

基于大数据的 5G 规划方法研究

陈宇, 沈建军

(中国电信股份有限公司研究院, 广东 广州 510630)

摘要: 2020 年是移动运营商 5G 规模部署和商用之年, 而随着运营商各大系统朝平台化、自动化方向发展, 以云计算为载体、大数据为手段, 借助系统平台进行 5G 规划建设将有效助力国家 5G 战略快速落地。首先分析基于大数据及平台化的 5G 站址规划总体方案, 再对方案中涉及的 NR(New Radio)覆盖预测及能力算法进行详细分析, 最后研究基于 5G 仿真接口调用的站址规划方案。

关键词: 5G; 平台; 规划; 大数据; 算法

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200188

中文引用格式: 陈宇, 沈建军. 基于大数据的 5G 规划方法研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(8): 33-38.

英文引用格式: Chen Yu, Shen Jianjun. Research on 5G planning method based on big data[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(8): 33-38.

Research on 5G planning method based on big data

Chen Yu, Shen Jianjun

(China Telecom Research Institute, Guangzhou 510630, China)

Abstract: 2020 is the year of 5G scale deployment and commercial operation for mobile operators. With the development of major systems of operators towards platform and automation, 5G planning and construction by system platform with cloud computing as carrier, big data as means will effectively assist the rapid implementation of national 5G strategy. First of all, this paper analyzes the overall scheme of 5G site planning based on big data and platform, then analyzes the NR (New Radio) coverage prediction and ability algorithm involved in the scheme in detail, and finally studies the site planning scheme based on the calling of 5G simulation interface.

Key words: 5G; platform; plan; big data; algorithm

0 引言

2019 年 6 月, 工信部已经向移动运营商发放 5G 商用牌照, 对于到来的 5G 时代, 如何精准、递进式地构建全新的 5G 网络, 将成为运营商接下来一段时期首要面临的问题。与此同时, 随着大数据技术在电信行业的快速应用, 包括基站、站址资源、性能、MR(Measure Report)等在内 4G 无线网络大数据已经应用于相关系统平台。目前 4G 大数据规划平台规划算法以扩容和补点为主, 而 5G 网络规划属于白网规划, 并无相应的 5G 网络数据、规划方法和参数建模, 无法满足 5G 新建网络规划需求。

本文为解决上述问题, 首先从 5G 的业务需求出发, 研究基于大数据及平台化的 5G 站址规划总体方案, 再结合 4G 网络数据、5G 路测数据、NR 系统传播模型及链路预算进行 5G 覆盖预测及能力算法研究; 接着通过分析 5G 规划仿真工具, 并从方法、流程、接口参数几个方面研究提出 5G 站址规划平台与移动网仿真工具的调用

及接口方案, 进而提升 5G 规划系统的平台化、自动化水平, 敏捷高效地实现 NR 精准规划及建设部署。

1 总体规划方案及算法

按照 5G 规划目标, 可以将 5G 移动网规划划分为 ToC(To Customer)和 ToB(To Business)两种业务需求。其中 ToC 业务区域包括 4G 话务热点、重点覆盖区域清单以及大集团客户清单等; ToB 业务区域包括重点政府/行业合作对象清单, 以及地市公司前端部门需求。其中, ToC 区域基于 1.8G LTE 宏站进行同址建设, ToB 区域基于 1.8G LTE 宏站分批次建设(本文研究的规划方法具有通用性, 考虑到不同运营商 4G/5G 频段不尽相同, 本文以某运营商 4G 宏站使用 1.8 GHz/2.1 GHz/800 MHz 频段、5G 宏站使用 3.5 GHz NR 频段为例展开分析)。

如图 1 所示, ToC 和 ToB 业务区域可采用清单录入及覆盖区域站址识别的方式; 4G 话务热点可由系统根据 4G 话务密度数据(PRB(Physical Resource Block)利用率、基站流量数据等)、用户密度数(RRC(Radio Resource

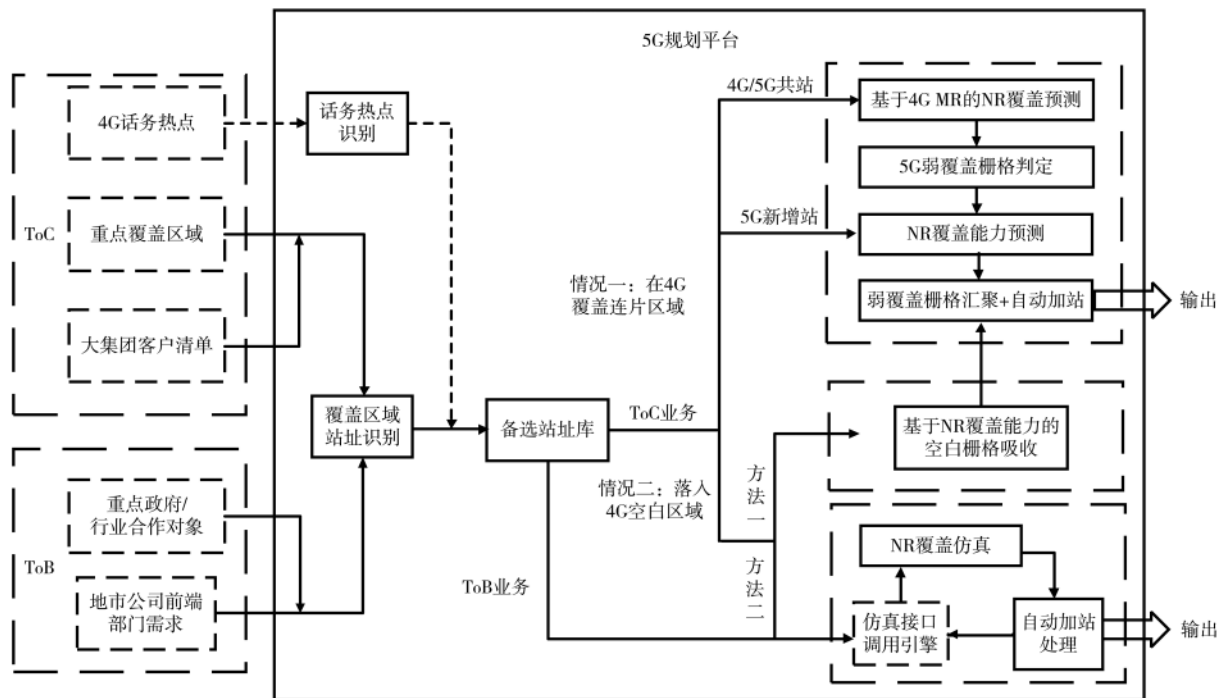


图1 基于大数据的5G站址规划总体方案

Control)连接数、终端数据等)、高价值用户数(高套餐用户等)等进行门限及加权识别判断。最终将选址的站址录入备选站址库去重存储。

根据ToC业务特性,建议采用基于4G MR的NR覆盖预测方案,即结合4G MR及NR与4G链路覆盖差异构建5G覆盖预测模型,并实现5G弱覆盖区域识别并进行自动加站。对于这种业务类型,存在两种情况:情况一为规划站址落入4G覆盖的连片区域,情况二为规划站址落入4G空白区域。

1.1 情况一

假如新建5G与现有4G共站(该情况也是5G规划建设初期ToC业务的主要部署类型),则系统基于4G MR进行NR的覆盖预测,并完成5G弱覆盖栅格^[1]判定、NR覆盖能力预测、弱覆盖栅格汇聚及自动加站,最终进行规划站址输出;而假如为5G新增站,则直接进行NR覆盖能力预测及后续步骤。下面对每一个步骤进行说明:

(1)基于4G MR的NR覆盖预测。根据NR与4G覆盖差异,进行MR室外、室内栅格折算,预测5G覆盖情况。

(2)5G弱覆盖栅格判定。栅格内5G RSRP(Reference Signal Receiving Power)预测值小于5G弱覆盖门限值,则认为是弱覆盖栅格。

(3)NR覆盖能力预测。该步骤可采用两种算法:算法一,根据周边站的NR覆盖能力预测新增NR站点的覆盖能力;算法二,基于该区域的4G站间距及5G NR与4G的相对站间距进行换算。

(4)弱覆盖栅格汇聚及自动加站^[2]。采用弱覆盖栅格汇聚方法完成汇聚后,再进行5G自动加站。该算法过

程可沿用4G加站算法,需通过步骤(3)确定NR的站间距/覆盖半径。

1.2 情况二

假如新建站落入4G空白区域。则可选用两种方法进行站址规划:方法一,基于NR覆盖能力的空白栅格吸收,再跳转至情况一的步骤(4)进行弱覆盖栅格汇聚及自动加站;方法二,通过调用构建的第三方仿真工具接口进行NR覆盖仿真,并通过第三方仿真工具的仿真结果与系统的自动加站等处理过程进行交互,最终完成站址输出。

对于ToB业务需求,则建议采用情况二的方法二,即通过仿真接口调用的NR覆盖仿真能力与系统功能交互完成5G站址规划输出。

在总体规划方案中,基于4G MR的NR覆盖预测、NR覆盖能力预测以及基于仿真接口调用的站址规划是其中的关键环节,下面对相关的算法及参数进行分析。

2 NR覆盖预测及能力算法研究

2.1 基于4G MR的NR覆盖预测算法及参数

由于网络建设初期没有相应的5G网络数据,根据5G建设策略,ToC业务优先针对目标区域进行4G和5G 1:1共站建设,那么可以根据4G与5G RSRP的覆盖差异,通过4G MR来折算NR的覆盖情况。

计算覆盖差异采用基于耦合损耗的折算方法,该方法通过计算发射RS(Reference Signal)导频功率与接收信号电平的差值,可以评估NR与LTE的综合频段与系统覆盖差异。具体是对4G、NR的覆盖情况进行实际路测及室外多位置定点测试统计,算出两种情况在NLOS

(Non Line Of Sight) 下的下行平均耦合损耗差异, 最后再测试 RS 导频功率与实际发射功率以及频率的相关变化, 构建基于 4G MR 的 NR 覆盖预测模型。下面对算法进行过程推导:

按照耦合损耗定义, 有:

$$\text{LTE 耦合损耗} = \text{LTE RS 导频功率} - \text{LTE 接收 RSRP} \quad (1)$$

$$\text{5G 耦合损耗} = \text{5G RS 导频功率} - \text{5G NR 接收 RSRP} \quad (2)$$

通过对 4G、5G 覆盖情况的结果统计(室外耦合损耗差为 3 dB), 有:

$$\Delta = \text{5G 耦合损耗} - \text{LTE 耦合损耗} = 3 \text{ dB} \quad (3)$$

联立式(1)~式(3), 可得:

$$\text{5G NR 接收 RSRP} = \text{LTE 接收 RSRP} - (3 - \text{5G RS 导频功率} + \text{LTE RS 导频功率}) \quad (4)$$

在实际测试过程中, LTE RS 导频功率为 15.2 dBm, 5G RS 导频功率为 16.9 dBm, LTE 与 NR 频率分别为 1.8 GHz、3.5 GHz。因此:

$$\text{5G NR 接收 RSRP} = \text{LTE 接收 RSRP} - A \quad (5)$$

式(5)说明, 5G RSRP 栅格覆盖预测值为将 4G 连片区域的 MR 室外、室内栅格减去 A。其中, 折算差异值 $A = 3 + (\text{LTE RS 导频功率} - 15.2 \text{ dBm}) - (\text{5G RS 导频功率} - 16.9 \text{ dBm}) + K_1 + K_2$, K_1 、 K_2 分别为室内外穿损修正值及频率修正值。由于 NR 和 LTE 在 1:1 共站情况下挂高差异较小, 带宽的影响已通过 RS 发射功率进行考虑, 而 NR 制式目前网络部署只考虑 TDD (Time Division Duplexing), 因此基站挂高、带宽、制式在折算差异值 A 中并未体现。

根据外场电测结果, NR 3.5 GHz 及 LTE 1.8 GHz 的室内外平均穿损差为 5 dB。于是:

$$K_1 = \begin{cases} 0 \text{ dB, 室外} \\ 5 \text{ dB, 室内} \end{cases} \quad (6)$$

下面对 LTE 可能存在的频率 1.8 GHz、2.1 GHz 及 800 MHz 对应的频率修正值 K_2 进行推导。

对于 LTE 800 MHz 的路损值, 采用 Okumura-Hata 传播模型^[3]进行计算, 其模型公式为:

$$L_1(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \times \log(f_c) - 13.8 \times \log(h_{te}) - a(h_{te}) + (44.9 - 6.55 \times \log(h_{te})) \times \log(d) \quad (7)$$

其中, 对于大城市, 有:

$$a(h_{te}) = 3.2 \times (\log(11.75 \times h_{te}))^2 - 4.97(\text{dB}) (f_c \geq 300 \text{ MHz}) \quad (8)$$

对于 LTE 1.8 GHz 与 2.1 GHz 的路损值, 采用 COST-231 Hata 传播模型进行计算, 其模型公式为:

$$L_2(\text{dB}) = 46.3 + 33.9 \times \log(f_c) - 13.82 \times \log(h_{te}) - a(h_{te}) + (44.9 - 6.55 \times \log(h_{te})) \times \log(d) + C_m \quad (9)$$

其中:

$$C_m = \begin{cases} 0 \text{ dB, 中等城市和郊区} \\ 3 \text{ dB, 市中心} \end{cases} \quad (10)$$

将 $h_{te} = 30$ 和 $h_{re} = 1.5$, 以及 800 MHz、1.8 GHz、2.1 GHz 频率对应的下行频点值分别代入式(7)~式(9), 可得频率修正值 K_2 为:

$$K_2 = \begin{cases} 9.2 \text{ dB, 4G 频率为 800 MHz} \\ -1.2 \text{ dB, 4G 频率为 2.1 GHz} \\ 0 \text{ dB, 4G 频率为 1.8 GHz} \end{cases} \quad (11)$$

2.2 NR 覆盖能力算法

在第二小节提到, 完成 ToC 业务规划情况一的步骤(1)和步骤(2)之后, 进入 NR 覆盖能力预测过程, 该过程可以采用两种算法进行计算。下面对每种算法进行分析。

2.2.1 算法一

根据新增站相邻的 N 个站点(如取邻接一圈站点)的 NR 覆盖能力预测新增 NR 站点覆盖情况, 具体步骤如下:

(1)遍历每个邻近站点, 以站点为圆心、栅格大小为步长逐渐扩大站点覆盖半径并计算 5G 栅格覆盖率, 当降至面覆盖率要求时, 将此时的覆盖半径作为该站点的覆盖半径;

(2)以相邻 N 个站点覆盖半径的最小值作为新增 5G 站的覆盖半径, 并完成弱覆盖栅格吸收。

2.2.2 算法二

根据该区域的 4G 站间距及 5G NR 与 4G 的相对站间距进行换算。

(1)通过系统计算该区域或场景的 LTE 站点平均站间距作为 4G 站间距。

(2)5G NR 站间距 = 4G 站间距 × 相对站间距 d。相对站间距 d 借助 LTE 和 NR 的链路预算进行计算。链路预算可以采用两种方法: 一种基于解调门限, 另一种基于路测。下面对两种方法进行分析:

①方法一, 基于解调门限的链路预算:

基于解调门限的 MAPL(Maximum Allowable Path Loss) = 发射机每 RE(Resource Element)的 EIRP(Equivalent Isotropic Radiated Power) - 接收机灵敏度 + 接收天线增益 - 接收机馈线损耗 - 干扰余量 - 穿损 - 阴影衰落余量

$$\text{发射机每 RE 的 EIRP} = \text{每 RE 发射功率} + \text{发射天线增益} - \text{发射端馈线损耗} \quad (12)$$

$$\text{接收机灵敏度} = \text{接收机解调门限} + \text{接收机噪声系数} + \text{每子载波热噪声} \quad (13)$$

在本方法计算式(12)~式(14)中, 每 RE 的发射功率由使用 PRB 数和最大发射功率决定, 不同设备厂商使用的 PRB 数不尽相同; 接收机解调门限由接收设备解调性能决定, 同时与上行边缘速率对应采用的 MCS (Modulation and Coding Scheme) 也存在相关性。因此采用该方法在无法明确使用 PRB 数及接收机解调门限的情况下无法获得准确结果, 而这两组数据非设备厂商一般很难获取。

②方法二,基于路测的链路预算:

基于路测的 MAPL=RS EIRP-边缘速率对应 RSRP-干扰余量-穿损-阴影衰落余量 (15)

RS EIRP=RS 功率+天线增益-馈线损耗 (16)

如式(15)~式(16)所示,基于路测的 MAPL 根据上下行信道路损的互异性,通过路测选取上行边缘速率对应的 RSRP 进行 MAPL 的计算,能较为准确地进行链路预算。

通过选取方法二完成 NR 及 LTE 相应边缘速率及配置下的 MAPL 计算,下面采用各自对应的传播模型进行站间距计算。如式(17)所示,NR 可借助修正的 UMA (Urban Macrocell)-NLOS 传播模型^[4-5]进行相应折算。

$$PL_{3D-UMa-NLOS} = 161.04 - 7.1 \times \log_{10}(W) + 7.5 \times \log_{10}(h) - \left(24.37 - 3.7 \times \left(\frac{h}{h_{BS}} \right)^2 \right) \times \log_{10}(h_{BS}) + (43.42 - 3.1 \times \log_{10}(h_{BS})) (\log_{10}(d_{3D}) - 3) + 20 \times \log_{10}(f_c) - (3.2 \times (\log_{10}(17.625))^2 - 4.97) - 0.6 \times (h_{UT} - 1.5) \quad (17)$$

其中, W 为街道宽度, h 为平均建筑物高度, h_{BS} 为基站高度, h_{UT} 为终端高度, f_c 为中心频点。将式(17)中对应参数进行赋值计算可得 NR 覆盖半径,再通过三扇区宏站覆盖半径与站间距关系获取 NR 站间距。

同理, LTE 采用对应的传播模型(如 COST-231 Hata)进行站间距计算。由此最终得到相对站间距 d 。

以 3.5 GHz 64TR NR 和 1.8 GHz 2T4R LTE 为例,上行边缘速率分别选取 1 Mb/s 和 256 kb/s,从而算出两者对应的 MAPL 分别为 115.5 dB 及 120 dB,进而获得相对站间距 d 为 43%。

(3)将 5G NR 站间距转化为 NR 覆盖能力。

3 基于仿真接口调用的 5G 站址规划方法研究

3.1 总体方案

前文提及, ToB 业务需求属于白网规划,由于无相应网络覆盖数据,只能通过第三方无线仿真工具或者自建无线仿真模块进行射频仿真覆盖预测。综合考虑需求、研发成本及时效性,建议采用基于仿真接口调用的 5G 站址规划方案进行白网覆盖仿真。如图 2 所示,对总体方案流程分析如下:

(1)规划系统将备选站址库中标注 ToB 业务的站址工参、以及导入/圈定的仿真区域范围传至仿真接口调用引擎。

(2)仿真接口调用引擎配置接口参数,对第三方 5G 规划仿真工具/模块实施仿真参数配置以及脚本调用。

(3)5G 规划仿真工具根据配置的仿真参数及仿真区域范围进行覆盖预测仿真,并将覆盖预测结果输出至规划系统。

(4)规划系统对覆盖预测结果进行弱覆盖栅格判定,判定完成后进行弱覆盖栅格汇聚及自动加站。

(5)判定是否有新增站,如果有,将新增站的站址工参传至仿真接口调用引擎重新调用 5G 规划仿真工具;否则,将规划站址输出。

为实现规划系统对 5G 规划仿真工具的接口调用,首先需要分析现有 5G 规划仿真工具流程,并在此基础上研究工具与规划系统之间的数据交互流程及接口参数,并由此形成相应的规划方案。下面对以上内容进行分析。

3.2 现有 5G 规划仿真工具流程

现有 5G 规划仿真工具主要通过构建路损矩阵及话务模型实现对新建 NR 站址的覆盖预测及蒙特卡洛仿真。在本文中需借助 5G 规划仿真工具完成白网加站后的覆盖预测,进而将覆盖预测结果回传规划系统进行弱覆盖栅格判定。由于规划仿真工具的相似性,以某第三方 5G 规划仿真工具^[6]为例,并结合本文 5G 站址规划需求对主要流程(如图 3 所示)进行分析。

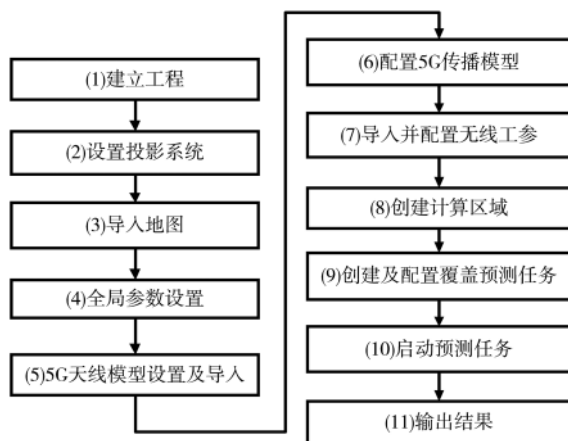


图 3 5G 规划仿真工具规划流程

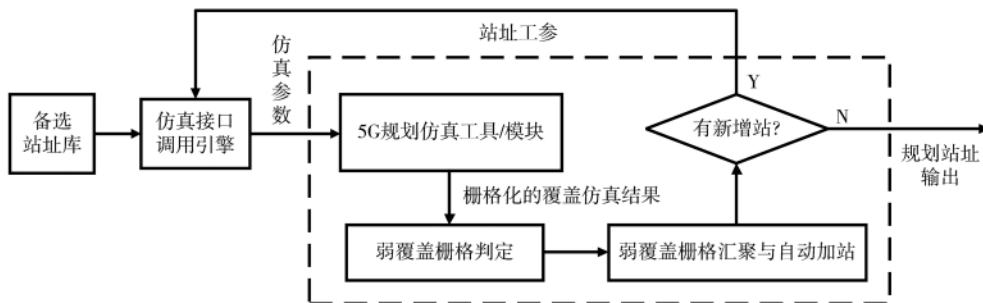


图 2 基于仿真接口调用的 5G 站址规划总体方案

- (1)建立工程。包括选择项目模板及技术设置。
- (2)设置投影系统。配置好地图的投影系统及显示系统。
- (3)导入地图。包括 heights、clutter、building vector 等地图图层导入。
- (4)全局参数设置。包括频点号、载波、频段、双工方式的设置, NR 的干扰和功控方式配置, UE 能力、接收设备、调度、小区参数、层的参数配置。
- (5)5G 天线模型设置及导入, 将基站/小区需要使用到的天线模型、3D Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) 天线模型进行配置、设置及导入。
- (6)配置 5G 传播模型(含射线跟踪模型)。将基站/小区需要使用到的 5G 传播模型的参数进行设置及修改, 如果有做过传播模型校正, 需要进行对应的参数修改。
- (7)导入并配置无线工参。包括对基站、发射机、小区的无线工参等相关参数的导入及配置。
- (8)圈划仿真范围, 创建计算区域。
- (9)创建及配置覆盖预测任务。按照覆盖目标要求及定义配置覆盖预测任务。
- (10)启动预测任务, 开始进行覆盖预测。
- (11)输出结果。将结果按照点“经纬度-覆盖电平”方式进行结果输出。

3.3 基于 5G 仿真接口调用的 5G 站址规划方案

本节将在前文基础上, 进一步对基于 5G 仿真接口调用的 5G 站址规划方案进行分析, 该方案需将工具仿

真过程嵌入到规划系统的站址规划流程中, 同时需要明确数据交互与接口参数配置, 其中接口参数配置所需的数据最小集将在下一小节进行分析。如图 4 所示, 本方案包括准备阶段、启动阶段和交互阶段 3 个阶段, 下面进行详细展开。

(1) 准备阶段

仿真服务器上按照省/大城市创建及配置好基本的仿真工程项目, 主要包括:

- ①创建仿真工程类型。
- ②设置投影系统。
- ③导入及配置地图文件。
- ④导入及配置该区域使用到 5G 天线模型、传播模型(5G 的传播模型可以采用经验统计模型或射线跟踪模型: 经验统计模型主要采用 3GPP UMA 模型, 如果 5G 规划仿真工具中没有该模型, 需要将 UMA 模型校正后退化为 SPM (Standard Propagation Model) 模型进行配置; 射线跟踪模型需要对相关参数进行必要配置)。
- ⑤导入及配置该区域的现网无线工参(包括基站、发射机、小区对应的参数)。
- ⑥配置覆盖条件及预测任务。包括相应参数以及输出结果的配置, 例如覆盖参数可选取下行覆盖的 SS (Synchronization Signal)-RSRP^[7]。

(2) 启动阶段

①5G 规划平台: 根据需仿真的区域寻址所在的城市 N 以及相对应的仿真工程 D, 同时将仿真区域转化为

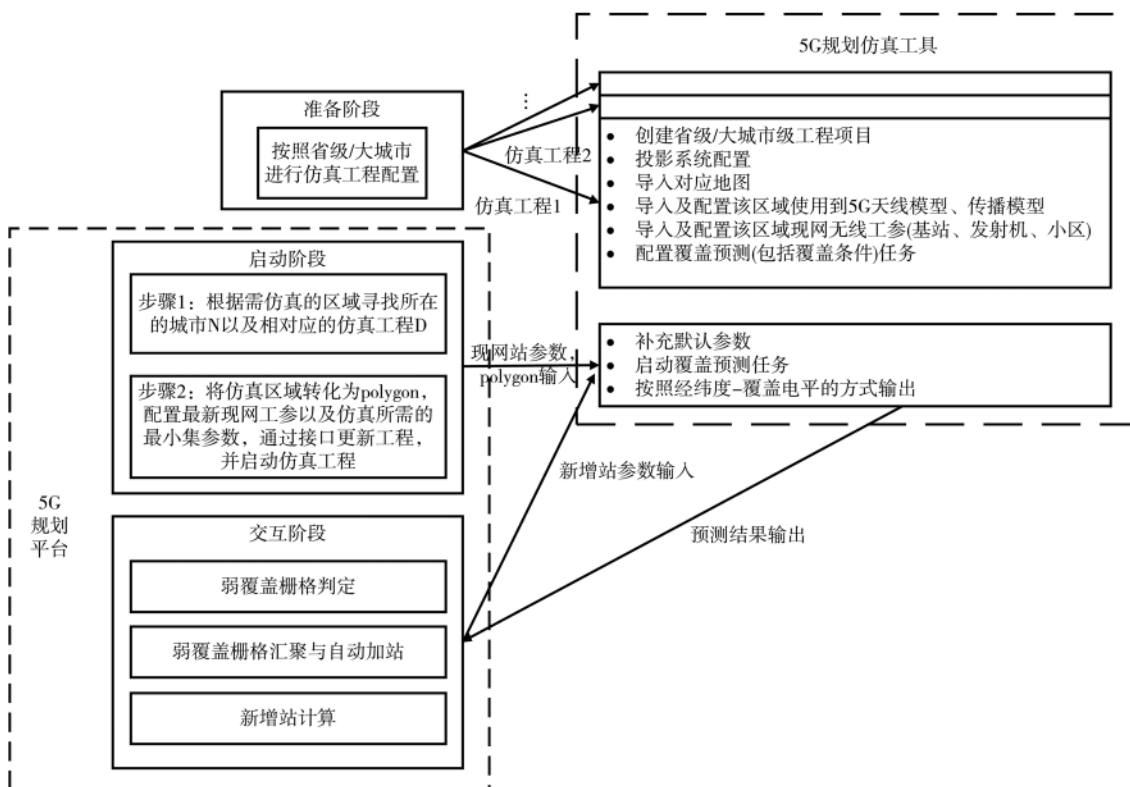


图 4 基于 5G 仿真接口调用的 5G 站址规划方案

polygon,配置最新现网工参以及仿真所需的最小集参数,通过接口更新工程数据参数并启动仿真。在这个过程中,系统需要传参给 5G 规划仿真工具。

②5G 规划仿真工具:对接口传来的数据进行默认参数补充,同时启动覆盖预测任务。

③5G 规划仿真工具:仿真软件运算结果输出,按照点“经纬度-覆盖电平”方式进行输出。

(3)交互阶段

①5G 规划平台:将按照点“经纬度-覆盖电平”方式的输出结果在 5G 规划平台上重新进行栅格构建,进而进行弱覆盖栅格判定。

②5G 规划平台:弱覆盖栅格汇聚与自动加站。基于弱覆盖栅格汇聚结果并进行自动加站。

③判断是否已完成自动加站。如果有,将加站的工参并补充默认参数至最小集传送到 5G 规划仿真工具;如果无,进行规划站点输出。

④5G 规划仿真工具:对接口传来的数据进行参数补充,同时启动覆盖预测任务。

⑤5G 规划仿真工具:仿真工具运算结果输出,按照点“经纬度-覆盖电平”方式进行输出,并跳转至步骤①。

3.4 仿真接口参数

根据上一小节,在启动阶段需要将仿真区域的 polygon 转化成“点-经纬度”参数,并对启动仿真所需参数进行配置,对于主流 5G 规划仿真工具,需配置参数包括基站、发射机、小区等相关参数。由于以上配置参数数量较多,为方便规划系统与仿真软件交互且不明显影响仿真结果,需要明确配置参数的最小集,其他相关参数配置可以采取工程预先配置或者默认填充的方式进行完善。表 1 为仿真调用接口需要配置参数最小集,其中主要涉及基站、小区经纬度工参、传播模型、天线模型、NR 系统信息及配置、接收设备解调信息等。

4 结论

2020 年移动运营商将完成全国范围的 5G 规模部署及商用。5G 作为全新的移动通信网络,部署初期缺乏相应的网络数据进行规划,这在一定程度上影响了网络建设的系统支撑。为此,本文通过研究基于大数据及平台化的 5G 站址规划方案以及其中的详细算法、方法以及参数,提升 5G 站址规划的自动化及精准程度。

参考文献

- [1] 邹广玲,张守霞,朱永军,等.5G 无线智能网络规划方案研究[J].电子技术应用,2019,45(10):11-13,18.
- [2] 陈宇,陈晓冬,刘悦.移动无线网大数据规划模型研究[J].

表 1 仿真接口最小集参数

参数类型	参数名
基站	基站名
	经度
	纬度
发射机	基站名
	扇区名
	经度
	纬度
	天线挂高
	天线方向角
	天线机械下倾角
	传播模型
	传播模型计算半径
	传播模型计算精度
	频段
	波束赋形天线模型
	系统制式
	扇区名
小区	载波名
	频点号(包含系统带宽)
	最大发射功率
	SSS (Secondary Synchronization Signal) EPRE
	PSS (Primary Synchronization Signal) 相对 SSS EPRE 的偏置值
	SSB(Synchronization Signal and PBCH block)子载波间隔
	SSB 发射周期
	SSB 所在的 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) 符号
	时隙配比
	无线接收设备定义
	下行 MIMO 模式
	上行 MIMO 模式

电信科学,2019(12):112-121.

- [3] RAPPAPORT T S.Wireless communications: principles and practice(2nd edition)[M].Prentice Hall Press,2001.
- [4] 3GPP TR 36.873.Study on 3D channel model for LTE (Release 12)[R].2017.
- [5] 3GPP TR 38.900.Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz (Release 14)[R].2017.
- [6] Atoll 3.4.0. User manual for wireless network[Z].2019.
- [7] 李洋,张传福,何庆瑜.5G 无线网络规划与设计探讨[J].电信技术,2019(8):15-18.

(收稿日期:2020-03-14)

作者简介:

陈宇(1988-),男,硕士,工程师,主要研究方向:4G/5G 移动通信技术。

沈建军(1970-),男,本科,高级工程师,主要研究方向:无线网络技术及无线网络运营。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所