

# 5G RedCap 关键技术研究

## Research on Key Technologies of 5G RedCap

王璐璐, 曹 亘, 韩 潇, 李福昌 (中国联通研究院, 北京 100048)

Wang Lulu, Cao Gen, Han Xiao, Li Fuchang (China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

### 摘 要:

为满足工业无线传感器、视频监控和可穿戴设备的5G商用需求,3GPP从Rel-17开始开展5G RedCap新技术研究与国际标准制定工作。与eMBB终端相比,RedCap终端具备更低的复杂度/成本、体积更小、续航更强。首先介绍了Rel-17 RedCap的典型应用场景,分析了Rel-17 RedCap关键技术,其次,对RedCap峰值速率进行估算并研究其在不同频段的应用特点,最后对5G RedCap的商用进行了分析和展望。

### 关键词:

RedCap; 终端; 复杂度; 5G

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2023.03.003

文章编号: 1007-3043(2023)03-0010-05

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:

To meet the 5G commercial requirements of industrial wireless sensors, video surveillance and wearables, 3GPP has conducted 5G RedCap new technology research and international standard from Rel-17. Compared with eMBB terminals, RedCap terminals offer lower complexity/cost, smaller size and better battery life. Firstly, the typical use cases of Rel-17 RedCap are introduced, and the key technologies of Rel-17 RedCap are analyzed. Secondly, the peak rate of RedCap is estimated and its application characteristics in different frequency bands are studied. Finally, the commercial use of 5G RedCap is analyzed and prospected.

### Keywords:

RedCap; Terminal; Complexity; 5G

引用格式: 王璐璐, 曹亘, 韩潇, 等. 5G RedCap 关键技术研究[J]. 邮电设计技术, 2023(3): 10-14.

## 0 引言

5G在Rel-15/Rel-16定义的三大应用场景包括增强型移动宽带(eMBB)、海量机器类通信(mMTC)和超可靠低时延通信(uRLLC)。随着5G网络大规模商用部署,为了满足工业无线传感器、视频监控和可穿戴设备等中端物联网应用的新需求,3GPP从设备尺寸、能耗、成本等方面,在系统设计和性能指标等方面提出新要求。

a) 设备复杂度: 对比Rel-15/Rel-16 eMBB和uRLLC设备,大幅降低其复杂度和成本。

b) 设备尺寸: 需满足可穿戴设备对终端尺寸的紧凑型设计要求。

c) 部署场景: 支持NR全部商用频带,支持FDD和TDD模式<sup>[1]</sup>。

RedCap(Reduced Capability)即减能力的5G终端,它是5G Rel-17版本定义的新终端类型。在满足5G工业物联网等新应用场景需求的前提下,RedCap技术方案通过简化终端设计复杂度,简化5G系统配置和相应的业务流程,实现降低RedCap终端芯片、模组的成

收稿日期: 2023-02-10

本、降低终端功耗等目的。5G 商用网络可以提供满足中低速物联网新应用场景的业务需求,有助于扩展 5G 的生态系统,让 5G 得到更广泛的应用。

3GPP Rel-17 中 RedCap 课题的标准化进程包括 SI(Study Item)和 WI(Work Item)<sup>[2-3]</sup>。SI 阶段的研究内容包括对 RedCap 的定义,潜在技术方向的讨论,以及成本评估、覆盖评估、能耗评估等结果,输出报告为 3GPP TR 38.875<sup>[4]</sup>。WI 阶段从 RedCap 降复杂度方案、终端接入限制和终端节能等几个关键技术进行标准制定。此外,Rel-18 已启动 RedCap 的演进项目<sup>[5]</sup>,对 RedCap 采用更小带宽的性能展开评估,进一步增强 RedCap 的降复杂度方案。

## 1 RedCap 典型应用场景

RedCap 对标 LTE Cat.4,要求下行峰值速率为 150 Mbit/s、上行峰值速率为 50 Mbit/s。3GPP 为 RedCap 定义的典型应用场景包括工业无线传感器、视频监控和可穿戴设备,其性能要求如下。

a) 工业无线传感器。5G 商用网络可助力工业数字化转型,增加工业生产的灵活性,5G 网络互联互通的特性可提升生产效率,降低维护成本,同时增强运营安全。工业互连的无线设备包括压力传感器、湿度传感器、运动传感器、温度计、加速度计、驱动器等。这类设备的业务不仅包含对时延、可靠性要求较高的 uRLLC 业务,也包含相对低端的业务,对通信性能的要求高于 LPWA(eMTC 或 NB-IoT),但低于 uRLLC 和 eMBB。系统设计指标速率要求小于 2 Mbit/s,可靠性要求为 99.99%,端到端时延要求小于 100 ms,设备工作时保持静止,电池续航几年。对于安全相关的传感器,其时延要求较严格,为 5~10 ms<sup>[6-9]</sup>。

b) 视频监控。视频监控是智慧城市和工业的重要组成部分。5G 视频监控可以更高效地监控城市资源,收集和處理数据,为城市居民提供服务。视频监控的通信需求以上行传输为主,业务时延要求小于 500 ms;通信可靠性要求在 99%~99.9%。经济型视频监控的速率要求为 2~4 Mbit/s,高端型视频监控的速率要求为 7.5~25 Mbit/s<sup>[6-9]</sup>。

c) 可穿戴设备。可穿戴设备的应用案例包括智能手表、手环、医疗检测设备、个人防护设备等。这类设备尺寸通常较小,设备的电池续航能力需要满足若干天,下行参考速率为 5~50 Mbit/s,上行参考速率为 2~5 Mbit/s<sup>[6-9]</sup>。

## 2 Rel-17 RedCap 关键技术

Rel-17 RedCap 关键技术包括终端降复杂度关键技术,终端接入识别和控制技术以及终端节能技术。

### 2.1 RedCap 降复杂度技术

终端设计复杂度与成本直接相关,从技术实现上降低 RedCap 复杂度,可直接降低终端设备的成本。3GPP 从带宽、天线数、双工方案、调制等多个方面研究降低 RedCap 终端复杂度技术。

#### 2.1.1 减小带宽

对于 R15/R16 版本的 5G 终端,FR1 频段支持的最大信道为 100 MHz,FR2 可支持的最大信道带宽为 400 MHz。对于 Rel-17 RedCap 终端,FR1 频段支持的最大信道带宽减小为 20 MHz,FR2 可支持的最大信道带宽减小为 100 MHz,终端成本降低估算如表 1 所示。

表 1 减少带宽的终端成本评估

制式	参照组/MHz	RedCap 带宽配置/MHz	终端成本降低/%
FR1 FDD	100	20	32
FR1 TDD	100	20	33
FR2	400	100	16

RedCap 终端初始接入带宽可与 eMBB 终端共享初始带宽分段(BandWidth Part, BWP),但为保证 RedCap 终端的性能,RedCap 终端设计了全新的下行、上行初始 BWP 技术方案。

对于下行链路,RedCap 终端可配置独立的初始下行 BWP,其带宽不能大于 RedCap 最大信道带宽,但可以和其他类型的 UE 共享相同的频段资源。3GPP 为 RedCap UE 引入独立初始下行 BWP 技术,用于初始接入过程中和初始接入之后,允许 RedCap UE 和其他类型 UE 使用相同或不同的初始下行资源。考虑到服务小区的多种测量和服务都集中在小区定义 SSB(Cell-Defining-SSB, CD-SSB),随着 RedCap 终端类型的引入,为了避免所有的终端类型都把测量集中在 CD-SSB 附近的频域资源内,造成资源拥塞,RedCap 可支持基于非小区定义 SSB(Non Cell-Defining-SSB, NCD-SSB)进行服务小区测量的机制。

对于上行链路,从频域的角度考虑,RedCap UE 占用带宽较少,且位置更加灵活,考虑到 RedCap UE 的 BWP 内和两侧将分别配置 PRACH 资源和 PUCCH 资源,可能导致 eMBB UE 上行资源碎片化的问题,严重影响到其峰值速率。3GPP 为 RedCap UE 引入独立初始上行 BWP 技术,用于初始接入过程中和初始接入之

后,允许 RedCap UE 和其他类型 UE 使用相同或不同的初始上行资源。网络设备可以将 RedCap UE 的 BWP 配置在载波的边缘位置,以避免出现由于 RedCap 较窄而引起的带宽资源碎片化问题(见图1)。

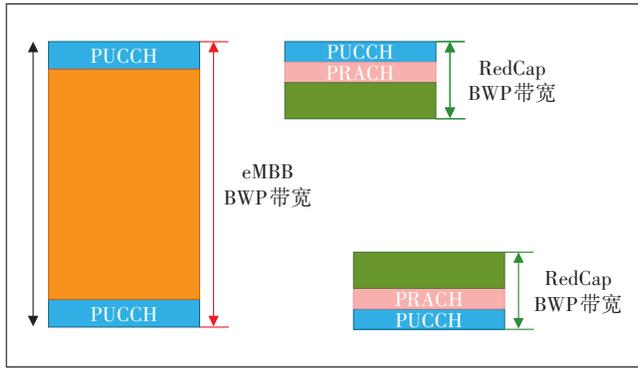


图1 RedCap独立初始上行BWP

考虑到 Msg4/B 的 PUCCH 使用的资源为初始上行 BWP 的两侧,即使初始上行 BWP 配置在载波的边缘,也可能导致 FR1 频段内有 20 MHz 的资源被碎片化的问题。因而,当为 RedCap UE 配置独立初始上行 BWP 时,网络设备可以配置 Msg4/B 的 PUCCH 来实现跳频传输方案,且 PUCCH 资源可映射到 BWP 内靠近边缘的一侧。此外,为避免载波边缘 PUCCH 资源容量受限的问题,RedCap UE 可以配置使用频域资源偏移参数,使 RedCap UE 和其他类型 UE 的 PUCCH 在频域资源上不完全重叠。

### 2.1.2 减少天线数/MIMO 层数

终端射频通道是终端成本的重要组成部分。减少 RedCap 终端的天线数可降低终端射频收发机和基带处理模块的要求,直接降低成本。值得一提的是,随着天线数的减少,RedCap 终端可支持的 MIMO 层数也相应减少,即对于接收天线数为 1Rx 的 RedCap 终端,其支持的最大 DL MIMO 层数为 1。对于接收天线数为 2Rx 的 RedCap 终端,其支持的最大 DL MIMO 层数为 2。3GPP 评估了由于天线数降低以及 MIMO 层数降低带来的终端成本降低<sup>[4]</sup>,如表 2 所示。

在标准化制定过程中,对于 RedCap 在 FR1 TDD

表2 减少天线数和 MIMO 层数的终端成本评估

制式	参照组	RedCap 天线配置	终端成本降低/%
FR1 FDD	2Rx/1Tx	1Rx/1Tx	~37
FR1 TDD	4Rx/1Tx	2Rx/1Tx	~40
		1Rx/1Tx	~60
FR2	2Rx/1Tx	1Rx/1Tx	~40

频段应支持的最小接收天线数是 2Rx 或 1Rx 一直是争议的焦点。减少射频通道数可大幅降低终端成本,但同时也将影响终端性能和 RedCap 终端的业务体验。另一方面,从终端结构上,可穿戴设备等终端尺寸较小,通常采用紧凑型的硬件设计,若放置多根天线,无法满足天线之间最小隔离要求,严重影响性能<sup>[10-11]</sup>。最终,3GPP Rel-17 通过了对于 FR1 FDD、FR1 TDD 和 FR2 频段,RedCap 可支持的最小接收天线数均为 1Rx 的方案。

### 2.1.3 半双工模式

半双工 FDD(HD-FDD)方案指终端在不同频率上的数据收发需要在不同时刻进行。与全双工 FDD(FD-FDD)相比,半双工 FDD 可放松对射频前端内的器件要求,采用成本较低的收发天线开关和低通滤波器来替代双工器,进而缩减复杂度/成本。RedCap 采用 A 型 HD-FDD 模式,可节省约 7% 的成本。

半双工 FDD 的引入,为基站调度带来了挑战。NR 系统中针对不同的信号存在多种调度方式,包括半静态调度、动态调度等,终端侧可能存在同时进行下行接收和上行发送的需求,即发生碰撞冲突。3GPP 将潜在的碰撞冲突归为 9 个类型,并为每种冲突制定解决方案。

### 2.1.4 放松调制要求

降低终端的最大调制阶数,可以减少射频与基带处理量,进而降低终端复杂度/成本。RedCap 终端的必选方案采用下行最高 64QAM 的调制阶数,256QAM 仅作为可选项。根据 3GPP 评估,降低调制阶数可带来约 6% 的终端成本降低。

## 2.2 RedCap 终端识别和访问限制

5G 系统中,RedCap 终端将和其他类型的 5G 终端共享 5G 网络资源,为避免对存量终端的性能影响,5G 网络应具备识别终端类型的能力,且能够限制 RedCap 终端接入小区。3GPP 通过 R17 新定义的 UE 特征组 FG 28-1 代表 R17 RedCap UE,通过 UE 能力上报,基站可获取 RedCap 用户类型。此外,RedCap 用户支持随机接入过程中的早期识别。对于 4 步 RACH,RedCap 终端的早期识别在 Msg1 和/或 Msg3 进行。对于 2 步 RACH,RedCap 终端的早期识别在 Msg A PRACH 进行。5G 网络可通过 RRC 拒绝连接、RRC 连接释放和基于 UE 的访问限制机制等,实现 RedCap 特定的访问限制功能,合理配置网络资源,避免出现网络超负载的情况。

### 2.3 RedCap 节能方案

RedCap 课题早期研究主要考虑 3 种节能技术:减少 PDCCH 盲检次数、eDRX 增强和 RRM 测量发送。由于 SI 阶段的评估证明 PDCCH 监控次数降低会带来 PDCCH 性能的降低,因此没有采纳减少 PDCCH 盲检次数的方案,最终只有 eDRX 增强和 RRM 测量发送方案被纳入 Rel-17 RedCap 技术标准。

RedCap 的 eDRX 操作包括终端节电分析、eDRX 周期的上下限以及 eDRX 的机制分析,具体地,针对 RedCap 的空闲态和非激活态定义 eDRX 操作;空闲态下的 DRX 周期最大可扩展到 10 485.76 s,最小值为 2.56 s;非激活态下 eDRX 周期最大可扩展到 10.24 s,最小值为 2.56 s;当 eDRX 周期大于 10.24 s 时,采用寻呼窗机制发送寻呼消息。

RedCap 的 RRM 测量放松机制适用于对邻小区的测量,可支持空闲态、非激活态和连接态,是否启用 Rel-17 的 RRM 测量放松机制可由网络决定。Rel-17 的增强方案包括引入不同状态下的邻区 RRM 测量放松方案,增加 RRM 测量时的可用测量资源,达到提高测量精度,降低能耗的目的。

## 3 RedCap 性能分析

根据 3GPP 协议,用户的峰值速率可由式(1)计算<sup>[12]</sup>:

$$\text{data rate (Mbit/s)} = 10^{-6} \times \sum_{j=1}^J \left\{ v_{\text{Layers}}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{\text{max}} \cdot \frac{N_{\text{PRB}}^{\text{BW}(j)\mu} \times 12}{T_s^\mu} \cdot [1 - \text{OH}^{(j)}] \right\} \quad (1)$$

式中:

$J$ ——载波数量

$R_{\text{max}}$ ——最大编码率,  $R_{\text{max}} = 948/1\ 024$

$v_{\text{Layers}}^{(j)}$ ——对于第  $j$  个载波的最大 MIMO 层数

$Q_m^{(j)}$ ——最大调制阶数

$f^{(j)}$ ——由高层指示的比例因数,取值可设为 1

$\mu$ ——子载波间隔<sup>[13]</sup>

$T_s^\mu$ ——OFDM 符号的时间长度

$N_{\text{PRB}}^{\text{BW}(j)\mu}$ ——在带宽和子载波间隔确定后可支持的最大 RB 数<sup>[14-15]</sup>

$\text{OH}^{(j)}$ ——开销占比

FR1 频段下行速率计算的开销可设置为 0.14,FR1 频段上行速率计算的开销可设置为 0.08。针对 3.5 GHz 频段和 2.1 GHz 频段,RedCap 峰值速率评估的参

数配置如表 3 所示。

表 3 RedCap 速率评估参数配置

参数	取值	
仿真频段/GHz	3.5	2.1
系统带宽/MHz	100	40
子载波间隔/kHz	30	15
帧结构	2.5 ms 双周期; 特殊时隙配置为 D:G:U=10:2:2	-
用户带宽/MHz	20	
终端天线配置	2Rx/1Tx 或 1Rx/1Tx	
最大调制阶数	64QAM	

由此可得,RedCap UE 在 3.5 GHz 频段和 2.1 GHz 频段的峰值速率如图 2 所示。从图 2 可以看出 RedCap 的峰值速率可以满足工业传感器和视频监控的速率需求。对于可穿戴设备场景,仅有 FDD 频段可以满足其峰值速率需求,这是因为虽然 RedCap 用户带宽均为 20 MHz,但 TDD 帧结构的上下行资源配比限制了其峰值速率,令 TDD 的峰值速率低于 FDD 频段。对于下行传输,由于天线数不同,1T2R 的峰值速率是 1T1R 的 2 倍。

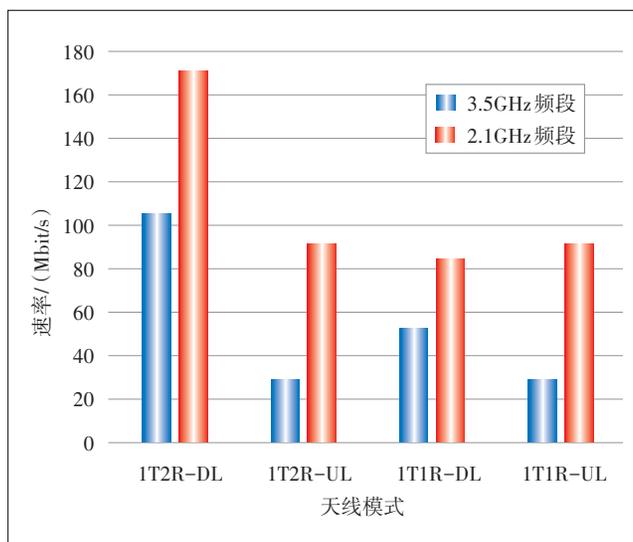


图 2 3.5 GHz 频段与 2.1 GHz 频段 RedCap 用户峰值速率

总体来说,TDD 频段和 FDD 频段引入 RedCap 各有优势。FDD 频段可以达到较高的峰值速率,但 5G FDD 频段的带宽较窄,当用户数增多的情况下,可能导致网络负载提升。TDD 频段虽然峰值速率略低,但也基本可以满足多数场景的需求,且 3.5 GHz TDD 频段具有 100 MHz 大带宽,丰富的带宽资源可容纳较多的 RedCap 用户。此外,实际的商用还应考虑现网中各

个频段的商用部署情况、连续覆盖能力等。

## 4 RedCap 发展面临的挑战和展望

RedCap 是 5G 网络中富有潜力的应用技术,从 3GPP 立项之初,即得到了行业的高度关注。RedCap 具备在 5G 网络中与其他类型的 5G 终端共存的优势,可基于现有 5G 网络进行功能升级,充分利用 5G 网络资源,扩展 5G 的应用场景。

5G RedCap 的关键技术可以具备不同的商用进程。首先,应首先实现 Rel-17 RedCap 最基本的功能特性,如 FR1 20 MHz 带宽、1T2R 天线数配置、RedCap 终端类型的上报和识别。其次,HD-FDD 技术方案在调度功能上实现复杂度较高且可带来的成本增益较少,可在部署的中期实现。对于 RedCap 节能技术方案,一方面,RedCap 设备可采用文中提到的 eDRX 和 RRM 测量放松方案,另一方面,3GPP Rel-15~Rel-17 制定的其他终端节能技术标准也可纳入考虑。最后,在商用过程中,RedCap 可结合 5G 关键技术,能够体现出 5G 灵活带宽、上行高并发、低时延、高可靠性、高精度定位等优势。

3GPP Rel-17 RedCap 国际标准制定工作已全部完成,预计将随着 5G 网络的 Rel-17 技术升级具备商用条件,行业将快速开展试验试点及商用部署,从单用户峰值速率、小区可容纳的最大用户数、与 eMBB 用户共存时的网络性能变化、终端待机时间等多个角度验证其性能,评估其在不同频段商用的特点,为商用奠定基础。Rel-17 可支持的 RedCap 功能有限,需通过后续的标准化进程,完善技术方案,达到更全面的 5G 物联网技术支持能力。

## 5 结束语

综上所述,RedCap 将 5G 的应用场景扩展至可穿戴设备等物联网领域,Rel-17 RedCap 通过多种技术方案实现 RedCap 的复杂度及成本降低、终端能耗降低、终端类型识别和网络接入管控的目的。通过理论计算给出了 RedCap 峰值速率和在不同频段的应用特点。随着 3GPP Rel-17 版本的冻结,产业界开发的 RedCap 产品将逐步完善,RedCap 的端到端技术验证也即将开展,这将加速推动 5G 在垂直行业的应用。

### 参考文献:

[1] 3GPP. 3GPP RP-192958 New WID on support of low complexity

NR-Light devices[R/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[2] 3GPP. 3GPP RP-193238 New SID on support of reduced capability NR devices[R/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[3] 3GPP. 3GPP RP-210918 Revised WID on support of reduced capability NR devices[R/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[4] 3GPP. Study on support of reduced capability NR devices: 3GPP TR 38.875 V17.0.0. [S/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[5] 3GPP. 3GPP RP-220842 Meeting report for TSG RAN meeting #94e [R/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[6] 3GPP. Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains: 3GPP TS 22.104 v18.3.0 [S/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[7] 3GPP. Study on enhancements for cyber-physical control applications in vertical domains: 3GPP TR 22.832- v17.4.0 [S/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[8] 3GPP. Study on Communication for Automation in Vertical Domains: 3GPP TR 22.804 v16.3.0 [S/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[9] 3GPP. 3GPP RP-211574 Revised WID on support of reduced capability NR devices[R/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[10] 3GPP. 3GPP RP-202642 Performance issues with supporting 2Rx for wearables in FR1 [R/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[11] 3GPP. 3GPP RP-210918 Revised WID on support of reduced capability NR devices[R/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[12] 3GPP. User Equipment (UE) radio access capabilities: 3GPP TS 38.306 v17.0.0 [S/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[13] 3GPP. Physical channels and modulation: 3GPP TS 38.211 v16.1.0 [S/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[14] 3GPP. User Equipment (UE) radio transmission and reception Part 1: Range 1 Standalone: 3GPP TS 38.101-1 v16.5.0 [S/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

[15] 3GPP. User Equipment (UE) radio transmission and reception Part 2: Range 2 Standalone: 3GPP TS 38.101-2 v17.6.0 [S/OL]. [2022-12-27]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

### 作者简介:

王璐璐,工程师,硕士,主要从事无线移动通信前沿技术研究、标准制定以及试验验证相关的工作;曹亘,高级工程师,博士,主要从事无线新技术研究,国际标准/行业标准制定等工作;韩潇,高级工程师,硕士,主要从事无线移动通信技术标准制定与技术验证相关的工作;李福昌,教授级高级工程师,博士,主要从事无线新技术研究、管理工作。