



基于虚拟小区的分层异构无线组网方案^{*}

李 玥, 彭木根

(北京邮电大学无线信号处理与网络实验室 北京 100876)

摘 要: 使用小小区和宏小区联合重叠覆盖的分层异构无线网络被认为是解决目前蜂窝网络容量和能效等问题的主要方案。本文介绍了一种基于虚拟小区(phantom cell)的分层异构无线组网方案,核心是控制平面与用户平面分离,通过令虚拟小区使用较高频段来得到高的系统容量,并且能够满足包括移动性支持、网络部署密度、业务均衡处理和网络复杂度等在内的一系列设计要求。本文还介绍了与所提方案相关的关键技术以及分层异构无线网络未来可能的发展方向。

关键词: 分层异构无线网络;LTE/LTE-Advanced;虚拟小区

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.01.002

A Novel Networking Scheme for Hierarchical Heterogeneous Cellular Network Based on the Phantom Cell Architecture

Li Yue, Peng Mugen

(Wireless Signal Processing & Network Lab., Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: The deployment of hierarchical heterogeneous cellular network (HCN) using overlapping small cells is identified as one of the major components in solving future cellular capacity and energy efficiency problems. An enhanced networking scheme for future HCN was proposed, accomplished by adopting the phantom cell concept that splits the C-plane and U-plane. The goal is to achieve higher capacity using higher frequency bands over a range of deployment scenarios including mobility, network density, traffic handling and network complexity. The implementation related techniques and further extension of the scheme were also provided.

Key words: hierarchical heterogeneous cellular network, LTE/LTE-Advanced, phantom cell

1 引言

2009年12月,全球移动数据业务量首次超过话音呼叫的业务量,这是移动通信领域又一个重要的里程碑事件^[1],而它的发生是蜂窝网络有能力承载高速数据业务的必然趋势。移动宽带接入和无线智能终端的使用迎合了丰富的互联网应用需求,也促使蜂窝网络的数据流量爆炸式地增长。思科的研究报告显示,移动数据业务量的上升趋势仍将持续,实际上智能手机的保有量仅在2011年便几乎增

加了两倍^[2],这将使蜂窝网络面临巨大的数据业务量需求,而许多网络已经拥挤不堪、供不应求。

由于移动业务需求的不断增长,每一代蜂窝通信标准都将提升系统容量作为目标。在我国,随着TD-SCDMA/WCDMA/cdma2000等3G技术、ADSL/EPON/GPON等宽带接入技术的发展和大规模商用,通信行业得到了前所未有的高速发展,呈现出一种用户规模持续增长、移动化和宽带化趋势明显的态势。近年来,国内三大运营商顺应国际3G路线演进的大趋势,积极促进3G网络向第三代移动通

^{*} 国家科技重大专项基金资助项目(No.2011ZX03003-002-01)

信系统长期演进(LTE)发展。满足快速增长的3G业务需求以及对于LTE系统技术的支持无疑是一种挑战,因为新型的移动互联网设备需要更加频繁、高速和容量更大的无线传输。

显而易见,当前标准化协议规定下的LTE系统(LTE/LTE-Advanced)将不能适应未来数据增长的需求。许多关于这方面技术增强的讨论与工作已经在第三代合作伙伴计划(3GPP)标准化进程中逐渐开展^[3],其中部分已提的解决方案涉及频谱效率和频带扩展等领域。而最为重要的则是使用分层异构(宏小区和皮小区、小小区(small cell)重叠覆盖)的网络密集化部署方式,这也被认定为满足移动数据业务长期飞速增长需求的主要解决方案。与此同时,3GPP设立了LTE Small Cell Enhancement (LTE-SCE)标准工作组,用以讨论未来分层异构的相关技术^[4]。

作为分层异构技术的重要演进,近期业界提出一种基于虚拟小区(phantom cell)的小小区组网增强方案^[5]。虚拟小区的实际意义在于既能满足未来小小区设计的基本需求,又能兼顾设计实现的复杂度问题。此方案的一个设计原则是使用更高频率(如3.5 GHz以及更高)的宽频带来提供大容量传输能力。与其他使用共信道方式部署的3GPP异构小小区技术不同,该方案主要依靠空闲频段和小区间的干扰协调技术进行规划和部署^[6]。本文主要从现网的局限性、未来微基站的设计需求以及具体设计思路等方面,对基于虚拟小区的分层异构无线网络的组网方案、相关标准协议和关键技术进行阐述。

2 网络架构问题和挑战

一直以来,运营商不断采取新的可行方案来满足移动业务的需求。在目前主流的网络部署方案中,2G网络主要为话音业务提供基础覆盖,在此之上叠加的3G和LTE网络用来支持话音、数据和互联网等业务。此外,在特定热点地区,运营商Wi-Fi(operator Wi-Fi)也被作为蜂窝低移动性用户业务的分流网络。在当前部署形式下,移动网络主要包括宏蜂窝(macrocell)、提供室外覆盖的微蜂窝(microcell)/微微蜂窝(picocell)以及提供室内覆盖的家庭基站(femtocell)和分布式天线系统。尽管可以运用上述技术,但由于以下几个原因,支持移动数据业务增长对于运营商而言仍是一个不小的挑战。

(1) 频谱

当前蜂窝技术标准规定下的网络均工作于700 MHz~

2.6 GHz,而这个频段已经相当拥挤,不仅由于蜂窝通信技术,更广的范围包括商业、卫星、政府以及其他通信应用都竞相争夺这一频段的资源。在许多情况下,蜂窝通信如果想继续长期使用这段频谱,唯一的办法就是对某些频段重新进行发掘和规划。但即使采取最优方案,运营商在频谱争夺战中也不可能获得满足长远需求的足够大的带宽。从以上情况来看,使用频率更高的频段或许是一条出路。

(2) 密集部署下对移动性的支持

对于传统基站而言,继续缩小室外部署小区的半径是不现实的,这主要是由于较高的切换率将导致服务质量的下降和传输开销的增加。传统意义上的密集化部署仅指小小区对移动性较低的用户提供服务,例如femtocell或picocell。然而与此恰恰相反,未来分层异构无线网络的密集化部署需要拥有支持中等移动性甚至是高等移动性用户业务的能力,从而使小小区的适用范围得以扩大。

(3) 低成本的密集化部署

像小区规划、配置、优化及维护这些运维层面的工作,即使在传统的宏蜂窝网络中也十分繁琐,难以处理,并且使运营商的运营成本有所增加,所以业界提出自组织网络(SON)的概念,并预期通过对其进行广泛深入的研究寻找减轻运营商运维负担的方法。当网络中部署了大量的小小区时,运维方面的压力仍将急剧增长,因此增加网络自主性的增强技术和方案在未来分层异构无线网络中将显得不可或缺。

(4) Wi-Fi 的流量分担作用

Wi-Fi网络是一种能在密集热点地区起到有效分流作用的运营商移动数据容量解决方案,但由于主要应用于室内环境,不能很好地满足具有高峰时段特性(如火车、地铁等场景)的移动业务。其次,Wi-Fi与蜂窝通信共享频段,这将使系统容量受到限制,移动通信环境也变得无法被运营商所控制,而实际上如今的运营商Wi-Fi网络也正面临着满载的问题。因此,未来的小小区应该有能力作为流量分担网络。

(5) 用户吞吐量的公平性

对于蜂窝网络而言,小区边缘用户吞吐量是一个难以回避的问题,LTE系统也不例外。按比例讲,宏蜂窝的边缘区域相对比较大,边缘用户吞吐量的降低将严重影响整个小区的吞吐量水平^[7]。3GPP将小小区纳入网络部署的讨论范围之中,尤其是在其与宏蜂窝共信道部署的场景中,小小区的存在增加了网络中的传输机会,故有望使整个小区的传输速率得以提升^[6]。然而共信道部署的解决方案仍有其局限性,网络中小小区数量的增加将给宏蜂窝带来非常严重



的干扰问题,这对于站点密集化部署的地区来说并非十分实际的容量方案。

3 基于虚拟小区的分层异构无线网络架构

前文提到,未来分层异构无线网络需要满足一系列的设计标准,如容量、对于移动性的支持、有效的流量分担、频谱分配、设计的灵活性和可操作性以及吞吐量的公平性。为了达到这些标准,微基站的设计必须完全脱离传统基站的体系架构,削减某些功能而将精力主要集中在为用户提供服务上。蜂窝网络中许多悬而未解的难题都因提供无缝覆盖及其信令要求而产生,因此如果将这些功能放置于其他网元中实现,就会大大简化未来微基站的设计。本节将介绍一种基于虚拟小区的分层异构无线组网增强方案,它属于 3GPP R12 的讨论范畴,也是目前为业界所热议的网络场景增强候选方案之一。为了更加清晰地阐述该方案,首先对虚拟小区的概念进行深入讨论,随后对具体设计细节逐一进行详细介绍。

3.1 虚拟小区的概念

虚拟小区的本意旨在承载用户业务,是一种与宏基站联合运行的微基站,被部署在宏基站覆盖范围内,小区半径为 20~50 m。与传统蜂窝小区不同,虚拟小区缺少主/辅同步信号(PSS/SSS)、小区特定参考信号(CRS)、控制信息块/系统信息块(MIB/SIB)等小区特定的信号和信道。这种小区被称作虚拟小区的原因是它对用户设备(UE)的可见性依赖于宏蜂窝的信令控制,UE 与虚拟小区之间的信道建立与释放等无线资源控制(RRC)过程是在宏蜂窝的控制下完成的,所以宏小区和虚拟小区是主从关系,宏基站(MeNB)发出控制信令,虚拟小区基站(PhNB)仅为用户业务提供数据传输通路,它可以被称作“宏蜂窝辅助”的微基站。这种结构可以通过使控制平面(C-plane,C 平面)和用户平面(U-plane,U 平面)分离来实现,如图 1 所示,UE 和 PhNB 之间的无线接口仅保留用户平面的功能,而控制平面则交由宏基站来实现和管理。C/U 平面分离是使虚拟小

区具有高度灵活性的核心技术,这样的设计架构不仅易于实现,还带来最小的信令开销,同时兼顾了实用性和灵活性。

虚拟小区的概念为未来分层异构无线网络带来一般性的设计理念和思路,它的实现涉及多种相关技术,包括频带扩展、高密度网络的基带处理、小小区的发现、小区规划、负载均衡、干扰管理和小区间干扰协调、移动性支持以及进一步的低成本设计,在后续章节中会陆续介绍。

3.2 高频段处的频带扩展

如前所述,为了令系统容量获得显著提升,移动通信网络需要使用具有足够带宽的新频段。经过研究,业界认为由国际电信联盟无线电通信部门(ITU-R)所管理的 3.5 GHz 及更高频段是最佳的候选方案,目前 3GPP R12/R13 标准化工作正在围绕着 5 GHz 频段展开,而 10 GHz 也被作为未来通信系统演进的目标频段^[3]。由于无线电波传播质量相比 2 GHz 频段有所下降,传统的宏蜂窝并不适宜使用,但却适用于拥有较低发射功率的小小区。近期一些研究也表明,这段频谱能够提供更高的系统容量^[5]。

在频带扩展方面,希望获得百兆数量级或更大的系统带宽,因为这样除了能够获得系统容量方面的收益,也能将干扰规划方面的工作量降到最低。迄今为止,3.5 GHz 及更高频段仍具有广阔的开发空间,运营商如果能够获得新频段的频率许可并在此占有一席之地,那么在容量规划方面将具有更大的自由度。

3.3 C/U 平面分离的网络架构

使空中接口的控制平面与用户平面分离是微基站设计完全脱离传统基站体系架构的第一步,这种结构最主要的益处在于它可以在大幅提升现网容量的同时,保证宏蜂窝层的可靠覆盖以及移动性方面的性能。在基于虚拟小区的分层异构无线组网增强方案中,宏基站仍工作在现有频段上,而虚拟小区被分配以较高的频段,这样的配置使 C 平面仍处于更为可靠的宏蜂窝层的控制之下。与此同时,系统容量因分离后的 U 平面能够在高频段获得较大带宽而

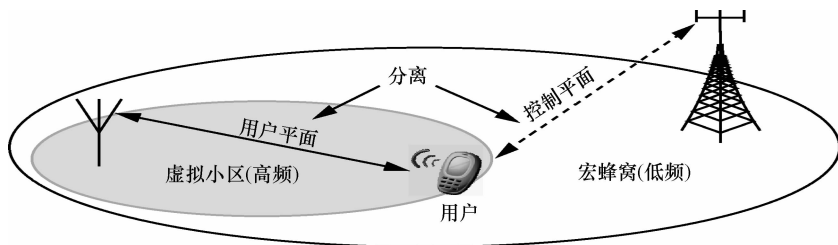


图 1 C/U 平面分离的虚拟小区

得到提升,在设计方面也不需要虚拟小区层进行小区规划、配置和优化,使得诸如覆盖空洞一类的问题不再是困扰运营商的难题。此外运营商还可以在网路部署初期利用这种方式在特定热点地区零散部署少量的虚拟小区来提升用户体验,并且随着部署数量的增加,系统总容量将呈现出线性增长的趋势,这种特性对于高频段上的实际系统开发至关重要,因为在这个频段上信号传播特性较差,这使得传统的全小区覆盖变得代价昂贵且几乎不可能实现。

C/U 平面分离的网络架构目前已存在应用实例,在参考文献[8]的附录 J 中可以参阅到使用了支持载波聚合功能的射频拉远头(RRH-CA)的场景,同样地,RRH 的典型信道和信号被取消,成为宏蜂窝的从属小区,它的基带处理工作全部交由宏基站完成,两者之间以光纤连接。RRH 技术现今已被众多的 3G 设备商所采用,而这种分布式基站的场景也可以看作在单节点处采用 C/U 平面分离的架构。

3.4 具有独立基带处理能力的微基站

未来分层异构无线网络的下一个设计目标是要求小小区具有独立的用户平面基带处理能力。将基带处理从宏蜂窝中分离出来,能够大幅提升系统的处理能力,尤其是在一个宏小区包含多个小小区的场景下,由于宏基站的能力有限,前文所述的共享基带处理能力的方案将严重影响系统设计的可扩展性。独立基带处理方案使得宏基站和小小区之间不再需要以光纤接口相连接,这种成本上的节约将带来巨大的收益。在此方案中,PhNB 从 MeNB 的控制下独立出来,相应的网络架构如图 2 所示。

3.5 增强的频间小区发现过程

由于小区驻留和小区重选都是在宏基站层进行的,对于处于空闲状态的 UE 来说,基于虚拟小区的微基站是透明的,这意味着运营商不需要监控虚拟小区中和寻呼

相关的任何过程,从而减少小区规划、配置和优化方面的工作量,此外因为虚拟小区缺少典型的小区特定信道,UE 不用频繁地进行测量和解码,使得 UE 的能耗降低,终端的续航时间延长。系统只需要在 UE 处于激活态或者宏基站发起相关过程时进行针对小小区的小区发现,其中包括快速发现和信道建立等过程。

快速并且高效的小区发现对于增加小小区的流量分担机会是非常有意义的,特别是当网络中的微基站部署较为松散时,这一点显得更加至关重要。为此需要对小区发现进行功能上的增强,小小区工作在较高频段,系统必须支持跨频段的小区发现过程。一般而言,异构分层网络中的 UE 无论处于空闲态还是激活态,均有可能发起小区发现的过程,因为即使周围没有小小区 UE 也会尝试搜寻,这将缩短 UE 的电池续航时间。当 UE 处于空闲状态时则更为明显,所以采取措施减少 UE 频间小区识别过程的次数是十分必要的。基于虚拟小区的未来分层异构网络拥有更宽的频谱范围,子载波的数量也大幅增加,只有更快速的小区发现过程才能适应组网方式的变化。

基于以上原因,UE 需要一种增强的发现信号使得频间小区发现过程更加流畅和高效,其设计标准如下:

- 发现信号必须与宏基站的信号同步,因为频间小区的发现过程需要宏基站的辅助;
- 为了快速解码,发现信号必须是相互正交的。

PhNB 并不需要使用 GPS 来获得精准同步,但必须与宏基站下行发现信号的发送周期严格同步,这样做的目的是减少频间小区发现过程的次数,而信号的正交特性又降低了 UE 在密集部署场景下检测小小区的难度。快速频间小区发现的流程和时序如图 3 所示。

3.6 负载均衡和干扰协调

小小区的另一个设计要素是平衡相邻小区的负载能

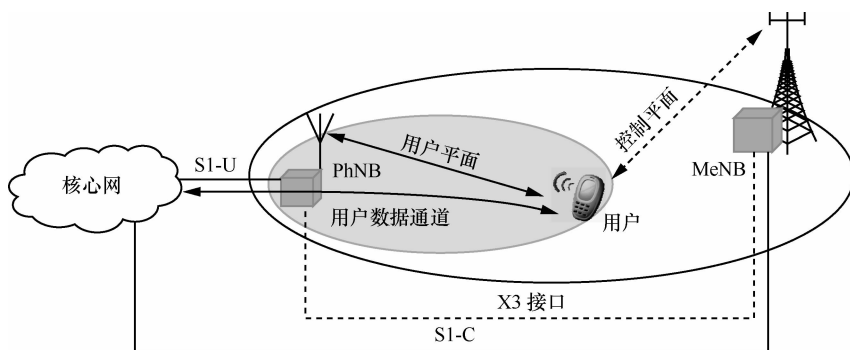


图 2 站点和基带处理过程相分离的虚拟小区

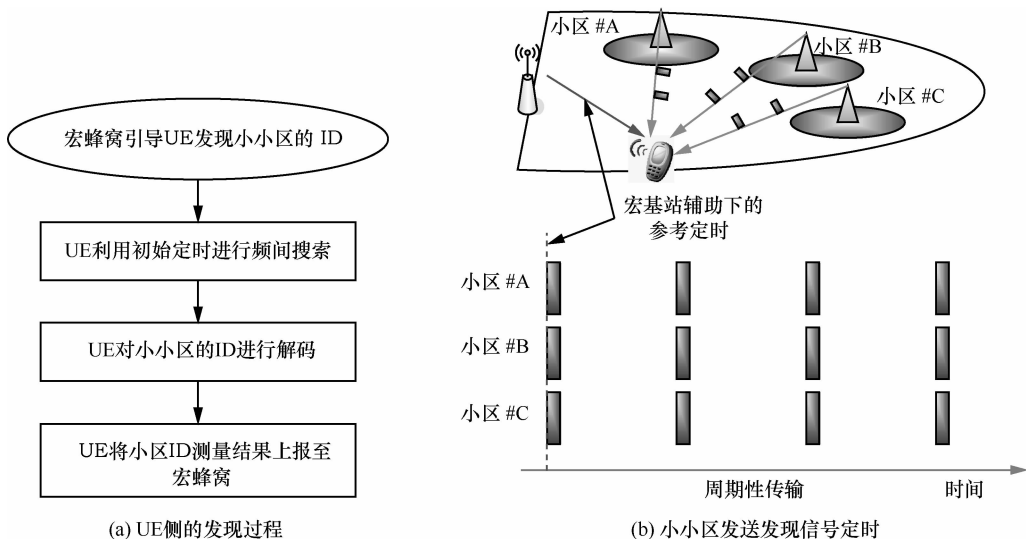


图3 快速频间小区发现

力。对于较小的覆盖区域,相比传统宏基站面临更加剧烈的业务量变化,为了解决这一问题,网络还应支持负载均衡功能,在LTE中,负载均衡用来处理小区之间的不平衡负载问题,在保证用户服务质量的前提下,使网络容量达到最大化。具体实现层面的讨论包括:

- 宏基站如何引导UE转移至某个特定的小小区,这涉及宏基站对RRC进行维护的过程;
- 负载均衡功能的细节方案,包括触发门限和接入控制等问题;
- 小小区之间的资源完全复用时的干扰协调问题,包括频域和时域两个维度。

负载均衡提升了系统吞吐量,因而使系统的多路复用增益增加,然而同时也应该考虑到吞吐量的公平性,举个最简单的例子,可以将用户平均吞吐量作为负载均衡的小小区选择标准,称为Cell Metric。

$$Cell\ Metric = \frac{BW}{N} \times \lg(1 + SINR) \quad (1)$$

其中, BW 为小区占用的总带宽, N 为用户数目, $SINR$ 为信干噪比(signal to interference ratio),这里考虑的是小区的平均SINR。

对于接入控制,可以引入多种条件参量,如目标小区负载门限、SINR门限,甚至可以是上述小区选择标准的差值。此外,功率调整可解决资源复用下的干扰问题,对于静态复用的小区还可以简单通过频率规划来有效避免复杂的小区间干扰协调过程。功率调整也可用于增加或减少小

区的覆盖范围,这在虚拟小区的结构下非常容易实现,因为不需要考虑小区典型信道的最优功率设置问题。可以说PhNB在功能上的缺失换来了覆盖范围的自由度。

3.7 小区规划、配置及管理

前面讨论了未来分层异构无线网络通过功能上的简化来降低其设计的复杂度,然而可运营性也是小小区系统的设计目标之一,应该尽量本着节约安装、规划和管理等方面成本的原则进行设计和开发。本节将重点阐述未来微基站系统中的小区规划、小区配置和小区管理3方面内容。

(1) 小区标识管理

一般而言,即便在传统的宏蜂窝网络中,小区标识(ID)的管理都是一个沉重的负担,因为小区ID的数量十分有限,如在LTE系统中只有504个。当网络中的小区数目不断增加时,运营商需要频繁进行重新规划,以避免小区ID的冲突。随着未来分层异构网络中小小区数量的剧烈增长,小区ID管理的复杂程度也逐渐增加。虽然一些类似于“即插即用”的技术已经在SON的范畴中出现,但对于分层异构无线网络超高密度部署的场景来说,还是会出现诸如小区ID混淆之类的问题。而采用基于虚拟小区的组网方案就能大幅降低这类问题发生的可能性,这是因为依赖于物理小区标识(PCI)而存在的小区典型信道或信号在虚拟小区中并不出现。

(2) 业务量监测

业务量监测和统计对于基站的优化和负载分析来说

是至关重要的,但基站的测量功能会导致成本开销和系统复杂度的增加。对于小小区而言,将此功能交由宏基站完成是更优的选择。在主从运营模式下,宏基站可以监测与小小区相关的所有连接,如 UE 的 RLC 上报以及 PDCP 层的相关过程等,同时存储一些信息以供进一步分析。这样不仅使得宏基站可以为运营商提供远程监控小小区的渠道,而且降低了微基站的成本和设计的复杂性。

(3) 闭合接入模式

家庭基站或 Wi-Fi 接入点这种低功率节点 (LPN),有时工作在闭合用户组 (CSG) 模式,处于小小区覆盖区域内的宏基站用户不具有接入权限,LPN 的密集部署将会给这部分用户带来较大的下行干扰,未来分层异构无线网络必须解决这一问题,基于虚拟小区的主从结构使宏基站能够控制和协调众多的小小区,从而选择最佳的配置和传输方案降低网络中的干扰水平。

4 发展方向与前景

基于虚拟小区的未來分层异构无线网络组网方案仍有改进的空间,本节将提及其中的两个发展方向。首先是虚拟小区的聚簇部署,LTE 系统早期布网可能只在热点区域部署小小区,但随着数据业务用户量的持续提升,用户会希望在更大范围内享受 LTE 带来的高速率体验,小小区的部署范围将越来越广,节点的区域密度也越来越高,可以看成微基站以聚簇的形态在网络中出现,而这需要在移动性方面提出增强的方案来支持这种网络拓扑结构。此外,设备到设备 (D2D) 的通信方式也是未来分层异构无线网络可能的发展方向,信息在用户设备之间直接传递也是网络业务流量分担的方式之一。下面将对这两点做详细阐述。

4.1 小区聚簇与移动性问题

室外部署场景下对于高移动性的支持问题一直都是小小区设计中的主要瓶颈,如果未来分层异构无线网络只能为移动性较低的用户提供服务,那么小小区的应用范围会大大受限,这种部署方式也将在长期演进中失去竞争力,因此亟需为超高密度部署的小小区网络找到新的移动性解决方案。传统的切换过程都会涉及小区覆盖边界这一概念,在未来分层异构无线网络中却不存在这种边界,而用小区集群组 (cell cluster association) 概念取而代之,它与参考文献[5]中的虚拟小区组 (phantom cell association) 或层 1/层 2 移动性有着同样的含义。在小区集群组的定义下,微基站的覆盖区域中包含多个小小区,在此区域内的

小区均采用基于虚拟小区的组网方式,并不需要启动与高层相关的切换过程,因而缺少切换参数 TTT (time to trigger),也不存在针对此功能的控制信令开销。如图 4(a) 所示,虚拟小区组一种可能的实现方式是选出一个中心节点作为簇头来控制其他虚拟小区,簇头和成员之间应该具有理想的回程链路。这种方案可以看成一种集中式的无线接入网 (CRAN),因为集群组中存在中心节点可进行整体调配和控制,从而可实现基带容量共享同时基带资源动态分配的基带池结构。对于不同虚拟小区间的业务均衡处理可通过协作多点传输技术 (CoMP) 轻而易举地实现^[9],网络的资源利用率进而得以提升。基于单簇头—多成员的虚拟小区簇结构可以为更广阔的地理面积提供覆盖,并且可以减少网络中的切换次数以及流向核心网的控制平面信令开销,这对于网络未来的发展愈发重要,因为智能终端引领的诸如“机器到机器”(M2M) 的未来网络应用都需要 RRC 一直处于激活的状态。

4.2 支持 D2D 通信方式的虚拟小区

与聚簇的方式恰恰相反,低成本的分布式解决方案仍然是未来分层异构无线网络设计的一个重要目标,也只有如此才能令小小区适用于更加广泛的应用环境之中。D2D 是一种存在于 UE 之间的机会点到点通信方式,它的信息传输使用的是空白频段资源^[10]。如果将来点到点通信的需求有所增长,那么 D2D 通信方式必将会被未来 LTE 绿色网络所吸纳。实际上支持 D2D 的微基站应该拥有与 UE 相类似的功能,并且与宏基站之间存在回程链路、与 UE 之间存在点对点的直传链路,使 D2D 成为一种潜在的机会流量分担机制。其网络架构如图 4(b) 所示,类似于 UE 的小小区也可以被看成虚拟小区的一种变式,因为它既受宏基站控制,又是具有流量分担功能的网络侧设备(基站),从而可以认识到,任何种类的终端设备都能以机会的方式充当网络中的基站,而提供业务的节点其部署密度大幅增加能够带来网络容量的显著提升。

5 结束语

本文介绍了一种未来分层异构无线网络组网的增强方案。为了适应不断变化的网络部署要求,小小区的设计应完全脱离当前传统的基站体系架构,因此基于虚拟小区的分层异构无线网络组网方案应运而生。在这种方案中,微基站的设计采用虚拟小区的理念,并使用较高的频段进行通信,它通过将空中接口的控制平面与用户平面分离来

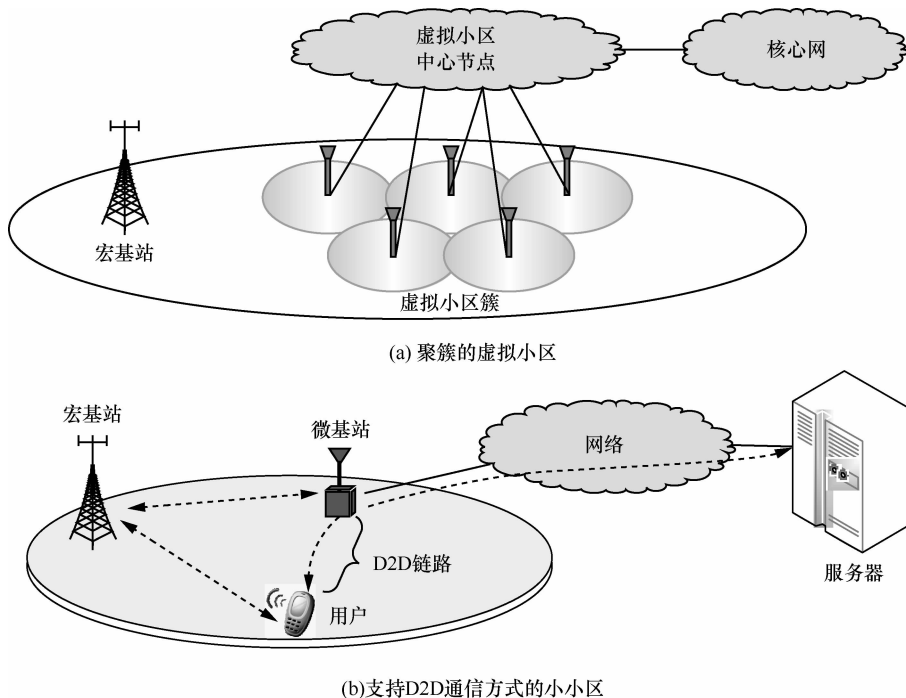


图4 未来分层异构无线网络架构的进一步扩展

适应回程链路、基带处理、移动性支持和部署密度等方面的设计要求。目前此方案被业界广泛关注和研究,在3GPP标准化Study Item LTE-SCE中也有相关讨论。

本文还介绍了必要的支持技术,如频间信号发现、负载均衡和干扰协调、小区规划、配置和管理以及在进一步增强中可能涉及的小区聚簇、移动性问题和D2D技术。可以说,虚拟小区C/U平面分离结构的实现既充满意义又富有挑战,未来的标准化工作仍需要从定义新接口和信令级增强方面做出努力,使得基于虚拟小区的小小区组网方案得以不断完善,最终令4G网络的长期演进能够迈上新的台阶。

参考文献

- 1 Ericsson. Mobile Data Traffic Surpasses Voice. Ericsson Press Release 23, Mar 2010
- 2 Cisco Whitepaper. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2012
- 3 NTT DoCoMo. Requirements, Candidate Solutions & Technology Roadmap for LTE R12 Onward. RWS-120010, Jun 2012
- 4 3GPP RAN #57. RP-121418. LTE SI: Study on Scenarios and Requirements for LTE Small Cell Enhancements
- 5 Ishii H. A novel architecture for LTE-B, c-plane/u-plane split and phantom cell concept. IEEE Globecom 2012 Workshop, 2012(12):624~630
- 6 Parkvall S, Danlman E, Jongren G, *et al.* Heterogeneous Network Deployments in LTE. Ericsson Review, 2011
- 7 Osterbo O. Scheduling and capacity estimation in LTE. The 23rd International Teletraffic Congress, San Francisco, USA, 2011
- 8 3GPP TS 36.300. V11.3.0. E-UTRA and E-UTRAN Overall Description, Stage 2
- 9 Mogensen P, Koivisto T, Klaus I, *et al.* LTE-Advanced: the path towards gigabit/s in wireless mobile communications. IEEE Wireless VITAE, 2009:147~151
- 10 Fodor G, Danlman E, Mildh G, *et al.* Design aspects of network assisted device-to-device communications. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(3):170~177

【作者简介】李玥,女,北京邮电大学硕士研究生,主要研究方向为无线分层异构网络、网络自组织技术的能量节省自优化技术。彭木根,男,北京邮电大学教授、博士生导师,首届优秀青年基金获得者,北京市科技新星,教育部新世纪优秀人才,IEEE高级会员,参加首届“973”青年科学家课题,一直从事时分双工(TDD)无线网络信息理论、协同网络编码、无线网络自组织技术、TDD高效无线传输和组网技术、TD-SCDMA及增强演进系统的传输和组网增强技术的研发工作;荣获教育部技术发明一等奖、中国通信学会二等奖和北京青年优秀科技论文奖二等奖,国际学术会议最佳论文奖3次,在国际学术期刊和国际会议上发表学术论文180余篇,其中SCI学术期刊论文39篇,第一作者的SCI期刊论文18篇;申请科技发明专利60余项,授权专利19项;提交标准技术文稿30余篇,出版学术专著和译著10余部。

(收稿日期:2012-12-20)