



基于果蝇优化算法的 5G 网络基站选址研究

黄维

(宝鸡职业技术学院, 陕西 宝鸡 721013)

摘要: 为解决 5G 网络基站选址未考虑建筑物的空间分布规律, 使得基站选址效果不理想, 导致基站覆盖范围较小的问题, 提出了基于果蝇优化算法的 5G 网络基站选址研究方法。计算前线基站到圆形覆盖中心的距离, 利用卫星通信设备对回传信号定位, 得到后方基站的可选位置区域。计算数据接收、发送和聚合能耗, 在蜂窝单元均衡分配的前提下, 保证基站数据负载平衡。构建基站选址双层位置模型, 设定约束条件, 确定基站最佳位置。利用果蝇优化算法更新位置, 经过个体更新迭代处理, 避免陷入局部最优, 获取精细的基站选址位置。由实验结果可知, 该方法前线、后方基站损耗最小分别为 50 dB、70 dB, 基站覆盖范围半径为 6 km, 与理想基站覆盖范围一致。

关键词: 果蝇优化算法; 联合驱动; 5G 网络; 基站选址优化

中图分类号: TN929

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023184

Research on 5G network base station site selection based on fruit fly optimization algorithm

HUANG Wei

Baoji Vocational & Technical College, Baoji 721013, China

Abstract: Faced with the fact that the spatial distribution of buildings is not considered in the location of 5G network base stations, which makes the base station site selection effect unsatisfactory and leads to the problem of small coverage of base stations, a research method for 5G network base station site selection based on fruit fly optimization algorithm was proposed. The distance from the front line base station to the circular coverage center was calculated, and the satellite communication equipment was used to locate the return signal to obtain the optional position area of the rear base station. The energy consumption of data reception, transmission and aggregation were calculated, and the load balancing of base station data was ensured under the premise of balanced distribution of cellular units. A two-layer location model for base station site selection was built, constraints were set, and the optimal location of base station was determined. The fruit fly optimization algorithm was used to update the position, and after individual update iterative processing, it was not to fall into local optimization and obtain the fine base station site selection position. It can be seen from the experimental results that the minimum losses of the front line and rear base stations in this method are 50 dB and 70 dB, respectively, and the coverage radius of the base station is 6 km, which is consistent with the coverage of the ideal base station.

Key words: fruit fly optimization algorithm, joint drive, 5G network, optimization of base station site selection

0 引言

在通信设备的建造中, 基站最佳选址是一个非常复杂的问题。在信息技术快速发展的同时, 网络覆盖不足导致的用户和运营商之间的冲突也日益突出。因此, 最大限度地实现无线网络的覆盖是一个非常有意义的问题。然而, 由于该问题涉及用户规模大、计算过程复杂、影响因素多, 用常规优化方法很难得到准确、高效的求解结果。近几年来, 人们已经提出了一些关于基站选址的改进方法, 并给出了一些相关的分析。目前, 已经存在大量研究应用方法解决实际基站选址优化问题。文献[1]提出了人工鱼群算法的选址方法, 该方法通过人工鱼群算法改变选址迭代步长, 以此进行基站选址规划, 使得待建基站数目满足覆盖要求。然而, 该方法容易受到数据负载不平衡影响, 选址结果不理想; 文献[2]提出了非正交多址接入选址算法, 该算法基于功率域非正交多址接入 (power domain non-orthogonal multiple access, PD-NOMA) 技术, 以采集到的特定基站位置为选择模式, 利用最大功率分割多路传输, 达到最小的接入时延。但是, 这类算法存在迭代后容易过早收敛、局部极值等缺点, 难以直接用于基站选址。为此, 提出了基于果蝇优化算法 (fruit fly optimization algorithm, FOA) 的 5G 网络基站选址研究。该方法构建了基站选址的双层位置模型, 结合果蝇算法优化 5G 网络基站选址过程。

1 基站可选位置划分

将基站可选位置大致划分为前线基站和后方基站两类, 其中前者主要负责维护区域内的信号, 后者主要利用有向天线进行通信, 这样就可以在保护区域内进行信息的交换。5G 网络基站选址场景示意图如图 1 所示。

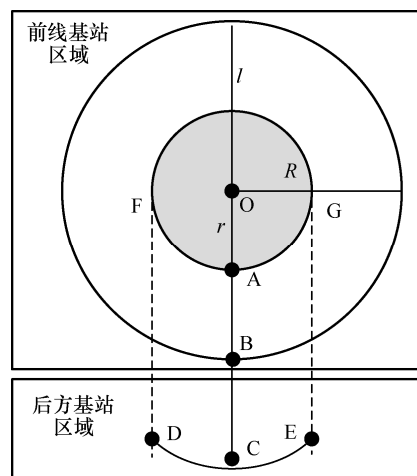


图 1 5G 网络基站选址场景示意图

根据图 1, 将维护区域用圆形覆盖, 前线基站若想覆盖该圆, 需要计算其与圆心的距离, 使其满足:

$$l + r \leq R \quad (1)$$

其中, l 表示前线基站与圆心的距离, r 表示半径, R 表示前线基站信号覆盖半径。圆心为 5G 网络进入维护位置联合驱动区域, 以 5G 网络的通信环境为依据, 使用卫星通信设备确定通信发送的位置^[3-4]。

在有公用通信网的地区, 则需要将基地基站布置在该地区。然而, 因为 5G 网络通信对时间的快速性要求很高, 所以不适宜在大范围内对整个地图进行搜索, 以判断公网良好与否的位置边界^[5-6]。因此, 可以使用以下方式划分后方基站的一个可供选择的位置区域。

基站选址以控制中心为起点, 一旦到达图 1 中的 B 点, 则关闭通信网, 并通过卫星通信器向指挥中心发送当前位置坐标。将线段 OB 延长至 OC, 从而使其后方基站在更佳的网络状况下进入公共通信网。在后方基站区域生成过程中, 以 O 为中心、OC 为半径, 以与该圆平行的切线为辅助, 组成一个弧形 DCE, 并将该弧形 DCE 的右边, 当作后方基站的一个备选区域。



2 基站选址方案设计

划分基站可选位置后, 计算数据接收、发送和聚合能耗, 保证每个蜂窝单元都具备均衡的数据负载。构建选址双层位置模型, 并结合果蝇优化算法, 优化 5G 网络基站选址过程。

2.1 基于蜂窝单元均衡分配的基站数据负载平衡

由于 5G 网络内部单元结构是一种蜂窝单元结构, 每个单元的能耗是由数据接收、发送和聚合构成的^[7]。基于前线、后方基站的可选位置范围, 每一个代表性基站接收蜂窝单元内的数据能耗可表示为:

$$Q_a = \left(\frac{M}{N} - 1 \right) \cdot C \cdot Q_l \quad (2)$$

其中, M 表示基站个数, N 表示蜂窝单元个数, C 表示比特数据包, Q_l 表示基站收发 1 个单元数据包能耗^[8]。

聚合蜂窝单元内数据能耗, 计算式为:

$$Q_b = \left(\frac{M}{N} \right) \cdot C \cdot Q_A \quad (3)$$

其中, Q_A 表示聚合 1 个单元数据包能耗。

发送蜂窝单元内数据能耗, 计算式为:

$$Q_c = Q_l \cdot C + Q_2 \cdot C \cdot d^2 \quad (4)$$

其中, Q_2 表示放大器能耗, d 表示数据通信距离^[9]。

蜂窝单元代表性基站的能耗计算式为:

$$Q_{\text{总}} = Q_a + Q_b + Q_c \quad (5)$$

结合蜂窝单元代表性基站能耗计算结果, 设计了如图 2 所示的蜂窝单元均衡分配结构。

由图 2 可以看出, 每个位置联合驱动区域内, 均存在 7 个最近的同信道区域, 连接同信道区域而成的六边形可构成一个数据负载平衡的基站^[10]。在分配均衡的蜂窝单元结构中, 在保持各蜂窝单元数目相同的前提下, 实现了各区域间的数据负载均衡^[11]。

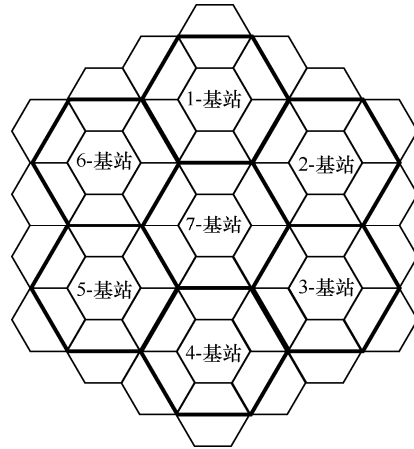


图2 蜂窝单元均衡分配结构

2.2 双层基站选址优化问题的位置模型构建

从多栋建筑物、多层交通流等特点出发, 根据建筑物的空间分布规律, 以最大建筑物间距和最小建筑物间距为优化目标, 构建多栋建筑物之间的通信路径^[12]。在用户日益增多的情况下, 如何有效提升网络覆盖范围, 并在此基础上对用户信号的不稳定进行有效处理, 是目前基站布局优化面临的一个迫切需要解决的问题^[13]。针对该问题, 建立基站选址的双层位置模型, 计算式为:

$$\begin{cases} \min Q = \sum_{i=1}^m Q_i + Q_{l,1} \\ \max W = \sum_{i=1}^m \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \alpha_i h_i, 2 \end{cases} \quad (6)$$

其中, 1 表示上层基站位置, 2 表示下层基站位置; Q_i 表示上层 i 个信号传输能量损耗; m 表示计算次数; α_i 表示拉格朗日乘数; h_i 表示建筑物与基站的相对位置。

式 (6) 对应的约束条件, 如式 (7) 所示。

$$\text{s.t.} \begin{cases} Q \leq P_{\text{发}} - P_{\text{接}} \\ \sum_{i=1}^m \alpha_i h_i = 0 \\ \alpha_i \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

其中, $P_{\text{发}}$ 、 $P_{\text{接}}$ 分别表示基站信号发射和接收功率。上层模型以信号传输路径最小为优化目标,

从多个可能的信道中选取最优的信道；下层模型以信号传递路线与建筑物间的间隔距离为最大值，对基站的最后定位进行了优选，再把它传回给上层模型，通过多次优化，得出基站的最佳位置^[14]。

2.3 果蝇优化算法流程

果蝇是一种广泛存在于温带与热带地区的昆虫，在寻找食物时，果蝇群体能够通过嗅觉寻找食物的方位，并将气味信息传递给其他果蝇，每个果蝇个体通过对比群体中的气味浓度，利用视觉飞向拥有最佳的浓度判定值的个体，并继续利用嗅觉展开下一步的搜索，通过这种方式，果蝇群体中的所有果蝇最终都能到达食物位置^[15]。具体流程如下。

(1) 初始化。设置果蝇优化算法的参数：种群大小、最大迭代次数、初始位置范围（LR）和每次移动的范围（FR）。计算自适应函数为：

$$x(t) = \sum_{i=1}^{s_i} y_i x'_i(t) \quad (8)$$

其中， $x(t)$ 为自适应函数， s_i 为 i 个权重， $x'_i(t)$ 为在采样时间 t 内的输入结果。对应的输出层 $y(t)$ 为：

$$y(t) = \begin{cases} 0, & x(t) > 0 \\ x(t), & -1 \leq x(t) \leq 1 \\ -1, & x(t) < -1 \end{cases} \quad (9)$$

由式 (9) 得到的结果与控制结果整体输出相当，使真实输入与期望输入之间的差异最大，则稳定状态的最小迭代 k 为：

$$k = \sum_{i=1}^l [x'_i(t) - x(t)] \quad (10)$$

通过式 (10) 可使输出值和理想值之间误差达到最小。

(2) 嗅觉搜索过程。每个果蝇个体根据嗅觉搜索食物的位置。

(3) 视觉搜索过程。在找到具有最佳味道浓度值的果蝇后，群体中的其他果蝇个体都会通过视觉直接飞向该位置。重复步骤 (2) ~ 步骤 (3) 直至达到算法的最大迭代次数，最后输出最优的味道浓度值和最优的果蝇位置。

2.4 基于果蝇优化算法的基站选址位置计算

为了使获取的位置信息更加精细，使用粒子群果蝇混合算法对上层预选基站位置和下层预选基站位置范围进行约束。其中，上层预选基站位置约束表达式为：

$$\begin{cases} x_{11}^2 + x_{12}^2 = r_c^2, & 0 \leq \theta_1 \leq \theta'_1 \\ x_{21}^2 + x_{22}^2 = r_d^2, & 0 \leq \theta_2 \leq \theta'_2 \end{cases} \quad (11)$$

其中， (x_{11}, x_{12}) 、 (x_{21}, x_{22}) 分别为前线、后方基站直角坐标， θ_1 、 θ'_1 分别表示前线基站在坐标系的实际角度和角度阈值， θ_2 、 θ'_2 分别表示后方基站在坐标系的实际角度和角度阈值。

下层预选基站位置约束表达式为：

$$h_i = \begin{cases} 1, & \beta \geq \beta_0 + \beta_1 \\ -1, & \beta \leq \beta_0 - \beta_1 \end{cases} \quad (12)$$

其中， β 表示建筑物在极坐标系的角， β_0 表示上层模型传入的角度信号， β_1 表示定义的角度阈值。

根据上、下层预选基站位置，求解最终位置有很多可能性穿过预设的基站点，或者与预设的基站点位置接近。为了求解双层基站选址优化问题的位置模型，引入果蝇优化算法，在不能确定食物位置的情况下，首先要计算目标到目标位置的距离，然后才能得到目标气味浓度的判定结果，这是一种新型的仿生优化方法。果蝇最优算法根据其气味浓度的大小判断优劣，对特定气味浓度进行计算。

在果蝇优化算法中，个体速度和位置更新迭代计算式可表示为：

$$\begin{cases} v_{j+1}^g = v_j^g + \frac{\eta \cdot (x_j^{g'} - x_j^g)}{t} \\ x_{j+1}^g = x_j^g + v_{j+1}^g \cdot t \end{cases} \quad (13)$$



其中, η 表示加速随机数, t 表示迭代时间, v_j^s 表示更新速度, x_{j+1}^s 表示更新位置。果蝇优化算法同时考虑了多种更新模式, 避免陷入局部最优, 获取精细的基站选址位置。

3 实验与分析

3.1 实验环境和装置模拟

为了缓解实验现场建设成本高、协调难的问题, 通过与电网公司合作, 在电力杆塔下搭建基站, 杆塔上架设的基站天线方式用于实现 5G 基站与输电线路共通的杆塔。基于该情况, 模拟的实验环境和装置如图 3 所示。

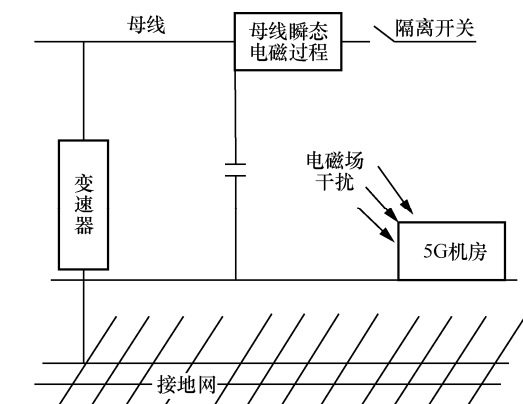


图3 模拟的实验环境和装置

仿真参数见表 1。

表 1 仿真参数

参数	值
系统区域/m ²	150 000
系统带宽/MHz	10
信噪比门限/dB	$\beta_2=0$
宏基站静态功率/W	1 000
宏基站发射功率/W	40
—	—

空间电磁干扰与 5G 基站设备之间采用直接耦合的方式, 外界空间电磁波通过装置外壳, 在该干扰环境下进行实验分析。

3.2 实验指标

用户 a 接收到的信干噪比为:

$$\text{SINR} = \frac{\max P_n}{\sum_{n=1} P_n + \lambda^2} \quad (14)$$

其中, P_n 表示 n 个用户接收信息最大功率, λ 表示噪声功率。当信干噪比高于一定的通信阈值时, 表示该通信系统已具备通信功能。本文提出了一种以平均信道容量为度量标准的基站选址效果评价方法, 指标可表示为:

$$A = \frac{\sum B \cdot (1 + \text{SINR})}{n} \quad (15)$$

其中, B 表示信道带宽。该计算结果越大, 说明选址效果越好。

3.3 实验数据

用随机函数产生建筑物的位置和高度数据形成建筑物基站范围, 前线和后方基站范围如图 4 所示。

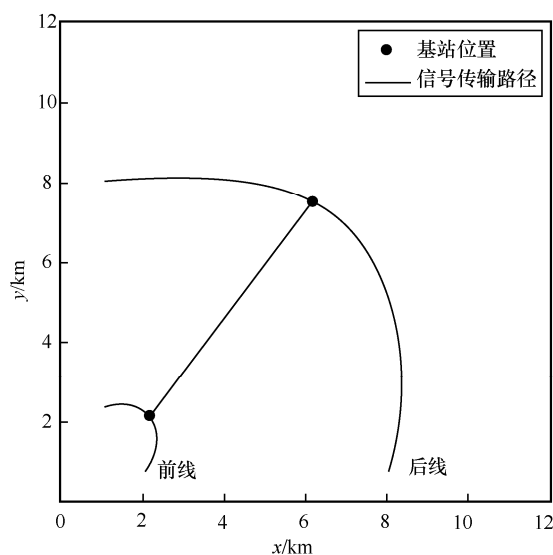


图4 前线和后方基站范围

由图 4 可知, 所选基站的前线、后方基站位置最佳坐标分别为 (2,2)、(6,7.8), 设初始前线、后方基站损耗分别为 170 dB 和 190 dB, 不断迭代过程, 前线、后方基站损耗见表 2。

表2 前线、后方基站损耗

迭代次数/次	前线基站/dB	后方基站/dB
2	157	178
4	130	153
6	110	130
8	88	110
10	60	89
12	50	70

由表2可知,前线基站和后方基站经过多次迭代后,最小传输损耗分别达到50 dB、70 dB。在该损耗变化的情况下,理想基站覆盖范围如图5所示。

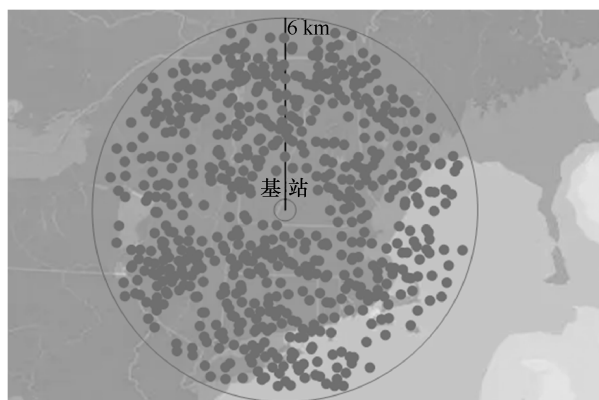


图5 理想基站覆盖范围

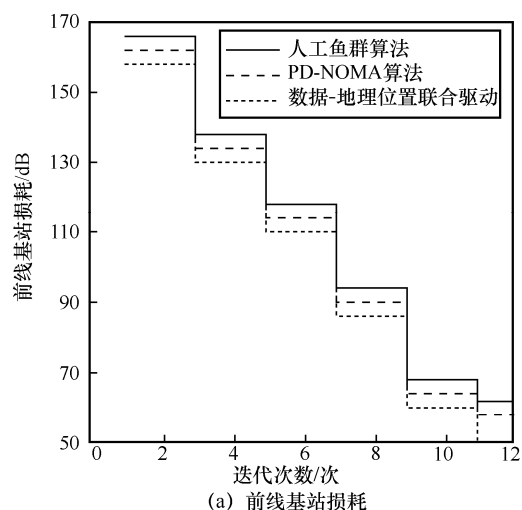
由图5可知,理想基站覆盖范围半径为6 km,且基站多。

3.4 实验结果与分析

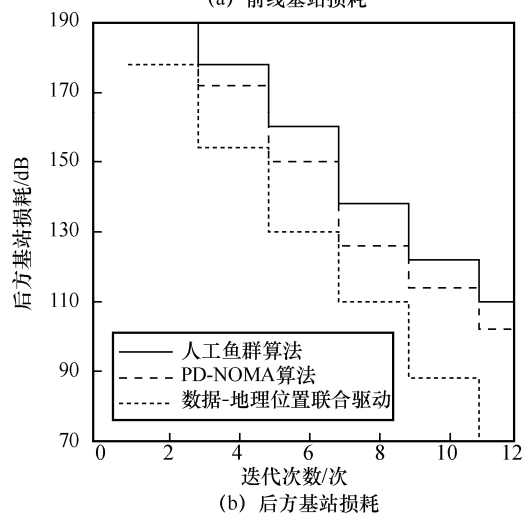
分别使用人工鱼群算法的选址方法、PD-NOMA算法和本文选址方法,对比分析前线、后方基站损耗变化过程,不同方法基站损耗对比如图6所示。

由图6(a)可知,使用基于人工鱼群算法的选址规划方法经过12次迭代处理后,前线基站损耗最终达到62 dB;使用PD-NOMA算法基站损耗相比于前一种方法要小,最终达到58 dB;使用本文选址方法,前线基站损耗最终达到50 dB。由图6(b)可知,分别使用基于

人工鱼群算法的选址规划方法、PD-NOMA算法和本文选址方法,经过12次迭代处理后,后方基站损耗最终分别达到110 dB、102 dB、70 dB。



(a) 前线基站损耗

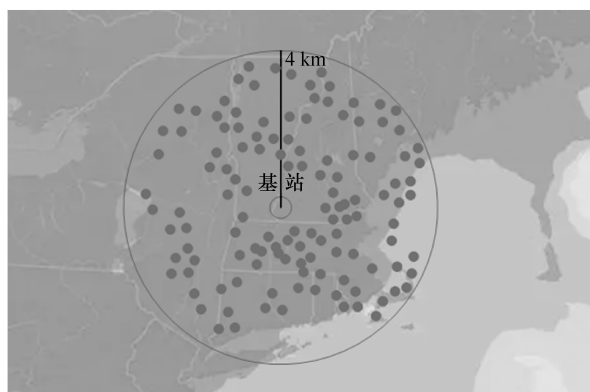


(b) 后方基站损耗

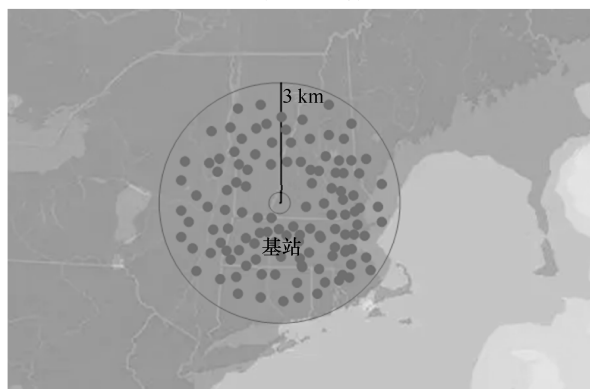
图6 不同方法基站损耗对比

通过上述分析结果可得,使用本文研究方法前线、后方基站损耗均最小。基于该结论,继续对比这3种方法的基站覆盖范围,不同方法基站覆盖范围如图7所示。

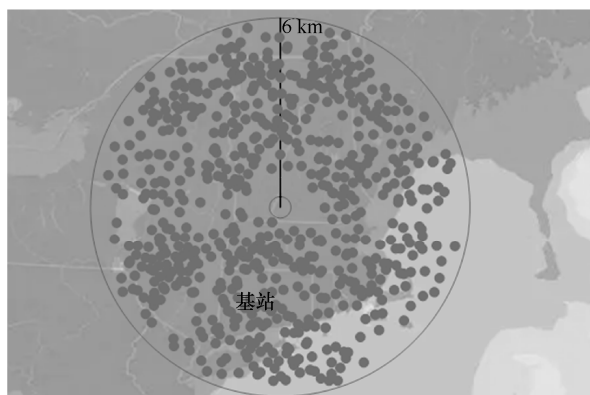
由图7可知,使用基于人工鱼群算法的选址规划方法、PD-NOMA算法,基站覆盖范围半径分别为4 km、3 km,其中基站均较少;使用本文方法,基站覆盖范围半径为6 km,其中基站较多,与理想基站覆盖范围一致。



(a) 人工鱼群算法



(b) PD-NOMA算法



(c) 本文方法

图7 不同方法基站覆盖范围

4 结束语

综上所述,本文通过优化 5G 网络基站选址方法,确认前线基站与圆形覆盖中心距离,划分前线、后方基站的可选位置范围;通过计算数据接收、发送和聚合能耗,均衡分配蜂窝单元,平衡基站数据负载。在此基础上,建立基站选址的双层位置模型,使用粒子群果蝇混合算法更新选址

位置,避免陷入局部最优,获取精细的基站选址位置。未来在本文研究的基础上,需要进一步研究随机需求下允许缺货的情形,并结合其他更现实性的约束条件,使模型将更加实用;可能存在的早熟收敛情况,需要结合粒子群优化、模拟退火、蛙跳等算法进行完善,使选址更加准确。

参考文献:

- [1] 金伟正, 宋超, 罗义军. 基于人工鱼群算法的电力无线专网基站选址规划[J]. 武汉大学学报(工学版), 2021, 54(6): 551-556.
JIN W Z, SONG C, LUO Y J. Base Station location planning of power wireless private network based on artificial fish swarm algorithm[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2021, 54(6): 551-556.
- [2] 孙源, 沈文建, 倪朋勃, 等. 实时工业物联网的功率域非正交多址接入基站选址算法[J]. 计算机应用, 2023, 43(1): 209-214.
SUN Y, SHEN W J, NI P B, et al. Sinklocation algorithm of power domain nonorthogonal multiple access for real-time industrial Internet of Things[J]. Journal of Computer Applications, 2023, 43(1): 209-214.
- [3] 胡焰智, 章锋斌, 田田, 等. 面向用户最大覆盖的多空中基站布局方法[J]. 系统工程与电子技术, 2023, 45(2): 580-588.
HU Y Z, ZHANG F B, TIAN T, et al. Multi-UAV-BS layout approach for maximum coverage of users[J]. Systems Engineering and Electronics, 2023, 45(2): 580-588.
- [4] 蔡佳祺, 万海斌, 孙友明, 等. 基于人工蜂群算法的基站天线方位角与下倾角自优化方法[J]. 电信科学, 2021, 37(1): 69-75.
CAI J Q, WAN H B, SUN Y M, et al. Artificial bee colony algorithm based self-optimization of base station antenna azimuth and down-tilt angles[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(1): 69-75.
- [5] 周童, 程方, 张治中, 等. 基于非泊松点过程建模的微基站部署研究[J]. 计算机应用研究, 2021, 38(12): 3730-3732, 3738.
ZHOU T, CHENG F, ZHANG Z Z, et al. Picobase station deployment based on non-Poisson point process modeling[J]. Application Research of Computers, 2021, 38(12): 3730-3732, 3738.
- [6] SRILAKSHMI V, ANURADHA K, SHOBA BINDU C. Incremental text categorization based on hybrid optimization-based deep belief neural network[J]. Journal of High Speed Networks, 2021, 27(2): 183-202.
- [7] 韩子颜, 王守相, 赵倩宇, 等. 计及分时电价的 5G 基站光储

- 系统容量优化配置方法[J]. 中国电力, 2022, 55(9): 8-15.
- HAN Z Y, WANG S X, ZHAO Q Y, et al. A capacity optimization configuration method for photovoltaic and energy storage system of 5G base station considering time-of-use electricity price[J]. Electric Power, 2022, 55(9): 8-15.
- [8] 陈金阳, 雷勇, 曹晓燕, 等. 基于混合 NSGA-II 算法的基站电源容量配置优化[J]. 电气传动, 2022, 52(16): 55-62.
- CHEN J Y, LEI Y, CAO X Y, et al. Optimal sizing of base station power supply based on hybrid NSGA-II algorithm[J]. Electric Drive, 2022, 52(16): 55-62.
- [9] 黄颖茜, 崔苗, 张广驰. 具有回程约束的多无人机基站的带宽功率与轨迹优化[J]. 计算机应用研究, 2021, 38(3): 831-835, 840.
- HUANG Y Q, CUI M, ZHANG G C. Bandwidth, power and trajectory optimization for multiple UAV base stations with backhaul constraint[J]. Application Research of Computers, 2021, 38(3): 831-835, 840.
- [10] 郝万明, 姚壮, 孙钢灿, 等. 一种优化基站服务状态的 C-RAN 联合波束设计[J]. 北京邮电大学学报, 2021, 44(3): 41-46.
- HAO W M, YAO Z, SUN G C, et al. A joint beamforming design for optimizing service state of base station in C-RAN[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2021, 44(3): 41-46.
- [11] 解彬彬, 刘继展, 蔡连江, 等. 小地块履带农机 UWB 导航系统设计及其基站布置[J]. 农业工程学报, 2022, 38(7): 48-58.
- XIE B B, LIU J Z, CAI L J, et al. Design of the UWB navigation system for tracked agricultural machinery in small land and analysis of base station layout[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(7): 48-58.
- [12] 陶倩昀, 袁三男, 张艳秋. 5G EN-DC 场景下 LTE 基站下行速率预测方法研究[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2022, 42(2): 72-78.
- TAO Q Y, YUAN S N, ZHANG Y Q. Research on downlink throughput prediction method of base station in 5G EN-DC[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science), 2022, 42(2): 72-78.
- [13] WANG Y X. Energy-saving scheme of 5G base station based on LSTM neural network[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 2083(3): 032026.
- [14] 王海, 翁晨傲, 李克, 等. 一种面向基站扇区方向角估计的改进 SVM 算法[J]. 计算机工程, 2021, 47(4): 120-126.
- WANG H, WENG C A, LI K, et al. An improved SVM algorithm for azimuth estimation of base station sector[J]. Computer Engineering, 2021, 47(4): 120-126.
- [15] 王志强, 董忠涛, 王骁龙, 等. 考虑建筑物遮蔽的电力应急通信基站选址双层优化方法[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(17): 107-116.
- WANG Z Q, DONG Z T, WANG X L, et al. Two-layer optimization method for site selection of a power emergency communication base station considering building shadowing effect[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(17): 107-116.

[作者简介]



黄维 (1970—), 男, 宝鸡职业技术学院讲师, 主要研究方向为计算机应用教学和计算机技术。