

# 基于萤火虫算法的建筑覆盖天馈

Intelligent Optimization of Building Coverage Antenna  
Based on Firefly Algorithm

# 智能寻优

董帝焯, 杜丕加(中国联通福建分公司, 福建 泉州 362000)

Dong Dilang, Du Pijia(China Unicom Fujian Branch, Quanzhou 362000, China)

## 摘要:

在建筑物覆盖区域性优化中,以区域内建筑物覆盖良好率为目标,改进了HATA经验模型对建筑物进行覆盖仿真,引入群体智能优化算法(萤火虫算法),同时结合理论分析、设计计算、试验对比、现场测试,寻找周边主覆盖小区中天线方位角和下倾角的最佳组合参数。

## 关键词:

群体;智能;萤火虫算法;天馈;优化;参数;组合  
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2019.11.001  
中图分类号:TN929.5  
文献标识码:A  
文章编号:1007-3043(2019)11-0001-05

## Abstract:

In the regional optimization of building coverage, aiming at the good coverage rate of buildings in the area, the Hata empirical model is improved to simulate the coverage of buildings. The group intelligent optimization algorithm (firefly algorithm) is introduced, and combined with theoretical analysis, design calculation, experimental comparison and field test, the best combination parameters of antenna azimuth and downtilt in the surrounding main coverage area are found.

## Keywords:

Group; Intelligent; Firefly algorithm; Antenna; Optimization; Parameter; Combination

**引用格式:**董帝焯, 杜丕加. 基于萤火虫算法的建筑覆盖天馈智能寻优[J]. 邮电设计技术, 2019(11): 1-5.

## 1 概述

随着通信行业的发展,网络规模不断扩大,无线网络射频优化是网优工作中资源投入最大的项目,同时随着站址密度加大,射频优化方案复杂度上升,传统手工方式存在效率低、优化效果难以保证的弊端。移动通信基站天线的优化包括天馈线及天线覆盖等的优化,是移动通信网络优化的重要课题。

在日常移动网络天馈优化工作中,常常是先通过拉网路测来查找问题,然后凭借人工经验调整天馈,最后再通过针对性路测验证问题是否解决。但是以人工为主导的网络优化过程都是建立在工程师的经验基础之上,人工分析不全面、效率低,无法在庞大的

参数空间中进行足够多的调试比较,得到的结果即使有所改善,也会与最优结果存在较大差距。假设一个简单的LTE网络由2个相邻的小区组成,为了调整相互之间的覆盖范围,可以调整下倾角和功率,其结果很容易通过测试获得。但如果网络由多个小区组成,为了调整网络的覆盖情况,就需要考虑所有小区之间的相互影响,这时的调整工作量将大幅增加,在这样一个复杂的情况下,通常只有通过简化一些条件以获得可接受的结果,几乎不可能做出最佳选择。所以,这种优化方式面对区域网络调整,效率相对低下,并且路测主要解决路面问题,无法很好地考虑到住宅小区的覆盖情况。

## 2 基于萤火虫智能算法寻优方案

对于由多个基站共同覆盖的某片区域,由无线传

收稿日期:2019-09-16

播模型可得到每个扇区在该区域每幢建筑物的电平, 部分建筑会存在弱覆盖和重叠覆盖问题, 优化之后希望弱覆盖和重叠覆盖的建筑物达到最少, 通过调整天线方位角、下倾角来改变目标区域建筑物的电平分布, 再计算弱覆盖和重叠覆盖指标, 当方位角和下倾角调整至某一值时, 目标指标达到最优时, 可以认为达到了优化的理想效果(见图1)。



图1 天馈寻优示意图

COST231 Hata 模型(1 800 MHz 适用):

$$\text{Loss (dB)} = 46.3 + 33.9 \times \lg f - 13.82 \times \lg h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \times \lg h_b) \times \lg d + k_c \quad (1)$$

Hata-Okumura 模型(900 MHz 适用):

$$\text{Loss (dB)} = 69.55 + 26.16 \lg f - 13.82 \lg h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \lg h_b) \times \lg d \quad (2)$$

式中:

$f$ ——频段(MHz)

$h_b$ ——基站天线高度(m)

$h_m$ ——手机 UE 高度(m), 一般为 1.5 m

$h_m$ ——基站到 UE 的距离(km)

$k_c$ ——地貌修正因子 密集城区假定为 0

$a(h_m)$ ——天线高度修正因子, 取  $(1.1 \times \lg f - 0.7) \times h_m - (1.56 \times \lg f - 0.8)$

根据路径损耗公式, 可以计算出 UE 接收电平:

$$\text{RSRP} = \text{RSPow} - \text{Loss} \quad (\text{RSPow 为小区的参考功率})$$

## 2.1 覆盖模型的修正

实际影响测试点接收到的小区信号强度除了与周边环境有关, 还与下述参数有关: 天线类型(定向/全向)、天线水平半功率角、天线垂直半功率角、天线增益(dB)、天线挂高(m)、天线倾角、天线方位角、馈线损耗(dB)、接收位置与小区距离(km)。

因此本文创新性地改进了覆盖模型公式, 将天线的属性参数参与计算作为权重因子代入公式。

如图2所示, 图2中分别有蓝色、红色、粉红色3个点, 其中蓝色和粉红色分别对应的是天线的下波瓣-3 dB的位置( $D_{\min}$  (m))和上波瓣-3 dB的位置( $D_{\max}$  (m))。其中  $D_{\min}$  (m) 到天线位置的距离为:



图2 创新覆盖模型

$$\text{天线挂高} / \tan((0.5 \times \text{天线垂直半功率角} + \text{天线倾角}) \times \pi / 180) \quad (3)$$

当接收位置与小区距离小于  $D_{\min}$  (m) 时, 接收位置与小区距离取  $D_{\min}$  (m) 与天线的距离。

权重系数(  $\alpha$  ):

a) 主瓣覆盖 ( $\text{Inter\_angle} \leq \text{HHPA}/2$ ):  $\alpha = 2 - \cos(0.5 \times \text{Inter\_angle} \times \pi / 180)$ 。

b) 旁瓣覆盖 ( $3 \times \text{HHPA}/2 \geq \text{Inter\_angle} > \text{HHPA}/2$ ):  $\alpha = (2 - \cos(0.5 \times \text{HHPA}/2 \times \pi / 180)) \times (2 - \cos(0.5 \times (\text{Inter\_angle} - \text{HHPA}/2) \times \pi / 180))$ 。

c) 背瓣覆盖 ( $\text{Inter\_angle} > 3 \times \text{HHPA}/2$ ):  $\alpha = (2 - \cos(0.5 \times \text{HHPA}/2 \times \pi / 180)) \times (2 - \cos(0.5 \times (\text{Inter\_angle} - 3 \times \text{HHPA}/2) \times \pi / 180))$ 。

其中, HHPA 为天线水平半功率角, Inter\_angle 为接收位置与小区天线方位角的夹角绝对值。

最后代入路损公式得到最终的电平公式:  $\text{RSRP} = \text{RSPow} - \alpha \times \text{Loss}$

生成天线仿真覆盖图与实际天线特性相符, 准确度大大提升(见图3)。

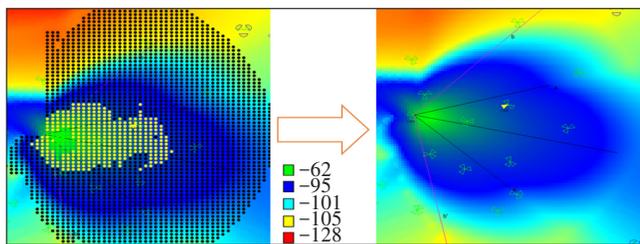


图3 天线仿真覆盖图

## 2.2 基于萤火虫算法原理

萤火虫算法(FA——Firefly Algorithm)是群智算法中的一种, 它是剑桥大学 Xin-She Yang 教授在 2009 年提出的一种启发式算法。萤火虫算法利用搜索空间中所有可行解来模拟夜空中的单个萤火虫, 将最优解的搜索优化过程模拟为萤火虫的彼此吸引和位置更新过程。利用目标函数的适应度值来确定个体萤火虫的位置, 并将消除个体适应度的过程与搜索优化的过程进行比较。该解代替了最差可行解的迭代过程。

萤火虫搜索算法原理如图4所示, 2个萤火虫个体分别为a和b; 它们的搜索半径分别为 $r_a$ 和 $r_b$ 。b在a的搜索范围内, 如果b的亮度比a弱, 则b将向a移动, 反之a向b移动。若b不在a的搜索范围内, 即使a更亮, b不向a移动。算法中每个天线参数组合就是一只萤火虫, 萤火虫亮度用区域弱覆盖及过覆盖栅格/建筑物占比最低的目标函数来替代, 萤火虫位置由天线挂高、天线方位角和天线下倾角三维组成。

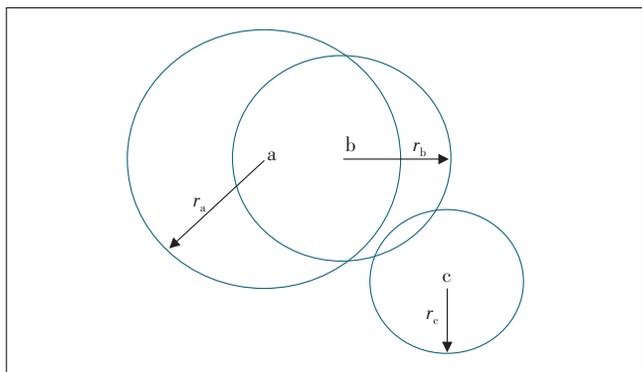


图4 萤火虫搜索算法原理

### 2.2.1 荧光亮度

荧光亮度计算公式如下:

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r} \quad (4)$$

式中:

$I_0$ ——萤火虫的最大荧光亮度, 即其自身的荧光亮度( $r=0$ 处), 与目标函数值相关, 目标函数值越优则自身亮度越高

$\gamma$ ——光强吸收系数, 因为萤火虫的荧光亮度会随着距离的增加和传输介质的吸收而逐渐减弱, 所以吸收系数被设定为反映这一特性的常数, 可设为常数, 在多数问题中 $\gamma \in [0.01, 100]$

$r$ ——萤火虫 $i$ 与 $j$ 间的欧氏距离

目标函数定义: 即区域弱覆盖及过覆盖栅格/建筑物占比最低, 良好覆盖栅格: RSRP > -110 dB 占比 90% 以上的栅格; 重叠覆盖栅格: 某栅格 RSRP > -105 dB 的小区信号中存在 3 个以上 RSRP 相差 6 dB 以内的小区。目标函数值 = 非良好覆盖及非重叠覆盖的栅格数/区域总栅格数 × 100%。上述目标函数及目标门值可根据当地网格情况及优化目标进行调整。

### 2.2.2 萤火虫吸引度

萤火虫吸引度计算公式如下

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^m} \quad (m \geq 1) \quad (5)$$

式中:

$\beta_0$ ——最大吸引度, 即光源的吸引度( $r=0$ 处)

$\gamma$ ——光强吸收系数, 参数通常取值为 2

### 2.2.3 位置更新(最优目标迭代)

位置更新迭代公式如下:

$$x_j(t+1) = x_j(t) + \beta(x_i(t) - x_j(t)) + \alpha \varepsilon_j \quad (6)$$

式中:

$x_j(t+1)$ ——萤火虫 $x_j$ 在第 $t+1$ 次移动后的位置

$\alpha$ ——步长因子, 是 $[0, 1]$ 内的常数

$\varepsilon$ —— $[0, 1]$ 内服从高斯分布的随机因子

萤火虫位置更新后重新计算亮度, 在迭代次数内不断重复以上位置更新步骤, 直到满足迭代次数, 所有个体都将聚集在亮度最高的萤火虫位置上, 从而实现最优, 即得到最优解。具体流程如图5所示。

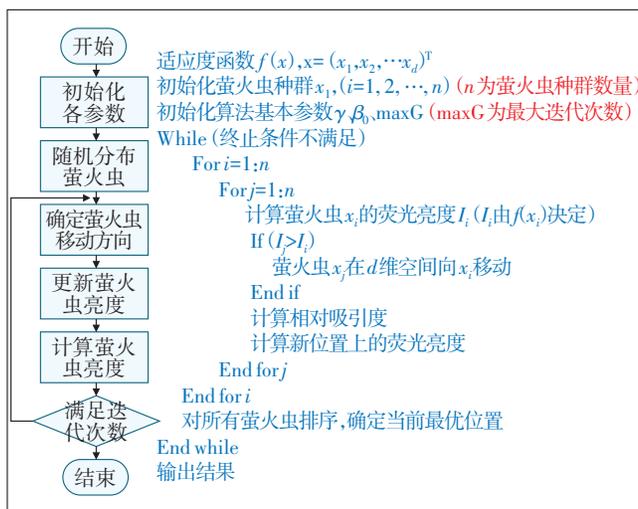


图5 萤火虫实现流程

### 2.2.4 萤火虫算法的应用

如图6和图7所示, 萤火虫算法的应用步骤如下。

a) 利用无线传播模型, 每个小区都能在每个建筑物生成 1 个 RSRP 电平值, 这样即可生成一个矩阵电平值。

b) 待调整小区与优化区域其他小区的矩阵分开, 待调整小区代入萤火虫算法, 得出电平变量矩阵。

c) 将待调整小区的矩阵变量电平与寻优区域的矩阵电平合并计算目标函数(覆盖良好率)(见图8)。

d) 运行优化模块, 输入结果(见图9)。

e) 调整前后对比, 良好覆盖率有所提升, 输出结果与萤火虫算法的参数设置相关, 后期还需对迭代次数, 亮度、吸引度等初始值验证测试(见图10)。

f) 建筑物 3D 建模效果, 直观显示无线环境(见图11)。

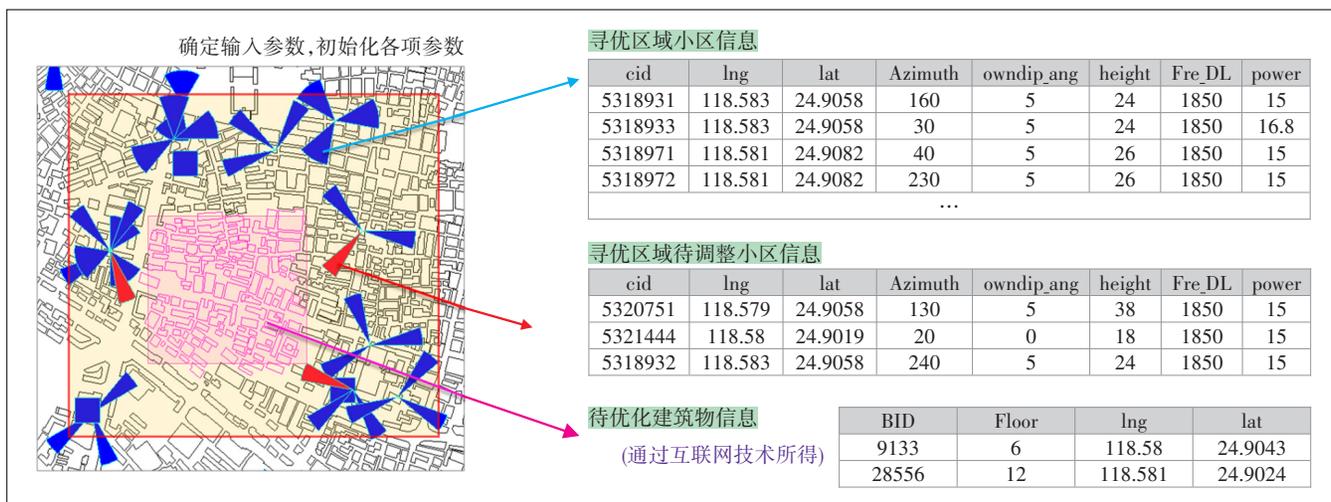


图6 参数初始化



图7 建立索引池, 确定参数组合

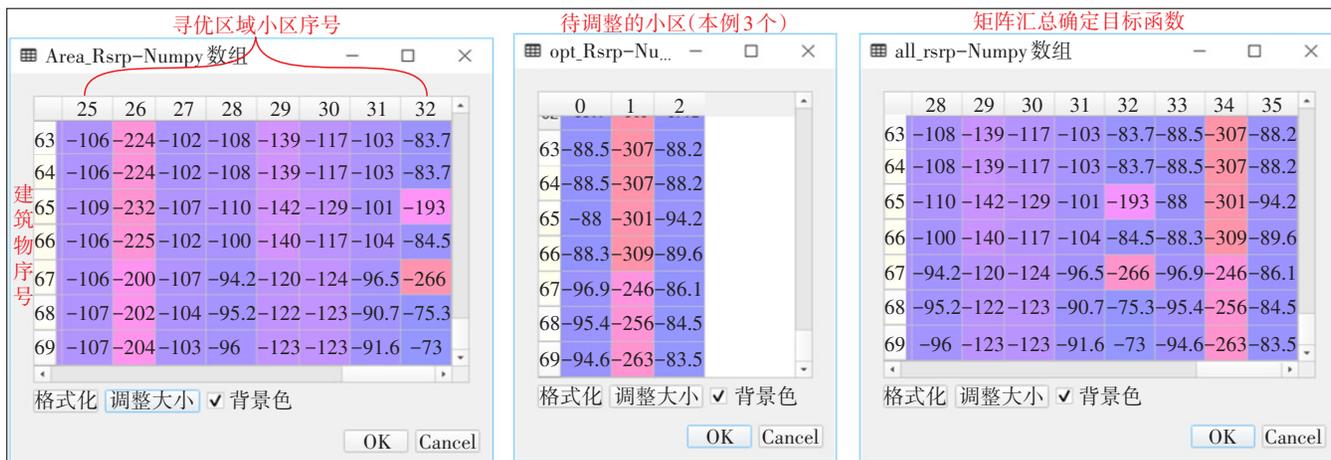


图8 寻优区域矩阵

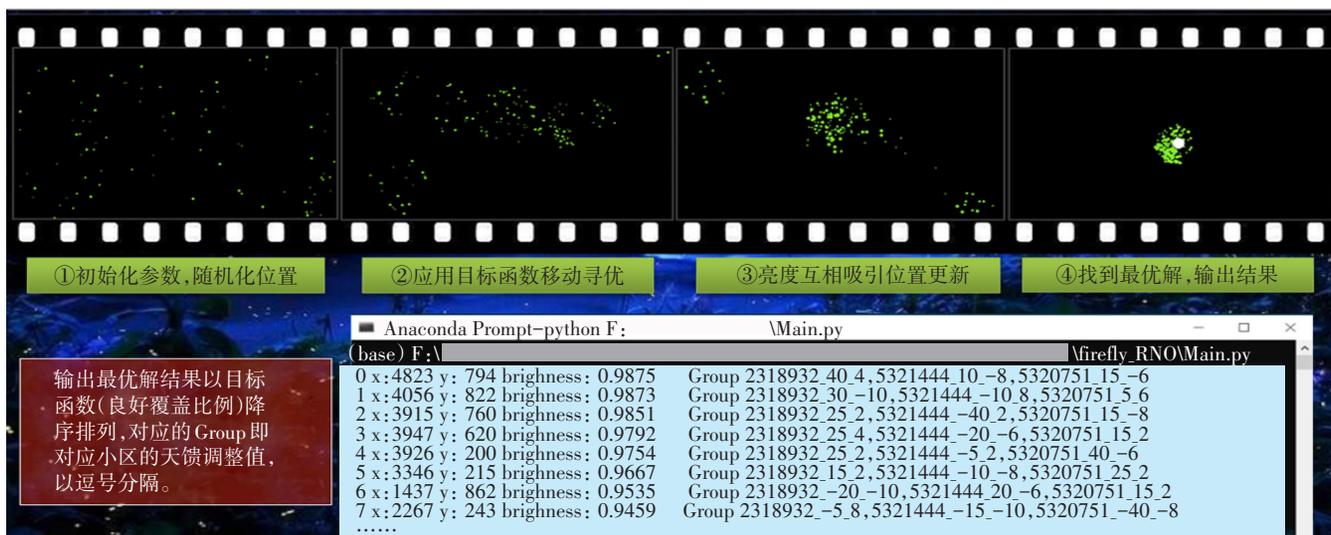


图9 寻优结果

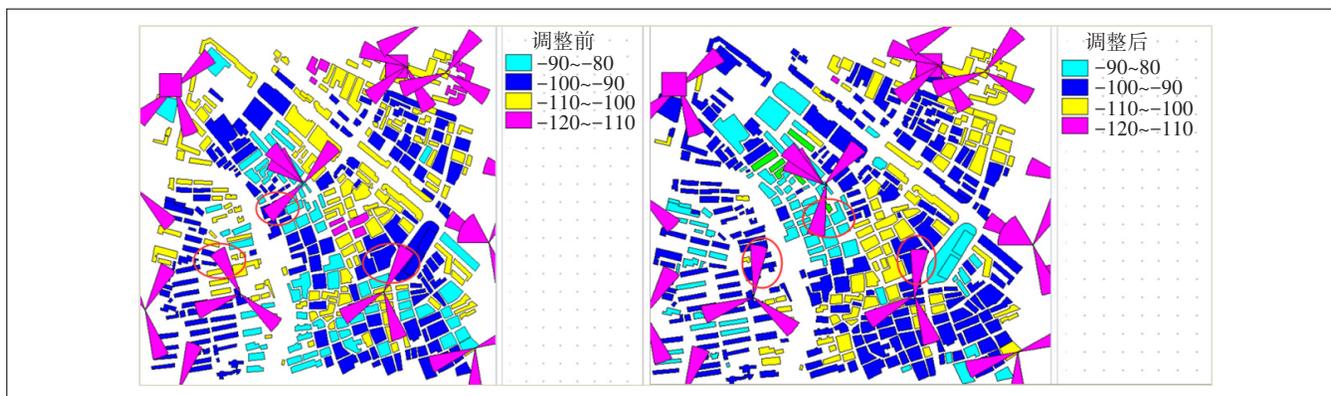


图10 优化前后效果对比



图11 无线环境建筑物3D建模效果

### 3 结束语

无线环境因地制宜,不同地方不同场景有所区别,覆盖模型的地形校正因子和萤火虫算法的初始值还需通过多次测试验证以提高覆盖仿真准确率。以建筑物为栅格进行覆盖仿真,但因建筑物轮廓有大有小,当建筑物面积较大时,仿真精度难免降低。

萤火虫算法的关键是目标函数,也就是覆盖仿真模型结果,其精度决定算法的寻优效果,下一阶段将

根据本地不同场景研究覆盖模型中地形因子、天馈损耗等因素对电平的影响,将建筑轮廓以10×10栅格大小划分,进行深入研究完善,以大幅度提高仿真精度。

#### 参考文献:

- [1] 百度百科. 萤火虫算法[EB/OL]. [2019-08-02]. <https://baike.baidu.com/item/萤火虫算法/15696488?fr=aladdin>.
- [2] 冯艳红, 刘建芹, 贺毅朝. 基于混沌理论的动态种群萤火虫算法[J]. 计算机应用, 2013, 33(3): 796-799.
- [3] 安德里亚斯·穆勒, 莎拉·吉多. Python机器学习基础教程[M]. 张亮, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2018: 21-22.

#### 作者简介:

董帝焯, 毕业于厦门大学, 高级工程师, 主要从事WCDMA、LTE的网络优化和NR新技术的研究工作; 杜丕加, 毕业于厦门大学, 高级工程师, 软件设计师, 主要从事大数据挖掘分析工作。

