

文章编号: 2095-4980(2015)02-0321-06

## 基于 ZigBee 的岩心扫描仪监控系统设计与实现

张 玮, 何小海, 卿 粼波\*, 吴小强

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065)

**摘 要:** 岩心扫描仪在石油地质部门得到广泛应用, 但一直缺乏有效的监控设备, 以监测岩心扫描仪的工作状态且提供方便的控制方式。针对该问题, 比较了常用的几种 2.4 GHz 无线通信技术, 设计了一种基于 ZigBee 的岩心扫描仪无线监控系统。该系统采用 CC2530 作为核心芯片, 详细设计了整个系统的硬件与软件, 并进行相应的测试。测试结果表明, 该系统能够完成对岩心扫描仪温湿度的监测和无线控制, 并具有组网快速、可靠等优点。

**关键词:** 岩心扫描仪; ZigBee 技术; CC2530 芯片; 监控系统

**中图分类号:** TN702

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201502.0321

## Design and implementation of monitor system for core scanner based on ZigBee

ZHANG Wei, HE Xiaohai, QIN Lingbo\*, WU Xiaoqiang

(School of Electronics and Information, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China)

**Abstract:** Core scanner is used widely in the petrol or geological departments at present, although there is still lack of device that can monitor working status and control core scanner more conveniently. Several kinds of 2.4 GHz wireless communication methods are compared, and a design scheme of wireless monitor system for core scanner based on ZigBee is proposed. CC2530 is used as the core component of the system. The hardware and software of the system are designed in detail. Related test results show that this system can monitor temperature and humidity of the core scanner and also can control it wirelessly. The proposed system can organize network fast with good reliability.

**Key words:** core scanner; ZigBee; CC2530; monitor system

岩心扫描仪<sup>[1]</sup>是一种基于高分辨率扫描头对岩心图像进行采集的设备, 在地质部门和各大油田中得到大量应用。随着岩心扫描技术的发展, 岩心扫描仪也在不断升级, 机械构架更加合理, 扫描软件更加完善<sup>[2]</sup>。但是, 目前还缺乏有效的监控设备以解决以下问题: a) 长时间的扫描工作将导致扫描头<sup>[3]</sup>采集板温度升高, 若温度高于安全阀值仍继续使用, 扫描头可能会出现故障, 甚至损坏, 导致扫描工作无法开展; b) 许多岩心扫描工作在野外进行, 环境湿度也需要实时监测; c) 完成一次岩心扫描, 需要在扫描仪前放置岩心, 再到 PC 前完成扫描控制, 在繁重的岩心扫描工作中显得十分不便, 需要一种更加灵活的控制方式。因此, 设计一套岩心扫描仪监控系统对于改善上述问题具有重要意义。

监控系统若使用传统有线方式, 将存在布线复杂, 控制不便等缺点, 因此采用无线方式完成监控系统的设计。对比现在几种主流的 2.4 GHz 无线通信技术: 红外技术容易受到障碍物的遮挡; 蓝牙技术和 WIFI 技术开发成本高, 协议复杂, 都不适合本系统的开发。ZigBee 技术是基于 IEEE802.15.4 标准的低功耗个域网协议, 具有自组织、架构简单、低功耗、低传输速率、低成本、数据安全可靠等特点, 满足监控系统的技术要求<sup>[4]</sup>。

### 1 系统总体结构设计

考虑到实际地质部门的应用情况, 可能需要对多个岩心扫描仪进行监控。因此本系统采用星型拓扑结构<sup>[5]</sup>, 工控机和便携控制终端组成上位机, 终端节点和协调器节点组成下位机, 系统结构图如图 1 所示。

收稿日期: 2014-10-16 修回日期: 2014-12-13

\* 通信作者: 卿 粼波 email:5085114@qq.com

每个终端节点负责监控一台岩心扫描仪，将采集到的状态信息通过 ZigBee 网络传输给协调器节点，协调器节点汇总后，通过串口转发给工控机，由工控机实时显示并记录。便携控制终端通过 ZigBee 网络发送控制指令，经由协调器转发给终端节点，再由终端节点通过串口发给岩心扫描仪，进行相应的控制。

## 2 系统硬件设计与实现

监控系统采用星型网络拓扑结构，节点设计主要分为 2 大类：一类是 FFD(Full Function Device)协调器节点；一类是 RFD(Reduced Function Device)终端节点。其中每个节点都必须包含 ZigBee 通信核心电路，以完成无线网络的组建和数据的传输。然后各类节点通过添加不同的外设，以完成具体的监控功能。

### 2.1 ZigBee 通信核心电路的实现

无线通信核心电路采用的 ZigBee 芯片是 TI 公司的 CC2530F256，其内部集成了高性能 RF(Radio Frequency)收发器、增强型 8051 内核、256 KB Flash ROM(Read-Only Memory)等，只需要少数的外围电路，就可以实现无线通信的应用。主时钟晶振采用 32 MHz 的无源晶振，时钟晶振采用 32.768 kHz 的无源晶振，RF 模块外围电路采用无巴伦的阻抗匹配网络，天线使用 50 Ω 鞭状负极性天线<sup>[6]</sup>。

### 2.2 协调器节点的实现

协调器节点需要完成 3 个主要任务：组建网络、汇总数据与处理各个终端节点的信息以及与工控机进行交互。由于 CC2530 片上资源较少，所以选择了一片资源更丰富的 Cortex-M3 构架 ARM 芯片 LPC1752 作为主控芯片，负责处理数据与工控机交互等，与 CC2530 共同组成协调器节点。这样的设计可以降低协调器节点 CC2530 芯片的任务复杂度，提升协调器节点的稳定性，并且能够更好地处理数据和添加扩展功能。ARM 芯片与工控机的交互主要通过串口，采用 USB 转串口芯片 CP2102 完成接口的转换，并使用 USBLC6-2SC6 芯片对数据传输进行 ESD(Electro-Static Discharge)保护，同时外接 1 个 OLED(Organic Light-Emitting Diode)屏，用于显示实时组网情况和节点数量，协调器节点的结构图如图 2 所示。

### 2.3 终端节点的实现

终端节点有 2 个主要任务：首先需要将采集到的扫描头工作温度与环境湿度反馈给协调器节点，所以该节点需要温度和湿度传感器。本文采用 SENSIRION 公司的 SHT21 传感器，集合了温度和湿度传感器的功能，无需分别使用 2 个传感器，节省了空间，能够方便地嵌入扫描头内；并且测量范围和测量精确度都适用于本系统，维护简单，无需校准。SHT21 通过 IIC(Inter-Integrated Circuit)总线和 CC2530 进行交互，实现温湿度的实时监测，同时外接 OLED

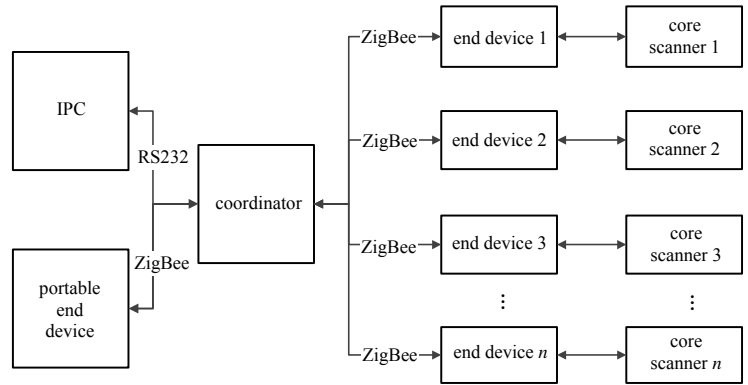


Fig.1 Diagram of system structure  
图 1 系统结构图

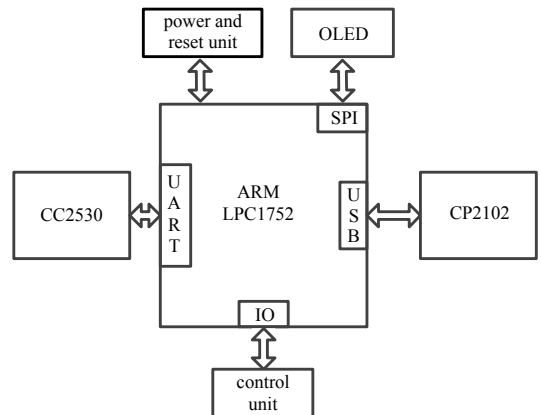


Fig.2 Structure chart of coordinator  
图 2 协调器节点结构图

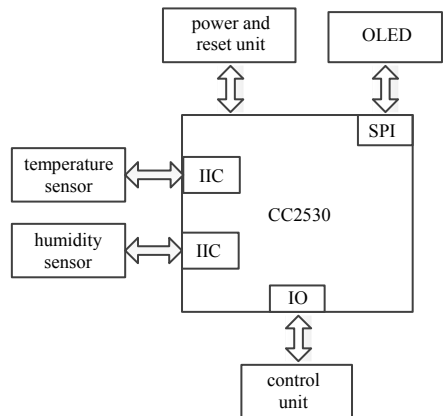


Fig.3 Structure chart of end device  
图 3 终端节点结构图

屏,用于实时显示温湿度。其次将接收到的控制命令通过串口发送给岩心扫描仪,直接将串口和扫描仪的串口相连。便携控制终端是在终端节点的基础上,增加了控制按键,按下不同的按键将相应的控制指令发送给协调器节点,由其转发给相应的终端节点,实现对岩心扫描仪的实时控制,终端节点的结构图如图 3 所示。

### 3 系统软件设计与实现

根据本系统的监控功能设计要求,岩心扫描仪监控系统的软件设计包括 ZigBee 网络中各节点软件设计、数据帧结构设计和 PC 端软件设计。

其中各节点软件设计的基础是基于 ZigBee 无线通信,无线通信的质量直接决定了系统的优劣,所以 ZigBee 组网与通信部分的软件主要参考 TI 公司提供的 Z-STACK 协议栈<sup>[7]</sup>。该协议栈提供了业界领先的 ZigBee 协议栈,能够满足实际应用的需求。而且协议栈是一个 Tiny OS(Operating System),采用 OSAL(Operating System Abstraction Layer)轮转轮询任务调度队列,根据优先级,不断向下逐级查询是否有任务需要处理。这样可以降低系统运行复杂度,实现各个功能的模块化,较好地完成各个节点的并行管理控制。

#### 3.1 协调器节点软件设计

协调器节点的软件设计主要基于 Z-STACK 协议栈和硬件配合完成系统中的组网和收发数据等任务。

如图 4 所示,协调器节点的工作流程是:在各功能模块上电后,完成硬件的初始化。根据设定的网络参数, PAN ID (Personal Area Network ID)=0xFFF1 和 Channel 11=0x0B<sup>[8]</sup>,通过调用 NLME\_NETWORK\_FORMATION.request 原语<sup>[9]</sup>建立无线通信网络。组网成功后,实时检测是否有相同 PAN ID 的终端节点发出入网申请,如有,则将其加入网络并分配 16 位短地址。待组网完成,协调器开始执行任务应用层<sup>[10]</sup>的任务,主要包括 2 个任务:a)接收终端节点发送的数据,将数据交由 ARM 处理与汇总,并通过串口发给工控机处理与保存;b)接收便携控制终端命令,并转发给指定的终端节点,通过串口完成对岩心扫描仪的控制。

#### 3.2 终端节点软件设计

终端节点也是基于 Z-STACK 协议栈与硬件配合,在系统中主要完成入网和不同终端对应的控制或者采集任务。

1) 终端节点上电后,完成软硬件初始化,各个节点会通过 NLME\_Network\_Discovery.request 原语与协调器形成的网络通道号匹配,完成 ZigBee 终端节点加入网络。入网成功后通过 osal\_start\_timerEx()函数<sup>[11]</sup>设置周期监测任务,每隔 1 min 采集一次温湿度数据,通过调用 AF\_DataRequest()函数将结果发送给协调器节点汇总。

2) 便携控制终端的入网过程与终端相同,入网成功后,可以通过按键发送无线控制指令,控制岩心扫描仪的前进、后退等功能。当便携控制终端接收到按键中断后,进入临界区<sup>[12]</sup>,取得预设控制指令,同样调用 AF\_DataRequest()函数发送控制指令到协调器节点汇总。

#### 3.3 数据帧格式设计

数据帧格式的设计主要考虑几个方面:

1) 基本原则是数据帧的大小应该尽量精简,用最低的复杂度实现数据的可靠传输。

2) 工业现场的环境复杂性,可能存在 WIFI 等其他无线信号的干扰。为了保证数据传输的可靠性,需要进行数据的校验,凡校验失败的数据将丢弃,以确保系统的稳定。所以在数据帧中加入了校验标志。本系统采用 CRC-16(Cyclical Redundancy Check-16)的数据校验方法<sup>[13]</sup>进行计算。该方法计算速度较快,生成的校验结果大小较小。

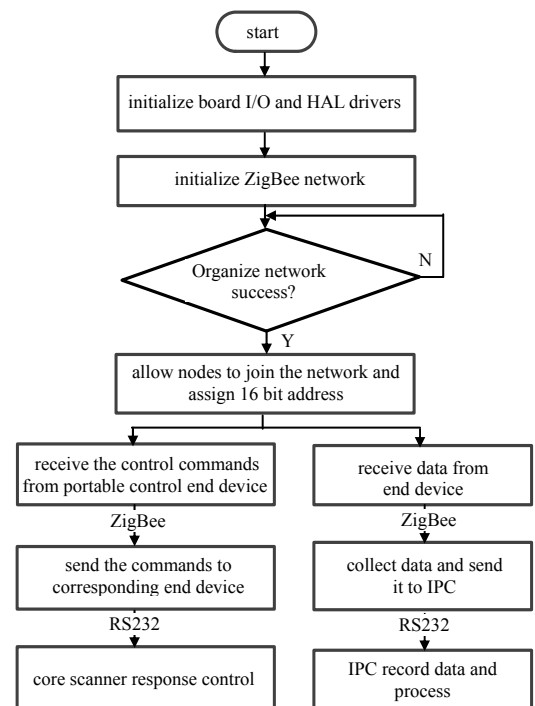


Fig.4 Flow chart of coordinator program

图 4 协调器节点工作流程

3) 控制指令的突发性。本系统采用非信标模式进行通信, 终端节点均以竞争方式接入信道, 不需要周期性地发送信标帧, 所以取消了数据帧中的 beacon 帧。

4) Z-STACK 协议栈的兼容性, 由于网络层和应用支持子层数据头已经由 Z-STACK 协议封装好, 所以数据帧结构设计着重在应用层上修改。

5) 本系统存在 2 种不同的数据: 一种是温湿度采集数据, 另一种是控制命令指令。数据帧应该包括 1 个指令标志, 指明数据的性质。

综上所述, 设计了 2 种不同的应用层数据帧格式, 如表 1 和表 2 所示。

表 1 温湿度数据帧格式  
Table1 Data frame of temperature and humidity

flag of T/H collected event	temperature or humidity	source address	length flag	data	CRC-16 check bit
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	2 byte ~6 byte	2 byte
0xC0	0/1	preset value	2~6	T/H data in character format	check value by CRC-16

温湿度采集数据由 Set\_Data()函数封装, 将采集到的数据内容封装成一个完整的数据帧。温湿度数据帧长度为 8~12 字节, 其中包括 1 个字节的事件标志, 标定通信内容是采集的数据; 1 个字节的温湿度标志 0/1, 表示是温度/湿度信息; 1 个字节的来源地址标志, 给出数据来源终端的信息; 1 个字节的长度标志, 因为温湿度的范围达到 0~100, 最终传输的温湿度数据长度可能有 2~6 个字节, 所以需要事先指明数据的长度; 最后通过 CRC-16\_Check()函数计算出校验标志, 占 2 个字节, 保证数据的可靠传输, 完成整个数据帧的封装。

表 2 控制指令数据帧格式  
Table2 Data frame of control command

flag of control command	ACK flag	destination address	length flag	data	CRC-16 check bit
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	N byte	2 byte
0xD1-0xDA	0/1	preset value	N	parameter of core scan	check value by CRC-16

控制指令数据由 Set\_CMD()函数封装, 基本过程和温湿度数据相同。控制指令数据帧大小为 7~23 字节, 其中包含 1 字节的控制指令标志, 使得扫描仪的前进、后退、复位等 10 个不同的控制指令可以分别用 0xD1~0xDA 来区分; 1 字节的 ACK(Acknowledgement)标志, 置 0 时表示事件触发请求, 置 1 时表示完成控制指令后的反馈消息; 1 字节的目的地地址标志, 表明需要控制的终端地址; 1 个字节的长度标志, 因为控制命令参数的长度可能有 1~17 字节, 包括控制扫描仪运动的速度、长度等所必需的参数, 所以需要提前指明随后控制命令参数的长度; 最后同样加上 2 字节的 CRC-16 校验标志, 完成数据帧的封装。

### 3.4 PC 端软件设计与实现

PC 端的数据监测软件主要任务是接收数据和处理数据, 通过串口接收协调器汇总发送的数据, 并且把采集到的数据保存在数据库中, 方便查看历史数据。当接收到的数据高于预设的安全阈值时, 会产生提示信息。

本软件采用基于 Microsoft Visual Studio 2010.NET Framework4.0 的框架<sup>[14]</sup>, 界面设计简洁, 如图 5 和图 6 所示, 并使用 C/S(Client/Server)三层架构对软件进行维护和管理, 数据库则采用稳定可靠的 SQLServer 2008, 能够处理较大的数据量。



Fig.5 PC-based interfaces  
图 5 PC 端界面

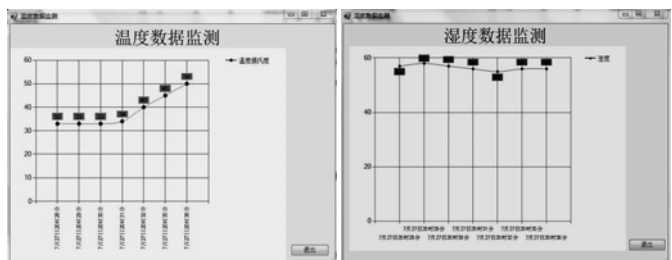


Fig.6 View of temperature and humidity historical data  
图 6 温湿度历史数据查看

## 4 系统测试与实验结果

根据本文所述开发了基于 ZigBee 的岩心扫描仪监控系统,并对该系统进行了相应的测试。结果如下:

1) 组网测试:选用 3 个节点做组网测试,1 个协调器节点,2 个终端节点。正常情况下协调器从上电到建立网络只需要 2 s~3 s,终端加入网络到第 1 次数据的传输只需要 11 s~12 s,组网快速高效。图 7 是各节点 OLED 上显示的组网情况。



Fig.7 Real-time display of organizing network situation  
图 7 组网情况实时显示

2) 稳定性测试:在实验室存在 WIFI、蓝牙和手机信号的情况下,协调器和终端节点相距 20 m,进行点对点通信,发包数 1 000,发包间隔 500 ms,丢包率为 0,通信稳定可靠。测试控制指令,按下按键后扫描仪立刻响应,感觉不到明显的延迟。可满足无线控制和温湿度数据的传输要求。

3) 温湿度精确度测试:在室内环境下进行测试,分别测量了非工作情况下扫描头的温湿度和工作时的温湿度。当室内温度在 20 ℃~30 ℃时,非工作情况下扫描头温度与室温相同,误差小于  $\pm 1$  ℃。当扫描头长时间工作,温度达到 50 ℃~70 ℃时,与温度计所测温度大致相同,误差小于  $\pm 2$  ℃。而湿度的测量情况受温度影响,最大误差  $\pm 4\%$ ,基本满足实际应用需求。图 8 是终端节点 OLED 上显示的采集情况。

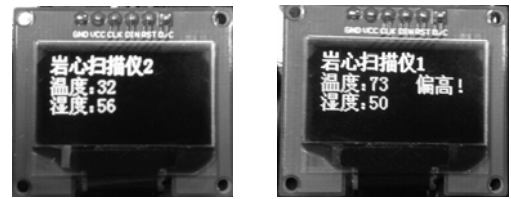


Fig.8 Real-time display of temperature and humidity data  
图 8 采集温湿度实时显示

## 5 结论

基于 ZigBee 的岩心扫描仪监控系统能够实现对岩心扫描仪的无线监测和控制,组网快速可靠,减少了传统有线方式带来的布线困难和潜在电气隐患等问题。在此基础上,未来可进行更深入的研究,升级便携控制终端,增加触屏控制和操作系统,提供图形控制界面,增加机械监测模块和电气监测模块,为岩心扫描仪提供更好的监测系统。

### 参考文献:

- [1] 刘铂,卿粼波,吴晓红. 用于岩心扫描的彩色线阵 CCD 图像采集系统[J]. 计算机应用, 2007,1(27):246-248. (LIU Bo, QIN Linbo, WU Xiaohong. Colorized linear CCD image acquisition system for core image acquisition[J]. Computer Applications, 2007,1(27):246-248.)
- [2] 刘跃,吴晓红,王正勇. 基于多分辨率图像融合算法的岩心图像拼接[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014,12(2):290-294. (LIU Yue, WU Xiaohong, WANG Zhengyong. Core images stitching based on multi-resolution image fusion algorithm[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2014,12(2):290-294.)
- [3] 张兴国. 新型岩心扫描系统设计及相关技术研究[D]. 成都:四川大学, 2014. (ZHANG Xingguo. A design of new core scanning system and research on related technology[D]. Chengdu, Sichuan, China: Sichuan University, 2014.)
- [4] 韩华峰,杜克明. 基于 ZigBee 网络的温室环境远程监控系统设计与应用[J]. 农业工程学报, 2009,25(7):158-163. (HAN Huafeng, DU Keming. Design and application of ZigBee based telemonitoring system for greenhouse environment data acquisition[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(7):158-163.)
- [5] 王绍卜. 基于 WSN 的医院病人实时监护系统[J]. 计算机系统应用, 2012(21):46-49. (WANG Shaobu. Hospital patients real-time monitoring system based on WSN[J]. Computer Systems & Applications, 2012(21):46-49.)
- [6] 张文道,马娜. 基于 ZigBee 的温室温度控制系统[J]. 农机化研究, 2014(4):75-78. (ZHANG Wendao, MA Na. A temperature controlling system based on ZigBee for greenhouse[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014(4):75-78.)

- [7] 王彤. 基于Z-Stack协议栈的ZigBee网络组网研究与实现[D]. 保定:河北大学, 2012. (WANG Tong. Research and implementation of ZigBee network based on Z-Stack[D]. Baoding, Hebei, China: Hebei University, 2012.)
- [8] FARAHANI S. ZigBee wireless networks and transceivers[M]. [S.l.]:Newnes, 2008.
- [9] 蒋挺,赵成林. 紫峰技术及其应用[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2006. (JIANG Ting, ZHAO Chenglin. ZigBee and Its Application[M]. Beijing:BUPT Press, 2006.)
- [10] IEEE Std 802.15.4-2003:Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs)[S]. New York, USA:IEEE, 2003.
- [11] 李俊斌,胡永忠. 基于CC2530的ZigBee通信网络的应用设计[J]. 电子设计工程, 2011,19(16):108-111. (LI Junbin, HU Yongzhong. Design of ZigBee network based on CC2530[J]. Electronic Design Engineering, 2011,19(16):108-111.)
- [12] 赖联有. ZigBee协议分析及其实现[J]. 齐齐哈尔大学学报, 2010,26(1):47-50. (LAI Lianyou. Analysis and application on ZigBee protocol stack[J]. Journal of Qiqihar University, 2010,26(1):47-50.)
- [13] 张黠. 基于ZigBee协议栈的振动信号采集与监测研究[D]. 太原:太原理工大学, 2012. (ZHANG Xia. The research of vibration signal acquisition and monitoring based on ZigBee protocol stack[D]. Taiyuan, Shanxi, China: Taiyuan University of Technology, 2012.)
- [14] 吴广. 基于.NET的反应离子刻蚀设备控制系统的设计与实现[D]. 上海:上海交通大学, 2013. (WU Guang. The design and implementation of reactive ion etching equipment control system based on .NET[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2013.)

#### 作者简介:



张玮(1988-), 男, 四川省乐山市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为数字通信. email: 45401065@qq.com.

何小海(1964-), 男, 四川省绵阳市人, 博士, 教授, 主要研究方向为图像处理与信息系统、机器视觉与智能系统.

吴小强(1969-), 男, 成都市人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为软件工程、图像处理、数据库系统、嵌入式开发.

卿粼波(1982-), 男, 四川省简阳市人, 博士, 讲师, 主要研究方向为图像通信、嵌入式系统开发. email: 5085114@qq.com.

(上接第320页)

- [6] WANG Y M, YANG J B, XU D L. Environmental impact assessment using the evidential reasoning approach[J]. European Journal of Operational Research, 2006:1885-1913.
- [7] 孙全,叶秀清,顾伟康. 一种新的基于证据理论的合成公式[J]. 电子学报, 2000,28(8):1-3. (SUN Quan, YE Xiuqing, GU Weikang. A new combination rules of evidence theory[J]. Acta Electronica Sinica, 2000,28(8):1-3.)
- [8] 熊彦铭,杨战平. 基于证据理论的系统非概率可靠性分析[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2012,10(2):169-172. (XIONG Yangming, YANG Zhanping. Non-probabilistic system reliability analysis based on evidence theory[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2012,10(2):169-172.)
- [9] 张杰,唐宏,苏凯,等. 效能评估方法研究[M]. 北京:国防工业出版社, 2009. (ZHANG Jie, TANG Hong, SU Kai, et al. Research on Effectiveness Evaluation[M]. Beijing: Defense Industry Press, 2009.)

#### 作者简介:



王长春(1983-), 男, 江西省吉安市人, 工程师, 主要从事空域管理和管制中心系统研制. email: wcc198324@163.com.

朱永文(1977-), 男, 安徽省人, 高级工程师, 主要从事空域管理和管制中心系统研制.

赵晨光(1977-), 女, 新疆维吾尔自治区人, 博士后, 主要从事航管数据分析与应用.

程奔(1983-), 男, 浙江省人, 博士, 主要从事航管装备研制.