



电子科技大学
University of Electronic Science and Technology of China

《移动通信》

期末复习提纲

通信抗干扰技术国家级重点实验室



考试题型和比例

- 考核总成绩
 - 平时成绩：10%（考勤、作业）
 - 课程设计成绩：30%
 - 期末考试成绩：60%
- 期末考试题型
 - 单项选择题（45分）
 - 是非判断（10分）
 - 简答题（15分）
 - 计算题（30分）



各章复习要点

第一章：移动通信概述

第二章：移动通信电波传播与预测模型

第三章：移动通信中的信源编码和调制解调技术

第四章：抗衰落和链路性能增强技术

第五章：蜂窝组网技术

第六章：**GSM**及其增强移动通信系统



第一章 移动通信概述

1.1 移动通信的发展简述

1.2 移动通信的特点和工作方式

1.3 移动通信的分类及应用系统



什么是移动通信

- **广义移动通信概念**
 - 通信双方或至少其中一方在运动状态中（或临时静止状态）进行信息交互的通信方式。
 - 采用电磁波为传输媒介的无线通信
- **狭义移动通信概念**
 - 蜂窝移动通信系统



1.1 移动通信的发展简述(1)

■ 三代移动通信系统的特点

第?代	传输模式	主要多址方式	带宽	业务种类	网络质量	主要代表
第1代	模拟	FDMA	窄	语音通信	较差	AMPS
第2代	数字	FDMA/ TDMA CDMA	窄	语音为主、数据为辅	较好	GSM IS-95
第3代	数字	CDMA	宽	语音、数据、多媒体	好	WCDMA Cdma2000 TD-SCDMA



1.1 移动通信的发展简述(2)

- **WiMAX和LTE采用类似新技术**
 - 正交频分多址 **OFDMA**
 - 子信道自适应调制和编码(**AMC**)
 - 混合自动重传请求 (**H-ARQ**),
 - 多输入多输出(**MIMO**)
 - 纯 **IP** 核心网



1.2 移动通信的特点和工作方式

- **移动通信的收发工作方式（统一）**
 - **单工**：消息只能单方向传输的工作方式
 - **半双工**：A可以给B发信息，B也可以给A发信息，但通信双方收发不能同时进行，只能交替进行
 - **双工**：通信双方收发能同时工作的方式 (频分双工和时分双工)
 - **频分双工（FDD）**：利用两个不同的频率进行区分。
 - **时分双工（TDD）**：利用同一频率，但不同的时间槽进行区分



FDD与TDD的技术特点

FDD (使用不同的频率收发信号，收发频带具有保护频带间隔)	TDD (使用不同的时隙收发信号，收发之间具有保护时间)
需要成对的频率，使用频带宽，适合对称业务，在不对称业务下，频谱利用率低	不需要成对的频率，所需频带窄，支持不对称业务，便于频谱分配，频谱利用率高
	收发同一频段，上下行信道特性一致，便于采用智能天线技术
设备成本高	设备成本降低
技术简单	需要更复杂的网络规划和优化技术
收发有保护频带间隔，抗干扰能力强	通过收发保护时间隔离，容易形成同频干扰
覆盖范围大	覆盖范围小
	需要更大的发送功率



1.3 移动通信的分类及应用系统

- 移动通信的典型应用系统
 - 陆地公众蜂窝移动通信系统
 - 宽带无线接入
 - 无线局域网
 - 集群通信
 - 无绳电话
 - 卫星移动通信
 -

陆地公众蜂窝移动通信系统是移动通信中发展最快、规模最大的系统



第二章 移动通信电波传播与预测模型

2.1 无线电波传播概述

2.2 自由空间的电波传播

2.3 三种基本电波传播机制

2.4 路径损耗模型

2.5 多径衰落信道及特性参数

2.6 多径衰落信道的统计模型

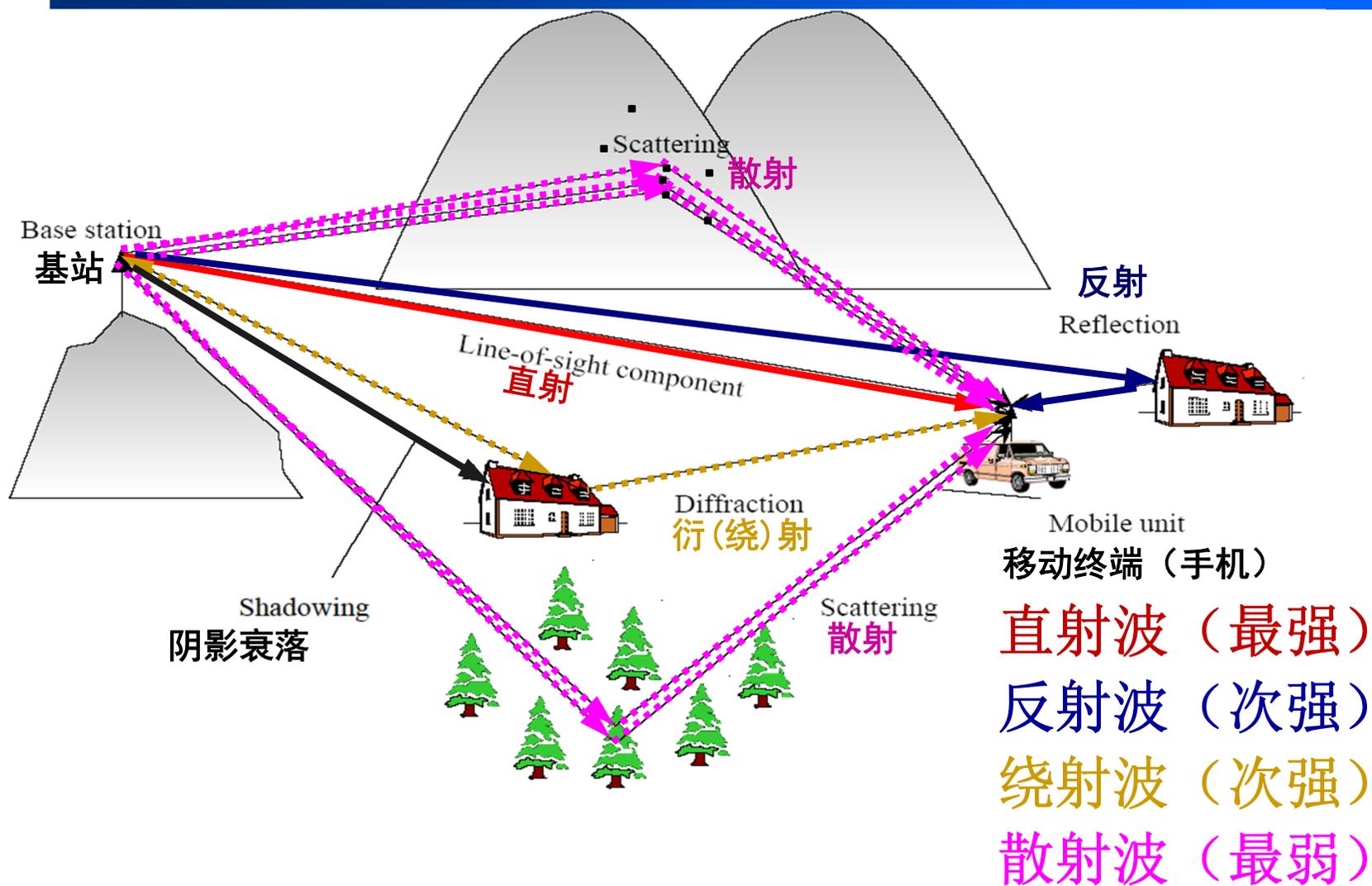
大尺度路
径损耗

小尺度
衰落

(按照课件复习)

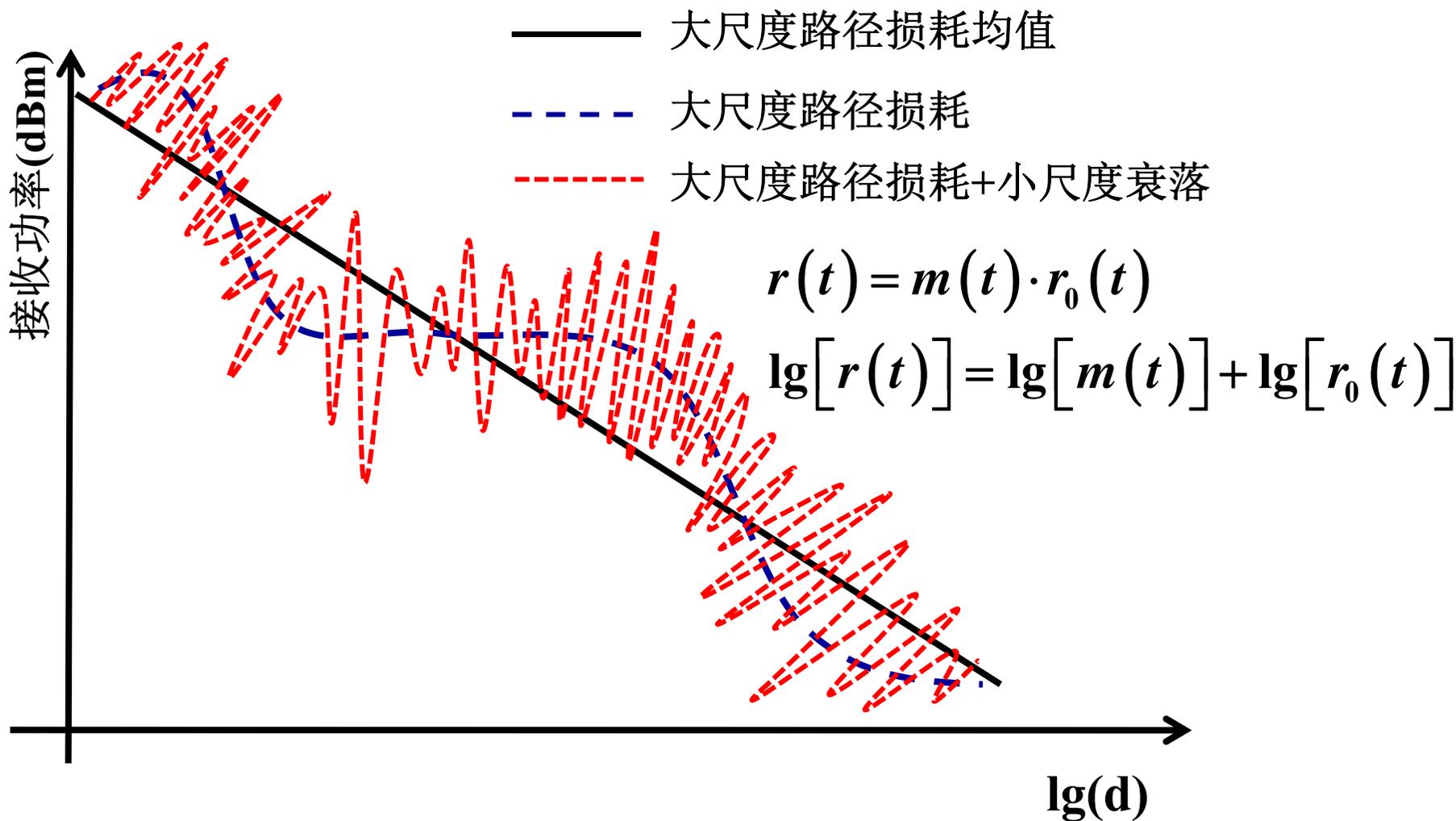


陆地移动信道的电波传播机制





大尺度路径损耗和小尺度衰落





大尺度路径损耗

n : 路径损耗指数

自由空间传播损耗

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \propto \frac{1}{d^2}, \propto \frac{1}{f^2}$$

$$L = 32.45 + 20 \lg f (\text{MHz}) + 20 \lg d (\text{km}) - (G_t + G_r)$$

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left(\frac{d_0}{d} \right)^2 \propto \frac{1}{d^2} \quad d > d_0 > 2D^2/\lambda$$

d_0 : 参考距离 D : 天线的最大尺寸 λ : 信号波长

对数距离路径损耗模型

$$L(d) = L(d_0) + 10n \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) + \zeta \quad n: \text{路径损耗指数}$$

ζ 为0均值, 标准差为 σ dB 的高斯分布随机变量, 单位为 dB



小尺度衰落

- 多径衰落的基本特性
 - 多径效应，多普勒效应
- 多普勒频移

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos \theta$$

- 衰落特性参数
 - 时间色散：RMS时延扩展、相干带宽
 - 频率色散：多普勒扩展、相干时间
 - 空间色散：角度扩展、相干距离



衰落特性参数

- RMS时延扩展 $\sigma_\tau \Leftrightarrow$ 信道相干带宽 B_c

$$B_c \approx \frac{1}{5\sigma_\tau} \propto \frac{1}{\sigma_\tau} \quad \sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\overline{\tau})^2}$$

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_i \alpha_i^2 \tau_i^2}{\sum_i \alpha_i^2} = \frac{\sum_i P(\tau_i) \tau_i^2}{\sum_i P(\tau_i)} \quad \overline{\tau} = \frac{\sum_i \alpha_i^2 \tau_i}{\sum_i \alpha_i^2} = \frac{\sum_i P(\tau_i) \tau_i}{\sum_i P(\tau_i)}$$

- $P(\tau_i)$ 为信道模型的功率延迟分布

- 多普勒频展 $f_m \Leftrightarrow$ 信道相干时间 T_c

$$T_c \approx \frac{0.423}{f_m} \propto \frac{1}{f_m}$$



多径衰落信道特性

信号带宽 B_s ，信道相干带宽 B_c

信号码元周期 T_s ，信道相干时间 T_c

■ 时间色散参数和相关带宽的计算和应用

■ 平坦衰落（频率非选择性衰落） $B_s \ll B_c$ or $T_s \gg \sigma_\tau$

■ 频率选择性衰落 $B_s > B_c$

■ 频率色散系数和相干时间的计算和应用

■ 非时间选择性衰落（慢衰落） $T_s \ll T_c$

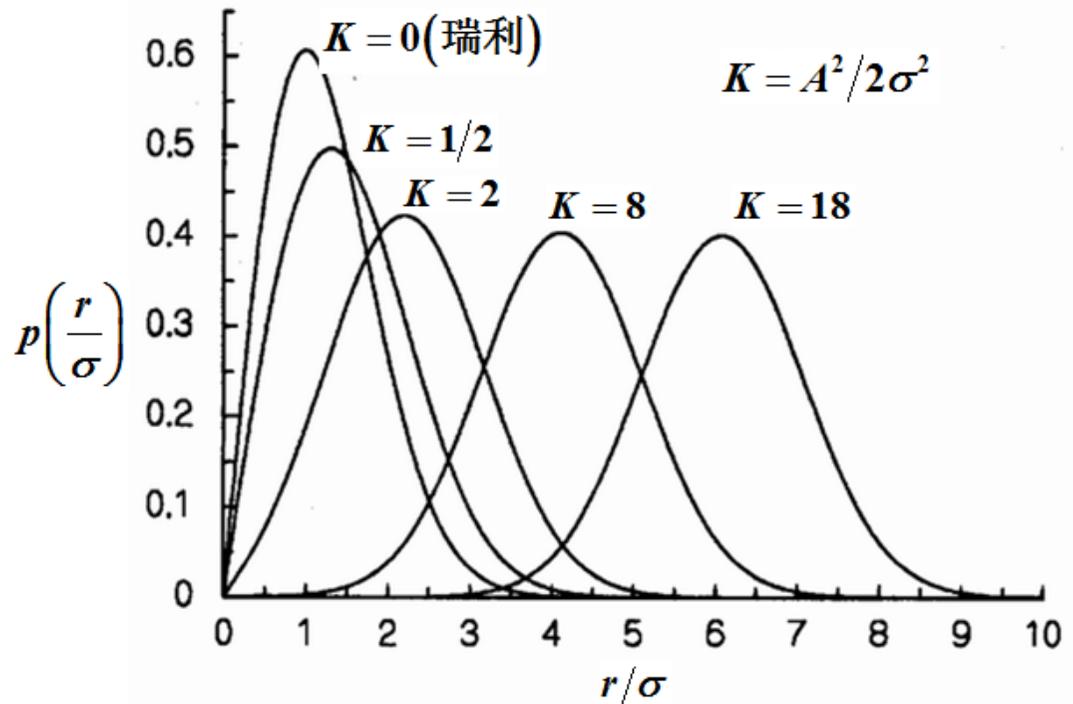
■ 时间选择性衰落 $T_s > T_c$



衰落信道下的接收信号包络的统计分布

$$r(t) = \sum_{i=0}^{N(t)-1} \alpha_i(t) \exp[-j\psi_i(t)] \cdot s[t - \tau_i(t)]$$

- **瑞利分布**：发射信号经历无直射路径的 N 条独立的衰落路径，接收的合成信号包络服从瑞利分布。
- **莱斯分布**：多径信道中，存在一路较强信号且它占有支配地位，接收信号包络的衰落变化服从莱斯分布。





第三章 移动通信中的信源编码和调制解调技术

3.1 信源编码

3.2 数字调制中的基本概念

3.3 QPSK调制

3.4 高阶调制

3.5 正交频分复用



3.1 语音编码类型

- 波形编码：质量好、效率低
- 参量编码：质量中、效率高
- 混合编码：质量较好、效率较高



3.2 数字调制中的基本概念(1)

- $SNR, E_s / N_0, E_b / N_0$

$$SNR = \frac{P_s}{P_n}$$

P_s : 信号平均功率

P_n : 噪声平均功率

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_s \cdot T_b}{P_n / W} = \frac{P_s}{P_n} \cdot \frac{W}{R_b}$$

T_b : 比特周期

W : 噪声带宽

$$= SNR \cdot \frac{W}{R_b}$$

对于 M 阶调制信号, 有:

$$\frac{E_s}{N_0} = \frac{E_b \cdot \log_2 M}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} \cdot \log_2 M$$



3.2 数字调制中的基本概念(2)

- 频带利用率，也是带宽效率
 - 每赫兹可用带宽可以传输的信息速率：

$$\eta = \frac{R_b}{W} = \frac{R_s}{W} \log_2 M \quad (b/s/Hz)$$

R_b ：为信息比特速率， R_s ：为调制符号速率

W ：信号带宽

- 香农定理
 - 在加性高斯白噪声下，系统容量 C 是平均接收信号功率 S 、平均噪声功率 N 和带宽 W 的函数。

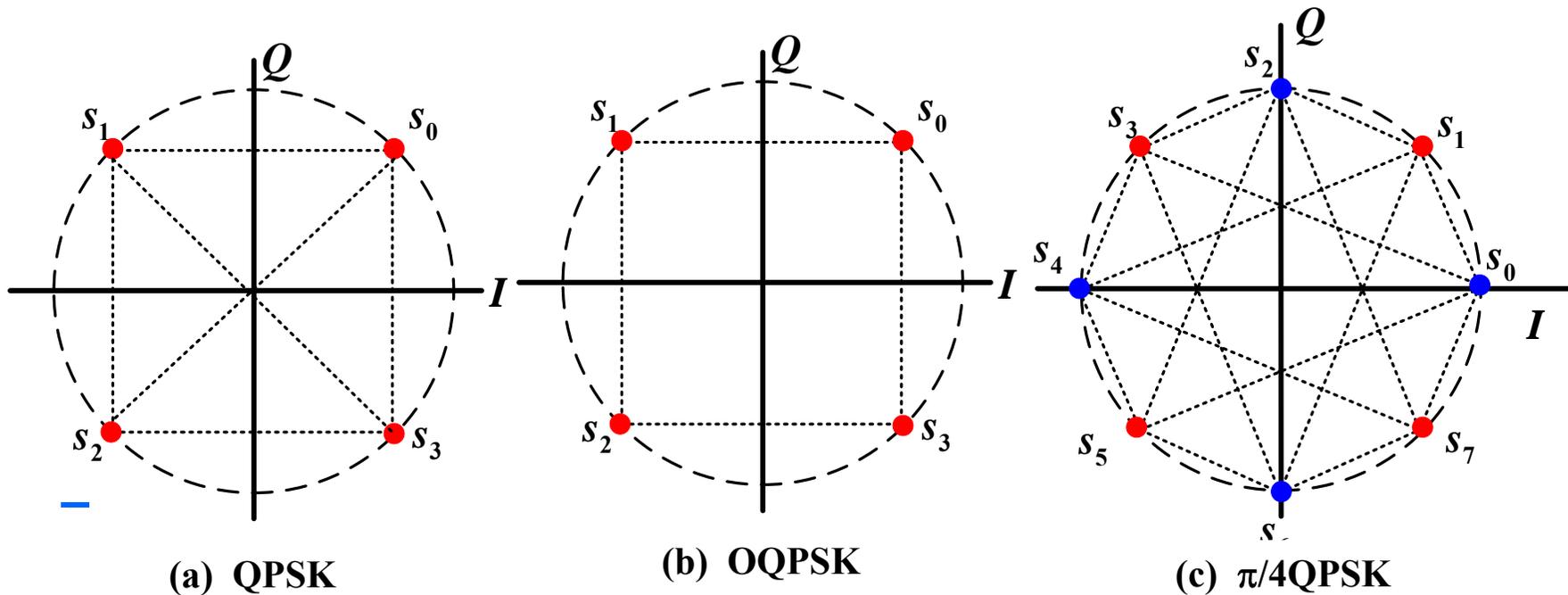
$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$



3.3 QPSK

■ QPSK、OQPSK、 $\pi/4$ QPSK星座图比较

- QPSK相位转换通过0点，最大相位变化为 180°
- OQPSK相位转换不通过0点，最大相位变化为 90°
- $\pi/4$ QPSK相位变化不过0点，最大相位变化为 135° ，频谱性能比OQPSK差，但优于QPSK。





3.4 OFDM

- 正交频分复用是一种无线环境下的高速传输技术，将高速的数据流分解为多路并行的低速数据流，在多个载波上同时进行传输。
 - 正交子载波组的引入
 - 提高信道的利用率
 - 收端正交解调
 - **OFDM的快速实现 (FFT/IFFT)**
 - 实现简单
 - 循环前缀的引入
 - 可以有效克服因多径效应带来的符号间干扰。



第四章 抗衰落和链路性能增强技术

4.1 分集技术

4.2 信道编码与交织

4.3 均衡技术

4.4 扩频技术

4.5 多天线技术

4.6 链路自适应技术



4.1 分集技术

■ 分集的原理

- 信号经过“复制”和映射，在多个独立信道上传播，则各独立信号传播路径同时经历深度衰落的概率降低。

■ 概念：

- 利用加性独立（或至少是不相关）的衰落路径传送相同的信号并合并，从而提高接收信号的信噪比。

■ 本质：

- 对同一信号在不同时间、频率、空间、极化方向的采样。



分集的种类

- 空间分集的概念和获取方法
 - 用不相关的两个以上天线或者同一天线的不同极化方向传输同一个信号
 - 条件：各天线间距 \gg 空间相干距离
 - 频率分集的概念和获取方法
 - 传输信息以不同的频率进行传输
 - 条件：传输信息的频率间距 \gg 相干带宽
 - 时分分集的概念和获取方法
 - 传输信息在不同的时刻重复传输
 - 信号重发时间间隔 \gg 相干时间
-



分集的合并方式

- **最大比合并**: 所有分支依据信噪比 (SNR) 进行加权相干合并 (调整同相后再相加)

$$G_M = \frac{\overline{\Gamma_M}}{\gamma_c} = M$$

- **等增益合并**: 所有分支等权重相干合并

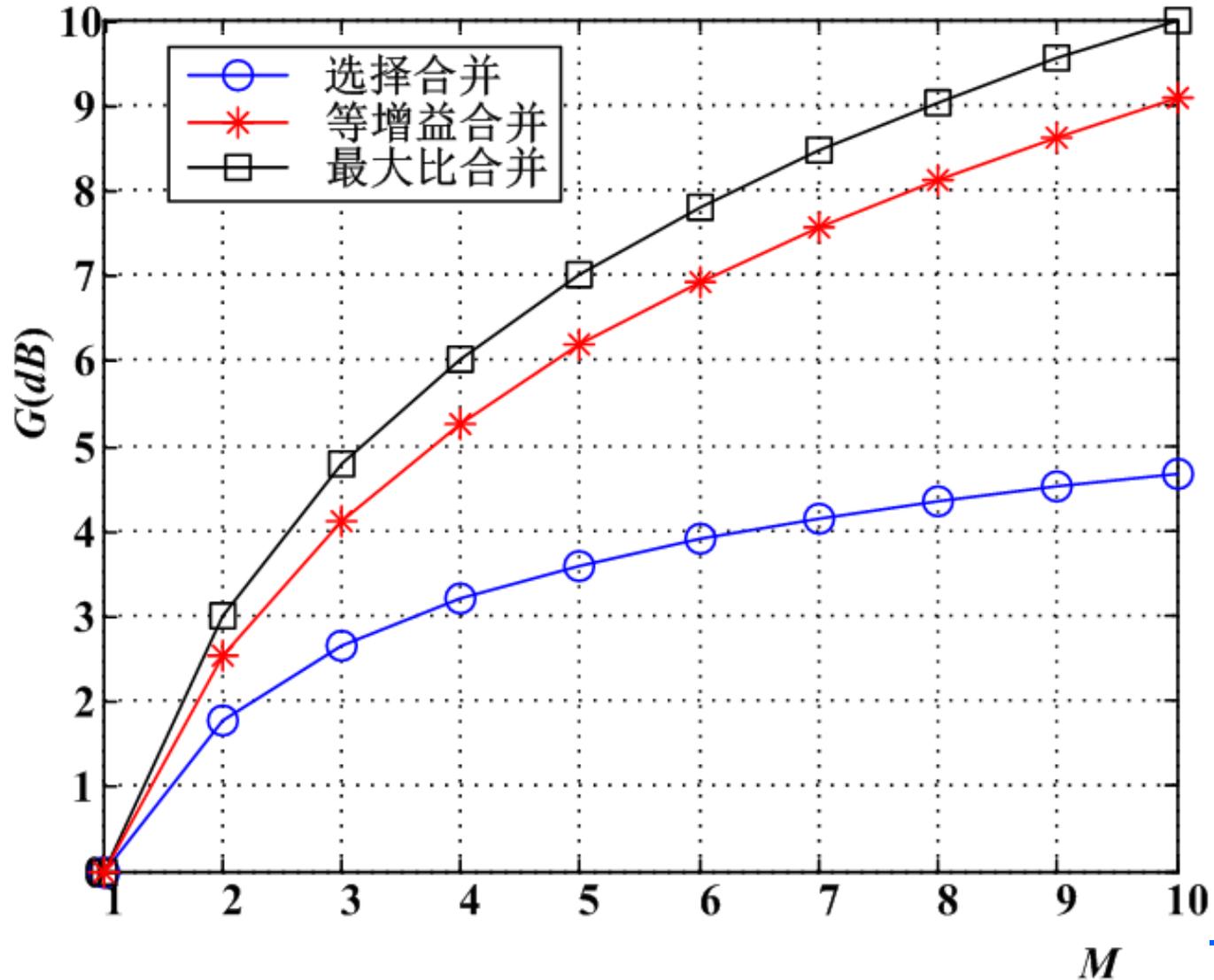
$$G_E = \frac{\overline{\Gamma_M}}{\gamma_c} = 1 + (M-1) \frac{\pi}{4}$$

- **选择式合并**: 选择具有最大SNR的分支

$$G_S = \frac{\overline{\Gamma_M}}{\gamma_c} = \sum_{k=1}^M \frac{1}{k}$$



不同合并方式的性能比较





4.2 信道编码与交织

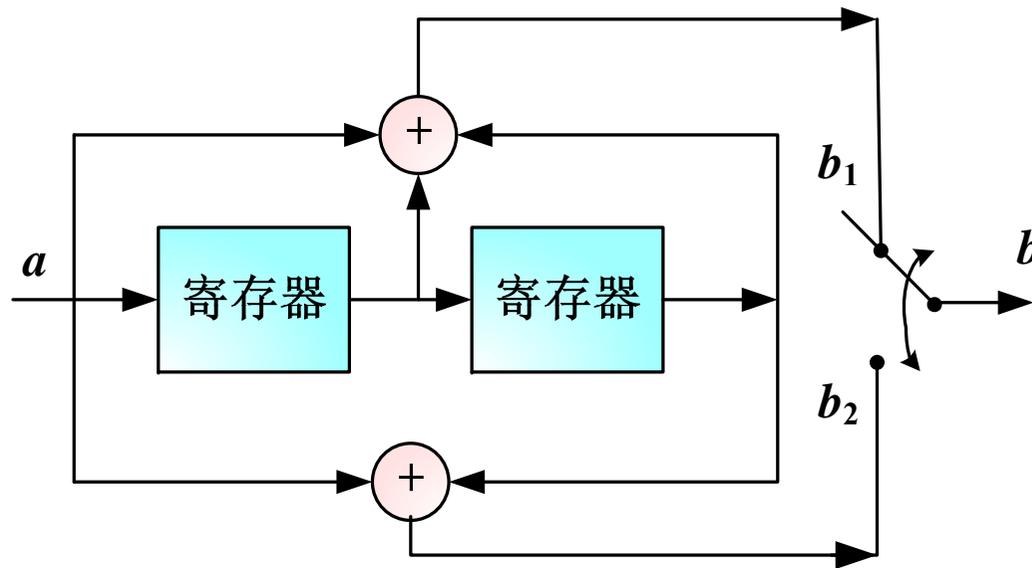
- 信道编码的定义
 - 在信息码元中增加一些冗余码元，用来在接收端检测或纠正在有噪信道中引入的误码。
- 码率： $R = k/n$
- 码距 (d)：
 - 是指两个码字中对应码元位不相同的数目。如果是二进制码，又称为汉明距。
- 主要分类：
 - 分组码和卷积码



卷积码

- 卷积码的校验码元与当前 k 个码元和前 m 段的 mk 个码元有关，记为 (n,k,m) 卷积码
 - k : 输入信息长度， n : 输出码字长度，码率: $R = k / n$
 - m : 记忆深度，通常表示移位寄存器个数。
 - 约束长度: $l = m + 1$

(2,1,2)卷积编码器结构





交织技术

■ 交织

- 把一条消息中的比特以非连续方式传送，使突发差错信道变为离散信道(将突发错误随机化)，便于利用纠错码消除随机错。

■ 交织深度

- 交织前相邻两符号在交织后的间隔距离，
- 要求交织深度 \gg 相干时间



4.3 均衡技术

■ 横向滤波器结构均衡器

$$y_n = \sum_{k=-N}^{k=N} c_k x_{n-k} \quad Y(z) = X(z)E(z)$$
$$X(z) = \sum_{k=-N}^N x_k z^{-k} \quad E(z) = \sum_{k=-N}^N c_k z^{-k}$$

■ 评价均衡器性能的准则

1) 最小峰值失真准则

- 使码间干扰的峰值最小。

$$D = \frac{1}{y_0} \sum_{\substack{n=-\infty \\ n \neq 0}}^{\infty} |y_n|$$

2) 最小均方畸变准则

- 使码间干扰的均方误差最小。

$$e^2 = \frac{1}{y_0^2} \sum_{\substack{n=-\infty \\ n \neq 0}}^{\infty} y_n^2$$



均衡器系数的计算

■ 假设按最小峰值失真准则

■ 当均衡前的初始畸变 D_0 小于1时，可用**迫零算法**

$$\text{若 } D_0 = \frac{1}{|x_0|} \sum_{\substack{n=-\infty \\ n \neq 0}}^{\infty} |x_n| < 1 \text{ 可得: } y_n = \sum_{k=-N}^N c_k x_{n-k} = \begin{cases} 1, n = 0 \\ 0, n = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm N \end{cases}$$

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_{-N} \\ y_{-N+1} \\ \vdots \\ y_0 \\ \vdots \\ y_{N-1} \\ y_N \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_0 & x_{-1} & \cdots & x_{-2N} \\ x_1 & x_0 & \cdots & x_{-2N+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_N & x_{N-1} & \cdots & x_{-N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{2N-1} & x_{2N-2} & \cdots & x_{-1} \\ x_{2N} & x_{2N-1} & \cdots & x_0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{c} = \begin{bmatrix} c_{-N} \\ c_{-N+1} \\ \vdots \\ c_0 \\ \vdots \\ c_{N-1} \\ c_N \end{bmatrix} \quad \mathbf{y} = \mathbf{x}\mathbf{c} \Rightarrow \mathbf{c} = \mathbf{x}^{-1}\mathbf{y}$$



4.4 扩频技术

■ 扩频技术的定义

- 1) 扩频宽度远大于所传信息必需的最小带宽
- 2) 频带的扩展通过扩频码序列完成，与信息数据无关
- 3) 收端用同样的扩频码进行相关解扩并恢复信息数据

■ 扩频系统的优点

- 降低信号功率谱密度——抗截获
- 干扰抑制——抗干扰

■ 扩频处理增益 G_P

$$G_P = \frac{\text{解扩器的输出信噪比}}{\text{解扩器的输入信噪比}} = \frac{P_{SO} / P_{NO}}{P_{SI} / P_{NI}} = \frac{S / N_0 W_D}{S / N_0 W_{SS}} = \frac{W_{SS}}{W_D}$$

W_{SS} : 扩频带宽 W_D : 信息带宽



直扩(DS)

■ 抗窄带干扰

- 1)发端扩频，低功率谱密度； 2)受到干扰； 3)信号解扩，恢复成窄带，功率谱密度上升； 4)信号被解扩的同时，干扰频谱被扩展，干扰功率谱密度下降 5)经过窄带滤波，信道带内干扰功率大大降低。

■ 抗衰落

- **抗频率选择性失真**：扩频码的码片时间小于多径时延差时，可利用扩频码的自相关特性进行相关解扩，提取所需要的主径信号，抑制多径干扰。
- **抗SNR损耗**：利用RAKE接收，将各条多径信号分离且合并，时间分集、多径分集，具有分集合并增益。



跳频(FH)

- 抗干扰
 - 靠“躲避”干扰来提升抗干扰性能
 - 抗衰落
 - **抗频率选择性失真**：在多径信号没有到来之前接收机已开始接收下一跳信号，但需以提高跳频速率为代价。
 - **抗SNR损耗**：跳频总带宽大于信道相干带宽时，若将相关的跳频频点作为一个跳频子集，不同跳频子集的信号相互独立，频率分集。具有分集合并增益。
 - **扩跳频参数和信道参数的选择**
-



4.5 多天线技术

■ 多天线和空时编码

- 利用**空间分集**对抗衰落；**STBC**原理、系统结构与接收检测。
- 利用**空间复用**提高频谱效率；**V-BLAST**原理，系统结构。

■ **MIMO-OFDM**

- 利用**MIMO**技术，在不增加带宽的条件下，成倍提高系统容量和频谱利用率。
- 利用**OFDM**技术，把频率选择性衰落信道变成多个子载波的平坦衰落信道，使**MIMO**在宽带无线通信中发挥其优势。



4.6 链路自适应技术

- 链路自适应技术：
 - 系统依据信道的变化，动态地调整系统参数，达到系统性能的最优。



第五章 蜂窝组网技术

5.1 移动通信网的基本概念

5.2 频率复用和蜂窝小区

5.3 多址接入技术

5.4 蜂窝移动通信系统的容量分析



5.2 频率复用和蜂窝小区

- 掌握小容量的大区制和大容量的小区制的优缺点
- 掌握频率复用的概念
- 簇（区群）
 - 共同使用全部可用频率的 N 个小区叫做一个簇(区群)
 - N 的典型值3、4、7、9、12、..... $N = i^2 + ij + j^2$
- 构成簇的基本条件
 - 1) 基本图案（簇）能彼此邻接且无空隙地覆盖整个面积。
 - 2) 相邻簇中，同频小区间距离相等，且为最大。

可利用寻找同频小区的方法确定簇



同频小区

- 簇间同频小区位置的确定
 - 沿着任意一条六边形边的垂线方向移动*i*个小区，并逆时针方向旋转60°，再移动*j*个小区。

- 同频复用距离*D*

$$D = \sqrt{3NR}$$

- 载干比（只考虑第一层的干扰）

$$\frac{C}{I} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{L} \quad C/I \longleftrightarrow N$$

N: 区群大小; *n*: 路径损耗指数

L: 主要同频小区个数, 全向小区时*L*=6



同频干扰与频谱利用率的关系

- 同频干扰是制约系统容量的主要因素。同频干扰与频谱利用率是一对矛盾体：
 - 在小区半径不变 R 的情况下，同频复用距离 D 越小，同频干扰越大，但每个区群的小区数 N （区群的大小）越小，在单位面积内可复制的区群数越多，所以频谱利用率越高，系统容量越大；
 - 同频复用距离 D 越大，同频干扰越小，每个区群的小区数 N 越大，在单位面积内可复制的区群数越少，则频谱利用率降低，系统容量越小。
- 从提高频谱利用率的角度，在保持满意的通信质量的前提下， N 应取最小值最好。



5.3 多址接入技术

- **FDMA(Frequency Division Multiple Access)**
 - 频率划分，时间共享
 - 物理信道：频道；用户地址：频道号
 - **TDMA(Time Division Multiple Access)**
 - 时隙划分，时隙独享，频率共享。
 - 物理信道：时隙；用户地址：时隙号
 - **CDMA(Code Division Multiple Access)**
 - 码型划分，时隙、频率共享
 - 物理信道：地址码；用户地址：码号
 - 技术基础：直扩
-



5.4 蜂窝移动通信系统的容量分析(1)

■ 蜂窝系统的通信容量的常用定义

- 定义1: 每个小区的可用信道数, 即每小区允许同时工作的用户数。
- 定义2: 单位面积内可允许同时工作的用户数。

■ 通信容量 m (定义1)

- FDMA $m = \frac{B_t}{B_c N}$ (信道/小区)

- TDMA $m = \frac{B_t}{B_c' N}$ (信道/小区) $B_c' = \frac{B_c}{m_{slot}}$

B_t : 系统占用的总带宽

B_c : 信道带宽

B_c' : TDMA系统的等效信道带宽。

N : 区群的大小 (每区群中的小区数)



蜂窝移动通信系统的容量分析(2)

- CDMA系统的容量主要受限于系统内移动台的相互干扰。
- 单小区下的系统容量

$$\text{未修正: } m = 1 + \frac{W / R_b}{E_b / I_0}$$



第六章 GSM及其增强移动通信系统

6.1 GSM系统的业务及其特征

6.2 GSM系统的结构

6.3 GSM系统的信道

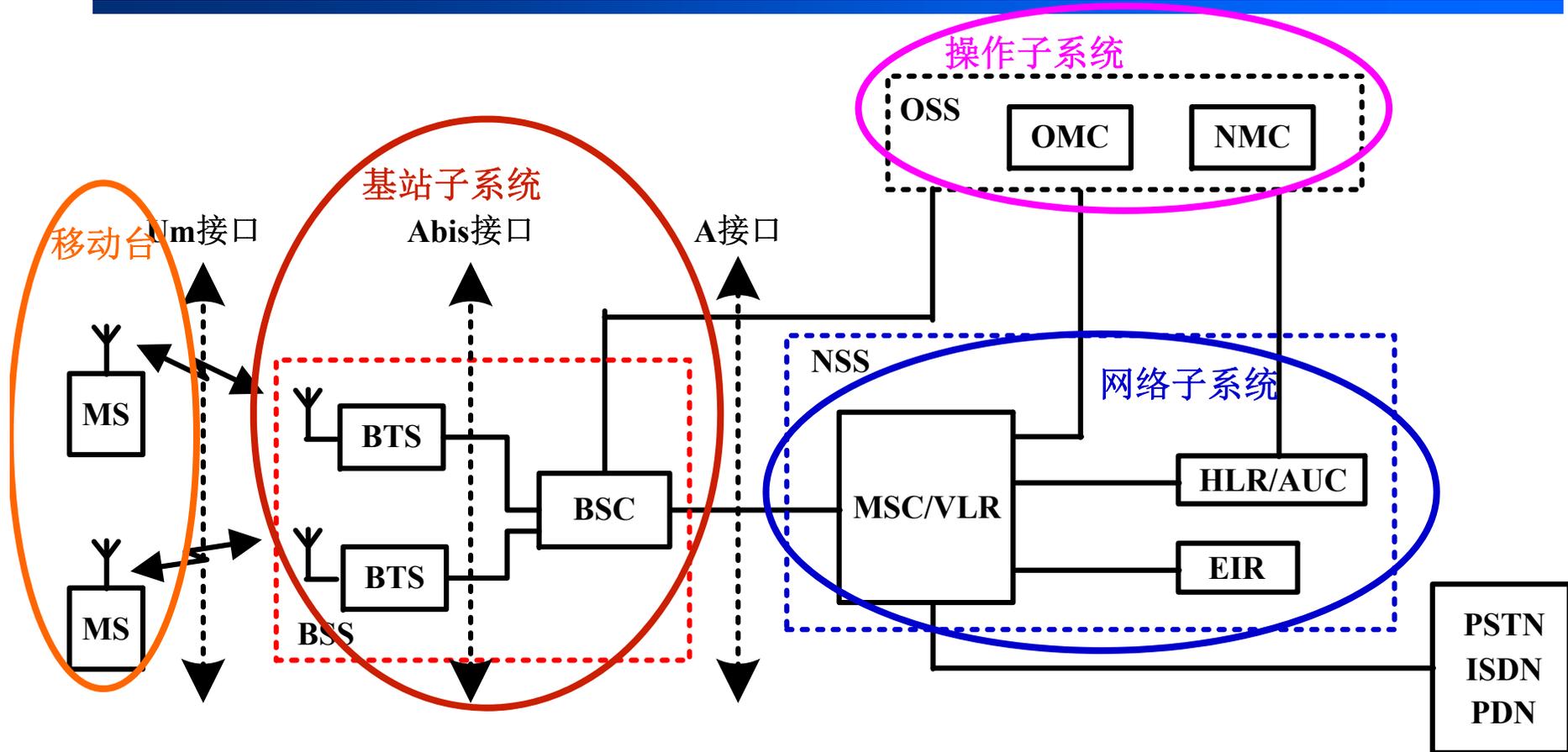
6.4 GSM的无线数字传输

6.6 GSM系统的接续和移动性管理

6.7 通用分组无线业务



6.2 GSM系统的结构



MS: 移动台

OSS: 操作支持子系统

MSC: 移动业务交换中心

AUC: 鉴权中心

PSTN: 公用电话网

BSS: 基站子系统

BTS: 基站收发信台

VLR: 来访用户位置寄存器

EIR: 移动设备识别寄存器

ISDN: 综合业务数字网

NSS: 网络子系统

BSC: 基站控制器

HLR: 归属用户位置寄存器

OMC: 操作维护中心

PDN: 公用数据网



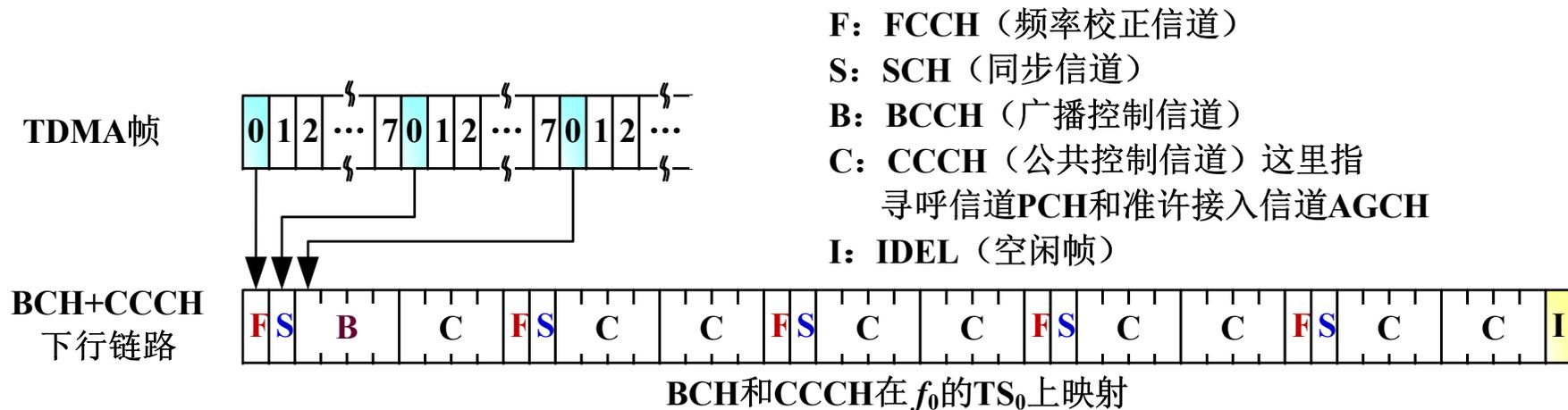
6.3 GSM系统的信道

- 物理信道和逻辑信道
 - 物理信道：用来传送信号或数据的物理通路
 - 每个载频上支持的一个时隙（TS）就是一个物理信道
 - 逻辑信道：物理信道上所传输的内容
 - 根据物理信道所传输的信息种类的不同可定义不同的逻辑信道：**业务信道和控制信道**，根据所需完成的功能，控制信道又分为**广播信道、公共控制信道及专用控制信道**



物理信道和逻辑信道的配置

- 映射方法: f_0 上的 TS_0 用于广播信道**BCH**和公共控制信道**CCCH**。 f_0 上的 TS_1 用于专用控制信道**DCCH**。其余 (f_0 上的 $TS_2 \sim TS_7$, $f_1 \sim f_{n-1}$ 上的8个时隙) 用于业务信道。





突发脉冲序列

- 每个时隙中的信息格式称为突发脉冲序列
 - 频率校正突发脉冲序列：**FCCH**的序列结构
 - 同步突发脉冲序列：**SCH**的序列结构
 - 接入突发脉冲序列：**RACH**的序列结构
 - 常规突发脉冲序列：除**FCCH**、**SCH**、**RACH**的其他逻辑信道的序列结构
 - 空闲突发脉冲序列：填空。



定时提前量

- **帧偏移**: 在基站角度, 上行帧相对于下行帧来说, 在时间上固定推后3个时隙。
- **时间调整**: 在移动台角度, 若不加时间调整, 传输时延的变化使移动台之间的信息会发生重叠。需要有一个时间调整量, 补偿传播时延, 使基站有固定的3个时隙的帧偏移。



6.4 GSM系统的无线数字传输

- GSM中的抗衰落技术
 - 信道编码（卷积编码）、交织（块内交织、块间交织）、天线分集、维特比均衡、跳频



6.6 GSM系统的接续和移动性管理

■ GSM的安全性管理

- 鉴权、无线传输信息加密、设备识别、用户识别码加密等。掌握系统鉴权过程。

■ GSM的接续管理

- 了解客户状态、被呼与主呼过程

■ GSM的移动性管理

- 掌握位置更新的概念与流程
- 掌握GSM越区切换策略与切换流程
 - 硬切换：在切换过程中会发生短时中断。
 - 切换触发准则、切换方式(移动台辅助的切换)
 - 切换流程

祝各位同学考出
好成绩！

