

# Contents

<b>1</b>	<b>GSM 移动通信系统</b>	<b>2</b>
1.1	GSM 总体结构	2
1.1.1	系统结构	2
1.1.2	协议栈和接口	3
1.2	无线信道	3
1.2.1	干扰载波比	3
1.2.2	频率复用方式	3
1.2.3	无线帧结构	5
1.2.4	逻辑信道	5
1.2.5	时隙格式	7
1.2.6	交织	8
1.2.7	逻辑信道与物理信道映射	8
1.3	呼叫处理流程	8
1.4	通信安全	9

# Chapter 1

## 概论

### 1.1 移动通信特点

#### 1.1.1 什么是移动通信？

**定义：**移动通信就是通信双方至少有一方是处于运动中进行信息交换的通信方式。其移动性包括：

- 终端的移动性，特定的“终端号码（如手机串号，\*#06#）”；手机，车载台
- 个人的移动性，特定的”个人号码，SIM 卡号”。

#### 1.1.2 移动通信特点

1. 移动通信必须利用无线电波进行信息传输。
  - (a) 弥散损耗（自由传播损耗），随着传播距离的增加而损耗。
  - (b) 阴影效应，受到地形、地物的遮蔽而发生。
  - (c) 多径效应，信号经过多点反射，会从多条路径到达接受地点，这种多径信号的**幅度、相位和到达时间**都不一样，它们会叠加而产生“多径效应”。
  - (d) 多普勒-效应
2. 移动通信是在复杂的干扰环境中运行的。
  - (a) 外部干扰。天电干扰、工业干扰和信道噪声
  - (b) 系统间干扰。
    - i. 邻道干扰
    - ii. 互调干扰（当两个或多个干扰信号同时加到接收机时，**由于非线性**的作用，这两个干扰的组合频率有时会恰好等于或接近有用信号频率而顺利通过接收机，这种干扰就称为互调干扰，其中三阶互调最严重。）
    - iii. 同频道干扰（蜂窝移动通信）
    - iv. 多址干扰（多址干扰是指同 **CDMA** 系统中多个用户的信号在时域和频域上是混叠的。因为 **CDMA** 系统为码分多址，CDMA 系统采用的是不同的地址码来区分每个用户，但多个用户的信号在时域和频域上是混叠的，所以在频域在产生一定的同频和邻频干扰，则为多址干扰。）
    - v. 远近效应
  - (c) 抗干扰技术。扩频技术、信道编码与交织技术、信道均衡技术、分集技术、信道估计技术、信号检测技术和智能天线技术
3. 移动通信业务量的需求与日俱增，而频率资源非常有限。
4. 移动通信系统的网络结构多种多样，网络管理和控制必须有效。
5. 移动通信设备必须适于在移动环境中满足多种应用要求。

## 1.2 常用移动通信系统

1. 蜂窝移动通信系统
2. 公共陆地移动通信网络 (PLMN)
3. 无线市话系统 (WUTS)
4. 集群系统 (专网)—> 公安系统、水利系统、交通系统、电力系统、铁路系统。
5. 卫星移动通信系统。
6. 无线局域网。

## 1.3 移动通信系统发展

### 1.3.1 各代通信系统特点

**第一代** 模拟，仅限语音，仅限宏小区

**第二代** 数字，语音和数据通信，宏/微小区

**第三代** 频谱利用率高，传输速率按需分配

**第四代** 更高的数据速率和更大的系统容量，正交频分复用 (OFDM) 技术、

Figure 1.1: 移动通信系统发展

Figure 1.2: WCDMA&TD-SCDMA 发展

Figure 1.3: CDMA2000 发展

## 1.4 移动通信基本技术

Figure 1.4: 信号传输过程

**信源编码技术** 以提高通信有效性为目的而对信源符号进行的变换。

1. 波形编码
2. 参数编码
3. 混合编码

**信道编码技术** 为了减少差错，信道编码器对传输的信息码元按一定的规则加入保护成分（监督元），组成所谓“抗干扰编码”；提高通信系统抗干扰能力，实现可靠通信。  
分组码、卷积码。

**调制技术** 使要传输的信息适合于信道特征，达到有效、可靠的传输。  
连续相位调制，线性调制,PSK,QPSK,DQPSK,QAM 等。

**电波传播特性的研究** 总结和建立有普遍性的数学模型，利用这些模型，可以估算一些传播环境中的传播损耗和其它有关的传播参数。

## 1.5 蜂窝移动通信的组网技术

### 1.5.1 多址接入

#### 1.5.1.1 什么是多址接入？

**定义：**移动通信系统中，使所有的用户共享有限的无线资源，实现不同用户不同地点同时通信，并尽可能减少干扰。

#### 1.5.1.2 多路复用和多址接入区别

**相同点：**两者的理论基础都是信号的正交分割原理。

**不同点：**

- ”点对点“，多路复用
- ”点多多点”，多址接入

#### 1.5.1.3 多址接入分类

1. 频分多址：第一代移动通信系统；TACS、AMPS。

特点：

- 一个频道传送一路电话，一旦给用户分配频道，移动台和基站同时连续不断发射
- 信道带宽较窄。
- 传输速率低，码元持续时间长，与平均延迟扩展相比很大，**码间干扰不需要均衡**
- 系统简单，但需要一个双工器，同时需要一个 RF（射频）滤波器。

展造成的符号间干扰低。

2. 时分多址：第二代移动通信系统：GSM。

特点：

- 多个用户共享一个载波频率，分享不同时隙。
- 分组可以实现不连续发送。
- **由于速率较高，往往需要均衡器。**
- 需要额外开销，如保护时隙，**同步**时隙等。
- 按照不同用户提供不同的带宽。

3. 码分多址：第三代移动通信系统：IS-95 CDMA、WCDMA。

特点：

- 通过不同的码序列来划分物理信道，信道在时间和频率上重合
- 码不但可以区分信道 (walsh 和 OVSF)，还可以区分基站 (gold) 或用户 (m 序列)
- CDMA 系统的许多用户共享同一频率
- 由于信号被扩展在一较宽频谱上，所以可**减小多径衰落**；
- 在 CDMA 系统中，信道数据速率很高，采用分集接收最大比合并技术，可获得最佳的抗多径衰落效果；
- 软切换和有效的宏分集
- 低信号功率谱密度

存在两个重要问题：

- (a) 多址干扰
- (b) 远近效应。

4. 空分多址。特点：

- 实现空间分割的基本技术就是**自适应阵列天线**，在不同的用户方向上形成不同的波束。
- 有效地克服**多径干扰和同频道干扰**

5. OFDMA. 正交频分多址接入

6. NOMA, 非正交频分多址接入

## 1.5.2 工作方式

1. 单工：：通信双方电台交替地进行收信和发信。**对讲机**。
2. 半双工：是指通信双方中，一方使用双频双工方式，即收发信机同时工作；另一方使用双频单工方式，即收发信机交替工作。**基站-手机**。基站处于全双工，手机处于半双工。
3. 全双工：是指通信双方收发信机均同时工作。收信和发信必须采用不同的工作频率，**打电话**  
双工模式：
  - (a) 频分双工 FDD：通信双方收发信可同时进行，但收信和发信分别占用两个不同的频率。
  - (b) 时分双工 TDD：使用相同频率，但不同的时隙进行区分。

两种模式的区别：

- TDD 可灵活配置频率，使用 **FDD 系统不易使用的零散频段**；但为避免与其他无线系统之间的干扰，TDD 需预留较大的保护带，影响整体频谱利用效率。
- TDD 可以通过调整上下行时隙转换点，改变上下行时隙比例，可**很好地支持非对称业务**。TDD 系统**收发信道同频**，无法进行干扰隔离，速度越快，衰落变换频率越高，衰落深度越深；相当于混合行驶，容易撞车，因此必须要求**移动速度不能太高**。
- TDD 接收上/下行数据时，不需收发隔离器，只需一个开关即可，降低设备的复
- 由于 TDD 方式的时间资源**分别分给了上行和下行**，因此 **TDD 方式的发射时间大约只有 FDD 的一半**，如果 TDD 要发送和 FDD 同样多的数据，就要**增大 TDD 的发送功率**
- TDD 系统上行受限，因此 TDD 基站的**覆盖范围明显小于 FDD 基站**。
- FDD 模式的特点是在分离（上下行频率间隔 45MHz 190MHz 等）的两个对称频率信道上，系统进行接收和传送，用保护频段来分离接收和传送信道。相当于分道行驶，比较顺畅，所以 **FDD 速度会更快**。

## 1.5.3 频率复用和蜂窝小区

### 1.5.3.1 移动通信网的区域覆盖方式

1. 小容量的大区制（发射功率大），基站发射功率要大，利用分集接收等技术来保证上行链路的通信质量。
2. 大容量的小区制，（频率复用），同频干扰问题

### 1.5.3.2 区群

要想正多边形无空隙、无重叠地覆盖一个平面的区域，只有**正三角形、正方形和正六边形三种形状**

**定义：**共同使用全部可用频率的 N 个小区组成一个区群。

**特点：**

1. 同一个小区，使用不同的频率。
2. 不同小区，可以使用相对应的频率。

组成区群的小区数对应的公式:

$$N = i^2 + ij + j^2 \quad (1.1)$$

一个共有 S 个信道的蜂窝系统 (一个区群), 每簇含有 N 个小区 (一个区群), 每个小区含有 K 个信道。则:

$$S = KN \quad (1.2)$$

将这个簇重复 M 次, 则信道总数为 C:

$$C = MS = MKN \quad (1.3)$$

### 1.5.3.3 同频道距离

STEPS:

1. 首先垂直六边形的任一边延长  $Max\{i, j\}$  个小区。
2. 逆时针旋转  $60^\circ$ , 在延长  $Min\{i, j\}$  个小区。

Figure 1.5: 通频道距离确定

$$\begin{aligned} D^2 &= I^2 + J^2 - 2IJ \cos 120^\circ \\ H &= \frac{\sqrt{3}}{2} R \\ I &= \sqrt{3}iR, J = \sqrt{3}jR \\ \Rightarrow D &= \sqrt{3N}R, \text{其中 } N = i^2 + ij + j^2 \end{aligned} \quad (1.4)$$

### 1.5.3.4 同频干扰

移动台的接收载波干扰比为:

$$\begin{aligned} \frac{C}{I} &= \frac{C}{\sum_{i=1}^L I_i} \\ \frac{C}{I} &= \frac{(D/R)^n}{L} = \frac{\sqrt{3N}^n}{L} \end{aligned} \quad (1.5)$$

其中, L 为同频干扰小区数, 由于一般是第一层起主要作用, 所以 L=6 (因为采用的是 7 小区区群), 则公式可改写为:

$$\frac{C}{I} = \frac{(D/R)^n}{L} = \frac{\sqrt{3N}^n}{6} \quad (1.6)$$

n 常取 4, 用 Q 表示同频复用比例  $Q = \frac{D}{R}$ 。注意:  $\frac{C}{I}$  带入计算时要去分贝化。

### 1.5.3.5 蜂窝系统容量

通常衡量系统容量的指标是每小区的可用信道数来度量:

$$n = \frac{B_t}{B_c N} \quad (1.7)$$

- $B_t$  系统总带宽
- $B_c$  单个小区占用的信道带宽

- $N$  频率复用因子，利用载干比来计算

$$N = \sqrt{\frac{2}{3} \times \frac{C}{I}}$$

#### FDMA 系统

$$n = \frac{B_t}{B_c \sqrt{\frac{2}{3} \times \frac{C}{I}}} \quad (1.8)$$

#### TDMA 系统

$$n = \frac{B_t}{B'_c \sqrt{\frac{2}{3} \times \frac{C}{I}}}$$

$$B'_c = \frac{B_c}{m} \quad (1.9)$$

- $B'_c$  是等效带宽。相当于原来一个频道带宽又分给了多个时隙。
- $m$  是每一频道包含的时隙数。

TDMA 采用了数字技术，要求的载干比比 FDMA 的小， $N$  值也比较小。

#### CDMA 系统

$$n = \left[ 1 + \frac{W/R_b}{E_b/I_0} \times \frac{1}{d} \right] \times G \cdot F \quad (1.10)$$

- $E_b/I_0$  是归一化信噪比，计算时需要去分贝化
- $W/R_b$  是系统的扩频因子，即系统的处理增益。
- $d$  是占空比
- $G$  为扇区分区系数
- $F$  信道复用系数

#### 1.5.3.6 几种蜂窝系统的比较

- FDMA 和 TDMA 是频率受限系统，影响因素：频率与载干比
- CDMA 是干扰受限系统，影响因素：扩频处理增益，信噪比，占空比，扇区分区系数，信道复用系数等。

#### 1.5.3.7 提高蜂窝系统容量的方法

##### 1. 基站发射机位置

- 中心激励小区：安置在小区的\*\*中心\*\*
- 顶点激励小区：安置在六边形 3 个间隔的顶点上

##### 2. 小区分裂，增加信道的复用次数。

##### 3. 划分扇区，使用定向天线减少同频干扰。

##### 4. 新微小区，在微小区运动时不需要进行越区切换，保证覆盖范围的同时也减小了同频干扰。

#### 1.5.4 多信道共用技术

- 信道 → (1) 控制信道 CCH, (2) 业务信道 THH
- 信道共用，原因：移动通信的频率资源十分紧缺，一个基站不可能为其所覆盖小区的每一个移动台预留一个专用的信道，而是采用信道共用的方式。

#### 1.5.4.1 话务量

- 话音业务量，用话务量描述。
  - 流入话务量  $A = Ct$ ,  $C$  为单位时间内平均发生的呼叫次数,  $t$  为每次呼叫平均占用信道时间。
  - 完成话务量  $A_0 = C_0 t_0$ ,  $A_0$  完成话务量,  $C_0$  为呼叫成功次数,  $t$  伪呼叫平均占用信道时间。
- 非话音业务量，用信息流量来描述。

话务量是通过链路到达交换机的**总业务量**。现在要求系统能够容纳的系统用户数量，首先求解单个用户所需话务量：单个用户忙时话务量：

$$\alpha = CTk \frac{1}{3600} \quad (1.11)$$

其中,  $C$ ,  $T$  同上,  $k$  为集中系数, 即忙时话务量对全天话务量之比。所以:  $n$  个共用信道所能容纳的总用户数:

$$N = mn = \frac{A}{\alpha} \quad (1.12)$$

每个共用信道所能容量的用户数  $m$ :

$$m = \frac{A/n}{\alpha} \quad (1.13)$$

$n$  为共用信道数个数。

#### 1.5.4.2 呼损率和爱尔兰公式

流入话务量-完成话务量 = 损失话务量。**呼损率  $B$**  = 损失话务量/流入话务量:

$$B = \frac{A - A_0}{A} \quad (1.14)$$

损失话务量越低服务质量越高, 公网长取 0.05, 要提高  $B$  只有降低  $A$ 。  
话务理论的经典公式-爱尔兰呼损公式:

$$B = \frac{A^n/n}{\sum_{i=0}^n A^i/i!} \quad (1.15)$$

其中,

- $B$ , 呼损率
- $A$ , 流入话务量
- $n$ , 共用信道数

信道利用率公式

$$\eta = \frac{A(1-B)}{n} \quad (1.16)$$

**用途:**

- 计算共用信道  $n$ 。
- 计算总用户量  $M$ 。



### 1.5.5 网络结构

一般而言，通信网由**核心网**和**接入网**组成

Figure 1.6: 网络结构

1. MS-移动台。如：手机，车载终端。
2. BTS-基站收发信机。处理网络侧的无线信号收发。和 MS 直接交互。
3. BSC-基站控制器。一个 BSC 连接 1-255 个 BTS，是连接无线网和地面核心网之间的重要桥梁。
4. MSC-移动交换中心。MSC 与 VLR 一一对应，工程上又称为 MSC/VLR。MSC 的主要功能有：
  - (a) 路由管理
  - (b) 业务量管理：短信，电话，流量。
  - (c) 计费 and 费率管理，为用户通信时间生成详细话单记录。
  - (d) 向 HLR 发送有关业务量和计费信息。
5. VLR-访问位置寄存器，功能：
  - (a) MS 漫游号码 (MSRN) 管理。
  - (b) TMSI 分配与管理。(临时用户移动用户标识，移动台地址)
  - (c) 用户参数管理
  - (d) 用户鉴权。
  - (e) HLR 更新。
  - (f) 管理 MSC 区、位置 (LA) 区及基站区。
  - (g) 无线资源管理。
6. HLR-归属位置寄存器。(一个用户只和一个 HLR 关联，即用户的 SIM 卡和 HLR 关联)
  - (a) 管理和维护在 HLR 中等级注册的所有用户的参数。用户的 MSISDN 号码 (被叫号码，如公司里的短号)；；用户定制的业务信息；智能业务 (VPN 组网等)；IMSI 号码 (SIM 卡号，唯一)。
  - (b) 计费管理，计费信息、通话时长、收发短信数量等
  - (c) VLR 更新，更新数据库中用户当前所在 VLR 的地址，并向该 VLR 发送用户相关参数，比如用户地址的业务信息
7. AuC-鉴权认证中心。管理用户的 IMSI、密钥、加解密参数、鉴权参数。
8. GMSC-关口移动交换中心，完成网间互联互通，通常无需配置 VLR
9. SMS-IW MSC-短消息业务互通移动交换中心。处理网络中短信业务的路由。
10. SMC-短消息中心，对本地网络中用户短消息进行存储转发。
11. EIR-设备标识寄存器，用于存储 MS 的 IMEI。

#### 1.5.5.1 网络接口

Um 接口是 MS 和 BTS 之间的接口，参考 OSI7 层模型，分为物理层，数据链路层，网路层。是蜂窝移动通信系统中最复杂，最具开放性的一个接口。

### 1.5.6 网络的控制与管理

**连接控制（管理）功能** 当某一移动用户发起呼叫时，移动通信网络经过一系列预定程序控制，建立主/被通信链路，提供通信服务。这一个过程被称为接续过程，是移动通信系统的连接控制（管理）功能。

**移动性管理功能** 移动从一个位置区漫游到另一个位置区时，网络中的有关位置寄存器要随之对移动台的位置信息进行登记、修改或删除。如果用户是在**通信过程中越区**，网络要在不影响用户通信的情况下，控制该移动台进行越区切换。这种功能就是移动通信系统的移动管理功能。

**无线资源管理** 目标是在保证通信质量的条件下，尽可能提高通信系统的频谱利用率和通信容量。

#### 1.5.6.1 越区切换

越区：移动台在**通过过程中**，MS 从一个 BTS 服务区进入另一个 BTS 服务区，MS 与原 BTS 之间无线链路转到 MS 与新 BTS 之间的无线链路上来

##### 1 越区切换类型

1. 硬切换：断开与原 BTS 的链接，再建立和新 BTS 的链接。GSM
2. 软切换：先建立与新 BTS 的链接，再断开和原 BTS 的连接。CDMA
3. 接力切换，断开和原 BTS 的连接和建立和新 BTS 的连接象接力比赛交接棒，TD-SCDMA。

##### 2 越区切换的判定准则

1. 相对信号强度准则。
2. 门限规定的相对信号强度准则。
3. 具有滞后余量的相对信号强度准则。
4. 具有门限规定和滞后余量的相对信号强度准则。  
商业

Figure 1.7: 越区切换判定准则

##### 3 越区切换的控制策略

1. 移动控制，测量和判定过程全部由 MS 完成；PHS
2. 网络控制，测量和判定过程全部由网络完成；AMPS
3. 移动台辅助控制，测量由移动台来完成，判决由网络来完成。

##### 4 越区切换时的信道分配

**方法：** 为了使得越区失败的概率尽量小，常用的做法是在每个小区预留部分信道专门用于越区切换。

**特点：** 可用新信道数，增加了呼损率，但减少了通话被中断的概率。

#### 1.5.6.2 位置管理

主要依靠 VLR（管理位置区的移动用户），HLR（存储用户信息）两个寄存器完成。

- **位置登记：**当用户 1. 关机或者在 2. 位置区<sup>1</sup> (LAI 或 REG\_ZONE(CDMA)) 之间移动或者经历了一个 3. 固定的时间间隔的时候，移动台需要向网络报告它的位置。
- **类型：**开机登记、关机登记、基于时间登记、基于位置区变更登记。

当一个移动终端 (MT) 进入一个新的 LA 时，位置登记过程分为三个步骤：

<sup>1</sup>在组网时，基站需要设置一个 LAI（位置区识别码），配置有相同 LAI 的基站构成一个位置区

- 在管理新 LA 的新 VLR 中登记 MT;
- 修改 HLR 中记录服务该 MT 的新 VLR 的 ID;
- 在旧 VLR 和 MSC 中注销该 MT。

**位置登记具体过程: 共 6 步**

Figure 1.8: 位置区切换过程

#### **VLR2 是如何知道 HLR 位置 ?**

MS 发起位置登记请求有两种情况:

- 使用 IMSI 发起请求, 则 VLR2 可直接通过 IMSI 判断出 HLR 位置。
- 使用 TMSI 发起请求, 则 VLR2 可找到原来分配该 TMSI 的 VLR, VLR2 通过该 TMSI 联系 VLR1, 并从 VLR1 获取 MS 的 IMSI, 从而判断出 HLR 位置。

**呼叫转移具体过程: 共 7 步**

Figure 1.9: 呼叫传递过程

#### **位置区设置问题**

**位置区大小** 从位置登记来看, 位置区越大越好, 因为这样可以较少 MS 跨区移动概率。从**呼叫传递**来看, 位置区越小越好, 因为在 VLR 进行寻呼 MS 时, 寻呼被叫 MS 所浪费的寻呼资源就越少。

**位置区划分** 相邻位置区之间用户移动的概率尽量小。避免一个位置区跨越两个或多个 BSC 的情况。

## Chapter 2

# 移动信道的传播特性于模型

### 2.1 无线电波传播方式

移动通信使用甚高频 (VHF) 和特高频 (UHF) 等频段传输。

**VHF:** 1–10m, 30–300MHZ

**UHF:** 10–100CM, 300MHZ–3GHZ

当频率  $f > 30$  MHZ 时, 传播通路主要有: 直射波、反射波、地表面波。

#### 2.1.1 直射波

直射波传播, 可按自由空间传播来考虑。

**条件:** 自由空间传播是指天线周围为无限大真空时的电波传播

**现象** 不发生反射、折射、绕射、散射和吸收等现象, 但电波经过一段路径传播之后, 能量仍会衰减, 这是由电磁波能量扩散而引起的传播损耗 (弥散损耗或称为自由空间传播损耗)。

$$L_{fs}(dB) = 32.44 + 20lg_d(km) + 20lg_f(MHZ) \quad (2.1)$$

传播接受能量排序: 直射 > (反射、绕射) > 散射。

#### 2.1.2 反射波

物体尺寸比传输波长大多 (如地面, 墙面), 则容易发生镜面反射。

#### 2.1.3 绕射波

尖利边缘 (山丘)。

余隙: 障碍物顶点 P 到直射线 TR 的距离, 称为菲涅尔余隙。阻挡时为负 (即当障碍物高于 TR 线时), 反之为正。**附加损耗可通过查表得到**, 该损耗和相对余隙  $x/x_1$  有关, 其中  $x_1$  第一菲涅尔半径,  $x$  为余隙长度。

$$x_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.2)$$

#### 2.1.4 散射

比传输波长小的多的物体 (粗糙表面、不规则物体), 并且单位体积内阻挡体的个数很堵的情况。

#### 2.1.5 反射、绕射和散射的关系

	阻挡体
反射	比传输波长大的多的物体 (地面、墙面)
绕射	尖利边缘 (山丘)
散射	比传输波长小的多的物体 (粗糙表面、不规则物体)

## 2.2 移动信道的特性

### 2.2.1 传播路径与信号衰落

无线电波的传播表现出几种主要传播方式为：直射、反射、绕射和散射，以及它们的合成。

无线电波通过时变信道，主要表现出 4 种效应为：**多径效应**（由于地理环境的影响，接受的信号是各路径的矢量和）、**多普勒效应**（运动造成频谱扩散）、**阴影效应**（由于障碍物的阻挡，在电磁传播的接受区域内产生传播半盲区）和**远近效应**（近处无用强信号抑止远处有用弱信号）。

#### 2.2.1.1 两种衰落及其比较

- 大尺度衰落
- 小尺度衰落

	大尺度衰落	小尺度衰落
描述	长距离上信号强度的缓慢变化，采用平均路径损耗和相对均值的对数正态分布变化来描述	短距离上信号强度的快速变化，采用信号的时延拓展和信道的时间变化
原因	信道路径上的固定障碍物阴影	多径传播和收发两端的相对运动
影响	业务覆盖区域	信号的传输质量

### 2.2.2 多径效应与瑞利衰落

移动无线信道的主要特征是**多径传播**。接收点所获信号是多个路径来的信号的叠加。

假设：收发间的多条路径各参数（幅度，方向角）统计独立，且收发间**不存在直射波**，这多径接受信号的**幅度**服从**瑞利分布**，**如果存在直射波**，则服从**莱斯分布**。

重要结论：一个均值为 0、方差为的平稳高斯窄带过程，它的**包络**的一维概率密度服从**瑞利分布**，**相位**的一维概率密度分布是**均匀分布**。

### 2.2.3 三类主要的快衰落

**多径效应** 在时域上引起信号的时延扩展，使得接收的信号分量展宽，相应地在频域上规定了相关带宽性能。当信号带宽大于相关带宽时就会发生频率选择性衰落。

**多普勒效应** 在频域上引起频谱扩展，使得接收的信号产生多普勒频展，相应地在时域上规定了相关时间。多普勒效应产生的衰落是时间性选择衰落。

1. 时间选择性衰落，在不同的时间，信道衰落特性不一样，这种衰落会造成信号的失真。由于移动台的高速运动在频域引起**多普勒频移**，相应地其时域波形产生时间选择性衰落。（可由频率变化了  $\Delta f$ ，利用逆傅里叶变换得到时域式子，在取幅度模即可知道限制了时间宽度，所以称为时间选择性衰落，相关时间  $\Delta t = \frac{1}{\Delta f}$ ， $\Delta f$  **基带信号带宽**）。为保证不在时间轴上失真，必须保证传输符号速率远大于相关时间<sup>1</sup>的倒数，即  $R_s$ 。越大越好，发送时间的间隔  $\Delta t$  越小越好。
2. 频率选择性衰落，指在不同频段上衰落特性不一样，由于**多径传播**造成在时域的时延扩散（引起 ISI），引起各网络对不同频率的信号衰减也不同，这使得接收点合成信号的频谱中某些频率分量衰减特别厉害，产生频率选择性衰落（可由时间变化了  $\Delta t$ ，利用傅里叶变换得到频率式子，再取幅度模可知道限制了频率宽度，所以称为频率选择性衰落， $\Delta f = \frac{1}{\Delta t}$ ， $\Delta t$  多径时延。工程上相关带宽<sup>2</sup>为  $\Delta f = \frac{1}{2\pi\Delta t}$ ）。推导可见下图

Figure 2.1:

#### 3. 空间选择性衰落，相关距离<sup>3</sup>。

<sup>1</sup>在一段时间间隔内，到达信号具有很强的相关性，即信道特性在此时间段内没有发生明显的变化

<sup>2</sup>在频率间隔靠得很近的时候，到达信号具有很强的相关性，这个频率间隔就称为相关带宽

<sup>3</sup>在一定的空间距离，信道冲击响应能保证一定的相关度，这个空间距离就是相关距离（通长上就是接受天线防止的距离）

## 2.2.4 慢衰落特性和衰落储备

### 2.2.4.1 满衰落

定义：无线通信中，一般把由于距离引起的路径损耗和由于地形遮挡引起的阴影衰落统称为慢衰落，其衰落周期为秒级。

- 天气引起的变化，更慢，小时或天级。
- 近似服从对数正态分布

### 2.2.4.2 衰落储备

为了防止因衰落 (包括快衰落和慢衰落) 引起的通信中断, 在信道设计中, 必须使信号的电平留有足够的余量, 以使中断率  $R$  小于规定指标。这种电平余量称为衰落储备。

衰落储备大小决定于地形、地物、工作频率和要求的通信可靠指标 (可通率  $T=1-R$ )。衰落储备可通过查表得到。

## 2.3 陆地移动信道的传输损耗

### 2.3.1 地形的分类

**中等起伏地形** 地面起伏高度不超过 20m。

**不规则地形** 其余地形。

移动台天线的有效高度  $h$  总是指天线在当地地面  $m$  上的高度。

### 2.3.2 地物 (地区) 分类

- 市区
- 郊区
- 开阔地

### 2.3.3 中等起伏地形上传播损耗的中值

奥村模型：适用范围：频率 150MHZ ~ 1500MHZ, 基站天线高度为 30 ~ 200 米, 移动台天线高度为 1 ~ 10 米, 传播距离为 1 ~ 20 千米的场强预测。

**基准中值**：在计算各种地形、地物上的传播损耗时, 均以**中等起伏地上的市区**, 在**标准天线高度**, **基站天线 200m**, **移动台天线 3m** 下的损耗中值或场强中值作为基准, 称作基准中值或基本中值。其余情形将在此基准上作修正。修正因子为实际场强中值与基准场强中值之差。

#### 2.3.3.1 中等起伏地形损耗中值计算

- 自由空间损耗。+
- 传播损耗基准中值  $A_m$  (相对于自由空间的中值损耗),  $f, d$  越大  $A_m$  越大。+
- 基站天线高度增益因子  $H_b$ 。天线越高, 其值越大 (天线越高, 损耗越小)。-
- 移动台天线高度增益因子  $H_m$ 。天线越高, 其值越大 (天线越高, 损耗越小)。-
- 街道走向修正因子  $k_a$ 。纵向 (与传播方向平行), 大于 0, 横向 (垂直), 小于 0。-

$$L_t = L_{fs} + A_m - H_b - H_m k_a \quad (2.3)$$

### 2.3.3.2 郊区和开阔地损耗的中值

$$L_{\text{郊区}} = L_{\text{市区}} - K \quad (2.4)$$

K 为地形修正因子。

中等起伏地市区中接收信号的功率中值  $P_p$

$$P_p = P_0 - A_m + H_b + H_m \quad (2.5)$$

$P_0$  发送功率, 其余地形技术算, 即加上相应的地形修正因子。

$$P_p = P_0 - A_m + H_b + H_m + K_T \quad (2.6)$$

## 2.4 传播模型

Figure 2.2:

## Chapter 3

# 抗衰落技术

### 3.1 抗衰落

#### 3.1.1 传输中的损耗

- 阴影效应 → 通信范围
- 多径效应，多普勒效应。衰落通信质量
- 噪声和干扰，误码。通信质量

#### 3.1.2 抗衰落措施

1. 信道编码 → 减小信道噪声或干扰
2. 扩频技术 → 减小多径干扰
3. 分集 → 减小衰落深度和衰落持续时间
4. OFDM(均衡技术)→ 减小码间干扰
5. MIMO(空间分集)→ 克服衰落, 降低误码率

### 3.2 分集技术

定义：接收端对它收到的多个衰落特性**互相独立（携带同一信息）**的信号进行**集中**处理，以降低信号电平起伏的办法。

分散传输

集中处理

#### 3.2.1 分集技术的分类

**宏分集“基站分集”** 将多个基站设置在不同的地理位置上和不同的方向上，移动台可和其中信号最好的一个基站进行通信。它能克服**由于阴影效应或地形影响而产生的慢衰落**

**微分集** 在同一场地采用多副天线或多个频率或多种极化等方法接收和处理由多条路径传来的信号。移动台和基站都可使用这种技术。（空间、频率、极化、场分量、角度及时间），克服**快衰落**。

##### 3.2.1.1 空间分集

原理：空间分集的依据在于快衰落的空间独立性。

当两个位置的距离大于一定程度，则两处的信号衰落是不相关的。在频率较高时（ $f \geq 800MHz$ ，容易实现空间分集。



### 3.2.1.2 时间分集

原理: 同一信号在不同的时间区间多次重发, 只要各次发送的时间间隔足够大, 那么各次发送信号所出现的衰落将是彼此独立的。

实现: 其重发时间间隔  $\Delta T \geq \frac{1}{2f_m} = \frac{1}{2(v/\lambda)}$ , 用于克服多普勒效应引起的信号衰落现象 (所以移动台静止时,  $v=0$ , 时间分集不起作用)。

### 3.2.1.3 频率分集

原理: 相干带宽之外的频率上不会出现同样的衰落实现: 多个载频上传送信号, 载频间隔大于相干带宽  $B_c = \frac{1}{2\pi\Delta}$

### 3.2.1.4 极化分集

原理: 两个不同极化的电磁波具有独立的衰落特性。

实现: 收发端用不同极化的天线分别发送和接收信号, 以获得分集效果。

极化分集是空间分集的一种特殊情况。将射频功率分给两个不同的极化天线, 所以发射功率要损失 3db。

## 3.2.2 合并技术

多路接受信号的加权求和。

### 3.2.2.1 选择式合并 SC

在多路信号中选择信噪比最高的支路作为输出, 即在多个加权系数中, 只有一个伪 1, 其余为 0。

### 3.2.2.2 最大比值合并 MRC

最大比值合并将各路信号加权后合并。在信号合并前对各路载波相位进行调整使之同相, 然后相加。各路加权系数  $a_k$  与信号包络  $r_k$  成正比, 于噪声  $N_k$  成反比。这是最佳的合并方式。

$$a_k = \frac{r_k}{N_k} \quad (3.1)$$

所以合并信号为:

$$r_R = \sum_{k=1}^M a_k r_k = \sum_{k=1}^M \frac{r_k^2}{N_k} \quad (3.2)$$

### 3.2.2.3 等增益合并 EGC

。无需对信号加权, 各支路的信号是等增益相加的。

$$r_R = \sum_{k=1}^M r_k \quad (3.3)$$

## 3.2.3 合并技术性能分析于比较

最大比值合并 > 等增益合并 > 选择式合并

合并增益  $D(M)$  与分集支路数目  $(M)$  之间的关系:

Figure 3.1:

## 3.3 信道编码技术

### 3.3.0.1 一些理论

信道编码是为了保证信息传输的可靠性、提高传输质量而设计的一种编码。

通常分为**分组码**和**卷积码**。

**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

**码字：**信息码元与冗余码元一起构成的消息块称为码字。

**码距：**对应位不同的个数，又称为汉明距。信道编码的实质就是**增加码距**，**码距代表了纠检错能力**  
码距与纠检错能力的关系：

- 检测  $e$  个错误：最小码距  $d_0 \geq e+1$
- 纠正  $t$  个错误：最小码距  $d_0 \geq 2t+1$
- 纠正  $t$  个错误，发现  $e$  个码位错误：最小码距  $d_0 \geq t+e+1$

### 3.3.0.2 信道编码分类

- 按码组功能分：检错码和纠错码
- 按加入冗余码元方式：线性码和非线性码
- 按码组结构分：分组码和卷积码
- 按纠错能力分：纠随机错和纠突发错

性能指标：编码效率，编码增益，编码延时，编译码器的复杂度

### 3.3.0.3 应用

- GSM, IS-95, 卷积码
- 3G, 卷积, Turbo

### 3.3.0.4 线性分组码

主要考虑 CRC 循环冗余校验，用于误码检测。表示为  $(n,k)$  码， $k$  为输入， $n$  为输出，编码效率  $R = k/n$   
生成方式：

Figure 3.2:

例题：

Figure 3.3:

简便算法：

验证是否出现误码，将接收到的序列除以生成多项式，整除则（可能）无误码，否则有误码。

## 3.3.1 卷积码

卷积码的监督码元与当前码元和前若干码元有关。表示为  $(n,k,m)$ ， $m$  为寄存器的个数。约束长度  $l = m+1$ ，编码效率  $R=k/n$ 。

为什么要称为卷积码？采用单位冲击信号输入后，得到各支路的冲激响应，将输入于各支路的冲击响应做卷积运算可得到各支路的信号输出。

### 3.3.1.1 卷积码的描述

1. 解析法, 离散卷积法、码生成多项式法、生成矩阵、
2. 图形法, 状态图、树图以及网格图

#### 1 图解法

**状态图** 圈内为寄存器状态, 单斜杠前为输入, 后为输出, 箭头方向为寄存器转移方向。如:

Figure 3.4:

**网格图** 把状态图沿时间轴展开

Figure 3.5:

维比特译码。

**树图**

### 3.3.1.2 卷积码在蜂窝移动通信系统中的应用

所有分叉后又合并的任一长度路径中的最小距离称为自由距离  $d_f$ , 其纠错能力为  $t = \frac{[d_f - 1]}{2}$ 。

在 GSM 系统中, 使用上述两种编码方式, 首先使用 CRC 编码, 在对全部比特做卷积编码。

半速率信道编码的自由距离大于全速率信道的自由距离 (GSM), 反向信道编码的自由距离大于正向信道的自由距离 (WCDMA), 因此反向信道和半速率信道有更强的抗噪声干扰能力。

### 3.3.2 交织编码

交织编码的作用是改造信道, 其实现方式有**块交织**, **帧交织**, **随机交织**, **混合交织**等等。将一个有记忆的突发信道改造成一个随机独立的差错信道。在交织和去交织过程中会产生附加处理时延。它本身并不具备信道编码检、纠错功能, 仅起到信号预处理的作用。

几个名词:

**交织深度** 交织前相邻两符号在交织后的间隔距离

**交织宽度:** 交织后相邻两符号在交织前的间隔距离

**交织延迟** 每个符号从交织器输出时相对于输入交织器时的时间延迟

对于一个  $m \times n$  的交织阵列, 如果按照**行写入, 列写出**, 那么交织深度为  $m$ , 交织宽度为  $n$ 。

要求: 交织深度大于相干时间—**时间分集, 是一种时间隐分集技术**

#### 3.3.2.1 交织的作用

交织 + 信道编码  $\leftrightarrow$  衰落

交织常与重复或信道编码相结合, 是一种对抗突发错误的时间分集形式, 信道编码技术更易于纠正随机错误,

交织技术可以在把信道中的突发错误分散成随机错误; 而衰落是移动通信中引发突发错误的主要因素。

### 3.3.3 Turbo 码

Turbo 码巧妙地将**卷积码**和**随机交织器**相结合, 采用软输入/输出译码器, 可以获得接近 Shannon 编码定理极限的性能。但因它存在时延, 故主要用于**非实时的数据通信**中。

### 3.4 扩频通信

扩频通信是利用与传输数据（信息）**无关**的扩频函数对传输信号扩展频谱，在接收机中利用**相同**的扩频函数对接收信号进行同步相关接收、解扩及恢复原始信息。

特征：

- 传输带宽远大于被传送信息的原始带宽；
- 传输带宽主要由扩频函数决定，扩频函数是不可预测的伪随机的宽带信号；
- 接收端中用与发射端扩频函数同步的副本实现相关解扩。

#### 3.4.1 扩频理论依据

**香农定理**：在高斯白噪声干扰条件下，设信号带宽为  $B(\text{Hz})$ ，信道输出信号平均功率为  $S(\text{W})$ ，输出加性高斯噪声功率为  $N(\text{W})$ ，则该通信系统的信道容量  $C(\text{bit/s})$  为：

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (3.4)$$

说明：

- 只要信源的信息传输速率  $R_i$  小于等于信道容量，即  $R_i \leq C$ ，则总可以找到一种编码方式实现信号的无差错传输；
- 若传输速率大于信道容量，则不可能实现信号的无差错传输。

扩频信号频谱增加带宽可以换取信噪比的降低，从而提高了通信的抗干扰能力，实现强干扰环境下可靠安全的信息传输。

两个重要的结论：

- 扩频信号频谱增加带宽可以换取信噪比的降低，从而提高了通信的抗干扰能力，实现强干扰环境下可靠安全的信息传输。
- 如果信号的总能量不变，则频谱的展宽势必使各谱成分的幅度下降，即功率谱密度降低。

#### 3.4.2 主要工作方式

- 直接序列扩频
- 跳变频率扩频
- 跳变时间扩频
- 宽带线性调频
- 混合方式

#### 3.4.3 主要性能参数

##### 3.4.3.1 扩频处理增益

$$G_p = \frac{SNR_{out}}{SNR_{in}} = 10 \log \frac{SNR_{out}}{SNR_{in}} (\text{db}) = 10 \log \frac{B_{\text{扩频后}}}{B_{\text{扩频前}}} = 10 \log \frac{R_c(\text{伪随机序列发送速率})}{R_b(\text{基带速率})} \quad (3.5)$$

$G_p$  表示了信噪比的改善程度

### 3.4.3.2 干扰容限

在保证系统正常工作的条件下 (系统输出信噪比一定), 接收机能够承受的干扰信号比有用信号高出的分贝 (dB) 数, 用  $M$  表示, 其数学式为:

$$M = G_p - [L_s + (\frac{S}{N}_{out})]dB \quad (3.6)$$

$L_s$  路径传输损耗。

干扰容限反映了扩展频谱系统接收机能在多大干扰环境下正常工作的能力和可能抵抗极限干扰的强度。

例: 个扩频系统的处理增益为 35dB。要求系统在误码率小于  $10^{-5}$  时, 信息数据解调的最小的输出信噪比  $(S/N)_{out} < 10dB$ , 系统内部损耗  $L_s = 3dB$ , 则系统的干扰容限为:

$$M = 35 - (3 + 10) = 22dB \quad (3.7)$$

所以系统能够接受, 干扰输入电平比扩频信号功率电平高 22dB 的范围内工作, 即接收端输入  $SNR \geq -22dB$ 。

$$10\log N - 10\log S \leq 22$$

$$10\log S \geq 10\log N - 22$$

噪声最小为 0, 所以扩频信号功率电平大于 -22dB

### 3.4.4 伪随机序列

为伪噪声序列 (PN 序列): 重复产生和处理, 具有随机序列基本特性的确定序列。

用作地址码时, 要求尖锐的自相关, 小的互相关。

#### 3.4.4.1 m 序列

最长线性反馈移位寄存器序列, m 序列。

特征多项式:

$$f(x) = \sum_{r=0}^m C_r x^r, \text{ 其中 } C_0 = 1, C_m = 1 \quad (3.8)$$

- 序列是由多级移位寄存器或其他延迟元件通过线性反馈产生的最长的码序列。
- 在二进制移位寄存器发生器中, 若  $n$  为级数, 则所能产生的最大长度的码序列为  $N = 2^n - 1$  位, 其中等于  $2^n - 1$  的即为 m 序列。
- m 序列发生器中, 并不是任何抽头组合都能产生 m 序列, 需要由本原多项式生成。

性质:

**均衡特性** 在 m 序列中一个周期内 “1” 的数目比 “0” 的数目多 1 位;

**移位相加性** m 序列和其位移序列模 2 加后仍为 m 序列

**m 序列相关特性**  $R_{a,b}(n) = \frac{A-D}{A+D}A$  为相同位数,  $D$  为不同位数。

其自相关函数可表示为

$$R_{a,a}(n) = \begin{cases} 1, & n = lN \\ -1/N, & n \end{cases}$$

**m 序列的功率谱:**

功率谱具有抽样函数的  $Sa^2(x)$  包络, 其带宽取决于码元长度。

### 3.4.4.2 Gold 码

性质:

- 长度为  $N$  的一个优选对可以构成  $N$  个 Gold 码, 这  $N$  个 Gold 码加上  $m_1$  和  $m_2$ , 共  $N+2$  个码。它们之中任何两个码的周期性互相关函数也是三值函数 (优选对的性质, 即满足优选对的序列, 其平移相加后的自相关函数最多有 3 个值)
- Gold 码的个数比  $m$  序列数多得多。1 对  $m$  级移位寄存器  $m$  序列, 其 gold 码个数为  $N = 2^m - 1 + 2$ 。
- Gold 码的周期性自相关函数, 自身与自身, 自身与本 gold 码组的其他值也是三值函数。同一优选对产生的 Gold 码的周期性互相关函数为三值函数; 同长度的不同优选对产生的 Gold 码的周期性互相关函数不是三值函数;
- Gold 序列的互相关峰值、旁瓣与主瓣之比都比  $m$  序列小得多。下行链路采用 gold 码区分小区和用户, 上行链路用 gold 码区分用户。

#### 1 Walsh(沃尔什) 函数

沃尔什函数集是完备的非正弦型正交函数集, 在 IS-95CDMA 蜂窝移动通信系统中应用了 64 阶沃尔什序列哈达玛 (Hadamard) 矩阵

$$H_{2N} \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & -H_N \end{bmatrix}$$

其中最低阶 (2 阶的哈达玛矩阵) 为:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

任意两行 (码字) 都是正交的。

缺点:

- Walsh 序列的自相关特性不很理想
- 频谱的旁瓣值较大, 不利于系统的同步捕获, 而且容易产生假同步。
- Walsh 码的各码组由于所占频谱带宽不同等原因, 因而不能作为扩频码。

### 3.4.4.3 OVSF 码

为了保证可变扩频码的不同周期长度 Walsh 码的正交性, 必须满足哈夫曼码在树图上的非延长特性: 某一节点的短 Walsh 码被采用作为扩频正交码以后, 这个节点延长出去的所有树枝上的长 Walsh 码将不能再被采用作为扩频正交码。

**速率越高, 扩频周期越短, 频周期越长, 扩频比越大。**

按照非延长码规律选取的码组是不等长的正交码组: 将短码复制 (相当与速率高, 带宽长, 所以将码进行了复制), 和最长码一样长。这样, 任意两个码都是正交的。

$$\begin{aligned} W_4^1 &= 1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \\ W_8^2 &= 1 \quad 1 \quad -1 \quad -1 \quad 1 \quad 1 \quad -1 \quad -1 \quad 1 \quad 1 \quad -1 \quad -1 \quad 1 \quad 1 \quad -1 \quad -1 \\ W_{16}^3 &= 1 \quad -1 \quad -1 \quad 1 \quad 1 \quad -1 \quad -1 \quad 1 \quad 1 \quad -1 \quad -1 \quad 1 \quad 1 \quad -1 \quad -1 \quad 1 \\ \text{三者间满足正交性: } W_4^1 \cdot W_8^2 &= W_4^1 \cdot W_{16}^3 = W_{16}^3 \cdot W_8^2 = 0 \end{aligned}$$

Figure 3.6:

### 3.4.4.4 地址码

- 区分用户: gold 和 m
- 区分基站: gold
- 区分信道: walsh 和 ovsf

### 3.4.5 直接扩频

扩频: 将原始信号于扩频码相乘。信号功率下降到原来的  $1/N$

Figure 3.7: 直接扩频

Figure 3.8: text

解扩: 乘以相对应的 PN 码, 还原。

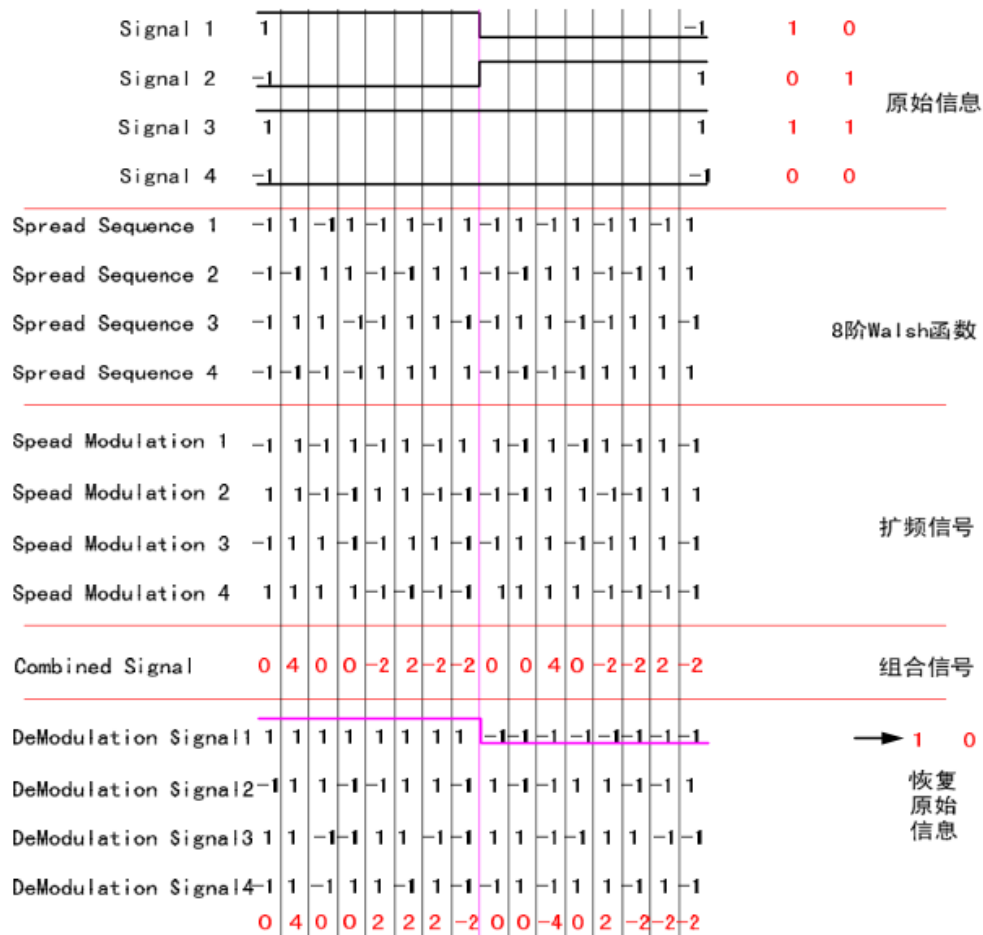


Figure 3.9:

解调方式两种:

1. 将 Combined 信号分别乘上各扩频信号即可得到各路信号。(分离)。适用**已同步**。
2. 将扩频信号  $i$  分别乘上各扩频信号，得到自相关性强的即为原信号，抖动信号则不是原始信号，适用**非同步**。

### 3.4.5.1 直接扩频的抗干扰能力

扩频信号的重要特点：**抗窄带干扰能力强**。设  $i(t)$  为一窄带干扰信号，其频率接近信号的载波频率。解扩后最终扩频系统的输出干扰功率是输入干扰功率的  $1/N$ ，即扩频系统的处理增益为  $G_p = P_i/P_o = T_b/T_c = N$

Figure 3.10:

扩频信号对窄带干扰的抑制作用在于接收机对信号的解扩的同时，对干扰信号的扩频，这降低了干扰信号的功率谱密度。

## 3.5 RAKE 接收机

利用扩频码的良好自相关特性可以很好地抑制多径传输带来的干扰，当**多径时延大于扩频码的码片**（时间分集）的时候。这些信号都携带相同的信息，利用这些能量，则可以变害为利，改善接收信号的质量

### 3.5.0.1 抗多径干扰

- 利用 PN 尖锐的自相关特性，很高的码片速率。
- 有效抑制与 PN 序列不同步的多径信号分量的干扰

### 3.5.0.2 接收方式比较

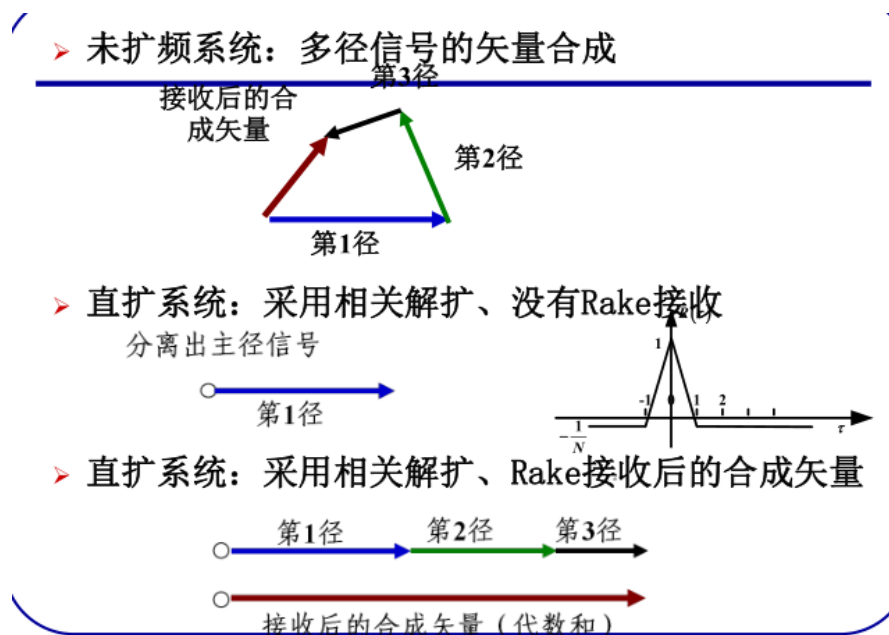


Figure 3.11:



### 3.5.0.3 RAKE 接收实现方式

利用扩频信号设计将各条信号进行**分离（码片速率小于多径时延差）**。再利用 RAKE 接收将分离的各条路径信号**相位校准、幅度加权**，将矢量和变为代数和。

RAKE 接收的本质：时间分集（多径产生时延差）、多径分集、频率分集（扩频带宽远大于相关带宽）。

## 3.6 跳频扩频通信系统

本质是频率分集。依靠“躲避”来提升抗干扰能力。抗多径、抗同频道干扰、抗衰落。

## Chapter 4

# GSM 移动通信系统

### 4.1 GSM 总体结构

#### 4.1.1 系统结构

##### 一、系统结构

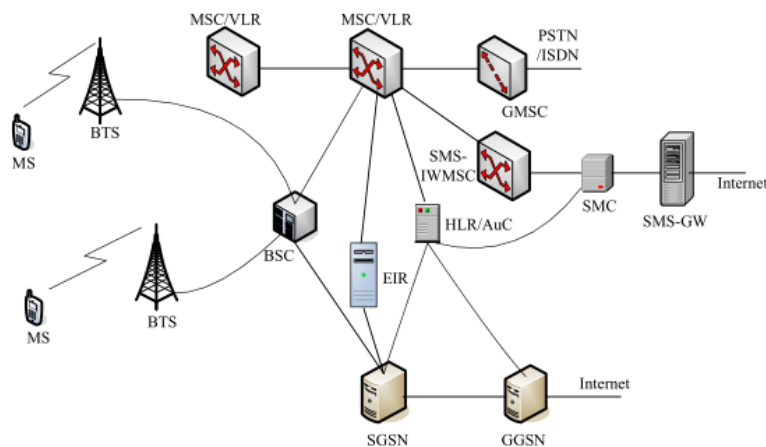


Figure 4.1:

GSM 网络由 MS, BSS, NSS 三部分组成。

- BSS: 包括 BTS 和 BSC
- NSS: 包括核心网功能实体
  - 电路域, MSC/VLR, GMSC, SMS-IWMSC、SMC、SMS-GW、HLR/AuC 和 EIR
  - 分组域, SGSN, GGSN。

## 4.1.2 协议栈和接口

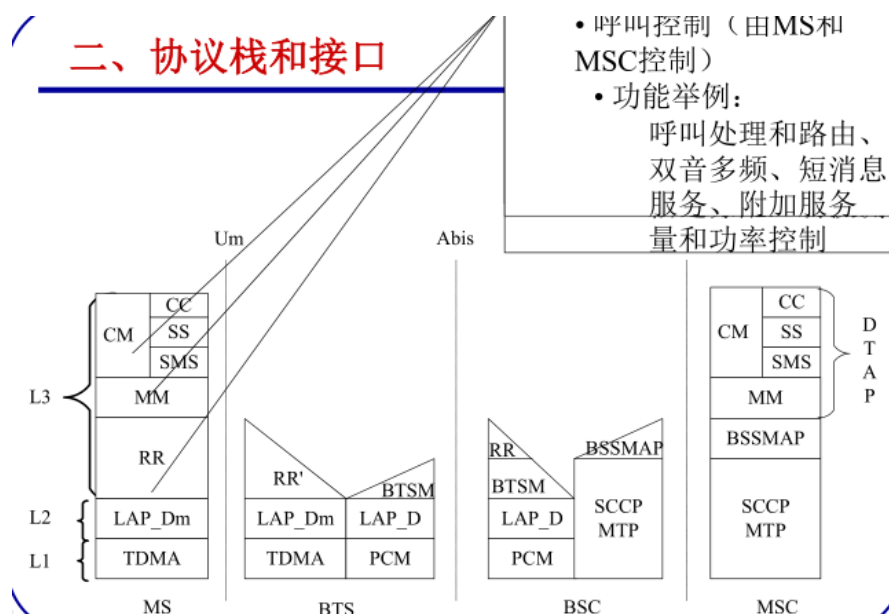


Figure 4.2:

1. Um 接口, 是 MS 和 BTS 的空中接口, 共三层 (网络、数据链路和物理层)
  - (a) CM, 连接管理
  - (b) MM, 移动性管理, 包括位置登记和呼叫传递, 在 MS 和 MSC 中实现。
  - (c) RR, 无线资源管理。
2. Abis, BTS 和 BSC 之间的接口。
3. A, BSC 和 MSC 之间的接口。

## 4.2 无线信道

中国地区使用 900/1800MHz。其中以 900 为主, 1800 不是到处都有。GSM 采用 FDD 工作方式, 在 900MHz 时, 双工收发间隔是 45MHz, 在 1800MHz 双工收发间隔为 905Hz。一般地, 基站使用高频部分, 补偿上下功率不平衡问题。

在划分的上下行对称频段, 按照 **200kHz** 间隔划分载波, 每个载波采用 TDMA 方式, 划分 8 个时隙 (TS0-TS7), 8 个时隙共占用 4.615ms。

载频间隔为 0.2Hz, 频道序号为  $n$ , 则上下两频段中序号为  $n$  的载频可用下式计算:

$$\text{上行 } f_{ul} = F_{ul0} + 0.2n \quad (4.1)$$

$$\text{下行 } f_{dl} = F_{dl0} + 0.2n \quad (4.2)$$

### 4.2.1 干扰载波比

**定义:** 波干扰保护比 C/I 就是指接收到的希望信号电平与非希望信号电平的比值。

GSM 采用高斯最小频移键控 (GMSK)、

### 4.2.2 频率复用方式

**区群:** 将相邻若干的小区形成一个单元, 在该单元内, 所有小区不允许使用相同频率, 且这种单元能无缝覆盖 GSM 业务提供去, 单元之间频率符用。

小区个数:  $N = i^2 + ij + j^2$

- 模拟蜂窝采用 7 小区，采用全向天线。
- GSM，采用 4 小区或者 3 小区，采用扇区天线。
- 采用 3 小区使，同频小区距离较小，采用跳频技术来躲避同频干扰。

4.2.2.1 4\*3 和 3\*3 的频点配置

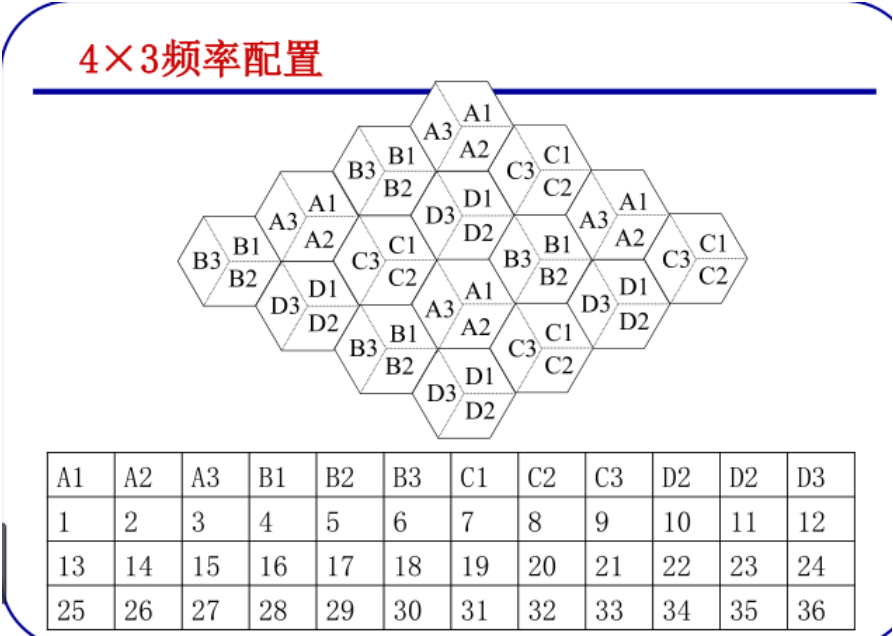


Figure 4.3:

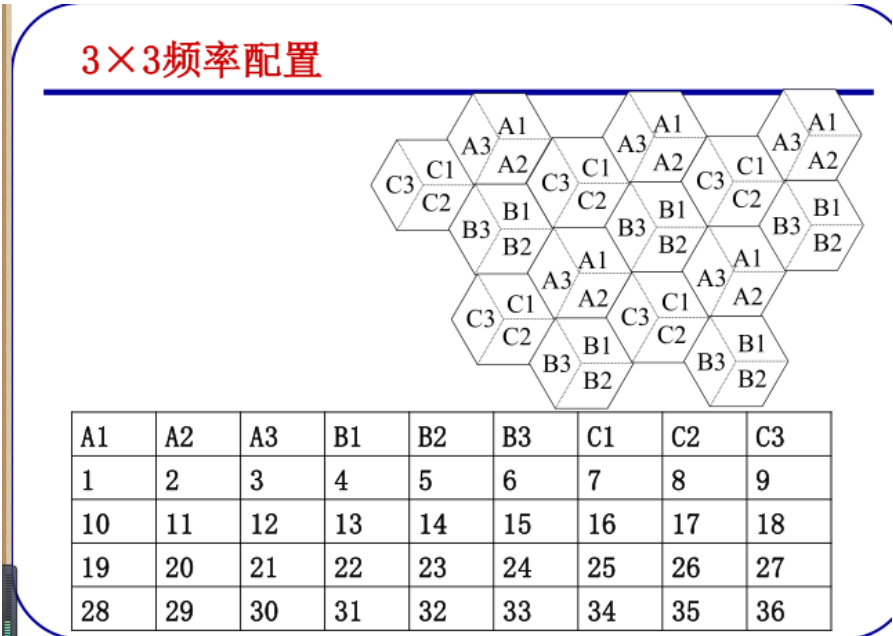


Figure 4.4:

为了提高系统容量

1. 提升频率复用系数，即减少单个小区个数，使得复用次数增多，不过同频干扰增大。
2. 小区分裂，减少原基站的覆盖半径，通过增加新基站来覆盖由于原基站覆盖半径减小而形成的盲区。基

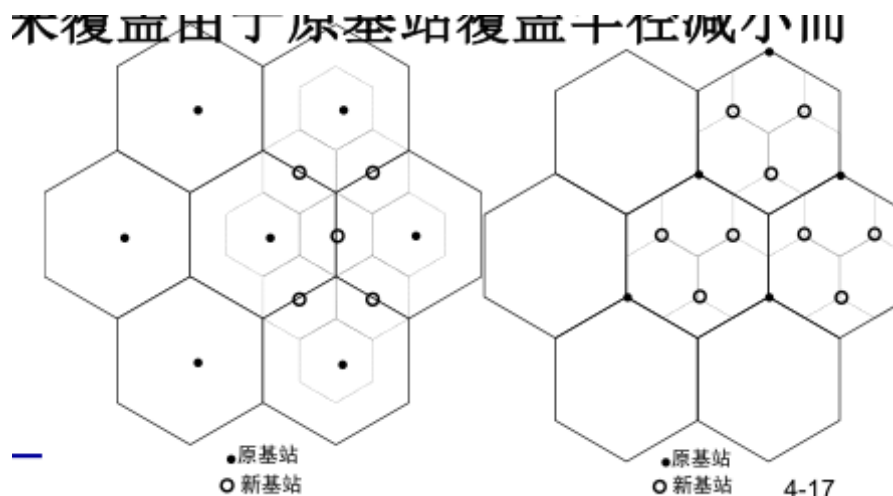


Figure 4.5:

站布置方式有中心激励（天线采用全向天线）和顶点激励（天线采用扇区天线），两种布置方式的覆盖面积和基站个数均相同。

### 4.2.3 无线帧结构

GSM 采用 TDMA 多址方式，在每载波上按时域划分为 TS0 ~ TS7 共 8 个时隙，时隙按 4.615ms 周期性的重复，每个时隙即是一个物理信道。

超高帧-超帧-复帧-TDMA。MS 占用上下行频率的时隙号相同，但上行时隙相对于下行时隙延后 3 个时隙时间。原因

- MS 的收发信需要天线双工器来回倒换（对于只有一个天线的 MS 来说），倒换需要一定的时间。
- MS 处于随机移动状态，它与 BS 之间的距离和位置随机变化，为了防止在不同位置使用相同频率的 MS 发射的时隙在到达 BS 的时候出现重叠的情况，离 BS 远的 MS 应当适当提前它的发射时刻，TA（时间提前量）。

### 4.2.4 逻辑信道

#### 4.2.4.1 TCH

传送语音数据和低速数据业务数据。

速度类型	语音编码速率	信道编码速率
全速率	13kb/s	22.8kb/s
半速率	6.5kb/s	11.4kb/s

#### 4.2.4.2 CCH

传送信令数据以及短分组数据（短消息）。

**BCH(广播控制信道)** 一点对多点的下行控制信道；传送的内容主要使移动台入网和呼叫建立所需的有关信息。

1. 频率校正信道 (FCCH), 用于 MS 的频率矫正。
2. 同步信道 (SCH), 传送基站识别码 (BSIC, MS 可以区分使用相同频率的不同基站, BS 也可识别是否是连接到自身的 MS), 传送 TDMA 帧号 (FN)。

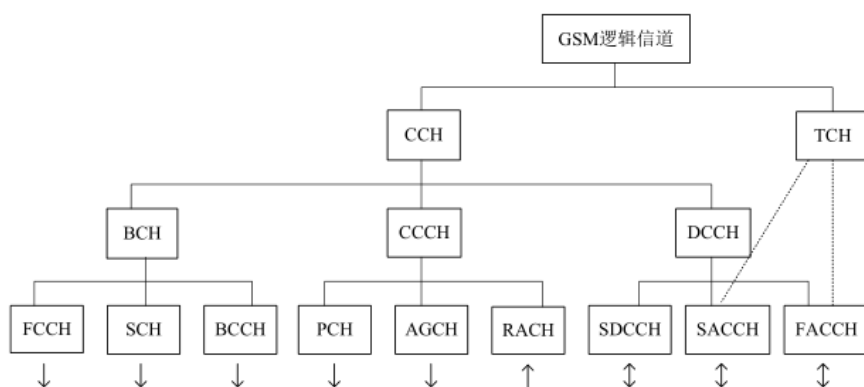


Figure 4.6:

3. 广播控制信道 (BCCH)，MS 由此获取各种系统参数（位置区识别 LAI）；同时，BS 以**最强且恒定**公里吧发射该信道，MS 通过检测该信道的信号质量作为越区切换判决用。

**CCCH(公共控制信道)** 双向控制信道，用于**呼叫接续**阶段传输链路连接所需的控制信令。

1. 寻呼信道 PCH，用于寻呼移动台。在寻呼信道上，可以组呼多个 MS，通过 **TMSI**，区分不同的 MS。
2. 随机接入信道 (RACH)，**上行**，用于移动台提出入网申请，请求分配 **SDCCH**。
3. 接入允许信道 AGCH，用于入网应答，分配一条 SDCCH。

**DCCH 专用控制信道**，双向，由基站分给某一特定的移动台专用

1. 独立专用控制信道 SDCCH，用于在分配 TCH 之前接续过程中传送系统信令，用于传递位置登记、鉴权、呼叫建立、**短消息**等信令信息。经过鉴权确认后，在分配 TCH。
2. 慢速辅助控制信道 SACCH
  - 与 SDCCH 联用，构成 SACCH-C，用于**周期性**传递 MS 对当前服务基站及周边基站信号的测量报告。
  - 与 TCH 联用，构成 SACCH-H，用于在**通话过程中**，传递 MS 对当前基站和周边基站的测量报告，用于网络判决 MS 是否需要越区切换。以及 TA 下发，功率调整下发。
3. 快速辅助控制信道 FACCG，与 TCH 联用。越区切换判决后，使用 FACCH 发送越区切换指令。

## 逻辑信道应用实例

以MS开机为例，说明逻辑信道的应用：

- 开机
- FCCH: 接收频率校正信息
- SCH: 接收BS同步信号
- BCCH: 接收系统消息（空闲状态接收BCCH）
- PCH: 接收寻呼消息
- RACH: 接入申请
- AGCH: 允许接入，并分配SDCCH
- SDCCH /SACCH:
  - 在SDCCH上进行鉴权；
  - 在SACCH上进行功率控制
- TCH/SACCH (FACCH): 通信阶段



Figure 4.7:

### 4.2.5 时隙格式

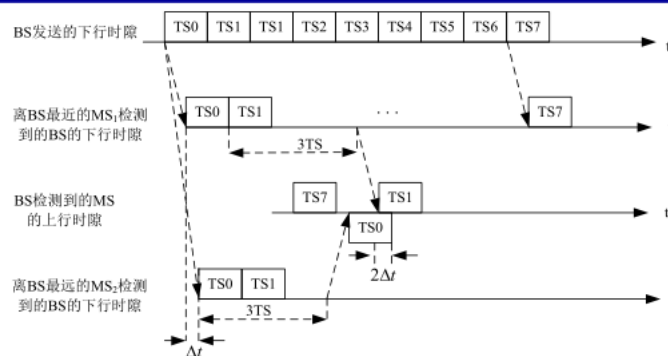
GSM, 8 时隙，时隙宽度 0.577ms, 包含 156.25bit。

频率校正突发

同步突发

接入突发, (AB)，脉冲序列。用于 RACH，在 MS 初始接入时，利用接入突发传送信道请求消息。由保护期长度，可计算小区覆盖半径。

#### □ 接入突发 (AB, Access Burst) 脉冲序列。



$$2\Delta t \leq 252\mu s \quad \Delta t \leq 126\mu s$$

$$r = \Delta t \cdot C = 126 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^8 = 37.8 Km$$

◆ 工程上一般GSM小区最大半径35Km。

Figure 4.8:

**常规突发** 用于业务信道和专用控制信道。对于 BCCH、PCH、AGCH、SDCCH、SACCH 和 FACCH 信道，采用 LAPDm 协议

#### 4.2.6 交织

对于全速率 TCH，GSM 手机将 20ms 的模拟话音数据编码成 260 个比特（所以全速率话音速率为 13kb/s），经过卷积编码等最终输出 456bit。然后进行**块内和块间交织**。

**块内交织** 分为 8 个小块，每个小块  $456/8=57\text{bit}$ 。

**块间交织** 相邻两块数据进行二次交织，来自两个不同的 57bit 数据放入常规突发中。

#### 4.2.7 逻辑信道与物理信道映射

对于多载频的情况下，系统会划分出主载频和副载频，**主载频**上的 TS0 和 TS1 用于映射控制信道，**主载频上的其余时隙和副载频上的所有时隙用于映射业务信道**。

##### 4.2.7.1 BCH,CCCH

对于**上行链路**，TS0 只用于 MS 的接入 (RACH)，即 51 个 TDMA(TS0) 帧用于随机接入信道。

##### 4.2.7.2 SDCCH、SACCH-C

下行链路 TS1 用于映射专用控制信道。

##### 4.2.7.3 TCH

复帧含有 26 个 TDMA 帧。

**T** 编码话音或数据，用于通话，突发脉冲序列为 NB。

**A** SACCH，信号强度检测，TA 下发，功率公积。

**I** 空闲帧。

##### 4.2.7.4 FACCH

### 4.3 呼叫处理流程

1. MSISDN, 移动台综合业务数据网号码。存放于 HLV 中。平常拨打的手机号。
  - CC, 国家码。86
  - NDC, 国内地区码。131,139
  - SN, 用户号码。**H0H1H2H3**ABCD，加黑标识一个 HLR。
2. IMSI, 国际移动用户标识码。移动客户唯一标识码。绑定 SIM 和存放在 HLR/AuC。在位置登记和呼叫等过程中作为 MS 的身份标识。
3. TMSI, 临时移动用户标识，用于在 VLR 服务区内唯一标识一个移动用户，由 VLR 生成和管理。
4. IMEI 国际移动设备标识，用于标识移动设备。
5. LAI, 位置区识别码。
6. MSRN, 移动台漫游号码，VLR 为 MS 生成。MSRN 用作原端交换机寻路目的交换机用
7. GCI, 全球小区识别。
8. BSIC：基站识别色码，用于区分使用相同载频的不同基站。
9. MSC/VLR Number, 路由选择时进行识别。
10. HLR Number, 用于主叫方交换机寻址被叫 MS 的 HLR。



## 4.4 通信安全

1. 鉴权
2. 加密
3. IMEI 查询, 网络判定 IMEI 的合法性, 即判定移动台本身的合法性。

GSM 系统的鉴权是单向鉴权, 即只有网络对 MS 的鉴权过程。在 3G 网络中引入了双向鉴权机制, 增加了 MS 对网络的鉴权过程, 有效的防范伪基站攻击

## Chapter 5

# WCDMA 移动通信系统

### 5.1 WCDMA 系统概述

三种方案对比，详细见书 P186。

#### 5.1.1 WCDMA 的发展

GSM->GPRS->EDGE->WCDMA->HSDPA->HSUPA>LET  
详细演进版本可见 P187。

#### 5.1.2 WCDMA 系统结构

无线接入网负责处理所有与无线通信相关的功能。而 CN 则采用了 GSM/GPRS 的定义，这样可以实现网络的平滑过渡，核心网负责对话音及数据业务进行交换和路由查找，以便将业务连接至外部网络。