

## 第2章 现代无线通信系统及技术挑战

### 2.1 现代无线通信系统

1G 第一代移动通信系统

2G 第二代移动通信系统

2.5G

2.75G

3G

3G向4G过渡

4G

5G

B5G/6G

WLAN (Wireless Local Area Network 无线局域网)

Bluetooth & WPAN (Wireless Personal Area Network 无线个域网)

### 2.2 无线通信中的主要技术挑战

1. 多径衰落信道

2. 频谱资源限制

3. 能量限制

4. 用户移动性

### 2.3 信道衰落概述

#### 2.3.1 大尺度衰落

1. 路径衰减

2. 阴影效应

#### 2.3.2 小尺度衰落

1. 平坦 / 频选

2. 慢 / 快

3. 小尺度衰落的后果

#### 2.3.3 对比

#### 2.3.4 信道衰落的后果

## 第2章 现代无线通信系统及技术挑战

---

### 2.1 现代无线通信系统

---

#### 1G 第一代移动通信系统

1. 模拟蜂窝移动通信系统

2. 技术: FDMA/FDD

3. 调制方法: FM

4. 传输速率: 2.4kbps

5. 典型系统:

1. Advanced Mobile Phone Service (AMPS)

2. Nordic Mobile Telephony (NMT)

3. Total Access Communications System (TACS)

6. 优点:

7. 缺点:

1. 频谱利用率低: 频率复用因子为7 (越小越好), 系统容量受限;

2. 需要很高的接收SINR

3. 无数据业务；业务种类有限；
4. 保密性差；
5. 成本高，体积、重量大，发射功率高；
6. 1G系统之间不兼容；

## 2G 第二代移动通信系统

1. 数字蜂窝移动通信系统
2. 技术：TDMA/FDD、CDMA/FDD、...
3. 覆盖范围：往往以国家为单位
4. 可实现网间自动漫游
5. 业务：
  1. 语音通信
  2. 短消息
  3. 低速数据业务
6. 典型系统：
  1. GSM (Global System for Mobile communications 全球移动通信系统)
    1. 技术：TDMA、FDMA
    2. 频带：900MHz / 1800MHz
    3. 数据速率：~9.6kbps
  2. CDMA (IS-95)
    1. 技术：以扩频通信为基础的调制和多址接入技术
    2. 数据速率：8kbps (IS-95A) , 64kbps (IS-95B)
    3. 优点：
      1. 通信具有隐蔽性、保密性、抗干扰；
      2. 通话质量好，掉线少、辐射低、健康环保
7. 优点：
  1. 采用时分多址 (TDMA) 、码分多址 (CDMA) 等技术，提高了频谱利用率和网络容量；
  2. 语音质量和保密性能得到很大提高。
  3. 终端体积大大减小；工作时间延长；
  4. 采用GMSK调制方式，提高功率/带宽效率；
  5. 采用了卷积码等信道编码，对接收SIR的要求降低；
  6. 支持数据业务（短信）；
  7. CDMA技术的优点：
    1. 上行链路功率控制 (IS-95)
    2. 相比较GSM系统，采用了更快的功率控制方法；
    3. 功率控制降低了小区内部用户相互干扰，并减少功率消耗；
    4. 保持恒定传输速率。
8. 缺点：

1. 为语音通信设计，并不完全适用于数据业务；
2. 平均传输速率为几十kbps；
3. 不适用于internet的分组交换服务（用电路交换）；
4. 多个协议并存；

## 2.5G

1. GPRS（General Packet Radio Services 通用分组无线业务）

1. 最高传输速率：171.2 kbps

2. CDPD（Cellular Digital Packet Data 蜂窝式数字分组数据）

## 2.75G

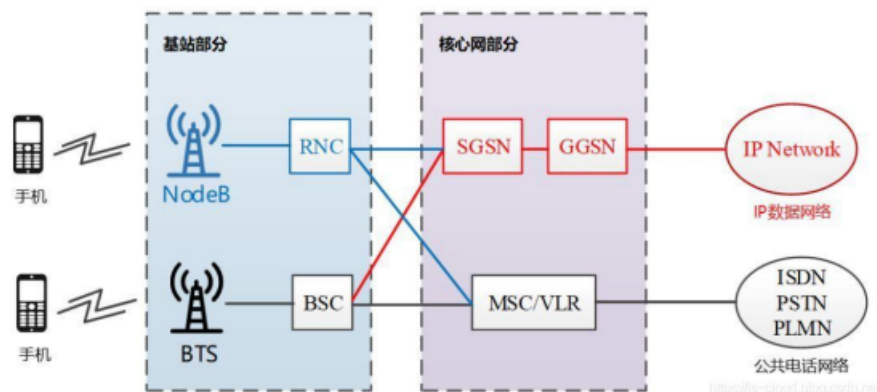
EDGE（Enhanced data rates for Global Evolution）

1. 最高传输速率：384 kbps

## 3G

1. 数字通信技术
2. 业务：语音、高速数据（多媒体）
3. 速率：Mbps（矛盾：终端运动速度 vs 数据速率）
4. 提出了层次蜂窝结构，使不同移动速率的移动台在不同层次的蜂窝内得到服务
5. 网络架构：

1. IP化



2. 用户面和控制面分离，提高数据传输效率

6. 代表制式：

1. UMTS；由3GPP提出，向下兼容GSM，包括WCDMA和TD-SCDMA两个标准；

1. W-CDMA：以GSM为主，加入GPRS的分组交换技术（384 kbps）

2. TD-SCDMA：集CDMA、TDMA、FDMA、SDMA等多址方式于一体（2 kbps - 2 Mbps）

2. CDMA2000：由3GPP2提出，向下兼容IS-95；采用MC-CDMA（多载波CDMA）多址访问技术（384 kbps）

## 3G向4G过渡

1. HSDPA
2. HSUPA

## 4G

1. LTE (Long Term Evolution)
  1. 基于旧有的GSM/EDGE和UMTS/HSPA网络技术，并提升网络容量及速度
  2. 有能力提供100-200Mbps的下载速率和75Mbps的上传速率
  3. 全IP基础网络结构
  4. LTE/FDD, LTE/TDD (TD-LTE)
2. WiMax
  1. 基于固定无线接入思路，加强了用户的移动性
  2. 100-200Mbps

## 5G

1. 典型应用场景
  1. eMBB (Enhanced Mobile Broadband) (增强移动宽带)  
大流量移动宽带业务；峰值速率达到4G速率的100-1000倍；
  2. URLLC (Ultra Reliable and Low Latency Communications) (超可靠低延迟通信)  
降低5-10倍延迟，达到毫秒量级；3G响应为500ms，4G为50ms，5G要求0.5ms
  3. mMTC (Massive Machine Type Communications) (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

## B5G/6G

### WLAN (Wireless Local Area Network 无线局域网)

1. 工作在ISM频段； (2.4GHz)

### Bluetooth & WPAN (Wireless Personal Area Network 无线个域网)

1. 蓝牙工作在ISM频段；
2. 包括Zigbee、UWB等多个技术标准

## 2.2 无线通信中的主要技术挑战

1. 多径衰落信道
2. 频谱资源限制
3. 能量限制
4. 用户移动性

## 2.3 信道衰落概述

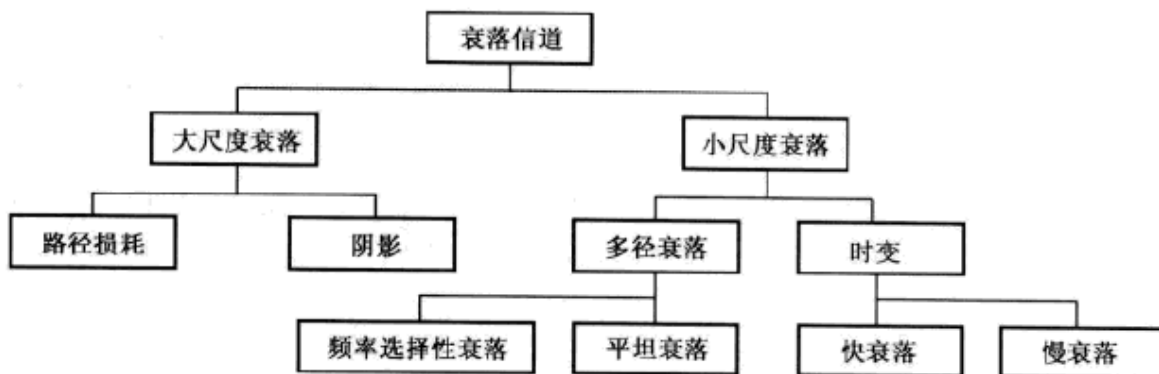


图 1.1 衰落信道的分类

<https://blog.csdn.net/ddatale>

### 2.3.1 大尺度衰落

#### 1. 路径衰减

(确定性)

#### 2. 阴影效应

(随机性)

### 2.3.2 小尺度衰落

#### 1. 平坦 / 频选

物理根源：多径效应

多径分量之间存在有：

1. 相位偏差（延迟、反射、散射等）；
2. 幅度偏差
3. 极化偏差
4. 方向偏差（发射、到达角）

平坦衰落：

$$\begin{cases} \text{信号带宽 } B \ll \text{信道相干带宽 } B_c \\ \text{信号符号周期 } T_s \gg \text{信道最大时延拓展 } \Delta\tau_{\max} \end{cases}$$

(即 窄带模型假设)

频率选择性衰落:

## 2. 慢 / 快

慢衰落:

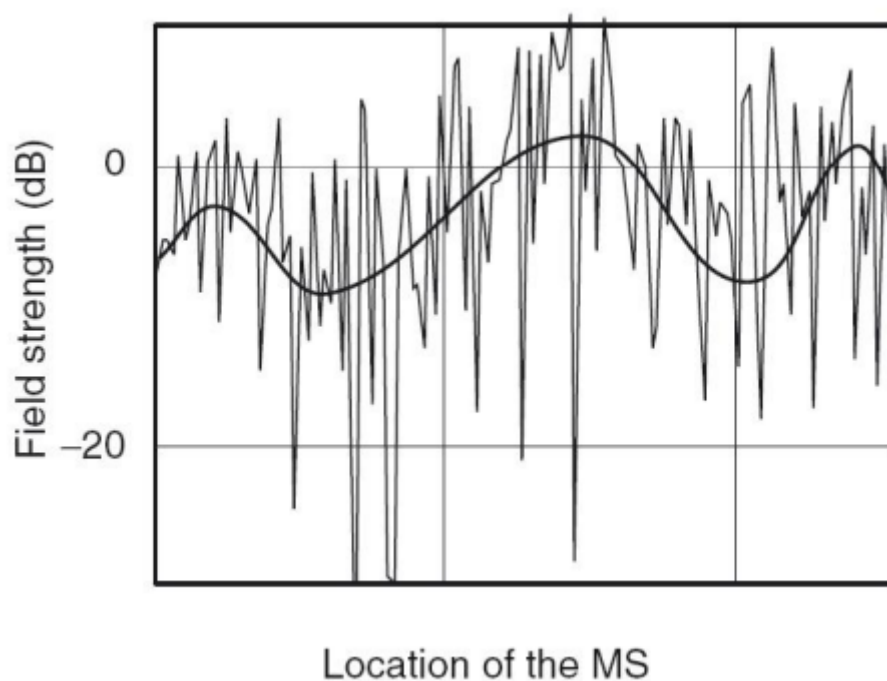
快衰落:

$$\begin{cases} \text{信号符号周期 } T_s \gg \text{信道相干时间 } T_c \\ \text{信号带宽 } B \ll \text{多普勒扩展 } B_D \end{cases}$$

## 3. 小尺度衰落的后果

1. 接收信号功率不可预测;
2. 接收信号功率在非常小的空间范围内 (半波长级别) 出现剧烈变化;
3. 传播信道出现时变特性;
4. 出现严重的码间干扰 (ISI) (由 频率选择性衰落 引起)

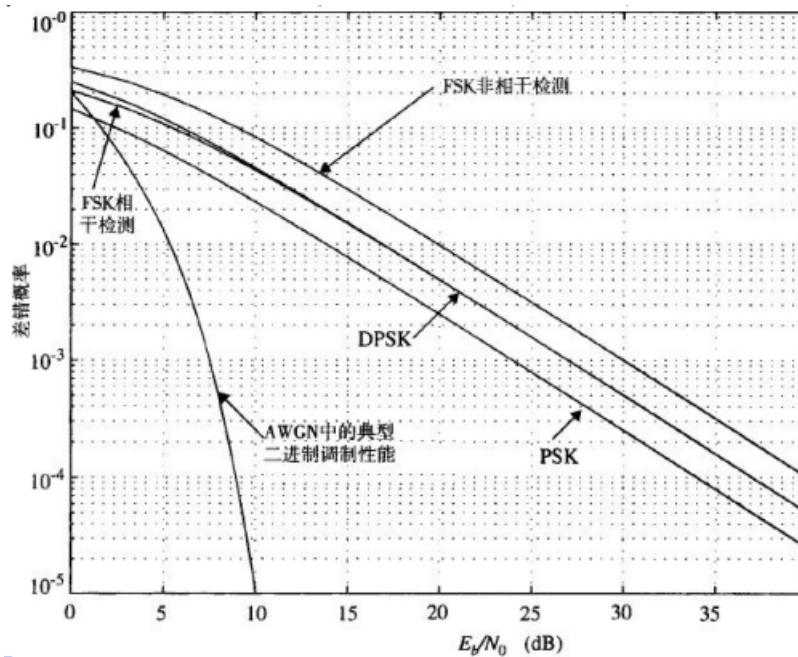
### 2.3.3 对比



(当小于-20dB时, 称为深度衰落)

## 2.3.4 信道衰落的后果

1. 系统的误码率由深度衰落出现的概率决定；
2. 误码率随着信噪比的增加而线性下降；（在发射端增大信号功率并不能很有效地降低误码率）——分集、均衡



3. 对于信道中每一点进行确定性建模非常困难；
4. 系统的性能主要通过统计方式描述。