



Welcome to 5G

*the fifth generation mobile communication
network*

通信技术的发展

1G与2G

第1代移动通信系统（1G）是模拟式通信系统，模拟式是代表在无线传输采用模拟式的FM调制，将介于300Hz到3400Hz的语音转换到高频的载波频率MHz上。

从1G跨入2G的分水岭则是从模拟调制进入到数字调制，相比于第1代移动通信，第二代移动通信具备高度的保密性，系统的容量也在增加，同时能够提高多种业务服务。从这一代开始手机也可以上网了。

3G

3G服务能够同时传送声音及数据信息，速率一般在几百kbps以上。3G是指将无线通信与国际互联网等多媒体通信结合的新一代移动通信系统，目前3G存在3种标准：CDMA2000、WCDMA、TD-SCDMA。在3G的众多标准之中，CDMA这个字眼曝光率最高，CDMA（码分多址）是第三代移动通信系统的技术基础。

4G

4G包括TD-LTE和FDD-LTE两种制式，是集3G与WLAN于一体，并能够快速传输数据、高质量、音频、视频和图像等。4G能够以100Mbps以上的速度下载。4G移动系统网络结构可分为三层：物理网络层、中间环境层、应用网络层。第四代移动通信系统主要是以正交频分复用（OFDM）为技术核心。

4.5G引领物联网规模商用，5G开启万物互联之门

定义

4.5G是4G的全方位平滑演进，可以在现有4G上通过软件升级或增加一定硬件来实现，4.5G定位于未来五年出现的新终端、新业务、新体验，是5G的先行者。

- 4.5G定义（4.5G标准R12将于今年底冻结）：4.5G是4G演进，可提供XGbps大容量、10ms低时延和>300亿连接数
- 基于SOMA、256QAM、Massive MIMO等关键技术提供xGbps高容量；
 - 基于Cloud EPC及Shorter TTI特性缩短时延到10ms；
 - 通过LTE-M提供小带宽满足物联网300亿+接入用户数

5G不仅仅是一次技术升级，它将为我国搭建一个广阔的技术平台，催生无数新应用、新产业。5G将成为全联接世界和未来信息社会的重要基础设施和关键使能者。

- 5G定义（标准处于研究阶段）：5G通过系列关键新技术可提供10Gbps超大容量、端到端1ms超低时延、1000亿海量连接
- 革命性技术：全双工技术、Massive MIMO多天线(>128*128)、高阶频段（30G-100GHz）提供高达10Gbps容量；
 - 采用0.1ms TTI将时延降低到1ms，可变带宽子载波支持连接数1000亿以上，应对未来10年ICT行业巨大变化，实现万物互联。

应用场景

人与人互联

- 高清视频、简单物联网、车联网



4G

物联网

- 4k超高清视频、物联网、车联网



4.5G

万物互联

- 全息视频、虚拟现实、自动驾驶、物联网、车联网、智能家居、穿戴式设备



5G

5G网络



Prospective network techniques for 5G mobile communication: A survey

什么是5G?

5G 是面向 2020 年以后移动通信需求而发展的新一代移动通信系统. 根据移动通信的发展规律,5G 将具有超高的频谱利用率和能效, 在传输速率和资源利用率等方面较 4G 移动通信提高一个量级或更高, 其无线覆盖性能、传输时延、系统安全和用户体验也将得到显著的提高。5G 移动通信将与其他无线移动通信技术密切结合, 构成新一代无所不在的移动信息网络, 满足未来 10 年移动互联网流量增加 1000 倍的发展需求. 5G 移动通信系统的应用领域也将进一步扩展, 对海量传感设备及机器与机器 (M2M) 通信的支撑能力将成为系统设计的重要指标之一. 未来 5G 系统还须具备充分的灵活性, 具有网络自感知、自调整等智能化能力, 以应对未来移动信息社会难以预计的快速变化

The increasing growth of data traffic and the popularity of the intelligent terminals lead to the fact that the fourth generation mobile communication network (4G) cannot meet the demand in terms of capacity, speed, and the spectrum. Thereby the fifth generation mobile communication network (5G) comes into being.

5G要求

根据行业和学术界的不同研究计划，下一代5G系统的8个主要要求：

- 1)实际网络中1-10GBps的数据速率：这几乎是传统LTE网络的理论峰值数据速率150 Mbps的10倍。
- 2)1ms往返行程延迟：从4G的10ms往返时间减少近10倍。
- 3)单位面积中的高带宽：需要在特定区域中使具有更高带宽的大量连接的设备具有更长的持续时间。
- 4)大量的连接设备：为了实现物联网的愿景，新兴的5G网络需要提供连接到成千上万的设备。
- 5)99.999%的感知可用性：5G设想网络应该实际上总是可用的。
- 6)几乎100%的覆盖“随时随地”连接：5G无线网络需要确保完全覆盖，而不管用户的位置。
- 7)能源使用量减少近90%：标准机构已经考虑了绿色技术的发展。这对于高数据速率和5G无线的大规模连接将更加重要。
- 8)高电池寿命：器件的功耗降低对新兴的5G网络十分重要。

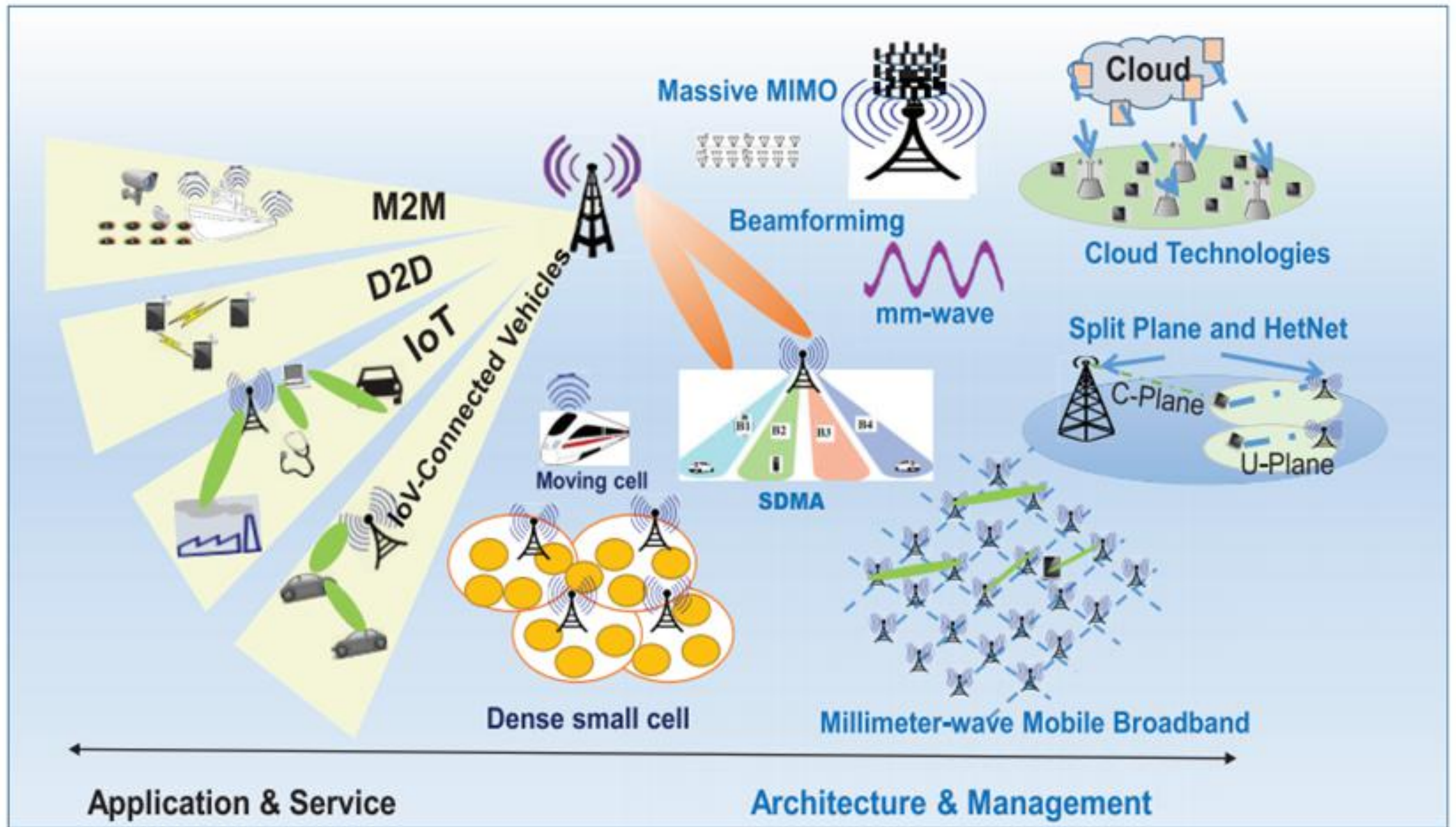
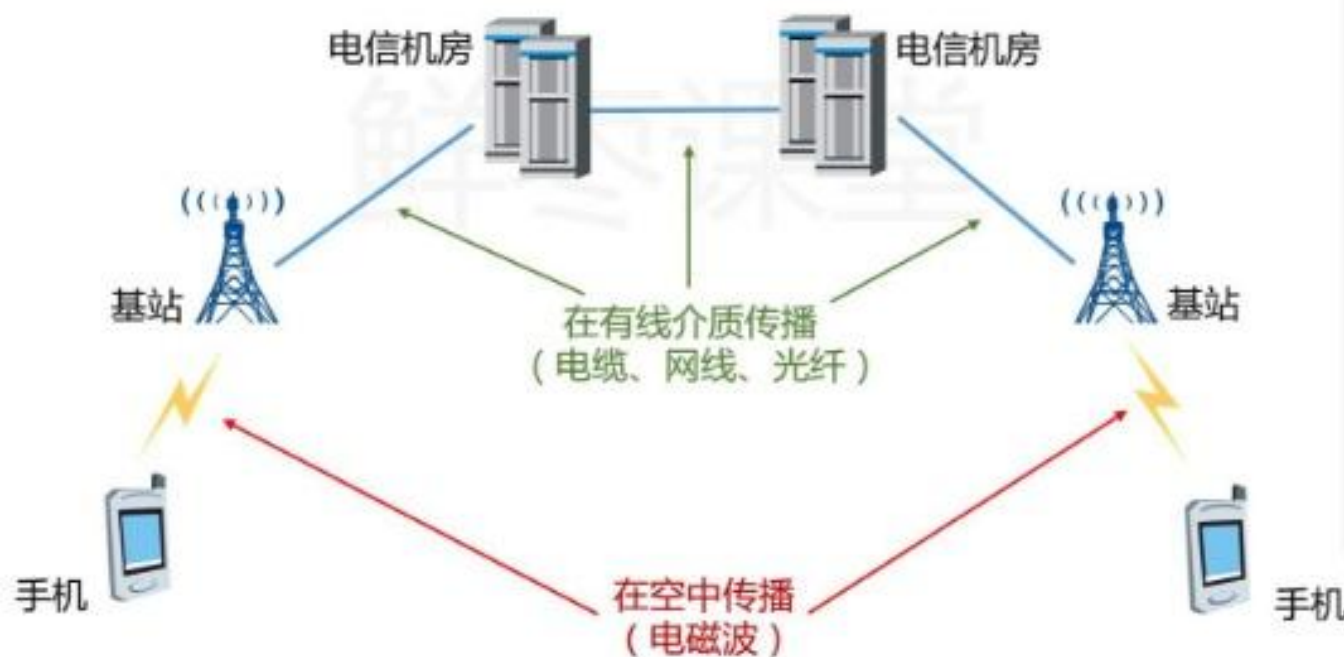


Fig. 2. Schematic Diagram of Next Generation 5G Wireless Networks.

信息传播

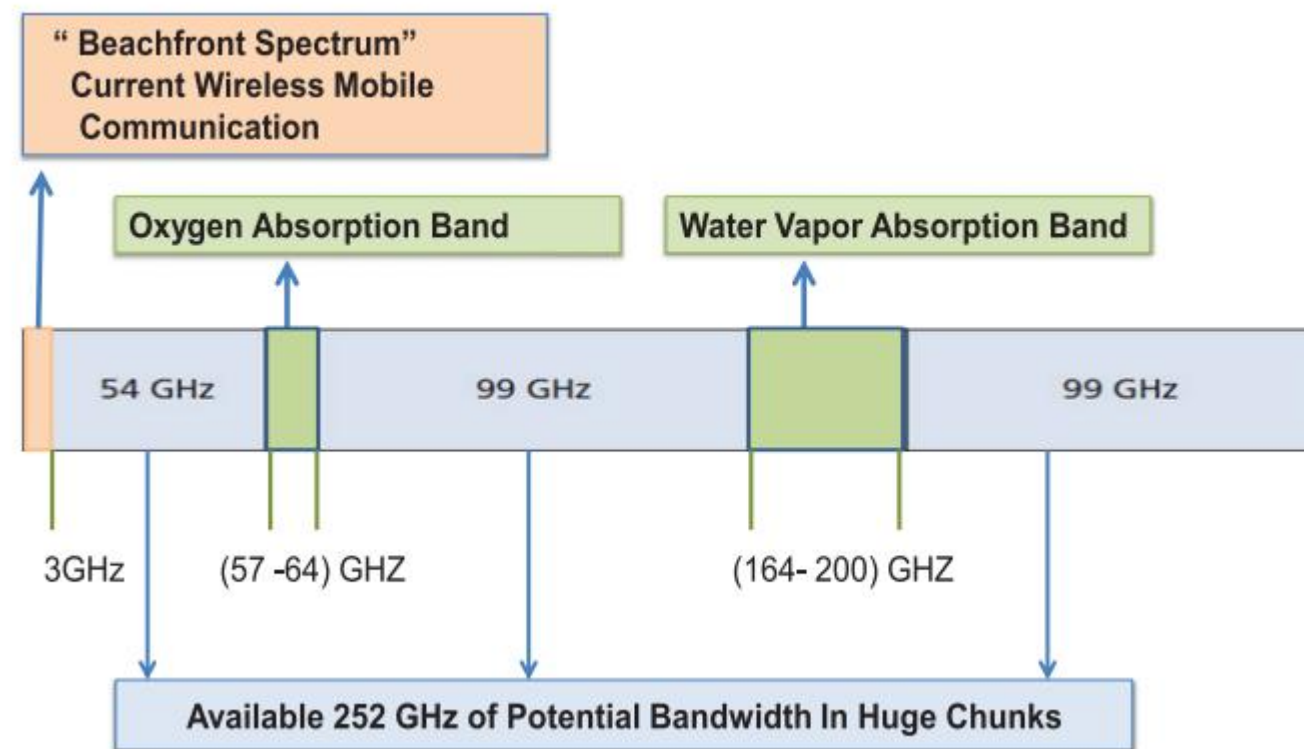
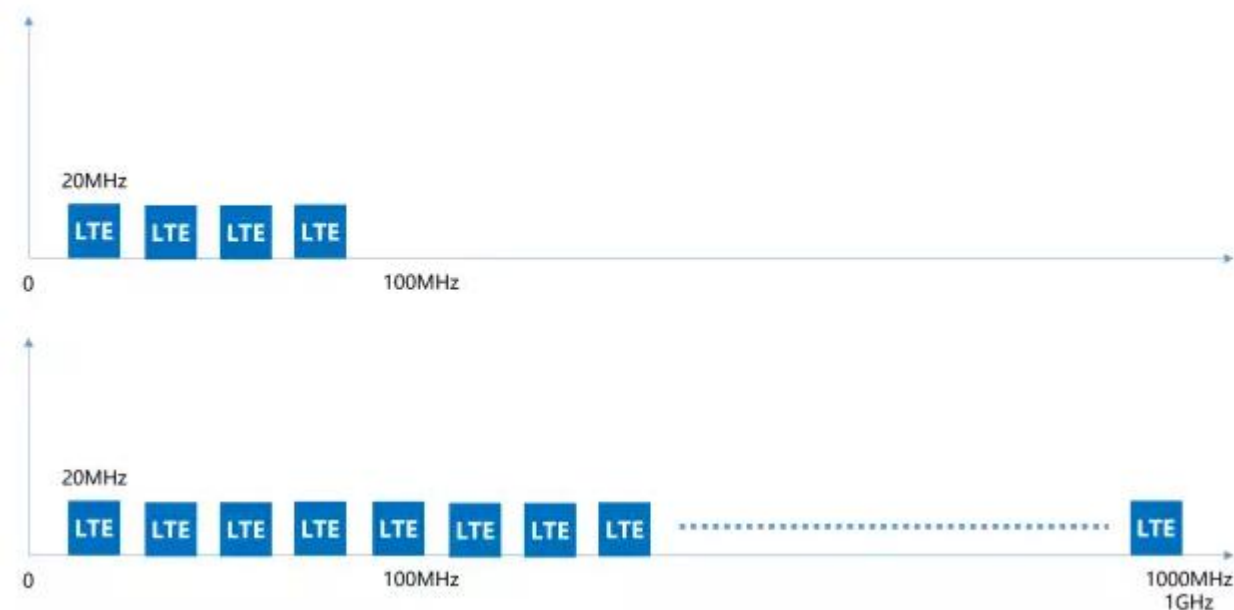


$$c = \lambda v$$

↑
↑
↑
波长 频率

c是光速，是固定值
真空中，光速理论值是每秒30万公里

频率的选择



| | | | | |
|-----|-----|-----------|-----|----------|
| 甚高频 | VHF | 30-300MHz | 米波 | |
| 超高频 | UHF | 0.3-3GHz | 分米波 | |
| 特高频 | SHF | 3-30GHz | 厘米波 | 10cm-1cm |
| 极高频 | EHF | 30-300GHz | 毫米波 | 10mm-1mm |

| |
|---|
| 大容量微波中继通信；大容量微波中继通信； 数字通信 ；卫星通信；国际海事卫星通信 |
| 再入大气层时的通信；波导通信 |

毫米波

新兴的毫米波频率提出了许多移动无线通信的新挑战。主要的挑战是任何标准信道模型的不可用性。对信道行为的技术理解提出了新的架构技术，不同的多址和空中接口的新方法。此外，毫米波频率的生物安全性也在审查。还分析了安全问题的毫米波的非电离和热特性。

自由空间损耗公式：

$$LS: 32.45 + 20 \times \log(f) \text{ Mhz} + 20 \times \log(d) \text{ Km}$$

1)传播损耗：其中LFSL主要考虑毫米波的传输损耗，d表示发射机 - 接收机距离，f是载波频率。看来，在较高频率下损耗突出。然而，只有在特定频率的路径损耗插入两个各向同性天线。较短的波长使得在较小的区域中较小天线的密集封装，从而对未来5G网络的各向同性天线的使用提出挑战。与自由空间损失相关的研究工作表明，对于相同的天线孔径面积，与其较长的对应物相比，较短的波长不应该遭受任何主要的缺点。此外，mm波链路能够铸造非常窄的波束。例如，70 GHz链路比18 GHz链路窄四倍。此外，最近的研究还表明，窄波束定向传输减少了干扰，提高了蜂窝应用的空间复用能力。然而，毫米波束性能取决于许多其他因素，如节点之间的距离、无线电链路余量和多径分集。

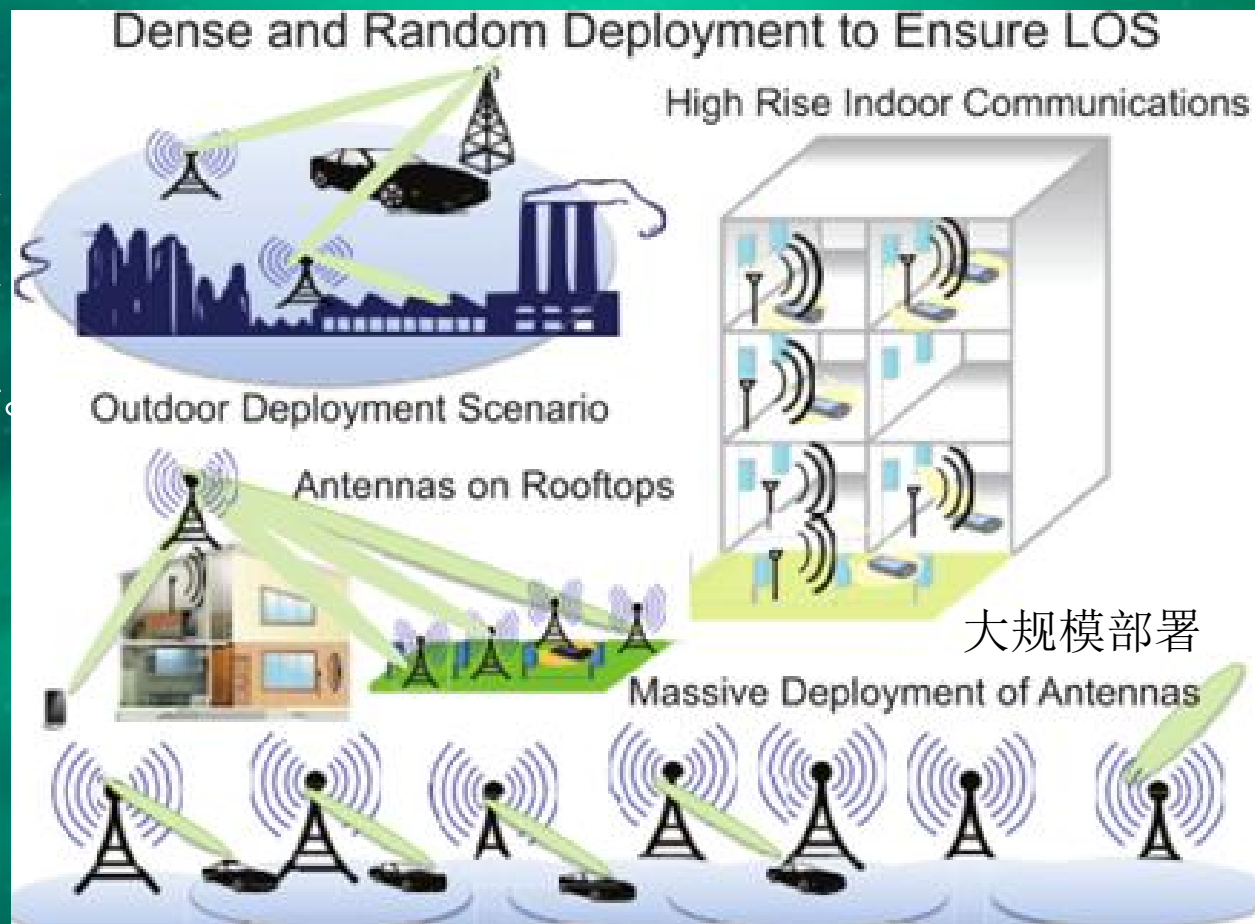
毫米波

2)穿透和LOS(可视)通信：对于有效的系统设计，迫切需要理解在不同环境中的毫米波传播。为了理解室内和室外环境中的传播特性，就必须确定传播信号在一般结构、树叶和人类周围的传播行为。理解在不同环境下的毫米波的衍射，穿透，散射和反射，为5G网络部署奠定了基础。

研究团队对信号中断调查和建筑材料反射系数比较，如彩色玻璃，透明玻璃，干墙，门，立方体和金属电梯，他的团队发现，普通室外建筑材料对mm波具有高穿透阻力。此外，室内环境结构，如干墙，白板，杂波和网眼玻璃也被发现显着影响衰减，多径分量和自由空间路径损耗。室内信道脉冲响应证实，人体对毫米波传播造成了相当大的阻碍。人们的运动产生阴影效应，这可以通过更大的天线波束宽度和角度多样性的引入来减轻。从可用的传播结果，我们可以得出结论，户外mm波信号大多被确定为室外，很少的信号穿透室内通过玻璃门。室内 - 室外隔离强调了不同节点对不同覆盖位置的需要。然而，隔离的特性有助于在预期区域中配置能量。

毫米波

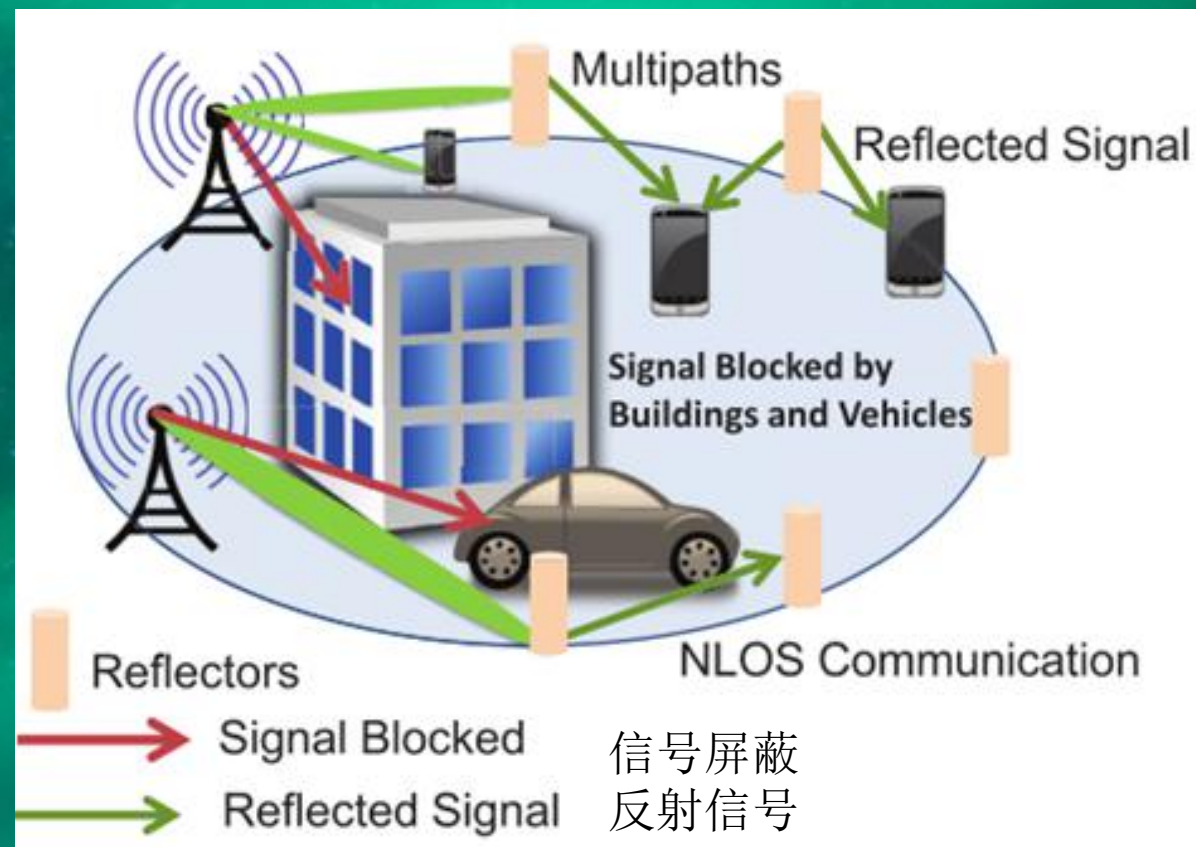
此外，室内和室外交通的分离减轻了与无线电资源分配和发射功率消耗相关的开销。开销通过灵活的聚类有效的用户选择和自适应反馈压缩进一步显着降低。有趣的是，小型蜂窝结构已经在密集的城市地区部署。例如，在日本城市，BS间距离只有200米。因此，在小型小区环境中应用LOS传播有望成为毫米波通信的前景。确保LTE需要大规模的天线部署，没有任何预定的模式。网络特定的随机部署预计将因情况而异。随机，密集和现场特定LOS通信的示例图如图所示。与LOS通信相关的挑战自动需要调查非视线(NLOS)传播和所需的基本支持。



毫米波

3)多径和NLOS：在无线通信中，多径是天线中信号接收的影响多于一个路径。根据SMARAD卓越中心的Sylvain Ranvier和Mikko Kyrö，通过选择延迟扩展作为验证参数，很好地描述了通道的多径特性。功率延迟特性(PDP)的均方根(RMS)有助于探测毫米波通信中的多径效应。了解多径可能使NLOS问题减轻。LOS链路在动态室外环境中不一定可行。因此，探索部分阻塞LOS和NLOS链路的可能性是很重要的。测量了平均雨衰，雨中短期信号电平，植被衰减，玻璃和宽带功率延迟分布。与清晰，干燥的天气条件相比，在雨中检测到更多的多径分量。在不同的指向角下的许多多径分量可以用于链路改进。建立角落，边缘和人类活动可能不总是完全削弱LOS链接。相反，这些往往造成阴影。不同表面的反射系数表明阴影区域有合理的信号电平的可能性。还观察到较宽的波束宽度天线给出接收信号的准确估计。另一方面，较小的波束宽度天线具有空间方向性的优点。波束拓宽技术的适当组合探讨了在小区域中变化特性的优点。

此外，天线角度的最佳组合也使系统具有高信噪比和低均方根延迟扩展。在NLOS路径中的通信需要均衡器，这引入了高延迟，增加的功耗和低数据速率的新挑战。多径统计的知识有助于设计均衡器和选择调制技术。现有和当前信道统计的适当组合有助于解决大多数NLOS传播挑战。如图所示。建议在延迟域信道模型，采用任意放置散射反射信号的点对点扩展。



小基站的提出

毫米波虽然具有很大的带宽，但是却不能穿透建筑等介质（频率越高，就越贴近直线传播），甚至会被植物跟雨水吸收（传播过程中衰减很明显），为了解决这个问题，我们提出了采用微型基站的方法。

目前，信号传输时通过一个大型高功率基站进行传输，为了不被介质影响，所以通过大功率传输覆盖更多的设备。如果是毫米波的话，只要你跟基站之间有介质格挡，你就接收不到信号，我们的解决方法就是用上千个低功耗小型基站，进行收发信号来代替现在的大型基站。这种技术特别适用于城市，当你被障碍物挡住了信号的时候，手机会自动切换到另一个小基站来保证稳定的连接。但是，如果让运营商在城市中，布置那么庞大数量的小基站，成本过高，高通提出了毫米波的移动化，也就是客户端在移动的时候依旧能提供服务，需要波束搜索和波束追踪算法，等等

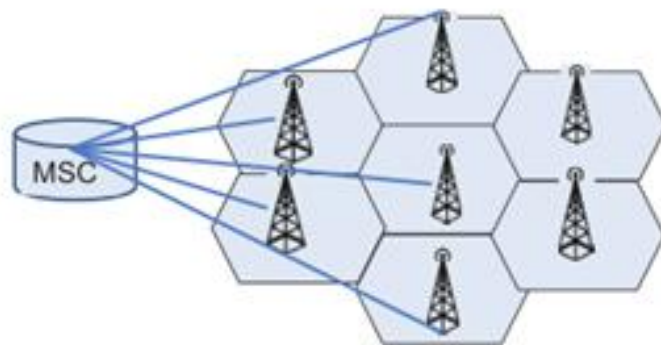
小基站

随着在传统无线频谱中亚毫秒等待时间和带宽限制的要求，准备打破以基站（BS）为中心网络范式。图描绘了从BS中心到设备中心网络的这种逐渐移动。

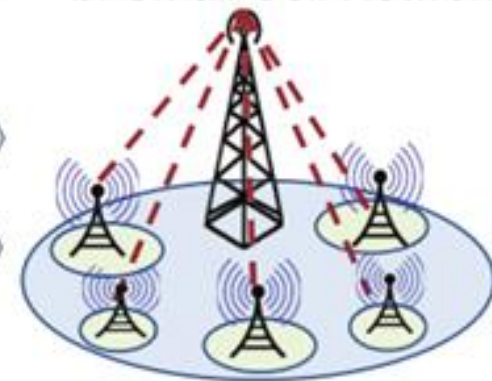
5G网络建议使用更高的频率进行通信。在室外环境中，毫米波信号的传播和穿透是相当有限的。因此，节点布局不能遵循传统的蜂窝设计或其他任何定义模式。

Rappaport和他的团队提出了5G无线电网络设计的场地特定节点布局。例如，超密集部署在需要高数据速率的地区是必要的，例如地铁站，商场和办公室。我们尽量选择LOS通信。或者，反射，散射和衍射信号仍然可能具有足够的能量，这需要在LOS被完全阻挡时被探测

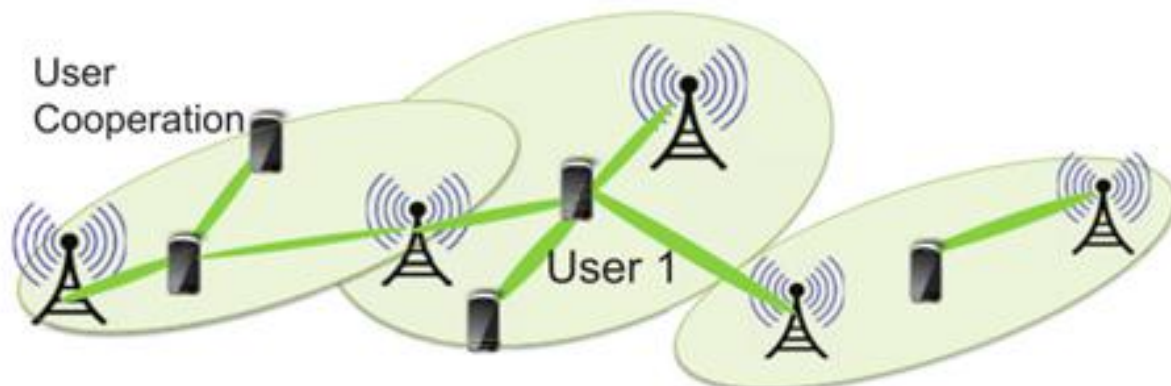
a. Base Station Centric Network



b. Small Cell Network



c. User Centric Network



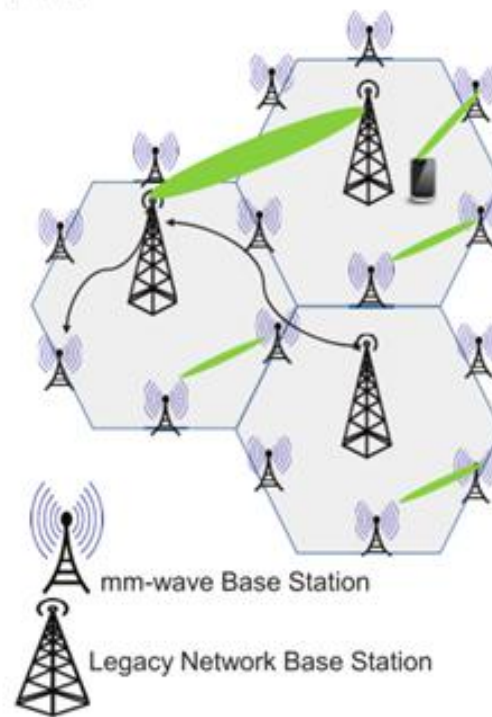
User 1: Served Cooperatively by user centric & overlapping subset of BS

小基站

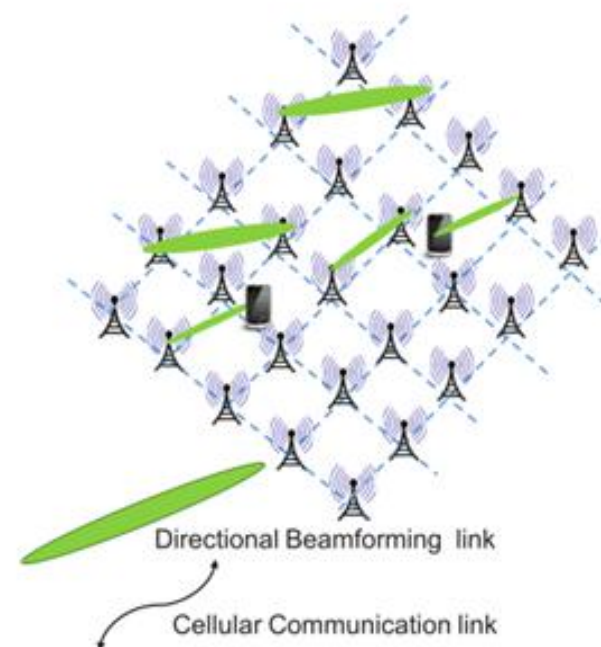
5G蜂窝技术需要与大量用户，各种设备和多样化的服务一起工作。因此，主要关注的是5G BS与传统蜂窝网络的集成。三星提出了不同的配置，如毫米波BS网格系统，毫米波与4G系统和毫米波独立系统集成。大波束成形增益扩展了覆盖范围，同时减少了干扰并提高了小区边缘的链路质量。这个特性使得毫米波BS网格可以提供低延迟和成本效益的解决方案。

图(A)示出了mm波(5G)和传统4G网络的混合系统。它提出了一个双模式调制解调器，使用户能够在两个网络之间切换更好的体验。或者，mm波频谱也可以仅用于数据通信，而控制和系统信息可以通过使用传统的4G网络传输。另一方面，在图(B)中，独立的5G系统仅在毫米波上工作。这样的系统设想对回程和无线接入链路使用相同的毫米波频谱。

(A) Hybrid Network with both mm-Wave and 4G Wireless



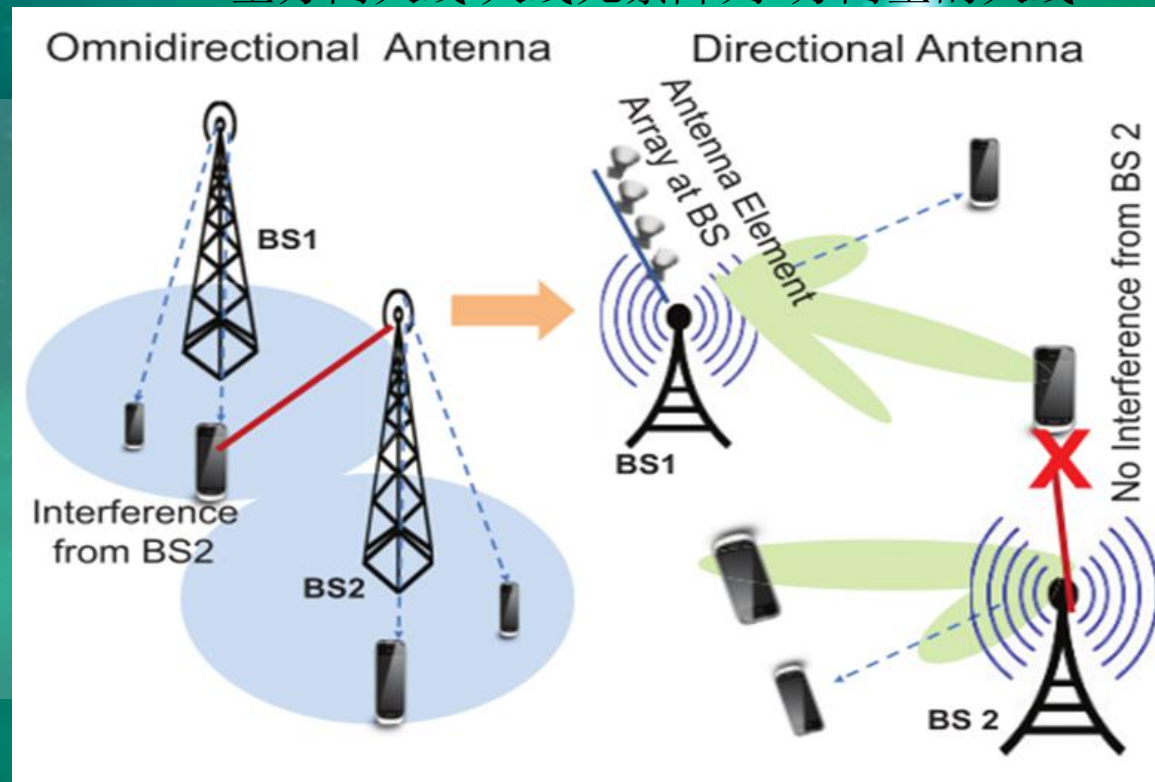
(B) Standalone Mm-wave Small Cell Network



小天线

毫米波传播的小无线电波长需要小的天线尺寸。这使得能够使用大量较小的天线。使用阵列天线控制信号的相位和幅度有助于增强所需方向的电磁波，同时也在所有其他方向消除。这需要引入定向空气界面。右图示出了空中接口从单向传输到定向传输的这种改变。可以通过使用自适应波束成形技术来保证高定向辐射模式，从而引入空分多址(SDMA)。有效的SDMA改进了在发射机和接收机的波束成形天线的频率复用。

全方向天线 天线元素阵列 方向型的天线



频谱复用技术

有三种经典的频谱复用方法：即时分复用（典型应用：中国移动2G）、频分复用（典型应用：中国联通3G）和码分复用（典型应用：中国联通3G）。

可以用一个例子来说明时分复用、频分复用和码分复用的区别。在一个屋子里有许多人要彼此进行通话，为了避免相互干扰，可以采用以下方法：

- 1) 讲话的人按照顺序轮流进行发言（时分复用）。
- 2) 讲话的人可以同时发言，但每个人说话的音调不同（频分复用）。
- 3) 讲话的人采用不同的语言进行交流，只有懂同一种语言的人才能够相互理解（码分复用）。

当然，这三种方法相互结合，比如不同的人可以按照顺序用不同的语言交流（即中国移动3G的TD-SCDMA）。然而，这三种经典的复用方式都无法充分利用频谱资源，它们要么无法多用户同时时间通讯(TDMA)，要么无法使用全部频谱资源(FDMA)，要么需要多比特码元才能传递1比特数据(CDMA)。

空分复用

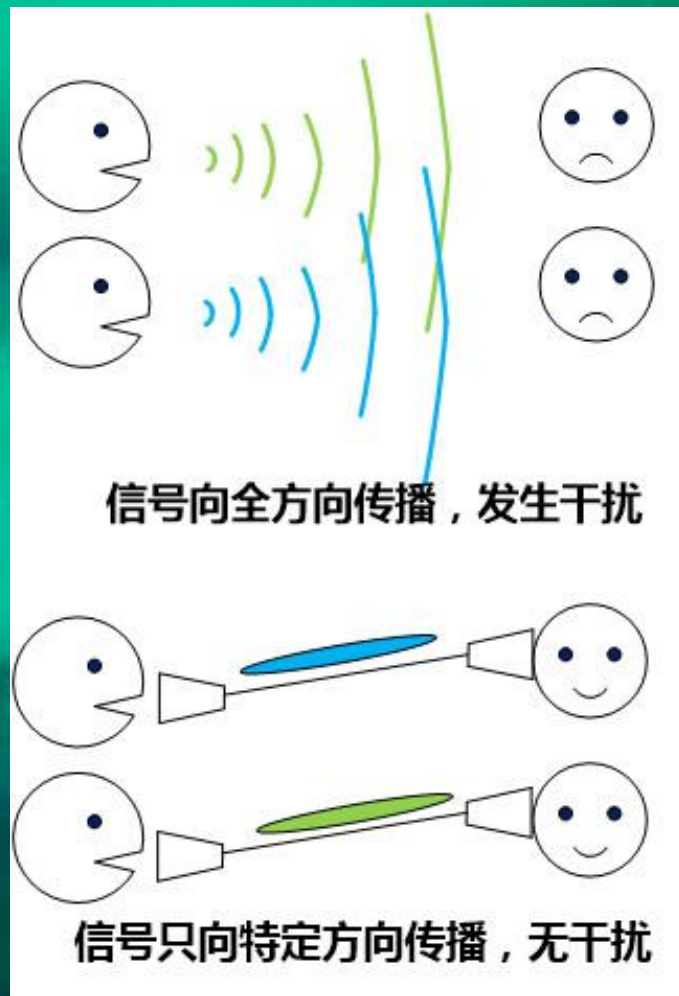
那么，有没有一种方法可以克服以上多路方式的缺点，让多个用户同时使用全部频谱通讯呢？让我们先来思考一下，如果在一个房间里大家同时用同一种音调同一种语言说话会发生什么？

很显然，在这种情况下会发生互相干扰。这是因为信号会向着四面八方传播，所以一个人会听到多个人说话的声音从而无法有效通讯。但是，如果我们让每个说话的人都用传声筒，让声音只在特定方向传播，这样便不会互相干扰了。

在无线通讯中，也可以设法使电磁波按特定方向传播，从而在不同空间方向的用户可以同时使用全部频谱资源不间断地进行通讯，也即空分复用(space-division multiple access, SDMA)。

SDMA还有另一重好处，即可以减少信号能量的浪费：当无线信号在空间中向全方向辐射时，只有一小部分信号能量被接收机收到成为有用信号。大部分信号并没有被相应的接收机收到，而是辐射到了其它的接收机成为了干扰信号。

空分复用技术是唯一能够实现频谱效率数倍提升的技术。因为它可以使系统在同一时间、同一频段、同一宏观物理空间上进行多路通信而且互不干扰，让有限的频谱资源得到最大化的利用。



波束成型

波束形成原理:

阵列输出选取一个适当的加权向量以补偿各个阵元的传播时延，从而使得在某一个期望方向上阵列输出可以同向叠加，进而使得阵列在该方向上产生一个主瓣波束；并在可以某个方向上对干扰进行一定程度的抑制。自适应波束形成是在某种最优准则下通过自适应算法来实现权集寻优，自适应波束形成能适应各种环境的变化，实时的将权集调整到最佳位置附近。

“波束”这个词看上去有些陌生，但是“光束”大家一定都很熟悉。当一束光的方向都相同时，就成了光束，类似手电筒发出的光。反之，如果光向四面八方辐射（如电灯泡发出的光），则不能形成光束。和光束一样，当所有波的传播方向都一致时，即形成了波束。

光束实现很简单，只要用不透明的材料把其它方向的光遮住即可。这是因为可见光近似沿直线传播，衍射能力很弱。然而，在无线通讯系统中，信号以衍射能力很强的电磁波的形式存在，所以无法使用生成光束的方法来实现波束成型，而必须使用其他方法。



波束成型

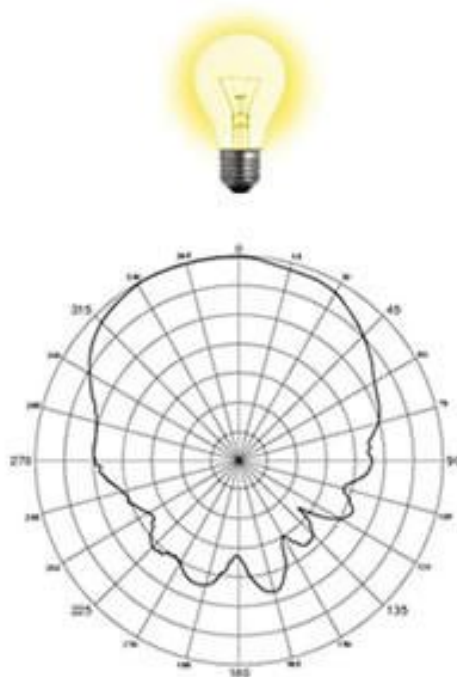
无线通讯电磁波的信号能量在发射机由天线辐射进入空气并在接收端由天线接收。因此，电磁波的辐射方向由天线的特性决定。天线的方向特性可以由辐射方向图（即天线发射的信号在空间不同方向的幅度）来描述。

普通的天线的辐射方向图方向性很弱（即每个方向的辐射强度都差不多，类似电灯泡），而最基本的形成波束的方法则是使用辐射方向性很强的天线（即瞄准一个方向辐射，类似手电筒）。

然而，此类天线往往体积较大，很难安装到移动终端上（想象一下iPhone上安了一个锅盖天线会是什么样子）。另外波束成形需要可以随着接收端和发射端之间的相对位置而改变波束的方向。传统使用单一天线形成波束的方法需要转动天线才能改变波束的方向，而这在手机上显然不可能。因此，实用的波束成形方案使用的是智能天线阵列

Regular Antenna:

Like a Light Bulb: radiates energy in all directions. This results in wasted RF energy and interference.



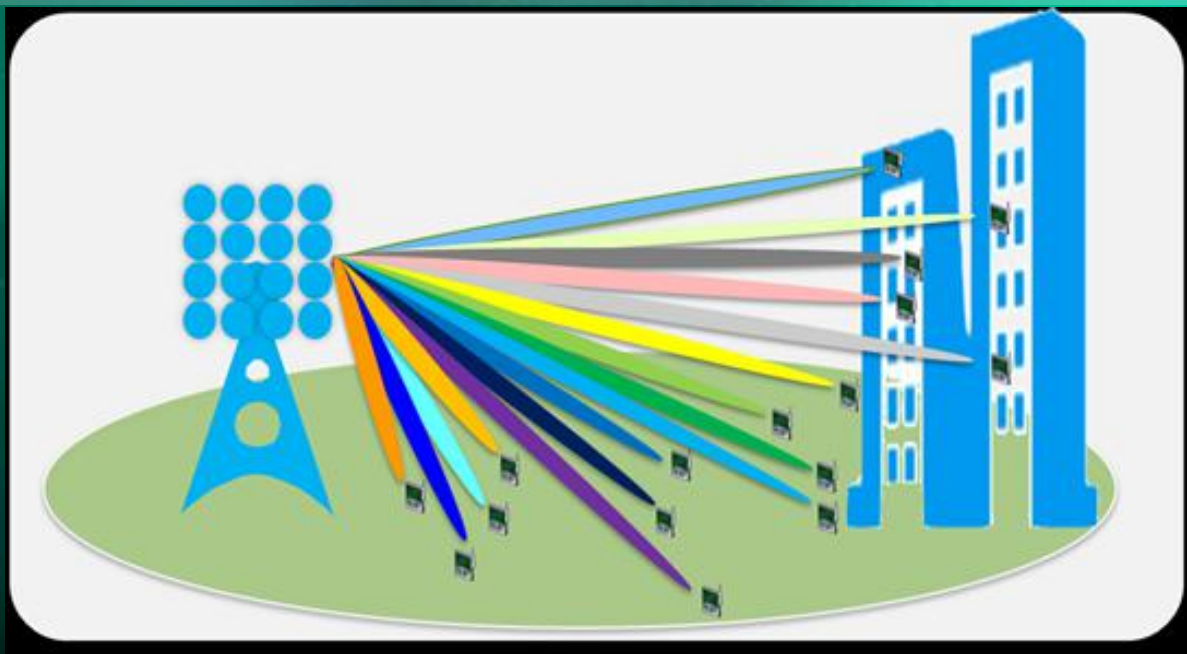
Smart Antenna (Beamforming):

Like a Torchlight: focuses the radio beam in the needed direction. This results in stronger signal and less wasted RF energy.



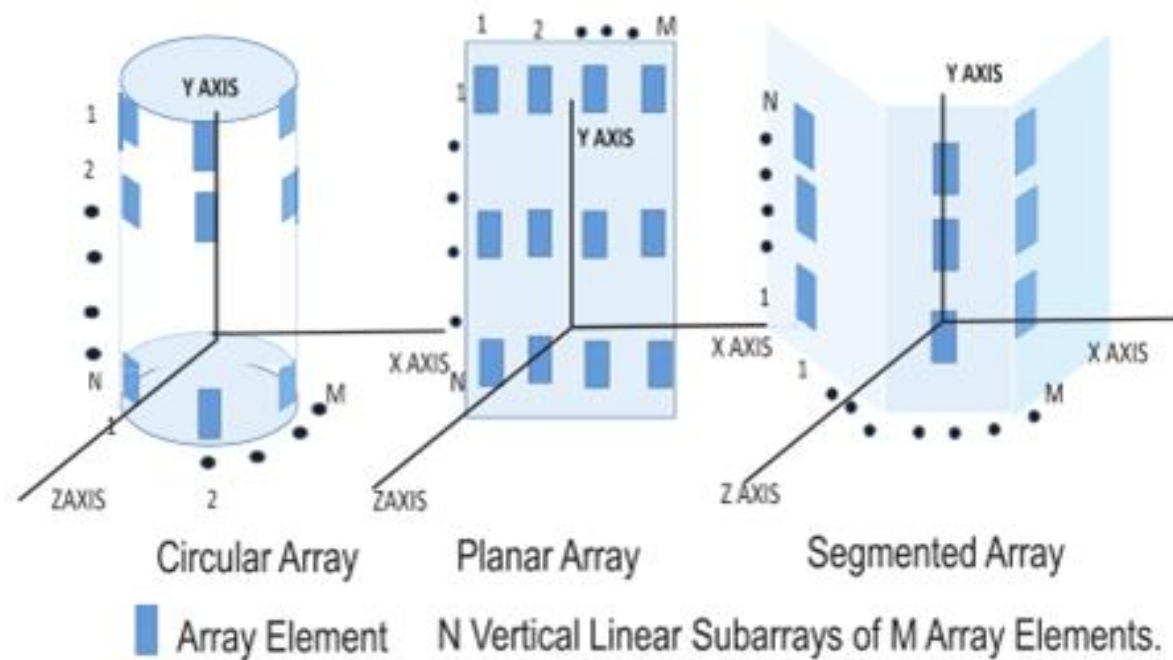
智能天线

人们研究智能天线的最初动机是，在频谱资源日益拥挤的情况下考虑如何将自适应波束形成应用于蜂窝小区的基站（BS），以便能更有效地增加系统容量和提高频谱利用率。智能天线的基本思想是：天线以多个高增益窄波束动态地跟踪多个期望用户，接收模式下，来自窄波束之外的信号被抑制，发射模式下，能使期望用户接收的信号功率最大，同时使窄波束照射范围以外的非期望用户受到的干扰最小。智能天线是利用用户空间位置的不同来区分不同用户。



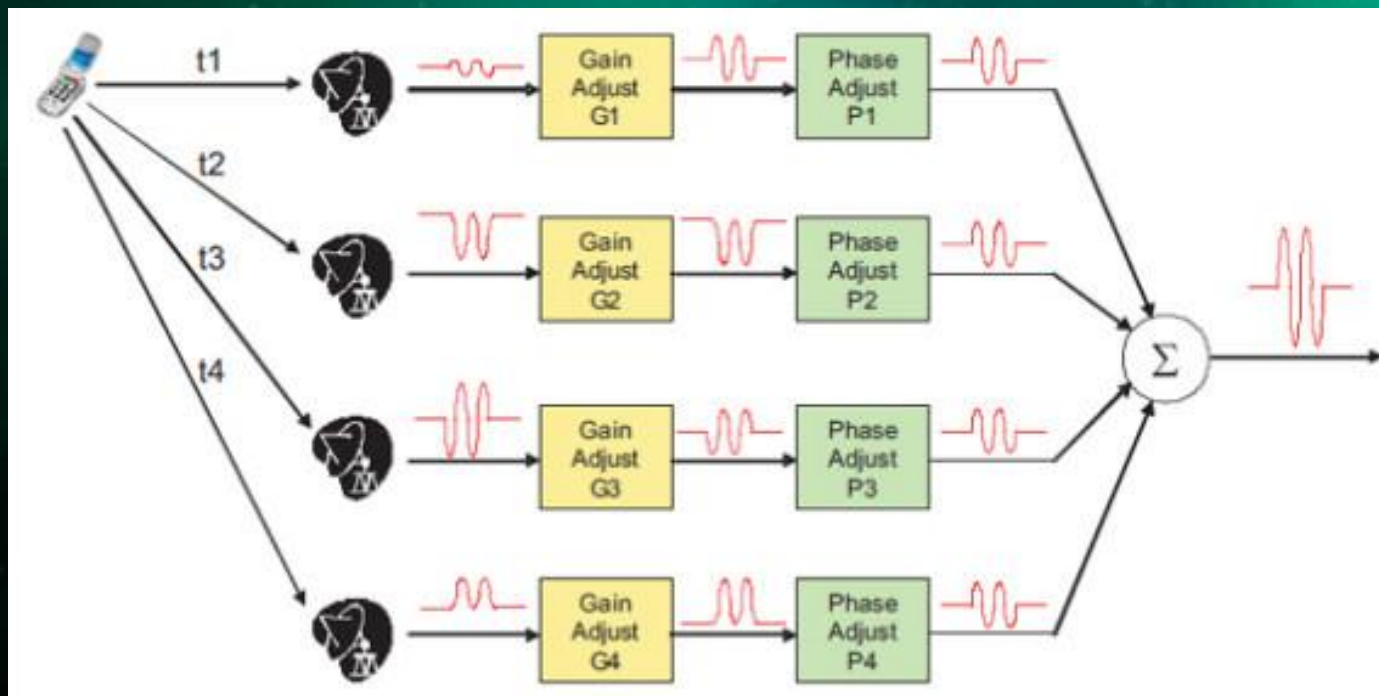
智能天线

垂直平面子阵列通过改变与子阵列单元相关联的权重来在水平面中操纵波束。子阵列配置对于波束控制至关重要。图展示了布置天线子阵列的三种不同的可能性：(i)圆形，(ii)平面和(iii)分割。圆形子阵列有更好的覆盖使其更适合无线通信。虽然平面配置具有更好的方向性，曲率允许更宽的光束转向，但限制了扫描角范围。除了圆形或平面，简单的分段配置也可以仔细设计，以实现所需的方向性和扫描范围的水平。通常，喇叭天线具有比所有其它天线更高的增益。角天线阵列提供BS 所需的高功率输出。空间，大小和功率是移动设备处的约束。因此，更简单的贴片天线适用于设备。



智能天线

智能天线阵列原理并不复杂。当由两个波源产生的两列波互相干涉时，有的方向两列波互相增强，而有的方向两列波正好抵消。在波束成形中，我们有许多个波源（即天线阵列），通过仔细控制波源发射的波之间的相对延时和幅度我们可以做到电磁波辐射的能量都集中在一个方向上（即接收机所在的位置），而在其他地方电磁波辐射能量很小（即减少了对其他接收机的干扰）。此外天线辐射的方向可以通过改变波源之间的相对延时和幅度来实现，可以轻松跟踪发射端和接收端之间相对位置的改变。

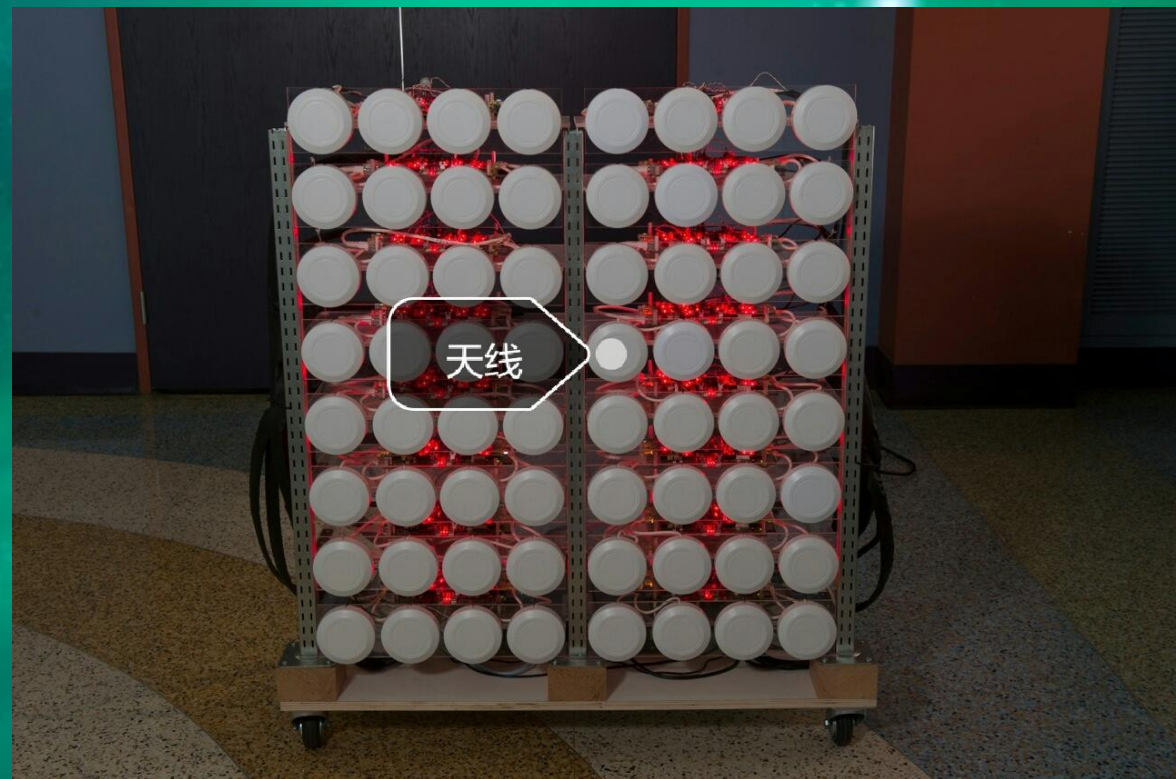


智能天线

想要发挥所有天线的潜力，基站端需要精确的信道信息，直观理解即需事先知道不同目标客户的位置。如何将与用户间的这一信道信息精准地告诉每一根天线是一件很棘手的事情。传统通信系统通过手机监测基站发送的导频（导频，即基站和手机端共同知晓的一段序列），估计其信道并反馈给基站的做法在大规模天线中并不可行，因为基站天线数量众多，手机在向基站反馈时所需消耗的上行链路资源过于庞大。目前，最可行的方案是基于时分双工(TDD)的上行和下行链路的信道对称性，即通过手机向基站发送导频，在基站端监测上行链路，基于信道对称性，推断基站到手机端的下行链路信息。

其次，为了获得上行链路信息，手机终端需向基站发送导频，可是导频数量总是有限的，这样不可避免地需要在不同小区复用，从而会导致导频干扰。理论推导表明，导频干扰是限制大规模天线一剑破天的最终屏障。

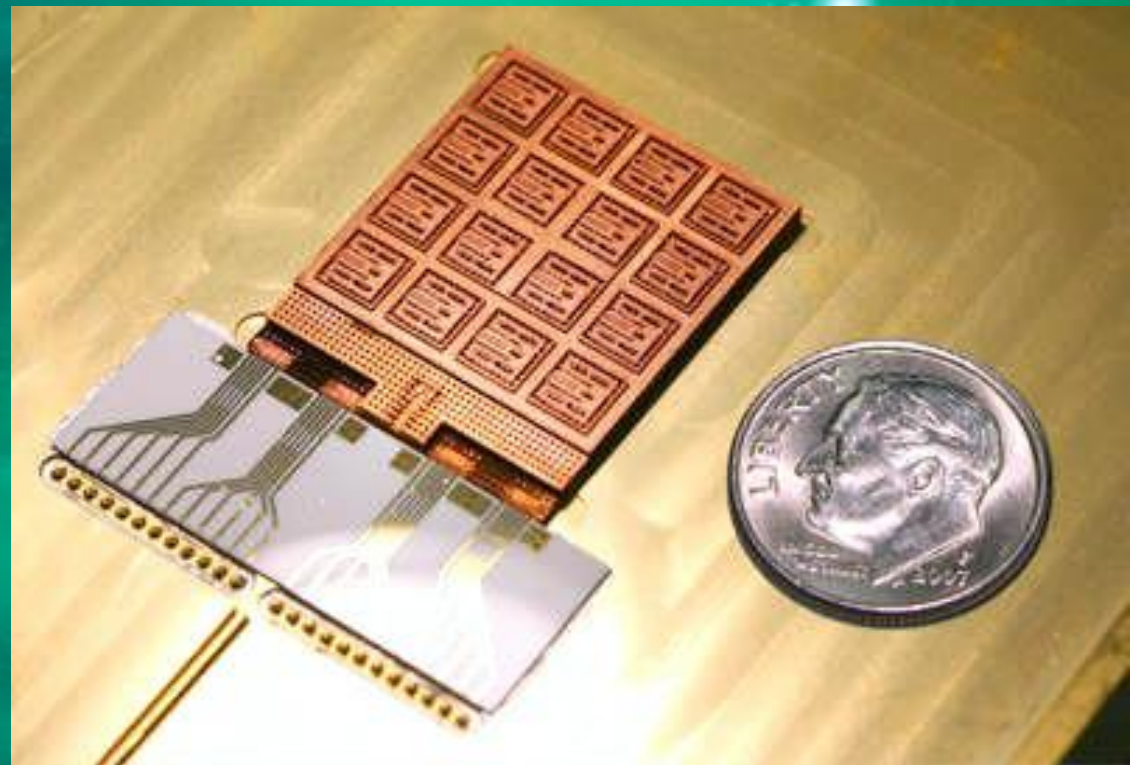
另外，很多大规模天线波束成形的算法基于矩阵求逆运算，其复杂度随天线数量和其同时服务的用户数量上升而快速增加，导致硬件不能实时完成波束成形算法。快速矩阵求逆算法是攻克这一难题的一条途径。



目前波束成形已经被使用在带有多天线的WiFi路由器中。然而，手机上不可能像路由器一样安装WiFi频段的多根天线，因为天线尺寸太大了。

天线的尺寸是由电磁波信号的波长决定的，WiFi和当前手机频段的电磁波波长可达十几厘米，因此很难将如此大的天线集成在手机上。为了解决这个问题，我们可以把波束成形和毫米波技术结合在一起。

毫米波波段的波长大约是WiFi和手机频段波长的十分之一左右，因此可以把多个毫米波天线集成到手机上，实现毫米波频段的波束成形。波束成形和毫米波技术可谓是天作之合，使用毫米波可以给信号传输带来更大的带宽，波束成形则能解决频谱利用问题，使得5G通讯如虎添翼。



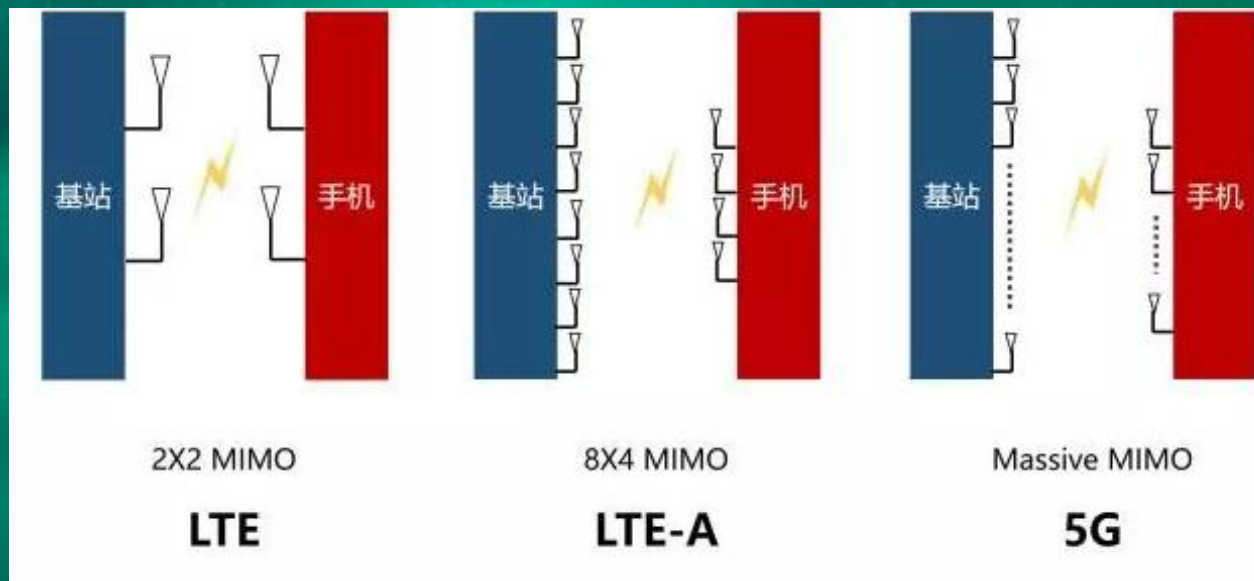
智能天线

5G网络的成功部署取决于有效的天线阵列设计。这利用了空中接口变化的优点。应使用多波束智能天线阵列系统来实现SDMA能力。智能天线有助于干扰减轻，同时保持最佳的覆盖区域和同时传输移动手持机和BS 的功率降低。此外，对于相同的物理孔径尺寸，更多的能量可以通过使用窄波束在较高频率传输。智能天线实现使得相同的信道可以被不同的波束使用。这减少了无线通信的主要问题之一：同信道干扰。波束形成天线的使用中与小数负载系数，进一步稀释了共信道干扰的问题。高度定向的波束的应用不一定需要任何分数负载。基础设施费用和复杂操作阻碍了对定向天线的不加区别的使用。然而，甚至更少复杂的天线能够提供相当大的容量增益。

大规模MIMO

在单天线对单天线的传输系统中，由于环境的复杂性，电磁波在空气中经过多条路径传播后在接收点可能相位相反，互相削弱，此时信道很有可能陷于很强的衰落，影响用户接收到的信号质量。而当基站天线数量增多时，相对于用户的几百根天线就拥有了几百个信道，他们相互独立，同时陷入衰落的概率便大大减小，这对于通信系统而言变得简单而易于处理。

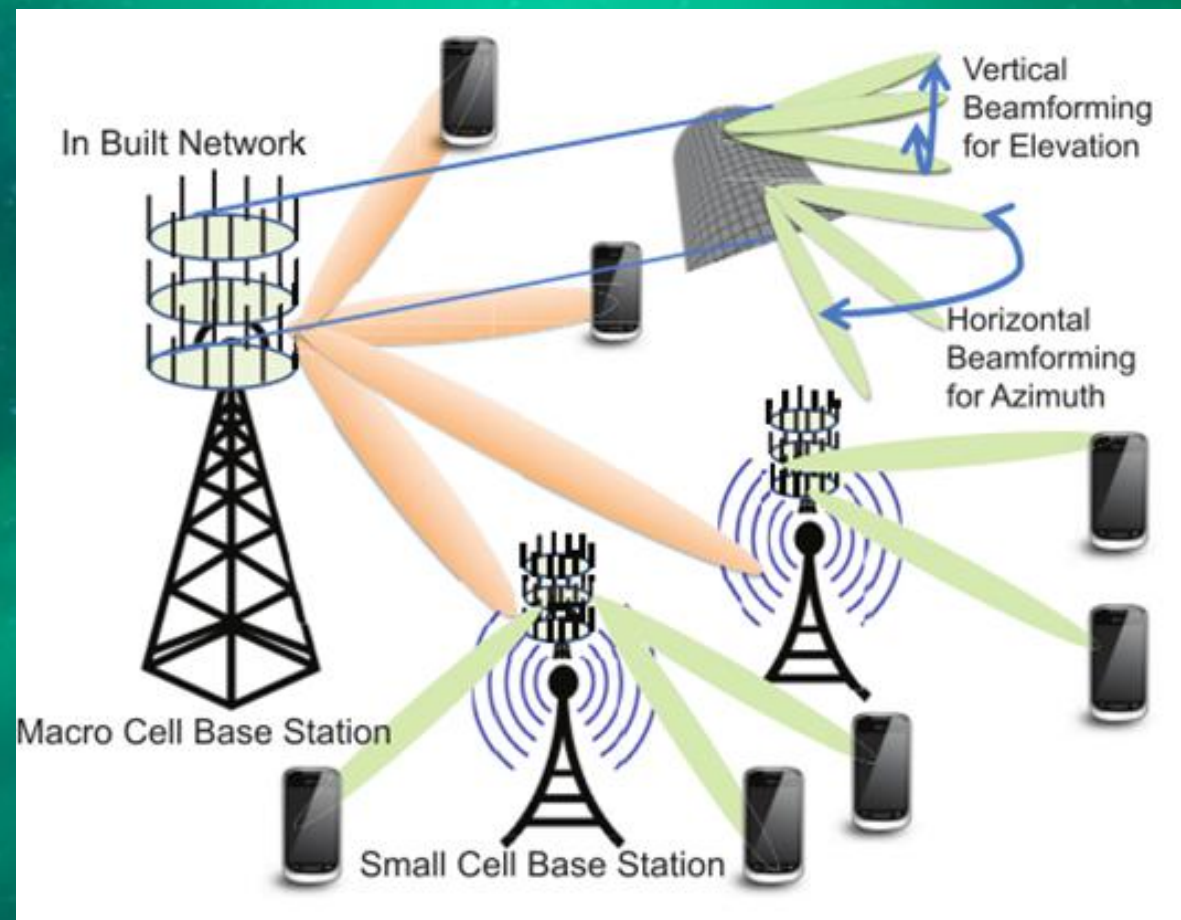
大规模天线有哪些好处？第一，当然是大幅度提高网络容量。第二，因为有一堆天线同时发力，由波速成形形成的信号叠加增益将使得每根天线只需以小功率发射信号从而避免使用昂贵的大动态范围功率放大器，减少了硬件成本。第三，大数定律造就的平坦衰落信道使得低延时通信成为可能。传统通信系统为了对抗信道的深度衰落，需要使用信道编码和交织器，将由深度衰落引起的连续突发错误分散到各个不同的时间段上（交织器的目的即将不同时间段的信号揉杂，从而分散某一短时间内的连续错误），而这种揉杂过程导致接收机需完整接受所有数据才能获得信息，造成时延。在大规模天线下，得益于大数定理而产生的衰落消失，信道变得良好，对抗深度衰弱的过程可以大大简化，因此时延也可以大幅降低。



大规模MIMO

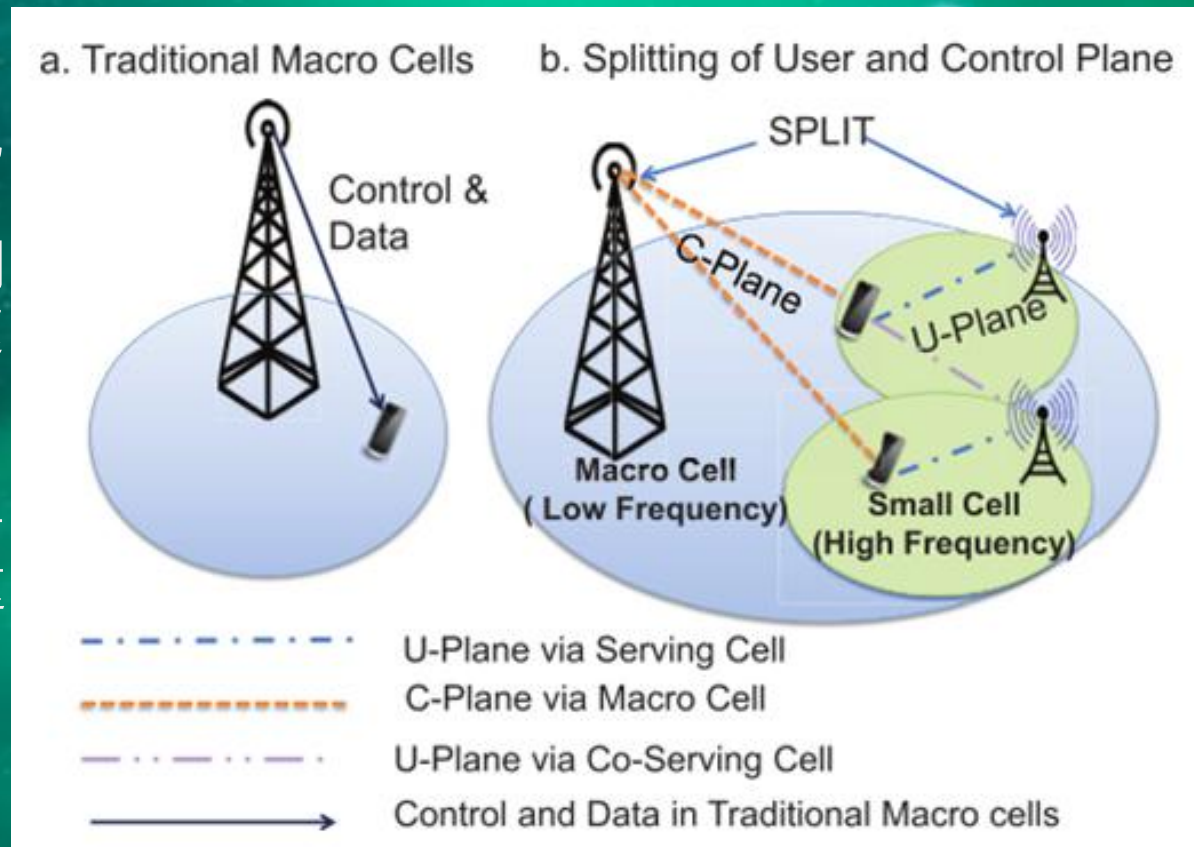
大规模天线阵列正是基于多用户波束成形的原理，在基站端布置几百根天线，对几十个目标接收机调制各自的波束，通过空间信号隔离，在同一频率资源上同时传输几十条信号。这种对空间资源的充分挖掘，可以有效利用宝贵而稀缺的频带资源，并且成几十倍地提升网络容量。

通过使用简单的线性信号处理技术，大规模MIMO为BS提供了大量的天线。图示出了大量的MIMO使能的BS。天线网格能够引导水平和垂直波束。大规模MIMO显着提高了光谱和能量效率。每个单个天线被定位以实现传输中的方向性。波前的相干叠加是大规模MIMO技术的基本原理。发射的波前在所期望的位置建设性地增加并且降低其他地方的强度。因此，在大规模MIMO启用的BS的空间复用容量增加几个量级。

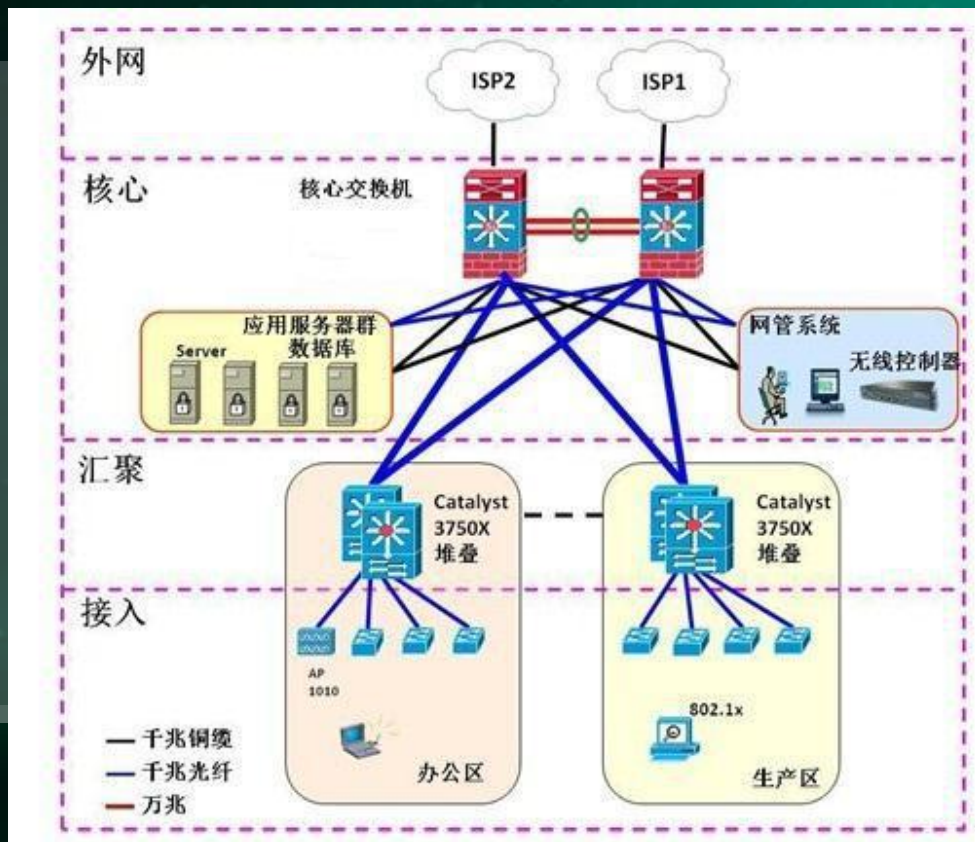


空中接口

架构和空中接口的变化强调小小区和增加的天线数量。在如此密集的5G部署中，许多服务器和路由器的配置和维护是一个复杂的挑战。软件设计网络(SDN)为这一复杂挑战提供了一个简化的解决方案。SDN考虑控制平面和数据平面之间的分割，从而在5G网络中引入快速和灵活性。图9描绘了用户和控制信号的分离。因此，用户平面容量的增加变得独立于控制平面资源。这使得5G网络在所需位置具有高数据，而不会招致控制平面开销。SDN通过使用软件组件来解耦数据和控制平面。这些软件组件负责管理控制平面，从而减少硬件限制。两个平面之间的交互通过使用开放接口实现，如OpenFlow。它还便于在不同配置之间切换。



SDN产生背景



传统的网络的运作模式是静态的，网络中的设备是决定性的因素，控制单位和转发单位紧密耦合。网络设备的连接产生了不同的拓扑结构，不同厂商的交换机模型也各不相同，导致目前的网络非常复杂。网络设备所依赖的协议由于历史原因，存在多样化、不统一、静态控制和缺少共性的问题，这进一步加大了网络的复杂性。在网络中增删一台中心设备是非常复杂的，往往需要多台交换机、路由器、Web 认证门户等等。这些因素都导致传统的通信网络适合于一种静态的、不需要管理者太多干预的状态。大数据应用依赖于两点，即海量数据处理和预先定义好的计算模式，分布式的数据中心和集中式的控制中心，必然导致大量的数据批量传输及相关的聚合划分操作，这对网络的性能提出了非常高的要求，为了更好的利用网络资源，大数据应用需要按需调动网络资源。

归结以上问题，实际上是网络缺乏统一的“大脑”。一直以来，网络的工作方式是：网络节点之间通过各种交互机制，独立的学习整个网络拓扑，自行决定与其他节点的交互方式；当流量过来时，根据节点间交互做出的决策，独立的转发相应报文；当网络中节点发生变化时，其他节点感知变化重新计算路径。网络设备的这种分散决策的特点，在此前很长一段时期内满足了互联互通的需要，但由于这种分散决策机制缺少全局掌控，在需要流量精细化控制管理的今天，表现出越来越多的问题。在此背景之下，SDN应运而生。

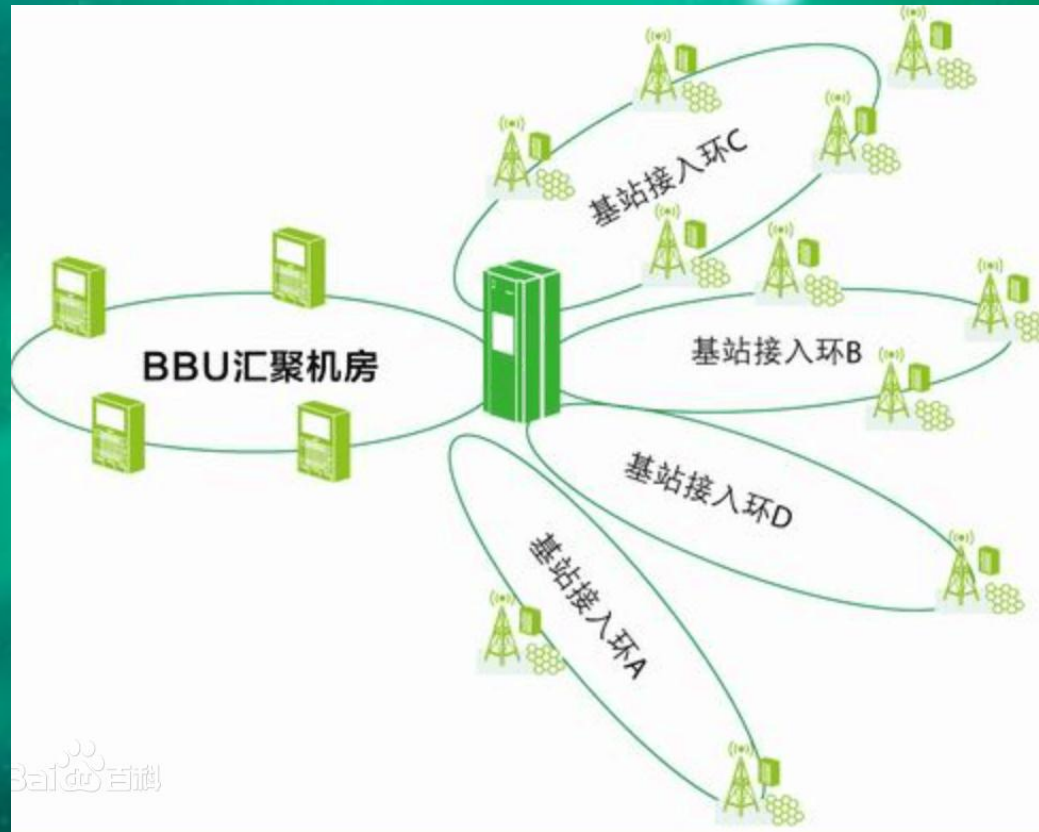
SDN可以跨越OSI层来重新建模网络以实现完全自动化管理。冗余接口由控制器减少，控制器将策略分配给路由器用于监控功能。应用于无线接入网络(RAN)的SDN本身表现为SON解决方案。SON算法通过控制平面协调在粗粒度上优化RAN，同时保持精细的粒度数据平面不受影响。虽然SON提供高增益，但是数据平面的改进需要多个BS的协作来进行数据传输。协调多点(CoMP)传输有助于以非常精细的时间尺度进行协作数据传输。Cloud RAN还通过分散数据平面提供了一个可行的解决方案。数据和控制信号可以通过不同的节点，不同的频谱甚至不同的技术路由，以管理网络密度和多样性。

SON(Self-Organized Networks) 是在LTE的网络的标准化阶段由移动运营商主导提出的概念，其主要思路是实现无线网络的一些自主功能（自配置、自优化、自愈三大功能），减少人工参与，降低运营成本。
CoMP:该技术的核心思想是通过处于不同地理位置的多个传输点之间的合作来避免相邻基站之间的干扰或将干扰转换为对用户有用信号，以合作的方式实现用户性能的改善。

云RAN的提出

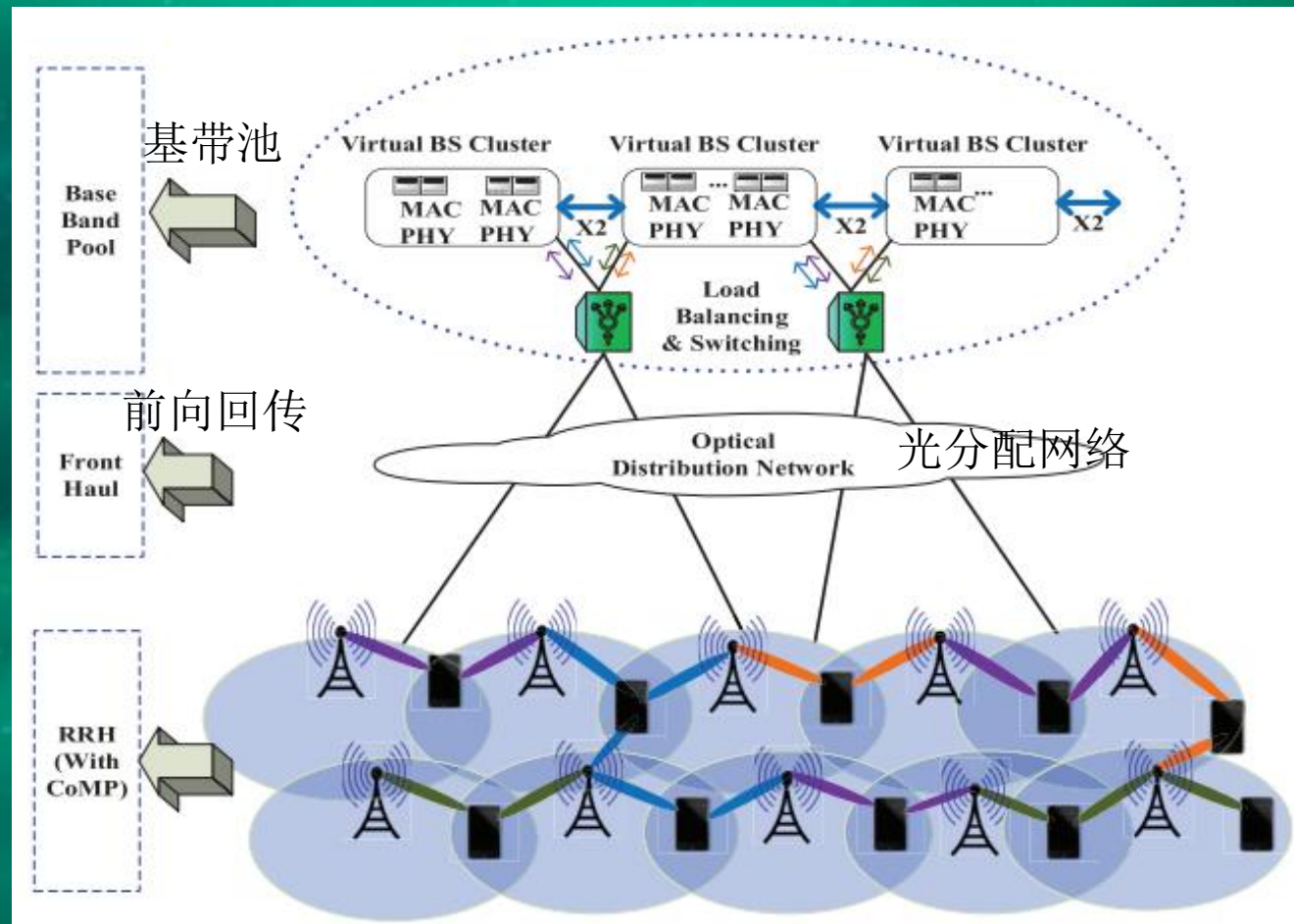
如今，移动运营商正面临着激烈的竞争环境，用于建设、运营、升级无线接入网的支出不断增加，而收入却未必以同样的速度增加。移动互联网业务的流量迅速上升，由于竞争的缘故，单用户的ARPU值却增长缓慢，甚至在慢慢减少，这些因素严重地削弱了移动运营商的盈利能力。为了保持持续盈利和长期增长，移动运营商必须寻找低成本地为用户提供无线业务的方法。

无线接入网(RAN)是移动运营商赖以生存的重要资产，通过无线接入网可以向用户提供7x24小时不间断、高质量的数据服务。传统的无线接入网具有以下特点：第一，每个基站连接若干固定数量的扇区天线，并覆盖小片区域，每个基站只能处理本小区收发信号；第二，系统的容量是干扰受限，各个基站独立工作已经很难增加频谱效率；第三，基站通常都是基于专有平台开发的“垂直解决方案”。这些特点带来了以下挑战：数量巨大的基站意味着高额的建设投资、站址配套、站址租赁以及维护费用，建设更多的基站意味着更多的资本开支和运营开支。此外，现有基站的实际利用率还是很低，网络的平均负载一般来说大大低于忙时负载，而不同的基站之间不能共享处理能力，也很难提高频谱效率。最后，专有的平台意味着移动运营商需要维护多个不兼容的平台，在扩容或者升级的时候也需要更高的成本。



云RAN

在传统的蜂窝网络中，互联网协议，多协议功能和以太网一直延伸到远程蜂窝站点。图示出了典型的C-RAN架构，其中来自许多远程站点的基带单元(BBU)集中在虚拟BBU池。这导致统计复用增益，能量效率操作和资源节约。虚拟BBU池进一步促进可扩展性，成本降低，不同服务的集成和减少现场试验的时间消耗。远程射频头(RRH)包括变压器组件，放大器和双工器，可实现数字处理，模数转换，功率放大和滤波。RRH通过高于1Gbps的单模数据速率连接到BBU池。这种简化的BS架构为密集的5G部署铺平了道路，使其价格适中，灵活和高效。强大的云计算能力可以轻松处理所有复杂的控制过程。



云RAN

C-RAN中的C既可以指“集中式”无线接入网络（RAN），也可以指“云”无线接入网。这两个概念是相关的，都与蜂窝基站网络设备的新架构有关。

C-RAN依然是一个相当新的趋势，只是在几年前才由中国移动开始。但是世界各地的其他网络运营商正在积极地部署集中式RAN网络，以希望在市场成熟时能够更多地承担责任。

在传统的分布式蜂窝网络，RAN是我们所认为的蜂窝基站网络的一部分，其设备在蜂窝基站塔的顶端和塔下。其主要的组件是基带单元（BBU），这是一个无线电设备，每小时处理数十亿比特的信息，并将最终用户连接到核心网络。

C-RAN提供了一种崭新而高效的替代方案。通过利用光纤用于前传的巨大的信号承载能力，运营商们能够将多个BBU集中到一个地点，它可以在一个蜂窝基站，也可以在一个集中式的BBU池。将多个BBU集中起来精简了每个蜂窝基站所需的设备数量，并且能够提供更低延迟等其他各种优势。

虽然C-RAN的最终归宿是云RAN，那时网络的一些功能开始在“云端”虚拟化。一旦BBU集中化以后，商用的现成服务器就能够完成大部分的日常处理。这意味着BBU可以重新设计和进行缩减以专门进行复杂或专有的处理。借助云RAN处理的集中式基站简化了网络的管理，并且使资源池和无线资源得以协调。

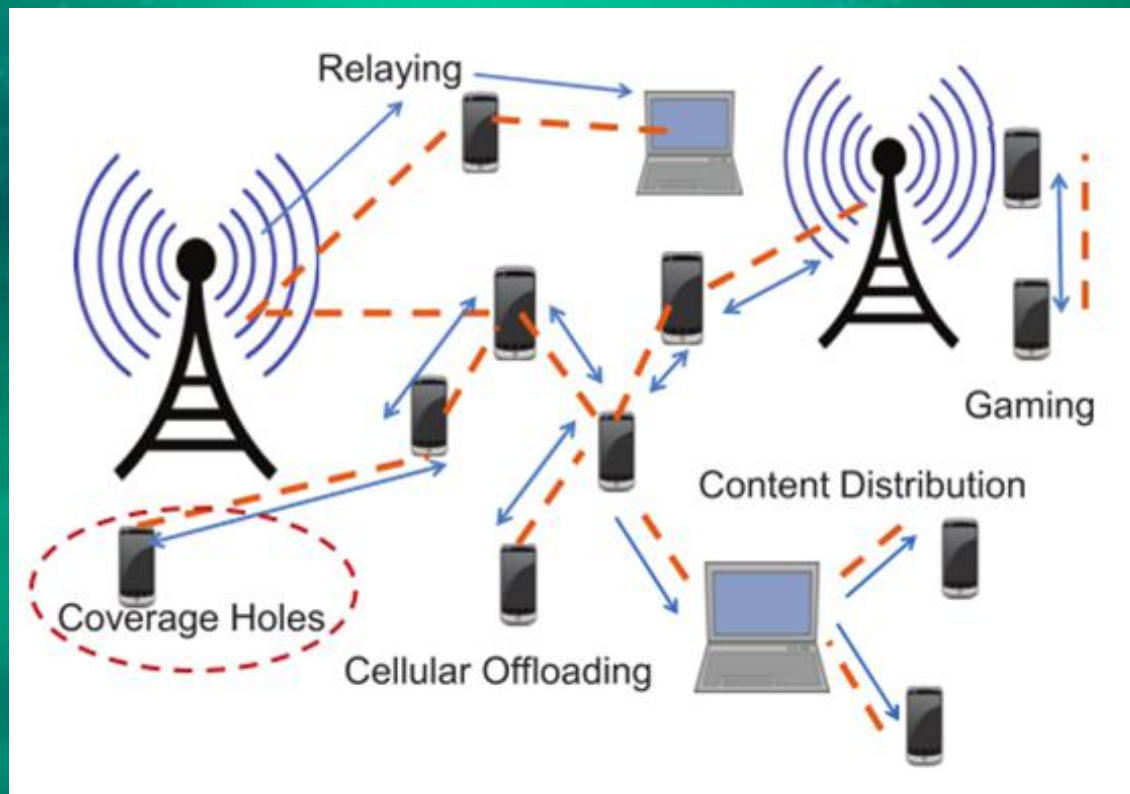
HetNet



在众多的技术方案中，超密集无线异构网络被公认为是解决上述挑战最富有前景的网络技术之一，具体而言，超密集无线异构网络融合多种无线接入技术（如 5G、4G、Wi-Fi 等），由覆盖不同范围、承担不同功能的大/小基站在空间中以极度密集部署的方式组合而成的一种全新的网络形态。在超密集无线异构网络中，如图所示，多种无线接入技术共存，大/小基站多层覆盖，既有负责基础覆盖的传统蜂窝网络中所使用的宏基站，也有承担热点覆盖的低功率小基站，如 micro、pico、femto 等。为了解决 1 000 倍容量挑战，为用户提供极致化的业务体验，未来实际部署的超密集无线异构网络会远远超出现网的布设密度和规模。据预测，在未来无线网络中，在宏基站的覆盖区域中，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，站点之间的距离将降至 10 m 甚至更小，支持高达 25 000 个用户/km²，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。

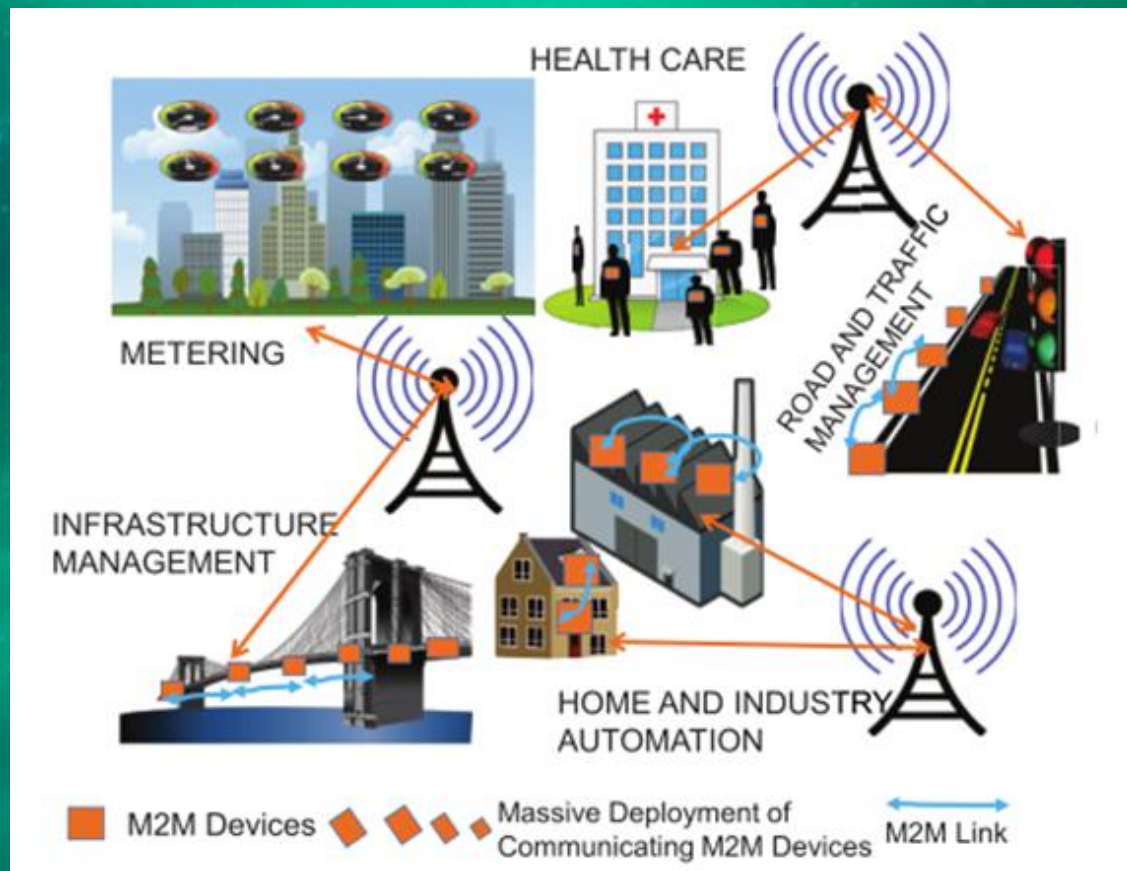
D2D

D2D通信技术是指两个对等的用户节点之间直接进行通信的一种通信方式。在由D2D通信用户组成的分布式网络中，每个用户节点都能发送和接收信号，并具有自动路由(转发消息)的功能。网络的参与者共享它们所拥有的一部分硬件资源，包括信息处理、存储以及网络连接能力等。这些共享资源向网络提供服务和资源，能被其它用户直接访问而不需要经过中间实体。在D2D通信网络中，用户节点同时扮演服务器和客户端的角色，用户能够意识到彼此的存在，自组织地构成一个虚拟或者实际的群体。



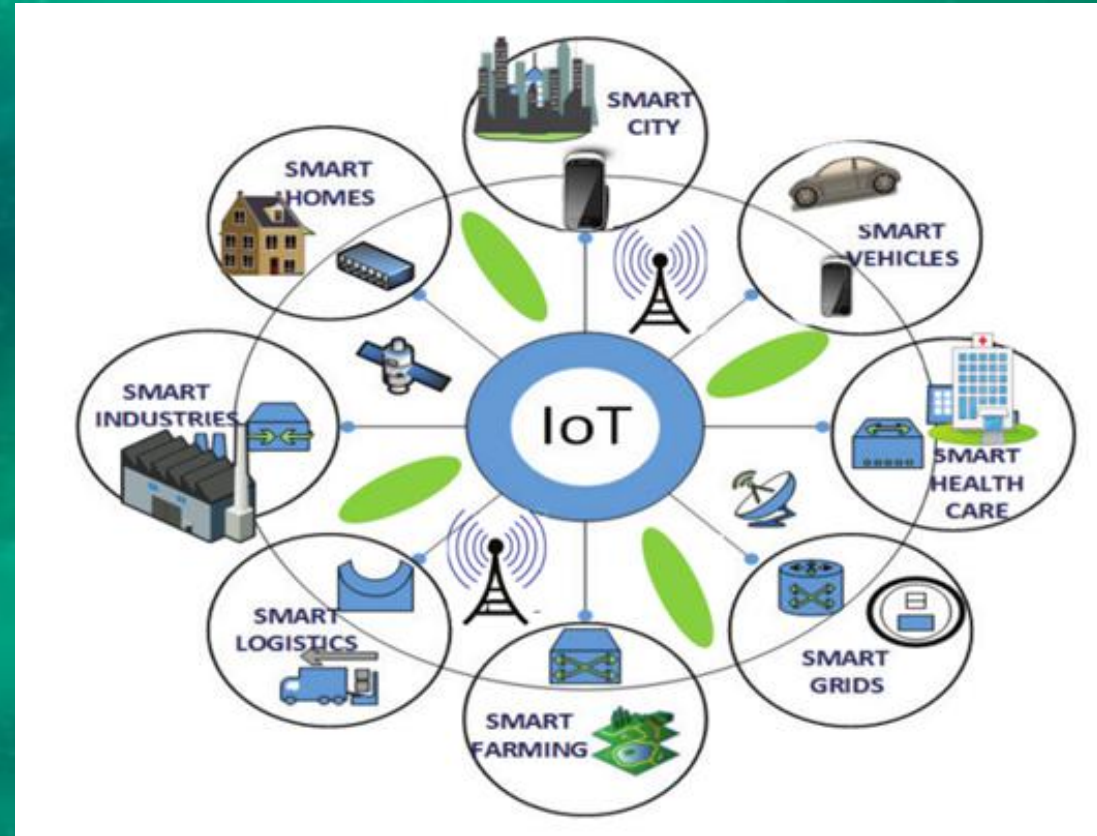
M2M

M2M是指多种不同类型的通信技术有机的结合在一起：机器之间通信；机器控制通信；人机交互通信；移动互联通信。M2M让机器，设备，应用处理过程与后台信息系统共享信息，并与操作者共享信息。它提供了设备实时地在系统之间、远程设备之间、或和个人之间建立无线连接，传输数据的手段。M2M技术综合了数据采集、GPS，远程监控、电信、信息技术是计算机、网络、设备、传感器、人类等的生态系统，能够使业务流程自动化，集成公司资讯科技 (IT) 系统和非IT设备的实时状态，并创造增值服务。这一平台可在安全监测、自动抄表、机械服务和维修业务、自动售货机、公共交通系统、车队管理、工业流程自动化、电动机械、城市信息化等环境中运行并提供广泛的应用和解决方案。



物联网

如图所示，物联网设想数百万个同时连接，涉及各种设备，连接的家庭，智能电网和智能交通系统。这个愿景最终只有随着高带宽5G无线网络的出现才能实现。物联网使许多智能对象和应用程序的互联网连接和数据互操作性成为可能。IoT的六个独特挑战包括(i)自动传感器配置，(ii)上下文检测，(iii)采集，建模和推理(iv)在“传感即服务”模型中选择传感器(v)安全 - 隐私 - 信任和(vi)上下文共享。物联网的实施是复杂的，因为它包括在各种粒度和抽象级别的大规模，分布式，自主和异构组件之间的合作。云的概念，提供大存储，计算和网络功能，可以与各种支持物联网的设备集成。



其他应用

除了上述应用，金融业随着企业和客户的增加，需要强大的计算和数据处理。基于5G的未来移动网络具有巨大的潜力转变不同的金融服务，如银行，支付，个人金融管理，社会支付，点对点交易和本地商业。

传感，通信和控制提高了电网的效率和可靠性，从而使其现代化为智能电网(SG)。SG使用无线网络进行能量数据收集，电力监测，保护和需求/响应管理。智能信息和智能通信子系统是智能电网的一部分。智能电网无缝链接物理组件和代表大规模网络物理系统的无线通信。无线技术已经被用于有效的实时需求响应(DR)管理。预计提出的5G的高带宽和低延迟将解决与SG需求响应相关的许多挑战。

同样，以自动化，嵌入式系统，娱乐，电器，效率和安全为根基的智能家居是一个积极的技术研究领域。智能城市，可持续发展的基本要素正处于增长势头。物联网，M2M，云计算，与5G集成的主要概念在这些研究领域非常有说服力。

提高服务质量QoS

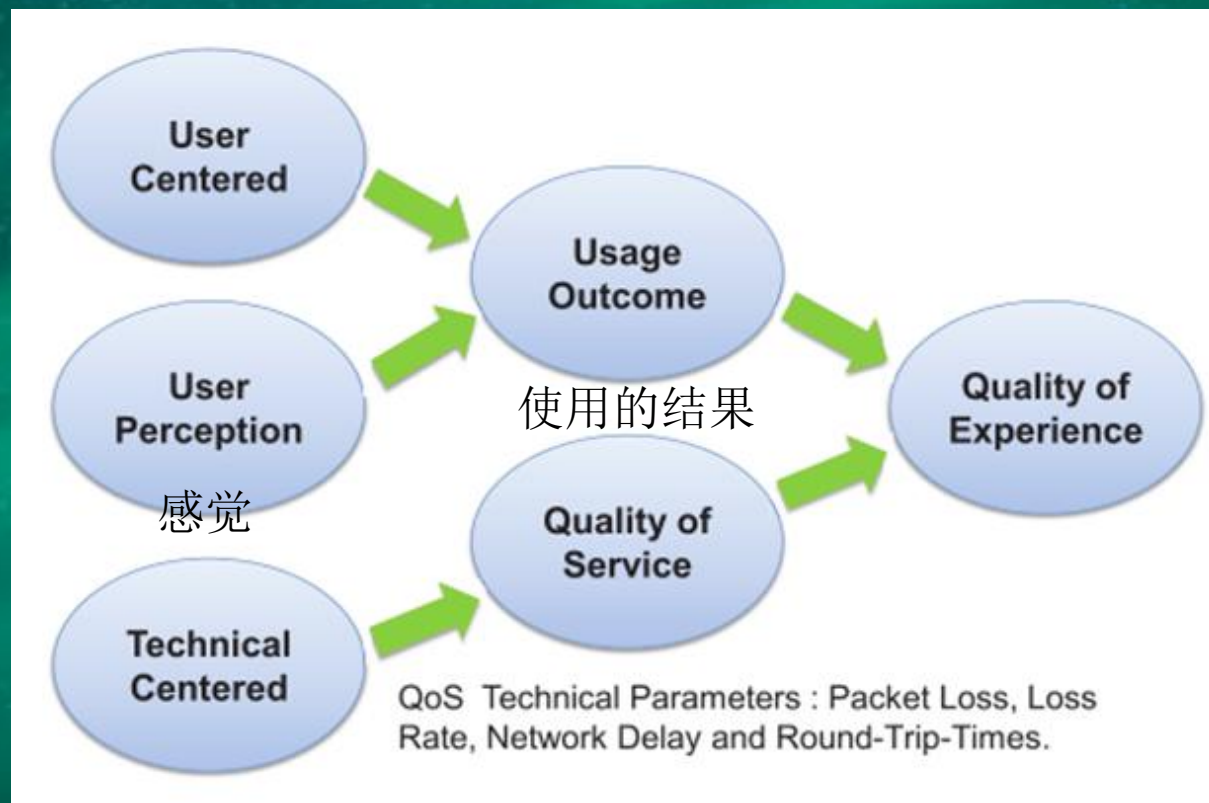
而当网络发生拥塞的时候，所有的数据流都有可能被丢弃；为满足用户对不同应用不同服务质量的要求，就需要网络能根据用户的要求分配和调度资源，对不同的数据流提供不同的服务质量：对实时性强且重要的数据报文优先处理；对于实时性不强的普通数据报文，提供较低的处理优先级，网络拥塞时甚至丢弃。QoS应运而生。支持QoS功能的设备，能够提供传输品质服务；针对某种类别的数据流，可以为它赋予某个级别的传输优先级，来标识它的相对重要性，并使用设备所提供的各种优先级转发策略、拥塞避免等机制为这些数据流提供特殊的传输服务。配置了QoS的网络环境，增加了网络性能的可预知性，并能够有效地分配网络带宽，更加合理地利用网络资源。

传统的QoS模型和参数可能不足以解决新兴5G应用和服务带来的新挑战。调查新的QoS度量和延迟边界模型将加强5G移动无线网络。研究人员通过精确的传播分析和合适的对策技术来提出QoS感知多媒体调度方案，以满足mm波框架中的QoS要求。研究人员提出一个基于客户端的QoS监控架构，以克服服务器端QoS监控的障碍。诸如带宽，错误率，信号强度等度量与传统RTT延迟一起使用以确定所提供的QoS。

改善用户体验QoE

体验质量 (Quality of Experience , QoE) 是指用户对设备、网络 and 系统、应用或业务的质量和性能的主观感受。QoE指的是用户感受到的完成整个过程的难易程度。

5G时代的性能指标高度集中于QoE。订阅，基于广告的商业模式和内容交付的增长正在推动互联网上视频传输的几乎指数增长。不久以来，互联网上的视频预计在观众数量方面超过电视。然而，互联网视频生态系统缺乏正规的质量测量技术。传统的QoS度量，包括丢包，丢失率，网络延迟，PSNR和往返时间，现在被认为对视频移动互联网无效。另一方面，QoE强调用户的感知满意度。对于整体用户体验，QoS的技术条件仍然至关重要，但不够充分。图给出了QoS和QoE之间的关系。更高的QoS不一定意味着更高的QoE。产品的交互性，产品的感觉，服务目的的能力和融入整个环境是定义QoE特征的一些主要经验。



SON实现

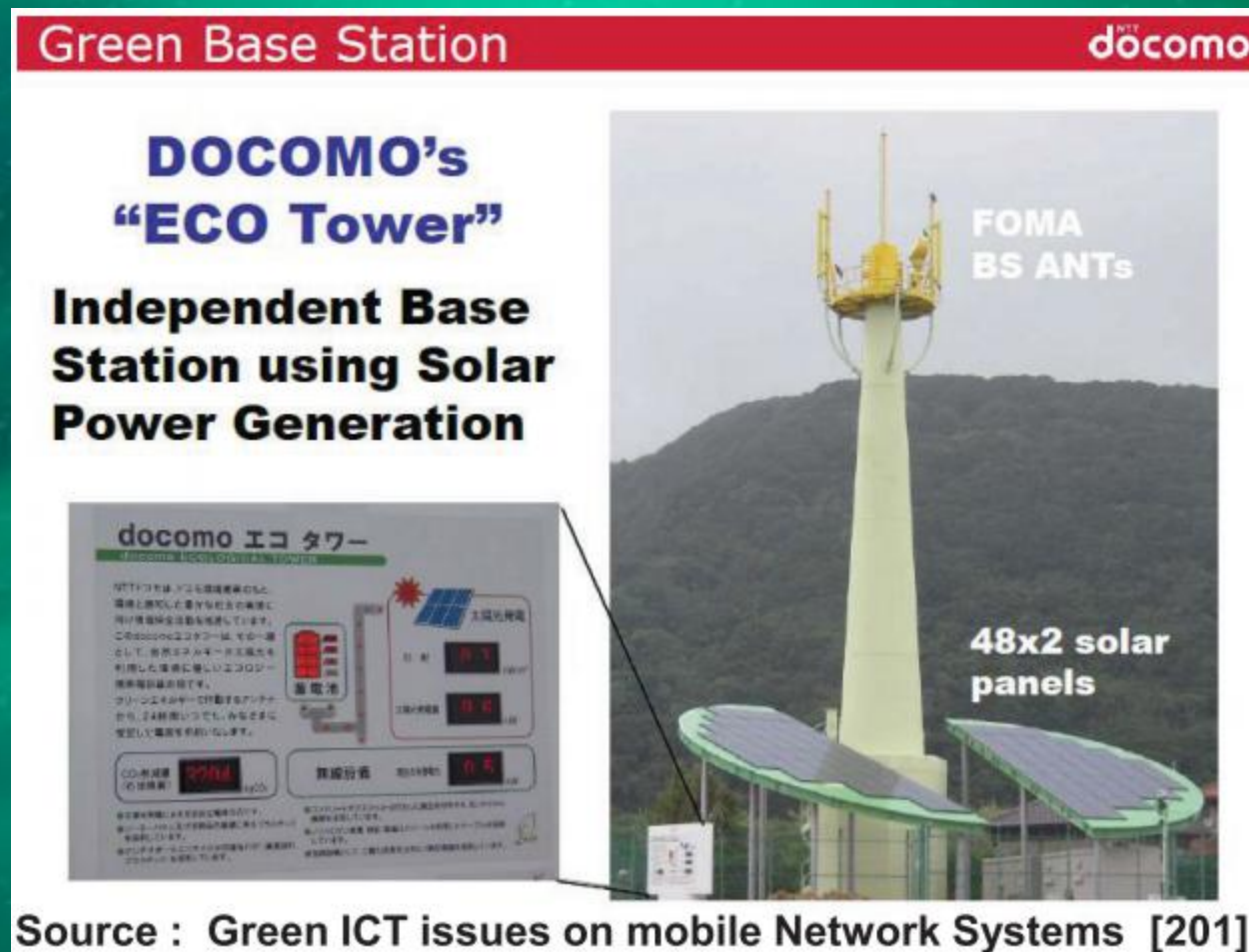


通信行业正在经历前所未有的增长，无数的智能设备和不断增长的宽带需求。这使得无线网络对QoS，QoE，能量效率和容量要求的压力越来越大。因此，网络参数的自组织和自优化被确定为5G无线演进的关键因素。SON通过自配置，自优化和自愈，为无线网络提供自主功能。这通过减少人为干预来改善用户体验和网络自动化。配置在任何网络节点的部署，扩展，升级，更改和故障期间都是至关重要的。自身配置取代了传统的手动配置过程。网络使用定期驱动测试和日志报告分析进行优化。然而，未来密集网络需要持续自我优化以控制干扰和提高容量。自愈包括远程检测，诊断和恢复操作，以减轻由任何故障引起的网络损伤。上图列出了自我配置，自我优化和自我修复的重要部分。

可持续 5G

BS在无线网络中消耗大部分能量。目前提出了在蜂窝网络中使用睡眠模式技术的能量有效BS的综合评述。虽然，以前关于能源效率的大部分工作都与传统无线网络有关，但类似的概念也需要扩展到5G网络。由于5G尚未部署，因此可以将可持续性纳入规则。

通过分析评估网络能耗，提出基于流量变化的BS部署方案。对于涉及许多小区的多样且动态的5G无线系统，有效的拓扑管理变得至关重要。集中式方案需要由中央控制器收集整个网络的信息。随机部署的最小能量可以通过分布式协议实现，具有动态的，可重新配置的链路。目前还提出了一种基于自适应传输的拓扑管理方案。所提出的eNB（基站）是自驱动的，并且基于本地业务变化进行决策，而无需任何负载信息交换。这种自组织系统观察到良好的QoS和大量的功率节省。云启用的小型蜂窝提出了一种新的云感知功率控制算法。硬件消耗的能量占总能耗的较大部分。图示出了Docomo Eco塔 - 太阳能供电的BS。混合系统利用在BS，特别是在偏远地区结合可再生能源的优势。我们认为，可再生能源的能源收集对5G网络中的绿色革命有很大的作用，因此，有组织的调查将大大节省能源。



可持续5G

未来5G推出的成功不仅取决于复杂的架构，而且还取决于网络以可扩展和高效的方式执行复杂操作的能力。作者相信基于网络操作的能量需求的可持续性分析，基于传统网络中天线辐射的能量进行分析。创新的协议，服务和控制，以减少和监控第三方能量浪费提高网络效率。绿色能力，如空闲逻辑，性能扩展和智能睡眠是能源感知设备平台发展的关键因素。通过最小化消耗率，可以显着减少用于分组传输的能量。能量消耗取决于诸如传输功率，传输时间，信道条件，编码和调制等因素。在分析未来5G网络中的性能与效率权衡时，还应考虑其他因素，如错误检测概率，噪声，干扰，工作点和频谱效率。目前提出了一种通过新型带宽分配算法降低能耗的方案。我们给出了称为消耗因子(CF)的品质因数，用于评估通信链路的功率效率。它被定义为数据速率与功耗的最大比率。在mm波信道中，如果信号没有严重衰减，CF可以为更高的带宽提供更好的结果。将智能路由和广播算法并入定向天线模型应该降低新兴5G网络中的成本和冗余。使用可控切换波束天线的各种链路成本算法的分析显示没有性能下降，这提供了对智能天线的算法设计的了解。用于定向天线的新型广播算法导致更低的成本，冗余和能量消耗。在常规环境中应用于定向天线的概念也可以扩展到5G。

可持续5G

直到最近，在某些类型的机房或机柜中，BBU几乎总是位于塔底附近的现场。网络运营商不得不租用空间，为每个BBU连接电源并冷却内部设备。加起来，无线网络的总体拥有成本中大约三分之二是基站供电和冷却等运营成本。除了节约硬件成本，C-RAN模式能够在电力、冷却和场地租赁费用方面显著节约成本。亚洲是C-RAN最先进行商用部署的地区，运营商们已经看到运营支出下降了30%至50%。C-RAN也使运营商们能够利用LTE-Advanced (LTE-A) 的某些有意思的隐藏功能，能够在不花费更多成本的前提下增加容量。



问题与挑战

超高数据速率，极低的延迟，任何时间的覆盖，巨大的节能 - 5G做出的承诺大多与他们各自的挑战相关联。我们提到5G无线下面提出的关键研究问题：

1)mm波频谱的介绍：5G预期引入mm波频谱(3-300GHz)。与当前的“海滨光谱”相比，毫米波的传播特性对于无线通信有点不利。然而，凭借巨大的带宽来满足压倒性的容量需求，它提供了一个非常引人注目的长期解决方案。因此，第一个挑战是分析毫米波，如大气吸收，衍射，传播，多普勒，散射，折射，反射，多径和衰减背后的物理学。

2)流行频道模型的不可用性：5G毫米波移动通信的发展需要对无线电信道的基本理解。研究人员正在研究室外，室内和固定毫米波通信的信道模型。仍然需要深入研究室外环境中的毫米波信道，以感知路径损耗，角扩展，延迟扩展，NLOS波束成形和阻塞问题的影响。对信道模型的深入分析为空中接口和多址接入的新方法奠定了基础。

3)场地特定传播：mm波传播严重依赖于环境条件，接收机和发射机位置。因此，场地特定单元设计可能是5G部署的关键特征。由于这个问题在传统蜂窝系统中没有多少研究，它需要进一步研究。

4)天线阵列设计：mm波频率较小的波长，允许在相对小的物理表面上将数百个天线元件放置在阵列中。大型天线阵列能够引导光束能量并且相干地收集它。因此，正在进行的研究的焦点之一是定向窄波束通信。它改变了“蜂窝”概念的整个概念。对于BS和移动设备的架构设计，用于获得期望的方向性存在大量的研究挑战。

问题与挑战

5)波束成形和波束训练：通过控制波束成形权重形成定向波束，这取决于波束成形架构。设计实时基带调制解调器，毫米波RF电路和相关软件以促进波束成形技术是有趣的研究领域。需要适当的波束选择以确保所选波束的正确对准。设计和分析波束成形(BF)训练协议的性能能力将是有趣的。此外，隐藏终端问题，邻居位置检测问题是定向传输固有的。这些增强的并发症需要解决。

6)大规模MIMO：另一个严重的挑战是实现大规模MIMO的愿景。它需要一个完全不同的BS结构与无数的微小的天线，由低功率放大器驱动。为5G实现采用有效的大规模MIMO算法可能代表未来通信的重大飞跃。在理论研究，模拟和试验台实验中的进一步研究是至关重要的。

7)新颖复用：期望的空间波束图案可以容易地保证空分多址(SDMA)。SDMA的优点，如减少干扰和多路径干扰减轻对于小型小区部署和NLOS至关重要。不仅在SDMA中，而且在SCMA，IDMA，FBMC和GFDM中的进一步研究对于在未来的5G网络中实现低延迟和高性能是必要的。

8)非正交性：异质连接，密度和新型应用(M2M，IoT，IoV，FinTech，健康监测，智能电网等)将使同步和正交性的刚性范例成为未来移动场景的巨大挑战。非正交和异步域的研究工作将有助于实现5G网络的低延迟要求。

问题与挑战

- 9)网络密度：小蜂窝(异构)架构是5G的下划线特征。因此，BS密度预期非常高。了解快速干扰协调和消除，SDN，认知无线网络和自组织网络(SON)实现密集的网络管理。虽然这些是5G通信的有前途的技术，但是它们针对5G情景的部署还有待探索。
- 11)C-RAN和H-CRAN：C-RAN为密集的5G部署提供了具有成本效益和能量效率的解决方案。解释C-RAN对5G的贡献的工作非常少。此外，许多研究人员正在致力于异构网络和C-RAN的组合，称为H-RAN。设计包含C-RAN和H-CRAN的优点的5G网络更具挑战性。
- 12)低延迟和QoE：1 ms的往返延迟被识别为5G的要求。然而，很少有工作来解释实现这一严格要求的方法。低延迟对于实现高QoE也至关重要。QoE的研究由于其主观性质而呈现出一些研究挑战。
- 13)能源效率：成本和能源消耗是5G的主要考虑因素。代替高BS密度和增加的带宽，需要考虑功率和通信开销。尽管在能源效率方面进行了各种各样的工作，但仍然提供了巨大的即兴创作空间，特别是对于新颖的5G概念。C-RAN和能量效率技术可以帮助提高性能。能源认知现实5G模型的研究有望在节能方面取得成功。结合绿色BS，由可再生能源供电应该是有益的。但这涉及进一步的新的研究挑战。
- 14)5G应用：5G承诺了大量的新应用，拥有新兴物联网的最终愿景，包含数十亿的连接设备。这导致了连接和配置的独特挑战。以前的作品主要考虑每个应用程序单独。因此，鼓励研究人员进一步探索主要5G应用的各种组合。
- 15)标准化：多个论坛和项目一直致力于为5G视觉提供结构。5G标准化尚未正式开始。但是，商定了暂定的时间表。

微信扫描以下二维码，免费加入【5G俱乐部】，
还赠送整套：5G前沿、NB-IoT、4G+（VoLTE）
资料。

