



专题:5G

面向 5G 超密集场景下的网络自组织关键技术

刘宜明,李曦,纪红

(北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室,北京 100876)

摘要:超密集部署及多种制式的网络共存使未来 5G 网络运营维护的复杂度和成本大大增加,网络自组织技术作为有效提升网络管理效率和降低网络运营成本的主要手段,已成为面向 5G 超密集场景的关键技术之一。主要介绍了网络自配置、自优化、自治愈等网络自组织功能以及面向 5G 超密集场景下的应用,最后分析了网络自组织技术面临的挑战以及未来研究方向,为后续研究提供参考。

关键词:5G;超密集网络;自组织;自配置;自优化;自治愈

中图分类号:TP393

文献标识码:A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016168

Key technology of network self-organization in 5G ultra-dense scenario

LIU Yiming, LI Xi, JI Hong

Key Laboratory of Universal Wireless Communications, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

Abstract: The ultra dense deployment and the coexistence of multi-system networks make the fifth generation (5G) mobile communications ultra-dense network operation complexity and cost increase greatly. Network self-organization has been as a key technology in 5G ultra-dense network for its excellent performance on enhancing the network management efficiency and reducing the operating costs. The network self-organization technology and its function, such as self-configuration, self-optimization and self-healing were introduced. Moreover, the technology challenges and the trends were analyzed for further research.

Key words: 5G, ultra-dense network, self-organization, self-configuration, self-optimization, self-healing

1 引言

随着无线通信网络的快速发展以及智能终端设备的爆炸式增长,现有网络面临着巨大的挑战。为满足未来数据流量的高速增长、海量的设备连接以及不断涌现的新业务和新应用需求,5G 移动通信系统应运而生。超密集组

网技术通过在热点区域大规模部署低功率的接入点可以有效提升网络容量,扩展网络覆盖范围,已成为 5G 的关键技术之一。

超密集组网技术拉近了接入点与终端设备的距离,根据预测,未来无线网络中,在宏基站的覆盖区域中,各种无线传输技术的低功率接入点的部署密度将达到现有部署密

收稿日期:2016-05-09;修回日期:2016-06-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.61302080, No.61271182)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China(No.61302080, No.61271182)

度的10倍以上,接入点之间的距离达到10 m甚至更小^[1]。除此之外,LTE-Advanced、UMTS、Wi-Fi等多种制式重叠覆盖,既有负责基础覆盖的宏基站,也有承担热点覆盖的超密集低功率接入点,甚至有支持即插即用等更加便携智能的设备。超密集组网带来了系统容量、频谱效率的大幅度提升,但与此同时,海量的参数配置、大量网元节点的运维使得无线网络管理复杂度远远高于现有网络,如何有效地完成网络管理和运维工作成为5G研究的热点之一。

传统的移动通信网络中,网络部署、运维等基本依靠人工的方式,需要投入大量的人力,给运营商带来巨大的运维成本。在越来越复杂的5G超密集场景下,各种无线接入技术和各种覆盖能力的网络节点之间的关系错综复杂,传统的网络部署、运营、维护方法已经无法满足运营商的需求。网络自组织技术通过对大量关键性能指标(key performance indicator, KPI)和网络配置参数以及网元节点的智能管理,可以有效增强网络的灵活性和智能性,提高网络性能和用户体验。因此,在面向5G超密集组网的场景下,引入网络自组织技术完成运维和管理是非常有必要的。

本文主要介绍了面向5G超密集场景下的网络自组织关键技术和主要功能,分析了5G超密集场景下实现网络自组织所面临的问题和挑战。在此基础上,重点研究了网络自组织技术在面向5G超密集场景下的应用和解决方案。为了提高网络管理的智能性,可以利用移动感知技术,使网元节点实时获取周围环境信息,并通过大数据挖掘分析等方法,对数据进行处理和利用,从而提升网元设备的感知能力,提高网络管理的智能性和自主性。此外,在5G超密集场景中,接入点部署密集,网络拓扑复杂,可以结合SDN和NFV的思想,将控制面和数据面分离,宏基站作为控制面和数据面的结合,保证热点区域的覆盖,大量低功率节点则作为数据面完成热点区域的容量增强。通过对控制面和数据面的分层自优化设计,有效提高了网络管理效率和资源利用率。最后对本文工作进行了简要的总结和展望,以期为进一步研究提供思路。

2 网络自组织的基本概念和功能

自组织的概念起源于一些生物系统进行的自组织行为,这些行为可以根据动态的环境变化自动地、智能地达到预期目标。比如,聚集的鱼群、昆虫、羊群以及人类复杂的免疫系统等都属于自组织行为^[2]。

在无线通信系统中,自组织技术可以理解作为一种智能化技术,能够在动态复杂的无线通信环境中学习,并且能够适应环境变化以实现可靠性、智能性通信。网络自组织技术通过检测网络变化并进行分析,根据这些变化做出相应的决策,以达到维护网络性能的目标。总的来说,网络自组织技术的提出主要是为了实现网络的自主功能,减少网络的运维成本。该功能主要包括3类,分别为自配置功能、自优化功能和自愈功能。

2.1 自配置功能

自配置功能是指无线通信网络中网元节点加入、更新、扩展等造成网络环境变化时,系统能够自主完成相关参数配置的过程。另外,自配置技术可以结合自愈技术,在网络发生故障时,自主恢复或者提供补偿服务。自配置功能能够有效减少人为干预,从而降低网络管理和运维的成本,实现高效的网络部署。未来5G超密集网络中网元节点部署数量大幅度增加,且即插即用的家庭基站的引入也会使网元节点的部署灵活程度和复杂程度提高,因此,在5G超密集网络中引入自配置技术是非常有必要的。常见的自配置技术主要包括节点基本配置(如IP地址、网关与鉴权等)以及节点无线资源相关的参数配置(如小区ID、邻区列表等基本参数的配置)。

2.2 自优化功能

自优化功能是在网络完成初始配置后的运营过程中根据网络环境变化对无线参数及资源管理策略进行动态自适应优化调整。以保障网络高性能的重要过程,也是自组织网络三大功能域中被重点研究的功能。网络性能自优化过程可自主利用网络及用户性能等信息发现网络中有待优化的问题,并通过对相关参数的优化调整实现对包括覆盖、容量、小区间干扰、能量效率、接入和切换成功率、用户QoS在内的诸多目标的提升。自优化可对网络的众多功能领域进行优化,主要包括:负载优化、覆盖与容量优化、节能优化、干扰管理等。

2.3 自愈功能

自愈功能是应对由于自然灾害或元器件故障等因素所引起的无线通信系统内网元故障的有效手段。在无线网络尤其是在超密集部署的5G网络中,大量的无线网络节点难免遇到器件损坏、自然灾害等意外因素并产生软件或硬件故障等现象而导致突发性的意外中断,这样便会造成巨大的网络环境变化,并且在基站中断区域会产生弱覆盖或覆盖空洞导致用户无法接入网络或服务质量差,这将



严重影响该区域内用户的用户体验。面对网络出现的意外故障,传统的修复方法往往需要耗费大量的人力并且需要较长时间才能恢复网络正常运营。然而,网络自愈愈技术通过对意外故障的自动检测及补偿修复,即通过对性能异常现象的分析诊断出网络中存在的故障情况,最终通过自主修复故障问题或执行对故障的补偿手段,避免对用户体验的严重影响并增强网络的顽健性。因此,网络的自愈愈能力对于保障网络的可靠性至关重要,如图 1 所示。

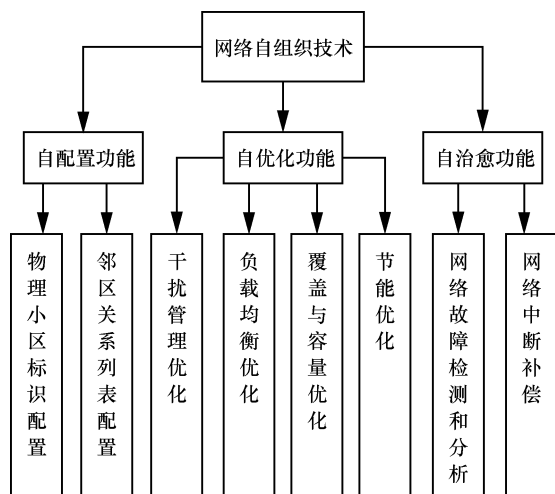


图 1 网络自组织技术功能应用

3 超密集场景中的网络自组织所面临的挑战

将网络自组织技术引入 5G 超密集场景中,可以更好地适应未来 5G 网络结构的扁平化和灵活性,更加智能地管理网络内大量的网元节点和海量的参数配置,减少运营商对网络进行操作维护的人工成本,提高网络的自组织能力,简化无线网络设计和网络运维,实现网络的自配置、自优化和自愈功能,满足未来移动通信系统的技术和业务需求。但是,面对非线性增长和多因素联合决定的超密集场景,网络自组织技术应用到 5G 超密集网络中还存在一些问题与挑战。

- 为了利用自组织技术,实现对超密集网络的高效管理,需要实时动态地对各个网元节点的多维参数进行优化。然而,动态复杂的通信环境、多样化的用户业务需求、多维度的优化参数等,使得在超密集网络中引入自组织技术仍需要研究。
- 在 5G 超密集网络中引入自组织技术将对接入点、用户以及网络管理单元等产生大量的信息交互信

息,并且要求处理实时性更强,对网络内网元节点的计算处理能力、网元间信息交互能力提出了更高的要求。

- 在动态复杂的 5G 超密集场景下,自配置、自优化、自修复功能需要更加智能地完成网络运维工作,保障网络基础设施负载程度合理、网络稳定,使网络在自组织过程中不会由于不恰当的维护优化行为而导致网络性能恶化甚至崩溃。
- 由于无线通信网络具有多方面的关键性能指标需求,如容量、覆盖、能效等。网络自组织各项功能虽然能够通过参数优化调整等方法使网络性能得到提升,但是,不同的优化功能所针对的优化目标、需求不尽相同,在优化过程中,往往会产生参数调整冲突。因此,需要协调不同功能的不同目标,对各方面性能的优化进行合理折中,以更合理地提升网络整体性能。
- 网络自组织技术涉及功能较多,其中一些功能的实现依赖于终端设备。为了实现某些网络自组织功能,移动终端不仅需要进行信号测量、信息上报等,而且需要一定的信息处理和计算能力。因此,网络自组织部分功能的实现对终端性能提出了更高的要求。

4 超密集场景下的网络自组织关键技术

针对 5G 超密集网络场景,网络自组织技术有效地提升了网络管理效率和用户服务体验,使 5G 超密集网络具备可扩展性、灵活性、自主性和智能性。目前,随着 LTE 系统的全球大规模商用,网络自组织技术的实现和利用,使 LTE 运营商提高了网络的整体性能和操作效率,明显降低了运维成本,提升了 LTE 的竞争优势。但是,现有的网络自组织技术主要是针对传统的单一结构的 LTE 网络,在未来超密集场景下,由于多种服务不同制式的小区共存,为满足用户的服务体验和网络管理性能,需要进一步研究适用的新技术。

4.1 物理小区标识自配置技术

物理小区标识(physical cell identity, PCI)是终端设备识别所在小区的唯一标识,用于产生同步信号,其中,同步信号与 PCI 存在一一对应的关系,终端设备通过这些映射关系区分不同的小区。PCI 作为无线小区的一项重要配置参数,由 3 个正交序列和 168 个伪随机序列组成,分别代

表小区所在的序号和组。

$$PCI=3N_{ID}^1+N_{ID}^2 \quad (1)$$

其中, N_{ID}^1 代表 PCI 组, 范围为 0~167, 用来产生辅同步信号, N_{ID}^2 代表 PCI 组内的 PCI, 范围为 0~2, 用来产生主同步信号, 从而 PCI 与小区的同步信号一一对应。

PCI 在进行分配时需要满足两个最基本要求: 避免冲突和避免混淆。即无线网络内任意相邻小区的 PCI 必须不同, 无线网络同一小区相邻的任意两个小区的 PCI 也必须不同。在实际无线网络中, 尤其是针对超密集的网络场景, 小区的个数远远超过 PCI 的总数, 因此, 5G 中超密集部署的小区需要通过 PCI 复用来完成 PCI 配置。PCI 的复用距离的选择是一个关键问题, 复用距离过近, 会导致相邻小区 PCI 发生冲突和混淆, 过远则会导致 PCI 资源浪费。

参考文献[3]提出一种采用基站扫描的自配置算法, 通过扫描基站自身的无线环境, 接收相邻小区的下行信号以获得邻区 PCI 信息, 然后从可用的 PCI 资源库中删除已被邻区使用的 PCI, 避免了小区冲突的问题, 但是小区混淆的问题没有得到解决。参考文献[4]将 PCI 配置问题转化为图着色问题, 提出了一种基于局部启发式搜索的优化 PCI 配置算法, 每一个小区通过观察相邻小区的 PCI 编号确定自己的 PCI, 从而避免了小区冲突和混淆的问题, 并且降低了小区之间的信令交互。

在面向未来 5G 超密集场景中, 接入点密集引起的信令干扰等问题严重降低了网络管理效率。现有的 PCI 配置方案大都仅仅考虑小区混淆和小区冲突的问题, 却没有考虑信令干扰问题。参考文献[5]分析了现有的 PCI 配置方案在超密集场景的应用, 由于没有考虑大规模部署和参考信号干扰问题, 引起了小区冲突和小区混淆, 严重影响了网络性能。针对这个问题, 可以联合干扰管理技术, 如功率控制、干扰协调、分簇等方法, 综合考虑干扰和 PCI 资源配置完成 PCI 资源分配, 提高资源利用率。

4.2 邻区关系列表自配置技术

邻区关系列表(neighbor relation list, NRL)是网络内小区生成的关于相邻小区信息的列表, 只是在小区内部使用, 不会在系统信息中广播。在新的接入点加入网络时, 利用 NRL 自配置技术可以自动发现邻区, 并创建和更新邻区关系列表, 包括对邻区冗余、邻区漏配和邻区关系属性的动态管理。在面向 5G 的超密集场景中, 接入点不仅密集, 而且存在大量同频或异频、同系统或异系统的邻区, 因

此自组织邻区关系列表自配置是非常必要的。

目前, 对 NRL 自配置的研究还是比较广泛的。参考文献[6]综合考虑相邻接入点的负载和 QoS 因素, 提出一种基于移动终端测量报告的改进的自配置方案, 通过用户设备测量信号强度并告知服务的接入点, 完成接入点的邻区关系列表的配置。参考文献[7]提出一种 NRL 自配置算法, 根据历史交互信息和邻区列表信息, 发现具有可能性的邻区, 降低邻区列表内的小区数目, 从而提高了用户切换的效率, 并且保证了网络的性能。实际上, PCI 和 NRL 作为自配置的两大用例, 联合优化配置可以有效提高网络管理效率和用户服务体验。参考文献[8]提出一种基于基站位置信息的联合 PCI 和 NRL 的自配置方案, 利用基于借贷的冲突解决方法, 进行 PCI 分配, 并且根据 PCI 分配的结果, 完成 NRL 的配置, 有效地避免了小区冲突, 提高了网络性能。

在 5G 超密集场景中, 存在大量同频或异频、同系统或异系统邻区, 且网络拓扑动态复杂, 使得传统的静态邻区关系列表配置机制无法适用于复杂多变的网络中。同时, 由于接入点密集, 使得移动终端设备完成接入点选择复杂和多样化。因此, 减少邻区关系列表内的数目对于用户最优切换也是非常有必要的。随着智能设备以及网络的快速发展和智能化, 移动终端设备不仅可以实现实时感知周围邻区状态以及探测网络状况, 也可以完成一部分的数据处理, 因此, 可以利用终端设备上报实时的测量报告, 完成接入点的 NRL 自主配置和动态更新。此外, 针对网络异构和接入点密集情况, 可以根据不同网络设置不同切换参数以及调整控制参数, 利用多目标决策、大数据分析等方法完成 NRL 的自主配置, 减少邻区关系列表的数目, 提高网络的智能性和自主性。

4.3 干扰管理自优化技术

超密集组网通过降低基站与终端用户间的路径损耗提升了网络吞吐量, 在增大有效接收信号的同时也放大了干扰信号, 同时, 不同发射频率的低功率接入点与宏基站重叠部署, 小区密度的急剧增加使得干扰变得异常复杂。如何有效进行干扰消除、干扰协调, 成为未来超密集组网场景下需要重点考虑的问题。

现有网络采用的分布式干扰协调技术, 其小区间交互控制信令负荷会随着小区密度的增加以二次方趋势增长, 极大地增加了网络控制信令负荷。因此, 在未来 5G 超密集网络的环境下, 可以通过局部区域内的分簇化集中控制, 解决小区间干扰协调问题。基于分簇的集中控制, 不仅能够解



决未来 5G 网络超密集部署的干扰问题,而且能够更加容易地实现相同无线接入技术下不同小区间的资源联合优化配置、负载均衡等以及不同无线接入系统间的数据分流、负载均衡等,从而提升系统整体容量和资源整体利用率。此外,现有通信系统的干扰协调算法只能解决单个干扰源问题,而在超密集场景中,相邻节点的传输损耗一般差别不大,这将导致多个干扰源强度相近,进一步恶化网络性能,使得现有协调算法难以应对。可以同时联合考虑接入点的选择和多个小区间的集中协调处理,实现小区间干扰的避免、消除甚至利用,提高网络资源利用率和用户服务体验。

4.4 负载均衡自优化技术

负载均衡自优化即通过将无线网络的资源合理的分配给网络内需要服务的用户,从而提供较高的用户体验,同时提升整个系统的吞吐量。移动业务具有时间以及空间的不均衡性特征。空间的不均衡性表现在相同时间不同小区之间的负载差异可能较大,导致部分小区资源紧张引发过载阻塞,而另一部分小区的资源过于空闲、资源利用率低下,难以实现资源的有效配置和利用。负载均衡的主要目标就是平衡各小区业务的空间不均衡性。通过优化网络参数以及切换行为,将过载小区的业务量分流到相对空闲的小区,平衡不同小区之间业务量的差异性,提升系统容量。

在传统同构网络中,可以通过覆盖扩展和虚小区呼吸两种方式完成负载均衡优化。覆盖扩展的方式可以通过部署其他类型接入点或者调整射频参数来实现。参考文献[9]调整控制信号来扩展覆盖区域从而均衡相邻小区的负载,参考文献[10]采用部署分散的小型基站来实现负载均衡。除此之外,参考文献[11]提出一种虚拟小区呼吸的方案,通过控制小区之间的切换参数来实现负载均衡,即将业务量高的小区用户向业务量低的小区切换,实现均衡优化。在异构网络中,多种无线接入方式共存,这时,就需要考虑多种接入技术的资源作为整体来进行优化和分配,从而提高网络的资源利用率。参考文献[12]将用户选择网络的问题转换为点附着问题,优化网络的资源利用率,实现负载均衡。

随着 5G 无线网络的发展,移动业务和应用的日益丰富以及接入点日益小型化和密集化,移动业务的空间不均衡特征将进一步加剧,给传统静态的小区选择以及静态的切换参数带来了巨大挑战。为了完成用户快速和最优切

换,可以利用云计算技术对用户上报数据以及基站感知信息进行处理,通过对多维数据的实时分析和快速处理,实现用户的最优切换,提高资源利用率。

4.5 网络节能自优化技术

针对未来网络超密集部署引起的日益增长的能量消耗,绿色节能问题日益引起研究者的广泛关注,网络的能量效率也成为网络资源管理的重要指标。无线网络中接入点系统能耗是能耗的主要组成部分,而且随着接入点的大规模部署,能耗问题越来越严重。因此,提高网络资源利用率、降低网络系统能耗具有重要意义。目前,基站激活-休眠策略是提升能效的主要方案,当业务量降低时,在保证当前用户的服务需求下,通过自主地关闭不必要的网元或者资源调整等方式达到降低能耗的目的。

参考文献[13]提出一种基站激活及休眠策略,并重点研究了基站频谱开关问题以及未能及时激活而导致的吞吐量下降问题。针对异构网络场景,参考文献[14]提出一种自组织协作节能架构,提出一种自组织协作节能架构,各异构网络基站增加网内网间通信模块及基站休眠决策模块以制定协作节能策略并降低网络能耗。

针对 5G 超密集场景下对网元节点自组织特性以及网络节能的要求,可以利用认知无线电技术,提升网元节点的环境感知能力,获取附近的干扰和网络的拓扑信息,同时结合网络大数据的智能化分析处理,实现基站激活及休眠以及移动终端设备的智能化接入点选择。此外,针对未来 5G 超密集组网的场景,大量的信令开销也是一个不容忽视的问题。可以采用分布式的基站休眠机制,增强各基站的自主决策以及自主配置优化能力,从而提高网络资源利用率。

4.6 覆盖与容量自优化技术

现有的覆盖与容量优化技术一般由于网络业务需求在时间及空间上具有潮汐分布特性,各接入点的业务负载也存在较大的分布差异性。为了合理有效地利用网络资源和提高网络适应业务需求的能力,覆盖与容量自优化技术通过对射频参数的自主调整,如天线配置、发射功率等,将轻载小区的无线资源分配至业务热点区域内,实现网络覆盖性能与容量性能的联合提升。通过对射频参数的自主调整实现对热点区域的容量增强。另外,网络在运行过程中若遇到突发故障,也会造成网络的环境变化,在故障区域可能会产生覆盖空洞,严重影响该区域内的用户体验。因

此,覆盖与自优化技术也可与自治愈合技术相结合,从而有效应对网络故障场景,完成对故障区域的覆盖与容量增强。

常用的覆盖与容量自优化方法趋向于采用启发式的解决方案。参考文献[15]提出一种基于规则的小区覆盖优化方法,该方法利用预先获取的覆盖优化经验提升天线配置参数优化过程的寻优速度,然而在复杂的无线网络环境下往往难以事先获取准确的优化经验。为了提高网络自优化能力,能够积累大量运维优化经验并自主形成优化策略的人工智能方法具有较好的研究前景^[16]。参考文献[17]采用基于案例的推理算法并且将案例优化经验直接应用于优化新的网络状态,参考文献[18]提出一种基于模糊Q学习的天线下倾角控制策略,通过在连续地参数设置空间中学习,完成网络的覆盖与容量优化。

但是现有的覆盖与容量自优化方法中,大部分算法仅针对单一的射频参数,并且,在优化过程中各网元节点的合作性及智能性仍有待加强。在面向5G超密集场景中,为了能够同时考虑“覆盖”和“容量”这两个因素,可以通过控制面与数据面的分离,即分别采用不同的小区进行控制面和数据面操作,从而实现未来网络对于覆盖和容量的单独优化设计。同时,该方法可以灵活地根据数据流量的需求在热点区域扩容数据面传输资源,并不需要同时进行控制面增强。宏基站主要负责提供覆盖(控制面和数据面),低功率接入点则负责提升局部地区系统容量(数据面)。通过控制面与数据面分离实现覆盖和容量的单独优化设计,可以有效提高网络管理性能和资源利用率。

4.7 故障检测和分析技术

网络故障检测作为一种智能化的自动故障处理功能,主要是通过对无线参数等信息的挖掘分析,自动检测网络中的中断故障。在无线通信网络中,传统的网络故障检测通常需要一定时间及相应的专业人员投入,会消耗大量的人力成本。随着未来5G超密集网络内网元节点和用户服务需求的不断增加,网络环境变得越来越复杂,为了提高网络资源管理效率和网络的顽健性,故障自动检测技术引起了广泛的关注与研究。

参考文献[19]通过指定一个观测基站收集邻区的信道质量指标(channel quality indicator, CQI)以及其他参数,采用联合假设检验方案判断性能指标在小区正常与异常状态下的变化,从而实现中断检测的目的。参考文献[20]对移动终端上报的邻区关系列表进行数据建模,采用统计分类方案和启发式算法构造关于邻区列表的分类器,并基于该

分类器准确探测中断。

随着移动设备以及网络的飞速发展,用户间可随时通过智能终端实现即时互通,使得移动网络成为大数据存储和流动的载体。因此,可以利用大数据挖掘分析和云计算的方法,对移动网络内用户的行为信息以及网络异常的统计信息等进行分析和处理,完成基站的网络故障检测和分析并给出相应的处理方案。此外,由于未来5G超密集场景内异构节点共存,不同系统和制式的接入点的覆盖范围和服务的用户数目差异较大,即不同基站产生的数据量等信息不同,如果采用相同的故障检测方法极有可能检测错误。因此,需要针对不同类型的接入点设置不同的特征值和判决参数,然后根据网络内的信息进行数据处理,提高故障检测效率,实现网络的智能化和自主化管理。

4.8 网络中断补偿技术

当检测到网络故障时,需要采取相应的补偿方法来抑制网络性能恶化以保障网络性能及用户体验。传统的补偿方式是调整周围接入点的无线参数,如天线仰角、功率调整等,主要从直接扩展相邻接入点的覆盖范围实现中断补偿,然而传统的中断补偿方式仅仅适用于宏蜂窝网络中,而对于大量低功率节点重叠覆盖且采用全向天线的超密集场景并不适用。

5G网络中接入点的超密集部署增强了小区间协作的能力,使基于小区间协作的自治愈合机制成为网络故障补偿的有效途径之一。参考文献[21]提出了一种用于小区中断补偿的协作资源分配算法,该算法从普通信道中选择一组专用补偿信道为中断区域用户提供业务补偿以实现系统速率最大的目标。参考文献[22]进一步考虑了用户公平性,提出一种基于公平的协作资源分配算法,算法将加权和速率最大化问题纳入考虑之中,并采用比例公平调度来公平地为用户提供服务。但是使用专用补偿信道时,全部小区协作服务于同一个处于中断小区的用户,这将带来网络吞吐率和用户公平性的损失。

在5G超密集场景中,由于接入点密集分布和异构节点共存,需要考虑跨层干扰和基站选择的问题。结合控制面和数据面分离的思想,宏基站可以通过调整天线和功率参数提供故障区域内的覆盖(控制面和数据面),根据网络故障区域内的用户接入点选择结果,低功率节点则负责保障故障区域的数据传输(数据面)。通过控制面与数据面的分离设计,综合考虑跨层干扰和接入点选择等因素,可以有效提高网络的顽健性和可靠性,提升用户的服务体验。



5 结束语

随着无线通信系统以及智能终端设备的快速发展,为了满足用户对于网络容量和速率的需求,低功率节点超密集部署是网络发展的必然趋势。面对超密集的网络节点和复杂的网络环境,网络自组织技术有效地提高了网络管理效率和资源利用率,大大降低了网络运营成本,已成为未来网络管理的关键技术之一。本文首先介绍了网络自组织技术的三大功能,针对5G超密集场景的特殊需求,分析了网络自组织技术应用在该场景下的挑战。为了有效地实现网络智能化、自主化管理,降低运营成本,重点研究了网络自组织技术的应用和解决方案。在未来研究中,可以结合感知技术、大数据分析等新技术对网络自组织功能进行增强,提高网络管理效率和资源利用率,满足用户的多样化业务需求。

参考文献:

- [1] CHEN S Z, QIN F, HU B. User-centric ultra-dense networks (UDN) for 5G: challenges, methodologies and directions [J]. IEEE Wireless Communications Magazine, 2016, 23(2): 78-85.
- [2] ALIU O G, IMRAN A, IMRAN M A, et al. A survey of self organization in future cellular networks [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(1): 336-361.
- [3] Nokia. Nokia Siemens networks: solution(s) to the 36.902's automated configuration of physical cell identity use case/configuration of physical cell identity use case [R/OL]. (2008-04-03) [2016-02-20]. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG3_Iu/TSGR3_59bis/docs/R3-080812.zip.
- [4] AHMED F, TIRKKONEN O. Self organized physical cell ID assignment in multi-operator heterogeneous networks [C]//IEEE Vehicular Technology Conference, May 11-14, 2015, Glasgow, Scotland, UK. New Jersey: IEEE Press, 2015: 1-5.
- [5] MWANJE S S, ALI-TOLPPA J, SANNECK H. On the limits of PCI auto configuration and reuse in 4G/5G ultra dense networks [C]//IEEE International Conference on Network and Service Management, November 9-13, 2015, Barcelona, Spain. New Jersey: IEEE Press, 2015: 92-98.
- [6] TANEJA M, BANGALORE V, GARUDA G, et al. Policy based automatic neighbor relation management for small cell networks [C]//IEEE International Conference on ICT Convergence, October 14-16, 2013, Jeju, South Korea. New Jersey: IEEE Press, 2013: 637-642.
- [7] VONDRA M, BECVAR Z. Self-configured neighbor cell list of macro cells in network with small cells [C]//IEEE International Conference on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, September 8-11, 2013, London, UK. New Jersey: IEEE Press, 2013: 3044-3049.
- [8] AHMED M, YOON S G, JEONG S, et al. Geo-location based self-organization scheme for femtocell networks [C]//IEEE International Conference on ICT Convergence, October 14-16, 2013, Jeju, South Korea. New Jersey: IEEE Press, 2013: 535-539.
- [9] KHAN Y, SAYRAC B, MOULINES E. Centralized self-optimization of pilot powers for load balancing in LTE [C]//IEEE International Conference on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, September 8-11, 2013, London, UK. New Jersey: IEEE Press, 2013: 3039-3043.
- [10] ALEXANDRE M K, YANG J, WONG S H, et al. Decentralized adaptive range expansion in heterogeneous WCDMA networks [C]//IEEE International Conference on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, September 8-11, 2013, London, UK. New Jersey: IEEE Press, 2013.
- [11] YANG S J, ZHANG W, ZHAO X S. Virtual cell-breathing based load balancing in downlink LTE-A self-optimizing networks [C]//IEEE International Conference on Wireless Communications & Signal Processing, October 25-27, 2012, Huangshan, China. New Jersey: IEEE Press, 2012: 1-6.
- [12] LEE J, BAHK S. Point of attachment selection in heterogeneous radio access technology environments [C]//IEEE Symposium on Computers and Communications, June 22-25, 2010, Riccione, Italy. New Jersey: IEEE Press, 2010: 643-645.
- [13] ELAYOUBI S E, SAKER L, CHAHED T. Optimal control for base station sleep mode in energy efficient radio access networks [C]//IEEE International Conference on Computer Communications, April 10-15, 2011, Shanghai, China. New Jersey: IEEE Press, 2011: 106-110.
- [14] HOSSAIN M F, MUNASINGHE K S, JAMALIPOUR A. A self-organizing cooperative heterogeneous cellular access network for energy conservation [C]//IEEE International Conference on Communications, June 10-15, 2012, Ottawa, Canada. New Jersey: IEEE Press, 2012: 5316-5320.
- [15] SANCHEZ-GONZALEZ J, PEREZ-ROMERO J, SALLENT O. A rule-based solution search methodology for self-optimization in cellular networks [J]. IEEE Communications Letters, 2014, 18(12): 2189-2192.
- [16] KHAN M A, TEMBINE H, VASILAKOS A V. Game dynamics and cost of learning in heterogeneous 4G networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2012, 30(1): 198-213.
- [17] YILMAZ O N C, HAMALAINEN J, HAMALAINEN S.

Self-optimization of remote electrical tilt[C]// IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications, September 26-29, 2010, Istanbul, Turkey. New Jersey: IEEE Press, 2010: 1128-1132.

- [18] LIAO Q, WICZANOWSKI M, STANCZAK S. Toward cell outage detection with composite hypothesis testing[C]//IEEE International Conference on Communications, June 10-15, 2012, Ottawa, Canada. New Jersey: IEEE Press, 2012: 10-15.
- [19] ISLAM M N U, MITSCHLE-THIEL A. Reinforcement learning strategies for self-organized coverage and capacity optimization[C]// IEEE Wireless Communications and Networking Conference, April 1-4, 2012, Paris, France. New Jersey: IEEE Press, 2012: 2818-2823.
- [20] MUELLER C, KASCHUB M, BLANKENHORN C, et al. A cell outage detection algorithm using neighbor cell list reports[M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2008: 218-229.
- [21] LEE K, LEE H, CHO D H. Collaborative resource allocation for self-healing in self-organizing networks [C]//IEEE International Conference on Communications, June 5-9, 2011, Kyoto, Japan. New Jersey: IEEE Press, 2011: 1-5.
- [22] LEE K, LEE H, CHO D H. Fairness-aware cooperative resource allocation for self-healing in SON-based indoor system [J]. IEEE Communications Letters, 2012, 16(7): 1030-1033.

[作者简介]



刘宜明(1993-),女,北京邮电大学博士生,主要研究方向为超密集网络、自组织技术、资源管理等。



李曦(1983-),女,北京邮电大学副教授,主要研究方向为无线异构网络与传输技术、移动互联网等。



纪红(1966-),女,北京邮电大学教授、博士生导师,主要研究方向为宽带无线网络与移动互联网、异构组网与传输技术等。