

电力杆塔远程监防系统中无线通信技术研究

马锋福¹, 王伟¹, 徐丽杰¹, 倪平浩², 刘斌²

(1. 北京交通大学电气工程学院, 北京 100044; 2. 白山供电公司, 吉林 白山 134300)

摘要: 分析了电力杆塔远程监防系统中数据传输的三种基本方式, 重点研究了单一接力式射频通信方式。在分析了无线数据传输的信道模型基础上, 运用存储转发、动态路由以及差错重传机制等技术设计了一套适用于线性链路结构的通信协议, 运用单片机实现了此无线通信系统。实验表明, 该无线通信方式满足系统通信的设计要求。

关键词: 无线数传; 动态路由; 远程监测; 通信协议

Study of wireless communication technology in remote monitor and alarm safety system of transmission tower

MA Feng-fu¹, WANG Wei¹, XU Li-jie¹, NI Ping-hao², LIU Bin²

(1. School of Electrical Engineering, Beijing Jiao Tong University, Beijing 100044, China;

2. Baishan Power Supply Corporation, Baishan 134300, China)

Abstract: Three basic wireless data transmitting manners of this system are discussed in this paper, and Relay-unitary Radio Frequency communication mode is mainly investigated. Based on the analysis of wireless data transmitting channel model, a series of technology is adopted in design of communication protocol, such as store and forward transfer, dynamic routing, retransmission mechanism of overtime and errors, and so on. The protocol can be used in linearity routing and is implemented with MCU. The experiment result shows that the protocol satisfies the data transmission requirement of the Remote monitor and alarm safety system of transmission tower.

Key words: wireless data transmission; dynamic routing; remote monitoring; communication protocol;

中图分类号: TM76; TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)24-0072-04

0 引言

随着国民经济的发展, 迅速增长的输电线路给线路运行人员带来了越来越多的巡视和维护工作量, 近些年来事故的逐年上升, 说明了传统的巡视方式已经不能满足现有的安全需求。因此急需采用新的技术手段来帮助线路运行人员提高工作效率。但受到通信方式, 图像压缩和电源等技术的制约, 高压线路及其杆塔的远程监防系统发展极为缓慢。在通信方式的选择方面, 由于输电线路比较分散, 距离长, 采用光纤进行通信的成本非常高; GPRS方式由于公网信号覆盖区域的限制, 不能全面满足监防的需求, 尤其是对于大量处在深山峡谷中的不易到达区域内的高压输电线路, 并且采用 GPRS 无线方式时其运行费用也是不小的开支; 本文研究的通过无线数传模块进行接力式的传输方式既能满足公网信号地区监防数据的通信要求, 又实现了通信的可靠传输、无线通信系统的低成本和低功耗要求,

并且该方式使用免费频道进行通信, 无任何运行费用。因此, 本文研究的无线数传通信方式具有重要的工程实际意义。

1 系统通信网络拓扑结构

电力杆塔监防系统中, 数据的无线传输主要采用三种基本方式, 如图1所示。

方式1采用单一的无线数据接力式射频(RF)传输, 在线路端地址设置一个母站, 各数据采集基站采用逐级或越级方式依次上传, 母站在获得线路中各数据采集基站的数据后, 通过公用电话网、专线网等有线方式将数据上报至监防中心。

方式2采用单一的GPRS通信模式, 各数据采集基站都带有一个GPRS模块, 采用定时或召唤的方式将采集到的数据通过GPRS模块发送至监防中心所带的GPRS卡号上, 而监防中心通过接收的GPRS信息来获得现场的数据。

方式3采用RF与GPRS混合传输模式, 即在线路

中的某些节点处安装带有RF和GPRS两种通信模块的数据采集基站, 这些混装单元负责通过RF方式收集其邻近数据采集基站(仅安装有RF模块)的数据, 连同自身的数据一道, 通过GPRS发送至监测中心。

上述三种方式分别适用于不同环境。通常来说, 单一的GPRS通信方式适用于线路所处地域网络信号覆盖率高且比较稳定的情况; 而单一的RF射频通信方式适用于线路所处地域网络信号较弱或不稳定的情况; 结合了射频通信和GPRS通信两种模式

的线路使用起来比较方便, 安装时可以根据线路途经地区的实际情况, 在网络信号较好的位置设置一个RF和GPRS混装单元, 以保证GPRS信号传输的可靠性。另一方面, 由于GPRS通信需要向网络运营商付费, 因此涉及到一个后期维护的问题, 加之用GPRS进行数据传输实时性和可靠性不高, 大量图像数据传输中容易出现数据丢失现象, 在使用中有一定的局限性。本文重点研究系统中应用的第一种通信方式。

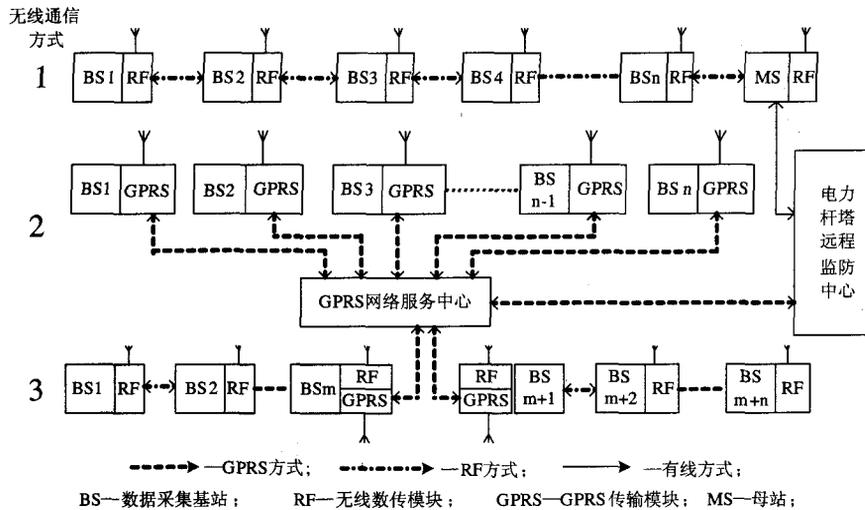


图1 电力杆塔远程监测系统的通信网络结构示意图

Fig.1 The communication net structure of remote monitor and alarm safety system for transmission tower

2 接力式射频传输理论分析

2.1 系统通信链路设计要求

对于采用单一接力式射频传输的检测线路, 为了提高通信链路的可靠性, 系统对各节点通信能力要求为: 在通常的环境条件下和误比特率小于 10^{-4} 的前提下, 各节点的通信距离达到3 km左右。另外, 由于数据采集单元采用太阳能电池板对蓄电池进行充电的有限供电方式, 系统对采集单元整机工作的低功耗提出了较高的要求, 而无线数传模块作为较大的电能消耗者(5 V供电, 接收电流约32 mA, 发射电流约550 mA), 其每天总工作时间限定为不大于1 h。

2.2 通信信道模型分析

与有线通信相比, 无线通信具有误码率高、时延大、带宽低、信道不对称等特点, 通信质量难于保证, 而在高压输电线路强电场环境下, 噪声干扰特别是电力传输线噪声、信号衰落显得尤为突出, 加之系统属于大尺度传播模型, 路径损耗严重, 而

系统由于供电原因又不能过大地提高发射功率和进行长时间的通信, 因此通信的可靠性和高效性是必须重点解决的问题。系统选用的无线数传模块主要参数为: 半双工, 工作频率 433.33 MHz(波长 λ 为 0.6923 m), 发射功率 P_T 为 30 dBm (1W), 接收机可用灵敏度 ≤ -121 dBm, 发射天线增益 G_T 为 2 dB, 接收天线增益 G_R 为 2 dB, 考虑到专用馈线足够短, 因此先忽略两个馈线损耗 L_T 和 L_R , 根据增益公式可知接收机收到的功率为

$$P_R = P_T - L_T + G_T - A_p + G_R - L_R \quad (1)$$

从式(1)可知, 影响信道质量的一个很重要的因子是 A_p , 即由于无线电波的空间传输带来的传输路径损耗 L_p 和由于噪声和干扰造成的信道衰落。

首先分析系统的传输路径损耗 L_p 。由于系统传输路径损耗主要是由传输距离引起的, 考虑其基本符合自由空间模型条件, 故采用自由空间方程式预测可知传输路径损耗近似为

$$P_L = -10 \lg_{10} [\lambda^2 / (4\pi)^2 d^2] = 94.7 \text{ dB} \quad (2)$$

其次分析噪声和干扰造成的信道衰落。相对而言，由于系统的安装位置和通信协议决定了同道干扰和邻道干扰影响较小。电力输电线的无线电干扰分有源干扰和无源干扰，有源干扰频率范围基本上小于30 MHz，对本系统影响较小；无源干扰根据其他相关报告与经验进行粗略估计，现假定在送电线路及绝缘子综合作用下对系统无线链路的平均干扰场强为30 dB。

在上面分析中忽略的馈线损耗、多径衰落及同道和邻道干扰等都或多或少存在，同时考虑各种常见气候的影响，我们假定由于这些因素引起的总信道衰减为14 dB。现将式(2)及其它因子带入式(1)，可求得

$$P_R = 30 - 30 + 2 - 94.7 + 2 - 14 = -104.7 \text{ dBm} \quad (3)$$

式(3)求得值大于无线模块的可用灵敏度(-121 dBm)，因此可以达到设计要求。通过大量的现场测量，证明了系统能在110~500 kV 高压线路上可靠运行，数据传输误比特率满足设计要求。

3 接力式射频传输中的关键技术

3.1 帧格式设计与主程序流程

传输中借鉴 IEEE802 中帧格式形式，加以改进后采用以下帧格式：

前码	SD	FC	JSA	FSA	YA	MBA	ZBN	FBN	ZL	INFO	FCS	END
----	----	----	-----	-----	----	-----	-----	-----	----	------	-----	-----

其中：

前导码：本帧的引导，主要用于确保传输的完整性；

SD和END：本帧起始、终止定界符号，68H和17H；

FC：帧控制，表示帧的方向，发送帧还是回应帧；

JSA和FSA：本帧的接受地址和发送地址；

YA和MBA：本帧的源地址和目标地址；

ZBN和FBN：信息的总包数和该帧的序号(分包数)；

ZL和INFO：本帧的帧长和信息体内容；

FCS：帧校验字段，采用异或校验方法，保留一字节用于其它校验。

3.2 动态路由

实际上，由于系统所使用的无线数传模块的传输距离通常可达到3 km 以上，而两个节点间距离常为0.5~1 km 左右，也就是说，模块的越级传输能力可达3~6个节点。系统通信协议规定，传输第一

帧数据(即进行大量数据包传输前)时，各数据采集单元选用较远的单元自动对信道状态进行实时估计与预测，根据估测结果重建路由。最优路由重建程序简图如图2所示。

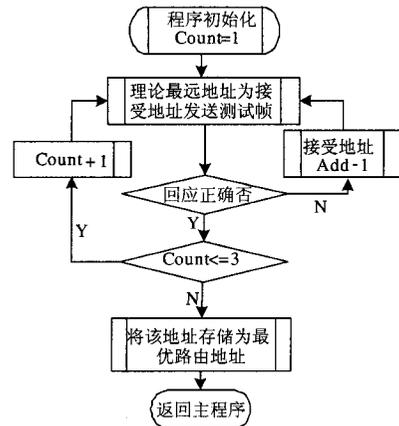


图2 最佳路由选择程序结构图

Fig.2 The program of chooses best routing

在正常的数据传输中则选用最佳路由为传输路由，如果出现最佳路由路径的传输失败，则重新调用动态路由程序，找到新的最优路由节点。

3.3 存储转发技术的应用

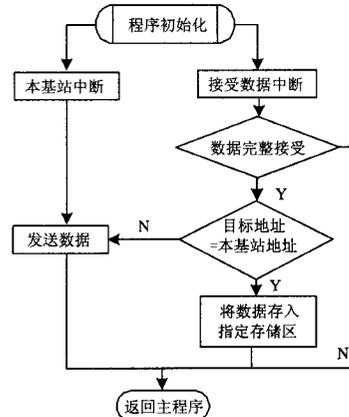


图3 数据存储转发程序图

Fig.3 The program structure of date store and forward transfer

为了达到数据通信的远距离可靠传输，选用无线单一接力式射频传输的方式进行通信就必须依靠基站的存储转发技术实现。存储转发技术的应用要求基站有较大的外部存储空间，不但能将自身采集的信息存储下来，而且也可以将其他基站转发过来的数据存储下来。程序流程图如图3所示。

当基站本身有中断时，需要将采集的数据发往母站时，直接从存储数据区转移数据并选择最佳路由进行发送；当基站转发数据时，将接受到的数据

存储起来,等数据完整接受后将目标地址与自身的装置地址进行比较,如果相同则说明已经传输结束,不需要转发;如果不同则根据目标地址与自身装置地址选择最佳路由进行转发,直至数据传输到目标基站。运行,一般在布局时使得网络节点的通信范围在逻辑线路上具有可跳跃性。而为了提高通信的效率和节省系统通信的消耗功率,在大多数情况下优先选取可靠传输的最远站为转发节点(即最佳路由节点),提高网络性能。例如图4中的基站1,最佳路由链路为基站6,所以当基站1向基站7传数据时只需两级就可以到达,基站6为跳跃节点基站。而基站1向基站2、3、4、5传输时,由于基站与基站之间的距离已经小于最佳链路节点基站间距离,故可以直接通信而不需要通过其中节点的存储转发进行数据传输。该无线通信网络中母站和基站均采用单片机控制,主要具有以下特点:工作方式简单,24小时不间断工作,经济适用;各基站除地址码不同外,源程序通用,初装、增减节点方便;数据传输高效可靠,误码率低。

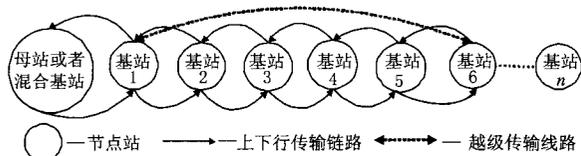


图4 无线越级传输网络结构图

Fig4.The net structure of wireless jumping transmission

3.4 无线网络运行与管理

无线网络中每一个基站都分配一个特有的16位的地址,按地址码建立逻辑顺序路径,线性排列,如图4所示,先后关系按地址码大小顺序排列。在实际布网络时,网络节点可以在空间任意格局分布,但是必须保证可靠接收,不能出现孤立节点,这就要求相邻逻辑节点必须在有效的通信范围内。为了增加系统可靠性,确保在个别节点不能正常通信时的网络小于最佳链路节点基站间距离,故可以直接通信而不需要通过其他节点的存储转发进行数据传输。

4 可靠性分析

作为弱电系统在强电环境下的典型应用,关键是提高系统运行可靠性,尤其是无线数据通信的可靠性和高效性。

首先,由于无线传输路径损耗和无线模块传输距离的限制,实验数据表明,无线越级传输的级数并不能达到8级,且随着越级级数的减少可靠性不断提高,但同时越级级数的减少又增加了总的传输

时间,降低了效率,因此在实际应用中应该选取合适的越级传输级数,保证可靠高效传输。

其次,无线通信的效果与通信数据帧长度有很大关系,帧长越短一次通信成功率越高。在误码率等外界因素相同的情况下通信效果并不是随帧长的缩短而线性缩短,而是以误码率为底的幂级数变化,以单帧通信、参数(9600,n,8,1)、误比特率率0.005%为例,对于原始长度为240字节的数据帧而言,采用变长帧格式后单帧通信成功率可提高1.37%~2.76%,因此系统在进行大量数据传输前先进行信道监测并自动根据当前信道的优劣性选定合适的发送帧长,从而提高通信可靠性和通信高效率。

最后,在信道编码方面由于系统的硬件已采用了ARQ技术,因此软件方面仅采用异或码校验和错误重发的方法来提高可靠性。

通过大量模拟试验和现场测试,得出无线通信系统在正常气候条件下可靠性能达到99.33%以上。

5 结束语

经过软件优化的接力式射频通信系统,在降低误比特率的同时,实现了数据的高效可靠传输。通过大量模拟试验测试,基于动态路由与存储转发技术的通信协议工作良好,无线链路稳定可靠,基站采集数据能准确回送母站或者混合基站,并通过有线传送至监防中心进行数据分析,达到了设计要求。本系统中无线通信技术可方便地应用于其它电力设备的在线检测,为无线数传模块的直线型链路结构的开发应用提供了经验,也为远程监防的通信方式选择提供了科学依据。

参考文献

- [1] 蔡伟,李敏.绝缘子遥测系统中无线技术的应用[J].电网技术,2003,27(6):48-51.
CAI Wei,LI Min. Application of Wireless Communication Technology in Remote Supervision System fo Insulators[J]. Power System Technology, 2003, 27(6): 48-51.
- [2] Tabbans.Handbook of Mobile Radio Networks[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2001.
- [3] Rappaport T S. Wireless Communications Principles and Practice[M].Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 1998.
- [4] 张立科.单片机通信技术与工程实践[M].北京:人民邮电出版社,2005.
ZHANG Li-ke. Communication of Microcontroller and Engineering Practice.[M]. Beijing: Publishing House of Posts & Telecom,2005.

(下转第78页 continued on page 78)

冷备用状态:所有阀厅的接地刀闸均在分状态,阀厅门关上。此时,阀冷系统无异常且应在运行状态。

热备用状态:所有阀厅的接地刀闸均在分状态,阀厅门关上。此时,阀冷控制系统无异常,换流变已充电。

运行:在热备用基础上,将阀解锁投运。

空载加压试验:空载加压试验和直流系统投运/停运过程的控制顺序有所不同,是一个试验状态。

启动直流系统的顺序主要包括如下步骤:

1) 关上阀厅门且将阀厅门钥匙锁定在闭锁状态。

2) 打开阀厅地刀。

3) 处于冷备用状态。

4) 对换流变压器进行充电。

5) 处于热备用状态。

6) 阀解锁。

处于直流系统运行状态。

停运直流系统的顺序主要包括如下步骤:

1) 阀闭锁。

2) 到热备用状态。

3) 换流变压器放电。

4) 到冷备用状态。

5) 合上阀厅地刀。

6) 释放阀厅钥匙,允许打开阀厅门。

此时,直流系统停运。换流站回到检修状态。

4 结束语

本培训仿真系统采用与工程一致的 HMI 软件模块,因此和真实系统有完全一致的界面,完全一致的操作,甚至所有的参数配置都是一样的,这样使得系统的集成度大大提高,不仅提高了系统的可维护性,也大大减化了软件编制工作。

参考文献

[1] 梁旭明, 吴斤克, 冀肖彤. 国家电网公司直流输电工程控制保护系统运行情况分析[J]. 电网技术, 2005, 29(23):7-10, 17.
LIANG Xu-ming, WU Jin-ke, JI Xiao-tong. Operating Performance Analysis on Control and Protection System of SGCC's HVDC Projects[J]. Power System Technology, 2005, 29(23):7-10, 17.

[2] 李兴源. 高压直流输电系统的运行和控制[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
LI Xing-yuan. Operation and Control of HVDC System[M]. Beijing: Science Press, 1998.

[3] 周承忠. 变电站仿真培训系统. 中国电力, 1997.

[4] 张慎明. 新一代电力系统教学培训仿真系统的设计和实现. 全国电网调度自动化、仿真技术学术年会论集, 2000.

[5] R. Kuffel. RTDS: a fully Digital Power System simulator Operating in Real Time[M]. Teexas, U.S.A, 1995.

[6] 浙江大学直流输电科研组. 直流输电[M]. 北京: 中国电力出版社, 1982.

[7] 徐政, 蔡晔, 刘国平. 大规模交直流电力系统仿真计算的相关问题[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(15): 4-8.
XU Zheng, CAI Ye, LIU Guo-ping. Some Problems in the Simulation of Large-scale AC/DC Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(15): 4-8.

收稿日期: 2008-11-05

作者简介:

张欣(1979-), 男, 本科, 从事高压直流输电软件设计及系统研究工作;

饶国辉(1976-), 男, 本科, 从事高压直流输电软件设计及系统研究工作;

黄浩然(1975-), 男, 本科, 从事高压直流输电软件设计及系统研究工作。

(上接第 75 页 continued from page 75)

[5] Lemaire R O. Wireless LANs and Mobile Networking: Standards and Future Directions[J]. IEEE Communication Magazine, 1996, (8):86-94.

[6] 邬雄, 聂定珍, 万保权, 等. 架空送电线路的电磁环境及其污染影响[J]. 高电压技术, 2000, 26(5):24-26.
WU Xiong, NIE Ding-zhen, WAN Bao-quan. Electromagnetic Environment of the Overhead Transmission Lines and Electromagnetic Pollution[J]. High Voltage Engineering, 2000, 26(5):24-26.

[7] 陈水明, 王磊, 何金良. 多回高压输电线路产生的无线电干扰分析[J]. 电波科学学报, 2002, (6):677-681.
CHEN Shui-ming, WANG Lei, HE Jin-liang. Radio Interference Analysis From Multi-circuits AC High

Voltage Overhead Power Transmission Lines.[J]. Chinese Journal of Radio Science. 2002, (6):677-681.

收稿日期: 2008-01-29; 修回日期: 2008-04-05

作者简介:

马锋福(1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力设备远程监测的通信方式; E-mail: yaseile@yahoo.cn

王玮(1959-), 男, 博士生导师, 研究方向为电气设备在线检测技术, 信息技术在电气工程及电力设备系统中的应用, 工作流理论及其应用;

徐丽杰(1972-), 女, 副教授, 主要从事电力系统稳定与控制, 高压电气设备在线监测技术的研究。