

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

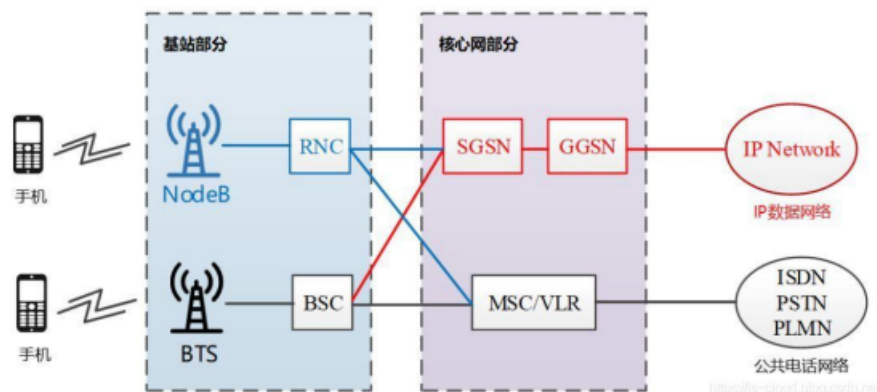
EDGE（Enhanced data rates for Global Evolution）

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

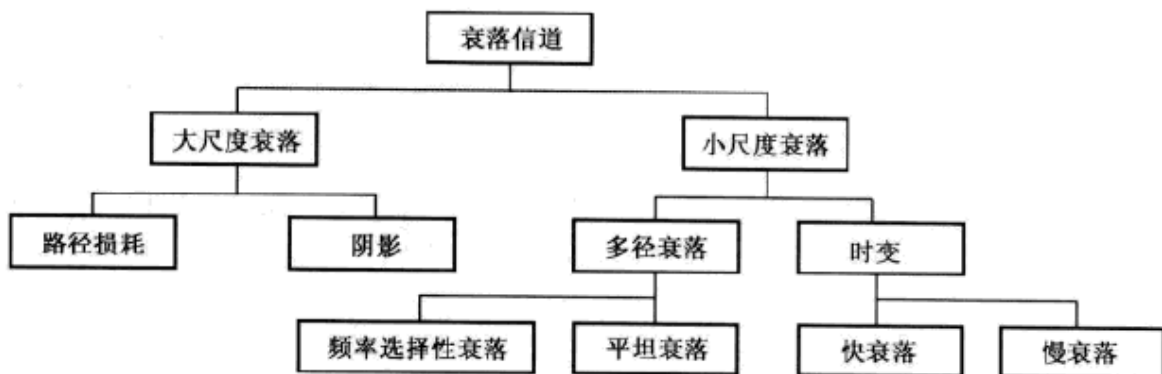


图 1.1 衰落信道的分类

<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:

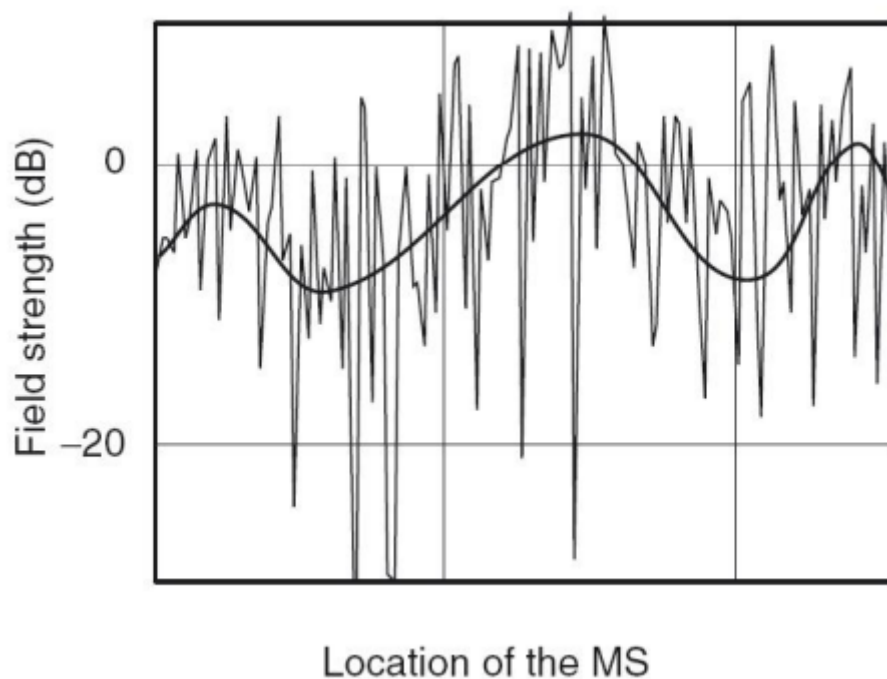
快衰落:

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

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)

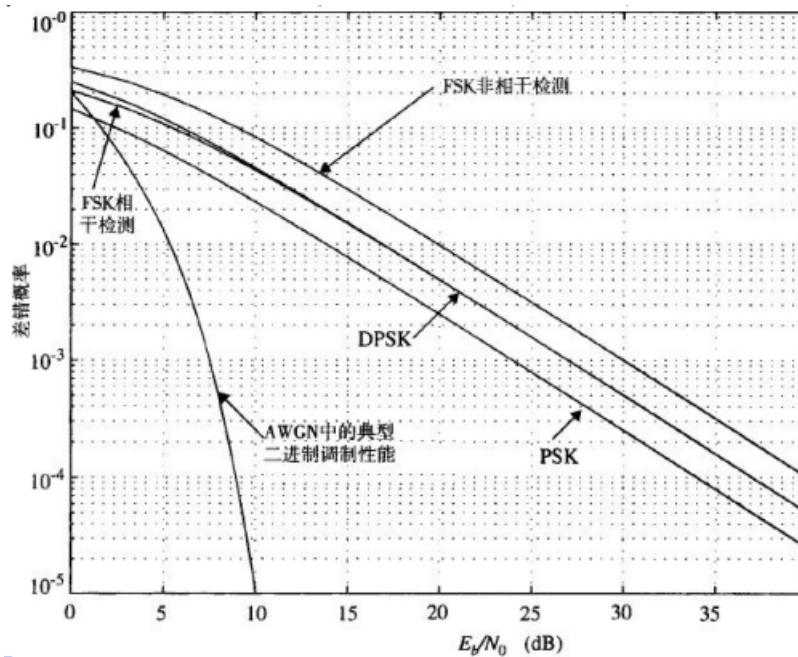
2.3.3 对比



(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。