

电力无线专网混合组网研究

邱书琦

国网新疆电力有限公司营销服务中心，新疆乌鲁木齐 830011

摘要：从电力无线专网在业务需求分析，可用频段选择，区域覆盖能力等方面特性出发，对比LTE230和LTE1.8G单频组网特点，提出三种不同的无线专网组网方式，同时讨论电力无线专网混合组网的建设策略，为电力无线专网的建设提供了参考建议。

关键词：无线专网；混合组网；电力通信

中图分类号：TM76;TN92

文献标识码：A

文章编号：1672-0164(2024)04-0010-04

1 引言

电力无线专网具有结构简单、带宽大、覆盖范围广、支持多种业务的特点，适用精准控制要求高、安全性要求高的应用场景。在建设中，为降低成本可以利用目前电力通信网、自有建筑、通信机房等自有资源开展电力无线专网建设。因此，为了契合能源互联网建设对电力通信业务的需求，电网公司开展电力无线专网的建设与应用这一发展趋势是必然的。《国网运检部关于做好“十三五”配电自动化建设应用工作的通知》规定，三遥终端原则上以电力光纤通信为主，在不具备光纤通信条件的场景下，应采用无线专网解决。因此，无线专网成为安全要求高和精确控制这两类业务接入的最佳解决方案，选择业务点密集分布的区域开展无线专网建设，能够取得高经济效益。2018年工信部印发《关于调整223-235MHz频段无线电频率使用规划的通知》，通过引用载波聚合和动态频谱共享技术实现多维度频谱共享，将非连续的频点整合成虚拟连续的频谱使用，将离散分布的频点实现逻辑上的聚合，提升频谱利用效率^[1]。近年来，无线专网在电力领域越来越受到重视，其具备高安全性和精准控制特点^[2-3]。电力无线专网旨在满足电力业务接入需求，提升电力系统终端通信接入网的接入能力^[4]。近年来研究者们提出了不同的无线专网组网方案：LTE异频组网^[5-6]，本地自组网^[7]。混合组网既能克服单一组网不能满足业务需求问题，也能解决单一网络覆盖范围和传输能力差的问题。2018年肖振峰^[8]等人利用LTE230系统和LTE1800系统混合组网试验，论证了混合

组网的可行性。目前，国网公司建设无线专网多采用LTE230或LTE1.8G单频组网，在特定区域实现一定范围覆盖的无线专网，由于不同频段基站所承载的业务有所不同，为扩大和提升单一频率组网的覆盖范围和网络传输能力，面对不同的业务需求可实现满足业务承载力，因此在电力无线专网系统规划中研究混合组网是很有必要的。

2 电力无线专网

2.1 业务分析

2.1.1 业务类型

根据国家电网对电力无线专网业务的规划和梳理，电力无线专网业务主要有4项基本业务和17项扩展业务，基本业务包括配电自动化、用电信息采集、分布式电源、电动汽车充电桩。扩展业务包括移动巡检、基建现场视频监控等。针对电力无线专网基本业务和扩展业务，分析单点平均速率、可靠性等特征，见表1。

表1 电力无线专网业务特征统计表

分类	业务名称	终端移动性	单点平均速率	可靠性	安全性
基本业务	用电信息采集	固定	215kbps	中	高
	配电自动化	固定	502kbps	高	高
	分布式电源	固定	18.9kbps	高	高
	电动汽车充电桩	固定	0.3kbps	中	高
扩展业务	移动巡检	移动	512kbps	低	中
	基建现场视频监控	固定	2M-4M	低	中
	配电设备/环境状态监测	固定	2.24M,含视频图像	中	中

2.1.2 业务带宽需求和终端分布

230MHz 基站与 1.8GHz 基站都可以满足配电自动化、用电信息采集等单点数据量小的业务需求。LTE230 系统具有可用频点数量多、覆盖范围广、专用网络信道高且安全性强等特点，在一定区域内可以满足电网中配用电环节的用户信息采集、配电网自动化等业务的实时、高可靠的通信需求，但 LTE230 技术带宽较小，无法满足大颗粒度数据需求。LTE1.8G 通信系统具有高带宽，吞吐量大，传输速率高等特点，不但能满足配电自动化、用电信息采集等单点数据量小的业务需求，而且能满足智能巡检、视频监控与移动办公业务等单点数据量大的业务需求，但存在覆盖范围小、功耗高的缺点。

考虑业务终端的分布，配网自动化与用电信息采集业务分布较分散，特别是在农村 C 类和 D 类供电区域，终端分布较分散，而且用电负荷密度低，上行速率低。而智能巡检、视频监控与移动办公业务分布较集中。在城市 A 类和 B 类供电区域，终端分布比较集中，用电负荷密度大，带宽需求大^[9]。

综合分析基本业务和扩展业务的带宽需求和业务分布情况，在组网中应优先考虑用 230 MHz 基站承载分布范围广、带宽需求小的配网自动化、用电信息采集业务；用 1.8GHz 基站承载分布集中、带宽需求大的视频监控、移动办公等业务。

2.2 频段选择

目前国内 TD-LTE 电力无线专网主要采用 230MHz 或 1.8GHz 单频组网，建设中最主要的制约因素是无线频率。

LTE230MHz 频段是电力特定专用的频段资源，并且电力行业独占 1MHz 带宽共计 40 个授权频点的频带资源，并且频率点均是离散的。传输速率为 1.76Mb/s，具有覆盖广、传输距离远、绕射能力强，功耗低的优点，但也有穿透能力弱、速率低的缺点。

LTE1.8G 频段是由交通运输、电力、机场等多个行业共用，需向无委会申请使用，电力行业可以申请上行速率可达到 18Mb/s，下行速率可达到 10Mb/s，实际吞吐率大约为 30% 的 5M 频段宽度。优点是传输速率高，但传播损耗大，覆盖能力弱。

2.3 基站信号覆盖分析

在信号覆盖规划中，最重要的信号覆盖评估指标是参考信号接收功率和参考信号信噪比。参考信号接收功率（RSRP）指测试带宽内，接收到的信号功率的平均值。阈值为 RSRP>-115dBm。参考信号信噪比（RS-SINR）指全频段测试得到的参考信号信噪比。阈值为 RS-SINR>-3dB。LTE1.8GHz 频段设备，采用 cost231-hata 传播模型计算其覆盖范围，在密集市区和非密集市区的室外平均覆盖半径为 1.36km 和 1.65km。LTE230MHz 频段设备，采用 Okumura-

Hata 传播模型计算其覆盖范围。在密集市区和非密集市区的室外平均覆盖半径为 7.11km 和 8.66km^[10]。通过对比可以看出，230MHz 系统单基站覆盖范围大于 1.8GHz 系统，密集市区的覆盖范围大于非密集市区。通过在供电公司测试并验证了 LTE230MHz 基站覆盖范围，主要分析验证了参考信号接收功率和参考信号信噪比这两个覆盖性能指标，验证结论是供电公司 LTE230 无线专网最远覆盖距离可达到 8km 的覆盖范围。

3 无线专网混合组网

3.1 单频组网

在电力无线专网建设初期，由于无委会审批的频段受限，资金受限或者试点建设条件下，宜采用单一频段 LTE230 或者 LTE1.8G 组网方式。230MHz 频段组网适用于用电信息采集、配网自动化等小流量，分布广的业务。1.8GHz 频段适用于视频监控、移动办公等大流量、终端集中的业务。单频组网网络结构图 1 所示：

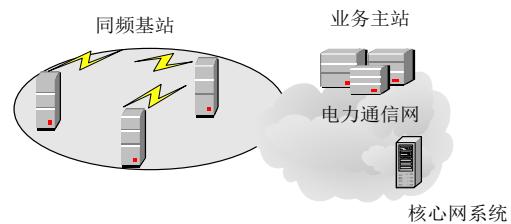


图 1 单频组网网络结构

3.2 1.8GHz 和 230MHz 频率异址组网

根据不同的供电区域特点或业务需求分布特征，在不同区域建设不同频段基站。根据区域特点划分：1.8GHz 基站建设在业务节点集中、数据流量大、建筑遮挡严重的城市区域；230 MHz 基站建设在业务分散、数据流量小、建筑间隔开阔的郊区或农村区域。根据各类型业务流量分布的特点，230 MHz 频率系统带宽、最大传输速率和最大吞吐量有限，它只能满足小数据量的业务承载需求，如用电信息采集业务。1.8 GHz 频率系统适用于分布集中、带宽需求大的视频监控、移动巡检等业务。由于 1.8GHz 和 230MHz 无线通信系统的不兼容性，1.8GHz 和 230MHz 需要在不同站址上分别配置一套单频段的基站设备，同时还需配置两套独立的无线核心网系统与网络管理系统。1.8GHz 和 230MHz 频率异址组网网络结构如图 2 所示：

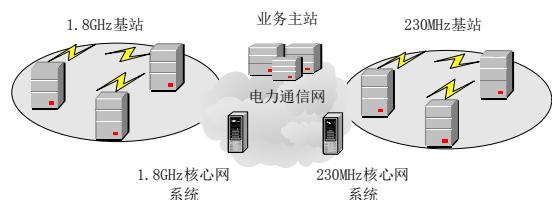


图 2 1.8GHz 和 230MHz 频率异址组网网络结构

3.3 1.8GHz和230MHz频率同址组网

在同一站址建设两套基站：230MHz基站与1.8GHz基站。考虑到1.8GHz频段基站可满足高带宽，传输速率高，但覆盖范围较小。230MHz基站传输速率低，但覆盖范围大。可将1.8GHz基站用于承载大流量和集中分布的移动办公、视频监控等业务；230MHz基站承载小流量、业务分布较分散的配电自动化、用电信息采集等业务。同时需配置两套独立的无线核心网系统与网络管理系统，因此成本较单频组网会有成倍地提升，但也有较大优势：它可以充分利用现有的频段、站址资源，达到业务承载能力最优。与此同时，不同频段的两套基站共用站址，共享传输和电源等资源，节省投资，网络统一建设、管理，便于优化管理。

1.8GHz和230MHz频率同址组网网络结构如图3所示：

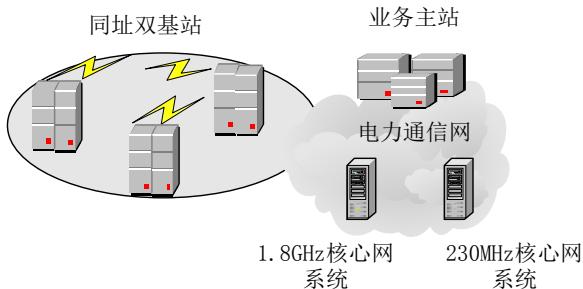


图3 1.8GHz和230MHz频率同址组网网络结构

4 混合组网建设策略分析

4.1 频段制约

频段是电力无线专网建设的首要考虑因素，只有申请获批1.8GHz频段才可以考虑是否可以采用混合组网的方式。原则上新建电力无线专网使用230MHz频段，采用LTE-G230MHz、IoT-G230MHz技术，原有使用1.8GHz频段的无线专网扩建可采用原频段，拟采用频段在项目建设前期必须取得无线电管理机构的频率使用许可，使用有效期宜为5年。对于230MHz电力行业有1M的授权频段，1.8GHz频段需要向无委会申请，需审批后才可使用。例如乌鲁木齐1.8GHz频段已被乌鲁木齐城轨集团于2017年申请获批使用，其他行业就无权使用该频段，因此，该区域供电公司建设电力无线专网只能选择230MHz的单频组网方式。

4.2 业务制约

230MHz频段仅有1M的可用带宽，仅能满足带宽需求小的配网自动化、用电信息采集业务。带宽需求大的视频监控、移动业务需4M带宽，只能使用可用带宽大的1.8GHz频段。例如某供电公司有视频监控的业务需求，那么在有视频监控的业务需求的区域考虑建设1.8GHz基站，其他仅有用电信息采集和配网自动化业务需求的区域可选择建设230MHz基站，或者也可以采用1.8GHz和230MHz频率异址组网方式。

4.3 网络性能和成本制约

单频组网投资最节省，例如建设单频段基站成本大约250W，包括一套基站建设68万元，一套网管设备78万元，一套核心网71万元。其性能受单频段的限制，只能承载有限类型的业务，单频组网性能较多频组网性能差。1.8GHz和230MHz频率多频组网投资成本较高，需建设两套基站，两套核心网和两套网管，成本大约是单频段基站两倍，但性能最优，能最大程度发挥多频段承载的业务资源。

4.4 电力无线专网建设方向

以业务为导向，差异化开展组网，在规划建设电力无线专网要考虑不同区域电网发展水平、业务需求、系统规模差异，合理确定建设标准和规模^[1]。无线专网以承载控制类业务为导向，控制类业务优先采用无线专网通信方式，同时覆盖区域内增量固定无线采集类业务和活动范围限于覆盖范围内的移动类业务优先采用无线专网承载，存量业务随业务终端的更新改造逐步迁移至无线专网承载。需考虑信号传播过程中的各种路径损耗、链路平衡，确定每个基站理论覆盖面积，进而估算建设区域内满足覆盖需求的最小基站数量，同时要考虑到地形地貌、可利用站点分布、备用等因素导致实际站点数量至少N+1配置，考虑到理论覆盖面积，精准负荷控制类应用的边缘速率应不少于22.4Kbps，理论上下行吞吐量宜为10Mbps。在建设初期，优先考虑开展试点工作，宜在城市区域建设1.8G基站，在县、乡等农村区域建设230M基站，针对带宽、传输速率和覆盖面积结合业务需求开展混合组网应用。在单频组网试点建设逐步完善后，建议在城市区域补充建设230M基站，在县、乡等农村区域补充建设1.8G基站，实现多频混合组网方式，进一步提升电力无线专网的网络性能和业务承载能力。

5 结语

电网企业在推进电力无线专网开发建设中，需充分考虑本地区实际情况，按照单频组网到多频混合组网的思路开发。首先，在建设初期开展试点工作，投入较少成本按照单频组网方式建设，优先实现广覆盖的薄网，以试验网络性能与业务承载情况；在单频组网试点建设逐步完善后，可考虑在不同供电区域分别进行多频混合组网建设，以扩大覆盖范围和提升混合组网性能为目标，最终实现能最大程度满足业务承载需求的电力无线专网。

参 考 文 献

- [1] 赵宏昊,毕庆刚,卢斌,等.电力无线专网在智能电网中的创新应用[J].电力信息与通信技术,2019,17(1): 110-115.
- [2] 罗芳.基于深度学习的电力无线专网优化[D].北京:华北电力大学(北京),2021.
- [3] 熊耀伟,周群志,娄丽华.源网荷储接入电力无线专网方案探讨[J].江西通信科技,2020(4):3. (下转第38页)

优轨迹规划[J].太阳能学报,2022,(04):283–287.

[10] 李国洪,王远亮.基于B样条和改进遗传算法的机械臂时间最优轨迹规划[J].计算机应用与软件,2020,(11):215–223.

[11] 何建成,李林升,林国湘.基于多目标粒子群算法工业机械臂最优轨迹规划[J].制造业自动化,2021,(2):57–62.

作者简介

第一作者: 王鑫亮 (1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 智能机械臂技术及应用。

Time-Jerk–Optimal trajectory planning for robot manipulator

WANG Xinliang, FENG Yingbin

School of Automation and Electrical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China

Abstract: In order to improve the efficiency of the robot manipulator and reduce the jerk during its movement, a time-jerk optimal trajectory planning method based on a MOPSO (Multi-Objective Particle Swarm Optimization) algorithm is proposed. Aiming at the discontinuity problem of the position, velocity, acceleration and jerk of each joint, the interpolation trajectory is constructed by quintic B-spline functions. The penalty function method is used to transform the optimization problem with constraints into an unconstrained problem, reducing the computation time of the algorithm. The Pareto fronts is kept well-distributed by calculating the aggregation density between solution sets. After obtaining the uniformly distributed Pareto solution set, the maximum–minimum normalization method is applied to each of the two objectives to eliminate the effects of different dimensions in the selection of solutions. Finally, the accuracy of the proposed method is verified by simulation, which provides a theoretical reference for the trajectory optimization of the robot manipulator.

Keywords: B-spline, MOPSO, Trajectory planning, Trajectory optimization, Pareto optimum solution

○
(上接第 12 页)

[4] 仲立军,施敏达,俞涯,等. LTE-G 230 电力无线专网组网研究与探索[J].农村电气化,2020(02):47–51.

[5] 姚继明,黄凤,田文锋.电力LTE异频组网系统应用研究[J].计算机技术与发展,2017,27(3):4.

[6] 叶仁召.LTE混合网络异频空闲重选参数优化研究[J].通信技术,2015,48(6):6.

[7] 孙晨,童军民,张俊,等.电力230 MHz无线本地自组网技术研究与应用[J].电力信息化,2019,017(011):51–56.

[8] 肖振峰,伍晓平,任浪,等.电力无线专网混合组网的测试与实现[J].电气应用,2018,37(23):5.

[9] 李元九,林明福,张宏坡,等.电网企业LTE无线专网建设若

干问题探讨[J].电力信息与通信技术,2017,15(2):80–85.

[10] 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.

[11] 王哲,赵宏大,朱铭霞,等.电力无线专网在泛在电力物联网中的应用[J].中国电力,2019,52(12):26–37.

作者简介

邱书琦 (1991—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 电力通信、电能计量。

Research on hybrid network of power wireless private network

QIU Shuqi

Marketing Service Center of State Grid Xinjiang Electric Power CO.Ltd., Urumqi 830011, China

Abstract: Starting from the analysis of business requirements, available frequency band selection, and regional coverage capacity of power wireless private networks, this article compares the characteristics of LTE230 and LTE1.8G single frequency networking, proposes three different wireless private network networking methods, and discusses the construction strategy of mixed power wireless private network, providing reference suggestions for the construction of power wireless private networks.

Keywords: Wireless private network, Hybrid network, Electric power communication