



基站价值评估模型的应用研究

巩传兵¹, 杨明帅¹, 吴松², 葛海平², 张守国², 刘磊², 祁云山², 徐辉²

(1. 中国电信国际有限公司, 中国 香港 999077;

2. 华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310052)

摘要: 新建站的价值评估和效益分析一直是困扰运营商网络建设的难题, 相比传统基于覆盖、投诉等维度建立的评估方法, 从成本、收入、相邻基站负荷、区域业务发展潜力等维度, 构建了一种全新的基站价值评估模型, 给出了评估模型的具体指标构成、指标权重和计算方法。最后, 对模型的适用场景给出了建议, 并且举例说明了实际的应用方法。

关键词: 4G/5G; 站址规划; 精确建网; 价值评估; 模型

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023001

Research on the application of site value evaluation model

GONG Chuanbing¹, YANG Mingshuai¹, WU Song², GE Haiping²,

ZHANG Shouguo², LIU Lei², QI Yunshan², XU Hui²

1. China Telecom Global Ltd., Hongkong 999077, China

2. Huaxin Consulting and Designing Institute Co., Ltd., Hangzhou 310052, China

Abstract: The value evaluation and benefit analysis of newly built sites have always been a problem that plagues operators' network construction. Compared with the traditional evaluation methods based on coverage and complaints, a brand-new site value evaluation model was constructed from the dimensions of cost, revenue, adjacent base station load, and regional traffic development potential. The composition and calculation method of the specific index of the evaluation model were given, and the value score of the site was obtained by combining the weights of each index. Finally, suggestions were given for the applicable scenarios of the model, and practical application methods were illustrated with examples.

Key words: 4G/5G, site planning, accurate network construction, value evaluation, model

0 引言

随着 4G/5G 网络覆盖的不断完善, 网络规划建设逐渐由网络建设初期的以覆盖为导向转为以

价值为导向的精确建网。现有基站规划及其价值评估方法主要基于覆盖、投诉、容量、场景等维度对站点进行评估, 预评估结果包含主观成分、偏离客观性, 另外, 对基站建成后的盈利能力考

虑较少。针对上述问题,本文将预规划基站成本、收入、相邻基站负荷、区域业务发展潜力等指标纳入评估模型,以基站建成后的经济价值为导向,量化评估新规划基站建设的紧迫性以及潜在效益,支撑精准建网,最终提升基站建设的成本效益比。

1 基站价值评估思路

首先根据预规划基站建设需求信息,包括基站位置、配置和建设方案,估算基站建设总体拥有成本(total cost of ownership, TCO)。基于预规划基站所在区域的流量密度或人口分布估计预规划基站开通后的流量;再根据预规划基站位置和相邻基站分布,选择与基站距离最近的 N (N 建议取值 3) 个站点构建簇;最后从单站和簇两个维度依据价值评估模型对基站价值进行评估。基站价值评估实施流程如图 1 所示。

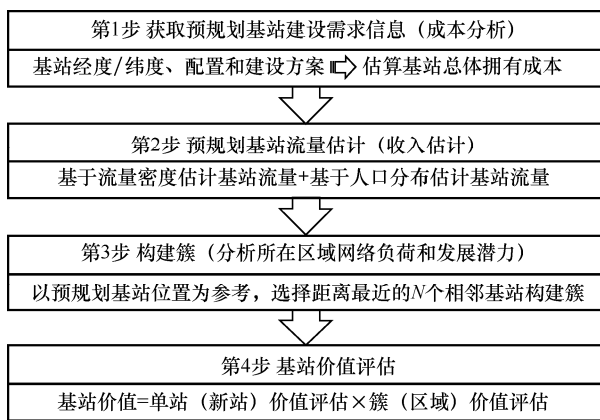


图1 基站价值评估实施流程

2 基站流量估计方法

基站开通后承载流量大小是评估基站价值的重要因素之一,但预规划基站流量估计是一个“老大难”问题。针对这一挑战,本文从流量密度和人口分布两个维度对预规划基站流量估计进行了探讨。

(1) 基于流量密度估计基站流量

根据基站所在区域的流量密度和基站有效覆

盖面积估计基站流量,如式(1)所示。

基站日均流量 =

基站覆盖面积 × 所在区域流量密度 =

$$\text{基站覆盖面积} \times \frac{\text{簇内在网运行基站总流量}}{\text{簇内在网运行基站有效覆盖面积}} \quad (1)$$

具体步骤如下。

步骤 1 根据链路预算计算基站和簇内在网运行基站的允许最大路径损耗。

步骤 2 根据频段和覆盖场景选择合适的传播模型计算簇内各个基站的覆盖半径和面积。

步骤 3 通过网管统计得到簇内各个基站的日均总流量。

步骤 4 根据簇内总流量和在网运行基站有效覆盖面积,计算基站所在区域(簇)的流量密度,再根据式(1)计算得到基站日均流量。

(2) 基于人口分布估计基站流量

首先获取基站有效覆盖范围内的总人口数,再根据基站所属运营商所在区域的用户渗透率和平均每户每月上网流量(dataflow of usage, DOU)计算得到基站流量,如式(2)所示。

$$\text{基站日均流量} = \text{基站覆盖总人口数} \times \text{所在区域用户渗透率} \times \text{DOU}/30 \quad (2)$$

具体步骤如下。

步骤 1 通过链路预算和传播模型计算获取基站的覆盖范围。

步骤 2 基于基站覆盖范围和人口分布地图统计得到基站覆盖区域内的总人口数。

步骤 3 基于现网统计得到基站所在区域的用户渗透率和用户 DOU。

步骤 4 根据式(2)计算得到基站日均流量。

基站流量估计方法适用场景和优缺点对比分析见表 1,实际应用中可以选择一种,也可以同时采用两种方法,综合选取合理结果。

以某移动通信网络为例,基站 A 位于市区,为预规划 2.1 GHz 基站,选取最近的 3 个相邻基



表 1 基站流量估计方法适用场景和优缺点对比分析

方法	基础数据	适用场景	优缺点
流量密度法	基站基础信息, 相邻基站流量	适用于加密站或容量站流量估计	使用方便, 成本低
人口分布地图法	基站基础信息, DOU, 用户渗透率, 人口分布地图	不仅适用于连续覆盖网络, 也适用于新建网络和偏远孤站的业务预估	未考虑漫入漫出用户影响, 且人口分布地图需要单独购买, 成本高

站 B、C 和 D 构成簇, 4 个基站均为定向站。根据频率和覆盖场景分别选择合适的传播模型, 计算簇内各个基站的覆盖半径 d 和面积 S 。簇内各基站配置和日均流量见表 2。

本例 700 MHz 选用 Okumura-Hata 模型, 2.1 GHz 选用 COST231-Hata 模型, 多频基站根据低频确定其覆盖范围。Okumura-Hata 模型和 COST231-Hata 模型的定义分别如式 (3)、式 (4) 所示。

Okumura-Hata 模型 (密集市区、市区) 为:

$$L_p = 69.55 + 26.16 \lg f - 13.82 \lg h_b + (44.9 - 6.55 \lg h_b) \lg d - A_{hm} \quad (3)$$

其中, $A_{hm} = (1.1 \lg f - 0.7) h_m - (1.56 \lg f - 0.8)$ 。

COST231-Hata 模型为:

$$L_p = 46.3 + 33.9 \lg f - 13.82 \lg h_b + (44.9 - 6.55 \lg h_b) \lg d - A_{hm} + C_m \quad (4)$$

其中, $A_{hm} = (1.1 \lg f - 0.7) h_m - (1.56 \lg f - 0.8)$; 大城市 $C_m=3$, 其他 $C_m=0$ 。

最大路径损耗 L_p 定义为:

$$L_p = \text{发射端 EIRP} + \text{接收端天线增益} - \text{损耗} - \text{工程余量} - \text{接收端接收灵敏度} \quad (5)$$

其中, f 为工作频率, 单位为 MHz; h_b 和 h_m 分别为基站和移动台天线有效高度, 单位为 m; d 为移动台与基站间距离, 单位为 km; A_{hm} 为移动台天线高度修正因子; C_m 为大城市中心校正因子;

EIRP 为天线有效发射功率 (effective isotropic radiated power)。

根据式 (5) 计算 FDD-LTE 700 MHz 和 2.1 GHz 上行及下行链路最大允许路径损耗, 计算结果见表 3。

根据表 3 中最大允许路径损耗 (取上/下行最小值) 和传播模型式 (3)、式 (4) 分别计算 700 MHz 和 2.1 GHz 频段基站的覆盖半径 d 和面积 S (定向站 $S=1.95d^2$), 簇内基站覆盖半径和面积计算结果见表 4。

根据基站 A (新站) 位置、基站 A 覆盖半径 d 和人口分布地图查询得到基站 A 的总覆盖人口数为 5 569 人, 所在区域人口渗透率为 10%, DOU 为 8 GB。基于人口密度的基站流量估计结果如下。
基站 A 日均流量 = 覆盖人口数 × 用户渗透率 × DOU/30 = 5 569 × 10% × 8 / 30 = 148.5

其中, 基站 A 日均流量的单位为 GB。根据流量密度法进行估计, 基站 A 的日均流量估计结果如下。

$$\begin{aligned} \text{基站 A 日均流量} &= \text{簇流量密度} \times \text{基站 A 覆盖面积} = \\ &= (\text{基站 B 流量} + \text{基站 C 流量} + \text{基站 D 流量}) / \\ &= (\text{基站 B 覆盖面积} + \text{基站 C 覆盖面积} + \text{基站 D 覆盖面积}) \times \text{基站 A 覆盖面积} = \\ &= (496 + 890 + 326) / (1.31 + 1.96 + 1.96) \times \\ &= 0.41 = 134.2 \end{aligned} \quad (7)$$

其中, 基站 A 日均流量的单位为 GB。基站开通

表 2 簇内各基站配置和日均流量

基站名称	覆盖场景	基站频段	天线挂高/m	与基站 A 的距离/m	基站覆盖半径 d /m	基站覆盖面积 S/km^2	日均流量 (开通前) /GB	日均流量 (开通后) /GB
基站 A (新站)	市区	2.1 GHz	29	0	461	0.41	0	137
基站 B	市区	700 MHz/2.1 GHz 双频	17	704	820	1.31	496	552
基站 C	市区	700 MHz/2.1 GHz 双频	29	713	1 002	1.96	890	809
基站 D	市区	700 MHz/2.1 GHz 双频	29	776	1 002	1.96	326	330

表 3 FDD-LTE 700MHz 和 2.1 GHz 上行及下行链路最大允许路径损耗计算结果

参数名称		普通市区 (700 MHz)		普通市区 (2.1 GHz)	
		上行	下行	上行	下行
系统带宽/MHz		10		15	
总 RB 数/个		50		100	
上行与下行配比		1	1	1	1
MIMO 配置		1T4R	2T2R	1T4R	4T2R
边缘速率/(kbit·s ⁻¹)		256	4 096	256	4 096
发射机	单天线端口最大发射功率/dBm	23	43	23	43
	发射天线增益/dBi	0	15	0	15
	EIRP/dBm	23	58	23	58
单用户分配 RB 数/个		4	50	4	75
调制编码方案 (MCS)		4	5	4	4
接收机	接收机噪声系数/dB	3	7	3	7
	热噪声/dBm	-115.4	-104.5	-115.4	-102.7
	接收机底噪声/dBm	-112.4	-97.5	-112.4	-95.7
	SINR/dB	-1	1	-1	-1
	接收机灵敏度/dBm	-113.4	-96.5	-113.4	-96.7
增益余量损耗	接收天线增益/dBi	15	0	15	0
	干扰余量/dB	3	5	3	5
	馈线损耗/dB	1	1	1	1
	塔放增益/dB	0	0	0	0
	阴影衰落/dB	8.7	8.7	8.7	8.7
	穿透损耗/dB	18	18	18	18
	人体损耗/dB	3	3	0	0
	分集增益/dB	6	5	6	7
	切换增益/dB	0	0	0	0
	最大路径损耗 L_p /dB	123.8	123.8	126.8	129

表 4 簇内基站覆盖半径和面积计算结果

参数名称	基站 B	基站 C 和 D	基站 B	基站 A、C 和 D
频率 f	700 MHz		2.1 GHz	
基站高度 h_b /m	17	29	17	29
移动台高度 h_m /m	1.5	1.5	1.5	1.5
最大路径损耗 L_p /dB	123.8		min (126.8, 129)	
传播模型	Okumura-Hata		COST231-Hata	
覆盖半径 d /m	820	1 002	389	461
覆盖面积 (定向站) S /km ²	1.31	1.96	0.3	0.41

后的实际日均流量约为 137 GB。经验证，基于上述方法进行流量估计，其结果具有可参考性。

3 基站价值评估指标

通过对新规划基站价值评分，一方面引导需

求部门采用灵活的建站方式控制建站成本，降低 TCO；另一方面督促规划单位加强精准规划，优先将基站规划建设在流量大、用户数多且有发展潜力的区域。

根据上述原则，从单站、簇两个层次共设计 7



表5 基站价值评估指标定义

网元	维度	指标名称	指标定义
单站（规划站）	成本	TCO	TCO=CAPEX+OPEX CAPEX=无线+配套+传输接入（按照10年线性折旧） OPEX=铁塔租金+维护费用+电费
	流量	日均流量/GB	根据上文流量估计方法估计基站开通后日均上/下行总流量
簇指标（相邻站）	忙时利用率	忙时下行 PRB 利用率	计算每天簇下行 PRB 利用率最大值，然后取7天平均。 忙时下行 PRB 利用率=Σ下行 PRB 占用数/Σ下行可用 PRB 数
		超忙小区比例	计算7天内平均超忙小区比例。 超忙小区定义为一天内任意时段满足：（下行 PRB 利用率≥80%且每 PRB 流量≥0.06 GB 且 RRC 连接用户数≥0.6）或（下行 PRB 利用率≥80%且 RRC 连接用户数≥2）
	忙时每 PRB 连接数/个	忙时每 PRB 连接数	计算每天忙时“RRC 连接数/PRB”最大值，然后取7天平均。 忙时每 PRB 连接数=ΣRRC 连接数/Σ等效 PRB 数 （FDD 制式等效 PRB 数为小区配置 PRB 数，TDD 制式等效 PRB 数为小区配置 PRB 数×下行时隙占比）
		全天 PRB 利用率	每 PRB 日均流量/GB 计算每天每 PRB 承载流量，然后取7天平均。 每 PRB 日均流量=Σ上下行总流量/Σ下行等效 PRB 数
	发展潜力	流量年增长率	簇内所有在网基站日均总流量的年增长率

注：资本性支出（capital expenditure, CAPEX），如购买基站费用；运营成本（operating expense, OPEX），如电费、铁塔租金等；频分双工（frequency division duplexing, FDD）；物理资源块（physical resource block, PRB）

个基站价值评估指标，基站价值评估指标定义见表5。

4 基站价值评估模型

基站价值评估模型构建过程包括选取价值评估指标、定义指标评分方法、设置指标权重和应用验证4个步骤。本文基站价值评估模型中指标评分方法采用分段线性评分方法，指标初始权重依据专家经验进行设置，结合评分结果对权重进行迭代修正。基站价值评估分项指标打分规则和权重设置（参考值）见表6。

基站价值评估模型定义如式（8）所示。

$$\text{基站价值总得分} = \sum \text{指标}(i) \text{评分} \times \text{指标}(i) \text{权重} \quad (8)$$

根据式（7）计算基站的价值得分，依据基站价值得分高低确定基站建设优先级，得分越高建设优先级越高。以某网络为例，根据上文基站价值评估模型对预规划站点价值进行评估。站点价值评估指标值和评分结果见表7。

5 基站价值评估模型的应用

基站价值评估模型主要应用于以下两种场景。

- 投资有限的情况下，基站建设的规模受限。在此场景下，基站建设需求数量大于实际设备采购数，可以应用此模型对基站建设需求列表中的站点进行评分，根据评分结果选择分数靠前的站点优先进行建设。
- 对已规划点进行规划后评估，找出评分较高和较低的站点，对评分较低的站点进行分析，找出站点规划存在的问题进行优化调整，提升站点的经济效益。

以某移动通信网络二期扩容工程为例，本期工程需要在二期网络建设的基础上解决业务热点高负荷，加强网络深度覆盖。项目立项规模为新建300个站点，而通过前端市场和后端优化收集到的基站建设需求有468个，这些站点均符合二期工程的建设原则。根据本文基站价值评估模型对需求列表中的468个站点价值进行评分，某移动通信网络二期扩容工程新建站点价值评估结果见表8。

表 6 基站价值评估分项指标打分规则和权重设置（参考值）

网元	指标名称	权重	门限 1	门限 2	指标评分方法
单站指标	TCO/万元	20%			分 3 段线性计分 $x \leq \text{门限 1}$, 得满分 100 $x \geq \text{门限 2}$, $[\text{门限 2}]/x \times 60$ 其他, $60 + (\text{门限 2} - x) / (\text{门限 2} - \text{门限 1}) \times 40$ (门限 1= TCO 均值-TCO 标准差, 门限 2 =TCO 均值+TCO 标准差, TCO 均值和标准差基于现网统计)
	日均流量/GB	10%	0	200	$x \geq \text{门限 2}$, 得满分 100 其他, 线性计分, $x/[\text{门限 2}] \times 100$ (门限 2, 基于现网统计, 或基于典型配置基站的 TCO、每 GB 单价、期望的静态投资回收期计算期望值)
簇指标	忙时下行 PRB 利用率/个	10%	0	80%	$x \geq \text{门限 2}$, 得满分 100 $x < \text{门限 2}$, 线性计分, $x \times 100$ (根据 RRC 连接数和 PRB 利用率变化关系统计, 利用率超过 80%时会对用户感知产生明显影响)
	超忙小区比例	20%	0	50%	$x \geq \text{门限 2}$, 得满分 100 其他, 线性得分, $x/[\text{门限 2}] \times 100$
	忙时每 PRB 连接数/个	20%	0	1.2	$x \geq \text{门限 2}$, 得满分 100 其他, $x/[\text{门限 2}] \times 100$ (门限 2 根据业务模型测算在满足要求的 QoS 条件下允许的最大激活用户数, 再根据当地用户激活率计算得到)
	每 PRB 日均流量/GB	10%	0	1	$x \geq \text{门限 2}$, 得满分 100 其他, $x/[\text{门限 2}] \times 100$ (门限 2 基于现网统计得到, 即选取全天最忙时下行 PRB 利用率满足一定条件下的小区的每 PRB 日均流量作为样本, 再统计每 PRB 日均流量分布区间, 取中值(TDD 模式, 计算每 PRB 日均流量时下行可用 PRB 数需乘以下行时隙占比))
	流量年增长率	10%	0	100%	$x \leq 0$, 不得分 $x < \text{门限 2}$, 得分为 $x \times 100$ $x \geq \text{门限 2}$, 得满分 100

表 7 站点价值评估指标值和评分结果（示例）

网元	指标名称	指标值	权重	指标得分	加权得分
单站指标	CAPEX/万元	23.18	/	/	/
	OPEX/（万元·站年 ⁻¹ ）	4.63	/	/	/
	TCO 得分	/	20%	75	15
	日均流量—估计值/GB	235.5	/	/	/
	收入/（元·天 ⁻¹ ）	706.5	/	/	/
	每 GB 成本/（元·GB ⁻¹ ）	0.81	/	/	/
	静态回收期/年	1.1	/	/	/
	收入得分	/	10%	100	10
簇指标	忙时下行 PRB 利用率	73.9%	10%	73.9	7.4
	超忙劣化小区比例	55.6%	20%	100	20
	忙时每 PRB RRC 连接数/个	1.24	20%	100	20
	每 PRB 日均流量/GB	1.32	10%	100	10
	簇流量年增长率	40.9%	10%	40.9	4.1
基站价值评估得分		/	/	/	86.5



表 8 某移动通信网络二期扩容工程新建站点价值评估结果

评估结果	站点数/个	站点数分段累计
95 以上	210	210
80 分以上	148	358
70 分以上	86	444
60 分以上	15	459
低于 60 分	9	468

468 个站点中评分排名靠前的 300 个站点的分数门限为 84 分以上, 故需求列表中评分结果在 84 分以上的站点纳入本期工程建设, 其余站点纳入储备站点库, 待后期工程中根据规划原则、投资、评分情况再决定是否纳入当期工程进行建设。

6 结束语

本文从基站和簇(相邻基站)两个维度构建了规划站价值评估模型, 基站价值评估模型综合考虑了新规划基站成本、收入(流量)、相邻基站负荷和区域业务发展潜力情况, 体现了新建站规划以效益为中心的核心思想。通过对站址进行价值评分, 支撑精确建网, 提高了新建基站的经济效益。

参考文献:

- [1] 尚军, 焦卫平, 张春凌. 多维度基站站址价值评估分析研究[J]. 互联网天地, 2016(11): 44-48.
SHANG J, JIAO W P, ZHANG C L. Research and analysis of the assessment of the multi dimension base station value[J]. China Internet, 2016(11): 44-48.
- [2] 田艳中. 农村移动基站的投资效益分析[J]. 电信工程技术与标准化, 2012, 25(12): 48-51.
TIAN Y Z. Analysis on the investment and benefit of base station in countryside[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2012, 25(12): 48-51.
- [3] 郑旭升, 陈敏. 农村基站建设优先级评估体系[J]. 广东通信技术, 2010, 30(7): 2-5.
ZHENG X S, CHEN M. Priority evaluation system for rural base station construction[J]. Guangdong Communication Technology, 2010, 30(7): 2-5.
- [4] 黄圣红, 李洲. 基于多维度开展 4G 无线网络投资效益评估[J]. 电信工程技术与标准化, 2016, 29(10): 70-74.
HUANG S H, LI Z. Research on the evaluation of investment benefit of 4G radio network based on multi dimension[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2016, 29(10): 70-74.
- [5] 严寒榕. 基于大数据的多维度评估模型探讨[J]. 通讯世界, 2014(6):4-6.
YAN H R. Discussion on multi-dimensional evaluation model based on big data [J]. Telecom World, 2014(6): 4-6.
- [6] YANG H Y. A network traffic forecasting method based on SA optimized ARIMA-BP neural network[J]. Computer Networks, 2021(193): 108102.
- [7] WANG X, ZHAO J, ZHU L, et al. Adaptive multi-receptive field spatial-temporal graph convolutional network for traffic forecasting[J]. 2021 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 2021: 1-7.
- [8] 宋巍, 郑志刚, 顾翀. 基于多维度数据的 5G 站址选择评估体系[J]. 移动通信, 2020, 44(5): 42-44.
SONG W, ZHENG Z G, GU C. 5G site selection evaluation system based on multidimensional data[J]. Mobile Communications, 2020, 44(5): 42-44.
- [9] 汪丁鼎, 许光斌, 丁巍, 等. 5G 无线网络技术与规划设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
WANG D D, XU G B, DING W, et al. 5G wireless network technology and planning design[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2019.
- [10] 邱斌, 嵇明华, 李士光, 等. 5G 网络智能规划体系研究[J]. 邮电设计技术, 2022(2): 9-13.
QIU B, JI M H, LI T G, et al. Research on 5G intelligent planning system[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2022(2): 9-13.
- [11] 邓金荣, 李陵. 基于大数据分析的基站效益评估建模与应用[J]. 广东通信技术, 2022, 42(2):30-33.
DENG J R, LI L. Modeling and application of base station benefit evaluation based on big data analysis[J]. Guangdong Communication Technology, 2022, 42(2): 30-33.
- [12] 沙晶. 大数据分析在基站建设优先级评价中的应用研究[J]. 中国新通信, 2017, 19(17): 120-121.
SHA J. Research on the application of big data analysis in the priority evaluation of base station construction[J]. China New Telecommunications, 2017, 19(17): 120-121.
- [13] LIU Q, SHI Y M, LI F C, et al. Research on services modeling in LTE networks[J]. China Communications, 2016, 13(2): 109-120.
- [14] ZHOU Y Q, LIU L, WANG L, et al. Service-aware 6G: an intelligent and open network based on the convergence of

communication, computing and caching[J]. Digital Communications and Networks, 2020, 6(3): 253-260.

- [15] ZHOU Y Q, TIAN L, LIU L, et al. Fog computing enabled future mobile communication networks: a convergence of communication and computing[J]. IEEE Communications Magazine, 2019, 57(5): 20-27.

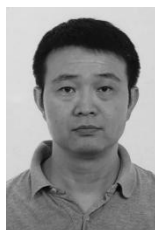
[作者简介]



巩传兵（1979—），男，现就职于中国电信国际有限公司，长期从事通信网络建设管理方面的工作。



杨明帅（1979—），男，现就职于中国电信国际有限公司，长期从事通信网络建设管理方面的工作。



吴松（1973—），男，华信咨询设计研究院有限公司正高级工程师，长期从事 4G/5G 无线网络规划和优化方面的工作。

葛海平（1971—），男，华信咨询设计研究院有限公司高级工程师，长期从事 4G/5G 无线网络规划和优化方面的工作。

张守国（1977—），男，华信咨询设计研究院有限公司高级工程师，长期从事 4G/5G 无线网络规划和优化方面的工作。

刘磊（1980—），男，华信咨询设计研究院有限公司高级工程师，长期从事 4G/5G 无线网络规划和优化方面的工作。

祁云山（1975—），男，华信咨询设计研究院有限公司高级工程师，长期从事 4G/5G 无线网络规划和优化方面的工作。

徐辉（1976—），男，华信咨询设计研究院有限公司高级工程师，长期从事 5G 技术创新相关领域方面的工作。