

3GPP R17 高功率终端标准分析

Analysis of 3GPP R17 High Power User Equipment Standardization

巴赛尔·加拉德,曹 巨,李福昌(中国联通研究院,北京 100048)

Basaier Jialade,Cao Gen,Li Fuchang(China Unicom Research Institute,Beijing 100048,China)

摘要:

为了提升 5G 网络上行覆盖范围和小区边缘用户的体验,包括运营商、网络设备、终端、芯片、器件厂商在内的整个移动通信产业链都在致力于提升移动终端的发射功率。重点分析了 3GPP R17 标准化工作完成的 5G NSA、5G SA 载波聚合和 5G SA FDD 模式下高功率终端的标准化解决方案和相关射频指标影响。

关键词:

5G;高功率终端;功率等级;上行链路

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.01.017

文章编号:1007-3043(2024)01-0079-04

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:

In order to expand the uplink coverage of 5G networks and to improve user experience located at the cell edge, the mobile communication industry, including operators, network equipment vendors, UE vendors, chip-set vendors, and device manufacturers, are all committed to improving the transmit power capabilities of UEs. The standardization solutions of high-power terminals in 5G NSA, 5G SA carrier aggregation and 5G SA FDD mode completed by 3GPP R17 standardization work and the impact of related radio frequency requirements are analyzed.

Keywords:

5G; High power UE; Power class; Uplink

引用格式:巴赛尔·加拉德,曹巨,李福昌. 3GPP R17 高功率终端标准分析[J]. 邮电设计技术, 2024(1): 79-82.

1 概述

移动通信系统持续地快速演进迭代,但是网络上下行覆盖范围不匹配的问题一直存在,这主要是由于网络设备和移动终端的天线阵列数量和发射功率的差别引起的。5G 室外宏基站的发射功率通常可以达到 200 W 或 53 dBm,远远大于终端默认的 200 mW 或 23 dBm 的最大发射功率。因此,出于提升上行网络覆盖范围和增强小区边缘用户体验等因素的考虑,3GPP 从 R15 版本就开始了 5G 高功率终端(最大发射功率 400 mW 或 26 dBm)的研究和标准化工作。本文主要分析了 3GPP R17 阶段完成的 FDD+TDD NSA 模式、NR 载波聚合模式和 NR FDD 模式下高功率终端的相

关研究和标准化解决方案。

2 标准化影响

高功率终端在标准层面上主要有 2 个方面的影响。一方面是终端更高的发射功率下如何满足人体辐射监管要求,另一方面则是相关的发射/接收机射频指标。

2.1 SAR 解决方案

SAR(Specific Absorption Rate)意为电磁波辐射吸收比例。SAR 定义为单位质量人体组织吸收的电磁辐射功率,单位为 W/kg。中国标准为 2 W/kg,即在 6 min 内,每千克人体组织吸收的电磁辐射量不超过 2 W。常规的功率等级(Power Class, PC)3 或最大发射功率为 23 dBm 的手机终端通常可以满足 SAR 辐射指标要求,而高功率终端直接提升了终端的最大发射功率能

收稿日期:2023-12-12

力,带来的最直接的问题就是如何满足人体SAR辐射要求。因此满足SAR要求的解决方案成为3GPP高功率终端议题的重点讨论内容。

2.2 射频指标

高功率终端射频指标主要包含相关发射机(Tx)和接收机(Rx)指标。发射机指标包括终端发射功率和容差、最大功率回退(MPR)、额外最大功率回退(A-MPR)等,接收机需要制定的指标主要为更高发射功率所带来的接收机灵敏度的降低。

3 5G NSA 高功率终端

在5G部署初期,国内外多家主流运营商采取了5G非独立组网(NSA)架构进行网络部署,并逐渐向5G独立组网(SA)模式网络进行迭代演进。

多家运营商和厂商都支持和参与了5G NSA高功率终端的研究与标准化工作。5G NSA FDD+TDD制式的高功率终端系列国际标准在3GPP RAN-84次会议通过了立项,该阶段重点研究LTE FDD频段与NR TDD频段组合而成的NSA制式高功率终端的功率等级、解决方案及射频器件可行性等问题。在3GPP RAN第86次会议上,项目的研究工作完成,进入标准化工作阶段,在该阶段,主要完成终端射频发射端和接收端的指标参数以及SAR解决方案。在3GPP RAN第89次会议上,该工作正式完成并以该项目的解决方案为基础通过了Basket项目立项,旨在为世界各地运营商的NSA制式网络提供高功率终端的标准能力。本章以中国联通部署的DC_3A_n78A(即LTE部署在1.8 GHz频段、NR部署在3.5 GHz频段(5G NSA架构))为例,详细介绍高功率终端技术方案和其对射频指标的影响。

3.1 技术方案

LTE FDD + NR TDD 制式高功率终端包含 LTE 23 dBm+ NR 23 dBm 和 LTE 23 dBm+ NR 26 dBm 2种功率组合,以达到26 dBm的终端最大总发射功率。为了满足SAR指标要求,终端可以采用基于实现的P-MPR(即功率管理最大功率回退)方案,除此之外3GPP RAN4经过充分的讨论后增加了一种可选的终端上报占空比的方案,以达到网络能够了解终端状态的目的。该方案旨在通过减小LTE和NR载波的发射时长来满足SAR要求,可以用式(1)来表达:

$$\text{Duty}_{\text{LTE}} \times P_{\text{LTE}} + \text{Duty}_{\text{NR}} \times P_{\text{NR}} \leq 23 \text{ dBm} \quad (1)$$

其中, Duty_{LTE} 和 Duty_{NR} 分别代表LTE和NR载波的

上行占空比, P_{LTE} 和 P_{NR} 分别代表LTE和NR载波的上行发射功率,乘积之和应小于23 dBm以满足SAR法规要求。

占空比上报方案为FDD+TDD EN-DC高功率模式定义了70%和40% 2个LTE FDD参考上行配比,在2个LTE占比下,终端分别上报maxUplinkDutyCycle-FDD-TDD-EN-DC1 和 maxUplinkDutyCycle-FDD-TDD-EN-DC2的NR部分上行占空比能力给网络(2个能力的取值均以10%为粒度,取值范围为30%~100%),当网络调度的NR上行占空比小于或等于终端上报的能力值时,终端则可以按照高功率模式(即功率等级2,两载波总发射功率不超过26 dBm)进行上行数据传输,若网络调度的NR上行占空比大于终端上报的能力值,终端依据式(1)可能会出现发射功率大于23 dBm的情况,SAR有超过监管要求的风险,则终端需要按照默认的发射功率(即功率等级3,两载波总发射功率不超过23 dBm)进行传输。如果终端没有上报上行占空比能力,则无法判断终端当时的情况,网络侧配置上行占空比后没有进行相关比较的基准,因此无法确保满足SAR要求,终端按照默认发射功率(即功率等级3)进行上行数据传输。

3.2 射频指标

发射机方面,DC_3A_n78A组合的功率等级2支持最大26 dBm的总发射功率,容差为+2/-3 dB。同时标准规定了终端在LTE侧最大支持功率等级3, NR侧可支持功率等级3或2,具体支持的功率等级由终端向网络上报。

接收机方面,该组合的上行双发互调会对FDD Band3下行接收造成干扰,导致接收机灵敏度的恶化。2阶互调($|f_{B3} - f_{n78}|$)和4阶互调($|3 \times f_{B3} - f_{n78}|$)对B3频段的接收灵敏度(MSD)分别造成31.9 dB和18.5 dB的回退。具体技术指标如表1所示。

表1 DC_3A_n78A高功率发射对B3频段接收灵敏度回退

| EN-DC配置 | 频段 | 上行频率/MHz | 带宽/MHz | 上行RB数 | 下行频率/MHz | MSD/dB | 互调阶数 |
|------------|-----|----------|--------|-------|----------|--------|------|
| DC_3A_n78A | 3 | 1 740 | 5 | 25 | 1 835 | 31.9 | IMD2 |
| | n78 | 3 575 | 10 | 50 | 3 575 | N/A | - |
| DC_3A_n78A | 3 | 1 765 | 5 | 25 | 1 860 | 18.5 | IMD4 |
| | n78 | 3 435 | 10 | 50 | 3 435 | N/A | - |

4 5G载波聚合高功率终端

在5G部署初期,运营商聚焦于单载波的能力和性

能,随着商业部署的逐渐成熟,运营商将越来越多的频段应用于5G系统。载波聚合(CA)技术可以将多个载波的带宽聚合在一起,从而带来更高的用户数据速率。因此5G CA模式下的高功率终端标准化进程也得到了业界的广泛关注和讨论。在3GPP RAN第88次的全会上,讨论并通过了5G CA模式的高功率终端标准化项目,该项目主要定义了2个上行载波的2种功率组合(23 dBm+23 dBm和23 dBm+26 dBm),功率等级为2的高功率终端。

4.1 技术方案

P-MPR作为终端实现方法,同样也作为CA高功率终端的SAR基线解决方案。除此之外,5G CA高功率终端同样也将5G NSA高功率终端的占空比上报方案作为可选SAR解决方案。不同于EN-DC模式下为LTE FDD载波定义了固定取值的上行占空比,NR载波聚合模式并没有为FDD或TDD载波限定特定的上行占空比数值。

协议中规定,对于支持CA模式高功率能力的终端向网络上报maxUplinkDutyCycle-interBandCA-PC2(针对上行2个不同载波的场景)或maxUplinkDutyCycle-SULcombination-PC2-r17(针对上行一个载波和一个SUL频段的场景)能力,该能力的取值均以10%为粒度,取值范围为50%~100%。且上行实际传输的平均占空比不超过上报能力的情况下,终端按高功率模式进行上行数据传输;当支持CA模式高功率能力的终端未上报能力时,不管实际传输的平均占空比大小,均按照高功率模式进行上行数据传输。对于CA高功率终端,上行实际传输的平均占空比定义为2个载波或1个载波加1个SUL频段实际上行传输占空比之和。

4.2 射频指标

与EN-DC制式高功率终端类似,CA高功率终端对发射机和接收机的相关射频指标产生影响。本节以中国联通网络中部署的2.1 GHz+3.5 GHz频段(CA_n1A-n78A)载波聚合组合为例,对射频指标进行分析。

发射机方面,CA_n1A_n78A组合的功率等级2支持最大26 dBm的总发射功率,容差为+2/-3 dB。n1频段最大支持功率等级3,n78频段可支持功率等级3或2,具体支持的功率等级由终端向网络上报。接收机方面,该组合的上行双发互调会对n1频段下行接收造成干扰,导致接收机灵敏度的恶化。协议中定义4阶

互调($|3 \times f_{n1} - f_{n78}|$)对n1频段的接收灵敏度造成17.8 dB的回退。该频段组合的具体指标如表2所示。

表2 CA_n1-n78高功率发射对n1频段接收灵敏度回退

| NR CA配置 | 频段 | 上行频率/MHz | 带宽/MHz | 上行RB数 | 下行频率/MHz | MSD/dB | 双工制式 | 互调源 |
|-----------|-----|----------|--------|-------|----------|--------|------|------|
| CA_n1-n78 | n1 | 1 950 | 5 | 25 | 2 140 | 17.8 | FDD | IMD4 |
| | n78 | 3 710 | 10 | 50 | 3 710 | - | TDD | - |

5 5G FDD 高功率终端

由于FDD频段载波频率较低,具有较好的传播特性,因此运营商通常使用FDD频段进行网络的打底覆盖。但是在一些场景下,由于部署站址受限、上行覆盖能力不足等,FDD制式网络同样有高功率终端能力的需求,以解决上行覆盖不足、上行业务要求高等场景的实际部署问题。基于这些实际部署需求,3GPP从R17早期就开展了引入FDD高功率上行发射的能力,最终在3GPP RAN第90会议上,通过了FDD高功率终端的研究项目,该项目主要进行FDD高功率终端基于1Tx和2Tx终端架构的可行性分析、系统性能仿真、射频参数指标研究等工作。在RAN-93全会上该研究项目顺利结项,得出FDD高功率终端能够提高运营商网络性能的结论,同时通过了标准化工作项目的立项,进一步对潜在解决方案和射频指标进行标准化,并在RAN第95全会上,完成了n1、n3 2个频段高功率的标准化工作。

5.1 技术方案

如同其他制式的高功率终端SAR解决方案,FDD高功率终端同样使用基于终端实现的P-MPR方案来解决SAR问题。占空比上报作为NSA和5G CA模式高功率终端的可选增强方案也得到了广泛讨论,但是由于在占空比起止时间、测量统计周期以及网络接收到终端上报的占空比值后行为等问题上无法达成一致,最终占空比上报方案未被标准化,而是以终端自主实现的方式自行控制上行占空比大小。另一种被充分讨论的方法为混合半双工方案,该方案提出以半双工FDD的模式使上下行数据不同时传输,从而达到减小发射时长的效果,以满足高功率终端的SAR要求。此方案的另一个动机是,在FDD高功率上行传输的场景下,发射出的信号会对终端自身的接收机造成影响,使本终端的接收机收到发射出的信号,从而提高了接收灵敏度门限,导致接收能力下降;因此半双

工的方案可以规避高功率发射对接收性能的影响。但是由于其对网络性能的影响以及终端和芯片实现复杂度高等原因,该方案未获得通过。

5.2 射频指标

发射机方面,FDD 频段功率等级 2 的发射功率定义为 26 dBm,容差为+2/-3 dB,与 TDD 频段保持一致。同时为了满足一些区域性的杂散发射等监管指标,特定频段上部署的终端需要进行额外功率回退(A-MPR)操作,而目前协议中定义的回退指标是基于功率等级 3 制定的。随着最大发射功率的提升,需要提高 A-MPR 的回退值以满足区域性监管要求。因此 R17 阶段针对 n1 频段涉及到的 NS_05、NS_05U、NS_48、NS_49 的网络信令进行了相关更新,n3 频段则不涉及 A-MPR 指标更新。

接收机方面,主要是更高发射功率对接收机灵敏度的影响,单频段的灵敏度回退随着载波带宽的增大和双工间隔的减小而增加。n1 频段的双工间隔为 130 MHz,上下行频段间隔较远,因此在 1Tx 和 2Tx 架构下实现高功率功能不会造成接收机灵敏度回退。相比之下 n3 频段的双工间隔仅为 20 MHz,因此发射功率的增加对接收机造成的干扰较大,在 2Tx 架构下 50 MHz 的载波带宽会对接收机灵敏度造成 6 dB 的减弱。各频段下的接收机灵敏度回退指标如表 3 所示。

表 3 n1 和 n3 频段下不同带宽的接收机灵敏度回退指标

| 终端架构 | 频段 | 5 MHz /dB | 10 MHz /dB | 15 MHz /dB | 20 MHz /dB | 25 MHz /dB | 30 MHz /dB | 35 MHz /dB | 40 MHz /dB | 45 MHz /dB | 50 MHz /dB |
|------|----|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 单发 | n1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 |
| | n3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 1.1 | 1.5 | 2.3 | 2.8 |
| 双发 | n1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 |
| | n3 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 2.8 | 5 | 5.5 | 6.0 |

5.3 器件成熟度

FDD 高功率终端发射有 1Tx 和 2Tx 2 种实现架构,经过充分的讨论和分析,R17 阶段认为 2Tx 终端架构(2 个发射机各支持 23 dBm 的最大发射功率)可以由现有的射频器件支持,而对于 1Tx 终端架构(单个发射机支持最大 26 dBm 发射功率),现有器件尚不能支持,需要新射频器件的研发。尽管 1Tx 器件受限于滤波器尺寸、插损、散热等问题,实现难度更大,但是单天线传输也具有节省空间、对接收机性能影响更小等优点。因此以 1Tx 支持 FDD 高功率特性,也是未来的发展趋势,需要产业链进一步推动。

6 结束语

高功率终端功能的引入对上行网络性能和终端用户体验都有显著提升,也是 3GPP 射频领域标准化的重要方向。本文从 3GPP R17 标准进展角度分析了 5G NSA、5G SA 载波聚合和 5G SA FDD 单频段制式高功率终端(总发射功率为 26 dBm)的 SAR 解决方案,以及其对发射机、接收机等射频指标方面的影响。从后续演进角度来看,应当继续将 FDD 高功率终端特性扩展到其他更多运营商有需求的频段,同时也可以开展 FDD 侧支持高功率载波聚合组合的高功率终端的相关研究和标准化工作。而相关产品的实现也需要器件、芯片、终端公司在内的全产业链的共同推动。

参考文献:

- [1] 3GPP. User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 3: Range 1 and Range 2 Interworking operation with other radios; 3GPP TS 38.101-3. v17.9.0[S/OL]. [2023-11-07]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [2] 3GPP. User Equipment (UE) radio transmission and reception; 3GPP TS 38.101-1 v17.9.0[S/OL]. [2023-11-07]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [3] 3GPP. Radio Resource Control (RRC); Protocol specification; 3GPP TS 38.331 v17.5.0[S/OL]. [2023-11-07]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [4] 3GPP. Study on high power User Equipment (UE) (power class 2) for E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access) - NR Dual Connectivity (EN-DC) (1 LTE FDD band + 1 NR TDD band); 3GPP TR 37.815 v16.0.0[S/OL]. [2023-11-07]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [5] 3GPP. High power User Equipment (UE) (power class 2) for E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access) - NR Dual Connectivity (EN-DC) (1 LTE TDD band + 1 NR TDD band); 3GPP TR37.825 v16.0.0[S/OL]. [2023-11-07]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [6] 3GPP. High power UE (power class 2) for EN-DC with 1 LTE band + 1 NR TDD band; 3GPP TR37.826 v17.0.0[S/OL]. [2023-11-07]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [7] 宋丹,邢金强,邵哲,等. 5G 高功率终端产业需求及射频解决方案研究[J]. 移动通信,2017,41(21):88-96.
- [8] 韩喆. NSA 终端功率分配解决方案的分析[J]. 中国新通信,2020,22(15):39-40.

作者简介:

巴赛尔·加拉德,工程师,硕士,主要从事无线标准化和新技术研究工作;曹亘,高级工程师,博士,主要从事无线技术、标准研究工作;李福昌,教授级高级工程师,博士,国家知识产权局中国专利审查技术专家,主要从事移动通信及固网移动融合等专业的标准制定、测试验证、课题研究等工作。