

基于最佳候选的蜂窝网络低能耗 基站部署算法

朱明, 李跃新

(湖北大学 计算机与信息工程学院, 武汉 430064)

摘要: 无线异构蜂窝网络中微基站的过度增加会导致能量效率的降低; 针对基站部署中的绿色通信问题, 提出了一种基于最佳候选的低能耗基站部署算法; 首先, 设计了最佳候选点选择策略来选择一组基站候选点集合, 然后再利用贪婪算法选择可以使得网络能量效率达到最大值的微基站, 该方法限制了用户分布对基站部署的影响; 仿真实验结果表明, 在多种负载情况下, 提出方法在满足网络容量的同时不仅增加了能量效率还增加了网络总流量, 中负载能量效率提高了 36%。

关键词: 蜂窝网络; 基站部署; 能量效率; 最佳候选

Low Energy Base Station Deployment Algorithm for Cellular Networks Based on the Best Candidate

Zhu Ming, Li Yuexin

(School of Computer Science & Information Engineering, Hubei University, Wuhan 430064, China)

Abstract: Excessive increase of micro base stations in wireless heterogeneous cellular networks will lead to the reduction of energy efficiency. Therefore, aiming at the problem of green communication in the base station deployment, a low energy base station deployment algorithm based on the best candidate is proposed. First of all, design the best candidate selection strategy to select a set of candidate set base station, and then use the greedy algorithm to select the network energy efficiency can reach the maximum value of the micro base station, the method of limiting the influence of user distribution on the base station deployment. The simulation results show that the proposed method can not only increase the energy efficiency but also increase the total network traffic, and the energy efficiency is increased by 36% when the network capacity is met.

Keywords: cellular network; base station deployment; energy efficiency; the best candidate

0 引言

在过去的二十年里, 随着智能手机和移动应用的不断普及, 无线移动蜂窝网络的需求已经增加到意想不到的水平。为了满足这样的增加需求, 网络运营商采用了多种解决方案, 比如扩展频谱, 增加单位面积的节点密度以及增加部署^[1]。由于区间干扰的原因, 蜂窝网络中宏基站过多增加会显著降低增益。更多基站的部署会增加网络能量消耗, 这也是导致温室气体排放增加的一个非常重要的原因。最终, 绿色环保蜂窝通信吸引了大家的注意^[2-3]。绿色环保蜂窝通信的主要目的是在满足用户需求的同时也尽可能地降低能量消耗。降低能量消耗也会降低维护费用以及增加了移动用户的电池使用寿命^[4]。

针对异构无线蜂窝网络的研究大都集中在能量控制和资源分配^[5-6]。然而, 很少有文献涉及微基站部署和能量效率问题。文献 [7] 提出通过增加低功率基站部署以便将网络中断

频率降至最低, 该方法首先是对网络区域部署一定数量的微基站, 并反复改变这些基站的位置。基于系统的特点, 其路径损耗是严格依赖于基站的位置。尽管该算法对于测试案例有效, 但是在实际基站结构中每次迭代均需要获取这些参数, 这是很难做到的。文献 [8] 研究了关于微基站部署频谱效率问题, 提出在一个宏基站覆盖的区域内部署微基站以增加网络区域频谱效率 (area spectral efficiency, ASE)。该方法通过选择网格边界来进行基站候选位置选择, 然后提出用贪婪算法来选择微基站。该算法重复执行, 一直到达到系统 AES 需求。然而, 如果将网络的能量效率列入考虑范围的话, 网格边界也是并不是最好的候选点。此外, 用户的分布会影响网络的能量效率, 而文献 [8] 提出的算法如果在集群用户分布情况下, 效果会很差。

为了解决以上这个局限性, 本文提出了一种基于最佳候选的低能耗基站部署算法。该方法不会受到用户分布的影响, 可以在群集网络或者分散网络执行。此外, 该算法考虑到了候选点的可行性, 同时也将环境影响降至最低。而且, 该算法可以应用于六角网格或是实际基站结构, 在满足网络容量增加需求的同时也可以将网络能量效率最大化。最后通过大量的实验验证得出, 本文提出的算法在满足网络容量的同时不仅增加了能量效率还增加了网络总流量, 中负载能量效率具有较大的

收稿日期:2018-01-26; 修回日期:2018-02-02。

基金项目:湖北省重大科技支持项目(2014BAA089)。

作者简介:朱明(1978-),男,湖北武汉人,硕士,讲师,主要从事计算机应用技术方向的研究。

李跃新(1958-),男,湖北武汉人,博士,教授,主要从事人工智能与知识工程、智能控制系统、嵌入式技术方向的研究。

提高。

1 系统模型

假设无线网络所有移动用户都由宏基站和微基站提供服务, 分别由 B_M 和 B_m 表示。 M 代表宏基站, m 代表微基站。 B 代表基站, 也就是说 $B = B_M \cup B_m$ 。 移动用户与基站联系在一起, 基站在用户位置为其提供最高信号强度。 如果在用户所处位置有多个基站提供的相同强度的信号, 用户随意选择其中一个基站。 我们假设移动用户时常有数据需要发送, 从而他们需要—个带宽分配。 宏蜂窝联系用户 k 的信号噪声干扰比 (signal-to-interference-plus-noise ratio, SINR) 可以用以下公式表示:

$$\gamma_k^{(n)} = \frac{P_M^{(n)} g_{k,b}}{b' \in B_M, b' \neq b + \sum_{b' \in B_m} P_m^{(n)} g_{k,b'} + \sigma^2} \quad (1)$$

以上公式中, $P_M^{(n)}$ 和 $P_m^{(n)}$ 分别代表的是宏蜂窝 M 和微蜂窝 m 在子载波 n 的发射功率。 从基站 b 到用户 k 之间的通道增益由 $g_{k,b}$ 表示。 通道增益包含路径损耗衰减, 阴影衰落以及多路径衰落。 热噪声由 σ^2 表示。 同样的, 子载波 n , 微蜂窝用户 k 的信号噪声干扰比可以通过如下公式表达:

$$\gamma_k^{(n)} = \frac{P_m^{(n)} g_{k,b}}{\sum_{b' \in B_m} P_M^{(n)} g_{k,b'} + \sum_{b' \in B_m, b' \neq b} P_m^{(n)} g_{k,b'} + \sigma^2} \quad (2)$$

为了简单起见, 对于宏蜂窝和微蜂窝用户我们用相同的标志 $\gamma_k^{(n)}$ 代表信号噪声干扰比。 结果是, 用户 k 的信道容量可以通过如下公式表示:

$$C(k, B) = \sum_{n=1}^{N_k} W_k^{(n)} \log_2(1 + \gamma_k^{(n)}) \quad (3)$$

以上公式中, $W_k^{(n)}$ 代表子载波频带宽; N_k 为分配给用户的子载波数量。 在这边, 我们运用均等带宽资源调度^[9]。 在这个调度中, 每个基站平等分配自己资源给其用户。 在 LTE 系统中, 能被分配给用户的最小间隔为 12 个子载波的资源块。 本文中, 我们假设基站在子载波中分配相同功率。

传统宏基站可以提供更好的覆盖率和数据率, 然而与微基站相比它们明显消耗更高的能量。 此外, 在密集部署网络中, 由于区间干扰增益大幅度降低。 另外一方面, 微基站传输功率明显不如宏基站, 所以其覆盖更小的范围。 然而, 与宏基站相比微基站消耗更少的能量而且也不会与其他传输相互干扰。 所以与宏基站相比, 微基站更加高效节能, 尤其是对于密集部署网络。 因此, 在本文研究中, 我们将微基站部署作为宏基站的支撑, 以最大化网络能量效率来满足流量需求。

基站能量消耗由两个部分组成: 第一部分是没有传输时候的静态功耗; 第二部分功耗取决于基站传输功耗。 现有文献中有许多功耗模型^[10-11]。 本文中, 我们采用中提及的功耗模式, 如下所示:

$$\begin{aligned} P_M &= P_{0,M} + \Delta_M P_{tx} \\ P_m &= P_{0,m} + \Delta_m P_{tx} \end{aligned} \quad (4)$$

以上公式中, P_M, P_m, P_{tx} 分别代表每个宏基站的平均消耗功率, 每个微基站的平均消耗功率和平均传输耗能。 Δ_M 和 Δ_m 是由负载决定的传输功率参数。 $P_{0,M}$ 和 $P_{0,m}$ 分别表示宏基站和微基站静态功耗。

如上所述, 我们假设数据总是以全缓冲传输。 此外, 不用任何能量控制算法。 所以, 基站将完全被利用, Δ_M 和 Δ_m 为恒定, 那么, 网络能量效率可以通过以下公式表示:

$$\eta EE(B) = \frac{\sum_{k \in K} C(k, B)}{N_B \cdot P_M + N_b \cdot P_m} \quad (5)$$

公式中, N_B 和 N_b 分别代表的是宏基站和微基站的数量。

2 问题描述

网络运营商想要通过额外增加基站以达到改善网络容量的目的来满足增加的流量需求。 为了将网络能量效率最大化以及限制资本支出和运营支出, 网络运营商将微基站部署于最佳位置。 在现实生活中, 用户是移动的, 而且用户分布存在很多不同的可能性。 在高峰期的几个小时, 用户活跃, 网络总容量达到最大值。 但是, 绝大部分时间里基站并未得到充分利用。 然而, 即便大多数时间中网络流量需求低, 仍然需要部署额外的基站以满足高峰期时候流量需求。 对于非高峰期来说, 现存的基站已经足够, 额外增加基站是为高峰期时候对流量的需求。 所以, 运营商部署应该考虑高峰期时候用户的分布问题。 下面, 我们将部署问题公式化:

$$\begin{aligned} \max \quad & \pi_r \eta EE(B) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{k \in K_r} C(k, B) \geq \lambda \cdot C_r, \text{ for } r \in R \end{aligned} \quad (6)$$

式中, C_r 代表当场景 r 只部署宏基站时的网络容量; 乘数 $\lambda \geq 1$ 为期望容量; π_r 为场景 r 出现的几率; R 和 K_r 分别表示场景的集合和场景 r 下用户的集合。

研究出基站最佳数量以及基站最佳位置是极为复杂的问题。 能量效率基站部署与设施选址问题之间的关系很明确。 简化这个问题的方法为在网络区域选择一组基站候选点。 我们应该合理地选择这些候选点以改善算法的性能。 选定这些候选点以后, 第二步将是在这些候选点中选择最佳基站点。 当场景和候选点较复杂时, 问题变得很困难。 所以, 提出了贪婪算法, 将在下一部分中阐述。

3 提出的最佳候选和贪婪算法

在这部分, 我们首先介绍候选点选择和贪婪部署算法, 然后讨论其性能。

3.1 候选点选择策略

如上节所述, 文献 [8] 提出方法并未考虑到用户的分布, 效果会很差, 尤其是当用户聚集于宏基站附近时候。 此外, 由于地形和结构的限制, 这些位置也许并不能作为基站部署使用。 另外一种方法是选择全部可行位置作为候选点。 然而, 取决于网络规模, 这样的位置可能数不清, 即使执行启发式算法都不切实际。 所以, 所以明智的做法是淘汰一些可行的位置以改进算法的性能。 为了克服这些问题, 我们将网络区域划分为平等的网格, 然后在每个网格中选择候选点。 不管对于集群或是分散网路, 这个方法都可以有效执行。 但是, 这也不能保证每个网格都存在可行位置。 此外, 如果一个网格中存在不止一个可行位置, 从中选择候选址又成为了另外一个问题, 需要解决。 所以, 我们提出了以下方法。 以 6 个网格区域为例, 如果中心网格的所有相邻网格存在至少一个可行位置, 那么选择中

心网格作为选取区域, 最接近于选取区域中心的那一个位置作为候选点。假如有些相邻网格不存在可行位置, 那么中心网格与和不可行位置的相邻网格组成一个选取区域, 距离选取区域中心最近的可行位置被选择作为候选点。图 1 显示了一个场景案例。

如图 1 所示, 可行位置, 候选点, 区域中心分别由空三角形, 实三角形, X 表示。在图 1 (a) 的第一种情况中, 所有相邻的网格都有至少一个可行位置。所以, 我们选择最接近选取区域中心的作为候选点。在图 1 (b) 的第二种情况中, 有三个相邻网格没有可行位置。所以, 我们选择最接近选取区域中心的可行位置作为候选点。这种方法限制了用户分布对于本文提出方法性能的影响。

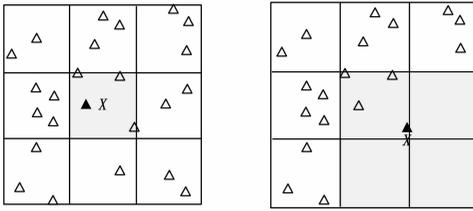


图 1 候选点选择案例

3.2 贪婪部署算法

我们提出的贪婪算法在每次迭代中选择一个微基站去部署。该算法选择能够在所有场景中实现能量效率最大化的候选微基站作为下一个微基站。这个过程一直持续到所有需要容量得到满足。在每次迭代中, 该算法假设之前选定的微基站已经部署, 然后计算出能量效率。这个办法明显降低了算法的复杂性。最优解复杂度增加。 $|R|$ 和 $|B_C|$, 其中 $|B_C|$ 代表基站候选点集合。提出算法适用于许多不同类型的基站部署问题, 比如微微基站和家庭基站。提出算法步骤如下。

- 1: 初始化 $B_m = \phi$ 以及 $\eta EE(B) = \eta EE(B_m)$
- 2: while $\sum_{k \in K_r} C(k, B) < \lambda \cdot C_r$, for $r \in R$ do
- 3: $B = B_m \cup B_m$
- 4: $b = \arg \max_{b \in B_C, r \in R} \sum \pi_r (\eta EE(B \cup b) - \eta EE(B))$
- 5: $B_m \leftarrow B_m \cup b$
- 6: $B_C \leftarrow B_C \setminus b$
- 7: end while

提出算法为贪婪启发式算法。所以, 这不能保证得到的为最佳解。但是如果贪婪算法满足 1) $\eta EE(\phi) = 0$; 2) ηEE 不减少; 3) ηEE 为子模, 那么该算法比最优解优秀 $(e-1)/e$ 倍。能量效率函数不符合条件 2。然而, 在文献 [8] 中, 显示 ASE 满足这三个特性。所以, 如果我们假设满足约束的微基站部署数量与最优解相等, 那么 ηEE 比最优解好 $(e-1)/e$ 倍。

4 仿真实验结果

首先研究网格数量和活跃用户数量对该算法效果的影响。然后将该算法与文献 [8] 和文献 [11] 做对比。图 2 显示了一个宏基站部署示例场景, 包括一组微基站候选点和用户分布。10 个宏基站部署于 $10 \times 10 \text{ km}^2$ 仿真区域。为了避免边缘效应, 如文献 [8] 一样, 我们收集中心 $5 \times 5 \text{ km}^2$ 数据。为简

单起见, 我们假设存在 15 种不同的场景, 几率均等。为了观察活跃用户对于该算法性能的影响, 我们创造 3 种不同场景: 低负载, 中负载和高负载。5 个场景为低载, 其中 30 个活跃用户; 5 个场景为中负载, 其中 100 个活跃用户; 5 个场景为高负载, 其中 200 个活跃用户。所有这些场景中, 用户分布均匀。仿真模式和参数如表 1 所示。我们假设宏基站采用扇形天线, 而微基站采用全向天线。本文不研究多频天线传输。宏基站和微基站的传输与操作功率如表 2 所示。

在图 3 中, 我们研究网格数量对于提出算法性能的影响。首先我们使用 4 个网格, 直到增加到 65536。当网格数量达到 1024 时候, 该算法的性能明显得到改善。网格数量从 1024 增加到 65536, 算法能量效率改善了 1%。然而由于增加了候选点, 算法的复杂度也相应增加了。在一定数量网格以后, 再增加网格的数量并不能改善算法的性能, 反而需要更长的时间。

表 1 仿真参数

参数	数值
信道带宽	10MHz
基站总数	50
有效热噪声功率	-174 dBm/Hz
用户噪声指数	9 dB
宏天线增益	14 dBi
微天线增益	5 dBi
用户天线增益	0 dBi
宏蜂窝阴影衰落	8 dB
微蜂窝阴影衰落	10 dB
数据模式	全缓冲

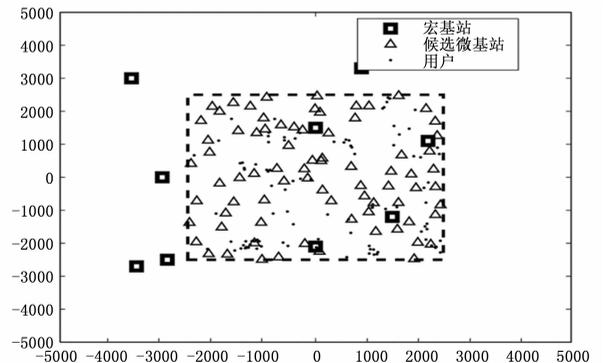


图 2 仿真示例场景

表 2 不同类型基站功耗模式

基站类型	P_M / W	P_m / W
宏基站 20W	865	—
微基站 1W	—	38

在图 4 中, 我们将三种用户情形类型进行了比较, 网格数量为 1024。当网络活跃用户增加, 需要更多微基站部署以将能量效率最大化。当微基站数量分别为 8, 20 和 28, 而部署情形分别为低负载, 中负载和高负载时候, 网络能量效率达到

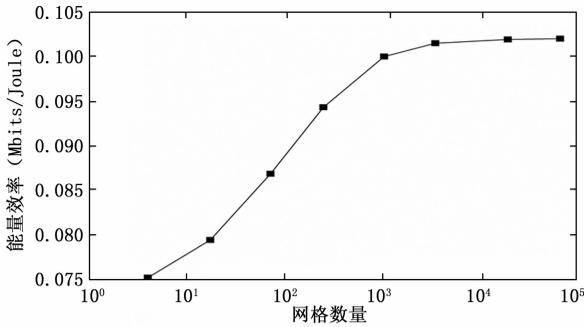


图 3 随着网格尺寸增加时平均能量效率的变化

最大化。预计在高峰期间网络活跃用户数量将增加。所以，可以增加更多微基站部署。此外，更多活跃用户使用网络也更加高效节能。

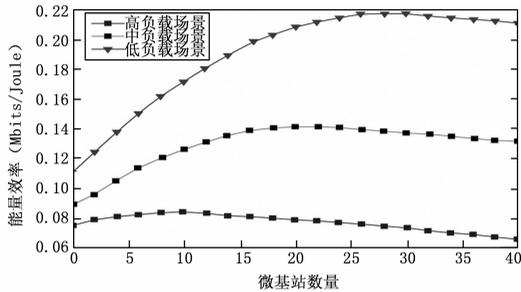


图 4 随着活跃用户数量增加时能量效率的变化

图 5 和图 6 显示了提出算法与文献 [8]、文献 [11] 中算法的性能比较结果，具体对比了能量效率和网络总容量改善效果。三种算法最初都不含微基站，每次迭代中部署一个基站。这个仿真中，我们考虑中负载情形。网格选择 1024。随着微基站数量的增加，网络总流量直线上升。另一方面，能量效率上升到一定点然后开始下降。图 5 中当 $\lambda = 1.5$ ，提出算法需要 10 个微基站，三个算法都达到最大值时候，相比其他两种算法，本文提出算法总容量分别提高了 24% 和 34%。同样，在图 6 中，本文提出算法能量效率也分别提高了约 26% 和 36%。

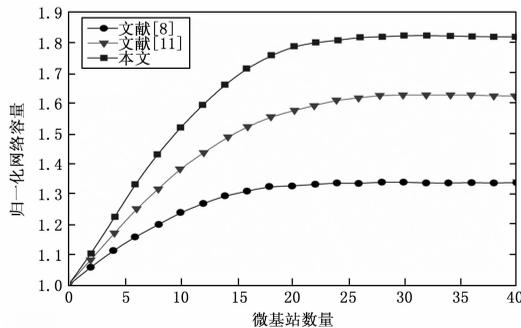


图 5 网络总容量

5 结论

提出了一种基于最佳候选和贪婪算法的低能耗基站部署算

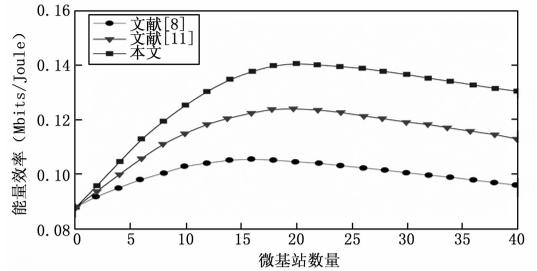


图 6 系统能量效率

法，以改善网络能量效率。提出算法首选合理策略选择一组可行的微基站位置，然后通过贪婪算部署基站直到网络总容量需求得到满足。由于该算法为启发算法，算法复杂度较低。仿真试验证明该提议算法在满足网络容量的同时不仅增加了能量效率还增加了网络总流量。

参考文献:

- [1] Feng D, Jiang C, Lim G, et al. A survey of energy-efficient wireless communications [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15 (1): 167-178.
- [2] Bianzino A P, Chaudet C, Rossi D, et al. A survey of green networking research [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2012, 14 (1): 3-20.
- [3] Mastroradar N, Mihaela V D S. Fast reinforcement learning for energy-efficient wireless communication [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2013, 59 (59): 6262-6266.
- [4] Nan G F, Chen Z N. Deployment algorithm of mobile sensing nodes based on evolutionary optimization [J]. Tien Tzu Hsueh Pao/acta Electronica Sinica, 2012, 40 (5): 1017-1022.
- [5] 李俊伶, 苏寒松, 朱世兵, 等. LTE 家庭基站部署中的下行功率控制 [J]. 计算机工程与应用, 2015, 51 (20): 86-90.
- [6] 李伟平. 4G 小型化基站部署策略与工程应用分析 [J]. 电信科学, 2015 (S1): 1-4.
- [7] Son K, Oh E, Krishnamachari B. Energy-efficient design of heterogeneous cellular networks from deployment to operation [J]. Computer Networks, 2015, 78: 95-106.
- [8] Son K, Oh E, Krishnamachari B. Energy-aware hierarchical cell configuration: From deployment to operation [A]. Computer Communications Workshops [C]. 2011: 289-294.
- [9] Hossain M F, Munasinghe K S, Jamalipour A. Distributed Inter-BS Cooperation Aided Energy Efficient Load Balancing for Cellular Networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12 (11): 5929-5939.
- [10] Hossain M F, Munasinghe K S, Jamalipour A. Traffic-aware two-dimensional dynamic network provisioning for energy-efficient cellular systems [J]. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 2014, 27 (3): 357-372.
- [11] Oh E, Son K, Krishnamachari B. Dynamic Base Station Switching - On/Off Strategies for Green Cellular Networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12 (5): 2126-2136.