



Femtocell 网络干扰抑制技术综述^{*}

鲁蔚锋^{1,3,4}, 祁彦川^{1,3,4}, 何利文^{1,3,4}, 陈思光^{2,3,4}

(1. 南京邮电大学计算机学院 南京 210003;

2. 南京邮电大学物联网学院 南京 210003;

3. 江苏省无线传感网高技术研究重点实验室 南京 210003;

4. 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室 南京 210003)

摘要: femtocell 是一种室内微型基站,能以较低的功率为室内用户提供高速率的宽带服务,极大地解决了都市生活中室内信号覆盖困难的问题,是未来室内通信服务的主要手段之一。然而 femtocell 和其他通信设备一样面临着通信干扰管理的巨大挑战,首先在 femtocell 采用 MIMO、OFDM、OFDMA 等系统时,对其干扰抑制技术进行分析,然后介绍了 femtocell 的设备部署以及干扰类型,最后针对 femtocell 的部署特点以及适用的通信系统进行了比较和总结。

关键词: 家庭基站;干扰抑制;多输入多输出;正交频分多路复用

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.05.019

A Survey of Interference Suppression in Femtocell Network

Lu Weifeng^{1,3,4}, Qi Yanchuan^{1,3,4}, He Liwen^{1,3,4}, Chen Siguang^{2,3,4}

(1.College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. College of IoT, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

3. Jiangsu High Technology Research Key Laboratory for Wireless Sensor Network, Nanjing 210003, China;

4. Key Lab of Broadband Wireless Communication and Sensor Network Technology,
Ministry of Education, Nanjing 210003, China)

Abstract: Femtocell is the micro base station for solving the problem of mobile communication coverage indoor, which can serve indoor users with high speed broadband at a relatively low power. It can solve the indoor communication coverage problem in city life. Femtocell will become the one of the main means of indoor communication service in the future. However femtocell is facing the great challenges of communication interference management as other communication equipment. The normal interference technologies with femtocell under MIMO, OFDM and OFDMA system were firstly introduced, and then the background of interference problem in femtocell was introduced. Finally, according to the characteristics of the femtocell deployment, its interference suppression methods were summarized and compared.

Key words: femtocell, interference suppression, multiple-input multiple-output, orthogonal frequency division multiplexing

^{*} 国家自然科学基金资助项目(No.61201160, No.61071113, No.60902012), 江苏省科技计划资助项目(No.BK20131377), 国家教育部博士点基金资助项目(No.20100092110010), 江苏高校优势学科建设工程基金资助项目(No.yx002001), 江苏省高校优秀中青年教师和校长境外研修计划基金资助项目



1 引言

随着最近几年信息化社会的飞速发展,通信行业不断革新,智能手机功能越来越全面,导致通信数据量不断提升,用户对通信信号覆盖以及通信速度和质量的要求越来越高。据相关研究表明,50%的语音业务和70%的数据业务都发生在室内环境下^[1]。但是城市内高楼林立,市区内宏基站(macrocell)信号受阴影效应、多径效应、干扰以及接收机位置敏感等诸多不利因素影响,尤其是房屋墙壁对高频段的无线信号的穿透损耗影响较大,用户设备直接依靠室外 macrocell 的信号穿透覆盖效果较差,远远无法满足用户的需求。家庭基站(femtocell)的出现则可以有效解决室内覆盖等问题。

femtocell 又称 HeNB,是一种室内部署的低功率、覆盖范围较小、系统容量大、传输速率高、价格低廉、设置简单的基站,其主要部署在办公室、家庭、室内娱乐场所等。femtocell 可以看成迷你版的 macrocell,macrocell 的覆盖半径可达几十千米甚至上百千米,而 femtocell 的覆盖范围只有几十米,但是它们的工作频段、空中接口协议、帧结构等都没有差异。femtocell 可以通过住宅在建设之初就部署好的 DSL 等有线设备通过互联网与运营商核心网连接,降低部署成本,同时由于发射机与接收机之间的距离大大缩短,传输质量和速度将会有极大的提高。然而通信设备之间的干扰问题同样也影响着 femtocell 的性能发挥,如何处理 femtocell 干扰问题也是现今的热门讨论问题之一^[2]。

干扰管理类型根据对干扰问题的处理方式可以分为:干扰消除、干扰协调以及干扰抑制^[3]。

干扰消除是指通信信号到达接收端后通过解调或者解码信息将接收到的信号中的干扰直接消除的技术。干扰消除技术需要预先知道通信信号的特性以及接收端天线的阵列布置才能达到消除干扰的目的,对接收端设备的要求较高,用户设备一般无法满足条件,通常用于对基站的通信,如上行线路中用户设备对基站的通信。干扰协调,又称干扰回避技术,是指通过对下行资源例如频率的分配或者发射功率的设置来协调。

多个小区间的通信覆盖,回避小区间的干扰,代表技术有功率控制、频域时域等资源划分^[4]。而干扰抑制技术则是采用波束成形、干扰随机化、预编码等方法对已知的干扰问题进行干扰信号中和或者多用户共同分担来达到抑制干扰的目的。

2 femtocell 的部署以及网络结构

femtocell 典型的部署场景如图 1 所示,femtocell 连接到局域网等宽带上,由专用网实现从 IP 网络到运营商核心网的连接,将家庭宽带业务与移动电话业务进行有效融合,同时还将 macrocell 的部分负载分流到相对便宜的 IP 网络中,有利于运营商的网络优化^[5]。而从参考文献[6]中了解到家庭基站的网络根据相应的协议规定必须满足如下要求。

- 支持 CSG (closed subscriber group, 封闭用户组) 和 allowed CSG (已授权的封闭用户组) 列表处理: 用户设备需要维护一张 allowed CSG 列表, 该列表一般存储在 HSS (home subscriber server, 家庭用户服务器) 中, 列表初始为空, 即该用户设备不存在于任何 CSG 中。连接到同一个 femtocell 的用户设备则属于同一个 CSG, 每个用户设备可以同时属于不同的 CSG, allowed CSG 列表的信息则作为用户的签署信息, 因此每个用户设备对应有不同的 CSG ID。当用户离开某个 CSG 时, 则在该列表中删除对应的 CSG ID, 反之当用户成功加入某个 CSG 时, 将其在该 CSG 对应的 CSG ID 加入列表。
- 接入控制: 核心网的 MME (mobility management entity, 移动管理实体) 网元可以对用户设备执行接入控制, 用户设备根据 allowed CSG 列表选择某一个 CSG ID 连接对应的 CSG 的时候需要触发 TAU (tracking area update, 跟踪域更新) 来允许 MME 执行接入控制。
- 移动性管理: 非 CSG 小区以及各不同 CSG ID 的 CSG 小区都可以使用相同或者不同的 TAI (tracking area indicator, 跟踪域标识), TAI 的分配不应该有任何限制, 以方便用户设备在多小区之间的切换。

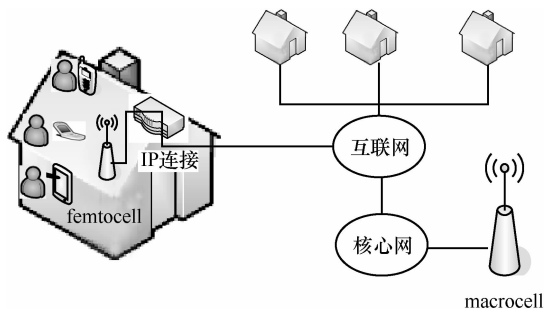


图 1 femtocell 典型的部署场景

从参考文献[7]中可以得知 femtocell 的网络架构如图2所示,满足以上3点要求并且每个设备之间都有按照3GPP规定的标准接口连接。femtocell与HeGW之间的安全性网管可提供S1接口信令和用户数据的聚合服务。C1接口可使用OTA(over the air)方式更新UE的allowed CSG列表。UE和femtocell之间的标准接口是LTE-Uu,与UE和macrocell之间的接口完全一样。MME以及SGW(服务网关)网元之间的标准接口是S11,而S6a则为MME网元与HSS之间的标准接口。

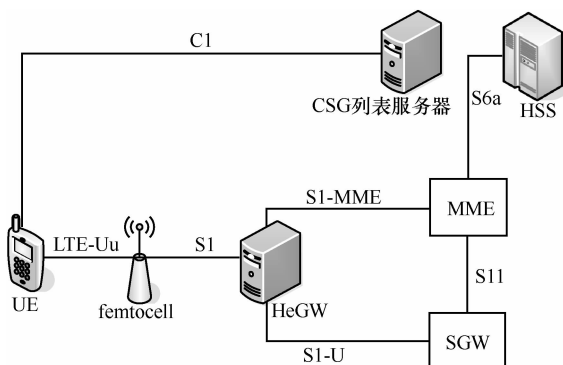


图2 femtocell网络架构

3 femtocell 网络干扰抑制技术

从参考文献[8]可以了解到,3GPP对femtocell网络中的干扰场景定义通常有6种,如图3中标号所示。

(1)femtocell用户上行干扰macrocell:macrocell用户在上行信道传输数据到macrocell时受到来自femtocell用户的干扰。

(2)femtocell下行干扰macrocell:macrocell在下行信道传输数据到macrocell用户时受到来自femtocell的干扰。

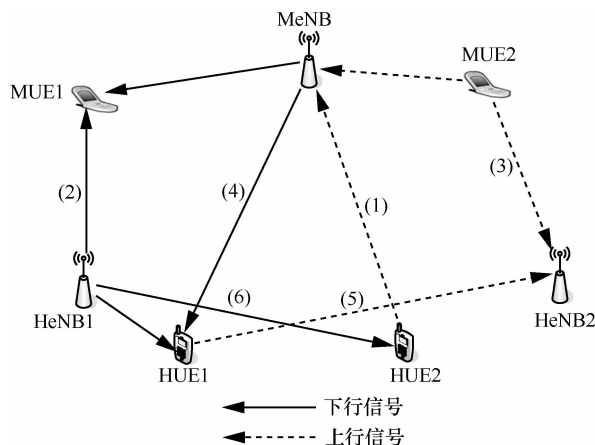


图3 femtocell网络中的干扰场景

(3)macrocell用户上行干扰femtocell:femtocell在上行信道接收来自其用户的通信信号时受到macrocell的用户干扰。

(4)macrocell下行干扰femtocell用户:femtocell用户在下行信道接收来自femtocell的通信信号时受到macrocell的干扰。

(5)femtocell用户上行干扰其他femtocell:femtocell用户在上行信道传输数据到femtocell时受到隶属于不同femtocell的用户的干扰。

(6)femtocell下行干扰其他femtocell用户:femtocell用户在下行信道接收femtocell通信信号时受到来自其他femtocell的干扰。

图3中无标号的线条是正常通信信道,而(1)~(4)皆属于跨层干扰,是femtocell网络与macrocell网络不同层次之间的干扰,(5)、(6)是同层干扰,指的是各femtocell相互之间网络覆盖所产生的相同网络层的干扰。

上述干扰问题通常是基于用户与各基站之间的距离问题以及网络覆盖面所导致的远近效应产生的。例如离macrocell较近的femtocell用户会受到macrocell大功率的信号干扰,造成严重的跨层干扰。而离macrocell较远的macrocell用户(如边缘地区)容易受到附近的femtocell的信号功率过高,覆盖macrocell的信号,而造成的跨层干扰。一定区域内femtocell密度较大,如公寓等地,则femtocell之间由于功率和距离等问题也会产生相同严重程度的同层干扰问题^[9]。

3.1 常用干扰管理技术

参考文献[10]介绍常用的干扰管理方案如下。

(1)功率控制方案

采用基于路径损耗的算法自行调整femtocell的功率,以减少对附近femtocell用户的干扰;或基于macrocell与femtocell的距离控制功率减少对macrocell用户的干扰。

(2)上层调度方案

设置中心控制器对多个femtocell集中调度,以减少femtocell之间的干扰,对macrocell进行交互干扰和资源分配信息以降低干扰。

(3)频率复用方案

主要用于解决在信道不够用的情况下,多小区之间共用信道或采用邻近信道所导致的边缘区域用户受到相邻小区干扰的问题。传统频率复用的主要目的是划分频率领域,与周边的femtocell采用不同的频率以避免互相干扰,



或采用正交频率以减少 macrocell 与 femtocell 之间的干扰。在传统频率复用技术的基础上诞生了 SFR (soft frequency reuse, 软频率复用) 和 FFR (fractional frequency reuse, 部分频率复用) 两种特殊的频率复用技术。在传统频率复用里, 一个频率在小区中定义为可用或不可用, 以避免与邻近小区产生干扰, 而 SFR 则是通过调整发射功率来定义不同频率在该小区中的使用程度, 在解决干扰问题的同时节约了信道资源, 提高了频率利用率^[1]。而 FFR 的核心思想则更为简单, 把频率分为两个部分, 一部分做同频复用, 另一部分则采用复用因子复用, 频率复用因子表示一个频率复用簇中频点的数量, 因子越大则表示复用的距离越大, 部分频率复用的复用因子一般选择为 3。从参考文献[12]了解到, FFR 分为静态和动态两种模式, 静态模式是假定网络中的负载和通信流量情况进行频率划分复用, 动态模式则根据实际的运行状况通过调度算法实时的调整频率来划分。

在一般的通信网络环境中, 运营商可以通过上述干扰管理方案消除同层或者跨层干扰提高信号质量, 但在不同的网络环境中以及复杂的干扰情况下, 这些传统干扰抑制方法需要进一步的发展和深入, 有必要结合 femtocell 的网络特性以及干扰环境对干扰抑制方案进行分析, 下面将基于 MIMO、OFDM 以及 OFDMA 系统中 femtocell 的网络特性综述干扰抑制方法。

3.2 基于 MIMO 的干扰抑制技术

MIMO (multiple-input multiple-output, 多输入多输出) 技术是指在发射端和接收端同时采用多根天线, 每根天线对应一个通道, 每个信号采用不同的发射天线进行传输, 同时接收端也采用相关技术进行信号收集和分离, 使得在一定的信道频段上通信容量将随着天线数量的增加而按比例地增加。MIMO 通过散射来标识信道的特点使得其能显著地克服多径衰落, 非常适合在市区高楼等地部署。根据 MIMO 在基站和用户之间对应关系的不同, 可以分为 SU-MIMO 和 MU-MIMO 两类。从参考文献[13]了解到, 基于 MIMO 的相关干扰技术有以下几种, 并且在 femtocell 网络中有良好的实用价值。

3.2.1 SU-MIMO 干扰抑制技术

SU-MIMO 干扰抑制技术有以下 3 种。

(1) 动态波束成形技术

动态波束成形技术是最重要的 MIMO 技术之一。普通的扇区天线形成的波束覆盖整个扇区, 因此必定会和相邻

小区的扇区波束重叠造成小区间干扰, 而波束成形则可以指向用户设备, 发射窄波束, 因此只有在相邻小区的波束发生碰撞的时候才会有小区间干扰。动态波束成形技术可以动态地通过对信号发射权值的调整, 使得所有信号同时到达接收端, 形成一次强力脉冲信号的效果, 可以提高频谱利用率和空间利用率。在 femtocell 和 macrocell 的发射端, 每根天线发射相同的信息, 根据 MRT (maximum ratio transmission, 最大比输出) 调整权值。在接收端根据 MRC (maximum ratio combination, 最大比合并) 设置天线权值, 对每根天线接收到的信号进行相关线性组合来得到最佳接收信号。参考文献[14]给出了一种自适应性的波束成形技术, 主要针对 femtocell 对 MUE (macrocell user equipment, 宏基站的用户设备) 产生的干扰问题。HeNB 与受到干扰的 MUE 之间有相关连接, HeNB 可以通过 MUE 反馈的干扰信息调整自身数值, 利用波束成形的强力脉冲与 HeNB 的用户连接, 避免信号的散射对 MUE 用户产生干扰。

(2) 正交空时编码技术

正交空时编码是比较成熟的 MIMO 分集技术之一。其特点是在空间域和时间域两维上对信号进行编码, 将编码技术和阵列技术有机结合起来实现空分多址, 从而有效地提高了系统的抗衰落性能, 同时利用分集技术来提高数据传输速率和质量, 在不牺牲带宽的情况下获得更高的编码增益。正交空时编码所带来的网络性能收益主要集中于符号重传对多径衰落的改善, 但是由于干扰同样也被重传, 从而增加了网络中的同频干扰问题, 使得正交空时编码技术在 femtocell 网络中的干扰抑制效果不够理想。

(3) 天线选择技术

天线选择技术比上述技术都要简单, 它是指空间的路径损耗和阵列结构的多样性等问题使得各个 MIMO 的天线收到的信号强度是不同的, 从中选择出信号强度最大同时路径损耗最小的天线来进行数据传输, 往往能更有效率, 同时降低了干扰, 这种方法费用低廉而且算法复杂度较低。参考文献[15]中介绍了接收天线选择技术的计算方式, 通过对接收端多个天线的权值进行调整, 可以有效提高系统整体的信噪比。

3.2.2 MU-MIMO 干扰抑制技术

在 MU-MIMO 系统中使用较多的干扰抑制方案是预编码技术, 主要包括以下 3 种。

(1) 脏纸预编码

脏纸预编码是一种能在发射端预先消除多用户干扰的非线性处理技术,主要思想如同于一张充满各个用户信息的脏纸上再写上信息,如何让各个用户能够看清所需要的信息。基站发射信号前,已通过网络信息的收集和分析,知道用户间存在的干扰,在发射端输出信号前将干扰的影响通过预编码技术处理,使得接收端收到无干扰的信号,从而提高了信道容量。多用户的预编码十分复杂,实际操作过程中需要全网络范围内所有收发端的瞬时信道条件信息,设计过程难度较大。

(2) 迫零预编码

迫零预编码是一种复杂度相比脏纸编码较低的线性的预编码。线性预编码是指通过线性变换将信息数据流映射为更适合当前信道传输的数据流,然后通过天线发送出去。通常迫零预编码矩阵要求 MIMO 信道矩阵是行满秩的,但实际信道中不一定满足条件。在参考文献[16]中,有一种新的迫零预编码可以通过对信道矩阵进行合适的分块,把迫零预编码矩阵的计算转化为对两个线性方程组求解,根据求解过程中的理论推导的方法,可以实现对不满足可逆或行满秩的信道矩阵实施迫零预编码。

(3) 块对角化预编码

块对角化预编码同样是常用的线性预编码方法之一。通过寻找一种可以和信道矩阵相乘而转化为块对角矩阵的预编码矩阵,达到使多用户信道等效成为独立并行的单用户 MIMO 信道的目的,使用户间的信号空间正交从而有效地消除多用户之间的干扰。从参考文献[17]了解到,还有多种原理相似的预编码方法,如基于干扰对齐的预编码以及基于信噪比最大化的预编码方法。基于干扰对齐的预编码方法的主要思想是通过预编码将多个发射机的干扰信号在目标用户接收机叠加时,处于同一个信号子空间,这样接收机可以通过简单的迫零处理将其干扰消除。与块对角化以及干扰对齐方法不同,基于信噪比最大化的预编码方法的目标是通过预编码矩阵的设计将信噪比最大化,从而在保证有效信号功率的同时,降低对其他用户的干扰。

3.3 基于 OFDM 的干扰抑制

OFDM(orthogonal frequency division multiplexing, 正交频分复用)技术常被用于多载波通信。从参考文献[18]得知 OFDM 的中心思想是将信道分解成多个正交子信道,把高速的数据流分解成并行的多个低速数据流,调制到每个正交子信道上进行传输。这样可以通过运用相关技术的接收端

来分开正交信号,以达到减少信道间干扰的目的。该技术凭借着频谱利用率高、适合高速数据传输以及减少码间干扰等优点在无线通信中得到了广泛的运用,成为当今通信中干扰控制技术的关键技术之一。

传统的干扰抑制方案都是建立在 OFDM 系统对 femtocell 和 macrocell 的频率分配机制上做调整来进行干扰抑制,共有 3 种分配方案:同频频率分配干扰抑制(co-channel frequency allocation, CFA)、异频频率分配干扰抑制(dedicated frequency allocation, DFA)以及部分频率复用干扰抑制(partial frequency allocation, PFA)3 种。CFA 是指分配给 femtocell 和 macrocell 共享频带,该方案频带利用率最高但是跨层干扰却很严重。DFA 是指分配给 femtocell 和 macrocell 两段不同的专属频带,该方案没有跨层干扰但是频率利用率却很低。PFA 则是根据上述两种方案形成的折中的方案,其频带分配是指 macrocell 使用全部的频带而 femtocell 复用其中一段频带,该方案拥有比 CFA 较低的跨层干扰和比 DFA 较高的频带利用率。但是当 macrocell 覆盖范围内的 femtocell 较多时,会产生严重的同层干扰。

参考文献[19]根据频率分配方式的优缺点,总结出了混合频率分配(hybrid frequency allocation, HFA)方案,即将频带划分成 macrocell 专属频带、macrocell-femtocell 共享频带以及 femtocell 专属频带 3 段。在该分配方案下提出了伪随机子信道选择干扰抑制,该方法可以有效解决 femtocell 与 macrocell 以及 femtocell 之间的干扰问题。

在 HFA 模式下,当 femtocell 与 macrocell 距离较近时,都会有较大的跨层干扰问题,此时 femtocell 或 macrocell 只能采用其专属频带来避免干扰。而在共享的频带上,当 macrocell 用户处于 femtocell 覆盖范围内时,由于 macrocell 用户不属于 femtocell 用户的封闭用户组,所以不能切换到 femtocell,从而有着严重的跨层干扰问题。传统解决办法一般是让 femtocell 在设置的时候就固定放弃或选择一些共享频段上的子信道,但这样会明显降低信道利用率并且干扰抑制效果并不明显。针对此问题 femtocell 可以采用伪随机序列在不同的子帧随机选择子信道来传输数据。如图 4 所示,总共有多条子信道, femtocell 在所有帧上固定占用一条信道 5,而 macrocell 用户设备一旦采用到该信道,就一定会受到跨层干扰(如 2、4、7、10 帧上),但如果 femtocell 根据一定算法随机分配每一帧所占用的信道则会把此类跨层干扰问题分散到每一条信道上,削弱了跨层干扰对整体信道的影响又没有损失信道利用率。

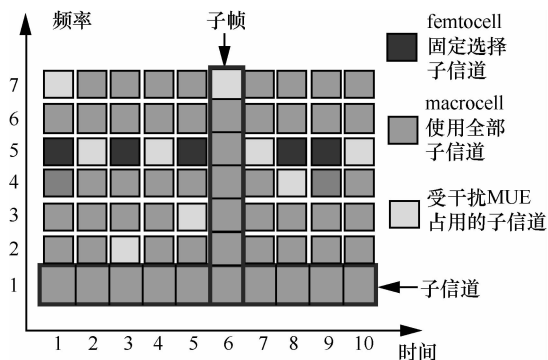


图4 femtocell的信道选择

当一定区域内 femtocell 大量布置时,相邻基站间的距离不断缩小则会产生同层干扰问题,降低系统性能。femtocell 可以通过验证周围其他 femtocell 的参考信号接收功率来确立距离较近的 femtocell,并把其 ID 存入邻区列表中,在使用伪随机子信道选择方案计算选取的子信道时,排除掉邻区列表中 femtocell 已选择的子信道方案来避免同层干扰问题,而不在邻区列表内的 femtocell 则可以复用相同的子信道序列。使用伪随机子信道选择方案在避免同层干扰的同时又降低了跨层间干扰,有效地提高了 femtocell 系统整体的效率。

3.4 基于 OFDMA 的干扰抑制

OFDMA (orthogonal frequency division multiple access, 正交频分多址)是 OFDM 的技术演进,是指在 OFDM 对信道进行子载波化后,再在部分子载波上加载传输数据的传输技术。OFDM 系统是为克服多径效应而产生的,但是 OFDM 仅可在上行方向上进行子信道化,而 OFDMA 可在上下行都支持子信道化,能够在解决干扰问题的同时使得 LTE 上下行最大一致性,简化终端设计。

参考文献[20]介绍了一种基于 OFDMA 系统的无线电感知的技术,可以用于处理 femtocell 的同层干扰问题。在基于 OFDMA 系统的 femtocell 的整个网络中,路径损耗信息可以在多个相邻 HeNB 中共享。每一个 HeNB 通过 LTE CC(component carrier,组件媒介),基于载波聚合技术的子信道连接网络,相邻的 HeNB 之间通过 HeNB 网关或者无线技术,分享该连接方式的路径损耗信息。在该网络结构中,每当一个 HeNB 被启用时,它将会识别周围的邻居并且从相邻的 HeNB 获得网络中每个 CC 的使用信息。每一个 HeNB 根据获得的路径损耗信息聪明地选择 CC,从而降低干扰。每一个 HeNB 总是优先选择没有被邻居使用或者被更远的邻居使用的 CC,这样每一个 HeNB 选择的 CC

使用者中总是有着最少数量的相邻 HeNB,避免了同层干扰问题。如图 5 所示,HeNB1 选择 CC1 和 CC2,而 HeNB2 则通过与 HeNB1 的交流,为了降低同层干扰而选择了与之不同的 CC3 与 CC4,同理 HeNB3 与 HeNB1 相邻又与 HeNB2 较远所以选择了 CC3 与 CC4。

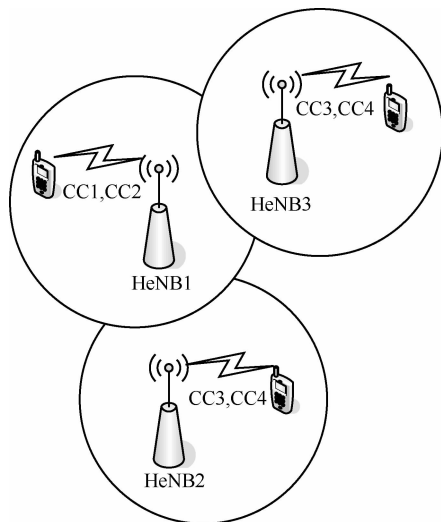


图5 CC 选择示意

4 干扰抑制技术的比较和分析

表 1 描述了各种 femtocell 干扰抑制技术的不同特点。从表 1 可以看出,基于 SU-MIMO 的干扰抑制技术主要用于处理城市中处处存在的信道多径衰落的干扰现象,动态波束成形技术由于需要对每根天线设置 MRT,实际操作复杂运算量较大,实用率较低;而正交时空编码技术是基于网络信号重传,同时也重传了干扰,干扰抑制效果收益不大。相比于上述两者,天线选择技术只需要基于一定算法来选择最优天线的使用,实际操作起来则相对简单、成本低廉、效率高、实用性很高。基于 MU-MIMO 的干扰抑制技术主要用于处理多用户之间的同层干扰问题,脏纸编码需要计算全网络大量的瞬时信息,复杂度很高且难度很大,所以并不实用。而迫零预编码以及块对角化预编码的计算量较低,算法相对简单,实用率较高。在基于 OFDM 的技术中,干扰抑制的方法主要基于不同的频率分配方式,HFA 算法结合了传统的频率分配方式可用于上下链路的用户与用户以及用户与基站之间的干扰问题,算法实用性较高。在基于 OFDMA 系统的技术中,无线电感知技术的干扰处理是针对 CC 信道的选择,新的 femtocell 的启用需要得到相邻节点的信息支持,数据量较大但自适应性较

表1 femtocell 干扰抑制技术比较

干扰抑制技术	特点				
	适用系统	传输模式	处理的干扰类型	复杂度	实用性
动态波束成形技术	SU-MIMO	上行和下行	同层干扰/跨层干扰	中	中
正交空时编码技术	SU-MIMO	上行和下行	同层干扰	高	中
天线选择技术	SU-MIMO	上行和下行	同层干扰	低	高
脏纸预编码	MU-MIMO	下行	同层干扰	高	低
迫零预编码	MU-MIMO	下行	同层干扰	中	高
块对角化预编码	MU-MIMO	下行	同层干扰	中	高
HFA 算法	OFDM	上行和下行	跨层干扰/同层干扰	低	高
无线电感知技术	OFDMA	下行	同层干扰	中	高

强,可以有效地降低同层干扰。

5 结束语

femtocell 是一种有着广阔前景的新兴室内覆盖技术,在未来的室内通信产业中有着重要的地位,但由于 femtocell 本身的部署特性是由用户自主购买和安装,所以 femtocell 位置和数量不确定,这就造成了 femtocell 各自网络覆盖面交叉产生同层干扰,与 macrocell 网络之间产生跨层干扰,严重影响着整体通信系统的性能。为此本文介绍了基于 MIMO、OFDM、OFDMA 模式下 femtocell 的干扰抑制技术,并且对每种干扰抑制技术进行了比较和分析,希望通过总结,可以有效地解决 femtocell 网络中出现的干扰问题,从而推动 femtocell 的发展。

参考文献

- 叶璇,张欣,曹亘等. 家庭基站技术挑战和研究现状. 电信工程技术与标准化,2011(4)
- Wu J Y, Liu J M, Chen J M, *et al.* Cooperative interference mitigation for indoor dense femtocell networks. Proceedings of the 7th International ICST Conference on Communications and Networking in China, Kunming, China, 2012
- Zahir T, Arshad K, Nakata A, *et al.* Interference management in femtocells. IEEE communications Surveys, Tutorials, 2013, 15(1): 293~311
- Lopez-Perez D, Guvenc I, De La Roche G, *et al.* Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks. IEEE Wireless Communications, 2011, 18(3)
- Zyoud A, Habaebi M H, Chebil J, *et al.* Femtocell interference mitigation. Proceedings of IEEE Control and System Graduate Research Colloquium, Shah Alam, Selangor, Malaysia, 2012
- 闵仕君,彭木根,王文博. LTE 家庭基站研究. 数据通信,2011(2)
- 周涛. LTE 家庭基站标准演进分析. 2012 全国无线及移动通信学术大会论文集(上),呼和浩特,中国,2012
- 韩潇. 家庭基站干扰抑制技术的研究. 北京邮电大学硕士学位论文,2011
- Sun Y Z, Jover R P, Wang X D. Uplink interference mitigation for OFDMA femtocell networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2012, 11(2):614~625
- 叶璇,张欣,曹亘等. 干扰控制技术在 LTE 家庭基站中的应用. 现代电信科技,2010(5)
- Halder K L, Li H L, Agrawal D P. A cluster-aware soft frequency reuse scheme for inter-cell interference mitigation in LTE based femtocell networks. Proceedings of 2013 IEEE 14th International Symposium and Workshops on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), Madrid, Spain, 2013
- Yang K. Interference management in LTE wireless networks. IEEE Wireless Communications, 2012,19(3):8~9
- 张亮亮. femtocell 网络中干扰抑制技术研究.重庆邮电大学硕士学位论文,2011
- Elsherif A R, Ahmedin A, Ding Z, *et al.* Adaptive precoding for femtocell interference mitigation. Proceedings of IEEE International Conference on Communications, Ottawa, ON, Canada, 2012
- Ngoc Dung Dao, Sun Y, Chin W H. Receive antenna selection techniques for femtocell uplink interference mitigation. Proceedings of the 21st International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Workshops, Istanbul, Turkey, 2010:180~184
- 张艳语,朱义君,张水莲等. MIMO 系统中一种新的迫零预编码方案. 信息工程大学学报,2012,32(1)
- 任品毅,杜清河,孙黎等. 分层异构无线网络中基于预编码的干扰抑制技术. 电信科学,2013,29(6)
- 韩晓艳. OFDM 系统干扰抑制技术研究. 哈尔滨工程大学硕士学位论文,2012
- 王伟,何凯,黄伊. 双层无线异构网络下行干扰抑制方法研究. 信息技术,2012(8)
- Saib N, Hossain E, Long B L, *et al.* Interference management in OFDMA femtocell networks: issues and approaches. IEEE Wireless Communications, 2012, 19(3):86~95

(下转第 150 页)



前一条消息到达,导致用户状态出错),必须采取串行处理方式;无状态消息则可采用加大 I/O 通道吞吐率方式提升性能。

6.3 合并高内聚场景降低消息数量

在时间窗口许可的范围内,合并相邻无状态场景的两级数据同步交互,减少总消息同步数量。如新装对客户和用户表的操作合并在一个 CCR 中提交,批量停开机只更新用户状态数据,可在一个 CCR 中提交多个用户的状态变化;因目前性能压力主要集中在全国中心 SR 和 HSS 平台,解析报文报头的处理能力消耗远高于后续识别入库,故应适度增加消息内容负荷,降低消息交互频度。

7 结束语

随着中国电信的 IT 架构由分散到集约、由封闭到开放逐渐转变,各类数据应用将成为企业信息化的优先发展方向,全网数据同步与集中是实现上述目标的基础要素。计费域数据体量巨大、质量优异,是企业信息资产中非常重要的组成部分,数据同步只是拉开中国电信集约运营体制转变的序幕,如何快速、高效、准确地集团在集团层面形成统一客户视图无疑是重中之重。总体来看,数据同步不仅在事中、事后采用技术手段自动识别传输汇聚数据,更需要事前谋划、事中监管、奖罚分明的配套管理手段,管控与技术是相辅相成的互动关系;微观来看,质量要求与运维实际也要相适应,不能急功近利、心浮气躁地设定标准,提升数据质量不是一朝一夕的事情,要靠长期的职业素养、自律规范并辅以

必要的技术手段。后续,将加快数据集中的范围和深度,为实现“One Company, One IT”的目标持续努力。

参考文献

- 1 董旭,何明强,陈畅. BSS 数据集中的相关重要环节分析. 邮电设计技术,2012(10)
- 2 刘静涛,吴伊萌,张明安. 基于 Oracle 物化视图日志的数据同步技术研究. 软件,2012(1)
- 3 龚建华. 基于快照的 Oracle 数据同步研究. 办公自动化,2011(4)
- 4 夏盛明,尹宝林. 一种可靠的消息传输机制. 计算机技术与发展,2009(10)
- 5 卜小明. Petri 机制控制理论在计费系统应用级容灾中的应用. 电信科学,2011,27(7)

[作者简介]



刘嘉,男,中国电信股份有限公司企业信息化事业部高级业务经理,主要研究方向为企业信息化规划编制、系统架构设计、大数据研究、数据专题分析。

夏路京,男,中国电信股份有限公司北京研究院工程师,主要研究方向为全网计费运维、关系型数据库设计、集中存储管理。

(收稿日期:2013-11-15)

(上接第 137 页)

[作者简介]



鲁蔚锋,男,博士,南京邮电大学副教授,主要研究方向为异构 HetNet 网络的干扰管理技术。



何利文,男,博士,南京邮电大学教授,主要研究方向为移动互联网、云计算与信息安全。



祁彦川,男,南京邮电大学硕士生,主要研究方向为 femtocell 网络的干扰抑制。



陈思光,男,博士,南京邮电大学副教授,主要研究方向为无线通信网络安全。

(收稿日期:2014-04-04)