



5G 频段间协同技术

曹丽芳, 江天明, 邓伟, 陈卓
(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 随着 AR/VR 等大流量需求业务的剧增, 提高单用户峰值速率势在必行。研究了载波聚合、补充上行和双连接等可以提升单用户峰值速率性能的多频段联合传输技术在不同协议版本的基本原理, 分析了不同技术对网络的部署要求, 尤其针对不共 BBU 或不共 RRU 场景做了定性的性能分析。后续可以开展定量分析或测试验证工作进一步印证定性分析的正确性。计算了不同技术对应的上下行峰值速率和边缘速率, 包括不同协议版本的性能对比。最后介绍了不同技术的产业现状。

关键词: 5G; 载波聚合; 补充上行; 双连接

中图分类号: TN929

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021139

5G inter-band cooperation technology

CAO Lifang, JIANG Tianming, DENG Wei, CHEN Zhuo
China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: With the rapid growth of large traffic demand services such as AR/VR, it is imperative to increase the peak rate of single user. The basic principles of multi-band joint transmission technology in different protocol versions were mainly studied, such as carrier aggregation, supplementary uplink and dual connectivity, which could improve the performance of single user peak rate. Then the deployment requirements of different technologies to the network were analyzed, especially for the non-co-BBU or non-co-RRU scenarios to do qualitative performance analysis, subsequent quantitative analysis or test verification will further verify the accuracy of qualitative analysis. After that, the upstream and downstream peak rate and edge rate corresponding to different technologies were calculated, including performance comparison of different protocol versions. At last, the industry status quo of different technologies was introduced.

Key words: 5G, carrier aggregation, supplementary uplink, dual connectivity

1 引言

3GPP 定义 5G NR 频率从 700 MHz 到 2.6 GHz 再到 26 GHz, 频段跨度较大, 根据频率特性可知, 不同频率适用于不同的应用场景。低频段 (比如

2 GHz 以下) 作为覆盖层, 提供广域连续覆盖和深度覆盖; 中频段 (比如 2~6 GHz) 作为连续的容量层, 满足广域覆盖和容量需求; 而高频段 (比如 6 GHz 以上) 作为容量层, 可用于热点局部区域补容。

目前, 3GPP 在 NR 系统中引入了载波聚合、补充上行和双连接 3 种高低频协同技术, 在保障基础覆盖的同时, 可以有效提升峰值速率, 更好满足大带宽业务需求。

2 5G 多频协同方案原理

2.1 载波聚合

载波聚合 (carrier aggregation, CA) 将同一系统的多个载波单元 (component carrier, CC) 聚合以支持更大的传输带宽。LTE 单载波最大的带宽为 20 MHz, NR 进行了带宽增强, FR1 (频率低于 6 GHz) 和 FR2 (频率高于 6 GHz) 支持最大的单载波带宽分别可达 100 MHz 和 400 MHz。

3GPP 定义可独立为 UE 添加下行载波聚合, 但若有上行载波聚合需求, 也需要同时配置该频段的下行载波聚合。协议在 R15、R16 和正在做标准化的 R17 都定义了上行载波聚合的增强, 此处以 n41+n79 UL CA 为例进行说明, n41 (即 2.6 GHz) 的带宽为 100 MHz, 帧结构为 DDDDDDDSUU (可简写为 7D1S2U, D 为下行时隙, S 为以下行符号为主的特殊时隙, U 为上行时隙), 根据协议公式计算 2Tx (双发) 时上行峰值速率 M 为 250 Mbit/s, n79 (即 4.9 GHz) 的带宽为 100 MHz, 帧结构是 DDDSUDDSUU (可简写为 5D2S3U), 2Tx (双发) 时计算上行峰值速率 N 为 375 Mbit/s。

(1) R15 版本

针对上行最大两发的终端, 最大支持上行两载波聚合, 即支持在两个载波 1Tx (单发) + 1Tx (单发) 并发, 即峰值为 $X=M/2+N/2=313$ Mbit/s。

(2) R16 版本 (业界也称超级上行)

针对上行最大两发的终端, 支持在两个上行载波进行 1Tx (单发) 和 2Tx (双发) 的轮发, 同时结合两载波帧头错开使得上行时隙尽量错开, 进而提升单用户的上行时隙利用率, R16 帧结构配置如图 1 所示, 起始位置即和 GPS 对齐的位置, 也称帧头, 如图所示两载波的帧头偏移了 3 个时隙 (即 1.5 ms),

两个载波的上行时隙 U 可完全错开, 4.9 GHz 和 2.6 GHz 各分配一个终端天线, 其中 2.6 GHz 的天线在 2.6 GHz 下行时隙切换到 4.9 GHz 发送数据, 在 2.6 GHz 上行时隙来临前切换到 2.6 GHz, 则可计算峰值速率 $X=M/2+N=500$ Mbit/s。

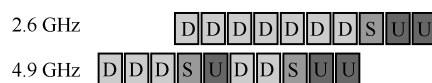


图 1 R16 帧结构配置

(3) R17 版本

针对上行最大两发的终端, 考虑终端能力增强可支持两个天线同时切换到不同载波, 正在推动 2Tx (双发) 和 2Tx (双发) 的轮发, 帧头配置方案和 R16 相同, 可进一步提升用户的上行性能, 即峰值 $X=M+N=625$ Mbit/s。

通过上述计算, 最大 2Tx 发送的终端, 随着上行轮发的增强, 单用户峰值速率有明显提升, 汇总见表 1。

表 1 不同 R 版本的 n41+n79 上行载波聚合峰值速率

UL CA	上行峰值速率	增益 (相比 R15)
R15	313 Mbit/s	0
R16	500 Mbit/s	60%
R17	625 Mbit/s	100%

2.2 补充上行

中高频的下行覆盖能力可通过大规模 MIMO、高功率、增加资源等技术保障, 但上行覆盖主要受限于终端的发射功率, 覆盖能力较弱。为了解决上下行覆盖不匹配的问题而又不带来太大的部署成本, 5G 系统在 R15 引入了补充上行 (supplementary uplink, SUL), 即将上下行解耦, 在中高频部署时采用一个下行载波捆绑两个上行载波的组合方案。在上行方向, 两个上行频段包括一个中高频 (normal uplink NUL carrier) 和一个相对低的频段 (SUL carrier), 用低频段覆盖优势弥补中高频上行覆盖的不足, 进而扩大中高频



的下行使能范围。SUL 和 CA 相同,仅限于同一系统内使用。且两个技术互不排斥,即可以在 SUL 基础上叠加 DL CA 技术。

SUL 技术发展经历了两个阶段,正在向第 3 阶段增强,具体如下。

(1) R15 版本

针对上行最大两发的终端,允许终端在两个上行载波间零微秒切换,但终端需要 PA 的关闭和预热等物理处理过程,无法达到零时延,故该版本仅可通过 RRC 配置终端在何时切换到另一个上行载波,一般应用如下(以 n41+n83 为例):在 n41 上行覆盖较好的位置默认选择上行载波为 n41,在 n41 覆盖较差的位置,终端上报测量报告,基站判断信号质量低于门限值(门限值的配置取决于基站实现),则通过 RRC 信令指示终端切换到 n83,增强上行覆盖能力,下行覆盖能力不变,因上行覆盖范围扩大,n41 的下行使能范围也随之扩大。

(2) R16 版本

针对上行最大两发的终端,对载波间的切换时延做了放松,使得终端可实现频繁快速切换过程,R16 版本对 SUL 和 UL CA 做了相同的增强,具体如下。

1) 终端上报支持的载波间 1Tx 和 2Tx 切换时延能力,有 3 档能力,分别为 35 μ s、140 μ s 和 210 μ s。

2) 基站通过 RRC 指示终端在两个上行载波的天线数和切换损失信息(即终端天线切换发生在哪个频段的上行时隙),同 UL CA,以 n41+n83 的 SUL 为例:

- 在 n41 载波的 UplinkConfig 信令中, uplinkTxSwitchingPeriodLocation-r16 = fault, 表示切换损失不在 n41 uplinkTxSwitchingCarrier-r16 = carrier2, 代表 n41 上行为双流;
- 在 n83 载波的 UplinkConfig 信令中, uplinkTxSwitchingPeriodLocation-r16 = true,

表示切换损失在 n83,上行数据传输模式如图 2 所示,其中叉形所示,终端一根天线从 700 MHz 载波切换到 2.6 GHz 载波会浪费 700 MHz 的几个符号资源,无法发送数据, uplinkTxSwitching Carrier-r16 = carrier1, 代表 n83 上行为单流;

2.6 GHz	D	D	D	D	D	D	D	S	U	U	双发
700 MHz	U	U	U	U	U	U	U	X	U	U	单发

图 2 上行数据传输模式

- 通过 DCI 符号级调度使得终端在预定的位置切换即可完成载波间的数据轮发,增强上行峰值速率性能。

(3) R17 版本

针对上行最大两发的终端,正在推动 2Tx 和 2Tx 的轮发,该增强方案同样适用于 UL CA。

2.3 双连接

双连接是 UE 使用两个通过非理想回传链路相连的网络节点:主节点(master node, MN)和辅节点(second node, SN)提供无线资源进行通信。无线接入技术双连接(multi RAT dual connectivity, MR-DC)是一系列不同的双连接配置选项的总称,与前面两小节的 CA、SUL 相比,DC 最大的区别在于不仅支持相同系统间的协同,同样支持不同系统间的协同,包括 EN-DC(E-UTRA-NR 双连接)、NR-DC(NR 双连接)、NGEN-DC(NG-RAN-E-UTRA 双连接)和 NE-DC(NR-E-UTRA 双连接)。

3 5G 多频协同方案部署要求

3.1 载波聚合

载波聚合适合理想回传场景,但考虑不同频段的覆盖性能有一定差异,存在较多不共站但有重叠覆盖的场景。本节主要分析异站场景的载波聚合技术方案,包括性能影响和对应的解决方案。

(1) 成员载波不共用基带板

现网终端仅支持单 PUCCH, 即 PUCCH 只在 PCell 上传输。因辅载波的下行数据 HARQ 确认信息需要在主载波的 PUCCH 发送, 故对两载波的 BBU (基带单元) 间传输时延要求较高。时延越大, 性能增益就会损失越大, LTE 异站 CA 测试结果见表 2: 共站部署时, X2 时延为 0 ms, DL 峰值为 39.65 Mbit/s, 最大 X2 时延为 8 ms 时, 性能增益会降低约 30%, DL 峰值降低为 27.91 Mbit/s, 增益损失严重, 导致网络的频谱效率降低。

可通过以下两种方式来规避或缓解上述性能损失。

- 降低 BBU 间传输时延, 可通过 CRAN 部署方式, 即将多个 BBU 放到同一个机房, BBU 之间通过光纤直连, 则 X_n 时延 (5G 中基站之间的接口, 类似于 4G 的 X2) 降低, 性能损失也得到了缓解, 但 CRAN 边界处对性能无改善。
- 降低跨 BBU 的载波聚合对 X_n 时延的要求, 通过多套 PUCCH 实现, 即辅载波的 HARQ 确认信息在辅载波的 PUCCH 反馈, 不需要经过 X_n 口, 则对 X_n 时延的要求相对宽松。

(2) 成员载波不共用天线

如果两载波单元的 RRU (射频单元) 或 AAU (射频和天线一体化) 不共用, 终端到两个小区天面的时间可能不同。以 n41 (2.6 GHz)+n28 (700 MHz)

UL CA 为例, 考虑 700 MHz 覆盖性能远好于 2.6 GHz, 故存在较大区域内, 终端到 700 MHz 基站的距离要大于到 2.6 GHz 基站的距离, 此刻, 终端在 700 MHz 小区的时间提前量 TA_{n28} 要大于在 2.6 GHz 小区的 TA_{n41} 。若终端共用 700 MHz 小区的定时提前量, 则终端发送数据到 2.6 GHz 基站的时刻相比 2.6 GHz 小区其他终端要提前 $TA_{n28}-TA_{n41}$; 若终端共用 2.6 GHz 小区的定时提前量, 则终端发送数据到 700 MHz 基站的时刻相比 700 MHz 小区其他上行同步的终端要晚 $TA_{n28}-TA_{n41}$ 。

当同一小区的用户在上行数据到达基站时刻不同, 则会出现上行符号间干扰, 故该场景仅使用一个 TA 值容易引起上行同步问题, 导致上行干扰, 影响性能。载波聚合终端可通过支持不同的服务小区采用独立的 TA 值, 来避免因 TA 值不同造成上行不同步引起的符号间干扰。

3.2 补充上行

补充上行和载波聚合类似, 均适合理想回传场景部署。

(1) 当 NUL 载波和 SUL 载波不共 RRU/AAU 时, 终端到两个载波天面的时间差不同, 而 3GPP 仅定义一个 TA 值, 即 SUL 载波共用 NUL 的 TA 值, 该情况下, TA 对上行性能影响如下。

n83 频段子载波间隔为 15 kHz 时, normal CP 长度为 $4.6 \mu s$, LOS 场景下对应容忍的覆盖距离偏差范围约 $4.6 \mu s \times (3 \times 10^8 \text{ m/s}) = 1.38 \text{ km}$; NLOS

表 2 LTE 异站 CA 测试结果

X2 时延	SINR/dB		DL 吞吐量/(Mbit·s ⁻¹)	增益	备注
	PCC	SCC			
频段 1	5.70	-	20.12	39.65	0
频段 2	-	5.86	19.53		
CA-1 ms	5.50	5.82	36.17	-8.78%	频段 1 和 2: 带宽 20 MHz, 帧结构 DSUDD
CA-2 ms	5.88	5.93	32.95	-16.90%	
CA-4 ms	5.44	5.97	31.98	-19.40%	
CA-8 ms	5.87	5.21	27.91	-29.60%	



下,覆盖距离缩短,预计城区较小站间距场景 TA 同步问题不大,但郊区较大站间距场景下可能有一定区域性能会因此受到影响。跨 AAU 或 BBU 示意图如图 3 所示。

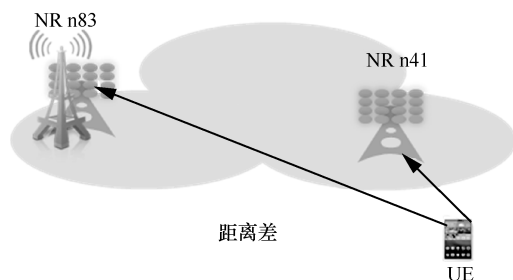


图 3 跨 AAU 或 BBU 示意图

(2) SUL 要求同一时刻只能在一个上行载波发送数据,以 $n41+n83$ (SUL) 为例,当上行在 $n83$ 传输时,则需要 $n41$ 的下行 HARQ 确认信息在 $n83$ 的 PUCCH 发送,若 $n41$ 和 $n83$ 的 BBU 不共 BBU 框,如图 4 所示,两个载波的基带单元通过光纤或者通过路由连接,则 X_n 时延增加, HARQ 等待时延加长,影响用户性能以及网络的频谱效率。

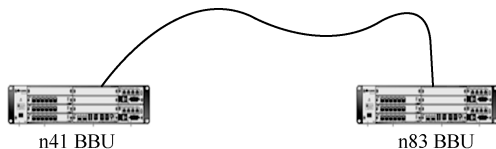


图 4 BBU 不共框

3.3 双连接

双连接适合解决非理想回传场景下的速率提升,主要原因有两点:一是每个载波的下行数据的 HARQ 均在本载波的上行反馈,对两载波的 BBU 间时延要求相对宽松;二是数据流量在 PDCP 层分流,两个载波各自拥有独立的调度器,理论上,可以做异厂商双连接,这也是双连接的最大优势,可以解除对供应商的频段绑定关系,对运营商的采购有利,但网络优化和维护可能存在互相推诿等异厂商间协调问题,实际部署可能性较低。

目前,产业较为常见的双连接架构是 EN-DC, LTE eNB 为 MN, NR gNB 为 SN,控制面通过 LTE eNB 接入 EPC。option 3 系列示意图如图 5 所示,4G 基站和 4G 核心网承载信令传输(图 5 中虚线),4G 基站和 5G 基站均可承载数据业务(图 5 中实线),5G 无线网与核心网之间的 NAS 信令(如注册、鉴权等)通过 4G 基站传递,5G 无法独立工作,也称为非独立组网。

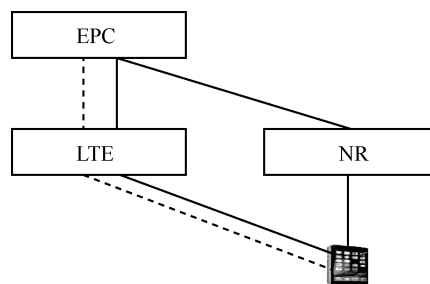


图 5 option 3 系列示意图

随着 5G 核心网的成熟,5G 产业逐步向独立组网发展。NR 和 NR 之间,3GPP 仅定义了 FR1 NR+FR2 NR 的双连接,但 FR2 尚未完成国内的频谱分配,故现网中 NR 和 NR 之间双链接暂未部署。

4 5G 多频协同方案性能和产业对比分析

NR 和 NR 间的多频段协同技术主要考虑 CA 和 SUL。针对 $n41+n28$ CA 和 $n41+n83$ SUL 的 R15 和 R16 的峰值速率和边缘速率进行理论分析,对应的基本系统配置参数见表 3。

4.1 峰值速率

根据表 3 中单载波的理论峰值速率,可计算得到如下结论。

(1) 上行链路

- 支持 1Tx+1Tx 并发的 R15 的 UL CA, 上行峰值 $250+175=300$ Mbit/s。
- R15 SUL 支持在 NUL 和 SUL 两个上行载波选择最优的一个载波传输, 上行峰值 $\max(175 \text{ Mbit/s}, 250 \text{ Mbit/s})=250$ Mbit/s。

频段	帧结构									
2.6 GHz	D	D	D	D	D	D	D	S(SRS)	U	U
700 MHz	U(-1)			U	U	U	U(-1-1*SRS)	U(-14)		

图6 上行轮发时 700 MHz 无法使用的符号

- 支持 1Tx 和 2Tx 轮发的 R16 UL CA 或 SUL，上行峰值相同，可达 $250 \text{ Mbit/s} + 175 \text{ Mbit/s} \times (17/(14 \times 5)) = 383 \text{ Mbit/s}$ ，相比 R15 UL CA 和 R15 SUL 分别有 27% 和 53% 增益。其中，17 为 700 MHz 无法使用的符号个数（具体如图 6 所示，切换时延带来 2 符号损失，为保障 2.6 GHz 的 SRS 参考信号发送，需减少 700 MHz 的 1 个符号，2.6 GHz 上行时隙时刻，700 MHz 上行不发送数据，减少 14 个上行符号）， 14×5 为 5 ms 周期内 700 MHz 的上行符号个数。

(2) 下行链路

- DL CA 在 R15 和 R16 峰值速率性能相同，均为 $1700 + 350 = 2050 \text{ Mbit/s}$ 。
- SUL 在 R15 和 R16 的下行性能相同，下行仅 n41 单载波，均为 n41 的峰值 1700 Mbit/s ，若 SUL 同时添加 n28 为下行辅载波，则可达到与 DL CA 相同峰值速率。

峰值速率性能对比如图 7 所示，R16 的上行性能相比 R15 有一定提升，下行峰值速率性能不变。

4.2 边缘速率

中单载波的理论边缘速率见表 3，可推理得到如下结论。

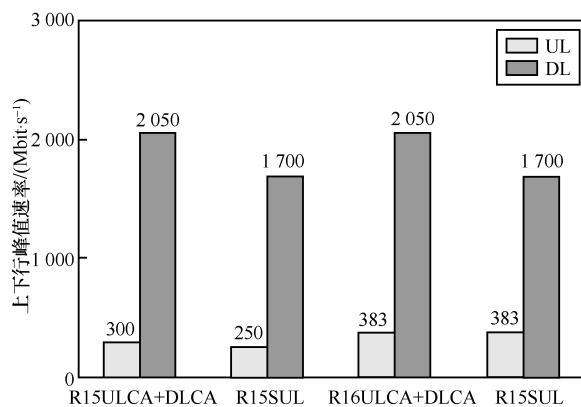


图7 不同技术的上下行峰值速率

(1) 上行链路

上行边缘位置，终端功率受限，单发效率最高，即 UL CA 或 SUL 均只在 700 MHz (n83 或 n28) 上单发，边缘速率 3.5 Mbit/s。

(2) 下行链路

- DL CA 在 R15 和 R16 性能相同，考虑两个载波的边缘位置可能不同，不能直接相加，需要测试验证。
- SUL 在 R15 和 R16 的下行性能相同，下行仅 n41 单载波，为 n41 的边缘速率 70 Mbit/s。

5 产业支持情况

目前，DL CA 产业相对成熟，已支持基站和终端的端到端测试，UL CA 和 SUL 端到端产业成熟

表3 基本系统配置参数

Band	n41	n28	n83(SUL Band)
频率范围	UL: 2 496~2 690 MHz DL: 2 496~2 690 MHz	UL: 703~748 MHz DL: 758~803 MHz	UL: 703~748 MHz
带宽	100 MHz	2×30 MHz	30 MHz
帧结构	DDDDDDDSUU	FDD 制式	全上行
单用户峰值速率	UL/DL: 250 Mbit/s/1 700 Mbit/s 上行为 2 流	UL/DL: 175 Mbit/s/350 Mbit/s 上行为 1 流	UL: 175 Mbit/s 上行为 1 流
边缘速率	UL/DL: 0.53 Mbit/s/70 Mbit/s	UL/DL: 3.5 Mbit/s/102 Mbit/s	UL: 3.5 Mbit/s



度相对较慢, 2021 年基站和终端将支持端到端测试验证, 其中 UL CA 相比 SUL 产业链更加丰富。

6 结束语

为加强多频段协同, 达到提升用户峰值速率, 提升网络覆盖能力等目的, 载波聚合、补充上行和双连接技术是重要的解决手段, 但适用场景不同, 载波聚合和补充上行适用于理想回传场景, 其中, 载波聚合主要用于相同频段之间 (比如 n41+n41)、TDD 频段之间 (比如 n41+n79) 以及 TDD 频段和 FDD 频段之间 (比如 n41+n28) 等, 适用范围相对广泛; 补充上行主要适用于 TDD 频段和 SUL 频段之间 (比如 n41+n83), 适用范围相对较小; 双连接主要适用于非理想回传场景, 目前较多应用于 FDD LTE+TDD NR 或 TDD LTE+TDD NR 等 EN-DC。未来毫米波等高频段频谱可能会逐步引入现网, 考虑和中低频段的覆盖差异较大, 高低频协同技术会更多地应用在非理想回传场景, 未来可进一步对非理想回传场景下的载波聚合或补充上行等多频段协同技术进行性能影响定量分析和测试验证, 并针对存在的问题考虑解决方案或性能提升方案。

参考文献:

- [1] 张晨露. 局部到整体: 5G 系统观[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
ZHANG C L. The fifth generation wireless paradigm: from building blocks to networking[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2019.
- [2] 刘晓峰, 沈祖康, 王欣晖, 等. 5G 无线增强设计与国际标准[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.
LIU X F, SHEN Z K, WANG X H, et al. 5G wireless enhanced design and international standard[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2020.
- [3] 刘晓峰, 孙韶辉, 杜忠达, 等. 5G 无线系统设计与国际标准[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
LIU X F, SUN S H, DU Z D, et al. 5G wireless system design and international standard[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2019.
- [4] 黄宇红, 刘盛纲, 杨光, 等. 5G 高频系统关键技术及设计[M].

北京: 人民邮电出版社, 2019.

HUANG Y H, LIU S G, YANG G, et al. Key technologies and design of 5G high frequency system[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2019.

- [5] 3GPP. User equipment (UE) radio access capabilities: TS 38.306 V16.1.0[S]. 2019.
- [6] 3GPP. User equipment (UE) radio transmission and reception: TS 38.101-1 V16.4.0[S]. 2020.
- [7] 3GPP. Radio resource control (RRC) protocol specification: TS 38.331 V16.1.0[S]. 2020.
- [8] 廖智军, 李振廷, 石胜利, 等. LTE/5G 双连接关键技术[J]. 移动通信, 2018, 42(3): 21-26.
LIAO Z J, LI Z T, SHI S L, et al. Key technologies of LTE/5G dual connection[J]. Mobile Communications, 2018, 42(3): 21-26.
- [9] 沈嘉, 杜忠达, 张治, 等. 5G 技术核心与增强 从 R15 到 R16[M]. 北京: 清华大学出版社, 2021.
SHEN J, DU Z D, ZHANG Z, et al. 5G NR and enhancements: from R15 to R16[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2021.
- [10] 黄宇红, 孙奇, 贾民丽, 等. 智简 5G 无线网络技术初探[J]. 电信科学, 2021, 37(5): 9-13.
HUANG Y H, SUN Q, JIA M L, et al. An intelligent and simplified 5G wireless network technology[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(5): 9-13.

[作者简介]



曹丽芳 (1989—), 女, 现就职于中国移动通信有限公司研究院无线与终端技术研究所, 主要研究方向为无线网 LTE/LTE-A、物联网、5G 系统。

江天明 (1983—), 男, 中国移动通信有限公司研究院主任研究员, 主要研究方向为无线技术研发、试验验证等。

邓伟 (1978—), 男, 中国移动通信有限公司研究院无线与终端技术研究所副所长、高级工程师, 主要研究方向为无线软硬件技术。

陈卓 (1978—), 男, 中国移动通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为无线标准和技术研发等。

收录声明

本刊已被中国核心期刊遴选数据库(万方)、中国学术期刊数据库(知网)全文收录,被本刊录用的文稿,将一律由编辑部统一纳入中国核心期刊遴选数据库(万方)、中国学术期刊数据库(知网)。若作者不同意被收录,将在来稿时向本刊说明,本刊将做适当处理。若无特别声明,视同将录用文稿的电子网络版、汇编或合订本的使用权授予本期刊社,本刊支付的稿费中已包含上述费用。

The articles of *Telecommunications Science* have been embodied by WANFANG DATA and CNKI. The accepted articles will be unified into WANFANG DATA and CNKI. If the author does not agree to his or her article to be included, the author must illustrate when the article is submitted. The editorial department will properly handle. If the authors do not give a special announcement, the editorial department believes that the authors have granted the right of their articles to *Telecommunications Science*. The expenses have been included in the fee paid by editorial department.

道德声明

本刊发表的文稿是作者独立取得的原创性研究成果,无一稿多投;文稿内容不涉及国家机密;未曾以任何形式用任何文种在国内外公开发表过;文稿内容不侵犯他人著作权和其他权利。若发生一稿多投、侵权、泄密等问题,文稿作者将承担全部责任。

The authors of *Telecommunications Science* guarantee that their submitted articles are original and contain nothing confidential. The said article is only submitted to *Telecommunications Science*. The said article has not been published before and has not been submitted elsewhere for print or electronic publication consideration. The said article is in no way whatever a violation or an infringement of any existing copyright or license from the third party. Otherwise, the authors of the said article shall take the blame for the violation or infringement of the related copyright and the leakage of secrets.

电信科学

Telecommunications Science



邮发代号: 2-397 国外代号: M841 定价: 68.00元

ISSN 1000-0801

