



泛在电力物联网典型场景无线网络规划

马跃, 李炳森, 胡全贵

(北京国网信通埃森哲信息技术有限公司, 北京 100032)

摘要: 提出泛在电力物联网无线网络规划方法, 充分分析多种无线技术体制在覆盖、容量、组网模式等方面的特点与不同, 并论证其对不同泛在电力物联网应用场景的适配性, 为泛在电力物联网的组网提供依据, 全面支撑泛在电力物联网的建设。

关键词: 泛在电力物联网; 网络规划; 专网; LPWA; 5G

中图分类号: TP391

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019282

Wireless network planning of typical SG-IoT

MA Yue, LI Bingsong, HU Quangui

Beijing SGITG—Accenture Information Technology Co., Ltd., Beijing 100032, China

Abstract: A SG-IoT wireless network planning method was proposed, the characteristics and differences of multiple wireless technology systems were analyzed in terms of coverage, capacity, networking mode, etc., and its adaptability to different SG-IoT applications was demonstrated. A basis for the SG-IoT and comprehensively support the construction of the SG-IoT was provided.

Key words: SG-IoT, network planning, private network, LPWA, 5G

1 引言

国家电网公司在 2019 年两会报告中提出了“三型两网”的战略目标^[1], 泛在电力物联网是其重要组成, 泛在物联又是泛在电力物联网的基础。泛在物联是指任何时间、地点、人、物之间的信息连接和交互^[2]。泛在电力物联网是泛在物联网在电力行业的具体表现形式和应用落地^[3]; 泛在电力物联网将电力业务相关的设备、终端、用户连接起来, 共享数据。

网络建设, 规划先行。泛在电力物联网建设前需要对各种技术体系、电力业务应用场景充分分析, 本文重点讨论在何种电力业务场景使用何种无线技术, 以高质量的网络支撑泛在电力物联网的建设。

2 泛在电力物联网技术分类

本节重点讨论无线物联网技术, 包括电力无线专网、运营商公网、LPWA (low power wide-area) 技术等。

2.1 电力无线专网

电力无线专网是根据国家批准电力部门使用的 230 MHz 频段建设的无线专网,最多 7 MHz 带宽频率可供使用,主要包括 LTE-G 230 MHz 和 IoT-G 230 MHz 两种技术体制。

2.1.1 LTE-G 230 MHz 系统技术简介

LTE-G 230 MHz 系统是基于 TD-LTE 系统,结合电力频谱资源特点及电力业务定制开发的专用无线通信系统。

由于电力行业频谱资源是由多个离散的 25 kHz 频率组成的,LTE-G 230 MHz 系统提出离散窄带载波聚合技术,将离散的频段聚合起来,支持 280 个子载波(7 MHz)聚合,实现宽带传输。

2.1.2 IoT-G 230 MHz 系统技术简介

IoT-G 230 MHz 系统是基于 NB-IoT 系统,结合电力频谱资源特点及电力业务定制开发的专用无线通信系统。与 LTE-G 230 MHz 系统类似,IoT-G 230 MHz 系统也支持 25 kHz 离散频段载波聚合,支持窄带和宽带的业务。

在网络规划方法上,LTE-G 230 MHz 系统、IoT-G 230 MHz 与蜂窝移动通信系统相同,由于是自建系统,需要考虑业务需求、站址资源、地理环境等多种因素。

2.2 运营商公网

2.2.1 无线虚拟专网

无线虚拟专网是运用运营商当前已经建好的公网资源,包括 GPRS、LTE 等,使用 APN(access point name)、VPN(virtual private network)等技术,并结合安全策略,承载采集类电力业务,在逻辑上实现专网。

2.2.2 5G 网络切片

网络切片是 5G 关键技术,典型特征是控制面与用户面分离、功能模块化、虚拟化、可隔离等。5G 端到端的切片涉及接入网、传输网和核心网等多个网络设备,在接入网中主要采用灵活帧结构及业务调度来实现切片,支持 DU(distributed

unit)、CU(centralized unit)分离以及 CU 的云化部署^[4-5],而在传输网中主要根据业务需求选择承载的切片。在核心网采用云化技术,对核心网切片的编排部署进行简化^[6]。端到端切片的编排管理,结合自动化和 AI 等技术,逐步实现切片的自动开通和智能保障^[7]。

相对于无线虚拟专网,5G 网络切片从网络性能、安全等方面都有很大的提升。

2.3 LPWA 技术

LPWA 即低功率广域网络,泛在电力物联网主要涉及 LoRa 和 NB-IoT 两种技术。

2.3.1 LoRa 技术简介

LoRa 采用基于扩频技术的超远距离无线传输方式,提供了一种简单的能实现远距离、低功耗、大容量的系统^[8]。LoRa 基于非授权频谱,在国内,LoRa 工作频段主要是 470 MHz。

LoRa 为非蜂窝物联网技术,网络架构较简单,一般为传感器、网关组成的自组网^[9-10]。

2.3.2 NB-IoT 技术简介

NB-IoT 即基于蜂窝的窄带物联网,覆盖距离较长,是 LTE 系统的简化版。NB-IoT 采用 200 kHz 超窄带设计,FDD 工作模式覆盖能力强、成本较低、支持大连接、不支持语音,适合对速率要求不敏感的业务^[11]。

在国内,NB-IoT 主要为运营商建设,行业单位一般不自主建设。

3 泛在电力物联网无线网络规划方法

3.1 规划方法概述

泛在电力物联网无线网络规划是泛在电力物联网建设运营之前的关键步骤,指根据实际的无线传播环境、电力物业情况、电力业务需求多种因素,从“网络覆盖、容量需求、网络质量、建设成本”等多方面对网络进行宏观配置。本文充分考虑了无线频率、技术体制、电力业务终端等特点,研究了泛在电力物联网无线网络规划方法。



泛在电力物联网无线网络规划分为承载业务需求分析、泛在电力物联网规模估算、泛在电力物联网站址规划、泛在电力物联网网络仿真、工程参数规划 5 个阶段，详细如图 1 所示。

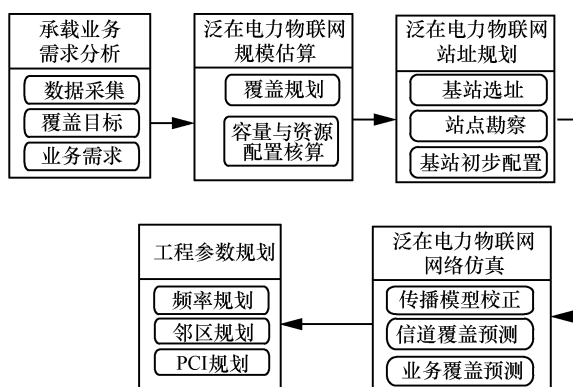


图 1 泛在电力物联网无线网络规划流程

3.2 承载业务需求分析

承载业务需求分析是泛在电力物联网无线网络规划的基础。不同电力业务的带宽需求、时延要求、并发率、安全性要求等不尽相同；同时，不同电力业务的地形地貌环境、部署位置等也存在较大差异。需要根据承载业务需求选取最适合的无线系统，并合理地规划系统架构和设备位置，才能更好地满足泛在物联网建设目标。

承载业务需求需要收集的数据包括：

- 电力业务的地形地貌环境信息；
- 拟覆盖区域面积；
- 终端数量及预测未来新增终端数量；
- 前期无线系统现状；
- 电力物业信息。

3.3 泛在电力物联网规模估算

泛在电力物联网规模估算的目的是从无线信号覆盖和网络容量两个角度分别测算需要建

设的站点数，取两者的较大值为泛在电力物联网的网络规模。一般建设前期，侧重覆盖目标，容量需求较小，随着终端（用户）数量的上升及其对速率要求的提升，后期逐渐向容量目标倾斜。

覆盖目标和容量目标都需要满足，根据计算结果判断是容量受限还是覆盖受限。

3.3.1 泛在电力物联网覆盖预测

泛在电力物联网覆盖预测的目的是计算不同场景下不同技术体制无线信号的传播能力，从而计算出覆盖角度的容量规模。

泛在电力物联网中不同无线技术的载频、发射功率、接收灵敏度等差异较大，需要分别分析不同技术体制的覆盖能力。本文从最大连接损耗和无线传播模型两个角度进行分析。

(1) 最大连接损耗

最大连接损耗即 MCL (maximum coupling loss)，是无线信号发射端到接收端允许的最大路径损耗。不同无线技术体制的设备发射功率、终端接收灵敏度等各不相同，导致 MCL 差异较大^[14]。不同无线技术体制 MCL 的参考值见表 1，不同设备的终端厂商存在一定差异，实际工程中需要在需求分析阶段收集到准确数据。

(2) 无线传播模型

无线信号在室内外传播时，由于传播损耗原因，直接影响传播距离。传播损耗受地形、地貌、载波频段等影响。根据无线传播特性构建适合的传播模型，对传播损耗进行准确的预测，是泛在物联网无线网络规划的重要环节。工程建设中多采用经验模型进行计算。不同频段适用不同的传播模型，不同传播模型的适用范围见表 2。

表 1 最大连接损耗

对比项	230 MHz 无线专网	1 800 MHz 无线专网	5G	NB-IoT	LoRa
最大连接损耗/dB	144	144	164	164	157

表2 无线传播模型适用范围

传播模型名称	适用频段/MHz	适用技术
Okumura-Hata	150~1 920	230 MHz 无线专网、LoRa
Cost-231Hata	1 500~2 000	1 800 MHz 无线专网
3GPP Uma/ Rma	500~6 000	5G

传播模型计算公式如下。

Okumura-Hata:

$$PL(dB)=69.55+26.16\times\lg f-13.82\times\lg h_b-a(hm)+[44.9-6.55\times\lg h_b]\times\lg d+C$$

Cost-231Hata:

$$PL(dB)=46.3+33.9\times\lg f-13.82\times\lg h_b-a(hm)+[44.9-6.55\times\lg h_b]\times\lg d+C^{[15]}$$

3GPP Uma 适用于城市, 3GPP Rma 适用于乡镇、农村。

3GPP Uma:

$$PL(dB)=161.04-7.1\lg W+7.5\lg h-(24.37-3.7(h/h_{BS})^2)\lg h_{BS}+(43.42-3.1\log_{10}(h_{BS}))(\lg d_{3D}-3)+20\lg f_c-(3.2(\lg 17.625)^2-4.97)-0.6(h_{UT}-1.5)^{[16]}$$

3GPP Rma 公式将 3GPP Uma 公式中的 $(3.2(\lg 17.625)^2-4.97)-0.6(h_{UT}-1.5)$ 改为 $(3.2(\lg 11.75 h_{UT})^2-4.97)$ 。

Hata 传播模型公式含义及建议数值见表 3。

表3 Hata 传播模型公式含义及建议数值

公式项	含义	取值
f	载频/MHz	230、470、1 800
h_b	基站天线挂高/m	35
h_m	终端天线挂高/m	1.5
d	基站到终端距离/km	待计算数据
C	调整因子(无单位)	0~3

3GPP Uma/ Rma 传播模型公式含义见表 4。

计算传播距离时, 传播距离为未知量, 其余为已知量, PL 直接代入最大连接损耗。将频率、PL、基站高度、终端高度等数值带入传播模型公式中, 则可倒推出传播距离。

表4 3GPP Uma/ Rma 传播模型公式含义

公式项	含义	取值
f_c	中心频率/GHz	2.6
h_{BS}	基站的实际高度/m	35
h_{UT}	UE 的实际高度/m	1.5
d_{2D}	基站与 UE 的地面水平距离/m	待计算数据
d_{3D}	基站与 UE 的空间距离/m	待计算数据
W	街道宽度/m	20
h	场景建筑物平均高度/m	20

根据以上建议值, 可计算各技术体制覆盖距离参考值, 详见表 5。

表5 泛在电力物联网无线通信覆盖距离参考值

网络制式	覆盖半径/km			
	密集市区	市区	郊区	农村
230 MHz 专网	1.58	2.05	2.86	13.38
1 800 MHz 专网	0.81	0.98	1.09	1.14
LoRa	0.92	2.04	2.33	10.74
NB-IoT	2.01	2.61	3.64	22.49
5G	0.60	0.75	1.36	1.65

注: 实际工程建设中, 各厂商设备参数有一定差异, 此处重点介绍计算过程和方法, 计算结果为参考值, 工程建设可根据实际情况调整。

覆盖距离可理解为基站覆盖半径(R), 覆盖面积需要根据蜂窝网络/非蜂窝网络特点计算。

- 蜂窝网络的单站覆盖面积为: $1.95\times R^2$ (3 个六边形面积)。
- 非蜂窝网络的单站覆盖面积为: $\pi\times R^2$ (1 个圆形面积)。



表 6 泛在电力物联网容量需求预测

项目	依据及计算方法
业务类型	采集频率依据、单链路带宽需求等依据泛在电力物联网中的业务上下行峰值速率要求
业务名称	
采集频率	
带宽需求	
带宽需求取定/(kbit·s ⁻¹)	kbit/s
现有业务终端密度/(个·km ⁻²)	根据目标覆盖区域的实际终端分布进行测算 (N 个/km ²)
满足期末业务增长系数	考虑电力业务的增长, 需要根据电力业务发展情况给出增长系数 (a%)
满足期末业务终端密度/(个·km ⁻²)	(1+a%)×N
容量需求 MAX/(Mbit·(s·km ²) ⁻¹)	Σ(1+a%)×M×N
业务并发系数	根据业务并发情况进行测算, 给出业务同时发生的可能性 (b%)
综合容量需求预测/(Mbit·(s·km ²) ⁻¹)	Σ(1+a%)×M×N×b%

蜂窝网络可实现覆盖区域的连续覆盖, 非蜂窝网络在不重复覆盖的情况下, 无法实现无缝连续覆盖。所以在覆盖目标为连续覆盖的工程项目时, 建设采用蜂窝网络建设。蜂窝/非蜂窝网络组网具体示意如图 2 所示。

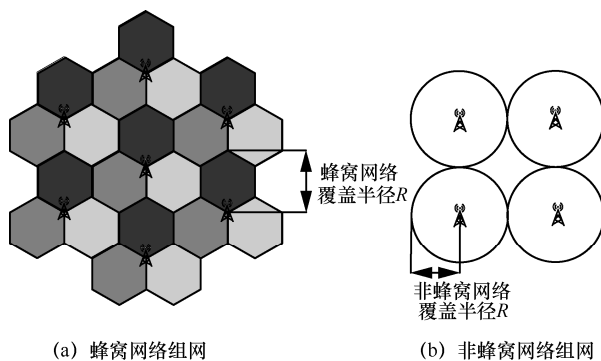


图 2 蜂窝/非蜂窝网络组网示意

根据求出的单站覆盖面积和前期统计出的拟覆盖区域面积, 则可求出覆盖角度计算出的基站数量: 覆盖角度计算出的基站数量=拟覆盖区域总面积/单站覆盖面积。

3.3.2 泛在电力物联网容量测算

泛在电力物联网容量测算的目的是计算出拟建设区域内的容量需求, 包括当前容量需求测算

和未来容量需求测算。新建设的无线网络设备需满足容量需求。拟覆盖区域综合容量需求预测计算依据见表 6。

综合容量需求预测的结果为拟覆盖区域内的总带宽需求。

3.3.3 泛在电力物联网覆盖与容量分析

限制无线设备建设规模的有两方面: 覆盖和容量。根据第 3.3.1 节计算出的建设规模只考虑了覆盖角度, 这个计算结果是否满足第 3.3.2 节的容量需求还需根据无线设备的峰值速率进一步计算。

单站峰值速率见表 7。

表 7 单站峰值速率

网络制式	单站峰值速率
230 MHz 专网 (7 MHz 载频)	14 Mbit/s
1 800 MHz 专网 (5 MHz 载频)	11 Mbit/s
LoRa	37.5 kbit/s
NB-IoT	250 kbit/s
5G	1 Gbit/s

注: 在实际工程建设中, 各厂商备参数有一定差异, 此处为参考值, 工程建设根据实际情况调整

覆盖角度计算出的基站数量 $\times$ 单站峰值速率是否大于综合容量需求预测的结果,若大于则不需要增加基站,覆盖角度计算出的基站数量则为泛在电力物联网的规模;若小于,则业务终端密度高的地方增加设备数量,增加后的总数量为泛在电力物联网的规模。

3.4 泛在电力物网站址规划

根据第 3.3 节完成的泛在电力物联网规模估算,确定基站选址方案,基站工程参数配置,以完成泛在电力物网站址规划。在选址方案周边选取距离最新的电力物业位置,原则上,实际电力物业位置与基站选址方案距离 <500 m,若 500 m 内没有合适的电力物业,则在该方案地址采用新建杆塔方式。

基站工程参数配置建议值如下。

(1) 天线挂高

- 1) 密集市区的天线挂高建议区间为 30~35 m;
- 2) 一般市区或郊区的天线挂高建议区间为 35~40 m;

3) 农村的天线挂高可根据情况选择大于 40 m,以获得较大的覆盖范围。

(2) 天线方位角

蜂窝网络初步配置方案为 0、120°、240°,非蜂窝网络为全向天线。

(3) 天线下倾角

下倾角建议值为(天线挂高/10)+1°。

3.5 泛在电力物联网网络仿真

泛在电力物联网网络仿真通过软件进一步评估规划方案是否可以满足覆盖及容量目标,对不

满足建设目标的区域,则需对规划参数进行调整,以满足建设要求。

泛在电力物联网网络仿真流程如图 3 所示。

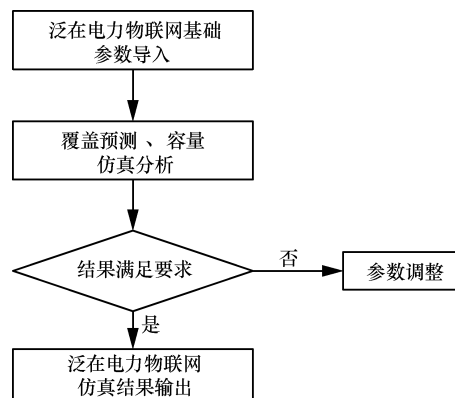


图3 泛在电力物联网网络仿真流程

工程参数输入:拟覆盖区域地图、无线技术体制、天线类型、站点信息、电力业务信息等参数输入。

仿真运算:根据导入的工程参数,通过仿真软件运算,得到初步仿真结果,初步仿真结果与目标相比较(参见表 8),如果满足覆盖目标与容量目标,将输出仿真结果,如果没有满足目标,则调整基站位置、下倾角等工程参数,重新仿真运算,直到仿真结果满足目标。

仿真结果输出:输出的结果供泛在电力物联网实际建设中参考使用。

3.6 泛在电力物联网工程参数规划

泛在电力物联网工程参数规划主要考虑频率规划问题,其他参数可根据仿真结果和工程实际情况进行微调。频率规划方面,泛在电力物联网只能使用国家批准的频段,频谱资源较少,主要

表 8 覆盖目标指标建议值

对比项	覆盖指标 (95%概率)		覆盖指标 (90%概率)		小区边缘用户上行接入速率不低于/(kbit·s ⁻¹)
	A+, A 类地区	B、C 类地区	A+, A 类地区	B、C 类地区	
参考信号接收功率	-115	-115	—	—	9.6
RSRP 门限/dBm					
信干噪比 SINR 门限/dB	—	—	-3	-3	



需要考虑频率干扰问题。

泛在电力物联网频率规划见表 9。

表 9 泛在电力物联网频率规划

网络制式	组网方式	抗干扰机制
230 MHz 专网 (7 MHz 载频)	同频组网	设置边缘保护频带
1 800 MHz 专网 (5 MHz 载频)	同频组网	设置边缘保护频带
LoRa	同频组网	动态跳频
5G	异频组网	异频组网可有效消除同频干扰

4 泛在电力物联网无线技术适配分析

4.1 泛在电力物联网无线技术参数比较

通过第 3 节泛在电力物联网无线网络规划方法中计算的相关结果,统计出各网络制式技术参数对比,具体见表 10。

通过泛在电力物联网无线技术参数对比可知,不同网络制式差异较大,需要针对不同泛在电力物联网场景,选用不同的技术体制。

4.2 泛在电力物联网应用场景分析

4.2.1 控制类应用场景

对于控制类电力业务,优先建议采用蜂窝专网。控制类对网络安全性、稳定性、时延要求较高,根据第 3 节分析结果,230/1 800 MHz 专网较适合此类场景。5G uRLLC 虽然一定程度上满足控制类业务要求,但 5G uRLLC 标准尚未完全冻结,后续 5G 成熟后,可试点应用 5G 网络切片技术,探索其适配性。

由于控制类业务一般较为集中,所以采用 230/1 800 MHz 专网建设时,宜对有需要的区域进行有针对性的覆盖。

4.2.2 采集类应用场景

230/1 800 MHz 专网,由于蜂窝组网、发射功率大、峰值速率大等特点,比较适合对室外型的电力业务进行宏覆盖,解决覆盖的广度问题。例如室外型的直采用电信息采集终端等。解决深度覆盖宜选用 LoRa、NB-IoT、230/1 800 MHz 专网光纤拉远等技术。

LoRa 相对 230/1 800 MHz 专网的最大连接损耗有一定增强,组网较灵活,带宽较小,比较适用于室内型本地通信网的场景,例如部署在小区楼道内的采集终端。由于 LoRa 采用非授权频段、非蜂窝网络、同频组网等特点,应尽量避免在室外型、安全属性较高的电力业务场景中应用。

NB-IoT 在运营商公网资源的授权频段上蜂窝组网,技术上可实现室外无缝覆盖。NB-IoT 允许的最大连接损耗最大,是比较理想的深度覆盖的网络制式。由于公网属性、带宽较低等特点,NB-IoT 比较适合带宽要求不高的采集类业务。例如在线式电力资产实物 ID、采集周期较低的用电信息采集终端等。

5G eMBB 和 mMTC 场景,分别试用大带宽、高连接的电力应用场景。5G eMBB 可优先在视频监控、移动作业等大带宽电力业务场景中试点应用;5G mMTC 待标准冻结、商用后可在大规模连接的电力业务场景应用,例如在线式电力资产实

表 10 泛在电力物联网无线技术参数对比

网络制式	组网形式	最大连接损耗/dB	覆盖距离(市区)/km	峰值速率
230 MHz 专网	蜂窝网络	144	2.05	14 Mbit/s
1 800 MHz 专网	蜂窝网络	144	0.98	11 Mbit/s
LoRa	非蜂窝网络	157	2.04	37.5 kbit/s
NB-IoT	蜂窝网络	164	2.61	250 kbit/s
5G	蜂窝网络	164	0.75	1 Gbit/s

表 11 泛在电力物联网应用场景分析对比

网络制式	覆盖策略	典型应用场景
230 MHz 专网	采集类广度覆盖, 对控制类区域针对性加强覆盖	三遥、用电信息采集等
1 800 MHz 专网	采集类广度覆盖, 对控制类区域针对性加强覆盖	三遥、用电信息采集等
LoRa	深度覆盖	室内型采集终端
NB-IoT	深度覆盖	室内型采集终端、在线式电力资产实物 ID 等
5G eMBB	针对性覆盖	高清视频监控、移动作业等大带宽业务
5G uRLLC	针对性覆盖	三遥、馈线自动化等控制类业务
5G mMTC	针对性覆盖	在线式电力资产实物 ID 等大连接业务

物 ID、采集周期较低的用电信息采集终端等。5G 目前属于试商用阶段, 建设成本较高, 不宜进行广覆盖, 对有需求的电力业务场景进行针对性覆盖即可。

泛在电力物联网应用场景分析对比见表 11。

5 结束语

泛在电力物联网无线网络规划是建设泛在电力物联网之前的重要步骤, 何种业务场景使用何种无线技术直接决定泛在电力物联网的网络质量。本文中提出的泛在电力物联网无线网络规划方法, 充分分析电力无线专网、5G、NB-IoT、LoRa 等无线技术体制在覆盖、容量、组网模式等特点与不同, 并论证其对控制类、采集类等不同泛在电力物联网应用场景的适配性, 为泛在电力物联网的建设提供了一定的参考。

参考文献:

- [1] 刘早. 泛在电力物联网解析[EB]. 2019. LIU Z. Analysis of SG-IoT[EB]. 2019.
- [2] 谢昌荣, 曾宝国. 物联网技术概论[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2013. XIE C R, ZENG B G. Introduction to technology of internet of things[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2013.
- [3] 袁瑜, 王英, 张课. 物联网在电力通信网中的应用[J]. 通讯世界, 2017(9): 70-71. YUAN Y, WANG Y, ZHANG K. Application of IoT in power communication network[J]. Telecom World, 2017(9): 70-71.
- [4] 潘志伟. 基于 SDN 的网络切片中资源动态调整的方法[J]. 软件, 2017(12): 136-142. PAN Z W. The method of resource dynamic adjustment in network slice based on SDN[J]. Computer Engineering & Software, 2017(12): 136-142.
- [5] ZHOU X, LI R, CHEN T, et al. Network slicing as a service: enabling enterprises' own software-defined cellular networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2016(7): 121-122.
- [6] SADIA D, ANAND P, ABDUAL R. 5G-enabled hierarchical architecture for software-defined intelligent transportation system[J]. The School of Computer Science and Engineering, 2018(11): 10-11.
- [7] 薛淼, 朱斌, 符刚. 移动核心网网络虚拟化研究与探讨[J]. 2013 年中国通信学会信息通信网络技术委员会年会论文集, 2013: 103-107. XUE M, ZHU B, FU G. Research and discussion on mobile core network virtualization[J]. Journal of China Institute of Communications. 2013: 103-107.
- [8] 胡晓娟, 张园, 夏旭, 等. 基于 SDN 融合的虚拟化移动核心网研究[J]. 电信科学, 2013, 29(9): 51-54. HU X J, ZHANG Y, XIA X, et al. Research on the SDN-based and virtualized mobile control network[J]. Telecommunications Science, 2013, 29(9): 51-54.
- [9] 王毅鸿, 凌朝东. 基于 LoRa 的无线数据传输系统的设计与研究[J]. 电脑知识与技术, 2018(14): 27-29. WANG Y H, LING C D. Design and research of wireless data Transmission system based on LoRa[J]. Computer Knowledge and Technology, 2018(14): 27-29.
- [10] 龚天平. LORA 技术实现远距离、低功耗无线数据传输[J]. 电子世界, 2016(10): 115-117. GONG T P. Long-distance and low-power wireless data transmission based on LORA[J]. Electronics World, 2016(10): 115-117.
- [11] GUO L, FAN J, WEN M, et al. Joint optimization of LoRa and spares stocks considering corrective maintenance time [J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2015(1):



- 85-95.
- [12] 崔新凯. 物联网关键技术及建网策略研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2018(1): 89-92.
- CUI X K. Research on the key technologies for internet of things and networking strategy[J]. Telecom Engineering Techniques and Standardization, 2018(1): 89-92.
- [13] 戴国华, 余骏华. NB-IoT 的产生背景、标准发展以及特性和业务研究[J]. 移动通信, 2016(7): 25-26.
- DAI G H, YU J H. Research on NB-IoT background, standard development, characteristics and the service[J]. Mobile Communications, 2016(7): 25-26.
- [14] 3GPP. Narrowband internet of things (NB-IoT); technical report for BS and UE radio transmission and reception (Release 13): TR 36.802, 2016: 28[S]. 2017.
- [15] 李新. TD-LTE 无线网络覆盖特性浅析[J]. 电信科学, 2009, 25(1): 43-47.
- LI X. Coverage characteristics of TD-LTE network[J]. Telecommunications Science, 2009, 25(1): 43-47.
- [16] 陆军. 基于无线传感器网络的人体行为识别系统中若干问题研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2006.
- LU J. Study on several issues in the human activity recognition system based on wireless sensor networks[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2006.
- [17] 张延华, 段占云, 沈兰, 等. Okumura-Hata 传播预测模型的可视化仿真研究[J]. 电波科学学报, 2001(1): 89-92.
- ZHANG Y H, DUAN Z Y, SHEN L et al. Okumura-Hata radio propagation models using visual simulation[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2001(1): 89-92.

- [18] 3GPP. Study on 3D channel model for LTE (Release 12): TR 36.873 V12.7.0 [S]. 2017.

[作者简介]



马跃 (1988-), 男, 北京国网信通埃森哲信息技术有限公司高级工程师、业务策划总监, 主要研究方向为泛在电力物联网、电力无线通信技术等。



李炳森 (1975-), 男, 北京国网信通埃森哲信息技术有限公司高级工程师、业务策划总监, 主要研究方向为泛在电力物联网、信息化管理等。



胡全贵 (1983-), 男, 北京国网信通埃森哲信息技术有限公司高级工程师、总工程师, 主要研究方向为泛在电力物联网、IT 咨询等。