

2024 环球网校一级建造师《通信与广电工程管理与实务》考点精讲-第 5 讲

第 1 章 通信与广电工程专业技术

1.4 蜂窝移动通信系统

章节目录	2023	2022	2021	2020	2019	2018
移动通信关键技术和系统发展		2	1	1	1	2
第四代移动通信网络		1	1	1	3	
第五代移动通信网络				1	1	

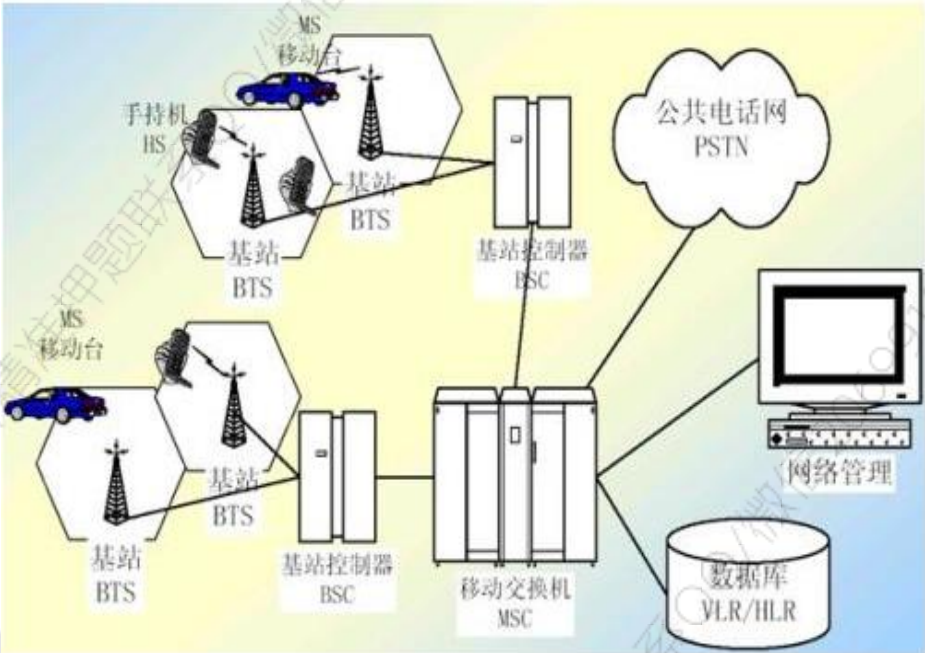
1.4.1 移动通信关键技术和系统发展

1. 移动通信的特点和影响效应

1) 移动通信的主要特点

移动通信是指通信双方至少有一方在移动中进行信息交换的通信方式。移动通信是**有线通信网**的**延伸**，它由无线和有线两部分组成。

无线部分提供**用户终端的接入**，利用有限的频率资源在空中可靠地传送语音和数据；有线部分完成网络功能，包括**交换、用户管理、漫游、鉴权**等（口诀：管鉴交游）



(1) 无线电波传播复杂

接收到的信号是由**多条不同路径的信号叠加**而成的。

(2) 移动台在强干扰条件下工作（口诀：互外同邻）

除了外部干扰，移动台**互调干扰、邻道干扰和同频干扰**，其中，**同频干扰是特有的。**（2019.4）（2021.4）

(3) 容量有限

移动通信可以利用的频谱资源非常有限，而需求却与日俱增，所以必须做好规划、合理分配频率。

(4) 系统复杂：移动通信要具有**网络搜索、位置登记、越区切换、自动漫游**等功能。（口诀：满搜越位）

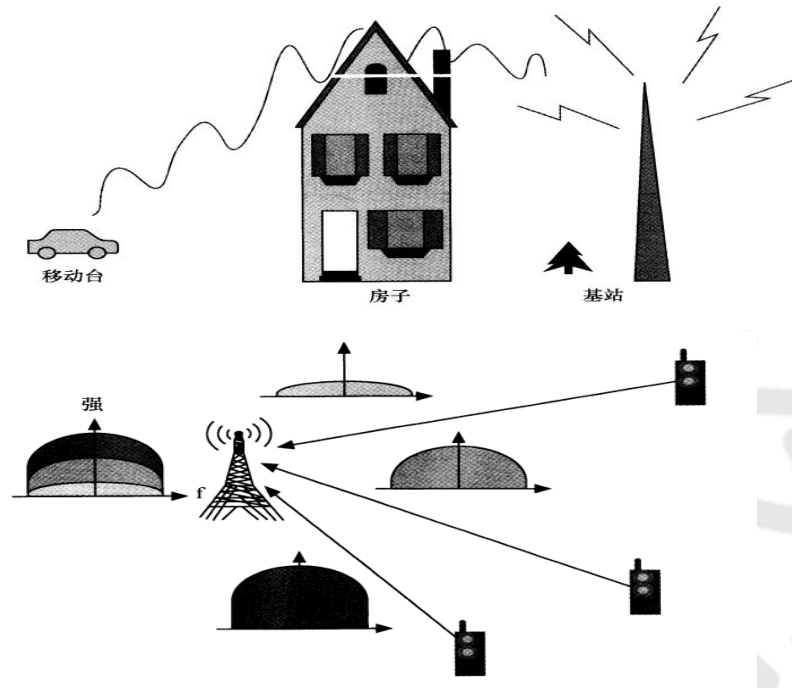
2) 影响移动通信的主要效应（**口诀：普径远影**）

(1) 阴影效应

大型建筑物和其他物体的阻挡，在电磁波传播的接收区域中产生传播半盲区。

(2) 远近效应

移动台离基站的距离不等，那么到达基站时信号的强弱将不同，离基站近的信号强，离基站远的信号弱。出现了以强压弱的现象，并使弱者产生掉话现象。通常称这一现象为远近效应。

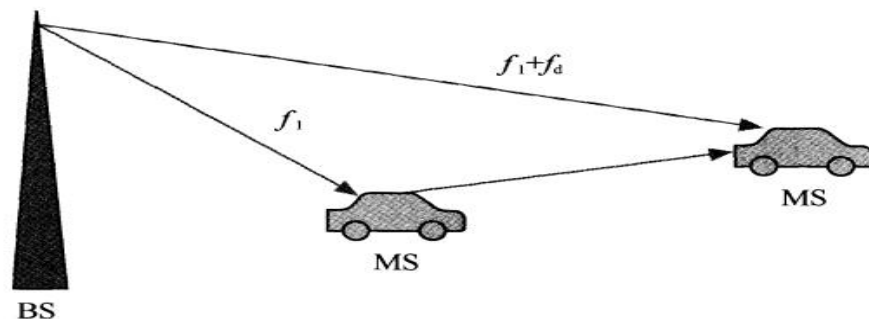
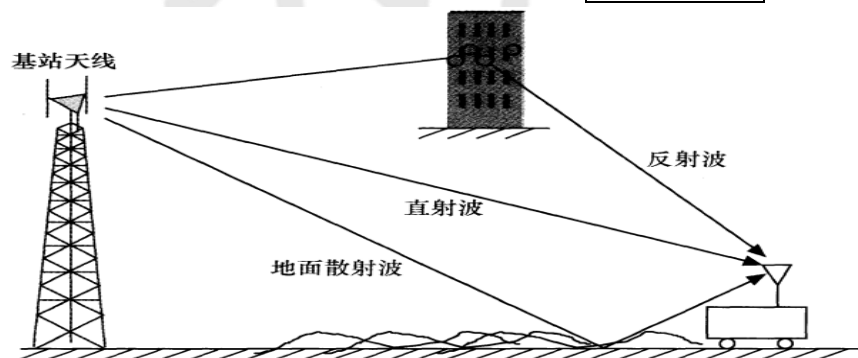


(3) 多径效应

移动台接收到的信号有多条不同路径信号，而且它们到达时的信号强度、到达时间及到达时的载波相位都是不一样的。所接收到的信号是上述各路径信号的矢量和，也就是说各路径之间可能产生自干扰。这类自干扰称为多径干扰或多径效应。

(4) 多普勒效应

移动台高速移动时传播频率的扩散而引起的，其扩散程度与用户运动速度成正比。



2. 移动通信的抗干扰与抗衰落技术

1) 分集技术

- 一是分散传输，接收端能获得多个独立的、携带同一信息的衰落信号；
- 二是集中处理，接收机把收到的多个独立的衰落信号进行合并，以降低衰落的影响。

2) 均衡技术

均衡是通过**均衡滤波器**的作用，**增强小振幅**的频率分量并**衰减大振幅的频率分量**，从而获取平坦的接收频率响应和线性相位，以消除频率选择性失真。

3) 扩频技术

扩频系统将发送的信息扩展到一个很宽的频带上，以很宽的信道传送信息：在接收端通过相关检测从很宽的频带信号恢复出基带信号。

扩频通信系统有**直接扩频和跳频**两种工作方式。

扩频系统允许**很多用户信号在同一个频道传输**，这样频率利用率的问题就可以解决。扩频系统的特点有：**抗干扰和抗衰落、抗阻塞能力强；采用码分多址通信时，频谱利用率高；信号功率谱密度很低，有利于信号的隐蔽**。

3. 数字移动通信的关键技术

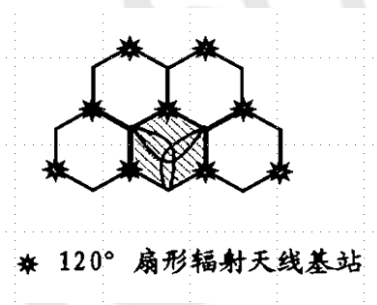
1) 无线组网技术

大区制工作方式：服务半径达到**几十公里**，容量有限，通常只有几百个用户。

小区制工作方式：服务半径在**1~10km**左右，在每个小区设置一个基站为本小区范围内的用户服务。

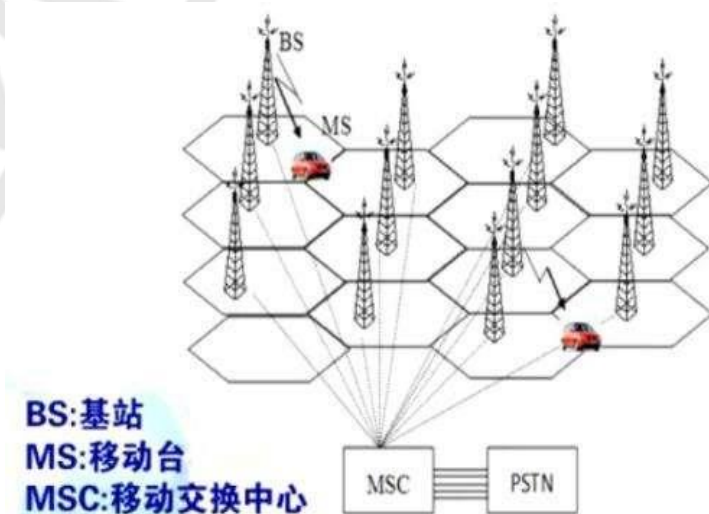
小区采用**正六边形**形状时，覆盖整个服务区域所需的基站数量**最少、最经济**，形象地称为蜂窝网。

基站设置在每个小区六边形的3个顶点上，采用**3幅120度扇形辐射的定向天线**，分别覆盖3个相邻小区的1/3区域。



在小区制中，可以应用**频率再用**技术，即在**相邻小区中使用不同的载波频率**，而在**非相邻且距离较远的小区中使用相同的载波频率**。由于相距较远，基站功率有限，使用相同的频率不会造成明显的同频干扰，这样就提高了频带利用率。

理论上，**小区越小，小区数目越多**，整个通信系统的**容量就越大**。

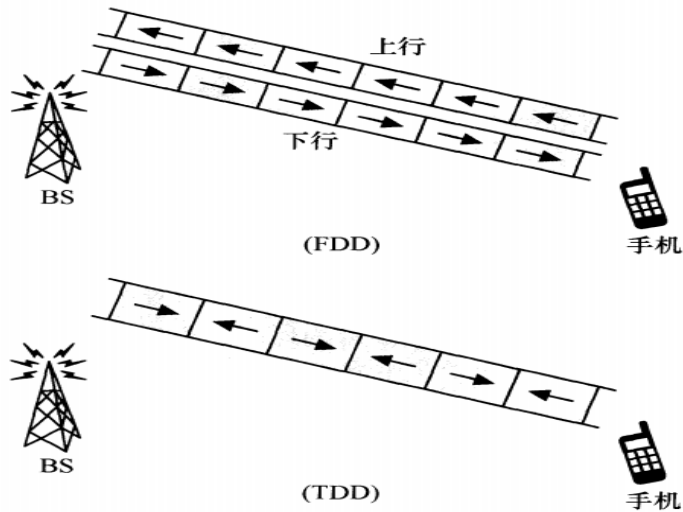


2) 双工技术

根据发射和接收**是否同时**，分为**单工、半双工和全双工**。

(1) FDD

FDD 采用两个独立的频率信道分别进行向下传送和向上传送信息，且两个相互通信的电台之间收发信频率正好对应相反。为了防止同一电台的发射信号干扰接收机工作，在两个双向信道之间存在一个保护频段。

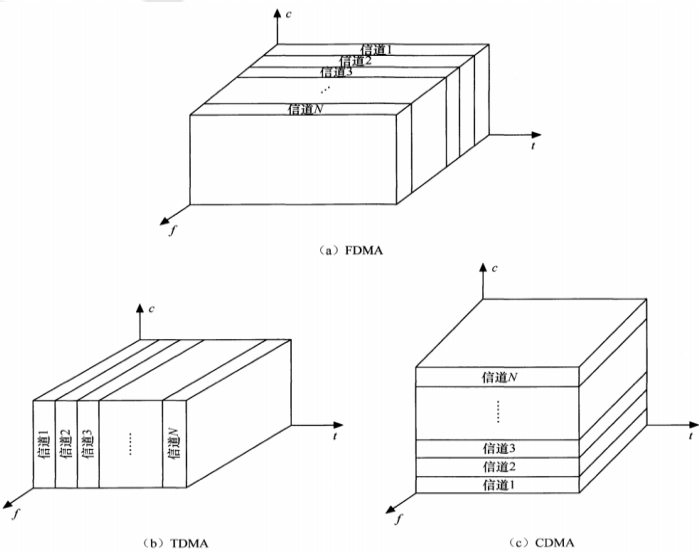


(2) TDD

TDD 的发射和接收信号可以在同一频率信道的不同时间中进行，彼此之间采用一定的保证时间予以分离。它不需要分配对称频段的频率，并可在每信道内灵活控制、改变发送和接收时段的长短比例。在进行不对称的数据传输时，可充分利用有限的无线电频谱资源。

3) 多址技术

分类	区分信道	特点
FDMA	载波频率	1) 信道 <u>每次只能传送一个用户信号</u> ，每信道占用一个载频； 2) 与模拟系统兼容，对 <u>信号功率控制要求不严格</u> ； 3) 需要周密的频率规划，基站需要多部不同载波频率发射机同时工作，设备多且 <u>容易产生信道间的互调干扰</u> ； 4) <u>越区切换</u> 较为复杂和困难。



分类	区分信道方式	特点
TDMA	存在的时间	1) 每载频分为多个时隙通路; 2) 每个用户信号组成突发脉冲序列在规定的时隙内发射 (移动台信号功率的 <u>发射是不连续的</u>); 3) 数字传输带来的时间色散, 使 <u>时延扩展量加大</u> , 必须采用 <u>自适应均衡</u> 技术; 4) 为了把一个时隙和另一个时隙分开, <u>保护时间</u> 也是必需的。

分类	区分信道方式	特点
CDMA	正交性的码序列	1) 多个 CDMA 信号是 <u>互相重叠的</u> ; 2) 接收机的相关器件可以在多个 CDMA 信号选出使用预定码序列的信号, 其他使用不同码序列的信号因为和接收机本地产生的 <u>码序列不同而不能被解调</u> ; 3) 每个码序列标志传输一路数字信号; 4) 每个用户共享时间和频率, 是多址干扰受限系统, 需要 <u>严格的功率控制和定时同步</u> ; 5) 可以实现软容量、软切换, 系统容量大; 6) 抗衰落、抗多径能力强。

4. 移动通信系统的发展

2) 第二代移动通信系统 (2G)

(1) 网络构成

2G 移动通信网络主要由移动交换子系统 (NSS)、基站子系统 (BSS) 和移动台 (MS)、操作维护子系统 (OSS) 四大部分组成。

GSM 通信系统采用900MHz 和 1800MHz 两个频段。相邻两频道间隔为200kHz。每个频道采用时分多址接入 (TDMA) 方式, 分为8 个时隙, 即 8 个信道 (全速率)。每个用户使用一个频道中的一个时隙传送信息。

分类	上行频带	下行频带	双工间隔	工作带宽
900M	890~915M	935~960M	45M	25M
1800M	1710~1785M	1805~1880M	95M	75M
800	825~835M	870~880M	45	10

(2020-3)

CDMA 系统的优点如下

- ①系统容量大
- ②系统通信质量更佳
- ③频率规划灵活
- ④频带利用率高

3) 第三代移动通信系统 (3G)

3G 主要有 **WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA** 三种制式，TD-SCDMA 是 **中国标准**。TD-SCDMA 标准主要侧重于 **无线接入网和终端部分**，其核心网与 WCDMA 基本一致。

(1) 基本特征

三种环境下能提供的传输速率分别为：行车或快速移动环境下最高 **144kbit/s**，室外或步行环境下最高 **384kbit/s**，室内环境下 **2Mbit/s**。

(2) 网络构成

3G 移动通信网络主要由 **用户设备 (UE)、无线接入网 (UTRAN) 和核心网 (CORE Network)** 三部分组成。

(3) 工作模式

两种工作模式，**频分数字双工 (FDD) 和时分数字双工 (TDD)**

(1) FDD 是上行和下行的传输分别使用 **分离的两个对称** 频带的双工模式，需要成对的频率，通过频率区分上、下行。

(2) TDD 是上行和下行的传输 **使用同一频带的双工模式**，根据时间来区分上、下行并进行切换，特别适用于非对称的分组交换数据业务 **(互联网)**

制式	扩频码速率	载波带宽	基站间同步
WCDMA	3.84Mchip/s	5MHz	可选、非必需
CDMA2000	1.2288Mchip/s	1.25MHz	必需的
TD-SCDMA	1.28Mchip/s	1.6MHz	必需的

(2020、3、2017-15)

4) 第四代移动通信系统 (4G)

4G 以 **正交频分复用 (OFDM) 和多输入多输出 (MIMO)** 为核心，大大增强了空中接口技术。主要特点是在 20MHz 频谱带宽下能够提供 **下行 100Mbit/s、上行 50Mbit/s** 的峰值速率，提高了小区容量、降低了网络延迟。

LTE 定义了时分双工 (TD-LTE 或 LTE-TDD) 和频分双工 (LTE-FDD) 两种方式，二者的关键技术基本一致，主要区别在 **于无线接入部分的空中接口标准不同。**

5) 第五代移动通信系统 (5G)

四个技术场景：**连续广域覆盖、热点高容量、低功耗大连接和低时延高可靠。** (口诀：连广热高、低功耗可靠)

技术创新主要来源于 **无线技术和网络技术** 两个方面。

无线技术领域的创新包括 **大规模天线阵列、超密集组网、新型多址和全频谱接入** 等；(口诀：大规超密、新型全谱)

网络技术领域的创新包括 **基于软件定义网络 (SDN) 和网络功能虚拟化 (NFV)** 的新型网络架构。

6) 第六代移动通信系统 (6G) 前瞻

(1) 6G 的七大目标

6G 系统将推动实现七大目标，包括：**包容性、泛在连接、可持续性、创新性、安全性、隐私性和弹性、标准化、互操作和互通性** 等。

(3) 6G 的六个典型场景

6G 在 5G 场景基础上增强和扩展，包含 **沉浸式通信、超大规模连接、极高可靠低时延、人工智能与通信的融合、感知与通信的融合、泛在连接** 等 6G 六大场景。(口诀：人工沉浸感知，泛在可靠超规低延)

1.4.2 第四代移动通信网络

1.4G 的主要特征

1) 具有更高的带宽和容量

支持多种带宽分配：**1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、15MHz 和 20MHz** 等。

- 2) 具有更高的数据传输速率
- 3) 具有更大的覆盖范围
半径为 **5km** 以内的小区最佳;
5~30km 范围, 可接受性能下降;
最远支持 **100km** 范围的小区。
- 4) 具有更稳定的移动性支持
低于 15km/h 的环境, **保持平稳**, 不受速度影响;
15~120km/h 的中高速度能**保持高性能**;
120~350km/h, 甚至 500km/h 的超高速**保持连通**
- 5) 具有更低的传输时延
用户面时延(单向)小于 **5ms**;
控制面时延小于 **100ms**。
- 6) 具有更低的运营成本
支持 **IPv6 和全 IP** 网络; 所需设备更加轻便, **建网成本大幅度降低。**
- 7) 传输网络扁平化

2. 4G 的网络结构

- (1) 4G E-UTRAN 由多个 eNodeB 组成, **不再具有 3G 中的 RNC 网元**, 4G 接入网取消了 RNC 节点。

(2) 4G EPC 由 **MME、SGW、PGW、PCRF (2019-22、2020-4)** 组成, EPC 和 E-UTRAN 之间使用 S1 接口。MME 负责处理与 UE 相关的信令消息, SGW 是一个终止于 E-UTRAN 接口的网关, PGW 是连接外部数据网的网关, PCRF 是策略计费控制单元。

4G EPC 实现了**控制面和用户面**分离, MME 实现控制面功能, SGW 实现用户面功能。

3. 4G 的关键技术(口诀: 正多智软 p) **(2016-22、2021-5)**

- 1) 正交频分复用 (OFDM)
- 2) 多输入多输出 (MIMO)
- 3) 智能天线
- 4) 软件无线电
- 5) 基于 IP 的核心网

- 1) 正交频分复用 (OFDM)

本原理是将信号分割为 N 个子信号, 然后用 N 个子信号分别调制 N 个相互正交的子载波。

- (1) 频谱效率高 (2022-23)

- (2) 带宽扩展性强: 信号带宽取决于**使用的子载波的数量**

- (3) **抗多径衰落**

- (4) **频谱资源灵活分配**

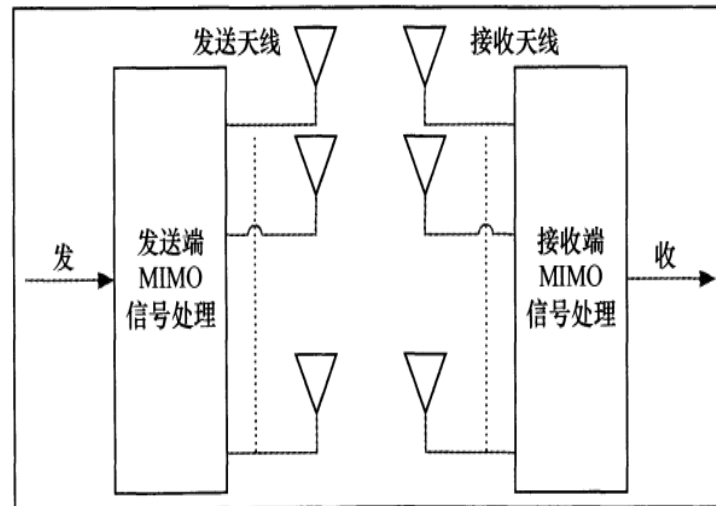
- (5) **实现 MIMO 技术较简单**

- 2) 多输入多输出 (MIMO)

MIMO 是指在发送端和接收端分别使用多根发送天线和接收天线, 使信号通过发送端与接收端的多根天线传送和接收, 从而改善通信质量。

MIMO 技术大致可以分为**空间分集和空间复用**两类

- (1) 提高信道的容量
- (2) 提高信道的可靠性



3) 智能天线

- (1) 抑制干扰
- (2) 节省发送功率
- (3) 抑制延迟扩展和多径衰落

4) 软件无线电

核心思想是在尽可能靠近天线的地方使用**宽带 A/D 和 D/A 变换器**，并尽可能多地用软件来定义无线功能，各种功能和信号处理都尽可能用软件实现。

5) 基于 IP 的核心网

1.4.3 第五代移动通信网络

1. 5G 的业务需求

- 1) 云业务的需求
- 2) 虚拟现实的需求
- 3) 高清视频的需求
- 4) 物联网的需求

2. 5G 的技术需求 (略)

3. 中国的 5G

1) 关键指标 (2019.6)

设备密集度达到 **600 万个/km²**;

流量密度在 **20Tbs/km²** 以上;

移动性达到 **500km/h**;

用户体验达到 Gbit/s 量级

端到端时延降低到 4G 的 1/10 或 1/5, 达到**毫秒级**水平;

2) 主要场景

连续广域覆盖场景面向大范围覆盖及移动环境下用户的基本业务需求;

热点高容量场景主要面向热点区域的超高速率、超高流量密度的业务需求;

低功耗大连接场景面向低成本、低功耗、海量连接的业务需求; (2020、5)

低时延高可靠场景主要满足车联网、工业控制等对时延和可靠性要求高的业务需求。

3) 核心技术

大规模天线阵列、超密集组网、全频谱接入、新型多址技术以及新型网络架构;

采用 SDN、NFV 和云计算等技术实现更灵活、智能、高效和开放的 5G 新型网络。

4. 5G 的技术发展

1) 网络架构的发展

(1) 部署场景

①室外借助**分布式天线（DAS）和大规模 MIMO**配备基站，天线元件分散放置在小区，且通过光纤与基站连接。部署**虚拟蜂窝**作为宏蜂窝的补充，提升了室外覆盖率。

②室内用户只需要与安装在室外建筑的大型天线阵列的室内 AP 进行通信，这样就可以利用多种适用于短距离通信的技术实现高速率传输，可以解决频谱稀缺问题。

(2) 接入网

①异构多接入技术的融合。

②基站资源的虚拟化。

③内容边缘缓存和投递，将内容存储和分发能力下沉到接入网，基于对用户的感知，按需推送内容，提升用户业务体验。

④传输路径优化，数据平面扁平化。

(3) 核心网

①控制与转发分离。

②物理硬件与逻辑分离。

③对业务的感知，支持动态的数据传输策略。

④数据平面扁平化。

2) 关键技术的发展

(1) 超密集异构网络

在 5G 的网络架构中，将会采用“三朵云”的新兴网络架构，即**接入云、控制云和转发云**。SDN 和 NFV 作为其中的重要技术基础，可以支持多种无线接入方式及集中统一控制管理与大容量业务数据传输功能。其中，**SDN**是实现控制云与转发云连接的**关键**，以灵活、高效、开放等为原则来实现 5G 网络在新构架下的转发分离化、功能模块化、网络虚拟化和部署分布化特性。

(2) D2D 通信

是一种短距离通信，能够实现数据在终端间的直接传输。与异构网络有关的内容至少包括了小小区（SC）的部署和 D2D 通信这两方面的技术问题。

(3) 大规模 MIMO 系统

大规模 MIMO 可以在不增加带宽或总发送功率耗损的情况下大幅增加系统的吞吐量及传送距离。

(4) 绿色通信

智能化的引入，能够在保障用户体验的前提下为异构网络的部署提供节能的解决方案。

绿色通信体现在三方面：

降低单个基站的能耗；

使网络可以根据服务区域内业务量的变化，动态地进行资源调度及功率控制；

优化网络部署及网络拓扑结构。

(5) 新空口

5G 接入网构建以**用户为中心**的接入网络，主要特点如下：

①UE 与小区解耦。

②精细化的 QoS 管理。

③业务下沉。

④轻切换。通过 **MAC** 实时调度实现空口链路的无缝切换。

(6) 网络动态切片

网络切片与网络虚拟化 NFV 密切相关，主要有**切片管理和切片选择**两大功能。