



5 G 移 动 通 信 技 术 系 列 教 程

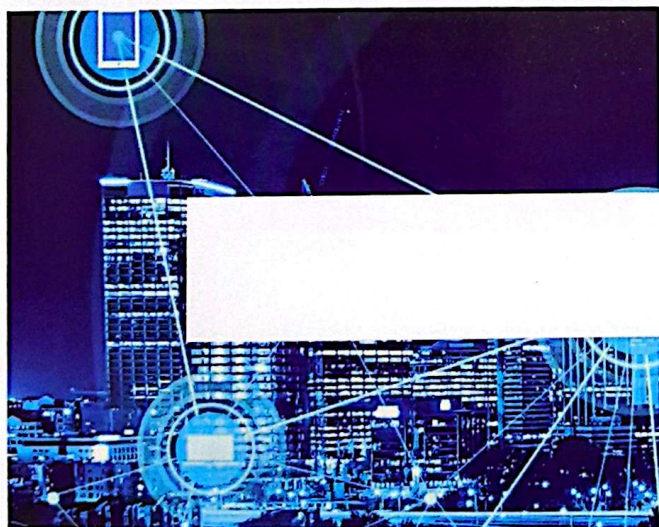
5G

无线技术及部署

微课版

宋铁成 宋晓勤 © 主编

汤昕怡 王永学 祝欣蓉 王春峰 © 副主编



中国工信出版集团

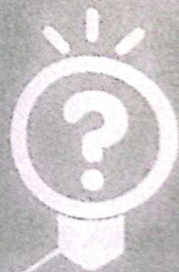
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

5G 网络相比于传统的 2G、3G、4G 网络，能够提供更高的速率、更低的时延及更大的连接数。那么它是如何实现的呢？显然，这与 5G 网络采用的关键技术是分不开的。

本章重点介绍 5G 网络提高速率、降低时延和提升覆盖三大类关键技术。

课堂学习目标

- 了解 5G 网络关键技术的类型
- 掌握 5G 网络提高速率技术的原理
- 掌握 5G 网络降低时延技术的原理
- 掌握 5G 网络提升覆盖技术的原理



3.1 关键技术分类

国际电信联盟于2015年6月定义了未来5G的三大类应用场景,分别是eMBB、uRLLC和mMTC,如图3-1所示。其中,eMBB指大流量移动宽带业务,如增强现实(Augmented Reality, AR)、虚拟现实(Virtual Reality, VR)、超高清视频等;uRLLC指需要高可靠、低时延连接的业务,如无人驾驶、工业控制等;而mMTC则指大规模物联网通信,如面向智慧城市、环境监测等以传感和数据采集为目标的应用场景。ITU对这三大场景的愿景分别是10Gbit/s的峰值速率、1ms的端到端时延以及100万设备平方千米的连接。

为了实现这三大愿景,5G网络,尤其是5G无线网络,需要增加一些新的关键技术来支撑。这些关键技术将分别用于提升5G峰值速率、降低时延及增大系统连接数。除此之外,考虑到5G网络的工作频段较高,存在覆盖受限问题,所以需要采用一些关键技术来增强5G的覆盖。

由于已经冻结的R15版本中只定义了eMBB场景标准和部分uRLLC场景标准,还没有定义mMTC场景标准,也就是说,用于增大系统连接数的关键技术还没有最终冻结,因此,本章将重点介绍其他三大类关键技术:提高速率技术、降低时延技术和提升覆盖技术。

1. 提高速率技术

(1) 大规模天线技术。

Massive MIMO通过在基站侧安装大量天线阵子,实现不同天线同时收发数据,通过空间复用技术,在相同的时频资源上同时复用更多用户,可以大幅度提高频谱的效率,最终提升小区峰值速率。该技术已经成为5G中标配的关键技术。

(2) 高阶调制技术。

3GPP在Release 12阶段提出了256正交幅度调制(Quadrature Amplitude Modulation, QAM)技术,相比于之前的64QAM调制技术,256QAM调制技术将8个信息比特调制成一个符号,单位时间内发送的信息量比64QAM调制技术提高了三分之一,从而实现提高空口速率的目的。

(3) 改进型正交频分复用技术。

基于子带滤波的正交频分复用(Filtered Orthogonal Frequency Division Multiplexing, F-OFDM)技术通过优化滤波器、数字预失真(Digital Pre-Distortion, DPD)、射频等通道处理,使基站在保证一定的邻道泄漏比(Adjacent Channel Leakage Ratio, ACLR)、阻塞等射频协议指标时,有效地提高系统带宽的频谱利用率及峰值速率。

2. 降低时延技术

(1) 时隙调度技术。

LTE系统中采用的是子帧级调度,每个调度周期为1ms。在5G系统中,每个子帧的长度与LTE相同,都是1ms,每个子帧又根据参数设定分为若干个时隙。为了降低调度时延,5G系统的空口采用了时隙级调度,每个调度周期为单个时隙,从而达到了降低空口时延的效果。

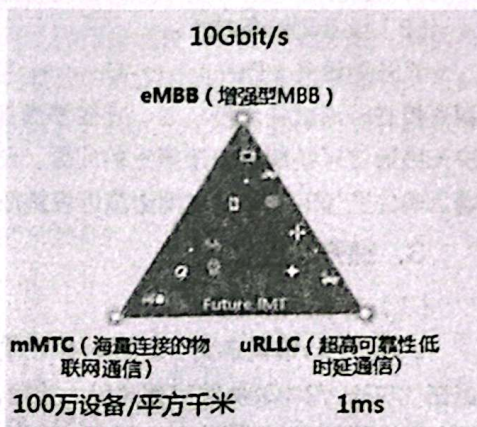


图3-1 5G应用场景

(2) 免调度技术。

由于调度存在环回时间 (Round Trip Time, RTT), 为了降低这个时延, 5G 系统中针对时敏感的业务提出了免调度技术, 即终端有数据发送需求时可以直接发送, 从而达到了降低空口时延的效果。

(3) 设备到设备技术。

设备到设备 (Device-to-Device, D2D) 通信是一种在系统的控制下, 允许终端之间通过复用小区资源直接进行通信的新型技术, 它能够增加蜂窝通信系统的频谱效率, 降低终端发射功率, 在一定程度上解决无线通信系统频谱资源匮乏的问题。此外, 它还有减轻蜂窝网络的负担、减少移动终端的功耗、降低终端之间的通信时延和提高网络基础设施故障的鲁棒性等优势。

3. 提升覆盖技术

(1) 上下行解耦技术。

5G 上下行解耦定义了新的频谱配对方式, 使下行数据在 3.5GHz/4.9GHz 等较高频段上传输, 上行数据在 1.8GHz/2.1GHz 等较低频段上传输, 从而达到提升上行覆盖的效果。

(2) 双连接技术。

为了在跨站场景下提供更高的业务速率, 提升终端用户体验, 3GPP 在 R 12 阶段提出了双连接 (Dual Connectivity, DC) 特性, 支持在两个基站间通过分流传输, 从而达到了提升上行覆盖的效果。

3.2 提高速率技术



V3-1 提高速率技术

5G 的速率之所以能比 4G 提高很多, 与它采用了大量的新技术密不可分。正因为如此, 5G 才能实现随时随地观看 4K 高清视频或者 Cloud VR 业务。下面分别对这些提高速率的技术进行详细介绍。

3.2.1 Massive MIMO

Massive MIMO 并非 5G 全新技术, 最早在 4G 网络中就有应用, 而 5G 网络中的 Massive MIMO 对 4G 时代的 Massive MIMO 做了继承和改进, 目前已经成为 5G 标配的关键技术。接下来, 本节将从 Massive MIMO 的定义、工作原理及增益 3 个维度展开介绍。

1. 定义

什么是 Massive MIMO? 其字面含义是大规模天线阵列, 如图 3-2 所示, 通常至少要求有 16 根收发天线。华为目前做到了业界领先的 64 根收发天线, 实现了 64T64R (64 发 64 收)。通过更多数量的天线, 可以实现更灵活精确的三维立体窄波束赋形, 使得更多用户复用无线时频资源, 从而达到提升覆盖能力和系统容量并降低系统干扰的目的。这就类似于家用的无线路由器, 新的无线路由器的天线数越多, 而这么多天线无线路由器的信号越好、速率越快。

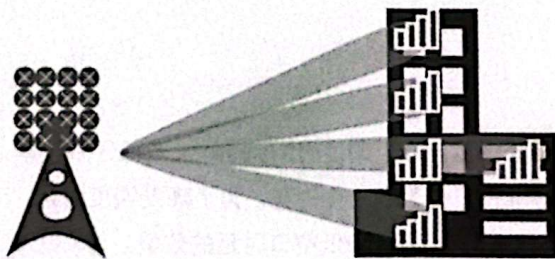


图 3-2 大规模天线阵列

2. 工作原理

Massive MIMO 是如何实现窄波束赋形的呢？如图 3-3 所示，Massive MIMO 利用波的可干原理，将波峰与波峰叠加，信号增强；波峰与波谷叠加，信号减弱。基站通过终端发送的上行信号估算出下行的矢量权，或者直接通过终端上报的方式获得矢量权，最终用矢量权对下行待发送信号进行加权处理，从而形成定向波束。如图 3-3 所示，左图代表的是没有添加矢量权的发射模式，右图代表的是添加矢量权之后的发射模式。从图中可以清晰地看到，信号最强的主瓣从原先的虚线位置，向左转动一定角度，最终形成一个指向终端的最优波束。

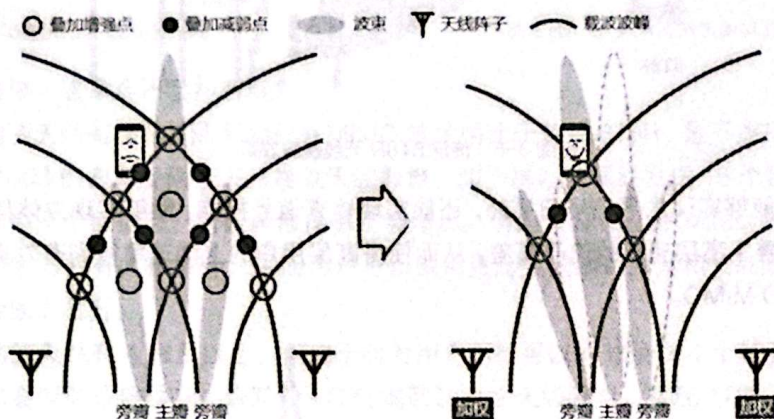


图 3-3 Massive MIMO 的工作原理

如图 3-4 所示，和传统的天线相比，Massive MIMO 通过大量增加阵子数量，使得最终发出去的波束比传统天线更窄，能量更集中，从而达到提升覆盖范围的效果。除此之外，随着基站获得的矢量权的变化，这个波束方向也会随之发生改变，最终实现波束跟踪，即随着终端移动而改变波束的指向。

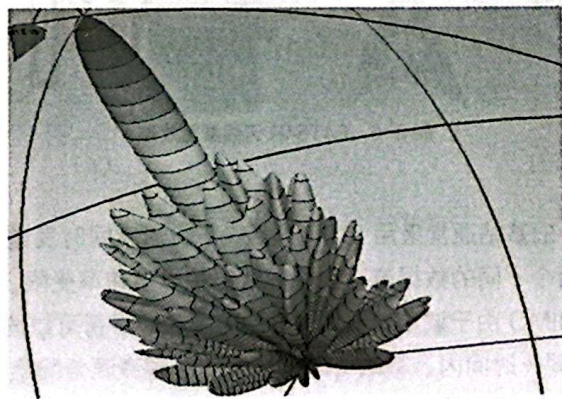


图 3-4 窄波束赋形效果图

3. 增益

Massive MIMO 技术主要能获得以下几方面增益。

(1) 提升覆盖范围。

传统 8T8R 天线只能做到水平波束赋形，基站天线赋形后的信号只能在水平面上扫描，不能在垂直面上扫描，所以会造成高层居民小区或者酒店等建筑物内信号覆盖不理想，甚至出现无覆盖的现象，如图 3-5 所示。

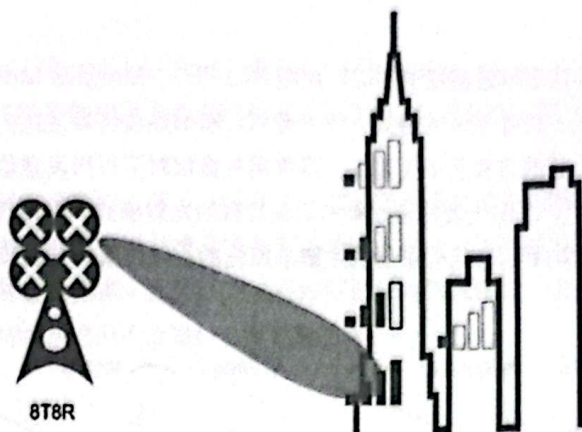


图 3-5 传统 8T8R 天线覆盖效果

而 64T64R 除了能够实现水平信号扫描外,还能实现垂直信号扫描,能够实现立体信号覆盖,如图 3-6 所示。这样就大大改善了高层建筑的信号覆盖,从而使得高层用户的上网速率得到有效提升,所以 Massive MIMO 又可以称为 3D MIMO。

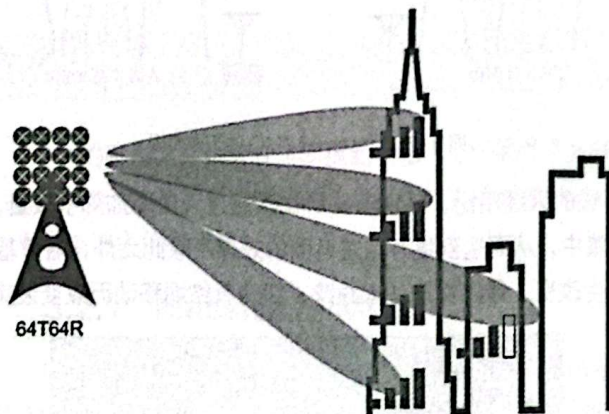


图 3-6 64T64R 天线覆盖效果

(2) 提高容量。

在 4G TDD 系统中,室外宏基站通常采用 8T8R 天线,下行通常同时发送 2 个数据流,如图 3-7 所示。终端下行最高只能同时接收两个不同的数据流,最终导致终端峰值速率受限,小区容量也大打折扣。

而 64T64R 的 Massive MIMO 由于波束更窄,通过空分复用,下行可以同时发送多达 16 个数据流,如图 3-8 所示。这就意味着,同一时间内,基站可以把相同的时频资源分配给 16 个不同的用户使用,从而大幅提升小区的整体容量。同时,更窄的波束还能降低小区内用户间的干扰。其特别适用于高校、城区 CBD 等高话务量场景。

实现下行多流数据发送的前提是不同终端需要提前完成配对,而目前只有位于天线的不同方位,且接收信号质量相近的终端,才有可能完成配对。对于完成配对的终端,基站会调度相同的时频资源给这些配对的终端用户使用,从而大幅提升频谱资源利用率。现阶段的华为 5G 基站,理论上最多可以实现下行 16 个用户配对;而上行由于没有波束赋形效果,理论上最多可以实现 8 个用户配对。由于实现了下行 16 流、上行 8 流的同时收发,因此达到了提升小区上下行容量的效果。

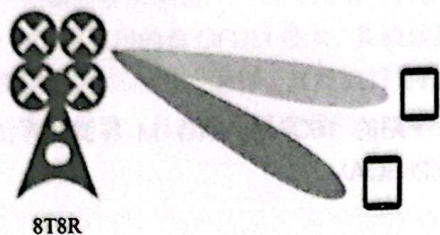


图 3-7 8T8R 天线多流发送效果

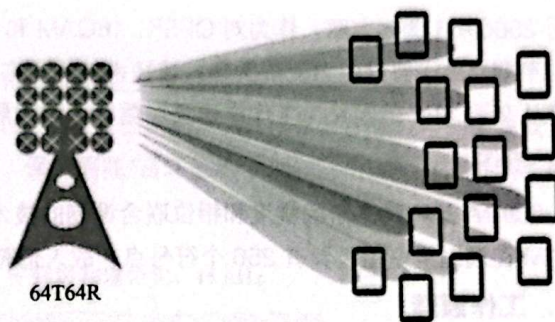


图 3-8 64T64R 天线多流发送效果

对于单用户来讲，速率会不会提升呢？

如果用户终端的天线有两根，则 Massive MIMO 技术相比于传统 8T8R，是不能提升单用户的峰值速率的。因为此时终端的峰值速率受限于下行接收天线数量，即使基站侧同时发送 16 个数据流，终端同一时刻最多也只能接收其中两个数据流，所以峰值速率不会增加。但由于 Massive MIMO 技术的使用，单用户的信号质量相比于传统方式有大幅提升，进而用户可以采用更高效的编码方案和更高阶的调制方式，所以单用户的平均速率会随之提升。

如果用户终端的天线有 4 根及以上，则由于此时用户下行可以同时接收 4 个甚至更多的数据流，所以单用户的峰值速率会得到成倍提升。现阶段 4G 终端默认为 2 天线配置，实现 1T2R，而今后 5G 终端将默认 4 天线配置，实现 2T4R，如图 3-9 所示。这样，结合 Massive MIMO 的下行多流特征，5G 手机下行的峰值速率至少会翻倍。

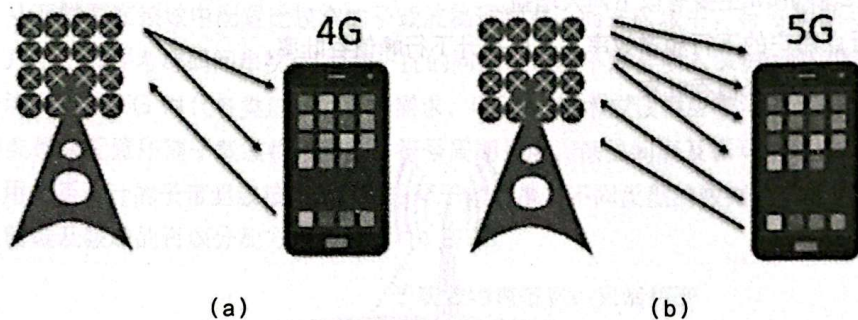


图 3-9 4G/5G 终端天线收发模式

(3) 降低干扰。

由于 Massive MIMO 采用了大规模天线阵列，因此上行具有接收分集增益的作用，且天线数越多，分集接收干扰抑制能力越强。另外，接收分集可以有效抑制深度衰落，提升接收解调性能。

如图 3-10 所示，通过部署大规模接收分集和 3D 波束赋形，在用户设备 (User Equipment, UE) 移动过程中，gNodeB 根据下行最佳波束的变化，可以同时调整上行的接收波束，实现用户波束跟踪，有效解决了高干扰场景接收难及小区间干扰控制难的问题。

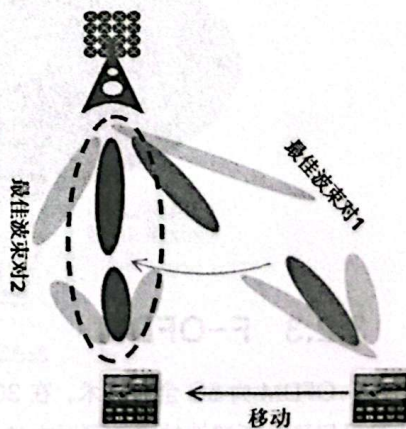


图 3-10 4G/5G 终端波束跟踪

3.2.2 256QAM

256QAM 并非 5G 全新技术，最早在 3GPP R12 版本中就提出

了下行 256QAM 调制方案, 作为对 QPSK、16QAM 和 64QAM 的补充, 用于提升无线条件较好时 UE 的比特率。早期, 由于终端能力受限问题, 该技术使用不广, 而 5G 网络中的 256QAM 成为了标配关键技术。下面将从 256QAM 的定义、工作原理及增益 3 个维度展开介绍。

1. 定义

256QAM 是一种高阶的幅度和相位联合调制技术, 相比于早期的 16QAM、64QAM 等调制方式, 256QAM 在调制星座图上共有 256 个符号点, 故人们将其命名为 256QAM。

2. 工作原理

相对于 64QAM 调制方式, 256QAM 调制的星座图中有 256 个符号点, 如图 3-11 所示, 其中, 每个符号能够承载 8bit 信息, 也就是说, 单个符号周期内, 能够传递最大 8bit 信息, 理论峰值频谱效率可以提升 33%, 可以支持更大的传输块大小 (Transport Block Size, TBS), 实际增益大小由无线信道环境、发射/接收误差向量幅度 (Error Vector Magnitude, EVM) 及终端解调能力等因素决定。

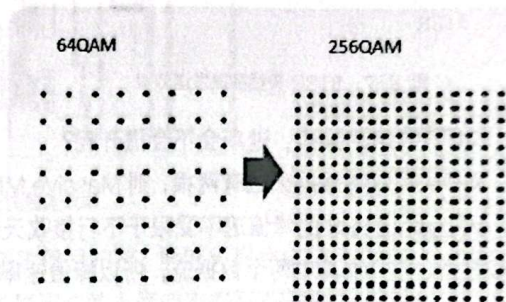


图 3-11 64QAM 与 256QAM 星座图对比

3. 增益

gNodeB 在调度过程中根据用户的上行和下行信道质量情况, 为终端选择合适的上行和下行调制方式。当终端距离基站很近时, 信号质量非常好, 在保证一定的解调误码率前提下, 可以采用 256QAM 调制, 如图 3-12 所示。256QAM 主要有以下两大增益。

- (1) 提升近点用户的下行频谱效率, 从而提升下行峰值吞吐率。
- (2) 提升小区下行峰值吞吐率。

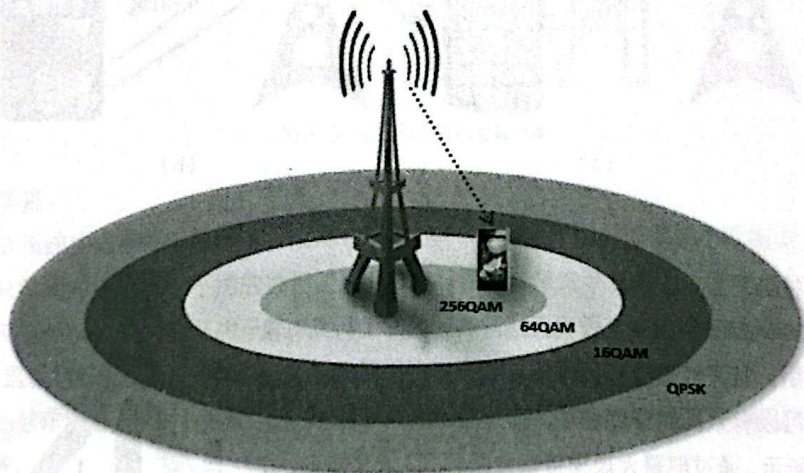


图 3-12 256QAM 应用场景

3.2.3 F-OFDM

F-OFDM 为 5G 全新技术, 在 3GPP R15 标准版本中冻结。相比于 4G 的 OFDM, F-OFDM 最大的变化是采用了全新滤波技术, 可以支持相同子帧内可变速载波带宽, 当前已经成为 5G 标配的关键技术。下面将从 F-OFDM 的定义、工作原理及增益 3 个维度展开介绍。

1. 定义

根据其技术原理，F-OFDM 又可称为“基于子带滤波的正交频分复用”。

4G 中采用的是 OFDM 技术，其频域及时域的资源分配方式如图 3-13 所示。在频域中，子载波物理带宽是固定的 15 kHz，这样，其时域符号周期的长度、保护间隔/循环前缀 (Cyclic Prefix, CP) 的长度也就被固定下来了，且其是不可变化的。

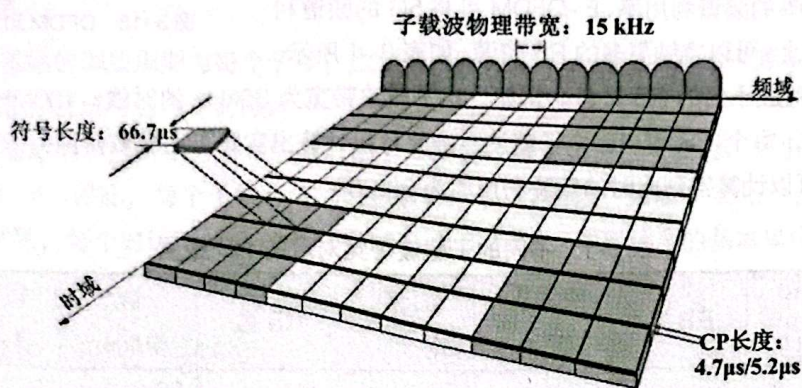


图 3-13 OFDM 技术频域及时域的资源分配方式

未来，不同的 5G 应用对网络的需求可能具有很大的差异。例如，自动驾驶业务要求极短的时域符号周期与发送时间间隔 (Transmission Time Interval, TTI)，这就需要在频域中有较宽的子载波物理带宽；而在物联网的“海”量通信应用场景中，单个无线传感器所传送的无线数据量极低，但是对系统整体的连接数要求很高，从而需要在频域中配置比较窄的子载波物理带宽，而在时域中，符号周期与传输时间间隔都可以足够长，几乎不需要考虑码间串扰/符号间干扰的问题，也就不需要引入保护间隔/循环前缀了。

因此，为了满足未来 5G 时代各类应用的不同需求，OFDM 技术应该相应地演进至可以灵活地根据所承载的具体应用类型来配置所需子载波物理带宽、符号周期长度、保护间隔及循环前缀长度等关键技术参数，这就需要采用全新设计的子带滤波技术，以在相同子帧中携带不同类型的数据，这就是 F-OFDM 技术的核心理念。其时域及频域的资源分配方式如图 3-14 所示。

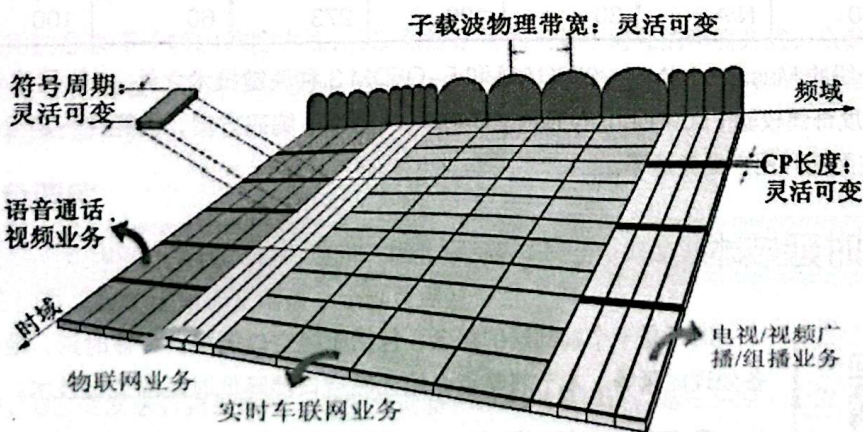


图 3-14 F-OFDM 技术时域及频域的资源分配方式

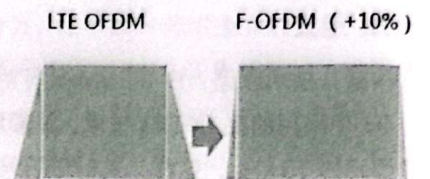
2. 工作原理

F-OFDM 技术通过优化滤波器、数字预失真、射频等通道处理，使华为基站在保证相邻频道泄漏比、

阻塞等射频协议指标的情况下,把具有不同物理带宽的子载波之间的保护间隔做到最低的子载波物理带宽,从而大幅提升载波资源的利用率。如图 3-15 所示, F-OFDM 技术由于带外衰减快,可以大幅降低载波的保护带宽,实现提升载波利用率的效果。

3. 增益

相比于 LTE 90% 的频谱利用率, F-OFDM 可将 5G 的频谱利用率提升到 95% 以上,可以容纳更多的 RB 资源。如表 3-1 所示,不同的子载波带宽对应不同的 RB 数量。例如,当子载波带宽为 30kHz 的时候, 100MHz 载波带宽对应的 RB 数量为 273 个,每个 RB 有 12 个子载波,由此可以计算出实际可用载波资源为 $273\text{RB} \times 12 \times 30\text{kHz} = 98.28\text{MHz}$,最终可以计算得到此时的载波利用率为 98.28%。



LTE——10%保护频段 NR——2%~3%保护频段

图 3-15 OFDM 和 F-OFDM 的对比

表 3-1 不同的子载波带宽对应的 RB 数量

子载波带/kHz	载波带宽/MHz	RB 数	子载波带/kHz	载波带宽/MHz	RB 数	子载波带/kHz	载波带宽/MHz	RB 数
15	5	25	30	5	11	60	5	N/A
15	10	52	30	10	24	60	10	11
15	15	79	30	15	38	60	15	18
15	20	106	30	20	51	60	20	24
15	25	133	30	25	65	60	25	31
15	30	160	30	30	78	60	30	38
15	40	216	30	40	106	60	40	51
15	50	270	30	50	133	60	50	65
15	60	N/A	30	60	162	60	60	79
15	80	N/A	30	80	217	60	80	107
15	90	N/A	30	90	245	60	90	121
15	100	N/A	30	100	273	60	100	135

除了以上介绍的 Massive MIMO、256QAM 和 F-OFDM 3 种关键技术之外, 5G 网络 eMBB 场景采用的 Polar 和低密度奇偶校验 (Low Density Parity Check, LDPC) 编码方案,也能在一定程度上提升用户数据编码效率,进而提升用户业务速率。

3.3 降低时延技术



V3-2 降低时延技术

时延是一个端到端的概念,包括无线空口调度、传输时延、地面端口传输及设备处理时延等。本节将重点介绍无线空口侧降低时延的关键技术。

3.3.1 时隙调度

相比于 4G 系统的空口调度方式, 5G 系统空口采用了全新的时隙调度,下面将从时隙调度的定义、工作原理及增益 3 个维度展开介绍。

1. 定义

调度指的是基站遵从帧结构配置，在帧结构允许的时域单位上，以某个调度基本单元，为终端分配物理下行共享信道（Physical Downlink Shared Channel, PDSCH）或物理上行共享信道（Physical Uplink Shared Channel, PUSCH）上的资源（时域、频域、空域资源），用于系统消息或用户数据传输。而时隙调度的基本时域单位就是单个时隙，这意味着 gNodeB 每隔一个时隙即可为终端分配相关资源。

2. 工作原理

4G 系统中，基站的调度周期为每个子帧，也就是 TTI 为 1ms，调度的基本资源单位为 PRB 对，即频域中的 12 个子载波，时域中的两个时隙。

5G 系统中，基站的调度周期为每个时隙。由于 5G 的子载波带宽是可变的，大小等于 $15\text{kHz} \times 2^\mu$ ， μ 参数的取值为 0~4，因此，每个子帧包含的时隙数等于 2^μ 个时隙，如表 3-2 所示。当 μ 等于 2 时，每个子帧包含 4 个时隙，每个时隙时长 0.25ms，即 TTI 为 0.25ms，同时调度的基本单位变成了 PRB，即频域中的 12 个子载波，时域中的单个时隙。所以相比于 4G 系统，5G 系统的调度时间更短。

表 3-2 不同子载波带宽对应的时隙数

子载波配置 μ	子载波宽度 /kHz	循环前缀	每时隙符号数 /Symbol	每帧时隙数 /Slot	每子帧时隙数 /Slot
0	15	Normal	14	10	1
1	30	Normal	14	20	2
2	60	Normal	14	40	4
3	120	Normal	14	80	8
4	240	Normal	14	160	16
2	60	Extended	12	40	4

除此之外，在今后的 uRLLC 场景中，5G 可能会采用基于符号的调度，即基于 Mini-Slot 的调度方式。单个 Mini-Slot 包含 2 个、4 个或 7 个符号，5G 的调度周期会更短，空口时延会更低。

3. 增益

4G 系统采用的是基于子帧的调度方式，5G 系统采用的是基于时隙的调度方式，当参数 μ 的取值大于等于 1 时，单个时隙的时长小于等于 0.5ms，此时，5G 的空口调度时延始终小于 4G 的调度时延，从而更好地支撑今后的低时延业务。

3.3.2 免调度

为了支持 5G 系统中的 uRLLC 场景，3GPP 标准制定者提出了免调度的概念，并将于 R16 版本中冻结。下面将从免调度的定义、工作原理及增益 3 个维度展开介绍。

1. 定义

4G 系统中，UE 要发送数据给网络，需要先向基站发起调度申请，基站再给 UE 发送调度授权，最后 UE 才能把数据放到相应的资源块中发送给网络。这个过程存在环回时间。

5G 系统中，针对 uRLLC 场景定义了免调度技术，如果终端有数据要发送给网络，则可以不用向网络申请，直接发送即可，因而免除了 RTT 造成的时延，如图 3-16 所示。

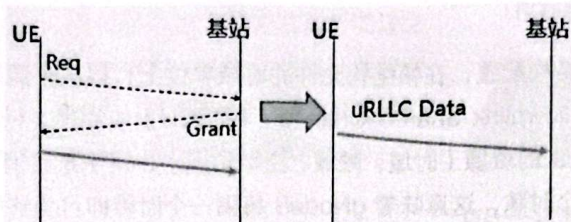


图 3-16 正常调度与免调度方式的对比

2. 工作原理

在 uRLLC 场景中, gNodeB 侧可以开启免调度特性, 配置相关免调度资源, 并通过下行控制信息 (Downlink Control Information, DCI) 激活 UE 的免调度资源; 当 UE 获得免调度资源后, 如果 UE 有 uRLLC 数据需要发送, 则可以在免调度资源上直接发送 PUSCH 数据, 而无须先向 gNodeB 发送调度请求。

3. 增益

相比于正常的调度流程, 免调度省去了调度申请和调度授权过程, 没有了 RTT 时延, 时延更短, 能够满足今后 uRLLC 场景的业务需求。

3.3.3 D2D

D2D 指的是两个终端之间直接通信的技术。典型的 D2D 应用有蓝牙、对讲机、Wi-Fi-Direct 等。在 LTE 系统中, 终端之间的所有通信都必须通过网络的完整路径来实现。而 D2D 的理想目标是在终端之间直接建立通路, 没有任何媒介的参与。该技术将于 R16 版本中冻结。下面将从 D2D 的定义、工作原理及增益 3 个维度展开介绍。

1. 定义

D2D 即设备和设备直接通信, 5G 网络的 D2D 指在蜂窝网络的辅助下使用运营商的频谱实现终端与终端之间数据面的直接传输。相比于蓝牙和 Wi-Fi-Direct, D2D 覆盖距离较远, 最远可达 1km 以上, 是运营商进入社交或者近距离通信的一种技术。

2. 工作原理

相比于蓝牙和 Wi-Fi-Direct 采用的非授权频谱通信, D2D 的两个终端采用了运营商的授权频谱进行通信, 如图 3-17 所示, 右边圆圈中的两个 D2D 终端可以使用当前小区的剩余频谱资源或者复用当前小区的上下行频谱资源进行通信。在通信过程中, 为了降低 D2D 对蜂窝用户造成的干扰, 基站需要对 D2D 终端进行适当的功率控制。

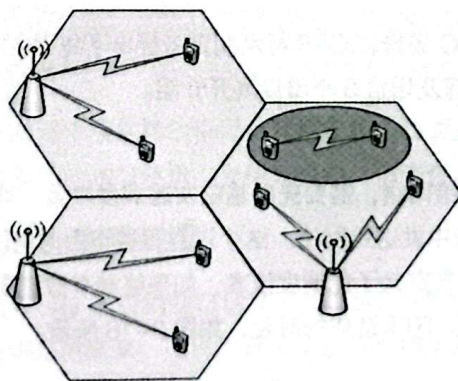


图 3-17 D2D 通信

3. 增益

相比于正常的蜂窝网络通信，D2D 通信具有如下优点。

- (1) 降低了基站和回传网络压力，缩短了网络时延。
- (2) 降低了终端发射功率，提升了待机时长。
- (3) 提升了频谱效率，解决了无线频谱资源匮乏的问题。
- (4) 方便获取位置信息，以提供位置信息用于社交。
- (5) 本地数据可用于紧急通信、公共安全、物联网等应用场景。

3.4 提升覆盖技术

5G 系统中，C-Band（如 3.5GHz 频段）拥有大带宽，是构建 5G eMBB 的黄金频段。目前，全球多数运营商已经将 C-Band 作为 5G 的首选频段。但是，5G 上下行时隙配比不均及 5G 基站发射功率远大于终端的发射功率等问题，导致 C-Band 上下行覆盖不平衡，上行覆盖受限成为 5G 网络的瓶颈。同时，随着波束赋形、CRS Free 等技术的引入，下行干扰会减小，C-Band 的上下行覆盖差距将进一步加大。本节将重点介绍用于提升 5G 上行覆盖效果的上下行解耦、演进的通用陆基无线接入及新空口的双连接模式（E-UTRA-NR Dual Connectivity, EN-DC）技术。



V3-3 提升覆盖技术

3.4.1 上下行解耦技术

为了解决 5G 上行覆盖瓶颈问题，华为提出了上下行解耦技术，并在 3GPP R15 版本中冻结。下面将从上下行解耦的定义、工作原理及增益 3 个维度展开介绍。

1. 定义

上下行解耦定义了新的频谱配对方式。如图 3-18 所示，当终端位于小区近点区域，上行覆盖良好时，使上下行数据都在 C-Band 上传输，以保证最大小区容量；当终端位于小区远点区域，上行覆盖受限时，使下行数据在 C-Band 上传输，上行数据在 Sub3G（3GHz 以内频段，如 1.8GHz）上传输，从而实现提升上行覆盖的效果。

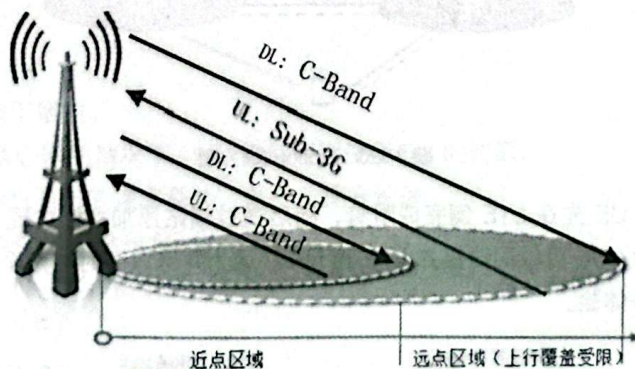


图 3-18 近点/远点区域上下行解耦方式

2. 工作原理

上下行解耦技术是通过用户上报的 C-Band 下行 RSRP 电平值指示用户在合适的上行载波发起初始接

入。如图 3-19 所示,在非独立组网场景中,4G 基站为 5G 终端下发 B1 测量配置,指示 5G 终端去测量 5G 小区电平值。一旦满足 B1 门限,终端就会上报测量报告,最终该测量报告(包含 5G 小区电平值)会被 4G 基站中转给 5G 基站,5G 基站根据测量结果,为终端选择合适的上行载波(C-Band 或者 Sub3G)。选择结果通过 LTE 基站转发给 5G 终端,最终 5G 终端在合适的上行载波上发起随机接入流程。

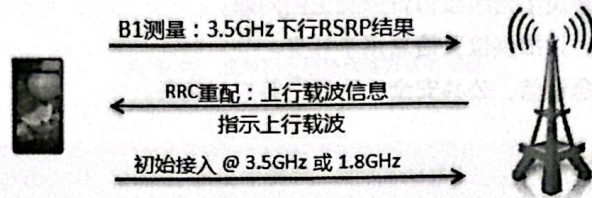


图 3-19 上下行解耦工作原理

3. 增益

由于在小区远点区域中,5G 终端切换到 Sub3G 频段发送上行数据,提升了上行覆盖的范围,因此可以有效提高小区边缘用户的业务体验。

3.4.2 EN-DC 技术

EN-DC 作为提升 5G 上行覆盖的另一种技术,在 3GPP R15 版本中已经冻结。下面将从 EN-DC 的定义、工作原理及增益 3 个维度展开介绍。

1. 定义

EN-DC 是 LTE 和 NR 之间的双连接技术。如图 3-20 所示,Option 3x 就是当前现网中采用最多的一种 EN-DC 方案。在该方案中,LTE 站点为主站,负责信令锚定,5G 终端通过 LTE 站点与核心网建立控制面通信;NR 站点为辅站,负责业务数据分流。

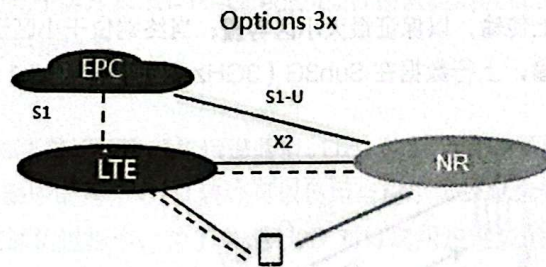


图 3-20 Option 3x 方案

在 EN-DC 场景中,UE 先在 LTE 侧完成附着,随后通过辅站添加功能实现 UE 接入 NR。如图 3-21 所示,完成辅站添加以后,UE 可以同时接入 LTE 和 NR 小区,并可以同时在这两个系统中进行上下行数据传输,从而提高用户的业务体验。

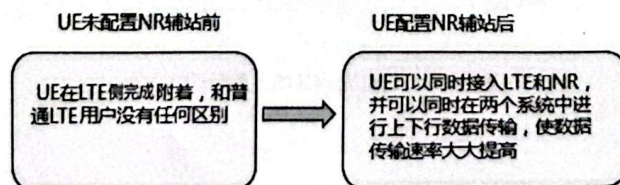


图 3-21 EN-DC 场景中 UE 配置 NR 辅站前后

2. 工作原理

EN-DC 场景中，终端在移动过程中，可能会产生各种移动性管理流程，如图 3-22 所示，包括 SgNB Addition（辅站添加）、SgNB Change（辅站变更）、MeNB HO（主站切换）和 SgNB Release（辅站释放）等流程，其中，辅站释放流程可以体现出 EN-DC 的覆盖增强效果。

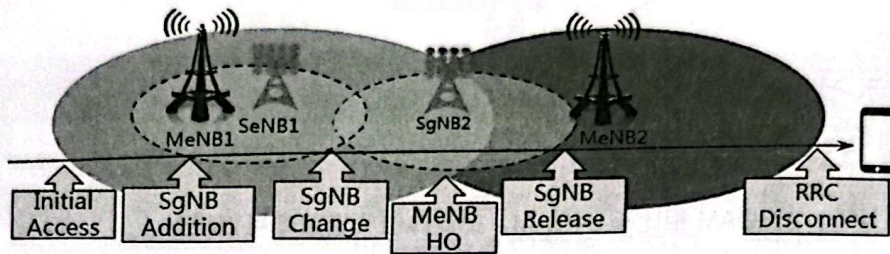


图 3-22 EN-DC 移动性管理流程

当终端位于 5G 覆盖区域中时，核心网下发的业务数据流通过 5G 基站进行分流转发，如图 3-23 (a) 所示，此时 5G 用户面承载位于 gNodeB 基站和 EPC 之间；当终端离开 5G 覆盖区域时，系统会触发辅站释放流程，并伴随着用户面承载的迁移（从 5G 基站侧迁移到 4G 基站侧），如图 3-23 (b) 所示，此时核心网下发的业务数据流直接通过 4G 基站下发给终端，保证终端业务不中断。

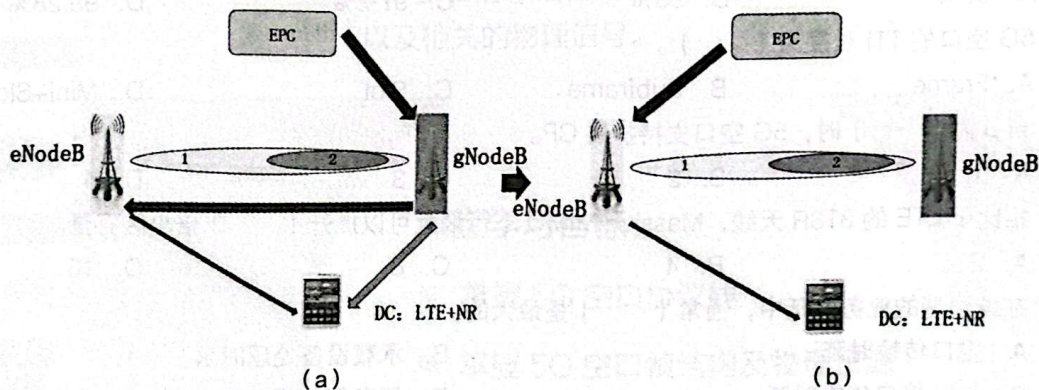


图 3-23 辅站释放流程

3. 增益

EN-DC 技术主要有如下增益。

- (1) 在 5G 没有独立核心网的情况下，UE 仍然可以使用 5G 的资源。
- (2) 通过 DC 可以使 4G 和 5G 速率叠加，进一步提升速率。
- (3) 充分利用 4G 覆盖优势，提升 5G 上行覆盖效果。

当然，现网中要部署 EN-DC，需要满足以下几个前提条件。

- (1) UE 需在 5G 网络中开户。
- (2) 终端需支持 EN-DC 特性。
- (3) 4G 网络和 5G 网络有重叠覆盖区域。