



专题:4G&5G

基于软件定义的以用户为中心的 5G 无线网络架构

曲桦¹, 栾智荣¹, 赵季红^{1,2}, 徐西光¹, 张涛¹

(1. 西安交通大学电子与信息工程学院 西安 710049;

2. 西安邮电大学通信与信息工程学院 西安 710061)

摘要: 5G 无线接入网络是一种复杂的异构网络, 各个协议之间的封闭性限制了网络性能。为了统一管理异构网络, 向用户提供个性化的服务, 提出了一种基于软件定义的以用户为中心的新型网络架构。该架构通过软件定义的形式统一管理所有无线网络, 打破了传统蜂窝小区的概念, 针对每个用户生成以用户为中心的小区, 小区内的所有基站都能为该用户提供服务。这种新的网络架构能够为用户提供个性化的网络服务, 提升用户的峰值速率和边缘用户性能。

关键词: 5G; 软件定义无线网络; 以用户为中心的小区

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015051

Software Defined User Centric 5G Wireless Network Framework

Qu Hua¹, Luan Zhirong¹, Zhao Jihong^{1,2}, Xu Xiguang¹, Zhang Tao¹

(1. School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. School of Telecommunication and Information Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710061, China)

Abstract: The radio access network of 5G is a complex heterogeneous network. The independence of different protocols limits the network performance. To unify the management of the heterogeneous network and provide personalized service, a software defined user centric framework was provided. Such framework unifies the management of the heterogeneous network by the idea of software define, and it breaks the concept of traditional cell. The user centric cell is formulated for each user to provide better service and all the base stations in the cell can serve this user. This framework provides personalized service for each user and improves the peak rate as well as the cell edge rate.

Key words: 5G, software defined wireless network, user centric cell

1 引言

移动通信已经改变了人们的生活, 随着人们对高性能移动通信的不断追求, 5G 移动通信系统的研发在全世界

受到广泛关注^[1]。5G 移动通信系统是面向 2020 年以后社会信息需求的无线通信系统, 其支持业务总速率要达到 10 Gbit/s, 空中接口频谱效率和功率效率相较于 4G 要提升 10 倍^[1]。

收稿日期: 2014-12-03; 修回日期: 2015-02-02

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(No. 2014AA01A701), 国家自然科学基金资助项目(No.61371087)

Foundation Items: The National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(No.2014AA01A701), The National Natural Science Foundation of China (No.61371087)

论文引用格式: 曲桦, 栾智荣, 赵季红等. 基于软件定义的以用户为中心的 5G 无线网络架构. 电信科学, 2015051

Qu H, Luan Z R, Zhao J H, et al. Software defined user centric 5G wireless network framework. Telecommunications Science, 2015051

5G 典型场景涉及未来人们居住、工作、休闲和交通等各种区域,特别是密集住宅区、办公室、体育场、露天集会、地铁、快速路、高铁和广域覆盖等场景^[1]。从 5G 的典型应用场景可以看出,未来的通信网络需要在各种复杂的网络环境中时刻为用户提供良好的无线传输服务。同时,5G 网络还需要根据不同用户的业务需求,为用户制定有针对性的服务方案,体现个性化的网络服务。

在用户对无线传输需求的驱使下,无线网络提升了传输性能,但也出现了新的技术挑战。无线网络空中接口技术的不断更新导致了多种接入技术并存的现状。目前的无线接入网络包含 GSM 网络、CDMA 网络、3G 网络、LTE 网络等,不同制式的网络体现出纵向分布、相互封闭的特点。传统网络架构下,不同制式的网络由各自独立的控制单元进行管理,网络间缺乏信息交互与协同,这限制了网络性能。

未来的 5G 网络是一个多种无线接入技术并存的网络,为了最大化网络性能,需要提出一种全新的网络架构,统一管理不同的接入网络,实现提高网络传输速率和频谱效率的目标。通过分析当前无线网络控制架构的缺陷和未来无线网络需求,本文提出了一种新的基于软件定义的以用户为中心的无线网络控制架构。该架构一方面借鉴软件定义的思想控制不同制式的网络,另一方面以用户为中心,保证每个用户的传输性能,为用户提供个性化的传输服务。

2 现有无线网络存在的问题

现有无线异构网络是一种多种制式网络并存的无线接入环境,并朝着越来越密集的方向发展。通过对现有相关研究^[2-8]的分析,将无线网络存在的问题归纳如下。

2.1 从网络的角度

首先,现有无线网络架构缺乏协同感知网络环境的能力。频谱资源有限,密集网络中存在严重干扰。如何协调网络间资源是密集异构网络能否充分发挥性能的关键。有效的资源管理需要基站和用户在局部和大范围协同感知网络环境,并交互信息。现有的相关协作处理方案研究大都假设网络之间的信息可以任意交互,而实际上接入网并没有统一的信息交互协作处理平台。

其次,网络中信令开销与信息交互量会占用大量网络资源。无线资源协同管理的前提是网络节点(基站和终端)间的数据交互。为了更好地提供网络服务,未来的网络会在局部(如多基站为一个用户服务)和大范围(如频谱资源动态规划等)共同进行协作。基于不同粒度的协作都依赖

于大量的信息交互,包括环境信息、控制信息等。随着网络的逐渐密集部署,节点数量急剧增加,信息交互的开销会爆炸式增长,从而占据大量网络资源,而信息本身的可靠性也影响了网络性能的发挥。如何降低信令开销并增加信息的顽健性是未来密集网络迫切需要解决的问题。

再次,不同制式的网络难以协调资源。现有网络可以通过协作通信小范围协调同制式的网络资源,而缺少不同制式网络的资源协调能力,网络无法利用所有网络为用户提供可靠的服务。虽然同制式网络的负载均衡已经得到广泛研究,但不同网络间的负载均衡问题难以解决。需要提出一种网络资源的统一管理方法(称为接入网络的虚拟化技术),以统一调配无线资源,实现不同网络的负载均衡与协作,将所有无线网络虚拟化为统一的无线资源。

最后,用户的个性化服务难以实现。网络资源控制以小区为单位,难以顾及网络中的每个用户,尤其是处于多个网络边缘的用户。网络之间的独立性和封闭性降低了处于多个网络覆盖下用户的性能。

2.2 从用户的角度

网络环境越发复杂,而对于用户来说,相较于越来越复杂的网络,用户则希望感受到更简洁的网络服务。而对网络本身没有感受,终端需要做的决策越少越好,不论用户处于何种场景(多网络、单网络、密集、松散),用户只是希望得到高速服务,而不用关心具体的过程。对用户来说,现有密集网络的管理方法存在以下问题。

首先,用户需要繁琐的网络选择方法,人为选择不同制式的网络,如 Wi-Fi、LTE 等。而这种网络选择方法不一定能保证用户始终处于最佳通信质量。同时,由于用户数量大,这种网络选择方式也大大增加了信令开销和控制开销。

其次,网络稳定性和公平性差。用户大都以自身的通信状态和网络剩余负载作为网络接入的参考依据,忽视了他用户的网络感受。用户在网络中的服务质量不稳定,不同用户间的服务质量公平性差。同时,随着用户的移动,在多种网络间进行网络选择会产生大量切换,降低了网络传输的稳定性。

根据上述分析,5G 网络需要一种全新的网络架构,这种网络架构需要体现出更针对用户、更灵活、更开放、更易操作的特性。

3 相关研究

目前已经有大量国内外研究机构针对 5G 无线网络架



构展开研究。为了高效地控制无线网络,相关 5G 无线网络架构研究都引入了软件定义的思想,以实现无线网络的统一控制。

对于国内的 5G 架构相关研究,中国移动通信集团公司提出了 C-RAN 架构^[9],通过 RRU 和 BBU 的分离,设计了虚拟基站集群的架构模式,由集中式的基站资源池统一控制无线资源,实现实时物理资源的全局最优。中国电信集团公司提出了一种基于 SDN 的虚拟化融合移动核心控制网络架构^[10],将网络划分为业务层、控制层、转发层、接入层,能够支持包括 2G 网络、3G 网络、Wi-Fi 网络、LTE 网络等在内的多种接入技术。中兴通讯股份有限公司提出了一种基于云的网络架构^[11],主要包含 3 部分结构:无线云,将无线接入网虚拟化;网络功能云,具备无线控制功能与核心网功能;业务云,提供各种业务服务。清华大学提出了一种 OpenRAN 架构^[12],该架构提出无线接入点以支持多种接入制式,可以根据具体网络需求更改传输协议,在上层利用 SDN 控制器实现网络的集中式控制。

在国外的 5G 架构研究中,美国斯坦福大学的团队已经获得大量研究成果。斯坦福大学提出的 Open Radio 技术^[13],在无线协议栈中加入可编程无线数据平面,该平面模块化和可编程接口声明。这种设计允许运营商根据功能需求灵活生成控制协议。另外,斯坦福大学还提出了 SoftRAN 架构^[6]。该架构是一个集中式的软件定义无线接入网,为有效执行切换和分配无线资源,对所有 LTE 基站进行集中控制,所有基站被抽象为一个虚拟元素,由一个逻辑中央控

制器管理。另外,还有一些研究^[4,14]从总体架构的角度提出需要在无线接入网上层增加一个软件定义控制层,主要描述了网络功能和粗略网络架构,没有给出详细的架构。

4 一种基于软件定义的以用户为中心的网络架构

目前已有的 5G 网络架构研究的关注点大都集中在如何统一管理不同制式的基站,而忽略了对用户的管理。用户依然需要繁琐的网络选择和优化才能拥有较好的通信质量。针对上述问题,提出了一种基于软件定义思想的以用户为中心的网络架构。该架构同时考虑了未来网络的演进需求和用户简单化的接入需求,一方面利用集中式的方法统一控制不同制式的接入网络,另一方面针对每一个用户优化网络资源。

图 1 表示一种以用户为中心的网络结构。以用户为中心设定小区,用户可以与其通信范围内的所有基站通信,基站可以是传统的基站,也可以是多模基站(能够使用不同制式通信)。该架构打破了以往以基站为中心的小区概念,改为针对每个用户进行无线资源管理和优化。

以用户为中心的网络架构包含 3 层结构:接入层、本地控制与资源层、控制层。接入层负责用户数据的无线传输,本地控制与资源层由每个基站的本地控制器(local controller, LC)构成,控制层用软件定义的方式为每个用户生成一个虚拟用户控制器(virtual user controller, VUC),该 VUC 能够控制与这个用户通信的所有基站。LC 受 VUC 的控制,具体执

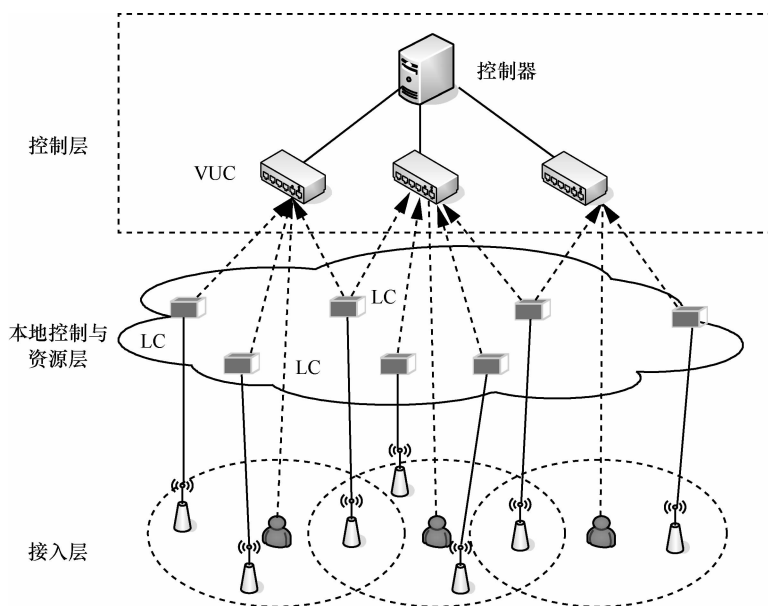


图 1 以用户为中心的网络架构示意

行无线资源管理过程。3 个层的功能具体介绍如下。

(1)接入层

在接入层,用户根据其附近的无线接入点信号强度构建以用户为中心的小区。传统小区中,基站是小区的中心,一个基站能够为多个用户提供服务。随着无线网络的密集化,传统小区难以保证其边缘用户的性能,不同小区的负载不易均衡。考虑到无线接入点的密集化,提出了以用户为中心的小区。相较于传统小区,以用户为中心的小区更强调每个用户的性能,用户是小区的中心,每个用户可以由多个基站提供服务。由于不同无线接入点的发射功率不同,以用户为中心的小区形状不规则。以用户为中心的小区生成过程可以描述为:用户检测周围无线接入点信号强度;将所检测的无线信号强度与预先设定的功率门限对比,如果高于此门限,则认为该无线接入点能够为其服务。由于实际网络中用户的位置在发生变化,同时,通信环境也在发生变化,所以对无线接入点的检测是一个在线的过程,以用户为中心的小区会随时根据网络环境的变化而改变。用户可以根据基站的负载情况、信号质量等因素选择与其小区中的多个基站同时通信。

(2)本地控制与资源层

本地控制与资源层负责控制每个基站的底层物理资源。LC 是一种模块化的 BBU 结构,为不同制式的通信协议提供统一的控制平台。相较于传统 BBU,LC 对所有物理层控制功能进行模块化,如调制形式、编码形式等。每个 LC 通过对模块的选择实现物理层资源管理,它具有足够的灵活性,以实现不同制式的通信。不同制式的通信系统在物理层中都需要实现诸如卷积、FFT、信道估计、交织等功能见表 1,同时这些功能在不同制式的通信系统中只是所选取的参数或类型不同。随着硬件的快速发展,已有功能强大的商用 DSP 平台可以全面地实现表 1 中的所有功能。因

此,可以将 BBU 中不同的处理功能进行模块化设计,这样 BBU 可以根据上层发来的控制信息选择特定制式通信所需要的处理模块进行通信。这种将控制和数据分离的架构,使得控制协议与处理硬件解耦,减小了控制协议更新换代的成本。由于以前控制协议与处理硬件之间的紧耦合关系,更新协议必须同时更新处理硬件,所以更新成本很大。这是一种物理层资源虚拟化理念,能够实现不同制式、不同网络状态的无线资源的统一管理。上层控制单元通过统一的控制信令就能够统一管理所有的无线接入点。

(3)控制层

控制层的集中控制器通过软件定义的形式管理资源层的 LC。集中控制器为每个用户虚拟化出一个 VUC。VUC 用于管理与该用户通信的所有基站,以便为用户提供随时随地的质量无线传输服务。VUC 根据用户当前的业务需求和每个基站当前的通信环境、负载情况等信息,管理由哪些基站进行通信。同时,VUC 也负责控制这些基站的频谱资源,以减小基站间的干扰,最大化频谱效率。VUC 之间具有自组织功能,主要用于协调不同用户之间的资源,通过协同管理的方法降低用户间干扰,以均衡不同用户间的性能,提高网络的频谱效率。

该架构的优点可以概括如下。

- 不同于传统的以基站为中心的小区,一个基站为多个用户服务,其根据用户附近无线接入点信号强度,构建以用户为中心的小区,小区内基站为用户服务,不仅可以在复杂的网络环境中为用户提供良好的无线传输服务,保证每个用户的通信质量,还能够根据不同用户对业务的不同需求,为用户提供有针对性的个性化服务。
- 通过接入层基站和用户在局部和大范围协同感知网络环境,使得在密集异构网络下合理协调网络间资源成为可能。而且通过无线资源的协同管理,实现了不同网络的负载均衡与协作,降低了网络中的干扰,提升了频谱效率。
- 对物理层控制功能的模块化实现了所有无线接入点的统一控制,使得网络具有足够的灵活性。同时,模块化的设计可以根据上层发来的控制信息选择特定制式通信所需要的处理模块进行通信,打破了不同网络间相互隔离的问题。另外,这种将控制和处理分离的架构,使得控制协议与处理硬件解耦,减小了控制协议更新换代的成本。

表 1 各制式物理层功能模块

物理层功能模块	Wi-Fi	LTE	3G	DVB-T
FIR/IIR	√	√	√	√
扩频			√	
FFT	√	√		√
信道估计	√	√	√	√
QAM 映射	√	√	√	√
交织	√	√	√	√
卷积编码	√	√	√	√
Turbo 编码		√	√	
循环冗余校验(CRC)	√	√	√	



- 提出了基于软件定义的虚拟用户控制器概念, VUC 管理用户小区中的所有基站, 根据用户的业务需求和当前的无线网络环境为用户选择合适的网络制式, 不需要用户人为地选择网络, 大大降低了信令的开销与控制成本, 提高了网络的公平性。同时通过 VUC 之间的自组织功能, 为多个用户合理分配网络资源, 提升了网络的稳定性。

5 结束语

未来无线网络将朝着密集、异构的方向发展, 不同网络间的封闭性限制了网络性能。通过分析当前网络存在的问题和已有的相关 5G 网络架构, 提出了一种基于软件定义的以用户为中心的新型无线网络架构, 该架构能够为用户提供个性化的服务。本文从功能的角度对所提出的架构进行了描述, 5G 网络架构各个模块的细化功能还有待进一步研究。

参考文献

- 1 IMT-2020(5G)推进组. 5G 愿景与需求白皮书, 2014
IMT-2020 (5G) Promoting Group. 5G Vision and Demand White Paper, 2014
- 2 Costanzo S, Galluccio L, Morabito G, *et al.* Software defined wireless networks: unbridling sdn. Proceedings of European Workshop on the Software Defined Networking (EWSN), Roma, Italy, 2012
- 3 Ali-Ahmad H, Cicconetti C, De La Oliva A, *et al.* An SDN-based network architecture for extremely dense wireless networks. Proceedings of IEEE SDN for the Future Networks and Services (SDN4FNS), Trento, Italy, 2013
- 4 Ali-Ahmad H. CROWD: an SDN approach for DenseNets. Proceedings of European Workshop on the Software Defined Networks (EWSN), Berlin, Germany, 2013
- 5 Bansal M, SachinKatti J M, Levis P. OpenRadio: a programmable wireless data plane. Proceedings of the First Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks (HotSDN'12), New York, NY, USA, 2012
- 6 Gudipati A, Perry D, Li L E, *et al.* Softran: software defined radio access network. Proceedings of the Second ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Software Defined Networking, Beijing, China, 2013
- 7 Li L E, Mao Z M, Rexford J. Toward software defined cellular networks. Proceedings of European Workshop on Software Defined Networking (EWSN), Darmstadt, Germany, 2012
- 8 Yang M, Li Y, Jin D, *et al.* OpenRAN: a software-defined ran architecture via virtualization. Proceedings of the ACM SIGCOMM 2013 Conference on SIGCOMM, Hong Kong, China, 2013
- 9 中国移动通信集团有限公司. C-RAN 白皮书, 2010
China Mobile Communications Corporation Ltd. C-RAN White Paper, 2010
- 10 胡晓娟, 张园, 夏旭等. 基于 SDN 融合的虚拟化移动核心网络研究. 电信科学, 2013, 29(9): 51~54
Hu X J, Zhang Y, Xia X, *et al.* Research on the SDN-based and virtualized mobile control network. Telecommunications Science, 2013, 29(9): 51~54
- 11 中兴通讯股份有限公司. Realizing mobile internet & IoT in 5G networks. Proceedings of IMT2020, Beijing, China, 2014
ZTE Corporation. Realizing mobile internet & IoT in 5G networks. Proceedings of IMT2020, Beijing, China, 2014
- 12 Yang M, Li Y, Jin D P, *et al.* OpenRAN: a software-defined RAN architecture via virtualization. Proceedings of the ACM SIGCOMM Conference, Hong Kong, China, 2013
- 13 Bansal M, Mehlman J, Katti S, *et al.* OpenRadio: a programmable wireless dataplane. Proceedings of the First Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks (HotSDN'12), New York, NY, USA, 2012
- 14 E leni P. Network virtualization trends: virtually anything is possible by connecting the unconnected. Proceedings of IEEE SDN for Future Networks and Services (SDN4FNS), Trento, Italy, 2013

[作者简介]



曲 桦, 男, 西安交通大学教授、博士生导师, 主要研究方向为现代通信网、计算机网络体系结构、移动互联网、智慧城市等。

栾智荣, 男, 西安交通大学博士生, 主要研究方向为新一代天线网络体系架构、无线异构网络的无线资源管理技术、密集部署小区网络无线资源管理等。

赵季红, 女, 博士, 西安邮电大学教授、博士生导师, 主要研究方向为无线宽带通信网、新一代网络的管理与控制、5G 网络等。

徐西光, 男, 西安交通大学博士生, 主要研究方向为无线通信、宽带通信网络和认知无线电网络。

张涛, 男, 西安交通大学博士生, 主要研究方向为下一代互联网与未来网络、面向内容网络、现代通信网、移动互联网等。