



基于 Monte-Carlo 仿真的 4G 网络感知规划方法

黄小光, 董俊华, 王丰, 汪伟

(华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310014)

摘要: 借鉴国内机构对用户感知研究成果, 建立业务感知空口速率保障门限标准; 对 Monte-Carlo 仿真技术进行研究, 提炼得出感知仿真规划中用户分布模型及业务模型的设计方法, 在此基础上给出具体的仿真规划分析思路。以某区域实际规划为案例, 通过对比规划前后的业务感知速率及业务接通成功率发现, 基于仿真进行感知规划的方法应用可行、效果良好, 具有很好的推广价值。

关键词: 4G; 用户感知; Monte-Carlo; 仿真; 网络规划; 容量

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017081

4G network perception planning method based on Monte-Carlo simulation

HUANG Xiaoguang, DONG Junhua, WANG Feng, WANG Wei

Huaxin Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310014, China

Abstract: Based on the research results of Monte-Carlo simulation technology, the service-aware air port rate guarantee threshold was established. Based on the research of Monte-Carlo simulation technology, the design method of user distribution model and business model in perceptive simulation planning was obtained, and on the basis of this, the specific simulation planning analysis ideas was given. Taking the actual planning of a certain area as an example, the method of perceived planning based on simulation was feasible and effective, and it had good promotion value by comparing the business perceived rate and service success rate before and after the planning.

Key words: 4G, user perception, Monte-Carlo, simulation, network planning, capacity

1 引言

4G 网络从覆盖广度看, 目前已经实现城区、县城、乡镇场景的连续覆盖以及农村、干道、景区场景的有效覆盖^[1]; 从覆盖深度看, 连续覆盖区域正进一步解决深度覆盖不足的问题; 从覆盖厚度看, 部分业务热点区域逐步通过扩容方式增加更多可用频率资源, 提升网络带宽。在此背景

下, 一方面, 用户使用移动互联网业务变得更加频繁, 同时一些新的创新型业务也应运而生, 网络、用户、业务三者之间的关联越发紧密; 另一方面, 4G 网络用户以及业务量的增长对网络高质量的要求带来新的挑战。因此, 未来规划人员需要更多地关注如何打造一张既能满足用户接入需求, 又能保障业务感知优良的精品 4G 网络^[2,3]。

那么问题来了, 业务使用感知怎样量化; 什

收稿日期: 2017-03-02; 修回日期: 2017-03-23

么样的业务感知才算优良；如何将业务感知与网络规划关联起来；感知规划如何实现；规划后是否达到感知预期，又该如何评估？为解开诸多疑问，本文从业务感知出发，建立感知门限标准，借助仿真手段，研究基于 Monte-Carlo 仿真的感知规划技术方法，在此基础上结合实际规划案例进行感知评估验证，从而提炼出一套完整的感知可量化、感知可规划、感知可观察、感知可评估的 4G 网络感知规划方法，为 4G 网络规划及评估提供技术参考。

2 Monte-Carlo 仿真概述

2.1 业务感知建模

感知即用户使用互联网业务的总体感受，通常情况下，业务接入时延可以作为一个反映用户使用业务感知的核心指标，为此，国内有机构跟踪用户对不同业务及不同接入时延长短的反应，从业务接入时延角度量化用户的业务使用感知^[4,5]。然而，在无线网络规划中，业务接入时延指标并不方便直接用于指导规划，网络规划中更关注的是用户的业务下载速率大小、小区容量大小、网络资源的需求等指标。为了更好地对 4G 网络进行感知保障规划，需要建立感知时延与业务感知速度之间的关联，因此，4G 感知规划研究中可建立业务感知样本空间矩阵 M 为：

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & \cdots & S_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

其中， $T_i (i=1,2,\dots,m)$ 表示第 i 个感知时延保障标准， $S_j (j=1,2,\dots,n)$ 表示第 j 种类型的互联网业务，元素 r_{ij} 表示第 i 个感知时延标准 T_i 内第 j 种业务 S_j 的空口感知保障速率。

业务感知时延 T_i 设定：根据国内机构跟踪大量用户在使用移动互联网业务时，不同的业务接

入时延下用户的反应，可以定义出 4G 网络感知体验等级，具体见表 1。

表 1 移动互联网业务感知时延等级

T_i	2 s	3 s	5 s	8 s
4G 感知级别	超感	优质	良好	一般

当业务等待时延 $T_i < 3$ s 时，上网体验非常优良； $T_i < 5$ s 时，业务使用良好，用户专注力处于出现分散临界点；而 $T_i < 8$ s 时，业务能用，但感知非常差，因此 4G 网络感知保障的业务时延阈值建议定义在 3 s 和 5 s^[6,7]。

业务类别 S_j 设定：移动互联网业务种类繁多，从网络的视角看，不同的业务会有不同的业务粒度大小（单次或者单位时间内的业务数据量、业务使用频度等），因此，可以把具有相似粒度大小的业务进行归类处理，再结合各分类业务的比重，从而定义出 S_j 。采用大数据对现有运营业务分析发现，Web、视频、IM 3 类业务整体流量占数据业务总流量的比重达到 80% 以上，因此，为便于 4G 规划，可以将以上 3 类以外的其他所有业务统一定义为其他类，即业务分类 S_j 最终可以划分为 4 类。

业务感知保障速率 r_{ij} 门限设定：视频业务可以结合业务流程，通过理论分析与实际验证测试的方式获取不同时延下的业务使用速率感知门限，对 Web、IM 及其他类业务，可通过大量样本测试数据进行归纳总结，得出其速率感知门限，以地区业务速率感知测试为案例，最终建立 4 类业务的感知速率 r_{ij} 的门限样本矩阵 M 为：

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Web} & \text{视频} & \text{IM} & \text{其他} \end{matrix} \\ \begin{matrix} 3 \text{ s} \\ 5 \text{ s} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1.45 & 3.42 & 0.26 & 0.52 \\ 1.02 & 2.81 & 0.13 & 0.27 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

由此，下文以 3 s 感知保障时延为参考，进一步研究如何利用 Monte-Carlo 仿真进行感知规划。

2.2 容量仿真流程

容量仿真可以模拟用户发起不同业务的速率情况及小区总体特性，在采用 Atoll+5 m 精度地图+CrossWave 实现高精度覆盖仿真的基础上，只



要能建立与现网相吻合的用户及业务分布模型，便可借助容量仿真方式来评估用户的业务感知效果及小区加载业务后的资源状态，从而实现基于容量仿真进行 4G 网络业务感知保障规划^[9]。容量仿真及感知规划的总体流程如图 1 所示。

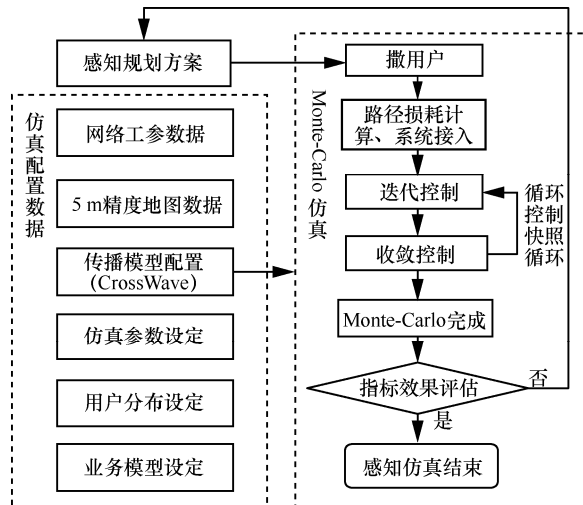


图 1 感知保障 Monte-Carlo 仿真流程

由于容量仿真是对用户的模拟，为提升仿真效果的可靠性及准确性，仿真前建议根据设计图纸对工参数数据进行修正，并使用高精度地图及可靠度更佳的射线传播模型；同时，容量仿真前需要完成覆盖仿真评估，优先确保覆盖效果与现网相当。

3 仿真建模思路

3.1 用户分布建模

无线网络用户分布主要有室外以及室内两种环境，室外用户密度与室外地物类型有一定关系（诸如道路上用户分布多于其他空旷区域），仿真时室外可以设计为一个用户密度模型，通过设置不同地物的用户权重则可；而室内用户分布与楼宇结构、楼宇物理功能定位均有关。

为更好地研究室内用户分布，定义指标单用户面积表征某场景内平摊到每个用户的覆盖面积，通过抽取各场景内多个不同的典型楼宇作为样本，分析抽样楼宇内目前的 4G 用户分布，由点及面，建立不同场景的单用户面积模型，具体计算式如下：

$$S_{\text{Area_per_subscription}} = \frac{S_{\text{Area_of_scenario_sample}}}{N_{\text{subscription_of_scenario_sample}}} \quad (3)$$

其中， $S_{\text{Area_per_subscription}}$ 为单用户面积； $S_{\text{Area_of_scenario_sample}}$ 为某场景内采样楼宇的总体建筑面积； $N_{\text{subscription_of_scenario_sample}}$ 为某场景采样楼宇的 4G 用户数。

以某省为例，结合楼宇功能及业务特点将整个规划区划分为 20 个一级场景（33 个二级场景），再基于每个细分场景抽取多个不同的典型楼作为建模样本，得到单用户面积指标结论见表 2。

表 2 某省室内场景单用户面积结论

一级场景	二级场景	单用户面积/(m ² ·个 ⁻¹)
火车站	火车站	50
汽车站	汽车站客运站	45
机场	大型机场	70
码头	客运码头	80
会展中心	会展中心	30
写字楼	写字楼	40
酒店	星级酒店	80
	连锁酒店	70
高校	宿舍楼	40
	食堂	65
	教学楼	40
	教职工宿舍	100
	大型场馆	60
	图书馆	70
中小学	中小学	55
医院	门诊楼	35
	住院部	50
	后勤楼	90
政府机关及事业单位	办公楼	150
	住宅楼	120
商场	商场	45
	超市	40
	集贸市场	40
	电子卖场	40
工业园区	厂区	150
	宿舍楼	80
企业	办公楼	100
餐饮服务	餐饮服务	60
娱乐场所	娱乐场所	60
住宅楼	住宅楼	100
别墅区	别墅区	200
城中村	城中村	70
旅游景区	旅游景区	300

表3 某区域用户分布建模方法参考

仿真用户模型建立		单用户面积/(m ² ·个 ⁻¹)	场景建筑面积/km ²	覆盖用户数/人	场景用户密度/(个·km ⁻²)
室内场景	场景 1	40	0.047 47	1 187	25 000
	场景 2	65	0.323 32	4 974	15 385
	...	...	...	...	...
	场景 N	100	1.045 55	10 456	10 000
室外场景	室外道路		3.044 09	6 965	2 288
合计		156	18.676 59	30 178	5 630

单用户面积确定后,根据各楼宇的建筑面积(利用 5 m 精度电子地图可获取占地面积及楼高,楼层数=楼高/层高)及楼宇对应的场景归属,确定不同室内场景的用户密度计算式如下:

$$N_{4G_subscription} = 1\,000 \times 1\,000 \times \frac{S_{Area_of_structure}}{S_{Area_per_subscription}} \quad (4)$$

$$P_{Subscription_density} = \frac{N_{4G_subscription}}{S_{Area_of_structure}} \quad (5)$$

其中, $N_{4G_subscription}$ 为场景内总的 4G 覆盖用户数; $S_{Area_of_structure}$ 为某一室内场景内所有楼宇总建筑面积; $S_{Area_per_subscription}$ 为单用户面积; $P_{Subscription_density}$ 为容量仿真采用的用户密度。

根据以上分析,可以最终得出室内外户分布模型配置方法参考见表 3。

因此,可以将表 3 中场景用户密度作为用户分布仿真配置设计模型。

3.2 业务模型设计

与业务模型相关的几个典型指标:业务渗透率,为使用某个业务的人数比例;业务并发率,为某一时刻不同业务的并发比例;会话次数,在使用过此业务的人群中,指定时间内使用业务的次数;会话流量,每次使用该业务所消耗的上下行流量与总流量;会话数据传输时间,每次使用该业务的持续时间,即业务使用时长。

业务模型综合反映移动网络各类业务量大小、业务使用频度等综合特性,它与用户使用业务的行为、用户套餐、数据资费等都息息相关,因此,业务模型会随着网络发展、业务变化、用

户业务使用程度动态变化,在分析得出当前业务模型后,规划仿真前需要对业务模型进行一定提前量的预测,业务模型计算及预测总思路如图 2 所示。

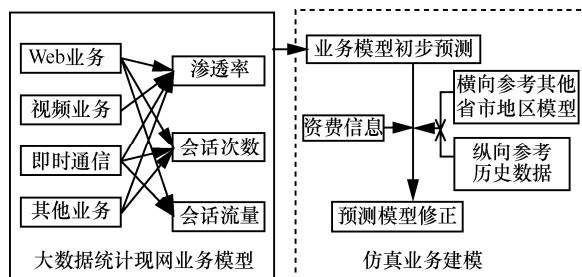


图2 单用户业务模型分析预测思路

根据以上预测思路,以某省近期不同月份的业务数据分析为例,首先得出当前 4G 网络的业务模型(渗透率、会话次数(体现并发率)、每次会话的上下行业务数据量),通过对模型进行预测和修正,最终得出仿真规划目标期内的业务模型。为更利于将业务模型应用在仿真工具上,按业务模型仿真配置要求把业务模型转换为上下行平均速率请求指标,结合前文定义的感知门限,仿真结果见表 4。

3.3 感知扩容规划

分析 Monte-Carlo 仿真用户使用业务连接失败的成因,可以定位出用户所在服务小区的覆盖、容量及质量状况,当信号质量较差时表现为接入失败(无服务),当无线资源不足以支持最低接入速率时,会表现为接入失败(资源饱和),因此,可根据不同的业务失败成因制定不同的规划方案,感知扩容规划具体流程如图 3 所示。



表 4 业务模型仿真配置结论

业务	上行业务感知保障 速率/(kbit·s ⁻¹)	下行业务感知保障 速率/(kbit·s ⁻¹)	单业务 并发率	会话 次数/次	上行会话 流量/KB	下行会话 流量/KB	上行平均速率 请求/(kbit·s ⁻¹)	下行平均速率 请求/(kbit·s ⁻¹)
Web	145	1 450	3.64%	7.36	80	400	89	444
视频	342	3 420	0.73%	1.48	380	4 700	444	4 444
IM	26	260	4.24%	8.57	50	250	56	278
其他	52	520	1.38%	2.79	100	150	111	167

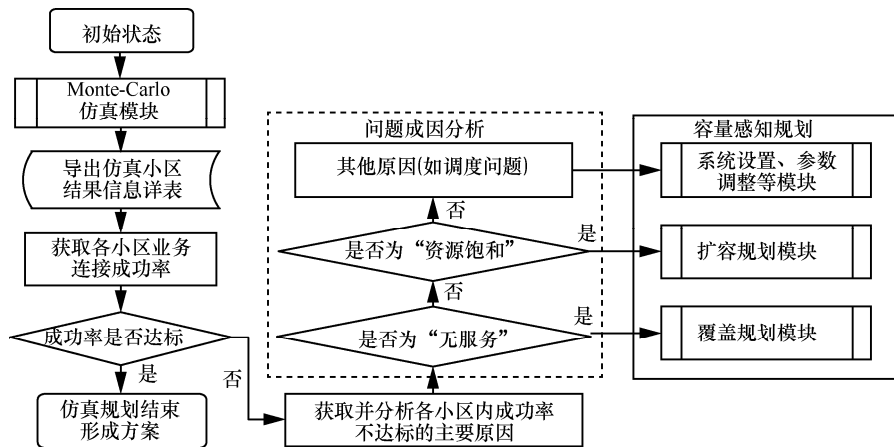


图 3 结合仿真的感知扩容规划流程

感知保障主要体现在覆盖不足的分析调整以及容量不足的资源补充两个方面：对于覆盖问题，需要优先定位覆盖不足的成因，优先考虑优化调整工参的可行性，再根据弱覆盖区域大小，灵活采用宏微结合、室内外协同的方式进行规划；对于容量问题，需结合不同场景（如城区、农村），制定不同的扩容方案：比如城区容量需求空间大，优先考虑异频扩容，其次考虑带内扩容；而农村场景容量需求空间小，优先进行带内扩容，其次异频扩容，可节约投资。

4 仿真规划成果案例

从上文分析可知，Monte-Carlo 容量仿真不仅可以评估当前网络容量及业务体验效果，同时也可以预测模拟扩容规划后的指标情况，以某区域 Monte-Carlo 仿真进行感知保障为例，通过 Monte-Carlo 仿真获取现网资源不足、调度不足、无覆盖和无业务的用户及小区信息。针对这部分问题小区，采用参数优化、覆盖补盲和载波扩容等手段进行

感知规划，进一步仿真评估规划后用户业务感知速率及业务接通成功率指标是否均达到目标预期，同时验证容量仿真在 4G 网络感知保障规划中的应用效果。

某验证区主要为高校场景，区域面积 4.97 km²，现有 4G 物理站点 42 个，逻辑小区 227 个，采用 F 及 D 频段 20 MHz 进行组网，仿真中参数设定与现网保持一致，主要典型参数配置如下：上下行时隙配比 SA2(1:3)；特殊时隙配比 F 频段 SSP6(9:3:2)，D 频段为 SSP7(10:2:2)；RS EPRE 发射功率位于 9.2~15.2 dBm 区间内，按各站点提取到的实际功率进行配置；天线据实选用智能 8 通道双极化天线，应用双流波束成形技术；业务模型按照表 4 进行设置，设定参数主要包括业务保障接入速率及上下行业务平均速率请求；区域内用户分布模型设定：根据第 3.1 节方法分析得出需要覆盖的室内总用户数 34 116 个，室外用户数 7 115 个，仿真中不同场景的用户密度参考表 5 进行设置。

采用 Atoll+5 m 高精地图+CrossWave 射线跟

表5 某高校区域 Monte-Carlo 用户分布模型结论

场景	宿舍楼	食堂	教学楼	教职工宿舍	大型场馆	图书馆	室外环境
用户密度/(个·km ⁻²)	25 000	15 385	22 222	10 000	16 667	14 286	2 288

踪模型,通过 Monte-Carlo 仿真得出该区域内业务接入失败成因为“无服务”小区数为 96 个,资源饱和小区数为 176 个。因此,针对无服务的 96 个小区,需要进一步分析其弱覆盖成因,按照优化调整+深度补盲的思路重点进行覆盖规划,针对 176 个资源不足的小区,重点进行网络载频扩容规划,对比规划前后各类业务的接通率及最终业务感知速率结论如图 4 所示。

从仿真结果可以看出:按照传统仿真不考虑保障用户业务感知时(感知前),由于业务接入门限过低,导致网络可接入用户增加,用户增加进一步导致用户体验速率不佳;基于 Monte-Carlo 仿真进行感知保障后(感知后),正常接入业务的用户都可获得优良的业务感知速率,该感知规划方法在用户感知效果观测、分析评估方面优势明显;从补点规划前后仿真得到的用户连接成功率对比可以看出,按照 3 s 业务接入时延作为保障标准时,规划前网络无法满足用户的感知需求(业务接入成功率偏低),进行容量扩容保障规划后,该区域各类业务均达到

了用户感知体验保障标准要求,同时业务连接成功率指标也达到规划预期,因此,对应的扩容规划方案即可以作为该次网络规划最终结果, Monte-Carlo 仿真感知规划方法是有效可行的。

5 结束语

本文对基于 Monte-Carlo 容量仿真的 4G 网络感知保障规划方法进行研究。首先建立业务接入感知时延与业务空口保障带宽之间的关联矩阵,得出感知保障的基本标准;通过对容量感知仿真技术的深入研究分析,得出 4 类典型移动互联网业务在 3 s 感知标准下的用户及业务建模方法结论,在此基础上给出基于仿真进行感知规划的思路策略,最后以某区域实际规划为参考案例,验证了感知仿真规划方法的可行性及实际应用效果。

在室内用户分布方面,目前只考虑到用户的整体规模而缺乏用户会处于不同层高分布的实际情况分析,因此,后续还有待对 Monte-Carlo 容量仿真中的用户位置立体模拟方法作进一步研究,

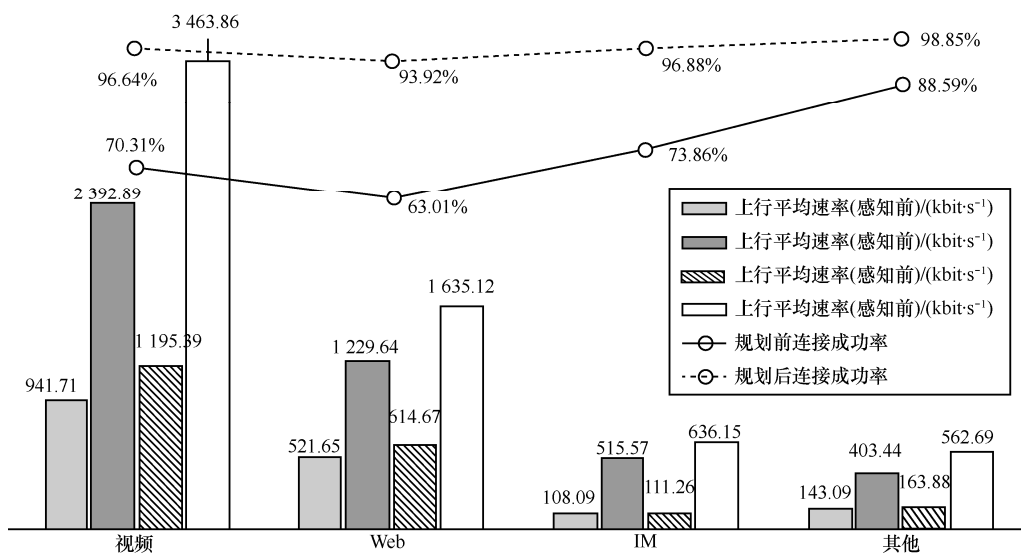


图4 规划前后的业务接通率及达到业务感知速率评估



在网络规划方面, 本文挖掘出仿真在业务感知保障规划中的应用价值, 也为未来无线网络感知规划提供一种新思路、一套新方法。

参考文献:

- [1] 卢卫, 陆希玉. 4G 时代移动互联网的发展趋势[J]. 电信科学, 2014, 30(5): 51-54.
LU W, LU X Y. Mobile internet trends in 4G era[J]. Telecommunications Science, 2014, 30(5): 51-54.
- [2] 林金桐, 许晓东. 第五代移动互联网[J]. 电信科学, 2015, 31(5): 7-14.
LIN J T, XU X D. The 5th generation of mobile internet[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(5): 7-14.
- [3] 陈森, 陈超, 张小勇, 等. 基于大数据分析的移动互联网用户感知评估系统[J]. 电信科学, 2015, 31(4): 154-161.
CHEN S, CHEN C, ZHANG X Y, et al. Evaluation system of mobile internet user experience based on big data analysis [J]. Telecommunications Science, 2015, 31(4): 154-161.
- [4] 邓萌, 杨泽焜. 基于农村山地区域的 4G 网络覆盖方案研究[J]. 邮电设计技术, 2015(7): 31-35.
DENG M, YANG Z K. Research on 4G network coverage method based on the rural mountain area[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2015(7): 31-35.
- [5] 李通, 李坤江. 基于业务感知和区域价值的 4G 网络容量规划研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2015(9): 11-15.
LI T, LI K J. Research on 4G network capacity planning based on service perception and value region[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2015(9): 11-15.
- [6] 高超. 基于用户上网感知的 LTE 载频扩容研究[J]. 现代电信科技, 2015, 45(3): 34-38.
GAO C. Research on LTE carrier frequency expansion based on user's internet access[J]. Modern Science & Technology of Telecommunications, 2015, 45(3): 34-38.
- [7] 汤利民, 徐德平, 程日涛. 基于业务感知的分场景 4G 网络扩容体系[J]. 电信科学, 2015, 31 (Z1): 5-10.
TANG L M, XU D P, CHENG R T. 4G network capacity expansion system based on service perception[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(Z1): 5-10.
- [8] 龙青良, 张磊. 基于用户感知的 LTE 网络优化关键问题研究[J]. 邮电设计技术, 2014(10): 14-20.
LONG Q L, ZHANG L. Research on the key issues of LTE network optimization based on the user-perceptive quality[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2014(10): 14-20.
- [9] 王洗, 廖振松, 胡玉祥. 4G 视频业务用户感知评估体系研究[J]. 信息通信, 2015(3): 230-231.
WANG X, LIAO Z S, HU Y X. Research on evaluation system of 4G video service[J]. Information & Communications, 2015(3): 230-231.
- [10] 吴彦, 胡双红, 罗宏. 密集市区 LTE 无线网络规划及仿真研究[J]. 湖南邮电职业技术学院学报, 2014(3): 13-17.
WU Y, HU S H, LUO H. Research on planning and simulation of LTE wireless network in dense urban[J]. Journal of Changsha Telecommunications and Technology Vocational College, 2014(3): 13-17.
- [11] 程日涛, 徐德平, 张炎炎. LTE FDD 网络规划原则及部署策略[J]. 电信科学, 2015, 31(Z1): 11-16.
CHENG R T, XU D P, ZHANG Y Y. LTE FDD network planning principles and deployment strategies[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(Z1): 11-16.
- [12] 王伦锁. TD-LTE 与 LTE FDD 融合组网策略[J]. 电信科学, 2016, 32(1): 188-192.
WANG L S. TD-LTE and LTE FDD fusion networking strategy[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(1): 188-192.
- [13] 孙林洁. LTE 吞吐量性能分析方法与实例[J]. 自动化技术与应用, 2016, 35(4): 40-42.
SUN L J. Analysis method of LTE throughput and typical case[J]. Techniques of Automation and Applications, 2016, 35(4): 40-42.
- [14] 吴永德. 基于大数据分析的 TD-LTE 网络扩容[J]. 信息通信, 2016(1): 180-182.
WU Y D. TD-LTE network expansion based on the analysis of big data[J]. Information & Communications, 2016(1): 180-182.
- [15] 廖建新. 大数据技术的应用现状与展望[J]. 电信科学, 2015, 31(7): 7-18.
LIAO J X. Big data technology: current applications and prospects [J]. Telecommunications Science, 2015, 31(7): 7-18.
- [16] 韦炜, 周峰, 陆蓓隼, 等. 基于分布式微微基站的室内覆盖创新解决方案及应用推广[J]. 电信科学, 2015, 31(12): 144-149.
WEI W, ZHOU F, LU B J, et al. Innovation in-building coverage solutions based on indoor distributed pico base stations and their application and promotion[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(12): 144-149.
- [17] 赵思聪, 黄磊, 申滨, 等. LTE-U: 未来移动通信系统发展的助推剂[J]. 电信科学, 2016, 32(4): 114-125.
ZHAO S C, HUANG L, SHEN B, et al. LTE-U: the propellant for development of future mobile communication system[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(4): 114-125.

作者简介



黄小光 (1983-), 男, 华信咨询设计研究院有限公司工程师, 主要研究方向为无线网规划、优化、设计。

董俊华 (1987-), 男, 华信咨询设计研究院有限公司工程师, 主要研究方向为无线网规划、设计。

王丰 (1985-), 男, 华信咨询设计研究院有限公司助理工程师, 主要研究方向为无线网规划、设计。

汪伟 (1980-), 男, 华信咨询设计研究院有限公司高级工程师, 主要研究方向为无线网规划、优化、设计。