

# 移动通信原理与系统 · 第五章

## 移动蜂窝组网

Xiuhua FU

2018 年 5 月 19 日

# contents

- 1 频率复用和蜂窝小区
- 2 多址接入技术
- 3 CDMA 中的地址码
- 4 蜂窝网络的容量分析
- 5 信道分配和多信道共用
- 6 CDMA 系统中的功率控制

# contents

- 1 频率复用和蜂窝小区
- 2 多址接入技术
- 3 CDMA 中的地址码
- 4 蜂窝网络的容量分析
- 5 信道分配和多信道共用
- 6 CDMA 系统中的功率控制

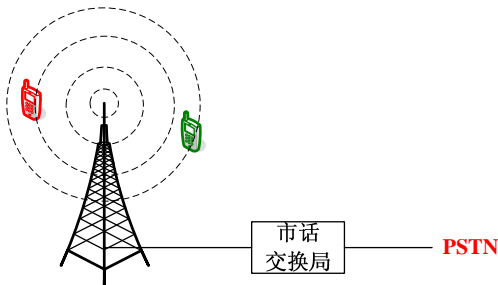
# 移动通信网的基本概念

- 空中网络
  - 多址接入
  - 频率复用和蜂窝小区
  - 切换和位置更新
- 地面网络
  - 服务区内各基站的相互连接
  - 基站与固定网络 (PSTN/ISDN/数据网等) 的相互连接

# 频率复用和蜂窝小区 I

- 根据区域覆盖方式, 可分为小容量的大区制和大容量的小区制移动通信系统.
- 小容量的大区制特点
  - 基站覆盖面积大 (30-50km)
  - 发射功率大 (50-200W)
  - 网络结构简单
  - 成本低
  - 一般借助于市话交换设备

## 频率复用和蜂窝小区 II



### ● 小容量的大区制缺点

- 信号传输损耗大, 传输距离有限
- 覆盖区域的边缘信号质量差
- 传输时延较大
- 服务的用户容量有限, 只能适用于小容量的通信网

## 频率复用和蜂窝小区 III

- 频谱利用率低
- 大容量的小区制 (蜂窝制通信系统)
  - 将整个服务区划分成许多较小的小区 (1-20km)，在每个小区设立一个基站为本小区范围内的用户服务，这样的区域称为**蜂窝小区** (Cell)。
  - 用许多小功率发射机来覆盖每个小区，将整个小区连接起来覆盖整个服务区。
  - 进行**频率复用**，可以提高频率利用率。
  - 具有组网的灵活性: 随移动用户不断的增长，每个小区还可以分裂成更小的小区。
  - 优点: 缓解了频率资源紧缺，增加了系统容量。
  - 缺点: 带来同频干扰的问题；网络结构复杂，设备复杂性提高。

# 频率复用和蜂窝小区 IV

## 频率复用

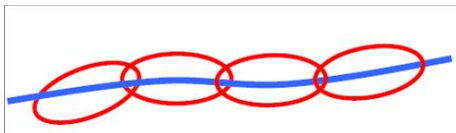
蜂窝系统的基站工作频率, 由于传播损耗提供足够的隔离度, 在相隔一定距离的另一个基站可以重复使用同一组工作频率. 即同一个区群内, 要使用不同的频率; 不同的区群间使用对应的相同频率.

- 优点: 缓解了频率资源紧缺, 增加了系统容量
- 缺点: 同频干扰

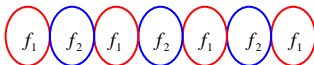


# 大容量的小区制 (蜂窝制通信系统) I

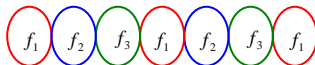
- 根据服务区域类型的不同, 可划分为**带状服务区**和**面状服务区**.
- 带状服务覆盖区



- 对于公路、铁路、海岸等的覆盖可采用带状服务区又称带状网.
- 带状网宜采用有向天线, 使每个小区是扁圆形.
- 带状网进行频率复用可采用双频制, 也可用多频制.



双频组频率配置



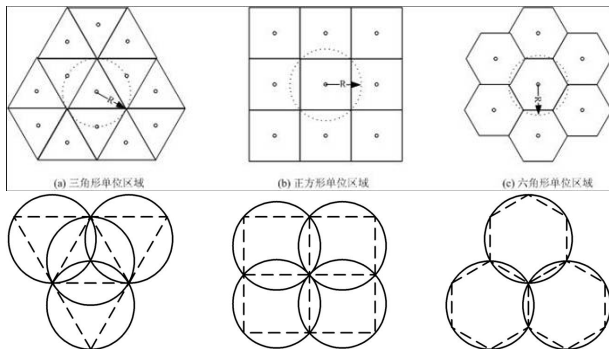
三频组频率配置

# 大容量的小区制 (蜂窝制通信系统) II

- 面状服务覆盖区 (重点)

# 面状服务覆盖区 I

- 小区的形状: 按交叠区的中心线所围成的面积形状看, 可分为正三角形区域、正四边形区域和正六边形区域.



## 面状服务覆盖区 II

### ● 三种形状小区的比较

单个区域形状	相邻区域中心距离	单个区域面积	交叠部分面积	交叠区宽度
正三角形	$R$	$\frac{3\sqrt{3}}{4}R$	$\left(2\pi - \frac{3\sqrt{3}}{2}\right)R^2$	$R$
正四角形	$\sqrt{2}R$	$2R^2$	$(2\pi - 4)R^2$	$(2 - \sqrt{2})R$
正六角形	$\sqrt{3}R$	$\frac{3\sqrt{3}}{2}R^2$	$(2\pi - 3\sqrt{3})R^2$	$(2 - \sqrt{3})R$

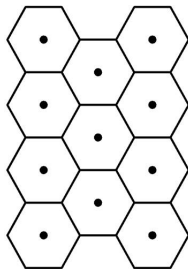
### ● 蜂窝通信中选用正六边形小区

- 用最小的小区数就能覆盖整个地理区域
- 最接近于全向的基站天线和自由空间传播的全向辐射模式
- 正六边形构成的网络形同蜂窝, 所以把小区制移动通信网称为蜂窝网。

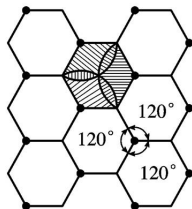
### ● 中心激励和顶点激励 (根据基站发射机的位置不同)

## 面状服务覆盖区 III

- 中心激励方式 (中心激励小区): 基站位于正六边形的中心.
- 顶点激励方式 (顶点激励小区): 基站位于每个正六边形的三个相隔的顶点上.



(a)



(b)

- 小区的实际覆盖面积 (与电波的传播环境和天线的方向性有关)

## 面状服务覆盖区 IV

- 采用全向天线: 小区的覆盖区是圆形
- 采用定向天线: 小区的覆盖区是扇形
- 椭圆形和梅花形覆盖区

实际形状: 由于地形地貌、传播环境、衰落形式的多样性, 小区的实际无线覆盖是一个**不规则的形状**.

- 区群的组成

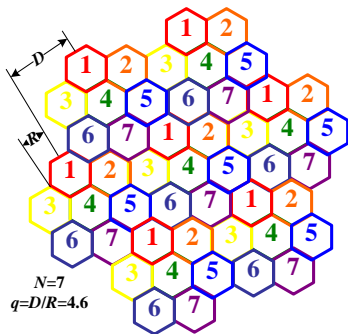
### 区群 (小区簇)

共同使用全部可用频率的  $N$  个相邻小区叫做一个区群或一个小区簇.

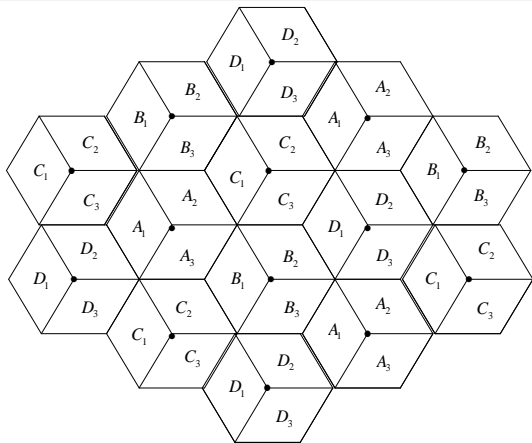
- 同一个区群内, 要使用不同的频率;
- 不同的区群间使用对应的相同频率.

# 面状服务覆盖区 V

- 蜂窝系统的频率复用和小区面状覆盖图示



## 面状服务覆盖区 VI

Figure: GSM 的  $4 \times 3$  频率复用方式



## 面状服务覆盖区 VII

### ● 区群的基本条件

- ① 单位无线区群之间彼此邻接, 能无间隙地覆盖整个平面;
- ② 相邻单位无线区群的同频小区中心间隔距离是一样的.

### 区群形状和区群内的小区数不是任意的

满足条件的区群形状和区群内的小区数不是任意的. 可以证明能用下式给出

$$N = i^2 + ij + j^2$$

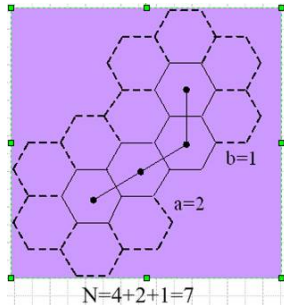
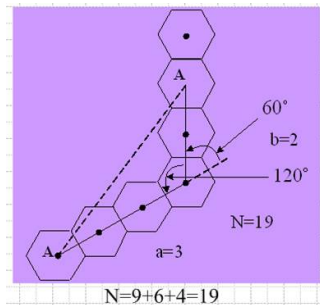
$N$  为构成单位无线区群的正六边形的数目, 简称**区群数**.

$i$  和  $j$  是相隔的小区数, 是不能同时为零的正整数.

# 面状服务覆盖区 VIII

## 同频相邻小区的找法 ( $i, j$ 的含义)

- ① 从任意小区  $A$  出发, 先沿边的垂直方向跨  $i$  个小区;
- ② 逆时针旋转  $60^\circ$ , , 再跨  $j$  个小区.



# 小区簇的意义 I

- 一个共有  $S$  个双向信道的蜂窝系统, 如果每簇含  $N$  个小区, 每个小区分配  $K$  个信道 ( $K < S$ )

$$S = K \cdot N$$

- 若簇在系统中共同复制了  $M$  次, 则信道的总数  $C$  可作为容量的一个度量

$$C = MKN = MS$$

$N$  称为簇的大小, 典型值 4, 7, 12;

## 小区簇的意义 II

- $N$  的值表现了移动台或基站在保证通信质量的同时, 可以承受的干扰 (主要是同频干扰).

**[例 5-1]**某 FDD 蜂窝系统有 10MHz 带宽, 使用两个 25kHz 的信道来提供双工语音和控制信道, 当系统使用 4 小区复用、7 小区复用、12 小区复用时, 分别计算每个小区可以获得的信道数目。

解

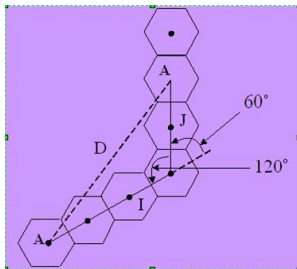
已知信道带宽  $25\text{kHz} \times 2 = 50\text{kHz}$ , 总共有  $10\text{MHz}/50\text{kHz} = 200$  个信道。

- (1)  $N = 4$  时, 每小区可以获得的信道数目为:  $200/4 = 50$ 。
- (2)  $N = 7$  时, 每小区可以获得的信道数目为:  $200/7 \approx 28$ 。
- (3)  $N = 12$  时, 每小区可以获得的信道数目为:  $200/12 \approx 16$ 。

# 频率复用距离与小区簇的关系 I

- 频率复用距离 (即同频距离)  $D$  是指最近的两个同频小区中心之间的距离.

在小区中心作两条与小区的边界垂直的直线, 其夹角为  $120^\circ$ . 此两条直线分别连接到最近的两个同频点小区中心, 其长度分别为  $I$  和  $J$



## 频率复用距离与小区簇的关系 II

$$D^2 = I^2 + J^2 - 2IJ \cos 120^\circ = I^2 + IJ + J^2$$

令  $I = 2iH, J = 2jH$ ,  $H$  为小区中心到边的距离,  $R$  为小区半径.

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2}R \Rightarrow I = \sqrt{3}iR \quad J = \sqrt{3}jR$$

有

$$D = \sqrt{3NR} \quad (N = i^2 + ij + j^2)$$

定义同频复用因子 (或频率复用因子)  $Q$  为

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

## 频率复用距离与小区簇的关系 III

- $N$  越大,  $D$  和  $Q$  就越大, 同频干扰越小, 频率利用率越低.
- $N$  小,  $D$  和  $Q$  小, 频率利用率越高, 同频干扰越大.
- 可见频率利用率与同频干扰是一对矛盾.

# 载波干扰比 $C/I$ 与小区簇的关系 I

- 假定小区的大小相同, 移动台的接收功率门限按小区的大小调节. 若设  $L$  为同频干扰小区数, 则移动台的接收载波干扰比 (载干比) 可表示为

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{l=1}^L I_l + n} \approx \frac{C}{\sum_{l=1}^L I_l}$$

$C$  为最小载波强度;  $I_l$  为第  $l$  个同频干扰小区所在基站引起的干扰功率;  $n$  为环境噪声功率, 可忽略.



## 载波干扰比 $C/I$ 与小区簇的关系 II

- 通常在被干扰小区周围, 干扰小区是多层, 一般第一层起主要作用. 现仅考虑第一层干扰小区, 共有 6 个. 移动台的接收载波干扰比可表示为

$$\frac{C}{I} \approx \frac{C}{\sum_{l=1}^6 I_l}$$

# 载波干扰比 $C/I$ 与小区簇的关系 III

- 移动无线信道的传播特性表明
  - 如果每个基站的发射功率相等, 则整个覆盖区域内的路径衰落指数相同, 设  $n$  为衰落指数, 一般取 4;
  - 小区中移动台接收到的最小载波强度  $C$  与小区半径的  $R^{-n}$  成正比;
  - 设  $D_l$  是第  $l$  个干扰源与移动台的间距, 则移动台接收到的来自第  $l$  个干扰小区的载波功率与  $D_l^{-n}$  成正比.

则接收到的信号功率和干扰功率可分别表示为

$$C = AR^{-4} \quad I_l = AD_l^{-4}$$

$A$  为常数.

# 载波干扰比 $C/I$ 与小区簇的关系 IV

- 假定所有干扰基站与预设被干扰基站的间距相等  $D_l = D$

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-4}}{\sum_{l=1}^6 D_L^{-4}} = \frac{1}{6} \left( \frac{R}{D} \right)^{-4}$$

规定系统的载干比门限为  $(C/I)_s$ , 只要满足

$$C/I \geq (C/I)_s$$

就可以保证通信质量.

# 载波干扰比 $C/I$ 与小区簇的关系 $V$

$$\left. \begin{aligned} Q = D/R = \sqrt{3N} \\ C/I = \frac{1}{6} \left( \frac{R}{D} \right)^{-4} \end{aligned} \right\} \Rightarrow N = \sqrt{\frac{2}{3} C/I} \geq \sqrt{\frac{2}{3} (C/I)_s}$$

- 上式表明了载干比与小区簇大小的关系
  - 一般模拟移动通信系统要求  $C/I > 18\text{dB}$ , 根据上式可得出, 小区簇大小  $N$  最小为 6.49, 故一般取簇  $N$  的最小值为 7.
  - 数字移动通信系统中,  $C/I = 7 \sim 10\text{dB}$ , 所以可以采用较小的  $N$  值.

# 载波干扰比 $C/I$ 与小区簇的关系 VI

## 影响小区簇大小的因素

- 载干比;
- 衰落和屏蔽;
- 通信概率;
- 业务量、基站的位置、周围的电磁环境等等, CDMA 系统中还要考虑软切换增益等等

结论: 它的大小需要进行综合性, 系统性的计算.

# 蜂窝系统的扩容 I

- 紧密频率复用技术

- 有  $3 \times 3$ 、 $2 \times 6$ 、 $1 \times 3$ 、 $1 \times 1$ 、多重复用（MRP）以及同心圆技术等
- 使用  $1 \times 3$  复用方式时，必须使用射频跳频，使相邻基站的同频扇区在不同的载频上跳变，从而减小相同碰撞概率或避免频率碰撞，减轻或避免同频干扰
- MRP 技术是将系统所有可用载频分为几组，每组载频作为独立的一层，不同层的频率采用不同的复用方式，频率复用逐层紧密。
- 同心圆技术是指把一个基站小区中的某几个载频的发射功率降低，使其覆盖变小，成为内层圆，而其他载频以正常功率发射，成为外层圆，内层圆和外层圆载频使用不同的频率复用方式。

- 小区分裂技术

## 蜂窝系统的扩容 II

- 将原有小区分裂成多个更小的小区，提高信道的复用次数，因而增加系统容量，这种方法称为小区分裂。
- 将原小区分裂成多个更小的小区的情况

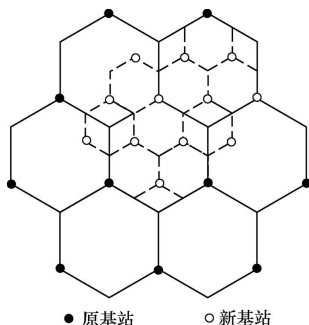


Figure: 小区分裂图

# 蜂窝系统的扩容 III

- 扇区化技术

- 使用定向天线技术减小同频干扰，允许以更紧密的频率复用方式来提高频谱利用率，从而增加系统容量，这种方法称为扇区化技术。
- 利用定向天线将小区分成几个扇区，比如  $120^\circ$  的三扇区，每个扇区的基站仅接受来自确定方向的用户信号，理论上可提高 3 倍的系统容量。



# 蜂窝系统的扩容 IV

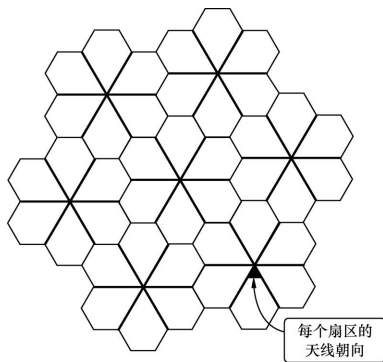


Figure: 扇区化技术组网的网络拓扑结构

# contents

- 1 频率复用和蜂窝小区
- 2 多址接入技术**
- 3 CDMA 中的地址码
- 4 蜂窝网络的容量分析
- 5 信道分配和多信道共用
- 6 CDMA 系统中的功率控制

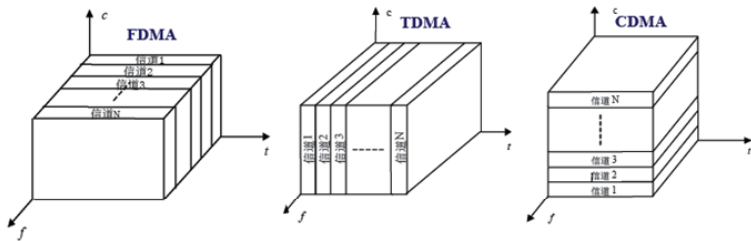
# 多址接入技术

- 频分多址方式 (FDMA)
- 时分多址方式 (TDMA)
- 码分多址方式 (CDMA)
- 空分多址方式 (SDMA)
- 正交频分多址 (OFDMA)

# 多址接入方式

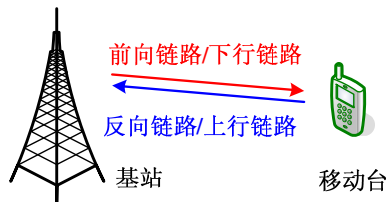
## 多址接入方式

多址接入方式	建立多址接入时区分信道的依据
频分多址方式 (FDMA)	传输信号的载波频率不同
时分多址方式 (TDMA)	传输信号存在的时间不同
码分多址方式 (CDMA)	传输信号的码型不同



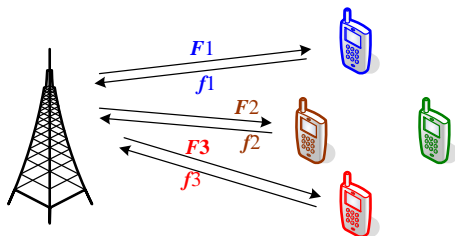
# 频分多址技术 (FDMA) I

- 频分多址又称频分复用, 即将载波带宽划分为多个不同频带的子信道, 每个用户分配一个信道, 即一对频谱。
  - 较高的频谱用作前向信道即基站向移动台方向的信道;
  - 较低的频谱用作反向信道即移动台向基站方向的信道。



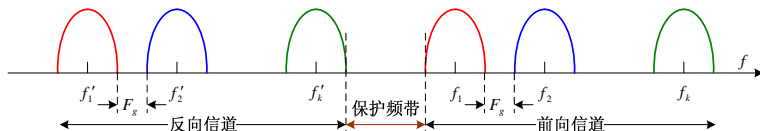
## 频分多址技术 (FDMA) II

- 必须同时占用 2 个信道 (2 对频谱) 才能实现双工通信
  - 基站必须同时发射和接收多个不同频率的信号
  - 任意两个移动用户之间进行通信都必须经过基站的中转



# 频分多址技术 (FDMA) III

- 设置频道间隔, 以免因系统的频率漂移造成频道间重叠.
  - 前向信道与反向信道之间设有**保护频带**;
  - 用户频道之间, 设有**保护频隙**.



## ● FDMA 的主要干扰

干扰方式	起因	解决方法
互调干扰	系统内非线性器件产生的各种组合频率成份落入本频道接收机通带内	选用无互调的频率集
邻道干扰	相邻波道信号中存在的寄生辐射落入本频道接收机带内	加大频道间的隔离度
同频干扰	相邻区群中同信道小区的信号造成	适当选择频道

# 频分多址技术 (FDMA) IV

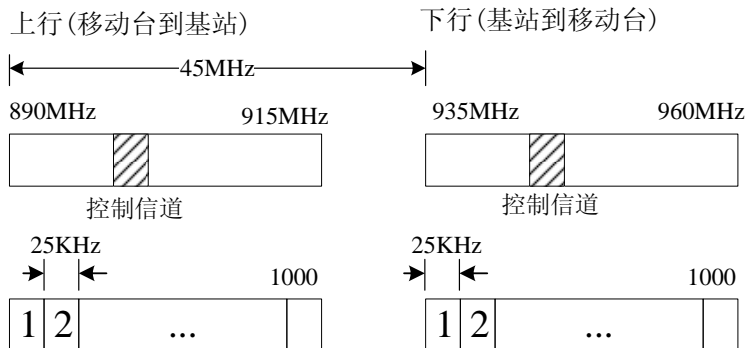


Figure: TACS 的频率划分



# 频分多址技术 (FDMA) V

TACS 系统可以支持的信道数  $N$  为

$$N = \frac{B_s - 2 \times B}{B_c} = \frac{25 \times 10^6 - 2 \times 10 \times 10^3}{25 \times 10^3} \approx 1000$$

式中,  $B_s$  为 TACS 的可用频带宽度;  $B_c$  为信道 (语音) 带宽。

# 频分多址技术 (FDMA) VI

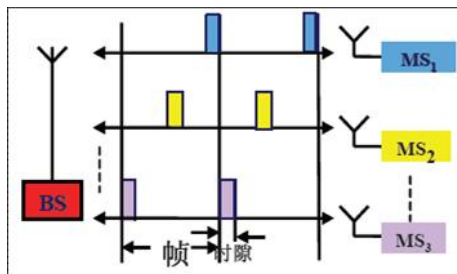
## ● FDMA 系统的特点

- ① 系统的频率资源利用率低;
- ② 每信道占用一个载频, 信道的相对带宽较窄, 即**通常在窄带系统中实现**;
- ③ 符号时间  $\gg$  平均时延扩展 ( $T_s \gg \sigma_\tau$ ), 所以码间干扰较少, **无需自适应均衡**.
- ④ 基站必须要设置  $N$  套调制解调器, **设备复杂庞大, 易产生信道间的互调干扰**;
- ⑤ 必须使用**带通滤波器**来限制邻道干扰;
- ⑥ **越区切换复杂**, 必须瞬时中断传输, 对于数据传输将带来数据的丢失;
- ⑦ FDMA 信道大于通常需要的特定数字压缩信道, 对于通信过程 FDMA 信道也是浪费的.

# 时分多址技术 (TDMA) I

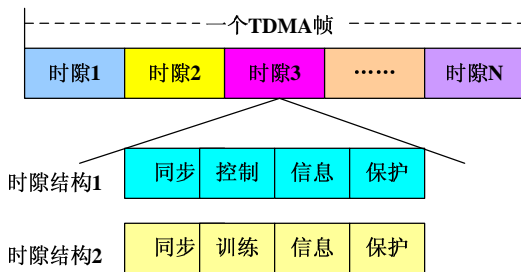
- 时分多址技术 (TDMA) 工作原理

- 在一个宽带的载波上, 把时间分成周期性的帧, 每一帧再分割成若干时隙, 无论帧或时隙都是互不重叠的;
- 每个时隙就是一个通信信道, 分配给一个用户;
- 基站按时隙排列顺序发收信号, 各移动台在指定的时隙内收发信号。



# 时分多址技术 (TDMA) II

## • TDMA 帧结构



## • TDMA 帧结构说明

- 在时隙结构 1 中, 专门留有传送控制和信令信息的比特;

## 时分多址技术 (TDMA) III

- 在时隙结构 2 中, 为了克服多径等因素引起的码间干扰, 留有助于自适应均衡器参数的训练序列;
  - 在两种时隙结构中, 都留有一定的保护时间间隔, 以减小码间串扰的影响, 保证相邻突发脉冲之间互不重叠;
  - 同步和定时是 TDMA 系统正常工作的前提, 整个系统必须有精确的同步.
- 
- TDMA 系统的特点
    - 突发传输的速率高, 远大于语音编码速率, 因为 TDMA 系统中需要较高的同步开销;
    - 发射信号速率随  $N$  的增大而提高, 引起码间串扰加大, 所以必须采用自适应均衡;
    - 基站复杂性小, 互调干扰小;

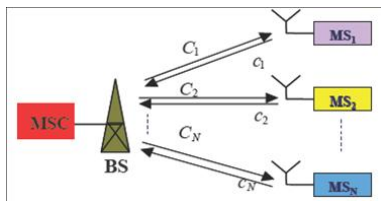
## 时分多址技术 (TDMA) IV

- 抗干扰能力强, 频率利用率高, 系统容量大;
- 越区切换简单, 可在无信息传输时进行, 不会丢失数据.

# 码分多址 (CDMA) 方式 I

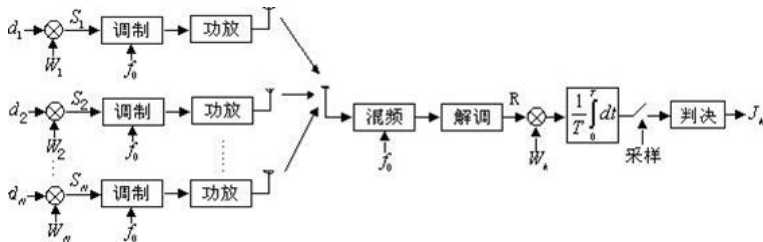
## • CDMA 工作原理

- 码分多址系统为每个用户分配了各自特定的地址码, 利用公共信道来传输信息;
- CDMA 系统的地址码相互具有准正交性, 以区别地址, 而在频率, 时间和空间上都可能重叠;
- 系统的接收端必须有完全一致的本地地址码, 才能对接收的信号进行相关检测.



# 码分多址 (CDMA) 方式 II

- 码分多址 (CDMA) 有两种主要形式
  - ① 直扩码分 (DS-CDMA)  $\Rightarrow$  民用
  - ② 跳频码分 (FH-CDMA)  $\Rightarrow$  军用
- 码分多址收发系统工作原理





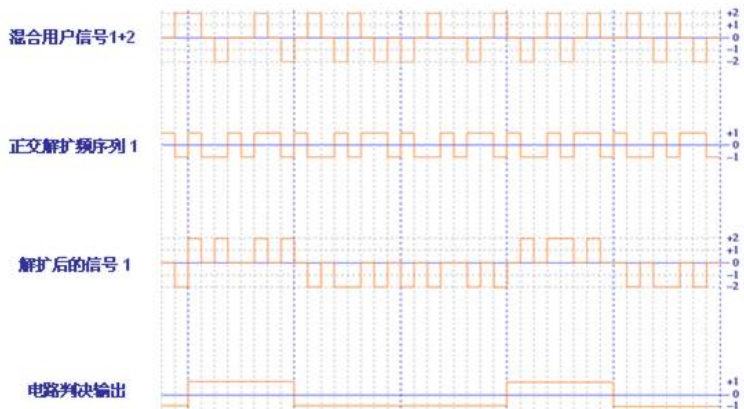
## 码分多址 (CDMA) 方式 III

在码分多址通信系统中, 利用自相关性很强而互相关值为 0 或很小的周期性码序列作为地址码, 与用户信息数据相乘 (或模 2 加), 经过相应的信道传输后, 在接收端以本地产生的已知地址码为参考, 根据相关性的差异对接收到的所有信号进行鉴别, 从中将地址码与本地地址码一致的信号选出, 把不一致的信号除掉 (称之为相关检测)



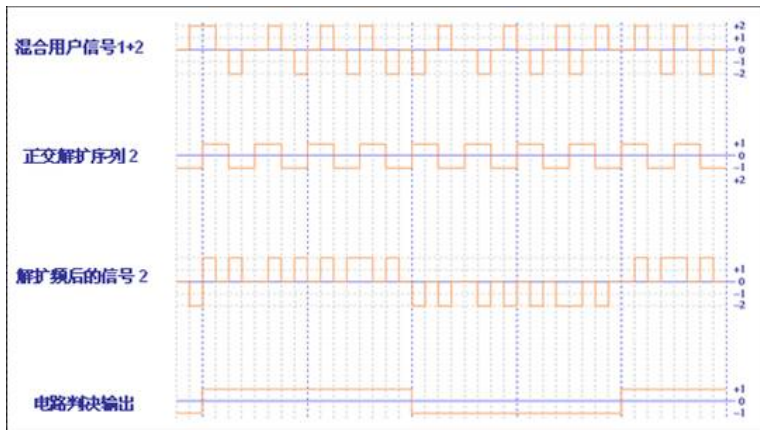
# 码分多址 (CDMA) 方式 V

## 第一个用户信号的恢复过程



## 第二个用户信号的恢复过程

# 码分多址 (CDMA) 方式 VI



- CDMA 系统的特点
  - 多用户共享同一频率;

# 码分多址 (CDMA) 方式 VII

- 通信容量大;
- 容量的软特性 (软容量), 多增加一个用户只会使通信质量略有下降, 不会出现硬阻塞现象;
- 信号被扩展在一较宽频谱上, 可以减小多径衰落;
- 平滑的软切换和有效的宏分集, 不会引起通信中断;
- CDMA 系统的软切换过程
  - 每当移动台处于小区边缘时, 同时有两个或两个以上的基站向该移动台发送相同的信号, 移动台的分集接收机能同时接收合并这些信号, 此时处于**宏分集**状态;
  - 当某一基站的信号强于当前基站信号且稳定后, 移动台才切换到该基站的控制上去, 这种切换可以在通信的过程中平滑完成, 称为**软切换**.
- CDMA 系统存在问题

# 码分多址 (CDMA) 方式 VIII

- 多址干扰

- 原因: 不同用户的扩频序列不完全正交, 扩频码集的非零互相关系数会引起用户间的相互干扰.
- 方法: 尽可能设计或选择互相关性好的扩频码。

- "远-近" 效应

- 原因: 移动用户所在的位置的变化以及深衰落的存在, 会使基站接收到的各用户信号功率相差很大, 强信号对弱信号有着明显的抑制作用.
- 解决方法: 在上行链路使用功率控制.

- "边缘" 问题

- 原因: 在下行链路中, 如果基站的发射功率相同, 则 CDMA 系统中的移动台移动到小区边缘地区时, 接收到本小区基站的信号变弱, 同时, 接收到邻近其它小区的干扰会大大增强, 影响移动台接收机的正确解调。

# 码分多址 (CDMA) 方式 IX

- 方法：在上行链路使用功率控制.
- 小区”呼吸效应”
  - 当小区内用户数增多，干扰也随之增大，这就意味着小区边缘的用户即使在最大发射功率情况下也无法保证自身与基站之间正常连接的要求，于是这些用户便会切换到相邻小区，等效为原小区的覆盖范围缩小了。
  - 当小区内用户数减少时，干扰也随之降低，这就意味着小区边缘的用户允许以较小的发射功率来维持与基站的正常连接，于是可以在边缘处或更远一些的地方接入更多的用户，等效为原小区的覆盖范围扩大了。

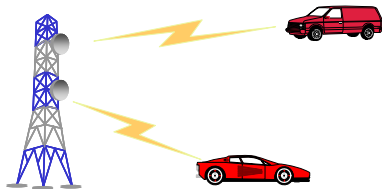
# 各种系统采用的多址和双工方式

蜂窝移动通信系统	多址技术
高级移动电话系统 (AMPS)	FDMA/FDD
全球移动通信系统 (GSM)	TDMA/FDD
欧洲数字无绳电话 (DECT)	TDMA/TDD
美国窄带扩频 (IS-95)	CDMA/FDD
欧洲 UMTS FDD 模式	WCDMA/FDD
美国 CDMA2000	CDMA2000/FDD
	TDSCDMA/TDD



# 空分多址 (SDMA) 方式 I

- 通过空间的分割来区别不同的用户, 常与 FDMA、TDMA、CDMA 结合使用.
- 工作原理
  - 使用**定向波束天线**在不同用户方向上形成不同的波束;
  - 相同的频率**用来服务于被天线波束覆盖的这些不同区域.



- 自适应式阵列天线

## 空分多址 (SDMA) 方式 II

- 自适应式天线提供了最理想的 SDMA
- 无穷小波束宽度
- 无穷大快速搜索能力
- 提供在本小区内不受其他用户干扰的唯一信道
- 克服多径干扰和同信道干扰

# 正交频分多址（OFDMA） I

OFDMA 子载波映射方式有 3 种:

- 分布式映射
- 集中式映射
- 随机映射

# 正交频分多址 (OFDMA) II

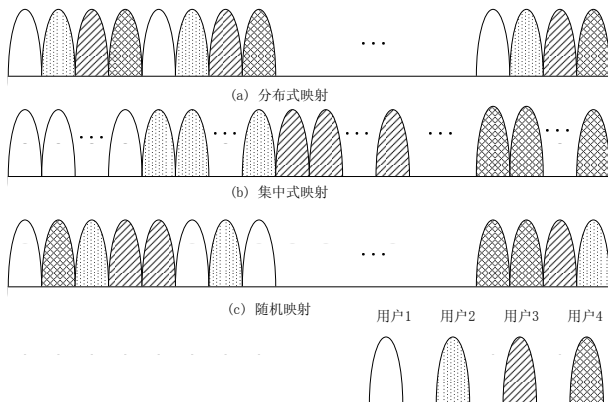


Figure: OFDMA 子载波映射方式

# 正交频分多址（OFDMA） III

OFDMA 系统的关键技术:

- 小区间干扰协调
- 同步技术
- 峰平比抑制技术
- 分组调度
- 信道估计
- OFDMA+MIMO

# contents

1 频率复用和蜂窝小区

2 多址接入技术

3 CDMA 中的地址码

4 蜂窝网络的容量分析

5 信道分配和多信道共用

6 CDMA 系统中的功率控制

# 地址码技术 I

- 地址码的选择直接影响 CDMA 系统的容量、抗干扰能力、接入和切换速度等, 因此, 地址码的选择是 CDMA 系统的关键.
- 在直接扩频任意选址的通信系统中, 对地址码有如下 3 个要求:
  - ① 伪码的比特率应能满足扩展带宽的需要;
  - ② 伪码应具有尖锐的自相关特性, 正交编码应具有尖锐的互相关特性;
  - ③ 伪码应具有近似噪声的频谱性质, 即近似连续谱, 且均匀分布.

## 地址码技术 II

- 自相关：自相关函数表征一个信号延迟一段时间后，与自身信号的相似性。CDMA 用码序列，要求自相关性越大越好，这样能充分保证接收端的判别和解调。

$$\varphi_a(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t)f(t-\tau)dt$$

$f(t)$  信号的时间函数;  $\tau$  时间延迟.

- 当  $f(t)$  与  $f(t-\tau)$  完全重叠, 即  $\tau = 0$ , 自相关函数值  $\varphi_a(0)$  为一常数 (通常为 1);
- 当  $f(t)$  与  $f(t-\tau)$  不完全重叠, 即  $\tau \neq 0$ , 自相关函数值  $\varphi_a(0)$  很小 (通常为一负值)



## 地址码技术 III

- 互相关: 两个不同信号的相似性, 用互相关函数来表征. 在 CDMA 中不同用户应选用互相关性小的信号作为地址码.

$$\varphi_c(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t)g(t-\tau)dt$$

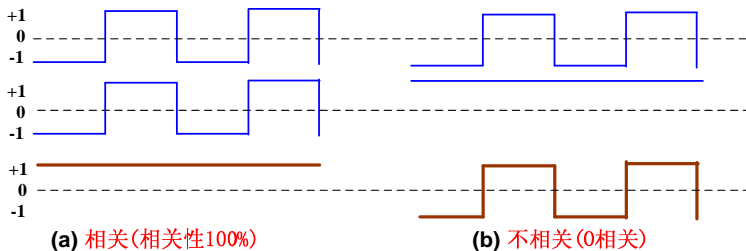
- 如果两个信号都是完全随机的, 在任意延迟时间 都不相同, 则上式的结果为 0, 同时称这两个信号是正交的.
- 如果二者有一定的相似性, 则结果不完全为 0.
- 通常希望两个信号的互相关性越小越好, 这样它们就越容易被区分, 且相互之间的干扰也就越小.
- 正交: 为了实现多址通信, 要求信号之间必须正交或准正交, 保证信号间不受干扰.

# 地址码技术 IV

- 正交函数: 正交函数具有 0 相关性. 如果两个二进制序列的异或结果具有相同个数的 0 和 1, 那么, 这两个序列正交 (不相关).

0000	0101	1010
0101	0101	0101
0101	0000	1111
不相关	(完全) 相关	(负完全) 相关

## 地址码技术 V



## m 序列 I

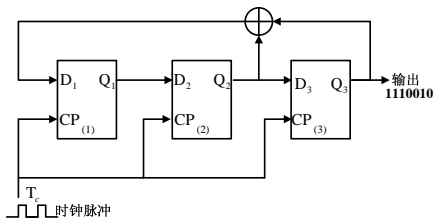
- m 序列是一种重要的二进制的伪随机序列 (PN 码).
- m 序列是“最长线性反馈移位寄存器序列”的简称. 具体定义如下: 如果  $n$  级线性移位寄存器输出序列的周期是  $P = 2^n - 1$ , 则该序列称为 m 序列.
- 在定时严格的系统中, 可以采用 m 序列作为地址码, 利用它的不同相位来区分不同用户, 目前的 CDMA 蜂窝系统中就是采用这种方法.
- m 序列发生器由: 移位寄存器、反馈抽头、模 2 加法器组成.

## m 序列 II

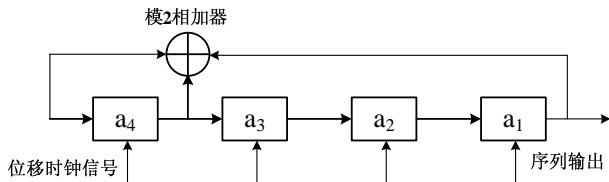
- 移位寄存器的反馈函数

$$F(X_1, X_2, \dots, X_n) = \sum_{i=1}^n C_i X_i (\text{mod} 2)$$

- m 序列产生电路



## m 序列 III



### • 说明

m 序列的最大长度取决于移位寄存器的级数, 而码的结构取决于反馈抽头的位置和数量. 不同的抽头组合可以产生不同长度和不同结构的码序列. 有的抽头组合并不能产生最长周期的序列. 对于何种抽头能产生 m 序列, 前人已经做了大量的研究工作, 100 级以内的 m 序列发生器的连接图和所产生的 m 序列结构一般都能直接查到.

### • m 序列的性质

## m 序列 IV

- **平衡特性**: m 序列一个周期内 1 的个数仅比 0 的个数多 1, 即 1 的个数为  $(N + 1)/2$ , 0 的个数为  $(N - 1)/2$ .
- **游程分布特性**: 把一个序列中取值相同的那些连在一起的元素合称为一个“游程”. 在一个游程中元素的个数称为游程长度. 一个 m 序列中共有  $2^{n-1}$  个游程: 长度为  $R(1 \leq R \leq n - 2)$  的游程数占游程总数的  $1/2^R$ ; 长度为  $n - 1$  的游程只有 1 个, 且是连 0 码; 长度为  $n$  的游程也只有 1 个, 且是连 1 码.
- **延位相加特性**: m 序列和其移位后的序列逐位模 2 相加, 所得的序列仍然是 m 序列, 只是相移不同而已. 例如 m 序列 1110100 与其向右移三位后的序列 1001110 逐位模 2 加后的序列为 0111010, 相当于原序列向右移一位后的序列, 仍是 m 序列.
- m 序列发生器中的移位寄存器的各种状态, 除全 0 外, 其它状态在一个周期内只出现一次.

# m 序列 V

- m 序列的自相关性

双极性 m 序列的自相关函数

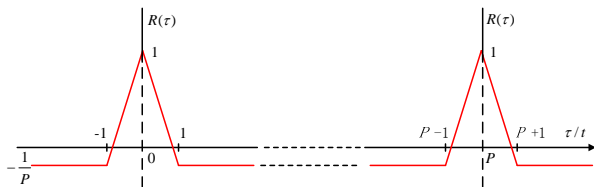
$$R(\tau) = \begin{cases} 1 & \tau = 0 \\ -1/P & \tau = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm(P-1) \end{cases}$$

设  $n = 4, P = 2^4 - 1 = 15$

$$R(\tau) = \begin{cases} 1 & \tau = 0 \\ -1/15 & \tau = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm 14 \end{cases}$$



# m 序列 VI



- 当  $\tau = 0$  时, m 序列的自相关函数  $R(\tau)$  出现峰值 1;
  - 当  $\tau \neq 0$  偏离 0 时, 相关函数曲线很快下降;
  - 当  $1 \leq \tau \leq P-1$  相关函数值为  $-1/P$ ;
  - 当时  $\tau = P$ , 又出现峰值, 如此周而复始.
  - 当周期  $P$  很大时, m 序列的自相关函数与白噪声类似.
- m 序列的互相关性:  
对于两个周期  $P = 2^n - 1$  的 m 序列  $\{a_n\}$  和  $\{b_{n+\tau}\}$

# m 序列 VII

- $a_n, b_n$  取值是 1 和 0, 两个 m 序列的互相关函数可由下式计算

$$R_c(\tau) = \frac{A - D}{A + D}$$

$A$  为 0 位数或相同的位数;  $D$  为 1 位数或不同的位数. 显然  $P = A + D$ .

- $a_n, b_n$  取值是 1 和 -1, 两个 m 序列的互相关函数可由下式计算

$$R_c(\tau) = \frac{1}{P} \sum_{n=1}^P a_n b_{n+\tau}$$

## m 序列 VIII

- 对于周期为  $P = 2^n - 1$  的 m 序列组, 其最好的 m 序列对的互相关函数值只取三个, 这三个值是:

$$R_c(\tau) = \begin{cases} \frac{t(n)-2}{P} \\ -\frac{1}{P} \\ -\frac{t(n)}{P} \end{cases} \quad t(n) = 1 + 2^{\lfloor (n+2)/2 \rfloor} \quad \text{注: } \lfloor \cdot \rfloor \text{取整.}$$

这三个值被称为理想三值, 能够满足这一特性的 m 序列对称为 m 序列优选对, 它们可以用于实际工程.

- 两个不同相位的 m 序列, 当周期  $P$  很大时, 这两个序列几乎是正交的.

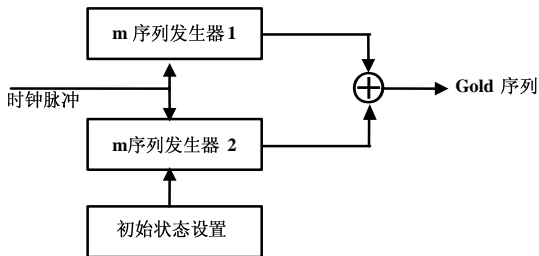
## m 序列 IX

- m 序列自相关性非常好, 所以 CDMA 中选择 m 序列 PN 码作为地址码.
- 不同相位的 m 序列几乎正交, 所以 CDMA 中用来为每一用户的反向业务信道分配了一个相位.
- PN 码在 CDMA 中的应用
  - CDMA 系统中有两个序列的 PN 码
    - PN 长码:  $2^{42}-1 (n = 42)$
    - PN 短码:  $2^{15} (n = 15)$
  - 不同的用途
    - 前向信道: 长码扰码, 短码正交调制 (标识基站)
    - 反向信道: 长码扩频 (标识用户), 短码正交调制.

# Gold 码 I

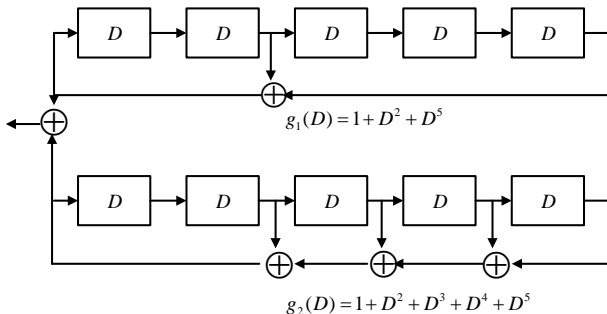
- $m$  序列虽然性能优良, 但同样长度的  $m$  序列个数不多, 且序列之间的互相关性不够好。R · Gold 在 1967 年提出了一种基于  $m$  序列的 PN 码, 称为 Gold 码序列。
- Gold 序列是一对经特殊选取 (优选对) 的具有相同周期的  $m$  序列作模 2 运算和构成的。如果把两个  $m$  序列发生器产生的优选对序列作模 2 加运算, 生成的新的码序列即为 Gold 序列。
- Gold 序列产生电路

# Gold 码 II



- 两个 5 级 m 序列优选对构成的 Gold 码发生器

# Gold 码 III



## Gold 序列的特性

### 相关特性

- 具有与 m 序列优选对相类同的自相关和互相关特性
- 当  $\tau = 0$  时自相关函数与 m 序列相同; 当  $1 \leq \tau \leq P - 1$  时自相关函数取三个理想的值, 即最大旁瓣是.

## Gold 码 IV

- Gold 序列的数量
  - 周期  $P = 2^n - 1$  的  $m$  序列优选对生成的 Gold 序列, 总共有  $2^n + 1$  个.
  - 随着  $n$  的增加, Gold 序列数以 2 的  $n$  次幂增长.
- 平衡的 Gold 序列
  - 平衡的 Gold 序列是指在一个周期内 1 码元数比 0 码元数仅多一个;
  - 对于周期  $P = 2^n - 1$  的  $m$  序列优选对生成的 Gold 序列, 当  $n$  是奇数时, 有  $2^{n-1} + 1$  个 Gold 序列是平衡的, 约占 50%; 当  $n$  是偶数 (不是 4 的倍数) 时, 有  $2^{n-1} + 2^{n-2} + 1$  个 Gold 序列是平衡的, 约占 75%.
  - 只有平衡 Gold 序列才可以用到码分多址通信系统中去.
- 在 WCDMA 系统中, 下行链路采用 Gold 码区分小区和用户, 上行链路采用 Gold 码区分用户.



# Walsh 码 I

- 尽管伪随机序列具有良好的自相关特性, 但其互相关特性不是很理想 (互相关值不是处处为零), 如果把伪随机序列同时用作扩频码和地址码, 系统性能将受到一定影响。所以, 通常将伪随机序列用作地址码, 而就扩频码而言, 目前则采用 Walsh(沃尔什) 编码。

$$H_0 = [0] \quad H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad H_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

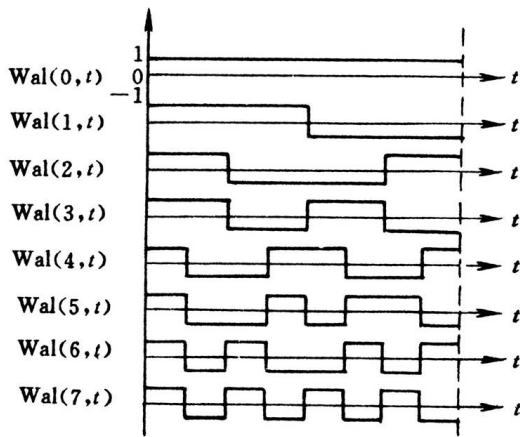
$$H_8 = \begin{bmatrix} H_4 & H_4 \\ H_4 & \overline{H_4} \end{bmatrix} \quad \cdots \quad H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H_N} \end{bmatrix}$$

## Walsh 码 II

$N$  取 2 的幂,  $\overline{H_N}$  为  $H_N$  的补.

# Walsh 码 III

- 8 阶 Walsh 函数波形



# Walsh 码 IV

- 8 阶 Walsh 函数对应的矩阵

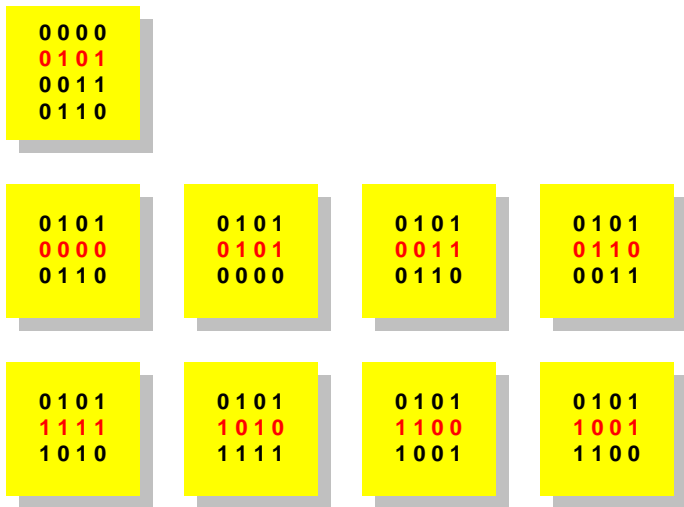
$$H_8 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Walsh 码 V

- Walsh 码的特点

- Walsh 函数是一种非正弦波的完备正交函数系统, 可用哈达玛矩阵  $H$  通过递推关系构成。由于它仅有可能的取值是  $+1$  和  $-1$  (或  $0$  和  $1$ ), 比较适合于用来表达和处理数字信号。
- Walsh 函数具有理想的互相关特性。在 Walsh 函数中, 两两之间的互相关函数为  $0$ , 亦即它们之间是正交的。
  - 当 Walsh 码和自身逐个模 2 加时, 结果为全  $0$  ( $100\%$  相关);
  - 当 Walsh 码和它的逻辑反逐个模 2 加时, 结果为全  $1$  ( $-100\%$  相关)
  - 当 Walsh 码和其它 Walsh 码或者其它 Walsh 码的反码逐个模 2 加时, 结果为一半  $0$  和一半  $1$  ( $0\%$  相关, 正交)

## Walsh 码 VI



# Walsh 码 VII

- Walsh 码在 CDMA 系统中应用
  - 用 64 阶 Walsh 函数进行前向扩频, 区分前向码分信道
  - 反向正交调制





# Walsh 码 IX

## 举例说明:

第23号 Walsh 码和第59号 Walsh 码的相关特性




#23	0110100101101001100101101001011001101001011010011001011010010110
#59	0110011010011001100110010110011010011001011001100110011010011001
Sum	0000111111110000000011111111000011110000000011111111000000001111

- 正交, 自相关, 互相关

## Walsh 码 X

举例:以64阶Walsh码 特性来说明正交与相关性

```
Code #23    0110100101101001100101101001011001101001011010011001011010010110
-(Code #23) 1001011010010110011010010110100110010110100101100110100101101001
Code #59    0110011010011001100110010110011010011001011001100110011010011001
```

		
<b>PARALLEL</b>	<b>ORTHOGONAL</b>	<b>ANTI-PARALLEL</b>
<b>XOR: all 0s</b>	<b>XOR: half 0s, half 1s</b>	<b>XOR: all 1s</b>
相关性: 100% (100% match)	相关性: 0% (50% match, 50% no-match)	相关性: -100% (100% no-match)

# contents

1 频率复用和蜂窝小区

2 多址接入技术

3 CDMA 中的地址码

4 蜂窝网络的容量分析

5 信道分配和多信道共用

6 CDMA 系统中的功率控制

# 蜂窝网络的容量定义 I

蜂窝系统的无线容量可定义为

- 每个小区中可用信道数 ( $\text{ch/cell}$ )
- 每个小区中每兆赫兹带宽可用信道数 ( $\text{ch/MHz/cell}$ )
- 每小区爱尔兰量 ( $\text{Erl/cell}$ )

# FDMA 的容量 I

FDMA 网络的容量为

$$C_F = \frac{W}{BN}$$

式中， $W$ 为系统总的可用带宽， $N$ 为频率复用区群的大小， $B$ 为每个子信道的带宽。

**例 1.** 模拟 TACS 系统，采用 FDMA 方式，设系统总带宽 1.25MHz，信道带宽 25kHz，频率复用小区数为 7，则系统容量为

$$C_F = \frac{W}{BN} = \frac{1.25 \times 10^3}{25 \times 7} = 7.1 \text{ ch/cell}$$

# TDMA 的容量 I

TDMA 网络的容量为

$$C_T = \frac{W}{B'N} = \frac{mW}{BN}$$

式中， $B$ 为频分子信道的带宽， $B'$ 为每个时分子信道的带宽， $m$ 为一个时间帧划分的时隙数，满足  $B = m \times B'$ 。

**例 2.** GSM 系统使用 FDMA/TDMA 多址方式，设总带宽为 1.25MHz，载波带宽 200kHz，每载频时隙数为 8，频率复用小区数为 4，则系统容量为

$$C_T = \frac{W}{B'N} = \frac{8 \times 1.25 \times 10^3}{200 \times 4} = 12.5 \text{ ch/cell}$$

# CDMA 的容量 I

CDMA 蜂窝网络是自干扰系统。所以，CDMA 网络的容量除了与基站小区配置的频道数有关外，还和无线制式、小区环境等有很大关系。影响 CDMA 网络容量的主要参数有扩频处理增益、 $E_b/N_0$ 、话音激活期、频率复用效率、基站天线扇区数，等等。

## 1. CDMA 网络容量

接收信号的载干比为

$$\frac{C}{I} = \frac{R_b E_b}{N_0 W} = \left( \frac{E_b}{N_0} \right) / \left( \frac{W}{R_b} \right)$$

式中， $E_b$ 为每比特信息的能量； $R_b$ 是信息的比特速率； $N_0$ 是干扰信号的功率谱密度； $W$ 是系统总带宽； $W/R_b$ 表示系统扩频处理增益。

## CDMA 的容量 II

在 CDMA 网络中, 设  $N$  个用户共用一个无线频道同时通信, 每个用户受到其它  $N - 1$  个用户的多址干扰。假设到达一个接收机的信号强度和各干扰信号强度相等, 则 CDMA 系统的载干比为

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{N - 1}$$

根据以上两式, 得到

$$C_C = 1 + \left( \frac{W}{R_b} \right) / \left( \frac{E_b}{N_0} \right)$$



## CDMA 的容量 III

如果把背景热噪声  $\eta$  考虑进去, 则 CDMA 网络容量为

$$C_C = 1 + \left( \frac{W}{R_b} \right) / \left( \frac{E_b}{N_0} \right) - \frac{\eta}{C}$$

因此, 在误比特率一定的条件下, 降低热噪声功率, 减小归一化信噪比, 增大系统的处理增益都有利于提高 CDMA 网络的系统容量。

### 2. 提高 CDMA 容量的技术

#### (1) 话音激活技术

一般, 话音的激活期 (或占空比)  $d \leq 35\%$ 。如果在话音停顿时停止发送信号, 就能减少对其它用户的干扰。CDMA 系统的容量公式被修正为

$$C_C = 1 + \left[ \left( \frac{W}{R_b} \right) / \left( \frac{E_b}{N_0} \right) - \frac{\eta}{C} \right] \cdot \frac{1}{d}$$

## CDMA 的容量 IV

当用户数非常大，系统是干扰受限而非噪声受限时，CDMA 系统的容量公式可表示为

$$C_C = \left[ \left( \frac{W}{R_b} \right) / \left( \frac{E_b}{N_0} \right) \right] \cdot \frac{1}{d} \quad (1)$$

### (2) 扇区划分技术

小区扇区化能有效地扩充 CDMA 网络的容量。当利用  $120^\circ$  定向天线把一个基站小区划分为 3 个扇区时，相应的用户间的多址干扰能量也就减少为原来的  $1/3$ ，从而使系统容量增加约 3 倍。实际上，由于相邻天线

## CDMA 的容量 V

覆盖区之间有交叠，一般能提高到  $G = 2.55$  倍， $G$  称为扇区分区系数。因此，CDMA 系统的容量公式又被修正为

$$C_C = \left\{ 1 + \left[ \left( \frac{W}{R_b} \right) / \left( \frac{E_b}{N_0} \right) \right] \cdot \frac{1}{d} \right\} \cdot G \quad (2)$$

### 3. 邻近蜂窝小区的干扰考虑

在 CDMA 系统中，所有用户共享一个无线频率，即若干个小区内的基站和移动台都工作在相同的频率上。因此，任一小区中的基站和移动台都会受到相邻小区的干扰，同时，任一小区中的基站和移动台也都会干扰相邻小区。这些干扰的存在必然会影响 CDMA 系统的容量。

对于信干比来说，移动台最不利的位置是处于 3 个小区交界的地方，如图中所示的圆圈点。

# CDMA 的容量 VI

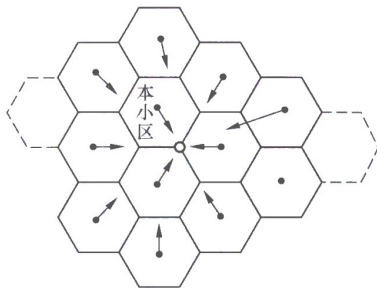


Figure: CDMA 系统移动台受干扰示意图

## CDMA 的容量 VII

理论分析表明，在考虑邻小区的同频干扰时，且采用功率控制的情况下，每小区同时通信的用户数将下降到原来的 60%，即信道复用效率为  $F = 0.6$ ，也就是系统容量下降到没有考虑邻区干扰时的 60%。此时，CDMA 系统的容量公式又被修正为：

$$C_C = \left\{ 1 + \left[ \left( \frac{W}{R_b} \right) / \left( \frac{E_b}{N_0} \right) \right] \cdot \frac{1}{d} \right\} \cdot G \cdot F$$

## CDMA 的容量 VIII

**例 3.** 对于 IS-95 CDMA 系统, 设系统总带宽为 1.25MHz, 话音编码速率  $R_b = 9.6\text{kbps}$ , 话音占空比  $d = 0.35$ , 扇区分区系数  $G = 2.55$ , 信道复用效率  $F = 0.6$ , 归一化信噪比  $E_b/N_0 = 7\text{dB}$ , 则系统容量为

$$C_C = \left\{ 1 + \left[ \left( \frac{1250}{9.6} \right) / (10^{0.7}) \right] \cdot \frac{1}{0.35} \right\} \cdot 2.55 \cdot 0.6$$

$$= 115.1(\text{ch/cell}) \quad (3)$$

从例题 (1-3) 可以看出, 在总带宽相同, 即为 1.25MHz 时, IS-95 CDMA 系统的容量约是模拟 FDMA 系统 TACS 容量的 16 倍, 约是 TDMA 系统 GSM 的 9 倍。当前比较普遍的看法是, CDMA 系统容量是模拟 FDMA 系统的  $8 \sim 10$  倍。

# contents

- 1 频率复用和蜂窝小区
- 2 多址接入技术
- 3 CDMA 中的地址码
- 4 蜂窝网络的容量分析
- 5 信道分配和多信道共用**

- 6 CDMA 系统中的功率控制

# 信道分配 (配置) I

- 意义

- 是无线网络规划的重要工作
- 信道带宽和信道间隔是重要的技术指标
- 控制信道和业务信道的配置要合理
- 在 CDMA 系统中, 如果使用单载波, 则不需要规划频率; 但 CDMA 系统中有小区呼吸效应, CDMA 网络规划需要对各种逻辑信道的功率及门限进行合理设计, 还要根据业务量的变化合理地调整功率和门限值。

- 以下介绍主要针对 FDMA 和 TDMA.

## 1. 频道分组的原则

频率分配是频率复用的前提。有两个基本含义：**频道分组**和**频道指配**。

### (1) 频道分组的原则



## 信道分配 (配置) II

- 根据不同移动通信系统的无线频率使用要求和移动通信设备抗干扰能力等，选择双工方式、载波中心频率、频道间隔、收发间隔等；
- 在同一频道组中不能有相邻序号的频道；
- 确定无互调干扰或尽量减小互调干扰的分组方法；
- 考虑有效利用频率资源、减小基站天线高度和尽量减小发射功率，在满足射频防护比的前提下，确定频道分组数。

### (2) 频道分配时需要注意的问题

- 一般将一个频道组分配给一个基站小区或一个扇区；
- 相邻序号的频道不能分配到相邻小区或扇区；
- 根据规定的射频防护比建立频率复用的频道分配图案；
- 保证频率计划、远期规划、新建网和重叠网频率分配的协调一致。

# 分区分组分配方法 I

- 分配原则

- 尽量减少占用的总频段, 提高频谱的利用率;
- 单位无线区群中不能使用相同的频道, 以避免同道干扰;
- 每个无线小区应采用无三阶互调的频道组, 以避免三阶互调干扰。

- 分配方法

- 在一个确定的频段内, 以等间隔划分信道, 按顺序分别标明各信道的号码为 1,2,3..., 以 7 个小区为一个区群, 若每个小区需要 6 个信道, 可分配如下:
- 第一组:1,5,14,20,34,36
- 第二组:2,9,13,18,21,31
- 第三组:3,8,19,25,33,40
- 第四组:4,12,16,22,37,39

## 分区分组分配方法 II

- 第五组:6,10,27,30,32,41
  - 第六组:7,11,24,26,29,35
  - 第七组:15,17,23,28,38,42
- 问题: 出发点是避免三阶互调, 但未考虑同一信道组中的频率间隔, 可能会出现较大的邻道干扰.

## 等频距分配方法

- 按照等频率间隔配置信道. 可根据区群内小区数  $N$  来确定同一信道组内各信道之间的频率间隔.
- 若  $N = 7$ , 则信道的配置为:
  - 第一组:1,8,15,22,29,...
  - 第二组:2,9,16,23,30,...
  - 第三组:3,10,17,24,31,...
  - 第四组:4,11,18,25,32,...
  - 第五组:5,12,19,26,33,...
  - 第六组:6,13,20,27,34,...
  - 第七组:7,14,21,28,35,...
- 问题: 只要频距选得足够大, 就可以有效地避免邻道干扰; 频距大, 干扰易于被接收机输入滤波器滤除, 可有效避免邻道干扰和互调干扰.

# 动态分配方法

根据移动用户话务量随时间和位置的变化对频道进行分配, 即频道不是固定分配给某个小区。动态分配方法有动态配置法和柔性配置法两种。

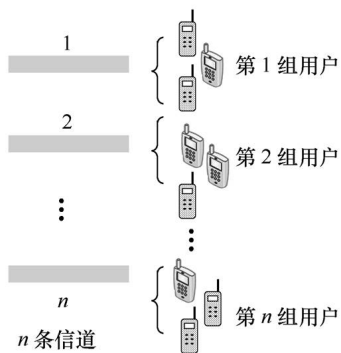
- **动态配置法**: 移动台可在小区内使用系统的任一频道。
  - 优点: 进一步提高频率利用率
  - 问题: 需要混合使用任意信道的天线共用设备; 需要高速处理横跨多个基站的庞大算法。
- **柔性配置法**
  - 首先分配给多个小区共用频道, 利用这些小区话务量高峰时间段的不同, 控制话务量高峰小区顺序地使用话务量小的小区不使用的共用频道。
  - 适用于可预先预测话务量分布及动态变化的情况。
- 实际中, 经常采用混合频道分配方式

# 多信道共用 I

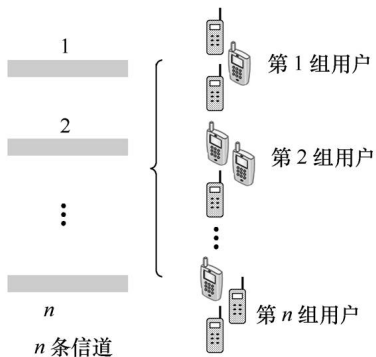
多信道共用是指系统允许大量的用户在一个小区内共享少量的信道，每个用户只在呼叫时才分配一个信道，一旦通话结束，该用户占用的信道马上释放出来供其他用户使用。

- 独立信道方式
- 多信道共用方式

# 多信道共用 II



(a) 独立信道方式



(b) 多信道共用

Figure: 多信道共用方式示意图

## 多信道共用 III

### 多信道共用的信道选择方式

- 专用呼叫信道方式

- 系统给定的多个信道中，设置 1 个或 2 个信道，用于专门处理呼叫的控制信道。该控制信道有两个作用：一是处理基站到移动台的呼叫（寻呼信道）和处理移动台到基站的呼叫（接入信道）；二是为允许接入的用户指配语音信道或其他业务信道。
- 专用呼叫信道方式处理一次呼叫所需要的时间很短，一般约为几百毫秒甚至更短，所以设置一个专用呼叫信道可以处理成百上千个用户。
- 这种方式一般用于大容量移动通信系统，目前，在数字蜂窝移动通信网络中采用的就是专用呼叫信道方式。不适合信道数目少的小容量移动通信系统。

- 循环定位方式



## 多信道共用 IV

- 由基站临时指定一个空闲信道作为呼叫信道，并在该临时呼叫信道上发送空闲信号。
  - 平时，所有未通话移动台都自动对全部信道进行扫描搜索，一旦在哪个信道上收到空闲信号，就停留在该信道上，等待接收寻呼信号。当某个移动台响应寻呼后，就在此信道上进行通话。
  - 此时，基站需要另外寻找一个空闲信道作为临时呼叫信道，所有未通话移动台接收机都自动转到这个新的临时呼叫信道上守候。
  - 信道利用率高；通话接续快。但同抢概率大，通话阻塞率高，只适用于用户数较少的小容量系统。
- 循环不定位方式
    - 基站在所有空闲信道上都发送空闲信号，不通话的移动台平时一直自动扫描空闲信道。

## 多信道共用 V

- 移动台摘机呼叫时，就随机地停在就近搜索到的空闲信道上，然后使用此信道拨号呼叫。
- 当基站呼叫用户时，必须选择一个空闲信道先发出时间足够长的召集信号，此时其它空闲信道停发空闲信号，而后基站在此空闲信道上再发出被呼信号。网内移动台由于收不到空闲信号重新进入扫描状态，一旦扫描到召集信号就停留在该信道上等候被呼信号，一旦发现自己被呼叫就在该信道上进行通话；如果发现自己未被呼叫，就重新进入自动的信道扫描状态。
- 减少了同抢概率，但缺点是接续时间比较长，只适用于信道数较少的小容量系统。
- 循环分散定位方式

## 多信道共用 VI

- 移动台自动扫描并停在最先搜索到的空闲信道上，一旦移动台摘机呼叫，可立即发出呼叫。
- 基站则在所有的空闲信道上都发送空闲信号，被呼信号从所有空闲信道发出，并等待应答信号，提高了接续速度。
- 接续快、效率高、同抢概率小。但干扰比较严重，同样只适合于小容量系统。

# 话务量和呼损率 I

## 1. 话务量

话务量是衡量通信系统中语音业务量大小的度量，分为流入话务量和完成话务量。流入话务量 ( $A$ ) 定义为在单位时间（如 1 小时）内平均发生的呼叫次数 ( $\lambda$ ) 与每次呼叫平均占用信道时间（包括接续时间和通话时间） $t$  的乘积，即流入流入话务量为

$$A = \lambda \cdot t \quad (\text{Erl})$$

式中， $\lambda$  的单位是次/小时， $t$  的单位是小时/次。

1 Erl(爱尔兰) 就是一条线路连续使用一小时情况下的话务量，也就是一条线路所具有的最大话务量。例如，一条线路每小时呼叫 20 次，每次呼叫持续时间 3 分钟，则话务量  $A = 20 \times \frac{3}{60} = 1(\text{Erl})$ 。

## 话务量和呼损率 II

设单位时间内成功呼叫的平均次数为  $\lambda_c$ ，则完成话务量（即流出话务量） $A_c$ 为

$$A_c = \lambda_c \cdot t \quad (\text{Erl})$$

### 2. 忙时话务量

最忙 1 小时内的话务量与全天话务量之比称为忙时集中率，用  $K$  表示，一般  $K = 10\% \sim 15\%$ 。每个用户的忙时话务量需要统计的方法来确定。假设每一用户每天平均呼叫的次数为  $C$ （次/天），每次呼叫平均占用信道时间为  $T$ （秒/次），忙时集中率为  $K$ ，则每用户的忙时话务量  $\alpha$  为

$$\alpha = C \cdot T \cdot K \cdot \frac{1}{3600}$$

## 话务量和呼损率 III

系统话务量应为所有用户总的忙时话务量，表示为

$$A = M \cdot \alpha$$

式中， $M$ 为系统总的用户数。

**例.** 假设某通信系统平均每小时发生 20 次呼叫，平均每次呼叫的时间为 2 分钟，计算流入话务量。

**解.**  $t = 2(\text{分/次}) = \frac{2}{60} = \frac{1}{30}(\text{小时/次})$

流入话务量为： $A = \lambda \cdot t = 20 \cdot \frac{1}{30} \approx 0.67(\text{Erl})$

**例.** 假设每用户每天平均有 3 次呼叫，每次呼叫平均占用 2 分钟，忙时集中率为 10%，计算每个用户的忙时话务量。

## 话务量和呼损率 IV

解.  $\alpha = C \cdot T \cdot K \cdot \frac{1}{3600} = 3 \cdot 120 \cdot \frac{10}{100} \cdot \frac{1}{3600} = 0.01(\text{Erl/用户})$

一些统计数据表明, 我国蜂窝移动通信系统设计的用户忙时话务量一般为  $0.01\text{Erl} \sim 0.03\text{Erl}$  之间, 而专用移动通信网设计的用户忙时话务量一般为  $0.06\text{Erl}$  左右。

### 3. 呼损率

在系统流入的话务量中, 未完成接续的那部分话务量称为损失话务量。损失话务量与流入话务量之比定义为呼损率, 用符号  $B$  表示, 即

$$B = \frac{A - A_c}{A} = \frac{\lambda - \lambda_c}{\lambda}$$

## 话务量和呼损率 $V$

因此，呼损率也可定义为呼叫失败的次数占总呼叫次数的百分比，它是衡量通信网接续质量的重要指标。呼损率  $B$  越小，成功呼叫的概率越大，用户越满意。

对于多信道共用的移动通信系统，假设呼叫具有以下性质

- 各次呼叫相互独立，用户数量无限大；
- 呼叫到达分布服从泊松分布；
- 每次呼叫在时间上都有相同的概率，呼叫占用信道的概率服从指数分布；
- 呼叫请求的到达无记忆性；
- 可用的信道数目有限。



## 话务量和呼损率 VI

根据话务理论，呼损率（ $B$ ）、共用信道数（ $n$ ）和流入话务量（ $A$ ）三者之间的定量关系可用爱尔兰 B 公式表示为：

$$B = \frac{\frac{A^n}{n!}}{1 + \frac{A^1}{1!} + \frac{A^2}{2!} + \frac{A^3}{3!} + \cdots + \frac{A^n}{n!}}$$

此式为爱尔兰呼损公式。

### 4. 信道利用率

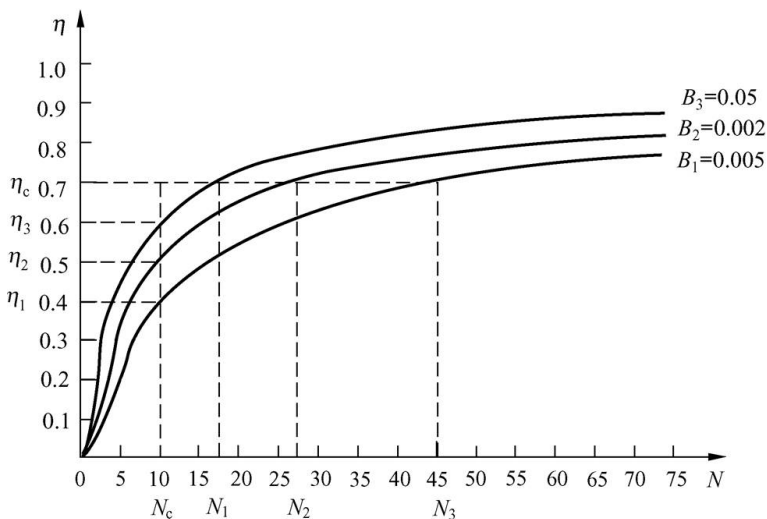
信道利用率（ $\eta$ ）定义为系统完成话务量和总的信道数之比。信道利用率  $\eta$  为

$$\eta = \frac{A_c}{n} \times 100\% = \frac{A(1 - B)}{n} \times 100\%$$

## 话务量和呼损率 VII

$\eta$  与  $n$  之间的定量关系如图所示。在  $B$  相同的条件下，随着  $n$  的增加， $\eta$  有明显的提高。但是，当  $n$  增加带一定数值后（如  $n = 10$ ）， $\eta$  的提高就很有限了。

# 话务量和呼损率 VIII



# 话务量和呼损率 IX

Figure: 信道利用率

## 5. 系统和每个信道能容纳的用户数

系统能容纳的用户数  $M$  为

$$M = \frac{A}{\alpha} = \frac{A}{C \cdot T \cdot K \cdot \frac{1}{3600}}$$

若给定一个无线小区可共用信道数  $n$ ，则每个信道能容纳的用户数  $m$  可表示为

$$m = \frac{M}{n} = \frac{A/n}{C \cdot T \cdot K \cdot \frac{1}{3600}}$$

# 话务量和呼损率 X

在实际工程中，为计算方便，把不同呼损率  $B$  条件下的信道数  $n$  和话务量  $A$  列成表格，称为爱尔兰 -B 表。该表是以  $\alpha = 0.01\text{Erl}/\text{用户}$  为依据计算的。

# 话务量和呼损率 $XI$

Table:  $B, n$  和  $A, A/n, m, n \cdot m$  之间的关系

	B=5%				B=10%				B=20%			
$n$	$A$	$A/n$	$m$	$n \cdot m$	$A$	$A/n$	$m$	$n \cdot m$	$A$	$A/n$	$m$	$n \cdot m$
1	0.053	0.053	5	5	0.111	0.111	11	11	0.25	0.25	25	25
2	0.381	0.191	19	38	0.595	0.298	30	59	1.0	0.5	50	100
3	0.899	0.300	30	90	1.271	0.424	42	127	1.93	0.643	64	193
4	1.525	0.381	38	152	2.045	0.511	51	205	2.945	0.736	74	295
5	2.218	0.444	44	221	2.881	0.576	58	228	4.01	0.802	80	401
6	2.96	0.493	49	296	3.758	0.626	63	376	5.109	0.852	85	511
7	3.738	0.534	53	374	4.66	0.667	67	467	6.23	0.89	89	623
8	4.543	0.568	57	454	5.597	0.700	70	560	7.369	0.921	92	737
9	5.370	0.597	60	537	6.546	0.727	73	655	8.522	0.947	95	852

## 话务量和呼损率 XII

**例.** 某移动通信系统拥有 8 个无线信道，每天每个用户平均呼叫 10 次，每次占用信道平均时间为 80s，呼损率要求 10%，忙时集中率  $K = 0.125$ ，求：该系统能容纳的用户数、每信道能容纳的用户数以及信道利用率。

**解.**

(1) 根据呼损率 ( $B = 10\%$ ) 和共用信道数 ( $n = 8$ )，查表得到话务量  $A = 5.597\text{Erl}$ 。

(2) 计算每个用户忙时话务量  $\alpha$

$$\alpha = C \cdot T \cdot K \cdot \frac{1}{3600} = 10 \cdot 80 \cdot 0.125 \cdot \frac{1}{3600} \approx 0.0278 \text{ Erl/用户}$$

## 话务量和呼损率 XIII

(3) 系统能容纳的用户数  $M$  为

$$M = \frac{A}{\alpha} = \frac{5.597}{0.0278} \approx 201.33$$

(4) 每个信道能容纳的用户数  $m$  为

$$m = \frac{M}{n} = \frac{201.33}{8} \approx 25.2$$

(5) 信道利用率  $\eta$  为

$$\eta = \frac{A(1-B)}{n} \times 100\% = (1-10\%) \times \frac{5.597}{8} \approx 62.97\%$$



# contents

- 1 频率复用和蜂窝小区
- 2 多址接入技术
- 3 CDMA 中的地址码
- 4 蜂窝网络的容量分析
- 5 信道分配和多信道共用
- 6 CDMA 系统中的功率控制**

# 概述 I

- 为什么需要功率控制?
  - CDMA 系统的自干扰
    - 多址干扰  $\Leftarrow$  扩频码之间的互相关性不为零
    - 干扰受限  $\Leftarrow$  干扰对系统的容量的直接影响
  - 反向链路上的“远近效应”
    - 基站远处的用户的信号会被近处用户的信号淹没
  - 前向链路上其他基站和本基站内其他用户的前向信号
    - 移动台位于相邻小区交界处时, 收到服务基站的有用信号很低, 还会收到相邻小区基站的较强干扰.
  - 无线信道的衰落
    - 慢衰落  $\Leftarrow$  地形起伏, 大型建筑物以及树林等的阻挡
    - 快衰落  $\Leftarrow$  多径传播以及多普勒频移的存在

## 概述 II

- 目的

- 对接收信号的能量或信噪比进行评估的基础上, 适时补偿无线信道的衰落, 来不断调整发射信号的功率, 从而在保证链路通信质量目标的前提下使发射信号的功率最小, 以减少多址干扰, 从而保证系统容量.

- 说明: 当达到以下条件, CDMA 系统容量最大:

- 基站从各个移动台接收到的功率相同;
- 用户的接收功率刚好能够满足所需信噪比的最小值.

- 原则

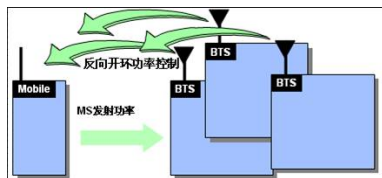
# 概述 III

- 当信道的传播条件突然改善时, 功率控制应作出快速反应 (例如在几微秒时间内), 以防止信号突然增强而对其它用户产生附加干扰; 相反, 当传播条件突然变坏时, 功率调整的速度可以相对慢一些. 也就是说, 宁愿单个用户的信号质量短时间恶化, 也要防止许多用户都增大背景干扰.
- 功能
  - 调整移动台 (或基站) 的发射功率, 使信号到达基站接收机 (或移动台) 时, 信号电平刚刚达到保证通信质量的最小信噪比门限.
- 分类
  - 反向功率控制
  - 前向功率控制

# 反向开环功率控制 I

- 操作

- 在移动台接收并测量基站发来的信号强度，并估计正向传输损耗，然后根据这种估计来调节移动台的反向发射功率。如果接收信号增强，就降低其发射功率；接收信号减弱，就增加其发射功率。



- 目的

- 补偿平均路径损耗以及慢衰落

- 原因

## 反向开环功率控制 II

- 移动台在接入状态时, 还没有分配到前向业务信道 (包含功率控制比特), 只能通过测量接收功率来估计发送功率.
- 动态范围
  - 至少应该达到  $\pm 32\text{dB}$  的动态范围. 反向链路必须采用大动态范围的功率控制方法, 快速补偿迅速变化的信道条件.
- 方法
  - 测量接收到的前向链路总功率, 结合已知的一些接入参数, 采用一定算法计算得出接入时的发射功率大小.
  - 基本原则是使移动台的发射功率与接收功率成反比.
- 存在的问题
  - 假定的是在前后向具有完全相同的路径损耗; 因此, 不能反映不对称的路径损耗.

## 反向开环功率控制 III

- 初始判断是基于接收到的总的信号功率; 因此, 移动台从其它基站接收到的功率导致该判断很不准确.

# IS-95 反向开环功控的分步计算 I

## • 步骤

- ① 刚进入接入状态时
- ② 其后的接入探测不断增加发射功率，直至收到确认或者序列结束；
- ③ 移动台接收到确认之后，开始在反向业务信道上发送信号；
- ④ 移动台一旦从前向链路接收到功率控制比特，将开始进行闭环功率控制。



# IS-95 反向开环功控的分步计算 II

- 步骤 1 的计算公式

刚进入接入状态时, 移动台发射第一个接入探测

公式

平均输出功率 (dBm)

$$= -\text{平均输入功率 (dBm)} + K + NOM\_PWR + INIT\_PWR$$

- 常数  $K$  取值为  $-73\text{dBm}$ ;
- $NOM\_PWR$  用于告知移动台基站标称功率的变化信息;
- $INIT\_PWR$  用于调整第一个接入探测的功率.

## IS-95 反向开环功控的分步计算 III

- 步骤 2 的计算公式

其后的接入探测不断增加发射功率，直至收到确认或者序列结束

公式

$$\begin{aligned} \text{平均输出功率 (dBm)} = & -\text{平均输入功率 (dBm)} \\ & + K + NOM\_PWR + INIT\_PWR + \text{接入探测校正} \end{aligned}$$

- 接入探测校正 =  $PWR\_LVL \times PWR\_STEP$
- $PWR\_LVL$  是接入探测功率电平调整，单位为  $PWR\_STEP$ ;
- $PWR\_STEP$  连续的两个接入试探之间功率的增加量。

## IS-95 反向开环功控的分步计算 IV

- 步骤 3 的计算公式

移动台接收到确认之后，开始在反向业务信道上发送信号

公式

$$\begin{aligned} \text{平均输出功率 (dBm)} = & -\text{平均输入功率 (dBm)} \\ & + K + NOM\_PWR + INIT\_PWR + \text{接入探测校正之和} \end{aligned}$$

# IS-95 反向开环功控的分步计算 V

- 步骤 4 的计算公式

移动台一旦从前向链路接收到功率控制比特, 将开始进行闭环功率控制

## 公式

$$\begin{aligned}
 \text{平均输出功率 (dBm)} = & -\text{平均输入功率 (dBm)} \\
 & + K + NOM\_PWR + INIT\_PWR \\
 & + \text{接入探测校正之和} \\
 & + \text{所有闭环功率控制校正之和}
 \end{aligned}$$

# IS-95 反向开环功控的分步计算 VI

# 反向闭环功率控制 I

- 功能

- 通过基站，对移动台的开环功率估计进行迅速纠正，而使移动台保持最理想的发射功率。用于补偿前向和反向路径之间的不对称，是对反向开环功率控制的不准确性进行弥补的一种有效手段，需要基站和移动台的共同参与

- 动态范围

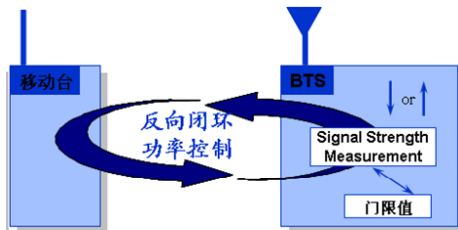
- ① 在开环功控的基础上，能提供  $\pm 24\text{dB}$  的动态范围。

- 操作

- 基站根据测量到的反向信道的质量，来调整移动台的发射功率。如果测量到的反向信道质量低于门限，则命令移动台增加发射功率；如果测量到的反向信道质量高于门限，则命令移动台降低发射功率。

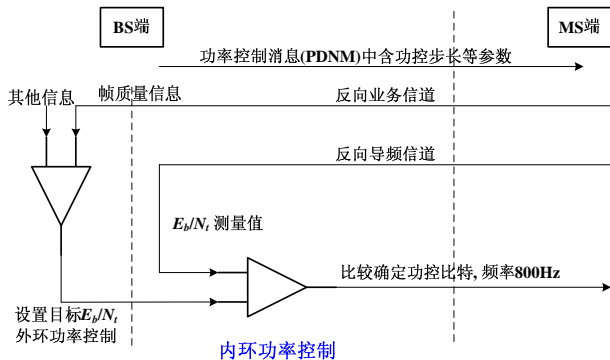
## 反向闭环功率控制 II

- 移动台根据在前向业务信道上接收到的有效功率控制比特来调整其发射功率. 当移动台收到 0 时, 将增加其平均发射功率 1dB; 当移动台收到 1 时, 其处理措施则正好相反.



- 反向闭环功控图示

# 反向闭环功率控制 III



## 反向闭环功率控制分类



# 反向闭环功率控制 IV

分类	内环 (Inner Loop) 功控	外环 (Outer Loop) 功控
位置	基站 (BTS)	基站 控制器 (BSC)
调节对象	移动台的发射功率	内环功控门限
比较双方	基站接收到的移动台信噪比 内环功控门限相比较	误帧率与目标误帧率相 比较
目的	向移动台发送的功率控制指令, 使接收信号强度接近闭环功控门限	使移动台 维持恒定的目标误帧率
方法	测量反向业务信道的 $E_b/N_t$ , 将测量的结果与目标相比较。如果实测的 $E_b/N_t$ 小于目标值, 命令移动台增加功率; 否则命令移动台降低功率。	测量反向信道误帧率 (FER), 将测量的结果与目标 FER 相比较。如果实测的 FER 超过目标值, 则命令提高内环功控的 $E_b/N_t$ 目标值; 否则命令降低内环功控的 $E_b/N_t$ 目标值。

# 反向闭环功率控制 V

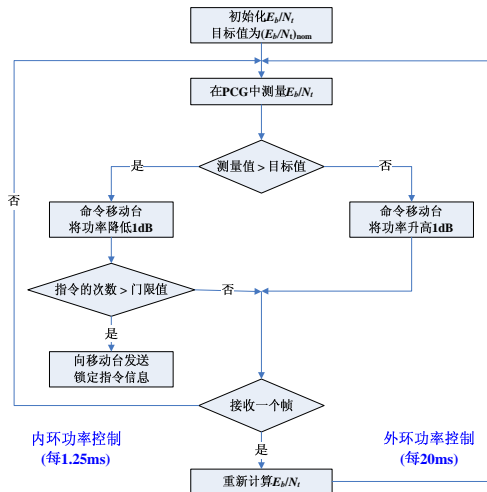
## ● 反向闭环功控流程

- 基站测量所有移动台反向业务信道的  $E_b/N_t$ , 测量周期为 1.25ms(一个功率控制组).
- 基站将测量结果与  $E_b/N_t$  目标值相比较, 分别确定对各个移动台的功率控制比特的取值.
- 基站在相应的前向业务信道上发送功率控制比特, 比反向业务信道延迟  $2 \times 1.25\text{ms}$ .
- 移动台接收前向业务信道后, 从中抽取功率控制比特, 进而对反向业务信道的发射功率进行调整.

注: 其中包括“移动台禁用”的情况.

## ● 反向闭环功控流程图

# 反向闭环功率控制 VI



# 前向链路功率控制 I

- 功能

- 调整基站向移动台发射的功率，使任一移动台无论处于小区中的任何位置上，收到基站的信号电平都刚刚达到信干比所要求的门限值。
- 对信道衰落较小和解调信噪比较高的移动台分配相对较小的前向发射功率，对信道衰落较大和解调信噪比较低的移动台分配相对较大的前向发射功率；

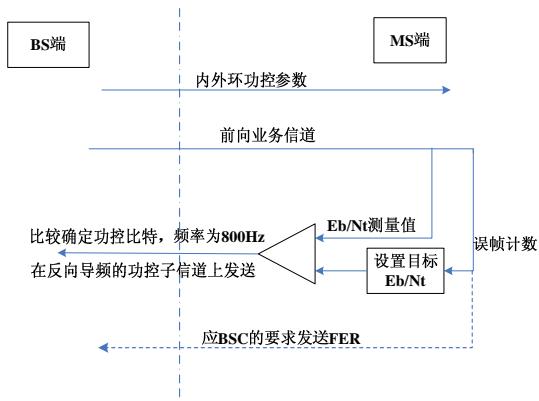
- 作用

- 降低基站的平均发射功率，避免基站向距离近的移动台辐射过大的信号功率；同时也避免发射功率过低，防止或减少由于移动台进入传播条件恶劣或背景干扰过强的地区而发生误码率增大或通信质量下降的现象。
- 减小相邻小区之间的干扰。

# 前向链路功率控制 II

- 方法
  - MS 测量前向业务信道帧质量，以周期方式或门限方式上报帧质量。BTS 根据上报的帧质量情况确定是否进行前向功率调节。
- 动态范围
  - 前向链路的质量远好于反向链路，因此，前向链路对功率控制动态范围的要求比较低。
- 控制方式
  - IS-95 基于测量报告、门限、周期、慢速的功率控制。
  - CDMA-2000 引入快速功率控制。
- 前向链路功控的过程

# 前向链路功率控制 III



# contents

- 1 频率复用和蜂窝小区
- 2 多址接入技术
- 3 CDMA 中的地址码
- 4 蜂窝网络的容量分析
- 5 信道分配和多信道共用
- 6 CDMA 系统中的功率控制

# 切换 I

- 一个正在通信的移动台因某种原因而被迫从当前使用的无线信道上转换到另一个无线信道上的过程, 称为切换 (Handover 或 Handoff). 最常见的切换是越区切换, 它指的是当一个正在通信的移动台由一个小区移动到另一个小区时, 为了保证通信上的连续性, 而被系统要求从正在通信的小区的某一个信道上转换到所进入小区的另一个信道上的过程.
- 目的: 保证通信的连续性.
- 原因
  - 信号强度或质量下降到门限以下, 此时移动台被切换到信号强度较强的相邻小区, 由移动台发起.



## 切换 II

- 由于某小区业务信道容量全被占用或几乎全被占用, 这时移动台被切换到业务信道容量较空闲的相邻小区, 由上级实体发起.
- 切换准则
  - 按接收信号载波电平测量值进行判断;
  - 按 MS 的载干比进行判断;
  - 按 MS 到 BS 的距离进行判断.
- 切换如何控制
  - 移动台控制的切换
  - 网络控制的切换
  - 移动台辅助的切换
- 切换时信道如何分配

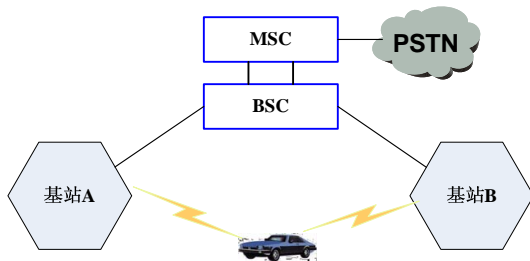
## 切换 III

- 通常, 小区预留部分信道专门用于越区切换
- 缺点: 增加新呼叫的呼损率, 减小通信中断率
- 分类
  - 硬切换 (Hard Handoff, HHO)
  - 软切换 (Soft Handoff, SHO)
  - 更软切换 (Softer Handoff)
- 硬切换
  - 特点
    - 先断后通: 在新链路建立前, 先中断旧链路.
    - 在整个切换过程中移动台只能使用一个无线信道.
    - 存在短期通话中断.
    - 有掉话的可能.

## 切换 IV

- 系统
  - 模拟系统和 TDMA 系统（如 GSM 系统）
  - 原因: 采用不同频率的小区之间只能采用硬切换
- 缺点
  - 失败率较高
  - “乒乓效应”
- 统计结果
  - 无线信道上 90% 的掉话是在切换过程中发生的。
- 软切换
  - 特点: 需要切换时, 移动台先与目标基站建立通信链路, 再切断与原基站之间的通信链路的切换方式, 即先通后断。
  - 可以同时与多个基站保持通信, 移动台合并从每个基站发送来的信号。

# 切换 V

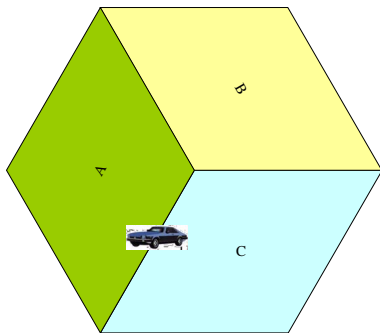


- 系统
  - 软切换是 CDMA 系统中特有的
  - CDMA 系统特有的关键技术之一
- 优点
  - 提高切换成功率
  - 增加系统容量

# 切换 VI

- 提高通信质量
- 缺点
  - 硬件设备的增加
  - 占用更多的资源
- 更软切换
  - 相同小区的不同扇区之间的切换
  - 跨越两扇区时始终保持与两个扇区的同时通信直到移动台切换完全完成
  - 可能频繁发生
  - 所有行为由基站管理
  - 从两个扇区接收到的信号可以被合并以改善信号质量

# 切换 VII



- 软切换过程
  - 链路监视和测量
    - 移动台进行前向链路测量
    - 基站进行反向链路监测

# 切换 VIII

- 监测数据和上报
- 识别和确定目标小区, 切换触发
  - 切换算法, 切换门限
  - 更新激活集和候选集
- 切换执行, 分配给移动台在新小区的话音信道和控制信道.

# 位置更新

- 位置管理包括两个主要任务: 位置更新 (Location Update) 和寻呼 (Paging)
- 位置更新是移动台向网络登记其新的位置, 使网络能够跟踪移动台的运动, 以保证在有此移动台的呼叫时网络能够正常接续到该移动台.
- 寻呼是在有呼叫给移动台的情况下, 如何有效地确定移动台当前处于哪一个小区.
- 具体位置管理过程, 结合具体系统作介绍.