

新时代·技术新未来

# 5G无线网络优化实践

张守国 沈保华 李曙海 雷志纯 凌文杰等 编著

清华大学出版社  
北 京

## 内 容 简 介

本书对日常5G无线网络维护和优化过程涉及的知识点进行梳理和系统介绍，侧重介绍NR空口和信令流程，以及消息内容解析。本书内容涵盖5G理论基础、网络架构、协议栈、空口信道、信令流程等。通过学习本书，读者可以快速掌握5G网络的必备知识，对5G网络有一个完整、清晰的认识。

本书是作者根据自身多年的移动网络优化学习经验，围绕运营商优化维护人员的需求编写而成的。本书既可作为5G优化维护人员的工作指导用书，又可作为相关人员参加无线网络协优认证考试的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。举报：010-62782989，beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

### 图书在版编目(CIP)数据

5G无线网络优化实践 / 张守国等编著. —北京：清华大学出版社，2021.5

(新时代·技术新未来)

ISBN 978-7-302-57019-6

I . ① 5… II . ①张… III . ①无线电通信—移动网 IV . ① TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第238035号

责任编辑：刘 洋

封面设计：徐 超

版式设计：方加青

责任校对：王凤芝

责任印制：宋 林

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>

地 址：北京清华大学学研大厦A座

邮 编：100084

社总机：010-62770175

邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：三河市金元印装有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：187mm×235mm

印 张：22.75

字 数：426千字

版 次：2021年5月第1版

印 次：2021年5月第1次印刷

定 价：138.00元

---

产品编号：088506-01



随着国内 5G 网络的建设和完善，5G 用户和负荷的增加，网络质量面临新的挑战。与 4G 相比，5G 无线网络优化除了参数和算法有较大差异外，还具有较强的继承性。随着 mMIMO 的广泛应用和基站定位算法增强，5G 基站的定位精度明显提高。未来基于 AI 的智能优化将会代替大部分人工优化工作，尤其是基于覆盖的网络结构优化。本书结合一线无线网络优化维护人员的需求，内容编排侧重于实用性，着重对 5G 网络优化（简称网优）相关的基础知识进行介绍。

本书依托华信 5G 专家组的相关工作，集合了多名一线专家经验和建议编写而成。本书共分为六章内容。第 1 章介绍网络架构、频谱划分、无线帧结构、协议栈和组网方式。第 2 章主要介绍物理信道相关知识。第 3 章介绍随机接入过程、RRC 重配置过程、开机入网流程、业务建立流程、切换流程，以及 NSA 业务流程等。第 4 章介绍 NCGI、PCI、SUPI、RNTI、RSRP 等参数定义。第 5 章介绍 mMIMO、F-OFDM、MEC、网络切片、上下行解耦等关键技术。第 6 章对一些常见网络问题产生原因、优化方法进行总结和介绍。

本书对与日常维护、优化紧密相关的 5G 基础知识进行了收集整理。通过本书学习，读者可以快速掌握 5G 必备知识，对 5G 网络有一个全面、系统的了解。

在此非常感谢华信咨询设计研究院有限公司的领导和同事给予的帮助和支持，感谢设备厂商工程师施天龙、邓奔协助提供相关资料，特别感谢公司总工、5G 专家朱东照和清华大学出版社刘洋在本书的编写和出版过程中给予的指导和帮助。本书也借鉴引用了一些网友的观点，受限篇幅并未一一标明出处。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，恳请各位读者和专家批评指正。

张守国  
2021 年于杭州





## 第 1 章 网络概述

1.1 网络架构·····	6	1.2.5 国内 5G 频率分配·····	26
1.1.1 接入网·····	7	1.3 无线帧结构·····	27
1.1.2 核心网·····	9	1.3.1 基本时间单位·····	27
1.2 频谱划分·····	14	1.3.2 无线帧结构·····	28
1.2.1 频段定义·····	14	1.4 协议栈·····	33
1.2.2 频率栅格·····	17	1.4.1 控制面·····	34
1.2.3 同步栅格·····	19	1.4.2 用户面·····	40
1.2.4 BWP 概念·····	23	1.5 组网方式·····	43

## 第 2 章 物理信道

2.1 物理广播信道·····	51	2.6 物理上行共享信道·····	74
2.1.1 PBCH 位置·····	51	2.7 物理共享信道分配·····	75
2.1.2 PBCH 内容解析·····	55	2.8 物理信号·····	77
2.2 物理随机接入信道·····	57	2.8.1 解调用参考信号·····	80
2.3 物理上行控制信道·····	60	2.8.2 探测用参考信号·····	86
2.4 物理下行控制信道·····	63	2.8.3 信道状态参考信号·····	88
2.4.1 PDCCH 位置定义·····	63	2.8.4 SRS 天选·····	91
2.4.2 PDCCH 功能分类·····	70	2.9 天线端口·····	92
2.5 物理下行共享信道·····	72	2.10 波束管理·····	95

## 第 3 章 信令流程分析

3.1 随机接入 .....	102	3.7.1 PDU 会话建立流程 .....	153
3.1.1 竞争模式 .....	103	3.7.2 PDU 会话资源分配 .....	159
3.1.2 非竞争模式 .....	106	3.8 业务建立流程 .....	161
3.1.3 RRC 连接建立 .....	107	3.8.1 主叫流程 .....	161
3.1.4 RRC 连接重建 .....	109	3.8.2 被叫流程 .....	170
3.1.5 时间提前量 .....	112	3.8.3 EPS fallback 流程 .....	174
3.2 NG 连接建立 .....	113	3.9 切换流程 .....	179
3.3 RRC 重配置 .....	119	3.9.1 测量事件的类型 .....	181
3.4 服务质量控制 .....	123	3.9.2 切换信令流程 .....	182
3.4.1 QoS 参数 .....	124	3.10 NSA 业务流程 .....	188
3.4.2 QoS 映射 .....	127	3.10.1 辅站 SgNB 添加过程 .....	192
3.5 开机入网流程 .....	129	3.10.2 主站 MeNB 变更过程 .....	200
3.5.1 小区搜索 .....	129	3.10.3 辅站 SgNB 变更过程 .....	201
3.5.2 小区选择 .....	132	3.10.4 辅站 SgNB 调整过程 .....	204
3.5.3 小区重选 .....	135	3.11 空口主要消息 .....	205
3.5.4 注册登记 .....	138	3.11.1 SIB1 消息内容解析 .....	208
3.6 鉴权过程和安全过程 .....	145	3.11.2 SIB2 消息内容解析 .....	213
3.6.1 鉴权过程 .....	145	3.11.3 SIB3 消息内容解析 .....	215
3.6.2 安全过程 .....	148	3.11.4 SIB4 消息内容解析 .....	215
3.7 PDU 会话过程 .....	151	3.11.5 SIB5 消息内容解析 .....	217

## 第 4 章 参数定义

4.1 NCGI .....	220	4.7 5GS TAI .....	227
4.2 PCI .....	220	4.8 S-NSSAI .....	228
4.3 SUPI .....	221	4.9 PRACH .....	229
4.4 5G-GUTI .....	224	4.10 RSRP 和 RSRQ .....	237
4.5 5G-S-TMSI .....	225	4.11 APN 和 DNN .....	239
4.6 RNTI .....	225		

## 第 5 章 关键技术

5.1 mMIMO .....	242	5.8 服务化架构 .....	262
5.2 高阶调制 (256QAM) .....	245	5.9 信道编码 (Polar 码和 LDPC) .....	263
5.3 自适应调制编码 .....	247	5.10 CU-DU 分离 .....	263
5.4 新型多载波技术 .....	249	5.11 CU 云化部署 .....	264
5.5 移动边缘计算 .....	251	5.12 D2D .....	265
5.6 网络切片 .....	253	5.13 NOMA .....	266
5.7 上下行解耦 .....	258		

## 第 6 章 无线网络优化

6.1 优化概述 .....	269	6.5 掉线率优化 .....	281
6.2 指标和定义 .....	270	6.6 切换性能优化 .....	283
6.3 覆盖优化 .....	273	6.7 吞吐率优化 .....	286
6.4 接入性能优化 .....	275	6.8 地铁隧道优化 .....	291

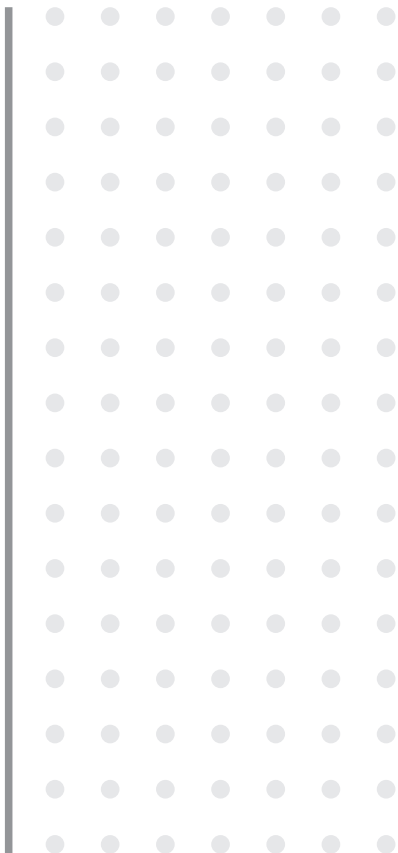
附录 A 链路预算 .....	297
附录 B 信令流程图 .....	300
附录 C 部分 NSA 消息 .....	303
附录 D NR 规范描述 .....	343
附录 E 常用术语 .....	346
参考文献 .....	355







# 第 1 章 网络概述



第四代移动通信技术（4G）以正交频分多址接入（Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA）技术为基础，其数据业务传输速率能够在较大程度上满足宽带移动通信应用需求。然而，随着智能终端的普及应用及移动新业务需求的持续增长，4G 无线通信的传输速率、时延和容量难以满足未来移动通信的应用需求。

5G 网络定位于频谱效率更高、速率更快、容量更大、时延更低的无线网络，面向行业客户，提供物与物之间的连接，加快智能社会的步伐。5G 网络支持 100Mbit/s 的用户体验速率、 $10^6$  台连接设备 /km<sup>2</sup> 的连接密度、毫秒级的端到端时延、500km/h 以上的速度和 20Gbit/s 的峰值速率。其中，用户体验速率、连接密度和时延为 5G 网络的三个基本性能指标。同时，5G 网络大幅提高网络部署和运营的效率，能效相比 4G 网络提升百倍以上。表 1-1 为国际电信联盟（International Telecommunication Union, ITU）针对 5G 网络定义的主要能力指标要求。

表 1-1 5G 主要性能指标要求（参考 TR38.913 第 7 章）

指 标	ITU 指标要求
峰值速率（单个用户）	DL 20G bit/s uL 10G bit/s
用户体验速率	100 Mbit/s
连接密度	$10^6$ 台连接设备 / km <sup>2</sup>
用户面时延（空口）	eMBB RTT $\leq$ 8ms uRLLC RTT $\leq$ 1ms
流量密度	(10 Mbit/s) /m <sup>2</sup>
能效（相比 IMT-A）	100 倍
频谱效率（相比 IMT-A）	3 倍 [DL (30bit/s/Hz) , UL (15bit/s/Hz) ]
移动性	500 km/h

注：能效指单位能量可以传送的数据量；IMT-A是4G移动通信标准规范简称。

另外，ITU 为 5G 定义了 eMBB（增强移动宽带）、mMTC（大规模机器通信）和 uRLLC（超高可靠低时延通信）三大应用场景，具体应用包括超高清视频、增强现实（Augmented Reality, AR）/ 虚拟现实（Virtual Reality, VR）、智慧城市、智慧家居、紧急任务应用、工业自动化、自动驾驶等，如表 1-2 所示。

表 1-2 典型场景时延和带宽需求

典型应用	基本假设	传输速率要求	时延要求	速率要求
视频会议	支持上行 1080P 视频传输	影响因素： ——分辨率 ——每像素点比特数 ——帧率 ——压缩比	50 ~ 100ms	15Mbit/s (UL 和 DL)
高清视频	不同场景支持能力不同，如静止环境支持 8K 视频传输，中速场景支持 4K 视频传输，高速场景支持 1080P 视频传输（下行）	带宽需求计算结果（压缩率 1%）： ——1080P, 12bit/px, 60FPS	50 ~ 100ms	1080P:15Mbit/s (DL) 4K:60Mbit/s (DL) 8K:240Mbit/s (DL)
AR	支持上下行 1080P 视频传输	带宽需求计算结果（压缩率 1%）： ——1080P, 12bit/px, 60FPS	5 ~ 10ms	15Mbit/s (UL 和 DL)
VR	支持下行 8K (3D) 高清视频传输	视频传输需要 15Mbit/s ——4K, 12bit/px, 60FPS	50 ~ 100ms	960Mbit/s (DL)
实时视频分享	支持上行 4K 视频传输	视频传输需要 60Mbit/s ——8K, 12bit/px, 60FPS	50 ~ 100ms	60Mbit/s (UL)
视频监控	单位面积一个摄像头，支持上行 4K 视频传输	视频传输需要 240Mbit/s ——8K (3D), 24bit/px, 120FPS 视频传输需要 960Mbit/s	50 ~ 100ms	60Mbit/s (UL)

注：上述业务带宽需求供参考。

面对多样化场景的极端差异化性能需求，5G 很难像以往一样以某种单一技术为基础形成针对所有场景的解决方案。5G 技术创新主要来源于无线技术和网络技术两方面：在无线技术领域，大规模天线阵列 mMIMO、超密集组网、新型多址和全频谱接入等技术已成为业界关注的焦点；在网络技术领域，基于软件定义网络（Software Defined Network, SDN）和网络功能虚拟化（Network Function Virtualization, NFV）的新型网络架构已取得广泛共识。

4G 网络到 5G 网络的演化如图 1-1 所示。

与 4G 网络相比，5G 网络的变化主要体现在以下几个方面。

- (1) 5G 网络空口支持 20Gbit/s 的峰值速率，用户体验速率达到 100Mbit/s。
- (2) 由原来的集中式核心网演变成分布式核心网。核心网用户面功能可以下沉到中心机房，在地理位置上更靠近终端，减小传输时延。
- (3) 分布式应用服务器（Application Server, AS）。AS 部分功能下沉至中心机房，并在中心机房部署移动边缘计算（Mobile Edge Computing, MEC）服务器。MEC 将应用、

处理和存储推向移动边界，使得数据可以得到实时、快速处理，以减少时延、减轻网络负担。

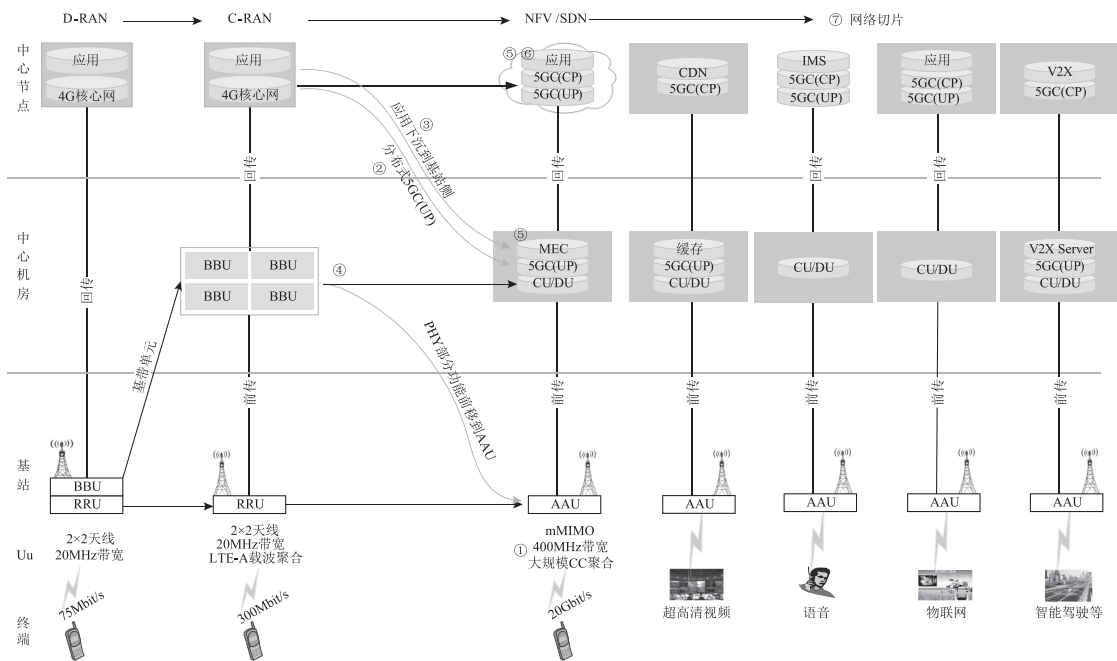


图 1-1 4G 网络到 5G 网络的演化

(4) 重新定义基带处理单元 (Base band Unit, BBU) 和射频拉远单元 (Radio Remote Unit, RRU) 功能。将 BBU 拆分为中心单元 (Centralized Unit, CU) 和分布单元 (Distributed Unit, DU)，用有源天线单元 (Active Antenna Unit, AAU) 取代 RRU 和天线，同时将原 BBU 部分 PHY 功能下沉到 AAU，以减小前传容量，降低前传带宽需求。

(5) 网络功能虚拟化 (Network Function Virtualization, NFV)，在通用的服务器上通过软件来实现网元功能，最终目标是实现软硬件分离，用基于行业标准的 x86 服务器，存储和交换设备取代通信网专用的网元设备。

(6) SDN 是一种新型的网络架构，可将网络设备的控制权分离出来，由集中的控制器管理，无须依赖底层网络设备，屏蔽了来自底层网络设备的差异。控制权完全开放，用户可以自定义任何想实现的网络路由和传输规则策略，从而更加灵活和智能。5G 网络通过 SDN 连接边缘云 MEC 和核心云里的虚拟机 VMs，SDN 控制器执行映射，建立核心云与边缘云之间的连接。传统网络与 SDN 网络的对比如图 1-2 所示。

(7) 网络切片技术。运营商的物理网络可以被划分为多个虚拟网络，每一个虚拟网络根据不同的服务需求 (如时延、带宽、安全性和可靠性等) 来划分，以灵活应对不同

的网络应用场景，提供差异化服务，满足不同业务需求。

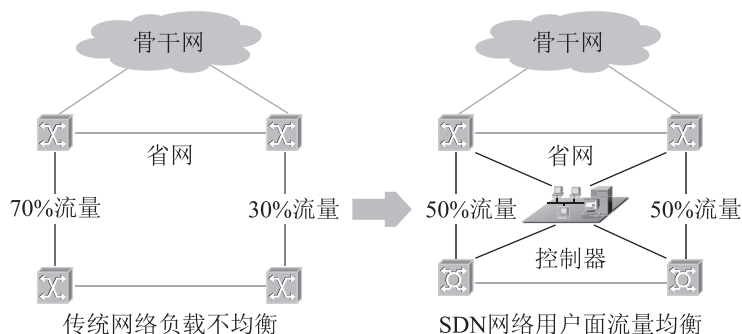


图 1-2 传统网络与 SDN 网络的对比

(8) 5G 网络空口技术演进，如表 1-3 所示。

表 1-3 5G 网络空口技术演进

技术类别	4G 网络	5G 网络
多址方式	OFDMA	OFDMA/NOMA
基本波形	上行 DFT-S-OFDM 下行 CP-OFDM	上行 CP-OFDM/DFT-S-OFDM 下行 F-OFDM
双工方式	半双工	全双工
调制方式	QPSK/16QAM/64QAM	QPSK/16QAM/64QAM/256QAM
最大带宽	20MHz	100/400MHz
CA 载波数	5 CC	16 CC
信道编码	Turbo	控制面 (CP) : Polar 用户面 (UP) : LDPC
MIMO	8T8R	Massive MIMO (64T64R 及以上)
TTI	1ms	以 slot/mini slot 为单位
子载波间隔	15kHz (固定)	15/30/60/120/240kHz
网络架构	扁平化、IP 化	NFV、SDN、SBA

5G 网络面向的对象包括智慧城市、智慧家居、智能驾驶、工业自动化等，因此 5G 网络的安全性很重要。与 4G 网络相比，5G 网络在加密算法、网间互联、用户面数据保护方面均有明显加强，如图 1-3 所示。

5G 网络沿用 4G 网络的分层安全架构保障机制，同时针对 5G 核心网 SBA 域进行安全增强。

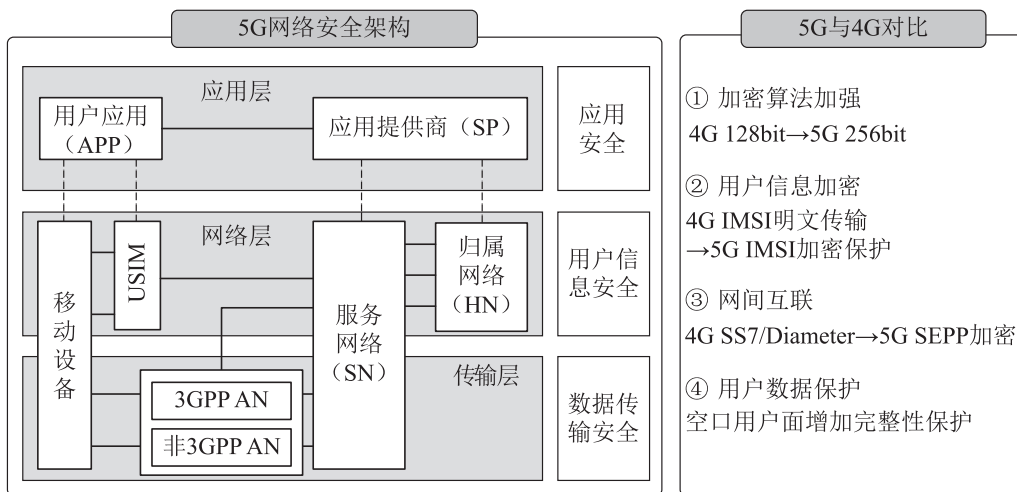


图 1-3 5G 网络安全机制 (3GPP TS 33.501 图 4-1)

## 1.1 网络架构

5G 网络架构包括接入网和核心网两个部分，如图 1-4 所示。其中，NG-RAN 代表 5G 接入网，由 gNB 和 ng-eNB 组成。5GC 代表 5G 核心网，主要由 AMF、SMF 和 UPF 等组成。NG-RAN 内 gNB 之间连接的接口称为 Xn 接口。NG-RAN 与 5GC 之间的接口称为 NG 接口，分为 NG-C 和 NG-U。其中，NG-C 是 NG-RAN 与 AMF 之间的接口，用于传输控制信令；NG-U 是 NG-RAN 与 UPF 之间的接口，用于传输用户数据（参阅 3GPP TS 23.501 第 4 章）。

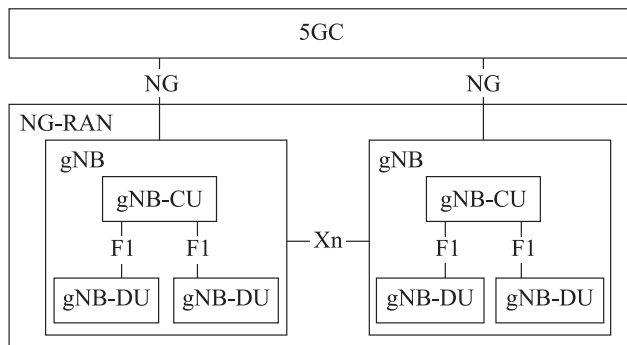


图 1-4 5G 网络结构图

NG-RAN 和 5GC 主要逻辑节点功能如图 1-5 所示。

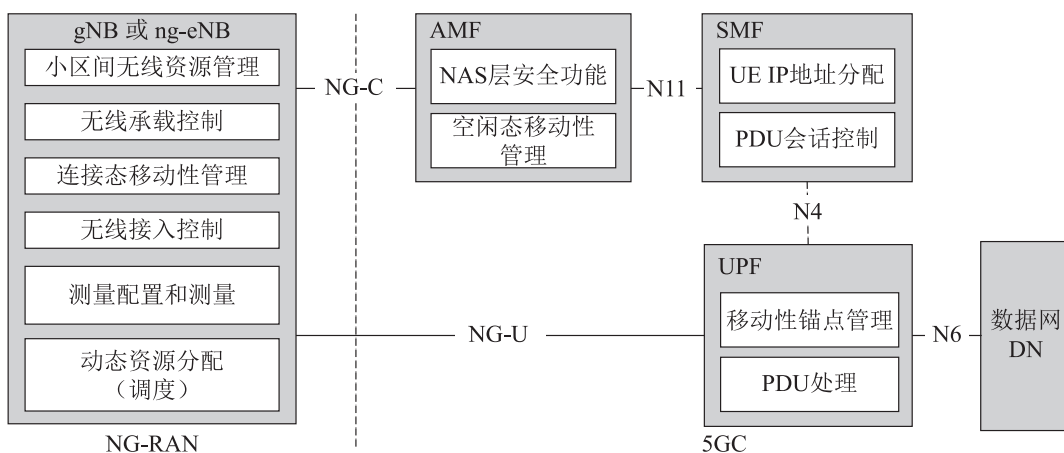


图 1-5 NG-RAN 和 5GC 主要逻辑节点功能 (3GPP TS 38.300 图 4.2-1)

## 1.1.1 接入网

5G 无线接入网由新无线 (New Radio, NR) 单元组成, 其中 NR 是多种接入设备的统称, 5G 基站称为 NR NodeB, 简称 gNB, 为 5G 网络用户提供 NR 的用户面和控制面的协议和功能。ng-eNB 为升级后的 eNB, 可以直接连到 5GC, 为 4G 网络用户提供用户面和控制面的协议和功能。NR 向 UE 提供用户面和控制面的协议终端的节点, 并且经由 NG 接口连接到 5GC, NR 之间通过 Xn 接口进行连接, 如图 1-6 所示。

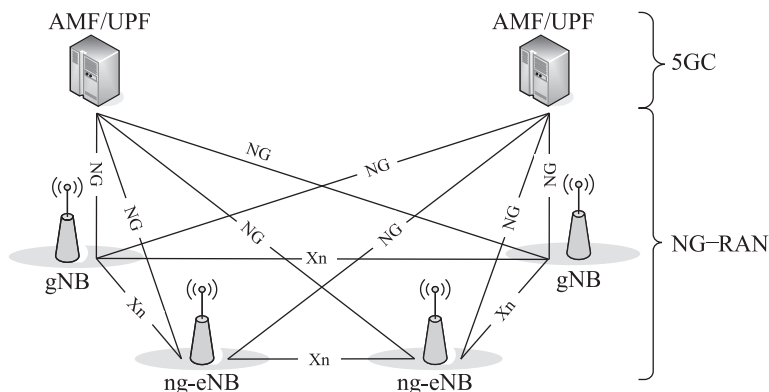


图 1-6 5G 无线接入网和接口 (3GPP TS38.300 图 4.1-1)

5G 基站 gNB 按功能分为 CU、DU 和 AAU 3 个部分。与 eNB 相比，gNB 从功能上将 BBU 拆分为 CU 和 DU 两个部分，同时将 BBU 物理层部分功能前移到 AAU，减少 CPRI 接口传输带宽需求，如图 1-7 所示。

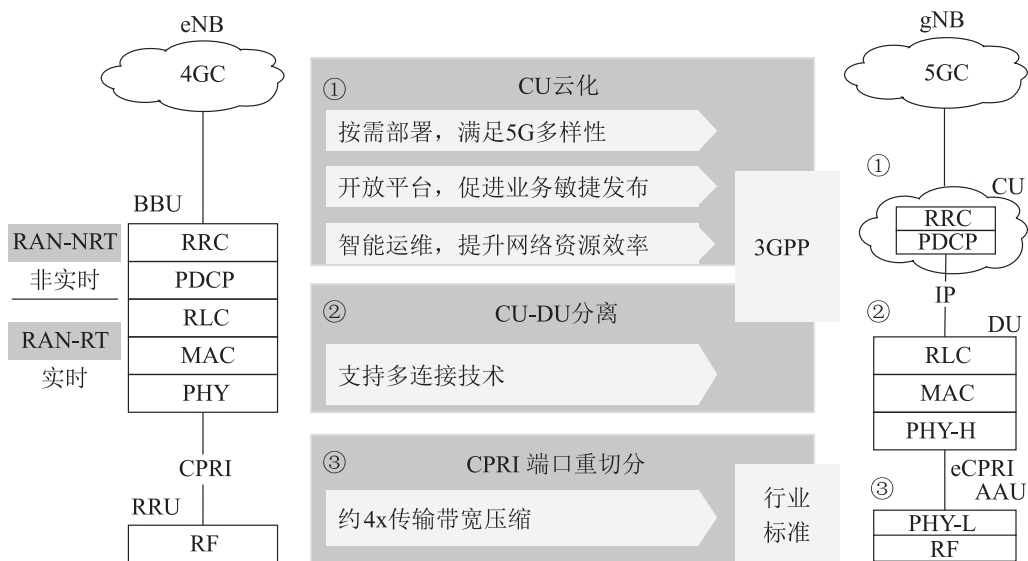


图 1-7 eNB 和 gNB 结构对比

通过引入 CU，一方面，在业务层面可以实现无线资源的统一管理、移动性的集中控制，从而进一步提高网络性能；另一方面，在架构层面，既可以灵活集成到运营商云平台，也可以采用云化思想设计，实现资源池化、部署自动化，降低投资成本 CAPEX 和运营成本 OPEX。

5G 基站 gNB 的主要功能包括（参阅 3GPP TS38.300 4.2 节）以下几个。

- (1) 无线资源管理：无线接入控制、RB 控制、连接态移动性管理、动态资源分配。
- (2) IP 报头压缩、数据加密和完整性保护。
- (3) UE 附着时 AMF 选择。
- (4) 路由用户面数据到 UPF。
- (5) 路由控制面信息到 AMF。
- (6) 连接建立和释放。
- (7) 调度和发送寻呼消息、源自 AMF 或 OAM 的系统广播消息。
- (8) 测量和测量报告配置。



- (9) 会话管理。
- (10) 支持网络切片。
- (11) QoS flow (QoS 流) 管理及将 QoS flow 映射 DRB 等。

基于 CU/DU (BBU) 安装位置进行划分, 5G 接入网可以划分为 3 种部署方式, 分别是 D-RAN、C-RAN 和 CU 云化部署, 如图 1-8 所示。

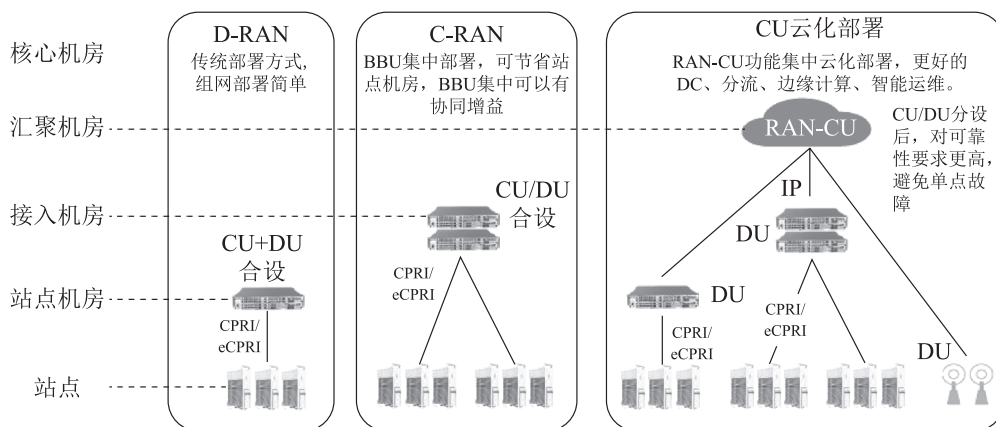


图 1-8 NR 接入网组网方式

D-RAN (Distributed RAN) 指分布式无线接入网, CU/DU 合设并且将 CU/DU 放置在站点机房, RRU 移到靠近天线的位置, 大大缩短了 RRU 和天线之间的馈线长度, 可以减少馈线传输损耗, 增大基站覆盖范围。

C-RAN (Centralized RAN) 指集中化无线接入网, CU/DU 集中部署在接入机房。采用 C-RAN 之后, CU 可以统一管理和调度, 资源调配更加灵活, 适合 MEC 技术的应用。另外, 通过集中化的方式, 基站机房数量和配套设备的能耗减少, 基站规划更加灵活。

云 RAN 指云化无线接入网。在云 RAN 中, CU 云化部署, 每个虚拟 CU 能够支持更多的基站, 以实现资源池的高利用, 更好的业务分流、边缘计算和运维等。

## 1.1.2 核心网

5G 核心网采用服务化架构, 主要由 AMF、SMF 和 UPF 等功能单元组成, 功能单元之间通信采用 HTTP/TCP 协议, 如图 1-9 所示。核心网通过模块化实现网络功能单元间的解耦与整合, 各解耦后的网络功能抽象为网络服务, 独立扩容、独立演进、按需部署。

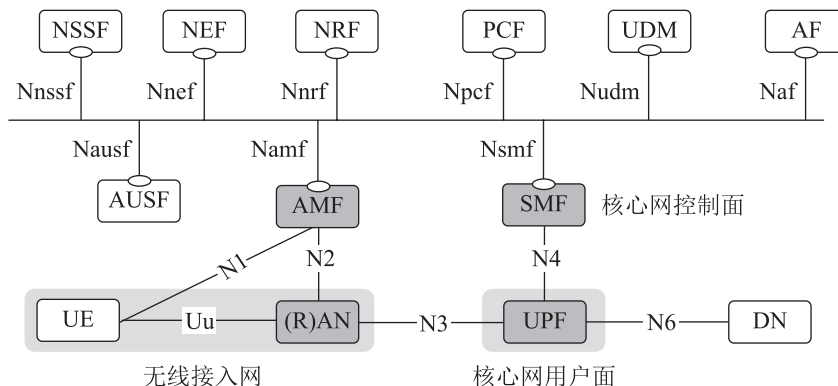


图 1-9 非漫游 5G 系统服务化架构 (3GPP TS 23.501 图 4.2.3-1)

传统 2G、3G、4G 网络架构采用的是“点对点”架构，网元和网元之间的接口需预先定义和配置，并且定义的接口只能用于特定的两类网元间，灵活性不强；而服务化架构将网络功能划分为可重用的若干个“服务”，“服务”之间使用轻量化接口通信。

5G 无线接入网和核心网之间弱关联，各种接入均可通过通用的接口接入核心网。核心网功能单元 NF 之间的交互采用服务化接口，同一种服务可以被多种 NF 调用，降低 NF 之间接口定义的耦合度，最终实现整网功能的按需定制，灵活支持不同的业务场景。

图 1-10 为 5G 系统架构参考点示意图。UE 与 AMF 之间的控制面参考点为 N1，(R) AN 与 AMF 之间的控制面参考点为 N2，(R) AN 与用户面 UPF 之间的参考点为 N3。

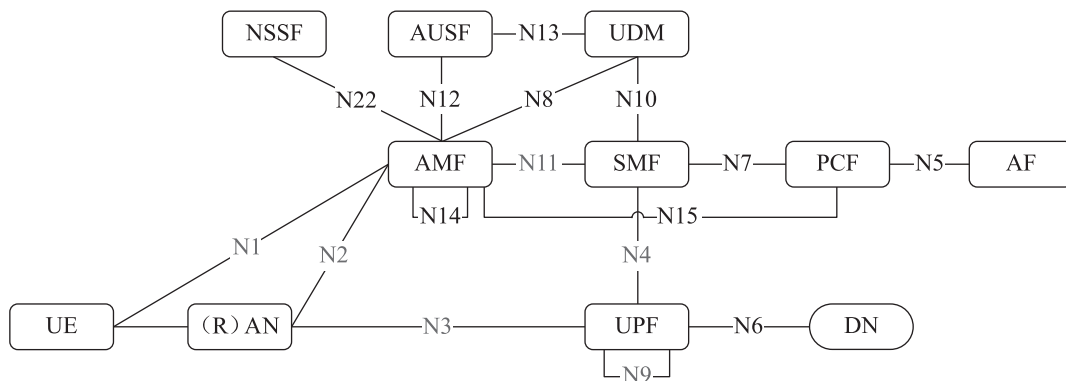


图 1-10 非漫游 5G 系统架构参考点示意图 (3GPP TS 23.501 图 4.2.3-2)

5G 网元及其功能如表 1-4 所示。

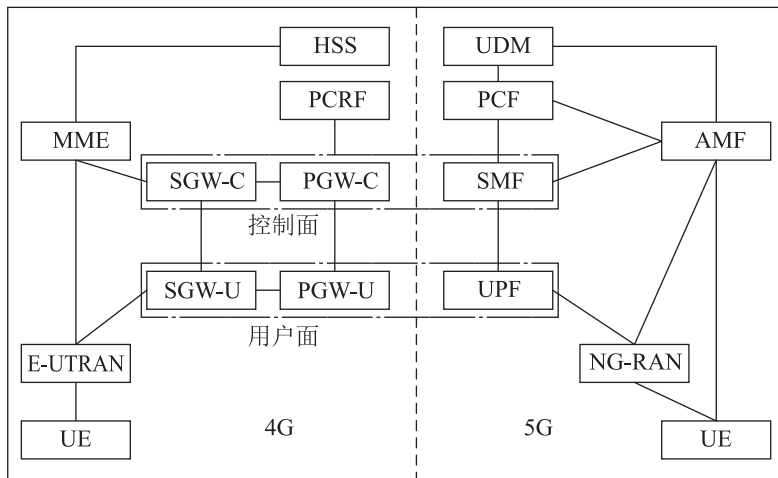
表 1-4 5G 网元及其功能 ( 参阅 3GPP TS23.501 6.2 节 )

网元名称	网元主要功能
(R) AN	无线接入控制、无线承载控制、连接态移动性管理、动态资源分配等
AMF	接入管理功能，完成注册管理，连接管理，可达性管理，空闲态移动性管理，接入鉴权和授权，转发 UE 和 SMF 间的 SM 消息，合法监听等
SMF	会话管理功能，包括 UE IP 地址分配；选择和控制 UPF，配置 UPF 的流量定向，转发至合适网络；下行数据到达通知；合法监听等
UPF	用户面功能，包括数据面锚点、连接数据网络的 PDU 会话点、报文路由和转发、合法监听、用户面 QoS 处理，例如包过滤、门控 UL/DL 速率执行等，对应 SGW/PGW 中的用户面功能
AUSF	鉴权服务器功能
NRF	NF 贮存功能，类似 DNS。存储 NF 类型、IP 地址、支持的服务能力等信息。用于服务注册、发现、授权等功能，提供内部 / 外部寻址功能
NEF	网络业务开放功能。作为网络能力开放的统一接口网元，对外提供 API，用于帮助公开和发布网络数据，以及帮助其他节点发现网络服务
PCF	策略决策功能，提供策略规则给控制面，由其执行；提供接入签约信息，供 UDR 做策略决策
UDM	统一数据库，存放用户的签约数据，包括签约数据管理、用户服务 NF 注册管理、产生 3GPP AKA 鉴权参数、基于签约数据的接入授权、保证业务和会话的连续性
NSSF	网络切片选择功能，包括选择为 UE 服务的网络切片实例集，确定允许的 NSSAI（并且可以映射到签约的 S-NSSAI），确定用于服务 UE 的 AMF 集合
AF	应用功能
DN	数据网络

4G 网络与 5G 网络功能映射如图 1-11 所示。

5G 网络的控制面与用户面完全分离。用户面 UPF 既可灵活部署于核心网（中心数据中心），也可同时部署于接入网（边缘数据中心），最终实现可分布式部署。

5GS 和 EPC/E-UTRAN 互操作网络结构如图 5-12 所示，目的是在 5G 网络覆盖边缘将进行中的 5G 业务通过切换或重定向方式转移到 4G 网络，保持业务的连续性。



EPC 网元功能		对应 NG-C 网络功能
MME	移动性管理	AMF
	鉴权管理	AUSF
	PDN 会话管理	SMF
PGW	PDN 会话管理	SMF
	用户面数据转发	UPF
SGW	用户面数据转发	UPF
	PDN 会话管理	SMF
PCRF	计费及策略控制	PCF
HSS	用户数据库	UDM

图 1-11 4G 网络与 5G 网络功能映射

为了保证 4G/5G 间更好的兼容性，新建 5GC 时遵循 TS23.501 定义搭建 4G/5G 融合网网络，如表 1-5 所示。UDM/HSS、PCF/PCRF、SMF/PGW-C、UPF/PGW-U 全部部署为融合网元，MME 和 AMF 之间通过 N26 接口实现互操作。

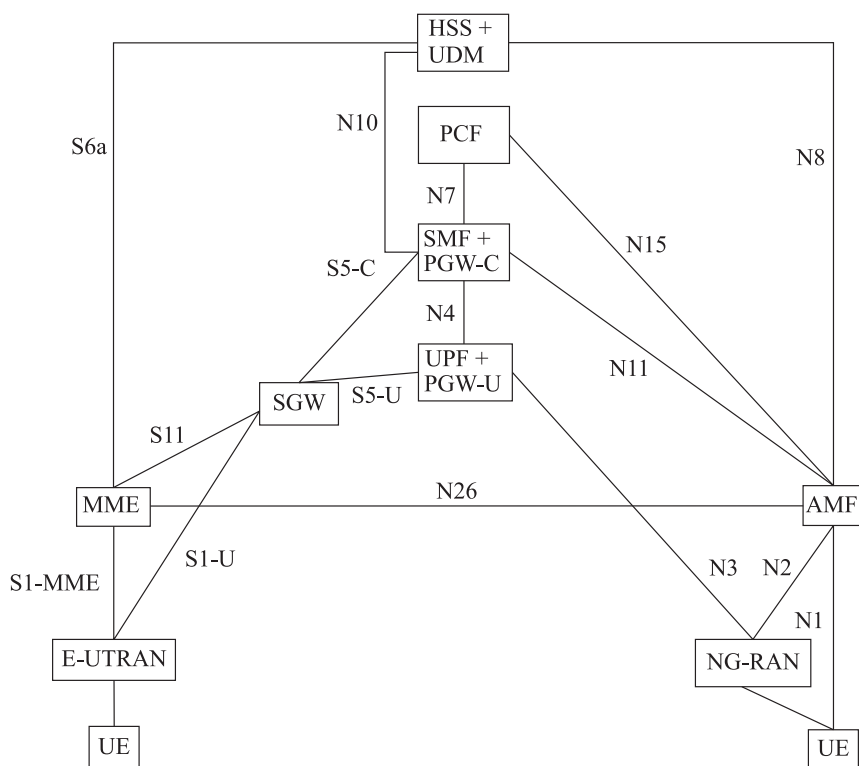


图 1-12 5G 和 EPC/E-UTRAN 互操作网络结构 (3GPP TS 23.501 图 4.3.1-1)

表 1-5 4G 和 5G 核心网融合

网元	功能需求
UDM+HSS	UDM 和 HSS 融合部署, 保证互操作过程用户数据的一致性
PCF+PCRF	PCRF 和 PCF 融合部署, 保证互操作过程策略一致性、连续性
SMF+PGW-C	控制面锚点不变, 保证互操作过程 IP 会话连续性
UPF+PGW-U	用户面锚点不变, 保证互操作过程 IP 会话连续性
MME	需升级, 支持 N26 接口互操作
AMF	支持 N26 接口互操作

## 1.2 频谱划分

5G 先发频段是 C-Band，频谱范围为 3.3G ~ 4.2GHz，4.4G ~ 5.0GHz，对应的运营频段分别是 n77、n78、n79<sup>①</sup>；其次是毫米波频段，对应的频率分别为 26GHz/28GHz/39GHz，对应的运营频段分别是 n258、n257 和 n260。

### 1.2.1 频段定义

根据 3GPP TS38.104 协议定义，将 5G NR 的频率划分为 FR1 和 FR2 两个部分，其中 FR1 指 Sub-6GHz 频段，FR2 则指毫米波频段，如表 1-6 所示。

表 1-6 频率范围定义

频率范围名称	对应的频率范围
FR1	450 M ~ 6000 MHz
FR2	24250 M ~ 52600 MHz

FR1 和 FR2 中 NR 工作频段分别如表 1-7 和表 1-8 所示。

表 1-7 FR 1 中 NR 工作频段 (3GPP TS 38.104 表 5.2-1)

NR 频段	上行频段 /MHz		下行频段 /MHz		双工模式 (下行频率上限)
	$F_{ul\_low}$ (上行 频率下限)	$F_{ul\_high}$ (上行 频率上限)	$F_{dl\_low}$ (下行 频率下限)	$F_{dl\_high}$ (下行 频率上限)	
n1	1920	1980	2110	2170	FDD
n2	1850	1910	1930	1990	FDD
n3	1710	1785	1805	1880	FDD
n7	2500	2570	2620	2690	FDD
n12	699	716	729	746	FDD
n28	703	748	758	803	FDD
n38	2570	2620	2570	2620	TDD
n41	2496	2690	2496	2690	TDD
n77	3300	4200	3300	4200	TDD

① 这里 n77 和 n78 是互相包含的关系，n77 包含 n78，所以会对应 3 个频段。

续表

NR 频段	上行频段 /MHz		下行频段 /MHz		双工模式 (下行频率上限)
	$F_{ul\_low}$ (上行 频率下限)	$F_{ul\_high}$ (上行 频率上限)	$F_{dl\_low}$ (下行 频率下限)	$F_{dl\_high}$ (下行 频率上限)	
n78	3300	3800	3300	3800	TDD
n79	4400	5000	4400	5000	TDD
n80	1710	1785	-	-	SUL
n81	880	915	-	-	SUL
n82	832	862	-	-	SUL
n83	703	748	-	-	SUL
n84	1920	1980	-	-	SUL
n86	1710	1780	-	-	SUL

注：TDD为时分双工模式；FDD为频分双工模式；SUL为补充上行链路。-表示空。

表 1-8 FR 2 中 NR 工作频段 (3GPP TS 38.104 表 5.2-2)

NR 频段	上行和下行频段 /MHz		双工模式
	$F_{low}$	$F_{high}$	
n257	26500	29500	TDD
n258	24250	27500	TDD
n259	39500	43500	TDD
n260	37000	40000	TDD
n261	27500	28350	TDD

FR1 频率范围一共定义了 30 个频段。理论上，这 30 个频段都可应用于 5G 的建设，但为了降低芯片成本，避免基带芯片支持的频段过多，厂家会有针对性地进行选择。另外，频段还受可用带宽资源限制。目前国内已分配的 5G 频段主要集中在频段 n28（中国广电）、n41（中国移动）、n77/n78（中国电信和中国联通）、n79（中国移动和中国广电）。

此外，在 FR1 中引入了 SUL（上行辅助频段），原因是用户终端（User Equipment, UE）的发射功率低，在使用高频段时 5G 网络的覆盖瓶颈受限于上行，而工作于更低频段的 SUL 则可以通过上下行解耦的方式与下行配合，从而补偿上行覆盖不足。

FR1 支持的最大信道带宽为 100MHz，子载波支持 15kHz、30kHz、60kHz 这 3 种类型；FR2 支持的最大信道带宽为 400MHz，子载波支持 60kHz 和 120kHz 两种类型。不同带宽可配置最大资源块（Resource Block, RB）数分别如表 1-9 和表 1-10 所示。

表 1-9 FR1 最大信道带宽 CHBW 可配置的 RB 数  $N_{RB}$  (3GPP TS 38.104 表 5.3.2-1)

SCS /kHz	10MHz	15MHz	20MHz	25MHz	40MHz	50MHz	60MHz	80MHz	100MHz
	$N_{RB}$	$N_{RB}$	$N_{RB}$	$N_{RB}$	$N_{RB}$	$N_{RB}$	$N_{RB}$	$N_{RB}$	$N_{RB}$
15	52	79	106	133	216	270	—	—	—
30	24	38	51	65	106	133	162	217	273
60	11	18	24	31	51	65	79	107	135

表 1-10 FR2 最大信道带宽 CHBW 可配置的 RB 数  $N_{RB}$  (3GPP TS 38.104 表 5.3.2-2)

SCS /kHz	50MHz	100MHz	200MHz	400MHz
	$N_{RB}$	$N_{RB}$	$N_{RB}$	$N_{RB}$
60	66	132	264	—
120	32	66	132	264

并不是所有 FR1 的频段都能支持 100MHz 带宽。对于不同的频率范围，系统支持的带宽和子载波间隔也会有所不同。FR1 和 FR2 部分工作频段支持的信道带宽分别如表 1-11 和表 1-12 所示。

表 1-11 FR1 部分工作频段支持的信道带宽 (参阅 3GPP TS 38.104 表 5.3.5)

NR 频段	SCS kHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	70 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
n1	15	是	是	是	是	是	是					
	30	是	是	是	是	是	是					
	60	是	是	是	是	是	是					
n2	15	是	是									
	30	是	是									
	60	是	是									
n3	15	是	是	是	是	是						
	30	是	是	是	是	是						
	60	是	是	是	是	是						
n7	15	是	是	是	是	是	是					
	30	是	是	是	是	是	是					
	60	是	是	是	是	是	是					
n12	15	是										
	30	是										
	60											



续表

NR 频段	SCS kHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	70 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
n28	15	是	是		是	是						
	30	是	是		是	是						
	60											
n41	15	是	是			是	是					
	30	是	是			是	是	是	是	是	是	是
	60	是	是			是	是	是	是	是	是	是
n77	15	是	是		是	是	是					
	30	是	是		是	是	是	是	是	是	是	是
	60	是	是		是	是	是	是	是	是	是	是
n78	15	是	是		是	是	是					
	30	是	是		是	是	是	是	是	是	是	是
	60	是	是		是	是	是	是	是	是	是	是
n79	15					是	是					
	30					是	是	是		是		是
	60					是	是	是		是		是

表 1-12 FR2 部分工作频段支持的信道带宽

NR 频段	SCS/kHz	50MHz	100MHz	200MHz	400MHz
n257	60	是	是	是	
	120	是	是	是	是
n258	60	是	是	是	
	120	是	是	是	是
n260	60	是	是	是	
	120	是	是	是	是
n261	60	是	是	是	
	120	是	是	是	是

## 1.2.2 频率栅格

5G 引入频率栅格的概念，要求中心频点满足一定规律。频率栅格根据用途不同分为信道栅格和同步栅格，分别用于定义小区中心频点 NR-ARFCN 和同步信号块（Synchronization

Signal Block, SSB) 的中心频点 GSCN。其中, 信道栅格又分为全局信道栅格和信道栅格两种类型。

5G NR 小区中心频点依据信道栅格进行定义。5G 小区频点 NR-ARFCN、频率  $F_{REF}$  与全局信道栅格  $\Delta F_{Global}$  的关系如下面公式所示 (参阅 3GPP TS38.104) :

$$F_{REF} = F_{REF-offs} + \Delta F_{Global} (N_{REF} - N_{REF-offs})$$

式中,  $N_{REF}$  表示 NR 小区的频点编号, 即 NR-ARFCN;  $F_{REF}$  表示 NR 的频率, 单位为 MHz; 全局信道栅格  $\Delta F_{Global}$ 、起始频率  $F_{REF-offs}$  和起始频率编号  $N_{REF-offs}$  的定义如表 1-13 所示。

表 1-13 NR-ARFCN 参数定义 (3GPP TS 38.104 表 5.4.2.1-1)

频率范围 /MHz	$\Delta F_{Global}$ /kHz	$F_{REF-offs}$ /MHz	$N_{REF-offs}$	$N_{REF}$ 范围
0 ~ 3000	5	0	0	0 ~ 599999
3000 ~ 24250	15	3000	600000	600000 ~ 2016666
24250 ~ 100000	60	24250	2016667	2016667 ~ 3279167

信道栅格  $\Delta F_{Raster}$  是全局栅格的子集, 而且必须是全局频率栅格粒度  $\Delta F_{Global}$  的整数倍。FR1、FR2 可适用的 NR-ARFCN 分别如表 1-14 和表 1-15 所示。

表 1-14 FR1 可适用的 NR-ARFCN (3GPP TS 38.104 表 5.4.2.3-2)

NR 运营频段	$\Delta F_{Global}$ /kHz	$\Delta F_{Raster}$ /kHz	上行 $N_{REF}$ 范围 (开始 -<步长> - 结束)	下行 $N_{REF}$ 范围 (开始 -<步长> - 结束)
n1	5	100	384000 - <20> - 396000	422000 - <20> - 434000
n7	5	100	500000 - <20> - 514000	524000 - <20> - 538000
n12	5	100	139800 - <20> - 143200	145800 - <20> - 149200
n28	5	100	140600 - <20> - 149600	151600 - <20> - 160600
n38	5	100	514000 - <20> - 524000	514000 - <20> - 524000
n41	5	15	499200 - <3> - 537999	499200 - <3> - 537999
	5	30	499200 - <6> - 537996	499200 - <6> - 537996
n51	5	100	285400 - <20> - 286400	285400 - <20> - 286400
n66	5	100	342000 - <20> - 356000	422000 - <20> - 440000
n70	5	100	339000 - <20> - 342000	399000 - <20> - 404000
n71	5	100	132600 - <20> - 139600	123400 - <20> - 130400
n75	5	100	—	286400 - <20> - 303400
n76	5	100	—	285400 - <20> - 286400
n77	15	15	620000 - <1> - 680000	620000 - <1> - 680000
	15	30	620000 - <2> - 680000	620000 - <2> - 680000

续表

NR 运营频段	$\Delta F_{\text{Global}}$ /kHz	$\Delta F_{\text{Raster}}$ /kHz	上行 $N_{\text{REF}}$ 范围 (开始 -<步长> - 结束)	下行 $N_{\text{REF}}$ 范围 (开始 -<步长> - 结束)
n78	15	15	620000 - <1> - 653333	620000 - <1> - 653333
	15	30	620000 - <2> - 653332	620000 - <2> - 653332
n79	15	15	693334 - <1> - 733333	693334 - <1> - 733333
	15	30	693334 - <2> - 733332	693334 - <2> - 733332
n80	5	100	342000 - <20> - 357000	—
n81	5	100	176000 - <20> - 183000	—
n82	5	100	166400 - <20> - 172400	—
n83	5	100	140600 - <20> - 149600	—
n84	5	100	384000 - <20> - 396000	—
n86	5	100	342000 - <20> - 356000	—

表 1-15 FR2 可适用的 NR-ARFCN

NR 运营频段	$\Delta F_{\text{Global}}$ /kHz	$\Delta F_{\text{Raster}}$ /kHz	上行和下行 $N_{\text{REF}}$ 范围 (开始 -<步长> - 结束)
n257	60	60	2054166 - <1> - 2104165
	60	120	2054167 - <2> - 2104165
n258	60	60	2016667 - <1> - 2070832
	60	120	2016667 - <2> - 2070831
n260	60	60	2229166 - <1> - 2279165
	60	120	2229167 - <2> - 2279165
n261	60	60	2070833 - <1> - 2084999
	60	120	2070833 - <2> - 2087497

以频段 n41 为例，上行频率范围为 2496 ~ 2690MHz。根据 NR-ARFCN 公式计算，起始频点 2496MHz 对应的 NR-ARFCN 为 499200。由表 1-14 可以知道 n41 信道栅格  $\Delta F_{\text{Raster}}$  有 15kHz 和 30kHz 两种。我们以 15kHz 为例，其对应步长为 3（即全局信道栅格 5kHz 的 3 倍），则下一有效频点编号为 499203，其对应的频率为 2496.015MHz。

### 1.2.3 同步栅格

在 NR 网络中，由于信道带宽非常大，若 UE 按照信道栅格逐个频点进行同步信号搜索，则完成同步和小区搜索耗时太长，并且增加 UE 耗电，因此引入全局同步信道号 (Global

Synchronization Channel Number, GSCN), 并设置较大步长, 根据频段不同分别设置为 1.2MHz、1.44MHz 和 17.28MHz 3 种类型, 专门用于小区搜索和同步, 目的是加快 UE 小区搜索和同步的速度。NR 全局同步信道栅格如表 1-16 所示。

表 1-16 NR 全局同步信道栅格 (3GPP TS 38.104 表 5.4.3.1-1)

频率范围	同步信号频率位置	GSCN	GSCN 范围
0 ~ 3000MHz	$N \times 1200\text{kHz} + M \times 50\text{kHz}$ $N=1:2499, M \in \{1, 3, 5\}$ ( $M$ 默认为 3)	$3N + (M-3) / 2$	2 ~ 7498
3000MHz ~ 24250MHz	$3000\text{MHz} + N \times 1.44\text{MHz}$ $N=0:14756$	$7499 + N$	7499 ~ 22255
24250MHz ~ 100000MHz	$24250.08\text{MHz} + N \times 17.28\text{MHz}$ $N=0:4383$	$22256 + N$	22256 ~ 26639

在 NR 中, NR-ARFCN ( $N_{\text{REF}}$ )、GSCN 和 PointA 三者的关系如图 1-13 表示。

**PointA:** 频域的参考点, 对应公共资源块 CRB 0 的第 0 个子载波的频率, 是一个参考位置, 可位于传输带宽外面的保护带内, 由参数 absoluteFrequencyPointA 定义。该参数配置在信元 FrequencyInfoDL 和 FrequencyInfoUL-SIB 中, 其中 FrequencyInfoUL-SIB 由 SIB1 发送给 UE (Point A 定义参阅 3GPP TS38.211 4.4.4.3 节)。

**OffsetToCarrier:** 小区传输带宽起始载波 PRB 0 位置和 Point A 的频率偏差值, 单位为 RB, 其子载波带宽由参数 subcarrierSpacing 定义。该参数设置为 0 时表示小区传输带宽起始位置和 PointA 相同。该参数由 SIB1 发送给 UE。

**SSref:** SSB 的频域位置, 表示 SSB 的中心频率, 对应 SSB 第 10 个 RB (从 0 编号) 的第 0 个子载波的频率, 由信元 absoluteFrequencySSB 或 ssbFrequency 下发 UE。

**OffsetToPointA:** SSB 的第 1 个 RB 的第 0 个子载波和 PointA 相差的 RB 数量。注意, OffsetToPointA 的单位是 RB。OffsetToPointA 参数由 SIB1 中信元 FrequencyInfoDL-SIB 发送给 UE (参阅 TS38.211 4.4.4.2 节)。

**Offset:** 表示以 RB 为单位的偏移量, 根据 IE 可以确认当前 SSB 所处频域范围内是否包含了 CORESET, 即配置了 Type0-PDCCH 公共信道, 并由此可判断小区当前 SSB 所处频域是否配置了 SIB1。该参数包含在 MIB 消息 pdccch-configSIB1 中。

$K_{\text{SSB}}$ : 以  $x$  kHz 为单位的偏移量, 通过 MIB 中 SSB-subcarrier offset 广播给 UE。对于 FR1 频段,  $x=15$ ; 对于 FR2 频段,  $x$  的值由 MIB 中的 subCarrierSpacingCommon 字段指定 (参阅 TS38.211 7.4.3.1 节)。

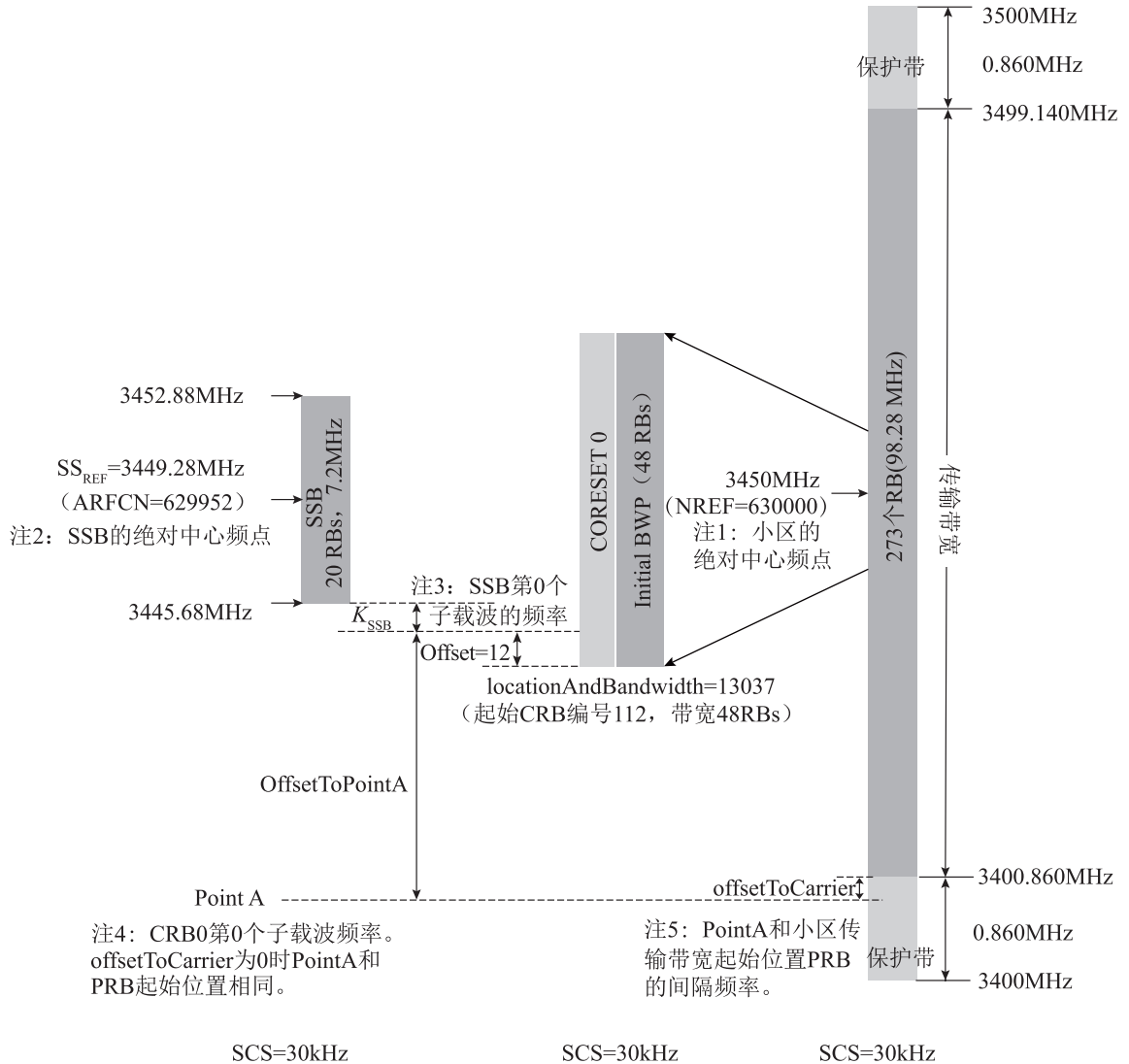


图 1-13 信道栅格、同步栅格和 Point A 示意图

(示例, 虚线对应的均为子载波中心频点, CRB0表示公共资源块的起始RB编号, PRB0为BWP (n) 的起始RB编号)

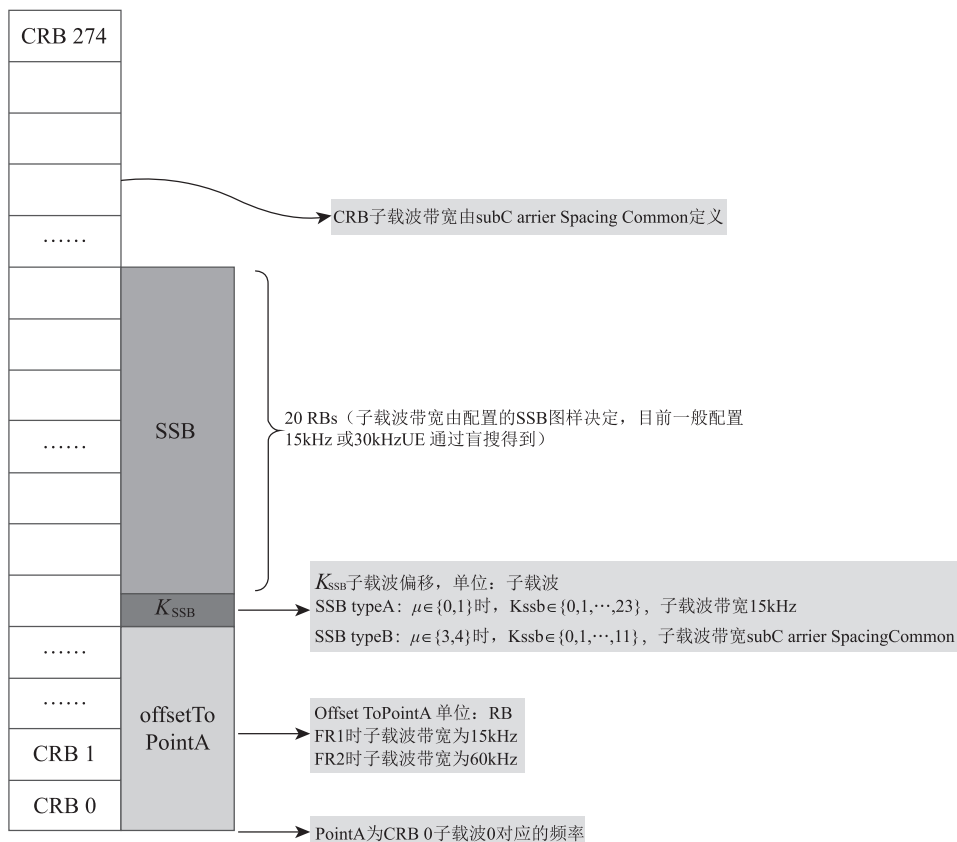


图 1-14  $K_{SSB}$  示意图 (3GPP TS 38.211 第 7.4.3.1 节)

SSB 的第 0 个子载波和 PointA 相差的频率等于  $\text{OffsetToPointA (RBs)} + K_{SSB}$ , SSB 的第 0 个子载波和 CORESET 0 的频域起始位置相差的频率等于  $\text{Offset (RBs)} + K_{SSB}$ 。

在 NSA 场景下, 基站会通过 RRC 重配置消息通知 UE 关于 NR 频点的信息, 帮助 UE 快速搜索到目标小区, 示例如下。

```
absoluteFrequencySSB=504990 /*SSB 的中心频率,  $SS_{REF}=504990*5\text{kHz}$  */
FreqBandIndicatorNR=41 /* 所使用的频带为 41 */
absoluteFrequencyPointA=503232 /*PointA 的频率为  $503232*5\text{kHz}$  */
offsetToCarrier=0 /* 设为 0, 表示载波带宽起始位置和 PointA 一致 */
subcarrierSpacing=kHz30 /* 子载波带宽为 30kHz */
carrierBandwidth=273 /* 传输带宽 273 个 RB */
```

相关参数详细描述可参阅规范 3GPP TS38.211、3GPP TS38.213。

## 1.2.4 BWP 概念

BWP (Band Width Part) 是 5G 新引入的概念。这是因为 5G 带宽较大，为了减少 UE 的功耗，设置了 BWP 的概念。BWP 是整个带宽上的一个子集，每个 BWP 的大小、使用的子载波带宽 (SCS) 和循环前缀 (CP) 都可以灵活配置。上、下行最大可独立配置 4 个 BWP，BWP 的带宽必须不小于 SSB，但是 BWP 不一定包含 SSB。对同一个 UE 来说，上行或下行同一时刻只能有一个 BWP 处于激活的状态。PDSCH、PDCCH 或者 CSI-RS 在有效 BWP 中传输，UE 在这个 BWP 上进行数据的收发和 PDCCH 检索。BWP 定义如图 1-15 所示。

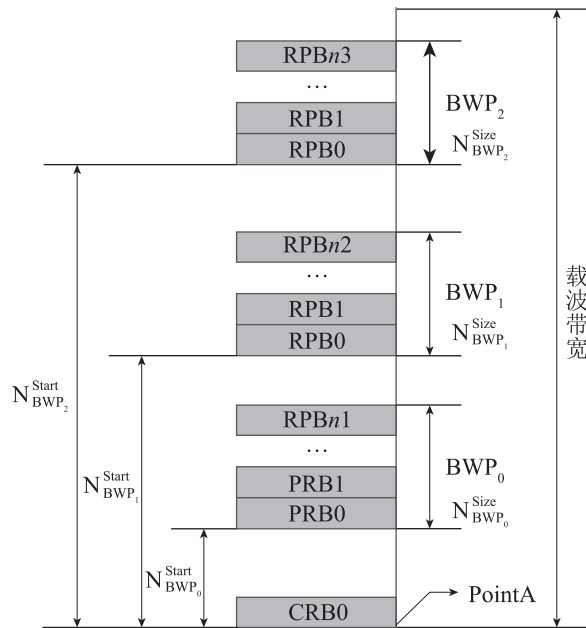


图 1-15 BWP 定义

注： $N_{BWP}^{start}$  表示 BWP<sub>i</sub> 起始位置； $N_{BWP}^{size}$  表示 BWP<sub>i</sub> 的带宽

BWP 的相关配置由 SIB1 和 RRC 重配置消息下发给 UE。每个服务小区都会配置一个初始 BWP，包含一个默认下行 BWP 参数配置和一个默认的上行 BWP 参数配置。如

果 UE 没有通过高层参数 `initialDownlinkBWP` 获取下行初始 BWP 配置信息，则 UE 将认为下行初始 BWP 占用一系列连续 PRB 资源，起始位置和终止位置对应 CORESET 的 Type0-PDCCH CSS 集合，同时子载波间隔 SCS、循环前缀 CP 模式与 Type0-PDCCH CSS 集合中 PDCCH 信道一致，否则按照高层参数 `initialDownlinkBWP` 确定下行 BWP 相关参数配置。对于上行初始 BWP 的配置，UE 需要通过高层参数 `initialUplinkBWP` 获取。BWP 信息单元（TS38.331 6.3.2 节）如下。

```
-- ASN1START
-- TAG-BANDWIDTH-PART-START
BWP ::= SEQUENCE {
    locationAndBandwidth    INTEGER (0..37949),
    subcarrierSpacing       SubcarrierSpacing,
    cyclicPrefix            ENUMERATED { extended } OPTIONAL--Need R
}
-- TAG-BANDWIDTH-PART-STOP
-- ASN1STOP
```

BWP 参数配置包含 BWP 频域的起始位置和工作带宽（`locationAndBandwidth`）、子载波带宽（`subcarrierSpacing`），以及循环前缀格式（`cyclicPrefix`, CP）。

### 1. BWP 的分类

在 NR FDD 系统中，一个 UE 最多可以配置 4 个专用 DL BWP 和 4 个专用 UL BWP。在 TDD 系统中，一个 UE 最多配置 4 个 BWP Pair。BWP Pair 是指 DL BWP ID 和 UL BWP ID 相同，并且 DL BWP 和 UL BWP 的中心频点一样，但是带宽和子载波间隔可以不一致。

BWP 间切换示意图如图 1-16 所示。

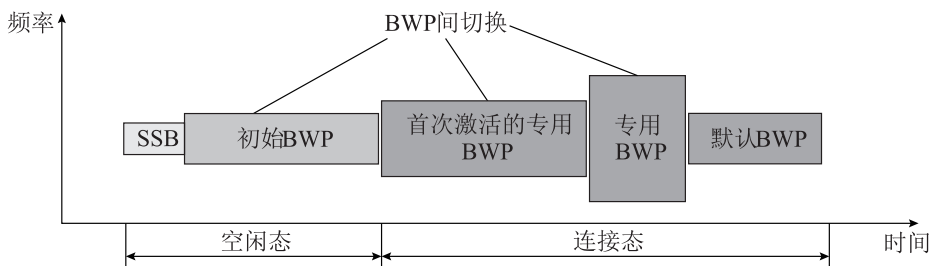


图 1-16 BWP 间切换示意图

从 BWP 占用时机上来看，BWP 分为两类：初始 BWP（Initial BWP）和专用 BWP



(Dedicated BWP)。专用 BWP 主要用于数据业务传输，一般大于初始 BWP 的带宽。

(1) 初始 BWP: 用于 UE 接入前的信息接收，如接收 SIB1、OSI、发起随机接入等，一般在空闲态时使用。

(2) 专用 BWP: UE 专有 BWP, UE 可在这个 BWP 上进行数据的收发和 PDCCH 检索。

(3) 默认 BWP (Default BWP): UE 默认 BWP, 通过 RRC Reconfiguration 消息通知 UE。如果没有配置, 则将初始 BWP 认为是默认 BWP。在占用专用 BWP 状态时, 若 BWP-inactivityTimer 超时之后, UE 仍没有被调度, 则将 UE 切换到默认 BWP。

根据应用场景划分, BWP 可以分为 3 类, 如图 1-17 所示。

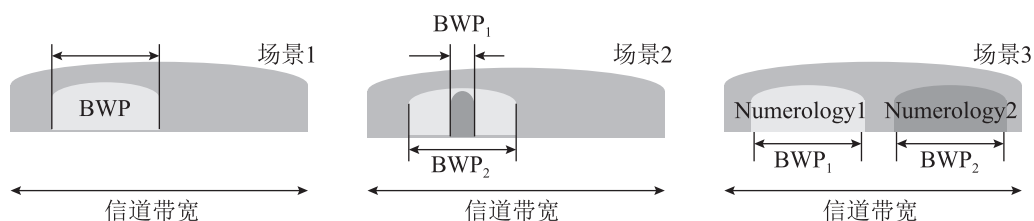


图 1-17 BWP 应用场景分类

场景 1 用于小带宽能力 UE 接入 5G 系统, 使用和监测较小带宽有利于降低 UE 功耗; 场景 2 适用于可变业务, UE 根据业务带宽需求在大小 BWP 间进行切换; 场景 3 中的不同 BWP 分别占用不同频带资源, 可以配置不同参数集 (Numerology)、承载不同业务, 如 eMBB、mMTC 和 uRLLC 等。

UE 在对应的 BWP 内只需要采用对应 BWP 的中心频点和 SCS 配置即可。每个 BWP 不仅仅是频点和带宽不一样, 还可以对应不同的配置。例如, 每个 BWP 的子载波间隔 SCS、循环前缀 CP 类型、SSB 周期等都可以差异化配置, 以适应不同的业务需求。

## 2. BWP 自适应

BWP 自适应调整示意图如图 1-18 所示。第 1 时刻, UE 的业务量较大, 系统给 UE 配置一个大带宽 ( $BWP_1$ ); 第 2 时刻, UE 的业务量较小, 系统给 UE 配置了一个小带宽 ( $BWP_2$ ), 满足基本的通信需求即可; 第 3 时刻, 系统发现  $BWP_2$  所在带宽内有大范围频率选择性衰落, 或者  $BWP_2$  所在频率范围内资源较为紧缺, 于是给 UE 配置了一个新的带宽 ( $BWP_3$ )。

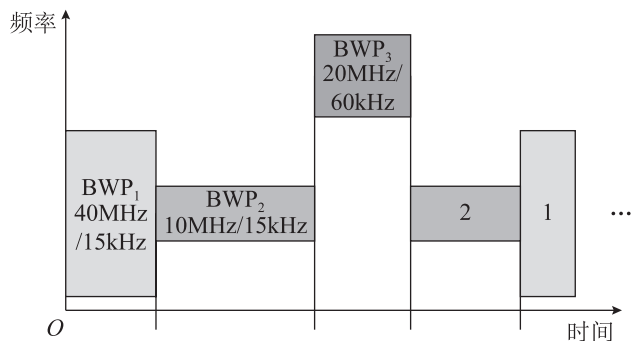


图 1-18 BWP 自适应调整示意图 (图片来自 3GPP TS38.300 图 6.10-1)

### 3. BWP 的技术优势

- 1) UE 无须支持全部带宽，只需要满足最低带宽要求即可。
- 2) 当 UE 业务量不大时，UE 可以切换到低带宽 BWP 运行，降低 UE 功耗。
- 3) 适应业务需要，保证不同 UE 可以支持不同参数集 (Numerology) 的资源配置。
- 4) 5G 技术前向兼容，当 5G 添加新的技术时，可以直接将新技术应用在新的 BWP 上运行，保证了系统的前向兼容性。

BWP 可以给 5G 带来很多灵活性，以适应多种差异化业务，不足之处是使 5G 系统的设计更加复杂。

## 1.2.5 国内 5G 频率分配

中国工业和信息化部已规划 3300 ~ 3600MHz、4800 ~ 5000MHz 频段作为国内 5G 系统的工作频段，其中 3300 ~ 3400MHz 频段仅用于室内覆盖，已分配给中国电信、中国联通、中国广电三家运营商共同使用。国内运营商 5G 频率分配情况如图 1-19 所示。

- 1) 中国电信获得 3400 ~ 3500MHz 共 100MHz 带宽的 5G 频率资源。
- 2) 中国联通获得 3500 ~ 3600MHz 共 100MHz 带宽的 5G 频率资源。
- 3) 中国移动获得 2515 ~ 2675MHz、4800 ~ 4900MHz 频段的共 260MHz 带宽的 5G 频率资源。
- 4) 中国广电获得 703 ~ 733/758 ~ 788MHz (n28)、4900 ~ 4960MHz。
- 5) 中国电信和中国联通重耕 2.1G 频段 1920 ~ 1970/2110 ~ 2160MHz 用于 5G 广覆盖和深度覆盖。