

无线网络虚拟化架构与关键技术

Architecture and Key Technologies for Wireless Network Virtualization

中图分类号: TN915 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0016-006

摘要: 提出采用集中式和分布式的动态频谱管理技术来提升频谱资源利用效率, 解决无线网络虚拟化中频谱资源难以高效分配与不易管理难题; 认为为了构建一个稳定、灵活和开放的无线网络虚拟化架构, 需要从虚拟网络的隔离、信令优化设计、通用接口设计、用户移动性管理等方面开展研究。

关键词: 无线网络虚拟化; 资源虚拟化; 动态频谱管理

Abstract: This paper describes centralized and distributed dynamic spectrum management techniques, which can improve spectrum utilization and management in a virtualized wireless network. In order to build a stable, flexible, open virtualized wireless architecture, we need to study isolation of the virtual network, signaling optimization design, universal interface design, user mobility management and other aspects.

Keywords: wireless network virtualization; resources virtualization; dynamic spectrum management

冯志勇/FENG Zhiyong

冯泽冰/FENG Zebing

张奇勋/ZHANG Qixun

(北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室, 北京 100876)

(Key Lab. of Universal Wireless Communications Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

云计算和计算机虚拟化已经成为推动 IT 产业发展的关键技术之一。网络虚拟化的提出将路由和交换功能虚拟化, 用户可以根据各自需求传输业务, 而无须考虑端到端过程中每一跳是如何建立连接的^[1-2]。随着多种无线通信技术日益成熟和多样化移动服务大量涌现, 未来无线网络呈现出密集部署、多样业务、异构网络并存的多形态。在复杂网络环境下, 多种无线网络技术的兼容性、用户对不同无线接入网络的选择、异构网间切换等问题, 是无线网络发展面临的新挑战。

无线网络虚拟化技术的提出为异构无线网络提供了一种有效管理

方式, 通过对网络资源的抽象和统一表征、资源共享和高效复用, 实现异构无线网络的共存与融合。无线网络虚拟化可使复杂多样的网络管控功能从硬件中解耦出来, 抽取到上层做统一协调和管理, 从而降低网络管理成本, 提升网络管控效率。集中化控制使得没有无线网络基础设施的服务提供商也可以为用户提供差异化的服务。然而, 无线网络虚拟化技术在实际应用中仍然面临以下难题: 首先, 无线网络资源既包含物理资源 (如网络基础设施), 也包含频谱资源, 而且频谱资源在频域上跨度大, 从几十赫兹到百兆赫兹甚至吉赫兹, 不同频率频谱资源的传播特性存在较大差异, 其中还包括授权频段和非授权频段。无线网络拓扑形态呈现出动态变化、多样化的特征, 如自组织网络、蜂窝网络等。其次, 无线网

络性能还受到网络内和网络间的干扰影响。不同制式无线网络的通信协议标准的设计存在差异化, 硬件设备功能不同, 将导致不同网络资源的使用方式存在差异, 异构无线网络融合困难。因此, 无线网络虚拟化架构、虚拟化控制方式以及资源虚拟化等方面将是实现无线网络虚拟化所需关注的热点和难点。

本文首先针对 3GPP 国际标准化组织提出的虚拟化架构进行分析; 其次, 研究无线网络资源虚拟化和资源管理方法; 进一步, 研究并分析了典型无线网络虚拟化技术和实现方式。最后, 简要分析了未来无线网络虚拟化面临的挑战。

1 无线网络虚拟化架构

网络虚拟化技术在有线网络中已得到了广泛的应用, 包括: 虚拟局域网 (VLAN)、多标签协议交换 (MPLS)、异步传输模式 (ATM) 和软件定义网络 (SDN)。这些技术手段能在相同物理基础设施上虚拟出相互隔离的虚拟网络供不同用户使用。但是这些技术都是针对有线网络设计的, 并没有考虑如何针对无线

收稿日期: 2014-04-03

网络出版时间: 2014-04-29

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61227801、61121001、61201152)

网络特征进行虚拟化的问题。由于无线网络相对于有线网络更加复杂,因此在无线网络虚拟化设计中需要考虑信道的不确定性、功率控制、信令开销等问题。这样的复杂性使得有线网络的虚拟化技术不能直接搬到无线网络中使用。如何将网络虚拟化的思想引入到无线网络中,已成为一个亟待解决的问题,并逐渐成为研究热点。针对无线网络信道时变、业务多样、网络结构复杂等特点,无线网络虚拟化技术的实现需要合适的构架来支撑。针对无线网络虚拟化问题,现有研究中关于架构的研究取得了初步进展。

1.1 接入网虚拟化

国际标准化组织 3GPP 的系统架构工作组已经开展符合技术演进的虚拟化架构—无线接入网共享增强(RSE),并定义了多个运营商共享无线接入网(RAN)资源的场景^[3],提出了网关核心网(GWCN)和多运营商核心网络(MOCN)两个参考框架。接入网虚拟化框架如图1所示。GWCN方案通过多个运营商共享移动性管理实体(MME)来实现移动性管理和承载管理等功能的共享。MOCN方案中各运营商采用各自完整的核心网,仅在eNodeB层面进行资源共享。

3GPP 组织定义接入网虚拟化的目标在于通过共享接入网络资源,提升多个无线网络资源整体利用效率,满足数据业务爆炸式增长所带来的网络容量增长的需求,主要包含以下几方面:

(1) 根据相关的共享协议和/或政策,能够使无线网络资源在网络实体间进行共享。

(2) 根据不同无线接入共享场景,能够高效的共享无线接入资源。

(3) 针对更细时间粒度下的需求,能够灵活和动态的分配无线接入资源。

(4) 根据相关的共享协议和/或政策,能够合理高效的解决网络过载

问题。

针对以上需求,RSE 的实现需要以下4种功能:

(1) 无线接入网拥有者一方面需要允许共享接入网资源的参与运营商(例如虚拟运营商)获得相应的无线接入网络资源,另一方面也需要这些参与运营商有同等机会获取无线接入网拥有者对网络操作管理与维护的状态信息。

(2) 参与运营商可以根据对网络容量需求的变化,提出不同的接入网资源需求,以满足业务需求,例如虚拟运营商在工作忙时需要更多网络资源满足容量需求,而在晚上或者周末等闲时仅需要占用少量无线接入网资源。

(3) 无线接入网拥有者根据参与运营商的容量需求变化,自主重配置无线接入网络资源,尽量满足共享网络的业务 QoS。

(4) 无线接入网拥有者需要依据参与运营商的资源分配情况和网络负载情况,执行合理的负载均衡措施。尤其当小区出现过载情况,无线接入网拥有者可以根据每个参与运营商可承受的最大负载情况,合理的将用户卸载到其他小区。

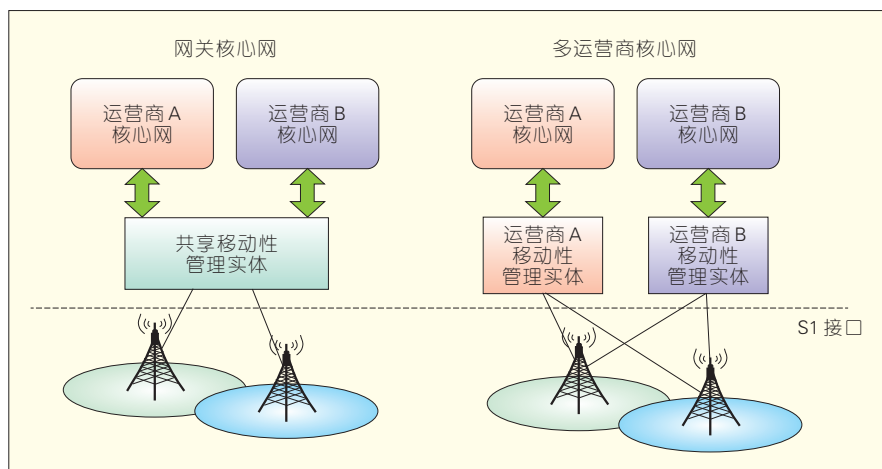
以上是 3GPP 组织提出的无线接入网共享增强 RSE 方案,通过自主动态的调整无线接入网络资源,以实现接入网资源的有效共享。这种共享

方式可以有效的带动产业界和运营商的商业模式转变。此工作已由 TR 22.852 完成,并将开始新一轮后续研究工作。

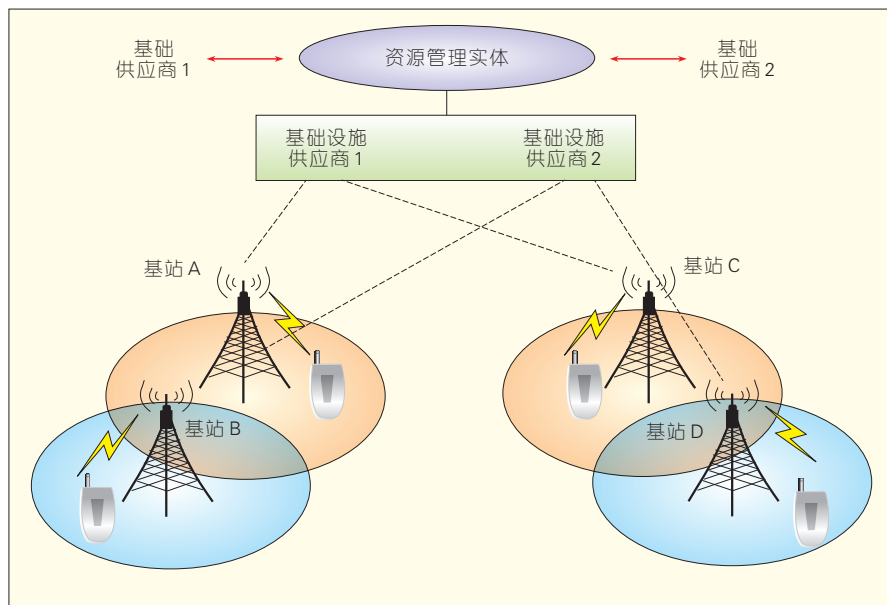
1.2 全网虚拟化

无线全网络虚拟化中网络可以由服务供应商(SP)和基础设施供应商(InP)组成。基础设施服务商负责生产和管理从接入网到核心网的整个网络的基础设施,譬如基站设备等,服务供应商负责为用户提供多样化的业务^[4]。基础设施服务商的资源往往虚拟化为多个子部分,服务供应商根据用户需求,请求相应的子部分资源,为终端用户提供端到端服务,并忽略底层物理网络结构的差异。这样每一子部分都认为其本身是一个完整的网络系统,包含(虚拟)核心网和(虚拟)接入网,这些子部分也称为虚拟网络^[5]。

图2是服务供应商和基础设施供应商实现无线网络虚拟化的一种网络架构。如果设备商在同一个区域内有共同的基础设施(基站)覆盖,则其资源可以被不同的服务商共享使用。图中基站 A 和基站 B 属于 InP₁,基站 C 和基站 D 属于 InP₂,上层的资源管理实体采用集中方式来管理 InP 之间的协作和隔离。重叠覆盖的基站(如 A 和 B)为服务供应商按需提供物理资源,这种方式淡化了网络基



▲图1 接入网虚拟化框架



▲图2 服务提供商和基础设施提供商实现无线网络虚拟化的一种网络架构

础设备和设备商的隶属关系，而演变为资源池的方式供SP按照最优资源分配或者最小代价来使用。但是，这种网络结构需要明确不同InP的基站覆盖范围。否则，会由于服务提供商用户不被InP覆盖造成服务空洞。

SP和InP也可分别成为移动虚拟运营商（MVNO）和移动运营商（MNO）^[6]。很多国家已经颁布政策要求运营商开放其无线接入网络资源给虚拟运营商，鼓励多元化市场竞争。这样一方面移动运营商可以通过将无线接入网络资源租赁给虚拟运营商获取利润，同时也为自身腾出空间发展最擅长的通信技术，研发基站设备和实现更加精细化的运营维护等。另一方面，虚拟运营商可以发挥其市场优势，投入更多精力在用户市场需求分析预测、新型增值业务和功能化业务的开发与推广等工作，为用户提供更为专业和定制化服务，在获取市场利润的同时，提高无线网络空闲资源的利用效率，进一步提升了整个无线网络容量。

2 无线网络资源虚拟化

无线网络与有线网络最大的区别在于无线传输链路易受环境影响

而对信号造成衰减。由于无线链路具有广播性质，一个节点发出的无线电信号可以被其他多个节点获取。因此，需要通过时间、频率或者码字等不同的维度来区分无线信号，以降低多条无线链路之间的干扰。在无线网络虚拟化中，虚拟化节点和链路也需要通过不同的维度（时间、频率、空间、码字等）来避免不同虚拟链路之间的干扰。

无线网络资源虚拟化的关键问题是如何将网络底层各个维度资源与网络需求相匹配。网络底层资源可以分为多个正交的维度，例如：时间、频率和空间等，并可以定义每个维度的能力大小。简单的说，如果有一个虚拟化无线网络同时支持频分复用（FDD）和时分复用（TDM）方式，包括：频域和时域两个维度。当一个无线节点采用802.11b协议传输时，其频域上的能力值为3，因为802.11b协议支持3个互不干扰的正交信道，而时域上的能力值需要根据单位时隙的长度和子帧长度来确定。虚拟网络对资源的需求也可以划分为多个维度，而且网络底层的各维度必须大于虚拟网络对各个维度资源的需求。因此，网络资源虚拟化表征与

利用方式如图3所示。

以3个维度的资源为例，图3中长方体的长宽高对应网络底层各维度可用资源的大小。网络资源需求可以认为是小的长方体，这样无线网络资源的最佳利用方案是使得各个维度的资源能够充分被利用，反映在图3中长方体如何优化填充的过程，即保证资源空间内留下的空洞最小。在实际资源分配过程中，不仅需要考虑资源的大小，还需要考虑资源的质量（如不同频段的频谱传播特性的差异性）。

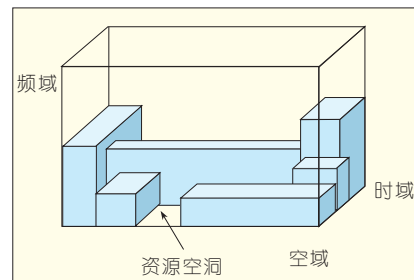
3 无线网络虚拟化关键技术

进一步考虑无线网络虚拟化关键技术，本文重点分析基站虚拟化关键技术，并提出无线网络虚拟化中动态频谱管理技术，实现对虚拟化无线网络资源的高效利用。

3.1 基站虚拟化技术

基站虚拟化技术可通过基站集中式放置、基站间协作以及分布式天线实现，根据基站服务区域的实际需求，为基站动态分配无线资源和配置系统参数，提升基站处理能力和效率，大幅降低成本和提升系统性能。

网络虚拟底层（NVS）^[7]是基站虚拟化实现的主要方式之一，其目标是对无线网络资源进行虚拟化并完成最优资源分配。首先，NVS需要具备一定的隔离功能，譬如两个共享基站的网络实体，其中一个实体中的用户由于业务量变化、位置移动或者信道条件波动，NVS需要确保另一个网络实体不受影响；其次，NVS需要提供



▲图3 无线网络资源虚拟化示意图

可定制化的功能,使共享基站资源的网络实体对基站在一定程度可控,以达到业务的最优传输,这与无线接入网共享增强 RSE 中的网络操作管理与维护是相似的;最后,网络实体之间可以按照容量需求,合理共享资源,提高资源利用效率。在此基础上,我们把实际的物理网络分为多个虚拟网络(Slice),每个虚拟网络由不同的流(Flow)组成,共享物理基站的无线资源。NVS的实现分为两层,分别为虚拟网络调度和流调度,虚拟网络调度负责保证虚拟网络之间的资源使用独立,互不干扰。流调度通过一般化的帧结构在每个虚拟网络中进行高效的流信息传输。在调度事件发生时,NVS首先根据虚拟网络占用基站资源和带宽的大小选择能最大化系统效用或收益的虚拟网络;然后,虚拟网络根据数据包优先级和QoS需求等,对传输数据和所需资源做媒体访问控制层的帧结构映射。

中国移动提出的集中式接入网架构(C-RAN)进一步实现了集中化的基带处理^[9],通过基站集中化放置和分布式天线技术可以大幅降低建网成本,提升网络性能。通过分析宏蜂窝无线网络,我们发现无线网络的负载呈现动态变化、时空分布非均匀特征,白天办公区业务繁忙而晚上住宅区业务繁忙,而基站在设计时仅考虑要满足小区的最高峰值业务需求,这就浪费了大量的处理能力。采用集中式接入网架构的核心思想是将原来分布式的基站资源进行集中部署和管理,通过网络资源的共享与高效利用,提高资源利用效率,降低运营商的网络建设、维护和升级的成本。其主要包括3部分:由远端射频单元(RRU)和天线组成的分布式无线接入网络、基础设施共享和实时虚拟化集中式基带池、连接RRU和集中式基带池的光传输网络。C-RAN构架如图4所示。采用C-RAN架构可以实现基站设备的虚拟化,实现基站资源的高效利用并降

低能耗。

3.2 动态频谱管理

认知无线电技术可提升通信系统的频谱资源利用效率。国际上许多学者都认为动态频谱管理技术是支撑无线网络虚拟化资源管控的有效手段之一。在认知场景下,非授权用户通过协商或者机会式的方式接入授权频段,但是必须保证不影响授权用户的正常通信。由于无线环境的复杂性,用户接入频段会受到来自时域、空域等多种因素的限制,为了保障用户的服务质量,需要为用户分配合适频段来避免干扰^[9]。本文提出集中式和分布式的两种动态频谱管理方法,解决无线网络虚拟化中频谱资源高效分配与管理难题。集中式网络动态频谱管理如图5所示。分布式网络动态频谱管理如图6所示。在多种接入技术(RAT)共存和重叠覆盖的无线环境下,两种方式通过新添加的功能模块完成网络上的频谱资源分配操作。各模块的功能描述如表1所示。

基于所提出的动态频谱管理架

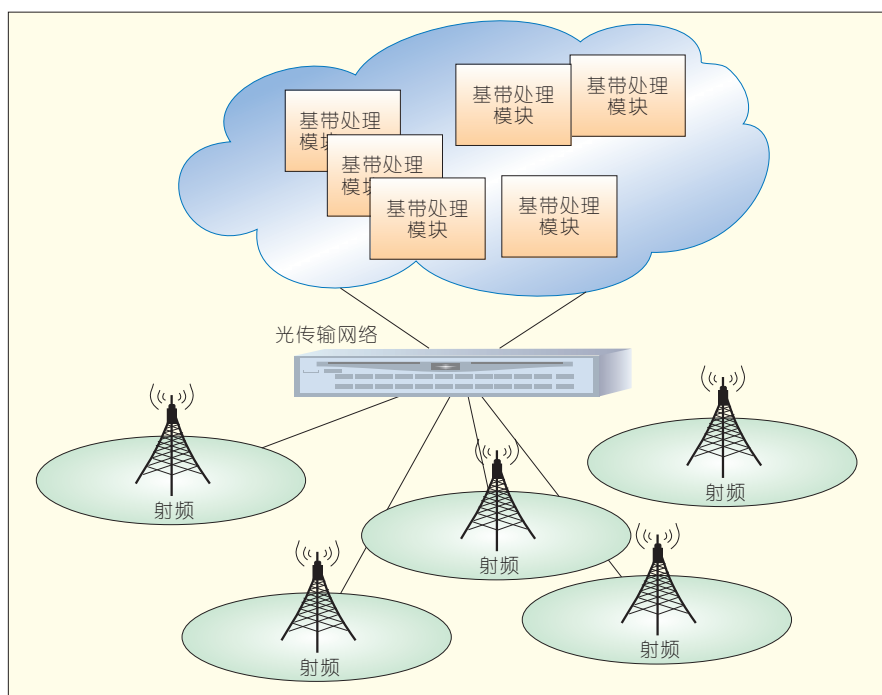
构,无线网络基站可以选择灵活的频谱资源共享,保证有足够的频谱资源满足用户业务需求,而不必考虑上层的频谱资源是如何分配的。无线网络基站通过对两个网络的业务量进行分析预测为两个网络动态的分配频谱资源。实验验证可提升频谱利用效率30%以上^[10-15]。

4 无线网络虚拟化面临的挑战

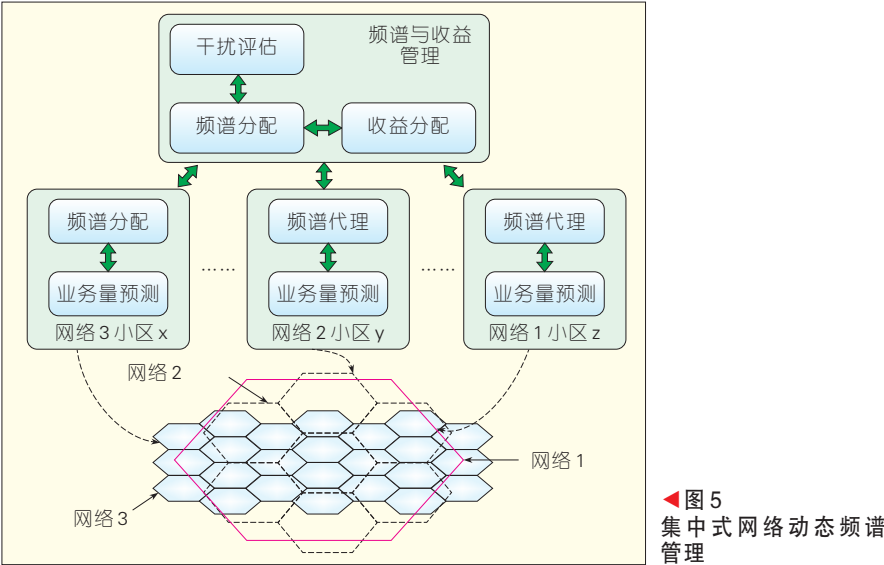
区别于有线网络虚拟化,无线网络虚拟化一方面面临着无线网络资源受限的挑战,无线资源需要进行合理的虚拟化,满足一定的空域、频域、时域的隔离以避免干扰;另一方面,无线网络虚拟化对移动终端的要求更为多样,例如支持多频段的硬件设计,高效频谱共享方法与技术等。因此,无线网络虚拟化技术的实施与部署仍面临诸多挑战。为了构建一个稳定、灵活和开放的无线网络虚拟化架构,需要从几方面开展研究。

4.1 虚拟网络的隔离

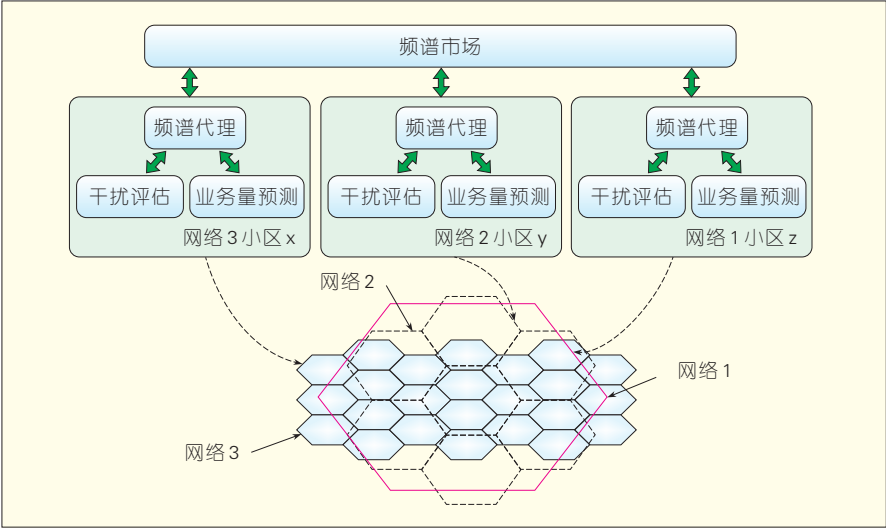
与有线网络相比,无线网络的性



▲图4 C-RAN构架



▲图5
 集中式网络动态频谱管理



▲图6 分布式网络动态频谱管理

▼表1 集中式与分布式动态频谱管理特点比较

功能模块	集中式动态频谱管理特点	分布式动态频谱管理特点
业务量预测模块	负责本 RAT 小区业务量的周期预测	负责本 RAT 小区业务量的周期预测
干扰评估模块	估算小区之间的干扰，控制干扰低于所需的门限	负责估算动态频谱管理带来的干扰，并依据与相应的准则判决是否满足网络共存条件要求
频谱代理	负责完成频谱交易的相关决策，并将其决策信息传递给集中式频谱管理的控制实体	观察并完成频谱资源环境的感知功能，负责完成频谱交易的相关决策
频谱市场	—	定义租借频谱资源的 RAT 小区为买方，出租频谱资源的 RAT 小区为卖方，以及频谱资源为交易的物品
频谱分配与收益管理	集中式控制实体，频谱分配模块负责将频谱资源分配给网络小区，收益分配模块负责合理分配收益给运营商	—
RAT: 多种接入技术		

能对节点和链路之间的干扰更加敏感。因此，虚拟网络之间的隔离尤为重要。

上面我们提出的频谱管理就是一种有效的方式，它可以根据用户

的位置和吞吐量需求，从频域和空域上对信道进行隔离使用，保证用户之间不产生严重的干扰。在此基础上，具备自配置、自由化、自愈合等网络自组织技术也将是实现无线网络虚拟化所需的智能高效管控技术，虚拟化网络通过一定的反馈可以自主配置网络资源，最大化提升网络性能。

4.2 信令优化设计

一方面，无线网络虚拟化需要新的功能支持，如资源虚拟化共享、服务商和基础设施提供商之间交互式管控等，这些新增的功能需要设计新型高效的信令来支持；另一方面，对不同的无线接入技术虚拟化之后，节点和链路的虚拟化资源的调度虽然屏蔽了具体接入技术差异，但是还需要有完整而统一的信令体系作支撑，在核心网侧对接入网资源进行动态调度。除此之外，在频谱资源虚拟化之后，控制信令是采用带内专用信道、还是结合带外或者有线的方式来传输，也是面临的挑战。

4.3 通用接口设计

要形成一个完全统一的无线网络虚拟化架构，需要设计独立于技术的通用接口来连接硬件设备，以实现不同虚拟节点和链路之间的信息传输^[1]。例如，为了使得网络控制与管理更加一体化和集中化，不同无线技术把相同或者相似的功能抽象出来，形成一个功能数据库供本地的虚拟化实体进行功能调用。为此，还需要推动相关接口传输协议和标准的制订。

4.4 用户移动性管理

无线网络需要保障移动用户在小区间的平滑无缝切换，无线网络虚拟化需要通过资源共享等方式为用户提供最适合的基站接入，特别是虚拟运营商需要选择租用合适的设备和频谱资源为其注册用户提供有效覆盖和容量支撑。因此，无线网络虚

拟化需要在服务提供商和基础设施提供商之间设计合理的频谱和基础设施共享协议,保障用户能够选择接入可以提供最佳服务体验的运营商网络。

此外,高质量的用户业务保证、安全的虚拟化网络以及先进的市场运营模式等也将是实现灵活智能、稳定可靠的无线网络虚拟化所需要解决挑战与难题。

5 结束语

无线网络虚拟化通过资源虚拟化和控制虚拟化,将传统静态封闭的网络转变为开放智能融合网络。虽然现在无线网络虚拟化还没有一个统一认可的标准,但是诸如软件定义网络(SDN)、软件定义无线电(SDR)以及认知无线电等技术的发展已经为无线网络虚拟化中面临的挑战提供了解决思路参考。本文主要介绍和分析了无线网络虚拟化主流架构和关键技术,这些架构和技术将会指导智能开放的未来无线网络设计。一体化、模块化的网络虚拟化结构,多维无线网络资源的共享,通用的虚拟化网络协议和接口设计,将是灵活智能、稳定可靠的无线网络虚拟化研究关注的热点。

参考文献

- [1] CHOWDHURY N M, BOUTABA R. A survey of network virtualization [J]. Computer Networks, 2010,54(5):862-876.
- [2] PENTIKOUSIS K, YAN W, WEIHUA H. Mobileflow: Toward software-defined mobile networks [J]. Communications Magazine, IEEE, 2013, 51(7):44-53.
- [3] COSTA-PEREZ X, SWETINA J, TAO G, et al. Radio access network virtualization for future mobile carrier networks [J]. Communications Magazine, IEEE, 2013,51(7):27-35.
- [4] FORDE T K, MACALUSO I, DOYLE L E. Exclusive sharing & virtualization of the cellular network: New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), [C]// Proceedings of the 2011 IEEE Symposium on, Aachen, 2011,5:3-6.
- [5] XIN W, KRISHNAMURTHY P, TIPPER D. Wireless network virtualization: Computing, Networking and Communications (ICNC) [C]// Proceedings of the 2013 International Conference on, San Diego, CA, 2013,1:28-31.
- [6] KIM B W, SEOL S H. Economic analysis of the introduction of the MVNO system and its major implications for optimal policy decisions in Korea [J]. Telecommunications Policy, 2007,31(5):290-304.
- [7] KOKKU R, MAHINDRA R, ZHANG H, et al. NVS: a substrate for virtualizing wireless resources in cellular networks [J]. Networking, IEEE/ACM Transactions on, 2012, 20(5): 1333-1346.
- [8] HADZIALIC M, DOSENOVIC B, DZAFERAGIC M, et al. Cloud-RAN: Innovative radio access network architecture: ELMAR [C]//Proceedings of the 55th International Symposium, Zadar, 2013,9:25-27.
- [9] MASENG T, ULVERSOY T. Dynamic frequency broker and cognitive radio [C]// Proceedings of the IET Seminar on Cognitive Radio and Software Defined Radios: Technologies and Techniques, London, 2008, 9: 1-5.
- [10] FENG Z Y, LI W, LI Q, et al. Dynamic Spectrum Management for WCDMA/DVB Heterogeneous Systems [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2011,10(5):1582-1593.
- [11] SHRESTHA S, LEE J, CHONG S. Virtualization and slicing of wireless mesh network [C]//Proceedings of the Conference on Future Internet (CFI), 2008,6.
- [12] FU F, KOZAT U C. Stochastic Game for Wireless Network Virtualization [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2013,21(1):84-97.
- [13] KOKKU R. CellSlice: Cellular Wireless Resource Slicing for Active RAN Sharing [C]//Proceedings of the Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2013 Fifth International Conference on, Bangalore, 2013,1:1-10. doi: 10.1109/COMSNETS.2013.6465548.
- [14] LI L E, MAO Z M, REXFORD J. CellSDN: Software-defined cellular networks [R]. Computer Science, Princeton University, Princeton, NJ, USA, 2012.
- [15] HOFFMANN M, STAUFER M. Network Virtualization for Future Mobile Networks: General Architecture and Applications [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Communications

作者简介



冯志勇,北京邮电大学博士毕业;北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室主任、教授、博士生导师,北斗系统频率组专家;主要研究方向为认知无线网络频谱感知与动态频谱资源管理、异构网络融合及跨层设计、无线网络虚拟化网络架构与关键技术等;已提交国际标准化提案30余篇;已发表学术论文100余篇(其中30余篇被SCI检索),出版著作2部。



冯泽冰,北京邮电大学信息与通信工程学院在读博士研究生;主要研究方向为异构无线网络资源管理、无线网络资源虚拟化技术与资源动态管控等。



张奇勤,北京邮电大学博士毕业;北京邮电大学信息与通信工程学院讲师;主要研究方向为认知无线网络体系架构、异构网络融合、无线网络虚拟化关键技术等。

综合信息

Gartner:2014年全球IT支出将稳步增长3.2%

2014年4月8日消息,Gartner发布最新预测,随着全球经济出现逐步复苏的迹象,2014年全球IT支出将稳步增长至3.8万亿美元,与2013年相比增长3.2%。

Gartner副总裁 Richard Gordon 表示:“全球企业目前正在逐步摆脱阴霾,恢复对IT的支出以支持其业务的增长。消费者会在2014年购买许多新的设备,不过,与前几年相比,这波换机潮将有较多是价格较低且功能

较基本的设备。”

Gartner全球IT支出预测作为全球主要技术趋势的领先指标,涵盖硬件、软件、IT服务以及通信市场。逾10年来,全球IT和业务高管们皆运用这些备受瞩目的季报洞察市场商机和挑战。

2014年终端设备市场预期将重新开始增长,全球支出将达到6 890亿美元,与2013年相比增长4.4%。

(转载自《中国信息产业网》)