

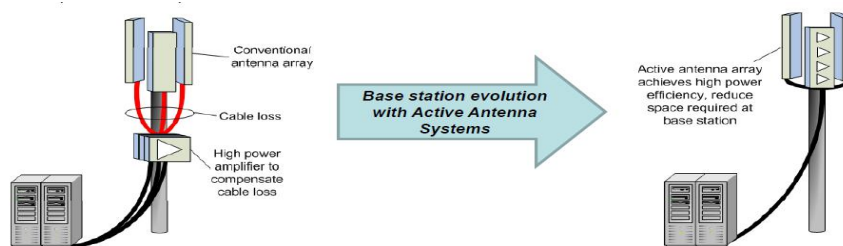
5G 通信关键技术解密

无线接入部分

1. 大规模 MIMO 技术

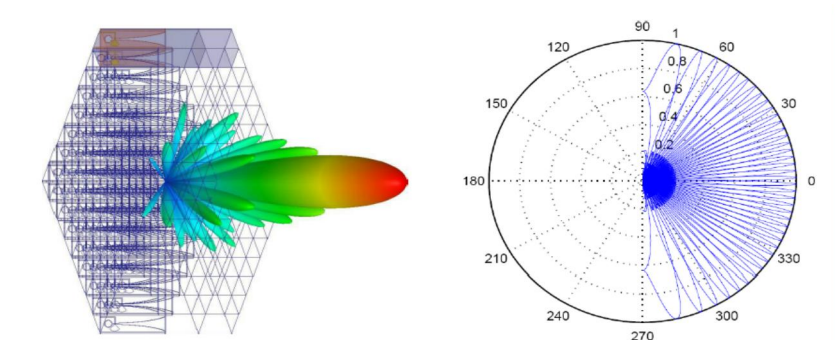
MIMO 技术将传统的时域、频域、码域三维扩展为了时域、频域、码域、空域四维，新增纬度极大的提高了数据传输速率。随着天线能力和芯片处理能力的增强，目前 MIMO 技术从 2*2MIMO 发展为了 8*8MIMO，从单用户 MIMO 发展为了多用户 MIMO 和协作 MIMO。目前 MIMO 技术的新进展包括三个方面：从无源到有源，从二维(2D)到三维(3D)，从高阶 MIMO 到大规模阵列。

有源天线系统（AAS）在天线系统中集成射频电路功能，从而提高能量效率，降低系统的功耗；提高波束赋形能力，进一步提高系统的容量性能；降低站址维护和租赁费用：

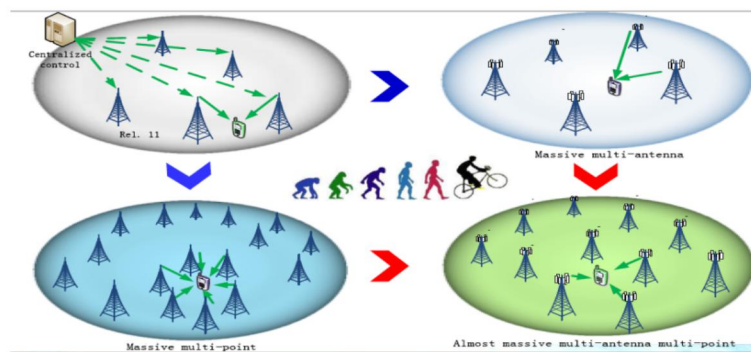


3D MIMO 支持多用户波束智能赋型，减少用户间干扰，结合高频段毫米波技术，将进一步改善无线信号覆盖性能。

大规模阵列 MIMO 提供了更强的定向能力和赋形能力：



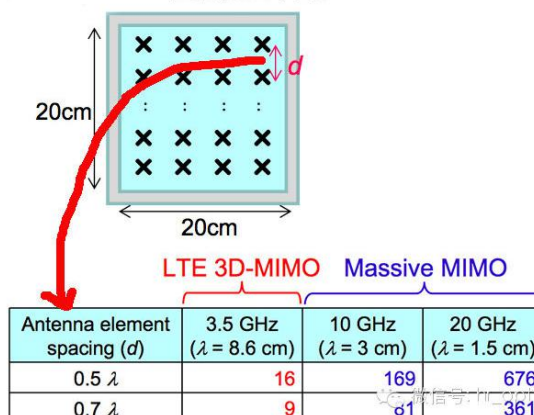
多维度的海量 MIMO 技术，将显著提高频谱效率，降低发射功率，实现绿色节能，提升覆盖能力，而如今大规模 MIMO 仍旧面临一些问题，如大规模天线信道测量与建模、阵列设计与校准、导频信道、码本及反馈机制、天线的规模尺寸、实际工程安装和使用场景等问题，这些问题的探讨和成果会成为未来 5G 的重要发展方向。



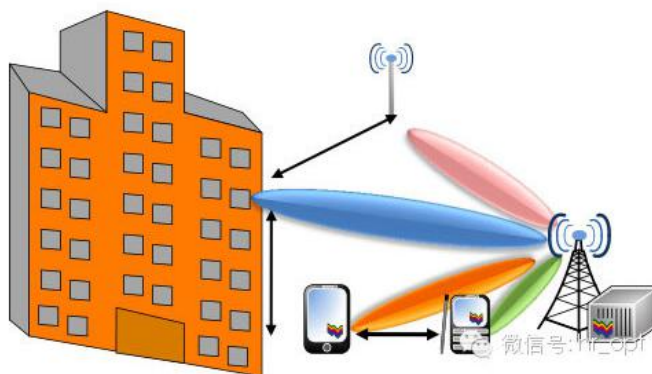
MIMO 技术已经广泛应用于 WIFI、LTE 等。理论上，天线越多，频谱效率和传输可靠性就越高。大规模 MIMO 技术可以由一些并不昂贵的低功耗的天线组件来实现，为实现在高频段上进行移动通信提供了广阔的前景，它可以成倍提升无线频谱效率，增强网络覆盖和系统容量，帮助运营商最大限度利用已有站址和频谱资源。

我们以一个 20 平方厘米的天线物理平面为例，如果这些天线以半波长的间距排列在一个个方格中，则：如果工作频段为 3.5GHz，就可部署 16 副天线；如工作频段为 10GHz，就可部署 169 根天线。。。。。

20cm*20cm天线物理平面



3D-MIMO 技术在原有的 MIMO 基础上增加了垂直维度,使得波束在空间上三维赋型,可避免了相互之间的干扰。配合大规模 MIMO,可实现多方向波束赋型。



多天线技术作为提高系统频谱效率和传输可靠性的有效手段,已经应用于多种无线通信系统,如 3G 系统、LTE、LTE-A、WLAN 等。根据信息论,天线数量越多,频谱效率和可靠性提升越明显。尤其是,当发射天线和接收天线数量很大时,MIMO 信道容量将随收发天线数中的最小值近似线性增长。因此,采用大数量的天线,为大幅度提高系统的容量提供了一个有效的途径。由于多天线所占空间、实现复杂度等技术条件的限制,目前的无线通信系统中,收发端配置的天线数量都不多,比如在 LTE 系统中最多采用了 4 根天线,LTE-A 系统中最多采用了 8 根天线[4]。但由于其巨大的容量和可靠性增益,针对大天线数的 MIMO 系统相关技术的研究吸引了研究人员的关注,如单个小区情况下,基站配有大大超过移动台天线数量的天线的多用户 MIMO 系统的研究等[5]。进而,2010 年,贝尔实验室的 Marzetta 研究了多小区、TDD (time division duplexing) 情况下,各基站配置无限数量天线的极端情况的多用户 MIMO 技术,提出了大规模 MIMO (large scale MIMO, 或者称 Massive MIMO) 的概念[6],发现了一些与单小区、有限数量天线时的不同特征。之后,众多的研究人员在此基础上研究了基站配置有限天线数量的情况[7]。在大规模 MIMO 中,基站配置数量非常大(通常几十到几百根,是现有系统天线数量的 1_2 个数量级以上)的天线,在同一个时频资源上同时服务若干个用户。在天线的配置方式上,这些天线可以是集中地配置在一个基站上,形成集中式的大规模 MIMO,也可以是分布式地配置在多个节点上,形成分布式的大规模 MIMO。值得一提的是,我国学者在分布式 MIMO 的研究一直走在国际的前列[8_10]。

大规模 MIMO 带来的好处主要体现在以下几个方面:第一,大规模 MIMO 的空间分辨

率与现有 MIMO 相比显著增强,能深度挖掘空间维度资源,使得网络中的多个用户可以在同一时频资源上利用大规模 MIMO 提供的空间自由度与基站同时进行通信,从而在不需要增加基站密度和带宽的条件下大幅度提高频谱效率。第二,大规模 MIMO 可将波束集中在很窄的范围内,从而大幅度降低干扰。第三,可大幅降低发射功率[7],从而提高功率效率。第四,当天线数量足够大时,最简单的线性预编码和线性检测器趋于最优,并且噪声和不相关干扰都可忽略不计。

近两年针对大规模 MIMO 技术的研究工作主要集中在信道模型、容量和传输技术性能分析、预编码技术、信道估计与信号检测技术等方面[1114],但还存在一些问题:由于理论建模和实测模型工作较少,还没有被广泛认可的信道模型;由于需要利用信道互易性减少信道状态信息获取的开销,目前的传输方案大都假设采用 TDD 系统,用户都是单天线的,并且其数量远小于基站天线数量。导频数量随用户数量线性增加,开销较大,信号检测和预编码都需要高维矩阵运算,复杂度高,并且由于需要利用上下行信道的互易性,难以适应高速移动场景和 FDD (frequency division duplexing) 系统;在分析信道容量及传输方案的性能时,大都假设独立同分布信道,从而认为导频污染是大规模 MIMO 的瓶颈问题,使得分析结果存在明显的局限性,等等。因此,为了充分挖掘大规模 MIMO 的潜在技术优势,需要深入研究符合实际应用场景的信道模型,分析其对信道容量的影响,并在实际信道模型、适度的导频开销、可接受的实现复杂度下,分析其可达的频谱效率、功率效率,并研究最优的无线传输方法、信道信息获取方法、多用户共享空间无线资源的联合资源调配方法。

针对以上问题的研究,存在诸多的挑战,但随着研究的深入,大规模 MIMO 在 5G 中的应用被寄予了厚望[15],可以预计,大规模 MIMO 技术将成为 5G 区别于现有系统的核心技术之一。

2. 同时同频全双工

同时同频全双工技术是指在相同的频谱上,通信的双方同时发送和接收信号,与传统的 TDD 和 FDD 双工方式相比,从理论上可以提高空口频谱效率 1 倍。

全双工技术能够突破传统 FDD 和 TDD 方式的频谱资源使用限制。然而,全双

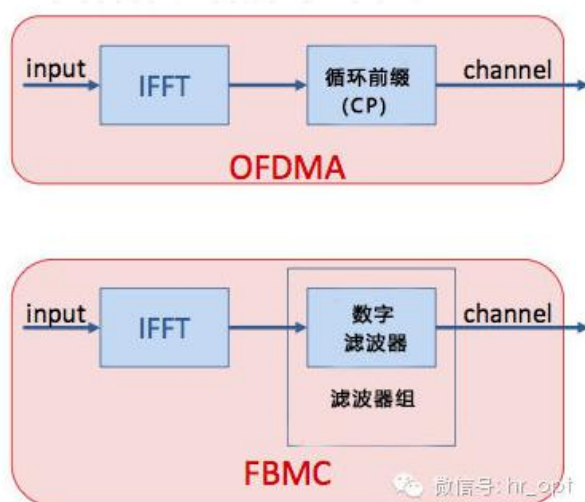
工意味着干扰的产生, 对干扰消除技术提出了极大的挑战, 同时还存在相邻小区同频干扰问题。在多天线及组网场景下, 全双工技术的应用难度更大。

全双工通信技术指同时、同频进行双向通信的技术。由于在无线通信系统中, 网络侧和终端侧存在固有的发射信号对接收信号的自干扰, 现有的无线通信系统中, 由于技术条件的限制, 不能实现同时同频的双向通信, 双向链路都是通过时间或频率进行区分的, 对应于 TDD 和 FDD 方式。由于不能进行同时、同频双向通信, 理论上浪费了一半的无线资源(频率和时间)。

由于全双工技术理论上可提高频谱利用率一倍的巨大潜力, 可实现更加灵活的频谱使用, 同时由于器件技术和信号处理技术的发展, 同频同时的全双工技术逐渐成为研究热点, 是 5G 系统充分挖掘无线频谱资源的一个重要方向[31_34]。但全双工技术同时也面临一些具有挑战性的难题。由于接收和发送信号之间的功率差异非常大, 导致严重的自干扰(典型值为 70 dB), 因此实现全双工技术应用的首要问题是自干扰的抵消[35]。近年来, 研究人员发展了各类干扰抵消技术, 包括模拟端干扰抵消、对已知的干扰信号的数字端干扰抵消及它们的混合方式、利用附加的放置在特定位置的天线进行干扰抵消的技术等[36;37], 以及后来的一些改进技术[38]。通过这些技术的联合应用, 在特定的场景下, 能消除大部分的自干扰。研究人员也开发了实验系统, 通过实验来验证全双工技术的可行性[37;39], 在部分条件下达到了全双工系统理论容量的 90%左右。虽然这些实验证明了全双工技术是可行的, 但这些实验系统都基本是单基站、小终端数量的, 没有对大量基站和大量终端的情况进行实验验证, 并且现有结果显示, 全双工技术并不能在所有条件下都获得理想的性能增益。比如, 天线抵消技术中需要多个发射天线, 对大带宽情况下的消除效果还不理想, 并且大都只能支持单数据流工作, 不能充分发挥 MIMO 的能力, 因此, 还不能适用于 MIMO 系统; MIMO 条件下的全双工技术与半双工技术的性能分析还大多是一些简单的、面向小天线数的仿真结果的比较, 特别是对大规模 MIMO 条件下的性能差异还缺乏深入的理论分析[40;41], 需要在建立更合理的干扰模型的基础上对之进行深入系统的分析; 目前, 对全双工系统的容量分析大多是面向单小区、用户数比较少, 并且是发射功率和传输距离比较小的情况, 缺乏对多小区、大用户数等条件下的研究结果, 因此在多小区大动态范围下的全双工技术中的干扰消除技术、资源分配技术、组网技术、容量分析、与 MIMO 技术的结合, 以及大规模组网条件下的实验验证, 是需要深入研究的重要问题。

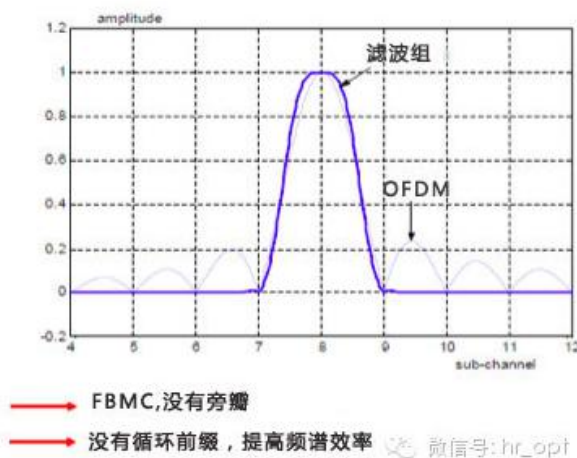
3. 基于滤波器组的多载波技术 FBMC

在 OFDM 系统中，各个子载波在时域相互正交，它们的频谱相互重叠，因而具有较高的频谱利用率。OFDM 技术一般应用在无线系统的数据传输中，在 OFDM 系统中，由于无线信道的多径效应，从而使符号间产生干扰。为了消除符号间干扰(ISI)，在符号间插入保护间隔。插入保护间隔的一般方法是符号间置零，即发送第一个符号后停留一段时间(不发送任何信息)，接下来再发送第二个符号。在 OFDM 系统中，这样虽然减弱或消除了符号间干扰，由于破坏了子载波间的正交性，从而导致了子载波之间的干扰(ICI)。因此，这种方法在 OFDM 系统中不能采用。在 OFDM 系统中，为了既可以消除 ISI，又可以消除 ICI，通常保护间隔是由 CP (Cycle Prefix，循环前缀)充当。CP 是系统开销，不传输有效数据,从而降低了频谱效率。



而 FBMC 利用一组不交叠的带限子载波实现多载波传输，FMC 对于频偏引起的载波间干扰非常小，不需要 CP (循环前缀)，较大的提高了频率效率。

OFDM和FBMC对比



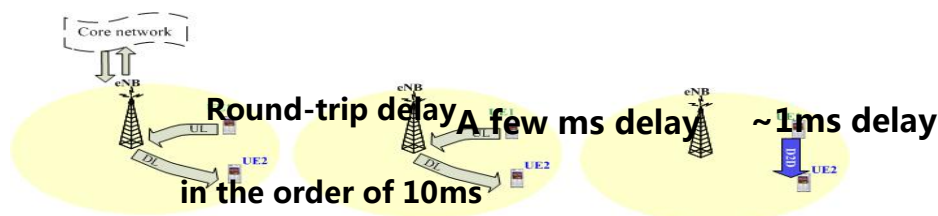
由于在频谱效率、对抗多径衰落、低实现复杂度等方面的优势, OFDM (orthogonal frequency di-vision multiplexing) 技术被广泛应用于各类无线通信系统, 如WiMaX、LTE 和LTE-A 系统的下行链路, 但OFDM 技术也存在很多不足之处. 比如, 需要插入循环前缀以对抗多径衰落, 从而导致无线资源的浪费; 对载波频偏的敏感性高, 具有较高的峰均比; 另外, 各子载波必须具有相同的带宽, 各子载波之间必须保持同步, 各子载波之间必须保持正交等, 限制了频谱使用的灵活性. 此外, 由于OFDM技术采用了方波作为基带波形, 载波旁瓣较大, 从而在各载波同步不能严格保证的情况下使得相邻载波之间的干扰比较严重. 在5G 系统中, 由于支撑高数据速率的需要, 将可能需要高达1 GHz 的带宽.但在某些较低的频段, 难以获得连续的宽带频谱资源, 而在这些频段, 某些无线传输系统, 如电视系统中, 存在一些未被使用的频谱资源(空白频谱). 但是, 这些空白频谱的位置可能是不连续的, 并且可用的带宽也不一定相同, 采用OFDM 技术难以实现对这些可用频谱的使用. 灵活有效地利用这些空白的频谱, 是5G 系统设计的一个重要问题.为了解决这些问题, 寻求其他多载波实现方案引起了研究人员的关注^[16-25]. 其中, 基于滤波器组的多载波(FBMC, _lter-bank based multicarrier) 实现方案是被认为是解决以上问题的有效手段, 被我国学者最早应用于国家863 计划后3G 试验系统中^[16]. 滤波器组技术起源于20 世纪70 年代, 并在20 世纪80 年代开始受到关注, 现已广泛应用于图像处理、雷达信号处理、通信信号处理等诸多领域.

在基于滤波器组的多载波技术中, 发送端通过合成滤波器组来实现多载波调制, 接收端通过分析滤波器组来实现多载波解调. 合成滤波器组和分析滤波器组由一组并行的成员滤波器构成, 其中各个成员滤波器都是由原型滤波器经载波调制而得到的调制滤波器^[16]. 与OFDM 技术不同, FBMC 中, 由于原型滤波器的冲击响应和频率响应可以根据需要进行设计, 各载波之间不再必须是正交的, 不需要插入循环前缀; 能实现各子载波带宽设置、各子载波之间的交叠程度的灵活控制, 从而可灵活控制相邻子载波之间的干扰, 并且便于使用一些零散的

频谱资源; 各子载波之间不需要同步, 同步、信道估计、检测等可在各载波上单独进行处理, 因此尤其适合于难以实现各用户之间严格同步的上行链路。但另一方面, 由于各载波之间相互不正交, 子载波之间存在干扰; 采用非矩形波形, 导致符号之间存在时域干扰, 需要通过采用一些技术来进行干扰的消除。FBMC 技术中, 多载波性能取决于原型滤波器的设计和调制滤波器的设计, 而为了满足特定的频率响应特性的要求, 要求原型滤波器的长度远远大于子信道的数量, 实现复杂度高, 不利于硬件实现。因此, 发展符合 5G 要求的滤波器组的快速实现算法是 FBMC 技术重要的研究内容[30]。

4. 终端之间直接通信 (D2D)

传统的蜂窝通信系统的组网方式是以基站为中心实现小区覆盖, 而基站之间通过有线技术连接到核心网, 所有的通信必须通过核心网进行数据交换。随着无线多媒体业务不断增多, 传统的业务提供方式已无法满足海量用户在不同环境下的业务需求。D2D 技术无需借助基站的帮助就能够实现通信终端之间的直接通信, 拓展网络连接和接入方式。由于短距离直接通信, 信道质量高, D2D 能够实现较高的数据速率、较低的时延和较低的功耗; 通过广泛分布的终端, 能够改善覆盖, 实现频谱资源的高效利用; 支持更灵活的网络架构和连接方法, 提升链路灵活性和网络可靠性。



传统传输-通过核心网的终端接传输

目前, D2D 采用广播、组播和单播技术方案, 未来将发展其增强技术, 包括基于 D2D 的中继技术、多天线技术和联合编码技术等。然而 D2D 通信仍有一些问题尚不明朗, 需要业界继续思考和探索, 包括:

- 运营商的商业模式: 如何合理地对终端直通进行收费; 如何有效控制网络质量; 如何合法监听, 保障信息安全?

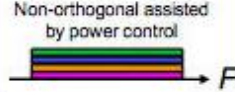


- 终端用户的消费心理：如何保证自身的隐私；如何激励用户做中继终端使用？
- 与已有技术的差异化：与 WiFi Direct、Bluetooth 和一些集群业务的差异化如何体现？
- 终端的能耗的问题：海量数据中继和传输的过程中电池电源的消耗情况？

5. 非正交多址接入技术 (Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA)

我们知道 3G 采用直接序列码分多址 (Direct Sequence CDMA, DS-CDMA) 技术，手机接收端使用 Rake 接收器，由于其非正交特性，就得使用快速功率控制 (Fast transmission power control, TPC)来解决手机和小区之间的远-近问题。

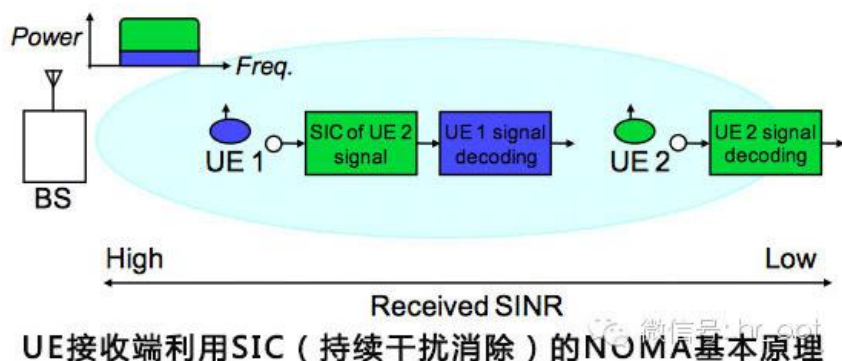
而 4G 网络则采用正交频分多址 (OFDM) 技术，OFDM 不但可以克服多径干扰问题，而且和 MIMO 技术配合，极大的提高了数据速率。由于多用户正交，手机和小区之间就不存在远-近问题，快速功率控制就被舍弃，而采用 AMC (自适应编码)的方法来实现链路自适应。

NOMA 希望实现的是，重拾 3G 时代的非正交多用户复用原理，并将之融合于现在的 4G OFDM 技术之中。从 2G, 3G 到 4G,多用户复用技术无非就是在时域、频域、码域上做文章，而 NOMA 在 OFDM 的基础上增加了一个维度——功率域。新增这个功率域的目的是，利用每个用户不同的路径损耗来实现多用户复用。

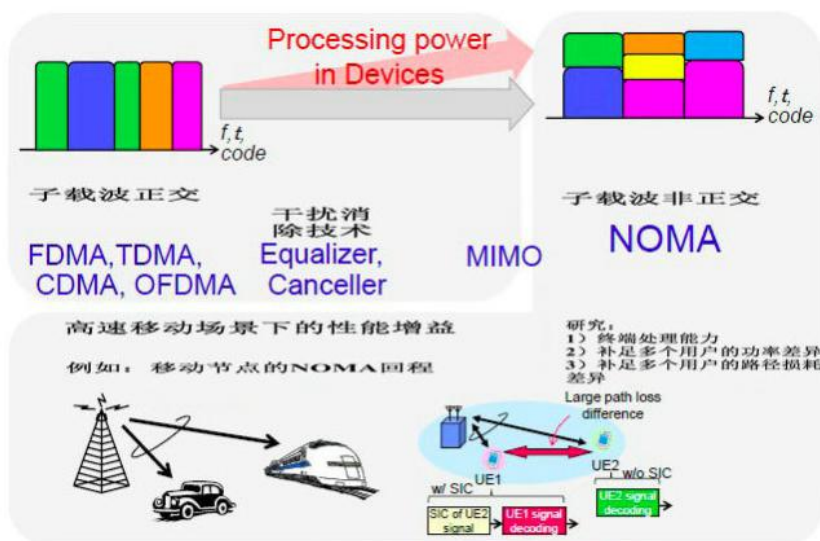
	3G	3.9/4G	5G
多用户复用	Non-orthogonal (CDMA)	Orthogonal (OFDMA)	Non-orthogonal with SIC (NOMA)
信号波形	Single carrier	OFDM (or DFT-s-OFDM)	OFDM (or DFT-s-OFDM)
链路自适应	Fast TPC	AMC	AMC + Power allocation
图	Non-orthogonal assisted by power control 	Orthogonal between users 	Superposition & power allocation 

实现多用户在功率域的复用，需要在接收端加装一个 SIC (持续干扰消除)，通过这个

干扰消除器，加上信道编码（如 Turbo code 或低密度奇偶校验码（LDPC）等），就可以在接收端区分出不同用户的信号。



NOMA 可以利用不同的路径损耗的差异来对多路发射信号进行叠加，从而提高信号增益。它能够让同一小区覆盖范围的所有移动设备都能获得最大的可接入带宽，可以解决由于大规模连接带来的网络挑战。



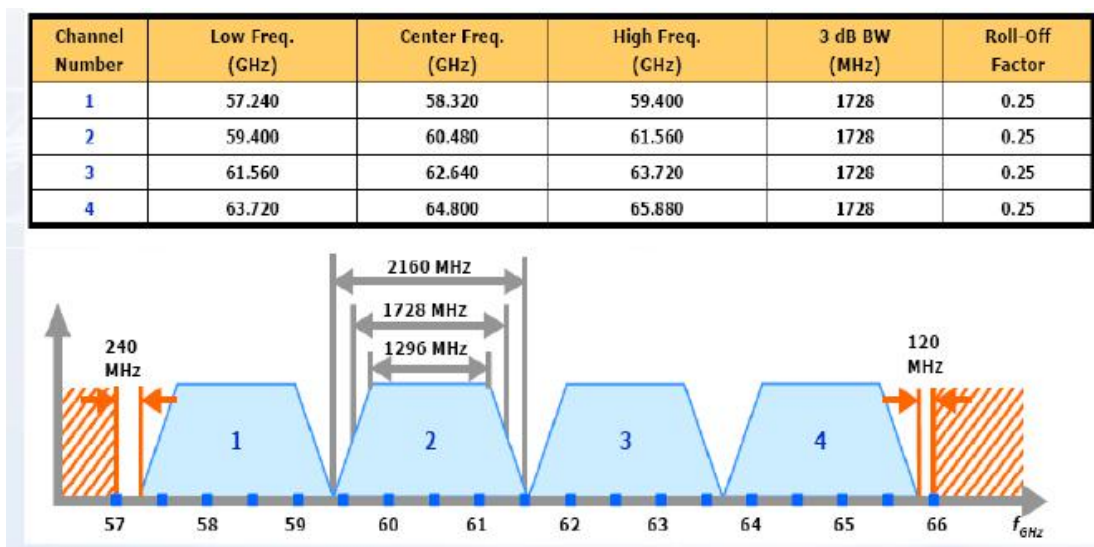
来源：NTT DOCOMO于2014年9月发布的ドコモホワイトペーパー

NOMA 的另一优点是，无需知道每个信道的 CSI（信道状态信息），从而有望在高速移动场景下获得更好的性能，并能组建更好的移动节点回程链路。

6. 毫米波 (millimeter waves, mm-Waves)

目前，移动通信工作频段主要集中在 3GHz 以下，这使得频谱资源十分拥挤，为了寻找更丰富的频谱资源，人们开始向高频段 (如毫米波、厘米波频段) 进军。

60GHz 早期用于军方卫星间保密通信，由于其频谱非常高，频带宽广，因此在短距离应用时，抗干扰强，安全性高。2001 年美国 FCC 开放 57G 到 64G 免费频段商用，之后全球积极响应，目前的全球共有 4 个频段，9GHz 的可用资源。



分析 60GHz 频段，优劣势一目了然，优势有：

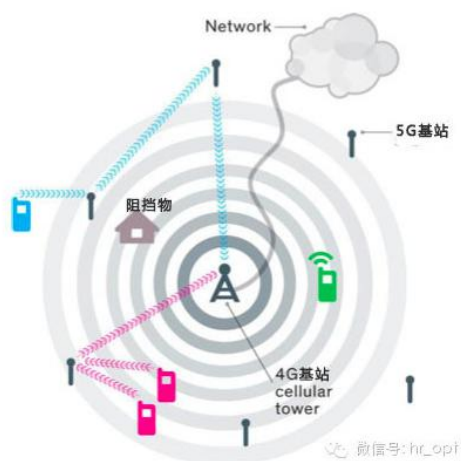
- 有史以来全球统一的最大的免费带宽；
- 信道干净，抗干扰强，频谱复用度高；
- 天线和设备小型化、较高的天线增益。

同时，其劣势也是不容忽视的：

- 最大工作距离不超过 10 米；
- 其绕射、折射能力差，受天气影响大，不能穿墙，只适合同房间内传输；
- 毫米波芯片设计挑战巨大；
- 量产后封装及测试仍不完善。

60GHz 的使用必须在特定的场景下，需要配合其他的通信技术共同使用，如何为其寻找最适合的搭档和土壤，是相关工作者亟待解决的问题。

什么叫毫米波？频率 30GHz 到 300GHz,波长范围 10 到 1 毫米。由于足够量的可用带宽，较高的天线增益，毫米波技术可以支持超高速的传输率，且波束窄，灵活可控，可以连接大量设备。以下图为例：



蓝色手机处于 4G 小区覆盖边缘，信号较差，且有建筑物（房子）阻挡，此时，就可以通过毫米波传输，绕过建筑物阻挡，实现高速传输。同样，粉色手机同样可以使用毫米波实现与 4G 小区的连接，且不会产生干扰。当然，由于绿色手机距离 4G 小区较近，可以直接和 4G 小区连接。

无线网络部分

1. 超密集异构网络技术

立体分层网络（HetNet）是指，在宏蜂窝网络层中布放大量微蜂窝（Microcell）、微微蜂窝（Pico cell）、毫微微蜂窝（Femto cell）等接入点，来满足数据容量增长要求。到了 5G 时代，更多的物-物连接接入网络，HetNet 的密度将会大大增加。

传统的网络结构为同构网络，使用相同的无线传输制式，使用同一的基站类

型，网络拓扑结构规则，提供相同的覆盖，提供相似的业务和服务。随着用户的数量增多以及带宽需求激增这种网络将会面临瓶颈。更高的容量和覆盖需求，促使网络从水平的蜂窝结构网络向立体分层的异构网络转变。异构网络，主要是指在宏蜂窝覆盖小区中放置低功率节点 (Lower Power Node, LPN)，如微蜂窝 (Micro Cell)、皮蜂窝 (Pico Cell)、飞蜂窝 (Femto Cell)、Relay 等，由不同类型、不同大小的小区构成“多样化的设备形态、差异化的覆盖方案、多频段组网方式”的分层立体网络。引入异构网络的主要目的是增强覆盖（补盲）、增加网络容量（补热）、实现话务分担与均衡。

异构网络已经有较好的产业基础，一些理念和简单的异构网络也已经在现网中部署，效果显著。然而，愈发密集的网络部署和愈发复杂的网络拓扑，将带来干扰问题，小区间干扰会成为制约系统容量增长的主要因素，极大降低了网络能效。干扰消除、小区快速发现、密集小区间协作、基于终端能力提升的移动性增强方案等，都是目前异构网络方面的研究热点。

由于 5G 系统既包括新的无线传输技术，也包括现有的各种无线接入技术的后续演进，5G 网络必然是多种无线接入技术，如 5G, 4G, LTE, UMTS (universal mobile telecommunications system) 和 WiFi (wireless_fidelity) 等共存，既有负责基础覆盖的宏站，也有承担热点覆盖的低功率小站，如 Micro, Pico, Relay 和 Femto 等多层覆盖的多无线接入技术多层覆盖异构网络[42]。在这些数量巨大的低功率节点中，一些是运营商部署，经过规划的宏节点低功率节点；更多的可能是用户部署，没有经过规划的低功率节点，并且这些用户部署的低功率节点可能是 OSG (open subscriber group) 类型的，也可能是 CSG (closed subscriber group) 类型的，从而使得网络拓扑和特性变得极为复杂。根据统计，在 1950 年至 2000 年的 50 年间，相对于语音编码技术、MAC 和调制技术的改进带来的不到 10 倍的频谱效率的提升和采用更宽的带宽带来的传输速率的几十倍的提升，由于小区半径的缩小从而频谱资源的空间复用带来的频谱效率提升的增益达到 2700 倍以上[43]。因此，减小小区半径，提高频谱资源的空间复用率，以提高单位面积的传输能力，是保证未来支持 1000 倍业务量增长的核心技术。以往的无线通信系统中，减小小区半径是通过小区分裂

的方式完成的。但随着小区覆盖范围的变小，以及最优的站点位置往往不能得到，进一步的小区分裂难以进行，只能通过增加低功率节点数量的方式提升系统容量，这就意味着站点部署密度的增加。根据预测，未来无线网络中，在宏站的覆盖区域中，各种无线传输技术的各类低功率节点的部署密度将达到现有站点部署密度的 10 倍以上，站点之间的距离达到 10 米甚至更小[44-47]，支持高达每平方公里 25000 个用户[48]，甚至将来激活用户数和站点数的比例达到 1:1，即每个激活的用户都将有一个服务节点[49;50]，从而形成超密集异构网络。

在超密集异构网络中，网络的密集化使得网络节点离终端更近，带来了功率效率、频谱效率的提升，大幅度提高了系统容量，以及业务在各种接入技术和各覆盖层次间分担的灵活性。虽然超密集异构网络展示了美好的前景，由于节点之间距离的减少，将导致一些与现有系统不同的问题。在 5G 网络中，可能存在同一种无线接入技术之间同频部署的干扰、不同无线接入技术之间由于共享频谱的干扰、不同覆盖层次之间的干扰，如何解决这些干扰带来的性能损伤，实现多种无线接入技术、多覆盖层次之间的共存，是一个需要深入研究的重要问题[51;52]；由于近邻节点传输损耗差别不大，可能存在多个强度接近的干扰源，导致更严重的干扰，使现有的面向单个干扰源的干扰协调算法不能直接适用于 5G 系统；由于不同业务和用户的 QoS (quality of service) 要求的不同，不同业务在网络中的分担[53;54]、各类节点之间的协同策略、网络选择[55]、基于用户需求的系统能效最低的小区激活、节能配置策略[56] 是保证系统性能的关键问题。为了实现大规模的节点协作，需要准确、有效地发现大量的相邻节点[57]；由于小区边界更多、更不规则，导致更频繁、更为复杂的切换，难以保证移动性性能，因此，需要针对超密集网络场景发展新的切换算法[58]；由于用户部署的大量节点的突然、随机的开启和关闭，使得网络拓扑和干扰图样随机、大动态范围地动态变化，各小站中的服务用户数量往往比较少，使得业务的空间和时间分布出现剧烈的动态变化，因此，需要研究适应这些动态变化的网络动态部署技术[59;60]；站点的密集部署将需要庞大、复杂的回传网络，如果采用有线回传网络，会导致网络部署的困难和运营商成本的大幅度增加。为了提高节点部署的灵活性，降低部署成本，利用和接入链路相同的频谱和技术进行无

线回传传输，是解决这个问题的重要方向。无线回传方式中，无线资源不仅为终端服务，而且为节点提供中继服务，使无线回传组网技术非常复杂，因此，无线回传组网关键技术，包括组网方式、无线资源管理等是重要的研究内容[2]。__

2. 自组织网络技术

在传统的移动通信网络中，网络部署、运维等基本依靠人工的方式，需要投入大量的人力，给运营商带来巨大的运行成本。根据分析[61]，各大运营商的运营成本基本上占各自收入的 70%左右。并且，随着移动通信网络的发展，依靠人工的方式难以实现网络的优化。因此，为了解决网络部署、优化的复杂性问题，降低运维成本相对总收入的比例，使运营商能高效运营、维护网络，在满足客户需求的同时，自身也能够持续发展，由 NGMN (next generation mobile network) 联盟中的运营商主导，联合主要的设备制造商提出了自组织网络 (SON) 的概念[62]。自组织网络的思路是在网络中引入自组织能力(网络智能化)，包括自配置、自优化、自愈合等[63;64]，实现网络规划、部署、维护、优化和排障等各个环节的自动进行，最大限度地减少人工干预。目前，自组织网络成为新铺设网络的必备特性，逐渐进入商用，并展现出显著的优势。5G 系统采用了复杂的无线传输技术和无线网络架构，使得网络管理远远比与现有网络复杂，网络深度智能化是保证 5G 网络性能的迫切需要。因此，自组织网络将成为 5G 的重要技术。5G 将是融合、协同的多制式共存的异构网络。从技术上看，将存在多层、多无线接入技术的共存，导致网络结构非常复杂，各种无线接入技术内部和各种覆盖能力的网络节点之间的关系错综复杂，网络的部署、运营、维护将成为一个极具挑战性的工作。为了降低网络部署、运营维护复杂度和成本，提高网络运维质量，未来 5G 网络应该能支持更智能的、统一的 SON 功能，能统一实现多种无线接入技术、覆盖层次的联合自配置、自优化、自愈合。目前，针对 LTE、LTE-A 以及 UMTS、WiFi 的 SON 技术发展已经比较完善，逐渐开始在新部署的网络中应用。但现有的 SON 技术都是面向各自网络，从各自网络的角度出发进行独立的自部署和自配置、自优化和自愈合，不能支持多网络之间的协同。因此，需要研

究支持协同异构网络的 SON 技术, 如支持在异构网络中的基于无线回传的节点自配置技术, 异系统环境下的自优化技术, 如协同无线传输参数优化、协同移动性优化技术, 协同能效优化技术, 协同接纳控制优化技术等, 以及异系统下的协同网络故障检测和定位, 从而实现自愈合功能. 5G 将采用超密集的异构网络节点部署方式, 在宏站的覆盖范围内部署大量的低功率节点, 并且存在大量的未经规划的节点, 因此, 在网络拓扑、干扰场景、负载分布、部署方式、移动性方面都将表现出与现有无线网络明显不同之处, 网络节点的自动配置和维护将成为运营商面临的重要挑战. 比如, 邻区关系由于低功率节点的随机部署远比现有系统复杂, 需要发展面向随机部署、超密集网络场景的新的自动邻区关系技术, 以支持网络节点即插即用的自配置功能; 由于可能存在多个主要的干扰源, 以及由于用户移动性、低功率节点的随机开启何关闭等导致的干扰源的随机、大范围变化, 使得干扰协调技术的优化更为困难; 由于业务等随时间和空间的动态变化, 使得网络部署应该适应这些动态变化, 因此, 应该对网络动态部署技术进行优化, 如小站的动态与半静态开启和关闭的优化、无线资源调配的优化; 为了保证移动平滑性, 必须通过双连接等形式避免频繁切换和对切换目标小区进行优化选择; 由于无线回传网络结构复杂, 规模庞大, 也需要自组织网络功能以实现回传网络的智能化. 由于 5G 将采用大规模 MIMO 无线传输技术, 使得空间自由度大幅度增加, 从而带来天线选择、协作节点优化、波束选择、波束优化、多用户联合资源调配等方面的灵活性. 对这些技术的优化, 是 5G 系统 SON 技术的重要内容. __

3. 软件定义无线网络

软件定义网络(soft de_fined networking, SDN) 技术是源于 Internet 的一种新技术. 在传统的 Internet 网络架构中, 控制和转发是集成在一起的, 网络互联节点(如路由器、交换机) 是封闭的, 其转发控制必须在本地完成, 使得它们的控制功能非常复杂, 网络技术创新复杂度高. 为了解决这个问题, 美国斯坦福大学研究人员提出了软件定义网络的概念[65], 其基本思路将路由器中的路由决策等控制功能从设备中分离出来, 统一由中心控制器通过软件来进行控

制，实现控制和转发的分离[65]，从而使得控制更为灵活，设备更为简单。在软件定义网络中，分成应用层、控制层、基础设施层。其中控制层通过接口与基础设施层中的网络设施进行交互，从而实现对网络节点的控制。因此，在这种架构中，路由不再是分布式实现的，而是集中由控制器定义的。软件定义网络自提出后引起了广泛的关注，各研究机构进行了接口的标准化工作、关键技术的研究和实验，部分厂商也推出了解决方案等。但总体来说，SDN 技术还有待进一步完善[66]。现有的无线网络架构中，基站、服务网关、分组网关除完成数据平面的功能外，还需要参与一些控制平面的功能，如无线资源管理、移动性管理等在各基站的参与下完成，形成分布式的控制功能，网络没有中心式的控制器，使得与无线接入相关的优化难以完成，并且各厂商的网络设备如基站等往往配备制造商自己定义的配置接口，需要通过复杂的控制协议来完成其配置功能，并且其配置参数往往非常多，配置和优化非常复杂，网络管理非常复杂，使得运营商对自己部署的网络只能进行间接控制，业务创新方面能力严重受限。因此，将 SDN 的概念引入无线网络，形成软件定义无线网络，是无线网络发展的重要方向[67]。在软件定义无线网络中，将控制平面从网络设备的硬件中分离出来，形成集中控制，网络设备只根据中心控制器的命令完成数据的转发，使得运营商能对网络进行更好的控制，简化网络管理，更好地进行业务创新。在现有的无线网络中，不允许不同的运营商共享同一个基础设施为用户提供服务。而在软件定义无线网络中，通过对基站资源进行分片实现基站的虚拟化，从而实现网络的虚拟化，不同的运营商可以通过中心控制器实现对同一个网络设备的控制，支持不同运营商共享同一个基础设施，从而降低运营商的成本，同时也可以提高网络的经济效益。由于采用了中心控制器，未来无线网络中的不同接入技术构成的异构网络的无线资源管理、网络协同优化等也将变得更为方便。目前，软件定义无线网络已经吸引了许多研究人员的兴趣，就其网络架构[68_71] 等方面进行了分析研究。虽然存在诸多的好处，SDN 在无线网络中的应用将面临资源分片和信道隔离、监控与状态报告、切换等技术挑战，这些关键技术的研究刚刚开始，还需要深入的研究[72]。

扫描二维码获取更多资料

