

文章编号: 2095-4980(2014)06-0896-06

基于 ZigBee 的无线火灾监测系统

狄 飞¹, 张莉君², 陈 飞²

(1.中国工程物理研究院 总体工程研究所, 四川 绵阳 621999; 2.中国地质大学 机械与电子信息学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 基于 ZigBee 技术实现了一种无线火灾监测系统。系统的火灾探测节点组成了一个 ZigBee 网络, 实现了数据通信的无线化。在硬件方面, 系统由 ZigBee 火灾探测网络、网关及监控中心组成。在软件方面, 采用了基于浏览器/服务器(B/S)的整体结构, 详细说明了无线火灾监测系统的 Z-Stack 协议栈软件开发、ZigBee 无线通信流程等, 介绍了基于 Web 的用户操作界面。与传统的有线火灾监测系统相比, 基于 ZigBee 技术的无线火灾监测系统具有无需布线、结构简单、成本低、抗损毁能力强的优点。

关键词: ZigBee 技术; 无线; 火灾监控

中图分类号: TN915.9

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201406.0896

Wireless fire monitoring system based on ZigBee

DI Fei¹, ZHANG Li-jun², CHEN Fei²

(1.Institute of System Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China; 2.Faculty of Mechanical & Electronic Information, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: A wireless fire monitoring system based on ZigBee technology is realized. A wireless network is formed by fire detection nodes to execute wireless data communication. In the hardware design, the system consists of ZigBee fire detection network, gateway and monitoring center. The software of the overall structure is based on Brower/Server(B/S). The development of Z-Stack used in this system and the ZigBee wireless communication process are introduced in detail, and the user interface based on Web is introduced as well. Compared with traditional wired fire monitoring system, the wireless fire monitoring system based on ZigBee bears advantages of no wiring, simple structure, lower cost and better ability of anti-damage.

Key words: ZigBee; wireless; fire monitoring

火灾作为日常生活中最常见的自然灾害, 以其突发性、易蔓延、扩散快的特点, 时刻威胁着人们的生命健康和财产安全。因此, 对于建筑物火灾的防范日益受到人们的重视, 对于火灾自动探测与报警的技术水平要求不断提高, 需求越来越大^[1]。

火灾监测系统是一种能够在火灾初期通过火灾探测器感知火情的出现, 显示火灾发生地点和时间, 及时采取应急措施以控制和消除火灾而设置在建筑物中或其他场所的自动消防设施, 是提高建筑物防灾自救能力, 帮助人们将火灾消灭在初期, 减少火灾危害的有力工具^[2]。

火灾监测系统可以分为有线火灾监测系统和无线火灾监测系统 2 类^[1]。有线火灾监测系统无论是在技术上还是应用上都已十分成熟, 但是存在着施工困难、维护繁琐、成本高、功耗大、抗干扰能力差等缺点; 随着嵌入式系统、无线通信技术、传感器技术的发展, 无线火灾监测系统凭借着即插即用、性价比高, 可靠性高等优势, 能够很好地解决以上问题。

1 无线火灾监测系统整体结构的设计

本文设计的无线火灾监测系统整体结构如图 1 所示。

系统选用一台 PC 作为监控中心, 通过以太网与网关进行数据和命令的通信, 系统提供了基于 Web 的交互界面, 用户可以通过监控中心的浏览器实现火灾监测数据的实时显示、故障警告以及火灾报警等功能。

根据 ZigBee 协议, 网关是指为 ZigBee 提供通信协议转换的设备。在本系统中, 网关选用了 Samsung 公司生产的片上系统(System on Chip, SoC) 芯片 S3C2440, 运行嵌入式 Linux 操作系统, 主要负责火灾监测数据的接收、存储、处理等任务, 为上层的监控中心提供了超文本传输协议(Hyper Text Transfer Protocol, HTTP)服务, 通过 RS232 接口与下层的 ZigBee 网络互联。

ZigBee 火灾监测网络采用了树型拓扑结构, 包括一个 ZigBee 协调器、多个路由器和传感器节点。协调器主要负责建立、管理、维护无线传感器网络, 以及网关和 ZigBee 网络之间命令与数据的转发等任务。路由器主要负责数据通信的路由和中继。传感器节点安装有用于探测火灾信息的传感器, 负责数据的采集与预处理。

2 无线火灾监测系统的硬件设计

2.1 ZigBee 节点的设计

ZigBee 节点选用 TI 公司推出的 CC2430, 这是世界上第一款支持 IEEE 802.15.4/ZigBee 协议标准的 SoC 片上系统解决方案, 内部集成了一个符合工业标准的增强型 8051 微控制器内核。ZigBee 节点的硬件结构如图 2 所示^[3-4]。

CC2430 的运行功耗极低, 主频 32 MHz 时发送(TX)典型功耗为 27 mA, 接收(RX)典型功耗为 25 mA。CC2430 在外部中断或实时时钟(Real-Time Clock, RTC)都可以唤醒系统的节电模式下电流消耗最低只有 0.9 μ A, 在只有外部中断可唤醒系统的待机模式下的电流消耗小于 0.6 μ A^[3]。经测试, CC2430 节点在 2 节 5 号电池供电的条件下, 可维持工作 15 天以上。考虑到 ZigBee 协调器需要频繁地进行命令与数据的收发以及处理, 计算火灾监测数据, 因此协调器由固定电源供电。

2.2 传感器与外围电路设计

为火灾监测系统选择合适的传感器是一个重要环节, 针对 CC2430 低电压、内置 14 位模数转换器(Analog Digital Converter, ADC)以及仅具有通用异步收发传输器(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART)和串行外设接口(Serial Peripheral Interface, SPI)通信接口的技术特点, 选用了 MAXIM 公司的 MAX6613 作为温度传感器。

MAX6613 是一个采用 5 脚 SC70 封装的模拟输出温度传感器, 具有低功耗、低电压、高精度的特点, 工作电压最低 1.8 V, 温度测量范围为 -55 $^{\circ}$ C~130 $^{\circ}$ C, 典型电流消耗只有 7.5 μ A, 非常适合电量消耗以及工作寿命要求苛刻的便携式测温应用^[5]。

MAX6613 与 CC2430 的电路连接如图 3 所示。MAX6613 的模拟量输出引脚与 CC2430 的 P0.7 引脚连接, 即连接到 CC2430 的 ADC 通道 AIN7。

MQ-2 是一款多用途、低成本的烟雾传感器, 广泛用于火灾报警、家庭燃气泄漏检测、工业用可燃气体泄漏检测以及便携式气体检测仪。MQ-2 的工作电压为 3 V~5 V, 为了保证 MQ-2 的正常工作, 选用 TI 公司生产的电荷泵 TPS60140 为 MQ-2 供电。TPS60140 是一款专为以 2 节 AA 电池为电源的低功耗电路设计的电荷泵, 输入电压范围 1.8 V~3.6 V, 可以产生稳定的 5 V 输出电压, 具有至少 100 mA 的连续输出电流^[6]。

MQ-2 与 CC2430 的电路连接原理图如图 4 所示, MQ-2 选取了电平输出方式, 与 CC2430 的 P1.7 引脚连接。当监测环境的烟雾浓度水平异常时, MQ-2 输出低电平。

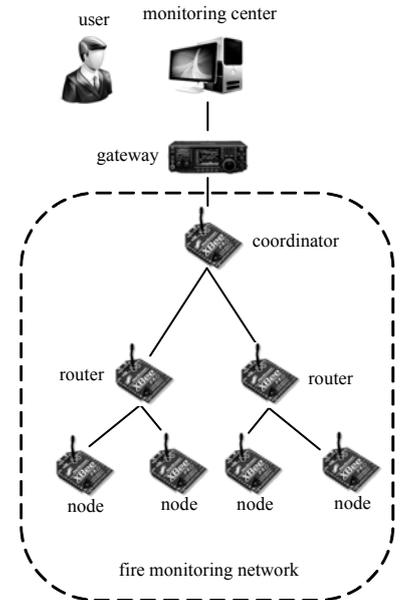


Fig.1 Overall structure of wireless fire monitoring system
图 1 无线火灾监测系统的整体结构

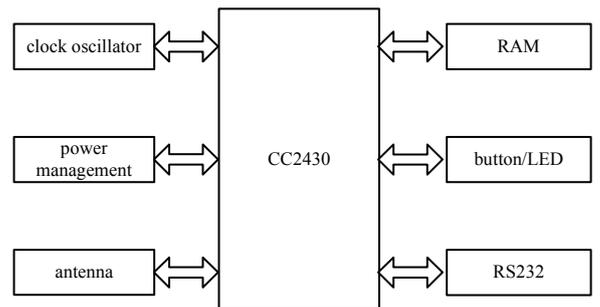


Fig.2 Hardware design of ZigBee node
图 2 ZigBee 节点硬件设计

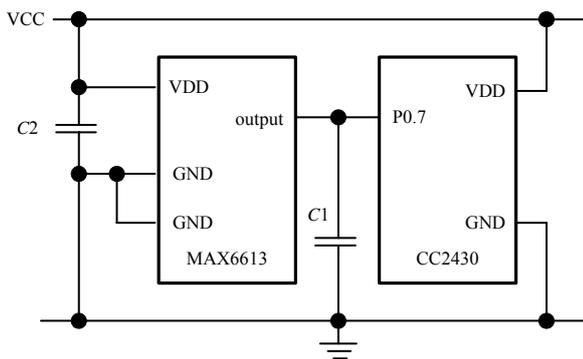


Fig.3 Circuit connection of MAX6613 & CC2430
图 3 MAX6613 与 CC2430 的电路连接

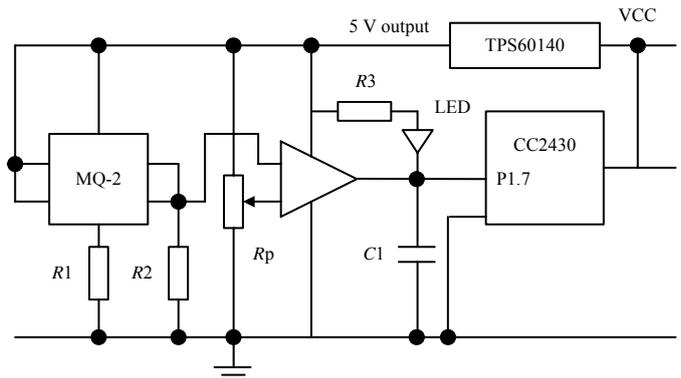


Fig.4 Circuit connection of MQ-2 & CC2430
图 4 MQ-2 与 CC2430 的电路连接

3 无线火灾监测系统软件整体结构的设计

无线火灾监测系统采用了 B/S 软件结构，如图 5 所示。

用户通过监控中心访问运行在网路上的 Web 服务器即可完成火灾监测与报警等任务。根据用户设置的参数，系统可以通过 JavaScript 脚本及 AJAX(Asynchronous Javascript And XML)技术手动或自动向 Web 服务器发起命令发送或者数据查询请求。如果 Web 服务器收到的是命令发送请求，服务器将调用命令发送通用网关接口(Common Gateway Interface, CGI)程序启动一个套接字(Socket)客户进程，与后台运行的 Socket 服务接口连接成功后，将通过 Socket 连接向网关传递用户请求发送的命令。

用户发送的命令首先暂存在命令队列中，等待队列控制器的调度。ZigBee 协调器接收到网关转发来的命令后，首先进行解析，从中取出命令和目标地址，再将命令转发给具有指定网络地址的传感器节点。

传感器节点接收到命令后，将进行数据采集等任务，并将采集到的数据返回给 ZigBee 协调器，由后者通过串口发送给网关。

网关通过数据库访问接口连接 MySQL 数据库，并将处理后的数据保存到数据库中。限于 HTTP 协议，网关不能将数据通过 Web 服务器直接返回到监控中心进行显示，因此，系统以一个数据队列作为暂存数据的缓冲区，等待监控中心发起数据查询请求。

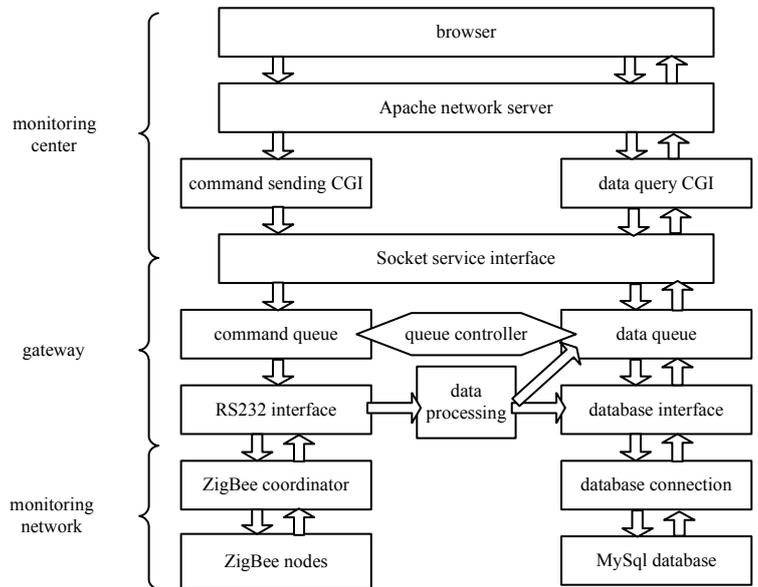


Fig.5 Overall structure of software
图 5 无线火灾监测系统软件整体结构

4 火灾监测数据的采集

无线火灾监测系统的传感器节点负责采集 4 种类型的数据:芯片温度(CHIP_TEMP)、芯片电压(CHIP_BATT)、室内温度(BLDG_TEMP)、室内烟雾(BLDG_SMOG)。前两者用于传感器节点工作状态的检测，后两者用于火灾监测与火灾报警。

CHIP_TEMP,CHIP_BATT 的数据采集依赖于 CC2430 的 ADC 输出。采集 CHIP_TEMP 和 CHIP_BATT 数据

时, 以内部 1.25 V 电压基准作为 ADC 参考电压。CC2430 内置有一个模拟量输出的片内温度传感器, 可以用于 CHIP_TEMP 数据的采集。CC2430 可以将芯片电压的三分之一(VDD/3)作为 ADC 的模拟量输入通道, 从而采集到芯片电压 CHIP_BATT 数据。

BLDG_TEMP 由模拟式温度传感器 MAX6613 负责采集, 由于 MAX6613 在 0 °C 时输出电压约为 1.845 5 V, 因而不能使用内部 1.25 V 电压基准作为 ADC 参考电压。凭借现有的传感器节点硬件配置, 在不引入外接电压基准的前提下, AVDD_SOC 引脚(芯片供电电压)是唯一可用的 ADC 参考电压。AVDD_SOC 正常情况下最大不会超过 3.3 V, 随着使用时间的推移, AVDD_SOC 的实际数值还会连续下降。因此, 为了确保作为 ADC 参考电压的 AVDD_SOC 的精确度, 提高传感器节点 ADC 输出的准确度, 在采集 BLDG_TEMP 数据时, 传感器节点首先以内部 1.25 V 电压基准作为参考电压, 得到 VDD/3 的 ADC 数值, 由此再换算得到 AVDD_SOC, 接着, 再以 AVDD_SOC 作为参考电压, 对 MAX6613 的输出模拟量进行 ADC 处理。

BLDG_SMOG 由烟雾传感器 MQ-2 负责采集, MQ-2 为数字电平输出, 当烟雾浓度超过阈值后, MQ-2 输出低电平, 否则输出高电平, MQ-2 的输出引脚与 CC2430 的 P1.7 连接。BLDG_SMOG 数据的采集比较简单, 首先, 程序通过 CC2430 的寄存器 P1DIR 将 P1.7 引脚设置为输出模式, 再读取 P1.7 引脚的输出电平, 经过短暂的延时后, 再次读取, 如果 2 次的读取结果一致, 返回结果, 否则重新开始读取, 直到 2 次读取结果一致为止。

5 Z-Stack 软件开发

系统选用了 TI 开发的 ZigBee 协议栈 Z-Stack 作为 CC2430 的软件平台。Z-Stack 采用了分层结构, 操作系统抽象层 (Operating System Abstraction Layer, OSAL)、网络层 (Network layer, NWK)、媒体访问控制层 (Medium Access Control layer, MAC)、ZMain 层、ZigBee 设备对象 (ZigBee Device Object, ZDO) 层等提供了轮询式操作系统、组网、路由与无线通信等核心功能, 其他的 Security 层、Services 层、Profile 层等提供了工程参数配置和其他一些辅助功能, 用户自定义功能在 APP (Application) 实现^[7-8]。

5.1 启动 ZigBee 设备及组建 ZigBee 网络

ZigBee 设备的启动与网络的建立流程如图 6 所示(仅列出了 OSAL 层、NWK 层及 APP 层)。

ZigBee 设备上电后首先执行位于 ZMain 层的主函数 main(), Z-Stack 在 main() 函数主要完成 3 项工作:

1) 设备的初始化: 包括电压检测、初始化栈寄存器、初始化 I/O 端口、初始化硬件抽象层 (Hardware Abstract Layer, HAL) 驱动, 以及应用框架层 (Application Framework, AF)、MAC 层、非易失 (Non-Volatile, NV) 组件的初始化等;

2) 初始化操作系统: 在 APP 层初始化完成后, Z-Stack 将检查设备的类型: ZigBee 协调器、ZigBee 路由器和传感器节点分别根据 Z-Stack 软件设置的 PAN ID、信道等建立或者搜索、加入网络;

3) 启动操作系统: Z-Stack 采用了事件轮询机制的多任务操作系统, 函数 osal_start_system() 负责启动操作系统, 所有任务具有相同的优先级, 每个任务可以被多个事件触发, Z-Stack 按照任务的触发次序, 逐个依次进行任务处理。

5.2 ZigBee 网络设备的无线通信

无线火灾监测系统的 ZigBee 网络采用了“不问不答”的通信机制, ZigBee 协调器本身不会主动向网关或传感器节点发送任何数据, 只有在接收到网关或传感器节点发送的数据时, 才会将数据转发给另一侧的设备。类似地, 传感器节点本身不会主动发送数据, 只有在收到 ZigBee 协调器转发的命令后, 才会向网关返回信息。

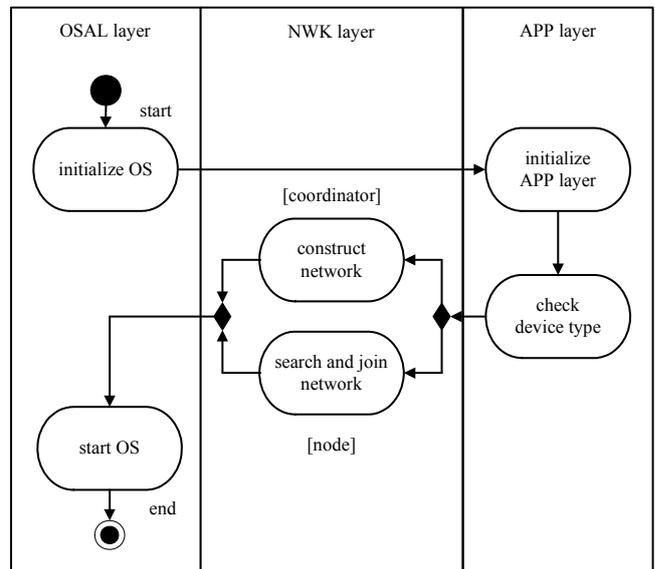


Fig.6 Process of ZigBee network construction
图 6 ZigBee 建立网络的流程

1) ZigBee 网络命令与数据的通信

命令与数据通信流程如图 7 所示。网关首先向 ZigBee 协调器发出一条命令帧，协调器在接收到命令帧后，立即向网关返回一条确认帧，随后，协调器再将这条命令帧转发给目标传感器节点。传感器节点接收到命令帧后，完成数据采集，将向协调器返回数据帧，随后再由协调器转发给网关。

2) ZigBee 设备异常检测的通信

无线火灾监测系统的通信在网关和协调器之间、协调器和传感器节点之间、网关和传感器节点之间形成了闭合回路，当协调器或传感器节点发生通信延迟或故障时，通信回路就会断开，此时网关将向没有响应的 ZigBee 协调器或传感器节点发送验证帧进行异常检测，如图 8 所示。

网关向 ZigBee 设备（协调器或传感器节点）发送一条验证帧后，若在规定时间内 ZigBee 设备做出响应，系统将认为 ZigBee 设备工作正常并重发命令帧；若网关发送验证帧后 ZigBee 设备未响应，系统将通知用户 ZigBee 设备工作异常。

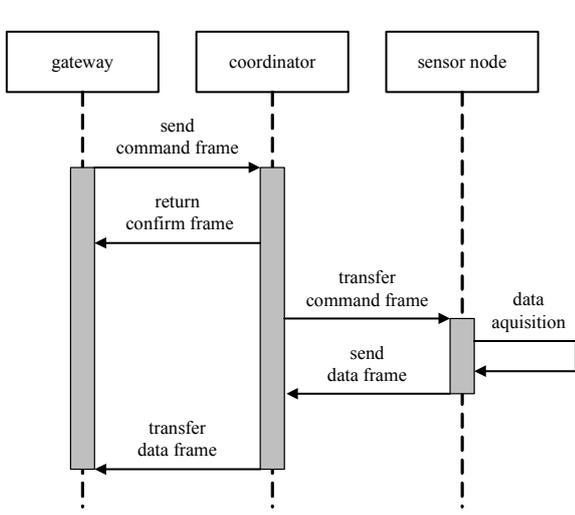


Fig.7 Process of command & data communication
图 7 ZigBee 网络命令与数据的通信流程

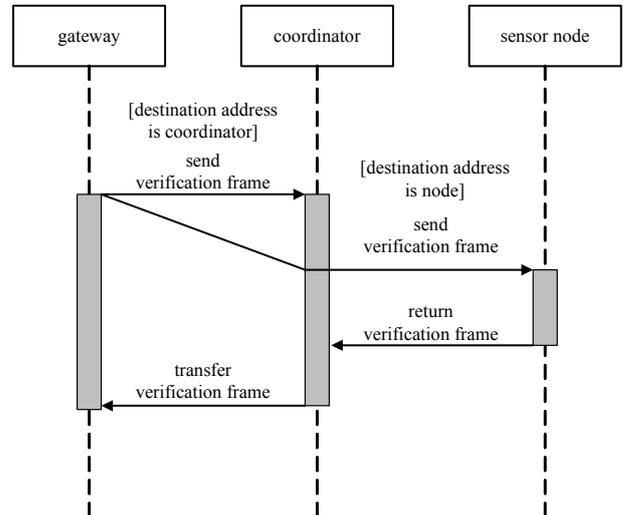


Fig.8 Process of device fault detection
图 8 ZigBee 设备异常检测的通信流程

6 用户操作界面的设计

用户界面由超文本标记语言(Hyper Text Markup Language, HTML)以及层叠样式表(Cascading Style Sheet, CSS)实现，如图 9 所示。用户名与密码验证成功后，用户即可进行自动监测、手动监测、系统参数设置、实时数据更新、历史数据查询等操作。

Fig.9 User interface based on HTML & CSS
图 9 用户操作界面

7 结论

传统的有线火灾监测系统在数据通信方面严重依赖于预先铺设的线缆,存在着结构复杂、施工成本高、使用环境受限等缺点。有线火灾监测系统从施工、调试到正式交付需要较长时间,在火灾探测器的设置上无法超越线缆的铺设范围,难以达到最优布局,投入使用后很难再做出调整,容易存在探测盲点,并且安装后很难再拆卸下来重复使用。

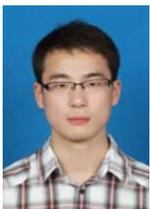
相比之下,无线火灾监测系统的数据通信可以穿越墙体,基本不受建筑结构和格局的限制,后期可以通过增加探测节点或中继节点的方式实现探测范围和通信容量的扩充,最快只要几分钟就能建立起通信链路,且可以很方便地转移到其他地点重复使用。

本文针对传统有线火灾监测系统的不足,引入基于 IEEE 802.15.4 标准的 ZigBee 无线通信技术,设计并实现了一种无线火灾监测系统,解决了有线火灾监测系统在数据通信方面的局限性,具有良好的应用前景和实用价值。

参考文献:

- [1] 陈南. 智能建筑火灾监控系统设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2001. (CHEN Nan. Design of Fire Detection and Control Systems for Intelligent Buildings[M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2001.)
- [2] 朱栋华. 建筑防火防灾监控系统及应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2009. (ZHU Dong-hua. Fire Detection and Control Systems for Buildings and Applications[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2009.)
- [3] Texas Instruments. CC2430 Data Sheet(Rev 2.1):A true system-on-chip solution for 2.4GHz IEEE 802.15.4/ZigBee [EB/OL]. (2007-06-06)[2012-03-17]. <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/cc2430.pdf>.
- [4] 姚俊邑,傅焯. 基于 CC2431 实现的无线传感器网络定位[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2010,8(3):257-260. (YAO Jun-yi,FU Xuan. Location estimation based on CC2431 RF transceiver in WSN[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2010,8(3):257-260.)
- [5] MAXIM. MAX6613 Data Sheet(Rev 3):Low voltage analog temperature sensor in an SC70 package[EB/OL]. (2010-12-10)[2012-03-17]. <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6613.pdf>.
- [6] Texas Instruments. TPS60140 data sheet:low power DC-DC converter regulated 5V,100-mA charge pump voltage tripler[EB/OL]. (2000-02-11)[2012-03-17]. <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/tps60140.pdf>.
- [7] Drew Gislaso. ZigBee Wireless Networking[M]. Burlington:Newnes, 2008.
- [8] Shahin Farahani. ZigBee Wireless Networks and Transceivers[M]. Burlington:Newnes, 2008.

作者简介:



狄 飞(1986-), 男, 福州市人, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为冲击环境试验设备与软件开发.email:hjdif@caep.cn.

张莉君(1965-), 女, 河北省唐山市人, 博士, 副教授, 主要研究方向为智能检测与控制.

陈 飞(1988-), 女, 湖北省荆门市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统.