

TDD 无线异构网络中的干扰仿真与分析

梁学俊¹, 水利民¹, 裴文江², 杨夏喜²

(1 江苏省产品质量监督检验研究院, 江苏 南京 210007;

2 东南大学 信息科学与工程学院, 江苏 南京 211102)

摘 要: 为了克服时分双工(TDD)无线异构网络中的区间干扰, 对家庭基站受到来自宏基站小区和相邻家庭基站小区的干扰状况进行了仿真与分析, 建立了家庭基站部署密度, 家庭基站到宏基站的距离与上下行链路覆盖率之间的关系, 从而为家庭基站的选址以及参数的设置和调整提供了重要依据, 也为设计家庭基站的自配置和自优化算法提供了必要的参考数据。

关键词: 时分双工; 家庭基站; 宏基站; 异构网络

中图分类号: TN914

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)04-0090-04

The Interference Simulation and Analysis in TDD Wireless Heterogeneous Network

LIANG Xue-jun¹, SHUI Li-min¹, PEI Wen-jiang², YANG Xia-xi²

(1 Jiangsu Product Quality Testing & Inspection Institute, Nanjing 210007, China;

2 School of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210007, China)

Abstract: To overcome the inter-cell interference from TDD wireless heterogeneous network, the simulation and analysis to Home NodeB's interference received from Macro NodeB and neighboring Home NodeB are applied, and the relationship between the coverage of uplink or downlink and the deployment density and location of Home NodeB is in this paper. The research above mentioned supports the significant foundation for setting and adjusting to configuration parameters, and it also provides the necessary reference data for self-configuration and self-optimization algorithm design of Home NodeB.

Key words: TDD; Home NodeB; Macro NodeB; heterogeneous network

1 引言

时分双工(TDD)无线通信网络能够满足非对称业务的需求以及频率分配零散化的趋势, 在下一代移动通信系统中具有较强的优势, 然而, TDD系统上下行传输都发生在同一频率, 只能通过不同时间隙来区分上行和下行链路。由于无线电波在空气中传播存在延迟, 将使得基站和用户信号在上下行之间存在一个时序上的差异, 导致上下行数据在发送时发生碰撞, 从而引起相互干扰^[1]。另外, 随着可用频谱资源不断向高频段发展, 无线信号的室内覆盖质量往往不尽人意。而大量的高速数据与多媒体业

务一般都发生在室内环境, 部署家庭基站将是一个重要的室内覆盖解决方案^[2]。于是, TDD家庭基站和宏基站共同构成了无线异构网络环境。与宏基站的规划性和可管控性不同, 家庭基站的部署无法事先进行规划, 这将导致家庭基站与宏基站之间产生较为严重的小区间干扰(ICI), 会影响最终用户的体验质量。尤其在人口居住密度较大的地区, 家庭基站部署的密度会比较大, 这一问题尤为明显。因此, 针对TDD无线异构网络中的ICI展开分析, 并仿真同频组网时宏基站与家庭基站, 相邻家庭基站之间的干扰, 有助于家庭基站设计自配置的频率资源算法和自适应的选择TDD帧上下行比^[3-4], 在满足带

宽能力与业务需求的同时,改善无线异构网络中的 ICI.

2 无线异构网络环境

对家庭基站受到来自宏基站和相邻家庭基站的干扰状况进行分析与仿真,首先需要建立合适的无线网络环境. 本文中室内部分参考爱立信(Ericsson)的公寓楼场景^[5],宏小区部分则根据国际电信联盟(ITU)建议的评估场景来设计. 假设家庭基站与宏基站采用相同频率配置,家庭基站之间以及家庭基站与宏基站之间不同步,不同基站独立选择 TDD 帧上下行比.

2.1 室内部分

室内部分如图 1 所示,采用 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 大小的空间模拟用户住房. 楼层高度为 3.5m . 每栋楼有 6 层,每层一共 25 个住户. 家庭基站在室内均匀分布(用户随意放置),放置高度为 2m (壁挂式),用户终端的高度为 1.5m ,用户在屋内均匀分布,用户与家庭基站直接的最小距离为 1m .

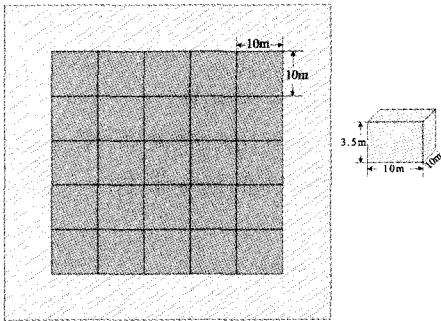


图 1 室内场景

对于家庭基站的部署密度,即使用家庭基站的用户占有所有用户的比例,考虑稀少,适中,密集三种情况,分别对应的密度为 10% , 50% 和 100% . 家庭基站的详细参数设置如表 1 所示.

2.2 宏小区部分

宏小区采用 ITU 建议的三扇区形式^[6],小区布局如图 2 所示. 站间距(ISD)则根据 ITU 及 LTE-Advanced 规定的市区宏小区,设为 500m ^[7].

由于下一代 TDD 系统采用了 OFDM 技术,小区内频率资源分配是完全正交的,可假设在同一个小区中,与家庭基站用户使用相同频率资源的宏小区用户只有一个. 那么在考虑宏小区对家庭基站上行链路干扰时,仅需要考虑一个宏小区用户产生的干扰即可. 由于复杂度的考虑,仅选取一个扇区作为仿真场景,宏小区用户在扇区中均匀分布,而家庭基

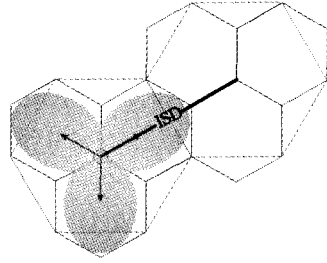


图 2 宏小区场景

站所处的室内场景也在小区中均匀分布,区别在于分析了两种不同的分布位置:一是靠近扇区中心位置,即室内场景到小区中心路损小于 92.2dB 的区域;二是扇区边缘位置,即室内场景到小区中心路损大于 103dB 的区域. 宏基站的详细参数设置如表 2 所示.

表 1 家庭基站的参数设置

参数	上行链路	下行链路
最大发射功率 dBm	21	24
发射天线增益 dBi	0	3
载频 GHz	2	2
热噪声功率谱密度 dBm/MHz	-114	-114
噪声指数 NF dB	9	9
系统带宽 MHz	20	40
接收天线增益 dBi	3	0
阴影衰落标准差 dB	8	8
阴影衰落相关性	0.5	0.5
公寓间墙壁穿透损耗	5 dB	5 dB
调制编码方式	QPSK 1/2	QPSK 1/2
信噪比需求 dB	5	5
基站与终端最小距离	1 m	1 m
流量模型	Full buffer	Full buffer

表 2 宏基站的参数设置

参数	上行链路	下行链路
最大发射功率 dBm	24	43
发射天线增益 dBi	0	15
载频 GHz	2	2
热噪声功率谱密度 dBm/MHz	-114	-114
系统带宽 MHz	20	100
接收天线增益 dBi	15	0
阴影衰落标准差 dB	8	8
家庭基站与宏基站间阴影	0.5	0.5
衰落相关性		
流量模型	Full buffer	Full buffer

2.3 不同步及上下行比的情况

对于不同步的 TDD 异构网络, 如果帧时长为 T , 可以假设不同步造成的时间差是从 0 到 T 之间均匀分布. 对于不同上下行比的影响可参考图 3. 设家庭基站 1 和家庭基站 2 之间不同步, 帧时间差为 t_d , 设 t_d 为 0 到 T 均匀分布的随机数. 家庭基站 1 的上下行比为 $t_{\text{down}1} : t_{\text{up}1}$, 家庭基站 2 的上下行比为 $t_{\text{down}2} : t_{\text{up}2}$.

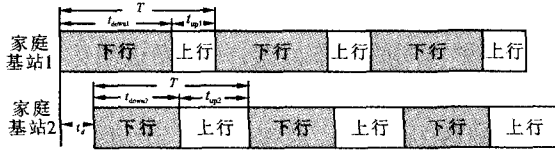


图 3 TDD 帧同步示例

当家庭基站 1 和家庭基站 2 不同步时, 对于家庭基站 1 而言, 其数据帧任意点(上行或下行)落入家庭基站 2 下行帧时间范围内的概率为 $t_{\text{down}2} / (t_{\text{down}2} + t_{\text{up}2})$, 落入家庭基站 2 上行帧时间范围内的概率为 $t_{\text{up}2} / (t_{\text{down}2} + t_{\text{up}2})$. 对于家庭基站 2 而言, 其数据帧任意点(上行或下行)落入家庭基站 1 下行帧时间范围内的概率为 $t_{\text{down}1} / (t_{\text{down}1} + t_{\text{up}1})$, 落入家庭基站 1 上行帧时间范围内的概率为 $t_{\text{up}1} / (t_{\text{down}1} + t_{\text{up}1})$. 因此在仿真过程中依靠概率来模拟不同步时上下行帧之间的交错情况. 各个家庭基站的上下行比选择依据 LTE 中定义的 8 种 TDD 帧上下行比, 以等概率的方式进行选择. 根据上下行比确定的概率来分析干扰来自上行链路还是下行链路.

3 无线传播模型

3.1 室内模型

仿真过程中的室内无线信号传播采用 COST 231 的改进模型:

$$L_{H, \text{indoor}} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi d_{m, 3D}}{\lambda} \right) + 0.7 \cdot d_{m, 2D} + k_w L_w + L_f \cdot n^{\frac{n+2}{n+1} - 0.46}$$

其中 k_w 为穿透的墙的数量, L_w 为穿透损耗 5dB. 出于简化目的, 在一个用户的室内就不考虑穿透的问题, 用线性模型 $\alpha \cdot d_{m, 2D}$ 来简化, $\alpha = 0.7$. 在不同用户之间需考虑穿透损耗的问题.

3.2 室外到室内传播模型

室外到室内的无线传播模型采用 COST 231 提供的模型:

$$L_L = 38.46 + 20 \cdot \log_{10}(S + d_i) + W_e + W_{\epsilon} \cdot \left(1 - \frac{D}{S} \right)^2 + p \cdot L_w + 0.7 \cdot d_i$$

其中 S 为室外传播距离, d_i 为室内传播距离, D/S 为穿透入射角度的 $\sin$ 值. W_e 为建筑物外墙穿透损耗, W_{ϵ} 为穿透入射角为 0 度时的损耗. p 为穿透的墙数量, L_w 为穿透损耗, 设为 5dB.

4 干扰分析与统计

对于家庭基站用户, 无论是上行链路还是下行链路, 由于基站间不再同步, 且上下行比不一定相同. 室内干扰可以来自其它的家庭基站和家庭基站用户, 室外干扰可能来自宏小区用户, 也可能来自宏基站. 因此, 对于上下行链路的干扰分析和统计, 采用如下公式:

$$I_{\text{uplink}}^i = \sum_{n=1, n \neq i}^N rc_power_n + rc_power_M$$

N 为家庭用户数量. rc_power_n 表示家庭基站 i 接收到的来自楼内的信号功率, 可能来自家庭基站用户, 也可能来自家庭基站, 单位 mw. rc_power_M 表示家庭基站 i 接收到的来自宏小区的信号功率, 可能来自宏基站, 也可能来自宏小区用户, 单位 mw. 对于信噪比(SINR) 的计算, 采用:

$$\text{SINR}_{\text{uplink}}^i = \frac{rc_power_i}{I_{\text{uplink}}^i + n_0 W_i}$$

其中 n_0 表示噪声功率谱密度, W_i 表示家庭基站 i 接收到家庭用户 n 的信号带宽.

5 仿真结果

图 4 给出的是靠近扇区中心的家庭基站上、下行链路覆盖率($\text{SINR} > 5\text{dB}$) 的仿真结果. 从图中可以看到, 在靠近小区中心的区域, 首先, 对于下行链路, 主要干扰来自宏基站, 通过提高家庭基站的发射功率, 可以有效改善下行覆盖. 这种情况与同步时类似, 即宏基站对于下行链路干扰的影响是比较明显的. 其次, 上行链路的干扰除了主要来自相邻家庭基站用户以外, 在不同步的情况下还可能来自宏基站, 这对上行链路的覆盖造成了比较大的影响.

图 5 给出的是位于扇区边缘的家庭基站上、下行链路覆盖率($\text{SINR} > 5\text{dB}$) 的仿真结果. 从仿真结果中可以看到, 在靠近小区边缘区域, 下行链路的覆盖率有一定改善, 宏基站产生的干扰有所降低. 而对于上行链路的干扰而言, 除了主要来自相邻家庭基站用户以外, 由于不同步导致来自宏基站的干扰影响仍然较严重.

从上述的仿真结果可以看到, 在 TDD 无线异构网络环境中, 家庭基站距离宏基站的位置仅在家

庭基站部署密度不高的情况下会对家庭基站覆盖产生一定影响,在部署密度适中或较高的情况下,影响不大.对于下行链路而言,不同步产生的影响仅在部署密度较低时比较明显,也就是说,在部署密度较低时,宏小区的干扰会产生明显影响.对于上行链路而言,在不同步时,由于宏基站的干扰有可能渗透到上行链路,与同步的情况相比,覆盖性能受到很大的影响.

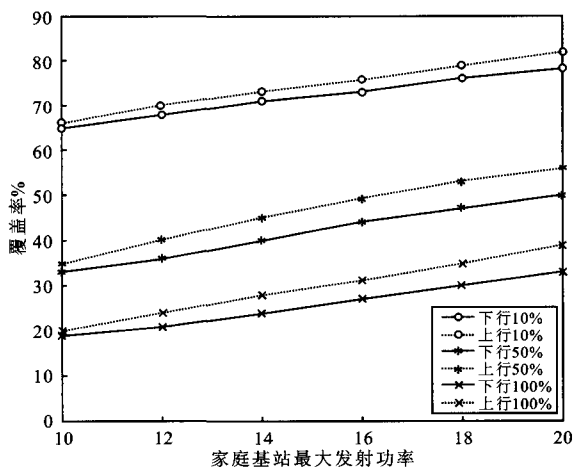


图4 靠近扇区中心位置的家庭基站覆盖率

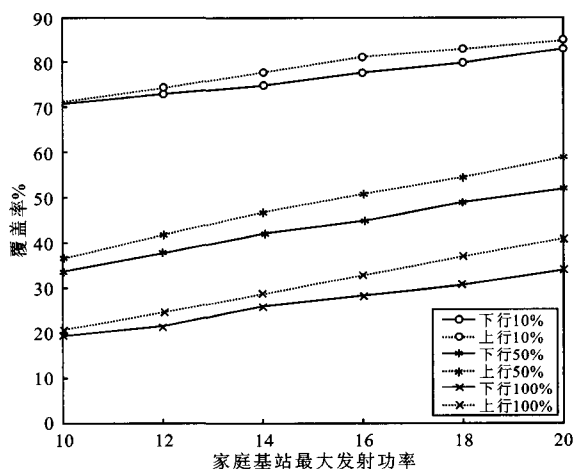


图5 位于扇区边缘位置的家庭基站覆盖率

6 结束语

随着应用场景和业务需求的不同,由家庭基站和宏基站构成的 TDD 无线异构网络部署的复杂性也不断提高,造成的小区间干扰会严重影响运行性能.研究表明,在不同步的情况下,家庭基站的覆盖性能会受到比较大的影响,尤其是上行链路.即使在同步的情况下,由于基站间上下行比不同,也会出现上行干扰来自基站的情况,导致家庭基站覆盖率的下降.本文的研究成果可运用到家庭基站的选址

以及参数的设置,调整以及自配置和自优化算法设计中.另外,由于运营商对于家庭基站的控制能力已经被弱化,而由不具备专业知识的普通用户参与家庭基站的部署和运行、维护,这使得本文的研究更具意义.

参考文献:

- [1] 莫宏波,朱新宁,果敢,等. LTE TDD 与 LTE FDD 的关键过程差异分析[J]. 电信科学, 2010(02):74-79.
- [2] Chandrasekhar V, Andrews J, Gatherer A. Femtocell networks: a survey[J]. Communications Magazine, IEEE, 2008,46(9): 59-67.
- [3] IEEE C802.16m-07/169, Self-configuration and self-optimization of 4G Radio Access Networks[S]. Alcatel-Lucent, Alcatel Shanghai Bell, 2007.
- [4] 3GPP TR 32.821 V9.0.0, Study of Self-Organizing Networks (SON) related Operations, Administration and Maintenance (OAM) for Home NodeB (HNB) (Release 9)[S]. 2009.
- [5] R4-080149. Simulation assumptions for the block of flats scenario. Ericsson, 3GPP TSG-RAN Working Group 4 (Radio) meeting # 46 Sorrento[S]. Italy, 2008.
- [6] ITU Document 5/69-E, Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced [S]. Source: Document 5D/TEMP/99(Rev. 1),2008.
- [7] 3GPP TS 36.913 V10.0.0. Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced) (release 10) [S]. 2011.

作者简介:



梁学俊 男,(1979-)博士生.研究方向为宽带移动通信、现代数字信号处理、及无线通信测试.

水利民 男,(1965-),研究员.研究方向为无线通信系统与工程智能化检测.

裴文江 男,(1971-),教授,博士生导师.研究方向包括融合通信技术、虚拟化仪器测试技术.

杨夏喜 男,(1982-),博士.研究方向为计算电磁学、天线与电磁辐射.