

第3章 蜂窝

大区制移动通信网

蜂窝系统概述

频率复用 和 小区制通信系统

信道分配策略

切换策略

干扰和系统容量

无线系统的信道规划

中继和服务等级

提高蜂窝系统容量的方法

1. 小区分裂 splitting

2. 扇区划分 sectoring

3. 微小区 Microcell zone

第3章 蜂窝

大区制移动通信网

主要特点：

1. 基站天线很高，几十~几百米
2. 基站发射功率大：50~200W
3. 覆盖半径：30~50km

优点：网络结构简单，成本低

缺点：频谱利用率低，服务性能差，容量小，用户几十~几百个，一般用于专网。

问题：提高覆盖半径

决定覆盖半径的因素：

1. 地球的曲率限制了传输的极限范围
2. 地形环境影响，信号传播可能产生盲区
3. 多径反射限制了传输距离
4. 移动台发射功率小，上行信号传输距离有限（上下行传输增益差可达6~12dB）

问题：上行问题

解决：

1. 设置分集接收台，基站发射用全向天线，接收用定向天线；
2. 提高基站接收灵敏度；

问题：大区制的频率资源利用效率极低

蜂窝系统概述

总带宽 \rightarrow 小区带宽 \rightarrow 信道带宽

二频复用的 频谱利用率 $>$ 四频复用

频率复用 和 小区制通信系统

小区制：

1. 利用频率复用的概念，将整个服务区域划分成若干小区，每个小区分别设置一个低发射功率的基站，负责本小区的通信；
2. 每个小区基站分配一组无线信道，仅在本小区内使用
3. 本小区所用的信道不能在相邻小区中重复使用

基本小区：

1. 超小区： $r_0 > 20\text{km}$ （农村）
2. 宏小区： $r_0 = 1 \sim 20\text{km}$ （人口稠密地区）
3. 微小区： $r_0 = 0.1 \sim 1\text{km}$ （城市繁华区）
4. 微微小区： $r_0 < 0.1\text{km}$ （办公室、家庭）

优点：提高频率利用率，组网灵活

缺点：网络构成复杂

形状：

1. 条状服务区：

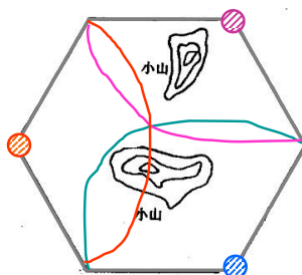
2. 面状服务区：

1. 小区形状：一般采用规则结构：圆形（全向天线），三角形，正方形，六边形等；

蜂窝（正六边形的由来）：对于同样大小的服务区域，采用正六边形构成小区，则所需的小区数最小且无重叠区

2. 基站对小区的激励方式：

1. 中心激励：基站位于小区中心，有时会有辐射阴影
2. 顶点激励：在顶点上设置基站，并采用三个互成 120° 的定向天线，以避免辐射阴影



频率复用：在不同基站间实现频率规划/分配的过程

- 1. 将可用信道分为N组，则N个相邻的小区组成一个簇（Cluster）
- 2. 簇内的每个小区使用每组信道中的不同的频率组（相邻不同）
- 3. 相邻簇重复使用相同的频率组分配模式

系统容量：固定频率资源下，系统可以使用的信道数，等价于可以容纳的用户数。

构成簇的基本条件：

- 1. 能彼此邻接且无空隙地覆盖整个面积。
- 2. 相邻簇中，同频道的小区距离相等，且为最大。

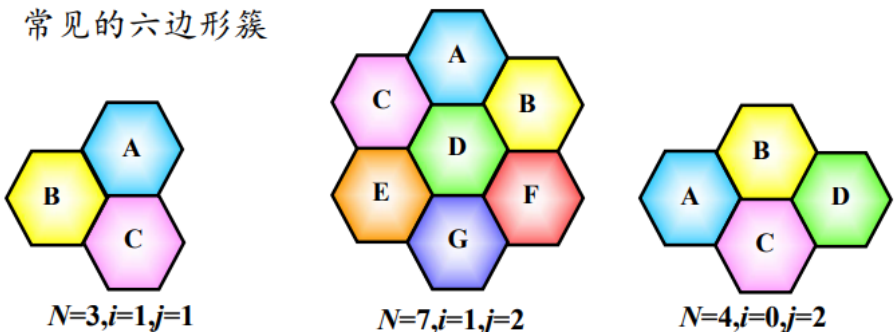
满足上述两个条件的簇的形状和簇内小区数N是有限的：

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

其中：i和j都是非负整数，不同时为0

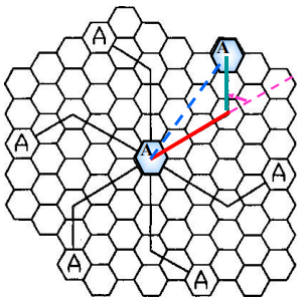
<i>i</i>	1	0	1	0	2	1	0	2	1	0	3	2
<i>j</i>	1	2	2	3	2	3	4	3	4	5	3	4
<i>N</i>	3	4	7	9	12	13	16	19	21	25	27	28

• 常见的六边形簇



效果：N越小，则在小区面积不变的情况下，每个簇的面积越小；则在相同覆盖面积下，系统中簇复制越多；则系统容量越大，频率利用率越高

簇内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。



计算：

$$\begin{aligned} \text{假设} & \left\{ \begin{array}{l} \text{每个簇的大小为 } N \text{ 或 系统频率复用因子为 } \frac{1}{N} \\ \text{此系统的信道数为 } S \\ \text{此系统区域内, 簇共复制 } M \text{ 次} \end{array} \right. \\ \text{则} & \left\{ \begin{array}{l} \text{每个小区的信道数 } k = \frac{S}{N} \\ \text{系统容量 } C = MS \end{array} \right. \end{aligned}$$

信道分配策略

1. 固定信道分配策略：每个小区分配一组事先确定好的话音信道，小区中的任何呼叫都只能使用小区中的空闲信道。如果信道均已被占用，则呼叫阻塞。（本章主要内容）
2. 动态信道分配：呼叫请求到达时，为它服务的基站向移动交换中心（MSC）请求信道，并根据某种算法进行信道分配。（动态信道划分需要实时监控信道状态、话务量分布等信息，存储/计算量较大，但有利于提高信道的利用率，降低呼叫阻塞概率。）

切换策略

切换（handoff）：当一个移动台在通话过程中，从一个基站移动到另一个基站时，MSC自动地将呼叫转移到新的信道上。

在小区内分配空闲信道时，切换请求优于呼叫初始请求

符号定义：

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{维持通话的最小可接收信号强度 } P_{r,\min} \\ \text{切换启动信号强度 } P_{r,HO} \\ \Delta = P_{r,HO} - P_{r,\min} \end{array} \right.$$

若移动台一边通话，一边移动，则 Δ 的取值很重要：

1. Δ 过大：切换频繁，加重MSC负担
2. Δ 过小：（切换需要时间，在切换的过程中，移动台也在移动）可能在尚未完成切换时，通信已中断

（MSC需要判断，移动台的信号电平的下降确实是因为正在远离基站，而不是因为其它原因的瞬时衰减）

干扰和系统容量

干扰：（干扰是蜂窝无线系统性能的主要限制因素）

1. 噪声
2. 同小区内的其它移动台
3. 相邻小区

4. 同频小区

5. ...

干扰的影响：

1. 对控制信道的影响：信号发送失败，导致呼叫遗漏或阻塞；
2. 对语音信道的影响：通话质量下降，串扰等；

同频干扰：同频小区的干扰（在诸多干扰因素中，同频干扰主要决定了蜂窝系统的通话质量，故信干比中的 I 仅考虑同频干扰）

同频复用距离（D）：当 信号/同频干扰比 满足通信质量要求或达到规定的S/I指标时，两个同频小区之间的距离

同频复用比例：

$$\text{同频复用比例: } Q = \frac{D}{R} \stackrel{\text{正六边形小区}}{=} \sqrt{3N}$$

信干干扰比：

移动信道，任一点接收到的平均信号能量： $P_r = P_0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-n}$ 其中 n 为路径衰减因子

$$\text{信干干扰比: } \frac{S}{I} \approx \frac{S}{I_{\text{同频}}} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_{\text{同频}i}}$$

$$\text{对于在小区边界上的点: } \frac{S}{I} \approx \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_{\text{同频}i}} = \frac{P_0 \left(\frac{R}{d_0} \right)^{-n}}{\sum_{i=1}^{i_0} P_0 \left(\frac{D_i}{d_0} \right)^{-n}}$$

$$\text{条件: } \begin{cases} \text{全向天线: } i_0 = 6 \\ \text{近似认为: } D_i = D \end{cases}$$

$$\text{则: } \frac{S}{I} \approx \frac{R^{-n}}{6 \times D^{-n}} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{6}$$

矛盾：同频干扰 vs 频谱利用率

1. 其它不变，仅 N 减小 \rightarrow 则相同覆盖范围下簇的复制次数 M 增大，系统容量增大，频谱利用率提高；但是同频小区之间距离缩小，同频干扰增大
2. 其它不变，仅 N 增大 \rightarrow 则同频小区之间距离增大，同频干扰减小；但是相同覆盖范围下簇的复制次数 M 减小，系统容量降低，频谱利用率降低；

无线系统的信道规划

1. 控制信道
1. 初始化、呼叫请求等

2. 占频谱的5%

3. 一般情况下，一个小区仅需要一条控制信道

4. 控制信道的频谱复用策略需要更加可靠（控制信道采用 N=21的复用方案，而话音信道采用 N=7 的方案）
2. 话音信道
1. 业务流

2. 占频谱的95%

中继和服务等级

中继（Trunking）：允许大量用户在一个小区内共享相对较小数量的信道，即从可用信道库中给每个用户按需分配信道；

服务等级（Grade of Service, GOS）：中继系统最忙碌时，用户进入系统的能力，一般用呼叫阻塞概率，或呼叫延迟大于某一特定排队时间的概率进行描述；

中继理论：

1. 丢失呼叫清除（Lost Call Cleared, LCC）系统：对呼叫请求不提供排队。用户请求后，如有空闲信道，则立即接入。如果所有信道都被占用，则呼叫阻塞，但可随后任意重试。具有最小的呼叫建立时间。（对应 Erlang B公式）
2. 丢失呼叫延迟（Lost Call Delayed, LCD）系统：将被阻塞的呼叫放入队列，当呼叫没有得到空闲信道时，该请求将被延迟直至出现空闲信道。（对应 Erlang C公式*）

中继理论的问题描述：在一个系统中，为满足一定用户数U，并要求达到B要求的服务质量，从而合理设计信道数C

话务量强度：单位时间（小时）的呼叫时长，单位为Erlang。

每个用户的话务量强度： $A_u = \lambda H$

λ 单位时间内的平均呼叫数

H 平均保持时间

$5\ calls/hour$ 办公室

$2\ calls/hour$ 家庭

$35\ calls/hour$ 呼叫中心

总话务量： $A = UA_u$

每条信道的话务量强度： $A_c = \frac{UA_u}{C}$

LCC系统：

服务质量 (GOS) : 当流入业务量大于等于完成业务量时, 损失话务量与流入话务量的比值; (呼叫阻塞概率 / 阻塞率 / 呼损率)

$$\text{设 } \begin{cases} \lambda \text{ 为 每小时的平均呼叫次数} \\ \lambda_0 \text{ 为 每小时的平均成功呼叫次数} \end{cases}$$
$$\text{阻塞率 } B = \frac{A - A'}{A} = \frac{\lambda H - \lambda_0 H}{\lambda H} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda}$$

计算理想条件下LCC阻塞概率的前提条件:

1. ...

根据排队论可得到: Erlang B 公式 (这是假定用户数目无限的保守计算, 实际上系统产生的阻塞率更低)

$$GOS = B = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!}}$$

(实际使用时: 网页计算器 or 查表)

提高蜂窝系统容量的方法

提高蜂窝系统容量 即 给单位覆盖区域提供更多的信道

重要公式:

$$\begin{cases} \frac{S}{I} \sim Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N} \\ C = MS = MkN \end{cases}$$

1. 小区分裂 splitting

小区分裂是将拥塞的小区分成更小的小区的方法, 每个小区都有自己的基站并相应地降低天线高度和减小发射机功率

由于小区分裂提高了信道的复用次数, 因而可以提高系统容量

(解释:

为了保证分裂前后小区边界上的接收功率 P_r 相同, 基站发射功率 P_t 需要下降:

假设 分裂后的小区半径是分裂前的1/2, 路径衰减因子 $n=4$

则有:

代价:

1. 基站数量增加
2. 切换操作次数增加

2. 扇区划分 sectoring

何以提高系统容量：在小区半径R不变的情况下，扇区划分降低了干扰I，因为要求的信干比SIR不变，可以降低复用因子N（同频小区更近，会提高干扰I），当系统面积不变时，则可以增大簇的复制次数M，从而提高系统总信道容量 $C=MS=MkN$

实现：用方向性天线代替全向天线

同频干扰：

$$\frac{S}{I} = \frac{\left(\frac{D}{R}\right)^n}{i_0} = \frac{\left(\sqrt{3N}\right)^n}{i_0}$$
$$i_0 = \begin{cases} 6, & \text{全向} \\ 2, & 120^\circ \text{扇区} \\ 1, & 60^\circ \text{扇区} \end{cases}$$

不足：

1. 增加了每个基站上的天线数目
2. 扇区划分降低了中继效率，导致话务量的损失（例3.9）（本质原因：将大的信道池转换为了多个小组）
3. 增加了扇区之间的切换（现代基站的扇区切换不需要MSC的帮助，因此可以接受）

3. 微小区 Microcell zone

I