

高铁场景5G网络RedCap的部署与验证

Research on RedCap Deployment and Verification of 5G Network in High-Speed Railway Scenarios

黎越¹,张国光¹,于洋¹,许艳秋²(1. 中国联通江苏分公司,江苏南京210019;2. 中国联通南京分公司,江苏南京210029)

Li Yue¹,Zhang Guoguang¹,Yu Yang¹,Xu Yanqiu²(1. China Unicom Jiangsu Branch,Nanjing 210019,China;2. China Unicom Nanjing Branch,Nanjing 210029,China)

摘要:

RedCap作为轻量级5G技术,是当前5G物联网演进的重要方向;高铁作为典型的高速移动场景,在高铁部署支撑智能穿戴等业务应用的RedCap网络具有重要意义。分析了RedCap在5G高铁网络中部署面临的困难和挑战,提出了频率纠偏、BWP配置等针对性的解决方案和措施,并在高铁5G现网中进行了部署和功能验证,为RedCap在高铁场景的规模商用提供参考。

关键词:

RedCap;5G物联网;高铁

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2026.01.005

文章编号:1007-3043(2026)01-0019-05

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:

As a lightweight 5G technology, RedCap is an important direction for the evolution of 5G IoT. As a typical high-speed mobile scenario, it is of great significance to deploy the RedCap network to support service applications such as smart wearables. It analyzes the difficulties and challenges faced by RedCap in the deployment of 5G high-speed rail networks, proposes targeted solutions and measures such as frequency correction and BWP configuration, and deploys and verifies functions in the live 5G network of high-speed railway, which provides technical support for the large-scale commercial use of RedCap in high-speed railway scenarios.

Keywords:

RedCap;5G IoT;High-speed railway

引用格式:黎越,张国光,于洋,等. 高铁场景5G网络RedCap的部署与验证[J]. 邮电设计技术,2026(1):19-23.

1 概述

RedCap作为5G轻量级终端,延续了5G NR的各类优秀特性,使用户设备既能从5G NR大规模部署中受益,又在功能、成本和功耗之间实现了良好平衡。其典型应用场景分别为工业无线传感器、视频监控和可穿戴设备。2024年是国内RedCap元年,RedCap网络建设和芯片的推出都呈现加速状态。随着5G RedCap商用的持续推动^[1-3],RedCap在各种场景中的应用将规模化铺开,而高铁作为大众出行的优选方式和重

要的高速移动场景,要求具备诸如智能穿戴等业务RedCap设备的应用条件。本文通过研究高铁这种高速移动场景下的RedCap部署面临的一些问题和挑战,提出了针对性的部署策略建议,并在某高铁路段进行了实际部署和测试验证。

2 RedCap的主要特性

与普通5G终端和网络相比,RedCap在终端能力方面和网络技术能力方面都有着自己独特的特性。为降低成本和功耗,RedCap终端的能力被部分缩减,同时要求网络支持RedCap基本功能如终端识别、驻留与接入控制、初始BWP、专用BWP、移动性等^[4-6]。

收稿日期:2025-11-17

2.1 终端复杂度降低

与传统5G终端相比, RedCap作为轻量化终端, 为降低成本和功耗, 复杂度大大降低。其精简的终端设备能力包括: 在Sub 6 GHz频段将最大带宽从100 MHz收窄为20 MHz; 最小接收天线数/通道数从典型的4天线接收减少为2天线或1天线接收; 最大调制阶数放松, 从下行最高必须支持256 QAM降至64 QAM; 支持半双工模式, 最大下行MIMO层数降低等。通过上述能力缩减, 终端射频和基带侧的成本可以降低约60%。高层方面, RedCap也做了大量的精简工作, 包括支持的DRB从16降为8个, 必须支持的PDCP和RLC-AM的最大序列长度从18 bit降低为12 bit。另外, RedCap终端的其他高能力特性裁剪还包括可以不支持载波聚合、双连接特性等。

2.2 网络BWP配置

BWP作为5G网络中的一个独特特性, 在初始BWP配置上, 网络在RedCap终端接入以及与传统5G终端兼容共存方面均提供了支持。针对RedCap终端的初始BWP, 有2种配置方式, 一种是RedCap终端和non-RedCap终端共享相同的初始上下行BWP, 另一种是为RedCap终端配置独立初始BWP。由于RedCap终端支持的带宽较窄, 与non-RedCap终端共享相同初始上下行BWP资源可能导致过多的用户聚集在相同的窄带资源内造成拥塞, 引入独立初始BWP可避免这种情况。网络可以给RedCap终端配置1个独立的初始上行BWP或1个独立初始下行BWP, 或同时配置1个独立的初始上行BWP与1个独立初始下行BWP。RedCap终端在不同的初始BWP上接入的流程如图1所示。

进入连接态以后, 网络会为RedCap终端配置独立

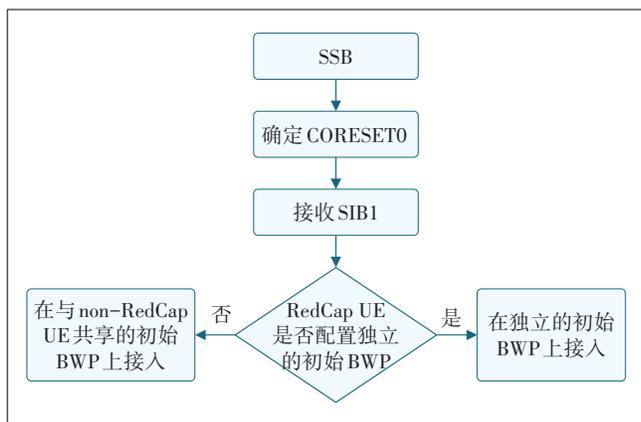


图1 RedCap终端接入流程

上行或下行专用BWP, 同时在下行专用BWP不包含CD-SSB时, 可为专用BWP配置NCD-SSB, 能够保证RedCap终端在当前BWP下基于NCD-SSB进行RLM、BFD等测量。在R15/R16标准定义中, 终端对服务小区的测量都是基于CD-SSB进行的, 由于RedCap引入了独立初始BWP, 支持包含NCD-SSB的专用BWP的配置, 需要RedCap终端支持在连接态基于NCD-SSB进行服务小区测量。RedCap终端默认支持BWP包含NCD-SSB的功能, 该功能为RedCap终端激活BWP的选择提供了较大的灵活性。

3 RedCap在高铁场景应用面临的挑战

与其他场景相比, 如普通手机终端一样, RedCap终端在高铁这种高速移动场景下使用将面临着多项挑战, 包括多普勒频移、频繁切换、网络容量负荷等。

首先, 高铁列车速度可达350 km/h以上, 高速移动会产生显著的多普勒频移。RedCap终端移动速度越快, 5G NR^[7]频率越高, 多普勒频偏越大, 对基站和终端信号解调的影响越大, 造成的用户体验越差。

其次, 高铁覆盖采用线状组网, 列车高速移动时, RedCap终端在高铁基站小区间频繁顺序切换, 切换过程中容易造成终端速率掉底, 影响用户体验。

另外, 乘坐高铁的用户多, 每当高铁过境时, 覆盖高铁的基站小区负荷瞬间升高, 造成用户资源受限, RedCap和普通5G手机终端在网络上的不同配置也会影响网络容量, 资源容量受限对用户体验带来了不利影响。

因此, 要使得RedCap终端在高铁上使用且感知良好, 适配高速移动场景, 网络需进行针对性的配置, 如更精确的频偏估计, 对频偏进行有效补偿, 网络对RedCap和普通手机终端的资源如SRS资源、BWP资源进行合理分配, 既有效支持RedCap终端的接入和切换, 同时也使RedCap终端对高铁普通手机终端用户的影响最小化。

4 RedCap在高铁场景部署采用的策略

RedCap设备在高铁场景下使用, 需要针对高铁场景特有的多普勒频移、频繁切换以及容量负荷限制等各种挑战采取有效的解决方案^[8-9]。一方面要解决普通手机终端在高铁上使用同样会面临的问题(如多普勒频移), 另一方面还必须克服RedCap终端在高铁上使用所面临的特殊问题(如和普通5G用户资源的共用

冲突等问题)。

4.1 采用纠偏措施克服多普勒频移

RedCap 设备在高铁这种高速移动场景下使用,必须要克服多普勒频移问题。为此,本次测试验证中对网络进行了针对性配置。在频偏估计方面,通过上行信道增加配置 additional DMRS, 基站利用增强的 DMRS 符号相位差进行频偏估计,作为后续频率纠偏的输入,满足高速移动的性能需求。上行配置 1+2 导频(符号 3/7/11),基线采样符号 3 和 7 进行频偏估计和信道估计,对于快速时变的场景,采用符号 3 和 11 做信道估计,可以进一步提升信道估计精度,提升上行性能(见图 2)。

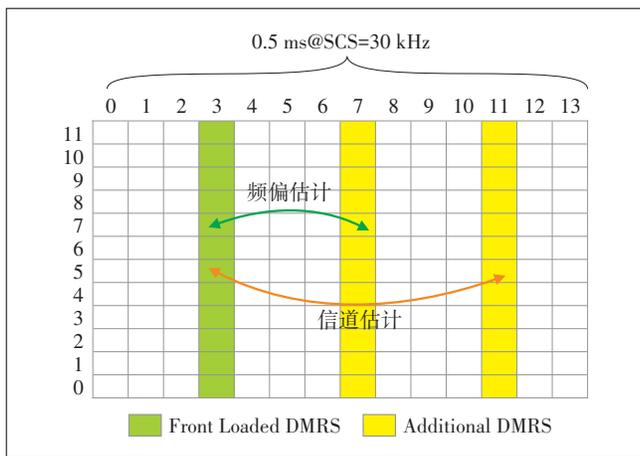


图2 配置additional DMRS的频偏估计

同时,基站根据上行频偏估计,将所得到的频偏作为频率纠正的持续输入,对基站小区下的终端开启频率纠偏。基站根据终端在 2 个小区的上行频偏量,对两相邻小区下行数据分别进行一定程度的预纠偏,从而降低多普勒频移的影响,提升解调能力,进而提升 RedCap 终端用户体验(见图 3)。

4.2 RedCap SRS 资源单独配置

频繁切换是 RedCap 在高铁场景应用面临的挑战

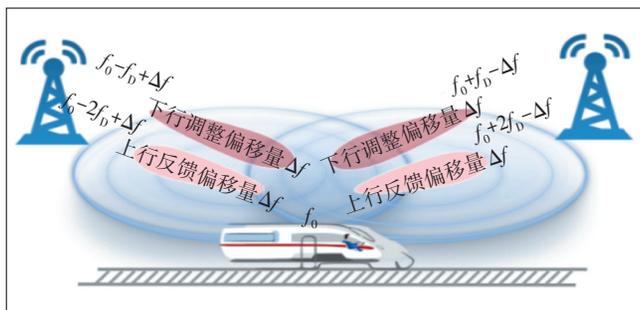


图3 高铁基站小区配置频率纠偏

之一,覆盖高铁沿线的基站为减少切换一般采用小区合并技术,它将连续覆盖的多个独立的 TRP 对应的覆盖区域合并为一个逻辑小区。小区合并后,终端在不同 TRP 间移动时,基站会测量终端在各 TRP 下的 SRS 的信号强度 RSRP,根据测量的 RSRP 结果,判断是否存在 SRS RSRP 更高的候选 TRP。终端用户在同一逻辑小区内移动时对 TRP 切换无感,可以避免频繁切换导致的业务中断或吞吐率降低(见图 4)。

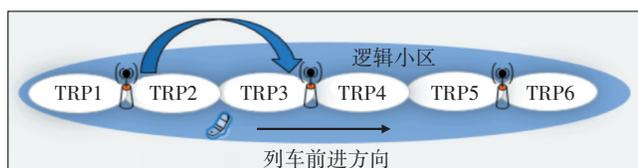


图4 高铁基站小区合并下的切换

但由于普通手机用户和 RedCap 用户带宽不一致, SRS 资源无法实现频分复用,基站默认优先保障 eMBB 用户(普通手机用户)的性能,把 SRS 资源配置给 eMBB 用户,导致在高铁快速移动场景下, RedCap 用户无法适配 SRS 资源。因此,在本次测试验证中对基站版本进行升级,为 RedCap 用户配置单独 SRS 信道资源,以兼顾普通手机用户和 RedCap 用户在网络中同时使用的切换性能要求。

4.3 为 RedCap 配置独立 BWPO

网络资源受限会对用户体验带来不利影响,是 RedCap 在高铁场景中应用面临的挑战之一。由于 RedCap 终端的引入, non-RedCap 终端与 RedCap 终端共存于网络中,不同特性的终端对网络的处理和调度提出了更高要求,也导致了互相影响。如当 RedCap 终端与普通终端共享初始 BWP 或独立初始 BWP 包含 CD-SSB/CORESET0 时, RedCap 终端与普通终端共用接入资源,在中高负荷场景下影响普通终端的接入性能及容量;另外 RedCap BWP 上独立配置的 PUCCH/PRACH 等控制信道资源会截断普通终端的 PUSCH 数据信道,导致 PUSCH 可用的连续 RB 下降,对于不支持上行非连续调度的普通 5G 终端,这会导致其上行速率显著降低,因此建议将 RedCap BWP 优先配置在频域位置的两端,以降低普通终端的 PUSCH 资源的碎片化。

在本次测试验证中网络为 RedCap 配置了 20 MHz 独立 BWPO,支持 RedCap BWPO 和 eMBB 的 CORESET0 解耦,从而减小 RedCap 终端和高铁普通手机终端用户的相互影响(见图 5)。

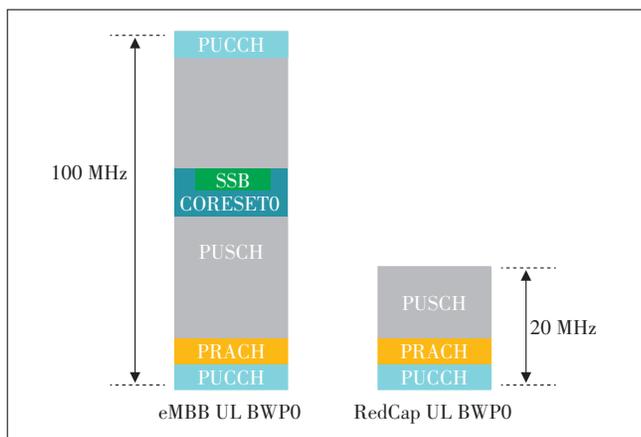


图5 RedCap配置独立BWP

4.4 RedCap 优选包含NCD-SSB的BWP

如前所述,网络可以为 RedCap 配置独立上行或下行专用 BWP,同时在下行专用 BWP 不包含 CD-SSB 时,可为专用 BWP 配置 NCD-SSB。对于 RedCap 终端激活 BWP 的部署,可以根据网络中 RedCap 用户规模、业务量等因素按需增加或减少专用 BWP 的数量。在网络中 RedCap 终端数较少、业务量较低的情况下,建议 RedCap 的专用 BWP 包含 CD-SSB,在网络中 RedCap 终端数较多或业务量较高的情况下,建议配置 1 个包含 CD-SSB 的专用 BWP 和 1 个或多个包含 NCD-SSB 的专用 BWP。

在本次测试验证中网络配置了 RedCap 优选功能,使得 RedCap 优选包含 NCD-SSB 的 BWP(见图 6)。RedCap BWP1-1 包含 CD-SSB,存在 RSMI、OSI、PAGING 等公共信令调度,数据及控制信道开销较大,相比于 BWP1-2,下行容量损失超过 30%,上行容量损失超过 20%。通过配置 RedCap BWP 优选功能,使 RedCap 用户优先接入包含 NCD-SSB 的 BWP,从而提升了 RedCap 用户的整体体验。

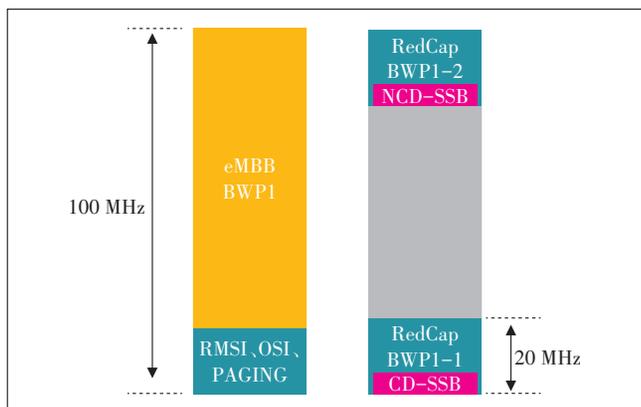


图6 RedCap配置BWP优选功能

4.5 配置SSB干扰避让功能

RedCap 在高铁场景中应用需解决 RedCap 终端和普通手机终端在高铁网络下同时使用面临的资源共用冲突问题。如图 7 所示,在基站小区部署配置过程中,当两相邻小区 RedCap BWP 数量不一致时,Cell2 的 NCD-SSB 会对 Cell1 的 eMBB PDSCH 造成干扰,导致误码率提升,吞吐率下降。因此本次测试中网络配置了 SSB 干扰避让功能,该功能支持基站小区间 NCD-SSB 时频信息的传递,受干扰小区在进行数据调度时,避让开 NCD-SSB 的干扰,在 NCD-SSB 干扰较大的远点覆盖场景,可以提升吞吐率。需要指出的是,当小区间干扰较小时,进行避让可能存在负增益。

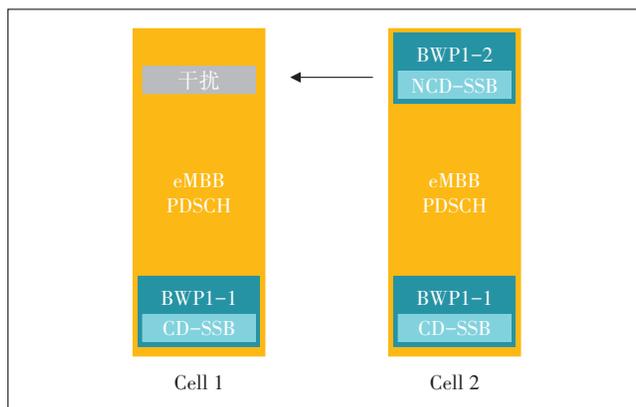


图7 配置SSB干扰避让功能

5 RedCap 高铁场景测试

5.1 测试方案

为验证上述 RedCap 在高铁场景中的部署策略,获得 RedCap 用户在高铁上的功能使用情况和性能,本文选择某高铁南京段进行了规模组网,并进行了测试。高铁沿线共连片开通 51 个站点,涉及高铁线路长度 15 km。部署开通过路段如图 8 所示。

测试采用鼎桥 DTU RedCap 模组,最大支持带宽 20 MHz,收发模式为 1T2R。测试方式采用 RedCap 模组打开 Wi-Fi 功能,第三方设备连接 RedCap 模组,并通过 RedCap 网络向指定的 FTP 服务器发起 UDP 灌包以及 Ping 时延等业务测试。

为验证 RedCap 高铁场景部署策略的有效性,在 RedCap 开通测试时,网络进行了相关策略和参数的配置,以便进行策略方案部署前后功能和性能的测试对比,其中涉及的一些主要参数配置如表 1 所示。

5.2 测试结果



图8 某高铁南京段RedCap站点部署

本次测试分别针对高铁场景下RedCap部署策略方案开启前后进行对比测试,测试选择同样的车次和

表1 RedCap网络配置参数

RedCap终端接入功能	RRM测量放松低速用户判决定时器	PDCCH多BWP1算法功能	BWP0 SRS资源分配	RedCap MU-MIMO	RedCap SSB干扰避让
开	5	开	开	开	开

位置,对比测试的指标包括RSRP信号强度、SINR信噪比、下行流数、调制阶数、下行调度以及下行平均速率和峰值速率等指标。通过在某高铁南京段对RedCap业务进行实际路测,部署策略方案开启后SSB RSRP信号强度为-91.8 dBm、SSB SINR值为3.42 dB、下行平均速率为10.1 Mbit/s,下行峰值速率可达42.6 Mbit/s,相关测试指标统计如表2所示,整体测试效果符合预期。从测试结果来看,与开启前相比,RedCap部署策略方案开启后对RedCap覆盖、质量、调度、速率等方面

表2 某高铁南京段RedCap开通前后对比测试指标统计

测试内容	阶段	SSB RSRP信号强度/dBm	SSB SINR信噪比/dB	DL RANK下行流数	DL MCS调制阶数	下行调度RB	下行调度次数	下行平均速率/(Mbit/s)	下行峰值速率/(Mbit/s)
高铁RedCap测试	开通前	-96.3	0.78	1.52	6.32	21.7	557.1	2.6	14.8
	开通后	-91.8	3.42	1.78	8.01	43.2	819.9	10.1	42.6

均有较明显的增益。

6 结束语

本文着重分析了5G RedCap技术应用于高铁场景面临的挑战、采取的针对性技术、解决方案以及相关经验总结,对高速移动场景下物联网业务开启“中高速”模式进行了实践。

5G RedCap终端部署在高铁场景,不仅面临着普通手机终端用户在高铁场景中同样遇到的多普勒频移、频繁切换等问题,同时还面临着由于网络对普通终端与RedCap终端处理和调度的不同所导致的互相影响的问题。因此,需要采用多种优化和配置手段,如多普勒纠偏、SRS及BWP资源配置以及BWP优选和SSB干扰避让等针对性策略^[10-11]。通过在高铁现网上试点部署并进行测试,验证了部署策略的有效性,取得了良好的效果,为高铁场景RedCap规模商用做了有益的探索。

参考文献:

[1] 中国联通. 中国联通5G RedCap白皮书(2022年)[EB/OL]. [2025-04-05]. <https://www.digitalelite.cn/h-nd-6489.html>.
 [2] 中国移动. 中国移动5G RedCap技术产业白皮书[EB/OL]. [2025-04-02]. <https://finance.sina.cn/tech/2023-06-02/detail->

imyvvqmr9816666.d.html?vt=4&wm=2293_0002.

[3] 中国电信. 中国电信5G RedCap产业白皮书[EB/OL]. [2025-04-02]. http://www.chinatelecom.com.cn/news/06/ZQFU/ZQDT/202302/t20230227_73357.html.
 [4] 黄宇红,徐晓东,沈祖康,等. 5G RedCap技术标准详解:低成本终端设计打开5G物联新世界[M]. 北京:人民邮电出版社,2023.
 [5] 洪伟,赵群,沈洋,等. 5G R17标准技术演进与增强[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2022.
 [6] 达尔曼,巴克浮,舍尔德. 5G NR标准:下一代无线通信技术[M]. 朱怀松,王剑,刘阳,译. 北京:机械工业出版社,2019.
 [7] 刁兆坤,蔡杰,陈青山. 5G RedCap网络规划优化和升级部署建议[J]. 通信世界,2024(5):36-38.
 [8] 曹恒,尚海波,平军磊,等. RedCap部署策略建议[J]. 邮电设计技术,2024(1):1-5.
 [9] 张灿. RedCap对运营商的价值[J]. 通信世界,2023(23):28-31.
 [10] 罗智敏,刘建. 5G Red Cap移动通信技术解析[J]. 数字通信世界,2023(10):10-13.
 [11] 池刚毅,钟莹,施春红. RedCap技术应用及网络部署策略研究[J]. 电信工程技术与标准化,2023,36(10):45-51.

作者简介:

黎越,工程师,硕士,主要从事移动通信网络专项优化工作;张国光,正高级工程师,学士,主要从事移动通信网络优化工作;于洋,工程师,学士,主要从事移动通信网络优化工作;许艳秋,工程师,学士,主要从事移动通信网络优化工作。