

# 5G 超密集网络面临的挑战与解决方案研究

侯春雨

(广州民航职业技术学院, 广东广州 510403)

**【摘要】**超密集组网能够大幅提升无线网络容量,成为解决 5G 网络数据流量爆炸式增长问题的关键技术之一,但是这种各类无线接入点超密集部署的新型网络形态带来了新的挑战。文章从干扰管理、移动性管理、能效管理、网络架构等四个方面讨论了超密集网络在应用时所面临的挑战,并阐述了相应的解决方案。

**【关键词】**5G;超密集网络;解决方案

**【doi:10.3969/j.issn.2095-7661.2019.01.001】**

**【中图分类号】**TN929.5

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**2095-7661(2019)01-0001-04

## Research on challenges and solutions for 5G ultra dense network

HOU Chun-yu

(Guangzhou Civil Aviation College, Guangzhou, Guangdong, China 510403)

**Abstract:** Ultra dense network can greatly increase the capacity of wireless network and become one of the key technologies to solve the explosive growth of data traffic on 5G network. However, the new network form of various types of wireless access points ultra-dense deployment has also brought new challenges. This paper discusses the challenges faced by ultra-dense network in terms of interference management, mobility management, energy efficiency management, and network architecture. At the same time, the corresponding solutions are explained for the challenges.

**Keywords:** 5G; ultra dense network; solutions

随着移动互联网技术的快速发展和未来物联网技术的大规模应用,5G 无线通信网络将面临数据流量爆炸式增长挑战。与此同时,物联网的发展也将催生无线终端设备数量的快速增长,未来全球移动通信网络连接的各种终端设备总量将达到千亿规模<sup>[1]</sup>。爆发性的数据流量增长与海量的无线终端设备连接,将对现有的移动通信网络带来冲击,进而推动移动无线网络的颠覆式演进。

超密集网络 UDN(Ultra Dense Network)作为 5G 的关键技术之一,将为网络数据流量爆炸式增长和终端连接问题提供有效解决方案。超密集网络由承担基础覆盖的宏基站和负责热点覆盖的微小区、微微小区、家庭基站等多种类型的低功率接入点组成。超密集网络通过在热点地区增加低功率接入点的部署密度,使接入点更靠近移动终端,为移动用户提供高速的数据传输和高质量的视频、语音等服务,达到提高

系统容量和实现无缝覆盖的目的。5G 无线网络中,支持无线传输技术的低功率接入点的部署密度将达到现有站点部署密度的 10 倍以上<sup>[2]</sup>,接入点间的距离达到 10 米左右<sup>[3]</sup>,激活用户数和接入点数将达到同一数量级甚至达到 1:1 比例<sup>[4]</sup>,形成超密集异构网络。

超密集网络场景下,低功率接入点的高密度部署和多网络共存使网络的无线环境变得复杂,对网络的性能有所影响,亦带来了诸如干扰管理、移动性管理、能效管理、网络架构调整等方面的挑战。本文将从以上四个方面对超密集网络所面临的挑战进行分析,并对相应的解决方案进行探讨。

## 1 超密集网络面临的挑战

### 1.1 干扰更加严重和复杂

与传统蜂窝网络类似,对于超密集网络而言,小区间干扰仍然是影响其系统性能的关键因素,但密集分布的大量低功率无线接入点使干扰更加复杂。与严

**【收稿日期】** 2018-11-08

**【作者简介】** 侯春雨(1976-),男,河南开封人,广州民航职业技术学院航空港管理学院电子信息系副教授,研究方向:移动通信技术、计算机网络技术。

格规划和部署的传统宏站不同,大量低功率无线接入点的部署具有较强的随机性,形成了超密集网络的动态非规则网络拓扑,造成超密集网络的干扰特性更加复杂,采用接入点间共享数据或瞬时信道信息的方式来实现干扰管理将变得较为困难。随着小区密度的增加,相邻接入点到用户的距离和传输损耗差别较小,以致用户所处的无线环境存在多个强度近似的干扰源,干扰加剧并随着接入点密度的增加而恶化,影响无线链路的可靠性。超密集网络已无法适用针对单一干扰源的干扰抑制技术,需要采用新的干扰抑制方式。此外,由于超密集网络是多种无线接入技术共存的异构网络,网络中存在相同无线接入技术间的同频干扰、相同无线接入技术不同覆盖层次间的干扰以及不同无线接入技术因共享频谱而产生的干扰。这些干扰也将对网络性能产生一定的影响,降低多无线接入技术、多覆盖层次共存的网络效用。由此可见,超密集网络中的干扰情况相对于传统蜂窝网络,具有更复杂更多样的特点,复杂的小区间干扰也制约了超密集网络的容量增长。随着超密集网络中干扰源的复杂化,传统的干扰抑制技术已不再适用,如何对现有的干扰消除技术进行创新,针对超密集网络的特点进行有效的干扰管理,提升边缘用户数据率,也为超密集网络的发展带来了新的挑战。

### 1.2 移动性管理更加复杂

传统的移动性管理技术主要针对同类型小区间的切换,以信号强度作为触发切换的条件,将移动终端的信道在相邻小区间进行迁移。然而在超密集网络中,由于接入点覆盖范围非常小,如果采用传统移动性管理的切换方式,移动用户的切换将很频繁,切换次数将成倍增加,使用户频繁处于断开——重连接的状态,影响用户性能。同时对于网络而言,越来越频繁的切换意味着将显著增加越来越多的信令开销,面临着控制信道资源浪费。超密集网络中低功率接入点的覆盖边界更多、更不规则,使得传统按区域划分的位置管理方案亦难以适用于超密集网络。此外接入点的数量与激活用户数将趋向于达到同一数量级甚至等于激活用户数,在这种全新的网络场景下,如何实现高效流畅的切换,避免业务中断,提升用户体验,也使超密集网络中的移动性管理在深度和广度上都面临较大挑战。

### 1.3 能效问题更加突出

超密集网络在大幅提升无线网络频谱效率的同时,密集部署的大量接入点也为系统带来了能量消耗。虽然超密集网络中每个低功率接入点的能耗远小于传统的宏站,但低功率接入点即使没有负载时仍然会产生能耗,超密集网络的系统能耗也将随着接入点

部署密度的增加而线性增长。有研究表明密集部署的接入点在大多数时间里都处于低负荷状态,负载低于峰值 10% 的时间比重工作日时可达 30%, 周末时则高达 45%<sup>[9]</sup>。由此可见,超密集网络中多数接入点在大部分时间都没有得到充分利用。即使处于低负荷或空负载状态,密集部署的接入点仍将消耗超过 90% 的整体能耗<sup>[6]</sup>。基于此,IMT-2020(5G)推进组已明确提出,与 4G 相比,5G 在频谱效率提高的同时,在能量效率方面更要实现百倍以上的提升,能量效率已成为 5G 系统的重要性能指标。因此,结合超密集网络的系统特点,提供合理有效的系统能耗管理方案,大幅提升网络能效,也成为超密集网络需要解决的关键问题之一。

### 1.4 网络架构更加灵活

随着种类繁多的移动业务应用层出不穷,用户需求也出现个性化与多样化的发展趋势。移动网络不仅要保证用户的连接性,更要满足用户对于定制业务的个性化与多样化的需求。目前传统的蜂窝式组网和分布式管理的无线网络架构,更注重网络整体的资源调度和统筹管理,无法灵活匹配不同区域与不同时段内的流量与负载特征,也无法实时满足不同用户业务动态变化的需求。此外,传统移动网络架构亦无法满足超密集无线网络中众多小基站之间灵活高效协作的需求,亟需新型无线网络架构的支持。因此随着海量移动数据和超密集网络的出现,传统移动网络架构已无法满足 5G 网络业务与性能的要求,网络架构需要进行革命性的改变,由固定配置向灵活配置转变,由静态部署向动态部署转变。

## 2 超密集网络的解决方案

### 2.1 干扰管理

干扰管理技术是无线网络中用来解决重叠信道干扰问题的重要方法,良好的干扰管理机制可以很大程度上消除干扰并且能够提高无线资源的利用率<sup>[7]</sup>。干扰管理一直都是移动通信技术研究的热点,随着无线技术的发展,干扰管理技术也在不断地创新与改进。目前研究表明多点协作 CoMP (Coordinated Multiple Points) 技术是一种能够有效处理超密集网络中小区间干扰,提高系统性能的干扰管理技术。CoMP 技术是指多个接入点通过协作调度、协作预编码和联合传输等方式来接收和发射数据。CoMP 技术通过多小区协作、协同传输来实现干扰避免,将干扰信号转化为有用信号,有效降低协作小区间的干扰,改善协作区域覆盖范围内用户信号质量,提高小区边缘用户吞吐量和小区平均吞吐量。

CoMP 技术的实现方式主要有两种:多个小区之间的协作调度 / 波束赋形 CS/CB (Cooperative Schedul-

ing/Beamforming) 和联合处理 JP (Joint Processing)。CS/CB 方式包括接入点间的协作调度 CS 与协作波束赋形 CB。协作调度 CS 通过协调小区间的时间和频率资源,把互相干扰的小区调度到相互正交的资源上,降低或避免协作小区之间的干扰。协作波束赋形 CB 通过调整协作区域内多个用户下行信号的波束赋形方向,使协作区域内占用相同时频资源的不同用户波束方向相互正交,从而降低干扰。如图 1(a)所示,CS/CB 方式中各协作小区独立对用户传输数据,小区间不需要交换用户的数据信息,无需进行多个小区的联合预编码,但是 CS/CB 需要每个小区根据其它小区的资源分配情况调整自己的调度和预编码,以回避对其它接入点的干扰,以致灵活性受到一定的影响。

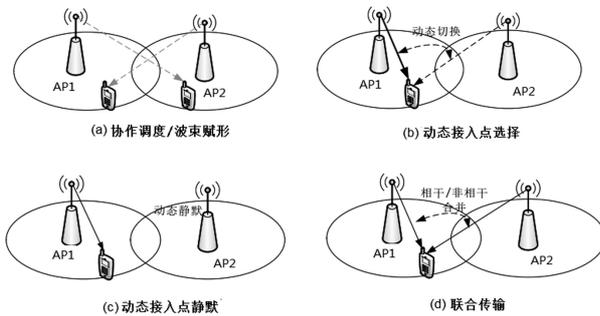


图 1 多点协作技术示意图

联合处理 JP 又分为动态接入点选择 DPS (Dynamic point selection)、动态接入点静默 DPB (Dynamic point blanking) 和联合传输 JT (Joint Transmission) 三种实现方式。如图 1(b)所示,动态接入点选择 DPS 方式可以通过反馈信道获得多个可选接入点的信道信息,根据反馈信道信息动态切换向用户发送数据的接入点,为用户选择最优的接入点传输数据。鉴于用户通常受到的干扰主要来自相邻的少数几个干扰源,动态接入点静默 DPB 方式可以通过协作控制使来自相邻小区的干扰源在 UE 调度的时频资源上保持静默,从而令用户的通信质量获得提升,如图 1(c)所示。联合传输 JT 方式通过多个接入点同时向用户发送数据,以增强用户接收信号,如图 1(d)所示。多个接入点在相同的时频资源上向用户发送数据,多路信号在接收端相互叠加,提升用户接收信号质量,从而降低用户干扰,改善系统整体性能。

## 2.2 移动性管理

超密集网络中,低功率接入点较小的覆盖范围将导致用户在移动过程中发生频繁切换。仅通过网元功能的优化并不能解决用户频繁切换引起的业务中断问题,超密集网络需要一个可以保证业务传输连续性的移动切换管理机制。

在超密集网络中的移动切换管理实现主要通过无线接入网中引入用户面和控制面分离的架构来

实现,用户面负责数据的转发,控制面负责无线资源管理、移动性管理与干扰协调等控制与信令交互。如图 2 所示,宏站控制其覆盖范围下的微站(低功率接入点),用户终端通过双连接技术同时与宏站和微站两个站点保持连接。由覆盖范围大、处理能力强的宏站处理控制平面的 RRC 消息,实现无线接入网的基本覆盖;由覆盖范围小、部署数量多的微站承载用户平面的数据业务,为低速移动的用户提供高速率的数据服务。

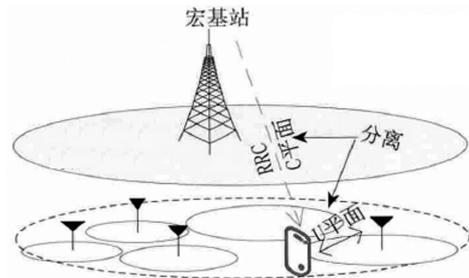


图 2 超密集网络的用户面和控制面分离图

由于宏站覆盖范围广,用户可以始终保持与宏基站的 RRC 连接,减少 RRC 切换的次数;微站仅提供用户面连接,提供更多的时频资源,实现高速的数据传输,终端在微站之间的切换简化为微站的添加、修改和释放等操作,从而避免频繁切换所带来的信令增加。对于高速移动的用户,仍由宏站为其提供数据服务,以避免频繁切换导致用户业务体验变差。

## 2.3 能效管理

由于低功率接入点的覆盖较小,其覆盖范围内的用户分布和负载在时间和空间上具有较强的波动性,低功率接入点在某些时段可能会处于较低的利用率。随着低功率接入点的部署密度越密集,较长时间处于低利用率的低功率接入点,不仅不能提升系统容量,反而导致能耗的进一步增加。目前超密集网络中采用的能效管理技术主要包括基站休眠和小区缩放。

基站休眠技术通过自组织网络 SON 技术,在业务负载动态变化的情况下,直接关闭低负载的小基站设备(低功率接入点)或使其进入休眠状态,当网络负载较高时再将该基站开启或唤醒,使基站设备不必一直处于高能耗状态,减小能量开销,降低系统能耗。处于低负载的小基站关闭或休眠后,其覆盖范围内的业务可以水平卸载到相邻小基站,也可以垂直卸载到宏基站,从而在保证服务质量的前提下实现资源的最优分配,达到提升能效的目的。

小区缩放技术可根据业务负载的变化,通过调整天线角度、高度和发射功率等参数动态地调整小区覆盖范围,可用于网络负载均衡和节省能耗。一方面,当某个小区内业务负载增加时,该小区的覆盖范围将会缩小,而相邻低负载小区的覆盖范围将会扩大,填补

可能的覆盖漏洞,负载较大的小区中业务流量同时转移到负载较小的小区之中,从而实现网络负载均衡。另一方面,与负载均衡的功能相反,小区缩放技术也可以在某个小区负载足够低时将该小区覆盖范围缩小至零,此时相当于对该基站进行了休眠,相邻小区通过扩大覆盖范围来保证网络的覆盖要求,从而降低了网络的消耗,此种情况下的小区缩放可以视为基站休眠技术的泛化<sup>[8]</sup>。

## 2.4 网络架构

为了实现 5G 技术的关键性指标,达到网络商业运营的要求,提出了云无线接入网络 (Cloud Radio Access Network, C-RAN) 的新型网络架构。CRAN 结合了云计算、虚拟化等先进技术,通过基带资源集中处理、协作式无线电和云计算的无线网络架构,在应对无线网络超密集化部署带来的资源管理、频谱效率提升和能耗管理等问题上提供了较好的解决方案。

如图 3 所示,C-RAN 主要由集中式的基带处理单元 BBU 池、分布式的远端无线头 RRH 和前传链路组成。C-RAN 将无线接入网的基带处理功能汇聚到基于云计算和虚拟化技术构建的 BBU 池中,可根据用户流量和小区负载情况而自适应地动态分配资源,实现 RRH 间的资源共享和协同处理,提升网络的频谱效率和能耗效率。C-RAN 能够根据不同的业务需求、不同的流量负载便捷灵活地实现接入节点的超密集部署。

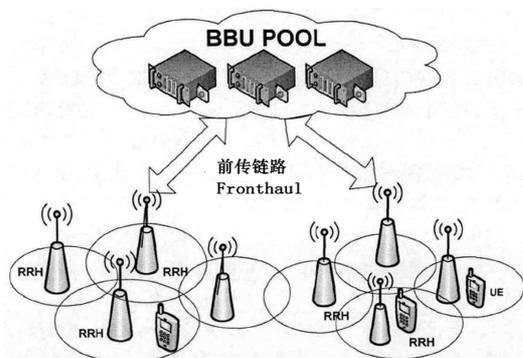


图 3 C-RAN 网络架构图

为了保证与现存无线网络的兼容性,满足 5G 应用场景的要求,在 C-RAN 的基础上又衍生出了异构云无线接入网 H-CRAN (Heterogeneous Cloud Radio Access Networks)<sup>[9]</sup>。H-CRAN 融合了 C-RAN 和异构网络各自的优点,延续了传统异构网络层叠式的部署形态,实现高功率节点 HPN (High Power Node) 和超密集低功率节点 LPN (Low Power Node) 并存组网。H-CRAN 一方面保留了 C-RAN 集中式处理和分布式部署的优点,另一方面继承了异构网络的业务平面与控制平面相分离的特点,利用传统蜂窝网络的宏基

站 (HPN) 实现无缝覆盖的同时,将集中控制云功能模块从 BBU 池转移到 HPN 处,实现控制信令分发和业务通信的分离,使网络更加灵活可控<sup>[9]</sup>。H-CRAN 灵活的部署架构能动态地调整网络资源配置来适应瞬息万变的网络业务需求,显著提升系统频谱效率和能量效率,并可灵活地实现接入节点的超密集部署。

## 3 结束语

为了应对未来无线通信数据量增长带来的挑战,超密集网络已成为 5G 实现大幅提升网络容量的关键技术之一。本文从干扰管理、移动性管理、能效管理、网络架构等四个方面讨论了超密集网络在应用时所面临的挑战,同时针对以上四个方面的挑战分别阐述了相应的解决方案。目前,对于这些解决方案的研究仍处于初步探索阶段,如何有效解决超密集网络这种新型网络形态的各种关键问题,充分利用超密集网络的灵活性与可扩展性满足 5G 网络业务与性能要求,还有待更为深入的研究。

## 【参考文献】

- [1]IMT-2020 (5G) Promotion Group. 5G vision and requirements, white paper [EB/OL]. <http://www.imt-2020.org.cn/zh/documents/1,2014-05>.
- [2]尤肖虎,潘志文,高西奇,曹淑敏,郭贺铨.5G 移动通信发展趋势与若干关键技术[J].中国科学:信息科学,2014(5):551-563.
- [3]Hoydis J, Kobayashi M, Debbah M. Green small cell networks: A cost and energy-efficient way of meeting the future traffic demands[J]. IEEE Veh Technol Mag,2011(31): 37-43.
- [4]Qualcomm Research.Neighborhood Small Cells for Hyper-Dense Deployments: Taking HetNets to the Next Level[R]. Qualcomm Technologies Inc, 2013.
- [5]Oh E, Krishnamachari B, Liu X, et al. Toward dynamic energy-efficient operation of cellular network infrastructure[J]. IEEE Communications Magazine, 2011(6):56-61.
- [6]李渝舟,江涛,曹洋,李赞.5G 绿色超密集无线异构网络:理念、技术及挑战[J].电信科学,2017(6):34-40.
- [7]谷苏文.超密集无线网络干扰管理技术研究[D].南京:南京邮电大学,2017.
- [8]朱禹涛.基于基站休眠的蜂窝网络能量效率优化技术研究[D].北京:北京邮电大学,2015.
- [9]Peng M, Li Y, Jiang J, et al. Heterogeneous cloud radio access networks: a new perspective for enhancing spectral and energy efficiencies[J]. IEEE Wireless Communications, 2014(6): 126-135.
- [10]袁春风.异构云接入网中用户接入和功率分配策略研究[D].北京:北京邮电大学,2017.