



分层异构无线网络的协议架构和关键技术^{*}

刘鸿雁, 胡春静, 李 远

(北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室 北京 100876)

摘 要: 分层异构无线网络技术因其可以有效提高网络频谱效率、满足不同热点覆盖需求、大幅提升系统容量等优点, 而成为当今 LTE-Advanced 系统中的关键技术之一。总结了分层异构无线网络的背景、定义以及架构, 并重点讨论了由于传统网络拓扑结构的改变而引发的干扰问题, 详述了 3GPP 标准中的增强干扰协调方案, 最后分析了分层异构无线网络中的其他关键技术, 如网络自组织、回程链路设计、小区选择和切换、节能、认知无线电技术等。这些关键技术对于分层异构无线网络商用化部署具有指导意义。

关键词: 分层异构无线网络; 干扰协调; 网络自组织; 回程链路; 切换; 认知无线电

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.06.003

Key Technologies and Protocol Architectures in Heterogeneous Network

Liu Hongyan, Hu Chunjing, Li Yuan

(Key Laboratory of Universal Wireless Communication, Ministry of Education,
Beijing University of Posts & Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Heterogeneous network (HetNet) is recently becoming one of the key technologies in LTE-Advanced network, because it can significantly improve spectrum efficiency and system capacity, while meeting different requirements for coverage in hotspots. The research background, term definitions and system architecture of HetNet were detailed. Furthermore, the interference problem caused by the variation in network topology, and the schemes for enhanced inter cell interference coordination (eICIC) in the 3rd generation partnership project (3GPP) standardization were focused on. Lastly, other key technologies in HetNet were also analyzed, such as self-organized network (SON), backhaul link design, mobility management, energy saving and cognitive radio, etc. Resolutions of those aforementioned key technologies have profound guiding significance for the commercial deployment of HetNet.

Key words: HetNet, interference coordination, SON, backhaul, handover, cognitive radio

1 引言

我国工业和信息化部(以下简称工信部)发布的《2013 年 3 月通信业运行状况》报告数据显示, 截至 2013 年 3 月底, 中国移动手机用户数量达到 11.46 亿; 而世界银行的一项研究显示, 全球已有 3/4 的人口使用移动设备, 全球

移动用户数已从 2000 年的不到 10 亿上升至目前的超过 60 亿; 另一项研究报告还指出, 蜂窝网络中大约 2/3 的电话业务和超过 90% 的数据业务发生在室内^[1], 如此庞大的用户群和不均匀的业务量对无线通信网络的数据速率和覆盖质量提出了更高的要求, 且随着各种手机服务的应用, 用户需要更高的服务质量。为满足飞速增加的数据速

^{*} “新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项基金资助项目 (No.2012ZX03001037-004, No.2012ZX03001028-04, No.2012ZX03001031-004)



率需求,各地运营商正在对 3GPP LTE R8 进行紧张的场外测试。虽然 LTE 系统比其前身 HSPA(high speed packet access, 高速分组接入)系统具有显著的优势,但仍难以满足如此大的业务需求。因此,3GPP 正在研究和制定 LTE-Advanced 系统的后续标准。

为提升整体的网络性能,满足如此巨大的数据量需求,LTE-Advanced 提出了一系列先进技术,如载波聚合(CA)技术可以同时使用不同频段的载波,有效提高终端用户的可用带宽,多天线(multiple input multiple output, MIMO)技术,最多可以使用 8x8 天线;协同多点传输(CoMP)技术可以联合多个小区服务用户,改善小区边缘用户的服务质量。但是,由于每条链路性能已接近理论极限,这些技术无法再显著提高整体的网络性能,尤其是在低信噪比情况下。因此,LTE-Advanced 标准化组织提出了分层异构无线网络(heterogeneous network, HetNet)。分层异构无线网络通过采用宏蜂窝(marco cell)、远端无线头(RRH)及低功率节点(如微微小区(pico cell)、家庭基站(femto cell)、中继(relay)等)进行分层组网,缩短了网络和终端用户的距离,提高了无线链路的质量和频谱效率,从而大幅提高了数据速率。因此,分层异构无线网络技术将成为 LTE-Advanced 系统的关键技术之一。

2 系统架构和协议组成

分层异构无线网络是指由不同接入技术、不同容量和约束

条件、不同功能的一些基础节点组成的网络^[2],这相当于在传统的宏蜂窝基站的覆盖范围内,引入了非蜂窝的通信节点,以加强特定区域的覆盖,形成多层网络结构,如图 1 所示。

在 LTE-Advanced 系统中,分层异构无线网络的节点包含宏蜂窝、远端无线头、微微小区、家庭基站、中继等。这些节点中大部分由通信运营商部署,家庭基站由用户自行购买安装。分层异构无线网络的部署可以减轻宏蜂窝负载、提高特定区域的覆盖质量、改善边缘用户的性能。此外,采用这样的部署方式还可以有效地降低网络开销、减少能量消耗、降低运营商的网络部署成本。不同节点的特性见表 1。

宏蜂窝层由传统的宏基站组成,提供开放且广域的覆盖方式,覆盖范围可达几千米,在 LTE 系统中,宏蜂窝也被称为增强型节点(eNode B),宏蜂窝的发送功率为 46 dB,为上千个用户和回程链路提供服务。

微微蜂窝是由运营商安装的低功率节点,与宏蜂窝的回程链路和接入特性相同。微微蜂窝一般安装在热点地区,用于提高宏蜂窝覆盖不足地点的室内、室外容量,服务几十个用户,覆盖半径在 300 m 以下,典型的发射功率为 23~30 dBm。

飞小区也称为家庭基站,是由用户安装的低功率节点,回程链路使用户的宽带(DSL、电缆或光纤)连接,服务位于一个家庭或者企业内的活动用户。家庭基站的覆盖范围一般为 50 m 以下,发射功率低于 23 dBm,采用开放式接入或者闭合式接入策略。

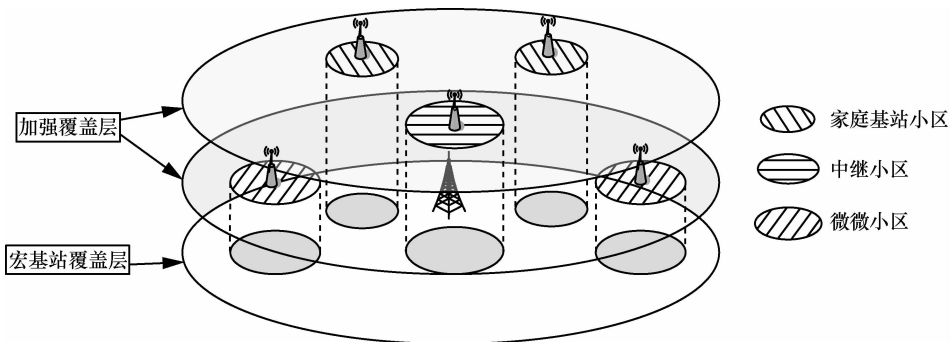


图 1 蜂窝异构网络分层结构示意图

表 1 分层异构无线网络节点特性

	宏蜂窝	微微蜂窝	家庭基站	中继	远端无线头
发射功率	46 dBm	23~30 dBm	<23 dBm	30 dBm	46 dBm
覆盖范围	几千米	<300 m	<50 m	300 m	几千米
回程链路	S1	X2	互联网	无线射频	光纤
用途	为较大范围内用户提供开放式接入服务	提高热点地区的室内/室外信号服务质量	服务家庭或企业规定的某些激活用户	扩大覆盖范围以及改善盲区内的信号接收质量	建立分布式基站,增强运营商网络部署的灵活性

中继站一般由运营商安装,用于传递宏基站和终端用户之间的数据,在覆盖差的地方或者覆盖死区提高信号强度,其可以工作在透明模式和非透明模式。

远端无线节点是小型、高功率、低负载的传输节点,安装在传统的宏基站上,并通过光纤与宏基站相连,相当于建立了一个分布式基站,传统的宏基站负责信令传输和控制。

除此之外,分层异构网络还可能包含 WLAN 节点、Ad Hoc 节点、用户直连通信节点、分布式天线系统(DAS)等,在此不再详述。

2.1 系统架构

基于不同的目标,分层异构无线网络的网络架构现在有很多提议。基于网络管理功能的位置主要分为集中式、分布式、半集中式3种,本文引用了一种集中式网络架构,如图2所示,称为使用宽带无线接入和光纤连接大量分布式天线的网络架构(BWA-FMDA)^[3]。

该网络架构主要包括3部分:简单接入节点、中央处理实体和光纤接入中介。

(1) 简单接入节点

由于接入节点的处理功能转移到了中央处理实体上,所以接入节点仅是一个分布式天线单元的集合,通过可靠的光纤连接中介连接到中央处理实体,分布式天线系统可以覆盖几十米到上千米的区域,DAS的位置可以任意部署。

(2) 中央处理实体

综合考虑邻小区性能,联合配置家庭基站和微微小区天线的资源以及负责管理家庭基站间或家庭基站与宏基站间的干扰。

(3) 光纤接入中介

BWA-FMDA 骨干网由廉价且可靠性高的光纤连接中央处理实体和各个天线单元组成,其包括两个部分:光电

转换设备和光纤链路。光电转换设备负责信号在不同媒介中的转换,光纤链路使用光学协议传递信号。

集中式网络架构在资源分配和干扰管理方面具有显著优势,且引入干扰对齐等机制较为方便,但是集中式网络架构的信令开销较大,且处理时延也较大,由于低功率节点可能数目巨大,中央处理实体要处理大量的信息,也容易造成单点故障,导致全网瘫痪;分布式网络架构可以将部分管理工作下放到各个低功率节点内,这样可以使大量的工作在本小区内完成,信令开销小,处理时延也小,但是分布式架构只基于本小区的信息,难以实现全网最优。

2.2 协议干扰场景及成因

低功率节点的引入改变了传统宏蜂窝网络的拓扑结构,新的网络拓扑结构由宏蜂窝层和低功率节点层组成,分层的无线异构网络会带来一些问题和设计上的挑战,当几个发送机使用同样的频带在相同的区域中发送信号时,接收系统无法在相同的频带上识别正在接收哪个发送机,这是通信系统中干扰问题的最基本描述,也是分层异构无线网络中面临的主要问题之一。

异构网络中的干扰场景如图3所示。

异构网络中的干扰成因不同于传统的蜂窝网络,主要与新加入的节点类型相关,干扰成因主要有如下4点^[2]。

(1) 无规划部署

低功率节点如家庭基站是由用户购买安装的,而且安装后也可能处在任意的开或关状态,传统的网络规划不再适用,因此需要新型的分布式管理方案,节点利用本地信息自行完成配置。

(2) 闭合式接入

某些小区可以运行闭合式接入模式,即不是所有进入覆盖范围内的用户都可以接入该小区,只有该小区白名单

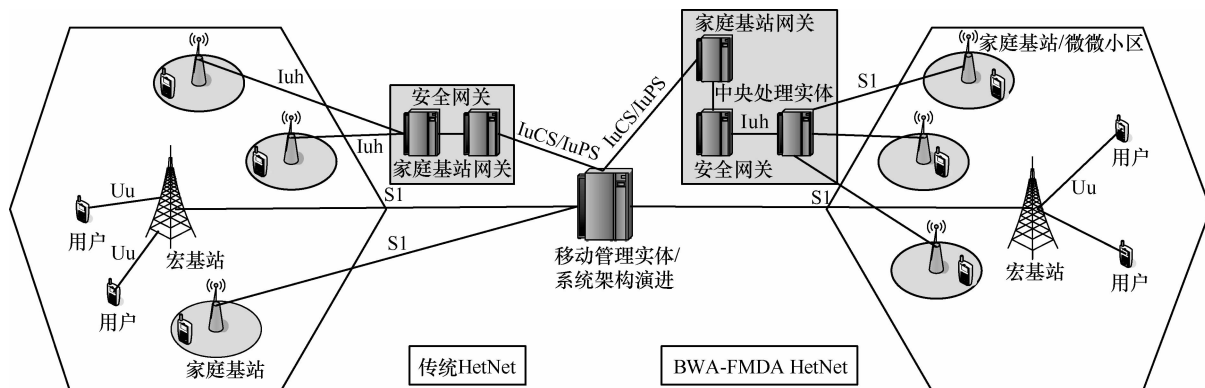


图2 BWA-FMDA 分层异构无线网络架构

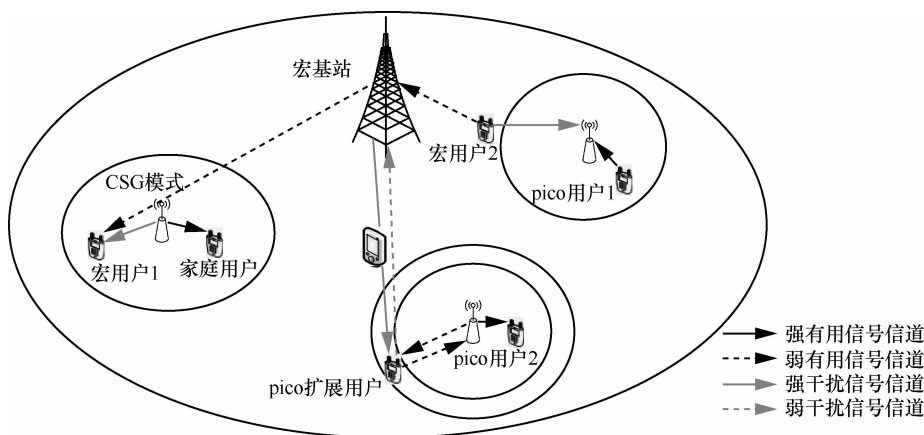


图3 分层异构无线网络干扰新场景

中的用户可以接入,如家庭基站可能会工作在封闭式接入模式,只服务特定用户,故在这种情况下,就会出现当宏基站用户进入家庭基站用户覆盖范围内却无法接入家庭基站的情况,可能会造成宏用户的干扰过大。

(3) 节点功率不同

由表1可以看出,不同节点的功率是不同的,这与传统的蜂窝结构不同,若是采用传统的按照下行功率大小接入的准则,则大部分用户将接入功率较大的宏基站而非低功率节点,分层异构无线网络的优势就无法体现,故在分层异构无线网络中要采取真的小区选择准则,如小区扩展准则(CRE),在低功率节点的下行功率中加一个偏移量,再与宏基站下行功率进行比较,从而选择功率较大的小区,这样就可以从宏蜂窝卸载更多的用户到低功率节点,从而提高分层异构无线网络的性能。

(4) 小区扩展用户

为解决节点功率不同的问题,上文提出了小区的扩展技术。扩展范围内的用户接入的下行导频信号质量较弱,如何保证这部分用户的服务质量也是分层异构无线网络需要解决的问题之一。

3 干扰协调技术标准化进展

3GPP R8/R9 标准中的小区干扰协调方案不能有效地解决分层异构无线网络场景中的干扰问题,故在 3GPP R10 中提出了增强型小区间干扰协调(eICIC)方案,其可以分为时域方案、频域方案、功率控制方案三大类。

时域方案可以对造成严重干扰的用户在时域资源上进行一些调整,主要包括子帧对齐和 OFDM 符号偏移两类。由于帧结构的后向兼容性,时域方案在 LTE TDD 和

LTE FDD 系统中均可适用。

子帧对齐方案的基本思想是当低功率节点和宏基站的子帧对齐时,两者的控制信道和共享信道就会重叠,当低功率节点采用封闭式接入策略,宏用户靠近低功率节点时,由于无法切换到低功率节点而将受到较大干扰,此时低功率节点可以将某个子帧变为几乎空白子帧(ABS),即在该子帧内只发送一些必要的信号,如参考信号等,不发送其他数据信号和控制信号,子帧几乎为空白的,如图4所示,在低功率节点采取 ABS 期间,低功率节点对宏用户的干扰会大大减小。当低功率节点的用户处在受宏基站严重干扰的情况下时,例如,低功率节点用户处在小区扩展范围内,宏基站也可设置 ABS,以减小对低功率节点用户的干扰。

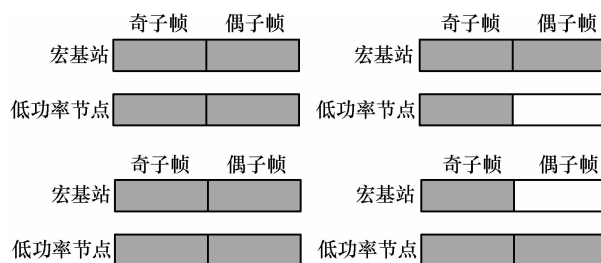


图4 分层异构无线网络子帧对齐干扰协调方案

由于分层异构无线网络中控制信道不支持链路自适应和重传,故控制信道的可靠性需要保证,参考文献[4]针对下行 HARQ 反馈信道提出了一种 ABS 方案,通过将传统的控制信道传输转移到另一个干扰较小的子帧中以躲避较大的干扰,参考文献[4]还提供了宏基站和微微小区间 X2 接口的控制流程,仿真表明,其所提方案在 PHICH 的误块率和时延性能上均有较大提升。

如图5所示的 OFDM 符号偏移方案,是指为避免宏基

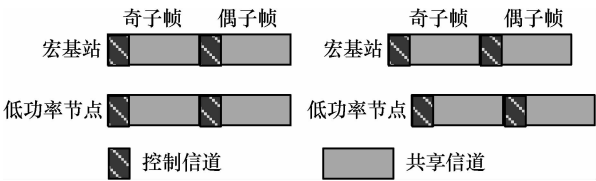


图 5 分层异构无线网络 OFDM 符号偏移干扰协调方案

站和低功率节点的控制信道重叠,可以将低功率节点子帧相对于宏基站子帧偏移一定的 OFDM 符号数。然而这种方案也将带来新的问题,低功率节点的共享信道也可能对宏基站的控制信道造成干扰。为解决这个问题,可以在 OFDM 符号偏移的情况下,再对低功率节点的共享信号采取静音(muting)模式或者低功率节点使用连续空白子帧。

如图 6 所示的频域干扰协调方案是对可能造成严重干扰的用户在频域资源上进行一些调整,宏基站和低功率节点使用正交频带,该方案也具有后向兼容性,适用于 LTE TDD 和 LTE FDD 系统。频域方案按照资源分配的方式可以分为静态频谱方案和动态频谱方案。静态频谱方案是指宏基站和低功率节点所占的频谱是固定分配的,不可变的;动态频谱方案是指节点可以灵活地根据实时的干扰情况占用频带。静态方案简单但是频谱利用率低,动态方案可以大大提升系统的频谱效率但较为复杂。

减小干扰除了可以从时域和频域资源进行一些调整外,也可以对功率资源进行一些调整,以闭合式接入的家庭基站和宏基站(MeNB)共存为例,当宏用户(MUE)靠近家庭基站(HeNB)时,由于闭合式接入策略无法切换到家庭基站,故此时宏用户受到的干扰较大,通过降低该家庭基站的功率,则可降低对此宏用户的干扰。功率控制方案可以分为上行功率控制方案 and 下行功率控制方案。下行功率控制方案是指通过调整低功率节点或者宏基站在某些

频带上的下行功率,以减小基站对其他用户的干扰;上行功率控制是指通过调整宏用户或者低功率节点的用户,以减小终端用户对其他用户的干扰。以家庭基站为例,介绍了当前主流的几种功率控制方案,见表 2^[5]。其中, $P_{\max}$ 表示节点可设最大功率, $P_{\min}$ 表示节点可设最小功率, $P_{\text{HUE_received}}$ 表示 HUE 接收到的干扰与噪声功率和, PL 表示 HeNB 到 HUE 的路损, P_{H} 表示 HUE 接收到的来自 HeNB 的发送功率, $P_{\text{SINR_HUE}}$ 表示 HUE 的接收 SINR。

分层异构无线网络中采用时域干扰协调方案(ABS)和不采用时域干扰协调方案的性能对比,见表 3。其中,无 eICIC 表示分层异构网络未采用任何的干扰协调方案,ABS(0.1)表示分层异构无线网络采用 ABS 占空比为 0.1 的干扰协调方案;ABS(0.5)表示分层异构无线网络采用 ABS 占空比为 0.5 的干扰协调方案;ABS(0.9)表示分层异构无线网络采用 ABS 占空比为 0.9 的干扰协调方案。边缘用户吞吐量统计的是吞吐量最低的 5% 的用户的平均吞吐量。由表 3 可以看出,采用时域干扰协调方案后,小区的平均吞吐量有所降低,这是因为将某些子帧更换为 ABS 后,时域资源减少了,当 ABS 占空比为 0.1 和 0.5 时边缘用户的吞吐量有所上升,这是因为边缘用户所受的干扰较大,采用时域协调方案后,边缘用户的干扰减小;但当 ABS 的占空比为 0.9 时,边缘用户的吞吐量也下降,这是由于此时大多数帧都已经被改换为 ABS,可用的时域资源太少。

表 3 分层异构无线网络时域干扰协调方案性能比较^[6]

	小区平均吞吐量(Mbit/s)	边缘用户吞吐量(5%)(Mbit/s)
无 eICIC	0.934	0.273
ABS(0.1)	0.932	0.900
ABS(0.5)	0.530	0.500
ABS(0.9)	0.106	0.100

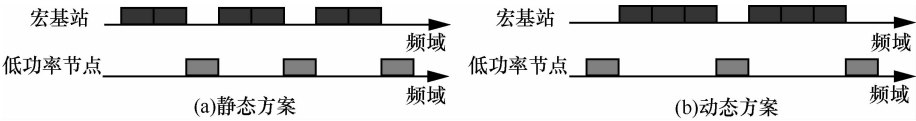


图 6 分层异构无线网络频域干扰协调方案

表 2 家庭基站功率设置方案

方案依据	公式
最强干扰源 MeNB 的干扰功率 P_M	$P_{\text{tx}} = \text{median}(P_{\max}, P_{\min}, \alpha P_M + \beta)$
下属用户 HUE 的目标信干噪比 x	$P_{\text{tx}} = \text{median}(P_{\max}, P_{\min}, P_{\text{HUE_received}} + x + PL)$
宏基站下属用户 MUE 的信干噪比 P_{SINR}	$P_{\text{tx}} = \text{median}(P_{\max}, P_{\min}, \alpha P_{\text{SINR}} + \beta)$
联合宏基站和家庭基站	$P_{\text{tx}} = \text{median}(P_{\max}, P_{\min}, \gamma P_M + (1 - \gamma) P_{\text{H}} + PL)$
联合宏基站和家庭基站	$P_{\text{tx}} = \text{median}(P_{\max}, P_{\min}, P_M - \gamma(P_{\text{SINR_HUE}} - x) + PL)$



分层异构无线网络中采用频域干扰协调方案(正交频谱复用)和不采用频域干扰协调方案的性能对比,见表4。其中,无eICIC表示分层异构网络未采用任何的干扰协调方案,频率复用表示宏基站和低功率节点采用了正交频谱复用,增益为采用频域干扰协调方案后比未采用干扰协调方案的增益。由表4可以看出,采用频域干扰协调方案后,每个扇区的吞吐量均有所下降,这是因为系统的频谱效率较低,正交频谱复用牺牲了一些频谱,但小区边缘用户的吞吐量性能有较大幅度的提升,这是因为采用了频域干扰协调方案后,边缘用户的干扰减小。

表4 分层异构无线网络频域干扰协调方案性能比较^[7]

	每扇区的吞吐量(Mbit/s)	边缘用户吞吐量(5%)(Mbit/s)
无eICIC	21	0.086
频分复用	19.1	0.149
增益	-9%	73%

分层异构无线网络中采用功率控制干扰协调的5种方案和不采用功率控制干扰协调方案的性能对比,见表5。其中,无功控表示分层异构网络家庭基站的功率设置为最大发射功率,不采用功率控制方案,①~⑤分别对应表2中5种不同的功率控制方案,HUE中断概率和MUE中断概率分别表示家庭基站用户和宏基站用户的中断概率。由表5可以看出,家庭基站采用功率控制方案后,MUE的中断概率均有所下降,但是HUE的中断概率有所上升,HUE的平均吞吐量有所下降(方案②除外),这是因为采用功率控制后,家庭基站的功率相比最大发射功率有所下降,家庭基站可用的功率资源减少。方案②由于以保证HUE的服务用户质量为调整目标,HUE的中断概率会有所下降,但HUE的服务用户的平均吞吐量仍较低。

表5 分层异构无线网络功率控制干扰协调方案性能比较^[5]

方案	HUE中断概率	MUE中断概率	HUE平均吞吐量(Mbit/s)
无功控	1.8%	15.8%	4.17
①	7.29%	7.20%	2.47
②	0.25%	4.83%	1.68
③	5.25%	4.72%	3.77
④	5.84%	5.63%	2.07
⑤	5.66%	5.79%	1.88

除3GPP R10标准中的增强干扰协调方案外,还可以通过天线模式选择和定位及波束成形^[6]等方法对交叉层干扰进行消除或通过空间隔离等手段进行干扰抑制,也可采取加扰、交织等手段对干扰进行随机化处理。如参考文献[8]

中提供了一种通过调整基站接收波束成形自适应协调微小区用户上行共享信道干扰的方法,可以有效地降低宏基站用户对微微小区用户的干扰。由于干扰随机化并未真正减少干扰,而干扰消除和抑制主要用于消除特定干扰源,故当前研究的重点仍为小区间干扰协调技术。

4 其他关键技术

分层异构无线网络由于改变了传统的蜂窝拓扑结构,带来了一系列问题与设计挑战,除交叉层干扰问题外,由于新引入的某些低功率节点的无规划部署、网络自组织问题也是当前分层异构无线网络面临的挑战之一。除此之外,低功率节点的回程链路设计问题、低功率节点间与宏基站间的切换问题以及繁多的低功率节点部署下的能效问题、小区选择及规划问题等也是分层异构无线网络当前研究的热点。LTE-Advanced系统的关键技术,如CoMP技术、CA技术如何适用于分层异构无线网络中,也有许多学者在进行研究。

网络自组织,即低功率节点如家庭基站由用户购买安装,所以运营商并不知道家庭基站的数量和位置,而且它们随时可能被关闭或者启动,因此传统的网络设计方法无法适用配置和优化家庭基站的场景,而且安装家庭基站的用户并没有专业技能,家庭基站必须能够自动接入现有的运营商网络并自动配置和调整自己的参数,所以家庭基站等低功率节点就要求具备一定程度的自组织功能,可以在最小化人工参与下,接入现有网络,能够了解当时的无线环境并相应调整自己的参数。

网络自组织主要包括自配置、自优化、自愈3部分,如图7所示。自配置是指当家庭基站开启时,需要能够自动下载相应软件,自主学习周围无线环境,根据一定的准则自动配置自己的功率、频率、小区标识等配置信息;自优化是指家庭基站在运行过程中,能够周期性地根据无线环境的变化调整自己的配置信息,使得网络的覆盖率和容量可以

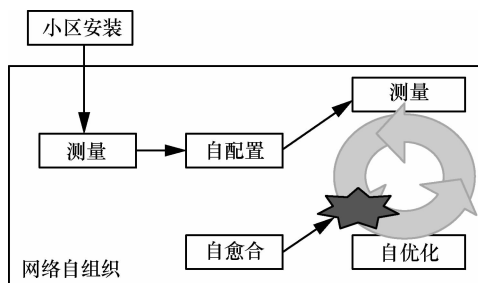


图7 分层异构无线网络中的网络自组织技术

得到优化,既能填充盲区还能降低干扰;自治愈技术用于解决网络故障带来的覆盖率和容量损失问题,例如可以通过在基站周围调整算法和参数解决基站损坏问题。3GPP、NGMN、Socrates 项目和 Small Cell 论坛均将自组织技术作为未来无线网络应用、维护和持久性的需求。上述干扰协调方案中,家庭基站功率控制的方案可以通过网络自组织(自配置、自优化)实现,除此之外,网络自组织中的关键技术还包括分层异构无线网络场景下的自动邻区列表自配置及自优化、物理小区标识自配置及移动负载均衡等^[9]。

分层异构无线网络中的回程链路问题见表 6。不同节点间采用的回程链路不同,如微微小区采用 X2 接口,家庭基站通过用户的互联网接入核心网,中继的回程链路采用无线传播,远端无线头的回程链路采用光纤等,不同的回程链路限制条件不同,花费和服务质量也不同,中继场景下还需考虑均采用无线传播的回程链路和接入链路之间的限制,所以如何设计各个节点的回程链路以达到较高的服务质量和较少的花费也是当前研究的热点之一。如参考文献[10]基于宏基站用户和中继用户公平性的原则,提供了一种宏基站和中继共存场景下中继回程链路和接入链路带宽分配的方案,参考文献[11]针对中继和宏基站时分复用的模型提出了一种带宽分配方案,该方案可以达到最优的数据速率。这两个方案对于中继和宏蜂窝共存场景下的带宽分配都有一定的参考意义。

表 6 分层异构无线网络中的回程链路问题

	回程链路	问题
宏蜂窝	S1	需要基础设施,费用昂贵
微微蜂窝	X2	需要基础设施,费用昂贵
家庭基站	互联网 IP	服务质量难以保证
中继	无线	综合考虑回程链路和接入链路
远端无线头	光纤	费用昂贵

分层异构无线网络中每个宏小区内均部署了大量的低功率小区,当某个用户接入网络时如何选择小区就成了一个关键问题,小区移动时该何时切换以及当有多个覆盖时切换到哪个小区也是分层异构无线网络设计所必须要考虑的问题。宏基站和低功率节点的功率不同,若按照传统的宏蜂窝拓扑结构的切换准则,很多用户将接入功率较大的宏小区内,则分层异构无线网络的优势将体现不出,所以 CRE 技术是当前普遍认可的接入准则,但是如何合理地设置偏移量也是一个设计挑战。所以如图 8 所示的小区选择和切换问题也是当前无线分层网络研究的热点之一。如参考文献[12]中基于负载均衡和网络自组织技术提出了一种能有效提升网络服务质量的切换方案,该方案可以有效地降低系统的乒乓率。

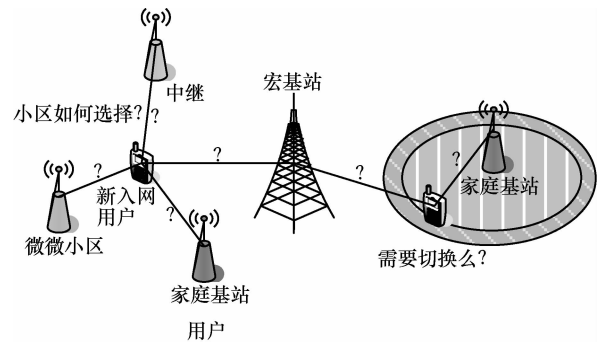


图 8 分层异构无线网络中小区选择和切换问题

由于部署了大量低功率节点,网络的耗电量是非常大的,加上某些节点的部署并不一定总合理以及无线信号的辐射引起的健康担忧等,所以关于网络能效的问题也引发了很多讨论。某些时刻,由于用户数目减少等原因,可以降低甚至关闭某些低功率节点,或者将少量用户切换到周围节点上,从而关闭某节点,可以在不影响网络性能的基础上节省一些能源,这也符合绿色通信的要求。参考文献[13]分析了如图 9 所示的一种分布式天线系统在共享频谱和正

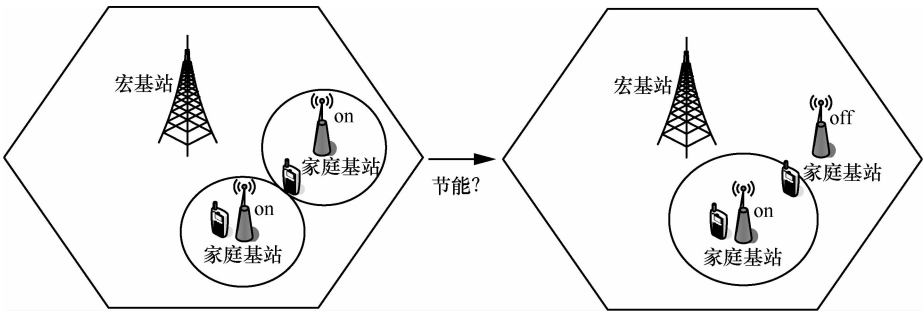


图 9 分层异构无线网络中的能效问题



交频谱场景下的能效问题, 推导出了频谱和能效关系的闭合式表达式, 并仿真了传输功率和频谱效率的关系。

认知无线电又称智能无线电, 其核心思想是无线电具有学习能力, 能与周围环境交互信息, 感知和利用可用频谱。认知无线电是一种新型无线电, 能够探测授权用户的出现, 自适应占用即时可用的本地资源。由于认知无线电的种种优势, 如图 10 所示, 将认知无线电应用在分层异构无线网络中可有效提高网络的频谱效率, 低功率节点伺机占用可用频段, 无须授权, 灵活高效^[9]。

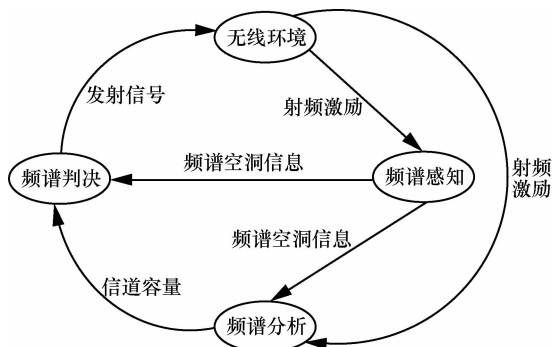


图 10 分层异构无线网络中认知无线电技术

LTE-Advanced 中的关键技术 (如 CA 技术、CoMP 技术) 如何在分层异构无线网络中体现出更好的性能, 也是当前的研究热点之一。

5 结束语

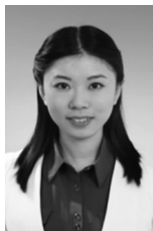
本文总结了分层异构无线网络技术的出现背景、定义以及架构, 重点讨论了由于改变传统的网络拓扑结构而引发的干扰问题, 详述了 3GPP 标准中的增强干扰协调方案, 并简述了其他干扰抑制或消除方案, 最后总结了分层异构无线网络的其他研究热点, 如网络自组织、回程链路设计、小区选择和切换、节能、认知无线电技术以及 LTE-Advanced 系统的其他关键技术 (如 CoMP 技术、CA 技术) 在分层异构无线网络中的适用问题。分层异构无线网络可以有效地提高网络频谱效率、提升网络容量。上述问题的解决对分层异构无线网络的商用化部署具有指导意义。

参考文献

- 1 Zhang J, Roche G. Femtocell 技术与应用. 彭木根, 李楠译. 北京: 人民邮电出版社, 2010
- 2 Lopez-Perez D, Guvenc I, Roche G, *et al.* Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks. *Wireless Communications, IEEE*, 2011, 18(3): 20~30

- 3 Li H M, Hajipour J, Attar, *et al.* Efficient HetNet implementation using broadband wireless access with fiber-connected massively distributed antennas architecture. *Wireless Communications, IEEE*, 2011, 18(3): 72~78
- 4 Zhu Y J, Li A X, Harada A. Novel method to improve control channel reliability in LTE-Advanced heterogeneous network. VTC Fall, Quebec City, 2012
- 5 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #62. R1-104626. Samsung. Discussion on DL Power Setting for Heterogeneous Networks, 2010
- 6 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #63bis. R1-110358. KDDI. Downlink Performance Evaluations of the Time Domain eICIC with the Cell Range Expansion for Macro-Pico Deployments in HetNet, 2011
- 7 3GPP TSG-RAN WG1 Meeting #71. R1-124858. Alcatel-Lucent, Alcatel-Lucent Shanghai Bell. Evaluation of Soft Reuse in UMTS Heterogeneous Networks, 2012
- 8 Li Y, Peng M G, Hu W. Adaptive heterogeneous interference coordination algorithm in uplink LTE-Advanced systems. PIMRC, Sydney, Australia, 2012: 536~540
- 9 Peng M G, Liu Y, Wei D Y, *et al.* Hierarchical cooperative relay based heterogeneous networks. *Wireless Communications, IEEE*, 2011, 18(3): 48~56
- 10 Chen H, Peng M G, Jiang J M. A resource configuration scheme in OFDMA-based cellular relay networks. ICC, Dublin, Ireland, 2012: 102~107
- 11 Feng J W, Peng M G, Li J, *et al.* Optimal resource allocation for time sharing relaying system. ICC, Dublin, Ireland, 2012: 492~496
- 12 Wei Y, Peng M G. A mobility load balancing optimization method for hybrid architecture in self-organizing network. ICCTA 2011, Beijing, China, 2011: 828~832
- 13 Jiang J M, Wang W B, Peng M G, *et al.* Energy efficiency comparison between orthogonal and co-channel resource allocation schemes in distributed antenna systems. PIMRC, Sydney, Australia, 2012: 541~545

[作者简介]



刘鸿雁, 女, 北京邮电大学硕士研究生, 主要研究方向为无线信号处理与网络。

胡春静, 女, 北京邮电大学副教授、硕士生导师, 主要研究方向为无线信号处理与网络。

李远, 男, 北京邮电大学博士研究生, 主要研究方向为 LTE-Advanced 多天线技术、异构无线网络干扰控制。

(收稿日期: 2013-05-15)