

# 面向6G的多频段智能融合组网



## Multi-Band Merged Smart Networking for 6G

谢峰/XIE Feng<sup>1,2</sup>, 王菲/WANG Fei<sup>1,2</sup>,  
刘汉超/LIU Hanchao<sup>1,2</sup>

(1. 中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057;  
2. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室, 中国 深圳 518055)  
(1. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China;  
2. State Key Laboratory of of Mobile Network and Mobile Multimedia  
Technology, Shenzhen 518055, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202204006

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20220722.1512.004.html>

网络出版日期: 2022-07-25

收稿日期: 2022-06-08

**摘要:** 提出了一种新的面向6G的多频段智能融合模型——Meta-cell元小区+Stack-free非栈式用户面。该模型支持高中低任意频段资源的智能编排组合,从而按需实现组网目标,例如在最大化频谱效率和能量效率、减少空口时延和切换时延等目标间取得平衡,从而拥有极高的业务适应能力。Meta-cell元小区和Stack-free非栈式用户面通过在组件化、解耦、池化和虚拟化的基础上叠加智能化可编排可配置,解决了现有多频段组网技术不够灵活高效的问题,有助于赋能6G丰富多样的业务和组网场景。

**关键词:** 6G; 多频段智能融合组网; Meta-cell; Stack-free; 解耦; 池化; 虚拟化

**Abstract:** A new 6G oriented multi-band merged model is proposed, named Meta-cell and Stack-free user plane. It supports flexible and intelligent orchestration and a combination of low-band, mid-band, and high-band spectrum resources to achieve networking objectives on-demand, e.g., to achieve balance among maximization of spectrum efficiency and energy efficiency, reduction of the transmission latency and handover latency. In this way, it achieves amazing service adaptation capability. By componentization, decoupling, poolization, and virtualization, Meta-cell and Stack-free user lane overcome the inflexibility and inefficiency problem of existing multi-band networking technologies and enables the diverse service and networking scenarios of 6G.

**Keywords:** 6G; multi-band merged networking; Meta-cell; Stack-free; decoupling; poolization; virtualization

从1G到5G,无线通信的频段从Sub-1 GHz逐渐发展到6 GHz以上。工作频段和带宽范围越来越宽,不同频段的载波物理传播特性差异和带宽差异也越来越大。相应地,多频段融合组网逐渐成为无线通信的常态。在5G中,载波聚合(CA)、补充上行(SUL)和双连接(DC)构成多频段融合组网的主要特性<sup>[1-2]</sup>。这些多频段融合组网技术陆续被引入第3代合作伙伴计划(3GPP)标准中,基本遵循用例(技术痛点)驱动的原则。载波聚合可提升用户峰值速率,补充上行能够改善用户设备(UE)上行覆盖。双连接中的4G/5G双连接有助于实现4G/5G协同组网(特别是在5G初期,将4G作为基础覆盖层、5G作为容量层的协同组网),新空口(NR)双连接有助于实现5G中的高低频融合组网(将低频作为基础覆盖层、高频作为容量层的协同组网),例如毫米波超密集组网的架构场景<sup>[3]</sup>。学术界对B5G多频段融合媒体接入控制(MAC)协议的设计也同样遵循用例驱动的原则<sup>[4]</sup>。

用例驱动的原则使得每一项新增特性都有对应的收益,但是会不可避免地存在打补丁和协议复杂度累积问题。每一项新增的特性都没有充分考虑面向未来潜在用例的前向兼容和可扩展性。5G系统在原生设计阶段也缺乏自上而下的整体设计。这些会带来功能重叠、额外复杂性和非全局优化等问题。

随着5G-Advanced和6G更多频段和更大带宽的引入,以及更灵活的组网和业务需求的提出,这种用例驱动的弊端就越来越凸显。为满足业务场景下以机器视觉为代表的大上行需求,载波聚合技术需要做进一步增强。同时网络节能也需要载波间的协同。例如,系统消息的协同增强、终端移动性和非地面卫星网络部署的增强,均需要综合考虑载波聚合、双连接等场景下的增强<sup>[5-6]</sup>。由于缺乏原生整体设计,这些增强将为网络带来越来越多打补丁式的复杂性。

此外,中低频段碎片化频谱的情况也会给传统的多载波基础框架带来挑战。从全球移动通信系统(GSM)的200 kHz到宽带码分多址(WCDMA)的5 MHz,再到长期演进(LTE)的20 MHz,2G/3G/4G空口技术本身支持的单载波最大带宽均较小,因此在2G/3G/4G的频谱分配中,分给

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFB1806700)

各个运营商的连续带宽明显小于5G NR所支持的单载波最大带宽（低频40 MHz，中频100 MHz）。当这些2G/3G/4G频谱在未来被重耕用于5G NR时，较小的连续频谱带宽资源极大地限制了NR的频谱效率和利用率。具体来说，每一个NR的载波都需要发送包括同步信号块（SSB）、系统消息和寻呼消息在内的公共消息，也需要配置公共和专用的控制信道。这样，碎片化的频谱导致了过高占比的公共消息开销和控制信道开销，也阻碍了网络的能量效率的提升。不仅如此，碎片化的频谱还会导致设备（无论是基站还是终端）的算力不能被高效利用，会使算力效率降低、设备能耗增加。

因此，面向未来6G越来越丰富的新业务需求场景和组网场景，以及由此带来的大规模差异化定制要求<sup>[7-15]</sup>，多载波融合组网需要从整体设计出发，升级为多载波原生和智能融合的组网，即在6G系统设计之初就将多载波融合和人工智能（AI）的结合作为基本设计要素。这样就可以支持高中低任意频段资源的智能编排组合，从而按需满足不同的组网要求，实现极高的业务适应能力<sup>[16]</sup>。此外，针对B5G演进的需求，6G中一些适合B5G业务场景和组网需求的方案也可以应用到5G演进技术中，从而提前获得6G收益。

### 1 面向6G的多频段原生组网设计

6G需要支持多频段多载波原生组网设计。作为衔接载波、物理信道和L2/L3服务的关键，小区必须在6G中重新被定义和建模。

#### 1.1 从“烟囱式”小区模型到池化的Meta-cell元小区模型

传统的小区模型以“烟囱式”的方式将载波、物理信道、传输信道和L2/L3服务绑定起来形成多个物理小区。这种方式是一种针对单频段单载波原生的设计，没有在一开始就考虑多频段多载波融合组网场景的需求，因而对多频段的支持效率不高，其灵活性和按需定制能力也不足。这种“烟囱式”紧耦合的方式不仅极大地限制了移动网络对未来业务场景和需求的适配能力，还限制了接入网对无线

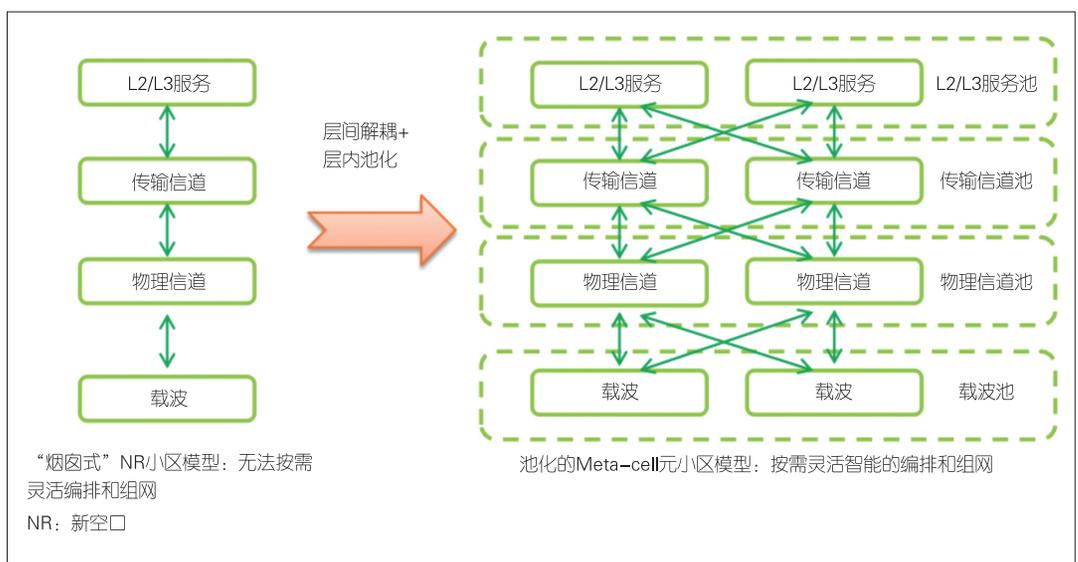
资源的使用效率、接入网的可扩展性和易演进性，以及与AI、大数据等智能化技术的内生式的融合。面向未来的新需求、新技术、新业务和新场景，下一代小区需要满足灵活编排、按需定制、弹性伸缩等要求。

面向运营、数据、信息、通信技术（ODICT）深度融合的未来，为了更好地满足不同需求，适配不同业务场景和不同服务类型，兼容新技术，下一代接入网的小区模型可采用解耦原则<sup>[17]</sup>、池化和虚拟化的设计思想，以形成资源可编排、资源与服务关系可编排、上下行链路关系可编排的技术特征，进而形成Meta-cell元小区的技术体系。需要说明的是，Meta-cell暗含“小区之源”“小区的本质”“小区的抽象”之意，我们也可以将它理解为未来小区形态。

图1为Meta-cell元小区的模型架构和传统小区模型的对比。Meta-cell元小区将空口资源和服务分为不同的层级，自下而上分别为载波层、物理信道层、传输信道层、服务层。其中，每一层级的资源都通过池化形成载波池、物理信道池、传输信道池、L2服务池、L3服务池。不同层级的资源与资源之间、资源与服务之间能够进行灵活映射。系统可通过智能配置和编排这些资源、服务以及映射关系来实现对网络的按需定制。Meta-cell元小区的模型架构能够根据业务场景和组网需求智能编排与配置资源和服务，能够定制高效的网络形态和组网模式，在满足各种业务场景需求的同时兼顾效率和能耗，甚至催生出新的业务模式。

#### 1.2 Meta-cell元小区对多频段原生组网的支持

Meta-cell对相同或不同频域范围（例如低频/中频/高



▲图1 “烟囱式”小区模型和池化的Meta-cell元小区模型的对比

频)内的相同或不同频带的频谱资源或载波资源进行按需组合使用。例如,载波级联或虚拟带宽部分(BWP)形成较大带宽的频谱资源可用于满足大吞吐量的需求,根据不同电磁波特征选择的载波资源可用于满足大容量或广覆盖需求,如图2和图3所示。这种全频谱组合的编排方式不仅可以实现不同频谱资源的高效利用,也可以通过频谱资源的灵活编排适配不同业务场景。为此,Meta-cell需要支持基带与射频的解耦和射频载波的池化:将多个零散的射频载波池化为一个连续的基带载波。基于连续的基带载波进行基带处理可以达到如下效果:降低网管的复杂度,减少网管、网规、网优工作量,提升零散频谱(例如重耕的频分双工频谱或时分双工频谱)利用效率,扩大物理下行共享信道(PDSCH)、物理上行共享信道(PUSCH)等的传输带宽,提高流量,减少配置、调度、反馈方面的开销。

载波级联的优势来自射频载波池化和虚拟化。类似地,虚拟BWP通过将BWP池化和虚拟化,也可以在一定程度上提升管控效率,降低管控开销和系统复杂度。

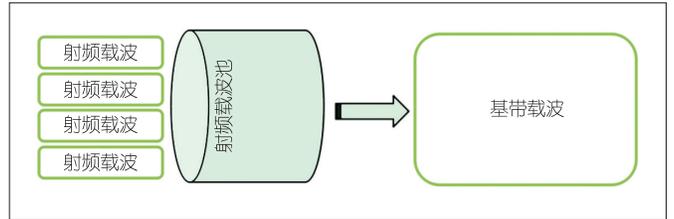
为实现全频段融合组网,Meta-cell还支持上下行链路的解耦和上下行载波链路的独立池化,以实现上下行载波的按需编排和组合,从而优化覆盖,提升系统性能。例如,在面向企业(ToB)大上行的场景中,Meta-cell支持多个上行载波的聚合或者上行载波数大于下行载波数的聚合,如图4所示。

Meta-cell还支持传输信道到物理信道的解耦和传输信道的池化。在现有小区中,扩展现实(XR)的大量数据包被封装成一个包含多个编码块(CB)的传输块(TB)。此时任何一个CB出错都会造成整个TB无法递交,进而导致时延过大。对此,可将原来一个数据流、传输信道、TB拆分成多个数据子流、传输信道、TB,这样在接收端任何一个TB出错都不会有碍于其他TB的递交,从而可大幅提升XR这类的大带宽低时延业务的性能,如图5所示。

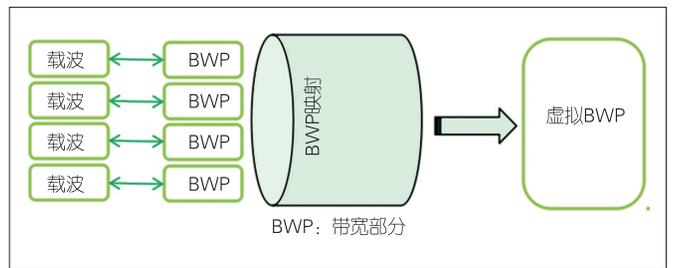
Meta-cell还支持系统信息(SI)的池化,即将包括多个载波链路在内的物理资源池的系统消息SI汇聚在一个载波上发送。这有利于那些不发送SI的载波进行更长时间的休眠,在降低基站能耗的同时降低SI发布的工作量和开销(配置、调

度),简化网络运维。

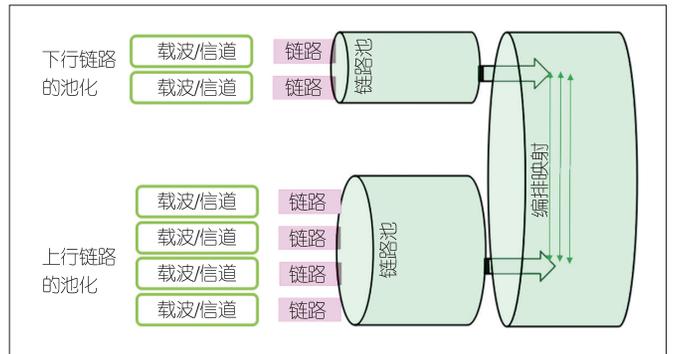
终端通过Meta-cell接收物理资源池信息后,可以获得多个池化的物理随机接入信道(PRACH)资源配置。不同的接入信道可以对应不同频谱资源和不同波束。终端可以根



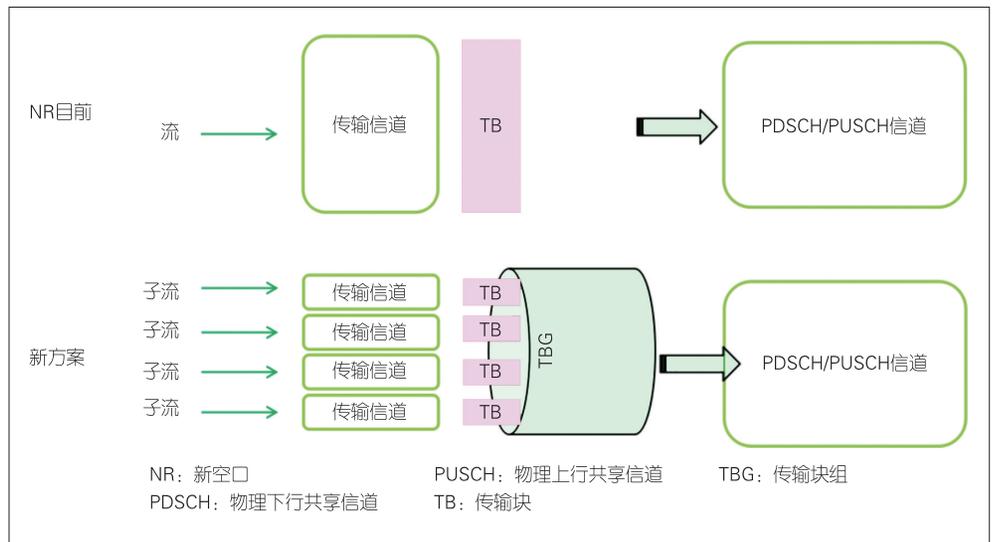
▲图2 针对碎片化载波的载波级联示意图



▲图3 针对碎片化载波的虚拟BWP



▲图4 针对大上行需求的上下行链路的解耦和各自的池化示意图

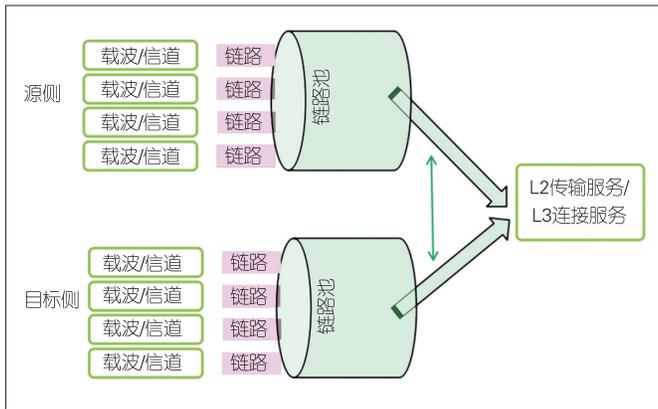


▲图5 针对大带宽低时延业务的TB池化示意图

NR: 新空口  
PDSCH: 物理下行共享信道  
PUSCH: 物理上行共享信道  
TBG: 传输块组  
TB: 传输块

据覆盖、频点、空口质量来选择最优的PRACH资源进行接入。PRACH的最优选择可以提高接入的成功率，有助于系统快速构建覆盖/能效最优频段的连接。

对于移动性场景，通过L1链路和L2/L3服务的解耦以及L1链路的池化，当终端从源侧向目标侧移动时，即使L1链路（载波/信道）发生变化，L2传输服务（以及L3连接服务）可以保持连续服务，在L2的协议功能锚点不变的情况下，不需要重置或者重建。如图6所示。这样可以最大程度地保证平滑的业务连续性，实现无缝移动性。

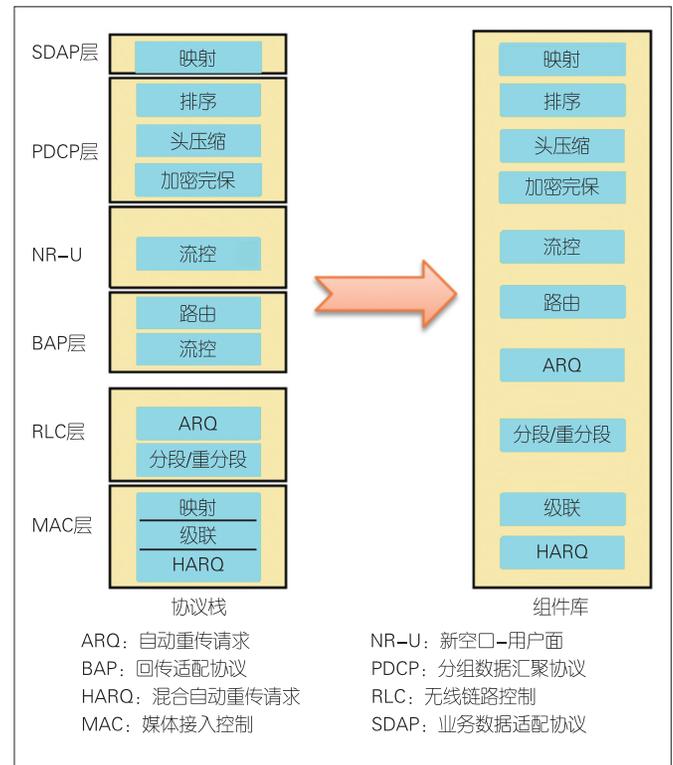


▲图6 针对移动性需求的L1链路和L2/L3服务的解耦

## 2 Stack-free 非栈式用户面对多频段原生组网的支持

与Meta-cell元小区的理念和目标类似，为了实现灵活性、通用化、智能可定制的6G网络，如图7所示，Stack-free非栈式用户面（或转发面）使用组件化、灵活编排、解耦、池化、矢量化等信息技术（IT）理念以及智能化思想对当前通信架构用户面进行重构<sup>[18]</sup>。6G非栈式的新用户面设计能够实现网络功能按需定制和灵活编排部署，能够面向服务构建现场自适应柔性智能网络，实现网络灰度迭代升级，对各种复杂多变未知的场景具有极强的适应能力，例如，可灵活适配面对用户业务从巨大数据包到小微数据包的动态传输跨度<sup>[19]</sup>。

如图8所示，面向多频段原生组网，Stack-free非栈式用户面既支持传统的载波聚合分流方式，也支持传统的双连接分流方式。前者对应非栈式中自动重传请求（ARQ）组件之下、混合自动重传请求（HARQ）组件之上，后者对应非栈式中加密完保之下、ARQ组件之上。非栈式用户面可以通过可编排、可配置的方式支持上下行解耦的分流。例如，在高低频原生组网场景中，下行数据分流到高频，上行数据分流到低频。这样可以充分适配上下行业务负荷和上下行覆

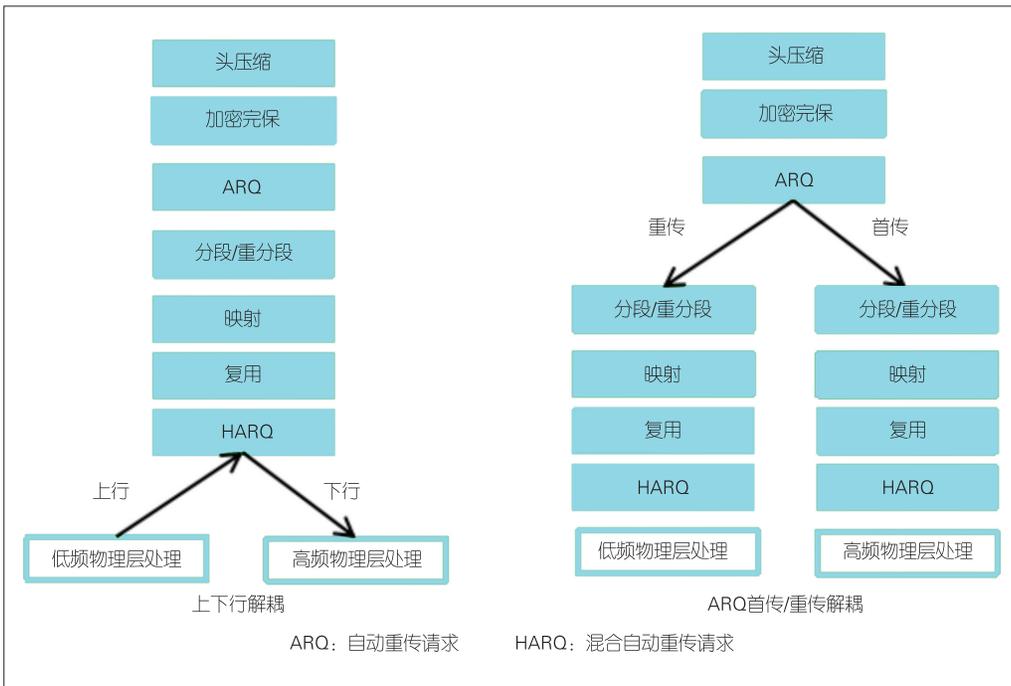


▲图7 从传统的协议栈到非栈式Stack-free组件库

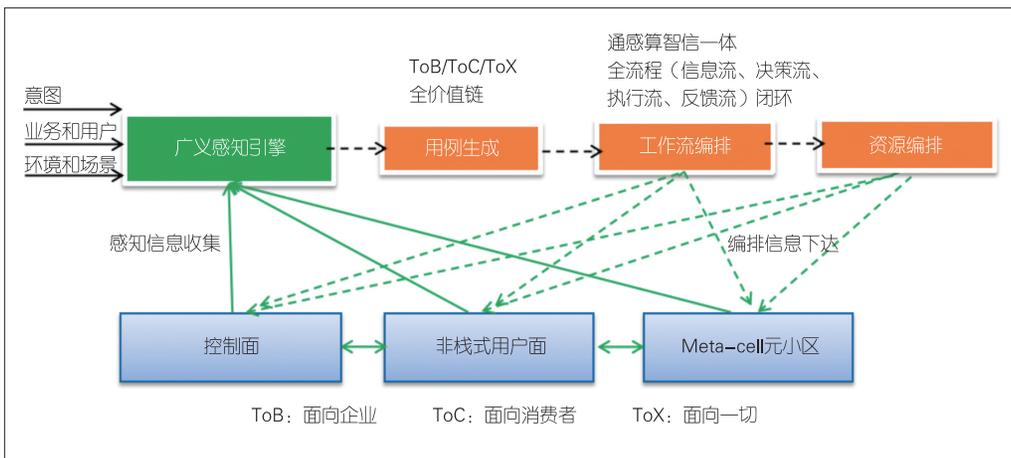
盖/传输能力，使高频分流占比达到最大、用户体验达到最优。此外，非栈式用户面还可以支持新传重传解耦的分流，例如将首传数据分流到高频，并使重传数据分流到低频。这里的首传和重传既可以是ARQ的也可以是HARQ的，以便整体优化传输鲁棒性，提高频谱利用率。

## 3 面向多频段融合原生组网的智能化编排体系

面向越来越丰富的业务和组网场景，在Meta-cell元小区和Stack-free非栈式用户面的基础上，需要通过智能化的手段对Meta-cell元小区和Stack-free非栈式用户面进行编排配置（智能化编排配置也适用于控制面）。如图9所示，当输入意图、业务和用户、环境和场景信息时，智能化编排体系中的广义感知引擎将为用例生成模块提供输入<sup>[20]</sup>，从而支撑ToB/面向消费者（ToC）乃至更广义的面向一切（ToX）的用例生成。用例生成模板进一步驱动通感算一体化的工作流编排，形成包括信息流、决策流、执行流、反馈流的全流程闭环。接着，工作流编排进一步驱动资源编排，为相关的工作流和工作流组件提供相应的通信资源、算力资源和逻辑资源。工作流编排模块和资源编排模块产生的编排信息下达到Meta-cell元小区、非栈式用户面以及控制面，从而促使它们完成各自的操作（包括提供感知信息给广义感知引擎）。



▲图8 针对高低频融合组网场景的上下行解耦和首传/重传解耦



▲图9 智能化编排体系

对于多频段融合组网来说，智能化编排体系同智能无线资源管理和调度相结合。智能化编排体系主要用于制定不同频段之间的组合和协同策略，而智能无线资源管理和调度主要针对特定策略下的指标优化。两者的结合可以满足以下需求：

- (1) 最大化系统效率和能效，其中系统效率包括系统容量效率和频谱效率；
- (2) 提供差异化的用户体验，例如最大化用户速率，或者降低时延；
- (3) 适配特定环境的要求，例如卫星、高铁、室内场景等；
- (4) 满足垂直行业定制化的要求，例如对部署、切片的要求等。

要求等。

### 4 结束语

从现有多频段协同组网到6G的多频段原生智能融合组网的转变，是未来无线通信系统解决碎片化频谱和应对多样化场景挑战的必由之路。相比于现在以载波聚合、双连接、补充上行行为代表的多频段协同组网，多频段原生智能融合组网在灵活自适应能力、频谱和能量效率、大带宽低时延支持能力、无缝切换能力以及简化运维方面都有大幅提升。在未来6G时代，这将为运营商和垂直行业最大化频谱价值和用户体验、满足节能低碳要求提供强有力的支撑。此外，多频段原生智能融合组网除了需要面对频域上碎片化频谱挑战和业务需求的多样化挑战之外，还需要面对空域组网（例如密集组网、异构组网）挑战和部署（灵活部署、多跳部署）挑战。针对这些挑战，中兴通讯将进行持续研究和完善。

### 致谢

本研究得到中兴通讯股份有限公司技术预研专家薛妍、杨立的帮助，谨致谢意！

### 参考文献

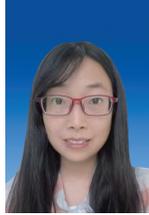
- [1] 3GPP. Technical specification group radio access network; NR; NR and NG-RAN overall description; stage 2 (release 16): 3GPP TS 38.300 [S]. 2020
- [2] 杨立. 5G-NR蜂窝系统功能演进趋势分析 [J]. 无线电通信技术, 2020, 46(3): 310-314. DOI: 10.3969/j.issn.1003-3114.2020.03.009
- [3] 杨立, 谢峰, 高波. B5G毫米波通信无线接入网络的架构设计 [J]. 移动通信, 2020, 44(8): 21-27. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1010.2020.08.005
- [4] CACCIAPUOTI A S, SANKHE K, CALEFFI M, et al. Beyond 5G: THz-based medium access protocol for mobile heterogeneous networks [J]. IEEE communications magazine, 2018, 56(6): 110-115. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700924
- [5] 张梦洁, 杨立, 黄河, 等. 面向5G-Advanced演进的移动性增强技术 [J]. 移动通信, 2022, 46(2): 2-8

- [6] 杨立, 窦建武. 未来卫星通信和5G-NR深度融合架构设计 [J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(5): 60-66
- [7] IMT-2030中国6G大会. 6G网络架构愿景与关键技术展望白皮书 [R]. 2021
- [8] 方敏, 段向阳, 胡留军. 6G技术挑战、创新与展望 [J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(3): 61-70. DOI: 10.12142/ZTETJ.202003012
- [9] 赵亚军, 郁光辉, 徐汉青. 6G移动通信网络: 愿景、挑战与关键技术 [J]. 中国科学(信息科学), 2019, 49(8): 963-987
- [10] 段向阳, 杨立, 夏树强, 等. 通感算智一体化技术发展模式 [J]. 电信科学, 2022, 38(3): 37-48
- [11] 中国移动研究院. 2030+愿景与需求报告 [R]. 2019
- [12] 刘光毅, 金婧, 王启星, 等. 6G愿景与需求: 数字孪生、智能泛在 [J]. 移动通信, 2020, 44(6): 3-9. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1010.2020.06.001
- [13] 王丽萍, 杨立, 何哲. 面向未来6G网络更低成本灵活覆盖方案之技术探讨 [J]. 长江信息通信, 2021, 34(10): 1-3, 11. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1131.2021.10.001
- [14] 杨立, 赵亚军, 方琰崴. 从容量和覆盖升级到连接和品质: 论未来无线技术的盈利拓展 [J]. 信息通信技术, 2020, 14(6): 57-62
- [15] 任震, 杨立, 谢峰, 等. 基于5G-NR演进浅析和展望未来6G系统中去蜂窝化技术的应用 [J]. 信息通信技术, 2021, 15(2): 65-71. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1285.2021.02.010
- [16] LETAIEF K B, CHEN W, SHI Y M, et al. The roadmap to 6G: AI empowered wireless networks [J]. IEEE communications magazine, 2019, 57(8): 84-90. DOI: 10.1109/mcom.2019.1900271
- [17] 杨立, 谢峰, 戚涛. 解耦设计在移动通信系统中的应用和趋势 [C]//5G网络创新研讨会(2020): TD产业联盟, 2020: 365-370
- [18] 薛妍, 杨立, 谢峰. 6G时代新用户面设计和关键技术 [J]. 移动通信, 2022, 46(6): 2-7
- [19] 杨立, 黄河, 张梦洁, 等. 小微数据包高效无线传输技术的发展和趋势 [J]. 移动通信, 2021, 45(1): 90-95
- [20] 薛妍, 谢峰, 杨立, 等. 面向6G时代新通信系统的内生感知 [J]. 移动通信, 2021, 45(4): 79-84

## 作者简介



**谢峰**, 中兴通讯股份有限公司6G接入网架构负责人、技术研究首席专家, 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室学术带头人; 参与国家项目5项, 获第八届广东专利奖银奖; 发表论文10余篇, 申请专利100余项。



**王菲**, 中兴通讯股份有限公司技术预研工程师; 负责4G/5G/6G移动通信技术的标准预研和算法研究与设计, 主要研究方向为6G网络架构、4G/5G网络功率控制、VoLTE/VoNR算法等; 参与国家重点项目1项, 输出专题算法方案100余个。



**刘汉超**, 中兴通讯股份有限公司技术预研工程师; 负责4G/5G/6G移动通信技术的标准预研和算法研究与设计, 主要研究方向包括6G网络架构、4G (Pre5G) 物理层算法、5G网络控制算法等; 参与国家重点项目1项, 输出专题算法方案100余个。