

基于 ZigBee 的变电站监测报警系统

梁湖辉¹, 张峰², 常冲³, 赵涛²

(1. 福建电力职业技术学院, 福建 泉州 362000; 2. 东北电力大学, 吉林 吉林 132012; 3. 绍兴电力局, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 针对目前变电站监控系统的缺点和不足, 设计了基于 ZigBee 无线技术的变电站监测报警系统。系统采用 TI 公司的 CC2430 作为 ZigBee 模块, 设计了 ZigBee 网络协调器和 ZigBee 监测终端, 并以 GPRS 作为远传技术, 真正实现了变电站监控系统无线化。本系统可以大量节约成本, 减小施工复杂度, 具有广阔的应用前景。

关键词: 变电站; ZigBee; GPRS; 无线传感器网络; 监控

ZigBee-based substation monitoring and alarming system

LIANG Hu-hui¹, ZHANG Feng², CHANG Chong³, ZHAO Tao²

(1. Fujian Electric Vocational and Technical College, Quanzhou 362000, China; 2. Northeast Dianli University, Jilin 132012, China; 3. Shaoxing Electric Power Bureau, Shaoxing 312000, China)

Abstract: According to the deficiencies of substation monitoring system at present, this paper designs a kind of substation monitoring and alarming system based on ZigBee wireless technology. The system utilizes CC2430 produced by TI company as the ZigBee module, and designs the ZigBee coordinator and ZigBee monitoring terminal nodes. The system uses GPRS for remote transmission, realizes wireless substation monitoring system. The system saves cost and reduces the complexity of construction substantially, and thus has broad application prospects.

Key words: substation; ZigBee; GPRS; wireless sensor networks; monitoring

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)12-0121-04

0 引言

变电站综合自动化系统是以计算机、电子、通信技术为基础的生产过程控制与调度自动化系统^[1]。其主要功能可以分为三类:

1) 监视: 采集模拟量和开关量, 判断电网运行的实时状态;

2) 控制: 参数调节, 开关控制, 必要时可以自动控制断路器等配电设备;

3) 保护: 通过采集参数和报警信息自动识别电网系统的故障点并进行故障隔离。

变电站综合自动化系统有信息完整、效率高等特点, 在正确掌握系统运行状态、加快决策、快速诊断故障状态等方面具有很大优势, 现已经成为变电站运行中不可缺少的工具, 在提高电力运行的可靠性、安全性与经济效益等方面, 有着不可替代的作用。但是, 现有的变电站综合自动化系统普遍以有线方式进行通信。就其底层控制网络而言, 基本采用现场总线方式(如 RS485)进行采集数据、现

场控制等^[2]。远程通信方式有光纤、电力载波、有线电视、公网等方式。然而, 变电站设备数量庞大, 结构复杂, 这就给线路铺设, 设备检修等工作带来很大不便, 建设成本和工程量居高不下。无线传感器网络的出现可以很好地解决有线网络存在的问题, 无线传感器网络具有很大的灵活性, 只需在监测点合理放置无线传感器节点即可监测运行状态, 省去了布线的环节, 可以大量节约成本和精力^[3]。可知, 无线传感器网络将会给包括变电站综合自动化系统在内的各种监控系统带来极大便利。本文正是将 ZigBee 这种新兴的无线传感器网络技术与已成熟的 GPRS 技术相结合设计了变电站监控系统, 用于变电站监测、控制与故障报警。

1 ZigBee 技术介绍

ZigBee 是一种新兴的短距离、低速率无线网络技术。它是一种介于无线射频识别和蓝牙之间的技术。这个名字源自于蜜蜂群藉由跳 ZigZag 形状的舞蹈来通知其他蜜蜂有关花粉位置等资讯, 以达到彼

此沟通息的目的，故以此作为新一代无线通讯技术的命名。ZigBee 有自己的无线电标准，在数千个微小的传感器之间相互协调实现通信，这些传感器只需要很少的功耗，能以组成网状网络的方式通过无线电波将数据从一个传感器传到另一个传感器。所以它们的通信效率非常高。最后，这些数据就可以进入计算机用于分析或者被另外一种无线技术如 GPRS、CDMA、WiMax 收集。在标准规范制订方面，由 IEEE802.15.4 小组负责制订媒体存取控制层（MAC）与物理层（PHY）规范，ZigBee 联盟负责制订网络层（NWL）应用层（APL）软体标准^[4]。ZigBee 协议栈结构见图 1。



图 1 ZigBee 协议栈结构

Fig.1 Structure of ZigBee protocol stack

ZigBee 支持多种网络拓扑结构，最简单的一种是星型网，只有一个网络协调器，连接多个从设备。为了降低系统成本，IEEE 定义了两种物理设备，完全功能设备（FFD）和部分功能设备（RFD）。FFD 支持各种拓扑结构，可以作为网络协调器，可以与任何其它设备对话，RFD 不能作为网络协调器，只能与网络协调器对话，但实现非常简单。在星型网中只有网络协调器是 FFD，其它均为 RFD。另一种网络结构是互联的星型网，可以扩展单个星型网或互联多个星型网络。第三种类型是网状网，网状网的覆盖范围很大，有 65 000 个节点。网络中的每一个 FFD 也可作为路由器，路由协议来优化最短和最可靠的路径，同时路由协议还可根据情况动态变化。

ZigBee 技术特点：

- 1) 传输速率为 250 kbps，适用于报文吞吐量较小的通信应用场合，完全符合变电站综合自动化系统传输速率要求。
- 2) 功耗低，在低功耗待机模式下，两节普通 5 号干电池可使用 6 个月到 2 年，是 ZigBee 的独特优势。
- 3) 网络容量大，每个 ZigBee 网络最多可支持 65 000 个节点，可以满足变电站设备众多、结构复杂、监测信息数量庞大等特点。
- 4) 安全性高，加密算法采用 AES-128，提供了

数据完整性检查和鉴权功能。

5) ZigBee 技术针对环境如汽车、手机、发电机配电房、变压器等对于无线通信的干扰有着很好的防范技术^[5]。

综合以上特点可以得出结论，ZigBee 技术适合应用于变电站综合自动化系统，并将给变电站综合自动化系统带来革命性的变革。

2 系统构成及工作原理

2.1 系统构成

系统主要由数据终端节点，ZigBee 协调器模块，GPRS 模块和监控中心组成，如图 2。

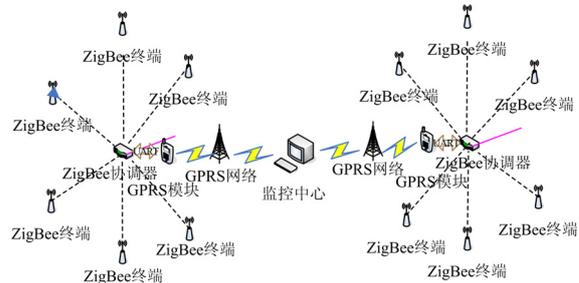


图 2 系统框图

Fig.2 Diagram of system

根据电力系统的具体情况，本文中数据终端节点按功能分为三类：

- 1) 参数采集：主要完成变电站运行参数采集，（比如，监测变压器的电压、电流、放电幅值、相位等参数）通过采集参数来评估变电站运行状态。
- 2) 开关控制：主要通过操作断路器、闭锁装置等实现变电站保护与控制。
- 3) 监测报警：当电压、电流、母线温度、环境温度、烟雾等参数超过临界值时通过 ZigBee 网络向监控中心报警。

2.2 系统网络工作原理

ZigBee 协调器节点必须是全功能设备（FFD）。在工作时，它通过扫描一个空通道来创建一个新的网络，一旦找到了空的信道，ZigBee 协调器会选择 一个 PAN ID 并开始侦听此信道。一旦合适的信道和 PAN ID 确定后，网络管理实体将选择 0x0000 作为十六位短地址，并告知 MAC 层。除此之外，ZigBee 协调器还具有维护一个目前连接设备的列表，支持独立扫描程序来确保以前的连接设备能够重新加入网络等功能。数据终端节点上电后试图寻找一个临近的 ZigBee 协调器节点，它会扫描所有的可用通道来找到 ZigBee 协调器节点，并申请加入网络。成功后终端节点会使用看门狗时钟、停止 RF 接收并休眠控制器。当有控制信号或数据需传输时，

终端节点会使用 PORTB 中断来唤醒自己, 接受 ZigBee 协调器命令或向 ZigBee 协调器发出信息^[6]。

ZigBee 协调器收集到的数据通过 GPRS 模块传到远端的监控中心。监控中心的控制信号通过 GPRS 模块发到协调器, 从而实现对数据终端节点的控制。

监控中心把 GPRS 传来的信息进行分类, 然后存储至数据库中。用户界面上就会显示汇节点当前的最新信息, 并且给予提示, 使管理人员能在第一时间得到传感器的信息。管理人员还可以通过监控中心向监控网络发出命令, 以完成相关节点上传数据, 开关量的开闭等操作。

3 系统硬件设计

目前, 随着 ZigBee 标准日益的发展和完善, 世界各大知名芯片提供商纷纷推出 ZigBee 芯片和各自的 ZigBee 协议栈。本文设计的无线传感器网络采用 TI 公司的 CC2430 芯片以及 Figure 8 Wireless ZigBee Protocol Stack 协议栈来实现的。CC2430 是首款符合 ZigBee 标准的 2.4 GHz 系统单芯片 (System On Chip, SOC), 芯片延用了以往 CC2420 的架构, 在单个芯片上整合了 ZigBee 射频 (RF) 收发器、内存和微控制器, 其增强的 8051MCU 是标准 8051 核性能的 8 倍。在休眠模式时, 整个芯片的流耗小于 $0.9 \mu\text{A}$, 集成了定时器等大量的片上资源。而且 CC2430 芯片的价格控制在 5 美元左右, 节约了使用成本^[7]。

ZigBee 协调器芯片采用 CC2430, 根据需要设计电路如图 3。协调器是一个网络的管理者, 软件复杂、数据流量大, 因此, 在原有基础上对存储器进行了扩展, 存储器与 CC2430 通过 SPI 连接。在协调器上加设 1602LCD 字符液晶和键盘用于查看现场数据。ZigBee 协调器电源由市电经过 AC-DC 转换后提供。

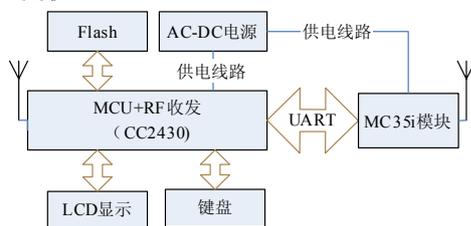


图3 ZigBee网络协调器

Fig.3 Diagram of ZigBee coordinator

GPRS 模块采用西门子公司的 MC35i, MC35i 是新一代 GSM / GPRS 双模模块, 它采用紧凑型设计, 为用户提供了简单、内嵌式的无线 GPRS 连接^[8]。MC35i 的 GPRS 永久在线功能提供了最快的数传速

率, 体积小, 功耗低, 能提供数据、语音、短信、传真功能, 可广泛用于遥感测量记录传输、远程信息处理、电话等领域。GPRS 模块通过 UART 与 ZigBee 协调器连接, 二者组成本系统的网关如图 3, 负责 ZigBee 网络与 GPRS 网络之间的通信。

数据终端节点均采用 CC2430 作为芯片, 根据物理信号以及开关量的不同特点, 在外围电路设计上有所区别。由于篇幅原因, 本文对电压监测终端作重点说明, 对其它终端节点不再一一介绍。电压变送器模块采用 V332A 电量隔离传感器, 该传感器采用特制隔离模块, 对电网和电路中的交流电压进行实时测量, 其等级精度为 0.2 级, 线性范围为 $0 \sim 120\%$ 额定输入。如图 4 所示, V332A 采集并处理过的电压数据经过信号处理器转换为协调器可以识别的数字信号通过 RS232 串口传输至 CC2430。CC2430 对采集的数据和设定好的临界值比较, 当采集值超出或低于临界值时, CC2430 将点亮报警灯, 启动蜂鸣器, 并向 ZigBee 协调器发出报警信号。

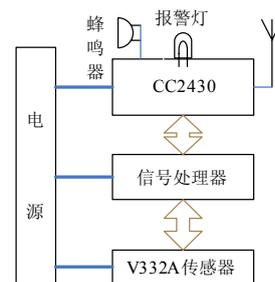


图4 电压监测终端

Fig.4 Diagram of voltage monitor terminal

4 系统软件设计

4.1 ZigBee 网络程序设计

建立 ZigBee 网络是本系统的首要环节, 网络建立流程如图 5。

ZigBee 网络协调器首先进行部分初始化工作, 然后, 调用 `aplFormNetwork()` 来建立网络。协调器通过请求 MAC 层执行能量检测扫描选择一个空信道, 然后选择一个随机的 PAN ID 并确保该 PAN ID 不会与现有网络冲突, 然后, 开始监听此信道^[9]。同时协调器还有一个目前连接设备的列表, 以支持其他设备加入网络。ZigBee 终端节点也通过 `aplJoinNetwork()` 加入 ZigBee 网络。终端节点上电后扫描信道, 找到协调器并申请加入网络, 同时将自己的 64 位物理地址发送给协调器。ZigBee 协调器根据终端节点加入网络的先后顺序给终端节点分配 16 位短地址, 至此 RFD 节点加入网络成功。

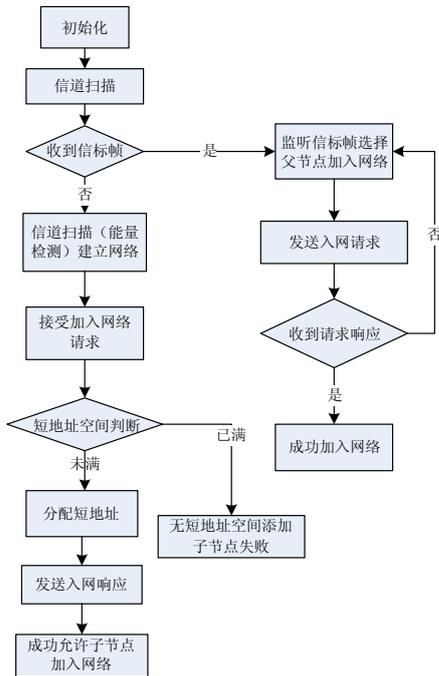


图 5 ZigBee 组网程序流程图

Fig.5 Program flow chart of ZigBee networking

4.2 ZigBee 与 GPRS 数据传输程序设计

ZigBee 协议数据通过 UART 传送至 GPRS 无线模块, UART 在两个模块间起通信作用, 传输的过程是透明的, ZigBee 数据被 TCP/IP 协议直接封装起来传送至监控中心。反之亦是如此。程序流程如图 6。

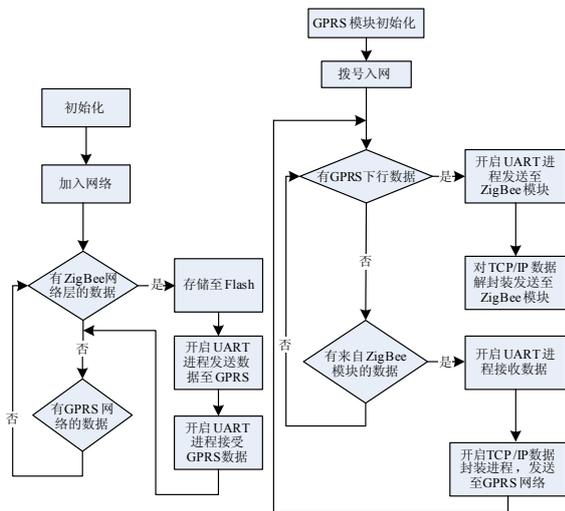


图 6 系统网关程序流程图

Fig.6 Program flow chart of gateway

5 结论

本文设计的 ZigBee 和 GPRS 技术相结合的变

电站监控系统具有通信可靠性高、结构简单、成本低廉等特点, 经吉林市电业局蛟河变电所现场试验完全达到预期指标。相信在不久的将来, 以 ZigBee 技术为代表的无线传感器网络将携其巨大优势全面改变电力自动化系统的面貌, 为电力系统的安全运行提供更可靠的保证。

参考文献

- [1] 刘国民, 游大海, 高鹏宇, 等. 新型开放式变电站自动化系统研究[J]. 电气应用, 2006, 25 (10): 1-3. LIU Guo-min, YOU Da-hai, GAO Peng-yu, et al. New style of substation automation system study[J]. Electrical Applications, 2006, 25 (10): 1-3.
- [2] 黄绪勇, 刘沛, 苗世洪, 等. 无线传感自组网在电力监控中的应用动态[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(7): 99-103. HUANG Xu-yong, LIU Pei, MIAO Shi-hong, et al. Application of wireless sensor networks in power monitoring system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (7): 99-103.
- [3] 干克江, 徐平平. 无线传感网在电力系统中的应用. 电力系统通信, 2007, 28 (1): 11-14. GAN Ke-jiang, XU Ping-ping. Application and implement of wireless sensor networks in electric power system[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2007, 28 (1): 11-14.
- [4] Microchip Technology Inc. MRF24J40 data sheet: IEEE 802.15.4TM2.4 GHz RF Transceiver [EB/OL]. [2008-01-25]. <http://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39776a.pdf>.
- [5] ZigBee Alliance. ZigBee specification[EB/OL]. [2008-02-03].
- [6] IEEE Std 802.15.4 wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low rate wireless personal area networks (LR-WPAN) [S].
- [7] Chipcom Inc CC 2430 DataSheet[Z]. 2006.
- [8] 3GPP TS23.060: 3rd generation partnership project; technical specification group services and system aspects; general packet radio service (GPRS): service description; stage2 (release1999) [S].
- [9] Sony Ericsson: GR64GSM/GPRS modem integrator manual[Z]. 2006.

收稿日期: 2009-08-04; 修回日期: 2009-08-25

作者简介:

梁湖辉 (1965-), 男, 副教授, 从事自动控制、电子技术应用研究; E-mail: lianghuhui@sohu.com

张峰 (1984-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统远程监测与控制研究;

常冲 (1980-), 男, 助理工程师, 从事电力通信调度工作。