

电力系统无线数传网的改进与优化

赵奇¹, 李英凡², 陆俊¹, 祁兵¹

(1. 华北电力大学电气与工程学院, 北京 102206; 2. 沈阳市供电公司通信所, 辽宁 沈阳 110003)

摘要: 从网络结构、信道利用、频谱利用率和通信可靠性等几个方面分析了 230 MHz 频谱资源利用存在的问题, 并结合目前的无线通信技术提出基于蜂窝的 230 MHz 频段无线资源优化的可行性方案。该方案为实现大容量、高频带利用率、传输可靠的无线电力通信专网提供了理论基础。

关键词: 230 MHz 频率; 资源利用; 信道接入; 信道编码; 蜂窝网络

Improvement and optimization of wireless digital network in power system

ZHAO Qi¹, LI Ying-fan², LU Jun¹, QI Bing¹

(1. School of Electronic and Electric Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;
2. Shenyang Power Supply Bureau, Shenyang 110003, China)

Abstract: This paper analyses the existing 230MHz data radio system. The problems in the use of frequency resource in several aspects, such as network configuration, channel usage and spectrum efficiency, are proposed. Combined the current combination of wireless communications technologies, the feasible solutions of optimizing 230MHz radio resource usage based on cellular network theory are discussed. And the solutions provide theoretical basis for building a wireless communication network with large capacity volume, high spectrum efficiency and reliable transmission.

Key words: 230MHz frequency; resource use; media access; channel coding; cellular network

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)15-0100-04

0 引言

随着电力系统的发展和变革, 电力系统安全运行信息、电力生产和经营信息以及电力自动化信息正在以多元化、数字化、网络化和大信息量化发展, 这些都对现有的电力通信专网提出了新的要求和挑战。如何合理利用电力系统专有的无线频道资源, 同时结合先进的无线通信技术提高电力通信系统传输的高效性和安全性成为当前电力通信系统改造和革新的重要议题。

国家无线电管理委员会在关于电力负荷监控系统频率使用的批复中明确指出, 230 MHz 频段的 15 对双频频点和 10 个单频频点作为无线电力负荷管理系统的专用频点^[1], 其中, 相邻频点间隔为 50~150 kHz, 带宽为 25 kHz。电力企业在使用 230MHz 频段无线资源时, 采用数传电台作为通信终端, 通信系统结构如图 1 所示。启动站采用双频、全双工数传电台, 从动站采用双频、半双工数传电台, 其上行频率为 f_1 , 下行频率为 f_0 , 上下行频率间隔 $f_1 - f_0 = 7$ MHz。

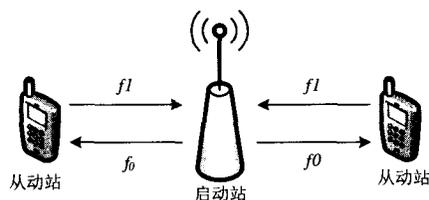


图 1 启动站与从动站的频点分配
Fig.1 Frequency distribution of data radios

本文通过对现有 230MHz 数传电台通信系统的分析, 分别从系统组网结构、信道利用效率等几个方面归纳了电力无线频谱资源利用存在的问题, 并对无线资源利用提出改进方案, 对现有的 230 MHz 频段的使用方式进行全面的优化。

1 传统数传电台通信系统分析

目前我国各负荷管理系统的 230 MHz 无线电台通信系统网络稳定、覆盖面广, 为电力系统做出了巨大的贡献。但随着系统发展技术支持条件的进步, 现有的应用于电力行业的无线电台通信系统的通信技术相对落后, 对 230 MHz 频段资

源造成了一定程度的浪费,制约了电力通信系统业务的高效性和安全性^[2]。

(1) 数传电台之间各自分立,没有统一的网络管理,没有无线信号的同步,这必须增加空闲时间作为数据传输的保护间隔,使得信道的利用率降低,导致通信过程中对资源的浪费。

(2) 电力行业的数传电台所采用的调制方式相对落后,使得数据率降低,频谱利用率仅为 0.048~0.384 bit/s/Hz,而目前的其它无线系统的频谱利用率为 1.35~3 bit/s/Hz。由此可见电力企业对无线资源的利用只是电信行业的 10%左右,浪费了 90% 的无线资源,因此迫切需要改进调制方式以提高频谱的利用率。

(3) 数传电台通信系统采用轮询的方式进行数据交换,交换时独占电路,降低了网络传输数据的灵活性和传输效率,使紧急数据无法及时上传。

(4) 由于数传电台采用无协议的透明传输模式,无纠错能力和加密功能,要想实现纠错和加密只能在 RTU(远程终端控制系统)或中心站计算机上进行,使传输延时非常大,影响了系统的吞吐量。

(5) 频率使用中规划不当,造成一方面频率资源紧缺,另一方面频率使用浪费的局面。

2 优化方法

2.1 组网方式的改进

蜂窝组网方式可以有组织地利用电力企业有限的频率资源,同时降低 RTU 和主站的发射功率,进而降低设备成本。频率复用和蜂窝小区设计与网络的区域覆盖和容量需求有着紧密的联系,传统的数传电台通信系统组网采用的是大区覆盖,随着 RTU 数量的增加,这种网络设计已远远不能满足需求,因而以蜂窝小区、频率复用的方法能够解决频率资源有限和用户容量的问题。频率复用即在一个系统的不同小区内重复使用相同的频率,将整个频谱分配划分为 K 个频率复用的模式。如图 2 所示,使用 $K=4$ 个频率资源(频点)就可以组成一个覆盖整个城市的无线网络,能够为大量的 RTU 提供通信服务。

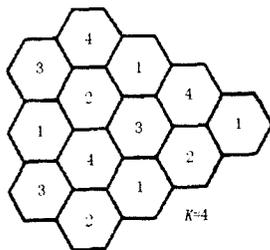


图 2 蜂窝组网示意图

Fig.2 Cellular network configuration

在设计 230 MHz 无线通信系统时,必须考虑的两大因素是蜂窝半径和频率复用距离(使用同样频段的蜂窝区的最小中心间距)。设计合理的频率复用系统可以极大地提高频谱效率。否则,就会产生同频干扰。

在进行蜂窝半径设计时,需要考虑基站和移动台的最大发射功率,天线的可取高度和无线传播环境等诸多因素,本文采用由 Okumura 等人开发并由 Hata 细化的经验模型^[3]。对于城市环境而言,基本传输损耗的计算公式如下:

$$L_{dB} = 69.55 + 26.16 \lg f_c - 13.82 \lg h_t - A(h_r) + (44.9 - 6.55 \lg h_t) \lg d \quad (1)$$

其中: d 为天线间的传播距离,即蜂窝半径,单位为 km,范围为 1~20km;基本传输损耗为基站发射功率与终端设备接受灵敏度之差; f_c 为载波频率,单位为 MHz,范围为 150~1 500 MHz; h_t 为发射天线的高度单位为 m,范围为 30~300 m; h_r 为接收天线的高度单位为 m,范围为 1~10 m;蜂窝半径(天线间传播距离)计算公式如下:

$$d = 10^{\frac{L_{dB} - 69.55 - 26.16 \lg f_c + 13.82 \lg h_t + A(h_r)}{44.9 - 6.55 \lg h_t}} \quad (2)$$

其中:移动天线高度的校正因子 $A(h_r)$ 在城市中根据下式计算:

$$A(h_r) = 8.29 [\lg(1.54 h_r)]^2 - 1.1(\text{dB}) \quad (3)$$

根据移动台在负控通信系统中的应用指标(如表 1),可计算出蜂窝半径为 10.4338 km。

表 1 无线电台参数

Tab.1 Data radio parameters

发送电台功率	天线增益	终端接收增益	系统余量+电台恶化储备量
44 dBm	12 dB	5 dB	35 dB
电台接收灵敏度	基站天线高度	终端天线高度	工作频率
-110 dBm	10 m	10 m	230 MHz

在进行频率服用距离设计时,需要考虑很多因素,如中心小区附近的同频小区数、地形轮廓类型以及基站发射功率等等。通常,根据经验公式计算频率复用距离 D :

$$D = \sqrt{3kR} \quad (4)$$

其中: k 为图 2 所示的频率服用模式(本文选用 $k=4$ 的系统模型), R 为蜂窝半径。利用以上的计算结果计算频率复用距离 D 为 36.1437 km。

目前, 电力系统经过多年的内部信息化建设, 拥有了大容量和远距离的光纤骨干网络, 基本上实现了局、所、站的光纤联网, 为电力通信提供了高速化、宽带化的骨干传输通道。因此, 在数传网的优化改造过程中, 根据终端的分布情况和密集程度, 规划出蜂窝的中心位置, 首选电力系统的局、所、站, 通过在局、所、站架设基站, 使得无线信号覆盖相应供电区域, 而基站到中心站采用 SDH 光纤传输数据, 系统结构如图 3 所示。

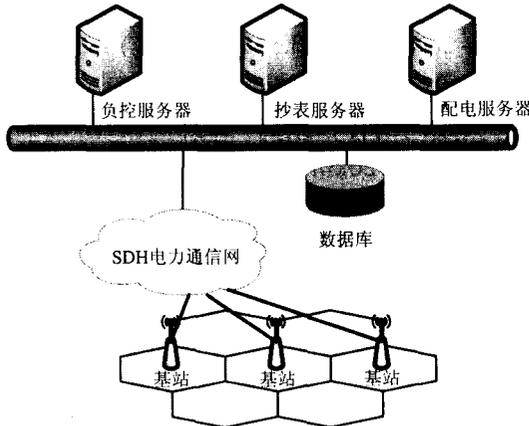


图 3 无线数传网示意图

Fig.3 Wireless digital network configuration

图 3 中, 以高性能数传电台为基站设备, 通过设置基站的功率控制蜂窝半径, 同时设定蜂窝小区内启/从动电台的频率, 来实现单个蜂窝小区范围的界定。基站由电力 SDH 网连接中心站服务器和数据库。形成了有线与无线相结合的电力系统数传网。这种方案降低了重新建网的实施难度, 节省了网络改建和优化的投资, 在保证频率使用效率和减小同频干扰的前提下, 很好地实现 RTU 与基站的通信。

2.2 数据交换方式的改进

数传电台通信系统中, 采用轮询协议, 通信时数据在无线信道上透明传输, 被叫的 RTU 独占上行信道。上传的数据一般要打包成一个或多个报文, 但并不限制数据的总长度, 连续传输直到传完全部数据为止。如果通信时间过长, RTU 告警信息的上传时间就会被延时, 影响中心站管理员及时发现问题和解决问题。

同时, 从站 RTU 不能主动发起通信, 通信只能由主站发起, 这会影响告警信息的及时上传。其次在一个具有上行频率和下行频率二个信道的系统中轮询协议只能实现启动站的半双工通信, 极大地浪费了信道资源和降低了通信效率^[4]。

在改进 230MHz 通信系统时, 可采用分组交换的方法, 各站 RTU 将要上传的数据封装成固定类型和长度的分组, 在同一条无线信道中采用动态复用的技术, 以分组为单位进行传输, 同时传送多个数据分组, 这样可以保证 RTU 对信道的使用是公平的。关于如何传输分组属于信道接入算法问题, 将在后面讨论。分组长度的选择要结合业务的特点, 对于抄表数据、负控数据和配电监测数据, 由于每次采集的数据长度是不同的, 但无论数据多长都要一次及时上传到中心站, 因此分组长度要与单次采集的数据长度相匹配, 保证一次采集的数据不要用一个分组传输, 保证通信效率。

2.3 信道接入算法的改进

现有的 230 MHz 通信系统中, 无线信道由主站进行控制, 采用主站请求从站应答的轮询方式进行信道接入, 为了使系统内所有 RTU 都有公平上报数据的权利, 无论从站 RTU 是否发送数据, 主站都要对其发送轮询帧, 如果某从站在主站对其刚轮询过后需要传输数据, 则需要等到主站下一次轮询到后才能进行数据的发送, 这样降低了信道利用率。如从站有紧急数据, 可在应答数据帧中置上应急标识, 通知主站还有紧急数据需要上传, 主站会继续让该站发数据直到该站的紧急数据传送完毕, 然后再轮询其它站。

通过以上分析, 从站 RTU 定时采集数据并定时上传数据, 这种业务模式在信道接入时可采用控制方式, 即由网络为每个 RTU 分配时隙, RTU 监视网络同步信息, 使自己的时钟与网络时钟同步, 当检测到分配给自己的时隙到来时发送分组, 同步水平越高, 分组之间的保护间隔就越小 (GSM 系统是微秒级), 信道利用就越好。在 MAC 层同步时, 时间误差很容易控制在 1 ms 以下。这种精确同步在负控或抄表的应用层是达不到的。

当从站 RTU 检测到设备告警信息, 需要主动发起通信上传重要数据, 这时采用信道的控制方式进行接入就不合适了, 会影响告警的及时性。所以, 当 RTU 需要主动发起通信传输数据时, 系统业务模式在信道接入时可采用随机方式, 使用 S-ALOHA 协议是一种有效的选择。主站通过下行信道向所有 RTU 广播信道空闲消息, 有数据发送的 RTU 收到该消息后, 随机选择一个时槽发送数据, 由于各 RTU 选择的时槽是随机的, 随机数可由 RTU 中的随机数产生程序生成, 减少了数据在空中碰撞的概率^[6]。

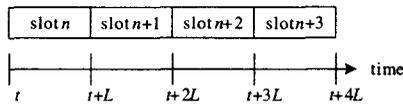


图4 时槽起始时刻示意图

Fig.4 Slot time sketch map

从图4可以得到,物理层的时槽定位时,第一个时槽的起始点由主站传送的信道空闲消息帧的接收结束时刻决定,其它的时槽的起始时刻由公式(5)得出:

$$t = t_1 + (n-1)L \quad (n=1, 2, 3\dots) \quad (5)$$

如果发生碰撞,则在主站发送下一个信道空闲消息帧时,再随机选择一个时槽进行发送。如果超过一定次数后,发送依然不成功,则放弃数据的发送。

控制接入与随机接入相结合的方式可以替代现有的轮询接入方式,这种组合接入策略既解决了定时上传数据业务的接入,同时也解决了突发告警业务的接入。

2.4 调制方式和通信可靠性的改进

目前230 MHz系统中主要使用FSK调制方式,它实现起来较容易,抗噪声与抗衰减的性能较好。但是,FSK是频带利用率最低的调制方式,只适合于低速数据传输。随着电力系统数据业务的不断扩建和更新,对业务数据的传输速率提出了更高的要求,FSK调制已经不再适用于要求高传输速率的电力通信系统。相比于FSK调制,PSK数字调制技术更适应于高速数据传输和快速衰落的信道。同时,PSK拥有最高的频带利用率和抗噪声性能^[5],能够满足电力数据传输的速率和实时性要求,因此建议在230MHz系统的改进中使用基于PSK发展起来的各种线性调制技术。

目前,在230 MHz通信系统中业务数据传输为透明传输,信息一旦在传输过程中受到干扰或恶意破坏,接收端将无法还原信息。因此,在230 MHz系统的改进中,应充分结合差错控制技术和纠错编码技术,如HEC差错控制技术、交织和扰码等技术,提高电力通信网数据传输的可靠性。

3 结束语

电力企业目前的230 MHz通信系统中,数据量在不断增大,RTU的数目也在逐步增加,传统的数传电台通信方式对电力专有的频谱资源造成了极大

的浪费,成为电力无线通信系统的顽症,对230 MHz频谱资源的改进、提高通信效率及资源利用率已成为人们关注的焦点。

本文在分析目前数传电台通信系统频谱利用情况的基础上,结合现代无线通信技术,从网络结构、交换方式、调制方式和纠错方法等几个方面入手,对电力系统230 MHz频谱资源的使用提出多角度的优化建议,并希望对于下一步的无线网络建设能有所帮助。

参考文献

- [1] 无管字5号1991,民用超短波遥测遥控数据传输业务频率划分[S].
- [2] 周立岩,孙毅,冯小安,等.管理系统通信效率的新方法[J].电力系统通信,2008,28(128):46-49.
ZHOU Li-yan, SUN Yi, FENG Xiao-an, et al. New Method of Improving Communication Efficiency in Power Load Management System[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2008, 28(128):46-49.
- [3] William Stallings(美).无线与蜂窝通信(第3版)[M].北京:清华大学出版社,2008.
- [4] 潘惠平,陈堂.电力负荷管理系统的发展趋势和系统实现[J].江苏电机工程,2006,25(3):56-58.
PAN Hui-ping, CHEN Tang. Development Trend and System Realization of Power Load Management System[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2006, 25(3): 56-58.
- [5] 黄庚年.数字调制技术的进展[J].数字通信,2006,2:7-9.
HUANG Geng-nian. The Development of Digital Modulation Technology[J]. Digital Communication, 2006, 2:7-9.
- [6] 张静. S-ALOHA协议在无线接入系统中的实现[J].成都信息工程学院学报,2005,18(3):287-290.
ZHANG Jing. S-ALOHA Agreement Applied to Wireless Access System[J]. Journal of Chengdu University of Information Technology, 2005, 18(3):287-290.

收稿日期:2008-09-08; 修回日期:2009-03-24

作者简介:

赵奇(1982-),男,硕士研究生,研究方向为应用电子技术、无线通信、电力系统通信等;E-mail:yuki_zhaoqi@yahoo.com.cn

李英凡(1955-),男,高级工程师,从事通信调度工作;

陆俊(1976-),男,博士,研究方向为计算机通信、电力通信。