

基于功率和倾角联合优化的小区中断补偿机制

李文璟 尹梦君* 喻鹏 项楠

(北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室 北京 100876)

摘要: 为了实现对中断小区的自主补偿, 该文基于自组织网络(SON)提出功率和倾角联合优化调整的小区中断补偿(COC)机制。首先以天线倾角和发射功率作为优化对象, 然后对COC定义了合理的优化目标及评价指标, 并对优化模型进行分析, 最终给出基于遗传优化算法的补偿机制。在分时期演进(TD-LTE)场景中进行仿真验证, 该机制与参考文献中的3种算法相比, 在覆盖、干扰和吞吐量等方面均有明显的改善。

关键词: 自组织网络; 小区中断补偿; 倾角和功率联合调整; 遗传算法

中图分类号: TN 915.07

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2015)05-1207-07

DOI: 10.11999/JEIT140935

A Cell Outage Compensation Mechanism Based on Joint Optimization of Power and Tilt

Li Wen-jing Yin Meng-jun Yu Peng Xiang Nan

(State Key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: In order to compensate the outage cell autonomously, this paper derives a solution for Cell Outage Compensation (COC) in Self-Organizing Networks (SON) which is based on the joint adjustment of power and tilt. Firstly, the paper takes the power and tilt as the optimization objects. Then it defines the rational objectives and the evaluation index of the COC, and analyzes the optimization model. Finally, the compensation mechanism based on the Genetic optimization Algorithm (GA) is proposed. The simulation results under the Time Division Long Term Evolution (TD-LTE) scenario show that the proposed solution is better than other three methods in terms of the coverage, interference, and throughput.

Key words: Self-Organizing Networks (SON); Cell Outage Compensation (COC); Joint adjustment of power and tilt; Genetic Algorithm (GA)

1 引言

3GPP 标准化组织和欧盟苏格拉底(SOCRATES)研究项目针对自组织网络(Self-Organizing Networks, SON)开展了一系列研究和标准化工作。在SON中有3个关键功能: 自配置^[1]、自优化^[2]和自愈^[3]。其中, 自愈是指网络自主检测, 并定位影响网络性能故障, 继而进行自动恢复的功能^[4]。为了实现网络自愈, 要求网络能够在无人干预的情况下自主进行小区中断补偿(Cell Outage Compensation, COC)^[5]。COC在中断发生并且网络性能无法达到要求时触发^[6], 并通常采取调节相邻基站参数的方式来对中断小区进行补偿, 直到满足用户的服务质量(QoS)需求和网络性能的需求。

求。

作为无线接入网的热点问题, 小区中断补偿方法已有大量的研究。文献[7]提出了SON网络中小区中断补偿的综合概念, 但未涉及具体场景的补偿机制及算法的实现。文献[8,9]实现了基于基站倾角调整来达到提高覆盖目的的机制, 但是并没有应用到小区补偿场景中, 也没有对联合调整倾角和功率展开研究。文献[10,11]阐述了COC算法的实现机制, 介绍了基于粒子群算法和免疫算法的小区中断补偿方法, 但其只涉及了对功率的调整, 没有联合考虑对倾角的调整。以上研究均以单个基站作为最小的补偿单位, 忽略了基站扇区级别的优化模型。以扇区为最小粒度, 考虑基站扇区和倾角和功率的联合调整, 文献[12]研究了三扇区的基站中断情况, 并且对不同参数的控制对覆盖的影响进行了详细的讨论, 提出了多种中断场景, 但是没有讨论补偿机制的细节及具体实现方法。在文献[12]的基础上文献

2014-07-15 收到, 2014-11-18 改回

国家自然科学基金(61271187), 国家863计划项目(2014AA01A701)和中央高校基本科研业务资助(BUPT2014 RC1104)资助课题

*通信作者: 尹梦君 yinmengjun@bupt.edu.cn

[13]完成了仿真评测的具体实现,但是并没有考虑实际的有用户存在的情况,不够完善。文献[14]在关闭基站后,以最差用户的信号与干扰加噪声比为指标,利用遍历的方法联合调整倾角和功率,以达到节能的目的。该方案使用遍历的方法先调整倾角再利用共轭梯度算法调整功率结果,无法找到最优解,而且没有权衡多种指标。

本文主要依据上述研究成果,研究在三扇区基站场景下,当某一基站中断后,综合调节基站功率及倾角对小区服务进行补偿的机制。该机制提出了联合功率和倾角调整的优化模型,利用遗传算法对该数学模型进行求解,分析了优化结果的有效性。本方法的主要技术创新点为:(1)采用三扇区基站场景,利用联合功率和倾角的调整完成覆盖的扩张,并对比倾角调整以及功率调整对其影响;(2)权衡多种指标综合定义了合理的优化目标,并用其对补偿结果进行评价;(3)利用遗传算法找到补偿结果的最优解。

2 系统模型

倾角模型设置依据 3GPP TS 36.814^[15]所述,天线倾角的计算可以分为:水平倾角 σ_H 和 3D 倾角 σ_{3D} ,垂直倾角 t 即为本方案中的调整变量。3D 倾角 $\sigma_{3D} = \arctan((h_{te} - h_{re})/d) - t * \cos(\sigma_H)$, h_{te} 为基站天线有效高度, h_{re} 为移动台天线有效高度, d 为基站天线与移动台天线的水平距离,单位均为 m。相应地,天线增益的计算也分为:水平增益和 3D 增益。水平增益 A_h 及垂直增益 A_v 的计算方法如式(1)和式(2)所示,其中,式(1)中水平增益 A_h 由水平倾角 σ_H 计算得出,在 LTE 网络中,固定参数 $\delta_{3\text{dB}} = 70^\circ$, $A_m = 25\text{ dB}$;式(2)中垂直增益 A_v 由 3D 倾角 σ_{3D} 计算得出,在 LTE 网络中,固定参数 $\theta_{3\text{dB}} = 10^\circ$, $SLA_v = 20\text{ dB}$, $\theta_{\text{tilt}} = 15^\circ$ 。总体 3D 增益 A_{3D} 由水平倾角 σ_H 和 3D 倾角 σ_{3D} 共同计算得出,如式(3)所示。调整倾角后基站传播获得的增益差值如式(4)所示,其中: A'_{3D} 为倾角调整后计算得出的增益, A_{3D} 为原

增益,二者的差即为增益变化的大小,用于后续传播模型的计算。

$$A_h(\sigma_H) = -\min\left[12\left(\frac{\sigma_H}{\delta_{3\text{dB}}}\right)^2, A_m\right] \quad (1)$$

$$A_v(\sigma_{3D}) = -\min\left[12\left(\frac{\sigma_{3D} - \theta_{\text{tilt}}}{\theta_{3\text{dB}}}\right)^2, SLA_v\right] \quad (2)$$

$$A_{3D} = -\min\{-[A_h(\sigma_H) + A_v(\sigma_{3D})], A_m\} \quad (3)$$

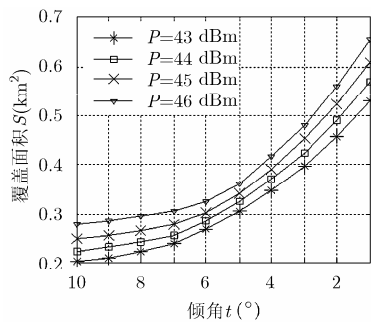
$$\Delta A(\sigma_H, \sigma_{3D}) = A'_{3D} - A_{3D} \quad (4)$$

本文使用修正 Cost231-Hata 模型进行链路预算,如式(5)所示。其中, f_c 为载波频率,单位为 MHz; h_{te} 为基站天线有效高度, h_{re} 为移动台天线有效高度, d 为基站天线与移动台天线的水平距离,单位均为 m; $a(h_{re})$ 为移动台有效天线修正因子, C_M 为大城市中心校正因子。根据场景设定以及站间距测试,考虑基站功率的范围,郊区环境更符合三扇区基站传播环境。其中大城市郊区环境比较有实际研究意义,由于大城市郊区人口相对密集,基站中断影响较大需要及时补偿。所以在本文中,采用大城市郊区模型 $C_M = -12.28$, $a(h_{re}) = (1.11\lg f_c - 0.7)h_{re} - (1.56\lg f_c - 0.8)$ 。

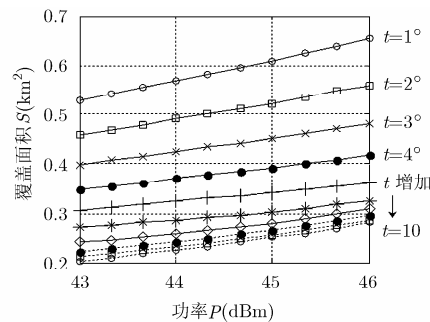
$$\text{Loss(dB)} = 66.3 + 33.9\lg f_c - 13.82\lg h_{te}$$

$$-a(h_{re}) + (44.9 - 6.55\lg h_{te})\lg d + C_M \quad (5)$$

在不同功率、倾角下比较覆盖面积(S)的变化情况,分析单独一个三扇区基站功率(P)与倾角(t)调整对覆盖的影响。根据增益计算及链路损耗可以得到传播范围,从而可观察基站的覆盖面积。图 1(a)表示功率分别为 43 dBm, 44 dBm, 45 dBm 和 46 dBm 时,由倾角变化所观察的覆盖面积。由图可知随着倾角从 10° 减小到 7° 的过程中,面积增加并不明显,之后,面积增加呈近似指数的上升趋势。图 1(b)表示当倾角在 $1^\circ \sim 10^\circ$ 变化时功率对覆盖面积的影响。由图可知功率对面积的影响呈缓和及线性增加趋势。在变化较大时,倾角调整的影响更为突出。总的来说,调整倾角对整个基站的覆盖面积影响要大于调



(a) 倾角变化观察覆盖面积



(b) 功率变化观察覆盖面积

图1 倾角功率单独调整对覆盖面积的影响

整功率的影响。但是仅仅调整倾角可能达不到信号强度要求，因此本文主要研究联合调整功率和倾角来达到最佳覆盖并达到补偿的目的。

3 COC 问题描述

本文研究问题如图 2 所示，假设中心基站意外中断，则触发补偿机制，补偿机制调整相邻基站的无线网络参数，使其覆盖增大，此时由于中断所影响的区域被补偿基站所覆盖。而在调整基站运行参数的过程中，如何尽可能地补偿中断的用户，避免过覆盖和覆盖空洞是需要考虑的关键问题。

3.1 相邻基站参数调整目标

设服务区内设有 M 个服务小区，共有 L 个用户

$$\min f(P, \sigma_H, \sigma_V) = \left[A_{\text{gap}}(P, \sigma_H, \sigma_V), A_{\text{ovlp}}(P, \sigma_H, \sigma_V), S_{\text{gap}}(P, \sigma_H, \sigma_V) \right]^T$$

$$= \left[\frac{\sum_{l=1}^L \varepsilon \left[-\sum_{i=1}^M \varepsilon (P_l + \Delta A_{i,l}(\sigma_H, \sigma_V) + \Delta P_l - \text{Loss} - P_{\text{th}}) \right]}{L}, \right.$$

$$\left. \frac{\sum_{l=1}^L \varepsilon \left[\sum_{i=1}^M \varepsilon (P_l + \Delta A_{i,l}(\sigma_H, \sigma_V) + \Delta P_l - \text{Loss} - P_{\text{th}}) - 3 \right] S_{\text{reg}} - \bigcup_{l=1}^L S_l(P, \sigma_H, \sigma_V)}{L S_{\text{reg}}} \right] \quad (6)$$

其中，未被覆盖的用户比 A_{gap} ，过覆盖的用户比 A_{ovlp} 是从用户角度考虑的优化目标，覆盖空洞比 S_{gap} 是从基站覆盖角度考虑的优化目标。 P_l 表示小区 l 的发射功率，单位为 dBm； σ_H 为水平倾角， σ_V 为垂直倾角， $\Delta A_{i,l}(\sigma_H, \sigma_V)$ 为基站调整倾角后，通过小区 l 传输给用户 i 获得的增益，单位为 dB； ΔP_l 为基站调整发射功率的幅度，单位为 dBm；Loss 为通过基站 l 向用户 i 的传播路径损耗，单位为 dBm； P_{th} 为用户最小接收信号强度，单位为 dBm。 $\varepsilon(x)$ 函数为阶跃函数，当 $x \geq 0$ 时， $\varepsilon(x)$ 的值为 1；否则， $\varepsilon(x)$ 为 0。对优化模型中涉及的 3 个优化目标的分析为：

(1) $A_{\text{gap}}(P, \sigma_H, \sigma_V)$ 表示补偿后，未被覆盖的用户所占比。对于用户 i ，当 $P_l + \Delta A_{i,l}(\sigma_H, \sigma_V) + \Delta P_l - \text{Loss} > P_{\text{th}}$ 时，表示用户 i 可以被基站 l 所服务。所有基站都无法服务用户 i 时，有

$$\varepsilon \left[-\sum_{i=1}^M \varepsilon (P_l + \Delta A_{i,l}(\sigma_H, \sigma_V) + \Delta P_l - \text{Loss} - P_{\text{th}}) \right] = 1$$

反之，当有基站可以服务用户 i 时该值为 0。当邻站参数调整幅度不足时，就会出现用户被覆盖率低，空洞过大的情况。

(2) $A_{\text{ovlp}}(P, \sigma_H, \sigma_V)$ 表示补偿后，用户获得多于 3 个小区有效覆盖的情况，即过覆盖的用户所占比。

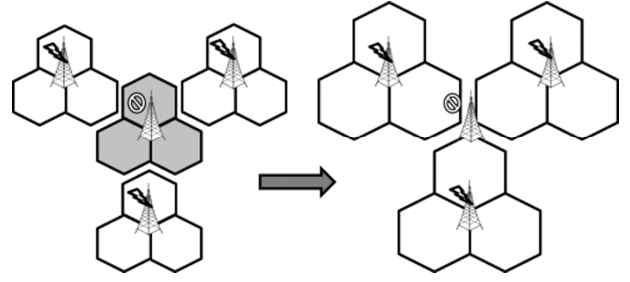


图2 COC方法示意图

接受服务。通过调整相邻小区参数，使其满足受中断影响用户最少，过覆盖用户最少，以及覆盖空洞最小的优化目标如式(6)所示。

用户 i 能够获得有效覆盖的小区数目表示为

$$\left[\sum_{i=1}^M \varepsilon (P_l + \Delta A_{i,l}(\sigma_H, \sigma_V) + \Delta P_l - \text{Loss} - P_{\text{th}}) \right]$$

当其大于 3 时，则有

$$\varepsilon \left[\sum_{i=1}^M \varepsilon (P_l + \Delta A_{i,l}(\sigma_H, \sigma_V) + \Delta P_l - \text{Loss} - P_{\text{th}}) - 3 \right] = 1$$

表示用户 i 可以获得的有效覆盖小区数目超过 3 个。当邻站参数调整幅度过大时，就会出现部分用户被过覆盖，资源浪费严重，干扰显著增强的情况。

(3) $S_{\text{gap}}(P, \sigma_H, \sigma_V)$ 表示覆盖空洞所占比，主要考虑从基站的角度保证覆盖效果。 S_{reg} 表示服务区范围， $S_l(P, \sigma_H, \sigma_V)$ 表示基站 l 的有效覆盖范围， $\bigcup_{l=1}^L S_l(P, \sigma_H, \sigma_V)$ 为调整基站功率和倾角后所有基站可以覆盖的区域范围。 $S_{\text{reg}} - \bigcup_{l=1}^L S_l(P, \sigma_H, \sigma_V)$ 即调整后出现覆盖空洞的范围。参数调整合适时可以保证覆盖空洞最小化。

3.2 网络影响评估指标

在中断补偿过程中，调整倾角会增加用户切换频率，调整功率使其增大会增加整个小区的能耗。因此，式(7)定义了一个网络影响评估指标 D_{adj} 来直观地衡量联合调整功率和倾角所带来的影响。

$$D_{\text{adjt}} = \frac{\chi\mu \sum_{i=1}^M \Delta P_i + (1-\chi)\eta \sum_{i=1}^M \Delta \theta_i}{M_{\text{on}}} \quad (7)$$

其中 ΔP_i 为基站 i 调整功率后的增益差, $\Delta \theta_i$ 为基站 i 调整倾角后的增益差, M_{on} 为活跃基站数。 μ, η 为评价函数修正因子, $1/\mu = \max(\Delta P)$ 为功率可以调整的最大范围, $1/\eta = \max(\Delta \theta)$ 为倾角可以调整的最大范围。 χ 为功率调整与倾角调整的均衡比例系数, $0 \leq \chi \leq 1$ 。由于功率调整会带来能源消耗增加、干扰增大等不良影响, 所以本文将 χ 设置为 0.9, 增大了调整功率相对于调整倾角的影响比例。当 χ 取 1 时, 即只调整基站功率的情况; 当 χ 取 0 时, 即只调整基站倾角的情况。在后面的仿真实验中, 本文将根据该评估指标来分析不同方案对网络的整体影响。

4 遗传算法的 COC 应用

由于优化目标以及参数调整的多样化, 据文献[16]可以证明找到最优解是一个非确定多项式问题。而遗传算法在建立数学模型时不需要考虑问题的内在性质, 对于任意形式的目标函数和约束, 无论是线性的还是非线性的, 离散的还是连续的均可处理。因此, 本文采用遗传算法^[17]来解决上述问题, 主要步骤如下。

首先进行初始化, 设置种群大小 NP, 种群遗传迭代次数 NG, 交叉概率 Q_c 和变异概率 Q_m 。在本文多参数的前提下, 不采用常规的二进制编码, 而是直接用实数值来处理每个基因节点。将个体的染色体设为 $\mathbf{gene} = [P_1, P_2, \dots, P_n; \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n]$, 每个染色体相当于当前基站的参数设置, 每个基站的功率 P_n 、倾角 σ_n 按照基站编号 $1 \sim n$ 的两组参数设定值。整个种群为 $\mathbf{popu} = [\mathbf{gene}]_{NP \times 2n}$, 即为 NP 个染色体组成的 NP 行 $2n$ 列的结果集矩阵。功率 P 的调整范围为 43~46 dBm, 倾角 σ 的调整范围为 $1^\circ \sim 10^\circ$ 。在搜索最优解过程中, 将对倾角和功率同时进行优化。

在初始化和编码之后, 对种群中的每个个体进行评估, 将拥有最佳适应度的解作为局部个体最优解, 对于初始种群来说同时也是全局最优解。确定一个合适的适应度函数, 可以评价每个染色体的优劣, 并使种群向更好的方向繁衍。结合上述数学模型, 在补偿覆盖时, 需要满足多个目标函数的要求。因此将所有目标整合在一起得到如式(8)所示的适应度函数。基于本文提出的优化目标特性, 遗传变换将朝着适应度降低的方向进行。其中 $A_{\text{gap}}, A_{\text{ovlp}}, S_{\text{gap}}$ 为上文定义的目标函数, α, β, γ 表示不同目标的权重系数。在不同系统中会有不同的比例, 相应

的结果也会不同。

$$F_{\text{fit}} = \alpha A_{\text{gap}} + \beta A_{\text{ovlp}} + \gamma S_{\text{gap}} \quad (8)$$

根据计算的适应度结果, 将适应度低的优化个体直接遗传到下一代或通过配对交叉产生新的个体再遗传到下一代。遗传算子分为选择、交叉、变异 3 方面。每次运算先由选择操作挑选出两个染色体, 继而由交叉概率判断是否进行交叉, 最后依变异概率对交叉后的结果进行调整。 $\theta_{\text{slect}}, \theta_{\text{crss}}, \theta_{\text{muta}}$ 分别为 3 种算子产生的随机数, Q_c, Q_m 为交叉、变异设定的概率值。

选择 选择机制使用轮盘赌机制, 用式(9) N_k 的值代表第 k 个基因选择概率比。适应度函数值越低的染色体被选中进行繁殖的概率越大。当 $N_{k-1} < \theta_{\text{slect}} < N_k$ 时, 第 k 个基因即为选中结果, 进行下一步交叉操作。

$$N_k = \sum_{t=1}^k (1 - F_{\text{fit}}^t) / \sum_{t=1}^{\text{NP}} (1 - F_{\text{fit}}^t) \quad (9)$$

交叉 由上一代选中的两个个体交叉繁殖出下一代的个体。当 $\theta_{\text{crss}} \geq Q_c$ 时, 所选择的个体直接遗传到下一代。当 $\theta_{\text{crss}} < Q_c$ 时, 被选中的两个母体进行交叉, 功率倾角向量 $\mathbf{gene} = [P_1, P_2, \dots, P_n; \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n]$, $\mathbf{gene}' = [P'_1, P'_2, \dots, P'_n; \sigma'_1, \sigma'_2, \dots, \sigma'_n]$ 分别用服从均匀分布的随机函数得到整数结果 $\mathbf{rp}, \mathbf{r\sigma}$, 并利用这两个定位结果进行交叉, 产生下一代染色体结果 $\mathbf{gene}' = [P'_1, P'_2, \dots, P'_{\text{rp}}, \dots, P'_n; \sigma'_1, \sigma'_1, \dots, \sigma'_{\text{r\sigma}}, \dots, \sigma'_n]$ 。新的个体由上一代母体交叉后可得出新的功率和倾角值, 即新的参数调整结果。

变异 对每一次交叉产生的结果进行变异判断, 若 $\theta_{\text{crss}} \geq Q_m$ 不进行操作, 若 $\theta_{\text{crss}} < Q_m$ 时则对交叉产生的个体根据式(10)进行微调。其中, ζ 为微调值。由随机 rand 的结果对新个体的每一位基因值等概率进行参数改变的调整。此外, 当 $\mathbf{gene}'(i)$ 的值超过上下界限时, 取门限值。功率调整超过上界 46 dBm 时改为 46 dBm, 低于下界 43 dBm 时改为 43 dBm。倾角调整超过上限 10° 时改为 10° , 低于下限 1° 时改为 1° 。

$$\mathbf{gene}'(i) = \begin{cases} \mathbf{gene}(i) + \zeta, & \text{rand} > 0.5 \\ \mathbf{gene}(i) - \zeta, & \text{rand} \leq 0.5 \end{cases} \quad (10)$$

将经过选择、交叉、变异后的结果作为新的种群, 重复上述操作直到达到迭代次数 NG, 所有记录中的适应度函数最低的结果即为所求最优解。

5 仿真及分析

本文以 Matlab 作为仿真实验平台, 进行性能验证, 并将本文方案联合调整功率和倾角(Joint Tilt

and Power Adjustment, JTPA)与 3 种方案：调整功率^[11](Only Power Adjustment, OPA)、调整倾角^[10](Only Tilt Adjustment, OTA)和联合调整功率和倾角^[14](Joint Optimization of Electric Antenna Tilt and Transmit Power, JOETP)从多方面进行分析比较。

5.1 仿真场景

仿真场景为大城市郊区环境。在面积 2.5×2.5 km 的范围内有 7 个基站和 150 个随机分布的用户，分布如图 3 所示。基站之间定义接口传播基站信息，人为关闭中心基站模拟中断场景，每个基站可进行基站参数变化的操作。在 COC 过程中，由分布在周围的邻基站依靠调整倾角和功率，来扩大覆盖以达到补偿中间基站中断带来影响的目的。传播模型，倾角模型、调整影响模型中的参数设置如表 1 所列。与遗传算法相关的参数如表 2 所列。在搜索最佳策略时，功率以 1 dBm 为调整步长，倾角以 1° 为调整步长。

5.2 结果分析

基站参数调整结果如表 3 所示，由于增大相邻基站的覆盖使得中断区域的用户大部分得到了补

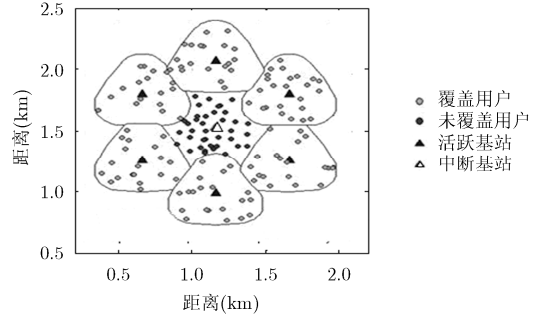


图3 仿真场景分布图

表2 GA参数设置

NP	20
NG	100
Q_e	0.7
Q_m	0.8
α	0.4
β	0.2
γ	0.4
ζ	1 dBm/ 1°

表1 仿真环境参数设置

路损模型	Cost231-Hata
载波频率 f_c	2.6 GHz
天线高度 h_{te}, h_{re}	45 m(eNB), 1.5 m(UE)
原始下行传播功率	43 dBm
C_M	-12.28
P_{th}	-105 dBm
阴影衰落	8 dB
穿透损耗	20 dB
电缆损耗	2 dB
天线模型	3GPP 3D
原始天线倾角	10°
δ_3 dB	70°
A_m	25 dB
θ_3 dB	10°
SLA _v	20 dB
θ_{etilt}	15°
用户数 L	150
基站数 M	7
活跃基站数 M_{on}	6
χ	0.9

偿,4 种方案补偿后中断概率明显高于补偿前的 0.4。而 JOETP 方案虽然也进行了倾角和功率的调整，但是该方案参数调整力度不够，不适用于中断补偿环境。

5 种方案的信号与干扰加噪声比 (Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR)如图4所示。图 4(a)补偿前，中心区域无法满足用户 QoS 需求和网络覆盖率。图 4(b)经过 OPA，增加功率使得邻站能够扩大覆盖范围，但仍有 21% 的用户未被覆盖，同时基站间干扰明显加大。图 4(c)经 OTA 已经基本满足了用户服务质量的需求，中心部分的干扰不是很强，但是覆盖面积仍有间隙。图 4(d)由于该方案以离基站最远的用户 SINR 为目标，不考虑整体覆盖情况，有较大空洞。图 4(e)经过本文的 JTPA 后，各项优化目标均达到理想的状态，在满足用户服务质量的同时，达到了完全补偿覆盖所有区域的要求。

图 5 所示为 OPA, OTA, JTPA 3 种补偿方案的网络影响评估指标比较，其横坐标为每次迭代结果的适应度函数值，纵坐标为每次迭代结果的网络影响评估指标值，曲线按照迭代次数的结果相连接。OTA 找到了最优解且未反复，这是因为倾角调整时任何一个基站的变动对整体适应度的影响大，达到最优解后不会随意变动。与其相反，由于功率影响小，多种 OPA 调整方案可能会达到相似的效果。而

表3 基站参数调整结果

结果	参数设置(°/dBm)	A_{gap}	A_{ovlp}	S_{gap}	F_{fit}	D_{adjt}
未补偿前	倾角 10 10 10 10 10 10 功率 43 43 43 43 43 43	0.4000	0	0.1804	0.2321	0
只调整功率 OPA	倾角 10 10 10 10 10 10 功率 44 45 46 46 43 46	0.2100	0	0.1256	0.1343	0.6667
只调整倾角 OTA	倾角 1 1 1 2 1 1 功率 43 43 43 43 43 43	0.0600	0.0100	0.0456	0.0462	0.8833
联合调整 JOETP	倾角 3 3 3 3 3 3 功率 45 46 46 45 43 43	0.1600	0	0.1498	0.1239	0.5695
联合调整 JTPA	倾角 1 1 1 2 1 1 功率 43 44 44 46 46 45	0.0100	0.0100	0.0310	0.0204	0.5833

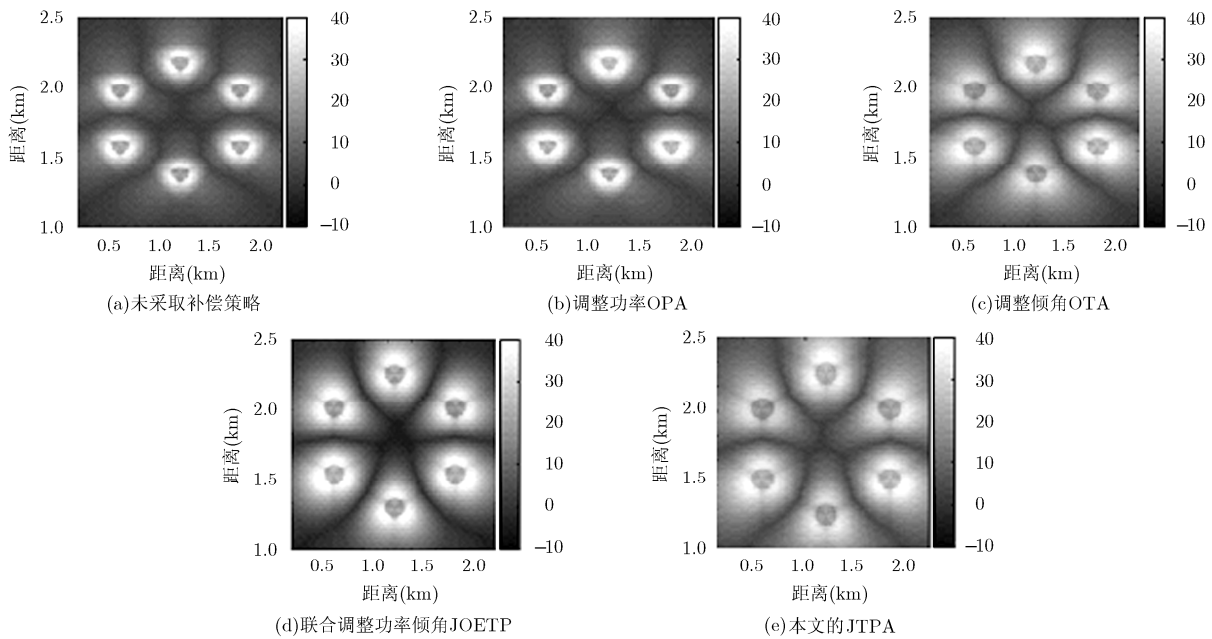


图4 不同方案的 SINR 图

JTPA 的迭代效果介于两者之间。另外，可以看出 OPA 由于覆盖增加效果有限，在适应度函数方面，差于 OTA 和 JTPA。而 OTA 的网络影响评估指标值最高，其次是 OPA, JTPA，这是因为 OTA 各个基站调整差值较大，而 OPA 较小。由于 JTPA 综合调整两个参数，使得可以不用牺牲更多的网络影响而获得更好的效果。

图6为用户接收功率的累积分布函数图(Cumulative Distribution Function, CDF)。接收功率在-90 dBm以下的用户占整体用户比例，OPA为70%，OTA为40%，JOETP为78%，而JTPA仅为37%。这是由于调整倾角提高了增益，使得整体用户的接收功率明显增加。而调整功率将使得中心用户接收功率增高，但是大多数边缘用户只拥有很低的接收功率。图7为用户吞吐量的CDF图。可以看出JTPA使得原中断小区的用户大多有较高的吞吐量。

而在曲线首段和尾段的OPA偏高是由于调整功率未能覆盖所有边缘用户，部分低吞吐量的用户并不在计算范围内。JOETP大大提升了一部分用户的吞吐量值，但是没有在整片区域上起到良好的改善效果。

综上所述，与 OPA, OTA 相比，JTPA 能更好地保证网络质量和用户服务质量，并且在不同场景下更具有灵活性；与 JOETP 相比，更能适应中断补偿场景。

6 结束语

本文将调整基站功率和调整基站倾角联合应用于小区中断补偿机制中。基于遗传算法找出最优解并分析其补偿效果。在满足用户服务质量的同时，方案达到了完全补偿覆盖所有区域的要求，并使各项优化目标均达到最理想的状态。作为一种中断补偿机制，联合调整功率和倾角也存在一些缺点，如

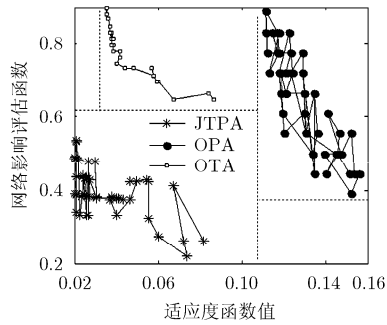


图5 网络影响评估函数比较图

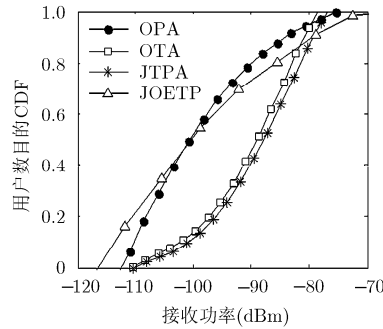


图6 用户接收功率累积概率分布

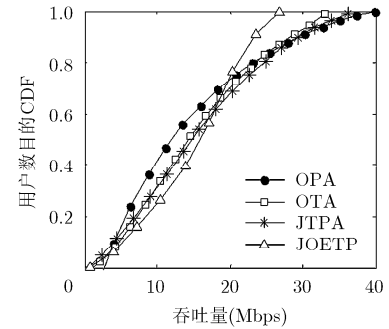


图7 用户吞吐量累积概率分布

网络模型设计较为规则，没有考虑实际的复杂网络场景。在下一阶段中，将研究 LTE 异构网络下多频段、多基站类型和多业务环境下的中断补偿方法。

参考文献

- [1] 3GPP TS 32.501 V9.1.0-2010. Telecommunication management; self-configuration of network elements; concepts and requirements[S]. 2010.
- [2] 3GPP TS 32.521V9.0.0-2010. Self-Organizing Networks (SON) policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); requirements[S]. 2010.
- [3] 3GPP TS 32.541 V1.5.0-2010. Telecommunication management; Self-Organizing Networks (SON); self-healing concepts and requirements[S]. 2010.
- [4] Ma Y, Ji X D, Jiang J M, *et al.* A resource allocation algorithm using compensation timeslot for self-healing in heterogeneous networks[C]. Proceedings of the IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Workshop, London, UK, 2013: 122-126.
- [5] Xia L F, Li W J, Zhang H, *et al.* A cell outage compensation mechanism in self-organizing RAN[C]. Proceedings of the 2011 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), Wuhan, China, 2011: 9.23-9.25.
- [6] 3GPP TR 36.902 V9.2.0-2010. Self-configuring and self-optimizing network use cases and solutions[S]. 2010.
- [7] Premnath K N and Rajavehu S. Challenges in self-organizing networks for wireless telecommunications[C]. Proceedings of the 2011 International Conference, Recent Trends in Information Technology, Chennai, Tamil Nadu, India, 2011: 1331-1334.
- [8] Gao Y, Li Y, Zhou S D, *et al.* System level performance of energy efficient dynamic mechanical antenna tilt angle switching in LTE-Advanced systems[C]. Proceedings of the 2013 IEEE International Wireless Symposium, Beijing, China, 2013: 1-4.
- [9] Fehske A J, Klessig H, Voigt J, *et al.* Concurrent load-aware adjustment of user association and antenna yilts in self-organizing radio Networks[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2013, 62(5): 1974-1988.
- [10] Li W J, Yu P, Jiang Z X, *et al.* Centralized management mechanism for cell outage compensation in LTE networks[J]. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012: 1-8.
- [11] Jiang Z X, Yu P, Su Y L, *et al.* A cell outage compensation scheme based on immune algorithm in LTE networks[C]. Proceedings of the Network Operations and Management Symposium, Hiroshima, Japan, 2013: 1-6.
- [12] Amirijoo M, Jorgueski L, Litjens R, *et al.* Effectiveness of cell outage compensation in LTE networks[C]. Proceedings of the Consumer Communications and Networking Conference, Las Vegas, USA, 2011: 642-647.
- [13] Amirijoo M, Jorgueski L, Kürner T, *et al.* Cell outage compensation in LTE networks: algorithms and performance assessment[C]. Proceedings of the 2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference, Budapest, Hungary, 2011: 1-5.
- [14] Yuan G, Yi L, Hongyi Y, *et al.* Energy efficient joint optimization of electric antenna tilt and transmit power in 3GPP LTE-Advanced: a system level result[C]. Proceedings of the 2013 IEEE 9th International Colloquium on Signal Processing and its Applications (CSPA), Kuala Lumpur, Malaysia, 2013: 135-139.
- [15] 3GPP TR 36.814 v9.0.0-2010. 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; further advancements for E-UTRA physical layer aspects[S]. 2010.
- [16] Huffner F, Komusiewicz C, Liebrau A, *et al.* Partitioning biological networks into highly connected clusters with maximum edge coverage[J]. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 2014, 11(3): 455-467.
- [17] Chang Y T, Wu C L, and Cheng H C. Integrated cross-correlation and genetic algorithm to improve TDOA-based locating system in preventing radio interference[C]. Proceedings of the IEEE International Symposium on Computer, Consumer and Control, Taichung, China, 2014: 1078-1081.

李文璟：女，1973年生，副教授，硕士生导师，研究方向为无线通信管理与通信软件。
 尹梦君：女，1991年生，博士生，研究方向为无线网络管理、SON、C-RAN 自主管理与优化。
 喻鹏：男，1986年生，博士，讲师，研究方向为无线网络管理、自主管理与优化。
 项楠：男，1990年生，硕士生，研究方向为无线网络管理、自主管理与优化。