移动通信：通信双方或至少一方是处于移动中进行信息交换的通信方式

核心概念是利用**电磁波**取代了传统电缆作为信息传输的媒介，大大拓展了通信产业的应用范围

移动通信系统是**有线、无线相结合**的通信方式

**移动通信网络**包含三部分：**接入网、承载网、核心网**

移动通信和**卫星通信**、**光纤通信**一起被列为现代通信领域的三大新兴的通信技术手段

**典型无线系统的频率**

FM无线电-87-108MHz 广播电视—VHF (48-223MHz)UHF (470-806MHz)

GSM移动电话--900MHz/1.8GHz GPS—1.5GHz/1.2GHz

WiFi蓝牙微波—2.4GHz 车载防撞雷达—25GHz、77GHz

射电天文望远镜—1400-1427MHz

典型无线通信系统及其代表性技术——无线通信发展史

1G——语音——模拟蜂窝——**2.4kbps**

**AMPS**（1983）—美国第一套蜂窝电话系统—FDMA—900M—30k—2.4kbps

2G——语音文本—数字蜂窝——**9.6kbps**

**GSM**——TDMA——900M——200k——9.6kbps

CDMA(IS-95)——CDMA——800M——1.25M——14.4kbps

PDC——TDMA——800M

(2.5G) GPRS——无线分组交换——首次支持互联网服务**——**171.2kbps

(2.75G) EDGE——数据增强——384kbps

3G——多媒体服务——**384kbps**

TD-SCDMA——CDMA——1.25M——2k-2Mbps

CDMA2000、WCDMA——CDMA——1.25M/5M——384kbps

过渡：HSDPA（下行增强）、HSUPA（上行增强）

4G——移动互联网——**100-200Mbps（下行）75Mbps（上行）**

5G**——**数据、连接、用户体验

**CDMA**技术是第二代移动通信系统的物理层基础，是**3G的标志**

**5G典型应用场景**

增强移动宽带——峰值速率达到4G速率的100-1000倍

超可靠低延迟通信（3G响应为500ms，4G为50ms，5G要求0.5ms）

海量机器通信——链接密度提升10-100倍，达到每平方公里百万个

无线通信系统实例

广播系统——单工——范围广——数据量大（视频）/小（语音） <几百M

寻呼系统——单工——范围广——数据速率低（文本、6.4kbps）——<1GHz

卫星通信—— \ ——范围极广—时延长———————————— 1~300G

移动蜂窝——双工——范围较大——数据量大——移动性高——< 2G

无绳电话——双工——范围小（住宅范围）——数据量小—— 1~3G

典型数据速率

• 无线传感器网络: < 1kbps; 中央汇聚节点: ~10Mbps

• 语音通信: 5-64kbps（依赖于语音编码方式）

• 计算机外设之间的通信: 1Mbps

• 无线局域网: 宽带互联网接入, ~ 1-100 Mbps

• 无线个域网: >100 Mbps

覆盖范围/用户数

•无线体域网: 1米；

•无线个域网: 不超过10米，室内场景；

•无线局域网: 不超过100米，大概在10用户

•蜂窝移动通信系统: 微蜂窝（500米），宏蜂窝（10-30千米）；

•卫星通信系统: 覆盖整个国家，甚至大洲

大区制的存在问题：1.大区制移动通信网无法适应飞速发展的通信需求（**频谱利用率低**）2.覆盖范围有限：受**地球曲度**限制，同时受限于移动**终端的发送功率**，上行信号传输距离也有限

蜂窝的由来：对于同样大小的服务区域，采用正六边形构成小区所需的小区数最少，无重叠区（理论上），故所需的频率组数也最少，最经济

中心激励与顶点激励：基站位于小区中心，有时会有辐射阴影；在顶点上设置基站，并采用三个互成120°的定向天线，以避免辐射阴影

形成簇的条件——**小区数N必须满足的公式**

****如1，3，4，7，12

1.相邻簇，同频小区距离相等且最大2.能彼此邻接且无空隙覆盖整个面积

系统容量 = 系统可以容纳的用户数—— M为系统信道复用次数，S为系统可用的双向信道数，k为每个小区分配的信道数

**切换策略**

参数：MS最小可用信号功率，

切换启动强度——可调参数

 ▲过大，则可能来不及切换则通信中断▲过小，则可能切换过于频繁

设计思路：把握好切换所需用时与距离之间的关系，接收信号强度是距离的函数。中断临界点是经过切换用时后，正好信号强度降落到

同频干扰：同频复用比 ，D为同频小区间距，R为小区半径

信干比：

其中i0为第一层同频干扰小区，典型值取(全向天线取6，120°取6/3)

**改善系统容量**：**核心为信干比公式**——系统容量主要受同频干扰影响

1.小区分裂：保证Q不变（则信干比不变），增加簇的数量（小区等比缩小）

代价：更多的基站，更多的切换操作…

2.扇区划分：保证小区大小不变，提高信干比从而提高复用因子1/N

代价：增加每个基站上的天线数目，降低了中继效率（将大的信道池转换成了多个小组）

3.微小区：大功率中心基站由小区边缘的低功率发射器代替。由于发射功率降低，只覆盖单个区域，因此同频干扰也降低了很多，因此可以提高复用因子

代价：需要多个低功率发射器，且基站复杂度提高。

**中继与服务等级**

**中继**：大量用户共享相对少的信道时，中继系统为每个用户按需分配信道

**服务等级**（GOS）：中继系统**最忙碌时**，用户进入系统的能力。

用呼叫阻塞概率（LCC呼叫阻塞清除/不排队）或呼叫延迟一段时间的概率（LCD呼叫阻塞延迟/排队等待）描述

**话务量强度与呼损率（ErlangB公式）** 主要查表

**其中C是中继系统信道数，B是呼损率，A是话务总量**

等效天线：ERP——等效发射功率——将EIRP中的等效全向天线替换为半波偶极子天线  单位为dB

**天线增益**： 

**Friis公式——（自由空间理想情况）**

**对数形式（参考点，一般形式）：**

需满足**远场条件:** d>df ,D为天线最大尺寸（对角线）

**双线模型：**

**断点模型——自由空间传播+地面反射**

****

**绕射：**

**菲涅尔区：**直射路径与第n个菲涅尔区的绕射**路径的差值**为**n个半波长**

**第n个同心圆半径：**

**菲涅尔参数与绕射路程差：**

**则可得知n个菲涅尔区被遮挡：**

**对数阴影效应：**

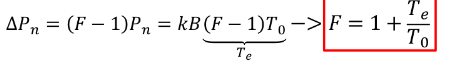
**中断率： **

**衰落余量：**

**噪声系数：**

**热噪声功率**：

**等效噪声温度**：



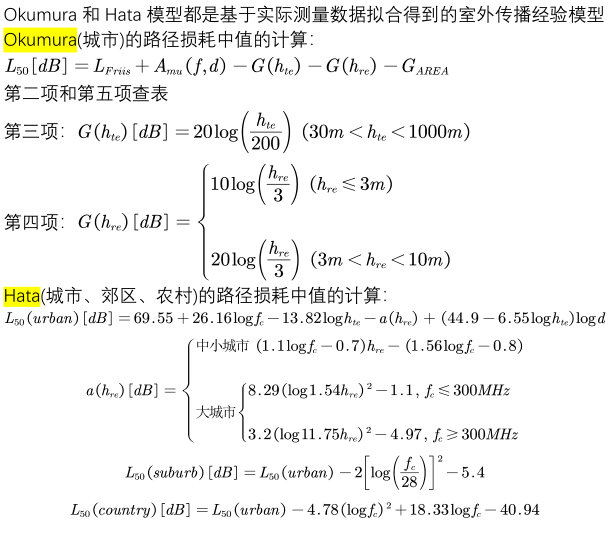
**输入端等效噪声功率Pn**:



**负性负载:**

**负性**元件组成的**天线**可以视为**单位增益0dB**

**级联噪声系数**：

****

相干带宽：时延拓展典型值：室内ns级，室外ms级 为平坦衰落，频选衰落

常见带宽：AMPS（30kHz），GSM（200kHz），WCDMA（5MHz），IEEE 802.11a（312.5kHz）

相干时间：，

室内外**典型相干时间**:≈fd的倒数，室内<10Hz;室外<300Hz

**瑞利信道：** 幅度瑞利功率指数

**统计特性：**

**中断率：**

**衰落余量小尺度**：

莱斯信道幅度相位接近直达

Nakagami分布：参数都可以通过**实测得到**,适用于**中心极限定理不适用的场合**

**m=1瑞利；K的莱斯；m=∞无衰落；m<1衰落超过瑞利**



**Clarke模型：均匀(功率相同,相位、入射角随机)**到达的到达角模型会导致极不均匀的**多普勒功率谱**密度

自相关函数:

**电平通过率**：

平均衰落时长：

多径信道宽带通信：

**WSS-US假设**：宽平稳不相关散射**:空间分集和时间分集的等效性**

脉冲成形：**升余弦滚降滤波器**,射频带宽翻倍,奈奎斯特滤波器

**高斯成形滤波器**,应用GMSK获得恒包络，功率效率高, GMSK适用于话音业务

星座图能量：波形能量 = 系数平方和 = 离原点距离的平方,比特能量要/比特

AWGN各调制方式误码率：，相干为Q非相干为exp







瑞利信道平坦衰落平均误码率：

相干：



非相干: 

莱斯信道平坦衰落平均误码率：非相干



频时选衰落信道均误码率

不可减少BER下限原因：1. 主要信号分量因多径删除而被消除；2非零的d值引起ISI 3.由于时延扩展，接收机的采样时刻发生改变

直接扩频差错概率：后者为误差本底



误差本底原因：1. 多址干扰2. 对于基站，接收到的所有干扰者的信号和目标用户的信号的功率相同；（这是通过移动端的功率控制来实现的）

跳频：其中M为跳频信道数，K为用户数，SNR无穷大,只考虑碰撞为误差本底



异步跳频：

分集：一种低成本、大幅度改进无线链路性能的技术；利用空间、时间、频率之间的**独立性**，补偿信道衰落的技术；**分集条件也可能** ，看题目吧

信道互相关系数 **分集增益**:等效成单集的SNR增益

空间分集：λ/4 – ρ=0.5；间隔超过λ/2时，可以认为接收信号完全不相关；

时间分集：不相关条件，静态信道中时间分集无效

频率分集：忽略移动性，J=1；

**交织**：可以在不附加任何开销的情况下，使数字通信系统获得时间分集。分散语音编码中的重要源比特，避免深度衰落或突发干扰

**选择分集**

**最大比率合并**

**最大比率合并**输出平均信噪比为等增益为

系统性能：最大比>等增益>选择

**RAKE接收机**：扩频码具有好的自相关特性->可以将超过1个码片时延的信息看作噪声；信号需要经历频率选择性衰落；RAKE接收机无法处理多用户干扰，造成CDMA系统的自干扰特性

**发射分集：STBC**：Alamouti方案 重复发射相同信息的正交编码，

均衡：

**迫零均衡器**在高SNR、静态信道中表现较好，深度衰落严重放大噪声；**MMSE均衡器**不要求消除所有ISI，因此频域输出并不完全平坦，对噪声放大要小于迫零算法是无线通信系统中常用的**线性均衡器；**常用的**非线性均衡器**是**判决反馈均衡（DFE）**，但DFE在低信噪比条件下，存在**误差传递**的问题，在深度衰落时，DFE的最小均方误差要小于线性均衡器**；最大似然序列检测**（MLSE）均衡的性能最优，但复杂度随着时延扩展呈指数增长，往往被用来作为**性能上界**

MIMO：一般指收发双方都有多个天线阵元时的系统

谱效率：,MIMO系统在高SNR条件下更有效

**MIMO接收机**：ZF接收,存在噪声放大,

其中M=r-t+1; LMMSE接收, LMMSE接收机不存在噪声放大的问题

**MIMO并行分解:** 发射端预编码+接收方接收成形—> t 路数据并行传输

矩阵的奇异值分解:1.由已知待分解矩阵H,求的奇异值（特征值的开方）,构成对角阵;2, 由奇异值求的**单位**特征向量，构成酉矩阵V;3, 由公式,再添加正交单位向量构成酉矩阵U

**注水算法:** 在空分复用的基础上，通过发射功率分配进一步提高信道容量

注水面,功率分配

若,则重新分配

OFDM：**模拟多载波调制**的局限性：发射机需要N个上变频器，接收机需要N个下变频器- 系统复杂度非常高，实现难度大

MCM：，OFDM：

**OFDM机制的优势**：1.子载频之间不需要保护间隔，能够充分利用频带。相比较单载波调制方法，频谱效率可以近似提升一倍；2.不同子载波上可以采用不同的调制方式，灵活性大。3.通过将高速数据流分成多个并行低速子数据流,增大了符号持续时间，抗ISI能力增强

**OFDM的数字实现**：任意循环矩阵可以被傅里叶变换矩阵对角化。

,其中X为IDFT（预编码），Y为DFT（接收成形），这样就只需要一个上/下变频器；

保护间隔-循环前缀：是将OFDM符号尾部的信号搬移到头部构成

**系统设计**：**相关带宽**—>N，确保子载波带宽**远小于(10倍关系)**相干带宽，消除码间串扰；**相关时间**—>TN，确保OFDM符号周期（N+CP）Ts**远小于(10倍关系)**相干时间，确保码元能正确接收；**循环前缀**—>CP,进一步消除码间串扰，由最大时延拓展决定，也就是CP个Ts等于最大时延拓展；**子载波个数N**—>取2的幂次，同时满足条件1、2的最大N值

系统评估：数据速率峰均功率比：最大为N，与N呈线性增长；频率偏移量,信干噪比：

其中

IEEE802.11: 占用了5GHz开放频段中的300MHz带宽；分成若干个**20MHz**(符号周期)的信道, 每个信道有N = 64个子载波，48个用于数据传输，12个信道置零，4个信道用于发送导频循环前缀长度CP = 16能够消除的最大RMS时延扩展0.8us，子载波带宽312.5kHz

交调（IM）频率发生在频率处

AMPS中,FDMA系统中可同时支持的信道数,系统带宽,保护带宽，信号带宽

**FDMA**: 窄带\频谱利用率低\开销少\交调失真\

**OFDMA**提高频谱利用率带来CP开销和可能的ICI

**TDMA**: 宽带\同步严格\系统开销(同步头|保护时隙等)大\发送不连续，可以节约能耗

**FHMA(跳频):** 恒包络调制(FSK)\ 结合纠错编码/交织\不受多用户功率影响

**CDMA:** 抗多径、抗多用户干扰**\**远近效应需功率控制\采用同信道小区

**上行多用户干扰**;DS-CDMA由于远近效应总是存在**MUI**;FDMA-无;TDMA-用户精确定时后,可以去除。BS可以通过串行多用户检测去除干扰;**下行链路:**理想正交FDMA/TDMA/CDMA,**MUI=0**

**分组无线电:** 分组无线电接入中，用户采用非协调的方式，通过**突发数据接入信道**

当采用FM、扩频调制时，信号最强的用户可能成功地**截获**发射机（**远近效应**）。**截获效应**使强发射机截获接收机，同时也使弱的发射机被屏蔽

**Aloha协议**在发射前不**侦听信道**，因此性能较差**CSMA协议**中，终端在发射信息前首先测试信道状态；如果**信道空闲**，则允许用户按照相应的算法来发射分组

课件问答：

❤现代蜂窝移动通信系统和集群通信系统（专网）的主要区别？

答：集群通信网络对网络时延、抗毁性、可靠性、安全性的要求更高，但是它的容量小,且有优先级的划分。

❤较低的数据速率如何实现更好的覆盖？

答：提高接收灵敏度、增强抗干扰能力

❤传统蜂窝系统和卫星蜂窝无线系统的优劣

答：传统蜂窝系统：高容量和高用户密度支持、低时延、高数据速率等；卫星蜂窝无线系统：广域/全球覆盖、抗灾害能力强、能在需要时快速部署

在给定的相同总频段资源下，传统蜂窝系统通常能支持更多的用户。原因：高频谱复用效率、更低的路径损耗、更小的干扰积累

❤当移动台距离基站非常远的时候，如果想实现高速数据传输，主要面临什么技术问题？

答：1.信号衰减大，需要更大的发射功率2.基站覆盖范围大，分配给每个用户的资源减少

❤常用频谱划分方法：开放、授权、专用

❤蜂窝电话一般采用的频段，为什么？ 300MHz~3GHz，

低频缺点：1.低频段大多数频谱资源已经被占用，且传输速率不高；2.接收低频信号需要很长的天线

高频缺点：高频信号的绕射能力差，会导致基站覆盖范围小

❤瑞利，莱斯，Nakagamin信道模型的异同：

同：都是对信道小尺度衰落的建模

异：1.三种模型的信号幅度分别服从瑞利，莱斯，Nakagamin分布；2.瑞利信道不存在直射径，莱斯信道存在直射径，Nakagamin信道适用于两种情况，且适用于中心极限定理不适用的场景。

❤QPSK和BPSK带宽效率和可靠性的关系？

带宽效率：前者比后者高3dB,可靠性：要达到相同的误码率，前者信噪比要比后者高3dB

❤MRC and EGC 的不同之处?

答：MRC：按各支路SNR加权合并，最大化输出SNR；EGC忽略SNR差异，直接同相相加

❤空间分集和时间分集的等效性的条件是？

WSS-US信道（宽平稳不相关散射）

❤如果卫星电视采用低频传输，会导致什么问题？如果采用非常高的频段呢

答：低频传输速率低，天线增益不够；非常高的频段传输 会使衰减过高（雨衰和氧气吸收）

❤当增加一条通信链路上的发射功率时：

–能够减轻信号在衰落信道中的深度衰落；–通过更高的SNR，降低链路的BER；

–能够提高链路的频谱效率；–提高了功耗，导致电池寿命降低；–增加了对于同频其他用户的干扰