

# 电力 LTE 异频组网系统应用研究

姚继明, 黄 凤, 田文锋

(全球能源互联网研究院, 江苏 南京 210003)

**摘 要:** 截止目前, 电力系统已经在一些地区开展了 LTE 专网系统试点工程建设工作。试点工程应用的 LTE 系统包括 LTE230 系统和 LTE1800 系统, 主要采用单频组网的建设模式, 而工作在不同频段的 LTE 系统受频率等特性影响, 适应不同的应用场景, 不能完全满足电力系统的应用需求。为充分发挥不同系统的优势, 开展了 LTE230 系统和 LTE1800 系统的异频组网系统应用研究。考虑到电力系统有限的专用频段, 为提高频谱利用率, 给出了电力 LTE 系统双工模式选择建议和理由。在综合分析 LTE230 和 LTE1800 系统优缺点的基础上, 提出了基于两种 LTE 系统的异频组网架构, 研究了在此架构下基于蜂窝网络之间的负载均衡和基于 D2D 直连通信的业务分流方法, 并对异构系统的天线融合方法进行了简要介绍。此外, 结合电力系统的应用需求、LTE 系统特性和异构网络研究现状, 对两种 LTE 系统的异频组网方案在电力系统中的应用所存在的难点问题进行了探讨。

**关键词:** LTE230; LTE1800; D2D; 异频组网; 电力通信

**中图分类号:** TN925

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2017)03-0181-04

**doi:** 10.3969/j.issn.1673-629X.2017.03.038

## Research on Application of Anti-frequency Networking of LTE for Power System

YAO Ji-ming, HUANG Feng, TIAN Wen-feng

(Global Energy Interconnection Research Institute, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** So far, the electric power system has been carried out pilot projects of dedicated LTE network in some regions. The LTE system in the application of pilot projects includes LTE230 and LTE1800, and both of them are single-frequency networking in the network construction. However, different system has different application scenes according to the characteristic such as frequency, which cannot fully meet the application requirements of the power system. In order to give full play the advantages of different systems, the study on differ-frequency networking scheme of LTE230 system and LTE1800 system is conducted. Taking into account the limited frequency band of the power system, in order to improve the spectrum utilization, the advice and reasons of duplex mode selection are given. Based on the comprehensive analysis of the advantages and disadvantages of LTE230 and LTE1800 system, the differ-frequency networking architecture of the two systems are put forward, the service distributing method of load balancing between the cellular network and D2D direct communication service under the network architecture is studied, and antenna fusion scheme is introduced briefly. In addition, combined with the application requirements of power system, the characteristics of LTE system and the research status of heterogeneous network, the difficulty of differ-frequency network applied in electric power system is discussed.

**Key words:** LTE230; LTE1800; Device-to-Device; differ-frequency networking; electric power communication

## 0 引 言

电力终端通信接入网作为电力通信网络的重要组成部分, 为配电自动化、用电信息采集等业务的数据传输提供了重要支撑作用。由于电力业务的分布特点, 电力终端通信接入网具有覆盖范围广、通信节点分散、单位面积节点密度低等特点, 存在光纤、电力无线专

网、租用无线公网、载波等多种通信方式共存的局面<sup>[1]</sup>。

伴随着 LTE 标准的成熟和完善, 以及移动互联网时代全球移动数据业务每年倍增的爆发式增长, LTE 成为运营商和众多行业选择的主流技术演进方案。目前, 包括国内三大运营商、油田、矿山、交通、政务、电力

收稿日期: 2016-04-28

修回日期: 2016-08-11

网络出版时间: 2017-02-17

基金项目: 国家电网公司科技项目 (SGR1XJKJ[2015]349 号)

作者简介: 姚继明 (1987-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统无线通信技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170217.1632.072.html>

等行业都已经开展了 LTE 的网络建设工作<sup>[2-3]</sup>。将 LTE 技术作为电力终端通信接入网的重要接入技术,对电力系统具有重要的应用意义。目前,LTE 系统在电力行业应用的主要有基于 230 MHz 的 LTE 系统(简称 LTE230 系统)<sup>[4-8]</sup>和基于 1 800 MHz 的 LTE 系统(简称 LTE1800 系统)<sup>[9-12]</sup>,在浙江、江苏、河北、福建、青海等地进行了试点建设。LTE230 系统在郊区环境下覆盖距离可达数十千米,城区环境下覆盖距离可达三千米左右,并且在有树木遮挡、楼宇遮挡、室内、雨天、雾天等复杂环境下,具有良好的覆盖能力,有利于降低无线网络组网成本,但是系统受电力可用频率资源限制,可用带宽不大,难以支撑海量用户同时接入以及传输高速率业务数据。LTE1800 系统是基于标准 LTE 的系统,在行业中的应用与公网应用的区别主要在于使用频段不同,其构成产业链的芯片、系统、终端和测试四大环节与公网系统完全相同,相比较 LTE230 系统,技术成熟,可用带宽较大,可承载高速率业务,满足更多用户接入需求,但受高频率影响,系统覆盖面积不大,建网成本较高。

综合以上分析,LTE230 系统比较适合于解决广覆盖的问题,而 LTE1800 系统比较适合于热点覆盖问题,而在目前已经完成电力无线专网试点工程中,都采用了单频组网的建设模式,存在以上分析的问题。鉴于两种系统的优势互补性,将两种系统进行异频混合组网,对完善电力无线专网的质量,提高业务承载能力具有重要意义。在此背景下,开展两种系统的异频组网应用研究。

## 1 系统特性分析

### 1.1 频率分配情况

无线通信网建设最主要的制约因素是无线频率。电力系统要建设无线宽带专网,首先要解决的就是争取国家无线电管理部门的频段资源。根据国家无线频率管理政策,电力行业可使用的无线宽带频率主要有以下几个频段。

(1)230 MHz 频段。国家无线电管理委员会在 1991 年下发文件[(1991)国无管字 5 号],在关于电力负荷监控系统频率使用的批复中明确,指配给电力系统使用的频率在 223 ~ 231 MHz 频段。其中单向频率 10 个频点,双向频率 15 对频点,收发间隔为 7 MHz,每个频点宽带 25 kHz,共 1 MHz,具体分配情况见文献[13]。230 MHz 频段为国家无线电管理委员会分配给电力系统专用,可以减少频谱资源竞争,提高无线抗干扰能力,频率穿透能力强,覆盖范围广。

(2)1 800 MHz 频段。频率范围为 1 780 ~ 1 805 MHz,由各省、自治区、直辖市无线电管理机构负责审

批使用,以 5 M 为单位进行授权使用;一般采用临时授权使用方式使用无线频谱,到期后再进行续申;部分区域已分配给港口、机场等单位,频谱使用情况日趋紧张。

(3)ISM 频段。主要有 2.4 GHz 和 5.8 GHz 频段。该频段是非授权频段,用户竞争使用,一般用于短距离传输的无线传感网或局域网中,可用带宽大,但安全风险也较大,适合短距离高容量传输,可用于电力业务热点区域的数据分流。

考虑到文中主要是研究基于 LTE 的异频组网,ISM 频段不适合大面积组网,因此,只考虑 230 MHz 和 1 800 MHz 异频组网。

### 1.2 双工模式选择

从设备实现的角度来讲,TD-LTE 和 LTE FDD 相比,差别仅在于物理层软件和射频模块硬件(如滤波器),网络侧绝大多数网元可以共用,电力系统应用建议选择 TDD 的技术体制,主要有以下原因:

(1)国家政策因素。国家非常支持 TDD 技术的发展。工信部《关于重新发布 1785-1805 MHz 频段无线接入系统频率使用事宜的通知》指出专网系统采用时分双工(TDD)的工作方式。

(2)频率资源因素。相对于 FDD 模式的上、下行成对频率,需要保护带宽的要求,TDD 模式不需对等上下行频段,频率配置灵活。而且电力行业本身可申请利用的频率资源比较有限,使用 TDD 双工模式可保证较高的频谱利用率。

(3)电力行业因素。电力行业的业务数据流量与公网数据流量的特点截然相反,电力业务以上行业业务为主,呈现上行大、下行小的特点,FDD 支持非对称业务效率低,而 TDD 可以利用灵活分配时隙来支持非对称业务。

(4)技术因素。TDD 模式对智能天线有很好的支持,在电力行业的一些应用中,比如输电环节,使用智能天线可与通信覆盖需求相匹配;虽然 FDD 对移动性支持比 TDD 要好,但电力系统移动类的数据较少,主要是固定类的业务。

## 2 异频组网方案

### 2.1 组网架构

不同频段的无线通信系统具有不同的传播特性,频段之间相差的范围越大,其覆盖能力差异越大。目前 LTE 专网可用频段主要为 230 MHz、1 800 MHz 两个频段,其中 230 MHz 可用带宽只有 1 MHz,1 800 MHz 根据各地申请情况,通常可用带宽在 5 ~ 10 MHz 范围内。由于 LTE230 系统的覆盖范围要远远高于 LTE1800 系统,在广域覆盖方面优势较大,而 LTE1800 系统可用带宽较大,可支撑高速率的数据传输,在热点

覆盖方面优势较大。因此,结合两种系统的优势进行异频混合组网,其混合组网的网络架构如图 1 所示。

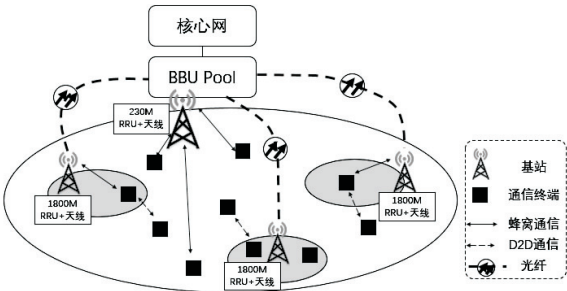


图 1 异频组网网络架构

图中,两种 LTE 系统共用核心网资源,这是因为不同于运营商的公网系统,电力专网 LTE 系统主要面对电力业务,基站数量不多。举例来说,一个地级城市,只需 10 套左右 LTE230 基站即可实现全城覆盖,另外配置数十套 LTE1800 基站覆盖业务热点地区,即可满足电力业务的应用需求。所以,按现有常用核心网设备硬件配置,一套核心网设备即可支撑一个城市的 LTE230 基站和 LTE1800 基站,为每种 LTE 系统建设独立的核心网资源性价比不高,因此可以对核心网资源共享使用,以便充分利用处理资源,降低系统建设成本。

基站类型采用常见分布式架构,包括中心单元 (Base Band Unit, BBU) 和远端单元 (Radio Remote Unit, RRU),两者之间通过电力光纤连接,根据实际业务的覆盖需求进行灵活部署。另外,不同于公网系统,电力专网系统的业务在线并发量不大,大部分业务都是周期性业务,BBU 不会一直处于满载状态,而且不同系统因为业务覆盖范围内接入的业务量不同,BBU 负载量也有所不同,而将两种系统的 BBU 部署在一起组成 BBU 池,可以共享部分基带处理资源,更有利于负载均衡。另外,对于 RRU 的部署,LTE230 系统是以实现广域覆盖为目标,LTE1800 系统是在 LTE230 系统的覆盖范围内进行部署,部署地区选择业务集中、业务数据量大的区域,满足了大部分业务的接入需求,通信终端可灵活选择不同的 LTE 系统进行接入,也即终端需是支持这两种系统的多模终端。

2.2 业务分流

2.2.1 蜂窝通信

通信终端通过授权频段与基站进行通信,因为有两种网络的覆盖,涉及到终端的网络选择问题。原则上,在 LTE1800 系统覆盖范围内的终端,优先选择与 1 800 MHz 的 RRU 进行通信,也可以根据负载均衡的需求,选择接入 LTE230 系统的 RRU,而不在该覆盖范围内的终端,可选择与 230 MHz 的 RRU 进行通信。但是,如果在 LTE1800 系统覆盖范围外的终端存在高速

率的业务传输需求,LTE230 系统受带宽因素限制无法满足需求,一种可行的方案是通过利用中继设备的方式,将该终端接入到 LTE1800 系统中,但该方案对中继设备的部署位置也比较固定,接入方式不够灵活。

2.2.2 D2D 通信

D2D (Device-to-Device) 通信是一种在系统的控制下,允许终端之间通过复用小区资源直接进行通信的新型技术。用户数据直接在终端之间传输,可以实现频率资源的复用,能够增加蜂窝通信系统频谱效率,降低终端发射功率,在一定程度上解决无线通信系统频谱资源匮乏的问题<sup>[14-17]</sup>。

基于该技术,可以利用终端之间的 D2D 通信技术来扩展 LTE1800 系统的覆盖范围。具体来说,利用 LTE230 系统的广覆盖特性,其覆盖范围内的终端接收系统指令,根据业务传输需求,与 LTE1800 系统覆盖范围内的终端通过多跳中继的方式建立 D2D 通信链路。如此以来,逻辑上扩大了 LTE1800 系统的覆盖范围,而且满足了 LTE1800 系统覆盖范围外的高速率传输需求的终端业务接入需求。该方式相对于架设中继设备的方式,中继方式更为灵活,且不增加系统成本。

另外,对于一些实时性要求不高的本地存储类数据,也可以利用 D2D 通信技术,将数据直接发送给附近的终端(比如巡检人员、无人机上部署的终端),减轻终端与基站之间的业务负载,提升系统容量,提高频谱利用率。

2.3 天线融合

对于天线融合,常用的有两种方式<sup>[18]</sup>,如图 2 所示。一种是采用宽频双通道天线结合合路器共用天线振子,适合于系统频段较为相近的场景;另一种是两种系统采用不同的天线振子和端口,外部组合共用天线罩,通过不同端口分别连接到两系统 RRU,该方式适用于两种系统频段间隔较远的场景。鉴于文中采用的是 230 MHz 和 1 800 MHz 频段,两者相距较远,因此,天线选择第二种融合方式。在实际的部署过程中,两种系统因为覆盖范围不同,当 RRU 相距较远时,选取独立建设天线的方式。

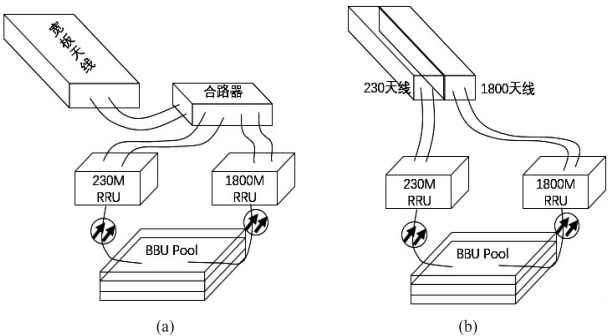


图 2 天线融合方式



### 3 关键难点问题

(1) 射频前端融合问题。从现有阶段的应用情况及产业链分析,两种系统在一段时间内还是共存的局面,短期内无法研发出同时支持这两个频段的 LTE 系统。因为两种频率相隔太远,对通信终端设备来说,设计出支持这两种频段的射频前端硬件、终端成本和体积方面都还存在难题。

(2) D2D 中继通信问题。需要开展两种系统共存条件下 D2D 辅助通信和合适中继策略研究,包括中继选择、路由选择等。另外,D2D 通信过程中涉及到的无线资源管理、干扰协调和不同系统之间的通信模式切换等问题也需解决。

(3) 异频网络交互问题。目前 LTE230 和 LTE1800 自成一套独立系统,而且 LTE230 系统根据 230 MHz 频段的分布特点,对物理层进行了较多的变动。因此,终端需要支持两种网络的物理层协议,必然会抬高终端的成本、功耗、处理能力等方面的需求,另外,终端面向不同的网络,需要根据电力业务特点,设计出自适应的网络接入机制。

(4) 业务安全隔离问题。因为电力系统的业务分为生产控制大区业务和管理信息大区业务,不同大区之间具有不同的安全防护要求,按现有规定,需要达到物理隔离的标准要求;因此,同一套系统接入不同的业务,如何区分和隔离不同业务也是重要问题。

### 4 结束语

结合电力系统的新业务需求和 LTE 技术的优越性,开展了小范围的电力 LTE 专网试点工作。结合现有的电力 LTE 专网的建设现状和实际运营效果,探讨了 LTE230 系统和 LTE1800 系统的异频组网问题,主要目的是充分发挥两种系统的技术优势,实现投资运营效果最佳化,同时考虑到频率资源和网络覆盖问题,研究利用蜂窝网络之间的负载均衡以及采用 D2D 直连技术来扩展覆盖范围和提高频谱效率的业务分流方法,最后结合技术发展现状和电力业务需求,对提出的异频组网系统还存在的一些关键问题进行了分析。综上,LTE 技术是近年来发展快速的先进无线通信技术,对多个行业的信息化发展提供了重要的支撑作用,电力系统也应该借此机遇,结合电力应用需求,充分发挥 LTE 技术优势,针对试点过程中发现的问题不断进行改进和优化,是建设电力 LTE 专网的必经之路。

#### 参考文献:

[1] 崔正杰,刘南杰,倪振华,等.基于协作传输的智能电网数据通信系统设计[J].计算机技术与发展,2015,25(7):91-95. 万方数据

[2] 刘巧平,李艳萍.正交频分复用技术及其在 4G 移动通信中的应用[J].计算机技术与发展,2014,24(11):238-241.

[3] 刘劲松,王鹏,金毅敦.TD-LTE 行业应用发展分析及建议[J].移动通信,2014,38(3):13-18.

[4] 周建勇,田志峰,李艳,等.广覆盖 LTE230 系统在电力配用电应用中的研究与实践[J].电信科学,2014,30(3):168-172.

[5] Cao Jinping, Liu Jianming, Zhang Yiyang, et al. Developing a power wireless private network based on TD-LTE technology for intelligent distribution networks[C]//International conference on automatic control and artificial intelligence. [s. l.]: [s. n.], 2012:890-893.

[6] 李金友,闫磊,齐欢,等.基于 LTE230 系统的电力无线通信专网研究与实践[J].电气技术,2014(1):132-134.

[7] 刘柱,赵明科,张京娜.基于基带拉远 LTE230MHz 的配电自动化通信系统设计[J].电力系统通信,2012,33(12):35-39.

[8] Guo Binlin, Han Luyun. Design and realization of intelligent load control terminal based on TD-LTE 230 MHz[C]//IEEE 16th international conference on communication technology. [s. l.]: IEEE, 2015:799-801.

[9] 王浩,袁宇清,容志能,等.TD-LTE 电力无线宽带系统多频混合组网研究[J].电力信息与通信技术,2013,11(8):24-30.

[10] Cao Jinping, Liu Jianming, Zhu Shaomin, et al. A wide coverage wireless communication scheme for the intelligent distribution network[C]//2012 world congress on information and communication technologies. [s. l.]: [s. n.], 2012:999-1003.

[11] 蔡根,张健明,杨大成.TD-LTE 电力专网 230MHz 与 1.8GHz 的研究[J].软件,2015,36(12):83-88.

[12] 徐长福,王小波,周超,等.面向应急通信的 LTE 电力无线专网应用研究[J].电力信息与通信技术,2015,13(1):27-31.

[13] 闫龙,王智海,祁兵.基于 GNU Radio 的 230MHz 多通道主站电台的设计[J].电力系统保护与控制,2010,38(9):100-104.

[14] 焦岩,高月红,杨鸿文,等.D2D 技术研究现状及发展前景[J].电信工程技术与标准化,2014,27(6):83-87.

[15] Jung M, Hwang K, Choi S. Joint mode selection and power allocation scheme for power-efficient device-to-device (D2D) communication[C]//IEEE 75th vehicular technology conference. [s. l.]: IEEE, 2012:1-5.

[16] Wang Bin, Chen Li, Chen Xiaohang, et al. Resource allocation for device-to-device communication underlying cellular networks; an alternating optimization method[J]. IEEE Communications Letters, 2015, 19(8):1398-1401.

[17] 王俊义,巩志帅,符杰林,等.D2D 通信技术综述[J].桂林电子科技大学学报,2014,34(2):114-119.

[18] 李正茂,王晓云.TD-LTE 应用与实践[M].北京:人民邮电出版社,2014.