第 18 卷 第 2 期 2018 年 1 月
1671—1815(2018)002-0270-04

科 学 技 术 与 工 程
Science Technology and Engineering

Vol. 18 No. 2 Jan. 2018
© 2018 Sci. Tech. Engrg.

引用格式:姚 稳, 李金茹, 谭博文. 超密集网络中基于分簇的干扰管理方案[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(2): 270—273
Yao Wen, Li Jinru, Tan Bowen. Interference management scheme based on clustering in ultra dense network[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(2): 270—273

超密集网络中基于分簇的干扰管理方案

姚 稳 李金茹 谭博文
(重庆邮电大学通信与信息工程学院,重庆 400065)

摘 要 在超密集网络中,全频复用能够提升网络的吞吐量,但是导致了严重的基站间干扰。为了降低基站间干扰,首先通过干扰权重值描述小基站间的干扰程度,建立合理的干扰图;然后将分簇问题转化为 Max K-Cut 问题,利用改进的次优化启发式算法对小基站进行分簇;最后通过信道分配算法为每个簇中的用户分配子信道。仿真表明,本文的干扰管理方案在降低小基站间干扰的同时,能够提升系统的频谱效率和平均吞吐量。

关键词 超密集网络 分簇 干扰 信道分配
中图法分类号 TN929.5; **文献标志码** A

由于小基站可以显著地提高频率复用和频谱共享的效率,它成为解决无线系统的覆盖范围和容量问题的一种关键技术[1]。为了将网络吞吐量提高 1 000 倍以上,5G 网络将由成百上千的小基站组成,构成超密集网络(UDN)[2]。然而,小基站的密集部署会带来严重的干扰管理挑战[3],降低系统的性能增益。因此,超密集网络中有效的干扰抑制和资源分配受到了研究者的关注。

许多资源管理方案已经被用于减轻干扰,改善系统的性能[4,5]。但是,由于极大的计算复杂度,大多数的这些方案不能直接应用于 UDN 的干扰管理中。所以,一些研究专注于减少 UDN 中资源管理的计算复杂度。其中,基站分簇是简化 UDN 拓扑结构的一种有效的方式,通过最少的信息交换来降低资源分配的复杂度。采用基站分簇后,原始的资源分配问题被分解为针对每个簇的子问题。一些研究[6,7]将分簇的思想应用到 UDN 中,将小基站分配到不相邻的簇中,然后在每个簇内为小基站分配信道资源。

因此,为了利用资源分配的方式降低 UDN 中小基站之间的干扰,本文首先构建一个衡量小基站之间干扰程度的权重值,并建立一个描述小基站间干扰关系的无向图;然后利用改进的启发式分簇算法将无向图中的小基站分配到不相交的簇中;最后再利用信道分配算法为不同的簇内用户分配子信道资源。

1 系统模型

主要考虑 OFDMA 系统中的下行链路,M 个小基站随机分布在 1 个宏基站的覆盖范围内,小基站集合表示为 $M = \{1,2,\cdots,M\}$ 。宏基站部署在低频段 f_1 上,小基站部署在高频段 f_2 上,故宏基站和小基站间不存在干扰,只存在小基站之间的同频干扰。假设每个小基站的服务范围内只有一个用户接入,且用户随机分布在各自的小区中。小基站的频段带宽为 B ,被划分为 N 个子信道($M > N$)。子信道集合表示为 $N = \{1,2,\cdots,N\}$,并且每个子信道的带宽为 ω 。

第 j 个小基站服务的用户 u_j 在子信道 n 上的信干噪比为

$$SINR_{j,u_j}^n = \frac{P_j^n G_{j,u_j}^n}{\sum\limits_{j \neq i \in I_j^n} P_i^n G_{i,u_j}^n + N_0} \tag{1}$$

式(1)中, $i\ j \in M$, $n \in \boldsymbol{N}$; I_j^n 是在子信道 n 上对小基站 j 产生干扰的小基站集合; P_j^n 为小基站 j 在子信道 n 上的发射功率; G_{j,u_j}^n 为子信道 n 上的用户 u_j 和小基站 j 之间的信道增益; N_0 为加性高斯白噪声。

2 基于分簇的频带分配方案

2.1 小基站分簇

为了更好地描述小基站间的干扰程度,构建无向干扰图 $G = (V,E,W)$ 表示小基站之间的干扰关系。其中,顶点 V 表示小基站的集合; E 为小基站间

2017 年 6 月 16 日收到
第一作者简介:姚 稳(1992—),男,硕士研究生。研究方向:超密集网络。E-mail:1548445880@qq.com。

存在干扰关系的边集合; $W = \{w_{ij}\}$ 为边的权值矩阵,权值越大则表明相应的两个小基站之间的干扰越大。权值的计算公式为

$$w_{ij} = \frac{G_{j,u_i}P_i}{G_{j,u_j}P_j} + \frac{G_{i,u_j}P_j}{G_{i,u_i}P_i} \tag{2}$$

式(2)中, G_{j,u_i} 表示用户 u_i 与小基站 j 之间的信道增益; G_{j,u_j} 表示用户 u_j 与小基站 j 之间的信道增益; P_i 和 P_j 分别表示小基站 i 、j 的发射功率。权值 w_{ij} 表示小基站 i 、j 之间的干扰程度。

分簇的目标是通过干扰图中的 w_{ij} 将相互间干扰较小的基站分配到同一个簇中,最大化簇间干扰。用 T 表示小基站可用的子信道资源个数,假设基站使用全部的信道资源,即簇的个数和信道的数目相同,簇内的节点复用同一个信道,从而使簇内干扰最小。

上述分簇问题可以建模为图论中的最大 K 割问题(Max K-Cut),即将干扰图中的顶点分成若干无交集的集合,使每个簇的干扰权值之和最小。因此,本文将把小基站分成 T 簇,使 T 个簇之间的干扰最大,也即满足如下条件:

$$T = \arg\min\left\{SINR_j = \frac{\sum_{n=1}^{T} P_j^n G_{j,u_j}^n}{\sum_{j\neq i\in I_j^n} P_i^n G_{i,u_j}^n + N_0} \geqslant SINR^{\mathrm{th}}\right\}$$

$$\max: \sum_{v_i\in C_g, v_j\in C_n, g\neq n} w_{ij}$$

$$\text{s.t. } \cup_{l=1}^{T} C_l = V$$

$$C_g \cap C_n = \phi,\quad g,n \in \{1,2,\cdots,T\} \tag{3}$$

式(3)中, C_g 表示第 g 个小基站簇; l 表示簇的标号; $SINR^{\mathrm{th}}$ 表示信干噪比门限值。这是一个 NP-Hard 问题[8],本文采用改进的启发式算法来解决上述分簇问题,具体过程描述如下:

算法 1:启发式分簇算法

$W_l = \sum_{v_i,v_j\in C_l} w_{ij}(l\in\{1,2,\cdots,T\})$ 表示簇 C_l 中所有小基站的边权重值的和, $w_i = \sum_{j=1,j\neq i}^{M} w_{ij}$ 表示小基站 i 的边权重值的和。

初始化: $W_l = 0$, $w_i = 0$ 。

步骤 1　对于所有的 $v_i \in V$,计算出对应的 w_i ,然后根据 w_i 的大小对 v_i 进行降序排列,形成一个新的集合 $V*$ 。

步骤 2　将 $V*$ 中的前 T 个小基站分配到 T 个不同的簇内,然后将这 T 个节点从 $V*$ 中删除。

步骤 3　依次从 $V*$ 中取出一个节点 u ,计算 $W_l^u = \sum_{v_i\in C_l, u\notin C_l} w_{uv_i}$,将节点 u 分到使 W_l^u 最小的 C_l 内。

步骤 4　将加入节点 u 的簇的干扰权重值更新为 $W_l + W_l^u$,同时从 $V*$ 中删除节点 u 。

步骤 5　重复步骤 3 和 4,直到 $V*$ 为空。

2.2　信道分配算法

在不相交的簇形成后,接下来就要为小基站分配子信道。子信道分配的目标是为不同的簇分配正交的子信道,同簇中的小基站复用相同的子信道,从而最大化系统容量,即满足以下条件:

$$\max \sum_{l=1}^{T}\sum_{j\in C_l}\sum_{n=1}^{N} \omega \lg_2(1 + SINR_{j,u_j}^n) a_{n,l}$$

$$\text{s.t. } \sum_{l} a_{n,l} = 1 n \in \{1,2,\cdots,N\} \tag{4}$$

式(4)中, $a_{n,l} = 1$ 表示将子信道 n 分配给簇 C_l ,否则 $a_{n,l} = 0$;并且 n 表示使簇 C_l 容量最大的子信道。

利用穷举搜索的方式需要计算 $T!$ 次,这是不可行的。为了降低计算的复杂度,本文采用一种次优的 SINR 最大化的启发式算法,为每个簇迭代地分配满足约束条件的子信道,具体的算法描述如下:

算法 2:子信道分配算法

$|C_l|$ 表示簇 C_l 中小基站的个数, K 为一个包含 N 个子信道的集合,用户在不同子信道上的信干噪比 SINR_{j,u_j}^n 。

步骤 1　根据 $|C_l|$ 值的大小,将簇 C_l 进行升序排列,构成一个新的集合 L 。

步骤 2　依次从集合 L 中选取一个簇 C_l ,然后计算对应于每个子信道 n 的容量 $R_l^n = \sum_{j\in C_l}\omega\lg_2(1 + SINR_{j,u_j}^n)$ 。

步骤 3　将子信道 n 分配给使 R_l^n 最大的簇 C_l ,即 $n = \mathrm{argmax}(\sum_{j\in C_l}\omega\lg_2(1 + SINR_{j,u_j}^n)a_{n,l})$ 。

步骤 4　更新 $K \to K\backslash\{n\}$ 。

步骤 5　重复步骤 2 ~ 步骤 4,直到集合 K 为空。

3　仿真分析

下面通过 MATLAB 仿真对本文使用的改进算法进行验证,并与已有的相应算法进行比较,最后对仿真比较的结果进行性能分析。

在仿真场景中,小基站随机分布在 200 m × 200 m的区域内,每个小基站为一个用户服务。系统仿真时所用的主要的参数遵循 LTE-A 的标准,如表 1 所示。其中, d 为小基站与用户间的距离。仿真时,宏基站和小基站工作在不同的频段,所以只存在小基站间的同频干扰。而且小基站的密度表示部署的所有小基站的总覆盖面积与总区域 200 m × 200 m 的比值。

仿真中,本文采用基于启发式分簇算法的信道分配方案与簇内正交资源分配算法[9]、未分簇的随机资源分配算法[10]进行性能对比。

表 1 仿真参数

Table 1 Simulation parameters

参数	数值
小基站频率/GHz	3. 5
总复用带宽/MHz	9
子信道带宽/kHz	180
小基站发射功率/dBm	20
小基站的覆盖半径/m	25
路径损耗/dB	$130.62 + 37.60\lg_{10}d$
小尺度信道衰落	瑞利衰落
$SINR^{th}$/dB	8
高斯白噪声/dBm·Hz^{-1}	-174

图 1 展示了小基站在不同的部署密度条件下的频谱使用效率。本文算法以系统中小基站可以使用的信道资源个数作为分簇依据,同一个簇内复用相同的信道,在最大化簇间干扰的同时,以最大化系统的吞吐量为目标,为不同的簇分配子信道资源,从而提升了频谱效率。

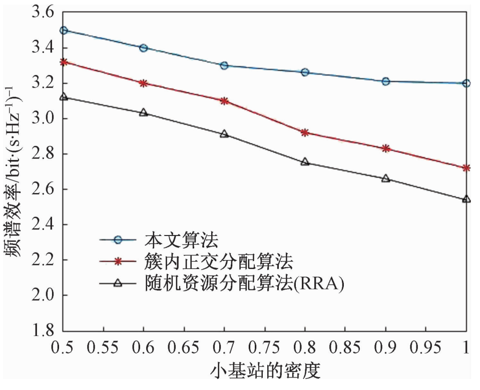

图 1 小基站的频谱效率

Fig. 1 Spectral efficiency of small base stations

而且,从图 1 中可以看出未分簇的随机资源分配算法的频谱效率最低,这是因为随机资源分配没有对小基站间的干扰进行管理,随着部署密度的增加,小基站间的干扰会进一步增强,导致信干噪比下降,从而导致系统吞吐量下降,频谱效率逐渐下降。而簇内正交资源分配算法为分簇后的每个簇内的小基站分配正交子信道,降低了小基站间的干扰,但是并没有考虑最大化信道资源的复用,不能最大化系统的吞吐量,导致频谱效率低于本文中的算法。

不同的小基站部署密度下的系统平均吞吐量如图 2 所示。当小基站的密度不断增加时,小基站之间的同频干扰也会不断增加,随机资源分配算法为小基站随机地分配子信道时,不能有效地减轻小基站间的干扰,导致系统的吞吐量不断降低。而簇内正交分配算法降低了小基站间的干扰,所以性能要优于随机资源分配算法。由于本文采用的算法在降低小基站之间干扰的基础上,提高了频谱效率,所以系统平均吞吐量要优于其他算法。

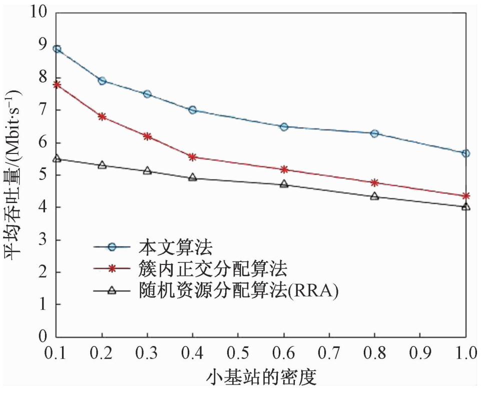

图 2 系统平均吞吐量

Fig. 2 System average throughput

4 结论

本文讨论了超密集网络中小基站间的干扰管理问题,通过分簇和资源分配的结合进行干扰管理。首先将分簇问题转化成最大割问题,采用改进的启发式分簇算法对小基站进行分簇,再进行资源分配。仿真结果表明,该方案能够在降低干扰的基础上提升系统的频谱效率,最大化系统的吞吐量。

参 考 文 献

1 Fehske A J, Viering I, Voigt J, *et al*. Small-cell self-organizing wireless networks. Proceedings of the IEEE 2014; 102 (3):334—350

2 Demestichas P, Georgakopoulos A, Karvounas D, *et al*. 5G on the horizon: key challenges for the radio-access network. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2013; 8(3):47—53

3 Langar R, Secci S, Boutaba R, *et al*. An operations research game approach for resource and power allocation in cooperative femtocell networks. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2015; 14(4): 675—687

4 Al-Zahrani A, Yu F. An energy-efficient resource allocation and interference management scheme in green heterogeneous networks using game theory. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016; 65 (7):1—1

5 Ling D, Lu Z, Ju Y, *et al*. A multi-cell adaptive resource allocation scheme based on potential game for ICIC in LTE-A. International Journal of Communication Systems, 2014; 27(11):2744—2761

6 Hatoum A, Langar R, Aitsaadi N, *et al*. Cluster-based resource management in OFDMA femtocell networks with QoS guarantees. IEEE Transactions on Vehicular Technology 2014; 63(5): 2378 - 2391

7 Abdelnasser A, Hossain E, Kim D I. Clustering and resource allocation for dense femtocells in a two-tier cellular OFDMA network. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2014; 13 (3): 1628—1641

8 Sahni S, Gonzalez T. P-complete approximation problem. Journal of the ACM, 1976; 23(3):555—565

9 Zhang Q, Zhu X, Wu L, *et al*. A coloring-based resource allocation for OFDMA femtocell networks. Wireless Communications and NETWORKING Conference. IEEE, 2013:673—678

10 Chandrasekhar V, Andrews J G. Spectrum allocation in tiered cellular networks. IEEE Transactions on Communications, 2009; 57 (10):3059—3068

Interference Management Scheme Based on Clustering in Ultra Dense Network

YAO Wen, LI Jin-ru, TAN Bo-wen

(School of Communication and Information Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400000, China)

[**Abstract**] In ultra dense networks, full-frequency multiplexing can improve the throughput of the network, but lead to serious inter-base station interference. In order to reduce the inter-base station interference, the interference degree between the small base stations was firstly described by interfering with the weight value, and establishes a reasonable interference map. Then the clustering problem is transformed into Max K-Cut problem, and the small substation is clustered by the improved suboptimal heuristic algorithm. Finally, the sub-channel is assigned to the users in each cluster by the channel assignment algorithm. The simulation results show that the interference management scheme can improve the spectral efficiency and average throughput of the system while reducing the interference between the small base stations.

[**Key words**] ultra dense network clustering interference channel allocation