



专题：5G 演进技术

5G NR RedCap 关键技术研究

李晗阳, 翁玮文, 李男, 张龙, 程锦霞
(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 面向工业无线传感器、视频监控、可穿戴等场景, 3GPP Release 17 (Rel-17) 提出了一种 5G 轻量级用户终端 (reduced-capability user equipment, RedCap UE) 类型, 能够在满足这类业务需求的前提下极大降低终端成本。首先, 介绍了 5G RedCap 技术的标准化研究进展; 然后, 分析了 RedCap 的典型应用场景及其关键指标; 然后, 从终端优化及网络性能提升两方面对 RedCap 技术带来的复杂度降低特性及相关增益进行了深入研究; 最后, 总结了 RedCap 技术的发展潜力与未来演进方向。

关键词: 5G; RedCap; 低复杂度; 低功耗; 多 BWP; LTE Cat 4

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022044

Research of 5G NR RedCap technology

LI Hanyang, WENG Weiwen, LI Nan, ZHANG Long, CHENG Jinxia
China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: Faced to industrial wireless sensors, video surveillance, wearable devices, RedCap UE (reduced-capability user equipment) was proposed in 3GPP Release 17 (Rel-17), which could greatly reduce the costs of UE under the premise of satisfying the requirements of these use cases. Firstly, the standardization progress of 5G RedCap was introduced. Then, typical use cases of 5G RedCap technology were analyzed. After that, deep research was carried on the complexity reduction characteristics as well as the related gains brought by RedCap technology from two aspects of UE optimization and network performance improvement. Finally, the development potential and the evolution direction in the future were summarized.

Key words: 5G, RedCap, low complexity, low power consumption, multiple BWP, LTE Cat4

0 引言

国际电信联盟将 5G 的三大应用场景分为增强型移动宽带 (enhanced mobile broadband, eMBB)、超可靠低时延通信 (ultra-reliable and low latency communication, URLLC) 和大连接物联网

(massive machine type communication, mMTC), 其目标分别为提升网络峰值速率、提高通信可靠性及响应速度、实现万物互联。5G 三大应用场景及其典型用例如图 1 所示^[1], eMBB 旨在满足人们对多媒体业务、服务、数据的获取及交互需求, 应用场景包括手机、4K 高清视频、VR/AR、远程



教育等；URLLC 对系统的吞吐量、时延、可靠性有很高的要求，典型实例包括工业生产过程的无线控制、远程医疗手术、自动驾驶、运输安全保障等；mMTC 则是大规模物联网部署与应用，这类设备需要传输的数据量较小、时延敏感性较弱，同时还要兼顾低成本、低功耗的要求，主要用例部署于智慧城市、智能家居等。

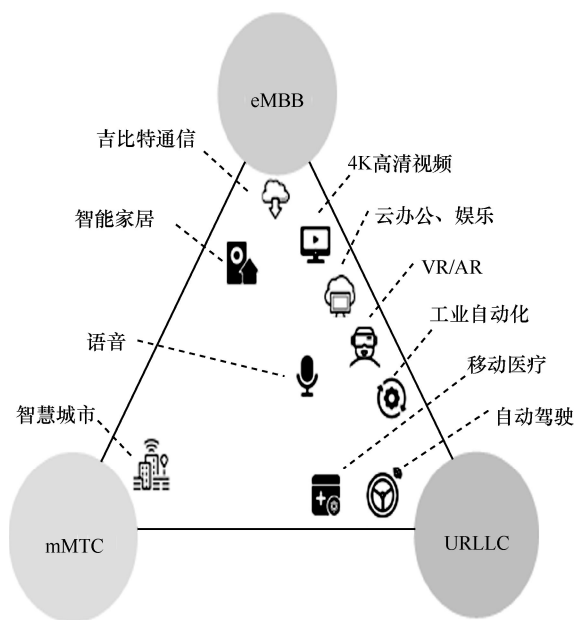


图1 5G 三大应用场景及典型用例^[1]

目前 5G 在各行各业的落地，面临较大的发展阻力，其中最大的阻力之一便是高昂的终端成本。众所周知，5G 芯片和模组的设计较为复杂，较高的研发门槛带来了终端成本高的问题，当前 5G 模组价格在 500~1 000 元。然而部分场景并不存在极致的性能需求，5G 现有能力超出了实际应用需求，进而存在降低终端成本的需求。因此，产业界提出了在 5G 网络中研究性能与成本的平衡，通过牺牲部分指标实现研发成本的降低，由此提出了 5G 轻量级（reduced-capability, RedCap）终端。RedCap 概念定义如图 2 所示，顾名思义，RedCap 即降低能力，是基于 5G NR 终端进行剪裁形成的低复杂度终端类型，是一种轻量级的 5G 技术。

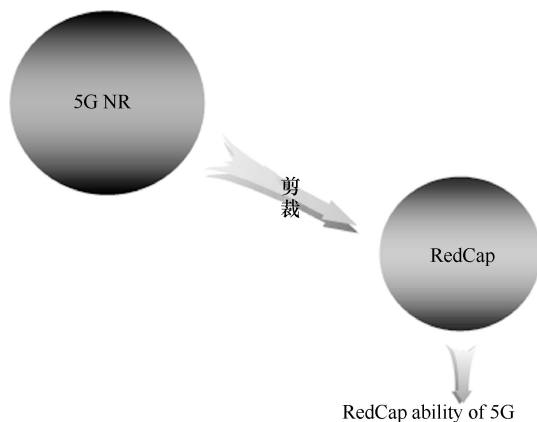


图2 RedCap 概念定义

1 标准化研究进展

RedCap 技术从 2019 年提出至今，经历了从研究讨论到纳入标准的不同阶段，取得了阶段性的标准化工作进展，第三代合作伙伴计划（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）Release 17（Rel-17）阶段 RedCap 技术的标准化研究进展如图 3 所示。爱立信在 3GPP RAN#86 会议中提出文稿^[2]，提出了 5G 轻量级终端的概念，并初步将其命名为“NR Light”，希望针对该领域进行立项，会议讨论后提交了修订文稿^[3]，通过了提案并在 3GPP Rel-17 开展研究项目。在 3GPP RAN#88 会议中，爱立信明确针对低复杂度 5G 终端进行研究立项^[4-5]并获得通过，将该轻量级 5G 终端更名为“RedCap”，正式启动研究。在 3GPP RAN#90e 会议中，爱立信、诺基亚提出针对 RedCap 进行标准立项^[6]并获得通过，在 3GPP Rel-17 正式启动 RedCap 标准化工作。

截至 2021 年第一季度，3GPP 基本完成了面向 RedCap UE 的研究报告^[7]，其中主要针对 UE 复杂度降低特性及其带来的性能影响、节电特性等技术对产业界研究进行了总结。随之，在标准项目中输出了该阶段研究明确的特性^[8]，预计在 2022 年第二季度完成标准冻结。2021 年第四季度在 3GPP Rel-18 工作组中^[9]同步启动了下一阶段 RedCap 特性的优化研究^[10]，主要包括带宽进一步

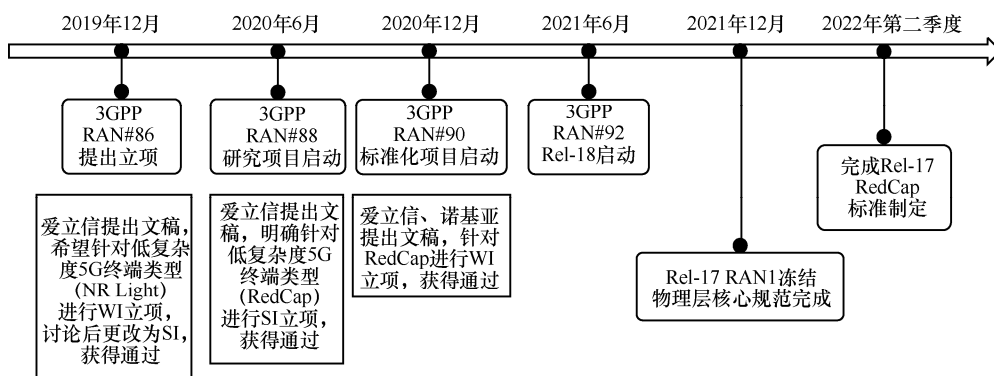


图3 3GPP Rel-17 阶段 RedCap 技术的标准化研究进展

降低、节电技术增强等方面的研究。

2 国家政策引导支持

2021年7月，工业和信息化部发布了《5G应用“扬帆”行动计划（2021–2023年）》^[11]，指出按照5G国际标准不同版本阶段性特性，Rel-15聚焦高速率、大带宽应用，Rel-16聚焦高可靠、低时延应用，Rel-17聚焦中高速、大连接应用，分阶段开展技术、产业化和应用导入。

该行动计划中提出了“5G+信息消费”“5G+工业互联网”“5G+智慧城市”等15个“5G+”垂直行业，列举了智能安防监控、新型穿戴设备、远程操控设备、高清视频监控等众多应用领域，针对“5G+智慧农业”等领域，重点推进面向广覆盖低成本场景的5G技术和应用。

在IMT-2020(5G)推进组的第23次会议中，产业界针对Rel-17 RedCap市场需求、应用场景、部署规划和产品路标进行了讨论，建议根据标准研制和产业进展，与3GPP标准同步，组织国内力量开展面向国内市场需求的产规范制定，适度加快产业节奏。

在国家政策的积极影响下，RedCap技术的发展将获得助力，产业各界也将积极跟踪标准化研究进展，在标准工作完成后开展技术试点并推动其落地。

3 典型应用场景及诉求

3.1 典型应用场景

面向多样化的5G目标场景，3GPP提出了以下3类能力需求适用于RedCap的典型应用场景，分别为工业无线传感器、视频监控、可穿戴设备。

(1) 工业无线传感器

工业无线传感器包括工业环境中的压力传感器、湿度传感器、运动传感器等，这些传感器包括对性能要求非常高的URLLC应用，也包括一些通信性能要求略低、终端尺寸较小、耗电低的相对低端应用，这类较低端应用可靠性要求为99.99%，业务的端到端时延要求小于100 ms，设备静止时的参考速率要求小于2 Mbit/s^[7,12-13]。

(2) 视频监控

5G应用于城市管理、工业/农业或各类区域监测等场景中，存在实时视频监控需求，以应对安全风险问题、提升管理手段等。将5G终端模组与监控摄像机集成，为视频监控提供灵活、低成本的回传手段。视频监控的大规模应用也需要低成本的5G模组，经济型视频监控的速率要求为2~4 Mbit/s，超高清视频监控的速率要求在7.5~25 Mbit/s，业务时延要求小于500 ms，通信可靠性要求在99%~99.9%^[7,14]。国内已有民用泛安防业务、行业车辆监控和公安警务投入使用。



(3) 可穿戴设备

可穿戴设备主要包括智能手表、智能手环、医疗监控设备等，普遍要求设备体积小、功耗低，这类用例要求终端能够低复杂度、低成本地实现，并且满足终端小尺寸要求，以适应智能手表等终端对设备空间的严苛要求，便于提供空间给电池，从而增大设备续航。可穿戴设备的参考速率是下行 5~50 Mbit/s，峰值速率下行最高为 150 Mbit/s、上行最高为 50 Mbit/s，电池的理想工作续航为数天甚至 1~2 周^[7]。目前全球可穿戴业务规模逐年高速增长，IDC 发布的《中国可穿戴设备市场季度跟踪报告，2020 年第四季度》显示，2020 年第四季度中国可穿戴设备市场出货量为 3 026 万台，其中，智能设备 508 万台。

3.2 关键诉求

(1) RedCap 总体诉求——尺寸、成本

当前 5G 模组尺寸较大、价格高昂，影响了其典型业务的落地应用，难以匹配产业界的规模化诉求。

尺寸方面，当前 5G 模组的尺寸较大，给终端集成带来了困难，产业界提出需要对终端进行一定程度的剪裁。价格方面，当前 5G eMBB 模组的价格仍然居于高位，用于安防、车载监控等行业的摄像机价格高达几百元，智能手表等穿戴产品的平均价格更高，高昂的成本在一定程度上限制这些行业应用的规模发展。

因此，为了匹配 5G 芯片和模组对尺寸和价格的要求，需要降低终端复杂度以降低成本。基于 RedCap 的研究目标，其终端剪裁后的成本会大幅度低于 eMBB 终端。

(2) 工业无线传感器关键诉求——时延、可靠性

工业无线传感器或一些控制类场景对端到端时延有一定要求，可以继承现有 URLLC 能力基础，往返时延 (round-trip time, RTT) 相对于 URLLC 会增加 5~10 ms，端到端时延要求小于

100 ms，安全类探索的业务时延要求为 5~10 ms。

(3) 视频监控关键诉求——速率、并发连接

视频监控业务主要关注速率性能，摄像机实时将采集的图像、视频数据流上传到平台，因此，其对速率稳定性有相对高的要求，如在 5G 场景大并发下多路终端稳定的速率需求。

视频监控在产业界发展迅速，目前在端侧具备 AI 智能处理功能的占比逐年提高，产业界期待增大 5G 使用以提升无线率。随着摄像机的超清化趋势及 AI 识别和处理功能在视频监控中逐渐成为刚需，不同产品压缩程度不同，在传输过程中需要保证足够的速率体验，成为产业界关注的重点。

中国信息通信研究院组织产业界定义了视频监控业务的上行链路 (uplink, UL) 速率要求为 2~24 Mbit/s，其中，按照清晰度定义了上行带宽要求，分别为 1 080P，2~6 Mbit/s；2K，4~12 Mbit/s；4K，8~24 Mbit/s。

(4) 可穿戴设备关键诉求——功耗

低功耗是可穿戴设备非常关键的竞争力，节电能力提升可加速其 5G 使用的升级。

当前主流的成人和儿童智能手表中，大多数使用 LTE Cat 4 和 Cat 1 技术制式，续航时间平均较短。

对于 5G 场景的穿戴设备使用，降低功耗是标准化的重点，产业界讨论期望的续航最大可以达到 1~2 周。

4 终端优化特性与增益分析

3GPP 中针对 RedCap 终端特性展开了探讨^[7,8,15-21]，主要包括复杂度降低技术、节电技术以及 RedCap 终端的定义与识别技术，本节介绍目前讨论确定的关键特性内容。

4.1 复杂度降低技术

(1) 降低 UE 带宽

降低 UE 带宽可降低对 UE 基带处理能力的要求。基于 3GPP 提供的成本评估模型，在 FR1 频

段上, UE 最大带宽从 100 MHz 降低为 20 MHz, UE 成本可降低超过 30%, 降低 UE 带宽后的成本缩减示意图如图 4 所示。降低终端成本的主要模块为部分基带模块, 如模数转换/数模转换器、快速傅里叶变换 (fast Fourier transform, FFT) 模块、快速傅里叶逆变换 (inverse fast Fourier transform, IFFT) 模块、接收处理块、低密度奇偶校验 (low density parity check, LDPC) 解码模块等。

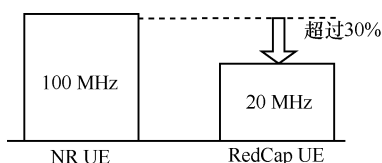


图 4 降低 UE 带宽后的成本缩减示意图

(2) 降低 UE 接收天线数与 MIMO 层数

减少 UE 接收天线数量、多输入多输出 (multiple-input multiple-output, MIMO) 层数后, UE 复杂度及成本随之降低。基于 3GPP 提供的成本评估模型, 在 NR UE 2T4R 的基础上, RedCap UE 的接收天线数量减少为 2 时, UE 成本降低约 40%; 接收天线数量减少为 1 时, UE 成本降低约 60%, 降低 UE 接收天线数后的成本缩减示意图如图 5 所示。降低成本的主要模块包括天线阵列、功率放大器、滤波器、收发器、双工器/开关在内的 UE 射频收发信机和部分基带处理模块, 其中, 假定基带和射频模块的成本比为 6:4。

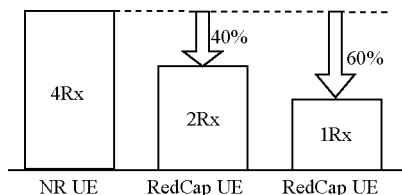


图 5 降低 UE 接收天线数后的成本缩减示意图

(3) 半双工 FDD

在 NR 中, UE 采用全双工的频分双工 (full duplex-frequency division duplexing, FD-FDD) 模式, 即在相同时刻可以在不同频率上进行发射和接收, 使用双工器的成本较高, 而在 RedCap 中引

入了半双工的频分双工 (half duplex-frequency division duplexing, HD-FDD), 即在不同时刻分别在不同频率上进行发射和接收, 采用开关和低通滤波器等组件代替了双工器, UE 的复杂度及成本也随之降低。

LTE 中存在两种 HD-FDD 模式, 分别为 Type A 和 Type B, Type A 用开关和低通滤波器代替双工器实现, Type B 通过上、下行链路共享一个本地振荡器实现射频收发成本的节省。3GPP 当前选择针对 RedCap UE 采用 Type A 实现半双工。评估结果表明, 在此模式下的 UE 成本降低约 7%, 半双工模式下的成本缩减示意图如图 6 所示。

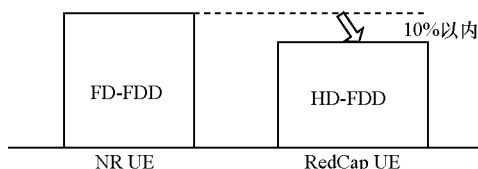


图 6 半双工模式下的成本缩减示意图

(4) 降低调制阶数

降低最大调制阶数后, UE 复杂度及成本随之降低。在 NR 中, UE 最高支持 256QAM 调制, 对于 RedCap UE, 3GPP 讨论将其设定为 64QAM 必选、256QAM 可选。基于 3GPP 提供的成本评估模型, 在 FR1 上, 由 256QAM 调制变为 64QAM 调制后, UE 成本降低约 6%, 降低调制阶数后的成本缩减示意图如图 7 所示, 复杂度实现降低的主要包括射频收发器和部分基带模块。

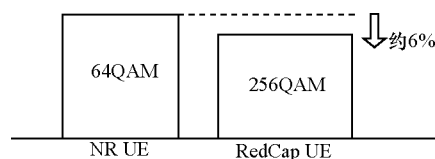


图 7 降低调制阶数后的成本缩减示意图

(5) 多种技术方案组合

综合上述多种技术方案, 可尽可能地降低 UE 的复杂度与成本, 不同方法的组合可以获得不同



程度的 UE 成本降低, 基于 3GPP 研究数据, 在降低 UE 带宽至 20 MHz、单接收天线、单 MIMO、调制阶数为下行 64QAM、上行 16QAM 的情况下, 成本可降低将近 70%^[7,22]。

4.2 节电技术

降低功耗是物联网领域的持续性议题, 加之 5G 终端强烈的节能需求, 节电技术成为 RedCap 研究中重点关注的问题。工业无线传感器、视频监控用例中的终端位置通常处于静止或基本静止状态, 采用节电技术实现低功耗可简化运维工作, 可穿戴设备对提升电池续航有显著需求。3GPP Rel-15/Rel-16 阶段引入了一系列 5G 终端节能技术, 包括节能唤醒信号触发非连续接收 (discontinuous reception, DRX) 自适应、跨时隙调度、基于带宽部分 (bandwidth part, BWP) 的 MIMO 层数配置、辅小区休眠、终端辅助信息上报、测量放松等^[23]。在 3GPP Rel-17 阶段, 产业界开展了 UE 节电增强标准项目^[24], 目前研究的节电技术主要有以下 3 类: 减少物理下行控制信道 (physical downlink control channel, PDCCH) 监控、增加无线资源控制 (radio resource control, RRC) 空闲态或非激活态 UE 的 DRX 周期、放松无线资源管理 (radio resource management, RRM) 测量要求。

(1) 减少 PDCCH 监控

UE 在 RRC 连接态下需要进行 PDCCH 监控, 从而及时接收基站对 UE 的调度信息。UE 在每个时隙都会进行 PDCCH 检测和缓存, 然而在多数时隙中只有很少的数据或没有数据, 待机时的 PDCCH 监控会占据超过一半的通信功耗, 这些不必要的 PDCCH 监控增大了 UE 的能耗, 因此, 可以通过减少 PDCCH 监控的方式实现 UE 节电。

在 3GPP Rel-16 中, 研究提出了通过 PDCCH 忽略、配置多个核心集 (CORESET) / 搜索空间、物理层信令指示盲检次数等方法减

少 PDCCH 监控。在此基础上, 在 Rel-17 针对 RedCap 的研究中, 3GPP 新提出了 3 种减少 PDCCH 监控的方法, 即减少每个时隙上要求 UE 执行的最大盲检次数、增大 PDCCH 监测周期、动态调整 PDCCH 盲检参数, 从而进一步降低 PDCCH 监控所消耗的电量。

(2) 增加 RRC 空闲态或非激活态 UE 的 DRX 周期

针对非活跃的 RedCap UE, 频繁的唤醒会消耗 UE 的电量, 基于 3GPP Rel-13 引入的扩展 DRX 机制, 在 Rel-17 中针对 RedCap UE 继续采用增大 DRX 周期的方式节省 UE 的耗电。

3GPP 评估结果表明, 增大 DRX 周期至 10.24 s 以上, RRC 空闲态或非激活态中的扩展非连续接收 (extended discontinuous reception, eDRX) 有明显的节能增益^[7], 有利于电池寿命的提高, 该方法尤其适合业务周期较大的终端。

(3) 放松 RRM 测量要求

在终端处于静止或低速度移动状态下, 信道的变化相对较慢, 可以一定程度上降低对邻区的测量要求, 减少单位时间内的测量频次对性能的影响较小, 从而实现 UE 耗电的降低^[24]。3GPP Rel-16 提出了通过 RRM 测量放松进行终端节电的机制, Rel-17 在其基础上进一步研究 RedCap UE 在 RRC 空闲态、非激活态和连接态下放松 RRC 测量要求的节电增强机制。

3GPP 评估结果表明, 当处于 RRC 空闲态、非激活态的 UE 的测量周期扩大 4 倍时, 可以获得 3.6%~13.4% 的节电增益; 当连接态 UE 的测量周期扩大 4 倍时, 可以获得 11.1%~26.6% 的节电增益^[7]。

4.3 RedCap 终端定义与识别技术

在 LTE 中, 根据功能等级的不同, 标准区分定义了多种 UE 类型。面向 NR RedCap 研究, 产业界认为不应该定义过多的 UE 类型, 以避免产品碎片化。因此在开展 RedCap 标准项目时, 3GPP

决定只定义一种 RedCap UE 类型, 包括 RedCap UE 识别能力、限制 RedCap UE 仅对 RedCap UE 使用这些能力以及防止 RedCap 使用不适用于 RedCap UE 的其他能力, 包括载波聚合、双连接和更大的带宽等。

在明确了 RedCap UE 类型后, 在 UE 接入网络的过程中, 需要网络能够准确识别出 RedCap UE 以确保正确提供服务并进行针对性处理, 如调度消息、限制 UE 对网络的访问等。

根据 RedCap UE 指示发生在随机接入过程中的先后位置, 可将 RedCap UE 识别方案分为 4 类, 分别在随机接入的 Msg1、Msg3、Msg5 或两步随机接入的 MsgA 传输期间指示 RedCap UE。在 3GPP RedCap 标准项目中, 研究决定采用前两种方式, 即通过 Msg1 或 Msg3 的早期指示被网络明确识别; 如果支持两步随机接入, 则也支持通过 MsgA 识别 RedCap UE, 包括具备网络可配置早期指示的能力^[25-26]。

5 网络功能特性与性能提升

5.1 NR RedCap 与 LTE Cat 4 对标分析

RedCap 技术从 5G 终端低成本切入开展研究, 其终端能力与 LTE Cat 4 基本对齐, 由于终端侧能力相近, 产业界对 RedCap 发展的必要性存在不同声音, 考虑 RedCap 研究诉求及后续发展方向, 该技术与 LTE Cat 4 能力特性的对标分析尤为重要。

整体来说, RedCap 的优势表现在: 可充分利用 NR 网络大带宽, 提供 LTE 无法保证的时延和可靠性性能, 速率也略优于 Cat 4; 另外, RedCap 可继承 NR 的各类优秀特性, 如多 BWP、切片、用户面功能 (user plane function, UPF) 下沉、更优功耗等。而在网络覆盖、终端价格和产业成熟度方面, LTE Cat 4 在初期相较于 RedCap 具备一定优势。NR RedCap 与 LTE Cat 4 技术对标见表 1。

5.2 NR RedCap 与网络相关的功能特性

基于 NR RedCap 与 LTE Cat 4 的对比, 产业界普遍认为这种轻量级 5G 技术的核心价值还是在于与 NR 网络优异特性的融合, 也就是说, RedCap 在网络侧的功能特性是后续研究的重点。

基于当前标准化研究关注的内容进展^[25-26], RedCap 技术与网络相关的功能特性见表 2。

6 结束语

综上所述, 随着 RedCap 的引入, 终端复杂度相比传统 eMBB 终端有明显下降, 并且可充分利用 NR 大带宽优势, 继承了 NR 的各类优秀特性, 如多 BWP、切片、UPF 下沉、更优功耗等, 对产业界具备极大吸引力。伴随着 3GPP Rel-17 阶段 RedCap 标准化工作的逐步夯实完善, 在产业各界的全力推动下, 相信 RedCap 技术能够在其应用领域大显身手。此外, 面向更低成本、更优功耗的

表 1 NR RedCap 与 LTE Cat 4 技术对标

指标	NR RedCap	LTE Cat 4
带宽/MHz	FR1: 20 FR2: 100	20
收发天线	1T1R、1T2R	1T2R
调制	64QAM 必选 256QAM 可选	64QAM
速率/(Mbit·s ⁻¹)	FR1 (FDD/1T2R, 64QAM): 上行 85、下行 170	FDD (64QAM): 上行 75、下行 150
商用时间点	2022 年第二季度标准冻结, 商用最早在 2023 年	已成熟商用
应用场景	工业无线传感器、视频监控、可穿戴	车辆追踪、高端 POS、可穿戴、视频监控、工业传感器等



表 2 RedCap 技术与网络相关的功能特性

功能特性	技术原理
RedCap UE 基本接入	20 MHz 带宽 RedCap 新 UE 类型接入 5G 网络，基本功能可用
RedCap UE 和 eMBB UE 高效共存	初始接入期间，RedCap UE 的初始下行 BWP 带宽不超过 RedCap UE 的最大带宽，为 RedCap UE 单独配置专属的窄带初始下行 BWP 和初始上行 BWP
网络侧多 BWP	针对分层 BWP 部署以充分利用大带宽，保障 RedCap UE 能充分使用 5G 大带宽网络容量
辅助上行（supplementary uplink, SUL）	关注 RedCap 的 1T SUL 功能
高层 UE 能力识别与参数配置	定义 RedCap UE 类型及其能力上报
RedCap UE 早期识别	为 RedCap UE 引入单独的 access bar 功能，使得 RedCap UE 可以在随机接入过程中上报 UE 类型
覆盖增强	RedCap UE 可复用 NR 覆盖增强中的方案
节电增强	RedCap UE 可复用 Rel-17 中 UE 节电增强的方案，包括减少 PDCCH 监控、增加 RRC 空闲态或非激活态 UE 的 eDRX 周期等
低功耗	关注 eDRX、连接态唤醒业务（wake up service, WUS）、小数据业务等
切片	关注网络侧 RedCap BWP 和切片资源兼容管理
低时延	关注 URLLC 主要价值特性，包括 Grant free、Slot 聚合、NonSlot 等
低功耗/高精度定位	关注增强型小区标识（enhanced cell-ID, ECID）技术、到达时间差（observed time difference of arrival, UTDOA）定位技术、Rel-17 低功耗高精度定位（low power high accuracy position, LPHAP）技术

需求，RedCap 会持续演进，在 3GPP Rel-18 阶段将重点针对带宽缩减、功耗节省等特性^[9]开展攻关，进一步实现低成本 5G 终端技术的优化及其与网络的适配融合。

参考文献：

- [1] SHEN J, DU Z D, ZHANG Z. 5G technology core and enhancement: from Rel-15 to Rel-16[J]. National New Books Information, 2021(4): 16.
- [2] Ericsson. 3GPP TSG RAN meeting (RP-192958) new WID on support of low-complexity NR-light devices[R]. 2019.
- [3] Ericsson. 3GPP TSG RAN meeting (RP-193238) new SID on support of reduced capability NR devices[R]. 2019.
- [4] Ericsson. 3GPP TSG RAN meeting (RP-201386) revised SID on study on support of reduced capability NR devices[R]. 2020.
- [5] Ericsson. 3GPP TSG RAN meeting (RP-201677) revised SID on study on support of reduced capability NR devices[R]. 2020.
- [6] Ericsson, Nokia. 3GPP TSG RAN meeting (RP-202933) new WID on support of reduced capability NR devices[R]. 2020.
- [7] 3GPP. Technical specification group radio access network; study on support of reduced capability NR devices (Release 17) TR 38.875: [S]. 2021.
- [8] Ericsson. 3GPP TSG RAN meeting (RP-211574) Revised WID on support of reduced capability NR devices[R]. 2021.
- [9] RAN Chair. 3GPP TSG RAN workshop (RWS-210659) summary of RAN Rel-18 Workshop[R]. 2021.
- [10] Ericsson. 3GPP TSG RAN meeting (RP-212221) Moderator's summary for discussion [RAN93e-R18Prep-07] RedCap evolution[R]. 2021.
- [11] 5G application "sailing" action plan (2021-2023): building a 5G application standard system [J]. Information Technology & Standardization, 2021(8): 5.
- [12] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains; stage 1 (Release 18): TR 22.104[S]. 2021.
- [13] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; study on enhancements for cyber-physical control applications in vertical domains; stage 1 (Release 17): TR 22.832[S]. 2021.
- [14] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; study on communication for automation in vertical domains (Release 16): TR 22.804[S]. 2020.
- [15] Ericsson, Apple, Qualcomm. 3GPP TSG RAN WG1 meeting (R1-2009293) FL summary on RedCap evaluation results[R]. 2020.
- [16] 3GPP. Technical specification group radio access network; study on provision of low-cost machine-type communications (MTC) user equipments (UEs) based on LTE (Release 12): TR 36.888[S]. 2013.

- [17] 3GPP. Technical specification group radio access network; study on NR coverage enhancements (Release 17): TR 38.830[S]. 2020.
- [18] 3GPP. Technical specification group radio access network; study on user equipment (UE) power saving in NR (Release 17): TR 38.840[S]. 2020.
- [19] Ericsson. 3GPP TSG RAN WG2 meeting (R2-2009620) RedCap power saving enhancements[R]. 2020.
- [20] Vivo, Guangdong Genius. 3GPP TSG RAN WG2 meeting (R2-2100459) TP for TR 38875 on evaluation for RRM relaxation[R]. 2021.
- [21] Huawei, HiSilicon. 3GPP TSG RAN WG2 meeting (R2-2101257) RRM measurement relaxation for RedCap UE[R]. 2021.
- [22] RATASUK R, MANGALVEDHE N, LEE G, et al. Reduced capability devices for 5G IoT[J]. 2021.
- [23] MediaTek Inc., ZTE. 3GPP TSG RAN meeting (RP-212630) Revised WID UE power saving enhancements for NR[R]. 2021.
- [24] TAYYAB M, SOFONIAS H, JARVELA R, et al. RRM relaxation in connected state for reduced capability (RedCap) NR UEs[C]//Proceedings of 2021 17th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS). Piscataway: IEEE Press, 2021: 1-6.
- [25] Ericsson. 3GPP TSG RAN meeting (RP-211742) Status Report to TSG[R]. 2021.
- [26] Ericsson. 3GPP TSG RAN meeting (RP-212802) Status Report to TSG[R]. 2021.

[作者简介]



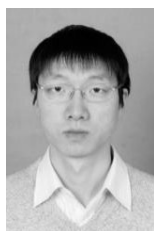
李晗阳 (1993-), 女, 中国移动通信有限公司研究院研究员, 主要研究方向为移动物联网现网及演进解决方案。



翁玮文 (1978-), 男, 现就职于中国移动通信有限公司研究院, 主要研究方向为移动物联网现网及演进解决方案。



李男 (1981-), 男, 中国移动通信有限公司研究院无线与终端技术研究所副所长, 长期从事移动通信技术研究及标准化工作, 主要研究方向为 5G、6G 通信新技术及芯片自主可控攻关等。



张龙 (1985-), 男, 现就职于中国移动通信有限公司研究院, 主要研究方向为 5G 行业网技术及应用。



程锦霞 (1981-), 女, 现就职于中国移动通信有限公司研究院, 主要研究方向为 5G 行业网技术及应用。