

# 基于 ZigBee 和 GPRS 的高压开关柜无线监测系统设计

杨增汪<sup>1</sup>, 王宜怀<sup>2</sup>, 戴新宇<sup>1</sup>

(1. 徐州师范大学物理与电子工程学院, 江苏 徐州 221116; 2. 苏州大学计算机科学与技术学院, 江苏 苏州 215000)

**摘要:** 针对高压开关柜的高电压、大电流和强磁场工作环境, 提出了基于 ZigBee 无线传感器网络和 GPRS 技术的无线温湿度监测方案。系统采用 Freescale 公司的 ZigBee 解决方案 MC13213& BeeKit 和温湿度传感器 SHT75 组成星型网络结构, 利用 MC35i 模块实现 GPRS 数据传输。详细阐述了硬件设计、软件设计和传感器节点的低功耗问题。采用 ZigBee 技术使得无线监测系统具有很好的可靠性和安全性, 并且安装方便, 功耗较低。

**关键词:** 高压开关柜; 无线监测; ZigBee; GPRS; 低功耗

## Design of wireless monitoring system for high voltage switchgear based on ZigBee and GPRS

YANG Zeng-wang<sup>1</sup>, WANG Yi-huai<sup>2</sup>, DAI Xin-yu<sup>1</sup>

(1. School of Physics & Electronic Engineering, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116, China;

2. School of Computer Science & Technology, Soochow University, Suzhou 215000, China)

**Abstract:** A kind of wireless temperature and humidity monitoring system of HV (high voltage) switchgear used in the environment of HV, heavy current and powerful electromagnetic field is brought forward based on ZigBee wireless sensor network and GPRS technology. ZigBee solution MC13213& BeeKit from Freescale and digital temperature and humidity sensor SHT75 are used in the system to establish a star network, and MC35i is used to realize GPRS data transmission. The hardware design, software design and low power consumption of sensor node are described in detail. Adoption of ZigBee technology makes the wireless monitoring system reliable and secure, besides, the system is easy to install and its power consumption is low.

**Key words:** high voltage switchgear; wireless monitoring; ZigBee; GPRS; low power consumption

中图分类号: TM726 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)23-0203-04

## 0 引言

高压开关柜在电力系统中广泛应用, 承担着关合电力线路、线路故障保护、监测运行电量数据等重要作用。开关柜内的母线接头和室外刀闸开关等重要设备, 在长期运行过程中, 因老化或接触电阻过大而发热。如果这些发热部位的温湿度没有得到及时有效的监测进而采取处置措施, 往往会导致火灾和大面积停电等事故的发生。因此对母线接头和刀闸开关等关键部位的温湿度实时在线监测, 实现过热报警, 是避免重大事故或控制故障恶化的有力手段。

高压开关柜触头长期在高电压、大电流和强磁场的环境中运行, 通常的温度测量方法因无法解决高压绝缘问题而不能使用。目前, 高压母线接头部

位现场温度测量的方法主要有贴色片测温法、光纤测温法和红外测温法<sup>[1-2]</sup>。贴色片测温法是根据色片颜色随温度的不同而变化来大致确定温度范围, 这种方法准确度低、可靠性差, 不能进行定量测量。光纤测温采用光导纤维传输温度信号, 光导纤维具有优异的绝缘性能, 能够隔离开关柜内的高压, 能够准确测量高压触点的运行温度。然而, 由于涉及宽带光源、光信号的调制、解调和光监测器等器件, 系统复杂, 成本高, 技术难度大, 另外光纤安装维护不方便。红外测温法通过被测目标的温度变化对应红外辐射变化来确定温度, 为非接触测量方式, 没有高压绝缘问题。但它容易受环境及周围电磁场的干扰, 测量精度低, 自动化程度低, 往往需要人工定期到高压大电流现场测试, 效率低, 风险大。

无线温湿度测试方式是将带有传感器的测试模块安装在高压设备表面, 通过无线电波传输测试结果, 从根本上解决了高压绝缘问题, 同时具有测量精度高, 体积小, 重量轻, 低功耗, 并且安装方便

**基金项目:** 江苏省 2008 年高校自然科学研究计划项目 (08KJB140010); 徐州师范大学 2008 年校科研基金项目 (08XLB05)

等优点,是监测高压开关柜温湿度的理想解决方案。基于以上优点,本文提出了一种基于新兴的 ZigBee 技术的无线温湿度测试系统,并利用成熟的 GPRS 网络实现高压开关柜温湿度的实时、动态监测。

## 1 系统中的关键技术

### 1.1 ZigBee 技术

ZigBee 是一组新兴的基于 IEEE 802.15.4 无线标准研制开发的、有关组网、安全和应用软件方面的技术。在 ZigBee 协议 5 层体系结构中,位于底层的物理层和 MAC 层由 IEEE 802.15.4 的任务小组定义; ZigBee 联盟定义了网络层、安全层、应用层、以及各种应用产品的资料。与其他无线通信技术相比, ZigBee 具有可靠、功耗低、时延短、成本低、网络容量大、安全、工作频段灵活且免执照等优点<sup>[3]</sup>。 ZigBee 技术所拥有的近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率的特点,尤其适合于自动控制和远程控制领域,可方便地嵌入到各种设备中,同时支持地理定位功能。 ZigBee 网络中定义了两种类型的设备即全功能设备 (Full Function Device, FFD) 和简化功能设备 (Reduced Function Device, RFD)。 RFD 设备只能发送和接收信号,没有转发和路由功能。而 FFD 设备具有转发和路由功能。根据不同的应用需求, ZigBee 可以提供星型、网状型、簇状型 3 种网络拓扑结构。其中星型结构简单,所有终端设备 (RFD) 都与唯一的中央控制设备 (网络协调器, FFD) 通信,终端设备之间的通信通过网络协调器转发来实现。由于没有路由器,最多只能允许 255 个终端设备加入网络<sup>[4]</sup>。

### 1.2 GPRS 技术

GPRS 是通用分组无线服务 (General Packet Radio Service) 的缩写,是在 GSM 全球移动通信系统网络基础上发展起来的一种分组交换的数据承载和传输方式,在嵌入式系统中应用非常广泛。随着中国移动 GPRS 网络建设的日趋成熟,地区的覆盖率超过 90%, GPRS 信号基本上达到了无盲区覆盖。 GPRS 属于分组交换技术,具有实时在线,按流量计费,快捷登陆,传输速率高,支持 IP 协议和 X.25 协议等特点<sup>[5]</sup>。

## 2 系统方案设计

### 2.1 系统体系结构

本监测系统的结构如图 1 所示。系统主要由以下三部分组成<sup>[6]</sup>。

(1) ZigBee 无线传感器网络。安装在高压开关柜内的传感器节点和放置在开关柜外的协调器节

点以星型拓扑结构构成监测网络。装有温湿度传感器的传感器节点将采集到的实时信息以无线方式传送到协调器节点,协调器节点通过 RS-232 串口与 GPRS 模块相连接。

(2) GPRS 网络。通过 GPRS 网络,将汇集在协调器节点的温湿度数据传送到远程监控中心。

(3) 监控中心。上位端的 GPRS 模块通过 RS-232 与中心服务器连接,中心服务器对采集到的开关柜内触头温湿度数据进行存储和分析处理,当有异常数据时,立即报警提示。

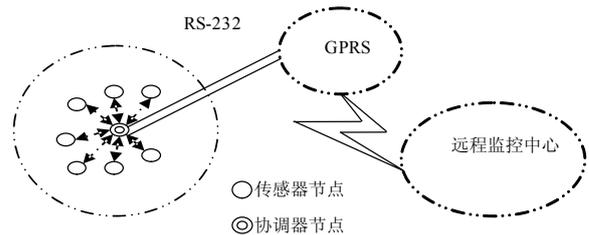


图 1 监测系统结构图

Fig.1 The structure of monitoring system

### 2.2 系统硬件设计

ZigBee 无线传感器网络主要由若干个传感器节点和唯一的网络协调器节点组成。其中传感器节点由温湿度传感器、微控制器 (MCU) 和无线射频收发模块等组成,整个节点由电池组供电,在整个工作周期内无其他能源补给;协调器节点包括无线射频、微控制器和 GPRS 模块,电源为市电供电。具体结构图如图 2 所示。

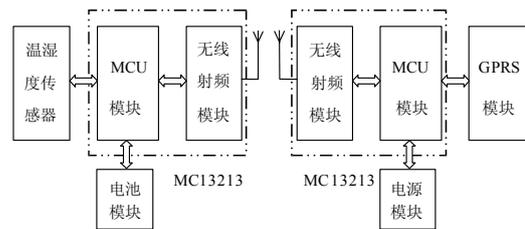


图 2 传感器节点和协调器节点结构图

Fig.2 The structure of nodes for sensor and coordinator

#### 2.2.1 ZigBee 模块

综合考虑体积、功耗、成本、软硬件开发简单方便等因素,传感器节点和协调器节点中 ZigBee 模块采用 Freescale 公司新一代 ZigBee 平台 SoC 芯片 MC13213,它采用 SIP 技术在 9×9 mm 的 LGA 封装内集成一个 8 位主控 MCU 和 1 个低功耗射频收发器。其中,主控 MCU 是 HCS08 系列最新的 MC9S08GT60,具有 64 KB Flash 和 4 KB RAM,足够存放 ZigBee 的协议栈并运行简单的应用程序,其 CPU 时钟频率高达 40 MHz,能够很好地支持高实时性的无线射频模块。高度集成了 4 个通信端口,

其中串行通信接口 (SCI) 2 个, IIC 接口 1 个, 1 个 SPI 接口负责同射频模块进行通信; 共有 3 种低功耗模式, 在 stop1 模式下, 最低电流消耗可降到 20 nA。射频收发器工作在 2.4 GHz ISM 频段, 设计构架符合 IEEE802.15.4 标准, 可提供 250 kb/s 的数据吞吐率和 16 个可选的信道。采用直接序列扩频的二进制编码方式, 增强了抗干扰能力; 采用数字相移键控调制技术, 大大降低了数据传输的误码率; 采用免冲突的载波检测多址接入机制, 避免了数据传输过程中的冲突。支持从简单的点对点网络到完整的 ZigBee Mesh 网络<sup>[7]</sup>。提供掉电 (Off)、睡眠 (Hibernate)、休眠 (Doze) 3 种低功耗运行, 最低消耗电流为 200 nA。

### 2.2.2 温湿度传感器 SHT75

温湿度传感器采用瑞士 Sensirion 公司的新型高精度温湿度数字传感器 SHT75, 它包括一个电容式聚合物测湿元件和一个能隙式测温元件, 并与一个 14 位的 A/D 转换器以及串行接口电路在同一芯片上实现无缝连接。SHT75 的温度测量范围为  $-40^{\circ}\text{C}\sim+123.8^{\circ}\text{C}$ , 精度为  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ , 湿度范围为  $0\sim 100\% \text{RH}$ , 精度为  $\pm 1.8\% \text{RH}$ 。SHT75 采用串行接口与微控制器进行数据交换, 它的 SCK (串行时钟输入) 和 DATA (串行数据) 引脚分别直接与 MC13213 的 I/O 口相连, SCK 用于保持通信同步, DATA 则实现收发通信协议命令和数据。

### 2.2.3 GPRS 模块 MC35i

GPRS 通信模块主要用于实现无线传感器网络信息的远程传输。本设计采用了 Siemens 公司生产的新一代 GSM/GPRS 双模模块 MC35i, 可以快速安全可靠地实现数据、短信、语音和传真业务。MC35i 具有始终在线的功能, 其理论上传输速率最高可达 171.2 kb/s。MC35i 通过独特的 40 引脚的 ZIF 连接器, 实现电源连接、指令、数据、语音信号及控制信号的双向传输<sup>[8]</sup>。MC13213 通过 ZIF 连接器插座上的 RS232 接口向 MC35i 发送 AT 命令和数据, 实现包括模块的设定、系统控制、数据输入/输出等功能。

## 2.3 软件设计

### 2.3.1 下位端软件

下位端软件主要包括传感器节点入网、采集、发送、低功耗等功能的实现和协调器节点组网、监听、与 GPRS 模块间数据通信以及 GPRS 模块的数据收发等功能的实现。Freescale 公司针对 MC1321x 系列提供了 BeeKit 协议包, 具体包括简化 MAC (SMAC), 802.15.4 MAC 和 Freescale Beestack。本文选用了 802.15.4 MAC 协议包和 CodeWarrior IDE

开发环境进行开发调试。下面仅介绍网络协调器的软件设计部分。

网络协调器工作流程如图 3 所示。协调器上电后, 首先分别进行 GPRS 模块 MC35i、MC13213 内的 ZigBee 协议栈及系统模块初始化工作即初始化 IEEE802.15.4 的 MAC 层和 PHY 层, 为下一步应用访问 MAC 层做好准备; 初始化 MC13213 各功能模块, 如 UART 接口, 通过设置波特率, 确定数据传输格式等参数, 做好与 MC35i 通信的准备; 其次进行能量检测, 确定一个合适的工作信道, 选择 PAN 标识符、超帧序号、信标序号等参数, 启动 ZigBee 网络发送超帧, 等待传感器节点的连接请求。当接收到传感器节点的连接请求, 经判断确认后为节点设备分配网络地址, 发出允许连接命令, 从而实现节点和协调器的连接, 便可以接收传感器节点传输的温湿度信息。协调器将接收到的信息通过 GPRS 网络传送至远端监控中心, 数据的发送可分为两步, 即拨号上网和基于 Socket 的网络通信。拨号上网其实质是实现 PPP 连接 (Point to point protocol over ethernet-基于以太网的点对点协议连接), 通过 PPP 协议协商, 得到系统本地 IP, GPRS 登录网络成功, 系统通过加载数据传输协议 (TCP、UDP) 实现与监控中心计算机的 Socket 连接<sup>[9]</sup>。

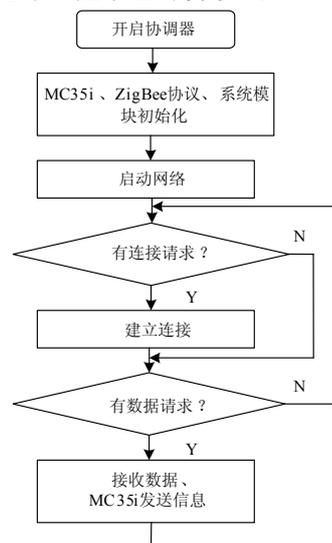


图 3 协调器流程图

Fig.3 Coordinator flow chart

### 2.3.2 上位端软件

远程监控中心系统的软件架构采用基于面向 TCP/IP 协议 Socket 通信机制的 C/S 结构, 采用 VC++ 开发工具设计, 具有功能强大、灵活高效等优点。为查询数据方便, 使用 Access 存储有关数据。整个监控中心系统的软件设计采用模块结构, 便于软件

开发、升级和扩展。它由智能诊断系统、数据库管理、通信模块、人机界面 4 个模块组成，其中智能诊断系统和数据库为核心模块。智能诊断系统根据接收到的高压开关柜实时温湿度数据，与数据库中的历史数据进行横向分析比较，通过外插的方法可对温度发展趋势做出预测，为预警和报警提供参考；通过对开关柜内的温度场的分析，可以判断出温度异常点，进而做出对母线接头、刀闸开关等重要部件运行状态的诊断，在上述两方面的基础上，智能诊断系统对可能发生的故障根据设定的阈值做出预警和报警。数据库管理模块实现对采集的数据存储管理，为智能诊断及人机界面的输出提供基础数据。通信模块通过 RS-232 接口对 GPRS 模块 MC35i 实行控制，执行相关指令、实现数据收发。人机界面提供一个图形化的操作界面，可显示、输出各种状态曲线及数据报表。

### 3 系统低功耗设计

由于高压开关柜内特殊的运行环境，传感器节点采取电池供电，可最大限度地减少两者间的相互影响和彼此间的破坏。因此应采取一定的低功耗措施，来尽可能延长电池的使用寿命。Freescale 公司的 ZigBee 解决方案从硬件和软件上保证 ZigBee 终端节点具有良好的低功耗特性。在总线频率为 8 MHz 时，MC13213 的 MCU 模块平均工作电流为 6.5 mA，射频模块最大工作电流为 42 mA，SHT77 的工作电流为 0.55 mA，完成一次温湿度测量需要约 320 ms；射频模块在 Hibernate 状态的电流为 1 μA，MCU 模块在 STOP2 状态的最大典型电流为 5.5 μA。由于对温湿度监测是连续进行的，监测数据不会突变，兼顾测量的实时性和节点低功耗状态的需求，系统每隔 5 min 采集一次温湿度数据。这时取时标序号为 14，对应的信标周期为 251.658 24 s，超帧序号取 0，对应的活动时间为 15.36 ms，每台 ZigBee 设备仅使用其中的一个时隙，时间为 15.36 ms/16=0.96 ms，占空比约为 0.000 003 815。照此核算，在一个信标周期里消耗的电能估算如下：

$$E_{\text{温度测量}} = (0.55+6.5) \text{ mA} \times (0.32/3600) \text{ h} = 0.000 627 \text{ mAh}$$

$$E_{\text{工作}} = (6.5+42) \text{ mA} \times (0.96 \times 0.001/3600) \text{ h} = 0.000 012 9 \text{ mAh}$$

$$E_{\text{睡眠}} = (1+5.5) \mu\text{A} \times 0.001 \times (251.33824/3600) \text{ h} = 0.000 454 \text{ mAh}$$

一天共有  $24 \times 3600 / 251.65824 \approx 344$  个信标周期，共耗电  $(0.000627+0.0000129+0.000454) \text{ mAh} \times 344 \approx 0.376 \text{ mAh}$ ，一只 900 mAh 的电池可使用  $900/0.376$

$\approx 2393 \text{ 天} \approx 6.56 \text{ 年}$ 。当然上述计算只是理论上的，考虑到漏电、信道访问时冲突引起的数据重发等因素，实际使用时间可能会短一些，但也在可接受的范围之内<sup>[10]</sup>。

### 4 结束语

随着被喻为“第四次工业革命”的智能电网建设在全世界迅速推开，其终将实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标。对广泛运用的电力设备高压开关柜的温湿度进行实时动态监测管理，保证其安全可靠的运行，不仅仅是避免事故，减少经济损失的需要，更是智能电网建设中重要环节。ZigBee 作为一种新兴的无线通信手段，应用在温湿度监测系统中，能准确、实时地监测高压开关柜内关键点位数据变化，从而有效地预防重大事故的发生。基于 ZigBee 和 GPRS 的高压开关柜无线温湿度监测系统具有工作稳定可靠、体积小、安装方便、尤其是传感器节点功耗极低，电池工作时间超长等优点，具有很强的工程使用价值，值得进一步推广。

### 参考文献

- [1] 钱祥忠. 高压开关柜内接头温度在线监测系统的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2007 (2): 73-75.  
QIAN Xiang-zhong. Design of on-line monitoring system of temperature for contact inside of the high voltage switchgear [J]. Instrument Technique and Sensor, 2007 (2): 73-75.
- [2] 巩宪锋, 衣红钢, 王长松, 等. 高压开关柜隔离触头温度监测研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26 (1): 155-158.  
GONG Xian-feng, YI Hong-gang, WANG Chang-song, et al. Research on temperature monitoring of isolators in HV switchgear [J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26 (1): 155-158.
- [3] 李文仲, 段朝玉. ZigBee2007/PRO协议栈实验与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.  
LI Wen-zhong, DUAN Chao-yu. ZigBee2007/PRO protocol stack experiment and practice[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2009.
- [4] 刘奇, 尤一鸣. 组建SMAC协议构架的ZigBee星形网络[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2008 (11): 8-10.  
LIU Qi, YOU Yi-ming. Setting up the ZigBee star network of SMAC protocol framework[J]. Microcontrollers and Embedded Systems, 2008 (11): 8-10.
- [5] 郭宗莲. 基于GPRS无线通信的配变监测系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (23): 69-75.  
GUO Zong-lian. Design of distribution transformer monitoring system based on the GPRS wireless communication[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (23): 69-75.

(下转第 211 页 continued on page 211)

表1 BPNN法和改良三比值法实验结果对比

Tab.1 Experimental result of BPNN method and refined three-ratio method

样本序号	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>4</sub>	BPNN 输出代码	改良三比值代码	实际故障类型
1	0.0000	0.0000	0.0003	0.9996	0001 (高温过热)	022 (高温过热)	高温过热
2	0.0000	0.0001	0.0000	1.0000	0001 (高温过热)	022 (高温过热)	高温过热
3	0.0000	0.0000	0.0001	0.9997	0001 (高温过热)	022 (高温过热)	高温过热
4	0.0002	0.0000	1.0000	0.0000	0010 (中低温过热)	021 (低温过热)	中低温过热
5	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1000 (低能放电)	210 (低能放电)	低能放电
6	0.0000	1.0000	0.0000	0.0004	0100 (高能放电)	102 (电弧放电)	高能放电
7	0.0001	0.9999	0.0000	0.0001	0100 (高能放电)	102 (电弧放电)	高能放电
8	1.0000	0.0000	0.0001	0.0000	1000 (低能放电)	011 (低温过热)	低能放电
9	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0100 (高能放电)	102 (电弧放电)	高能放电
10	0.0022	0.0001	0.9993	0.0000	0010 (中低温过热)	000 (?)	低温过热

## 参考文献

- [1] 赵翔, 李著信, 萧德云. 故障诊断技术的研究现状与发展趋势[J]. 机床与液压, 2002 (4): 3-6.
- [2] PATI Y C, KRISHNAPRASAD P S. Analysis and synthesis of feed forward and neural networks using discrete affine wavelet[J]. IEEE Trans on Neural Networks, 1993, 4 (1): 73-75.
- [3] 徐玉珍. 基于模糊神经网络的变压器故障智能诊断系统[D]. 福州: 福州大学, 2000.
- [4] 孙才新, 陈伟根, 李俭, 等. 电气设备油中气体在线监测与故障诊断技术[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [5] ZHANG Q, BENVENISTE A. Wavelet networks[J]. IEEE Trans on Neural Networks, 1992, 3 (6): 889-898.
- [6] SU Q, MI C, LAI L L, et al. A fuzzy dissolved gas analysis method for the diagnosis of multiple incipient faults in a transformer[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15 (2): 593-598.
- [7] 钱政, 高文胜, 尚勇, 等. 用可靠性数据分析及 BP 网络诊断变压器故障[J]. 高电压技术, 1999, 25 (1):

- 13-15.
- [8] ZHANG Ge-xiang, JIN Wei-dong, HU Lai-zhao. Application of generalized adaptive wavelet neural network based on resemblance coefficient to signal recognition[C]. //Proceedings of 2004 IEEE International Symposium on Intelligent Control. Taipei(China), Piscataway(USA): 2004: 443-447.
- [9] Ze Zhao, Li Cui, EasiMed. A remote health care solution[C]. // Proceeding of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference. Shanghai(China): 2005: 2145-2148.

收稿日期: 2010-01-29; 修回日期: 2010-05-11

作者简介:

熊树(1980-), 男, 工学硕士, 讲师, 主要从事计算机控制、电力电子与电力传动等方面的研究; E-mail: xiongshuok@163.com

俞阿龙(1963-), 男, 工学博士, 教授, 主要从事测量仪器及仪表等领域的研究。

(上接第 206 页 continued from page 206)

- [6] 李文. 基于 ZigBee 和 GPRS 的远程监控系统设计[J]. 低压电器, 2009 (12): 37-39.  
LI Wen. Design of remote monitoring and control system based on ZigBee and GPRS [J]. Low Voltage Apparatus, 2009 (12): 37-39.
- [7] MC1321x datasheet [EB/OL]. [http://www.freescale.com/files/rf\\_if/doc/data\\_sheet/MC1321x.pdf?pspll=1](http://www.freescale.com/files/rf_if/doc/data_sheet/MC1321x.pdf?pspll=1)
- [8] 曲广强, 李丹, 常国权. GPRS 无线通信模块 MC351 及其外围电路设计 [J]. 东北电力大学学报, 2006 (4): 79-82.  
QU Guang-qiang, LI Dan, CHANG Guo-quan. GPRS module MC351 and its peripheral circuit design [J]. Journal of Northeast Dianli University, 2006 (4): 79-82.
- [9] 韩华峰, 杜克明, 孙忠富, 等. 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 (7): 158-163.  
HAN Hua-feng, DU Ke-ming, SUN Zhong-fu, et al. Design and application of ZigBee based

telemonitoring system for greenhouse environment data acquisition [J]. Transactions of the CSAE, 2009 (7): 158-163.

- [10] 吕治安. ZigBee 网络原理与应用开发 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.  
Lü Zhi-an. ZigBee network principle and application development [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2008.

收稿日期: 2010-02-11

作者简介:

杨增汪(1972-), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为嵌入式系统、计算机仿真技术应用开发; E-mail: yangzw72@126.com

王宜怀(1962-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为嵌入式系统应用;

戴新宇(1965-), 男, 学士, 高级实验师, 主要从事电子电器设备维护与开发工作。