无线通信系统

第三章　蜂窝的概念

第3章 蜂窝的概念：系统设计基础

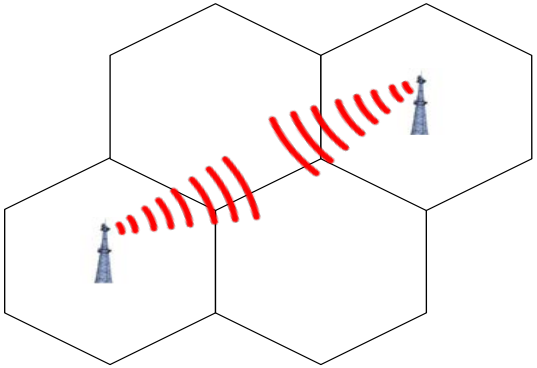
- 小区与区群的概念（蜂窝系统几何学）
- 信道分配策略
- 切换策略
- 干扰和系统容量
- 提高蜂窝系统容量

回顾：蜂窝系统

- 从网络规模看，蜂窝网是一种**广域网络**。
- 蜂窝网的最小组成单位：**小区（cell）**。
- 小区的覆盖由**基站（BS）**完成，即由基站保证位于小区边界上的**移动台（MS）**可以获得最小可用接收电平——达到**移动台（MS）**接收机灵敏度。
- 核心思想是**频率复用**！

频率复用

- 西安的FM广播电台和北京的FM广播电台完全可以采用相同的发射载频，而不会造成相互的干扰
- 对蜂窝系统，频率复用的距离要小得多，从而使得频率得到更多的复用

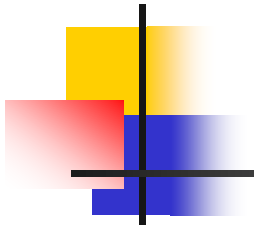


[重要数量值]

对于**AMPS**系统，接收机可以允许的有用信号和同频干扰信号的功率比一般要大于**18dB**。即，

有用信号功率≥**63**＊同频干扰功率。

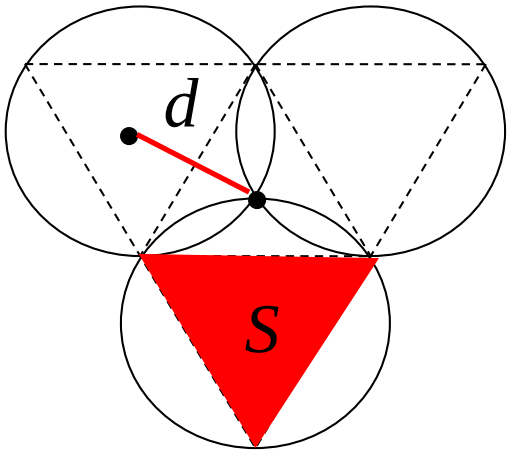
因此，这就为AMPS系统（FDMA的蜂窝系统）的设计做出了基本的限定。

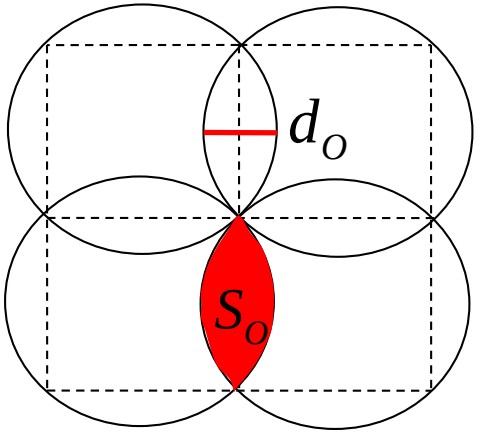


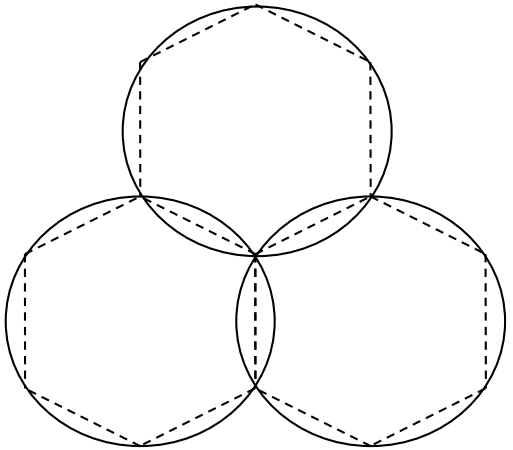
- 一般在系统规划与设计时采用正六边形作为小区的形状。为什么？
- 区群（簇，cluster）的概念。
- 区群大小（cluster size）公式。
- 同频小区的确定。
- 区群的形状。

小区的形状

全向天线辐射的覆盖区是个圆形。 为了不留空隙地覆盖整个平面的服务区，一个个圆形辐射区之间一定含有很多的交叠。在考虑了交叠之后，实际上每个辐射区的有效覆盖区是一个多边形。 根据交叠情况不同，有效覆盖区可为正三角形、正方形或正六边形。







三种小区形状的比较

小区形状	正三角形	正方形	正六边形
小区面积	$1.3r^2$	$2r^2$	$2.6r^2$
邻区距离	r	$\sqrt{2}r$	$\sqrt{3}r$
交叠区宽度	r	0.59r	0.27r
交叠区面积	$1.2\pi r^2$	$0.73\pi r^2$	$0.35\pi r^2$

采用正六边形小区形状的原因

- 半径一定的情况下，正六边形面积最大，这样系统服务区域一定时，所需的小区数目最少，即所需基站最少。
- 早期的蜂窝系统，基站通常位于小区中心，并采用全向天线，这样在无阻挡的平面地形上，基站的有效覆盖区域基本上呈圆形，在半径一定的情况下正六边形最接近于圆形。

习题

- 试证明要用正多边形无空隙、无重叠地覆盖一个平面的区域， 可取的形状只有正三角形、正方形和正六边形三种。

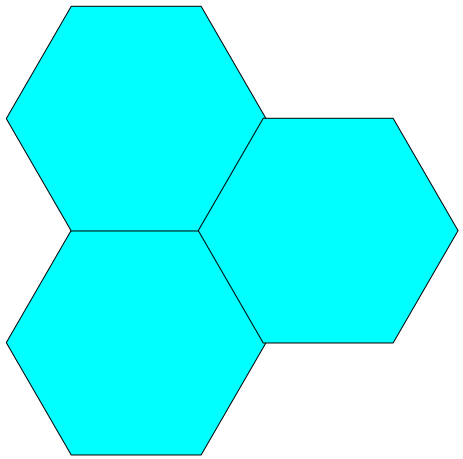
区群的概念

- **区群（cluster，也译作簇）**：对于蜂窝系统，系统所提供的全部频率资源将在若干个相互邻接的小区上予以分配，分配的基本原则是每个小区将获得彼此不同的一部分频率资源，一般可以考虑平均分配。我们将上述这些相邻接的一组小区称作一个区群。换句话说，**在一个区群内部是不进行频率复用的！**
- 将蜂窝系统的组成由小区（系统的最小组成单位）放大到区群，即整个系统服务区域的覆盖也可以看作由一个个区群覆盖完成，**在区群之间进行频率复用**。

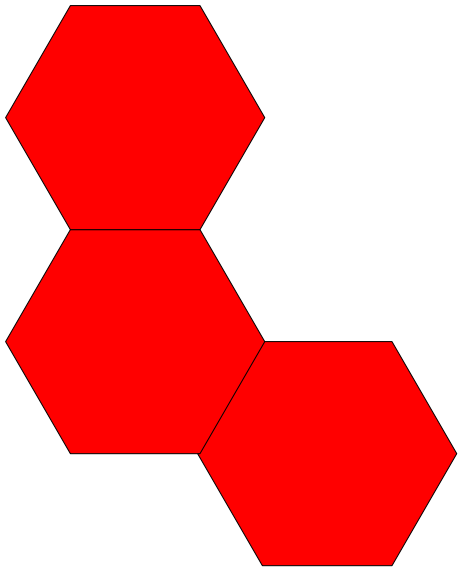
什么是“相互邻接”？

- 区群中任意正六边形小区都至少与区群中另外两个小区存在公共边。

［构成区群的情况］



［不构成区群的情况］



区群大小

- 一个区群中包含的小区数称作区群大小。几何上可以证明，要满足以下两个条件：

  1）各个区群实现整个面状服务区域的无缝无重叠覆盖；

  2）使用相同频率的小区之间的最小距离在整个系统范围内为常数。

  区群大小不是可以取任意值的。而应当服从以下公式，即：　　$N=i^2+ij+j^2$ ，

  其中，**N**为区群大小， **i**、**j**可以取自然数，但不同时为0。

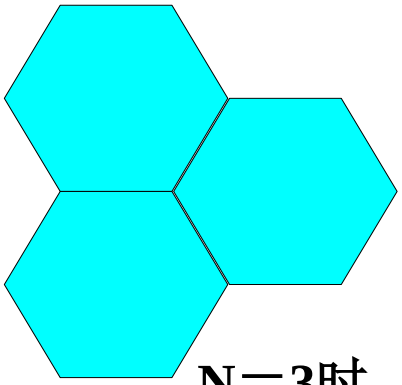
区群大小可能的取值

N / i / j	0	1	2	3	4
1	1	3	7	13	21
2	4	7	12	19	28
3	9	13	19	27	37
4	16	21	28	37	48

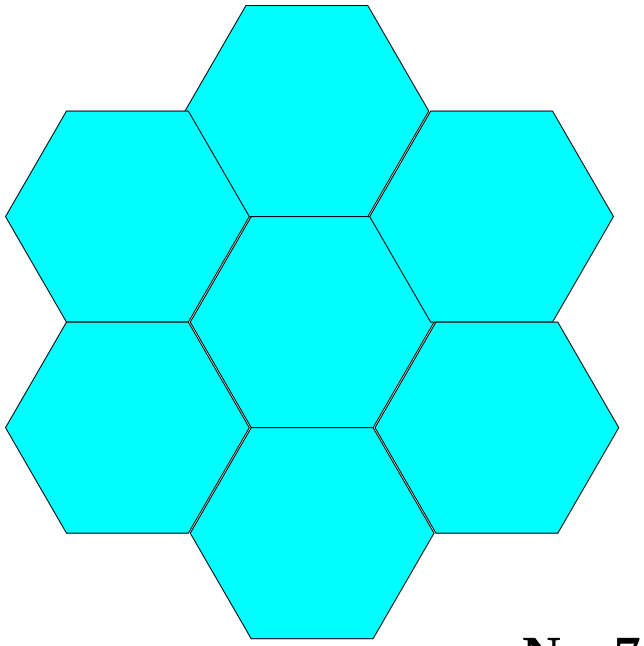
上表是根据**区群大小**（**N**）公式计算出的***i***、***j***取不同数值情况下可能的区群大小值，即区群大小可以取**1、3、4、7、9、12、13、16、19、……**。而不可能取**2、5、6、8、10、11、14、15、17、18、……**。

区群的形状

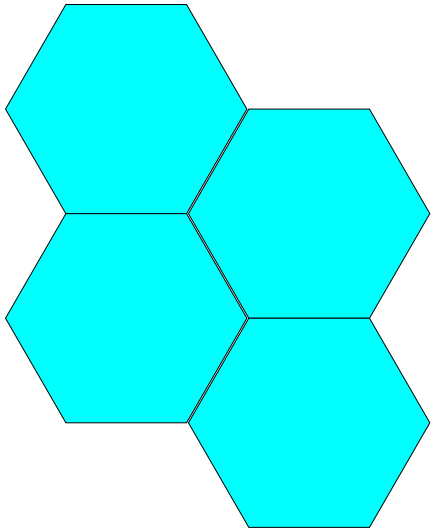
- 区群大小一定时，区群的形状是确定的。



N＝3时



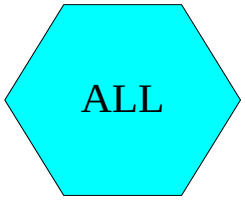
N＝7时



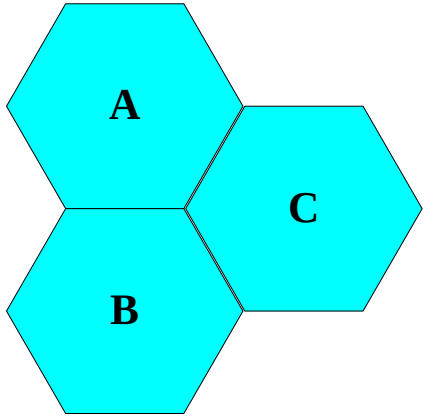
N＝4时

区群上的频率分配

正如前面所指出的，区群并不仅仅是一个地理区域的概念，而且是整个系统频率资源的一个分配单位——一般，系统可使用的全部频率资源在区群范围内进行平均分配。



（a）采用**N＝1**的区群进行频率复用，称之为**完全频率复用**。**CDMA**。



（**b**）采用**N＝3**的区群进行频率复用，系统全部频率资源平分为A、B、C三组，分别分配到区群内3个小区上使用。

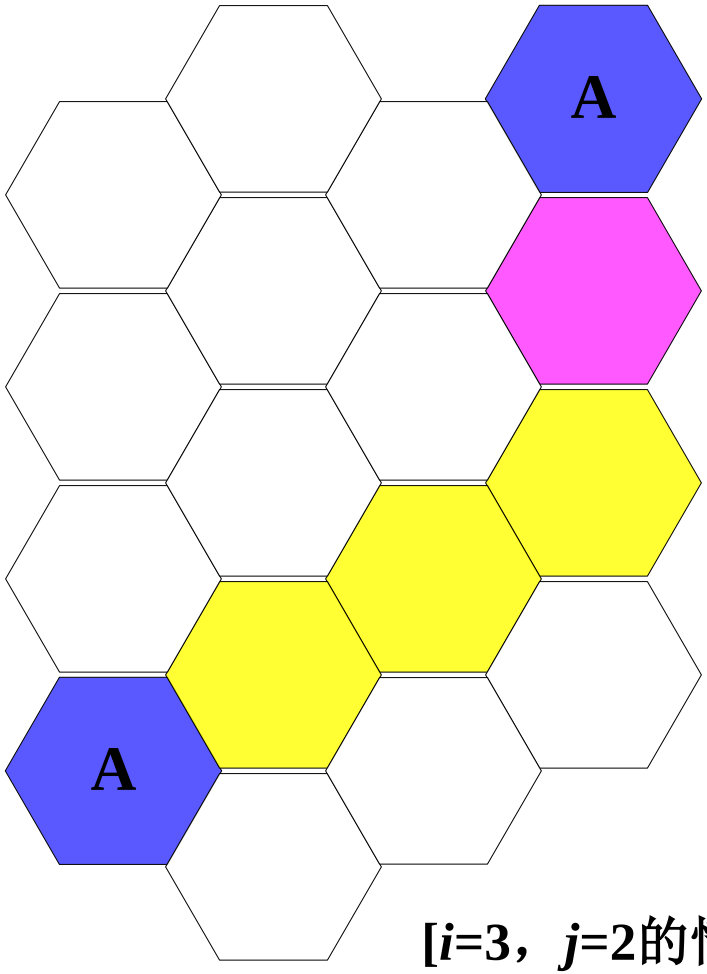
同频小区的概念

- 在蜂窝系统设计和规划时位于不同区群内，采用相同的频道组的小区称作**同频小区**。
- 要想对由于采用相同频率工作而引起的相互干扰进行有效的控制，同频小区的分布应当存在**规律性**。
- 具体地，就是要求在**整个系统范围内，同频小区之间的最小距离为常数**。这个最小距离，一般称之为**同频复用距离**，记作***D***。

同频小区的确定

1）沿某正六边形小区一条边的垂线方向行进*i*个小区；

2）逆时针旋转60°后再向前行进*j*个小区。所到达的小区可以与原始小区使用相同的频道组。



[*i*=3，*j*=2的情形]

一个约定

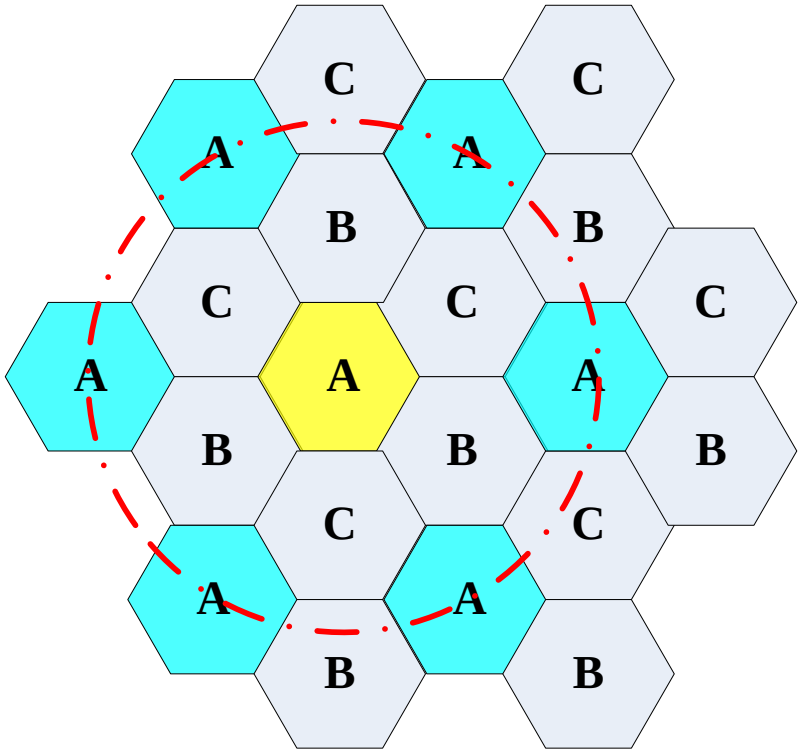
- 对于N=19的区群配置，实际上除了可以取i=3、j=2外，还可以将i、j互换，即取i=2、j=3。此时用前面的方法找到的同频小区与互换前找到的同频小区是不一样的。如何避免这种情况？

限定$i \geq j$

同频小区的分布

- **同频小区是分层排布的：**无论区群大小N取何值，

  第1层共6个同频小区，第2层共12个，…，**第n层共$6n$个**。各层同频小区分布在以原始小区中心为中心的同心圆上，同心圆半径顺次为D、$2D$、…、nD。

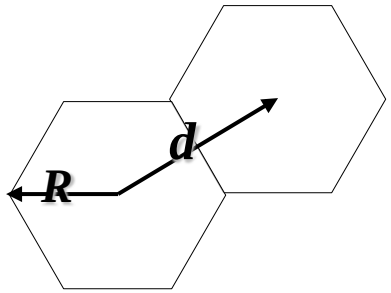


“第1层同频小区共有6个”

［重要距离］

“向前行进一个小区”指的是从本小区中心出发沿某边垂线方向前进，直至到达相邻小区的中心。若小区半径为**R**，则行进距离**d**（相邻小区的中心距）为：

$$d = \sqrt{3}R$$



同频复用距离（*D*）的计算

$$D^2 = (d \times i \times \frac{1}{2} + d \times j)^2 + (d \times i \times \frac{\sqrt{3}}{2})^2$$

$$= d^2(\frac{1}{4}i^2 + j^2 + ij + \frac{3}{4}i^2)$$

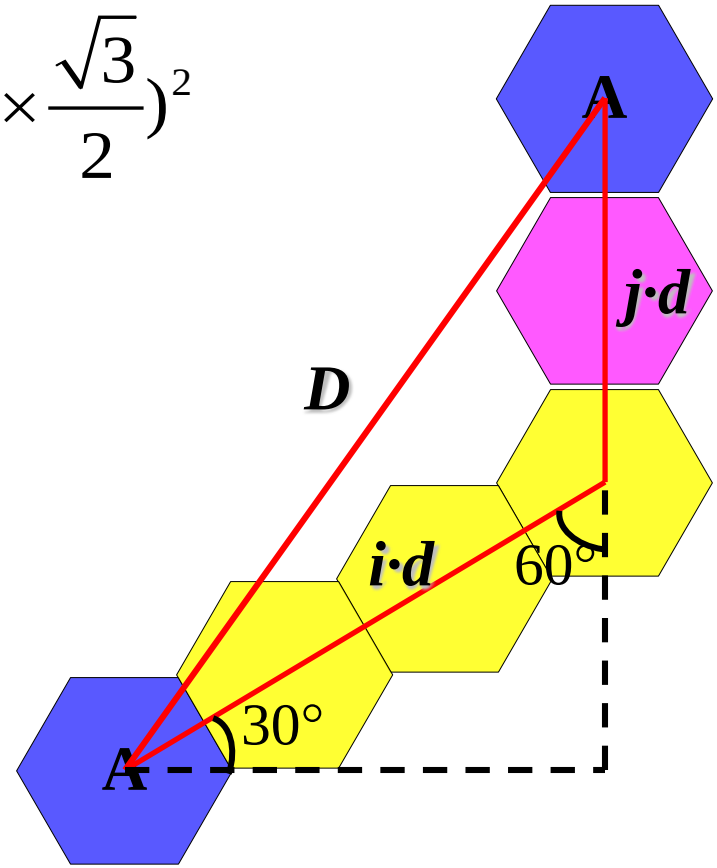
$$= d^2(i^2 + i \times j + j^2)$$

$$= Nd^2$$

$$\because d = \sqrt{3}R$$

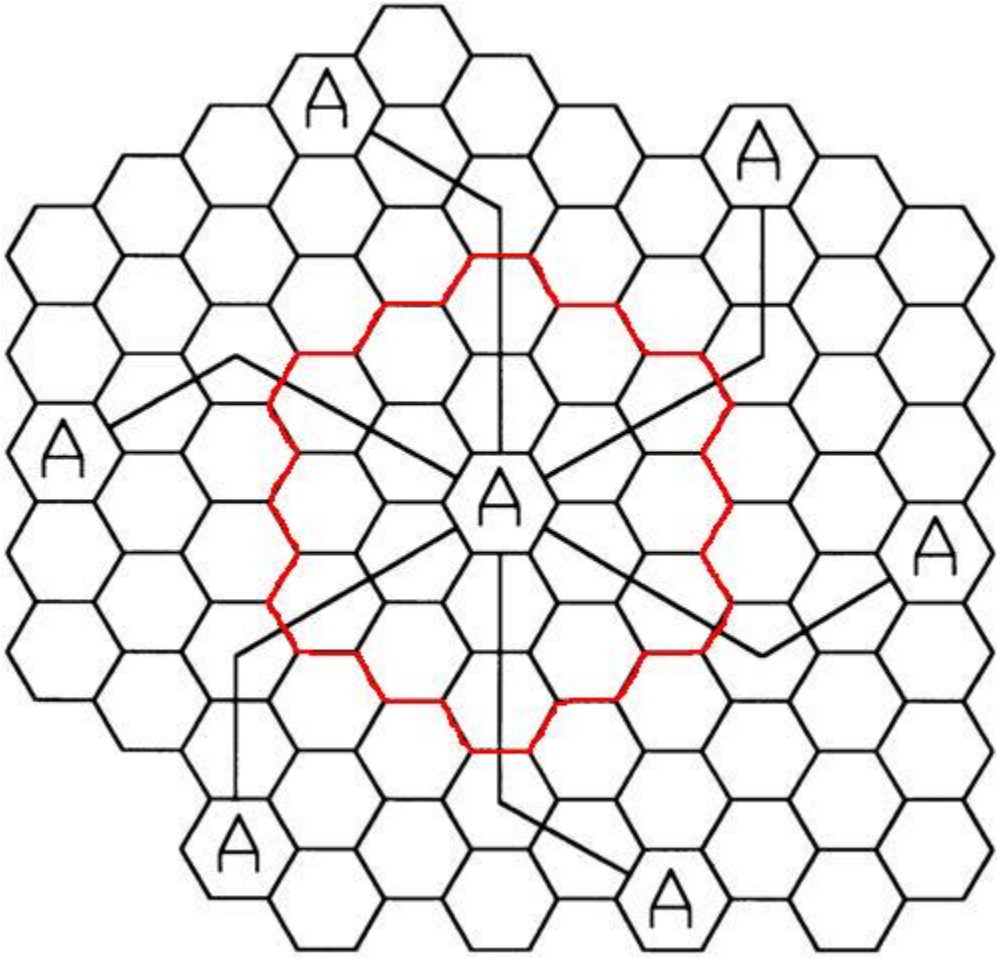
$$\therefore D = \sqrt{3N}R$$

d



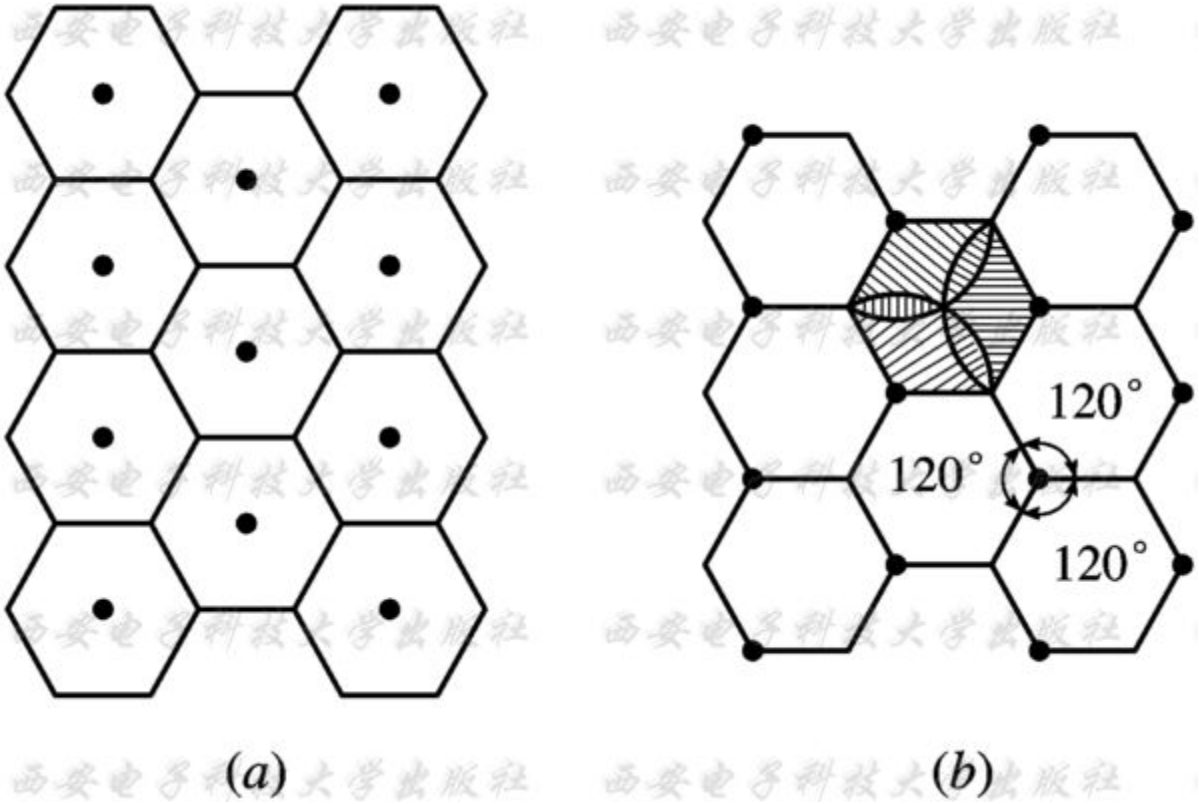
- **教材pp40 图3.2 N＝19（i＝3，j＝2）**时的同频小区分布情形。

  其中，红色边框是区群边界。



中心激励与顶点激励

- 中心激励：在每个小区中， 基站可设在小区的中央， 用全向天线形成圆形覆盖区， 这就是所谓“中心激励”方式。
- 顶点激励：将基站设计在每个小区六边形的三个顶点上， 每个基站采用三副120° 扇形辐射的定向天线， 分别覆盖三个相邻小区的各三分之一区域， 每个小区由三副120° 扇形天线共同覆盖，这就是所谓“顶点激励”方式



两种激励的方式

（a）中心激励　　（b）顶点激励

顶点激励的特点

- 有利于避免小区内障碍物的阴影效应
- 对干扰有一定隔离度，同频道小区距离可适当减小
- 由于增加了基站设备，故控制较中心激励方式复杂

“蜂窝系统的几何学”内容小结

- 区群概念
- 区群大小公式
- 同频小区的确定
- 同频复用距离公式
- 同频小区的分层排布

信道分配

- 什么是信道分配？

  这里，**信道分配**指的是蜂窝系统如何将可用信道资源在区群范围内进行分配，以减小干扰并保证足够的用户容量。
- 信道分配策略分为两种：
  - 固定信道分配
  - 动态信道分配

固定信道分配

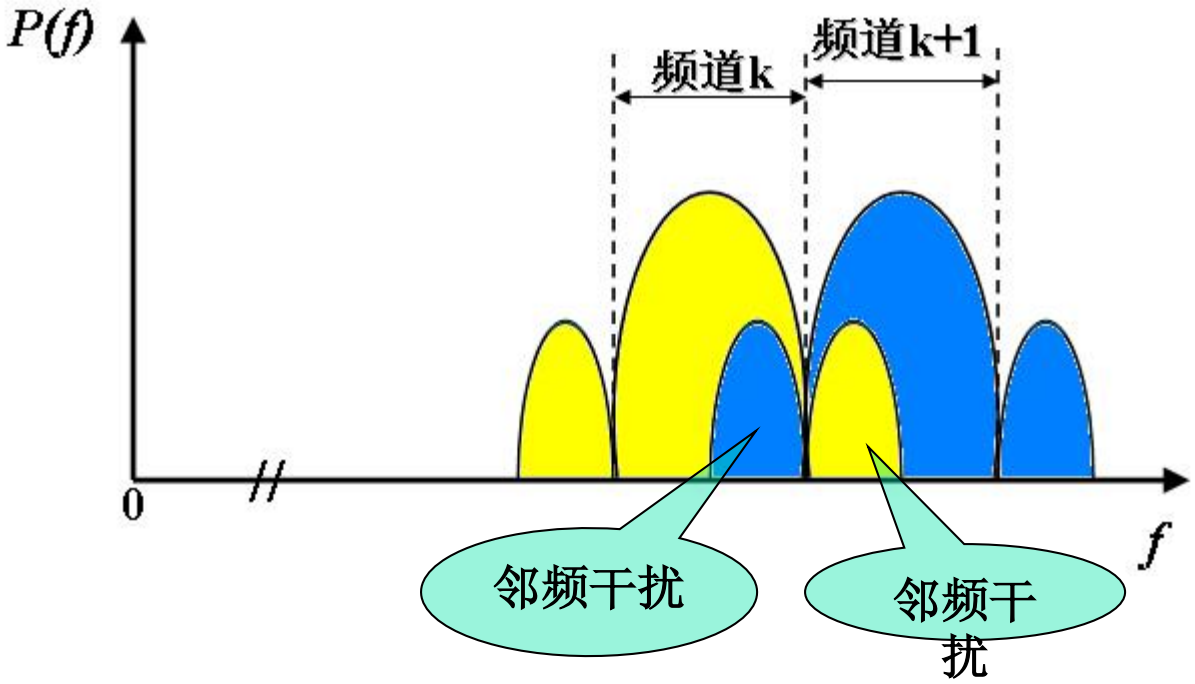
系统拥有的信道资源（如载频或频道）采用某种方式进行划分以后，各信道组被固定地分配到区群内各个小区上去。一旦分配完毕，一般情况下，各小区只固定使用分配到本小区的那组信道。若小区内暂时没有空闲信道，呼叫将被阻塞（到达用户的呼叫无法接通或用户发起的呼叫无法拨出）。

如何划分信道组？

- 邻频干扰和远近效应
- 旨在减小邻频干扰的信道组划分方案

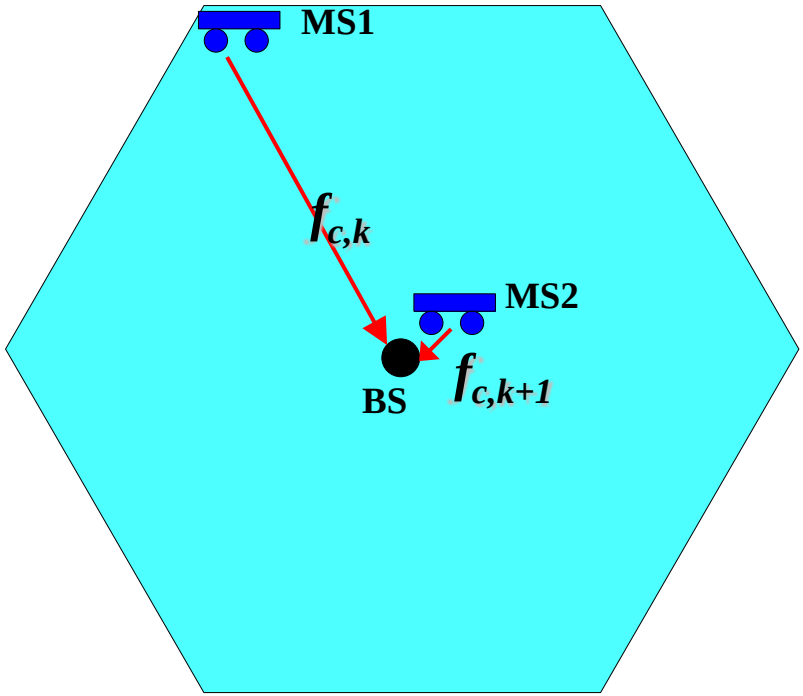
邻频干扰

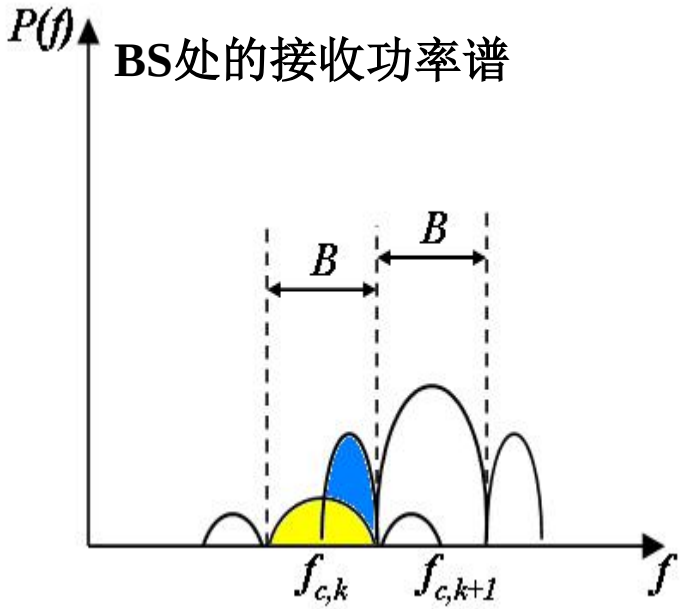
- 使用有用接收信号的相邻信道的干扰信号称为邻频干扰。



远近效应

- 假定**MS1**和**MS2**在反向链路上工作于邻道。



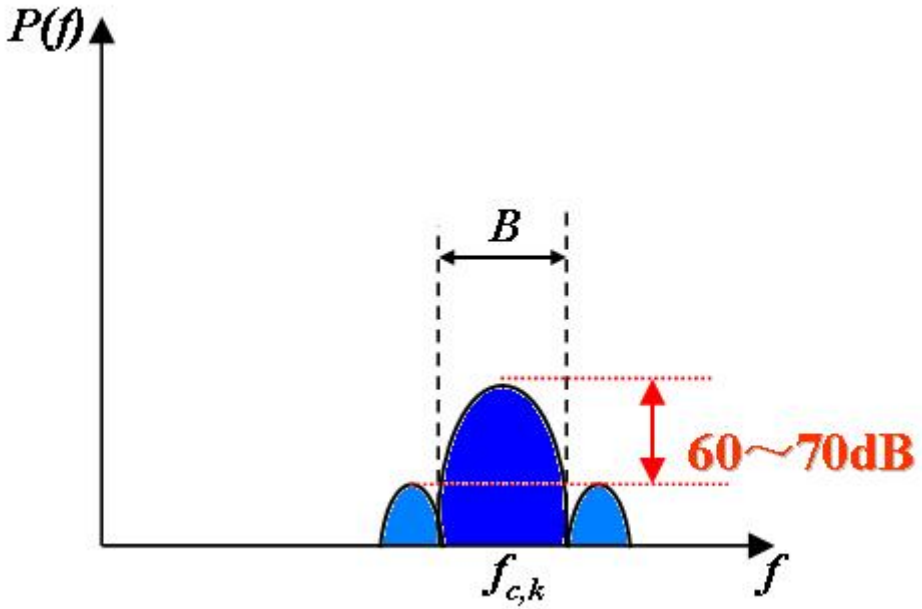


由于**MS2**到达**BS**的信号远远强于**MS1**到达**BS**的信号，所以使得**MS1**信号无法正常被接收，这种由于距离的较大差异造成的效应称为**远近效应**。

邻道干扰产生的原因

- 已调信号带外衰减不够快——采用带宽效率更高的调制技术
- 接收滤波器不够理想——改进接收滤波器性能

- 无线移动通信对约束邻频干扰的要求：



发射频谱的**主瓣**应比**旁瓣**高**60～70dB**。

这一点一般通过采用适宜的调制技术和线性化功放来保证。

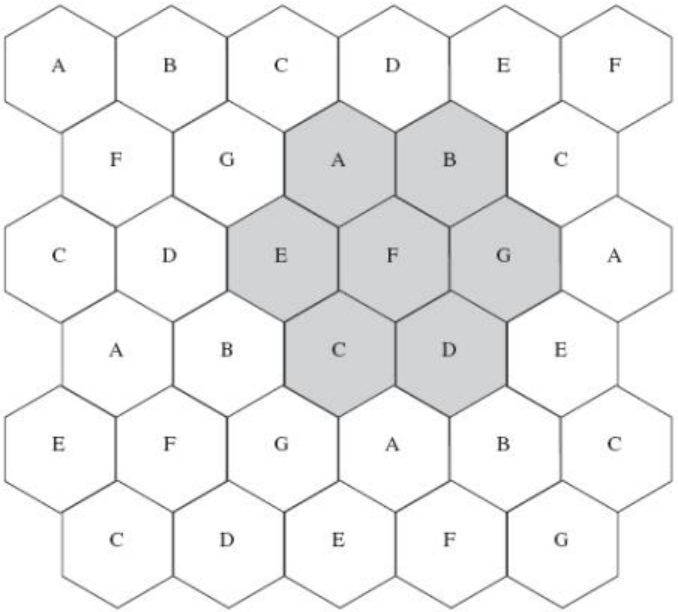
旨在减小邻频干扰影响的信道分配方案

- **［例］**假定系统为**FDMA／FDD**系统，总共有**21对**双工信道（频道），按照载频由低到高的递增顺序依次编号为**1号、2号、…、20号、21号**频道。假定区群大小为**N＝7**，试确定避免同一个小区内出现邻道的一种信道分配方案。

［解］考虑在区群内平均分配信道数，则**N＝7**的区群中每个小区分到**3对**信道，由于小区范围有限，因此小区内不应出现在邻道工作的设备，相反却应当使彼此间的信道间隔尽可能大。这样我们可以将信道分为**7**组，即**A、B、C、D、E、F、G**组。

信道组	信道号
A	1、8、15
B	2、9、16
C	3、10、17
D	4、11、18
E	5、12、19
F	6、13、20
G	7、14、21

- **N＝7的信道分配和频率复用：**



信道组	信道号
A’	1、8、15
B’	5、12、19
C’	7、14、21
D’	3、10、17
E’	6、13、20
F’	4、11、18
G’	2、9、16

固定信道分配的优缺点与改进

- 优点：简单
- 缺点：可能造成频率资源的浪费
- 改进：采用空闲频道借用，即当某个小区中的已使用完，又有新的呼叫请求时，从相邻的小区中借用信道。

习题

- **习题1：**阅读教材**pp50**例**3.3**，试归纳**AMPS**系统的信道分配方案。为什么控制信道的复用距离要更大一些？
- **习题2：**我们进一步要求相邻小区也尽可能不使用相邻信道，试确定一种固定信道分配方案。

动态信道分配

信道不是固定地分配给每个小区，而是全部信道形成“信道池”，由**MSC**统一管理。呼叫发生时由**BS**向**MSC**申请信道。

注意：MSC既是交换中心，又负责信道管理，更其重要的是它还进行移动性管理（如切换管理）。

动态信道分配考虑的因素

- 同频道复用距离
- 不会对本小区已经使用的其他频率产生明显干扰
- 以后呼叫阻塞的可能性，候选频道使用的频次。

动态信道分配的优缺点

- 优点：
  - 频率利用率高，可适应业务分布的动态变化。
  - 降低了呼叫阻塞的概率，增加了系统的用户容量。
- 缺点：控制复杂，开销较大（要求MSC增加存储量和运算量）

切换的必要性

- 蜂窝系统是小区制系统，每个小区基站的覆盖范围有限，当移动台在通话过程中跨越小区边 界，原服务基站将不能再提供足够的信号强度 来维持通话。
- 移动台在同一小区内部进入了通信的“阴影区”，信号强度急剧减弱至无法维持正常通话。

而用户对一个通信系统的主观要求一般是已进行的通话发生掉线是最不能容忍的。

过区切换的概念

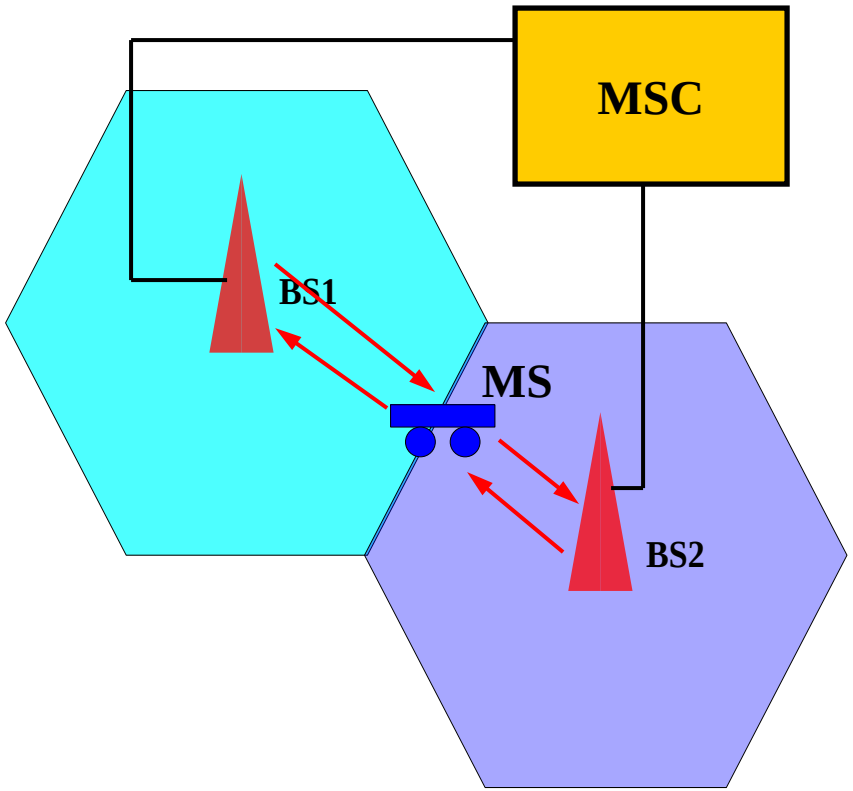
- 将当前正在通信的移动台的通信链路从当前基站转移到另一基站的过程，也称为ALT——自动链路转换。

［定义的要点］

1.参与角色：MS、相邻基站**BS1**和**BS2**、**MSC**。

2.条件：MS正在通话且正在穿越小区边界。

3.系统要进行的操作：信道转换。



过区切换的关键问题

- 切换的准则，也就是何时需要进行越区切换；
- 切换的控制；
- 切换时的信道分配。

研究越区切换算法所关心的主要性能指标包括：越区切换的失败概率、因越区失败而使通信中断的概率、 越区切换的速率、越区切换引起的通信中断的时间间隔以及越区切换发生的时延等。

切换的依据

- **接收信号强度（RSS，Received Signal Strength）**
- **信干比S / I或载干比C/I（C_Carrier）**

传统的切换启动准则

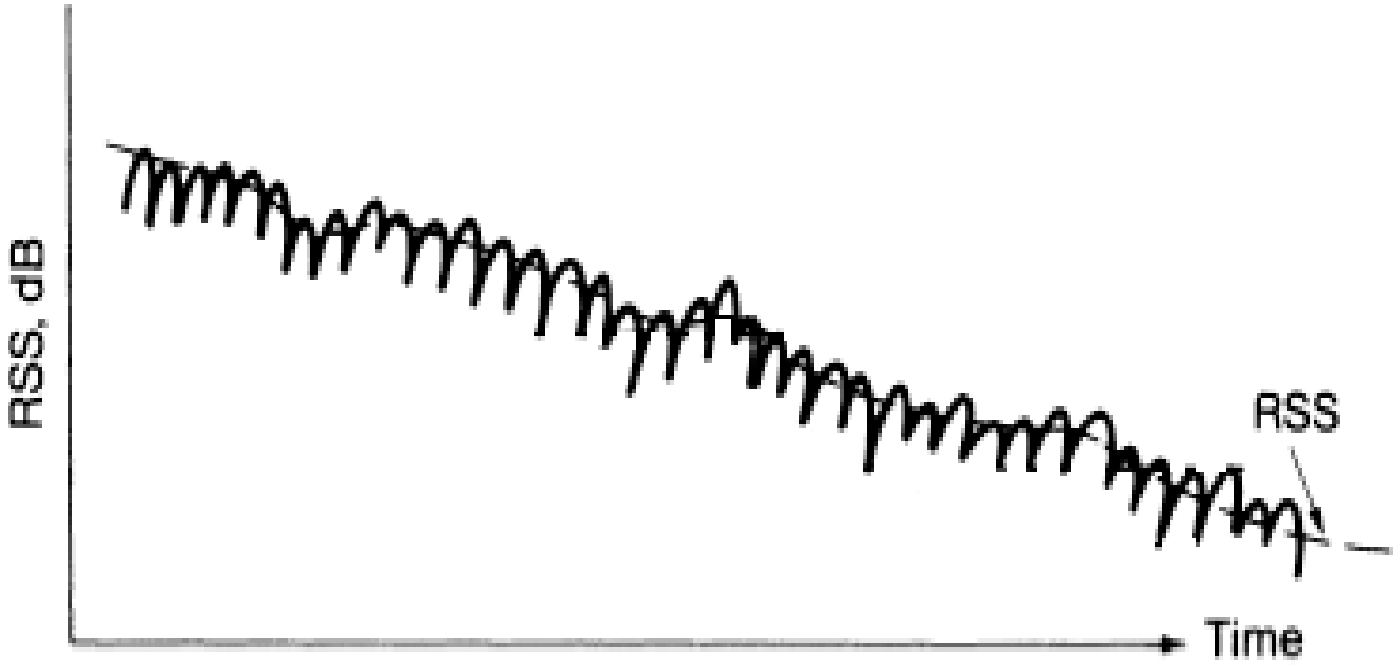
- 相对信号强度准则
- 具有门限规定的相对信号强度准则
- 具有滞后余量的相对信号强度准则
- 具有滞后余量和门限规定的相对信号强度准则（GSM采用）

相对信号强度准则

- 当接收到的相邻小区信号强度大于当前小区信号强度时启动切换。

  1）有可能当前小区的绝对信号强度仍然足以向越区的移动台提供服务。

  2）由于无线移动信道中存在衰落现象，接收信号电平在很短的移动距离上仍然存在快速的起伏变化，所以采用这一准则时不能因某一瞬间的个别测量结果满足要求就启动切换，而应该在持续观测的基础上比较平均接收信号强度。


RSS, dB
RSS
Time

具有门限规定的相对信号强度准则

- 设定接收信号强度门限，若当前小区的接收信号强度低于门限，并且移动台接收到了比当前小区信号更强的相邻小区信号则启动切换。

Δ＝接收信号门限－最小可用电平，

Δ过小，门限过于接近最小可用电平，更容易出现来不及切换就已经掉线的情况；而且，即使不发生掉线，也会由于切换发生过迟而造成额外的同道干扰。

Δ过大，此准则等效为“相对信号强度准则”。

切换的例子

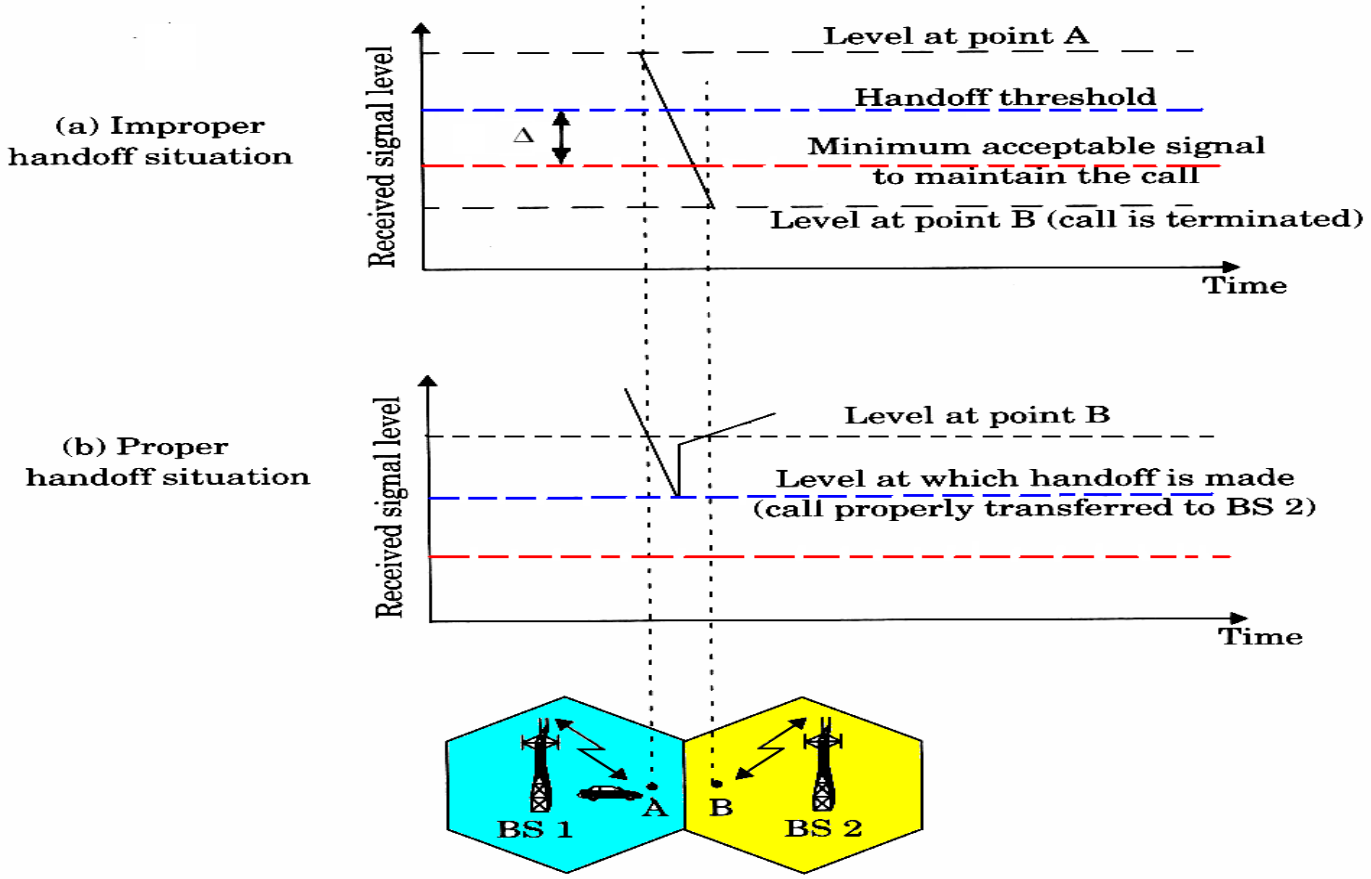


Figure 3.3 Illustration of a handoff scenario at cell boundary.

具有滞后余量的相对信号强度准则

- 只有相邻小区的平均接收信号强度大于当前小区的平均信号强度，并且超过的数值大于滞后余量时才启动切换。

  在（硬）切换区域面积狭窄时，会出现在新、旧基站之间来回切换的“**乒乓效应**”，采用上述准则可以有效地防止这一效应的出现。

具有滞后余量和门限规定的相对信号强度准则

- 仅允许移动用户在当前基站的信号电平低于规定门限并且新基站的信号强度高于当前基站一个给定滞后余量时进行越区切换。

过区切换过程

- **（1）监控和链路测量**

如，**1G**系统中在基站处设置有**专用接收机**，用于监测**MS**到**BS**的信号质量**RSS**），切换门限和最小可用接收电平。

- **（2）目标小区确定和切换启动**
- **（3）切换执行（有效的链路转换）**

硬切换和软切换

- 硬切换和软切换类型的区分是基于具体实施切换时对新、旧链路的不同处理方式的。

  硬切换采用**“先断（旧的），后建（新的）”**的方式。为**1G**的**FDMA**系统和**2G**的**TDMA**系统所采用。

  软切换采用**“先建（新的），综合利用（新、旧链路）、后断（旧的）”**的方式。为**2G和3G**的**CDMA**系统广泛采用。

需要注意的两点

- 之所以存在上述差别，是因为**CDMA**相邻基站可以采用相同载频，所以同时保持新旧链路是可以做到的。像**FDMA**这样的系统，相邻小区**绝不能**使用相同载频，而移动台一般不能够同时工作在两个不同载频上。
- **CDMA**系统不但可以同时保持新旧链路，而且可以利用其技术特点，在断开旧链路之前，通过对信号的有效合并来提升接收信号质量，保证不出现掉话现象。

切换的过程控制策略

- 类型的区分基于切换过程中**MS**和网络中与切换有关的实体（**BS**、**MSC**）所起到的不同作用。
- 一般有如下三种类型：

1）NCHO

2）MCHO

3）MAHO（NCHO）

NCHO（Network Controlled HandOver)

- **网络控制的切换：**即信号的测量和切换决策均由网络完成。AMPS采用这种切换控制方式，每个BS连续地监视他的所有反向信道的信号强度，并且每个基站都有一个定位接收机，由MSC控制，专门用来监视相邻基站中有切换可能的移动用户的的信号强度，然后基站将所有的信号强度传送给MSC。MSC搜集到相邻各基站测量结果后，通过比较作出切换决策。

MCHO（Mobile Controlled HandOver）

- **移动台控制的切换：**MS持续监测当前**BS**和几个切换候选**BS**的信号强度（前向链路），并根据信号情况选择最佳的切换时机和**BS**。适用于网络侧功能较弱的无绳系统，如欧洲的数字无绳标准**DECT**（数字增强型无绳电话）。

MAHO（Mobile Assisted HandOver）

- 移动台辅助的切换：移动台和基站分别监测前向和反向链路的信号（这里，移动台也可以同时监测周围多个基站的前向信号），由网络（**MSC**）根据监测结果综合作出切换决策。所有第二代数字系统（包括**GSM**、**IS95 CDMA**等）均采用这种切换控制方式。

  1）FDMA系统无法采用此方式；**2）**优点在于，同时利用了双向链路的测量结果，并且减轻了MSC的负担。

越区切换时的信道分配

- 与呼叫请求相同的方法分配
- 保留部分信道专门用于过区切换
- 对切换请求进行排队

移动台移动速度对切换的影响

- 高速车辆只要几秒钟就可以驶过一个小区的覆盖范围，而步行用户在整个通话过程中可能不需要切换。特别是为了提高系统容量而增加了微小区的地方，MSC很快会因为高速用户在小区中的频繁穿行而不堪重负。

伞状小区

- 为了兼顾不同移动台的不同的移动速度，可以采用伞状小区的技术，它可以为高速移动用户提供大面积的覆盖，同时为低速移动用户提供小面积的覆盖。由于其实现方法是通过使用不同高度的天线和不同强度的发射功率，在一个站点上设置“大的”和“小的”两种覆盖区，因此这种技术称为伞状小区。

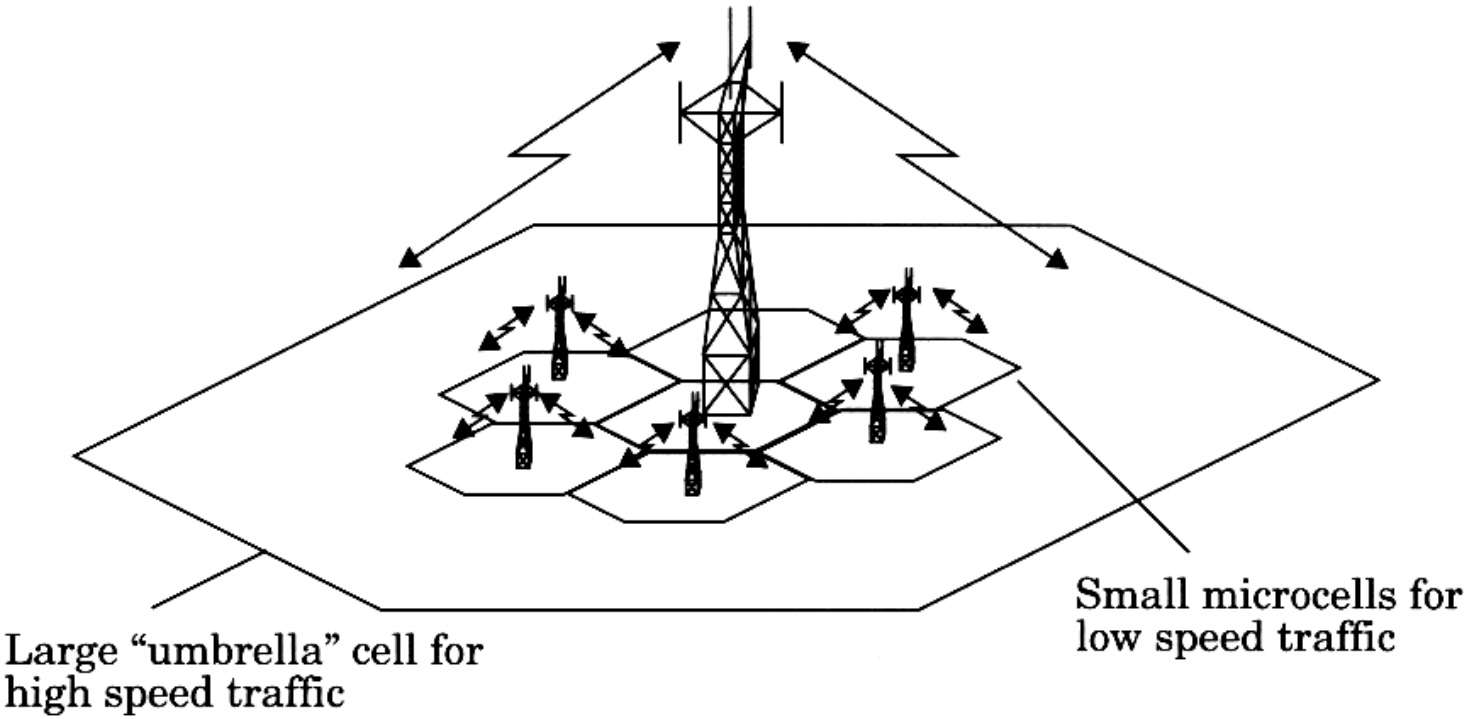


Figure 3.4 The umbrella cell approach.

小区拖尾

- 小区拖尾是由对基站发射强信号的步行用户产生的。在市区内当用户和基站从在一个视距（LOS）无线路径时，就会发生这种情况。由于用户已非常慢的速度离开基站，平均信号强度衰减不快，即使用户远离了小区的预定范围，基站接收到的信号仍可能高于切换门限，因此就不做切换。这会产生潜在的干扰和话务量管理问题。

干扰和系统容量

- 干扰的类型
- 蜂窝系统是自干扰系统
- FDMA系统的干扰类型
- 同频复用比例（Q）
- 信干比的计算

干扰的类型

- 同频干扰
- 邻频干扰
- 互调干扰
- 其他的外界干扰和噪声

其中同频干扰，邻频干扰和互调干扰的影响最大，且无法根除。

同频干扰

- 就蜂窝系统而言，最重要的干扰来自于系统本身，也就是同频干扰。同频干扰即由于频率的复用，系统中存在同频小区，它们相互之间存在着无法滤除的干扰。
- 同频干扰是不能简单地通过增加发射功率来克服的！
- 例如：

某BS发射功率的增加将意味着，它对别的采用相同载频工作的BS所负责小区上的MS会带来更为严重的同频干扰。

- 同频复用比例（Q）：

$Q = \frac{D}{R}$，R为小区半径，D为同频复用距离。

$$\because D = \sqrt{3N}R$$

$$\therefore Q = \sqrt{3N}$$

即，区群越大（N越大），同频复用比例（Q）越大；

区群越小（N越小），同频复用比例（Q）越小。

- 教材pp46表3.1

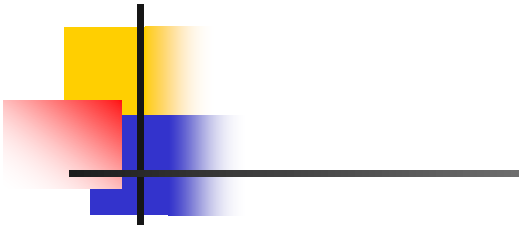
	Cluster Size (N)	Co-channel Reuse Ratio (Q)
$i = 1, j = 1$	3	3
$i = 1, j = 2$	7	4.58
$i = 2, j = 2$	12	6
$i = 1, j = 3$	13	6.24

Cluster size： 区群大小

Co_channel Reuse Ratio： 同频复用比例

- 例：某FDMA／FDD蜂窝系统，共有21对双工频道，考虑所有信道在区群内均匀分配，小区半径R一定的情况下，以下两种区群配置，D分别为多少？Q呢？哪个具有更大的容量？（假设全部信道均被用于用户通话，且两种情况均可以保证用户正常通信——同频干扰的影响可以忍受）。

  1）N＝3；2）N＝7。（参前例！）



［解］

1）N＝3，D＝3R，Q＝3；每个小区分配7对信道（频道）。

2）N＝7，D＝4.58R，Q＝4.58；每个小区分配3对信道（频道）。

由于系统服务区域是给定的，小区覆盖面积一定（R一定）时，覆盖整个服务区域所需的总小区数就是一定的，则N＝3时可用信道更多，系统容量更大。

重要结论：对数距离路径损耗模型

- 由**对数距离路径损耗模型**可知同频干扰随着同频复用距离（或同频复用比例）的增大而减小，反之亦然。

  假设接收机距离发射机的距离为*d*，根据无线电传播的对数距离路径损耗模型，接收功率P_r与发射功率P_t之间的关系为

$$P_r \propto P_t d^{-n}$$

区群大小对蜂窝系统的影响

区群大小*N*	同频复用距离*D*	同频复用比例*Q*	同频干扰	系统容量
				
				

- 蜂窝系统要在控制干扰水平的前提下，尽可能地采用小的区群，以获得更大的系统容量。

信干比及其计算

- **信干比**（**S**ignal-to-**I**nterference **R**atio）指的是在蜂窝系统特定接收机处**有用信号功率和同频干扰功率的比值**。常简记作**S / I**或**SIR**。
- 信干比的估算

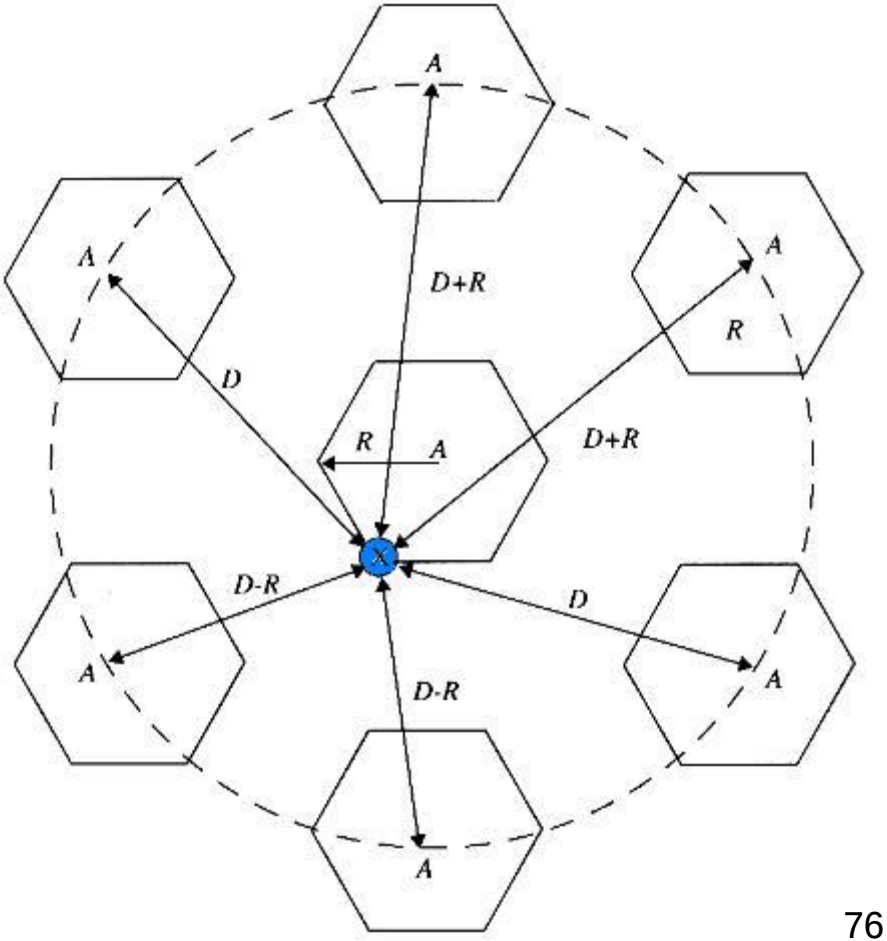
  下面来进行前向链路的**最差**信干比估算。现来进行一些假定：
  - 所有基站均位于小区中心且发射功率相同，设为$\mathbf{P_t}$；
  - 所有小区半径都相同，并等于R。

右图显示了第一层同频小区基站对位于中心小区边缘的移动台（蓝色圆圈所示）所造成的前向干扰。

最差情形是指：

1）有用信号最弱（但足以维持通信）；

2）各同频干扰同时存在。



假设同频道小区数为：i_0

则第i个同频小区产生的干扰为：I_i

信噪比为：

$$\frac{S}{I}=\frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i}$$

距离发射天线d处的接收到的平均信号功率为：

$$P_r = P_0(\frac{d}{d_0})^{-n}$$

或：$$P_r(\text{dBm}) = P_0(\text{dBm}) - 10\log(\frac{d}{d_0})$$

其中，P_0是靠近参考点出的接收功率，该点与发射天线有一个较小的距离d_0，n是路径衰减指数，可取n=4。

- 设所有基站的发射功率都相同，移动台据当前小区基站的距离为d，距第i个同频小区的距离为d_i，则：

$$\frac{S}{I}=\frac{d^{-n}}{\sum_{i=1}^{i_0} d_i^{-n}}$$

较粗略的估算

- 认为各第一层同频基站距受干扰移动台的距离都近似地等于同频复用距离D，忽略其他各层同频基站（离受干扰移动台足够远）的影响，则i_0=6且移动台位于小区边界，即移动台与当前小区的距离为小区半径R，这时我们可以得到最差情况下的信干比为：

$$\frac{S}{I}=\frac{R^{-n}}{i_0\times D^{-n}}=\frac{1}{6}\left(\frac{D}{R}\right)^n=\frac{1}{6}Q^n=\frac{1}{6}\left(\sqrt{3N}\right)^n$$

- 若取n=4，则有：

$$\frac{S}{I}=\frac{1}{6}\left(\sqrt{3N}\right)^4=\frac{3}{2}N^2$$

用分贝值（dB）表示的信干比等于：

$$\frac{S}{I}(\mathrm{dB}) = 10\lg\frac{S}{I} = 1.76 + 20\lg N$$

对于AMPS系统，S/I应大于等于18dB，所以结合上式，有：

$$N \geq 6.49$$

初步结论

- 就**AMPS**系统来说，要保证获得用户可接受的通信质量，**区群大小（N）**至少应等于**7**，即该系统应采用**7**小区构成的区群。

较精确的估算

- 实际上，第一层同频基站距受干扰移动台的距离是存在差异的。对于$N=7$的情况，考虑到这种差异，我们可以近似地认为各有两个基站距受干扰移动台的距离分别为***D+R、D、D－R***，从而有：

$$\frac{S}{I}=\frac{R^{-4}}{2(D-R)^{-4}+2D^{-4}+2(D+R)^{-4}}$$

（续前页）

即，

$$\frac{S}{I}=\frac{1}{2(Q-1)^{-4}+2Q^{-4}+2(Q+1)^{-4}}$$

N＝7时，Q＝4.58，代入上式，得到：

$$\frac{S}{I}=53.24 \quad \text{或} \quad \frac{S}{I}(dB)=17.26dB$$

对于N＝7的情况，我们可以得到如右图所示的几个不同的计算（或估算）结果。

计算的精确程度	最差信干比（dB）
粗略估算	**18.66**
较精确的估算	**17.26**
精确的计算结果	**17.8**

讨论

这些结果表明，就**AMPS**而言，采用**N＝7**的区群配置，在最差的情况下，信干比会低于系统所要求的**18dB**。也就是说，实际上存在发生信干比不满足要求的概率（尽管概率很低）。那么，一个**AMPS**系统的运营商就面临这样的选择——是提高**N**值来确保时时处处满足**18dB**要求呢？还是保持**N＝7**不变，确保更大的用户容量？

例子（课本上pp48例3.2）

- 为了保证蜂窝系统的前向新道具有良好的性能，要求的信干比为15dB。求当路径衰减指数为（a）n=4、（b）n=3时，要获得最大容量需要多大的Q和N？假设第一层中有六个同频小区，并且他们与移动台之间的距离都相同。可用适当的近似。

解

- （a）n=4：

  首先，考虑七小区复用，此时：

$$Q = D/R = \sqrt{3N} = \sqrt{21} = 4.583$$

  信噪比为：

$$S/I = \frac{4.583^4}{6} = 75.3 = 18.66\text{dB}$$

  由于它大于所要求的最小信噪比，所以N=7可用。

- （b）n=3

  首先考虑7小区复用，此时同频复用因子同n=4的情况，信噪比为：

$$S/I=\frac{4.583^3}{6}=16.04=12.05\text{dB}$$

  由于它小于所要求的最小信噪比，所以要用一个更大的N。下一个可用的N值为9（i=3, j=0）。

- N=9时有：

$$Q = D / R = \sqrt{3N} = \sqrt{27} = 5.20$$

信噪比为：

$$S / I = \frac{5.20^3}{6} = 23.43 = 13.70\text{dB}$$

由于它小于所要求的最小信噪比，所以还要用一个更大的N。下一个可用的N值为12（i=j=2）。

- N=12时有：

$$Q = D/R = \sqrt{3N} = \sqrt{36} = 6$$

信噪比为：

$$S/I = \frac{6^3}{6} = 36 = 15.56\text{dB}$$

由于它大于所要求的最小信噪比，所以N=12可用。

#

功率控制

- 功率控制是减小各种系统干扰的有效手段。其基本思想是当移动台距离基站较近时，以较小的发射功率进行通信；反之，则以较大的发射功率进行通信。其优点有
  - 可以减小系统干扰，增大系统容量；
  - 减小移动台的功耗，增加其工作时间。
  - 在CDMA系统中，功率控制具有更加重要的作用。由于在CDMA系统中频率复用因子为1，所有的用户共享同一无线信道，因此远近效应成为影响系统性能的一个重要问题，而解决这一问题的途径就是精确的功率控制，使得每个移动用户所发送的信号都以相同的功率到达基站接收点。

功率控制的方法

- 常用的方法有开环功率控制和闭环功率控制。
  - 开环功率控制：基于移动台与基站的距离确定移动台的发射功率。其优点是控制速度快，但是精度较低，因为开环算法没有考虑传播环境对接收信号的影响。
  - 闭环功率控制：由基站根据接收到的移动台的信号的功率与设定的参考功率值进行比较，若小于参考值，则发送指令要求移动台增大发射功率；反之则减小发射功率。闭环功率控制能够对传播环境自适应，具有较高的精度，但是相应的控制速度较慢。

互调干扰

- 由于传输信道的非线性电路产生的新的组合频率的信号
- 例如，当两个或者多个不同频率的信号同时输入到非线性电路时会产生很多谐波和组合频率分量，这些信号的频率如果和有用信号的频率相同或接近，就会产生干扰。

互调干扰的产生机理（1）

非线性器件的输入输出一般表示为

$$i_c = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + a_3 u^3 + \ldots = \sum_{i=0}^{\infty} a_i u^i$$

假设有两个信号同时作用于该非线性器件，即

$$u = A\cos\omega_A t + B\cos\omega_B t$$

则失真项为：

$$\sum_{n=2}^{\infty} (A\cos\omega_A t + B\cos\omega_B t)^n$$

互调干扰的产生机理（2）

- N=2项展开后为：

$$(A\cos\omega_A t)^2+(B\cos\omega_B t)^2+2AB\cos\omega_A t\cos\omega_B t$$

$$(A\cos\omega_A t)^2=1+1/2\,A^2\cos 2\omega_A t$$

$$2AB\cos\omega_A t\cos\omega_B t$$

$$=AB[\cos(\omega_A t+\omega_B t)+\cos(\omega_A t-\omega_B t)]$$

由于 $\omega_A+\omega_B$ 和 $\omega_A-\omega_B$ 与 ω_A 和 ω_B 相差都比较大，因此不易产生干扰。

互调干扰的产生机理（3）

- N=3项展开后为：

$$(X+Y)^3 = X^3 + 3X^2Y + 3XY^2 + Y^3$$

其中立方项产生的是$3\omega_A$和$3\omega_B$，也不易产生干扰。而平方相中产生的有$2\omega_A - \omega_B$和$\omega_A - 2\omega_B$，它们与ω_A和ω_B相近，故会产生干扰，即三阶互调干扰。

同样，n=5, 7, 9,...等项也会产生一些与和ω_A 和 ω_B 相近的组合频率，称为5阶，7阶互调干扰。但由于他们幅度较小，一般忽略不计。

相容频道（无三阶互调干扰的频道组）

- 在一个通信系统中，为了避免三阶互调干扰，在分配频率时，应合理的选择频道集中的频率，使他们产生的互调频率不在所选的频率组中。
- 产生的三阶互调干扰频率为：

$$f_x = f_i + f_j - f_k, \text{或} f_x = 2f_i - f_k$$

其中f_i，f_j，f_k为所选频道组中的某个频率。相容频道即在该频道组中不存在一个等于f_x的频率。

- 通常为了方便，用序号表示频率：

  $f_0 + BC_n, (C = 1, 2, 3\cdots)$ B为频道间隔。

  则 三阶互调频率表示为：$C_x = C_i + C_j - C_k$

  设任意两个频道的序号差为：$d_{i,j} = C_i - C_j$

  则误三阶互调干扰的条件可以表示为：

$$d_{x,i} = d_{j.k}$$

可见，若所选频道组中任意两个频道的差值都不相同，则该频道组为相容频道组。

如何进一步提高容量

- 蜂窝系统基于频率复用原理，相对于之前的大区制系统大大提升了系统容量。但是随着无线服务需求的提高，分配给每个小区的信道数最终变得不足以支持所要达到的用户数，那么还可以从哪些角度出发进一步提升系统容量呢？实际上，**提升容量**最终都将被落实为**提升单位面积（如1平方公里）上的可用信道数目。**

关于“容量”

系统容量：通常对应为系统可提供的信道数。如：在单位面积上可提供的信道数（ch/km^2）。

用户容量：在给定信道数和满足一定服务质量的前提下，系统可服务的用户数目或者可提供的总话务量。如：在单位面积上的话务量（Erlang/km^2）。

一般地，单位面积上信道数越多，在规定的服务质量要求下，单位面积上可提供的总话务量越大。

中继（Trunking）理论简介

- 为了设计一个能在特定的服务等级上处理特定容量的用户服务的中继无线系统，需要懂得中继理论。中继理论实际上就是“交换课程”中讨论的话务量理论，其基本原理是19世纪末丹麦数学家爱尔兰提出的。它关注如下问题：在系统可提供的信道（既可以是有线电话的用户线又可以是蜂窝系统的无线信道）数确定的情况下，在用户共享信道的原则下，要达到特定的服务质量等级（Grade of Service）系统能够提供多少话务量（记作*A*，以Erlang为单位）。

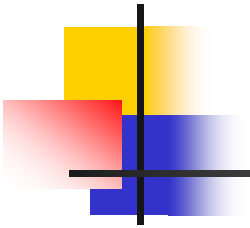
话务量强度的单位：爱尔兰

- 在话务量理论中使用以爱尔兰的名字为单位的量来表示话务量强度。一个爱尔兰（Erlang）表示一个完全被占用的信道的话务量强度，话务量强度即单位时间或单位分钟的呼叫时长。
- 例如，一个在一小时内被占用了30分钟的信道的话务量为0.5Erlang。
- **在掌握系统中用户个人话务量（设为A_u，以Erlang为单位）的统计规律的前提下，就可以计算系统的用户容量，即**

$$U = A/A_u \quad （个用户）$$

服务等级GOS

- 服务等级用来表示在中继系统最忙的时间用户进入系统的能力。忙时是一周、一月或一年内顾客需求最大的时候。在具有特定数量的可用信道的系统中，通过定义希望用户能够获得信道从而接入系统的概率，可以把服务等级作为某个中继无线系统的预定性能基准。**无线网络设计者的工作就是就是估算符合规定的GOS所需的最大通信容量和分配适当数目的信道。**
- GOS通常定义为呼叫阻塞的概率，或是呼叫延迟大于某一特定排队时间的概率。



按出现阻塞时对待呼叫的不同处理方式，中继理论针对以下两种情形给出了相应的结果：

（1）对阻塞呼叫予以清除；

（2）对阻塞呼叫加以延迟。

前者，一旦有呼叫被阻塞（即系统无法提供出空闲信道），系统将“清除”该呼叫 而不做任何

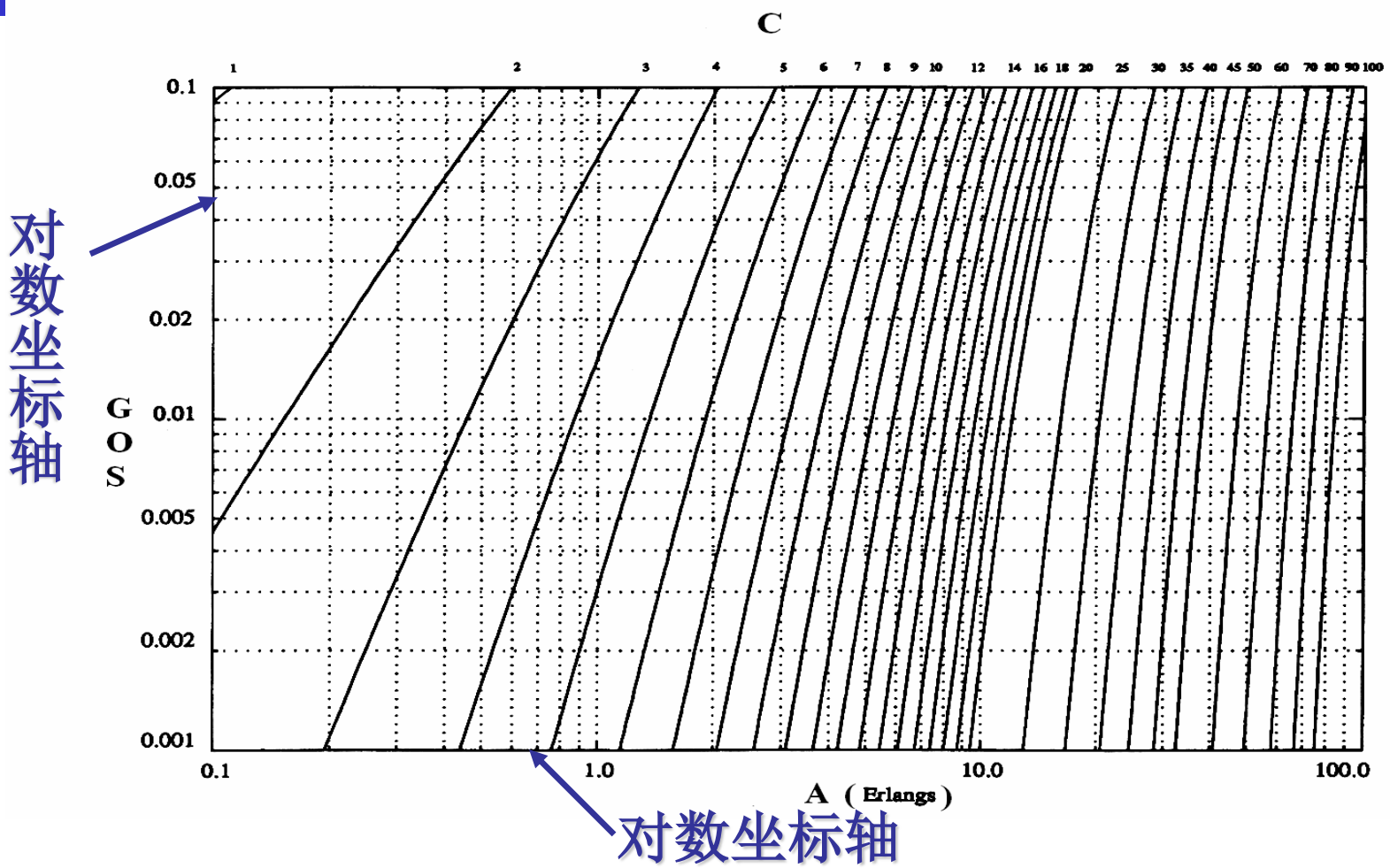
处理；后者在有呼叫被阻塞的情况下，系统将对阻塞呼叫进行排队，呼叫请求可能被延迟到有空闲信道为止。

Erlang B公式

- 在用户发起呼叫的概率服从泊松分布和用户数量为无限大的条件下，“对阻塞呼叫予以清除”的呼叫阻塞概率的计算公式：

$$Pr[\text{阻塞}] = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^{c} \frac{A^k}{k!}} = GOS$$

- 其中，C为信道数，A为提供的总话务量，GOS等于阻塞概率，也称作呼损率。

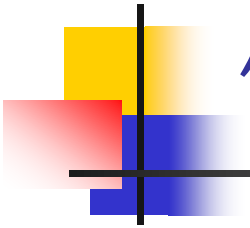

C
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
12
14
16
18
20
25
30
35
40
45
50
60
70
80
90
100
0.1
0.05
0.02
0.01
0.005
0.002
0.001
GOS
0.1
1.0
10.0
100.0
A (Erlangs)
对数坐标轴
对数坐标轴

Erlang B表格（1）

GOS	1%		2%		5%		10%		20%	
C	A	η(%)	A	η(%)	A	η(%)	A	η(%)	A	η(%)
1	0.0101	1.0	0.020	2.0	0.053	5.0	0.111	10.0	0.25	20.0
2	0.1536	7.6	0.224	11.0	0.38	18.1	0.595	26.8	1.00	40.0
3	0.456	15.0	0.602	19.7	0.899	28.5	1.271	38.1	1.930	51.47
4	0.869	21.5	1.092	26.7	1.525	36.2	2.045	46.0	2.945	53.9
5	1.360	26.9	1.657	32.5	2.219	42.2	2.881	51.9	4.010	64.16
6	1.909	31.5	2.326	38.3	2.960	46.9	3.758	56.4	5.109	68.12
7	2.500	35.4	2.950	41.3	3.738	50.7	4.666	60.0	6.230	71.2
8	3.128	38.7	3.649	44.7	4.534	53.9	5.597	63.0	7.369	73.69
9	3.783	41.6	4.454	48.5	5.370	56.7	6.546	65.5	8.522	75.75
10	4.461	44.2	5.092	49.9	6.216	59.1	7.511	67.6	9.685	77.48

Erlang B表格（2）

GOS	1%		2%		5%		10%		20%	
C	A	η(%)	A	η(%)	A	η(%)	A	η(%)	A	η(%)
11	5.160	46.4	5.825	51.9	7.076	61.1	8.487	69.4	10.85	78.96
12	5.876	48.5	6.587	53.8	7.950	62.9	9.474	71.1	12.036	80.24
13	6.607	50.3	7.401	55.8	8.835	64.4	10.470	72.5	13.222	81.37
14	7.352	52.0	8.200	57.4	9.730	66.0	11.474	73.8	14.413	82.36
15	8.108	53.5	9.0009	58.9	10.623	67.2	12.484	74.9	15.608	83.24
16	8.875	54.9	9.828	60.1	11.544	68.5	13.500	75.9	16.807	84.03
17	9.652	56.2	10.656	61.4	12.461	69.6	14.422	76.9	18.010	84.75
18	10.437	57.4	11.491	62.6	13.385	70.6	15.548	77.7	12.216	85.40
19	11.230	58.9	12.333	63.6	14.315	71.5	16.579	78.5	20.424	86.00
20	12.031	59.5	13.181	64.6	15.249	72.4	17.163	79.3	21.635	86.54



例

- **Erlang B系统，GOS＝1%，C＝10。**
  - **(a) 试计算该系统能够支持的话务量；若每个用户平均产生0.1Erlang的话务量，则该系统能够支持多少用户？**
  - **(b) 若将上述系统划分为两个各有C=5个信道的系统，则这两个系统所能够支持的总的话务量和用户数是多少？其他的条件不变。**

解

- (a) 查表得到：A＝4.461，所以

  U＝A / A_u＝ 4.461 / 0.1≈45个用户。

- (b) 查表得到：A＝1.360，所以

  U＝2*(A / A_u)＝2*(1.360 / 0.1)≈27个用户。

由Erlang B公式得到的结论

- GOS一定时，信道数越多，可以提供的总话务量就越大。对于特定系统，当单个用户的平均话务量一定时，就意味着系统可以支持的用户数越多。我们定义“中继效率”η：

$$\eta = \frac{A(1-GOS)}{C} \quad \text{(Erlangs/ch)}$$

通过上例的计算可以获知：将N个信道中继在一起所能提供的话务量和用户数要比将N个信道划分为多个信道组分别中继所能支持的话务量和用户数要多的多，也就是说将信道分组会造成中继效率的下降。因此，中继无线系统中的信道分配对整个系统容量有重要的影响。

回顾

- 从**提高容量的角度**出发，我们希望**N**越小（**Q**也越小，即同频小区的分布越密集）越好；从**减小干扰的角度**出发，我们希望**N**越大（**Q**也越大，即同频小区分布越稀疏）越好。

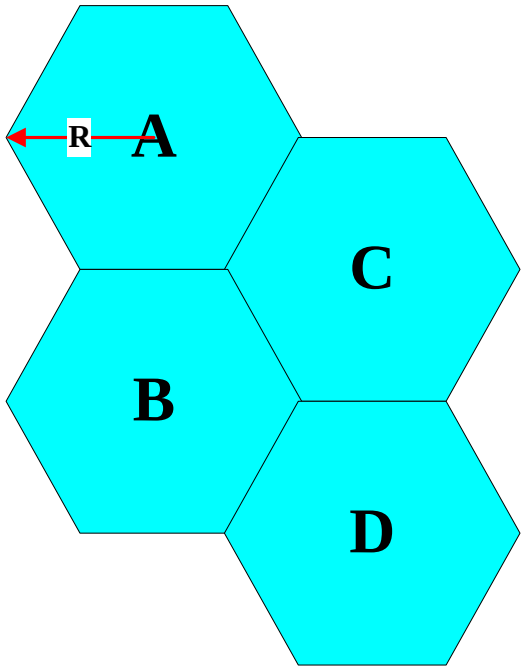
  所以，**蜂窝系统要在控制干扰水平的前提下，尽可能地采用小的区群**。如果小区半径**R**一定的话，小的区群就意味着小的同频复用距离**D**。另外，我们知道，**N**的取值实际上受制于系统所要求的信干比大小。

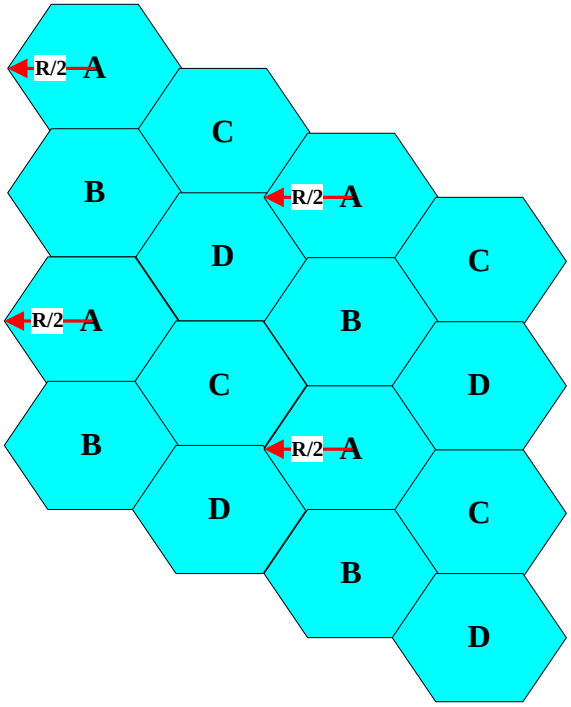
常用方法

- 减小小区半径（覆盖面积）而不改变频率复用方案——**小区分裂**；
- 小区半径不变的情况下，采取适当措施，在保证信干比水平前提下，尽可能缩小区群大小（**N**），以增加单个小区范围内的可用信道数——**划分扇区**；
- 新的分区微小区概念。

小区分裂

- 将原来的小区再划分成更小的小区，同时基站的发射功率也相应的减小。





小区分裂的实施

- 在某个有较大容量需求的区域上增设基站；
- 降低基站天线高度，减小基站发射功率，当小区半径减小为原来的一半时，基站的发射功率需要减小为原来的16分之一，即减少12dB；
- 保证在该区域上频率复用方案不变——N不变，信道分配方案不变。

小区分裂应用中的实际问题

- **信道分配**：实际中，并不是所有小区都同时分裂，要找到完全适合小区分裂的确切时间是很困难的，因此不同规模的小区将同时存在，在这种情况下，可以将旧小区中的信道分成两组，一组适应小的小区的复用需求，另一组适应大的小区的复用需求。两个信道组的大小取决于分裂的进程情况。
- **过区切换**：小区变得更小以后，移动台发生切换的情况会有所增加，从而增加了系统的切换负荷。为了同时兼顾高速移动用户和低速移动用户，普遍采用伞状小区的方法。

划分扇区

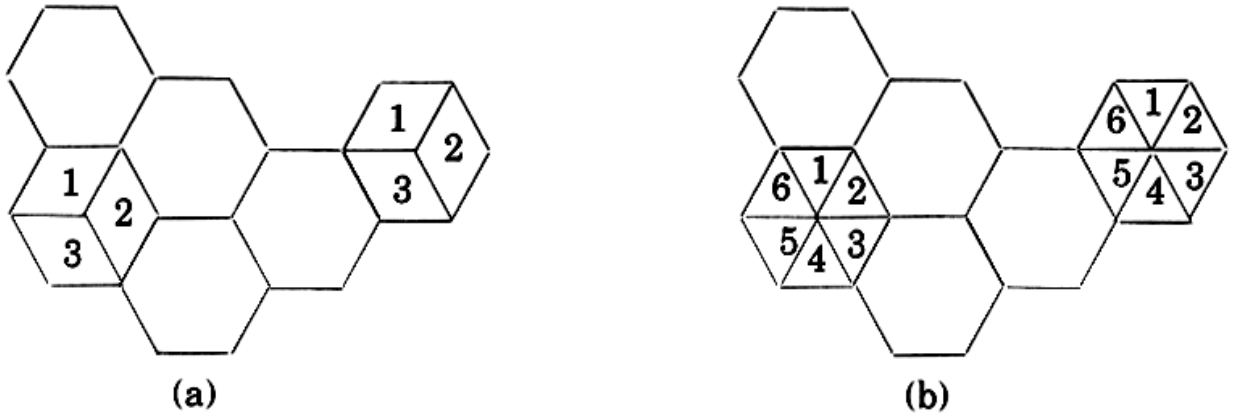
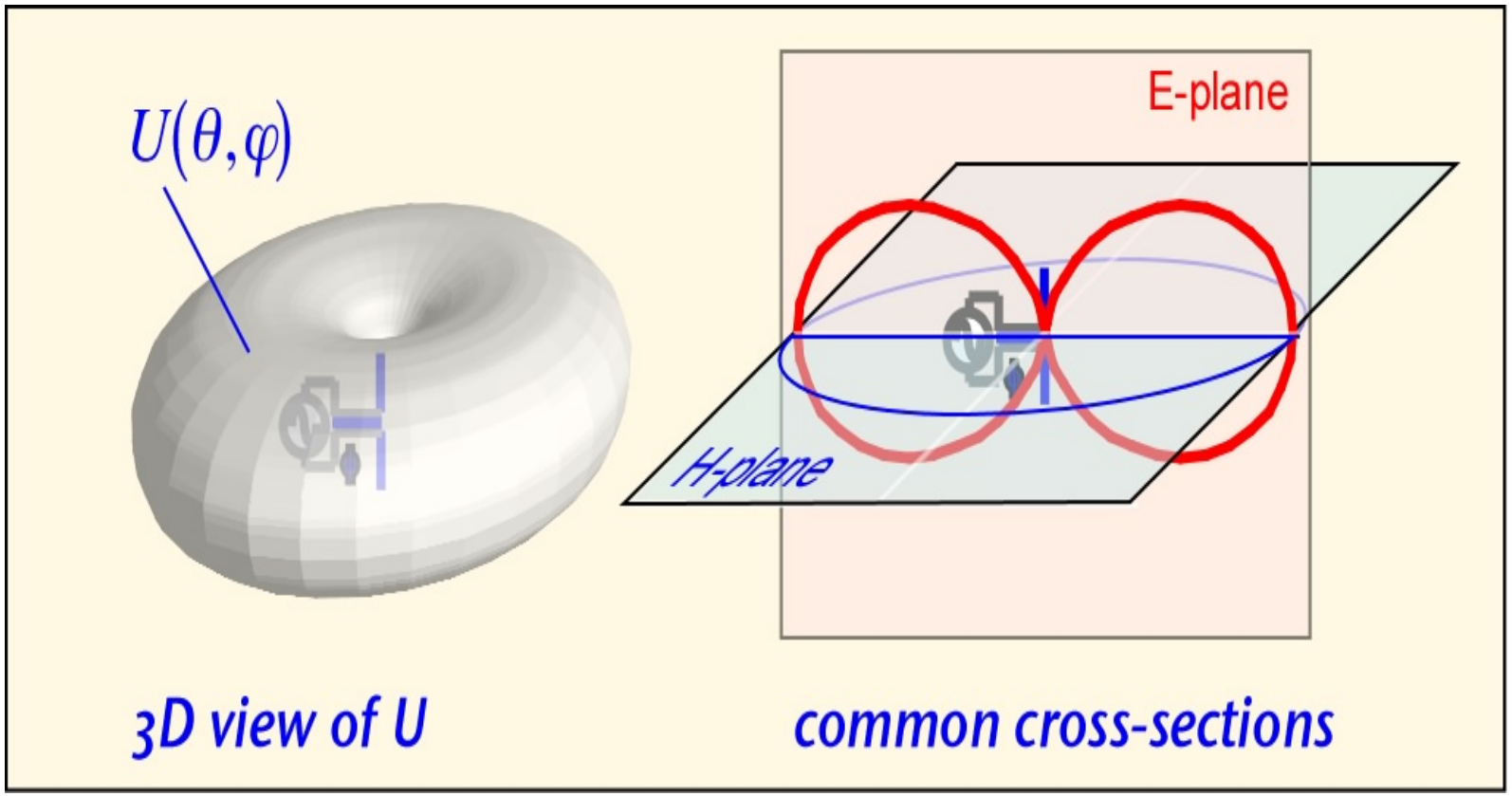
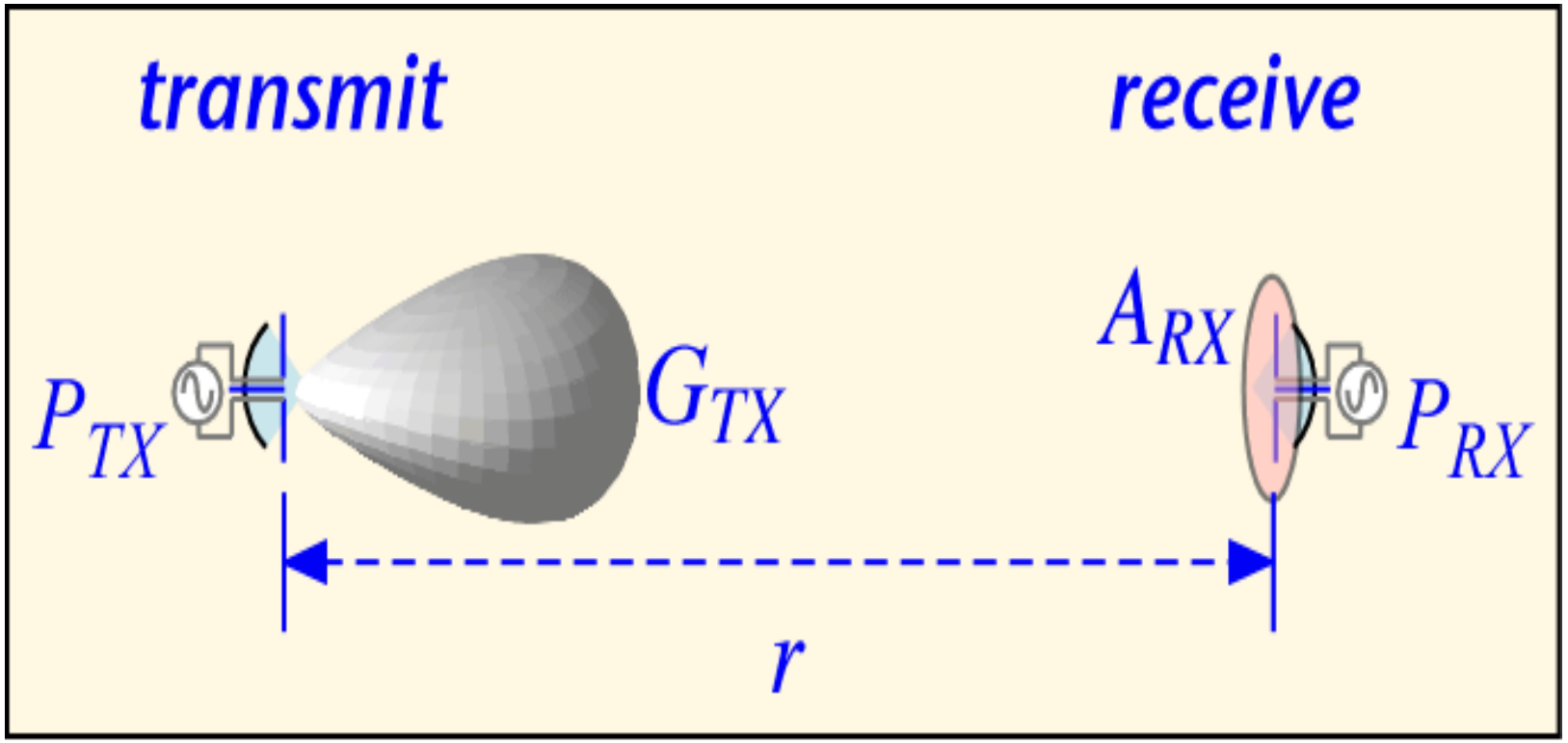


Figure 3.10 (a) 120° sectoring; (b) 60° sectoring.

全向天线方向图（立体）


$U(\theta,\varphi)$
E-plane
H-plane
3D view of U
common cross-sections

定向天线方向图（立体）



划分扇区的方式如何提高容量

- 基站采用多付（如3付）定向天线，分别来完成小区范围内某个方向的覆盖，并且将小区可用的频率资源平均分配，分别供各定向天线专用→每个小区只接收同频小区中的一部分小区的干扰，从而减小了同频干扰数目→提高了系统的信干比（这时的信干比要大于系统的信干比门限）。在仅需保证达到系统信干比门限的前提下，就可以采用更小的区群大小N，这样就增加了系统容量。

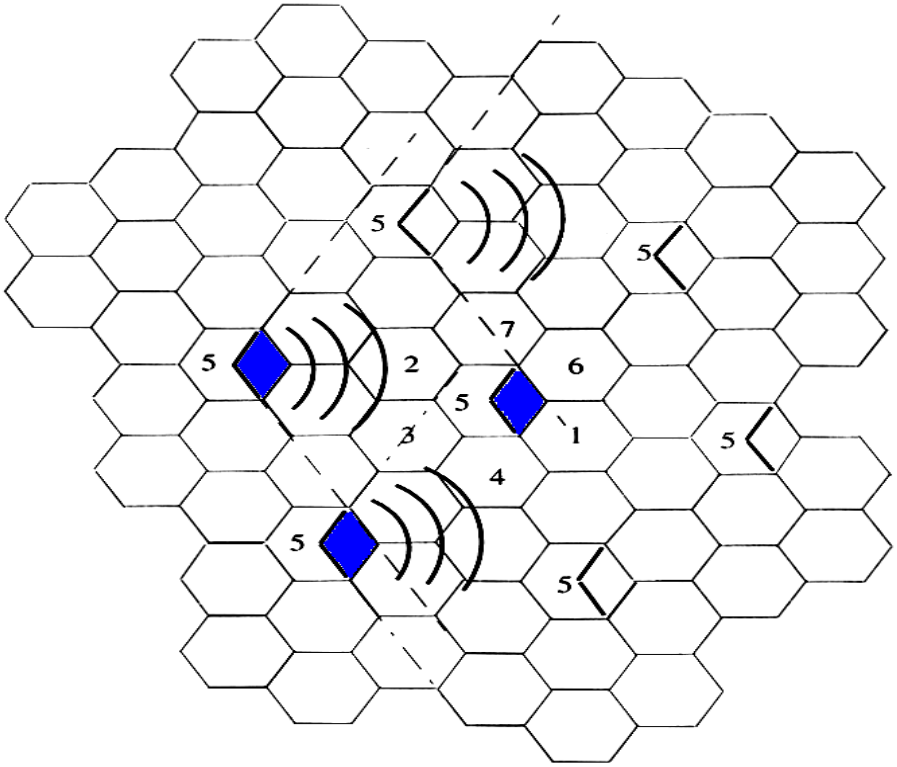


Figure 3.11 Illustration of how 120° sectoring reduces interference from co-channel cells. Out of the 6 co-channel cells in the first tier, only two of them interfere with the center cell. If omnidirectional antennas were used at each base station, all six co-channel cells would interfere with the center cell.

例

- 试计算采用120°扇区后，要满足18dB的信干比，可采用的区群大小（N）？

  ［解］做粗略的估算。

  1.未划分扇区时（BS使用全向天线）：

$$\frac{S}{I}=\frac{3}{2}N^2$$

2. 划分3扇区后，干扰减小为2个，则：

$$\frac{S}{I}=\frac{9}{2}N^2$$

$$\frac{S}{I}(dB)=6.53+20\lg N$$

所以，要满足18dB的信干比要求，N可以取的最小值为4。

划分扇区的缺点

- 增加了每个基站的天线数目；
- 由于基站的信道也要进行划分，从而降低了中继效率
- 减小了某一信道的覆盖范围，从而增加了切换次数。

分区微小区的概念

- 由三个微小区组成一个“三叶草”型小区，三个微小区与一个站点单独的基站控制器相连，并且共享无线设备。当移动台移动时由信号最强的微小区来服务。

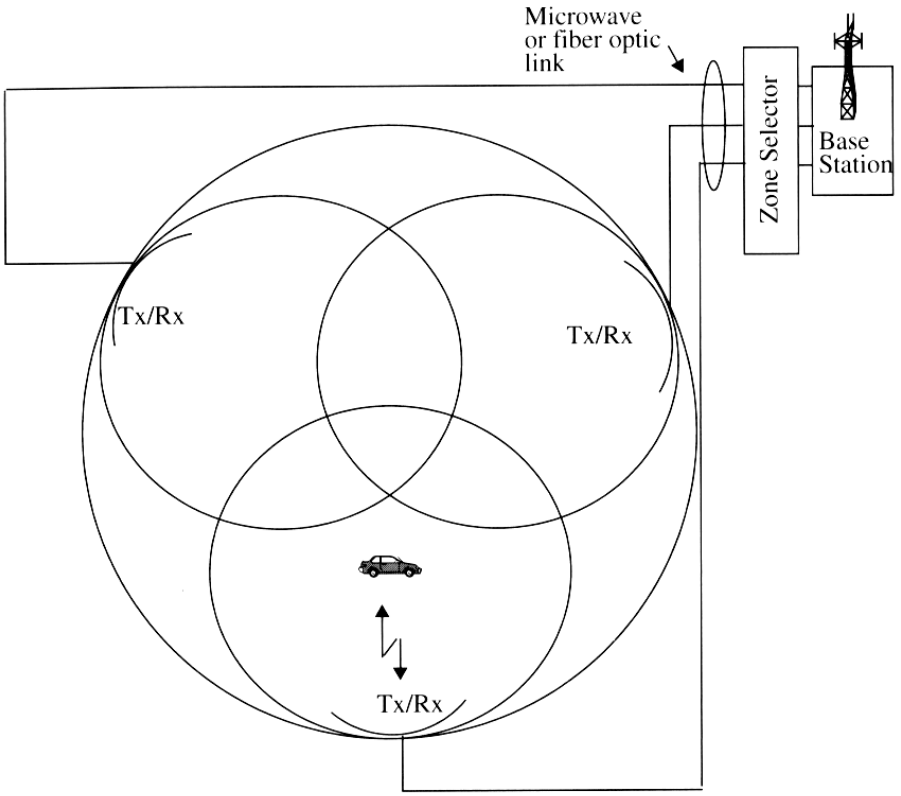
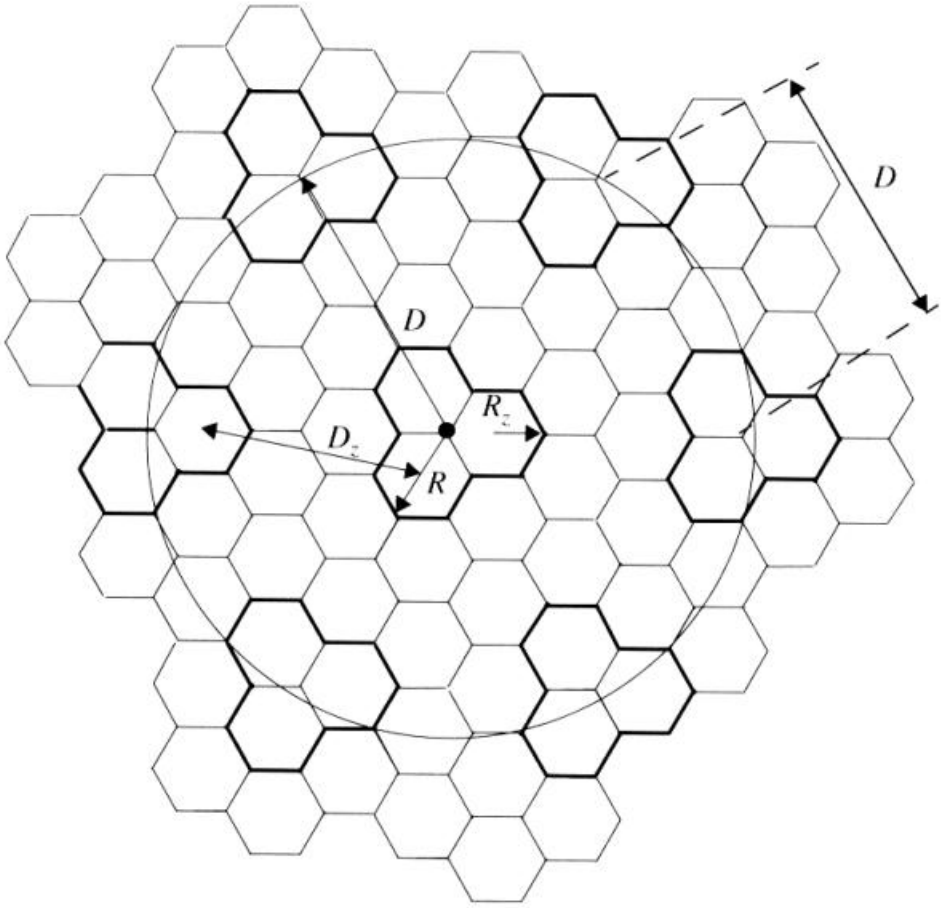


Figure 3.13 The microcell concept [adapted from [Lee91b] © IEEE].



D_Z / R_Z＝4.6，用来保证信干比，也就是保证话音质量；

D/R＝3，是小区同频复用距离，保证了每小区有足够多的信道。

分区微小区的优缺点

- 优点：
  - 基站的任意信道都可由基站分配给任一个微小区，这样移动台在一个小区的微小区之间移动时，可用的频道数不变，因此中继效率不变。
  - 由于移动台在一个小区的微小区之间移动时使用相同的信道，因此不需要MSC进行切换，只需要将信道切换给另一个分区微小区使用即可。因此对于某一信道而言，它只在移动台行驶的某一分区微小区使用，这样基站辐射被限制在局部，从而减小了干扰水平，并且减小了基站的发射功率，使同频干扰下降，N减小；
- 缺点：
  - 增加了基站控制器的复杂度；
  - 增加了基站的成本。