

5G网络中RedCap设备的性能与能力初探

Preliminary Exploration of Performance and Capabilities of RedCap Devices in 5G Networks

周宏¹,曾云光¹,赖杲锐²(1. 中国电信国际有限公司,香港 999077;2. 广东省电信规划设计院有限公司,广东 广州 510630)
Zhou Hong¹,Zeng Yunguang¹,Lai Gaorui²(1. China Telecom Global Limited,Hongkong 999077,China;2. Guangdong Planning and Designing Institute of Telecommunications Co.,Ltd.,Guangzhou 510630,China)

摘要:

RedCap是一种轻量化的5G终端设备,具备终端成本低和功耗低的优势,同时保持了FWA终端的基本性能。RedCap在定位、接入标识、流量适配、SRS天线选择及高阶调制等方面具有独特特性。实测结果表明,RedCap在各种场景下均表现出良好的性能,进一步证实了其在5G网络中的潜力和应用价值。

关键词:

5G;RedCap;物联网;轻量化终端

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.02.005

文章编号:1007-3043(2025)02-0025-05

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:

RedCap, as a lightweight 5G terminal device, offers advantages in reducing terminal cost and power consumption while maintaining the basic performance of FWA terminals. RedCap exhibits unique characteristics in positioning, access identification, traffic adaptation, SRS selection, and high-order modulation. The test results demonstrate that RedCap performs well in various scenarios, further confirming its potential and application value in 5G networks.

Keywords:

5G;RedCap;Internet of Things (IoT);Lightweight terminal

引用格式:周宏,曾云光,赖杲锐. 5G网络中RedCap设备的性能与能力初探[J]. 邮电设计技术,2025(2):25-29.

0 引言

随着5G网络的迅速发展,特别是在中端物联网应用领域,对降低终端设备复杂度、成本和能耗的需求愈发迫切。为满足这些需求,3GPP在Rel-17版本中定义了RedCap(Reduced Capability)设备类型^[1-8]。RedCap作为一种轻量化的5G终端设备,其速率性能介于LPWA(如MTC/NB-IoT)和5G eMBB之间,与4G Cat4基本持平,但在功耗方面,通过叠加5G相关的节能技术,可实现比4G Cat4更低的功耗,同时保持了FWA终端的基本性能,非常适用于中端物联网应用场

景。

RedCap的引入激发了业界对其性能和能力的深入研究。当前的研究主要集中在RedCap在不同网络环境下的实际表现及其对5G网络的支持能力。本文通过测试和分析,验证RedCap在5G网络中的实际性能和应用价值,特别关注其在速率、接入标识、自适应流量适配、SRS天线选择及高阶调制等方面的表现。

1 RedCap功能介绍

1.1 RedCap的定位

如图1所示,RedCap被定位为一种针对物联网(IoT)应用的低成本5G终端设备,其优势在于成本低、性能高、应用场景和资源配置灵活,在5G网络中展现

收稿日期:2024-12-16

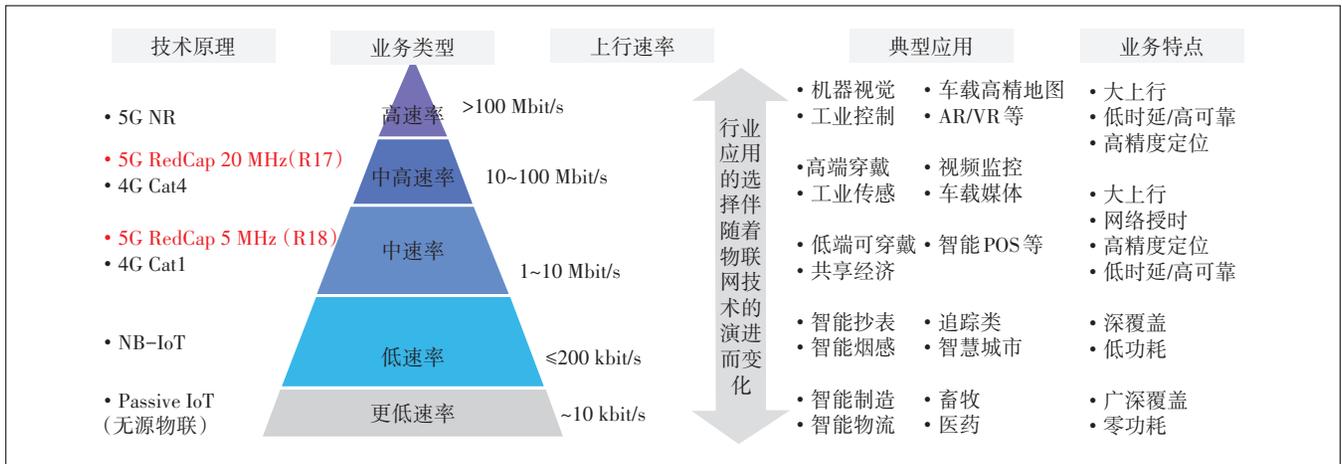


图1 不同业务类型的物联网应用

出重要作用。

a) 低成本高性能。相较于传统高带宽的5G终端设备, RedCap成本更低, 同时能够满足典型物联网应用的需求, 适用于中端物联网场景, 提供了成本更低、能耗更低的解决方案, 同时保留了5G基本性能。

b) 资源灵活配置。RedCap采用自适应流量适配技术, 可以根据流量负载的不同, 动态调整BWP数量, 从而提高网络容量和性能。通过MU配对和与eMBB用户的混合配对, 进一步提高了网络利用率和性能。

c) 网络性能稳定。RedCap支持SRS天线选择和高阶调制技术, 通过动态选择最佳的天线和支持256QAM技术, 可以在不同网络条件下实现更可靠和稳定的信号传输, 提高了网络性能和用户体验。

1.2 RedCap与Cat 1 bis、Cat4和NR的比较

与传统的Cat 1 bis和Cat 4相比, RedCap在带宽、调制、单用户和单小区峰值速率等方面有一定的提升, 同时支持切片, 具备更低的时延。然而, 与NR相比, RedCap在速率、容量和延迟等方面仍有一定差距,

NR各方面的性能表现均优于前者(见表1)^[9]。

1.3 接入标识

在RedCap终端的初设接入过程中, 终端会被调度到20 MHz带宽的BWPO上^[10]。与此相比, 普通的NR终端则被调度到具有100 MHz带宽的BWPO上。为了有效地识别RedCap终端, 基站(gNodeB)会根据Msg1消息来识别RedCap终端, 并为其保留独立的PRACH前导资源。这样的设计保证了RedCap终端在初设接入过程中能够被准确识别和分配资源, 为其后续通信提供了可靠的基础。

1.4 自适应流量适配

根据流量负载的不同, RedCap UeMaxAvailBandwidth参数可设置为20、40、60、80或100 MHz, 即RedCap终端配置的BWP数量分别为1、2、3、4或5个。这意味着在流量需求较大的情况下, 系统可以为RedCap终端配置更多的BWP, 以提高网络容量和性能。通过动态调整BWP的数量, 系统可以根据实际需求来灵活配置RedCap终端的资源, 以提高网络容量和性能。

表1 物联网性能比较

参数	Cat 1 bis	Cat 4	RedCap	NR
带宽/MHz	20	20	20	100
MIMO	1T1R	1T2R	1T2R/1T1R	2T4R
调制	DL: 64QAM UL: 16QAM	DL: 64QAM UL: 16QAM	DL/UL: 64QAM(典型) 256QAM(可选)	256QAM
单用户峰值速率/(Mbit/s)	UL: 5 DL: 10	UL: 50 DL: 150	TDD: 22(UL), 162(DL)@8:2 FDD: 120(UL)/226(DL)	TDD: 250(UL), 1700(DL)@8:2 FDD: 175(UL)/350(DL)
单小区峰值容量/(Mbit/s)	UL: 50 DL: 75 @ 1.8 GHz	UL: 50 DL: 150 @ 1.8 GHz	TDD: 400(UL) 2800(DL)@8:2 100 MHz/8 streams	TDD: 1000(UL), 5800(DL)@8:2
切片	不支持	不支持	支持	支持
时延及可用度/ms	>100	>100	20~100@99.99%	~20@99.99%

通过RedCap用户之间的MU配对,可以实现RedCap用户之间的数据传输和资源共享,从而进一步提高网络的利用率和性能(见图2)。同时,eMBB与Red-

Cap用户之间的混合配对可以充分利用空间分集技术,将网络资源进行多路复用,进一步提升网络的容量和覆盖范围,满足不同类型用户的连接需求。

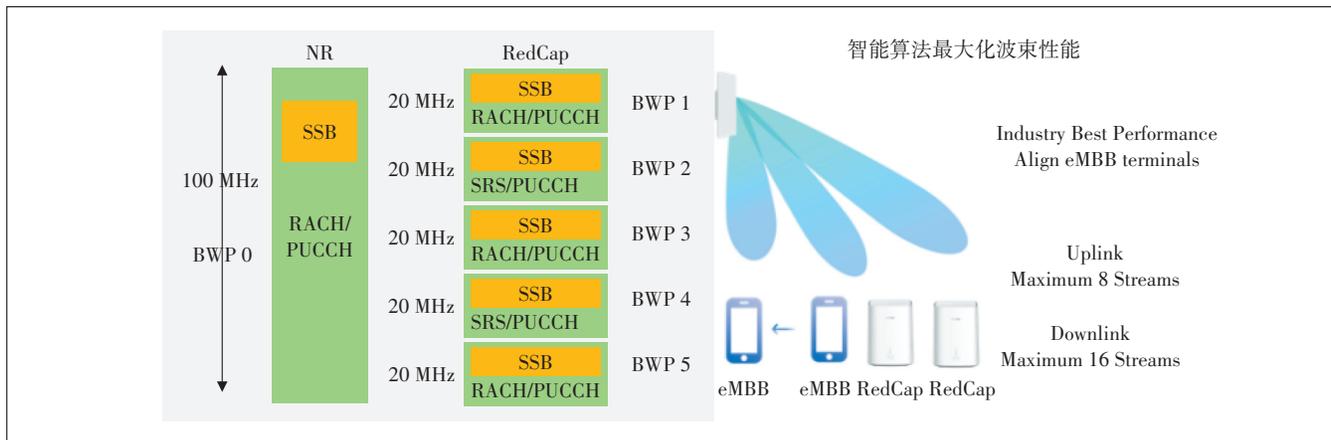


图2 RedCap资源智能适配及MU配对

1.5 SRS天线选择及高阶调制

1.5.1 SRS天线选择

RedCap终端的SRS天线选择功能,使终端可以在不同的时间段选择不同的天线向基站发送SRS。这项功能的引入使得RedCap终端能够更有效地适应不同的网络条件和环境变化。通过动态选择最佳的天线,RedCap终端可以实现更可靠和稳定的信号传输,从而提高网络性能和用户体验。实验数据显示,RedCap终端配备SRS天线选择功能后,用户体验可提升10%~20%,这为网络容量和性能的进一步提升提供了可靠的技术支持。

1.5.2 高阶调制

RedCap支持256QAM技术,这为网络性能提升带来了显著的优势。不同的信噪比(SINR)值,RedCap终端可以获得不同程度的增益(见表2)。在SINR值较高的情况下,RedCap终端可获得高达26%增益。这意味着在良好的信道条件下,RedCap终端能够实现更高的数据传输速率和更稳定的连接质量。另外,RedCap可根据网络部署情况,灵活地选择不同的调制方式,如在5G基站的近点选用256QAM,中点选用64QAM,在远点采用QPSK,以进一步优化网络性能和覆盖范围。这些技术的综合应用,使得RedCap在各种环境下

表2 不同SINR值RedCap 256QAM获得的增益

SINR 区间/dB	[21, 22)	[22, 23)	[23, 24)	[24, 25)	[25, 26)	[26, 27)	≥27
增益/%	-0.75	-2.10	5.15	10.53	22.78	23.68	26.04

都具有优异的性能表现,为用户提供更快速、更可靠的连接体验。

1.6 BWP MU混合配对

RedCap的部署面临着多项挑战,包括多BWP带来的额外信道开销、BWP固定全配置对大带宽NR体验的影响、BWP间负载不均导致RedCap用户体验下降以及大小BWP共存难配对带来的系统容量下降。为了克服这些挑战,可通过智能资源管理、BWP级负载均衡、智能BWP激活及位置智选以及大小BWP混合配对等措施(见图3),有效提升网络性能和用户体验。

1.7 RAN演进

未来RAN将具备BWP智能激活功能。在开发初期,RAN只需配置1个BWP,并实时监测网络负载情况(用户数量和CCE分配失败率),然后随着用户数量的增加,动态扩展带宽。当BWP平均负荷高于BWP扩展阈值时,激活新的BWP;低于BWP临界阈值时,则停用该BWP。通过这些关键技术和功能特性,RedCap的RAN解决方案为客户提供了更高效、更可靠的网络体验,为5G网络的发展提供了重要的技术支持(见图4)。

2 RedCap实测

2.1 典型场景速率测试

2.1.1 密集市区

在某运营商的密集市区选定了测试点,该地点为

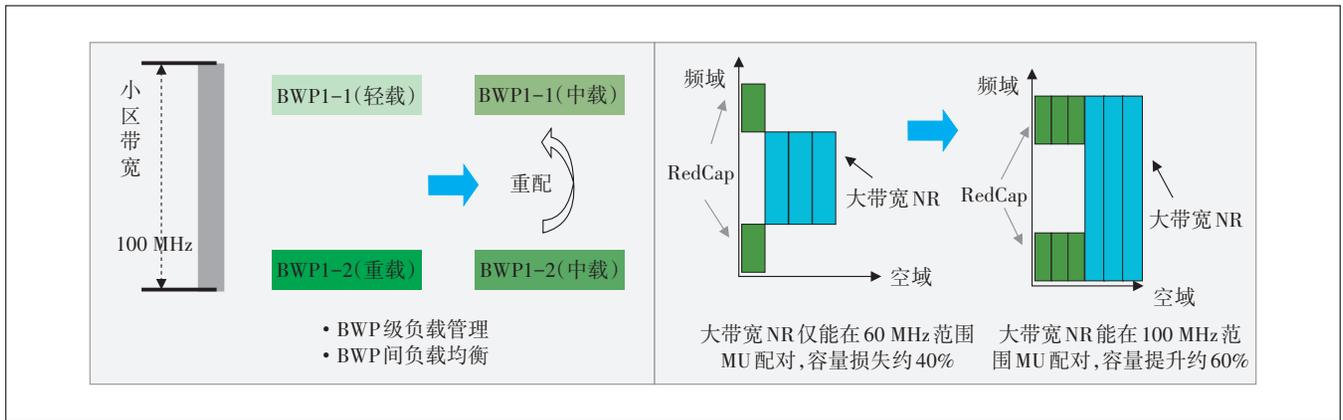


图3 BWP级负载均衡与BWP MU混合配对

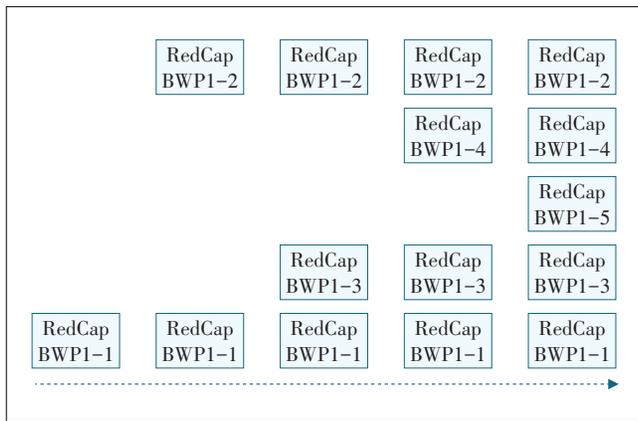


图4 RedCap BWP智能激活扩展示意

饭店,距离最近的5G站约150 m。测试结果显示,在这一密集城区场景下,网络峰值速率达到约130 Mbit/s,靠近窗户的体验速率超过90 Mbit/s,即使穿透了3堵墙后,速率仍能达到约70 Mbit/s(见表3)。

表3 密集市区测试结果

No.	PCI	RSRP/dBm	SINR/dB	速率/(Mbit/s)		备注
				下行	上行	
1	274	-43.17	25.50	128.16	12.30	峰值
2	274	-59.62	18.57	92.38	11.49	靠近窗户
3	274	-73.07	16.44	88.88	11.17	-
4	274	-78.99	15.65	91.65	11.92	第1堵墙
5	274	-83.62	14.89	94.26	11.57	-
6	274	-89.26	14.86	85.40	11.00	第2堵墙
7	274	-101.43	13.29	74.29	4.74	第3堵墙
8	274	-109.22	11.26	69.33	1.52	-

2.1.1.2 普通市区

在某运营商选取居民房的室内进行定点测试,网络近点体验速率超过130 Mbit/s,中远点速率超过60

Mbit/s(见表4)。

表4 普通市区测试结果

No.	距离	PCI	RSRP/dBm	SINR/dB	下行速率/(Mbit/s)	上行速率/(Mbit/s)
1	82	392	-89.04	18.459	132.460	14.129
2	165	390	-70.42	31.379	112.910	16.600
3	320	392	-90.04	19.246	74.880	9.230
4	407	390	-86.21	27.163	63.027	6.027
5	498	390	-92.13	22.589	68.078	5.890

2.2 5G小区对RedCap支持能力测试

为验证5G小区在不同负载情况下对RedCap的支持能力,在测试中选定了60 MHz带宽的RedCap BWP(即3个BWP),并在5个测试点进行了实验,其中包括2个近点、2个中点和1个远点,每个测试点放置10台RedCap终端。因测试点放置了多台终端设备,为减少Wi-Fi干扰,移动手机采用以太网电缆连接方式,测试结果如图5所示。

从图5可以看出,在一个小区中同时接入50个RedCap用户时,当其中30%的用户进行下行服务时,短视频服务可以顺利进行,平均下行速率可达约20 Mbit/s。当进行下行服务的用户比例增至55%时,平均下行速率仍可达到约10 Mbit/s。

3 结束语

本文首先介绍了RedCap的基本功能和技术特性,包括低成本高性能、资源灵活配置、网络性能稳定等方面。通过与传统Cat 4和NR设备的比较,证明了RedCap在带宽、调制方式、单用户峰值速率等方面的提升,同时具备低时延和支持切片的优势。

在实际测试中,RedCap在不同场景下的速率表现

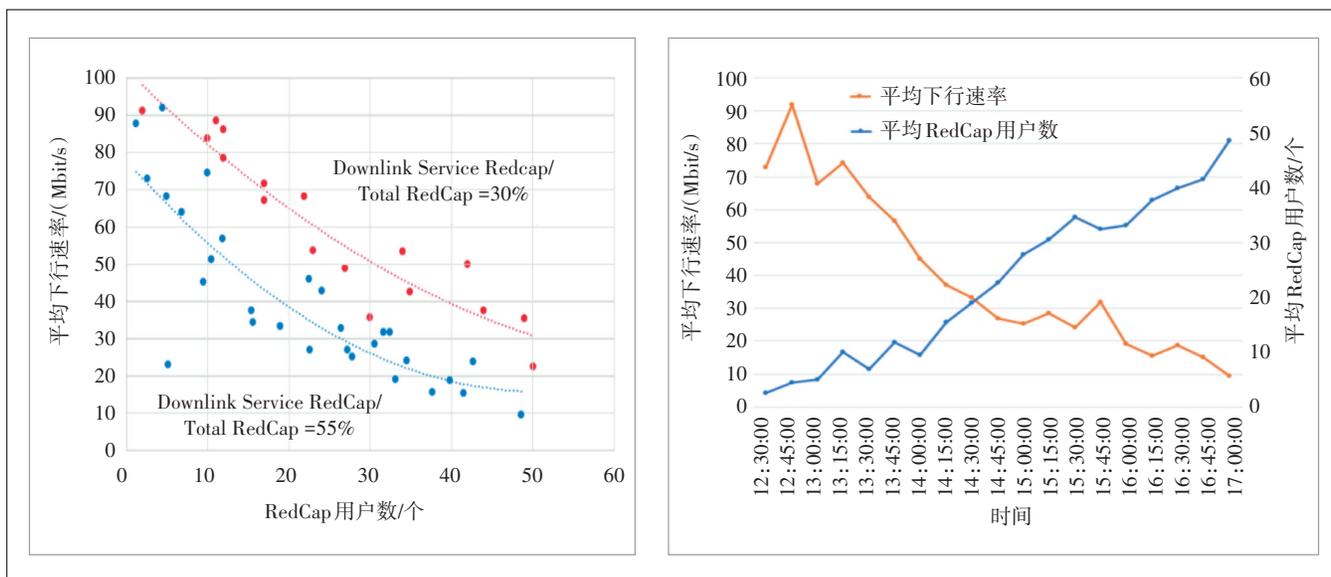


图5 5G小区对RedCap的支持能力测试结果

良好。在密集市区和普通市区的测试中,RedCap终端即使在穿透多堵墙壁的情况下,仍能保持稳定的连接和较高的速率。此外,RedCap在5G小区的支持能力测试中,即使在高用户密度的条件下,也能够维持较好的网络性能,证明其在多用户接入情况下的可靠性。

RedCap作为一种轻量化的5G终端设备,尽管其部署面临着多BWP带来的信道开销、BWP固定配置对大带宽NR体验的影响等挑战,针对这些挑战,本文提出了通过智能资源管理、BWP级负载均衡等措施来克服这些挑战。

本文的研究成果为5G网络的发展和中端物联网应用的推广提供了技术支持^[1],同时也为RedCap技术的优化和5G网络的进一步发展提供了重要的参考。

参考文献:

[1] 3GPP. Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains; 3GPP TS 22.104 - v18.3.0 [S/OL]. [2024-12-27]. <https://itcspec.com/archive/3gpp-specification-ts-22-104/>.

[2] 3GPP. Study on enhancements for cyber-physical control applications in vertical domains; 3GPP TR 22.832- v17.4.0 [S/OL]. [2024-12-27]. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3629>.

[3] 3GPP. Study on communication for automation in vertical domains; 3GPP TR 22.804 - v16.3.0 [S/OL]. [2024-12-27]. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3187>.

[4] 3GPP. User equipment (UE) radio access capabilities; 3GPP TS

38.306 - v17.0.0 [S/OL]. [2024-12-27]. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3193>.

[5] 3GPP. Physical channels and modulation; 3GPP TS 38.211 - v16.1.0 [S/OL]. [2024-12-27]. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3213>.

[6] 3GPP. User equipment (UE) radio transmission and reception; part 1: range 1 standalone; 3GPP TS 38.101-1 v16.5.0 [S/OL]. [2024-12-27]. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3283>.

[7] 3GPP. User equipment (UE) radio transmission and reception; part 2: range 2 standalone; 3GPP TS 38.101-2 v17.6.0 [S/OL]. [2024-12-27]. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3284>.

[8] Huawei, HiSilicon. 3GPP TSG RAN WG2 meeting (R2-2101257) RRM measurement relaxation for RedCap UE[R], 2021.

[9] 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.

[10] 工业和信息化部办公厅. 工业和信息化部办公厅关于推进5G轻量化 (RedCap) 技术演进和应用创新发展的通知[EB/OL]. [2024-12-02]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202310/content_6909740.htm.

[11] 中国电信. 中国电信5G RedCap产业白皮书[R/OL]. [2024-12-02]. <https://www.docin.com/p-4707790021.html>.

作者简介:

周宏,毕业于华南师范大学,工程师,学士,主要从事移动网络策略、规划和建设工作;曾云光,毕业于湖北工业大学,工程师,主要从事移动网络咨询设计研究工作;赖果锐,高级工程师,硕士,主要从事通信规划设计及通信项目管理工作。