

基于 ZigBee Pro 技术的配电网线路无线网络化监控系统

郭谋发¹, 杨振中², 杨耿杰¹, 黄世远¹

(1. 福州大学 电气工程与自动化学院, 福建 福州 350108;

2. 福建省石狮电力有限责任公司, 福建 泉州 362700)

摘要: 针对馈线自动化系统现场应用中存在故障定位区段不细、故障指示器信息无法自动远程传输等问题, 提出一种 3 层分布式全无线配电网线路监控系统方案。系统第 1 层为 470 MHz 短距离无线通信网络, 负责配电网线路状态变化信息的采集; 第 2 层为 ZigBee Pro 无线传感器网络, 负责配电网线路状态变化信息及设置参数的路由; 第 3 层为通用无线分组业务(GPRS)通信网络, 负责数据的远距离可靠传输。分析了设计和实现中的关键技术, 如故障指示器通信模块供电、无线传感器网络参数配置、多对一路由、网络安全及 GPRS 可靠通信等。该系统具有可靠性高、可扩展性强、运行费用低等特点, 尤其适合电力公司 10 kV 配电网线路的在线监控。

关键词: 短距离无线通信; ZigBee Pro 协议; 无线传感器网络; 通用无线分组业务; 配电网线路监控

中图分类号: TM 726; TM 734; TP 393.17 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-6047(2010)09-0105-06

10 kV 城市及农村配电网架空线路和电缆故障较多, 有时需通过拉分段开关并经变电所试送电确定故障所在区段, 对线路及设备运行的安全性极为不利, 尤其是接地故障, 由于其隐蔽性, 有时很难查找。利用基于馈线终端单元(FTU)及通信网络的配电网馈线自动化系统能实现故障的自动定位、故障隔离及恢复对非故障区域供电等功能^[1-3], 但是所定位的故障区域位于分段开关之间, 距离较远, 寻找故障点仍较困难。各供电公司在配电网线路上安装故障指示器^[4]来缩小故障查找范围, 提高了故障查找效率及供电可靠性。利用传统的故障指示器实现线路故障定位存在以下缺陷: 故障指示器不能实现故障信息自动远程传输功能, 一旦线路出现故障, 无法进行故障的自动定位, 仍需要人工沿线查找故障点。

若能利用简单、成本低廉的通信手段将故障指示器所采集的故障信息通过其附近的 FTU 上传到配电网自动化系统的主站, 将可实现故障区段的精确定位, 从而进一步提高配电网馈线自动化水平。本文提出一种结合故障指示器及 FTU 进行配电网线路在线监控的新方法, 并重点分析了该方法的分层无线通信方案及其实现。

1 系统结构

系统采用 3 层无线通信网络, 由故障指示器、故障采集器、FTU(兼作故障采集器和集中器)、现场手持设备、通信网络及主站等构成, 如图 1 所示。综合考虑通信距离, 多种无线通信共处, 故障采集器

间信息传输网络需具有自动路由、自动组网及失效自恢复等功能, 设计无线通信网络时采用了 3 种无线通信频段。故障指示器及现场手持设备与故障采集器间采用无路由协议的 470 MHz 短距离无线通信; 故障采集器间及故障采集器与 FTU 间采用基于 ZigBee Pro 协议栈的无线传感器网络^[5-7]通信, 为 2.4 GHz Mesh 网络; FTU 与主站间采用 GPRS 网络通信^[8]。1 个故障采集器最多可挂接 6 个故障指示器, 6 个故障指示器分成 2 组分别安装在线路的主干和分支的 A、B、C 三相上。安装于电线杆上的故障采集器与故障指示器间的距离不大于 50 m。采用 5 dBi 全向天线, 架设在 5 m 高度, 故障采集器间或故障采集器与 FTU 间的户外直线通信距离可达到 500 m。一般水泥电线杆的高度约为 10 m, 考虑安全距离等, 天线的架设高度要适合实际情况; 10 kV 配电网线路长度一般不超过 10 km, 电线杆间距小于 100 m。故障采集器采用 ZigBee Pro 网络协议进行通信, 每个故障采集器均可作为通信的路由器, 最多可有 30 级路由, 1 条线路分段开关处的每个 FTU 均作为 ZigBee Pro 无线传感器网络的协调器节点, 与其两侧附近的故障采集器路由节点构成独立的

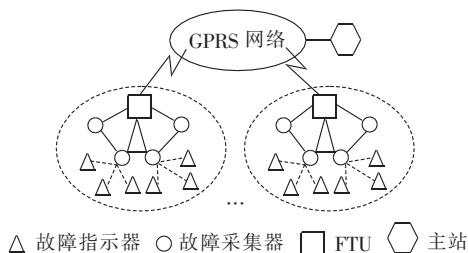


图 1 系统结构图

Fig.1 System structure

Mesh 网络,这样 1 条线路有多个 Mesh 网络。通信距离完全满足要求。

2 硬件设计

2.1 故障指示器无线通信接口模块

故障指示器可检测配电线路的上电、下电、短路、接地等 4 种状态信息。传统的故障指示器一般采用翻牌或指示灯闪烁方式提供线路状态信息,也有利用光纤将配电线路状态信息传输到集中的显示处理装置。因此,需在传统的故障指示器上加装 1 个无线通信接口模块,使其满足本系统设计的要求。故障指示器长期安装在 10 kV 线路上,且对无线通信接口模块体积大小有严格的限制,其无线通信接口模块的工作电源采用 6 V 高温锂电池,电池平时不对无线通信接口模块供电,无线通信接口模块的 CPU 及无线通信接口芯片等均不工作,线路状态发生变化后故障指示器状态输出引脚电平将发生变化,用引脚的电平变化控制电源芯片 MIC29302 给无线通信接口模块供电,该模块的 CPU 得电开始工作,并输出信号以控制电源芯片 MIC29302 输出,CPU 一旦将采集到的线路状态变化信息发送给对应的故障采集器后,就会清除故障指示器的状态输出然后控制 MIC29302 停止输出,CPU 及无线通信接口芯片等停止工作,实现省电工作功能。故障指示器无线通信接口模块采用 8 位单片机 PIC16F690^[9]作为 CPU、nRF905^[10]作为 470 MHz 无线通信接口芯片,考虑故障指示器整体安装问题,无线通信接口模块采用环状印刷电路板天线。无线通信接口模块结构如图 2 所示,虚线框内的无线通信接口模块与故障指示器间连接信号采用光电隔离。

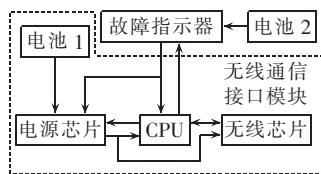


图 2 无线通信接口模块硬件结构图

Fig.2 Block diagram of wireless communication module

2.2 故障采集器硬件

故障采集器设计 2 个无线通信接口,一个 470 MHz 接口与故障指示器或现场手持设备通信,另外一个 2.4 GHz 接口用于构建 ZigBee Pro 无线传感器网络,将故障采集器的数据路由到 FTU。现场手持设备用于对故障采集器及 FTU 进行参数设置及查询,现成的现场手持设备一般仅具有 UART 接口,需要设计一个无线通信接口模块,用 CPU 实现 470 MHz 无线通信芯片的 SPI 接口与 UART 接口间的转换。故障采集器 470 MHz 无线通信接口设计方案同故障指示器,但由于故障采集器要安装在金属箱体内部,天线采用可外引的鞭状天线。2.4 GHz 无线通信接口设计方案有内置 2.4 GHz 通信接口的 CPU,CPU 加外置 2.4 GHz 通信接口芯片,CPU 加外置 2.4 GHz 无线通信接口模块 3 种。3 种方案均可采用 ZigBee Pro

协议栈构建 Mesh 网。前 2 种方案的无线通信硬件设计及通信协议栈移植等研发工作量大,需要具有高频设计方面的经验,研发周期长。采用方案 3,CPU 通过 UART 接口与 ZigBee 模块交换数据,无线传感器网络的组建、数据路由、网络自愈等功能由带有 CPU 的 ZigBee 模块实现。这样故障采集器的软、硬件设计较为简单,采用 16 位单片机 PIC24FJ64GA002^[11]为 CPU,扩展 4 M 串行 Flash 数据存储;采用 XBee PRO ZB 模块^[12]为 2.4 GHz 无线通信接口。该模块具有基于 Mesh 网的固件 XB24-ZB,支持 ZigBee Pro 协议栈,体积小,功能强大,性能稳定,价格适中。XBee PRO ZB 模块功耗仅为 60 mW(+18 dBm),传输距离可达 500 m。模块通过 UART 接口与故障采集器 CPU 交换数据。设计用到模块的数据输出、数据输入、状态指示及电源引脚。故障采集器的 XBee PRO ZB 模块是作为 ZigBee Pro 无线传感器网络的路由节点,不能休眠,且现场不便安装电压互感器,因此,故障采集器由 12 V 太阳能发电系统供电,故障采集器硬件结构如图 3 所示,图中,RF (Radio Frequency) 为射频。

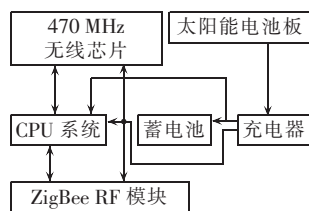


图 3 故障采集器硬件结构图

Fig.3 Block diagram of fault collector

2.3 FTU 硬件

FTU 实现对开关的监控及转发故障采集器的数据等功能,同时具有故障采集器的功能。FTU 由 CPU 系统板及外围接口电路等构成,具有 3 个无线通信接口,如图 4 所示。目前,配电网架空馈线分段开关常采用户外固封式真空断路器,装设有三相电流互感器,但未配置电压互感器。考虑到安装的方便及馈线停电后断路器直流 24 V 操作电源和 FTU 工作电源的获取等问题,FTU 采用 24 V 太阳能发电系统供电,发电系统由太阳能电池组件、太阳能控制器、蓄电池组及隔离 DC/DC 变换器组成。CPU 系统板是一个 ARM7 嵌入式模块,由 LPC2220 CPU 扩展程序运行存储器、程序存储器、数据存储器、时钟芯片及复位电源管理芯片等构成。CPU 系统板扩展带同步串行接口的 6 路 16 位模数转换芯片 AD73360^[13],用于三相电流及蓄电池电压的检测。LPC2220 CPU 具有 2 个串行异步通信接口,一个通过 XBee PRO ZB 模块实现与故障采集器组网,同时通过 SP3232 芯片实现 RS-232 电平转换与软件调试复用,另一个通过 ME3000 模块^①实现与主站的 GPRS 通信。CPU 系统板同时扩展了 3 路继电器型开关量输出及 6 路隔离开关量输入。开关量输出用于开关的分闸、合闸及储能控制;开关量输入用于检测开关状态、现地远方控制切换、开关储能完成情况等。

① 中兴通讯. ME3000 模块 AT 指令手册. 深圳:中兴通讯股份有限公司,2006.

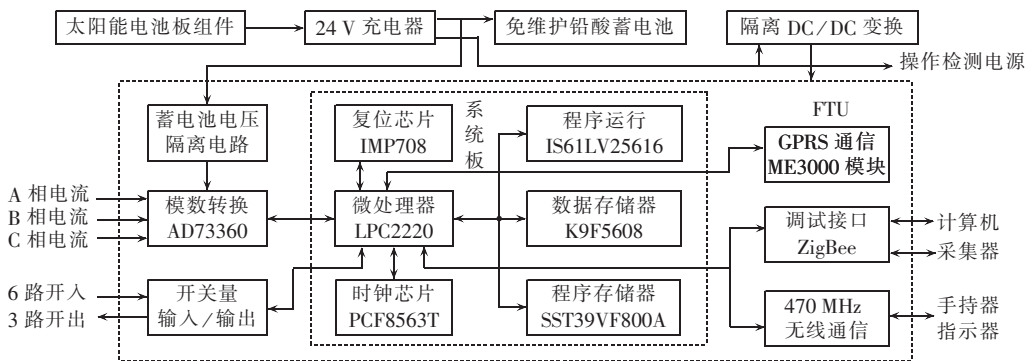


图 4 FTU 硬件结构图

Fig.4 Block diagram of FTU

3 软件设计

配电网正常运行时,系统可监视配电线路的运行方式和负荷。当故障发生后,FTU 将自身检测的故障信息及相关故障采集器发送的故障信息通过 GPRS 网络主动发送到主站,主站软件采用基于动态拓扑分析的故障定位改进矩阵算法可及时准确地确定故障区段,并可通过远方控制开关实现故障区段的隔离及恢复对非故障区域的供电。主站软件设计包含数据采集、数据管理和综合应用等;FTU 软件设计包含采集开关状态、采集线路三相电流及零序电流数据、线路故障判断算法实现、运行参数设置及查询、上传故障指示器的数据信息、上传故障采集器的运行状态信息、接收并执行主站的控制命令、接收并转发主站对故障采集器的设置及查询命令;故障采集器软件设计包含采集故障指示器状态变化信息、运行参数设置及查询、ZigBee Pro 无线传感器网络通信实现、网络故障诊断、线路及采集器状态信息由至 FTU;故障指示器通信接口模块软件设计包含状态变化信息采集并按通信规约传送给故障采集器。下面主要介绍各设备间分层无线数据交换的具体实现方法。

3.1 设备的地址编码

故障指示器地址采用 4 个字节 4 位二进制码 BCD(Binary-Coded Decimal)表示,出厂时按顺序编号,不重复,不可更改;若某故障指示器报废则其用过的编号不再使用。其中“0x00000000”为现场手持设备的地址。故障采集器地址采用 8 个字节 BCD 码表示,直接采用 XBee PRO ZB 模块出厂的唯一 ID 号,不可更改。FTU 的地址编码按照《Q/GDW 130-2005 电力负荷管理系统数据传输规约》^[14]地址域的要求确定。

FTU 存储其包含的故障采集器的地址;故障采集器存储其包含的故障指示器的地址;主站计算机系统存储 FTU、故障采集器及故障指示器的地址;且与图形元件建立对应关系。

3.2 通信协议

故障指示器与故障采集器、故障采集器与 FTU、

现场手持设备与故障采集器或 FTU 间的通信帧格式设计为:帧起始字符(68 H)+功能码(FUN)+数据域长度(L)+数据域(DATA)+结束符(16 H)。470 MHz 无线通信芯片本身具有 CRC 校验功能,故帧格式没有加入校验域。XBee PRO ZB 通信模块提供 AT 指令及应用编程接口(API)2 种通信方式。API 方式可指定任意通信目标节点,具有校验域,且本身具有数据重发机制,可保证数据准确到达目标节点,故采用 API 通信方式。FTU 与主站软件通信遵循国标《Q/GDW 130-2005 电力负荷管理系统数据传输规约》。

3.3 通信软件设计

3.3.1 故障指示器与故障采集器间的通信软件

故障指示器通信接口模块的 CPU 检测到线路状态发生变化后,将数据传送给故障采集器有 2 种方式。第 1 种是主动发送给故障采集器;第 2 种是等待故障采集器发查询命令来取。1 个故障采集器最多可包含 6 个故障指示器,采用第 1 种方式时,若同一时刻有多个故障指示器有状态变化,数据需要传送给同一个故障采集器,可能存在数据冲突问题,虽然 nRF905 芯片具有空间无线通信信号载波检测功能,但仍然要编制软件实现冲突解决算法,故采用第 2 种方式。故障采集器每隔 10s 开始发送新一轮查询命令,该命令包含了故障采集器地址、采集器个域网识别标志 PAN ID(Personal Area Network IDentification)、故障指示器或手持设备的地址,对不同故障指示器或手持设备的查询命令间隔 100 ms。出厂时故障采集器所存储的故障指示器或手持设备的地址都默认为“0x00000000”,故障采集器仅对地址非“0x00000000”的故障指示器进行状态查询。故障采集器发送查询命令后转入接收状态并等待 1 s,若没有收到故障指示器或手持设备回送的数据则转入休眠。故障指示器在线路发生上电、下电、接地、短路 4 种状态后 CPU 开始工作,通信模块处于接收状态,收到故障采集器的状态查询命令后,延时 10 ms 后将该故障指示器地址及线路状态数据发送出去。故障采集器收到故障指示器的线路状态数据后延时 10 ms 对该故

障指示器发应答信息。故障指示器收到故障采集器的应答信号,延时1 s后关闭电源停止工作。若故障指示器CPU开始工作40 s后一直没有接收到故障采集器的状态查询命令,则CPU不再等待也不再发送数据而是立即关闭电源停止工作。

3.3.2 故障采集器与FTU间的通信软件

故障采集器与FTU间距离较远,数据传输需路由,通信采用ZigBee Pro无线传感器网络。ZigBee协议在IEEE802.15.4基础上定义了网络层以支持网络路由功能,该协议具有抗干扰能力强、网络容量大、网络自组织自愈能力强等特点,网络由协调器、路由器和终端设备3种通信节点组成。协调器选择一个PAN ID和信道启动一个网络后也可充当路由器。协调器和路由器允许其他通信节点加入这个网络,能够路由数据;终端设备不能路由数据,在不收发数据时可以休眠。当通信节点加入网络时,加入的通信节点为子节点,允许子节点加入的通信节点为父节点,1个父节点最多有8个子节点。ZigBee联盟推出了ZigBee 1.0、ZigBee 2006及ZigBee Pro 3个版本的协议栈,与前2个协议栈相比,ZigBee Pro在随机地址分配、网络路由、组播、网络安全等方面作了改进。

通过XBee PRO ZB模块配置软件将故障采集器的XBee PRO ZB模块设置为路由器,FTU的XBee PRO ZB模块设置为协调器,系统中没有终端设备。同时利用模块配置软件对XBee PRO ZB模块的通信模式及其他相关参数进行合理设置,故障采集器的CPU将数据通过UART发给参数已正确配置的XBee PRO ZB模块,XBee PRO ZB模块自动按照ZigBee Pro协议建立路由连接,寻找路径,将数据发送到目的地址。参数设置内容包括网络、地址、RF接口、网络安全、串行接口、休眠方式、I/O设置、诊断命令等。下面介绍系统用到的主要参数设置。

a. 扫描信道。网络由协调器负责创建,在组建网络时,协调器要进行通道的能量扫描,找出不同通道的RF活动水平,以避免协调器在高能量通道区组网。一共有16个通道可以设置,XBee PRO ZB模块支持其中的14个。同样,路由器和终端设备在加入网络时,也要进行同样的通道扫描。

b. 扫描PAN ID。路由器或终端节点在加入ZigBee网络前要进行PAN扫描,若PAN ID预先设置,设备将加入指定的PAN ID网络;否则,将加入任何检测到的网络,并继承该网络的PAN ID。一般需设置节点的64位PAN ID,16位PAN ID在其加入网络时自动获得。

c. 目标地址。当故障采集器加入网络时,使用64位地址进行通信。成功加入网络后,网络会为故障采集器分配一个16位的网络地址。这样故障采集器便可使用该地址与网络中的其他故障采集器或FTU进行通信。通信时需要设置目标地址,如果是

广播方式,目标地址应设成“0x0000FFFF”;如果对方是协调器,目标地址应设成“0x00000000”。

d. 串口通信参数。包括波特率、校验方式、流控制等。设置数据通信波特率为19 200 bit/s,帧格式为8位数据位、无奇偶校验位、1位停止位。

e. 数据传输模式。故障采集器与FTU之间进行双向数据传输,数据传输方式采用API模式。与AT模式相比,API模式具有易于管理一个到多个目标节点的数据传输,接收到的数据帧可以指示发送设备地址,支持高级ZigBee地址、高级网络故障诊断和远程参数配置等特点。API数据包中的数据域存放用户要发送的数据,用户可以根据实际需要制定数据域数据的格式。发送方按照API格式发送完整数据包,接收方收到API格式的数据后,会自动滤除附加信息,只将数据域中的数据转发给故障采集器或FTU的CPU,且软件可检测数据是否成功发送到目的节点。

f. 网络安全。ZigBee Pro的网络安全性优于ZigBee 1.0及ZigBee 2006。ZigBee Pro网络采用2个安全钥匙、1个信任中心及128位AES加密等保证数据通信的安全。设置协调器为信任中心,使能安全功能,预设网络安全钥匙和应用链接钥匙,则协调器负责路由器或终端设备加入网络的验证。路由器或终端设备加入网络前要设置其应用链接钥匙与协调器一致。新节点加入网络时将收到协调器发送的由应用链接钥匙加密的网络安全钥匙,解密后可获得网络安全钥匙。具有相同安全钥匙的2个节点才能进行数据交换。信任中心可以改变网络安全钥匙,网络中所有节点的网络安全钥匙将随着一起改变,且帧计数器清零。网络中的节点在通信时会跟踪其附近节点的帧计数器值,若收到的帧计数器值与其跟踪的值不一致则放弃该数据,可有效防止网络重播攻击。另外,一旦网络组建完成,主站可发命令禁止新节点加入。系统通过对网络安全钥匙、帧计数器、是否允许新节点加入等的管理来提高网络通信的安全性。

数据路由方法的选取是故障采集器与FTU间的通信软件设计的关键。ZigBee Pro协议栈包含3种不同的数据路由方法。几种路由方法的比较如表1所示,其中,多对一路由和源节点路由是ZigBee Pro协议栈新增加的数据路由方法。

配电线路发生状态变化时,有多个故障采集器发送数据到FTU。若采用AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector)网状路由则需要大量网络通信开销,网络中的每个故障采集器在发送数据到FTU前都要进行路由路径的探寻,网络将会因路由探寻广播而性能降低或瘫痪。因此,故障采集器间及故障采集器与FTU间通信采用ZigBee Pro协议栈所提供的多对一路由,多对一路由是对AODV网状路由的一种优化。从FTU发出单一的多对一广播传输在

所有故障采集器上建立反向路径,而不要求各个故障采集器进行路由发现,如图 5 所示。

表 1 数据路由方法比较
Tab.1 Comparison of data routing method

路由方法	描述	使用场合
基于距离矢量的按需 AODV 网状路由	在源节点和目的节点之间建立路径路由,可能穿越多个节点。每个节点都知道数据下一个要发送给哪个节点,以最终到达目的地。	在数据不需要被路由到许多不同目的节点的网路中使用。路由表大小有限,每个目的地址都需要一个路由路径。
多对一路由	一个单一的广播传输形成所有设备到发送广播的设备的反向路由。	适用于许多远程设备需要发送数据到一个单一网关或集中设备。
源节点路由	数据包包含从源节点到目的节点数据包需要穿越的完整路径。路由效率高。	超过 40 个远程设备的大型网络。

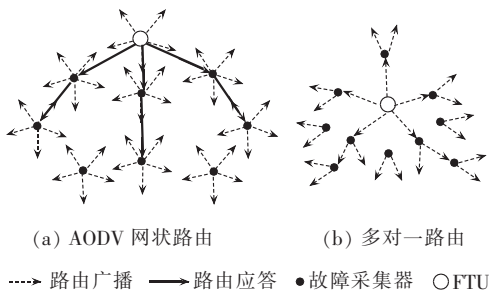


图 5 数据路由方法比较

Fig.5 Comparison of data routing method

FTU 将其地址作为目标探寻地址发送请求路径信息。收到该路由请求的故障采集器通过建立一个反向的多对一路由表条目来建立一条返回 FTU 的路径。故障采集器 XBee PRO ZB 模块的 ZigBee Pro 协议栈利用关于各个相邻采集器的历史连接质量信息选择一个可靠的相邻故障采集器作为反向路径。当一个故障采集器发送数据到 FTU,它先找到一个多对一路由表条目,然后发送数据,故障采集器不需要路由发现。FTU 周期性发送多对一路由请求来升级和刷新网络中的反向路径。

在 ZB 固件中,AR 命令用来使能协调器的多对一广播功能。AR 命令可设置发送多对一广播传输的时间间隔。

3.3.3 FTU 与主站间的通信软件

FTU 与主站距离远,采用基于 TCP/IP 协议的 GPRS 通信网络。ME3000 模块内部已集成 TCP/IP 协议,CPU 只需用 GPRS AT 指令与 ME3000 交换信息,进而实现与主站的数据通信。GPRS AT 指令是 CPU 通过 UART 接口与 GPRS 模块通信的命令集,该命令集封装了 GPRS 模块提供的全部功能,包括普通指令、网络服务指令、控制与报告指令、消息服务指令、GPRS 指令、TCP/IP 指令、短消息指令等。

FTU 对 GPRS 模块的主要操作是建立 TCP 连接、数据收发、上/下电控制、复位等。用到的 GPRS AT 指令不多,但为保证 GPRS 网络通信的可

靠性,还要使用一些报告指令实现对模块状态的监测,如信号强度、SIM 卡状态、网络注册等查询,这些参数是 FTU 操作 GPRS 的依据,也是保证 FTU 的 GPRS 网络可靠通信的关键。如 ME3000 模块的信号强度检测指令,其格式为 AT+CSQ<CR>,返回值是一个类似“CSQ:27,4”的字符串,27 代表信号强度,其取值范围为 0~30,0 为最弱信号。GPRS 模块连接网络前需判断该数值是否大于某个临界值(如 15),若不满足信号强度要求则不予连接网络,并给出信号灯提示。另外,合适的操作节奏也是保证 GPRS 网络通信可靠性的重要因素。如某次网络连接失败时,GPRS 模块应该断电复位,并延时较长时间后再尝试第 2 次连接,较长的延时时间是为了保证 GPRS 模块上电后有足够的时间注册网络、准备好接收指令。

4 结语

对传统的故障指示器加装短距离无线通信模块,将线路运行状态以无线方式发送给故障采集器,故障采集器通过 ZigBee Pro 无线传感器网络将数据路由到 FTU 后经 GPRS 网络传送到主站,构成配电网 3 层无线网络化监控系统。详细分析了各层无线通信的具体实现方法及关键技术。考虑故障发生时存在多个故障采集器同时向 FTU 发送数据的特殊路由需求及网络通信安全,故障采集器与 FTU 间的无线传感器网络采用具有多对一路由及高网络安全性能的 ZigBee Pro 协议。本文所提出的分层无线网络化构架已经在福建某电力公司选定的 10 kV 配电网路上进行了部署,运行稳定。

参考文献:

- [1] 周羽生,周有庆,戴正志. 基于 FTU 的配电网故障区段判断算法[J]. 电力自动化设备,2000,20(4):25-27.
ZHOU Yusheng,ZHOU Youqing,DAI Zhengzhi. Algorithm for fault section judgement in power distribution network based on FTU[J]. Electric Power Automation Equipment,2000,20(4):25-27.
- [2] 徐青山,唐国庆,张欣. 计及容错的配电网故障定位新算法[J]. 电力自动化设备,2005,25(6):31-33.
XU Qingshan,TANG Guoqing,ZHANG Xin. Error-tolerated fault locating algorithm of power distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(6):31-33.
- [3] 刘健,倪建立,杜宇. 配电网故障区段判断和隔离的统一矩阵算法[J]. 电力系统自动化,1999,23(1):31-33.
LIU Jian,NI Jianli,DU Yu. A unified matrix algorithm for fault section detection and isolation in distribution system[J]. Automation of Electric Power Systems,1999,23(1):31-33.
- [4] 叶丹. 一种实用的配网故障线路指示器的改进[J]. 电气应用,2008,27(5):62-65.
YE Dan. A practical improvement of faulted circuit indicator in distribution network[J]. Electrotechnical Application,2008,27(5):62-65.
- [5] 任丰原,黄海宁,林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报,2003,14(7):1282-1291.
REN Fengyuan,HUANG Haining,LIN Chuang. Wireless sensor networks[J]. Journal of Software,2003,14(7):1282-1291.
- [6] 赵增华,石高涛,韩双立,等. 基于无线传感器网络的高压输电线路在线监测系统[J]. 电力系统自动化,2009,33(19):80-84.

- ZHAO Zenghua, SHI Gaotao, HAN Shuangli, et al. A heterogeneous wireless sensor network based remote district high-voltage transmission line on-line monitoring system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(19): 80-84.
- [7] 桂勋, 冯浩. 基于无线公网和 ZigBee 无线传感器网络技术的输电线路综合监测系统[J]. 电网技术, 2008, 32(20): 40-43.
GUI Xun, FENG Hao. On-line comprehensive monitoring system for power transmission line based on wireless public network and wireless sensor network technologies[J]. Power System Technology, 2008, 32(20): 40-43.
- [8] 杨耿杰, 郭谋发, 丁国兴, 等. 基于嵌入式操作系统的 GPRS 配变抄表及监测终端[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(8): 118-123.
YANG Gengjie, GUO Moufa, DING Guoxing, et al. Distribution transformer meter-reading and monitoring terminal with embedded operating system based on GPRS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(8): 118-123.
- [9] Microchip Technology. PIC16F690 20-Pin Flash-Based 8-Bit CMOS MCU [EB/OL]. USA: Microchip Technology Inc., 2008 [2009-05-20]. <http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41262.E.pdf>.
- [10] Nordic Semiconductor. Single chip 433/868/915 MHz transceiver nRF905 [EB/OL]. Norway: Nordic Semiconductor ASA, 2006 [2009-05-20]. http://www.nordicsemi.com/files/Product/data_sheet/nRF905_rev1_4.pdf.
- [11] Microchip Technology. PIC24FJ64GA004 family data sheet [EB/OL]. USA: Microchip Technology Inc., 2008 [2009-05-20]. <http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39881c.pdf>.
- [12] Digi International. XBee/XBee-PRO ZB RF modules [EB/OL]. USA: Digi International Inc., 2009 [2009-09-02]. http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_D.pdf.
- [13] Analog Device. Six-input channel analog front end AD73360 [EB/OL]. USA: Analog Devices, Inc., 2000 [2009-05-20]. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD73360.pdf.
- [14] 国家电网公司. Q/GDW 130-2005 电力负荷管理系统数据传输规约[S]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

(编辑: 汪仪珍)

作者简介:



郭谋发

郭谋发(1973-), 男, 福建福清人, 副教授, 研究方向为电力系统自动化 (E-mail: gmf@fzu.edu.cn);

杨振中(1982-), 男, 福建石狮人, 助理工程师, 配电管理专责, 从事配电运行和管理工作;

杨耿杰(1966-), 男, 福建武夷山人, 副教授, 研究方向为电力系统分析;

黄世远(1985-), 男, 福建福州人, 硕士研究生, 研究方向为配电网自动化。

Wireless network monitoring system based on ZigBee Pro technology for distribution lines

GUO Moufa¹, YANG Zhenzhong², YANG Gengjie¹, HUANG Shiyuan¹

(1. College of Electrical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;

2. Fujian Shishi Electrical Power Co., Ltd., Quanzhou 362700, China)

Abstract: As the faulty section can not be accurately located and the information of fault indicator can not be automatically transmitted in feeder automation system, a three-layer distributed wireless monitoring system for distribution lines is proposed. The first layer is the 470 MHz short-range wireless communication network, responsible for the information collection of distribution line state change; the second layer is the ZigBee Pro wireless sensor network, responsible for the routing of state change information and parameter setting; the third layer is the GPRS communication network, responsible for the reliable long-distance data transmission. The key points in design and implementation are analyzed, such as the power supply to the communication module of fault indicator, the parameter configuration of wireless sensor network, the routing of "multiple-to-one", the network security and reliable GPRS communication, and so on. The system is suitable for the on-line monitoring of 10 kV distribution lines with high reliability, flexible expansibility and low operating expense.

This work is supported by the Science and Technology Project of the Education Department of Fujian Province (JA07008).

Key words: short-range wireless communication; ZigBee Pro protocol; wireless sensor network; GPRS; distribution line monitoring