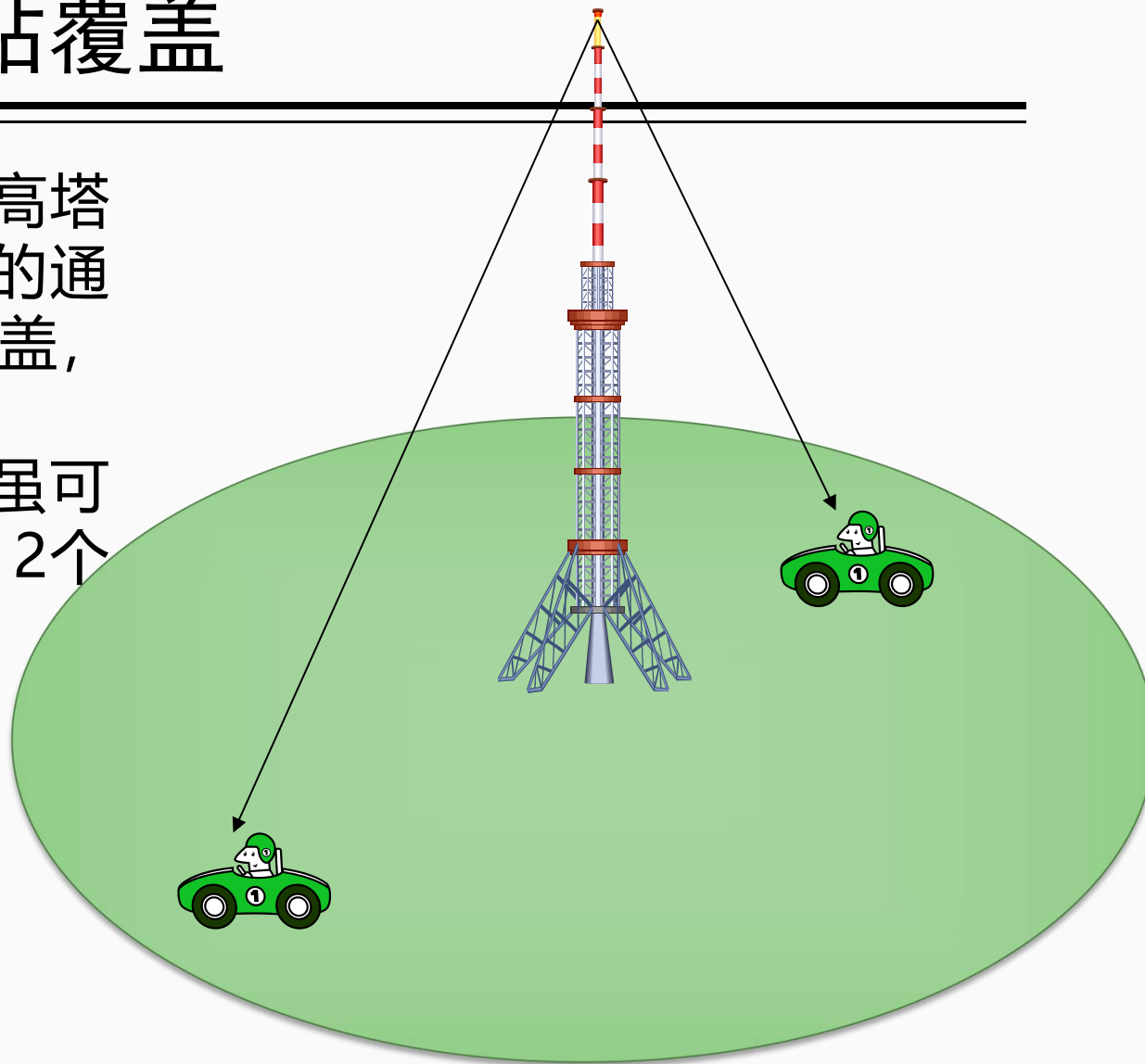

蜂窝网络

早期的移动通信系统：单基站覆盖

- 早期的移动通信设计思想：利用安装在高塔天线大功率发射的方法尽可能地覆盖大的通讯面积。这种方法确实可以实现大面积覆盖，但是它排除了频率再使用的可能性。
- 70年代Bell Lab在纽约的移动通信系统虽可覆盖上千平方英里的范围，但仅能提供12个通信业务信道。
- **单基站覆盖：大区制**
 - 覆盖面积大
 - 系统容量低
 - 业务通道少



频率复用

$$C = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Channel bandwidth}}}{BW} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{\overset{\substack{\uparrow \\ \text{Signal power}}}{S}}{\underset{\substack{\uparrow \\ \text{Noise power}}}{N}} \right) \text{ [bits per second]}$$

频率资源受限 \longrightarrow 有限频率资源的再利用?

频率资源重复利用带来的问题: 干扰!

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{\textcolor{red}{I} + N} \right)$$

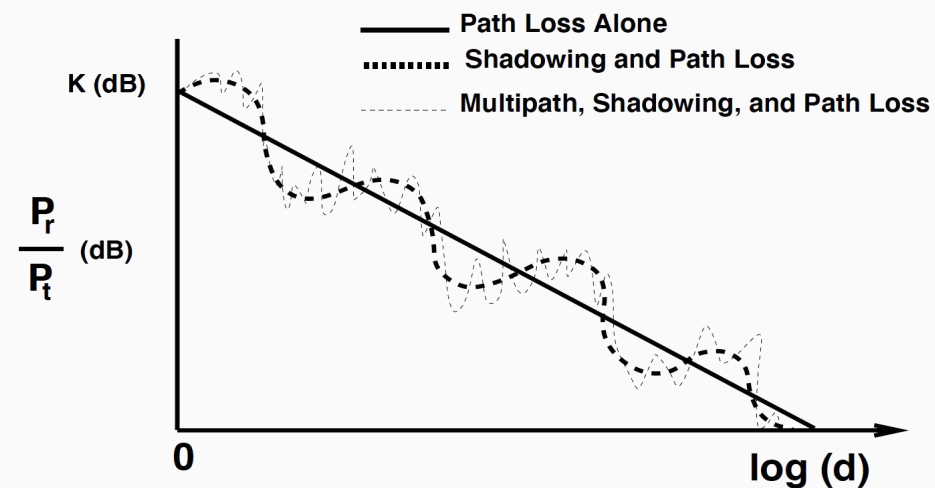


Figure 2.1: Path Loss, Shadowing and Multipath versus Distance.

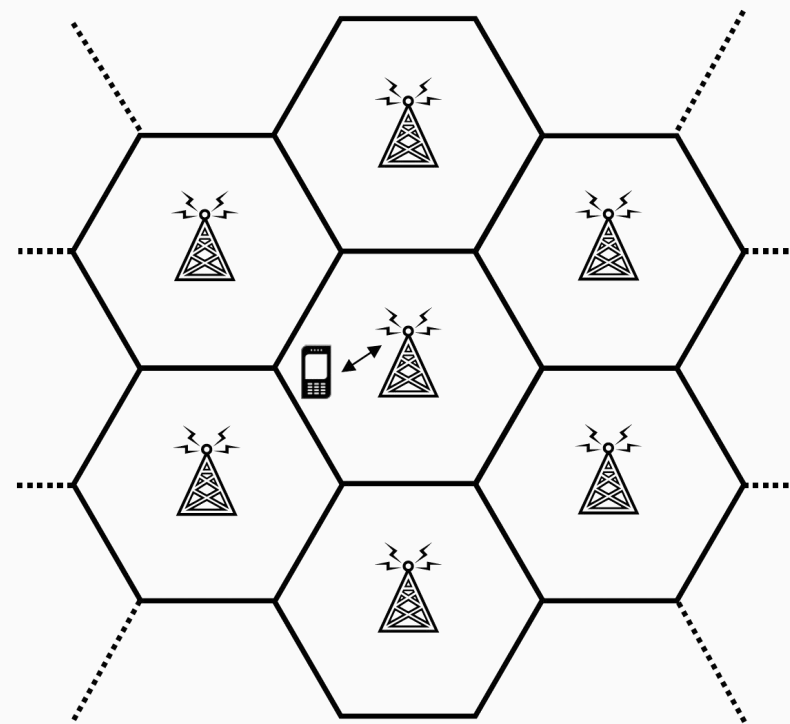
电磁波信号在空间中随着传输距离增加会快速衰减



空间频率复用

蜂窝通信系统

- 减小单个基站发射功率，多小区覆盖
- 不同小区之间频率复用
- 频率复用是蜂窝移动通信的基石
- 蜂窝系统
 - 单小区覆盖面积小
 - 网络系统容量高
 - 支持业务通道多
- 两个问题：
 - 如何划分小区区域？
 - 如何分配频率实现有效频率复用？



蜂窝小区：为何叫蜂窝？

- 空间上无缝可重排，无重叠覆盖

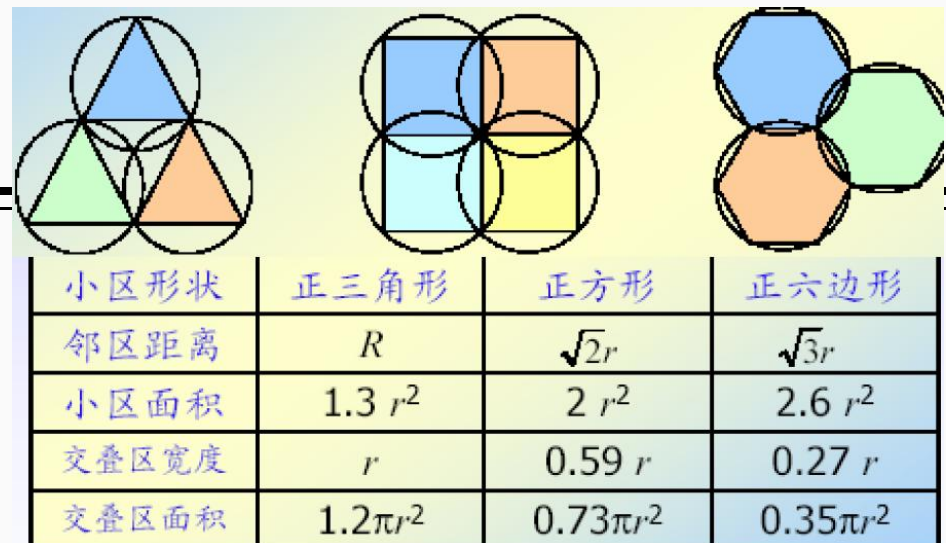
- 覆盖效率：接近圆形

- 天线辐射图决定了小区大致的形状
- 假定所有基站都采用中心激励的全向天线、相同的发射功率，理想传播环境，这时接收功率大于某个门限的区域构成一个圆形的小区。

- 蜂窝小区的形状：可重排实现无缝覆盖的图形中，六边形最接近圆形

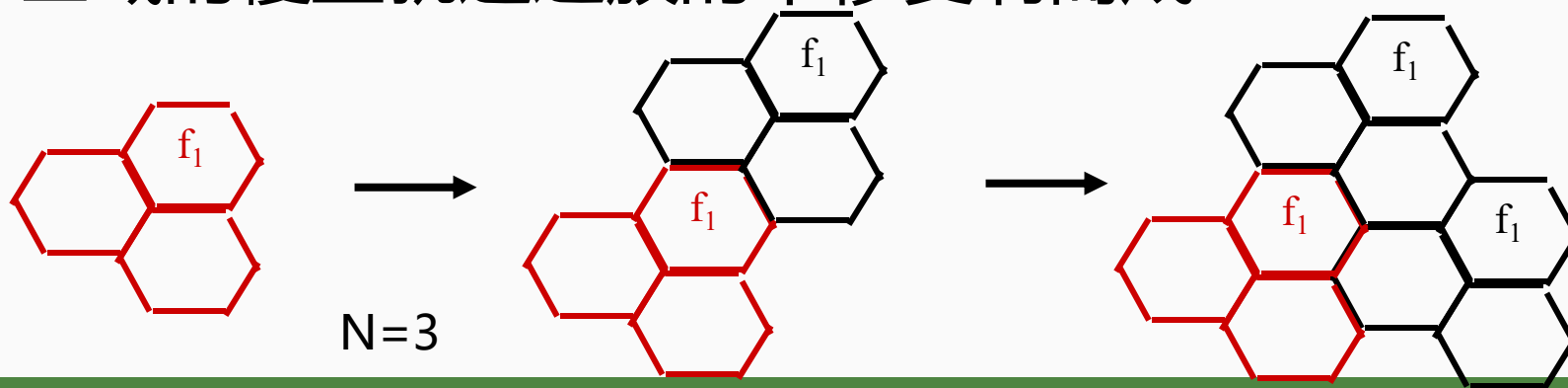
- 实际小区的划分

- 实际小区的形状是不规则的
- 通常允许将基站安置的位置与理论上的位置有1/4小区半径的偏差



干扰受控下的频率复用

- 同频小区的**干扰控制**是核心问题
 - 为减小同频小区同频干扰，需要加大同频小区的距离
 - 同频小区之间用其它频率的小区隔离
- 簇：共同使用全部可用频率的N个小区，簇尺寸N的典型值：1, 3, 4, 7, 19等
- 整个区域的覆盖就通过簇的平移复制而成



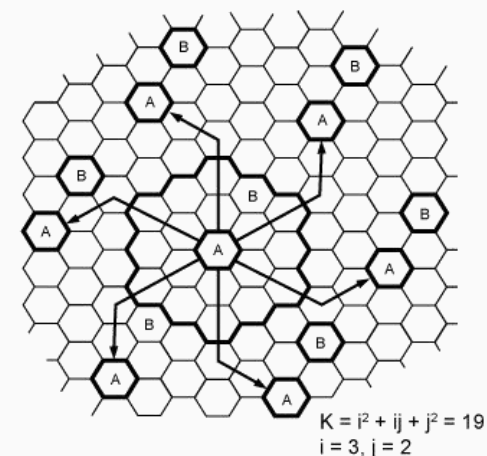
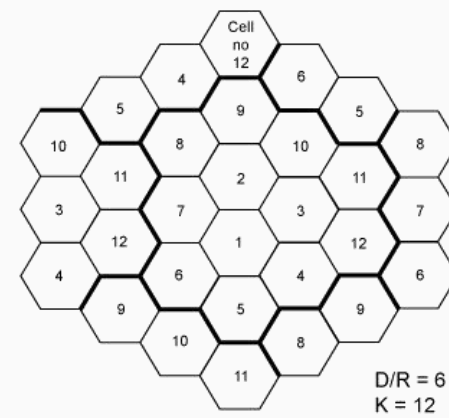
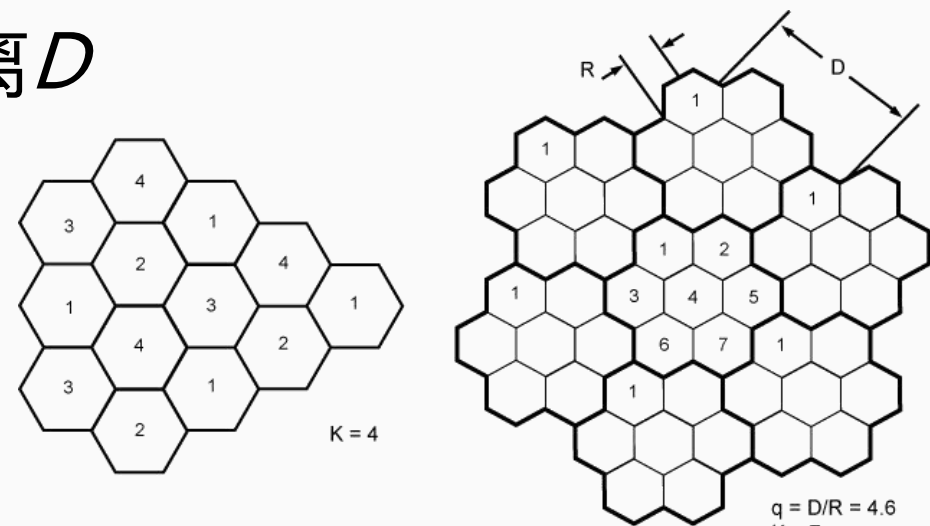
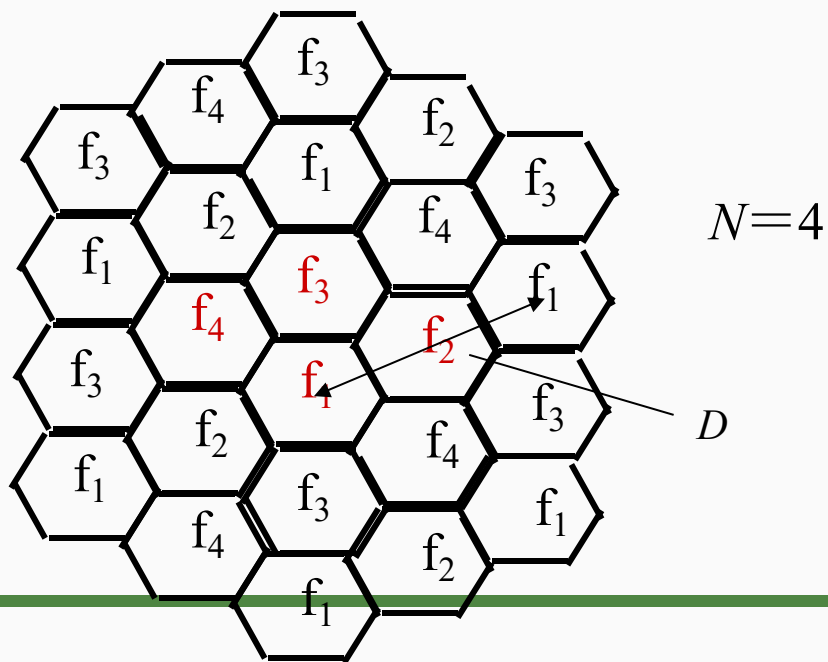
频率复用因子

- 不同簇之间使用相同频率的小区的最小距离 D 称为**频率再用距离**。

- 同频复用比例**

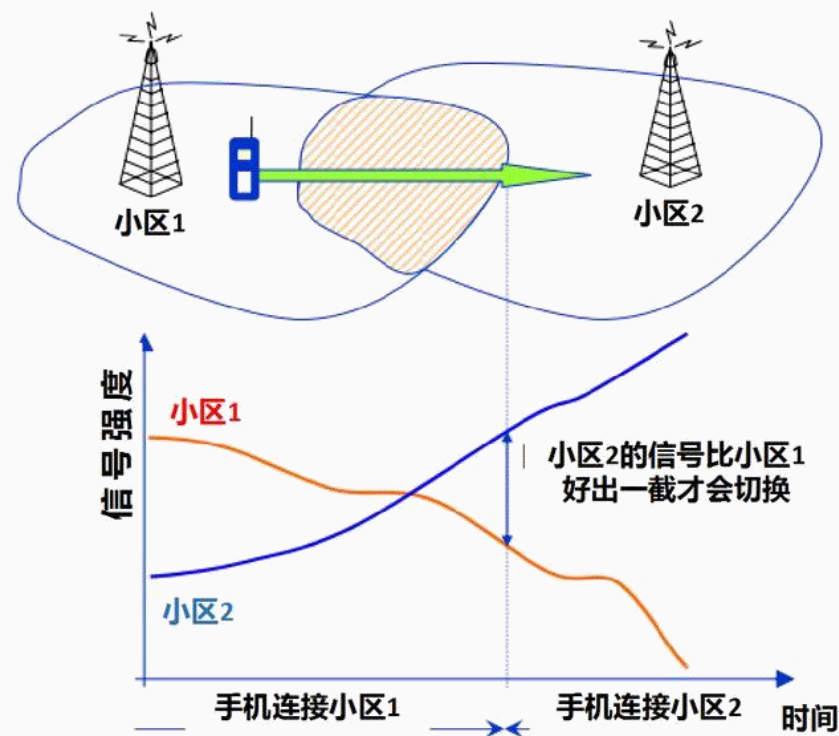
$$Q = D / R = \sqrt{3N}$$

R: 小区半径
D: 频率再用距离



小区切换

- 小区切换：在不中断通信的情况下，用户从A小区进入B小区时，自动将通信业务切换到B小区的信道上的过程。
- 小区间切换 & 小区内切换
- 设定某个略强于接收机可接受服务质量的最小可用信号作为**切换门限**，接收信号低于门限值则进行切换。
- **避免乒乓切换效应**：持续低于切换门限一段时间再进行切换

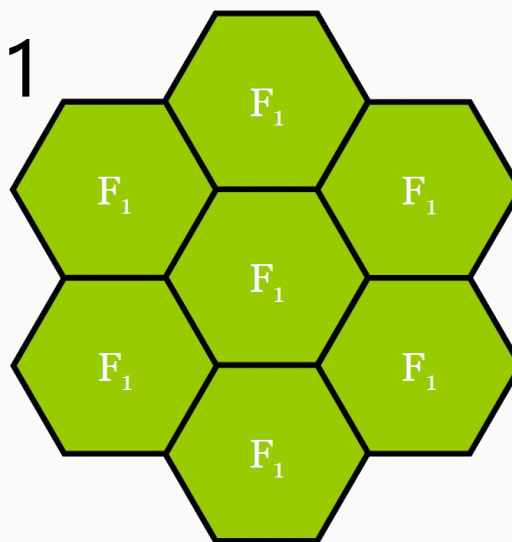


同频组网

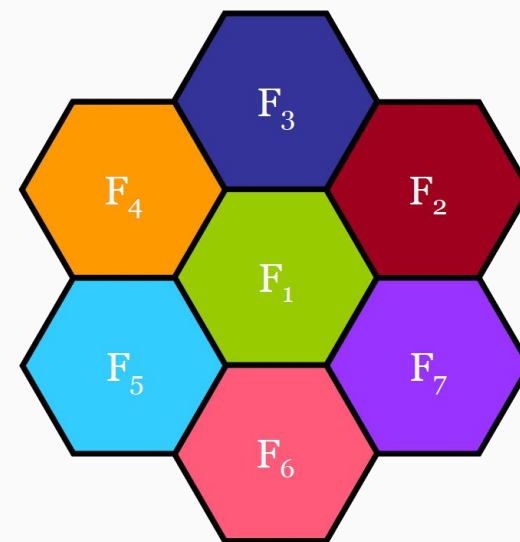
- 同频复用比例越小，小区频率复用程度越高，系统容量潜力越大

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

- 同频组网：蜂窝小区簇尺寸 $N=1$
- 3G：借助于CDMA
- 4G、5G：始终坚持同频组网

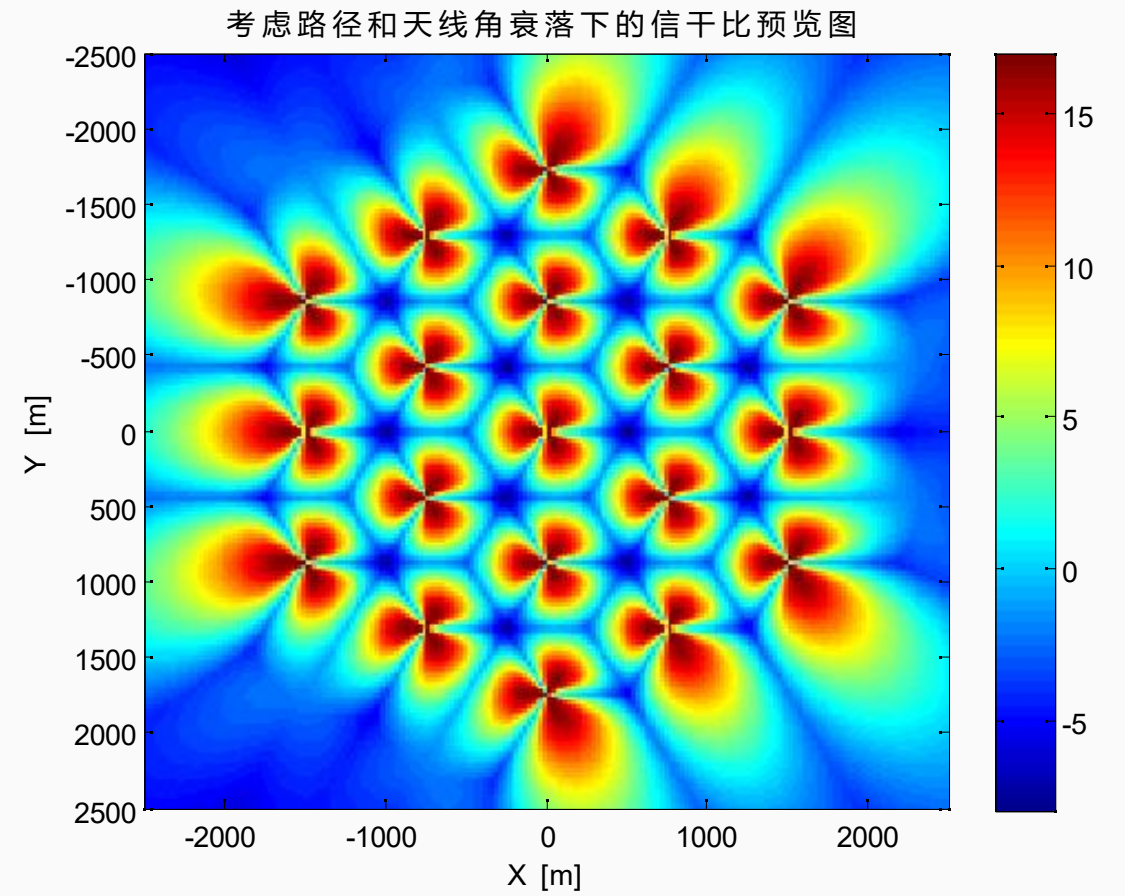
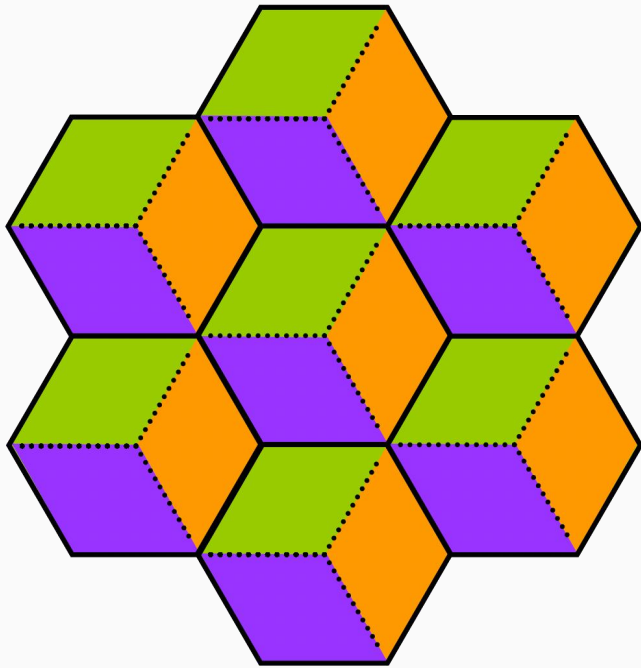


Frequency re-use = 1
- Higher spectral efficiency
- Higher interference for cell-edge users

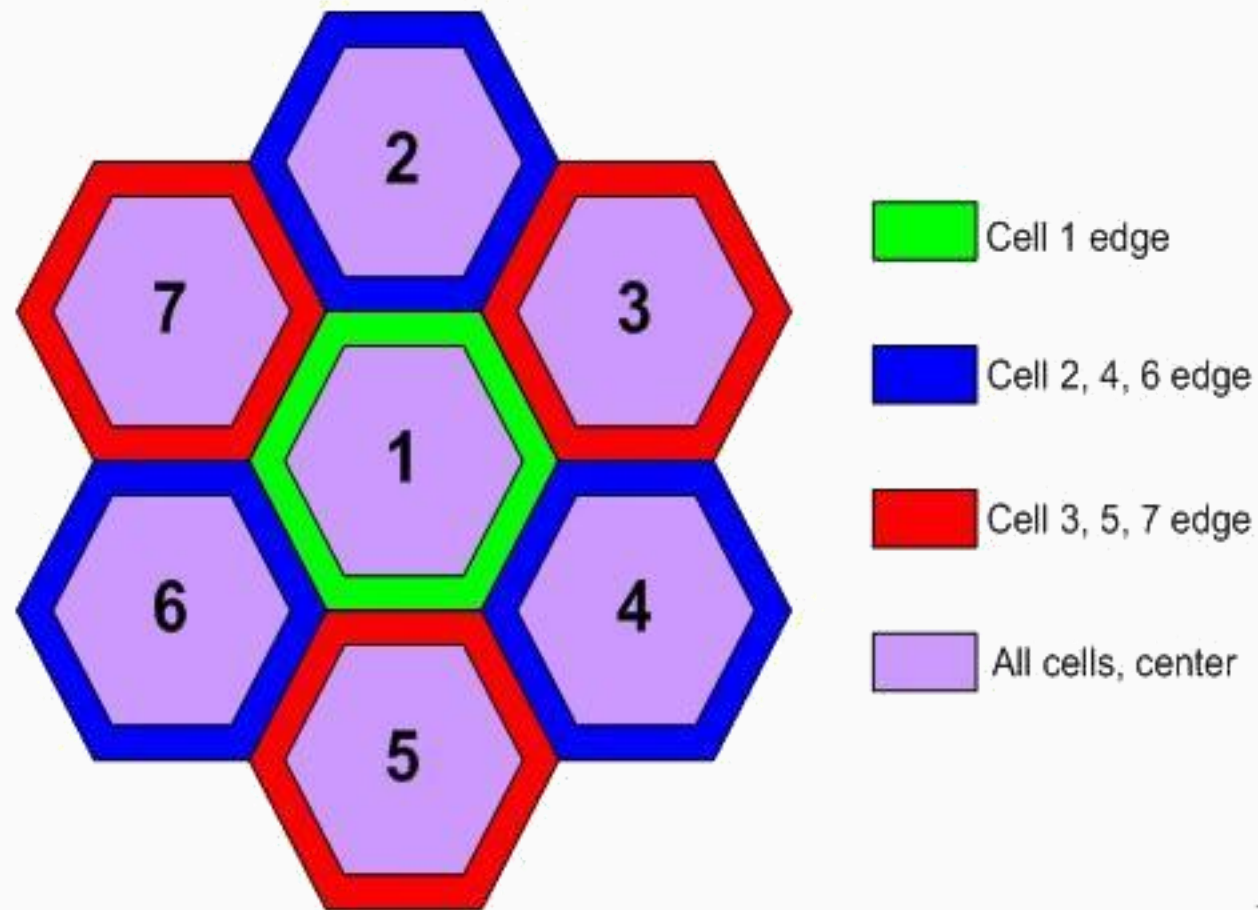


Frequency re-use = 7
- Lower interference for cell-edge users
- Lower spectral efficiency

扇形分区

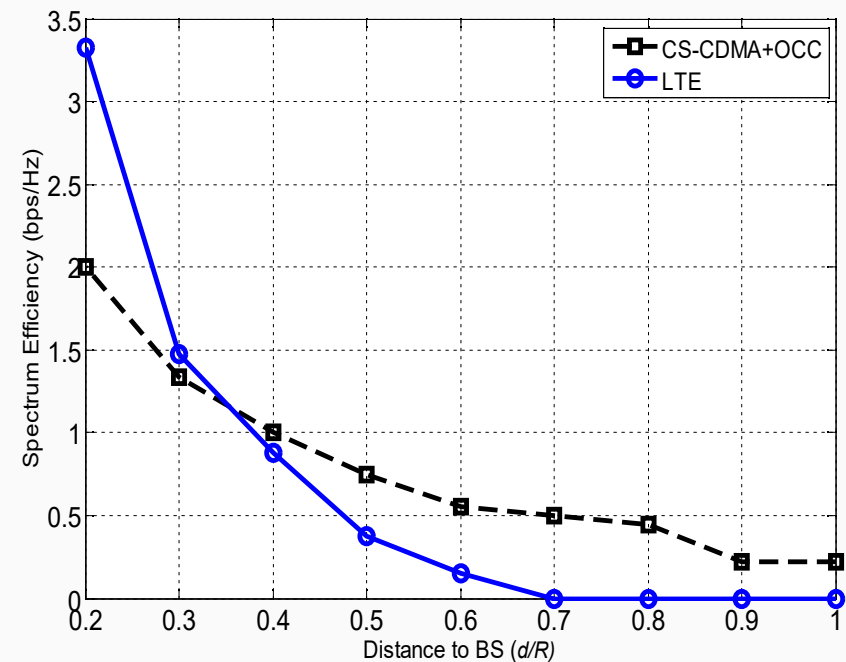
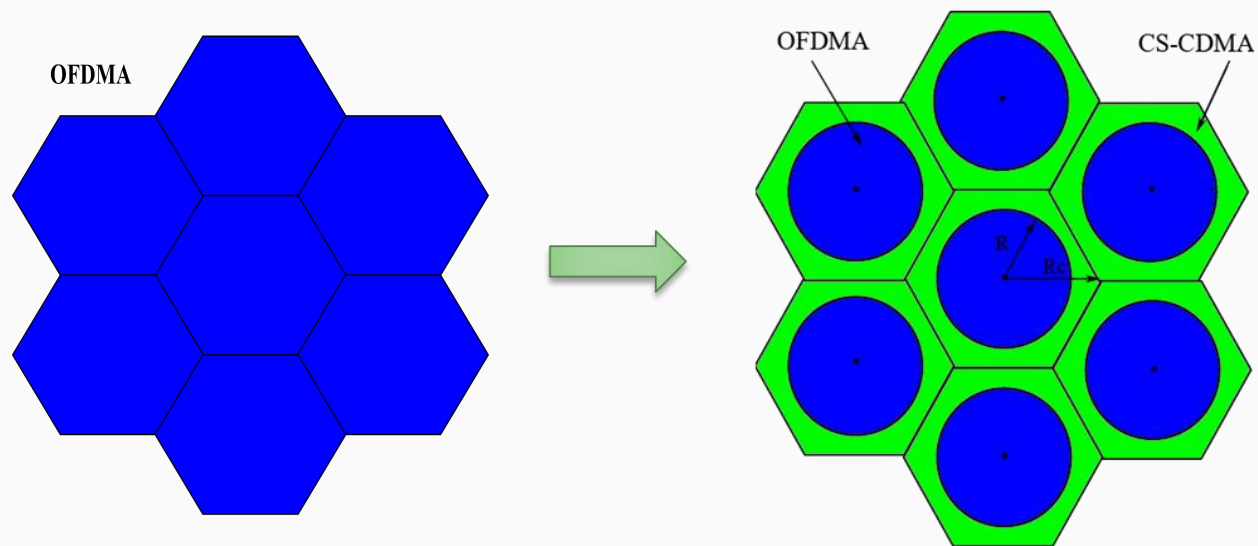


软频率复用（华为）



小区中心用户可以使用所有频率资源
小区边缘用户只能使用部分特定频率资源

HMA (北大)

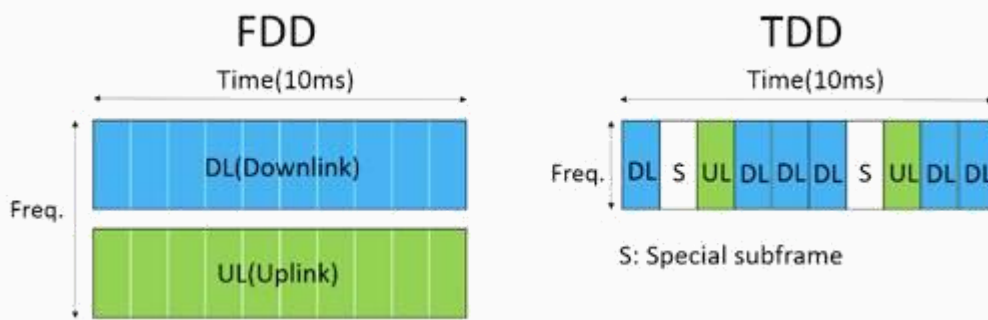


HMA (Hybrid Multiple Access), 是北大自主提出一种混合多址接入技术:

- 在小区中心应用OFDMA服务用户
- 在小区边缘则应用抗干扰性能较好的CDMA来服务用户, 从而有效的解决了同频组网中相邻小区间干扰较大的问题

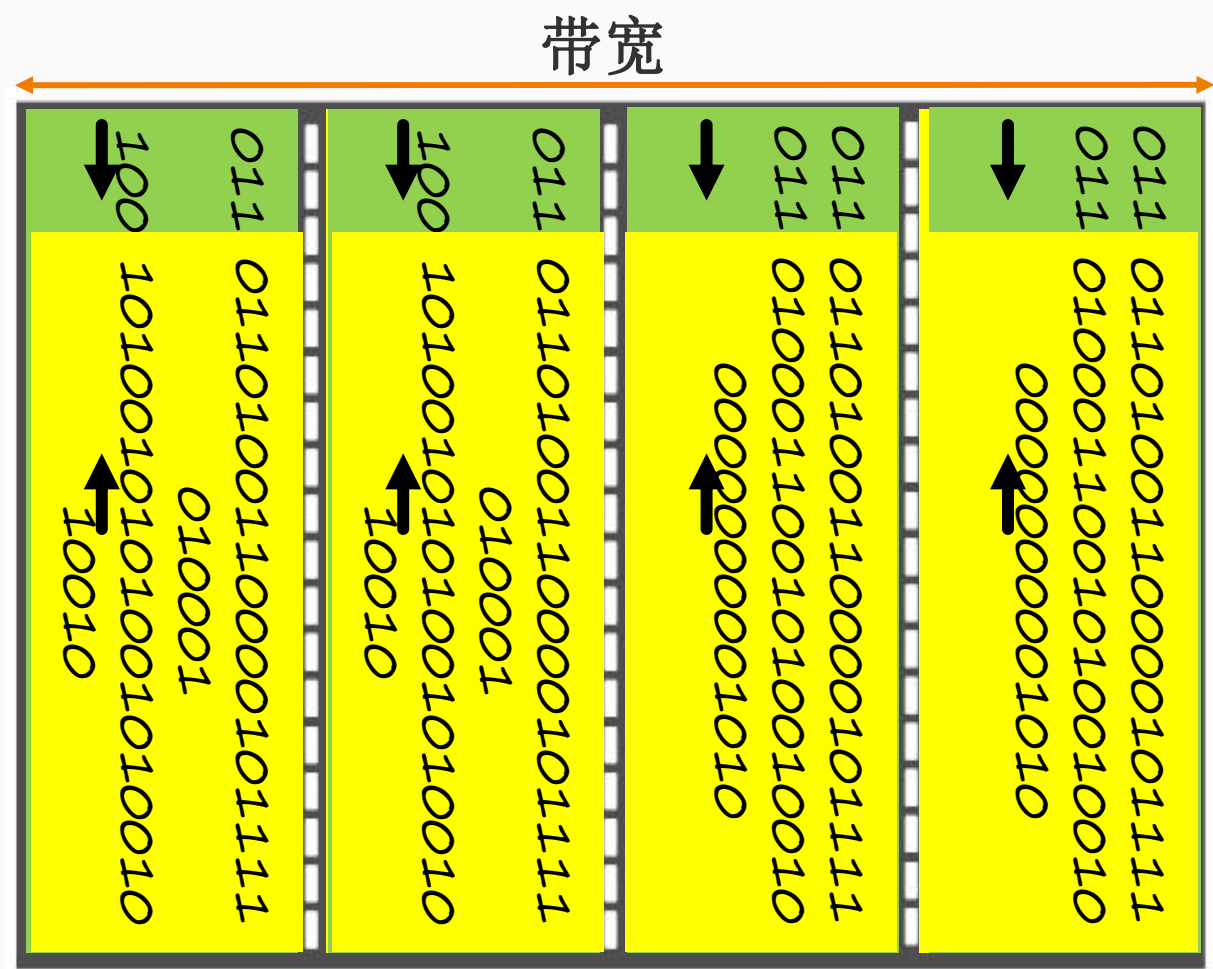
双工技术

- 单工：只能有一个方向的通信而没有反方向的交互
- 半双工：通信的双方都可以发送信息，但不能双方同时发送或接收
 - FDD：频分双工
 - TDD：时分双工



- 全双工 (Full-Duplex)：通信的双方可以同时发送和接收信息

同频同时全双工



系统传输容量Double!