



小基站部署方案规划算法

刘旸

(中国移动通信集团设计院有限公司河北分公司, 河北 石家庄 050021)

摘要: 随着移动网络的飞速发展, 小基站在 LTE 网络建设中的地位越来越重要。结合实际建网经验提出一种最优小基站部署方案规划算法——关联层次分析法。该算法结合层次分析法和灰色关联分析法的思想, 确定各部署方案和各指标参数之间的关系, 并对各方案进行排序, 最终得到最优小基站部署方案。仿真结果表明, 关联层次分析法在投资收益均衡方面优于其他传统算法, 并且建网以后的用户体验也有所提升。

关键词: LTE 网络; 小基站部署; 层次分析法; 灰色关联分析法; 关联层次分析法; 投资收益均衡

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017253

Planning algorithm of small cell deployment scheme

LIU Yang

Hebei Branch of China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Shijiazhuang 050021, China

Abstract: With the rapid development of mobile network, small cell is more and more important in the construction of LTE network. A best small cell deployment scheme named association-AHP was proposed. Combining the analytic hierarchy process with the gray relational analysis method, the relationship between each deployment plan and index parameter was determined, and each plan was ranked. Finally, the best small cell deployment scheme was obtained. Simulation results indicate that association-AHP performs better than traditional algorithms in ROI, and it can improve user satisfaction.

Key words: long term evolution network, small cell deployment, analytic hierarchy process, grey correlation analysis method, association-AHP, return on investment

1 引言

随着移动互联网的发展, 人们对流量的需求呈爆炸式增长。移动网络经过 30 年的发展, 已经发展到 4G 阶段。虽然 4G 系统相比以前的通信系统可以承载更多业务, 但是仍然不能满足人们飞速增长的业务需求^[1]。且随着移动网络的发展, 低频资源越来越少, 后续网络大有向高频发

展的趋势, 但是频段越高, 宏基站的穿透能力就越弱, 且建设和选点难度越大。小基站经过多年的技术演进, 组网结构多样化、部署方便快捷, 通过提升网络密度和深度覆盖范围达到更高的传输率和网络容量, 能更加有效地解决应对快速增长的流量需求。基于此, 本文提出一种可以选择出适合不同场景的最优小基站部署方案规划算法——关联层次分析法。通过层次分析法和灰



色关联度分析法处理实际影响方案规划中的各指标元素,最终规划出最符合场景的小基站部署方案。

2 小基站部署方案

据统计,目前 70%以上的流量发生在室内。而小基站主要用于解决室内弱覆盖和容量压抑的问题,小基站根据其功率大小可以分为微基站、微微基站和毫微微基站等多种类型。目前现网规划应用比较多的有微基站(5~20 W)和新型室分(50~200 mW)。微基站根据其设备形态不同又可以分为一体化微基站和分布式微基站,两种方案都主要用于补盲。以上 3 种部署方案针对不同场景的不同部署环境各有其优势,本文将新型室分、一体化微基站和分布式微基站 3 种小基站部署方案作为选择对象,验证所提算法的准确性和优越性^[2,3]。

2.1 新型室分

分布式设备通常由 BBU、RHUB (remote HUB) 以及微型 pRRU (picoRRU) 组成,信源为 BBU,BBU 与 RHUB 间可由光纤连接,RHUB 通过网线与微型头端 pRRU 相连,最终信号由 pRRU 进行发射。一个 RHUB 支持多个 pRRU,RHUB 通过 CPRI 把多路信号汇聚到 BBU。

与传统室分(DAS)相比,新型室分有部署快、维护方便、性能好和容易进行小区分裂合并等优点。新型室分因为其组网灵活,在各类室分场景都比较适用。例如华为的 LampSite,可以支持 900 MHz、1 800 MHz、2.3 GHz 和 2.6 GHz 共 4 个频段,并支持 4CC(载波聚合),可以灵活进行小区合并和分裂。一台 BBU 最多可以支持 24 个 RHUB 和 192 个 pRRU,其灵活的组网和超强的性能使其适用于各类室内场景^[4]。

2.2 一体化微基站

一体化微基站将射频单元、天线和基带等传统基站的模块集成到一起成为一体化基站。一体

化微基站通过 S1/X2 接口直接与核心网和其他基站进行连接,并且可以支持微波回传,在传输受限或者机房稀缺的场景比较适用。

一体化微基站有选址简单、安装方便快捷、美观易伪装等特点,主要用于补盲,与宏基站和室分相结合打造立体深度覆盖网络。特别是在传输受限的场景下,一体化基站有天然优势。

2.3 分布式微基站

分布式微基站和一体化微基站的区别在于,其分为射频处理与天线合一的微 RRU 和基带处理模块 BBU。通过分离这两个模块,可以很大程度上缩小模块的体积和重量,使微 RRU 更易于伪装,且组网更加灵活^[5]。

两种微基站的应用场景比较类似。但由于分布式微基站可以与宏基站共用基带单元,因此它具有更多宏微协同的功能,譬如宏微小区合并、宏微 CoMP、宏微载波聚合等,这些都是一体化微基站所不具备的功能。

3 关联层次分析算法

3.1 指标参数的选择

基于网络规划部署中的实际经验,初步选择把成本、容量、覆盖、传输和物业协调难度 5 个参数作为网络规划中的指标参数。

其中,成本是备选方案在完成覆盖和容量条件的情况下,所花费总成本;容量是考虑是否满足目标场景的容量需求以及后续的扩容需求;覆盖是考虑是否满足目标场景覆盖需求,是否存在弱覆盖区域;传输是附近机房到小基站传输是否通畅。

3.2 指标参数的处理

所选指标参数中包含较多抽象参数,如物业协调难度、容量和覆盖等。对于这类参数,可以借鉴模糊逻辑的思想。根据指标参数的不同特点确定相应的隶属函数 $\mu(x)$,然后通过去模糊法,将抽象的指标参数化作可度量的量。

具体表达式如下:

$$\bar{x} = \frac{\int x \cdot \mu(x) d_x dx}{\int \mu(x) d_x dx} \quad (1)$$

其中, x 是其指标参数隶属函数中的变量; $\mu(x)$ 为相应指标参数的隶属函数; d_x 为指标参数权重; $\bar{x}$ 是最后得到的可度量的值。隶属函数, 是用于表征模糊集合的数学工具, 根据参数的不同类型可以选择不同的隶属函数, 为了方便运算, 本文选择正态分布作为隶属函数。

经过去模糊化后, 所有的指标参数都化作可度量的值。为了对其进行处理需要把它们进行归一化, 这样所有的指标参数即可处于同一量纲, 方便后期处理。参数可以分为越大越好型(容量等)和越小越好型(成本等), 要分开处理。

假设有 m 个候选小基站部署方案, 影响方案选择的指标参数有 n 个。首先需要建立多目标参数矩阵, 归一化后得到如下矩阵:

$$B = (b_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & \cdots & b_{2n} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & \cdots & b_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & b_{m3} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, b_{ij} 表示第 i 个部署方案的第 j 个指标参数。

3.3 指标参数的筛选

选择的指标参数之间的关联性过高会增加该类指标参数的权重, 加重主观性对规划结果产生的影响, 从而影响最终的规划结果。本文通过灰色关联分析法去除关联度过高的指标参数, 使各参数之间保持独立性, 确保规划结果的准确性, 具体计算式如下:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \frac{\min_i \min_j |b_{ki} - b_{kj}| + \rho \max_i \max_j |b_{ki} - b_{kj}|}{|b_{ki} - b_{kj}| + \rho \max_i \max_j |b_{ki} - b_{kj}|} \quad (3)$$

其中, γ_{ij} 代表第 i 个与第 j 个指标参数的相关性; 可以设定的结果分辨率, 最终影响各参数的关联性, 如无特殊要求, 通常 ρ 取 0.5。

通过计算, 可以得到各指标参数之间的关联矩阵:

$$(\gamma_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \cdots & \gamma_{1n} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} & \cdots & \gamma_{2n} \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} & \cdots & \gamma_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \gamma_{n3} & \cdots & \gamma_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

把相关性过高的指标参数进行筛选剔除。

3.4 指标参数权重的确定

不同场景在选择小基站部署方案时对关键参数的偏重项是有所差异的。本文将适合小基站部署的场景分为居民区、商业街、人流量密集区(如学校、医院和商场等)三大典型场景, 具体见表 1。

表 1 小基站部署场景分类

场景类型	指标特征
居民区	物业协调难, 对基站较排斥, 需伪装
商业街	对传输要求高, 容量也有一定需求
人流密集区	对容量要求高, 且物业协调有难度

本文借鉴层次分析法思想^[6], 根据不同业务对各类指标参数的不同要求, 分别确定出 3 种典型场景下指标参数的权重。

首先, 根据各场景的指标特征, 建立判断矩阵:

$$C = (c_{ij})_{n \times n} \quad (5)$$

其中, c_{ij} 表示第 i 个和第 j 个指标参数对部署方案规划的重要程度的比值, 且 $c_{ij} = 1/c_{ji}$, c_{ij} 的取值可以参考表 2。

依据判断矩阵的值可以分别计算出各场景类

表 2 c_{ij} 参考值

i 与 j 的重要性比较	相等	较强	强	很强	绝对强	表示相邻判断的中间值
c_{ij}	1	3	5	7	9	2、4、6、8



型下对各指标参数的权重值, 计算过程如下:

$$W_i = \prod_{j=1}^n c_{ij} (i=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

计算 W_i 的 n 次方根, 方法如下:

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{W_i} \quad (7)$$

对 $W = (\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n)$ 做归一化处理, 计算式如下:

$$d_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i} \quad (8)$$

$D = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ 即相应的决定部署方案规划的指标参数的权重。

因为上述计算过程包含一定的主观性, 因此为了保证权重的准确性, 需要对该结果进行一致性检验。只有通过一致性检验的结果才可以被应用。

一致性检验是将一致性指标 C_1 与平均随机一致性指标 R_1 之比 C_R 作为当前的两两比较判断矩阵是否满足一致性检验的一个标准, C_R 和 C_1 的计算式分别如下:

$$C_R = \frac{C_1}{R_1} \quad (9)$$

$$C_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (10)$$

式 (9) 和式 (10) 中, $\lambda_{\max}$ 代表相互比较得出的判断矩阵 C 的最大特征值; n 为矩阵 C 的阶数; R_1 代表平均一致性指标, 它的取值可以参考表 3^[7]; C_1 代表一致性指标。

只有当得到的 C_R 不大于 0.1 时, 才能表明前面计算的结果满足一致性标准, 可以作为后续计算参考。本文根据前述方法求出用户在 3 种典型场景下的指标参数权重^[8]。

在得到每个典型场景下的指标参数矩阵和指标参数的权重矩阵后, 通过矩阵点乘即可得到最终的规划判决矩阵如下:

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & \dots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & \dots & e_{2n} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & \dots & e_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m1} & e_{m2} & e_{m3} & \dots & e_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 b_{11} & d_2 b_{12} & d_3 b_{13} & \dots & d_n b_{1n} \\ d_1 b_{21} & d_2 b_{22} & d_3 b_{23} & \dots & d_n b_{2n} \\ d_1 b_{31} & d_2 b_{32} & d_3 b_{33} & \dots & d_n b_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_1 b_{m1} & d_2 b_{m2} & d_3 b_{m3} & \dots & d_n b_{mn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

本文借鉴 TOPSIS 算法思想, 依据 key 判决矩阵对用户在使用该业务的情况下的部署方案进行排序。最后通过 TOPSIS 算法对判决矩阵进行处理。其中, x_i 表示第 i 个参数的理想最大值, y_i 表示第 i 个参数的理想最小值:

$$G = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, i=1, 2, \dots, n \quad (12)$$

规划判决矩阵的每行可以代表一种小基站部署方案, 通过计算矩阵中每个值和其每一列的最大值和最小值的差值 G_+ 和 G_- , 其中最大值和最小值的计算也要根据参数的属性 (越大越好或越小越好) 分开处理, 最终可以得到判决距离矩阵 G :

$$G = \begin{bmatrix} G_+^1 G_-^1 \\ G_+^2 G_-^2 \\ \dots \dots \\ G_+^m G_-^m \end{bmatrix} \quad (13)$$

然后通过式 (14) 得到最终的判决值:

$$P = \frac{G_-}{G_- + G_+} \quad (14)$$

判决值越大, 代表该部署方案越适合作为相应目标区域。并且可以根据该值对候选部署方案进行排序, 最终规划出最佳部署方案。

至此, 本文完成了关联层次分析法的运算过程, 算法流程如图 1 所示。

4 仿真及分析

分场景选择河北需要规划的区域, 用本文所

表 3 R_1 参考值

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
值	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.54

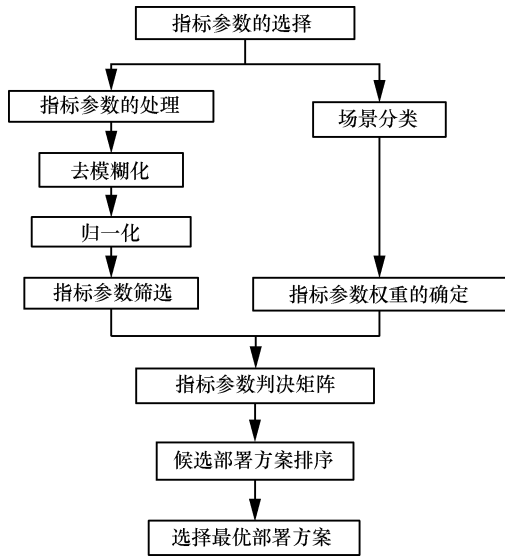


图1 关联层次分析算法流程

提算法进行部署方案选择。分别假设用 3 种小基站方案进行部署，可以得到部署 3 种方案的关键参数表，表 4 是其中一个规划区域的参数示例。

首先对指标参数的原始数据进行去模糊化和归一化处理，可得到表 5 的结果。

根据式（3）得到指标参数间关联度矩阵：

关联度矩阵=

$$\begin{bmatrix} 1 & 0.826 & 0.603 & 0.909 & 0.586 \\ 0.826 & 1 & 0.643 & 0.559 & 0.885 \\ 0.603 & 0.643 & 1 & 0.641 & 0.678 \\ 0.909 & 0.559 & 0.641 & 1 & 0.653 \\ 0.568 & 0.885 & 0.678 & 0.653 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

从以上关联矩阵可以看出，覆盖和容量两个治疗参数的关联度超过 0.9，这两个指标的相关性

会对规划结果产生影响，降低其准确性。依据标准，结合小基站的特性，把容量指标筛选掉，只留下覆盖指标。最后，可以通过算法得到该区域最适合部署的是新型室分。通过对多个区域的规划，经过归一化处理，得到 3 种场景下各个部署方案的贴近度分别为：

居民区： $P_1 = \{0.21, 0.37, 0.42\}$
商业街： $P_2 = \{0.18, 0.46, 0.36\}$
人流密集区： $P_3 = \{0.58, 0.18, 0.24\}$ (16)

最终可以得出 3 个场景下的平均选择率，如图 2 所示。

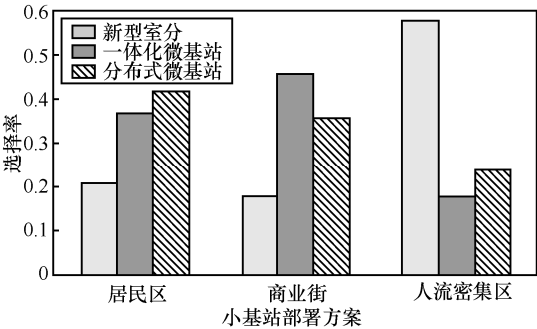


图2 3种典型场景下部署方案的选择

由图 2 可知，居民区、商业街和人流密集区 3 种典型场景的最佳小站部署方案分别是分布式基站、一体化微基站和新型室分。根据河北移动往年小基站部署数据，该方案排序比较准确。

为了体现关联层次分析算法在规划小基站部署方案的优越性。从 2017 年河北需要新建的小基站站点中随机选取 500 个站点进行仿真。并以规

表 4 某规划区域指标参数原始数据

部署方案	覆盖	成本/万元	物业协调难度	容量	传输
新型室分	易	12.5	难	易	较易
一体化微基站	较难	12.1	较难	较难	易
分布式微基站	较难	11.7	较难	较难	易

表 5 某规划区域指标参数处理后数据

部署方案	覆盖系数	成本/万元	物业协调难度系数	容量系数	传输系数
新型室分	0.9	0.34	0.2	0.9	0.75
一体化微基站	0.4	0.33	0.4	0.4	0.9
分布式微基站	0.4	0.32	0.4	0.4	0.9



划站点平均收益均衡值为性能指标,对比本文所提算法和层次分析法(AHP)、传统的以成本为导向的小基站部署方案选择算法,结果如图3所示。

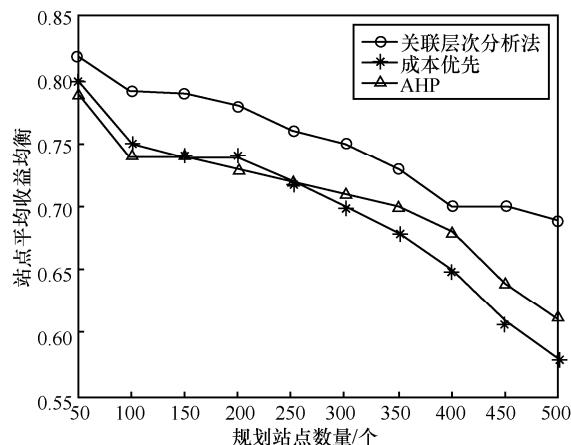


图3 站点平均收益均衡示意

从图3中可以看到,刚开始规划站点数量少,3种方案的收益均衡值比较相近,但是随着规划站点数量的增加,另外两种方法的收益均衡值下降速度明显比关联层次分析法快,而且在最终的平均收益均衡值方面,关联层次分析法也远远领先于另外两种规划算法。说明关联层次分析法在收益均衡方面优于传统的规划算法。另外,相对于传统算法关联层次分析法规划的部署方案可以最大程度降低投诉率,有效提升用户体验。

5 结束语

本文针对现网中小基站的规划部署问题,提出一种新的规划算法。结合层次分析法和灰色关联分析法,通过对影响规划结果的指标参数和其在每种场景下的权重分开处理的方式,得到规划区域各候选部署方案的排名,最终得到规划区域的最优小基站部署方案。仿真结果表明,层次分析法在投资收益均衡方面优于传统算法,并且可以有效提升用户体验。宏微结合进行立体组网已经成为运营商的必然选择^[9],小基站的部署能够有效提升用户体验,但同时带来同频干扰、移动性管理等问题,需要进一步研究解决。

参考文献:

- [1] HOADLEY J, MAVEDDAT P. Enabling small cell deployment with HetNet[J]. IEEE Wireless Communications, 2012, 19(2): 4-5.
- [2] WU G, YANG C, LI S, et al. Recent advances in energy-efficient networks and their application in 5G systems[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 145-151.
- [3] 陈晓冬, 吴锦莲, 王庆扬. LTE 异构网络技术研究[J]. 电信科学, 2012, 28(11): 13-18.
CHEN X D, WU J L, WANG Q Y. Study on heterogeneous network technologies[J]. Telecommunications Science, 2012, 28(11): 13-18.
- [4] BAROLLI L, MINO G, IKEBATA T, et al. Performance evaluation and comparison of fuzzy-based intelligent CAC systems for wireless cellular networks[C]//2010 2nd International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems(INCOS), Nov 24-26, 2010, Thessaloniki, Greece. New Jersey: IEEE Press, 2010: 177-184.
- [5] PORJAZOSKI M, POPOVSKI B. Radio access technology selection algorithm for heterogeneous wireless networks based on service type, user mobility and network load[C]//2011 10th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS), Oct 5-8, 2011, Nis, Serbia. New Jersey: IEEE Press, 2011: 475-478.
- [6] 张玉胜. TD-LTE 无线网络规划技术发展与挑战[J]. 电信工程技术与标准化, 2015, 28(2): 1-6.
ZHANG Y S. Technological development issues and challenges of TD-LTE wireless network planning[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2015, 28(2): 1-6.
- [7] 贝斐峰, 陈旭奇, 李新, 等. 小基站在 LTE 异构网络中的应用发展研究[J]. 电信快报, 2014(7): 26-30.
BEI F F, CHEN X Q, LI X, et al. Application development of small cell in LTE heterogeneous network[J]. Telecommunications Information, 2014(7): 26-30.
- [8] 许灵军, 程广辉. 灵活小基站在 TD-LTE 网络中的应用规划[J]. 通信世界, 2012(31): 30.
XU L J, CHENG G H. Flexible small cell in TD-LTE network application planning[J]. Communications World, 2012(31): 30.
- [9] 田峰, 刘翰焘, 周亮. 分层异构网络无线资源管理技术探讨[J]. 电信科学, 2013, 29(6): 32-38.
TIAN F, LIU H T, ZHOU L. Research on radio resource management for hierarchical heterogeneous wireless network[J]. Telecommunications Science, 2013, 29(6): 32-38.

[作者简介]



刘阳(1977-),男,中国移动通信集团设计院有限公司河北分公司咨询设计总监、高级工程师,主要研究方向为移动通信网络规划设计、4G/5G 无线网络技术及演进。