与实现

徐白冰^{1,2}, 王建立^{1*}, 曹景太¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:为了应对日益增长的城市供暖节能压力, 解决由供暖引起的废气排放问题, 本文设计并实现了一种基于物联网的温湿度与风速信息采集系统。介绍了系统的总体结构, 设计完成了以 ARM 微处理器为核心、以 EC20 模块为通信媒介、外接多路温湿度传感器和风速传感器的硬件电路和嵌入式软件程序。通过真实场景测试, 系统实现了通过 3G 网络实时、定时发送当地温湿度和风速数据至中心服务器的功能, 控制中心根据设定的环境标准控制供暖锅炉调节供暖量, 完全满足供暖调节的实际需求。同时, 系统经过一定改进还可以应用到气象监测、档案管理、食品药品储存、工农业和交通等其它方面。尤其在物联网领域, 本系统有着非常广泛的应用前景。实验结果证明了该系统的通用性和实用性。

关键词: 物联网; 嵌入式设计; 节能控制; ARM

中图分类号: TP212 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20163110.0936

Design and implementation of temperature, humidity and wind speed information acquisition system based on the internet of things

XU Bai-bing^{1,2}, WANG Jian-li^{1*}, CAO Jing-tai¹

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: The pressure of the energy conservation and air pollution caused by heating is extremely increasing currently. In order to solve these problems, a temperature, humidity and wind speed information acquisition system based on the Internet of Things (IoT) has been designed and achieved. This paper introduces the general structure of the system, in which the hardware circuit and the embedded

收稿日期: 2016-06-15; 修订日期: 2016-08-10.

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (No.2014AAXXX1003X)

Supported by National High-tech R&D Program (863 Program) (No.2014AAXXX1003X)

* 通信联系人, E-mail: wangjianli@ciomp.ac.cn

software program are designed with the core of ARM microprocessor, the communication medium of the EC20 module, and connecting with several multiplex temperature and humidity sensors and anemometers. Verified by system testing in real environment, the system could transfer the data of temperature, humidity and wind speed to central server through 3G network automatically. Based on the standard of environment set in advance, the server center would control the heating adjustor to regulate the heating supply. And these functions would completely meet our demand for intelligent heating control. Meanwhile, it could be improved somehow to be applied to numerous fields, such as meteorological monitoring, archives administration, food and medicine storage, intelligent transportation, industry and agriculture. Also, there would be a great application prospect for this intelligent monitoring system especially in the field of IoT. In practice, the universality and practicability of the system has been proved by experiment.

Key words: Internet of Things (IoT); embedded designing; energy conservation control; ARM

1 引言

继计算机、互联网之后,作为世界信息产业的第三次浪潮,物联网技术已博得了各个领域的广泛关注^[1-2]。作为物联网的技术基础,无线传感器网络以其自组织、部署迅捷、高容错性和强隐蔽性等技术优势,已经应用在智能家居、智能交通、现代化农业、水声通信和生物数据收集等诸多领域^[3-10]。本文将物联网技术运用于智能供暖领域,用以解决节能减排问题。

我国北方地区每年冬天都要消耗大量矿物能源用于建筑供暖,排放的废气也对生活环境产生着巨大的影响,由此产生的节能与减排的双重问题亟待解决。关于智能供暖监控系统的研究,国外集中供暖发展较早较快的国家(如美国、日本、加拿大等)已经实现了系统监测与控制的自动化。我国的供暖系统虽然发展较快,但由于起步较晚,基础薄弱,与国外先进的供暖系统相比还有一定的差距,存在着水力、热力失调,控制方式不合理,缺乏参数监控等诸多问题。目前国内还没有形成完备的集中供热自动监测、控制系统。在相关的理论研究方面,已经有工程技术人员从智能控制的角度采用 PID 控制及其改进算法进行流量调节等方式实现户端的自主温度控制^[11];也有电子技术人员分别采用单片机等为核心控制器的户端检测系统,主要用来自动或半自动的检测当地温湿度信息^[12];还有从数据无线传输的角度,通过 ZigBee 无线网络、GPRS 通信等途径设计实现数据采集端与服务器之间的通信系统的设计成

果^[13-14]。现有研究成果从工程控制或检测温湿度的角度来调节供暖量,可以在一定程度上实现供暖监测与控制系统的自动化。

本文设计了一种基于物联网的智能供暖监控系统,以 ARM 微处理器为核心,以 EC20 模块为通信媒介,外接多路温湿度传感器和风速传感器,可通过计算机实现对特定区域的温湿度和风速环境监测,从而控制供暖水泵以自主调节供暖量,确保供暖量既满足居民的健康要求,又能最大限度实现节能减排。与现存的单纯检测固定点温度的方式不同,本文设计的系统还将实时监测供暖地点室外的风速信息,同时可以测量三路温湿度信息(分布在建筑物附近的典型采集点),能够更加全面地监测外界环境状况,为调节供暖量提供更多的判断依据。

2 系统模型

智能供暖监控系统总体由数据采集端、服务器端和供暖控制端三大部分构成,如图 1 所示。数据采集端由分布在监控区域的多个主控节点组成,它们将系统需要监测的温湿度和风速数据实时地发送给服务器;服务器可以选择监控制定采集点,获取所需信息;同时,服务器将实时的室外信息发送给供暖的控制端;供暖锅炉以此来控制供暖热水进水阀门或供暖水泵,从而自主调节供暖量。

本设计的重点在于采集端与服务器之间的数据收集与发送。其中的采集端系统采用“监控中心—楼宇主控节点—传感器节点”的三层结构,通

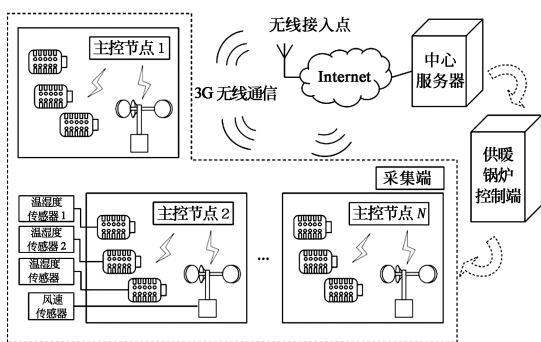


图 1 系统结构图

Fig.1 Framework diagram of system

过 3G 无线通信技术将监控中心的城市供暖控制服务器和需要监控的楼宇主控节点联系起来,如图 1 所示。主控节点包括三路能实时测量温度和湿度的 AM2301 温湿度传感器和一路能实时测量风速的 YGC-FS 风速传感器;它们经由 ARM-3G 模块为核心的嵌入式设备构成的主控节点互联,通过无线网络将当时当地的温湿度和风速信息定时发送到中心服务器;监控中心通过对服务器的数据分析可以实现对当地供暖量的远程调控,进而实现节能减排的供暖目标;只要在任何有一个有 Internet 网络覆盖的地方,服务器都可以通过各无线接入点接收到这些数据信息。

3 硬件电路设计

系统的监控采集中心硬件电路以 ARM-STM32F078 为核心处理器,由电源电路、执行单元驱动电路、串口电路和 3G 通信模块等组成,主要实现数据的检测、采集、分析和网络通信等功能。监控中心的硬件框图如图 2 所示。

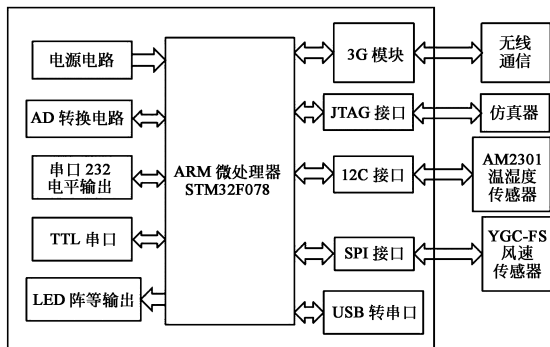


图 2 监控中心硬件框图

Fig.2 Hardware framework of monitoring center

电源电路:整个硬件系统需要用到 3 V、4 V、5 V 和 12 V 等多种电源,为提高系统的稳定性和通用性,只采用+9 V 直流电源作为唯一的外部输入电源,通过简单的放大电路可获得+12 V 电压,经过 MIC29302 线性稳压器芯片可将+9 V 的输入电压转换输出+5 V 稳压,再经过 SI9424 串口转换开关可将+5 V 电压转换输出+4 V 稳压,同时经过 AS1117 低压差线性稳压器芯片可将+5 V 的输入电压转换输出+3 V 稳压,从而为 ARM 芯片和板载其他模块供电。

ARM 微处理器:采用基于 ARM 的 Cortex-M0 内核 32 位微控制器 STM32F078,72MHz 主频,128kb 闪存,拥有丰富的外围接口。本系统采用转接板方式使 ARM 微处理器连接主板,集实时性能、低功耗运算和 STM32 平台的先进架构及外设于一身。

通信模块:采用最新 3G 模块,选配 Quectel 移远 EC20 模块,能够向后兼容现存的 EDGE 和 GSM/GPRS 网络,确保在缺乏 3G 和 4G 网络的偏远地区也能正常工作。

温湿度采集模块:选用 AM2301 温湿度传感器,它包括一个电容式的感湿元件和一个 NTC 测温元件,并与一个高性能 8 位单片机相连接,具有体积小、功耗低、便于安装、抗干扰能力强、性价比高等优势。温度测量范围为 $-40\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$,测量精度为 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;湿度测量范围为 $0\sim 100\%\text{RH}$,测量精度为 $\pm 3\%\text{RH}$,适合测量我国绝大多数地区的室内外环境温湿度。温湿度传感器通过类 I²C 协议与控制器通信,根据实际需要,主控节点可以同时采集分布在建筑物附近的 3 组温湿度数据提供给服务器分析使用。

风速采集模块:选用 YGC-FS 风速传感器(变送器),它采用传统的三风杯风速传感器结构,带继电器功能,可直接根据风速值对其他设备进行开关控制,还可以同时输出风速 232 信号、脉冲和电压信号。要求的正常工作环境在 $-40\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度、 $0\sim 100\%\text{RH}$ 湿度,测量范围在 $0\sim 70\text{ m/s}$ (陆地地面最强风力等级为 12 级飓风,其风速为 $>32.6\text{ m/s}$),完全可满足正常的室内外天气需要。

4 嵌入式软件程序设计

本系统由下位机(温湿度及风速数据监测采集器)和上位机(PC 机监控中心)组成,本文主要讨论其中的温湿度及风速采集发送系统的软件部分。系统下位机软件开发选用 Keil uVision5 软件进行嵌入式编程,大大缩短了软件的开发周期,增加了程序的可读性和可移植性。同时便于程序的改进和扩充,从而确保开发出性能更完备,适用性更广的可靠系统。

4.1 系统应用程序设计

本系统的总体采用“模块化程序设计”的设计思想,即整个控制软件由许多独立但相互联系的子程序模块组成,包括驱动控制模块、采集模块、输出模块、通信模块等。其中,驱动控制模块包括对 ADC、GPIO、I²C、UART、中断、时钟的配置以及对各中间件(包括 LED 灯、继电器等脚位)的定义,是整个应用程序的基础;采集模块用来控制连接温湿度传感器的 IO 接口和连接风速传感器的外接串口,从而获得实时的温湿度和风速数据,可以提供给输出和通信模块处理;输出模块主要控制 LED、继电器等外围电路的输出显示,用来辅助调试和提示用户采集器的工作状态;通信模块用来处理采集模块提供的数据信息按照用户的要求打包发送到服务器,同时还可以接收服务器端发来的响应信息,网络配置信息,时间同步信息等。系统的程序设计流程如图 3 所示。

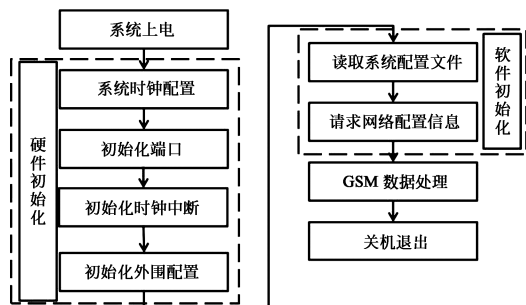


图 3 系统程序流程图

Fig.3 System flowchart of program

图 3 中显示的系统初始化过程包括硬件初始化和软件初始化。采集系统上电后,首先进行的

是硬件初始化流程,包括初始化系统时钟配置、初始化端口、初始化时钟中断、初始化外围电路配置等。接下来是系统的软件初始化流程,先读取系统配置文件,请求网络配置信息,读取采集器主控节点的 IP 地址,端口,子网掩码,服务器的 IP 地址和端口以及网关的 IP 地址。若收到新的网络配置信息,采集器会实时更新相应的网络配置;否则使用默认的配置信息或上一次正确配置的信息。接下来进行每五分钟一次的温湿度和风速数据的采集和发送,直到关机退出。

4.2 通信处理子程序

在主程序中包含一个 3G 通信处理的子程序。只要系统初始化成功,数据采集模块就将根据指令循环采集外界的三路温湿度数据和一路风速数据,3G 通信模块也会在循环内部不断发送有关 AT 指令,以及完成每五分钟发送一次温湿度和风速信息的任务。子程序流程如图 4 所示。

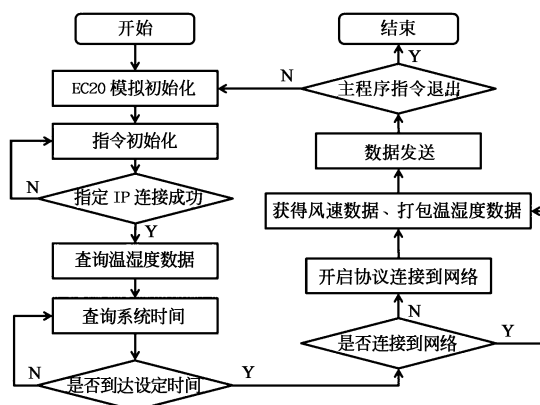


图 4 3G 通信处理流程图

Fig.4 Flowchart of 3G communication processing

图 4 给出采集器主控节点 3G 通信处理部分的流程。在系统初始化成功后,进入 3G 通信处理主函数。联网前首先需要对 EC20 模块进行初始化,保证 3G 网络正常;然后进行指令初始化;接下来进行 TCP 协议下的指定 IP 的连接,连接成功后才可以进行接下来的通信操作,否则需要回到指令初始化的步骤继续。由于温湿度传感器的内部结构和测量原理的限制,读取数据的周期不宜小于 2 s,所以在温湿度读取子程序的编写中加入了至少 2 s 的延迟。确认通信模块的状态无误后,通过 AT 指令“AT+CCLK? \x0d”读取系统时间,反馈的信息格式如表 1 所示。

表 1 读取系统时间的 AT 反馈信息

Tab.1 Feedback information of reading AT system time

位数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
内容	A	T	+	C	C	L	K	?				+	C	C	L	C	:		"			
含义	指令内容																					
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39		
1	6	/	0	4	/	0	6	,	1	7	:	5	6	:	2	1	+	3	2	"		
年	月				日				时				分				秒				时区	

为了保证信息的实时性和准确性,要求服务器端每五分钟收到一条包括三路温度湿度和一路风速数据的信息。通过判断 AT 指令反馈信息中表示时刻的位置(如表 1 所示第 32 位)数值是否为“0”或“5”,即可完成系统所需的定时要求。这样的定时处理可保证系统时间每到整五分时,用户均可在服务器收到一条数据信息,与主控节点和服务器的开关时间互不冲突,同时避免了一般的定时器计时方式的溢出问题。

如果到达系统要求的时间,子程序则会进入发送数据信息的循环内部。虽然在 EC20 模块初始化时已经进行过一次联网处理,但是如果一定时间内系统没有进行过网络数据的收发工作,3G 网络会超时自动断开。因此,这里会进行一次 3G 网络状态的判断:如果网络处于断开状态,系统将会重新开启协议连接到网络;如果网络状态正常,则会直接进行接下来的数据处理。

与温湿度读取子程序不同,风速数据可以直接从串口读取,无需数值的转换和时间的延迟,所以可以直接在子循环内部进行处理。获得当时的风速数据后,与之前测定的温湿度数据一起打包,按照用户要求的格式把这些信息发送到服务器。只要没有收到断网或关机指令,主程序将会循环执行 3G 通信处理这一过程。

4.3 温湿度和风速数据读取子程序

读取温湿度数据时主机的运行流程如图 5 所示。温湿度传感器 AM2301 读取温湿度数据之前,单片机主控节点需要向 AM2301 的数据线 SDA 发出约 1 ms 的低电平信号,主机延时约 20 μ s 后,判断从机是否返回 80 μ s 的低电平和 80 μ s 的高电平的响应信号,如果发出才开始进入数据接收状态。AM2301 是按照“湿度高 8 位+湿度低 8 位+温度高 8 位+温度低 8 位+校验 8 位”的二进制数顺序向主机发送数据的,共 40 bit。在子程序中判断,如果湿度高 8 位、湿度低 8 位、温度高 8 位、温度低 8 位的和(取其后 8 位)与校

验 8 位的值相等,说明数据传输无误,才可以进行接下来的操作;如果不一致,则直接返回上层函数。将以上二进制数值转化为十进制的数值并除以 10 之后,就是实际的温湿度数值。另外,如果温度的最高位为 1,则表明该温度值为负值。按照客户要求,温湿度按照“T_{xx.x}H_{xx.x}”的格式发送,分别代表实时的温度和湿度数值。经过这样的处理之后即可将实时的温湿度数据传递到主程序。

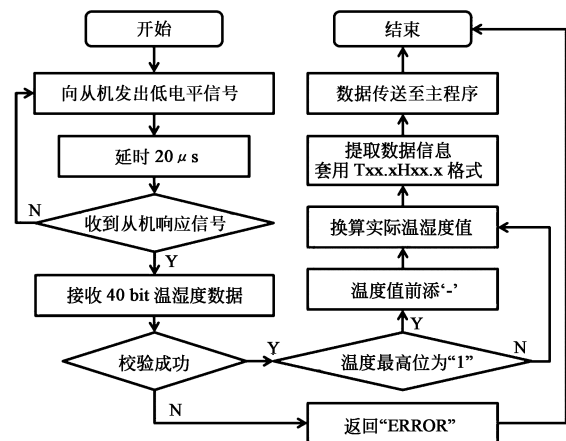


图 5 温湿度数据读取子程序流程图

Fig.5 Subprogram flowchart of reading the data of temperature and humidity

读取风速数据时主机的运行流程如图 6 所示。依据 RS232/RS485 通信协议,YGC-FS 风速传感器发送的数据会直接通过单片机外接串口来传递。在进行读取风速数据之前,需要向风速传感器写入新的设备地址,写入方法为发送“AA(固定值)、00(广播地址)、10(写入操作)、00(地址命令)、ID(写入的新地址,01~FF)”这样五组 16 进制数据。这一步也可以由串口线连接风速传感器和计算机,通过计算机上的串口软件写入设备地址,一旦被写入设备地址,风速传感器将会保持这一地址不变,不受开关机和时间地点更改等的影响,直到被再一次写入新的设备地址。然后,单片机主控节点向风速传感器发送“AA(固定值)、ID(设备地址,上一步写入的新地址)、03(读取操作)、0F(数据地址)、00(固定值)”这样五组 16 进制数据,指令从机执行读取实时数据的操作。风速传感器返回的是 ASCII 码数据,格式如“WS = XX.Xm/s\r\n”,其中第 4~7 位的“XX.X”即为需要采集的风速值。经过这样的处理之后即可将实

时的风速数据传递到主程序。

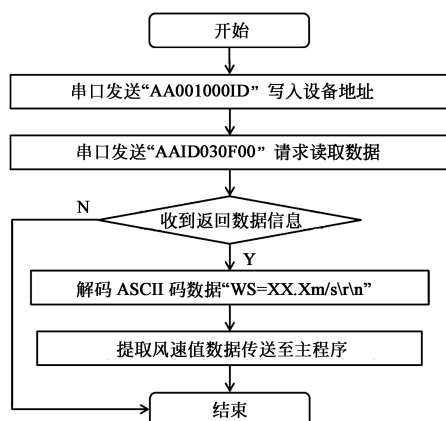


图 6 风速数据读取子程序流程图

Fig.6 Subprogram flowchart of reading the data of wind speed

5 系统测试应用

构成系统采集端的主控节点实物图如图 7 所示。图中 LED3 和 LED6 交替闪烁表示系统供电正常,LED1 和 LED2 常亮表示 EC20 通信模块工作正常。外接的三路 AM2301 温湿度传感器和一路 YGC-FS 风速传感器通过测试均可正常工作。

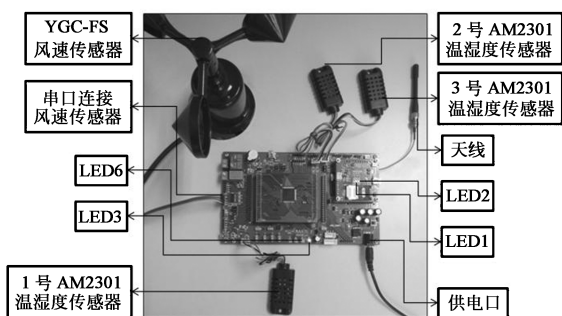


图 7 系统采集端实物图

Fig.7 Practicality of information acquisition system

为确保服务器端接收到数据信息的准确性和稳定性,我们规定主控节点发送一条完整的数据信息的固定格式为:“xxxxCH1Txx.xHxx.xCH2Txx.xHxx.xCH3Txx.xHxx.xWSxx.x*”,

如图 8 所示。图 9 为服务器端接收的部分原始信息。用户根据这些消息获取实时的温湿度和风速信息以及它们的变化趋势,再通过控制系统自主的调节供暖量,从而达到节能减排的效果。

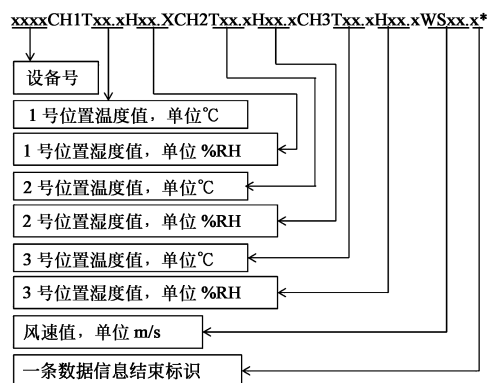


图 8 数据信息格式

Fig.8 Formats of a piece of data information

```

【Receive from 139.214.253.110 : 29779】 :
0002CH1T24.2H7.7CH2T24.1H7.7CH3T24.2H7.8WS00.0*
【Receive from 139.214.253.115 : 26109】 :
0002CH1T24.2H7.8CH2T24.4H7.9CH3T24.5H7.8WS01.6*
【Receive from 139.214.252.71 : 14099】 :
0002CH1T24.0H8.0CH2T24.1H7.9CH3T24.0H8.0WS01.1*
  
```

图 9 服务器收到的原始信息

Fig.9 Original information received by server

6 结 论

本系统设计将电子技术、以太网通信技术与物联网技术相结合,应用到城市集中供暖控制的领域,以居民区户外温湿度和风速为主要监控对象,通过 3G 网络实时、定时发送信息至中心服务器,适应当前国内的发展需求。通过与企业合作,本系统已完全投入使用,操作简便,功能齐全,性能稳定,大大降低了该地区由供暖造成的能源消耗和环境污染,达到了节能减排的目的。本系统除了可以应用在供暖控制领域之外,经过一定改进还可以应用到气象监测、档案管理、食品药品储存、工农业和交通等其它方面,尤其在物联网领域,有着非常广泛的应用前景。

参 考 文 献:

- [1] 刘强,崔莉,陈海明.物联网关键技术与应用[J].计算机科学,2010,37(6):1-4,10.
LIU Q, CUI L, CHEN H M. Key technologies and applications of Internet of Things [J]. *Computer Science*, 2010, 37(6): 1-4, 10. (in Chinese)
- [2] 钱志鸿,王义君.物联网技术与应用研究[J].电子学报,2012,40(5):1023-1029.
QIAN Z H, WANG Y J. IOT technology and application [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2012, 40(5): 1023-1029. (in Chinese)
- [3] 王铭明.基于无线传感器网络的智能家居系统设计[D].长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2013.
WANG M M. Design of smart home system based on wireless sensor networks [D]. Changchun: *Chinese Academy of Sciences, Changchun Institute of Optics and fine Mechanics and Physics*, 2013. (in Chinese)
- [4] 张飙,周国清,杨小平,等.无线分布式 LED 交通诱导屏设计[J].液晶与显示,2015,30(3):451-458.
ZHANG B, ZHOU G Q, YANG X P, *et al.* Design of distributed LED variable message sign with wireless network [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(3): 451-458. (in Chinese)
- [5] 唐静.智能温室农业环境自动监控系统设计[D].合肥:中国科学技术大学,2011.
TANG J. Design of intelligent automatic monitoring system for greenhouse agriculture environment [D]. Hefei: *University of Science and Technology of China*, 2011. (in Chinese)
- [6] 洪锋,张玉亮,杨博真,等.水下传感器网络时间同步技术综述[J].电子学报,2013,41(5):960-965.
HONG F, ZHANG Y L, YANG B Z, *et al.* Review on time synchronization techniques in underwater acoustic sensor networks [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2013, 41(5): 960-965. (in Chinese)
- [7] EGBOGAH E E, FAPOJUWO A O. A survey of system architecture requirements for health care-based wireless sensor networks [J]. *Sensors*, 2011, 11(5): 4875-4898.
- [8] 霍宏伟,张宏科,Xu Y Z.基于室内无线传感器网络射频信号的老年人跌倒检测研究[J].电子学报,2011,39(1):195-200.
HUO H W, ZHANG H K, XU Y Z. Fall detection using radio signals of home wireless sensor networks [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2011, 39(1): 195-200. (in Chinese)
- [9] 马建设,李合银,程雪岷,等.嵌入式自动聚焦摄像模组控制系统的设计[J].光学精密工程,2012,20(10):2222-2228.
MA J S, LI H Y, CHENG X M, *et al.* Control system for embedded auto-focusing Camera module [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2012, 20(10): 2222-2228. (in Chinese)
- [10] 陈桂芬,王义君.无线传感器网络跨层服务优化时间同步机制[J].光学精密工程,2013,21(12):3231-3238.
CHEN G F, WANG Y J. Optimization time synchronization in cross-layer service for WSNs [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(12): 3231-3238. (in Chinese)
- [11] 林川,何波.参数自适应模糊 PID 控制在变压供暖供水中的设计与运用[J].工业控制计算机,2012,25(4):37-38,40.
LIN C, HE B. Parameter adaptive fuzzy PID control for variable-pressure water supply heating system [J]. *Industrial Control Computer*, 2012, 25(4): 37-38, 40. (in Chinese)
- [12] 张志伟,王学水,王岩庆.基于单片机的楼宇供暖节能系统的设计[J].微计算机信息,2009,25(26):95-96,159.
ZHANG Z W, WANG X S, WANG Y Q. The design of building heating energy conservation system based on single-chip [J]. *Industrial Control Computer*, 2009, 25(26): 95-96, 159. (in Chinese)
- [13] 季建华.基于 ARM 和 ZigBee 的智能温湿度监控系统设计[J].计算机测量与控制,2014,22(4):1108-1110,1113.
JI J H. Design of intelligent temperature and humidity monitoring system based on ARM and Zigbee [J]. *Computer Measurement & Control*, 2014, 22(4): 1108-1110, 1113. (in Chinese)
- [14] 刘甜甜,王琢,杨国建,等.基于 GPRS 通信的小区供暖质量监控系统[J].工业控制计算机,2010,23(5):16-17.
LIU T T, WANG Z, YANG G J, *et al.* District heating based on GPRS communication quality monitoring system [J]. *Industrial Control Computer*, 2010, 23(5): 16-17. (in Chinese)

作者简介:徐白冰(1992—),女,陕西商洛人,硕士研究生,2010~2014 年就读于中国科学技术大学电子信息科学与技术专业,获学士学位,主要从事嵌入式系统设计、物联网技术的研究,E-mail: xubaibing14@mails.ucas.ac.cn
王建立(1971—),男,山东曲阜人,工学博士,研究员,博士生导师,现为中国科学院长春光学精密机械与物理研究所所长助理,主要从事大口径望远镜总体设计、光电精密跟踪控制技术的研 究。E-mail: wangjianli@ciomp.ac.cn