



基于 SGWM 的 230 MHz 无线宽带通信技术的 用电信息采集系统的通信系统设计

董俐君¹, 张 芊², 祝恩国¹, 刘 宣¹

(1. 中国电力科学研究院 北京 100192; 2. 国网北京市电力公司 北京 100061)

摘 要: 用电信息采集系统是建设智能电网的重要内容。针对用电信息采集系统中现有 230 MHz 无线专网存在的通信速率低、接入点较少、采集成功率不高、实时性较差的问题, 提出了基于 SGWM 的 230 MHz 无线宽带通信技术的用电信息采集系统的通信系统的技术方案及其功能实现, 分析了载波聚合复用、智能路由、异频组网等通信组网技术, 阐述了 SGWM 无线通信技术在用电信息采集系统的应用。对组网方案的设计及分析表明, 基于 SGWM 的 230 MHz 无线宽带通信技术在用电信息采集系统的应用效果较好, 为推广应用信息双向交互和加快推进智能电网建设提供了技术支撑。

关键词: SGWM; 230 MHz; 用电信息采集系统

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015080

Communication System for Electric Energy Data Acquisition System of SGWM-Based 230 MHz Wireless Broadband Communications Key Technology

Dong Lijun¹, Zhang Qian², Zhu Enguo¹, Liu Xuan¹

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;

2. State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing 100061, China)

Abstract: Electric energy data acquisition system is an important part of smart grid. Against the problem of the communication way of the 230 MHz wireless private network in the electric energy data acquisition system, low communication rate, fewer access points, low acquisition success rate, poor real-time performance, the technical proposal of the SGWM-based 230 MHz wireless broadband communications key technology of the communication system for the electric energy data acquisition system was proposed. The communication network technologies, such as the carrier aggregation technology, smart routing technology, networking technology, were discussed. The SGWM wireless communications technology in the electric energy data acquisition system was elaborated. By designing and analyzing networking scheme, the result indicates that the field application effect of the SGWM-based 230 MHz wireless broadband communications key technology in the electric energy data acquisition system is very good. Thus it provided technical support for the propel of the information bidirectional interaction and construction of the strong smart grid.

Key words: SGWM, 230 MHz, electric energy data acquisition system

收稿日期: 2014-09-25; 修回日期: 2015-03-10

论文引用格式: 董俐君, 张芊, 祝恩国等, 基于 SGWM 的 230 MHz 无线宽带通信技术的用电信息采集系统的通信系统设计. 电信科学, 2015080
Dong L J, Zhang Q, Zhu E G, *et al.* Research on Radio Network Intelligent Frequency Selection Technology Based on an Adaptive Genetic Algorithm. Telecommunications Science, 2015080



1 引言

用电信息采集系统是智能电网的重要组成部分,主要覆盖营销业务应用的电能信息采集业务,对电力用户的用电信息进行采集、处理和实时监控,实现用电信息的自动采集、用电异常监测、电能质量监测、用电业务管理、分布式能源监控、智能用电信息交互、增值服务等功能。选用稳定可靠的通信技术是用电信息采集系统建设至关重要的环节,采集终端和系统主站之间的远程通信必须保证其可靠性、实时性和安全性,否则将对整个系统的安全稳定运行带来很大影响^[1-3]。230 MHz 无线专网通信技术是用电信息采集系统建设中一种重要的远程通信技术,其纠错能力强,数据处理效率高,支持事件上报功能,在很大程度上解决了光纤通信方式成本高的问题,在用电信息采集系统建设中发挥了积极作用。在早期用户数量不是很多的情况下,这种基本的通信方式不仅能很好地满足业务需求,而且技术简单成熟。随着我国经济社会的快速发展,用电用户数不断增长,电网的智能化和信息化迫切需要寻求一种更为高效、快速、可靠的通信系统。但由于 230 MHz 无线专网通信方式自身的限制,存在通信速率低、接入点较少、采集成功率不高、实时性较差的问题。

为更好地解决目前 230 MHz 无线专网在采集速度、采集用时及系统容量上的问题,进一步提升 230 MHz 无线专网在数据采集方面的整体优势,需要深入研究基于新型通信技术的用电信息采集系统通信技术方案,为建设用电信息采集系统提供有力支撑。本文开展了新型通信技术 SGWM 在用电信息采集系统中的应用研究,提出了基于 SGWM 的 230 MHz 无线宽带通信技术的用电信息采集系

统的通信系统的技术方案以及功能实现,重点分析通信系统组网建设的关键技术、设计组网方案。分析结果表明,基于 SGWM 的 230 MHz 无线宽带通信技术在用电信息采集系统的应用效果较好,对进一步提高用电信息采集系统通信的可靠性、实时性和安全性,降低系统建设费用具有重要意义,为推广应用信息双向交互和加快推进智能电网建设提供技术支持。

2 通信系统概述

2.1 SGWM 与 230 MHz 数传电台技术对比

SGWM 是一种新兴的无线宽带接入技术,可以为用户提供无线数据接入服务,基于 IEEE 802.16 技术标准可以替代现有的有线和 DSL 连接方式,提供“最后一公里”的无线宽带接入,并且在成本、传输距离和带宽方面都具有诸多优势,目前在北美、欧洲等地区获得广泛应用和关注,在亚洲地区也呈现出旺盛的生命力和良好的应用前景。目前基于 SGWM 的 230 MHz 无线宽带通信技术在用电信息采集系统中的应用尚未开展较多研究,其与 230 MHz 数传电台的技术对比见表 1,可见 SGWM 新型通信技术具有良好的应用前景^[4-10]。

2.2 通信系统构成

基于 SGWM 的 230 MHz 无线宽带通信技术的用电信息采集系统的通信系统由多台基站设备、基站管理的大量终端通信模块和相关的软硬件传输设备构成,其网络拓扑结构如图 1 所示。通信主体包括主站、基站和终端通信模块 3 部分,其主站与基站之间通过有线链路连接,可实现双向数据传输;基站与终端之间构成点对多点的网络拓扑结构,通过无线网络进行双向通信。

表 1 SGWM 与 230 MHz 数传电台技术对比

对比项	SGWM	230 MHz 数传电台
网络类型	专网	专网
组网方式	小区制	点对点
频谱	公共频段需申请	223~235 MHz 电力专有频谱,干扰较小
覆盖能力	城区:1 km 乡村:4 km	城区:3 km 乡村:30 km
系统峰值速率	上行:5 Mbit/s 下行:5 Mbit/s	上行:9.6 kbit/s 下行:9.6 kbit/s
电力业务适用性	无优先级设定、无定制终端、用户数量少	速率较低、无自主上报能力、无实时性保证
业务应用	数据采集、控制信息、视频监控	低速数传采集,控制信息
安全性	采用鉴权机制、空口不加密、系统安全性较低	没有加密技术、系统安全性低
并发用户数	每个扇区支持 512 个通信终端	采用轮询机制,时延较大

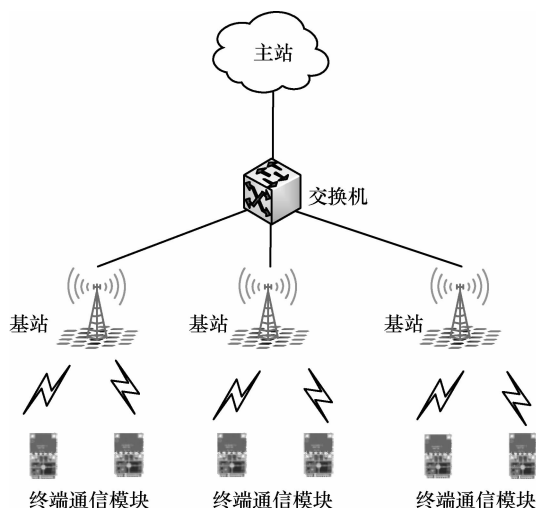


图 1 网络拓扑结构

在下行链路,主站可向下载发查询指令与管理指令,数据经过有线链路传送到基站,基站通过无线链路发送到终端的通信模块,再传到终端内部进行数据处理;在上行链路,终端将主站查询结果与采集所得的用电信息通过无线网络发送到基站,基站将数据经过有线链路转发到主站。在主站与终端进行数据交互的整个过程中,基站只具有数据转发的功能,并不具备数据处理功能。但基站具有对无线网络的组网、在网管理与所辖终端退网管理的主导权利。

2.2.1 主站系统

主站系统结构如图 2 所示。主站系统由应用服务器、前置服务器、数据库服务器、接口服务器等组成,主要完成业务应用、数据采集、协议处理、通信调度、数据库管理、运行管理、现场管理等功能,存储所有电力用户的电能信息,并与营销管理应用系统或其他业务系统接口。

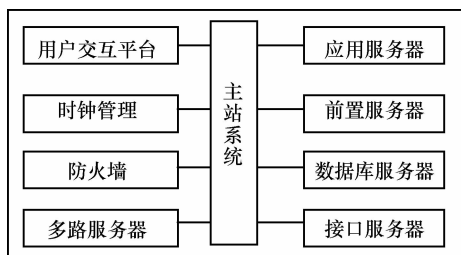


图 2 系统主站结构

2.2.2 基站设备

基站负责远端通信,其下行链路接收主站下发的管理信息,并通过无线信道转发给终端通信模块;上行链路接收终端通信模块通过无线信道发送的响应信息和采集数

据,并转发给主站。基站同时负责 230 MHz 无线通信系统的管理,包括终端通信模块的验证、入网、组网和退网等。

2.2.3 终端通信模块

终端通信模块负责本地通信,其下行链路接收接入设备通过无线信道转发的管理信息,并通过本地接口转发给终端电能模块;上行链路接收终端电能模块的响应和采集数据,并通过无线信道转发给接入设备。终端通信模块同时响应接入设备的通信系统管理指令,并根据需要支持智能路由功能。

3 通信系统功能

3.1 通信系统业务功能

通信系统业务功能介绍如下。

(1) 用电信息传输

在指定时间将终端存储的用电信息数据传送至主站;在限定时间内将所有用电数据传送完毕;保证通信过程的可靠性与实时性。

(2) 组网与网络管理

硬件设备上电后,基站对其所覆盖的所有终端的通信模块进行自动组网,并根据指定协议方式形成具有较高稳定性的无线网络。通信网络正常建立后,基站可以对相应终端进行监测与管理,在终端出现异常时,基站可强制其退网。在基站容量范围内,新增加的终端通信模块可实时地通过竞争时隙入网。

(3) 主站查询与控制

主站通过通信网络实时、定向地查询专变用户的用电信息,可以动态掌握终端设备在网络中的工作状态、物理属性等,实时控制终端通断电。主站通过通信网络掌握用户用电状态,并根据用电状态分析用户是否正用电。当用户欠费或者用电出现异常时,主站可及时进行相应处理。

3.2 基站功能

基站功能介绍如下。

- 定期接收终端发送的用户用电信息,并发送至主站。
- 对接入系统的终端以及无线资源进行管理,使用用电信息采集系统中的设备处于同步状态,实现了资源的合理利用,是用电信息采集系统得以正常工作的关键。
- 负荷监测、控制功能。根据上级要求,定时多播或广播配电指令,是实现用电信息采集系统有序供电、分时段用电的核心步骤。



- 数据处理功能。基站可以对数据进行简单处理,对于传输错误的数据,可以要求终端重传。通过此功能可避免到更高层判断数据传输的正确性,减小了网络传输的时延,提高了数据传输的可靠性。

3.3 终端通信模块的功能

终端通信模块的功能介绍如下。

- 终端通信模块在规定的时间内自动发送用电信息到基站,是用电信息采集系统实现远程抄表业务的重要条件。
- 终端通信模块将主站所发的配电指令数据从串口传入终端主板,终端主板再对其所控制的负荷进行控制,这也是用电信息采集系统完成负荷管理功能、电力调度业务,实现有序供电的最终执行步骤。
- 终端通信模块根据基站广播定期向基站发送自身的终端管理参数(如 IP 地址、MAC 地址等),是用电信息采集系统对接入网络终端和系统资源进行管理,实现系统自动巡检的关键条件之一。

4 基于 SGWM 的 230 MHz 无线宽带通信组网技术在用电信息采集系统中的应用

4.1 载波聚合复用技术

由于用电信息采集系统电力无线宽带所分配的频点较少、带宽较窄、频点离散分布,当一个小区的频点受到干扰时,无法自动实现频率调整,需要人工进行切换,工作量大,且不易实现,从而导致系统性能难以满足日益增长的电力系统高速无线通信的需求。为充分利用电力行业 40 个离散频点,用电信息采集系统考虑利用最新的载波聚合技术,在接入设备实现与多个频点的终端同时通信,终端通信模块支持多个频点间的切换,实现一个基站同时支持与多个频点的终端进行通信,以解决频带资源受限的问题,满足视频业务进行多子带传输的高速率特性,有效提高系统容量。

4.2 智能路由技术

在用电信息采集系统中,接入设备与隐藏终端的通信通过智能路由技术实现,接入设备下属的所有终端通信模块都应具有中继能力,各终端通信模块的中继级别与功能由实际链路环境确定。采集终端自动扫描可用频点信息,并根据基站指令自动切换工作频点。基站和终端的频点切换均是自动完成,不需人工到基站和终端现场进行调试设置,提高了用电信息采集系统的承载能力,达到扩大系统

服务规模的目的,为实现客户双向互动服务提供了技术支撑,极大地提高了用电信息交互的便捷性、实时性、准确性。

4.3 异频组网技术

为了适应 230 MHz 无线专网的数据传输业务具有的数据量小、突发性、用户数量多的特点,SGWM 接入网主要是无线基站,支持无线资源管理等功能,核心网支持用户认证、漫游等功能。用电信息采集系统的组网方式采用异频蜂窝组网方案,每个蜂窝组(簇)由 7 个蜂窝小区组成,每个蜂窝小区预先分配至少一个授权频点,使系统更好地实现主动上报,提升了信道的传输速率,增大了网络容量。

4.4 安全防护技术

由于 230 MHz 电台采用透明传输模式,无纠错能力和加密功能,要想实现纠错和加密,只能在采集终端或主站计算机上进行,使传输时延非常大,影响了系统的吞吐量,从而导致用电信息采集系统信息采集量巨大、覆盖面广、面临的安全隐患较多,威胁到电力系统的安全、稳定和经济运行。为了确保用电信息采集系统主站、通信信道和采集终端的安全,需要针对采集系统各环节可能存在的安全隐患,全面实施安全防护体系建设方案。系统主站要部署高速密码机,用于主站侧数据的加/解密,主要实现身份认证、密钥协商、密钥更新、关键数据的加/解密、MAC 计算和数据校验等功能;在专变采集终端、集中器和智能电能表中安装安全加密模块,用于采集设备与主站、智能电能表之间进行的身份识别、安全认证、关键信息和敏感信息安全传输,实现设备内部数据的加/解密,实现应用层数据的完整性、机密性、可用性和可靠性。

5 组网方案设计与分析

本文以蜂窝组网为例。从电力专用授权的 40 个离散频点来看,主要分布在 3 个相对集中的频段,分别是 15 对双工频点和 10 个单工频点。因此,组网方式比较灵活,如果考虑通过系统的频率复用以及容量来减小干扰,可以采用同频组网;如果考虑减小用户之间的干扰,可以考虑异频组网。

5.1 异频蜂窝组网方案

拟采用 7 小区蜂窝组织结构,即每个蜂窝组(簇)由 7 个蜂窝小区组成,每个蜂窝预先分配 4 个频点,其余 12 个频点备用。

理论上,使用同一频率的区域彼此相隔一定的距离(称为同频复用距离),就能使同频干扰抑制到允许的范围

以内。在实际的组网规划中,根据需要,可以选取不同的频率复用因子 N 。

如果把 40 个离散频点划分成 7 个频点集合 (每个包含 5 个或 6 个频点),每个基站使用 1 个频率集,基站同时使用 4 个频点与所辖的终端通信,终端只是用其中的 1 个频点,剩余的 1~2 个频点作为备用频点,在频点收到干扰时切换使用。此时组网方式的频率复用因子 $N=7$,如图 3 所示。

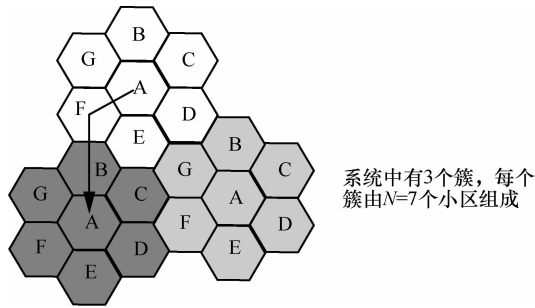


图 3 异频组网

图 3 中,A 小区对应的小区基站同时使用 4 个频点 (另有 1~2 个备用频点),终端使用的频点可以根据实际需求进行划分,但终端同一时刻只能使用该频率集内的一个频点。对于一个频点,基站与终端之间采用点对点(P2P)的通信方式,对于整个小区来说,基站与终端之间采用点对多点(PMP)的通信方式。

5.2 同频蜂窝组网方案

频率复用意味着在一个较大的区域内存在多个同频小区,其相互干扰称为同频干扰或同信道干扰(CCI)。同频干扰无法通过增大/减小发射功率来克服,因为增大发射功率虽能提高本小区的接收信干噪比,但会增大对相邻小区的同频干扰;反之,虽能减小对相邻小区的同频干扰,但也会降低本小区的接收信干噪比。一般采取的措施是保证同频小区必须相隔一个最小距离,为电波传播提供充分的空间间隔。

分析表明,如果小区大小和形状一样,各小区发射功率相同,那么同频复用比例 Q 与发射功率无关,而与小区半径 R 、最小同频小区间距 D 相关。

对于六边形蜂窝小区结构,同频复用比例 Q 为:

$$Q=D/R=\sqrt{3N}$$
 (1)

其中, N 为簇的大小(即簇中小区数)。

由式(1)可见, Q 值越大,同频小区间距和小区覆盖半径之比就越大,来自同频小区的辐射能量就越小,信干噪

比就越高,通信质量也越好;而 Q 值较小时,簇也小,意味着在覆盖范围中可容纳更多的簇,系统能获得更大的容量。因此,在设计蜂窝系统时,需要在同频干扰和系统容量之间进行权衡。

显然,如果电波传播路径无特殊变化,距离增加一倍,场强约衰减 12 dB。由此可以分析,下行场强 22 dBμV/m 衰减到 0 dBμV/m 时,电波传播路径约为有效覆盖半径的 4 倍。但山区地貌及城市建筑物密集区应考虑乘以 60% 的衰减,即电波传播路径为有效覆盖半径的 2.5 倍左右。

表 2 为小区覆盖半径与同频小区最小间距之间的关系参考,以此指导小区覆盖规划。

表 2 小区覆盖半径与同频小区间距之间关系

考虑衰落储备与否	小区覆盖半径/km	同频小区最小间距/km
考虑通信概率 90%	5	30
时有衰落储备	3	18
不考虑衰落储备	5	15
	3	11

对于 230 MHz 频点蜂窝系统,同频点基站之间的距离不小于基站覆盖半径的 4 倍即可,例如基站覆盖半径设定为 3 km 时,同频点基站之间的距离应大于 12 km。

比较同频、异频蜂窝组网方案,为了适应 230 MHz 无线专网的数据传输业务具有的数据量小、突发性、用户数量多的特点,用电信息采集系统的组网方式采用异频蜂窝组网方案,每个蜂窝组(簇)由 7 个蜂窝小区组成,每个蜂窝小区预先分配至少一个授权频点,使系统更好地实现了主动上报,提升了信道的传输速率,增大了网络容量。

6 试点应用及数据分析

基于 SGWM 的 230 MHz 无线宽带通信技术在国网福建省电力有限公司永春电力公司得到成功应用,接入 7 个试点小区,共 2 184 户,其中城东南街变电站、新安小区 25# 变电站、县农业局门口变电站和服务大厦门口变电站为窄带载波,君悦江山 2#、3#、5# 变电站为宽带载波。试点工程小区终端接入和召测情况见表 3。

7 结束语

针对现有 230 MHz 无线专网在用电信息采集系统应用中的不足,为满足智能电网互动化、智能化、实时性、可靠性的要求,提出了一种新型用电信息采集系统数据传输方案,并且进行了现场试验验证。试验结果表明,基于



表3 终端接入和召测情况

小区名称	地址	用户数/户	终端召测/s	透传召测/s
城东南街变电站	13644	169	0.2~1	1~2
君悦江山 2# 变电站	15799	411	0.5~2	2~4
君悦江山 3# 变电站	15797	297	0.5~2	2~4
君悦江山 5# 变电站	13774	441	0.5~2	0.5~2
新安小区 25# 变电站	13623	307	0.2~1	0.5~1
县农业局门口变电站	13669	280	0.2~1	0.5~1
服务大厦门口变电站	13702	279	0.2~1	0.5~1

SGWM 的 230 MHz 新型通信组网架构更符合电力无线专网需要,具有速度快、容量大、频谱资源利用效率大、通信成功率高的优势,提高了数据传输速率,增大了用户容量,提高了频谱资源利用效率,为采集系统的应用提供了新的数据传输方式,具有广阔的应用前景,满足用电信息采集系统全覆盖、全采集的应用要求,为加快推进用电信息采集系统和智能电网建设提供技术支撑。

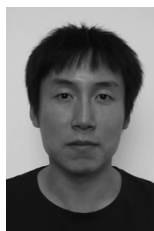
参考文献

- 刘振亚. 智能电网技术. 北京:中国电力出版社,2010
Liu Z Y. Smart Grid. Beijing: China Electric Power Press, 2010
- 张文亮,刘壮志,王明俊等. 智能电网的研究进展及发展趋势. 电网技术, 2009, 33(13): 1~11
Zhang W L, Liu Z Z, Wang M J, *et al.* Research status and development trend of smart grid. Power System Technology, 2009, 33(13): 1~11
- Anon. Advanced Metering Infrastructure. National Energy Technology Laboratory, 2008
- 苏鹏,彭建华. WiMAX 技术应用前景分析. 通信技术, 2007, 10(40):35~37
Su P, Peng J H. Analysis on technology an application of WiMAX. Communications Technology, 2007, 10(40): 35~37
- 魏笑笑,周政华. WiMAX 技术及其应用分析. 通信技术, 2009, 42(207): 98~102
Wei X X, Zhou Z H. Analysis on technology and application of WiMAX. Communications Technology, 2009, 42(207): 98~102
- 陈运生,付瞰. 无线宽带接入技术在配用电通信网中的应用. 电力系统通信,2010,31(6): 13~17
Chen Y S, Fu T. Application of wireless broadband access technology inpower distribution and utilization network. Communications for Electric Power System, 2010, 31(6): 13~17
- 姜海. 用电信息采集系统远程通信方案. 电力系统通信, 2010,31(2): 14~17
Jiang H. Scheme of remote communication in electricity utilization information collection system. Telecommunications for Electric Power System, 2010, 31(2): 14~17
- 梁波,韩云,杨毅. 230 MHz 无线组网技术在用电信息采集系统中的应用. Electric Power ICT,2013,11(11): 28~31
Liang B, Han Y, Yang Y. Application of the 230 MHz wireless communication technology in power consumption information collection system. Electric Power ICT,2013,11(11):28~31
- 徐光年. 230 MHz 电力无线宽带通信系统的建设与应用. 电力系统通信, 2012, 33(7): 23~24
Xu G N. Construction and application of 230MHz power wireless broadband communication system. Power System Communication, 2012, 33(7): 58~62
- 章欣. 智能用电与现代量测技术. 北京: 中国电力出版社, 2012
Zhang X. Smart Power Consumption and Modern Measurement Technology. Beijing: China Power Press, 2012

[作者简介]



董俐君,女,中国电力科学研究院工程师,主要从事用电信息采集系统、智能电网、高级量测体系等研究工作。



张芊,男,国网北京市电力公司工程师,主要从事缴费渠道建设、用电检查、电费管理等研究工作。

祝恩国,男,博士,中国电力科学研究院高级工程师,主要从事用电信息采集系统、智能电网、高级量测体系等研究工作。

刘宣,男,中国电力科学研究院工程师,主要从事用电信息采集系统、智能电网、高级量测体系等研究工作。