

doi:10.13756/j.gtxyj.2018.01.019

无线通信技术

超密集网络中基于用户路径的资源预留算法

孙 霞¹, 李星沛², 王显坤³

(1. 重庆工程学院 电子与物联网学院, 重庆 400056; 2. 重庆邮电大学移通学院 通信与信息工程学院, 重庆 401520;
3. 山东省邮电规划设计院, 济南 250101)

摘要:针对超密集网络中移动用户的干扰管理和资源分配问题,提出了一种基于用户路径的资源预留算法,该算法首先以用户从起点到终点的最短路径为度量,进行一个最优路径的选择,在最优路径的选择过程中,考虑了用户必须经过的街区 and 不可能经过的街区;然后提出一种基于最优路径的资源预留和资源复用算法,该算法首先设计资源分配和资源预留的步骤,然后再针对所有用户进行资源复用的计算,以提高频谱资源的利用率。仿真结果表明,所提算法可以在用户移动的过程中,在保障用户较低掉话率的基础上,减小 Femtocell 基站间的干扰并提升系统性能。

关键词:超密集网络;最优路径;资源预留

中图分类号:TN929.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8788(2018)01-0074-05

Resource Reservation Algorithm based on User Path in Ultra-Dense Network

SUN Xia¹, LI Xing-pei², WANG Xian-kun³

(1. School of Electronics and Internet of Things, Chongqing Institute of Engineering, Chongqing 400056, China;
2. School of Communication and Information Engineering, College of Mobile Telecommunications, CUPT,
Chongqing 401520, China; 3. Shandong P&T Planning and Designing Institute Co., Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: Aiming to the problem of interference management and resource allocation for mobile users in an ultra-dense network, a User Path based Resource Reservation (UPRR) algorithm is proposed in this paper. The scheme firstly takes the shortest path from the starting point to the end point as the metric to select an optimal path. In the selection process of the optimal path, this paper considers the condition that whether the blocks permit users pass through or not. Next the algorithm of resource reservation and resource reuse based on the optimal path is put forward, which firstly designs the steps of resource allocation and reservation, and then computes the resource reuse for all users in order to improve the utilization of spectrum resources. The simulation results show that the proposed algorithm can reduce the interference in the Femtocell Base Station (FBS) and improve the system performance on the basis of guaranteeing the low outage probability for mobile users.

Key words: ultra-dense network; optimal path; resource reservation

0 引 言

作为未来 5G 无线通信系统中的关键技术之一,超密集网络技术^[1]通过密集部署小功率基站来提升系统吞吐量和频谱效率。但是在密集部署小基站且具有移动性用户的场景下,会衍生出一系列干扰和资源分配的难题。至今,众多学者对静止状态下密集的小基站资源分配进行了大量的探讨。文献[2]提出了一种具有影响力的解决方案,即基于 Femtocell 分簇和资源分配的半分布式干扰管理机制,Femtocell 网关负责分簇的部分,从簇中选举出的簇头将负责子信道和功率的分配部分;文献[3]提出一种超密集网络中基于分簇的分布式节能资源分配方案,经系统级仿真验证,该方案能够有效地改善系统的吞吐量和能效;文献[4]在考虑了协作复杂度、回程开销以及干扰的指数衰减等度量后,提出一个基于分簇的干扰管理机制,该机制首先将宏基站

覆盖区内的小基站分成簇,然后针对簇内干扰和簇间干扰分别用同簇之间协调和频域或时域间干扰避免来进行消除;文献[5]提出一种基于 Femtocell 分簇和资源分配的半分布式干扰管理机制;文献[6]提出一种基于分簇的两级资源管理机制来改善系统的吞吐量和频谱效率,首先提出一种基于优化的 K-means 分簇算法,然后在分簇的基础上运用资源分配机制,第一级资源分配,由簇头通过贪心搜索算法为簇内用户分配正交资源,第二级资源分配,所有未分配资源的 Femtocell 选择补充的子信道来进一步改善吞吐量和频谱效率。

但现有的资源分配算法中并未考虑用户移动性的问题,即用户是处于静止状态的,由 Femtocell 基站(Femtocell Base Station,FBS)进行资源的分配。而在实际的超密集网络架构中,用户不可能永远处于一个固定的位置。为了解决在超密集网络架构下,用户在移动过程中资源分配和复用的问题,本文

提出了一种基于用户移动性的资源预留算法。首先,我们在超密集网络中搭建了一个较为实际的城市街区模型,并假设所有用户均受到必经路径和受限路径的规则限制,根据规则对用户的移动路径进行最优预测。由于该预测假设了路况信息和用户习惯等信息,所以具有一定的可信度,并且本文假定用户按照此路径进行移动。然后,我们提出一种基于最大化用户信道增益的子信道预留算法,该算法满足了用户的通信质量和资源数量要求。最后,我们设计了在分簇的基础上进行子信道的复用,以提升系统的频谱利用率。

1 系统模型

本文考虑一个实际街区中 FBS 密集部署的正交频分多址(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFD-

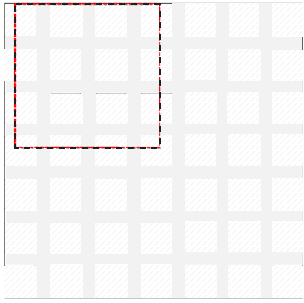


图 1 系统模型

MA) 网络下行传输系统,系统模型如图 1 所示。图 2 所示为图 1 中虚线框部分的系统模型,其中阴影的方框表示建筑物,三角形表示 FBS。假设 FBS 均经过合理部署并且 Femtocell 用户(Femtocell User Equipment, FUE)在移动过程中切换顺畅。在该城市街区场景下,用户分布均匀并且运动速率 $v = 8 \text{ km/h}$ 。假设系统内所有的 FBS 都是封闭接入的, FBS 随机分布在宏小区的覆盖范围内。另外,我们假设信道服从瑞利多径衰落。

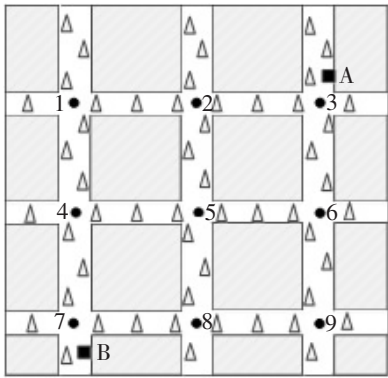


图 2 部分系统模型图

图 2 中,假设用户需从家(A点)前往公司(B点)上班,可供 A 点选择的运动路径有无数条,但是本文以用户从家到公司所用最短距离为度量选择路

径。我们定义十字路口为用户在路径选择时的转折点和资源分配的预判点,并且每两个转折点之间相距 $40 \sim 60 \text{ m}$ 。在选择路径的同时,我们考虑了用户需要去某点办事情或者买早餐必须经过的点,以及某路段正在修路禁止通行条件下不允许经过的点。

2 路径选择算法

本文在进行资源分配之前,需要根据用户的需求以及某些客观条件为用户预选最佳路径。首先根据图 2 中的黑色方形节点(起始、目标节点)和黑色圆形节点(FUE 经由的转折节点)搭建一个网络拓扑图。为每个转折节点分配不同且连续的 $ID_i, i = \{1, 2, \dots, X\}$, 并且每两个相邻的转折节点组成一条街区,记为 ST_{xx} , 比如,节点 4 和节点 5 组成的街区记为 ST_{45} 。本算法用 pre_path 记录路径寻优过程中的前缀信息,用 $weight$ 记录所寻路径的总长度,用 $flag$ 记录相应节点是否搜索到最优路径。具体如下:

算法 1: 路径选择算法

输入: 网络拓扑, 各转折节点 $NODE_{ID}$, FUE 起始节点 $NODE_S$, FUE 目标节点 $NODE_D$

输出: 路径 $path$, 路径节点长度 len

初始化: $flag_{NODE_S} = 1, pre_path_{NODE_S} = NODE_S,$
 $weight_i = \text{invalid value}$

While $flag_{NODE_D} \neq 1$

$min = \text{invalid value}, index_min = \text{invalid value}$

 For $j = 0 : X$

 If $weight_j < min$

$min = weight_j, index_min = i$

 End

$flag_{index_min} = 1$

 For $j = 0 : X$

 If $dis_{index_min, j} \neq 0$

$temp = weight_{index_min} + dis_{index_min, j}$

 If $temp < weight_j$

$weight_j = temp, pre_path_j = index_min$

 End

End

上述算法为无突发情况下任意两点之间的路径寻优。针对存在突发情况(到某点办事情、买早餐或修路等),即存在不能经过的街区、必须经过的节点的情况,提出一种基于上述算法的路径选择策略,其主要思想如下:根据不能经过的街区信息,更新网络拓扑,针对必经的转折节点,本文考虑将该问题转化

成多个点对点的路径选择。从起点开始,通过上述算法搜索距离该节点最近的转折节点,然后更新转折节点为下次寻优的起始节点,以同样的方式进行路径搜索,直到到达目标节点,最后串联起各个阶段的最优路径信息,此时的 path 即为突发情况下的最优路径。

3 资源分配算法

本节主要根据算法 1 中的路径选择结果进行资源的分配和预留。假设系统中子信道集合为 K ,有 F 个 FUE,每个子信道上同时传输的协作用户数目为 $S(S < F)$ 。

为了尽可能地降低总发射功率,提高资源复用率,减小簇间干扰,本文遵循以下原则设计子信道分配算法:(1) 以用户的数据传输速率估计其业务量,业务量高的用户首先得到信道增益较好的子信道;(2) 根据用户最佳移动路径进行子信道的预留;(3) 在无线信道中,用户的平均信道增益越高,则在一定传输速率下所要求的发射功率越低,反之则发射功率越高;(4) 更多的子信道应该分配给平均信道增益更小的用户以满足其速率要求,降低发射功率。

在子信道分配之前,我们首先用 BABS^[7] (Bandwidth Assignment based on SNR) 算法确定每个 FUE 所需的子信道数量 k_f 。假设每个街区 ST_{xx} 内的所有 FBS 组成一个簇,每个簇命名为 $CL_{PATH_i,PATH_{i+1}}$ 。簇内不同的 FBS 分配正交频带资源,无干扰簇间复用相同的频带资源,然后提出一种基于用户移动性的资源分配算法。假设 f 表示一个 FUE, H_f^k 表示 FUE f 在子信道 k 上的信道增益, B 为系统带宽, γ_f^k 表示 FUE f 在子信道 k 上的信干噪比, $\bar{R}_{g_k \cup f}$ 表示子信道 k 上现有用户集合 g_k 的平均空间相关度, δ 为一个阈值。我们考虑用户的空间相关度^[8],空间相关度越高,信道增益就越小。

资源预留算法描述如下:
算法 2:资源预留算法
Step1:For $f=1:F$
 For $i=1:(len-2)$
 将用户的位置信息 $LO_{f,i}$ 更新为 $LO_{f,i}=CL_{PATH_i,PATH_{i+1}}$;
 计算 $k^*=\arg \max H_f^k,k \in K,f \leftarrow k^*$,直到 FUE f 子信道数量为 k_f 时结束;
 更新当前簇内子信道集合 K ;
 计算当前簇 $CL_{PATH_i,PATH_{i+1}}$ 内 FUE f 的瞬时业务量: $LD=B \cdot \log_2(1+\gamma_f^k)$;

 预判簇 $CL_{PATH_{i+1},PATH_{i+2}}$ 将此时簇内所有 FUE 的 LD 按降序排列;
 预判簇 $CL_{PATH_{i+1},PATH_{i+2}}$ 按照 LD 顺序为其预留子信道 k_f^* 个;
 更新预留簇子信道集合 K' ;
 End

End
Step2:For $f=1:F$
 计算每个子信道上每对用户之间的空间相关度矩阵 $R,R_{i,j}=\frac{\|H_{f_1}' \cdot H_{f_2}^T\|}{\|H_{f_1}'\| \cdot \|H_{f_2}'\|}$;
 计算 F 个 FUEs 按照其平均信道增益升序排列为 L ;
 按照 L 为每一个子信道找出满足条件的用户集合 $\Phi U:\bar{R}_{g_k \cup f} \leq \delta,k \in K,f \in F,\Phi U \leftarrow f$;
 计算用户集合 $g_k \cup f$ 的平均信道增益 $H_{g_k \cup f}$:

$$f \leftarrow \arg \max \frac{H_{g_k \cup f}}{R_{g_k \cup f}},f \in \Phi U,g_k \leftarrow f$$
;

 重复计算上一步,继续为各子信道选择协作用户集合,直到满足 $g_k=S$ 。
 End

4 实验仿真结果分析

我们对本文提出的基于用户路径的资源预留 (User Path based Resource Reservation,UPRR)算法的用户掉话率和 FBS 的频谱效率进行了仿真验证。采用随机资源分配算法(Random Resource Allocation,RRA)进行性能对比。主要仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数

参数名称	参数值
系统带宽/MHz	10
子载波频率/GHz	2
仿真区域	500 m×500 m
FBS 传输功率/dBm	20
FBS 覆盖半径/m	10
FBS 个数	40~80
穿墙损耗/dB	20
噪声功率/dBm/Hz	174
FUE 移动速度 v / km/h	8
FUE 个数	20

图 3 所示为 RRA 和 UPRR 算法中 FUE 在不同 FBS 数量下的掉话率曲线图。从图中可以看出,由于 RRA 并未考虑消除 FBS 间干扰的策略,因此

移动中的 FUE 在遭受大量干扰的情况下,其掉话率随着 FBS 数量的增多明显增大。而 UPRR 算法中考虑了 FBS 的簇内干扰,在簇内分配正交资源来消除簇内干扰,提升了 FUE 的满意度。图 3 的结果表明,算法 1 中最优路径选择的性能可以很好地运用到资源预留算法中去。

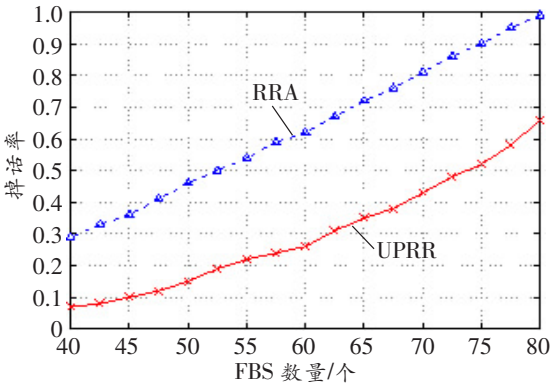


图 3 不同 FBS 数量下 FUE 的掉话率

图 4 所示为 RRA 和 UPRR 算法中 FUE 在不同 FBS 数目下频谱效率的对比。从图中可以看到, RRA 的频谱效率性能较差,而 UPRR 算法的频谱效率性能极好。这是因为 UPRR 算法将资源预留机制考虑到资源分配中,这可以显著提升 FUE 的服务质量(Quality of Service, QoS)。另外 UPRR 算法在算法 2 中考虑了资源复用,目的是为了更深层次地提高系统内频谱资源的效率。

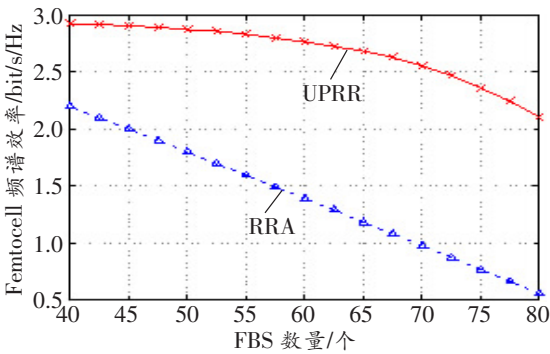


图 4 不同 FBS 数目下 FUE 的频谱效率

图 5 所示为 RRA 和 UPRR 算法中平均 FUE 吞吐量的累积分布函数(Cumulative Distribution Function, CDF)图。由于 UPRR 算法中算法 2 的子信道预留使得用户在到达下一个簇时子信道可以直接分配,无需进行计算,因此在保障 FUE 正常通信的基础上提升了 FUE 的吞吐量。而 RRA 中的移动 FUE 在较差的干扰环境下无法得到足够的资源,因此其吞吐量必然得不到提升。

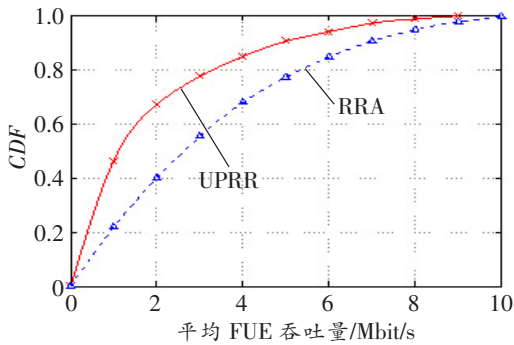


图 5 平均 FUE 吞吐量 CDF 图

5 结束语

本文在超密集网络架构中设计了一种基于用户移动性的资源预留算法,该算法包含用户的路径选择和资源分配以及复用。经过仿真验证,本文所提算法可以在保障用户较低掉话率的基础上取得较好的频谱效率。在未来的工作中,我们将提升本文场景中的用户移动速度,以解决在超密集网络中用户在中高速移动场景下的资源分配问题。

参考文献:

[1] Wang C X, Haider F, Gao X, et al. Cellular Architecture and Key Technologies for 5G Wireless Communication Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(2):122-130.

[2] Hao P, Yan X, Ruyue Y N, et al. Ultra Dense Network: Challenges, Enabling Technologies and New Trends[J]. China Communications, 2016, 13(2): 30-40.

[3] Liang L, Wang W, Jia Y, et al. A Cluster-based Energy-Efficient Resource Management Scheme for Ultra-Dense Networks [J]. IEEE Access, 2016, 4(99): 6823-6832.

[4] Tang S, Sun C, Wang J, et al. Interference Management based on Cell Clustering in Ultra-highly Dense Small Cell Networks [C]// International Conference on Information and Communications Technologies 2016. Lisbon, Portugal: IET, 2016:1-6.

[5] Abdelnasser A, Hossain E, Dong I K. Clustering and Resource Allocation for Dense Femtocells in a Two-Tier Cellular OFDMA Network[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2014, 13(3): 1628-1641.

[6] Wei R, Wang Y, Zhang Y. A Two-stage Cluster-based Resource Management Scheme in Ultra-dense Networks [C]// Ieee/cic International Conference on

Communications in China 2015. Chengdu, China: IEEE,2015;738—742.

[7] Choi D , Lee D , Lee J H . Resource Allocation for CoMP with Multiuser MIMO-OFDMA [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(9): 4626—4632.

[8] Shin Y I, Kang T S, Kim H M. An Efficient Resource Allocation for Multiuser MIMO-OFDM Systems with Zero-Forcing Beamformer [C]// IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2007. Athens, Greece: IEEE, 2007: 1—5.

(上接第 32 页)

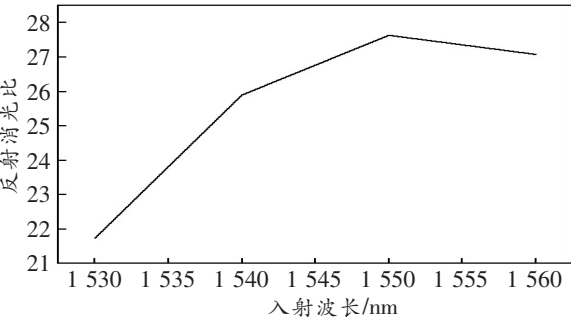


图 4 偏振分束器反射消光比

在 TE 模具有高反射率的前提下,正入射时,为了得到更好的性能, TM 模还需要有高透射率,所以本文对 TM 模进行了仿真分析。图 5 所示为 TE 模反射率与 TM 模透射率的对比,结果显示, TM 模透射率均高于 98%。

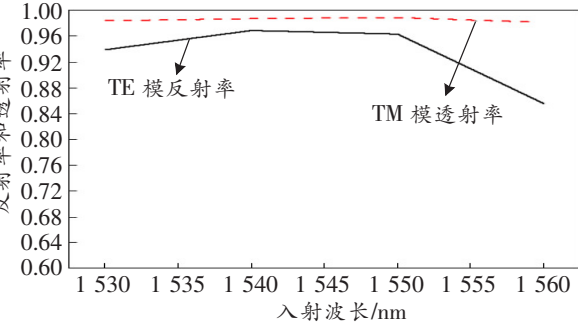


图 5 TE 模反射率和 TM 模透射率对比

以上仿真结果表明,采用 GaN 材料作为光栅介质的亚波长光栅偏振分束器的性能与预期基本一致,通过调整参数,获得了较好的光栅结构:当光栅高度 $h=265.3\text{ nm}$,宽度 $d=640.5\text{ nm}$,周期 $T=700\text{ nm}$,均匀光栅占空比 $f=0.915$ 时,可以得到非常好的偏振分束特性。

3 结束语

本文提出了用一种新型材料—GaN 代替传统材料,同时根据泄漏模共振效应和等效介质理论两大原理设计了针对 C 波段的亚波长光栅偏振分束器。仿真结果表明,该偏振分束器在 C 波段具有很高的透过率($>98\%$)和消光比($>20\text{ dB}$)。GaN 材料与亚波长光栅有机结合形成了具有良好性能的新型偏振分束器,本文的研究结果为今后的研究提供了参考。

参考文献:

[1] 朱久凯,吴福全,任树锋,等. 亚波长光栅偏振器的研究现状与发展前景 [J]. 激光杂志,2012,33(6):1—3.

[2] 郭楚才,叶卫民,袁晓东,等. 近红外亚波长硅光栅偏振器的设计 [J]. 光学与光电技术,2010,8(4):87—90.

[3] Ambacher O . Growth and Application of Group III - Nitride [J]. Journal of Physics D Applied Physics, 1988,31(20):2653—2710.

[4] Marciante J R, Farmiga N O , Hirsh J I , et al. Optical Measurement of Depth and Duty Cycle for Binary Diffraction Gratings with Subwavelength Features [J]. Applied Optics,2003,42(16):3234—3240.

[5] Marciante J R , Raguin D H . High - Efficiency , High - Dispersion Diffraction Gratings based on Total Internal Reflection [J]. Optics Letter,2004,29(6):542—544.

[6] 赵昊. 基于氮化镓的导模共振滤波器分析研究 [D]. 南京:南京邮电大学,2015.

[7] 郭楚才,叶卫民,袁晓东,等. 亚波长光栅偏振分束器的研究 [J]. 光学学报,2010,30(9):2690—2695.