

Macro-Femto 双层网络中资源分配策略

李文静,何月顺

(东华理工大学 信息工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:宏蜂窝与家庭基站的双层组网方案能够有效提高通信系统的容量,解决数据业务拥堵的现状。但是,宏蜂窝基站和家庭基站之间的多种干扰问题严重损害了通信质量,降低系统性能。针对该问题,文中提出了一种分层调度资源—联合抑制干扰的算法。首先构建了内外层系统模型(I-O 模型),并对双层交叉混合干扰进行了分析,然后分别在内层和外层提出了时频域资源调度和基于子信道和功率的资源分配算法,最后在系统平台上进行仿真。结果表明,所提算法在小区边缘用户频谱效率、系统用户平均吞吐量等方面达到了良好的效果。

关键词:双层异构网络;I-O 模型;资源分配;干扰抑制

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)09-0115-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.09.025

A Resource Allocation Policy for Macro-Femto Double-layer Network

LI Wen-jing, HE Yue-shun

(College of Information Engineering, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: The coexistence of macro cells and low-power cells forming the heterogeneous double-tiered networks, can effectively improve the capacity of communications systems, solving the situation of data business congestion. However, the interferences between the macro cells and Femto cells severely degrade the quality of communications and prevent the system quality enhanced. Aiming at this problem, propose a hierarchical scheduling resource-joint interference suppression algorithm. First, build a model of the inner and outer layer of the system (I-O model), and analyze the double-cross hybrid interference. Then, put forward an algorithm of resource allocation of time-frequency domain resource scheduling and based on joint subcarrier and power in inner and outer layer. Finally, simulate them on the system platform. The results show that the algorithm proposed achieves good effects in the spectrum efficiency of the system, the average user throughput and other aspects.

Key words: heterogeneous double-tiered network; I-O model; resource allocation; interference suppression

0 引言

3GPP 组织向以 LTE-A 为代表的 4G 移动通信系统演进的过程中,逐步推动了以家庭基站为技术的发展和标准化进程^[1]。家庭基站发射功率较小,覆盖范围在 50 m 以内,通过复用宏蜂窝频率资源进行传输,从而形成了宏基站、家庭基站共存的双层异构网络体系。尽管家庭基站覆盖范围小,但家庭基站用户(Femtocell User Equipment, FUE)与邻近的宏蜂窝用户(Macrocell User Equipment, MUE)之间依然存在较强的相互干扰,阻碍了系统容量和性能的进一步提升。因此,如何在双层异构网络中,通过资源调度实现用户信号间的干扰抑制或干扰协调这一目标是移动通信技

术演进过程中亟待解决的问题。

文献[2]中,作者提出了家庭基站优化方法,目的是限制家庭基站对室外宏蜂窝用户的下行链路干扰。文献[3]提出了一种简单技术,利用 Femtocell 从 Macrocell 得到 MUE 的相关信息,避免 Femtocell 对附近的 MUEs 造成干扰。在文献[4]中,提出了基于频谱共享的混合接入 OFDMA 的 Femto 网络的动态资源分配管理算法(Dynamic Resource Allocation Management Algorithm, DRAMA)。首先构建内外层系统模型,将 LTE-A 系统中双层网络用户之间复杂的干扰问题简化。其次,考虑 OFDMA 系统下,宏基站和家庭基站组成的异构网络中的资源分配,提出一种分层调度资

收稿日期:2014-10-24

修回日期:2015-01-26

网络出版时间:2015-08-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51364001)

作者简介:李文静(1988-),女,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络、4G 移动通信系统、分布式系统与网络技术;何月顺,博士,教授,硕士生导师,研究方向为分布式系统与网络技术、数据挖掘与智能决策、软件工程与理论。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150826.1535.018.html>

源—联合抑制干扰的算法。最后通过系统级仿真平台验证,证明使用该算法后,Macro 层和 Femto 层都得到较好的干扰管理和抑制。文中的研究及其仿真能为未来的通信网络规划与优化提供参考。

1 Micro-Femto 系统模型及交叉混合干扰分析

1.1 Micro-Femto 系统模型

在宏基站与家庭基站所构成的异构双层网络架构中,构建内外层系统模型,即 I-O 模型,进行分层资源调度。内层是指以家庭基站为主要调度器的覆盖范围;外层是指以宏基站为调度中心的覆盖范围。其特性参数见表 1。

表 1 双层异构网络特性参数

	宏基站 (Macrocell)	家庭基站 (Femtocell)
基站发射功率/dBm	46	<23
有效覆盖范围/m	1 000 ~ 3 000	<50
接口类型	S1 接口	IP 网络
用途	为较大范围用户提供开放式接入服务	服务家庭或企业里某些特定用户

1.2 交叉混合干扰分析

Femtocell 的引入在带来高边缘覆盖率的同时,也带来了两种主要干扰:层内干扰和层间干扰。层内干扰是指发生在两个或多个 Femtocell 之间的干扰,由于 Femtocell 部署位置相近,而造成不同范围的遮叠覆盖。如图 1 中, Femtocell₁ 和 2 位置相近, FUE₃ 受到 Femtocell₁ 的下行干扰。若恰巧两个 Femtocell 使用同一频率或者子信道,那么很容易产生共信道干扰^[5]。层间干扰是指干扰源和受干扰者来自不同的网络层。如图 2 中,靠近 Femtocell₁ 的宏基站用户 MUE₃ 受到 Femtocell₁ 小区发送的下行信号的干扰、宏基站对 FUE₃ 的下行干扰等等。

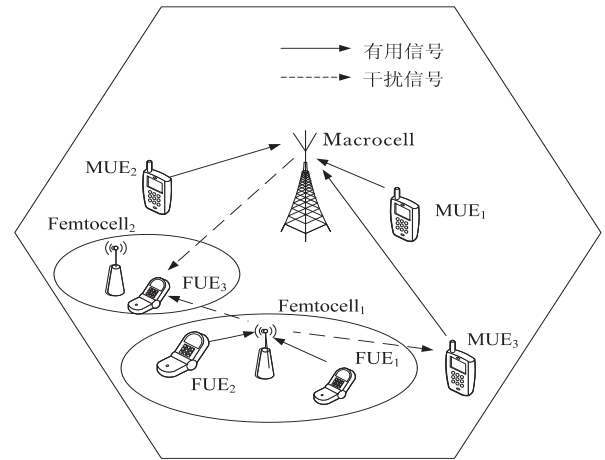


图 1 Macro-Femto 双层网络下行链路干扰现状
考虑 LTE-A 系统中,Macro-Femto 组成的双层网

络的下行资源分配。系统带宽被分为 N 个正交的 RBs,假设该中心基站的有效覆盖半径为 R_m ,且与 F 个 Femto 共享 C 个子载波,那么第 u 个 MUE 在子载波 c 上的有效信干噪比 (Signal Interference Noise Ratio, SINR) 为:

$$\gamma_u^{\text{eff}} = [(\frac{1}{12N} \sum_{u \in N_u} \sum_{c=1}^{12} \frac{P_{u,n,c} \gamma_{u,n,c}}{1 + P_{u,n,c} \gamma_{u,n,c}}) - 1]^{-1} \quad (1)$$

其中, N_u 为分配给用户 u 的 RBs 集; $P_{u,n,c}$ 为用户 u 在子载波 c 上的传输功率; $\gamma_{u,n,c}$ 为 SINR。

2 解决干扰问题的资源分配策略

对于内层,采用时频域调度方式。首先考虑 FUE 的信道质量信息 (Channel Quality Information, CQI),并确定预服务用户的集合 {Ue}, 然后调度器^[6]根据各个 FUEs 的信道状况、吞吐量等相关参数设定权值因子,对用户按照优先级排队。一般情况下,按此队列顺序分配 RB。若有重传用户^[7],则首选重传用户,然后再按优先级队列分配,当选定 FUEs 数目达到预定数目时即完成时域调度。最后,将分配好 RB 的 FUEs 与对应的 RB 成对按新的优先级权重进行排序,接着遍历整个顺序依次分配频域资源。其算法流程如图 2 所示。

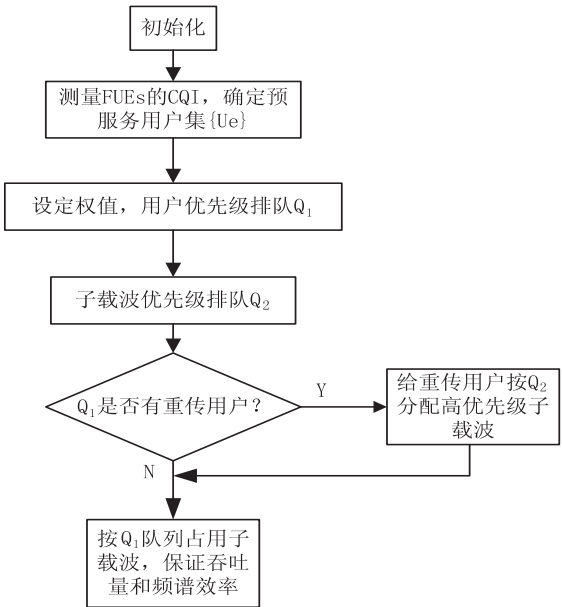


图 2 内层调度算法简要流程图

对于外层,从子信道和功率方面考虑,采用联合分配模式,具体思路在以下几节详述。

2.1 用户分类及区分

初始化阶段,小区内所有预服务的 UEs 均向宏基站的 eNB 请求分配下行资源,同时宏小区内的 Femto 也向 eNB 发送资源请求,以获得其可以独立调度的时频资源。eNB 首先根据请求报文中的某些字段区分 Femto 和 UEs,然后通过 Hata-Okumura 模型 (见式

(2))^[8] 计算 UEs 到 MeNB 和 FeNB 的路径损耗值 PL_m 或 PL_f 。

$$PL = 69.55 + 26.16 * \lg f - 13.82 * \lg H_b - aH_m + (44.9 - 6.55 * \lg H_b * \lg d) \quad (2)$$

其中, f 为工作频率(150 ~ 1 500 MHz); H_b 为基站发射机的有效天线高度(30 ~ 200 m); H_m 为移动台接收机的有效天线高度(1 ~ 10 m); d 为收发天线之间的距离(1 ~ 10 km)。MeNB 和 FeNB 选择路损值最小的 UEs 作为自己的用户。

对于附近的 MUEs, 假设 FeNB 的坐标点为 (x_i, y_j) , MUE 的坐标点为 (x_j, y_j) , 则 MUE 的干扰半径 $I_r^{[9]}$ 为:

$$I_r = \sqrt{\frac{B_1^2 + B_2^2 - 4AC}{4A^2}} \quad (3)$$

其中, $A = P_f - P_u$; $B_1 = 2P_u x_i - 2P_f x_j$; $B_2 = 2P_u y_i - 2P_f y_j$; $C = P_f x_j^2 - P_f y_j^2 - P_u x_i^2 - P_u y_i^2$ 。Femto 的发射功率为 P_f , 移动终端发射功率为 P_u 。MUE 的干扰半径取决于 Femto 和 UE 的实际物理位置以及它们的发射功率。测量 MUE 与 Femtocell 之间的距离 D , 当 $D \leq I_r$ 时, 将该 MUE 设定为“干扰户”^[10], 加入“黑名单”, Femto 将“黑名单”发送给 Macrocell, 宏基站根据列表统计出所有禁用的子载波信息, 再反馈给 Femtocell 除禁用的资源外, 其他资源可以分配。

2.2 子信道和功率分配

对于 Macrocell, 参考文献[11]中所描述的方法, 可以直接使用部分功率控制算法。定义第 u 个 MUE 的发射功率如下:

$$P_u^{MUE} = \min\{P_M^{\max}, P_0 + 10 * \lg(RB_{MUE}) + \alpha * L\} \quad (4)$$

式中, P_0 为 MUE 特殊的参数; RB_{MUE} 为给 MUE 分配的 RB 的数目; α 为小区特殊的路径损耗补偿因子, 此处 $\alpha = 0.6$; L 为第 u 个 MUE 的下行路损测量^[12]。由于 Femtocell 部署在室内且其服务用户 FUEs 和 Femtocell 距离很短, 因此可以平均分配其功率。

2.3 分层调度策略中, 小区吞吐量的计算

分别计算内外层网络的吞吐量^[13]。内层 C_1 , 外层 C_2 , 公式如下:

$$T_1 = \sum_{i=1}^{N_{sc}^m} x_i^u \frac{B}{N_{sc}} \lg(1 + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \gamma_m) \quad (5)$$

$$T_2 = \sum_{j=1}^{N_{sc}^f} y_j^u \frac{B}{N_{sc}} \lg(1 + \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \gamma_n) \quad (6)$$

系统吞吐量为 $T = T_1 + T_2$ 。以上两式均是由香农公式进行转化而得来的。

其中, N_{sc}^m 和 N_{sc}^f 分别为 Microcell 和 Femtocell 的 RBs 集合中所包含的子载波数目; x_i^u 和 y_j^u 分别为预服

务的 MUEs 和 FUEs 所分配的子载波 i 和子载波 j ; B 为系统带宽; N_{sc} 为系统的子载波数目; $\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \gamma_m$ 和 $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \gamma_n$ 分别为所有 MUEs 和 FUEs 的平均 SINR; γ_m 和 γ_n 分别为内外层网络的信干噪比。

3 仿真结果比较和分析

为了获得仿真结果, 分别对 MUEs 和 FUEs 使用 2 种调制方式(4QAM、16QAM)和 3 种调制方式(4QAM、16QAM、64QAM)。设置仿真参数^[14]后进行仿真, 并分析算法仿真性能。

对于基于功率控制的干扰协调算法、随机分配资源算法和文中所提算法进行比较分析。从系统平均用户吞吐量、系统频谱利用率和实时业务丢包率三方面来进行对比, 如图 3 和图 4 所示。

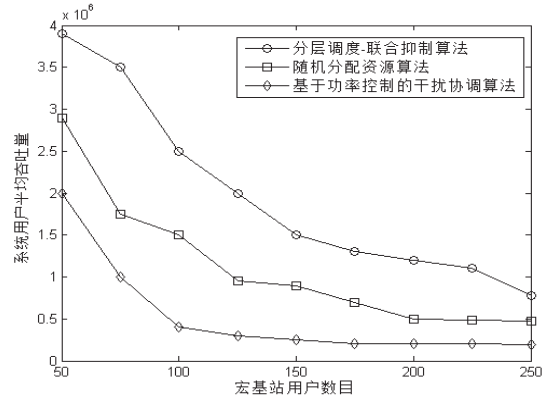


图3 系统平均用户吞吐量

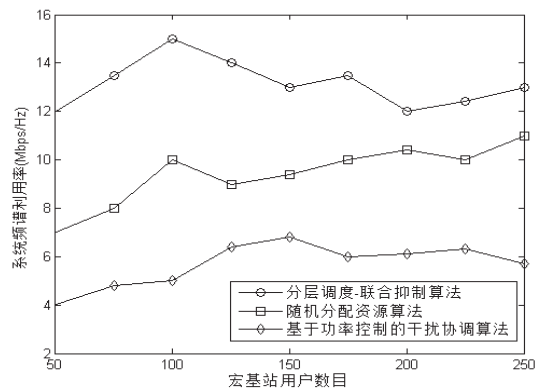


图4 系统频谱利用率

由图 3 可以看出, 随着 MUEs 的增多, 系统用户的平均吞吐量明显下降。文中所提算法能获得更高的系统平均用户吞吐量, 因为能够在统一调度资源和 UEs, 选择最合适的子载波的同时, 降低双层网络中严重的层间干扰。

图 4 中系统频谱利用率依次平稳提升。其中, 随机分配资源算法并没有解决实质的干扰问题, 所以提

升系统的频谱利用率非常有限。基于功率控制的干扰协调算法侧重于解决系统内复杂的干扰,信令交互势必会影响频谱利用率。文中所提算法带来用户平均吞吐量的提升,进而增加系统总吞吐量。

图 5 表明,使用分层调度—联合抑制算法可以把实时业务丢包率降到最低,最高才达到 0.005 左右。其优势远远超过了另外两种算法。此外,随着 MUEs 数目的增加,Femto 基站总的最小频谱效率也随之增加,这是由于 Macro 层可以提供更好的分集增益。

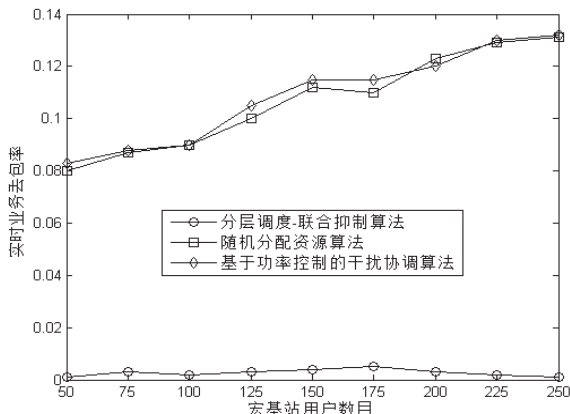


图 5 实时业务丢包率


4 结束语

文中以 Macro-Femto 双层异构网络为例,分析了双层网络中多种干扰机制,提出了解决小区间干扰问题的资源分配算法。该算法充分考虑了复杂的小区间干扰,采用分层调度-协同抑制的方式,降低了系统信令开销、运算复杂度和信令传输时延对总体性能的影响。此外,该算法也保证了 FUEs 间的公平性和全部 MUEs 的 QoS 保障。仿真对比结果表明,该算法在小区频谱效率和用户平均吞吐量两方面性能都有了明显的改善。未来数据业务的不断发展和需求都要求带有低功率节点(比如 Femtocell, Picocell)的双层(甚至是多层)网络具有高速率、低干扰的特性,这也是下一步要研究的方向。

参考文献:

- [1] 3GPP TR 36.932: scenarios and requirements for enhancements for E-UTRA and E-UTRAN[S]. 2013.
- [2] Han K, Choi Y, Kim D, et al. Optimization of femtocell network configuration under interference constraints[C]//Proc of 7th international symposium on modeling and optimization in mobile, ad hoc, and wireless networks. [s. l.]: [s. n.], 2009.
- [3] Zahir T, Arshad K, Ko Y, et al. A downlink power control scheme for interference avoidance in femtocells[C]//Proc of 7th international wireless communications and mobile computing conference. [s. l.]: [s. n.], 2011:1222-1226.
- [4] Ahmed A U, Islam M T, Ismail M, et al. Dynamic resource allocation in hybrid access femtocell network[J]. Scientific World Journal, 2014, 2014:539720.
- [5] 王广德, 常永宇, 蒋文婷, 等. LTE-A 异构网络下的高效资源分配算法[J]. 无线电通信技术, 2013, 39(1):13-15.
- [6] 王磊, 解福. 基于信任机制的资源调度模型[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(4):141-144.
- [7] 赵莹. 基于 LTE-A 的中继选择策略及调度算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [8] 辛润, 王珂. 基站中用户路径损耗的 MATLAB 分析[J]. 赤峰学院学报: 自然科学版, 2013, 29(2):52-53.
- [9] Güvenç I, Jeong M R, Watanabe F, et al. A hybrid frequency assignment for femtocells and coverage area analysis for co-channel operation[J]. IEEE Communications Letters, 2008, 12(12):880-882.
- [10] 王彦龙. LTE/LTE-Advanced 系统异构网中的无线资源管理技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2013.
- [11] Castellanos C U, Villa D L, Rosa P C, et al. Performance of uplink fractional power control in UTRAN LTE[C]//Proc of VTC Spring 2008. [s. l.]: IEEE, 2008:2517-2521.
- [12] 宋婧, 丛犁, 葛建华, 等. 双层网络中一种协作博弈的动态资源分配方法[J]. 西安交通大学学报, 2012, 46(10):89-94.
- [13] 曲桦, 宋亚兰, 赵季红, 等. 基于 TG-PF 的 LTE-A 中继蜂窝网络下行分层调度方法[J]. 通信学报, 2013, 34(12):113-119.
- [14] 郑建涛. 基于 MATLAB 的 LTE 系统级仿真研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2013.

Macro-Femto双层网络中资源分配策略

作者：[李文静](#)，[何月顺](#)，[LI Wen-jing](#)，[HE Yue-shun](#)
作者单位：[东华理工大学 信息工程学院, 江西 南昌, 330013](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015(9)

引用本文格式：[李文静](#), [何月顺](#), [LI Wen-jing](#), [HE Yue-shun](#) Macro-Femto双层网络中资源分配策略[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(9)