

5G-Advanced 发展趋势分析

Analysis of 5G-Advanced Development Trend

闫志宇,李明豫(中国信息通信研究院,北京 100191)

Yan Zhiyu, Li Mingyu (China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China)

摘要:

目前,5G标准制定进入了5G-Advanced演进阶段。5G-Advanced将赋能5G产生更大的社会和经济价值,并在5G的基础架构上初步探索6G的潜在技术。为了研究5G-Advanced的技术发展路径,研判5G-Advanced的应用策略,需要分析5G系统商用网络的运营情况和场景演进需求,结合5G-Advanced研究规划和Rel-18立项内容,从标准化角度和技术发展角度分析5G-Advanced在宽带能力提升、效率提升、垂直场景和行业能力、新领域探索等方面的典型技术特征。在此基础上讨论5G-Advanced的发展演进趋势。

关键词:

5G-Advanced; 6G; 宽带能力; 行业应用; 新领域

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2022.08.003

文章编号: 1007-3043(2022)08-0012-05

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Currently, 5G standardization has entered the stage of 5G-Advanced evolution. 5G-Advanced will enable 5G to provide greater value of social and economic, and preliminarily explore the potential technologies for 6G on the basis of 5G infrastructure. In order to study the path of 5G-Advanced technology development and the application strategy of 5G-Advanced, it is necessary to analyze the issues in the commercial 5G system and the evolution requirements of application scenarios, and combined with the plan of 5G-Advanced research and the approved content of Rel-18 projects, the typical technical items of 5G-Advanced are discussed in terms of improvement on broadband capacity, improvement of efficiency, vertical applications and industry capacity and new technical fields from the perspective of standardization and technology development. Based on this analysis, the development and evolution trend of 5G-Advanced are discussed.

Keywords:

5G-Advanced; 6G; Broadband capability; Industry application; New fields

引用格式: 闫志宇,李明豫. 5G-Advanced发展趋势分析[J]. 邮电设计技术, 2022(8): 12-16.

0 引言

3GPP完成了Rel-15、Rel-16和Rel-17的5G标准制定。从构建5G基础架构的Rel-15,到逐步完善eMBB、uRLLC、mMTC三大能力并扩展垂直行业的Rel-16,再到广泛提升行业能力和覆盖能力的Rel-17,3个版本均为5G发展提供了有力的标准支撑。同时,全球5G规模商用部署的发展速度也是前所未有的,5G产业生态逐步丰富,应用探索不断深入。从Rel-18开始,3GPP正式将5G演进的名称确定为5G-

Advanced (5G-A)。5G-A被认为是5G向6G演进的中间阶段,将为5G发展定义新的目标和新的能力,在技术和应用方面的探索将对6G的发展产生重要影响。本文将分析5G-A发展演进的趋势,讨论典型的5G-A演进解决方案,并展望5G-A的应用策略。

1 5G发展现状

2022年6月,3GPP在RAN 96次会议宣布Rel-17标准冻结。至此,5G标准化完成了基础版本Rel-15,并实现了2个第1阶段的增强版本Rel-16和Rel-17。与此同时,我国5G网络、用户和应用迅速发展,预计2022年将新建60万个5G基站,5G基站总数将超过

收稿日期: 2022-06-13

200万个。从Rel-18开始进入5G演进阶段,无论标准演进方面还是商用网络运营方面均对5G-A提出了新的应用场景需求和技术演进要求。

2 5G-Advanced 演进趋势分析

2.1 5G-Advanced 技术发展

未来5G网络将更深入地应用在生活、社会和工业的方方面面,在提升宽带业务支持能力、提高网络运营效率、扩展新的用例、推进网络智能化等方面的需求与日俱增。在需求方面,5G-A演进要兼顾现有网络的设计和未来网络的演进;在应用方面,5G-A演进要兼顾现有网络的应用需求和对新兴业务的支持;在演进的实体方面,5G-A要兼顾网络演进与终端演进。综合技术演进与应用需求,5G-A演进包括3个方面。

2.1.1 宽带能力和效率增强

随着5G应用的广泛开发、用户普及率的提高,5G流量将大规模快速增长,同时对高数据速率低时延应用的性能要求将变得更加严格。另外,为支持大量的5G用户同时享受此类应用,网络容量也需要提高。基于产业发展和现有网络应用需求,5G-A还需要提高现有网络的覆盖、上行频谱效率、复用能力、功耗效率等性能。针对宽带能力和效率提升,5G-A需通过无线接入网的时间、频率、空域、能量域等资源管理方面的策略进一步提升网络覆盖、容量、可靠性、时延、节能、移动性、定位等服务指标。

2.1.2 面向垂直行业的精细化设计

5G行业应用创新不断,已开始赋能工业、交通、能源、医疗及经济社会的千行百业,从而推动生产生活方式的新一轮变革。面向垂直行业的5G融合应用需要进一步精细化设计,丰富并深化5G与垂直行业的融合应用,推动5G在工业互联网、教育、医疗、智慧城市等规模化商用落地。垂直行业对5G网络提出了更高的能力要求,包括大上行、低时延、室内大容量等。持续提升5G对垂直行业的支持能力需要进一步降低轻量级UE的复杂度,将5G应用扩展到对成本、能耗、数据速率等要求更低的市场,并支持更丰富的物联网终端类型,提高终端定位精度、中继等功能。

2.1.3 面向未来系统和创新应用演进

5G服务的多样化带来了复杂而全面的用户需求,终端类型的多样化程度、网络元素的数量和网络复杂度都大大增加。为了应对这些挑战,需要一个灵活、自适应和智能的无线网络。随着AI技术与算力的快

速发展,5G引入AI技术,构建5G智能维,可使5G更加智能、高效,同时应用与5G网络智能化适配可高质量实现多样业务。5G-A对于智能维的构建更加关注与5G网络相关的大数据、算力与人工智能算法,通过新方法和工具的引入,拓展新的维度来全面增强5G网络性能。

2.2 5G-Advanced 标准演进趋势

从标准方面看,5G-A需要先于应用需求制定相关协议。5G-A的立项分为已有特征的进一步性能提升和新技术领域的探索。

2.2.1 已有特征的进一步性能提升

Rel-标准化立项需要解决在先前标准研究中的遗留问题,也需要进一步优化与增强已有特性的性能。5G-A将在Rel-17版本基础上进一步提升已有特征的性能,包括MIMO增强、覆盖增强、SL演进、动态频谱共享、多载波聚合增强、轻量级UE复杂度进一步降低、定位增强、移动性增强、SL relay增强、非地面网络增强、非地面通信支持IOT增强、多播广播服务增强、多SIM双收发增强、小数据传输增强和移动IAB等。

关于已有特征的进一步性能提升,成员组织在立项内容方面的争议较少,立项项目多为工作阶段。特别是MIMO增强、多载波聚合增强、覆盖增强、移动性增强、轻量级UE的复杂度进一步降低、非地面网络增强等5G支柱性技术特征的增强方向,成员组织的立项意愿趋于一致。通过标准化立项优化与升级这些特性的性能,满足现有网络的高效运营和演进需求。

2.2.2 新技术领域的探索

5G-A涉及的新技术领域探索加速推进网络实现智能化、能力开放化,降低网络建设成本和运营成本,提供更便捷的服务,同时新技术领域的探索将为6G研究积累标准实践,新技术领域包括人工智能与5G融合、双工演进、XR增强、智能中继、网络节能、低功率UE唤醒信号和接收机等。新技术领域探索的标准化立项多数是研究阶段,重点评估与预研相关技术在对应用场景的可行性以及候选技术。

新技术方向的立项提议经讨论后多是分阶段逐步进行。例如被视作6G颇有前景的智能超表面技术,其具有调控无线信道的能力,可以为通信系统的设计提供一种新的范式。但是,由于技术成熟度、网络共存问题、商业部署优势待验证等因素,3GPP在Rel-18立项中首先设立了智能中继项目,研究网络节点对智能中继节点的控制过程。智能中继项目虽然没有包

含智能超表面本身的空间维构造特性,但可对网络节点对中间节点的控制过程做初步的研究探索。预计将在5G-A后续演进版本中研究智能超表面相关的标准化立项。

3 5G-Advanced 典型解决方案

针对技术演进和标准演进需求,5G-A将研究引入提升宽带能力、提升效率、增强垂直场景和增强行业服务、支持新技术探索等方面,以下几个典型的技术方向可用于赋能5G-A的演进需求。在宽带能力提升方面,支柱性技术MIMO和多载波聚合技术将持续演进。在效率提升方面,网络和终端设备的能耗效率提升刻不容缓。在垂直场景和行业增强方面,轻量级UE复杂度的进一步降低和边链路功能增强是使能5G广泛应用的重要支撑。在新技术领域探索方面,人工智能和全双工技术的初始应用将为5G网络注入新的资源管理模式,推动6G的研究发展。

3.1 宽带能力提升

3.1.1 MIMO 增强

Rel-15到Rel-17的MIMO特性主要用于下行链路,目前系统中上行MIMO性能落后于下行。随着商用网络成熟度的提升,5G-A的上行业务需求将爆发式增长,当前的MIMO技术将限制未来网络总体用户体验和商业应用,因此有必要增强上行链路MIMO性能。同时,多TRP间的相干协作也可作为系统容量提升提供更大的保障。

MIMO性能改进包括:上行支持更多发送天线、数据流、多TRP多面板传输;解决MU-MIMO场景中UE在高/中速下性能较差的问题,可以通过增强CSI的准确性和实时性缓解CSI造成的性能损失;当前的统一TCI框架侧重于单TRP操作用例,有助于简化针对高频的多波束操作,而在5G-A中需要扩展侧重于多TRP用例的统一TCI框架;正交端口扩容,增强DMRS信号的复用能力;扩展多TRP部署场景的相干联合传输。

3.1.2 多载波聚合增强

载波聚合是支撑系统宽带能力的基础技术之一,用以扩展系统传输带宽、提升用户峰值速率和系统容量。可以预见,5G-A频谱资源将更加丰富、多样。首先,后向网络使用的频带将逐步升级重耕到5G运营。其次,高频带和一些低频带的可用频谱可能更宽,需要更加有效的带内多载波操作。5G-A多载波聚合演

进需要确保这些分散的频谱或更宽的带宽资源以更高的频谱效率、功率效率和灵活的方式运营,从而提供更高的吞吐量和覆盖。

关于改进方向,一方面,当前的调度机制仅允许每个调度DCI调度单小区PUSCH/PDSCH。伴随更多可用的零散谱带或更宽的频谱,对多个小区同时调度的需求将增加。为了减少控制开销,需要提高在多个小区(包括带内小区和带间小区)上调度数据的灵活性和频谱、功率效率。另一方面,为提升频谱效率、灵活性和容量,考虑支持动态切换UL发送载波,例如基于数据流量、TDD DL/UL配置、每个频带的带宽和信道条件确定发送载波。

3.2 效率提升

3.2.1 网络节能

相比4G,5G基站使用了更多的天线数量、更大的带宽和更多的频带,单站能耗接近4G的3~4倍。根据GSMA的报告,移动网络的能源成本约占运营商总成本的23%。随着5G在各行各业普及、5G部署到更广阔的地理区域、5G网络处理极高数据速率的应用需求日益增加,如何保证5G网络能耗适度可控是5G可持续发展的关键问题,也是满足构建绿色网络需求的重要保障。

对5G-A网络节能方式的研究首先需要确定网络能耗的模型和评估方法,识别和研究目标部署场景中的网络节能技术。从时间、频率、空间和功率域多维考虑网络节能方案。时域实现网络节能主要是增加基站非连续接收或者非连续发送的时间。频域实现网络节能则主要是增强基站自适应使用频域资源的机制。单载波内动态自适应调整收发带宽或者BWP。多载波操作时,自适应减少部分载波上公共信道或公共信号的发送,以及增强辅小区激活/去激活、辅小区睡眠、主小区动态切换等机制。在空域,通过基站自适应调整使用的发送单元、天线面板、发送节点、逻辑天线端口等空间元素的数量实现网络节能,在动态调整空间元素的同时,平衡对UE测量、CSI反馈、功率控制、信道重复传输、波束测量与管理等的影响。功率域实现网络节能主要是提高基站发送和接收信号的功耗效率,例如动态调整发送下行信道的功率或者功率谱密度,通过自适应调整基站收发算法和流程提高基站能耗效率。

3.2.2 低功率UE唤醒信号和接收机

UE的能效对于提高系统效率和更好的用户体验

有重要的影响。在5G系统的设计中,当UE处于RRC连接态时,通过配置非连续接收DRX达到节电目的。当UE处于RRC空闲态时,功耗取决于寻呼周期、系统消息发送频率等。除此之外,5G还引入了RRC非激活态来降低UE的能耗。在5G-A演进的应用中,新型应用将对UE的功耗能效提出新的需求,例如传感器等设备在垂直用例中用于监测、测量等,这些设备多数情况下不具备充电条件,智能手表、戒指等可穿戴设备的电池则往往需要维持使用数周才不至于影响用户体验。当前UE的节电策略还不能满足这些应用场景下的能耗效率要求,例如,如果为了延长电池寿命而将DRX的周期配置较长将导致延迟增加,不适用于低延迟的服务。

目前UE在每个DRX周期周期性地被唤醒。多数情况下,UE被唤醒后并没有实际的信令或数据流量。如果UE只有在信令或者业务收发被触发时才被唤醒,则可以显著降低功耗,这可以通过使用唤醒信号触发UE的主接收机来实现。图1给出了低功率UE唤醒信号和接收机示意图,UE的接收机包含检测唤醒信号的接收机和5G主接收机。检测唤醒信号的接收机只需要很低的接收功率来检测唤醒信号,称之为AZP(Almost Zero Power)接收机。5G主接收机则用于数据传输和接收。除了被唤醒期间,主接收机可以关闭或设置为深度睡眠。低功率唤醒信号的设计需要平衡UE节电能力和业务延迟性能,主接收机的唤醒流程则需要兼顾网络功耗、与其他UE的共存、网络覆盖率、容量、资源开销等。

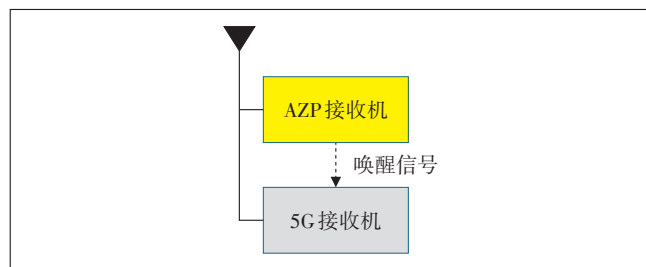


图1 低功率UE唤醒信号和接收机示意图

3.3 垂直场景和行业增强

3.3.1 轻量级UE复杂度降低

当前5G标准面向智能可穿戴设备、工业无线传感器和视频监控三大业务场景精简化、定制化了轻量级的UE,满足低成本、低功耗、大容量和高效共存的需求。借助轻量级终端设备低成本、低功耗与5G NR共存的优势,进一步增强轻量级UE性能,一方面可以优

化并更好地支持这三大业务场景,另一方面也可以将5G-A应用扩展到新的用例,例如智能城市、环境监测、智能电网等。

Rel-17的轻量级终端设计通过降低带宽和天线数目、简化双工模式、简化协议流程功能、减少功耗开销等方式实现。沿着这条演进路线,为了更进一步赋能万物互联,5G-A将在Rel-17基础上考虑将终端带宽降至更低的5 MHz,并且进一步降低终端的峰值速率、提升能量效率。关于轻量级UE复杂度降低,可以考虑以下几项策略。

a) UE带宽减少。UE带宽减少可以应用于射频(RF)和基带(BB)部分,或仅应用于BB;应用于数据信道和控制信道,或仅应用于数据信道;应用于DL和UL,或仅用于DL和UL中的一项。各种UE带宽减少的策略对应不同量级的UE复杂度降低程度、性能、与其他UE共存程度、标准化影响等。

b) UE峰值速率降低。在Rel-17基础上降低轻量级UE峰值速率可以考虑放松传输信道的层数、调制阶数的限制、限制业务信道传输的最大传输块尺寸、限制业务信道使用的PRB数目、降低传输块尺寸的缩放因子、限制最大调制阶数等。

c) 放松UE数据处理线程要求。包括放松UE处理PDSCH/PUSCH的线程要求、放松UE处理CSI的线程要求等。

3.3.2 侧链路增强

5G现行标准和商用系统开发了侧链通信,主要用于支持V2X应用。虽然侧链通信最初是为V2X应用开发的,但业界对将其适用性扩展到更宽泛的商业用例的需求越来越大。对于扩展的侧链通信应用有2个关键要求,一是侧链数据速率要求更高,二是在侧链路上支持新的载波频率。

提高侧链数据速率的直接方式是扩展侧链路上的无线资源。例如,通过在侧链上支持载波聚合和免许可频谱策略,可以实现更高的数据速率。此外,增强侧链在高频工作流程可以更有效地支持更高的数据速率。针对专用频谱受限的区域,未来场景部署中5G的V2X设备可能和4G的V2X设备共存于同一频率信道中。为了使2种不同类型的设备在使用公共载波频率时共存,需要一种机制来有效利用这2种技术的资源分配。除此之外,面向覆盖增强、公共安全和商业应用等场景,可通过支持边侧链路中继的方式实现覆盖范围扩展、吞吐量增强以及可靠性增强。

3.4 新领域探索

3.4.1 5G 与 AI 融合

5G 网络演进需要考虑多个维度的性能提升,包括 5G 网络自身智能化水平的提升以及对不同垂直行业特定需求的支持。随着 AI 技术与算力的快速发展,5G-A 通过拓展智能维度,一方面可以增强与优化 5G 网络性能,另一方面也能为 6G 设计原生引入 AI 做出积累。

由于 5G 系统设计灵活、拓扑复杂,如何构建合适的数据集及训练模型,如何验证及对对比模型的性能都面临许多新问题。Rel-18 将首先聚焦物理层的 CSI 反馈增强、波束管理、定位这 3 个典型用例来研究数据集和训练模型的构建,以及确定评估的关键指标和评估方法,用于客观评价基于 AI 的物理层用例的性能。构建 5G 智能维的过程涉及数据、算法、仿真方法等基础性问题,也包括标准化到产业化多个环节。

3.4.2 双工方式演进

长期以来,全双工技术面临的一个严峻挑战是交叉链路干扰问题和器件收发信号的自干扰问题。在标准化研究和未来部署的方面,5G-A 将探索从简到繁、兼顾解决现网运营问题的双工方式演进技术路线,基站双工演进方式技术路线如图 2 所示。5G-A 初期版本考虑子带非重叠全双工方式,将 DL 和 UL 划分成非重叠的子带,在基站侧实现部分或者全部时间的全双工,UE 则执行半双工。在 5G 中后期以及 6G 版本逐步考虑基站全频带全双工 UE 半双工以及基站和 UE 双向全双工。

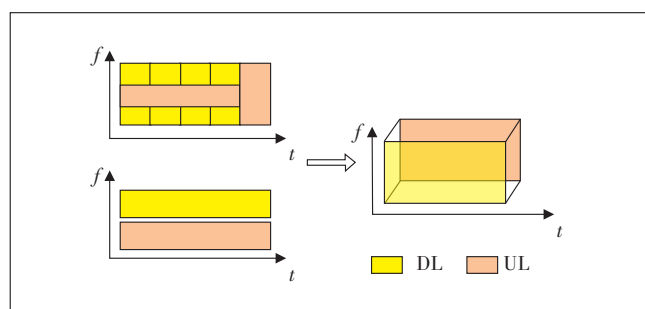


图 2 基站双工演进方式技术路线

另外,现有的 5G 商用网络中考虑了在不同载波频率的不同小区运营不同 TDD 配置。灵活的 TDD 配置面临的交叉链路干扰问题与双工方式场景类似,5G-A 全双工方式演进将考虑灵活 TDD 配置场景下的干扰问题,提升商用网络性能。

4 结束语

5G-A 第一版本标准 Rel-18 预计 2023 年底冻结,最早在 2024 年开始商用。5G-A 的发展涵盖了宽带能力和效率增强、面向垂直行业的精细化设计、面向未来系统和创新应用演进,通过标准化提升已有特征的性能、探索新技术领域的应用与发展。通过凝聚产业和技术研究的力量,5G-A 将全面提升系统宽带服务质量,拓展网络能力和行业市场,构建高效的绿色网络,也为未来网络的设计打下基础。

参考文献:

- [1] 3GPP. PCG#46-e-Meeting information [EB/OL]. [2022-04-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [2] 3GPP. RAN#94-e-Meeting information [EB/OL]. [2022-04-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [3] 3GPP. RAN#95-e-Meeting information [EB/OL]. [2022-04-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [4] 3GPP. RAN#96-Meeting information [EB/OL]. [2022-04-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [5] 3GPP. WI: MIMO evolution for downlink and uplink; 3GPP RP-213598 [S/OL]. [2022-04-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/>.
- [6] 3GPP. Revised WID on Multi-carrier enhancements; RP-220834 [S/OL]. 2022.
- [7] 3GPP. Revised SI: Study on network energy savings for NR; RP-220297 [S/OL]. 2022.
- [8] 3GPP. SI: study on low-power wake-up signal and receiver for NR; 3GPP RP-213645 [S/OL]. [2022-04-05]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [9] 3GPP. Summary for Work Item on "8K Television over 5G (8K_TV_5G)"; 3GPP RP-220300 [S/OL]. [2022-04-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [10] 3GPP. WI: NR sidelink relay enhancements; 3GPP RP-213585 [S/OL]. [2022-03-29]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [11] 3GPP. SI: study on Artificial Intelligence (AI)/Machine Learning (ML) for NR air interface; 3GPP RP-213599 [S/OL]. [2022-04-16]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [12] 3GPP. Revised SID: Study on evolution of NR duplex operation; RP-220633 [S/OL]. 2022.

作者简介:

闫志宇,高级工程师,硕士,主要从事无线与移动通信系统标准解决方案研究、算法设计仿真等工作;李明豫,毕业于华东师范大学,主要从事无线通信系统的行业应用分析和解决方案等工作。

