



专题:异构网络

同频异构 femtocell 联合子信道和功率分配算法

陈 赓¹, 姚文静¹, 郭银景¹, 夏玮玮²

(1. 山东科技大学电子通信与物理学院 青岛 266590;

2. 东南大学移动通信国家重点实验室 南京 210096)

摘 要: 针对 macro-femto 同频融合网络中基于资源分配的干扰抑制问题, 提出一种联合子信道和功率分配算法来抑制同频干扰。该算法通过对 MU 进行功率控制并采用跨层切换消除同频跨层干扰, 对 FU 进行联合信道和功率分配消除同频层内干扰; 跨层切换问题是在每一层网络目标中断概率约束下通过优化网络吞吐量实现, 而基于联合信道和功率分配的同频干扰抑制问题是在切换 MU 的目标数据速率和其他 MU 以及 FU 干扰门限约束下, 通过优化 FU 的和速率实现。理论分析和仿真结果表明, 该算法能够提高 FU 的和速率, 增大 femtocell 的网络容量, 并可增加 femtocell 的部署数目。

关键词: 同频融合网络; 子信道分配; 功率分配; 同频干扰抑制

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015236

A Joint Sub-Channel and Power Allocation Algorithm in Co-Channel Heterogeneous Femtocell Network

Chen Geng¹, Yao Wenjing¹, Guo Yinjing¹, Xia Weiwei²

(1. College of Electronic, Communication and Physics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;

2. National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: A joint sub-channel and power allocation algorithm was proposed to suppress co-channel interference. Power control and handover mechanism could be used to suppress the co-channel cross-tier and intra-tier interference achieved by the power allocation for MU and joint sub-channel and power allocation for FU. Mathematically, the cross-tier handover was formulated as optimizing the network throughput under the constraints of each tier target outage probability and the interference-aware resource allocation was formulated as optimizing the sum rate of FU subject to the constraints of the target data rate of handover MU and interference thresholds to other MU and FU. Theoretical analysis and simulation results show that the sum rate of FU can be increased greatly. Meanwhile, the femtocell network capacity and the number of deployable femtocells can also be improved.

Key words: co-channel integrated network, sub-channel allocation, power allocation, co-channel interference suppression

收稿日期: 2015-08-20; 修回日期: 2015-09-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61201175, No.61171081, No.61471224), 山东科技大学人才引进科研启动基金资助项目

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61201175, No. 61171081, No.61471224), The Scientific Research Foundation of Shandong University of Science and Technology for Recruited Talents

论文引用格式: 陈赓, 姚文静, 郭银景等. 同频异构 femtocell 联合子信道和功率分配算法. 电信科学, 2015236

Chen G, Yao W J, Guo Y J, *et al.* A joint sub-channel and power allocation algorithm in co-channel heterogeneous femtocell network. Telecommunications Science, 2015236



1 引言

如何改善室内覆盖为用户提供高速数据速率和具有 QoS 保证的业务需求,是发展未来无线通信系统的巨大挑战。在 macrocell(宏蜂窝)网络中部署多个 femtocell(微微蜂窝)网络,形成具有两层重叠覆盖结构的 macro-femto 融合网络,是提高覆盖范围和网络容量的有效方法,有利于改善室内语音和数据等业务的接收质量。femtocell 又称为家庭基站,是一种短距离、低成本、低功耗的接入点,可以用来克服 macrocell 网络由于室内覆盖不均匀所产生的覆盖盲区问题。因此,通过在 macrocell 网络中部署 FAP(femtocell access point)以增强 macrocell 网络的性能,被认为是提高室内覆盖范围和网络容量增益、提升数据速率和频谱利用率的有效方式,femtocell 也将成为满足未来对高数据速率业务需求不断增长的有效途径。然而,为了提高整个频谱的利用效率,femtocell 网络通常采用同频部署的方式,这样 femtocell 网络与 macrocell 网络就工作在相同的频段下,使得同频跨层干扰、同频层内干扰以及小区内用户间的干扰非常严重,会极大地降低 macro-femto 网络的性能。

参考文献[1, 2]研究基于 OFDMA 的多小区网络下行传输的子信道和功率联合分配问题,提出一种集中控制的改进的迭代注水算法来抑制多小区间的同频干扰,在各个基站功率约束下通过联合优化同频用户选择和功率分配最大化加权系统和速率,数值结果显示,所提策略能提供较大的性能增益。

参考文献[3]研究两层 macro-femto 网络上行传输的子信道和功率联合分配问题,提出一种子信道和功率联合分配方案,在异构 femtocell 用户(FU)QoS 需求和跨层 macrocell 干扰限制的约束下最大化用户的容量,通过松弛子信道共享约束将混合整数规划问题转化为一个凸优化问题,并采用对偶分解法求得子信道和功率的最优解。

参考文献[4]研究基于 OFDMA 的多小区网络下行传输的子信道两级分配问题,提出一种在无线网络控制器(radio network controller, RNC)和 BS(base station, 基站)上实现动态资源分配的无线资源控制(radio resource control, RRC)方案,该方案基于半分布式通过 RNC 决策各个 BS 使用的子信道和各个 BS 决策分配给各个用户的子信道实现两级子信道分配,并将 RNC 和 BS 的子信道分配分别建模为两个优化问题,数值分析显示了所提算法对扇区干扰

抑制和动态干扰避免的折中结果。

参考文献[5]研究密集部署的 femtocell 网络下行传输的功率和子信道联合分配问题,基于得到的密集网络环境下最优功率和子信道分配的特征,提出了一种二进制功率分配(binary power allocation, BPA)方法,该方法令一个子信道只分配给一个基站,以避免小区间干扰并平均分配基站功率,基于 BPA 方法提出了一种功率和子信道联合分配方案。仿真和数值结果表明,所提方案能够增大系统容量。

参考文献[6, 7]针对基于 OFDMA 的 macro-femto 网络下行传输,提出一种联合子信道和功率分配算法,在保证 macrocell 网络容量的同时,最大化所有 FU 的总吞吐量,所提算法采用一个迭代方法在迭代过程的各步交替分配和优化基站的子信道和传输功率。

参考文献[8, 9]针对基于 OFDMA 的多小区认知无线网络下行传输,提出一种新的子信道和功率联合分配算法,考虑多个次用户和主用户共存于多小区环境的实际模型中小区间干扰和小区内干扰问题,并通过在认知无线网络中自适应地分配子信道和功率加以解决,其中子信道分配基于初始功率分配并在次用户吞吐量和主用户 SINR 约束下通过匈牙利法完成,功率分配通过迭代注水算法完成。仿真结果显示,所提算法极大地提高了网络中的频谱效率。

参考文献[10, 11]研究基于 OFDMA 的密集部署的 femtocell 网络在同层和跨层同频干扰以及最小数据速率需求约束下的功率和子信道联合分配问题,将问题描述为一个凸优化问题,并通过数值方法得到优化解。对比分析所提的基于分簇的联合资源分配算法与分布式资源分配以及集中式资源分配的性能,数值结果显示,所提算法提高了 femtocell 网络的和速率容量。

参考文献[12]研究干扰受限的基于 OFDMA 的两层 femtocell 网络上下行传输的子信道和功率联合分配问题,将其描述为一个多目标优化问题,在 macrocell 用户(MU)干扰门限和时延敏感用户最小数据速率需求约束下,最大化用户的吞吐量并提高 femtocell 基站的功率效率。

参考文献[13]研究基于 OFDMA 的多小区网络下行传输的分布式自适应信道和功率分配问题,提出一种分布式自适应的干扰协调算法。所提算法对用户分布和业务负载实现有效的频谱复用并适应不同的网络干扰情形,通过分解多小区优化问题为分布式单小区优化问题来降低计算

复杂度。

参考文献[14]研究基于 OFDMA 的两层 femtocell 网络最优分布式的子信道、速率和功率分配问题,将问题描述为通过联合调整用户的子信道、速率和功率在跨层干扰约束下最大化 FU 的加权和速率,并提出一种基于拉格朗日对偶法的最优分布式资源分配算法。仿真结果显示,所提算法提高了网络性能。

综上所述,采用资源管理的方式合理分配 macro-femto 网络中的频谱和功率资源是抑制同频干扰的有效方式,提出了一种基于联合信道和功率分配的同频干扰抑制算法,以避免同频跨层和层内干扰。从异构融合网络资源管理的角度出发,引入基于分布式干扰估计的跨层切换机制和基于抑制干扰的资源分配方法,研究基于 OFDMA 的两层 femtocell 网络中 femtocell 的接入控制和资源共享问题,提出一种基于联合信道和功率分配的同频干扰抑制算法,解决网络中的同频干扰问题。具体如下。

对 MU 进行功率控制并采用跨层切换方法消除同频跨层干扰,即在每一层网络目标中断概率的约束条件下最大化网络吞吐量;对 FU 进行联合信道和功率分配消除同频层内干扰,即在切换 MU 的目标数据速率和其他 MU 以及 FU 同频干扰门限的约束条件下,最大化 FU 的和速率。该算法能够有效消除网络的同频干扰,提高 FU 的和速率,改善 femtocell 中的网络容量并可增加 femtocell 的部署数目,使网络中信道和功率资源得到有效利用。

2 macro-femto 网络模型和同频干扰分析模型

macro-femto 同频异构网络上行传输的网络模型如图 1 所示。可以看出,macro-femto 上行传输的网络模型由一个 macrocell 和多个 femtocell 异构共同覆盖而成,其中 MBS(宏基站)和 FAP 分别为 MU 和 FU 提供上行服务。假设 macro-femto 网络中有 K 个 femtocell (FAP 的数目同样是 K),每个 femtocell 中 FU 的数目和子信道的数目分别是 M 和 N ;假设 macro-femto 网络中所有可用频谱的网络带宽为 W Hz,子信道的带宽为 B Hz,则 macro-femto 网络中 macrocell 和每个 femtocell 可用的子信道数目为 $N=[W/B]$ 。此外,为了避免小区内的同频干扰,假定每个子信道在给定的时隙内只能分配给一个用户使用,但一个用户可以同时使用多个分配的子信道。

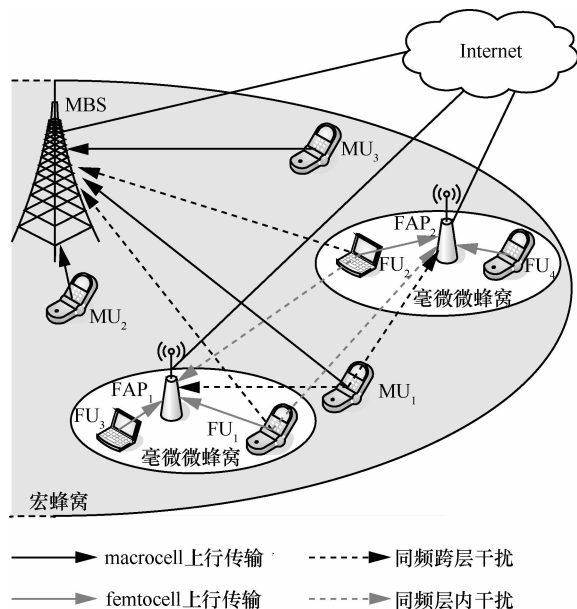


图 1 macro-femto 同频异构网络上行传输的网络模型

基于此得到的同频干扰分析模型如图 2 所示,其中 h_{kj} 为用户 j 与接入点 k 间的信道增益。对于上行传输的同频干扰分析,MBS 受到来自 FU 的干扰 $I_{c,f}$,若接收 SINR 低于中断门限值 γ_M ,将使 MU 通信产生中断;同时,FAP 受到来自 MU 的干扰 $I_{c,e}$ 和 femtocell 外部 FU 的干扰 $I_{f,f}$,若 FAP 的接收 SINR 低于中断门限值 γ_F ,将使 FU 通信产生中断,将 MBS 和 FAP 上考虑同频干扰的接收 SINR 作为跨层切换的决策因素。

在图 1 中,MU₁ 位于 FAP₁ 附近,FU₁ 需要增加其发射

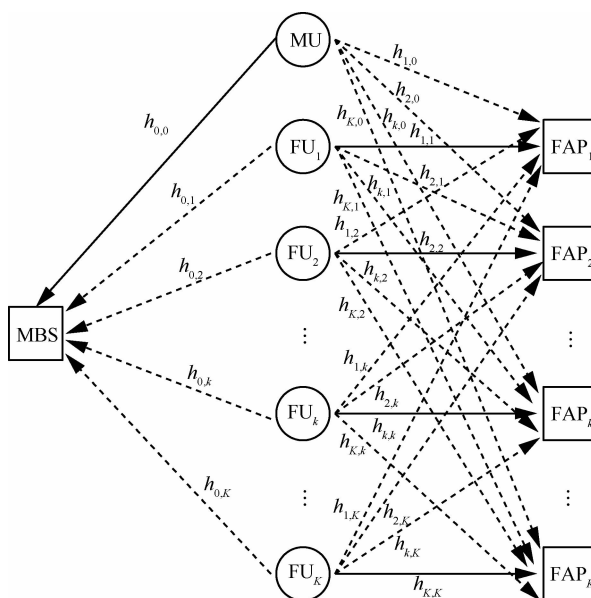


图 2 macro-femto 网络同频干扰分析模型



功率来克服 MU_i 对其产生的同频干扰,同时 FU_i 将对 MBS 产生更大的同频干扰,这种场景下的同频干扰甚为严重,考虑了 FU_i 对 MBS 的同频干扰问题。如果这个场景下的同频干扰不加以消除,将会形成一个带有正反馈的闭合干扰环,使得整个网络的通信性能严重下降。

本文研究将根据 MBS 和 FAP_i 上接收的 SINR 和切换 SINR 门限值将 MU_i 切换到 femtocell 中,由 FAP_i 为其提供服务,这样可以消除两边的同频干扰,打破闭合干扰环的影响,提高整个网络的通信性能;当 MU_i 切换到 femtocell 中时,在 FAP_i 上采用抑制同频干扰的资源分配方法,基于联合信道和功率分配的抑制同频干扰的资源分配方法,减小同频层内及小区内干扰。

3 基于分布式干扰估计的跨层切换优化

采用基于干扰估计的跨层切换算法来减小同频跨层干扰:通过对 MU 进行功率控制,实现功率分配并采用跨层切换方法,根据同频干扰分析结果以及所设置的切换阈值对跨层切换做出决策,移动终端根据跨层切换决策完成跨层切换过程来消除同频跨层干扰。

(1) 将基于用户接收 SINR 的跨层切换问题描述为一个优化问题

在每一层网络中目标中断概率的约束条件下最大化网络吞吐量,并基于用户接收信号干扰噪声比门限值决策跨层切换的执行。同频干扰抵消的跨层切换优化表示为:

$$\max \{B \ln(1 + \gamma_{u_{k,n}^M}) + \sum_{k=1}^K B \ln(1 + \gamma_{u_{k,n}^F})\} \quad (1)$$

s.t.

$$\gamma_{u_{k,n}^F} \geq \gamma_F \quad (2)$$

$$\gamma_{u_{i,n}^M} \geq \gamma_M \quad (3)$$

其中:

$$\gamma_{u_{k,n}^F} = \frac{\rho_{u_{k,n}^F} p_{u_{k,n}^F} g_{k,u_{k,n}^F}}{\sum_{j=1, j \neq k}^K \rho_{u_{j,n}^F} p_{u_{j,n}^F} g_{k,u_{j,n}^F} + \rho_{u_{i,n}^M} p_{u_{i,n}^M} g_{k,u_{i,n}^M} + \sigma^2} \quad (4)$$

$$\gamma_{u_{i,n}^M} = \frac{\rho_{u_{i,n}^M} p_{u_{i,n}^M} g_{i,u_{i,n}^M}}{\sum_{j=1}^K \rho_{u_{j,n}^F} p_{u_{j,n}^F} g_{i,u_{j,n}^F} + \sigma^2} \quad (5)$$

其中, $u_{k,n}^F$ 表示在 femtocell k 中使用子信道 n 的 FU; $p_{u_{k,n}^F}$ 表示 FU $u_{k,n}^F$ 的传输功率; $\rho_{u_{k,n}^F}$ 表示 FU $u_{k,n}^F$ 的子信道分

配, $p_{u_{k,n}^F}=1$ 表示子信道 n 分配给 FU $u_{k,n}^F$, $p_{u_{k,n}^F}=0$ 表示子信道 n 不分配给 FU $u_{k,n}^F$; $u_{i,n}^M$ 、 $p_{u_{i,n}^M}$ 、 $\rho_{u_{i,n}^M}$ 表示 macrocell i 中的 MU 的相应参数。式(1)是 macro-femto 网络中使用子信道 n 的所有用户的和速率;式(2)和式(3)是 FAP 和 MBS 接收 SINR 的约束条件;式(4)和式(5)是 femtocell k 和 macrocell i 中使用子信道 n 的 FU 和 MU 的接收 SINR。

(2) 基于 FU 和 MU 的接收 SINR,采用功率控制来调整 MU 的传输功率 $p_{u_{i,n}^M}$, 使其满足 $p_{\min}^{\text{MU}} \leq p_{u_{i,n}^M} \leq p_{\max}^{\text{MU}}$;假设 FU 的传输功率满足 $p_{u_{k,n}^F} = p_{\min}^{\text{MU}}$ 。

为了抵消 FU 对 MBS 产生的同频干扰, MU 首先采用功率控制提高 MBS 上的接收 SINR 以满足其 QoS 需求 $\gamma_{u_{i,n}^M} \geq \gamma_M$;如果采用功率控制后,由于远离 MBS 以及 FU 所产生的同频干扰的影响, MU 仍不能满足其目标 SINR 需求,即 $\gamma_{u_{i,n}^M} < \gamma_M$, MU 将切换到最近的 femtocell 中消除同频干扰;如果采用功率控制后, MU 能满足其目标 SINR 需求,还将确认其较大的传输功率是否干扰到最近的同频 FU,如果 MU 距离 FAP 很近,将对同频 FU 产生严重干扰,即 $\gamma_{u_{k,n}^F} < \gamma_F$, 此时 MU 也将切换到最近的 femtocell 中消除同频干扰的影响。

抑制同频干扰的切换过程流程如图 3 所示。MU 将根据 MBS 和 FAP 接收 SINR 的门限值 γ_M 和 γ_F 来执行切换过程:随着 MU 移向 FAP,将对 FAP 产生同频干扰,下列两种情况下 MU 将切换到 femtocell 中: $(\text{SINR})_{\text{MBS}} < \gamma_M$; $(\text{SINR})_{\text{MBS}} > \gamma_M$ 同时 $(\text{SINR})_{\text{FAP}} < \gamma_F$ 。

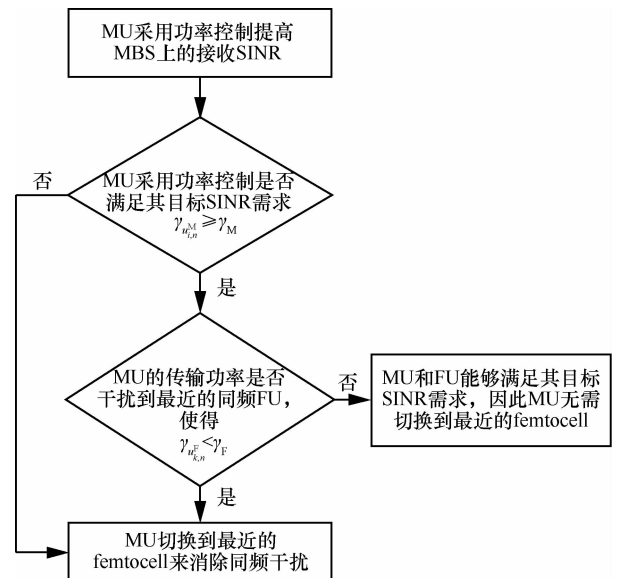


图3 抑制同频干扰的切换过程流程

4 基于联合信道和功率分配的同频干扰抑制算法

当 MU₁ 切换到 femtocell 中时, 在 FAP₁ 上采用基于联合信道和功率分配的同频干扰抑制算法来减小同频层内及小区内干扰: 对 FU 进行联合信道和功率分配, 通过最大化 femtocell 中 FU 的和速率得到最优的信道分配和功率分配方案, 消除同频跨层和层内干扰。

4.1 问题描述

采用基于联合信道和功率分配的同频干扰抑制算法, 将基于联合信道和功率分配的抑制同频干扰的资源分配问题描述为一个优化问题: 在切换 MU 的目标数据速率和其他 MU 以及 FU 同频干扰门限的约束条件下最大化 femtocell 中 FU 的和速率。抑制同频干扰的联合信道和功率分配优化表示为:

$$\max_{\{\rho_{m,n}, p_{m,n}\}} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N B \rho_{m,n} \log(1 + \gamma_{m,n}) \quad (6)$$

s.t.

$$\sum_{m=0}^M \rho_{m,n} = 1 \text{ 或 } 0, \quad n \in [1, N] \quad (7)$$

$$\sum_{m=0}^M \sum_{n=1}^N \rho_{m,n} \leq N \quad (8)$$

$$\sum_{m=0}^M \sum_{n=1}^N \rho_{m,n} p_{m,n} \leq P \quad (9)$$

$$\sum_{n=1}^N B \rho_{0,n} \log(1 + \gamma_{0,n}) > r_0 \quad (10)$$

$$\sum_{m=0}^M \rho_{m,n} p_{m,n} (2L) h_n^{F_k F_j} D_{n, F_k F_j}^{-\alpha} \leq \delta_n^F, \quad \forall j \quad (11)$$

$$\sum_{m=0}^M \rho_{m,n} p_{m,n} L h_n^{F_k M_1} D_{n, F_k M_1}^{-\alpha} \leq \delta_n^M \quad (12)$$

其中:

$$\gamma_{m,n} = \frac{p_{m,n} h_{m,n} R_F^{-\beta}}{\rho_{M_1,n} P_M L h_n^{M_1 F_k} D_{n, M_1 F_k}^{-\alpha} + \sum_{j=1, j \neq k}^K \rho_{F_j,n} P_F (2L) h_n^{F_j F_k} D_{n, F_j F_k}^{-\alpha} + B N_0} \quad (13)$$

$$\gamma_{0,n} = \frac{p_{0,n} h_{0,n} R_F^{-\beta}}{\rho_{M_1,n} P_M L h_n^{M_1 F_k} D_{n, M_1 F_k}^{-\alpha} + \sum_{j=1, j \neq k}^K \rho_{F_j,n} P_F (2L) h_n^{F_j F_k} D_{n, F_j F_k}^{-\alpha} + B N_0} \quad (14)$$

其中, $p_{m,n}$ 表示用户 m 使用子信道 n 的传输功率; $\rho_{m,n}$ 表示用户 m 的子信道分配, $\rho_{m,n}=1$ 表示子信道 n 分配给用

户 m , $\rho_{m,n}=0$ 表示子信道 n 不分配给用户 m 。式(6)是联合信道和功率分配下 femtocell k 中所有 FU 的和速率, 其中 $\gamma_{m,n}$ 是用户 m 使用子信道 n 在 FAP_k 上的接收 SINR; 式(7)表示每个子信道在给定的时隙内只能分配给一个用户使用; 式(8)表示分配给 femtocell k 中所有用户的子信道数目不能超过每个 femtocell 可用的子信道的总数目 N ; 式(9)表示 femtocell k 中所有用户总的发射功率的约束; 式(10)表示切换到 femtocell 的 MU 的速率要达到 r_0 ; 式(11)和式(12)表示 femtocell k 中联合信道和功率分配对 femtocell j ($j \neq k$) 和 macrocell 中使用子信道 n 的 FU 和 MU 产生的最大同频干扰的约束。

4.2 子信道分配优化

(1) 子信道分配理论

基于联合信道和功率分配的同频干扰抑制算法中, 采用比例公平调度算法得到信道分配的最优解, 从而得到最优的信道分配方案。子信道分配要满足如下条件:

$$\max_{\{\rho_{m,n}\}} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N B \rho_{m,n} \log(1 + \gamma_{m,n}) \quad (15)$$

采用比例公平调度算法^[15-17]得到子信道分配来最大化 femtocell k 中所有 FU 的和速率, 子信道分配表示为:

$$PF = \arg \max_M \prod_{m \in \text{SU}_{k,M}} \left(1 + \frac{\sum_{n \in C_m} B \log(1 + \gamma_{m,n})}{(T-1) R_m'} \right), \quad \forall k \quad (16)$$

其中, $\text{SU}_{k,M}$ 表示 femtocell k 中为其分配子信道的用户集合; C_m 表示分配给用户 $m \in \text{SU}_{k,M}$ 的子信道的集合; R_m' 表示用户 m 在前一时隙的平均数据速率; T 表示比例公平调度的平均窗口大小。

(2) 子信道迭代分配过程

在 femtocell k 中提出一种子信道分配的迭代算法得到子信道分配的次最优解, 切换 MU 的子信道分配根据 femtocell k 中空闲子信道数目, 采用如下两种方式。

① 欠载情况下的子信道分配 ($M_{\text{act}} \leq N-1$)

其中, $Q_n > 0$ 表示子信道 n 被占用; m_{act} 表示活动干扰的 FU 数目。

for $m_{\text{act}} = r = 2, 3, \dots, N-1$ do

for $j = 1, 2, \dots, r$ do

if $Q_n > 0, n = 1, 2, \dots, j-1$ 并且 $Q_j = 0$ then

第 j 个子信道将分配给切换的 MU

else if $Q_n > 0, n = 1, 2, \dots, r$ then

第 $r+1$ 个子信道将分配给切换的 MU

end if



end for

end for

② 过载情况下的子信道分配($M_{\text{act}} \geq N$)

其中, s_T 表示同频干扰功率门限; s_n 表示子信道 n 的干扰功率。

if $s_n < s_T$ 并且 $s_i > s_T$ ($i=1, 2, \dots, n-1$) then

第 n 个子信道将分配给切换的 MU

else if $s_i > s_T$ ($i=1, 2, \dots, N-1$) then

第 N 个子信道将分配给切换的 MU

end if

4.3 功率分配优化

基于联合信道和功率分配的同频干扰抑制算法中,采用加权注水算法得到功率分配的最优解,得到最优的功率分配方案,实现联合信道和功率分配。在得到子信道的分配 $S_{k,M}$ 和 C_m 后,采用迭代的加权注水算法优化得到 femtocell k 中可用子信道上的功率分配。

(1)从第 4.2 节采用的子信道分配算法中,得到最优的子信道分配方案 $S_{k,M}$ 和 C_m ,同时,每个子信道在给定的时隙内只能分配给一个用户使用以避免小区内的同频干扰。

(2)基于由其他 femtocell 和 macrocell 产生的同频干扰, femtocell k 中使用子信道 n 的 FU 将向 FAP_k 请求功率资源 $\{s_n^f\}_{n \in N}$,FU 受到的同频干扰越大,所请求的功率越小。

(3) FAP_k 将所有可用的子信道按照加权的请求功率资源 $\{s_n^f/w_n^f\}_{n \in N}$ 升序排列,并从 1 到 N 加以标识;子信道 i 具有第 i 小的加权的请求功率资源 s_n^f/w_n^f 。

(4) FAP_k 将总功率 P 轮询地分配给所有排序的可用子信道:在第 j 轮分配中, $j=1, 2, \dots, N$, FAP_k 将功率 $w_j^f b_j^f$ 分配给每一个排序的子信道 $i, i=j, j+1, \dots, N$,直到排序的子信道 j 不满足的功率请求 $s_j^f - \sum_{l=1}^{j-1} w_l^f b_l^f$ 得到满足或者总的剩余功率 $P - \sum_{l=1}^{j-1} \sum_{h=l}^N w_h^f b_h^f$ 分配完毕。

(5)分配给每一个排序的子信道 $n, n=1, 2, \dots, N$ 的功率表示为 $a_n^f = \sum_{j=1}^n w_j^f b_j^f$ 。

5 数值仿真及讨论

通过仿真和数值分析,分别研究 FU 的和速率与 femtocell 中可用的子信道的数目 N 、femtocell 容纳的 FU 的数目 M 和部署的 femtocell 的数目 K 的数量关系,以此评

估所提算法的性能。仿真场景如图 1 所示,表 1 给出了性能评估所用到的仿真参数。为了便于评估,分别采用封闭接入 (closed access, CA) 方式、切换接入 (handover access, HA) 方式和所提的基于资源分配抑制同频干扰的切换接入 (interference-aware handover access, IAHA) 方式得到的仿真和数值结果。

表 1 仿真及数值结果评估参数

参数	取值	参数	取值
d_{oe}	100 m	d_{of}	5 m
α	4	β	2
σ_{dB}	4 dB	L	0.8
P_t^c	1	P_t^f	10
P_M	20	P_F	15
γ_M	2	γ_F	4
W	0~50 MHz	B	1 MHz
R_c	500 m	R_f	20 m
N	0~50, 10	M, U_f	0~40, 10
K, N_f	0~50, 20	σ^2, BN_0	2 dB
U_c, N_c	2	r_0	0.5 Mbit/s
δ_n^M	1	δ_n^F	1
r_M	0.5 Mbit/s	r_F	1 Mbit/s

图 4 给出了 FU 和速率与 femtocell 中可用的子信道数目 N 之间的关系曲线(当 $M=10, K=20$ 时)。仿真和数值结果显示,采用所提的 IAHA 算法得到的 femtocell 中 FU 的平均和速率要远大于 CA 和 HA 方式。这是因为所提的 IAHA 算法中采用了跨层切换机制以及联合优化信道和功率分配,可极大地抑制同频跨层和层内干扰,同时,随着 femtocell 中可用子信道数目 N 的增加,每个子信道可以唯一分配给一个用户使用来有效避免 femtocell 间和

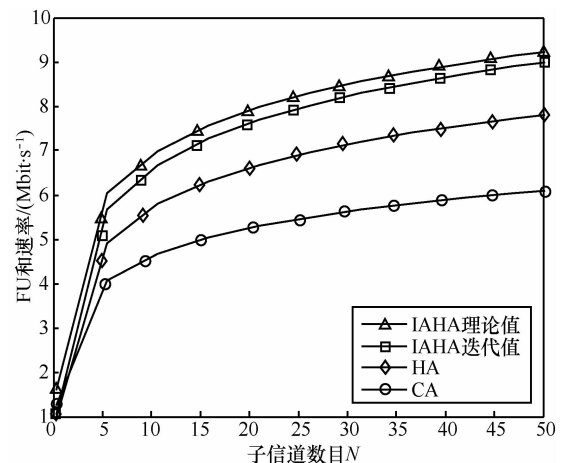


图 4 FU 和速率与子信道数目 N 的曲线 ($M=10, K=20$)

femtocell 小区内的同频干扰,因此极大提高了 FAP 上的接收 SINR 以最大化 FU 的和速率。此外,从图 4 还可以看出,所提 IAHA 算法的理论结果与迭代结果是一致的,证明了所提算法的准确性。

图 5 给出了 FU 和速率与 femtocell 容纳的 FU 数目 M 之间的关系曲线(当 $N=10, K=20$ 时)。可以看出,在 femtocell 容纳的 FU 数目 M 较小($M \in [0, 19]$)时,采用 IAHA 算法得到的 FU 的平均和速率是最大的,而采用 HA 和 CA 算法得到的 FU 的平均和速率的增幅都较小;然而,当 femtocell 容纳的 FU 数目 M 较大($M \in [20, 40]$)时,与 HA 和 CA 算法相比,采用所提的 IAHA 算法得到的 FU 的平均和速率下降的幅度非常大。这是因为,当 FU 的数目 M 较小时,IAHA 算法可以通过信道和功率分配联合优化来有效抑制小区内的同频干扰,然后,当 FU 的数目 M 较大时,不能保证每个子信道唯一分配给一个用户使用,这将导致 femtocell 间和 femtocell 小区内的同频干扰增大。从图 5 还可以看出,对于给定网络中 FU 的平均和速率,所提 IAHA 算法能有效增大 femtocell 的网络容量。

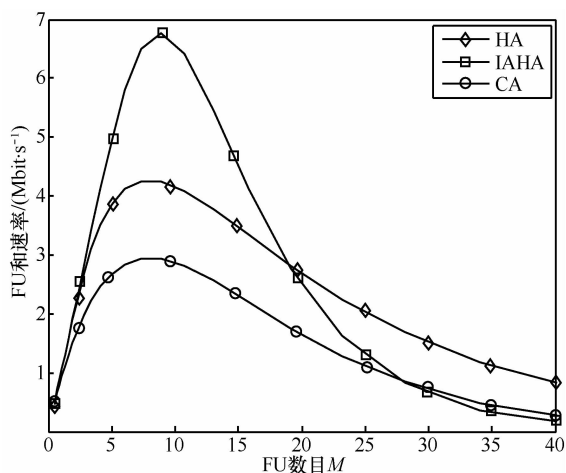


图 5 FU 和速率与 FU 数目 M 的曲线($N=10, K=20$)

图 6 给出了 FU 和速率与部署的 femtocell 数目 K 之间的关系曲线(当 $N=10, M=20$ 时)。可以看出,随着部署的 femtocell 数目 K 的增大, FU 的平均和速率将逐步减小,但采用 IAHA 算法得到的平均和速率减小得最慢。这是因为所提 IAHA 算法的信道和功率分配联合优化过程中,式(11)和式(12)对 femtocell j ($j \neq k$) 和 macrocell 中使用子信道 n 的 FU 和 MU, 分别设置了最大同频干扰功率门限值 δ_n^F 和 δ_n^M 来减小同频层内干扰,因而提高了 FAP 上的接收 SINR,以最大化 FU 的和速率。从图 6 还可以看出,对于给

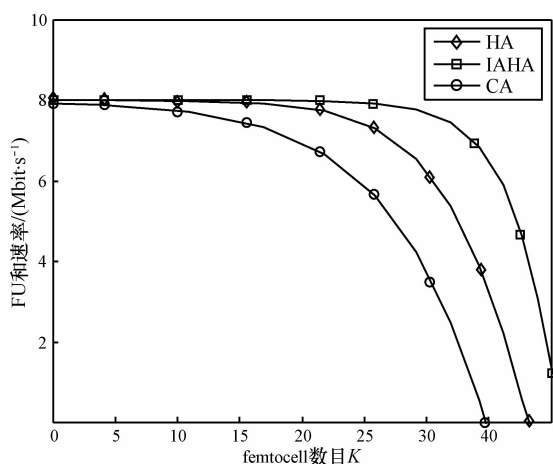


图 6 FU 和速率与 femtocell 数目 K 的曲线($N=10, M=20$)

定网络中 FU 的平均和速率, 所提 IAHA 算法有利于部署更多的 femtocell。

6 结束语

本文提出一种基于联合信道和功率分配的同频干扰抑制算法,抑制融合网络中上行传输的同频干扰。该算法基于所提的网络模型和同频干扰分析模型,将基于干扰估计的跨层切换问题建模为在每一层网络目标中断概率约束下的网络吞吐量优化问题,将基于联合信道和功率分配的同频干扰抑制问题建模为在切换 MU 的目标数据速率和其他 MU 以及 FU 同频干扰门限约束下的 FU 和速率优化问题,并采用比例公平调度算法得到信道分配的次最优解和采用加权注水算法得到功率分配的最优解,实现联合信道和功率分配。理论分析和仿真结果显示,所提算法能够有效消除网络的同频干扰,提高 FU 的和速率,增大 femtocell 的网络容量并可增加 femtocell 的部署数目,使同频融合网络中信道和功率资源得到有效利用。

参考文献

- 1 Venturino L, Prasad N, Wang X D. An improved iterative water-filling algorithm for multi-cell interference mitigation in downlink OFDMA networks. Proceedings of IEEE 41st Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers 2007 (ACSSC 2007), Pacific Grove, USA, 2007: 1718~1722
- 2 Venturino L, Prasad N, Wang X D. Coordinated scheduling and power allocation in downlink multicell OFDMA networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58 (6): 2835~2848

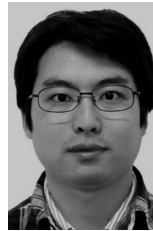


- 3 Zhang H J, Zheng W, Chu X L, *et al.* Joint subchannel and power allocation in interference-limited OFDMA femtocells with heterogeneous QoS guarantee. Proceedings of 2012 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2012), Anaheim, USA, 2012: 4572~4577
- 4 Li G Q, Liu H. Downlink radio resource allocation for multi-cell OFDMA system. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, 5(12): 3451~3459
- 5 Kim J, Cho D H. A joint power and subchannel allocation scheme maximizing system capacity in indoor dense mobile communication systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(9): 4340~4353
- 6 Trong N D, Khakurel S, Ngoc T L. Joint subchannel assignment and power allocation for OFDMA femtocell networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2014, 13(1): 342~355
- 7 Ngo D T, Khakurel S, Ngoc T L. Distributed subchannel and power allocation for OFDMA-based femtocell networks. Proceedings of IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC 2013-Spring), Dresden, Germany, 2013: 1~5
- 8 Forouzan N, Ghorashi S A. New algorithm for joint subchannel and power allocation in multi-cell OFDMA-based cognitive radio networks. IET Communications, 2014, 8(4): 508~515
- 9 Choi K W, Hossain E, Kim D I. Downlink subchannel and power allocation in multi-cell OFDMA cognitive radio networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2011, 10(7): 2259~2271
- 10 Abdelnasser A, Hossain E. Joint subchannel and power allocation in two-tier OFDMA HetNets with clustered femtocells. Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Communications (ICC 2013), Budapest, Hungary, 2013: 6002~6007
- 11 Abdelnasser A, Hossain E. Subchannel and power allocation schemes for clustered femtocells in two-tier OFDMA HetNets. Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Wkshps 2013), Budapest, Hungary, 2013: 1129~1133
- 12 Sharma N, Badheka D, Anpalagan A. Multi-objective subchannel and power allocation in interference-limited two-tier OFDMA femtocell networks. IEEE Systems Journal, 2014, 12(99): 1~12
- 13 Zhao H C, Yang Q H, Gao F F, *et al.* Distributed adaptive subchannel and power allocation for downlink OFDMA with inter-cell interference coordination. Proceedings of 2010 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), Miami, USA, 2010: 1~5
- 14 Zhang J M, Zhang Z Y, Wu K, *et al.* Optimal distributed subchannel, rate and power allocation algorithm in OFDM-based

two-tier femtocell networks. Proceedings of IEEE 71st Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), Taipei, China, 2010: 1~5

- 15 Lee J Y, Bae S J, Kwon Y M, *et al.* Interference analysis for femtocell deployment in OFDMA systems based on fractional frequency reuse. IEEE Wireless Communications Letters, 2011, 15(4): 425~427
- 16 Lee K, Jo O, Cho D H. Cooperative resource allocation for guaranteeing intercell fairness in femtocell networks. IEEE Wireless Communications Letters, 2011, 15(2): 214~216
- 17 Radaydeh R M, Alouini M S. Switched-based interference reduction scheme for open-access overlaid cellular networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2012, 11(6): 2160~2172

[作者简介]



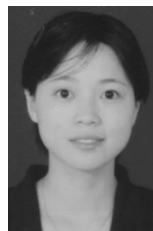
陈赓,男,博士,山东科技大学电子通信与物理学院讲师,主要研究方向为异构融合网络无线资源管理与优化算法等。



姚文静,女,山东科技大学电子通信与物理学院博士生,主要研究方向为矿山无线应急通信与信号检测技术等。



郭银景,男,博士,山东科技大学电子通信与物理学院教授、博士生导师,主要研究方向为矿山无线通信、生物医学信号处理和特种雷达技术等。



夏玮玮,女,博士,东南大学移动通信国家重点实验室副教授,主要研究方向为异构网络融合与短距离无线通信。