

《移动通信原理与关键技术》期末复习

随堂小测 1 (20240910) 绪论

1、什么是 IT3.0 时代？你认为最主要的特征是什么？

- (1) IT3.0 时代：物理世界的各种端侧设备被数字化、网络化和智能化，实现“人-机-物”三元融合。
- (2) 主要特征：3C（通信、计算、控制）有机融合、深度协作

2、面向 IT3.0，未来移动通信系统需要具备哪些特征？以其中一个特征为例，解释一下为什么。

- (1) 特征：超高速率与大带宽、低时延与高可靠性、智能化与自适应能力、广泛的连接能力、灵活的网络架构、通信与计算深度融合
- (2) 以通信与计算深度融合为例：在 IT3.0 时代，通信与计算的深度融合将极大地推动通信网络的进步，满足未来多样化的业务需求，提升网络运行效率。

3、移动通信 1G 与其他 2-5G 系统的本质区别是什么？从 1G 到 5G，移动通信的业务在发生什么样的变化？根据这个趋势，预测一下 6G 的业务会是怎样的。

- (1) 本质区别：1G 是模拟通信系统，其他 2-5G 是数字通信系统。
- (2) 业务变化：
 - 1G：仅提供模拟语音业务。
 - 2G：支持数字语音、短信、彩信等业务。
 - 3G：支持互联网浏览、视频通话等业务。
 - 4G：支持高清视频播放、移动互联网等业务。
 - 5G：支持超高清视频播放、虚拟现实、物联网等业务。
- (3) 预测 6G 业务：

未来 6G 业务将呈现沉浸化、智慧化、全域化等发展趋势，支持沉浸式云 XR、全息通信、感官互联、智慧交互、通信感知、普惠智能、数字孪生、全域覆盖等八大业务。

4、什么是标准化？中国为什么要重视移动通信国际标准？

- (1) 标准化是指在经济、技术、科学和管理等社会实践中，对重复性的事物和概念，通过制订、发布和实施标准达到统一，以获得最佳秩序和社会效益。
- (2) 重视移动通信国际标准是中国在全球通信领域中保持竞争力、促进产业升级、保护国家利益的重要战略。

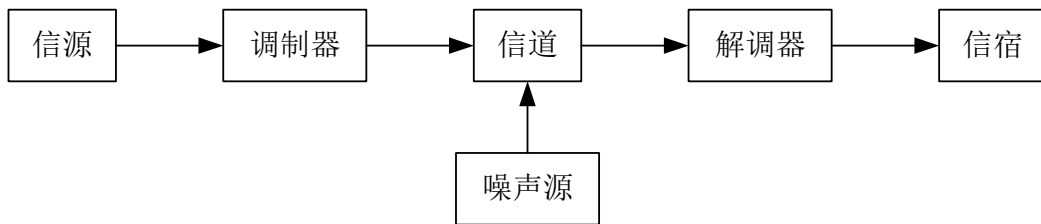
5、面向未来社会发展，你认为我国应如何发展信息化技术？中国科学院可起到什么样的作用？

- (1) 加强核心技术研发、夯实基础设施建设、推动信息化技术应用、培育信息化人才队伍。
- (2) 提供科研支撑、参与标准制定、推动产学研合作、培养高层次人才。

随堂小测 2 (20240924) 信道-1

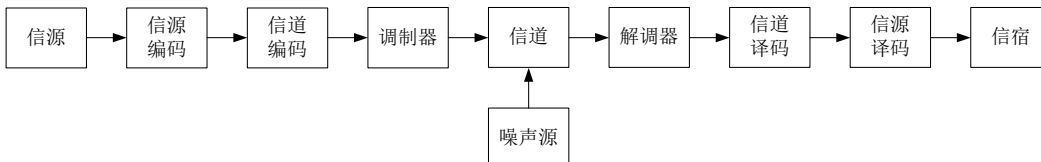
1、请分别画出模拟和数字通信系统的功能框图，并说明两个系统的优缺点。

- (1) 模拟通信系统：



- 优点：结构简单、成本较低。
- 缺点：保密性差、抗干扰能力弱、频带利用率低。

(2) 数字通信系统：



- 优点：保密性好、抗干扰能力强、频带利用率高。
- 缺点：结构复杂、成本较高。

2、数字通信系统中信源编码和信道编码的作用分别是什么？

- (1) 信源编码：①提高信息传输的有效性；②完成模/数（A/D）转换。
- (2) 信道编码：进行差错控制，提高信息传输的可靠性。

3、请解释无线信道的大尺度和小尺度衰落。

- (1) 大尺度衰落：指信号强度在长距离或长时间范围内的变化，主要由路径损耗和阴影衰落引起。
- (2) 小尺度衰落：指信号强度在短距离或短时间范围内的变化，主要由多径效应和多普勒效应引起。（注：多径传播是多径效应的前提条件，多径效应是多径传播的结果。）

4、结合天线增益的定义，解释一下应如何选择无线信号传输的载波频率。

天线增益的定义： $G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$ ，其中 A_e 为天线的有效孔径。

对于相同尺寸的天线，增益会随着频率的增加而提高。较高频率的信号波长更短，因此在同样大小的天线上可以形成更窄的波束，提供更高的方向性和增益。载波频率越高，数据传输速率越高，传输距离越远，但也需要更多的频谱资源，更复杂的调制方式，更高的传输质量要求。

5、自由空间传播模型适合什么样的通信场景？这个模型认为接收信号功率和收发端距离之间是什么关系？

自由空间传播模型适用于卫星通信系统和微波视距无线链路，这些场景中传播路径上没有障碍物阻挡，到达接收天线的地面反射信号场强也可以忽略不计。

接收信号功率和收发端距离之间的关系： $P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$

其中， P_t 为发射功率， $P_r(d)$ 为接收功率， G_t 为发射机天线增益， G_r 为接收机天线增益， d 是 T-R 间隔（单位：米）， λ 是波长（单位：米）， $L(\geq 1)$ 为系统损耗因数。

6、补充：无线信道大尺度衰落的自由空间模型描述的是什么场景下的无线信道？其路径损耗因子为多少？

描述无障碍、无遮挡的开阔环境。路径损耗因子为 2。

7、补充：无线信道大尺度衰落的二径地面反射模型描述的是什么场景下的无线信道？其路径损耗因子为多少？

描述地面反射和直射路径共同作用的环境。路径损耗因子在远场区为 4，近场区为 2。

8、补充：(a)如果发射机的发射功率为 50W，以 dBm 和 dBW 为单位表示发射功率。(b)如果将 50W 功率施加到载波频率为 900MHz 的单位增益 ($G_t = 1$) 天线上，则在自由空间中距离天线 100m 处的接收功率（单位：dBm）是多少？ $P_r(10km)$ 是多少？假设接收天线为单位增益 ($G_r = 1$)。

已知：发射机功率 $P_t = 50W$ ，载波频率， $f_c = 900MHz$ 。

(a) $P_t(dBm) = 10 \log[P_t(mW)/(1mW)] = 10 \log[50 \times 10^3] = 47.0dBm$

$P_t(dBW) = 10 \log[P_t(W)/(1W)] = 10 \log[50] = 17.0dBW$

(b) $P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} = \frac{50(1)(1)(1/3)^2}{(4\pi)^2 (100)^2 (1)} = 3.5 \times 10^{-6}W = 3.5 \times 10^{-3}mW$

$P_r(dBm) = 10 \log P_r(mW) = 10 \log(3.5 \times 10^{-3}mW) = -24.5dBm$

$P_r(10km) = P_r(100) + 20 \log \left[\frac{100}{10000} \right] = -24.5dBm - 40dB = -64.5dBm$

随堂小测 3 (20241008) 信道-2

1、请给出阴影衰落的来源和表现。在数学上，我们如何建模阴影衰落造成的信号功率变化？

- (1) 来源：起伏的山丘、建筑物、树林等障碍物的吸收、反射、散射和绕射。
- (2) 表现：信号场强的缓慢变化、信号功率的随机衰减。
- (3) 在数学上，阴影衰落通常通过对数正态分布来建模。

2、请给出分析掌握无线信道随机特性的意义，给出广义平稳和非相干散射的定义。

- (1) 意义：能够更好地理解和优化无线通信系统的性能和稳定性，帮助设计更有效的通信策略和算法。
- (2) 广义平稳 (Wide-Sense Stationary, WSS): 随机信号的均值不随时间变化，相关函数仅与时间差相关，或者说其一阶和二阶矩不随时间变化。
- (3) 非相干散射 (Uncorrelated-Scattering, US): 在无线信道中，不同路径的信号分量之间没有相关性；在统计意义上，不同多径统计量不相关。

3、请解释什么是信道的相干带宽，什么是信道的相干时间。

- (1) 相干带宽：在某一特定的频率范围内的任意两个频率分量都具有很强的幅度相关性，即在相干带宽范围内，多径信道具有恒定的增益和线性相位。相干带宽近似等于最大多径时延扩展的倒数。
- (2) 相干时间：表示信道保持恒定的最大时间差范围，发射端的同一信号在相干时间之内到达接收端，信号的衰落特性完全相似，接收端认为是一个信号。相干时间近似等于最大多普勒频移的倒数。

4、频率选择性衰落信道就是快衰落信道，这个说法对吗？为什么？

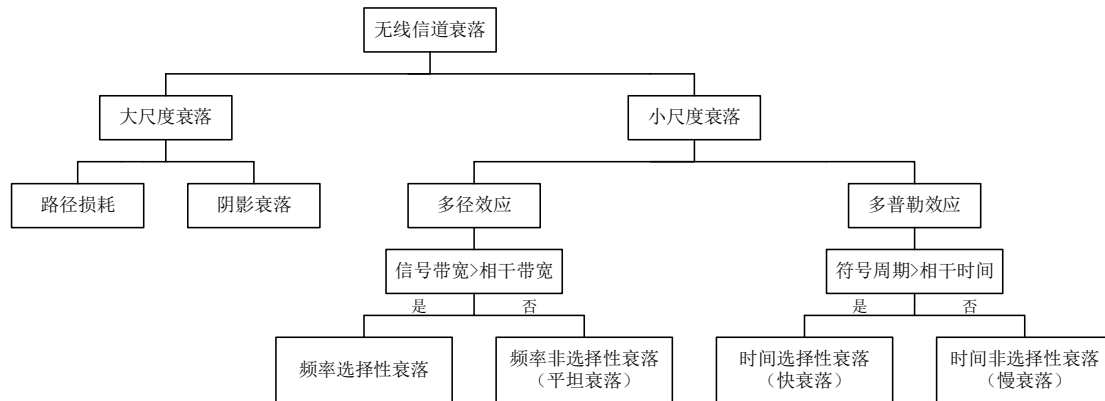
错误。频率选择性衰落信道可以是快衰落也可以是慢衰落，这取决于信号的传输时间（或符号周期）与信道的相干时间的关系。

5、一个物理信道可能是频率选择性信道，也可能是频率非选择性信道，这个说法对吗？为

什么？

正确。因为物理信道的频率选择性取决于信号带宽与信道相干带宽的相对大小。如果信号带宽小于信道的相干带宽，信道对信号的影响是频率非选择性的；如果信号带宽大于信道的相干带宽，信道对信号的影响是频率选择性的。

6、补充：



7、补充：什么样的信道是频率选择性信道？什么样的信道是频率非选择性信道？

见上图

8、补充：什么样的信道是时间选择性信道？什么样的信道是时间非选择性信道？

见上图

随堂小测 4 (20241015) 信道-3 & 调制-1

1、请给出 GWSSUS 信道的定义。

Gaussian Wide-Sense-Stationary Uncorrelated-Scattering 高斯广义平稳非相干散射信道

信道冲激响应函数 $h(\tau, t)$ 在时域为广义平稳，时延上为非相干散射。当信号发送时间 t 和传播时延 τ 确定， $h(\tau, t)$ 统计特性服从 Rayleigh Fading。

2、请给出 Rayleigh fading 和 Rician fading 的定义。

- (1) **瑞利衰落 (Rayleigh fading)**: 当无线信号在传播过程中只受到多径效应的影响，且不存在明显的直射路径 (Line-of-Sight, LoS) 成分时，接收信号的包络服从瑞利分布，这种衰落现象被称为瑞利衰落。
- (2) **莱斯衰落 (Rician fading)**: 当无线信号在传播过程中除了受到多径效应的影响，还存在一个较强的直射路径 (Line-of-Sight, LoS) 成分时，接收信号的包络服从莱斯分布，这种衰落现象被称为莱斯衰落。

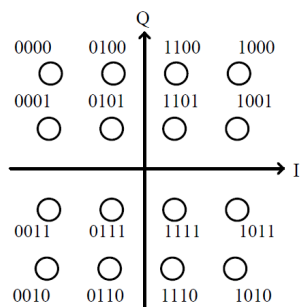
3、请给出调制的定义，解释为何无线通信系统需要调制。什么是 IQ 调制？

- (1) **调制**: 将基带信号转换为适合在无线信道中传输的射频信号的过程。
- (2) **原因**: ①高频已调信号易于辐射，能够提供更远的传输距离，且允许使用更小的天线；②高频载波允许使用较宽的频带，便于同时传输多路不同的基带信号。
- (3) **IQ 调制**: 将数据分为两路，分别进行载波调制，这两路载波相互正交，即一路是同相分量，另一路是正交分量。在 IQ 调制过程中，同相分量和正交分量分别与余弦波和正弦波相乘，然后合并，形成 IQ 调制信号。

4、请描述如何将调制信号波形表示为矢量空间的一个点。

集合 $S = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_M(t)\}$ 中的每个元素 $s_i(t)$ 都可以表示为矢量空间的一个点，该矢量空间的坐标由正交归一化的基础信号构成， $s_i(t)$ 可以表示为基础信号的线性组合。

5、请画出方形 16QAM 的星座图，用格雷编码表示星座点携带的比特信息。



6、补充：Rayleigh 衰落信道就是多径信道。这个说法对吗？为什么？

不对。瑞利衰落信道是多径信道的一种，具有特定的统计特性，即信号包络服从瑞利分布，且不存在直射信号成分；而多径信道是一个更广泛的概念，包括了所有由于信号经过多条路径到达接收器而产生的衰落现象，其中瑞利衰落信道是其中一种特定情况。

随堂小测 5（20241022）调制-2

1、衡量调制方式性能的常用指标有哪些？请分别解释。

- (1) **功率效率**：衡量信号的保真度和信号功率之间的折衷是否有效，定义为为达到给定误码率（如 10^{-5} ），每比特信号能量 E_b 和噪声 PSD（Power Spectrum Density，功率谱密度） N_0 之间的比值 $\eta_p = \frac{E_b}{N_0}$ 。（ η_p 越小越好）
- (2) **频谱效率**：描述在给定带宽内，调制方式携带数据的能力，定义为数据速率 R 和所需无线带宽 B 之间的比值 $\eta_B = \frac{R}{B}$ 。（ η_B 越大越好）

2、PSK、QAM 和 FSK 的主要性能差异在哪里？

(1) 从变化趋势看：

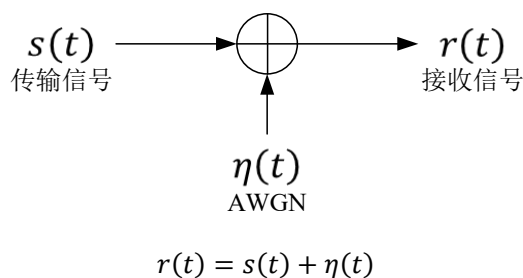
调制阶数 M 越大，PSK 和 QAM 功率效率越差，频谱效率越好；FSK 功率效率越好，频谱效率越差。

(2) 从性能差异看：

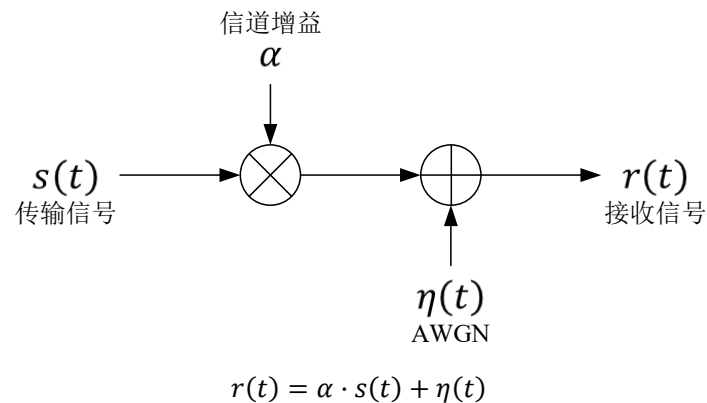
功率效率：调制阶数 M 和误码率相同时，FSK 最好，QAM 其次，PSK 最差；

频谱效率：调制阶数 M 和带宽相同时，QAM 最好，PSK 其次，FSK 最差。

3、画出发送信号通过 AWGN 信道到达接收端的系统框图，并给出接收信号的数学表达式。



4、画出发送信号通过单径 Rayleigh 信道到达接收端的系统框图，并给出接收信号的数学表达式。



5、说明什么是相干和非相干解调，各自的优缺点有哪些。

(1) 相干解调：

相干解调是指接收端根据已知的调制信号相位信息来恢复原始信号的解调技术。它依赖于信号的相位和频率信息，可以有效地提取出信号的幅度和相位。

- 优点：高可靠性、性能优越、信息提取全面
- 缺点：复杂度高、敏感于载波频偏与相移

(2) 非相干解调：

非相干解调是指接收端不需要知道调制信号的相位信息，仅利用信号的幅度信息来恢复原始信号的解调技术。它通过对接收信号的幅度进行测量和判决，来恢复原始信号。

- 优点：实现简单、成本低、抗信道起伏能力强
- 缺点：性能下降（比相干解调差 3dB）、功率浪费

随堂小测 6（20241105）分集

1、什么是分集？为什么在 fading 信道中需要采用分集技术，可以采用直接提升发送功率的办法吗？

- (1) 分集利用多个相互独立的信号分支来提高接收信号的可靠性。
- (2) 在衰落信道中，信号强度会随着时间、频率或空间位置的变化而剧烈波动，采用分集技术可以利用质量好的信号分支来提高接收信号的可靠性。
- (3) 直接提升发送功率可以在一定程度上改善信号的传输质量，但它并不能有效解决衰落信道中的深衰落。

2、分集可在空域、频域和时域进行，其基本原理分别是什么？对系统设置分别有什么要求？

- (1) 空域：不同天线接收信号上的衰落通常是独立的；天线之间的距离应大于半个波长。
- (2) 频域：不同频率上的衰落通常是独立的；两个载波的间隔应大于信道的相干带宽。
- (3) 时域：不同时间上的衰落通常是独立的；发送的时间间隔应大于信道的相干时间。

3、给出 EGC、SC 的中英文全称。各自的基本原理是什么？

- (1) **EGC (Equal Gain Combining, 等增益合并)**：接收端从多个天线接收到信号后，对所有分支信号施加相同的增益并相加。
- (2) **SC (Selection Combining, 选择合并)**：接收端从多个天线分支中选择信噪比 (SNR)

最高的分支进行接收，而忽略其他分支。

4、给出 MRC 的中英文全称。MRC 的加权系数该如何设置？为什么？

- (1) MRC: Maximum Ratio Combining, 最大比合并
- (2) 每个天线接收到的信号乘以的加权系数通常设定为信道增益的复共轭。
- (3) 因为加权系数使得每个信号的贡献与其信道增益成比例，从而增强了信号的强度，同时抑制了噪声的影响，从而最大化接收信号的信噪比，改善信号质量。

5、结合平均信噪比公式，说明为什么分集可以改进 BER 性能，性能的改进与哪个分集参数密切相关。

如果有 M 个独立的分集分支，每个分支的信噪比为 γ_k ，则合并后的信噪比 γ 可以表示为： $\gamma = \sum_{k=1}^M \gamma_k$ 。随着分集支路数的增加，合并后的平均信噪比也会相应增加，故分集技术的性能改进与分集分支的数量 M 密切相关。

随堂小测 7 (20241112) 编解码-1

1、什么是分组码？一个 (n,k) 分组码， n 代表什么， k 代表什么， $n-k$ 代表什么，码率是多少？

- (1) 分组码是一种基本的纠错码，它将信息比特分成固定长度的组（通常称为码字），然后对每个组进行编码以增加冗余，以便于在传输过程中检测和纠正错误。
- (2) n 代表码字的长度，即编码后每个码字包含的比特数。
- (3) k 代表信息位的长度，即原始信息中每个码字包含的比特数。
- (4) $n - k$ 代表校验位的长度，即用于检测和纠正错误的额外比特数。
- (5) 码率是信息位与码字总长度的比值，表示为 k/n ，反映了编码效率。

2、什么是线性分组码？线性分组码有什么特性？什么是系统线性分组码？系统码比非系统码的解码性能更好，这种说法对吗？为什么？

- (1) 线性分组码：信息码元与监督码元之间的关系是线性的分组码。
- (2) 线性分组码的特性：任意两个码字的线性组合仍然是码字集合中的一个码字。
- (3) 系统线性分组码：码字中的前（或后） k 个元素是信息位的线性分组码。
- (4) 不对。因为任何非系统分组码的生成矩阵可以通过行初等变换转换为系统形式，系统化并不改变码集，其纠错能力完全等价。

3、给出两个 $(7,4)$ 汉明码的码字 (0001110) 和 (0010011) ，他们的汉明权重分别为多少？他们的汉明距离是多少？生成矩阵和校验矩阵之间有什么关系？他们分别是用来做什么的？

- (1) 对于码字 (0001110) ：汉明权重=3（因为有 3 个 1）
- (2) 对于码字 (0010011) ：汉明权重=3（因为有 3 个 1）
- (3) 它们的汉明距离=4（因为第 3 位、第 4 位、第 5 位和第 7 位不同）
- (4) 生成矩阵 G 和校验矩阵 H 的关系： $GH^T = 0$
- (5) 生成矩阵 G 用于编码，校验矩阵 H 用于检错。

4、什么是最大似然解码？什么是最大后验解码？两者有什么区别和联系？什么是硬解码？什么是软解码？各自有何优缺点？

- (1) **最大似然解码**：通过参数 \tilde{c}_m 得到样本 \tilde{r} 的概率；通过比较接收到的信号与所有可能的发送信号，选择使接收信号出现概率最大的发送信号作为解码结果。
- (2) **最大后验解码**：通过样本 \tilde{r} 得到参数 \tilde{c}_m 的概率；结合了先验概率和似然概率，选择使后

验概率最大的发送信号作为解码结果。

- (3) 区别：最大似然解码不考虑先验信息，只关注似然概率，而最大后验解码结合了先验概率和似然概率。
- (4) 联系：最大后验解码可以看作是最大似然解码的扩展，通过引入先验信息来优化解码结果。
- (5) **硬解码**：基于硬判决，将接收到的模拟信号进行量化，直接将其判决为离散的二进制比特（0 或 1），然后再进行解码。（汉明距离）
 - 优点：简单易实现、解码速度快
 - 缺点：误码率较高、鲁棒性低
- (6) **软解码**：基于软判决，利用接收到的信号幅度信息，即每一位的置信度（如概率或对数似然比，LLR）来进行解码。（欧氏距离）
 - 优点：误码率低、更强的鲁棒性
 - 缺点：计算复杂度高、解码速度慢

5、循环校验码的作用是什么？检测性能如何？循环校验码是如何生成的？在接收端应如何操作？

- (1) 作用：检测数据传输或存储过程中出现的错误。
- (2) 检测性能：

所有突发错误长度小于等于 $n - k$ 的错误突发；

突发错误长度等于 $n - k + 1$ 时， $1 - 2^{-(n-k-1)}$ 的错误能够被检出；

突发错误长度大于 $n - k + 1$ 时， $1 - 2^{-(n-k)}$ 的错误能够被检出；

所有小于等于 $d_{min} - 1$ 个比特的错误，其中 d_{min} 是最小距离；

如果生成多项式 $g(X)$ 具有偶数个非零系数，则能够检测出所有奇数个比特的错误。
- (3) 循环校验码的生成：

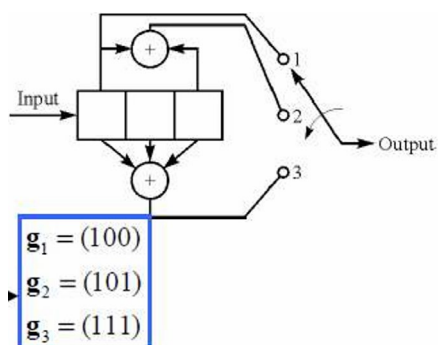
在数据末尾添加 $n - k$ 个 0，使用生成多项式 G 对扩展后的数据进行二进制除法，得到的余数 R 即为 CRC 校验码，将 R 附加到原始数据末尾，形成最终发送的数据包。
- (4) 接收端操作：

校验：接收方对接收到的码字进行模 $G(x)$ 的除法，计算得到余数 $R'(x)$ 。

判断：如果 $R'(x) = 0$ ，则认为数据未发生错误；如果 $R'(x) \neq 0$ ，则检测到错误。

随堂小测 8（20241119）编解码-2

- 1、考虑一个(3,1,3)卷积码，生成矢量为(101)(110)(111)，请画出编码器，给出生成多项式。（以(100)(101)(111)为例）

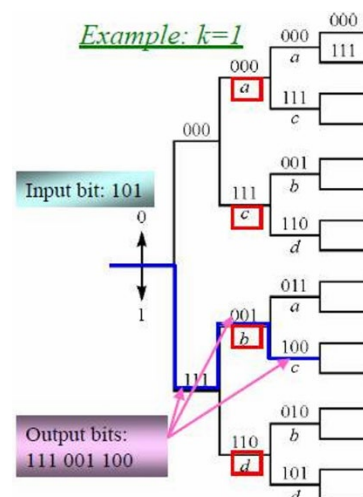
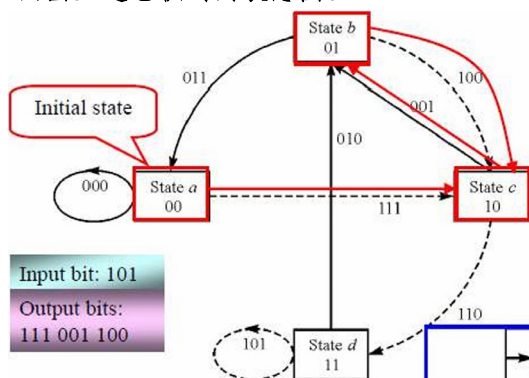


$$g_1(x) = 1, \quad g_2(x) = 1 + x^2, \quad g_3(x) = 1 + x + x^2$$

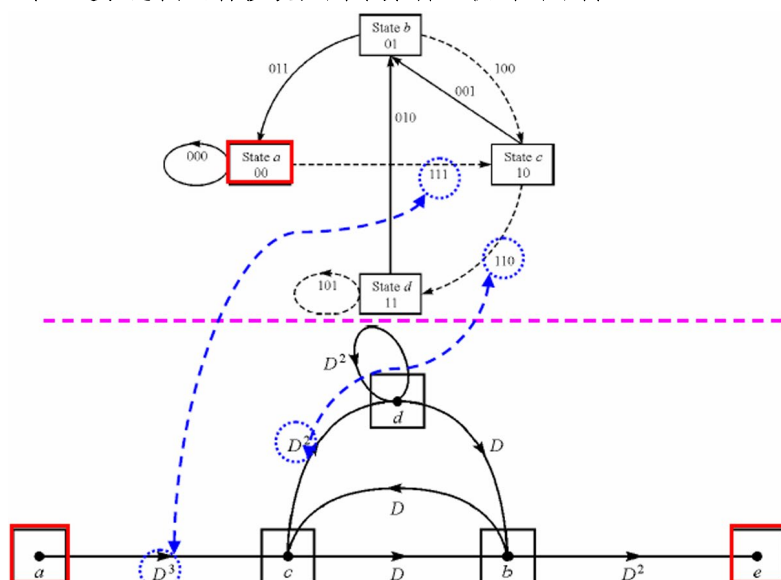
2、画出上述卷积码的树图，应画到几阶？为什么？

3 阶。因为卷积码的树图应该画到与卷积码的约束长度相同的阶数才能完整地表示编码器的输出与输入及状态间的关系。卷积码的约束长度是指编码器中移位寄存器的级数，它决定了编码器的约束能力。

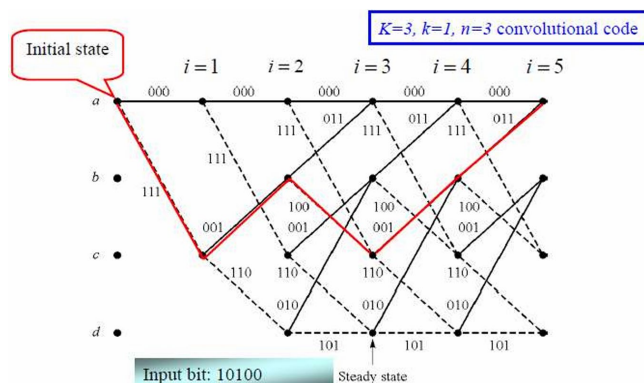
3、画出上述卷积码的状态图。



4、对上述状态图进行修改，用于分析卷积码的距离。



5、画出上述卷积码的格状图，接收端收到的比特序列为(101,011,110,011,101)，请根据格状图对其解码，给出解码后的信息比特序列。



(101,011,110,011,101) → (111,001,100,001,100)

6、补充：卷积码中的 d_{free} 是什么？

d_{free} 是指卷积码的最小自由距离 (Minimum Free Distance)，它是码字集合中任意两个码字之间的最小汉明距离。 d_{free} 越大，卷积码的纠错能力越强。

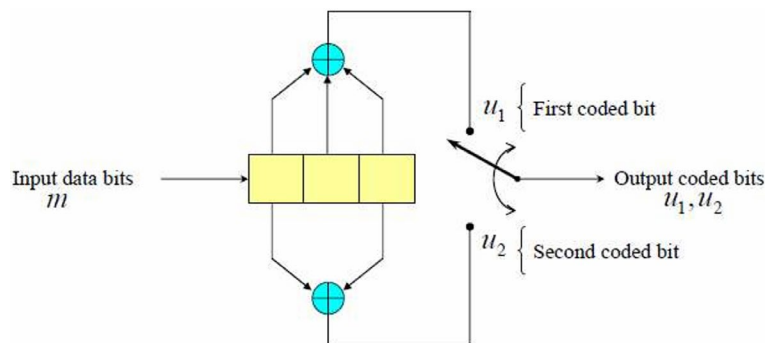
随堂小测 9 (20241126) 编解码-3

1、给定卷积码 (n, k, K) 。请解释 n , k , K 各代表什么含义。有一个卷积码 $(2, 1, 3)$ ，其生成多项式为 $g_1(x) = 1 + x + x^2$, $g_2(x) = 1 + x^2$ ；请画出它的编码器。

n : 每次输出的比特数。

k : 每次输入的比特数。

K : 约束长度 (Constraint Length)，表示编码器中寄存器的最大深度。



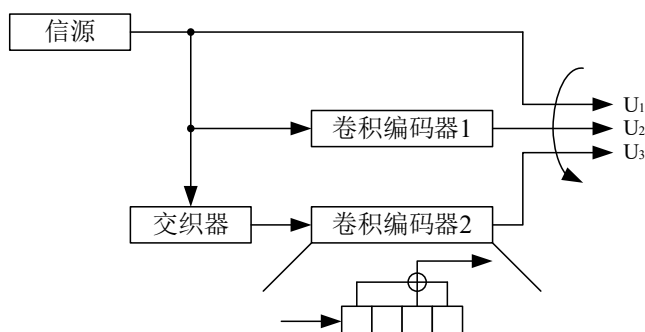
2、维特比解码的原理是什么？

基于最大似然估计，借助格状图并利用动态规划来寻找输入序列中最有可能的路径（称为“最优路径”），即从编码器输出的接收序列中找到与实际输入比特最匹配的序列。

3、Turbo 码为什么可以逼近 Shannon 容量极限？

Shannon 编码定理指出：如果采用足够长的随机编码，就能逼近 Shannon 信道容量。Turbo 码采用交织器将两个或多个分量码连接起来建立足够长的随机编码，并利用迭代软判决解码提升性能，这些技术相辅相成，使得 Turbo 码可以逼近 Shannon 容量极限。

4、码率为 1/3 的系统并行级联 Turbo 码，它的两个分量码是一样的，矢量表达为 (1011) ，请画出其编码器。



5、在移动通信系统中，都需要用到交织器，其作用是什么？在 Turbo 码编码器中，也用到交织器，其作用是什么？

(1) 在移动通信系统中：分散突发错误

(2) 在 Turbo 码编码器中：实现伪随机编码

6、补充：(2,1,3)和(2,1,9)两个码哪个纠错能力强？为什么？(2,1,3)和(3,2,3)呢？为什么？

卷积码的纠错能力与其码率、约束长度和生成多项式有关。一般来说，码率越低，约束长度越大，纠错能力越强，但是编码效率越低，编码复杂度越高。生成多项式的选择也会影响卷积码的最小距离和自由距离，从而影响纠错能力。

- (1) (2,1,3)和(2,1,9)：这两种卷积码的码率相同，都是 $1/2$ ，但是约束长度不同，(2,1,9)的约束长度更大，因此纠错能力更强。
- (2) (2,1,3)和(3,2,3)：这两种卷积码的约束长度相同，都是 3，但是码率不同，(2,1,3)的码率更低，因此纠错能力更强。

随堂小测 10（20241128）CDMA

1、什么是多址接入？列举四种常用的多址接入技术并简述其多址接入原理。

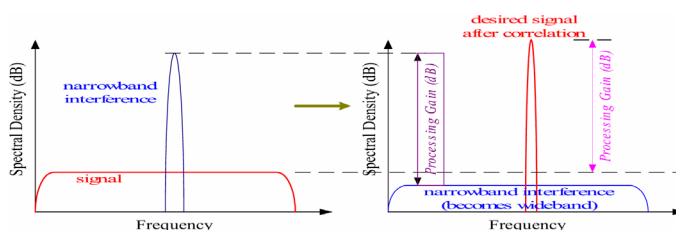
- (1) 多址接入技术：在无线通信环境中，允许多个用户共享同一个通信信道，并通过不同的技术手段区分各个用户的信号，以实现多个用户之间的通信。
- (2) 频分多址 (FDMA)：将整个通信频谱划分为多个不重叠的频带，每个用户占用一个独立的频带进行通信。（缺点：频谱展宽、信号抑制、互调失真）
- (3) 时分多址 (TDMA)：将通信信道按时间划分为若干个时隙，每个用户占用一个独立的时隙交替发送数据。
- (4) 码分多址 (CDMA)：所有用户在同一频带和同一时间传输数据，但每个用户使用一个唯一的伪随机码序列 (PN 码) 对信号进行扩展和加密，通过码分的方式进行区分。
- (5) 空分多址 (SDMA)：利用天线的方向性或波束成形技术，根据用户的空间位置分配不同的资源，允许多个用户在相同频率和时间内通信。

2、什么是直接序列扩频？对于扩频序列特性有哪些要求？

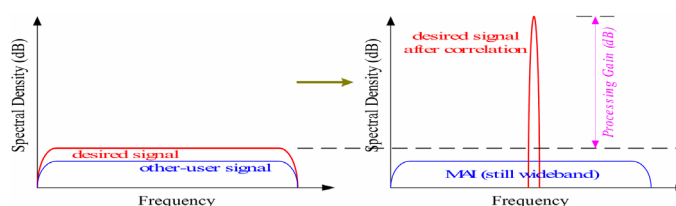
- (1) 直接序列扩频：在发送端使用一个高速率的伪随机码序列（也称为扩频码）与待传输的信号相乘，以扩展信号的频谱宽度。在接收端，使用相同的扩频码序列对接收到的信号进行解扩，还原出原始的信息。
- (2) 看起来像一个随机生成的序列，具有尖锐的自相关峰，但自相关旁瓣较低。

3、如何基于直接序列扩频实现抗窄带干扰及多址接入？

- (1) 抗窄带干扰：由于干扰信号与伪随机序列不相关，解扩后落入信号频带内的干扰信号功率大大降低，从而实现了抗窄带干扰。



- (2) 多址接入：每个用户分配一个唯一的扩频码，这些码具有低互相关性，允许多个用户在同一频段通信，从而实现了多址接入。

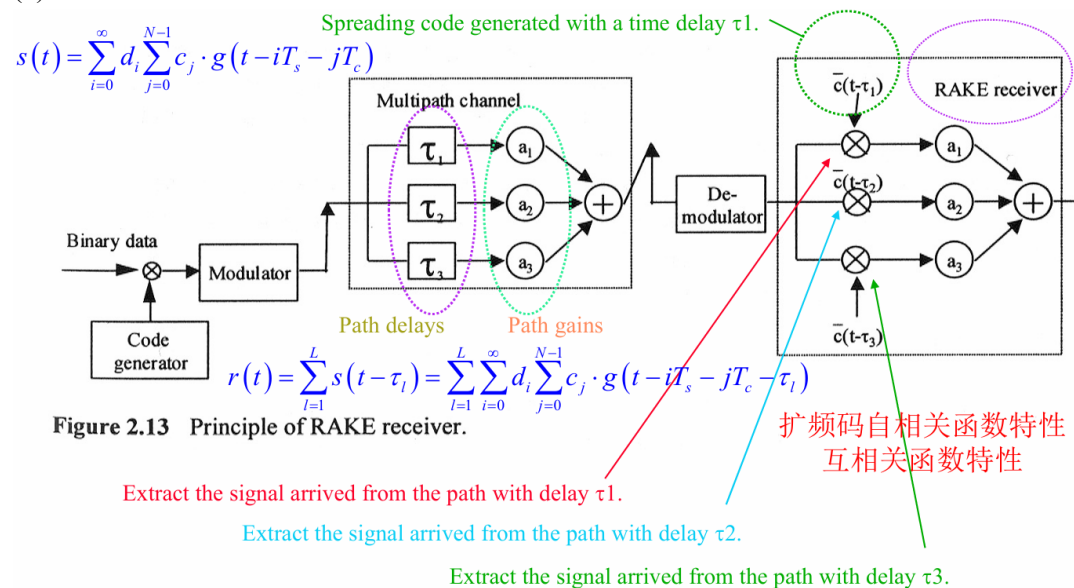


4、什么是远近效应？应采用哪种技术来克服这种效应？其基本原理是什么？

- (1) 远近效应：在无线通信系统中，由于用户与基站的距离不同，导致基站接收到的信号强度差异显著，近处的信号可能会淹没远处的信号，从而影响通信质量。
- (2) 功率控制
- (3) 基本原理：根据通信条件实时调整发射功率，确保所有用户信号在基站的接收强度相似，从而减少干扰，允许更多用户共享同一频段。

5、考虑多径信道，CDMA 系统接收端应采用何种接收技术？画出其接收机框图，阐述其原理及优点。

- (1) RAKE 接收
- (2) RAKE 接收机框图



- (3) 原理：将无线通信系统中，幅度明显大于噪声背景的多径分量取出，对其进行延时和相位校正，使之在某一时刻对齐，并按一定的规则进行合并，变矢量合并为代数求和，有效地利用多径分量，提高多径分集的效果。
- (4) 优点：抗多径干扰、提高信噪比、增强系统容量、适应性强

随堂小测 11 (20241205) OFDM-1

1、移动通信系统中，进行宽带传输时，采用多载波 OFDM 技术好还是单载波 DS-CDMA 技术好？为什么？

采用多载波 OFDM 技术好，因为在移动通信系统中，带宽越大，时域传输间隔越窄，信道多径效应越严重。DS-CDMA 码片周期远小于 OFDM 子载波符号周期，前者符号周期小于多径时延，经历频率选择性衰落，相邻符号间干扰大；后者符号周期大于多径时延，经历平坦衰落，相邻符号间干扰小；此外，DS-CDMA 的 RAKE 接收机实现技术难，而 OFDM 基于 IFFT/FFT 的多路调制/解调易于实现。

2、假设 OFDM 的有效符号长度为 T，请证明其子载波间隔应为 1/T。

接收信号：

$$y(t) = \sum_{i=0}^{M-1} d_i e^{j2\pi f_i t}$$

其中， M 是子载波的总数， d_i 是在第 i 个子载波上传输的数据信号。

子载波下变频：

$$r_j = \int_0^T y(t) e^{-j2\pi f_j t} dt = \sum_{i=0}^{M-1} d_i \int_0^T e^{j2\pi f_i t} e^{-j2\pi f_j t} dt = \sum_{i=0}^{M-1} d_i \cdot \begin{cases} T & i = j \\ \frac{e^{j2\pi \Delta f (i-j)T} - 1}{j2\pi \Delta f (i-j)} & i \neq j \end{cases}$$

$$= d_j \cdot T + \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{M-1} d_i \cdot \frac{e^{j2\pi (i-j)\Delta f T} - 1}{j2\pi \Delta f (i-j)}$$

当 $i \neq j$ 时，只要 $\Delta f \cdot T$ 是整数， $\int_0^T e^{j2\pi f_i t} e^{-j2\pi f_j t} dt = 0$ 。

故最小的子载波间隔应为 $1/T$ 。

3、请证明：用 M 点 IFFT 可实现 OFDM 系统 M 个子载波的上变频操作。

上变频：

$$s(t) = \sum_{i=0}^{M-1} d_i e^{j2\pi f_i t} \xrightarrow{t=nT_s} s(nT_s) = \sum_{i=0}^{M-1} d_i e^{j2\pi f_i nT_s} \xrightarrow[\substack{f_i = i\Delta f \\ T_s = 1/(M \cdot \Delta f)}]{f_i = i\Delta f} \sum_{i=0}^{M-1} d_i e^{j2\pi i \Delta f n / (M \cdot \Delta f)} = \sum_{i=0}^{M-1} d_i e^{j2\pi i n / M}$$

IFFT of d_i

M sub-carrier up-conversion

M-point IFFT of d_i

$$s(t) = \sum_{i=0}^{M-1} d_i e^{j2\pi f_i t} \longleftrightarrow s(n) = \sum_{i=0}^{M-1} d_i e^{j2\pi i n / M}$$

下变频（补充）：

Receiver

M sub-carrier down-conversion

M-point FFT of $s(n)$

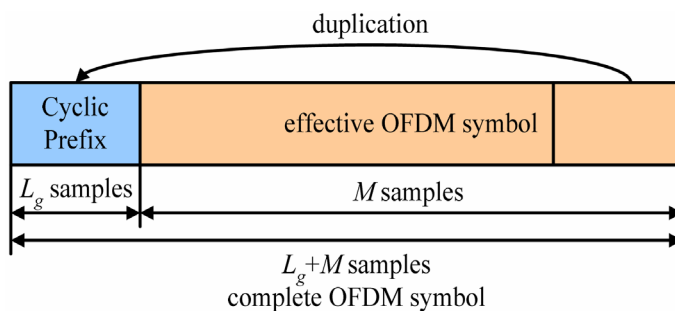
$$y(m) = \int_0^T s(t) e^{-j2\pi f_m t} dt \longleftrightarrow y(m) = \sum_{n=0}^{M-1} s(n) e^{-j2\pi m n / M}$$

Proof:

$$y(m) = \sum_{n=0}^{M-1} s(n) e^{-j2\pi m n / M} \xrightarrow{s(n) = \sum_{i=0}^{M-1} d_i e^{j2\pi i n / M}} y(m) = \sum_{i=0}^{M-1} d_i \left(\sum_{n=0}^{M-1} e^{j2\pi (i-m)n / M} \right) = \sum_{i=0}^{M-1} d_i \frac{1 - e^{j2\pi (i-m)}}{1 - e^{j2\pi (i-m)/M}} = \begin{cases} Md_m & i = m \\ 0 & i \neq m \end{cases} \Rightarrow \text{FFT}$$

4、请画出一个完整的 OFDM 符号结构图，其中 CP 部分的数据是怎么获取的？CP 的长度该如何确定？

(1)



- (2) CP 是从 OFDM 符号末尾复制的一部分数据，添加到符号的前端。
- (3) CP 长度应大于或等于信道中最大多径延迟扩展，以防止符号间干扰 (ISI)。CP 越长，抗干扰性能越强，但会增加开销，降低频谱效率。因此需要在性能和效率之间进行平衡，通常设置为整个 OFDM 符号长度的 20% 左右。

5、请解释 OFDM 如何实现多址接入。

根据用户业务需求，任意给不同用户分配不同数量的子载波；
根据各载波信道条件，自适应调整各载波上信号的调制方法；
根据各用户信道环境，给各用户分配最优的传输频段。

6、补充：

- 对于 ISI (符号间干扰)，只要前一个符号的时延扩展时间 (信道冲激响应长度) 不会影响到下一个符号，便可以消除 ISI，也就是说每个符号之间的保护间隔时间要大于时延扩展的时间。
- 对于 ICI (信号间干扰)，就要谈到循环前缀 (CP)。由于我们的信道是多径信道，各路子载波被接收到的时间可能有偏差，这就造成在 FFT 积分时间长度内子载波之间相差不再是整数周期，子载波之间的正交性受到破坏，如果保护间隔中只是单纯地填零，那么在解调时子载波之间就会产生干扰。循环前缀是将符号尾部的信号搬移到前方构成的，这样，就可以保证各路子载波在一次 FFT 积分时间长度内，各子载波之间相差总是整数个周期，避免了信号间的干扰。

随堂小测 12 (20241210) OFDM-2

1、在 OFDM 系统中，CP 的中英文全称是什么？为什么需要引入 CP？引入 CP 的代价是什么？

- (1) CP: Cyclic Prefix, 循环前缀
- (2) 抵消多径引起的符号间干扰 (ISI); 维持子载波的正交性，消除载波间干扰 (ICI); 利用循环卷积使得接收机可以通过快速傅里叶变换 (FFT) 来高效地进行信道均衡。
- (3) 降低带宽效率；增加传输功率消耗。

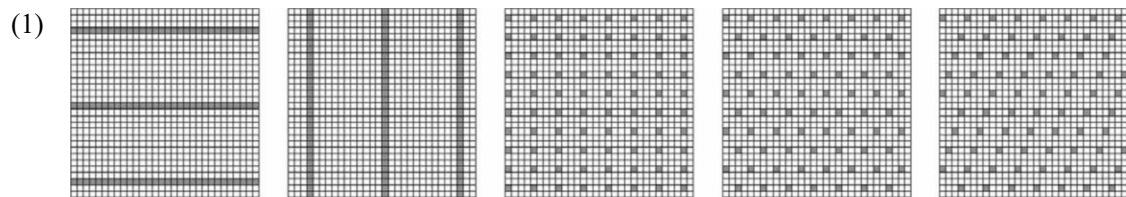
2、为什么 OFDM 系统需要时间同步和频率同步？OFDM 系统的时间同步包括哪两类？

- (1) 发送端和接收端的时钟和振荡器频率可能不一致，导致 ISI 和 ICI。
- (2) 帧同步、采样时间同步。

3、基于训练序列进行同步的原理是什么？基于 CP 序列进行同步的原理是什么？（补充）同步算法分为基于训练序列同步和基于 CP 序列同步

- (1) 基于训练序列：设计一个收发端都知道的，具有特殊结构的训练序列，接收端利用相关性在信号中查找训练序列，从而实现同步。
- 优点：性能更好、适合突发传输。
 - 缺点：效率降低，采集时间较长，复杂度较高。
- (2) 基于 CP 序列：利用接收信号 CP 的信息重复特性，实现同步。
- 优点：效率无损失，复杂度低，适合连续传输。
 - 缺点：性能有限。

4、考虑频率选择性时变信道，假设 OFDM 系统采用基于导频的信道估计，请给出一个合适的导频模式（画图）。接收端如何根据有限导频估计整个频段和时间段的信道？



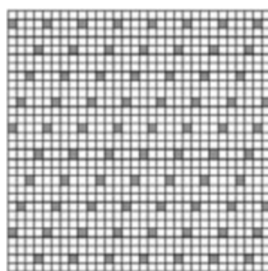
(五选一)

(2) 利用滤波或插值。

5、PAPR 的英文全称是什么？为什么 OFDM 的 PAPR 值比 DS-CDMA 的大？PAPR 值大会带来什么问题？如何降低 PAPR 值？

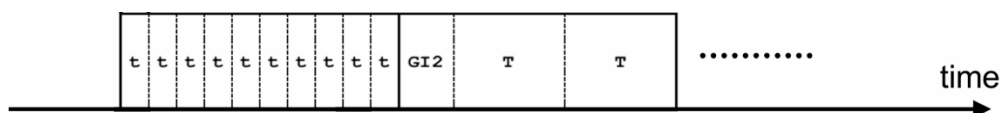
- (1) PAPR: Peak to Average Power Ratio, 峰值平均功率比
- (2) 因为 OFDM 信号是由多个子载波合并而成的，子载波数量越多，信号功率包络变化范围变大，则峰均比越高；而 DS-CDMA 是单载波传输，信号功率包络变化范围小。
- (3) PAPR 值大会导致信号峰值超过功率放大器的线性工作范围，引入非线性失真。
- (4) 削峰 (Clipping, 降低 PAPR 最简单的方法)

6、补充：OFDM 系统接收端是否必须进行信道估计？结合下图的导频模式图，请解释一下如何进行信道估计，如何根据估计的信道恢复传输的数据。



- (1) 在 OFDM 系统中，接收端通常需要进行信道估计，以便有效地对传输数据进行均衡和解调。这是因为无线信道会引入衰落、多径效应和噪声，导致接收到的信号发生扭曲。如果不进行信道估计和补偿，解调出的数据会受到严重的误差影响。
- (2) 接收端从接收到的 OFDM 符号中提取出导频子载波的位置和接收到的导频信号，并通过导频估计信道响应，然后对非导频子载波的信道响应进行插值得到整个 OFDM 符号上所有子载波的信道估计，再对接收到的数据子载波通过信道估计进行均衡以恢复发送的数据，最后将均衡后的子载波数据进行 FFT，得到时域的传输数据。

7、补充：给定 802.11a 数据包结构如下，请解释如何进行时域同步。



分为两个阶段：粗同步 (coarse timing) 和精同步 (fine timing)

- 粗同步：接收信号的自相关，找到大致的符号起始点。具体来说是利用接收信号 r 中 $t_1 \sim t_{10}$ 的自相关实现， r 与 r 左移 N_s 个采样点求自相关，自相关开始骤然降低的地方为 t_{10} 的开始时刻；
- 细同步：接收信号与已知训练符号的互相关，对粗同步的结果进行微调，得到一个更准确的符号起始点。具体来说是利用接收信号 r 和接收端已知的训练符号 a 的互相关实现，相关值最大的地方为 $GI2$ 的开始时刻。

随堂小测 13 (20241212) MIMO-1

1、SIMO 和 MISO 都可以获得空间分集增益，他们（获得增益的方式）有什么异同？

- SIMO: 选择合并 (Selection Combining, SC)、最大比合并 (Maximal Ratio Combining, MRC)
- MISO: Transmit MRC (发送端需要从接收端知道信道信息)、Alamouti 方案 (发送端不需要知道信道信息，但性能较 Transmit MRC 下降 3dB)

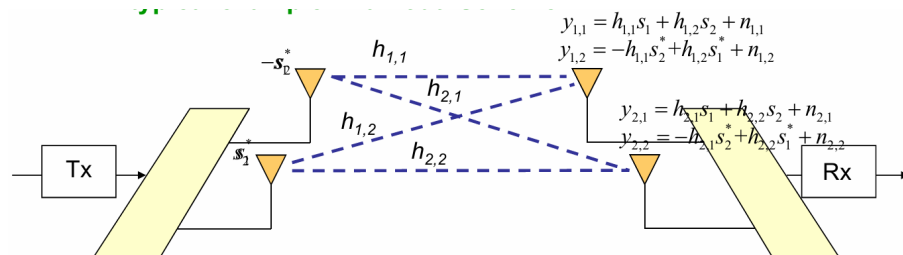
2、MIMO 系统为了获得最大的分集增益，应采取 Dominant Eigenmode (主导特征模态) 还是 Multiple Eigenmode (多特征模态)？发送端该如何设置？接收端该如何设置？

为了获得最大的分集增益，MIMO 系统通常采用 Dominant Eigenmode (主导特征模态) 传输。发送端的 n_t 个发射天线发送相同的数据，在知道信道信息的情况下，对信道矩阵 H 进行 SVD (Singular value decomposition, 奇异值分解) 得到 H 的左奇异矩阵和右奇异矩阵，进而得到发送端和接收端的加权向量 $W_t = v_t$ 和 $W_r = u_r$ 。

3、MIMO 系统为了获得最大的空间复用增益，应采取 Dominant Eigenmode (主导特征模态) 还是 Multiple Eigenmode (多特征模态)？发送端该如何设置？接收端该如何设置？

为了获得最大的空间复用增益，MIMO 系统通常采用 Multiple Eigenmode (多特征模态) 传输。发送端的 n_t 个发射天线发送不同的数据，在知道信道信息的情况下，在发送端和接收端分别设置合适的加权向量 $W_t = V_H$ 和 $W_r^H = U_H^H$ 。

4、考虑 2×2 的 MIMO 系统，采用 Alamouti 机制，请推导 Alamouti 机制下接收端可获得的 SNR 表达式。



$$E\{|s_1|^2\} = E\{|s_2|^2\} = \frac{1}{2} E\{|s|^2\} = \frac{1}{2} P_{sig} \quad H = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix}$$

$$Y_1 = \begin{bmatrix} y_{1,1} \\ y_{2,1} \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{1,1} \\ n_{2,1} \end{bmatrix}$$

$$Y_2 = \begin{bmatrix} y_{1,2} \\ y_{2,2} \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} -s_1^* \\ s_1^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{1,2} \\ n_{2,2} \end{bmatrix}$$

Combined signal

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \\ h_{1,2}^* & -h_{1,1}^* \\ h_{2,2}^* & -h_{2,1}^* \end{bmatrix}}_{H_{eff}} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{1,1} \\ n_{2,1} \\ n_{1,2}^* \\ n_{2,2}^* \end{bmatrix} = H_{eff} S + n$$

$$H_{eff} \text{ is orthogonal: } H_{eff}^H H_{eff} = \|H\|_F^2 I$$

$$\|H\|_F \text{ is the Frobenius norm of matrix } H, \text{ defined as } \|H\|_F = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |h_{i,j}|^2}$$

$$Z = H_{eff}^H Y = H_{eff}^H H_{eff} S + H_{eff}^H n = \|H\|_F^2 S + H_{eff}^H n$$

$$\text{receiver SNR} = \frac{E\left\{\left\|\|H\|_F^2 s_{1/2}\right\|^2\right\}}{E\left\{|n|^2\right\}} = \frac{\left(\|H\|_F^2\right)^2 \frac{1}{2} P_{sig}}{\|H\|_F^2 \sigma^2} = \frac{\|H\|_F^2 P_{sig}}{2 \sigma^2}$$

5、已知发送端采用 BPSK 调制，数据符号功率为 1，Simple example: received signal 接

收信号的简单示例: $Y = \begin{bmatrix} 1.0 \\ -1.2 \end{bmatrix}$, channel matrix 矩阵信号: $H = \begin{bmatrix} 1.2 & 0.3 \\ -0.8 & 0.5 \end{bmatrix}$, 求 S=? 请

给出 MLD 的中英文全称, 并用 MLD 算法求取 S。

(1) MLD: Maximum Likelihood Detection, 最大似然检测

(2) List all possible combinations of X:

$$X = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Exhaustive search over all possible X:

$$\arg \min_X \|Y - HX\|^2 = \arg \min \left\{ \left\| Y - H \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right\|^2, \left\| Y - H \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \right\|^2, \left\| Y - H \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \right\|^2, \left\| Y - H \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix} \right\|^2 \right\}$$

Simple example: received signal: $Y = \begin{bmatrix} 1.0 \\ -1.2 \end{bmatrix}$, channel matrix: $H = \begin{bmatrix} 1.2 & 0.3 \\ -0.8 & 0.5 \end{bmatrix}$, $S = ?$

$$H \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ -0.3 \end{bmatrix} \quad H \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.9 \\ -1.3 \end{bmatrix} \quad H \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.9 \\ 1.3 \end{bmatrix} \quad H \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.5 \\ 0.3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{cccc} & & \downarrow Y = \begin{bmatrix} 1.0 \\ -1.2 \end{bmatrix} & \\ 1.06 & 0.02 & 9.86 & 8.5 \\ & \text{minimum distance} & & \end{array}$$

6、补充: 在利用多天线最大化分集增益时, 每根发送天线上传送的信号是相同的还是不同的? 在利用多天线进行空间复用时, 每根发送天线上传送的信号是相同的还是不同的? 为什么?

- (1) 在利用多天线最大化分集增益时, 每根发送天线上传送的信号是相同的, 这样可以提高信号的可靠性, 抵抗信道的衰落。
- (2) 在利用多天线进行空间复用时, 每根发送天线上传送的信号是不同的, 这样可以提高信号的速率, 利用信道的自由度。

7、补充: 与 ZF/MMSE 相比, MLD 的优势在哪里? 缺点在哪里?

- 优势: 即有分集增益, 又有复用增益, 检测性能好, 能达到最低的误码率。
 - 缺点: 复杂度高, 且计算量会随着发送天线个数和调制阶数的增加而指数增加。
- 补充: 检测性能排序是: MLD > MMSE > ZF > MRC, MMSE 和 ZF 都不具有分集增益, 而 MMSE 因为利用 SNR 信息, 检测效果更好。

8、补充: IC 全称是什么? 其作用是什么?

- (1) IC: Interference Cancellation, 干扰消除
- (2) 作用: 先检测一个符号 (正确检测), 将该符号的影响减去, 增加系统分集增益。

随堂小测 14 (20241217) MIMO-2 & 2G-1

1、已知发送端采用 BPSK 调制, 数据符号功率为 1, Simple example: received signal 接

收信号的简单示例: $Y = \begin{bmatrix} 1.0 \\ -1.2 \end{bmatrix}$, channel matrix 矩阵信号: $H = \begin{bmatrix} 1.2 & 0.3 \\ -0.8 & 0.5 \end{bmatrix}$, 求 S=?

请给出 ZF 和 MMSE 的中英文全称, 并用 ZF 检测算法求取 S。

- (1) ZF: Zero Forcing, 迫零检测

MMSE: Minimum Mean-Square Error, 最小均方误差

(2) – **objective function:**

$$\arg \min_X \|Y - HX\|^2 \quad \text{Same as that of MLD!!!}$$

Assumption: X takes continuous values => **Different solutions!**

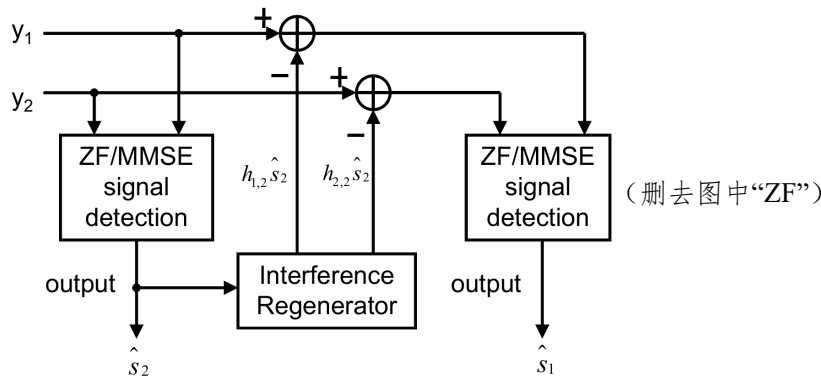
$$f(X) = \|Y - HX\|^2 = (Y - HX)^H (Y - HX)$$

$$\frac{\partial f(X)}{\partial X} = 0 \quad \Rightarrow \quad H^H (Y - HX) = 0 \quad \Rightarrow \quad \hat{X} = \underbrace{(H^H H)^{-1} H^H}_{H^+} Y = H^+ Y$$

Simple example: received signal: $Y = \begin{bmatrix} 1.0 \\ -1.2 \end{bmatrix}$, channel matrix: $H = \begin{bmatrix} 1.2 & 0.3 \\ -0.8 & 0.5 \end{bmatrix}$, $X = ?$

$$H^+ = \begin{bmatrix} 0.60 & -0.36 \\ 0.95 & 1.43 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad X = H^+ Y = \begin{bmatrix} 0.60 & -0.36 \\ 0.95 & 1.43 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.0 \\ -1.2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.02 \\ -0.76 \end{bmatrix} \quad \xrightarrow{\text{BPSK}} \quad \hat{X} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

2、请画出 MMSE-SIC 检测的原理框图，并解释其检测原理。



首先通过训练数据估计信道矩阵，并根据某种策略（如信号强度）选择一个用户进行检测。再利用 MMSE 准则检测该用户的信号，并从接收信号中减去该用户的信号估计，消除其干扰。重复上述步骤，继续对剩余的用户信号进行检测和干扰消除，直到所有用户的信号都被检测出来。

3、考虑 MIMO 系统。假设发送端有 n_t 根天线，接收端有 n_r 根天线，请给出发送信号、信道、接收信号的矩阵表达式。

$$\begin{aligned} \text{发送信号: } \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_{n_t} \end{bmatrix} \quad \text{信道: } \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{2,1} & \cdots & h_{1,n_t} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \cdots & h_{2,n_t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n_r,1} & h_{n_r,2} & \cdots & h_{n_r,n_t} \end{bmatrix} \quad \text{接收信号: } \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{n_r} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{n_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{2,1} & \cdots & h_{1,n_t} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \cdots & h_{2,n_t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n_r,1} & h_{n_r,2} & \cdots & h_{n_r,n_t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_{n_t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{n_r} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

4、蜂窝的基本理念是什么？

用许多低功率发射器（小型蜂窝）取代单个高功率发射器（大型蜂窝），每个发射器仅覆盖一小部分服务区域（称为小区），每个小区由一个基站提供服务，基站位于小区的中心或边缘。

每个基站分配有整个系统可用频道总数的一部分，并且附近的基站分配有不同的频道组。相邻基站被分配不同的信道组，以便最大限度地减少基站（及其控制下的移动用户）之间的干扰。

利用信号在传输一定距离后会衰减的特性，使得在传输一定距离后可以重复使用相同的载频。因此，在不同的小区中可以重复使用相同的频率，通过频率复用，可以提高频谱的利用效率。

5、在 2G-GSM 系统架构图中，MSC 的中英文全称是什么？主要功能是什么？

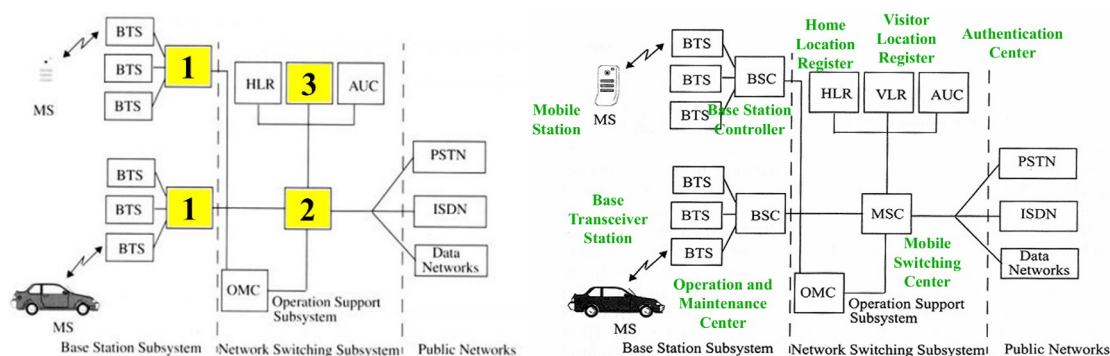
(1) MSC: Mobile Switching Center, 移动交换中心

(2) MSC 的主要功能：

- 呼叫处理：控制所有 BSC 的业务，从 GSM 系统内的三个数据库中获取用户位置登记和呼叫请求所需的全部数据。
- 网间互通：直接提供或通过移动网关 GMSC 提供和固定网的接口功能，把移动用户与移动用户、移动用户和固定网用户互相连接起来。
- 操作维护：更新数据库的部分数据，与网络其他部件协同工作，完成移动用户位置登记、越区切换和自动漫游、合法性检查、频道转接等功能。
- 计费

随堂小测 15（20241219）2G-2

1、给出右图中 1,2,3 部分的英文缩写与全名。1,3 的主要功能是什么？



(1) 1: BSC, Base Station Controller, 基站控制器

2: MSC, Mobile Switching Center, 移动交换中心

3: VLR, Visitor Location Register, 拜访位置寄存器

(2) BSC: 负责完成无线网络管理、无线资源管理及无线基站的监视管理, 控制移动台与 BTS 无线连接的建立、持续和拆除等管理。

VLR: 存储所管辖区域中 MS (统称拜访客户) 的来话、去话呼叫所需检索的信息以及用户签约业务和附加业务的信息。

2、GSM 系统采用的多址接入方式是什么？GSM 系统总的带宽有多少？通信信道的带宽是多少？最多可以分给几个用户使用？

(1) TDMA 和 FDMA 的组合

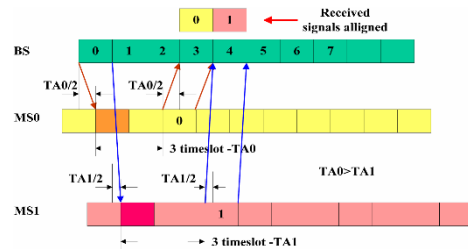
(2) 两个 25MHz 频段 (上行和下行)

(3) 划分为 200kHz 宽的信道

(4) 每个信道由 8 个用户使用 TDMA 进行时间共享 (整个系统: $125 \times 8 = 1000$ 个用户)

3、在 GSM 系统中，基站端与任意一个用户通信时，要求发送和接收相距 3 个时隙，为什么？

由于移动台与基站之间的距离不同，信号在传播过程中会有不同的延时。为了确保信号能够在正确的时间到达，需要在时隙之间留出一定的间隔，以补偿这种传播延时。



4、DTX 的中英文全称是什么？其工作原理是什么？有什么好处？

- (1) DTX: Discontinuous Transmission Mode，不连续发射
- (2) 工作原理：在有话音信号需要发送时才激活发射机。
- (3) 好处：可以显著减少不必要的电磁辐射，降低空中接口的干扰电平，并减少移动设备的电池消耗。

5、IS-95 系统采用的多址接入方式是什么？通信信道的带宽是多少？最多可以分给几个用户使用？IS-95 系统的频率复用因子是多少？

- (1) CDMA
- (2) 每个 CDMA 信道占用 1.25MHz
- (3) IS-95 系统在单个小区中最多可以同时支持 64 个用户（基于 Walsh 码数量），但在实际应用中，通常的用户容量约为 30-40 个，以保证系统性能和用户体验。
- (4) 频率复用因子=1

随堂小测 16（20241224）2G-3

1、IS-95 上下行分别采用什么调制方式？为什么？

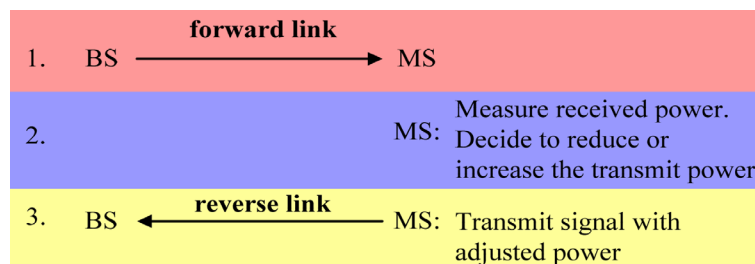
- (1) 上行：正交调制+BS 处的非相干检测
原因：由于信号是异步传输的，故信号之间的正交性被破坏，若每个 MS 都发送一个导频信号将降低效率并增加设备复杂度，因此在 BS 处使用非相干检测。
- (2) 下行：MS 处的相干检测
原因：由于信号是同步传输的，故 BS 能够在小区内向所有 MS 发送由不同的 Walsh 码扩展的同一个导频信号用于信道估计，因此在 MS 处使用相干检测。

2、IS-95 上行功率控制机制包括开环和闭环功控。请分别描述开环和闭环功控的过程。这两种功控的目的是分别是什么？

(1) 开环功控：

过程：MS 根据下行链路中接收的总功率调整其发射功率。如果接收功率高（低），则 MS 会降低（增加）其发射功率。

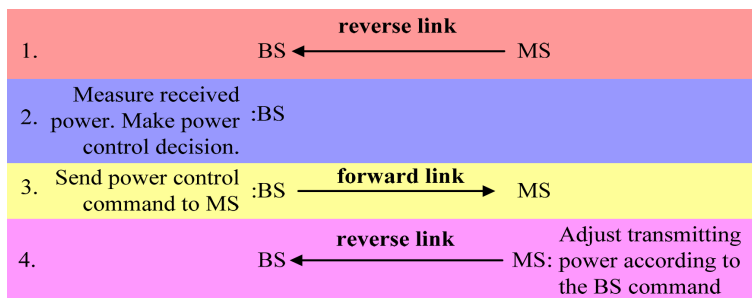
目的：旨在补偿由距离和阴影引起的长期信道变化。



(2) 闭环功控：

过程：BS 根据上行链路中接收的总功率调整其发给 MS 的功率控制指令。如果接收功率高（低），则 BS 会发给 MS 降低（增加）其发射功率的功率控制指令。MS 将根据接收到的功率控制指令来确定其发射功率。

目的：旨在补偿快速衰落引起的短期信道变化。



3、什么是硬切换？什么是软切换？软切换有哪些优点？

- (1) **硬切换**：是否切换的明确决定已做出。先断后通策略，在建立与新通信信道的连接之前，先断开与旧通信信道的连接。
- (2) **软切换**：是否切换将根据条件做出决定。先通后断策略，用户与所有候选基站同时进行通信，根据所涉及的基站不断变化的导频信号强度，当一个基站的信号明显强于其他基站时，将做出仅与一个基站通信的艰难决定。
- (3) 软切换优点：
 - 切换之前联系新的基站可避免移动站与系统失去联系，从而避免掉线。
 - 可以对多个信号进行分集组合，性能增强。
 - 避免基站切换时的乒乓效应。
 - 系统无需像移动站那样确定信号强度。

4、什么是电路交换？什么是包交换？各适用于什么业务？

(1) 电路交换 (Circuit Switched):

GSM 主要使用电路交换。在通信开始前，必须先建立端到端的通信路径。该通道在整个通信过程中始终保持占用，即使没有数据传输也不会释放。适用于语音业务。

(2) 分组交换 (Packet Switched):

GPRS 引入分组交换。数据在传输前被分割成小的数据包，每个包独立传输，通过网络的不同路径到达目的地后重新组合，动态分配网络资源。适用于数据业务。

5、在网络架构上，相比 GSM，GPRS 主要带来什么变化？为什么要引入这些新的功能？

(1) 变化：

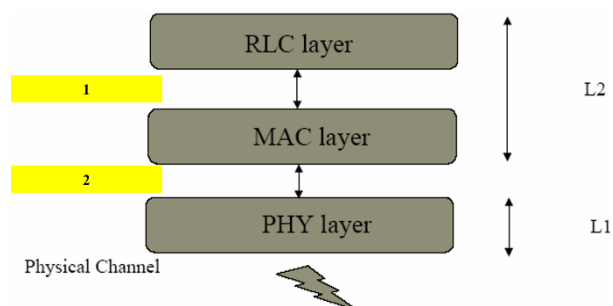
- 1) 升级的 BSC:
 - 添加分组控制单元 (PCU)
区分发往 GSM 网络和 GPRS 网络的数据。
- 2) 两个新功能元素：
 - GPRS 服务支持节点 (SGSN)
路由、切换和 IP 地址分配。
 - GPRS 网关支持节点 (GGSN)
基本上是集网关、路由器和防火墙于一体。
 - GPRS 隧道协议 (GTP)
SGSN 和 GGSN 之间的连接位于 TCP/IP 之上，负责收集调解和计费信息。

(2) 原因：

- 满足日益增长的数据需求；
- 提升网络效率和利用率；
- 实现移动互联网接入。

随堂小测 17 (20241226) 3G

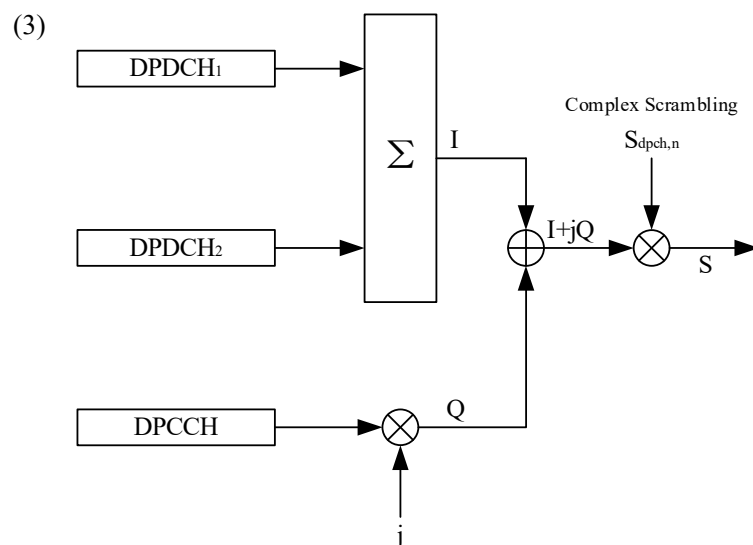
- 1、 WCDMA 空口采用什么多址接入技术？下行用什么方式来提升传输速率？通信信道带宽是多少？支持的最高数据速率为多少？右图 1 和 2 代表哪两类信道？他们分别定义了什么内容？



- (1) CDMA
- (2) 减小扩频因子 (Spreading factor); 多码传输 (Multicode Transmission)
- (3) 5MHz
- (4) 2Mbps
- (5) 1: Logical channel, 逻辑信道: 定义传输的数据类型
2: Transport channel, 传输信道: 定义数据以何种特性、如何通过物理层传输
3: Physical channel, 物理信道: 定义无线电信道的确切物理特性

- 2、 WCDMA 上行的设计原则是什么？上行 DPDCH 和 DPCCH 是采用哪种方式复用的？假设有 2 个 DPDCH 和 1 个 DPCCH，请画图说明他们是如何复用的。为什么要采用这种复用方式？

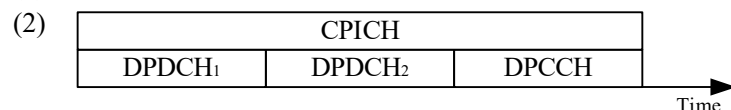
- (1) 最大化终端放大器效率，最小化终端传输的音频干扰。
- (2) DPDCH 和 DPCCH 在每个无线帧内进行 I/Q 码复用。



(4) DPCCH 保持在单独的连续信道上，无脉冲传输，最大限度地减少音频干扰。

3、WCDMA 下行 DPDCH 和 DPCCH 是采用哪种方式复用的？假设有 2 个 DPDCH 和 1 个 DPCCH，请画图说明他们是如何复用的。为什么要采用这种复用方式？

(1) DPDCH 和 DPCCH 以时分复用 (TDM) 模式在 DPCH 上传输。



(3) 公共信道连续传输，无音频干扰。

4、扩频和加扰的区别是什么？WCDMA 中分别用哪种码来作为扩频码和扰码？WCDMA 上下行扩频码和扰码的作用分别是什么？

(1) 扩频：主要目的是将信号的频谱扩展到更宽的带宽上，以提高信号的抗干扰能力、实现多址接入以及提高系统容量等。

加扰：主要目的是为了增加信号的随机性和保密性，使信号更难被未经授权的用户破解或干扰，并不改变信号的带宽。

(2) 扩频码：OVSF 码 (Orthogonal Variable Spreading Factor codes, 正交可变扩频因子码)

扰码：Gold 码

(3) 上行链路：扩频码用于区分同一个用户的不同信道，扰码用于区分不同用户。

下行链路：扩频码用于区分同一小区中不同的用户，扰码用于区分不同小区。

5、WCDMA 中上行的 DPCCH 和 DPDCH 需要复加扰的原因？

- 降低峰均比：通过复加扰，可以平衡 I/Q 两路信号的功率，从而降低信号的峰均比 (PAPR)，减少对放大器的线性度要求。
- 提高信号的抗干扰能力：复加扰可以增加信号的随机性，降低多径干扰和码间干扰的影响，提高信号的抗干扰能力。
- 简化接收端处理：复加扰使得接收端在解扰时可以同时处理 I/Q 两路信号，简化了接收端的信号处理过程。

6、补充：为什么说 CDMA2000 的后向兼容性比 WCDMA 的后向兼容性好？

CDMA2000 是从 IS-95 直接发展而来，保留了与 IS-95 的兼容性，因此在技术演进过程中，可以平滑过渡，不需要大规模更换基础设施；而 WCDMA 与 GSM 等 2G 技术差异较大，后向兼容性相对较弱。

7、补充：CDMA2000 前向信道中，F-PCH 和 F-PDCH 分别采用哪种调制方式？为什么？

- F-PCH: BPSK
- F-PDCH: 自适应调制，QPSK、8PSK、16QAM

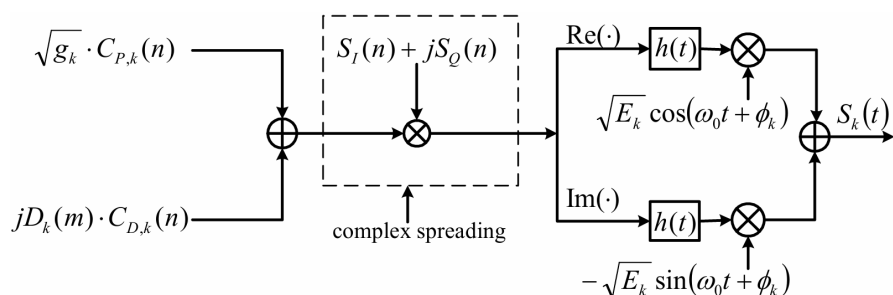
因为前向寻呼信道 (F-PCH) 对误比特率要求严格，而前向分组数据信道 (F-PDCH) 更看重在信道良好时提供更高的数据速率。

8、补充：QPSK 和 BPSK 相比，优缺点是什么？

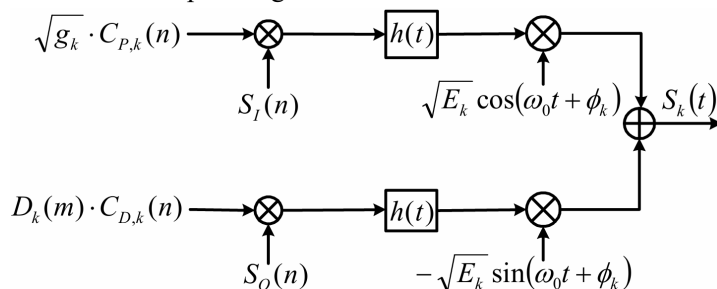
- 优点：带宽效率更高，增加编码增益。
- 缺点：对不准确的载波相位恢复更敏感，SINR 下降幅度更大。

9、补充：请画图说明 Complex Spreading 和 Dual Channel Spreading。两者性能上有什么差别？

Complex Spreading:



Dual Channel Spreading:



Complex Spreading 在抗干扰性、频谱效率和多径抗性方面表现更优，但实现复杂度较高。Dual Channel Spreading 实现简单，但在频谱和功率效率方面略显不足。

10、 补充：在 CDMA2000 中，需要 hard handoff 吗？为什么？它采用的 soft handoff 是怎样操作的？它采用的 softer handoff 是怎样操作的？

(1) 需要。因为 CDMA2000 在多个载波上运行，有时需要 MS 切换到不同的载波。

(2) 软切换 (soft handoff)

前向链路：多个基站 (Base Stations, BSs) 传输相同的业务信道数据符号，移动台 (Mobile Station, MS) 在帧解码之前对解调后的信号进行合并，实现空间分集。

反向链路：多个基站从移动台接收相同的数据符号，各自独立进行解码，并将解码结果发送给基站控制器 (Base Station Controller, BSC)，基站控制器选择质量最高的结果，采用选择合并方式，空间分集效果相对较弱。

(3) 更软切换 (softer handoff)

前向链路：与软切换中的前向链路情况相同。

反向链路：部分基站隶属于同一个基站收发信台 (Base Transceiver Station, BTS)，基站收发信台能够在帧解码之前对解调后的信号进行合并。

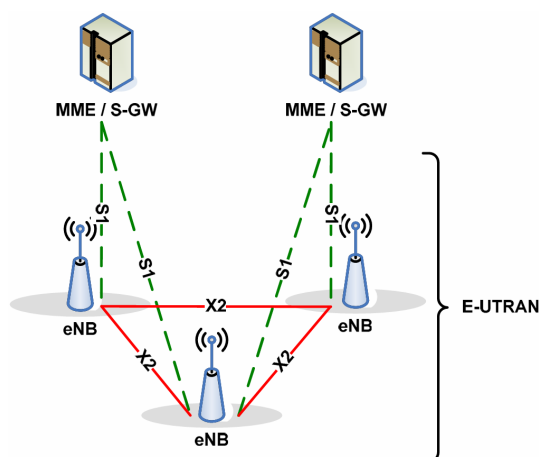
随堂小测 18 (20241231) 3.9G-1

1、 LTE 支持的通信信道带宽是多少？上下行支持的最大速率是多少？LTE 的一个时频资源粒子 RE 是多大？一个时频资源块 RB 是多大？

- (1) 1.4~20MHz (1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz)
- (2) 下行 100Mbps, 上行 50Mbps
- (3) 子载波间隔 $\times 1$ 个 OFDM/SC-FDMA 符号长度
- (4) 180kHz $\times 1$ 个时隙 (0.5ms)

2、 请画出 LTE/SAE 的网络架构图，标注出每个功能模块的英文缩写和图中的接口名字，并给出各功能模块的英文全称及其主要功能。

(1)



(2) MME (Mobility Management Entity, 移动性管理实体)

- 移动性管理
- 会话管理
- 用户鉴权和密钥管理
- NAS 层信令的加密和完整性保护
- TA LIST 管理
- P-GW/S-GW 选择

S-GW (Serving Gateway, 服务网关)

- 分组路由和转发功能
- IP 头压缩
- IDLE 态终结点，下行数据缓存
- E-NodeB 间切换的锚点
- 基于用户和承载的计费
- 路由优化和用户漫游时 QoS 和计费策略实现功能

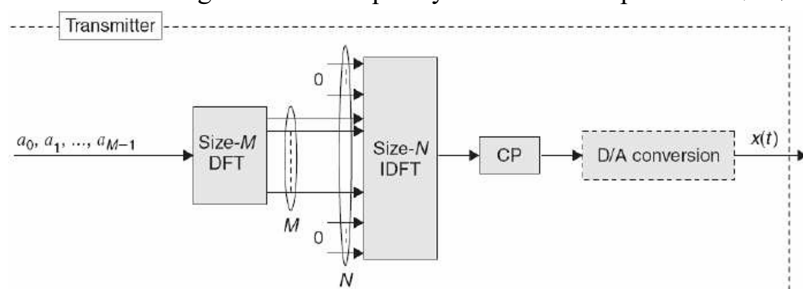
eNB (evolved Node B, 演进型基站)

- 无线资源管理
- IP 头压缩
- 数据加解密
- MME 选择
- 用户数据路由
- 广播
- 寻呼
- 信道测量

3、请给出 SC-FDMA 的英文全称。请画出 SC-FDMA 发送端主要处理流程。为什么 LTE 在上行采用 SC-FDMA?

(1) SC-FDMA (Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access, 单载波频分多址)

(2)



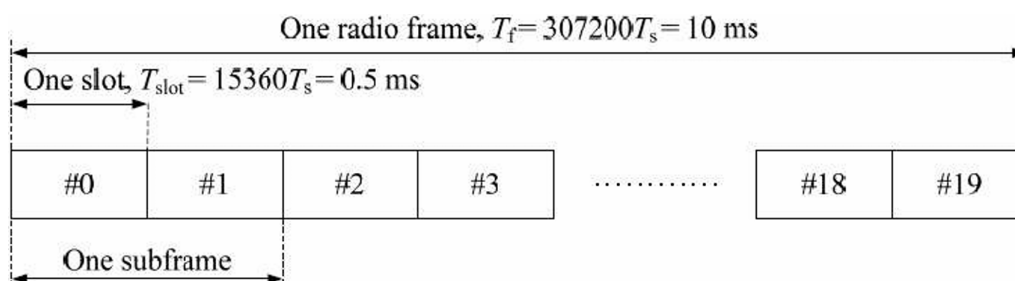
- (3) LTE 在上行链路采用 SC-FDMA，主要是为了降低 PAPR，提高功放效率，减少功耗，延长电池续航时间，同时保持与 OFDM 的兼容性和良好的频谱效率。

4、什么是码字？什么是层？什么是天线端口？

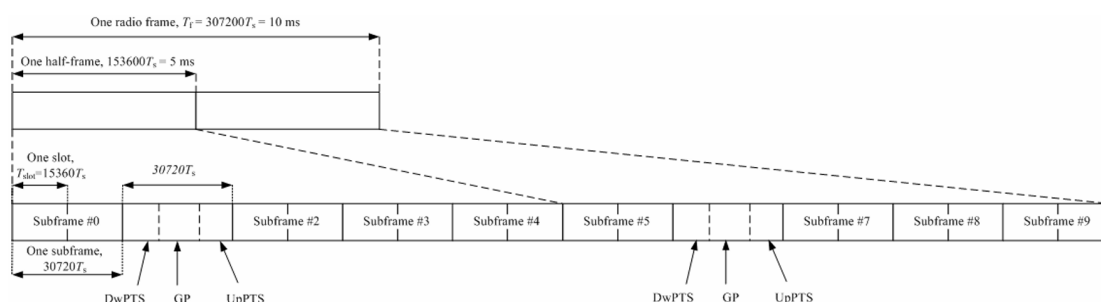
- (1) 码字：指物理层发送的数据流，表示调制和编码后的比特流。
 - (2) 层：指在空间复用中传输的独立数据流，用于将码字映射到多根天线上进行传输。
 - (3) 天线端口：代表一个虚拟的或逻辑上的传输通道，不同天线端口可能映射到相同的物理天线或不同的物理天线。
- 补充：码字用于区分空间复用的流，层用于重排码字数据，天线端口决定预编码天线映射。

5、请画出 LTE-FDD 的帧结构，给出时间长度。请画出 LTE-TDD 的帧结构，给出时间长度。为什么 LTE-TDD 的帧中，只有从下行传输转到上行传输才会有特殊子帧，上行传输转到下行传输不需要特殊子帧？

- (1) LTE-FDD 的帧结构：



- (2) LTE-TDD 的帧结构：



- (3) 下行到上行：需要特殊子帧，因为它涉及到从基站（下行）到终端（上行）的时序切换，需要缓冲时间以防止信号冲突和干扰。
- 上行到下行：不需要特殊子帧，因为上行信号已经发送完毕，且基站可以直接控制下行的发送，因此不需要额外的时间间隔。

随堂小测 19 (20250102) 3.9G-2

1、LTE 下行最多支持几天线同时传输？上行呢？请解释 LTE 下行采用的传输分集机制 SFBC+FSTD 是怎样一种机制？请画出这种机制下符号发送模式。

- (1) 下行：8 天线发送（利用专用天线端口以及灵活的天线端口映射技术）
 - (2) 上行：单天线发送（不是只有一个天线）
 - (3) SFBC (Space-Frequency Block Coding, 空频块编码) 是一种空域和频域联合的编码方式，用于在 LTE 下行中提供传输分集。
- FSTD (Frequency Switched Transmit Diversity, 频域交织发送分集) 是指在不同天线上

以交错的频率发送相同的符号，以提供频域分集增益。

SFBC+FSTD: 在两个维度上提供分集，这种机制能有效增强系统的抗衰落能力，提高接收端的信号质量，特别适用于高速移动场景和频率选择性信道环境。

$$\begin{array}{c}
 (4) \quad \begin{array}{cccc}
 & k+3 & k+2 & k+1 & k \\
 \leftarrow & | & | & | & | \\
 & \text{Sub-carrier} & & &
 \end{array} \\
 \begin{array}{lcl}
 \text{TX1} \leftarrow & S_1 & S_2 & 0 & 0 \\
 \text{TX2} \leftarrow & 0 & 0 & S_3 & S_4 \\
 \text{TX3} \leftarrow & -S_2^* & S_1^* & 0 & 0 \\
 \text{TX4} \leftarrow & 0 & 0 & -S_4^* & S_3^*
 \end{array}
 \end{array}$$

2、请给出 FEC, ARQ 和 HARQ 的英文全称，并解释这三种机制的工作方式和功能。

(1) FEC: Forward Error Correction, 前向纠错

- 工作方式: FEC 是一种主动的错误校正机制，在发送端对数据进行编码，加入冗余校验比特，接收端即使在有错情况下，也能够自行纠正数据，无需请求重传。
- 功能: 提高数据传输的可靠性，减少重传次数，适用于实时性好的场景，但译码设备较复杂。

(2) ARQ: Automatic Repeat reQuest, 自动重传请求

- 工作方式: ARQ 是一种基于反馈的错误恢复机制，当接收端检测到错误时，发送重传请求 (NACK)，要求发送端重新发送出错的分组。
- 功能: 确保数据的正确传输，适用于对实时性要求不高的场景，译码设备简单，但需要反馈信道，可能导致实时性差。

(3) HARQ: Hybrid Automatic Repeat reQuest, 混合自动重传请求

- 工作方式: HARQ 结合了 FEC 和 ARQ 的优点，通过在每次传输中加入前向纠错编码，同时在必要时使用自动重传请求来增强数据恢复能力。
- 功能: HARQ 通过结合 FEC 和 ARQ 的优点，减少了重传次数，提高了数据传输的效率和可靠性。它适用于需要高可靠性和一定实时性的场景。

3、ARQ 有哪三种基本协议？请给出每个协议的基本工作流程，分析各自的优缺点。

(1) SAW-ARQ (Stop-And-Wait ARQ, 停止-等待协议)

- 工作流程: 发送方每次只发送一个数据帧，在收到接收方的确认 (ACK) 后再发送下一个数据帧。如果发送方在一定时间内没有收到确认，它会重传数据帧。
- 优点: 实现简单，适用于低速或可靠性要求较高的环境。
- 缺点: 信道利用率低，因为发送方在等待确认期间不能发送新的数据帧，导致信道资源浪费，尤其是在传播延迟较大时效率极低。

(2) GBN-ARQ (Go-Back-N ARQ, 回退 N 帧协议)

- 工作流程: 发送方可以连续发送多个数据帧而不需要等待每个帧的确认。接收方对收到的帧进行确认，发送方根据收到的确认帧判断哪些帧需要重传。如果接收方发现有帧丢失或出错，则会丢弃该帧及其后续的所有帧，并只发送对收到的最后一个正确帧的确认。发送方收到该确认后，从丢失帧的位置开始重传。
- 优点: 提高了信道的利用率，允许流水线传输数据。
- 缺点: 如果一帧出错，必须重传其帧和后面 N-1 帧，增加了系统开销，在信道条件差时，有待于确认的帧越多，可能要退回来重发很多帧，所以此方法性能不一定比停等式优越。

(3) SR-ARQ (Selective-Repeat ARQ, 选择重传协议)

- 工作流程：与 GBN-ARQ 类似，发送方可以连续发送多个数据帧。但是，如果接收方发现有帧出错，它只会请求重传出错的帧，而不是重传出错帧及其之后的所有帧。发送方会缓存错误帧之后发送的帧，直到收到对这些帧的确认。
- 优点：比 GBN-ARQ 更高效，因为它减少了出错帧之后正确帧都要重传的开销。
- 缺点：协议更复杂，需要更大的缓存空间来存储已发送但未被确认的帧。

4、什么是同步 HARQ、异步 HARQ？什么是自适应 HARQ、非自适应 HARQ？LTE 上下行分别采用了什么 HARQ 机制？

(1) 同步 HARQ 协议 (LTE 上行)：如果重传在预先定义好的时间进行，接收机不需要显示告知进程号，则称为同步 HARQ 协议。

异步 HARQ 协议 (LTE 下行)：如果重传在上一次传输之后的任何可用时间上进行，接收机需要显示告知具体的进程号，则称为异步 HARQ 协议。

(2) 自适应 HARQ：自适应 HARQ 是指重传时可以改变初传的一部分或者全部属性，比如调制方式，资源分配等，这些属性的改变需要信令额外通知。

非自适应 HARQ：非自适应的 HARQ 是指重传时改变的属性是发射机与接收机实现协商好的，不需要额外的信令通知。

(3) LTE 下行采用自适应的 HARQ。

LTE 上行同时支持自适应 HARQ 和非自适应的 HARQ。

5、LTE 可以支持哪两种双工方式？各自的特点是什么？

频分双工 (FDD)：

- 上行传输和下行传输在不同的载波频段上进行；
- 适合对称业务，如语音通信；
- 频谱利用率高，但需要成对的频谱资源。

时分双工 (TDD)：

- 上行传输和下行传输在相同的载波频段上进行
- 基站/终端在不同的时间进行信道的发送/接收或者接收/发送；
- 灵活适应不对称业务，如数据下载；
- 频谱利用率高，但对时间同步要求较高。

6、LTE 上下行分别采用了什么空时接入技术？为什么？

上行：SC-FDMA (单载波频分多址)

- 低峰均功率比 (PAPR)、降低终端复杂度、保持技术一致性

下行：OFDMA (正交频分多址)

- 频谱效率高、抗多径干扰、灵活的资源分配、适合与 MIMO 技术结合

随堂小测 20 (20250107) 4G

1、LTE-A 为什么要采用载波聚合 CA 技术？CA 的基本原理是什么？工作模式有哪几种？

- (1) LTE-A 采用载波聚合 (Carrier Aggregation, CA) 技术的主要原因是为了满足更高的数据传输速率需求。具体来说，LTE-A 需要实现下行峰值速率 1Gbps 和上行峰值速率 500Mbps，这需要更大的传输带宽。由于连续的大带宽频谱资源稀缺，载波聚合技术通过将多个较小的载波单元 (Component Carrier, CC) 聚合在一起，形成一个更宽的传输带宽，从而实现更高的数据速率。

- (2) 基本原理：将两个或更多的载波单元聚合在一起，以支持更大的传输带宽。每个载波单元的最大带宽为 20MHz，通过聚合多个载波，可以实现最大 100MHz 的传输带宽。这种技术允许 LTE-A 在频谱资源碎片化的情况下，更有效地利用这些资源。

- (3) **带内连续聚合**（Intra-band contiguous CA）：所有载波单元位于同一频段，且在频率上连续排列。

带内非连续聚合（Intra-band non-contiguous CA）：所有载波单元位于同一频段，但在频率上不连续排列。

带间聚合（Inter-band CA）：载波单元位于不同频段，跨频段进行聚合。

2、LTE-A 支持的通信带宽最大为多少？峰值速率是多少？

- (1) 100MHz
(2) 下行 1Gbps，上行 500Mbps

3、LTE-A 采用什么技术来支持最大通信带宽传输？与 LTE 兼容吗？

- (1) 载波聚合（Carrier Aggregation, CA）
增强多天线（enhanced MIMO, eMIMO）
多点协同传输（Coordinated Multi-Point, CoMP）
中继技术（Relay）
(2) 兼容

4、LTE-A 采用的多天线技术与 LTE 中的多天线技术相比，有什么不同？

- 提供了更高阶的 MIMO 技术（如 8×8 甚至更高的配置），提升了系统容量和吞吐量。
- 引入了 CoMP 技术，能够通过多个基站之间的协作，增强信号质量和干扰管理。
- 支持 Massive MIMO 技术，极大地提升了频谱效率和系统容量。
- 支持更多的天线配置和更高的吞吐量，特别是上行链路的 MIMO 技术得到了进一步优化。

5、LTE-A 采用的 CoMP 技术的基本思想是什么？下行 CoMP 主要有哪两种方式？

- (1) 基本思想：通过多个同类点之间的协作降低小区间干扰来提高系统边缘性能。
(2) 联合处理（Joint Processing, JP）
协作调度/波束赋形（Coordinated Scheduling/Beamforming, CS/CB）

附录 缩略词表

PSD	Power Spectral Density	功率谱密度
AWGN	Additive White Gaussian Noise	加性高斯白噪声
WSSUS	Wide-Sense-Stationary Uncorrelated-Scattering	广义平稳非相关散射信道
GWSSUS	Gaussian WSSUS	高斯广义平稳非相关散射信道
LOS Path	Line-Of-Sight Path	视线路径
ASK	Amplitude Shift Keying	幅移键控
OOK	On-Off Keying	通-断键控
PSK	Phase Shift Keying	相移键控
BPSK	Binary Phase Shift Keying	二进制相移键控
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	正交相移键控
OQPSK	Offset-QPSK	偏移正交相移键控
DPSK	Differential Phase Shift Keying	差分相移键控
FSK	Frequency Shift keying	频移键控
CPFSK	Continuous Phase Frequency Shift Keying	连续相位频移键控
MSK	Minimum Shift Keying	最小频移键控
GMSK	Gaussian Filtered Minimum Shift Keying	高斯最小频移键控
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	正交振幅调制
MRC	Maximal Ratio Combining	最大比合并
EGC	Equal-Gain Combining	等增益合并
SC	Selection Combining	选择合并
LDPC	Low Density Parity Check Code	低密度奇偶校验码
FEC	Forward Error Correcting	前向纠错
ARQ	Automatic Repeat reQuest	自动重传请求
HARQ	Hybrid ARQ	混合自动重传请求
CRC	Cyclic Redundancy Check	循环冗余校验
FDMA	Frequency Division Multiple Access	频分多址
SC-FDMA	Single Carrier-FDMA	单载波频分多址
CDMA	Code Division Multiple Access	码分多址
DS-CDMA	Direct Sequence-CDMA	直接序列码分多址
TDMA	Time Division Multiple Access	时分多址
SDMA	Space Division Multiple Access	空分多址
FHSS	Frequency-Hopping Spread Spectrum	频跳扩频
DSSS	Direct-Sequence Spread Spectrum	直接序列扩频
SSMA	Spread Spectrum Multiple Access	扩频多址
MAI	Multiple Access Interference	多址干扰
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交频分复用

CP	Cyclic Prefix	循环前缀
ISI	Inter Symbol Interference	码间串扰
ICI	Inter Carrier Interference	载波间干扰
CFO	Carrier Frequency Offset	载波频率偏移
PAPR	Peak to Average Power Ratio	峰值平均功率比
SISO	Single-Input Single-Output	单输入单输出系统
SIMO	Single-Input Multiple-Output	单输入多输出系统
MISO	Multiple-Input Single-Output	多输入单输出系统
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output	多输入多输出系统
SM	Spatial Multiplexing	空间复用
MLD	Maximum Likelihood Detection	最大似然检测
LS	Least Square	最小二乘法
ZF	Zero Forcing	迫零准则
MMSE	Minimum Mean Square Error	最小均方误差
SIC	Successive Interference Cancellation	逐次干扰消除法
IC	Interference Cancellation	干扰抵消
GSM	Global System for Mobile Communication	全球移动通信系统
GPRS	General Packet Radio Services	通用分组无线业务
EDGE	Enhanced Data Rate for GSM Evolution	增强型数据速率 GSM 演进技术
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	通用移动通信系统
LTE	Long Term Evolution	长期演进
MSC	Mobile Switching Center	移动交换中心
HLR	Home Location Register	归属位置寄存器
VLR	Visitor Location Register	拜访位置寄存器
AUC	Authentication Center	鉴权中心
BSC	Base Station Controller	基站控制器
BTS	Base Transceiver Station	基站收发站
OMC	Operation and Maintenance Center	运行维护中心
TDD	Time Division Duplex	时分双工
FDD	Frequency Division Duplex	频分双工
BCH	Broadcast Channel	广播信道
BCCH	Broadcast Control Channel	广播控制信道
CCCH	Common Control Channel	公共控制信道
CPCH	Common Packet Channel	公共分组信道
CPICH	Common Pilot Channel	公共导频信道
DCH	Dedicated Channel	专用信道
DCCH	Dedicated Control Channel	专用控制信道
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel	专用物理数据信道
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel	专用物理控制信道

FCCH	Frequency Correction Channel	频率校正信道
PCH	Paging Channel	寻呼信道
RACH	Random Access Channel	随机接入信道
SCH	Synchronization Channel	同步信道
TCH	Traffic Channel	业务信道
DTX	Discontinuous Transmission Mode	非连续性发射模式
PCU	Packet Control Unit	分组控制单元
SGSN	Serving GPRS Supporting Node	GPRS 服务支持节点
GGSN	Gateway GPRS Supporting Node	GPRS 网关支持节点
GTP	GPRS Tunneling Protocol	GPRS 隧道协议
CS	Circuit Switching	电路交换
PS	Packet Switching	分组交换
MS	Message Switching	报文交换
TPC	Transmit Power Control	传输功率控制
FBI	Feedback Information	反馈信息
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor	正交可变扩频因子码
MME	Mobility Management Entity	移动性管理实体
PDN	Public Data Network	公用数据网
PCRF	Policy and Charging Rules Function	策略与计费规则功能单元
HSS	Home Subscriber Server	归属用户服务器
FSTD	Frequency Switched Transmit Diversity	频率切换发送分集
TSTD	Time Switched Transmit Diversity	时间切换发送分集
IRC	Interference Rejection Combining	干扰抑制合并
CA	Carrier Aggregation	载波聚合
eMIMO	enhanced MIMO	增强多天线
CoMP	Coordinated Multiple Points	协作多点
JP	Joint processing	联合处理
CS/CB	Coordinated Scheduling/Beamforming	协作调度/波束赋形
eMBB	enhanced Mobile Broadband	增强移动宽带
mMTC	massive Machine Type Communication	大规模机器通信
uRLLC	ultra Reliable & Low Latency Communication	高可靠低时延通信
C-RAN	Centralized Radio Access Network	集中化无线接入网
SDN	Software Defined Network	软件定义网络
NFV	Network Functions Virtualization	网络功能虚拟化
NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access	非正交多址接入