



综述

# 基于 C-RAN 的 5G 无线接入网架构

雷秋燕, 张治中, 程 方, 胡昊南

(重庆邮电大学通信网测试工程研究中心 重庆 400065)

**摘 要:** 在分析传统蜂窝结构的无线接入网面临越来越多的挑战的基础上, 介绍了当前移动通信系统的发展趋势和需求, 分析了第五代移动通信系统(5G)的研究目标以及对未来网络的要求。针对该问题, 提出了基于 C-RAN 的新型 5G 无线接入网架构, 并进一步阐述了 5G 通信系统网络架构的潜在关键技术, 包括 UNF、虚拟化、SDN、NFV、CDN 和绿色通信, 为 5G 网络架构研究提供参考。

**关键词:** 无线接入网; 5G; C-RAN; 超密集网络; 虚拟化; 内容分发网络; 绿色通信

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2015028

## 5G Radio Access Network Architecture Based on C-RAN

Lei Qiuyan, Zhang Zhizhong, Cheng Fang, Hu Haonan

(Test Engineering Research Center of Communication Networks,

Chongqing University of Post and Telecommunication, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the traditional cellular structure of the radio access network (RAN) which is facing more and more challenges, the development trend and demand of current mobile communication system were introduced, and the research goal and requirement for the fifth generation mobile communication system (5G) were analyzed. Aiming at solving this problem, a new type of radio access network architecture based on C-RAN was proposed. Moreover, the potential key technologies were illustrated in detail, including UNF, virtualization (software defined network and network function virtualization), CDN and green communication. Those provide reference for 5G access network architecture research.

**Key words:** radio access network, 5G, C-RAN, ultra-dense network, virtualization, content distribution network, green communication

### 1 引言

随着 4G 网络的商用和广泛部署, 用户可以享受到越来越高速的数据业务。这进一步刺激了用户对移动设备(智能机、平板电脑等)的使用, 因此蜂窝网的流量负载急

剧增长。根据 Cisco 在 2014 年 2 月份发布的流量数据预测报告, 2013-2018 年, 移动数据流量会以 61% 的年复合增长率增长<sup>[1]</sup>。然而, 在 4G 中广泛采用的还是传统蜂窝结构的无线接入网, 尽管采用了一些先进的技术, 如中继、OFDM、MIMO、抗干扰措施等来增大系统容量和提高服务

收稿日期: 2014-07-11; 修回日期: 2015-01-05

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)-5G 移动通信系统总体技术研究基金资助项目(No.2014AA01A706), 国家科技重大专项基金资助项目(No.2012ZX03001021), 重庆市高校创新团队建设计划基金资助项目(No.2013)

Foundation Items: The National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (No.2014AA01A706), The National Science and Technology Major Special Fund(No.2012ZX03001021), The Chongqing University Innovation Team Building Special Fund (No.2013)

质量,仍然无法满足不断增长的用户和网络需求,接入网越来越成为严重影响用户体验的瓶颈。这迫使运营商在下一代移动通信网络中找到一种显著提高系统容量、减少网络拥塞、成本效益较高的接入网架构。

蜂窝式系统设计历来以小区作为无线接入网络的基本单位。终端通过建立下行链路和上行链路的连接,承载控制,与该终端所处小区的基站建立连接,获得服务。但是随着移动通信系统的发展,以小区为中心的接入网架构面临很大挑战。

- 异构网络的出现,致使基站密度大幅上升。但是蜂窝网本身并不适合异构网络。而且未来5G网络中将会部署大量不同发射功率、覆盖范围的基站,网络组成更加复杂。
- 在有限频谱资源下如何提高频带利用率,是移动通信面临的一个非常大的挑战。传统蜂窝网架构对频谱利用率不高,而且目前移动通信系统使用的频带是分散的,这些片段是根据不同频段、国家、地区的可用性以及带宽量划分的。这就会导致如漫游、设备复杂、缺少经济效益以及干扰等一系列问题。
- 新兴的业务和不断出现的终端,如物联网、D2D(device to device,设备到设备)通信等,对传统蜂窝接入网架构带来了很大冲击。新兴业务对网络架构的要求重心从网络核心转移到外围(如设备、本地无线代理、中继等),也可能致使网络架构重新被定义。

综上所述,从技术、业务等方面的发展趋势来看,下一代移动通信系统的接入网若满足不断发展的网络需求就需要有一些改变。很多论文都探讨了未来通信系统接入网的架构问题:参考文献[2]中提出了一种mobile femto cell网络架构,通过分布式天线系统,区分室内场景和室外场景;参考文献[3]认为,在5G中,以基站为中心的蜂窝系统架构可能会发生改变,应重新考虑上下行链路以及控制信道和数据信道,提供不同优先级、不同目的节点的路由信息流,从而提出了一种以设备为中心的架构;参考文献[4]中提出了一种Phantom cell网络架构,数据和控制平面分离,控制信息是由高功率节点在微波频率上发送,而有效载荷数据是由低功率节点在毫米波频率传输。然而,这些方案都没有考虑移动通信网络演进的一个重要趋势——集中化和云计算<sup>[5,6]</sup>。“云”是在地理上分布式的数据中心,每

个都包含了上百个服务器。最大的优点是快速和灵活的访问共享池动态配置的资源,尤其是存储能力和计算能力。所以,本文在C-RAN架构的基础上,提出了一种基于C-RAN的5G无线接入网架构的可行方案。

## 2 5G 对网络的要求

2013年12月,随着我国第四代移动通信(4G)牌照的发放,4G技术正式走向商用。与此同时,面向下一代移动通信需求的第五代移动通信(5G)的研发也已在世界范围内展开,成立了专项研究组,如欧盟EMIS、韩国5G论坛、中国IMT2020项目组等。尽管4G刚刚商用,就对5G展开广泛研究,看起来时间很充裕,但是从用户需求和互联网的发展来看,5G研究已经迫在眉睫。

面向2020年及未来,超高清、3D和浸入式视频的流行将会驱动数据速率大幅提升。增强现实、云桌面、在线游戏等业务,不仅对上下行数据传输速率提出挑战,同时也对时延提出了“无感知”的苛刻要求。未来人们对各种应用场景下的通信体验要求越来越高,用户希望能在体育场、露天集会、演唱会等超密集场景以及高铁、车载、地铁等高速移动环境下也能获得一致的业务体验<sup>[5]</sup>。5G的典型应用场景如图1所示。

5G网络将会提供以用户为中心和环境感知的体验,个性化内容和辅助业务<sup>[6]</sup>。这显然与3G/4G网络设计主要考虑峰值速率和频谱效率的改善是截然不同的。中国移动通信集团公司(以下简称中国移动)提出了包括用户体验速率、连接数密度、端到端时延、移动性、流量密度和用户峰值速率的5G关键指标,并且特别提到了能效问题和频谱效率<sup>[7]</sup>。从中可以看出,5G不再一味强调峰值速率,而是把用户体验放在第一位。然而5G是一个泛技术时代,多业务系统、多接入技术、多层次覆盖融合成为5G的重要特征。如何在“异构网络”中向用户提供更好的业务体验 and 用户感知是运营商面临的一大挑战。因此,未来的无线接入网应满足以下要求。

- 大容量且无所不在的覆盖,容量提升是移动通信网络永远的追求。随着用户数、终端类型、大带宽业务的迅猛发展,大容量且无所不在的无线接入网是5G的首要任务<sup>[8]</sup>。
- 更高速率、更低时延、更高频谱效率。视频流量大约占移动总流量的51%,预计到2017年会增加到67%<sup>[1]</sup>,实时视频业务进一步提高了对网络的要求。

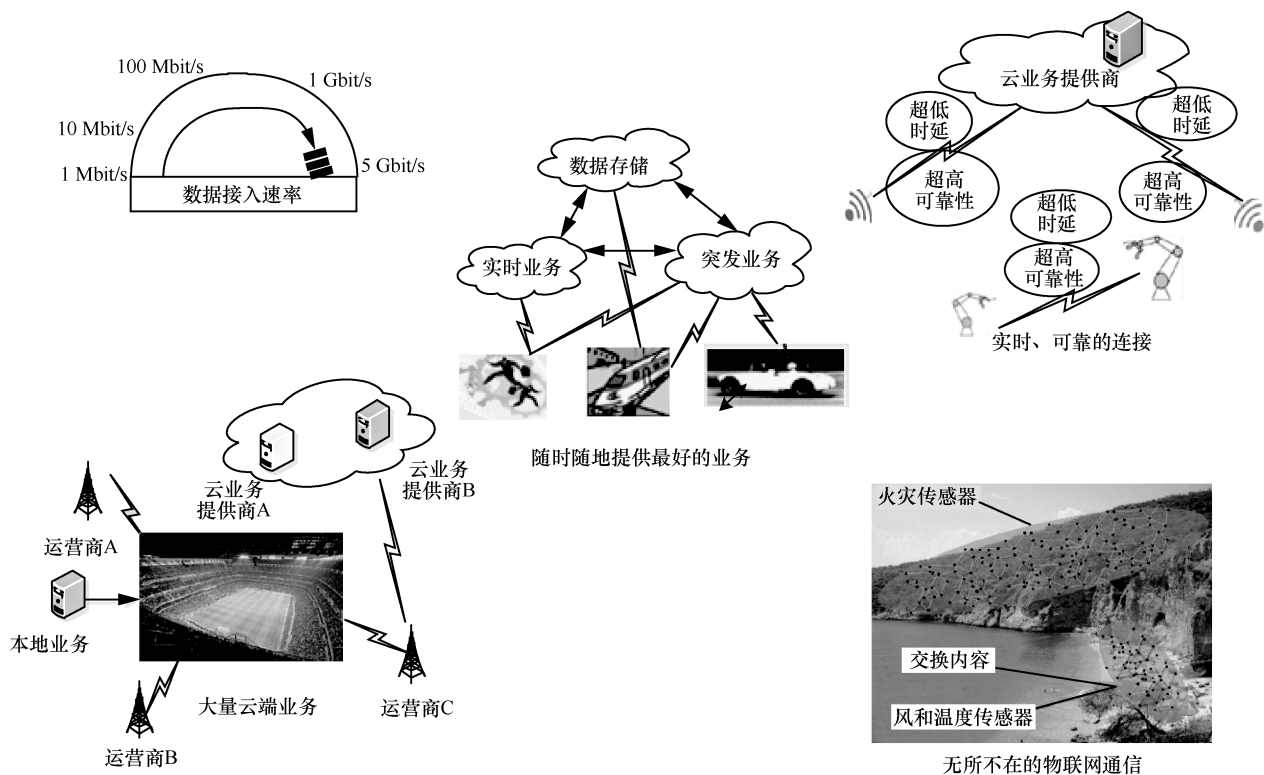


图1 5G典型应用场景

- 开放平台,易于部署和运维,支持多标准和平滑升级。
- 网络融合,从移动网络的发展历程来看,未来的5G网络很难做到一种技术、架构全覆盖,M-RAT (multiple radio access technology,多无线接入技术)会在将来一个很长时间段内并存,多种技术融合、多种架构融合是必然趋势<sup>[11,12]</sup>。
- 低能耗。未来的5G接入网必须是一种前瞻性的、可持续性的架构,而基站能耗占通信系统总能耗的65%<sup>[10]</sup>,所以低能耗的绿色通信在设计网络架构时是一个必须考虑的问题<sup>[11,12]</sup>。

能够很好地满足以上要求的集中式无线接入网络已经受到越来越多的关注。集中式接入网架构是将射频、基带、计算等资源进行“池化”,供网络作统计复用并接受统一的资源管控,打破了传统通信系统中不同的基站间、网络间软硬件资源不能共享的瓶颈,从而为真正实现异构网络融合、技术融合奠定了基础。以中国移动提出的C-RAN为典型代表。

未来5G可能采用C-RAN接入网架构。C-RAN是对传统无线接入网的一次革命。C-RAN的目标是从长期角度出发,为运营商提供一个低成本、高性能的绿色网络架构,让

用户享受到高QoS(quality of service,服务质量)的各种终端业务。

C-RAN是基于集中化处理(centralized processing)、协作式无线电(collaborative radio)和实时云计算架构(real time cloud infrastructure)的绿色无线接入网架构(clean system)<sup>[13]</sup>。基本思想是通过充分利用低成本高速光传输网络,直接在远端天线和集中化的中心节点间传送无线信号,以构建覆盖上百个基站服务区域,甚至上百平方公里的无线接入系统。C-RAN的网络架构如图2所示。

C-RAN的网络架构基于分布式基站类型,分布式基站由BBU(base band unit,基带单元)与RRU(remote radio unit,射频拉远单元)组成。RRU只负责数字—模拟变换后的射频收发功能,BBU则集中了所有的数字基带处理功能。RRU不属于任何一个固定的BBU,BBU形成的虚拟基带池,模糊化了小区的概念。每个RRU上发送或接收的信号的处理都可以在BBU基带池内一个虚拟的基带处理单元内完成的,而这个虚拟基带的处理能力是由实时虚拟技术分配基带池中的部分处理能力构成的。实时云计算的引入使得物理资源得到了全局最优的利用,可以有效地解决“潮汐效应”带来的资源浪费问题。同时

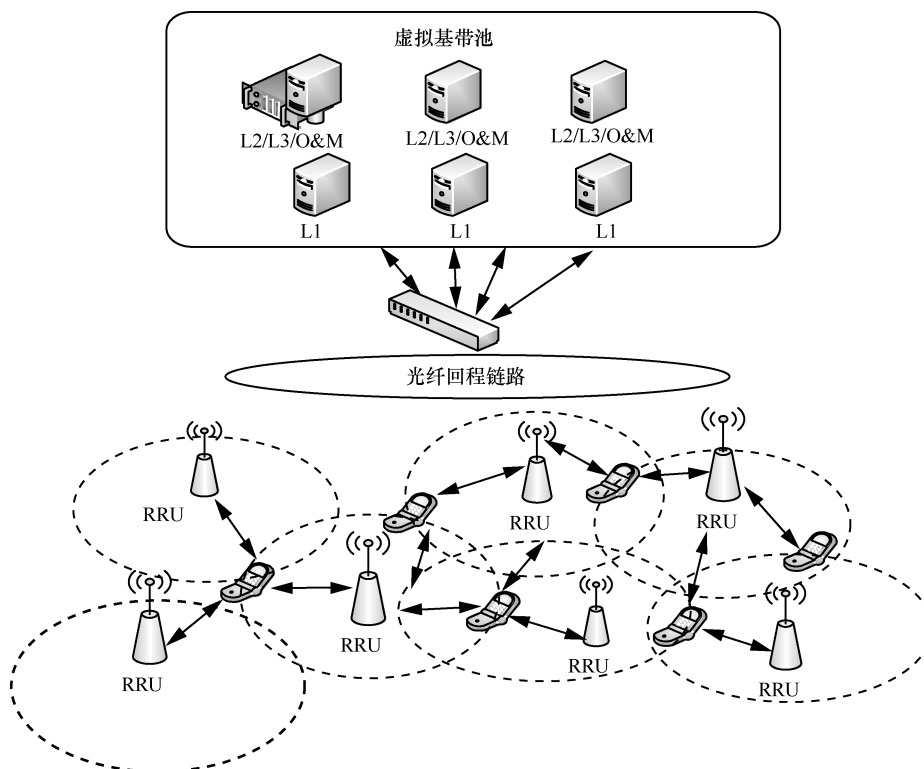


图2 C-RAN 的网络架构

C-RAN 架构适于采用协同技术,能够减小干扰,降低功耗,提升频谱效率,同时便于实现动态使用的智能化组网,集中处理有利于降低成本,便于维护,减少运营支出。

### 3 基于 C-RAN 的 5G 接入网架构

集中式架构的 C-RAN 有很多优势,但是完全的集中式控制不能自适应信道环境和用户行为等的动态变化,不利于获得无线链路自适应性能增益。这是因为在实际无线通信系统下,无线网络的完全集中式的网络架构和组网方法不足以实现理想的实时计算。而且无线网络环境动态时变,用户行为属性复杂多变,基站负载情况随时间变化,都会使无线接入网中相对静止的计算端不能实时适配动态多变的无线接入端,从而导致集中式处理不能实现资源的全局最优利用。而且,还会增加回程链路的开销,扩大无线接入链路信道的不理想性,从而恶化无线接入网络的性能。因此,本文提出了一种基于 C-RAN 的演进型无线接入网架构——eC-RAN。eC-RAN 主要包含三大部分:RRU 部署、本地云平台和后台云服务器,其网络架构如图 3 所示。

#### 3.1 RRU 部署

通过布置大规模的 RRU 可以实现蜂窝网络的无缝覆盖,因此 RRU 部署一直是未来集中式无线接入网的研究

重点。考虑到实际无线接入网中业务密度的不同,RRU 部署可以采用一种新型的部署方案——eRRU (enhanced remote radio unit,增强的远端射频单元)<sup>[14]</sup>。eRRU 在普通 RRU 的基础上增加了部分无线信号的处理能力。在某些网络状况变化快、业务需求量大,用户行为属性复杂和覆盖需求大的区域,预先部署一定数量的潜在的 eRRU,再部署一定数量的 RRU。因为其具有适应网络状态的特性,因此称为智能适配的 RRU 部署方案,其网络架构如图 4 所示。

在普通区域,可以均匀部署 RRU。在业务密集区域中部署的 RRU 不与本地云平台的基带池直接相连,而是通过光回程链路与该区域的 eRRU 进行互联,并且通过该区域内的潜在 eRRU 接入本地云平台的基带池。当业务量需求低、网络负载少和覆盖需求小,并且网络性能满足要求的时候,部署了潜在的 eRRU 的区域,不需要增加 eRRU 的无线信号处理能力。此时,该区域内所有 RRU 的无线信号处理和资源都由本地云平台集中管控;当业务量需求增加,网络负载增多和覆盖需求变大或者网络性能恶化的时候,触发无线网络架构的自适应增强。潜在的 eRRU 在本地云平台的控制下,增加部分无线信号的处理能力,控制该区域内与其相连的 RRU 的无线信号处理,但是相应的无线



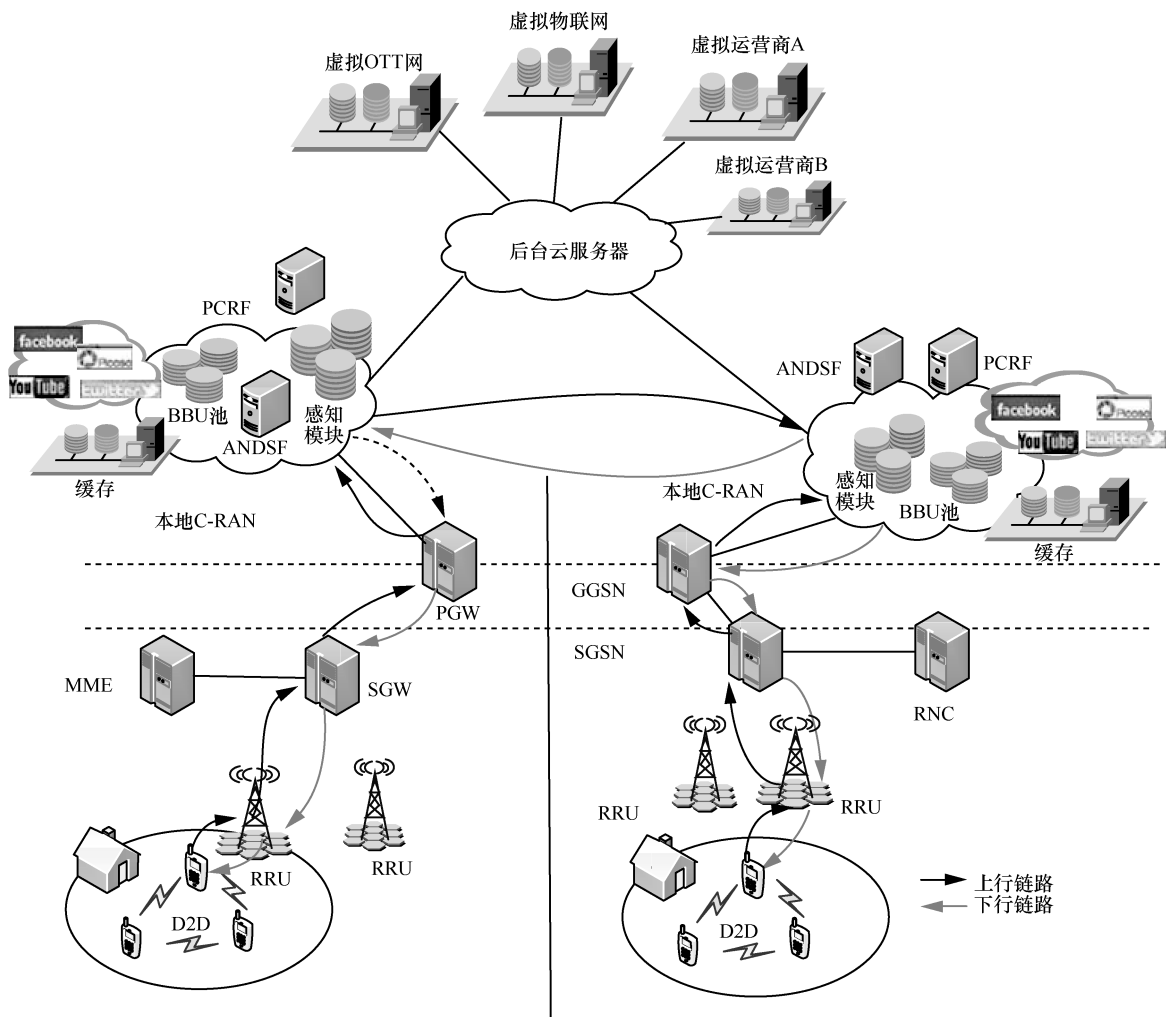


图3 基于C-RAN的5G无线接入网架构

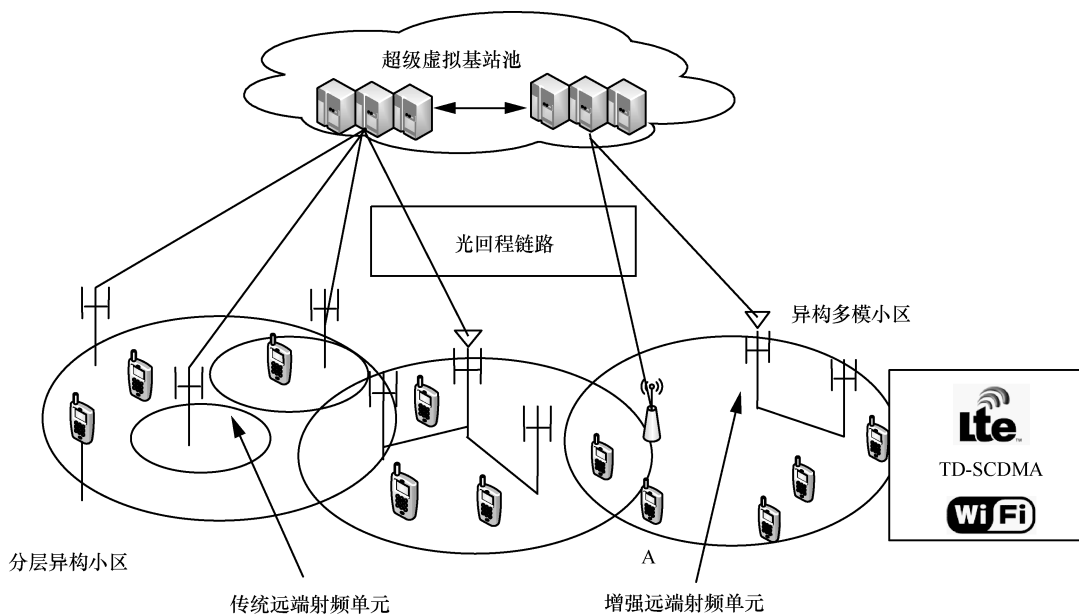


图4 智能适配RRU部署方案

资源管理仍然集中在本地云平台。同时,如果 eRRU 到虚拟基站池的光纤回程链路上的容量超过门限值,就会触发无线信号压缩处理,以适应有限的光回程链路带宽要求。

### 3.2 本地云平台

本地云平台是 RRU 和后台云服务器之间的网络单元,它们之间通过光纤相互连接。本地云平台负责管理调度由一定数量的 RRU 组成的“小区簇(cell cluster)”,如用户移动性管理、异构网络融合、热点缓存内容分发等。这可以进一步降低 C-RAN 网络架构和调度过程的复杂度。此外,本地云平台也要负责与其他相邻本地云平台之间的信息交互。该平台主要包含以下功能实体。

#### (1) 感知模块

未来的网络是一个融合的网络,环境复杂多变。存储用户和网络的情景信息是很有必要的。本方案中,“情景感知”是指通过获取接入方式、用户位置、优先级、应用类型等信息。从而准确判断用户需求,同时根据用户行为偏好分配网络资源,提高用户满意度,自适应优化网络资源,使网络趋向智能化。

物联网作为未来移动通信发展的主要驱动力之一,为 5G 提供了广阔的前景。面向 2020 年及未来,移动医疗、车联网、智能家居、工业控制、环境监测等将会推动物联网应用爆发式增长,数以千亿的设备将接入网络,实现真正的“万物互联”。如何在资源受限的情况下实现同时监测和传输如此密集的网络节点,同时尽可能地减少庞大的数据监测带来的信令开销是一个很大的挑战。情景感知通过共享信息而不是直接通信使其成为可能<sup>[15]</sup>。

此外,未来的 5G 网络中,自定义的个性化服务是提升用户感知的一个重要组成部分<sup>[16]</sup>。感知模块可以通过本地存储的用户数据进行分析,提取用户偏好,向用户定时推荐最新网络信息,并且根据用户的反馈不断调整,使感知模块的数据更加精确。

#### (2) 缓存模块

把互联网资源放在距离移动用户更近的网络边缘,使得同时减少网络流量和改善用户体验质量成为可能。移动多媒体流量的很大部分是一些流行内容(如流行音乐、视频)的重复下载,因此可以使用新兴的缓存和交付技术,即把流行的内容存储在中间服务器。这样,更容易满足有相同内容需求的用户,而不再从远程服务器重复地传输,因此可以明显减少冗余流量,缓解核心网的压力。参考文献[17]中对“femto caching(毫微微缓存)”概念进行了讨论和评

估,即视频内容通过在家庭基站网络中分布式的“缓存辅助”分发。在本文提出的方案中,本地平台可以通过对感知模块存储的数据进行分析,预测流行度来提高存储内容的命中率。相邻的本地云平台可以存储不相同的内容,它们之间可以实现共享和交换缓存。

通过大量数据统计可以发现视频流量的冗余度高达 58%,通过部署缓存服务器可以大大提高网络性能,用户获得分发内容所需时延更小。在杭州数据中心的测试结果表明,通过部署缓存可以减少 52% 的成本费用<sup>[18]</sup>。

当然,有些内容不需要存储多份,而且缓存也不是存储得越多越好。要在存储缓存代价和效益之间做出很好的权衡,缓存策略对整体缓存性能至关重要,因此缓存模块需要注意以下两点。

- 新内容不断到来,流行度和用户需求不断改变,要及时做出合适的缓存选择。
- 服务连续性,如切换时如何从源 RRU 到目标 RRU (甚至跨本地云平台)之间传输内容。移动感知和预提取技术在接入网策略中很有必要。

在未来 5G 接入网技术中,D2D 是一项新兴的关键技术<sup>[19,20]</sup>。这会进一步促进缓存策略的改变,用户可以从相邻终端获取缓存内容。此时,缓存效率会更高,大大减少网间流量,降低运营成本。

#### (3) 多网络控制和融合实体

正如上文提及的,5G 不是单单一种技术就能实现的,而是一个泛技术时代、多业务系统、多接入技术、多层次覆盖。多网络融合作为 5G 关键的研究点,已经是业界的共识。网络融合可以增加运营商对多个网络的运维能力和管控能力,最终提升用户体验和网络性能。在本地云平台中增加网络融合控制实体来管理和协调各个网络,达到网络融合效果,从而达到整体最优。图 5 所示为一种集中式的多网络融合控制实体框架,主要包括了移动性管理、传输时延、网络间资源协调等。

### 3.3 后台云服务器

后台云服务器其实是一个庞大的服务器数据中心,将这些服务器划分为不同的专用虚拟网,负责特定的业务,如虚拟物联网、虚拟 OTT(over the top)网、虚拟运营商 A 网、虚拟运营商 B 网等。对服务器进行划分的目的是为了更好地利用业务特性,开发不同的管理系统,从而更好地满足业务需求。例如,在未来 5G 网络中,物联网是一个很重要的业务网,其对时延的要求特别高。因此,虚拟物联网

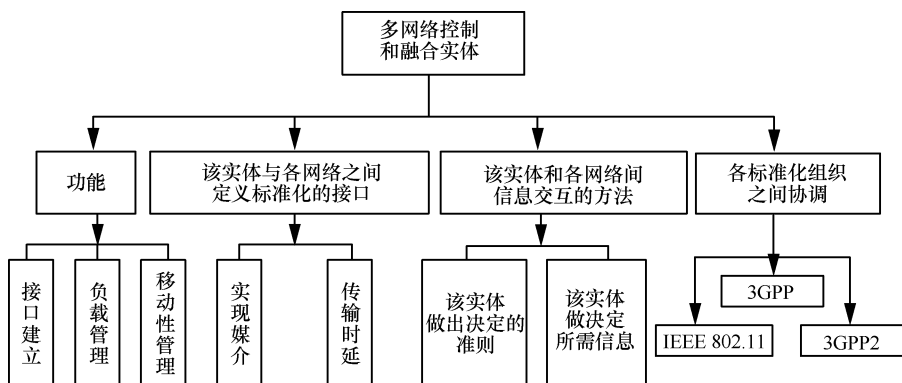


图5 多网络融合控制实体框架

下对应的服务器管理和处理所属本地云平台的数据时,管理系统对时延和差错率的敏感度就会比较高,系统中所有算法的出发点都是为了降低时延,而能耗、频谱利用率的权重会有所降低。而在虚拟运营商专用网中,传统的语音和短信业务对这些要求则没有那么严格,可以适当提高能耗、频谱效率的性能要求。通过高配置、高处理能力的后台云服务器的计算和管理,在未来5G接入网中,系统性能会大大提高,为用户提供更好的服务。

## 4 5G 网络架构的关键技术

体系结构变革将是新一代无线移动通信系统发展的主要方向。现有的扁平化、IP化体系结构促进了移动通信系统发展与互联网的高度融合,高密度、智能化、可编程则代表了未来移动通信演进的进一步发展趋势。为提升其业务支撑能力,5G在网络技术方面将有新的突破。5G将采用更灵活、更智能的网络架构和组网技术:超密集部署、虚拟化<sup>[21]</sup>;控制与转发分离的SDN架构、内容分发网络(content distribution network, CDN),用来改善移动互联网用户的业务体验;网络架构整体更注重绿色通信,使5G成为前瞻性的网络架构。

### 4.1 超密集网络

在未来很长一段时间内,5G网络会和现有移动通信系统、无线接入技术共存,如4G、LTE、Wi-Fi等。既有广泛存在的宏基站,也有为了改善小区边缘用户业务质量,进行热点覆盖而密集部署的小蜂窝,如pico、femto等。5G处在一个多业务系统、多接入技术以及多层次覆盖的复杂网络,网络拓扑结构和特性变得极为复杂。为了应对不能再生的频谱资源,需不断减小小区半径,提高频谱利用率。根据预测,未来无线网络中,在宏蜂窝覆盖下,各种无线传输

技术的各类低功率节点的部署密度将达到现有站点部署密度的10倍以上,站点之间的距离达到10 m甚至更小<sup>[22-25]</sup>,形成超密集网络(ultra-dense network, UDN),这给网络运营管理、资源分配带来了巨大挑战。

对于未来5G复杂的超密集异构网络,M-RAT之间的干扰、频谱共享、回传网络等都是值得深入研究的问题。也就是说,5G需要具有环境和业务感知能力,统一自配置、自优化的网络技术,实现对网络环境、业务需求实时感知。并据此动态地调整和配置网络策略、系统参数和资源分配,从而实现不同的类型的站点或不同制式的空中接口动态调度,使系统可以最优地利用各种网络资源,为用户提供最优的业务体验。

### 4.2 网络虚拟化

网络虚拟化可以给运营商带来巨大的好处,最大限度地提高网络资源配置、开发最优的网络管理系统以及降低运营成本等。虚拟化后统一的硬件平台将能够为系统的管理、维护、扩容、升级带来很多便利。这将使得运营商可以更好地支持多种标准,更好地应对网络中不同地区、不同业务的潮汐效应。因此,相信在未来的5G网络中,将会出现基于实时任务虚拟化技术的云架构集中式基带池,大大提高资源利用率。在本文提出的5G无线接入网部署方案中,主要采取了两种虚拟化技术:网络覆盖虚拟化和数据中心的服务器虚拟化。

网络覆盖虚拟化:此时RRU不再固定地属于哪个BBU,对用户来说也不再关心使用的是哪种接入技术(2G、3G、LTE、Wi-Fi等),即小区虚拟化。RRU上传数据分组后,本地云平台基带池立即启用调度算法,分配到合适的BBU处理。

服务器虚拟化:后台服务器组成专用虚拟物联网、虚拟OTT网、虚拟运营商网等。虚拟专用网的最大优势是根

据业务对时延、差错率的敏感度不同充分利用网络资源。服务器虚拟化在全球已经开展了广泛的研究,例如日本的 NTT 研发的 Virtual Network Controller Version,主要用于多个数据中心的统一服务和按需配置,已在其欧洲、美国和日本的数据中心进行了虚拟数据中心的部署。

目前主要有两种解决方案实现虚拟化功能:SDN (software defined network, 软件定义网络) 和 NFV (network function virtualization, 网络功能虚拟化)。

#### 4.2.1 SDN

SDN 是一种新型的网络架构,主要思想是将网络的控制平面与数据转发平面进行分离,并实现可编程化控制。典型的 SDN 架构定义如图 6 所示。

在现有的无线网络架构中,基站、服务网关、分组网关除完成数据平面的功能外,还需要参与一些控制平面的功能,如无线资源管理、移动性管理等,在各基站的参与下完成,形成分布式的控制功能,网络没有中心式的控制器,使得与无线接入相关的优化难以完成,并且各厂商的网络设备,如基站等往往配备制造商自己定义的配置接口,需要通过复杂的控制协议来完成其配置功能,并且其配置参数往往非常多,配置和优化以及网络管理非常复杂,使得运营商对自己部署的网络只能进行间接控制,业务创新方面能力严重受限。

SDN 将传统网络软硬件的一体化逐渐转变为底层高性能存储/转发和上层高智能灵活调度的架构,对传统网络设备的要求就是更简单的功能、更高的性能,上层的智能化策略和功能则以软件方式提供。也就是说,SDN 在承载网上可

以增强现有网络能力、加速网络演进、促进云数据中心/云应用协同,从而对基础设施演进和客户体验提升两大维度发挥重大作用。这一点与移动通信系统的整体发展趋势一致。运营商可以利用这一优点实现通信网络虚拟化、软件化。因此,将 SDN 的概念引入无线网络,形成软件定义无线网络,是无线网络发展的重要方向<sup>[6]</sup>。SDN 作为未来网络演进的重要趋势,已经得到了业界的广泛关注和认可<sup>[26]</sup>。

此外,随着接入网的演进和发展,可以利用 SDN 预留的标准化接口,针对不同网络状况开发对应的应用,提高异构网络间的互操作性,从而进一步提升系统性能和用户感知。

#### 4.2.2 NFV

和 SDN 始于研究者和数据中心不同,NFV 则是由运营商联盟提出,应用目标也是运营商网络。很多机构对 NFV 已经进行了广泛深入的研究,如 ETSI 成立了专门的 NFV 研究组,然而目前还没有发布关于 NFV 的相关标准。

网络虚拟化通过分离数据和控制平面,部署标准化网络硬件平台,使得许多移动网络设备中的软件可以按需安装、修改、卸载,实现业务扩展。这与 SDN 数据中心的理念是一致的,因此,SDN 相关的技术可以给运营商带来更简单、更灵活和更具成本效益的网络运营。NFV 能够为 SDN 的运行提供基础架构的支持,在将来,NFV 可以和 SDN 的目标紧密联系在一起,二者协同工作。

#### 4.3 内容分发网络

随着网络架构的复杂性不断提升,为了减少内容服务器到客户端的时延,提高用户体验质量,解决服务器与客户端能力与资源的不对称性,业内提出了致力于解决互联

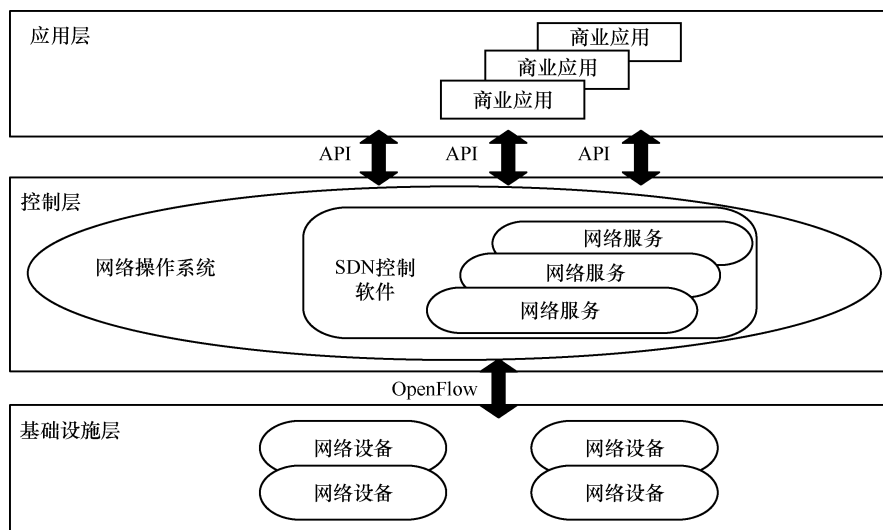


图6 典型SDN架构





网访问质量的内容分发网络(CDN)。CDN的思想是将内容代理服务器部署于多个ISP(internet service provider)内,从而降低跨域网络传输的时延。通过在网络中采用缓存服务器,并将这些缓存服务器分布到用户访问相对集中的地区或网络中,根据网络流量和各节点的连接、负载状况以及到用户的距离和响应时间等综合信息将用户的请求重新导向离用户最近的服务节点上,使用户可就近取得所需内容,解决Internet拥挤的状况,提高用户访问网站的响应速度<sup>[27]</sup>。在2006年国际电信联盟(ITU)就已经将CDN纳入标准化文档体系内<sup>[28]</sup>。此外,在5G时代,拥有庞大数据的物联网飞速发展以及高清视频的普及,使得移动数据业务的需求越来越大,内容越来越多,移动通信网络架构面临前所未有的挑战。因此,在无线网络中采用CDN技术成为自然的选择,其在各类无线网络中得以应用<sup>[29,30]</sup>。CDN也成为未来网络发展的重要趋势之一,是研究5G网络的一个重要的技术。

然而,由于内容分发网络以及5G网络环境的复杂异构性,仍需要针对内容分发网络的安全性等展开研究,进一步提升系统整体的速度、顽健性与安全性。

#### 4.4 绿色通信

绿色通信是指高效利用频谱资源、减少功率、减低排放和污染、节省能源。在移动通信系统中,频谱作为稀缺资源,一直被人们关注。此外,由于频段划分造成的零散片段给频谱资源造成很大浪费,使得本来就稀缺的频谱资源变得越来越紧张。因此,可以通过认知无线电动态地检测空置频谱,实现灵活使用,同时不断研究先进的抗干扰技术,提高频谱利用率。

另一方面,在蜂窝网络设备中,基站的耗电量在运营商耗电总量中占据绝大部分,所以如何对基站进行节能将会是未来移动通信网亟待解决的问题。移动网络的负载随着时间变化,流量呈现出“潮汐效应”,如果给RRU设置相同的功率来满足最大负荷会造成资源的严重浪费。可以采用能量有效性的资源管理技术,利用感知中心存储的用户终端和网络上报的参数配置,在保证高效性的用户QoS和网络性能的同时,动态调整发射功率和迁移用户,最大化减少能耗。

## 5 结束语

随着移动业务发展和通信网的不断演进,传统蜂窝架构的接入网面临巨大的挑战,严重影响了通信网系统性能和用户体验质量。未来5G网络会是一个提供“无限容量感知”

的系统,这就对现有网络提出了一些要求。C-RAN是为解决以上挑战而提出的解决方案之一,结合现有技术和网络发展趋势来看,C-RAN是最能满足5G要求的接入网架构。因此,本文在总结一些先进方案的基础上提出了基于C-RAN的无线接入网架构——eC-RAN,并且进一步阐述了5G移动通信系统潜在的关键技术,包括UDN、虚拟化(SDN、NFV)、CDN和绿色通信,为5G网络架构的研究提供参考。

## 参考文献

- 1 Cisco Visual networking index: global mobile data traffic forecast update, 2013-2018. [http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white\\_paper\\_c11-520862.html](http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html), 2014
- 2 Wang C X, Haider F, Gao X Q, *et al.* Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks. *IEEE Communications Magazine*, 2014, 52(2): 122~130
- 3 Boccardi F, Heath R W, Lozano A, *et al.* Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*, 2014, 52(2): 74~80
- 4 Kishiyama Y, Benjebbour A, Nakamura T, *et al.* Future steps of LTE-A: evolution towards integration of local area and wide area systems. *IEEE Wireless Communications*, 2013, 20(1): 12~18
- 5 Rost P, Bernardos C J, Domenico A D, *et al.* Cloud technologies for flexible 5G radio access networks. *IEEE Communications Magazine*, 2014, 52(5): 68~76
- 6 Demestichas P, Georgakopoulos A, Karvounas D, *et al.* 5G on the horizon: key challenges for the radio access network. *IEEE Communications Magazine*, 2013, 8(3): 47~53
- 7 Osserian A, Boccardi F, Braun V, *et al.* Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project. *IEEE Communications Magazine*, 2014, 52(5): 26~35
- 8 Bangerter B, Talwar S, Arefi R, *et al.* Networks and devices in 5G era. *IEEE Communications Magazine*, 2014, 52(5): 90~96
- 9 Shuminoski T, Janevski T. Radio network aggregation for 5G mobile terminals in heterogeneous wireless networks. *Proceedings of the 11th International Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services*, Serbia, 2013
- 10 5G 愿景与需求白皮书. <http://210.56.209.74/zh/documents/list/1>, 2014  
White paper on 5G vision and requirements. <http://210.56.209.74/zh/documents/list/1>, 2014
- 11 Chen S, Zhao J. The requirements, challenges, and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication. *IEEE Communication Magazine*, 2014, 52(5): 36~43
- 12 Cih-Lin I C, Han S F, *et al.* Toward green and soft: a 5G perspective. *IEEE Communications Magazine*, 2014, 52(2): 66~73

- 13 C-RAN: 无线接入网绿色演进白皮书. <http://bbs.c114.net/thread-595733-1-1.html>, 2014  
C-RAN: the road towards green RAN CMCC white paper. <http://bbs.c114.net/thread-595733-1-1.html>, 2014
- 14 江甲沫, 彭木根, 李远等. 智能适配的新型无线网络架构. IMT-2020(5G)技术工作组第四次会议, 北京, 中国, 2013  
Jiang J M, Peng M G, Li Y, *et al.* IMT-2020\_Tech\_13075 Intelligent Adaptive Wireless Network Architecture. Proceedings of The 4th Meeting of the IMT-2020 (5G) Technology Work Group, Beijing, China, 2013
- 15 Sudip Misra, Sankar Narayan Das, Mohanmmad S Obaidat. Context-aware quality of service in wireless sensor networks. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(6):16~23
- 16 Chu W J, Mo T, Cui J, *et al.* A context-aware services development model. Proceedings of 2012 International Joint Conference on Service Sciences, Shanghai, China, 2012
- 17 Golrezaei N, Shanmugan K, Dimakis A G, *et al.* Femto caching: wireless video content delivery through distributed caching helpers. Proceedings of IEEE INFOCOM, Orlando, 2012
- 18 Wang X F, Chen M, Ksentini A, *et al.* Cache in the air: exploiting content caching and delivery techniques for 5G systems. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(2): 131~139
- 19 Feng D Q, Lu L, Yi Y W, *et al.* Device-to-device communications in cellular networks. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(4): 49~55
- 20 Wen S, Zhu X Y, Lin Y C, *et al.* Achievable transmission capacity of relay-assisted device-to-device (D2D) communication underlay cellular networks. Proceedings of 2013 IEEE the 78th Vehicular Technology Conference, Las Vegas, USA, 2013
- 21 尤肖虎, 潘志文, 高西奇等. 5G 移动通信发展趋势与若干关键技术. 中国科学, 2014, 5(44): 551~563  
You X H, Pan Z W, Gao X Q, *et al.* The 5G mobile communication: the development trends and its emerging key techniques. Science China, 2013, 44(5): 551~563
- 22 Nokia Siemens Networks. 2020: Beyond 4G Radio Evolution for the Gigabit Experience. Nokia Siemens Networks Beyond 4G White Paper, 2011
- 23 Hwang I, Song B Y, Soliman S S. A holistic view on hyper-dense heterogeneous and small cell networks. IEEE Communication Magazine, 2013, 51(6): 20~27
- 24 Baldemair R, Dahlman E, Parkvall S, *et al.* Future wireless communications. Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC spring), Seoul, Korea, 2013
- 25 Hoydis J, Kobayashi M, Debbah M. Green small cell networks: a cost and energy-efficient way of meeting the future traffic demands. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2011, 1(6): 37~43
- 26 赵慧玲, 冯明, 史凡. SDN—未来网络演进的重要趋势. 电信科学, 2012, 28(11): 1~5  
Zhao H L, Feng M, Shi F. SDN, key trend of the future network evolution. Telecommunications Science, 2012, 28(11): 1~5
- 27 Peng G. CDN: content distribution network. <http://arxiv.org/abs/cs/0411069v1>, 2014
- 28 Jones S T. IPTV delivery architecture. Proceedings of ITU-T IPTV Global Technical Workshop, Seoul, Korea, 2006
- 29 Abedini N, Shakkottai S. Content caching and scheduling in wireless networks with elastic and inelastic traffic. IEEE/ACM Transactions Networking, 2014, 3(22): 864~874
- 30 Cheng C M, Kung H T, Lin C K, *et al.* Rainbow: a wireless medium access control using network coding for multi-hop content distribution. Proceedings of IEEE Military Communications Conference (MilCom), San Diego, USA, 2008
- 31 Chaudet C, Haddad Y. Wireless software defined networks: challenges and opportunities. Proceedings of IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronics Systems (COMCAS), Tel Aviv, Israel, 2013

## [作者简介]



雷秋燕, 女, 重庆邮电大学硕士生, 主要研究方向为 5G 移动通信系统总体技术、通信网测试技术。



张治中, 男, 重庆邮电大学教授、博士生导师, 主要研究方向为 5G 移动通信系统总体技术、通信网测试技术、宽带信息网络、NGN 等。



程方, 女, 重庆邮电大学教授、硕士生导师, 主要研究方向为 TD-LTE、宽带信息网、泛在网、NGN 等通信网测试方法与标准、信令监测技术。



胡昊南, 男, 重庆邮电大学助教, 主要研究方向为无线信道建模和干扰控制。