

数据通信



蜂窝无线网络

殷亚凤

yafeng@nju.edu.cn

<http://cs.nju.edu.cn/yafeng/>
Room 901, Building of CS





1. 蜂窝网络的概念

- 蜂窝网络的构成
- 蜂窝系统的操作
- 移动无线电传播效应和移动环境中的衰落

2. 四代蜂窝网络

3. LTE-Advanced

蜂窝网络的概念



- 蜂窝网络构成:

- 使用多个低功率发送器，数量级在100W以下；
- 发送器所能达到的覆盖范围很小；
- 将一个区域划分为很多蜂窝，各个蜂窝由自己的天线提供服务。

- 蜂窝:

- 每个蜂窝分配一个频带；
- 有一个基站提供服务，基站由发送器、接收器和控制单元组成；
- 相邻的蜂窝指派的频率各不相同，避免干扰或串音；
- 两个蜂窝之间距离足够远，可以使用相同频带。

蜂窝的形状

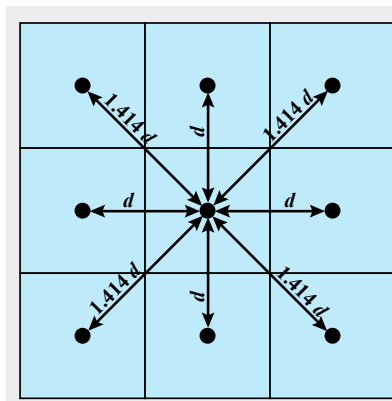


- 为了方便在不同蜂窝中切换，希望所有相邻蜂窝之间是等距

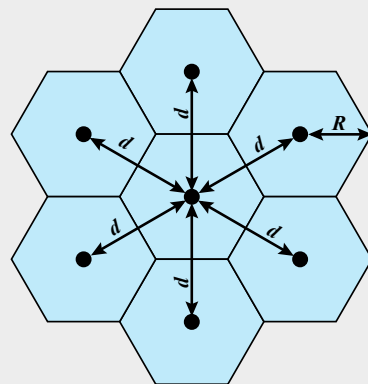
➤ **正方形**：边长为 d 时，与4个相邻蜂窝的距离为 d ，另外4个为 $\sqrt{2}d$



➤ **六边形**：边长为 R 时，到相邻蜂窝的距离均为 $d = \sqrt{3}R$



正方形模式



六边形模式

- 在**实际使用**中，并不是精确的六边形模式：

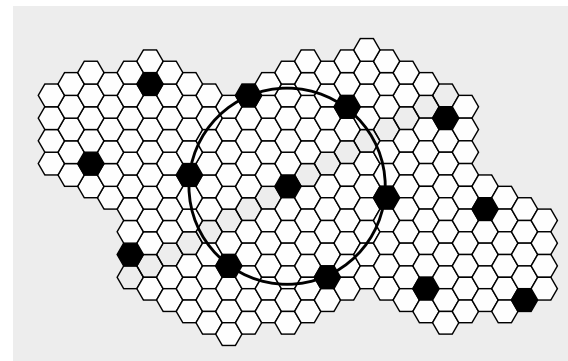
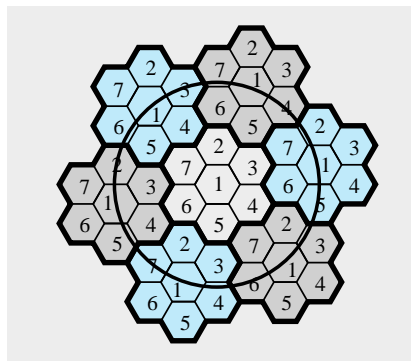
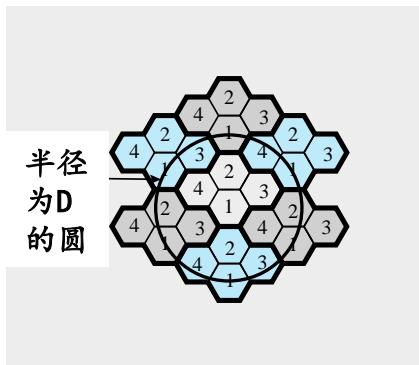
- **地形**的限制；
- 本地信号**传播条件**限制；
- 实际**天线位置**选择的限制。

频率重用



- 每个蜂窝有一个基站收发器，它的传输功率被小心控制：
 - 允许蜂窝内的通信使用给定频率；
 - 限制该频率的功率逃逸到邻近蜂窝。
- 频率重用：
 - 允许其他邻近蜂窝（不是直接相邻）也能使用相同的频率；
 - 允许这些频率用于多个同时进行的对话；
- 使用两个相同频率的蜂窝之间必须相隔多少个蜂窝，才能互不干扰。

频率重用



(a) **N=4**的频率重用模式

(b) **N=7**的频率重用模式

(c) **N=19**的频率重用模式

- 该模式由**N**个蜂窝组成，每个蜂窝指派的频率数量相同，则每个蜂窝可以有 **K/N** 个频率，其中**K**是分配给系统的频率的总数。

- **D**=使用相同频率的蜂窝(称为同波道)中心之间的最小距离;
- **R**=蜂窝半径;
- **d**=相邻蜂窝的中心之间的距离 ($d = \sqrt{3}R$)
- **N**=重复模式(在该模式中每个蜂窝使用的频带都是唯一的)中的蜂窝数，称为**重用系数**。

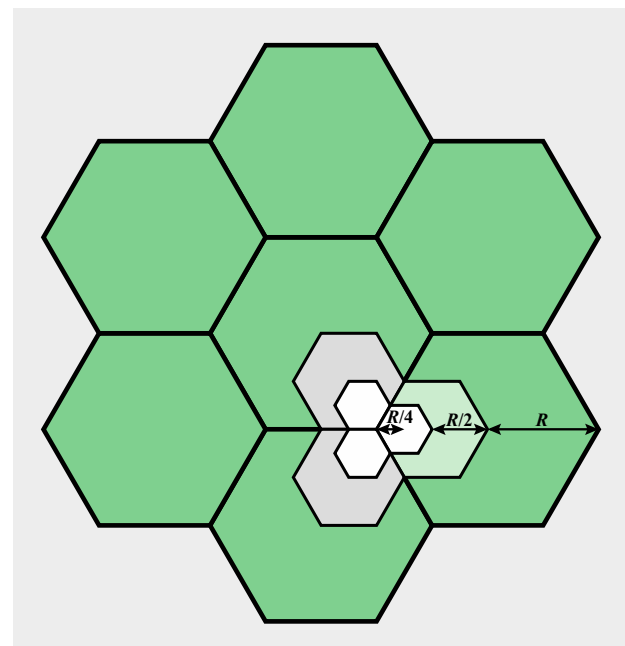
- 在**六边形的蜂窝模式**中:

- $N = I^2 + J^2 + (I \times J), I, J = 0, 1, 2, 3, \dots \rightarrow N=1, 3, 4, 7, 9, 12, \dots$
- $\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$, 也可表示为 $\frac{D}{d} = \sqrt{N}$

增大容量



- 用户和通信量的增长，导致没有足够的频率分配给蜂窝：
- 添加新信道：通过添加新的信道来发展和扩张系统
- 频率借用：拥塞的蜂窝从相邻蜂窝获取一些频率，也可以动态地指派频率给各个蜂窝。
- 蜂窝分裂：在使用率的地区把一个蜂窝分类成几个小蜂窝，以提供更大的容量。
- 蜂窝扇区化：蜂窝被划分成若干个楔形扇区，每个扇区有自己的一组新到，通常每个蜂窝分成3~6个扇区。
- 微蜂窝：蜂窝尺寸减少，伴随着基站或移动单元的辐射功率水平降低。在城市街道、高速公路旁、公共建筑物物理，微蜂窝作用不可低估。



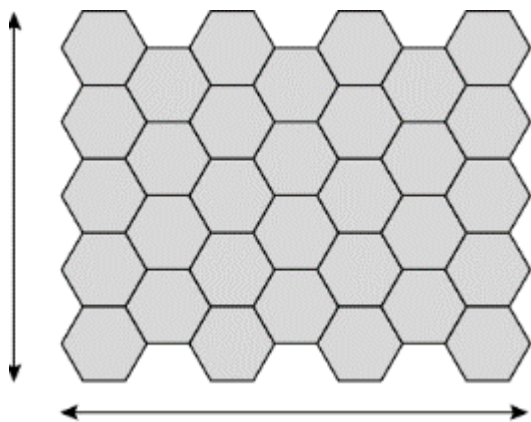
折减系数 $F=2$ 的蜂窝分裂

频率重用举例

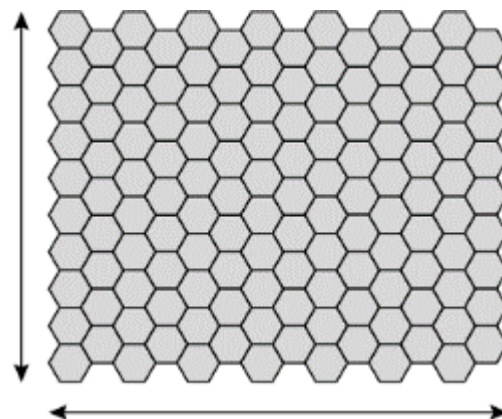


例子10.1：假设有一个32蜂窝的系统。每个蜂窝的半径为1.6km，32个蜂窝的频带总量可支持336个业务频道，频率重用系数N=7。

- 它们覆盖的地理面积是多少？每个蜂窝有多少信道？同时能够处理的呼叫总量是多少？
- 如果蜂窝半径为0.8km，共有128个蜂窝，重复上述计算。



- 每个蜂窝：半径1.6m，面积 $1.5R^2\sqrt{3} = 6.65km^2$
- 覆盖面积： $6.65 \times 32 = 213 km^2$
- 每个蜂窝信道数： $336/7 = 48$
- 总信道容量： $48 \times 32 = 1536$



- 每个蜂窝：半径0.8m，面积 $1.5R^2\sqrt{3} = 1.16km^2$
- 覆盖面积： $1.16 \times 128 = 213 km^2$
- 每个蜂窝信道数： $336/7 = 48$
- 总信道容量： $48 \times 128 = 6144$



1. 蜂窝网络的概念

- 蜂窝网络的构成
- 蜂窝系统的操作
- 移动无线电传播效应和移动环境中的衰落

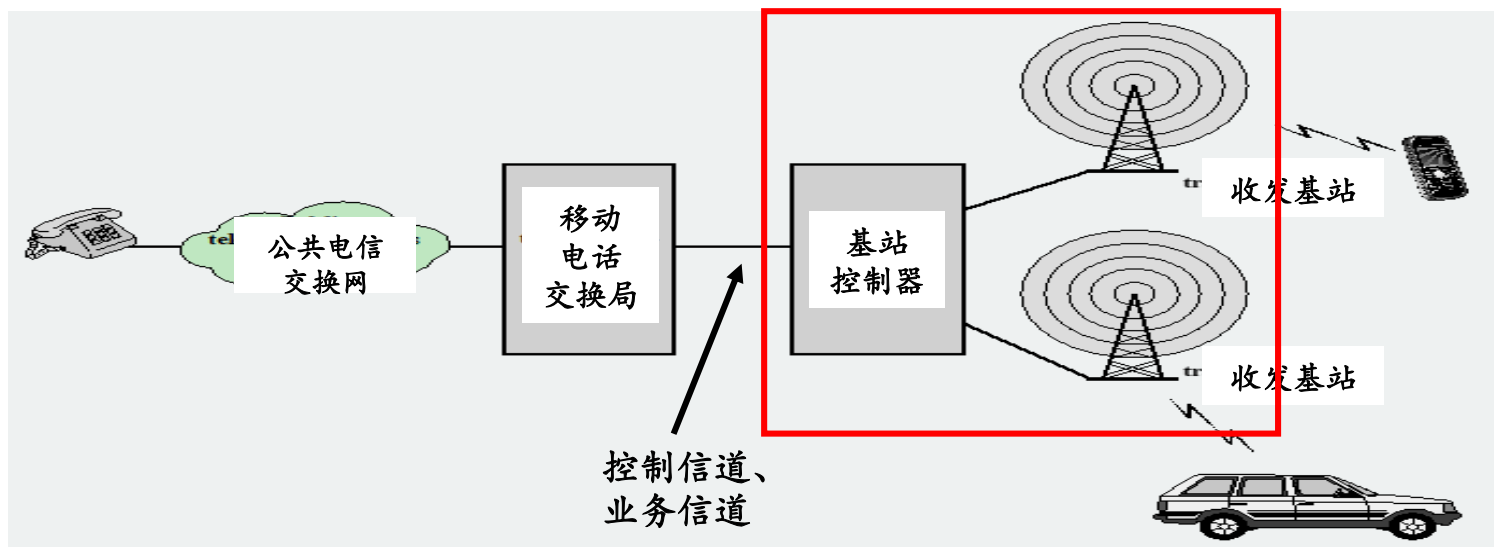
2. 四代蜂窝网络

3. LTE-Advanced

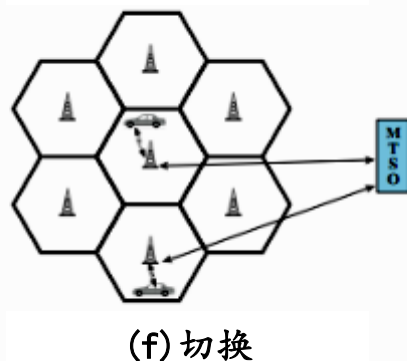
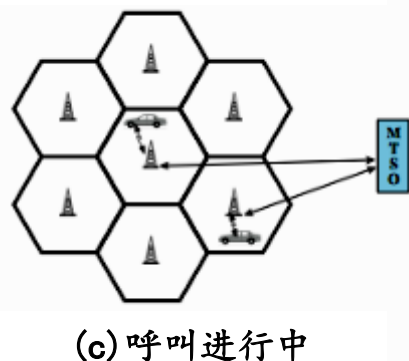
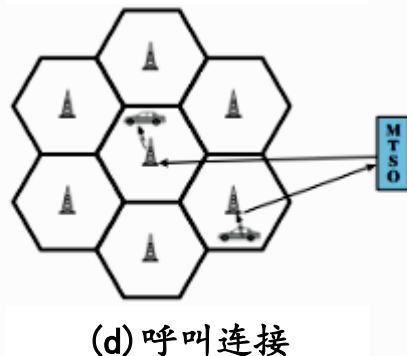
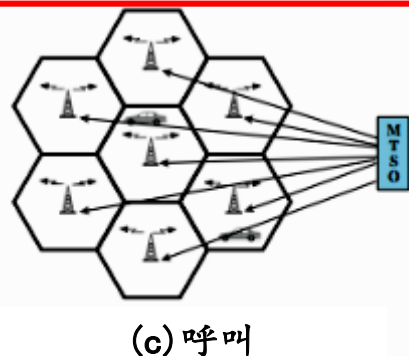
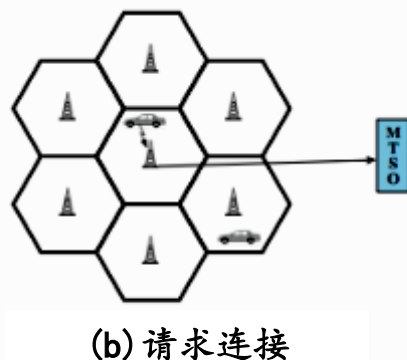
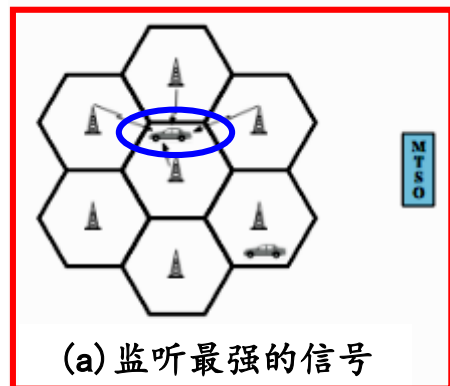
蜂窝系统的操作

- 蜂窝系统的主要构成元素：

- **基站**：位于每个蜂窝的中心位置，包括一根天线、一个控制器和数个用来在指派给该蜂窝的信道上进行通信的收发器。
 - **控制器**用于处理移动单元和网络其他部分之间的呼叫过程。
- **移动电话交换局 (MTSO)**：可服务于多个基站，其与基站的链路可以是有线的也可以是无线的。
 - **MTSO连接移动单元**之间的呼叫，同时还连接到公用电话或电信网络上。
 - **MTSO为每个蜂窝指派话音信号**，执行切换处理。

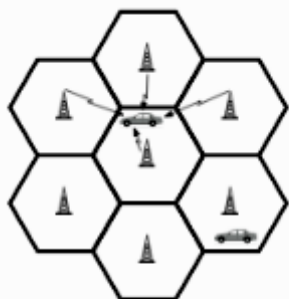


移动蜂窝呼叫过程

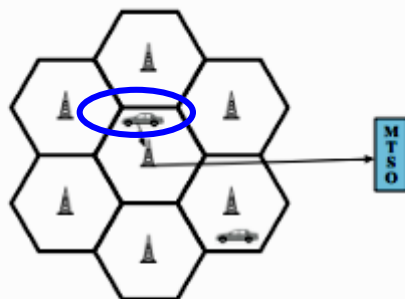


- 移动单元初始化：
 - 不同频率的蜂窝分别在不同的信道上进行广播；
 - 移动单元选择最强的建立信道并监听该信道；
 - 移动单元和控制该蜂窝的MTSO之间执行握手动作；
 - 如果移动设备进入新蜂窝，就会选择新的基站。

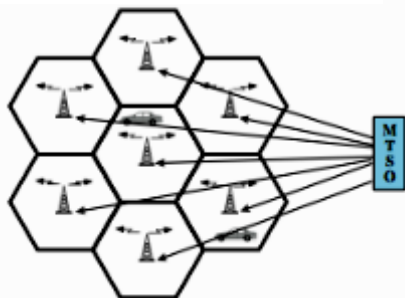
移动蜂窝呼叫过程



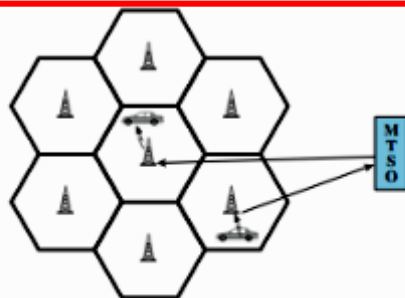
(a) 监听最强的信号



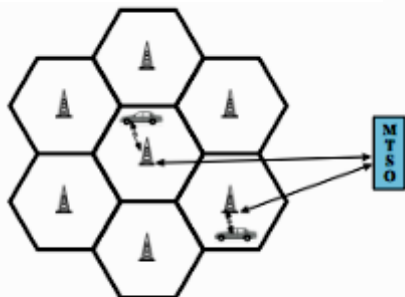
(b) 请求连接



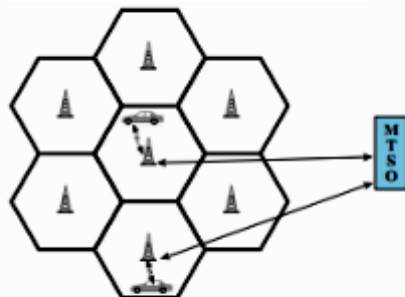
(c) 呼叫



(d) 呼叫连接



(e) 呼叫进行中

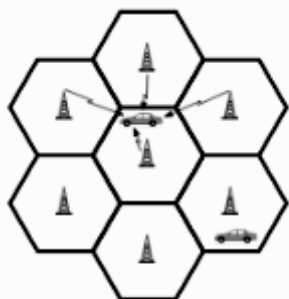


(f) 切换

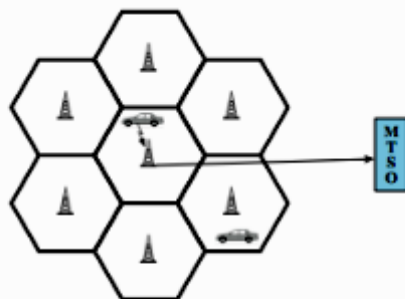
- 移动台发起的呼叫：

- 移动单元在已选的建立信道上发送被叫单元号码来发起呼叫；

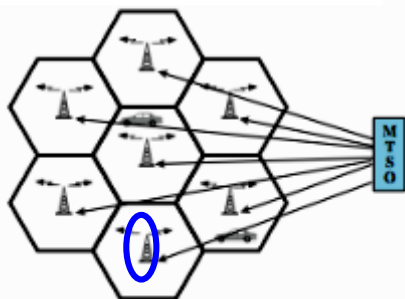
移动蜂窝呼叫过程



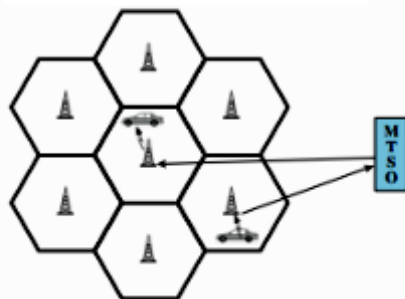
(a) 监听最强的信号



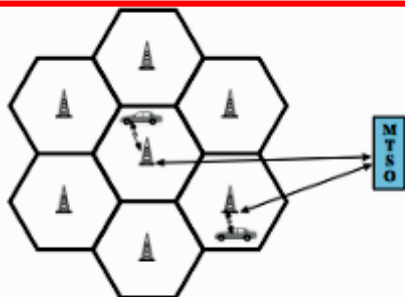
(b) 请求连接



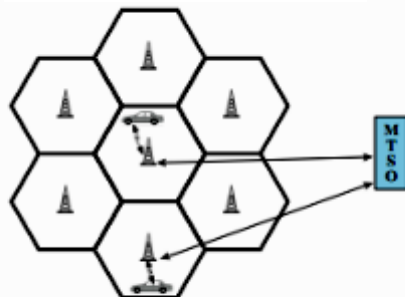
(c) 呼叫



(d) 呼叫连接



(e) 呼叫进行中

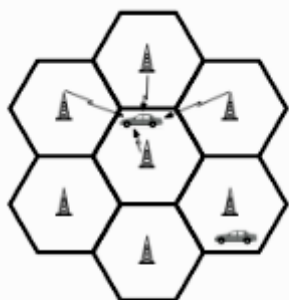


(f) 切换

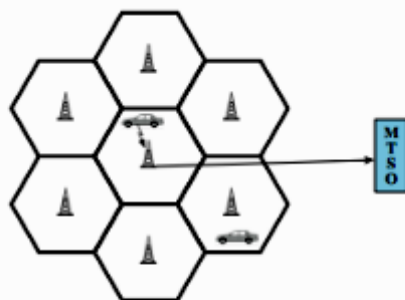
- 寻呼:

- MTSO根据被叫的移动号码向某些基站发送寻呼消息;
- 每个基站在指派给自己的建立信道上发送寻呼信号。

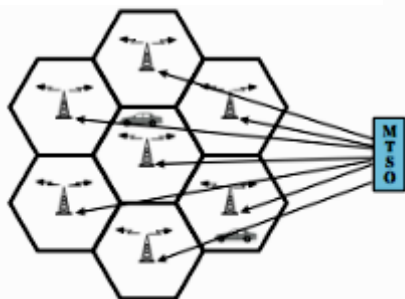
移动蜂窝呼叫过程



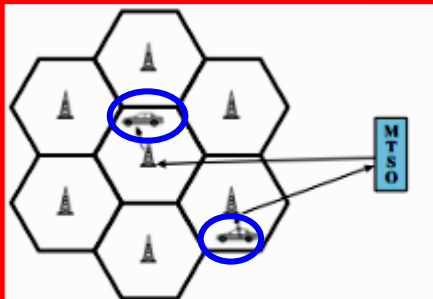
(a) 监听最强的信号



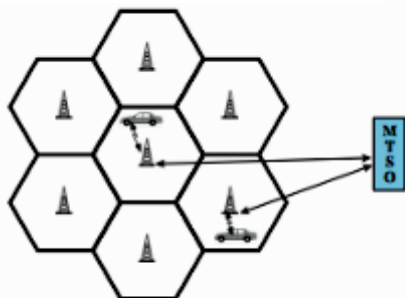
(b) 请求连接



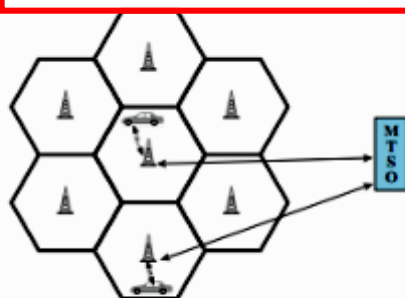
(c) 呼叫



(d) 呼叫连接



(e) 呼叫进行中

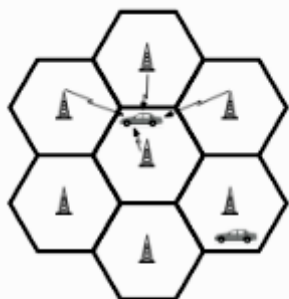


(f) 切换

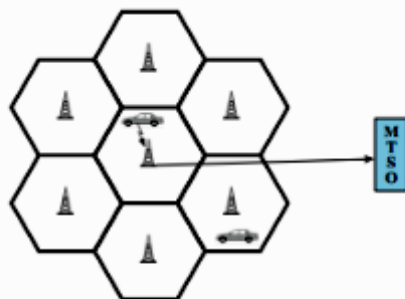
• 呼叫接收:

- 被叫移动单元在监听着的建立信道中识别出自己的号码，并向该基站发出响应；
- 基站向MTSO发出响应；
- MTSO在呼叫基站和被叫基站之间建立一条电路；
- MTSO在这两个基站蜂窝内选择一条可用的业务信道，并向各基站发送出通知；
- 各基站向自己的移动单元发出通知；
- 两个移动单元分别到指派给自己的信道上接收信号。

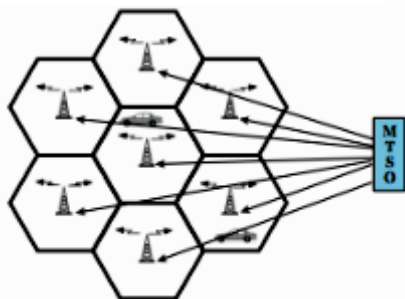
移动蜂窝呼叫过程



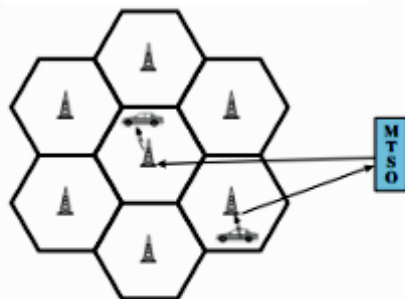
(a) 监听最强的信号



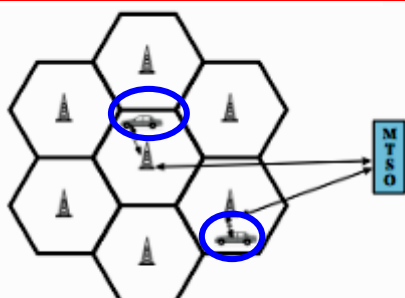
(b) 请求连接



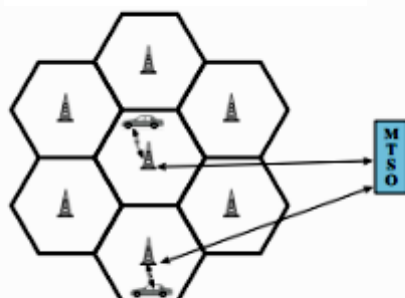
(c) 呼叫



(d) 呼叫连接



(e) 呼叫进行中

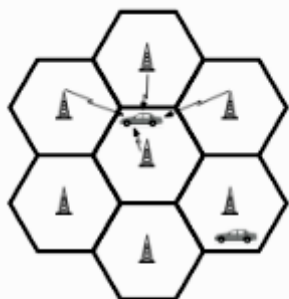


(f) 切换

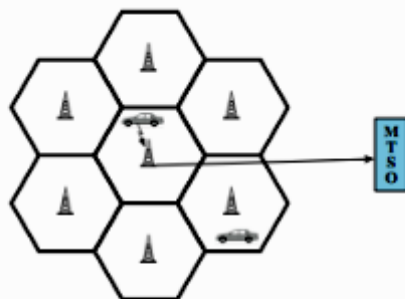
- 呼叫进行中:

- 在连接期间，两个移动单元通过它们各自的基站和该MTSO相互交换语音或数据信号。

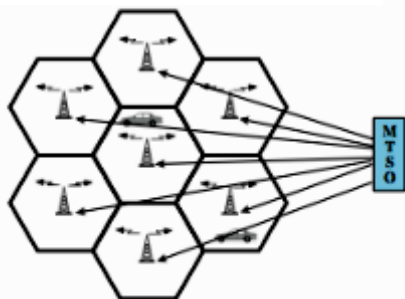
移动蜂窝呼叫过程



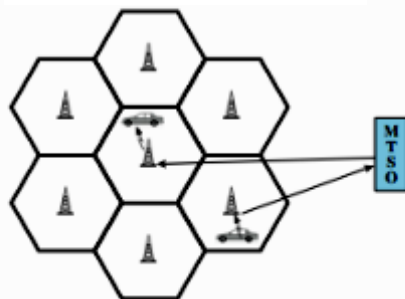
(a) 监听最强的信号



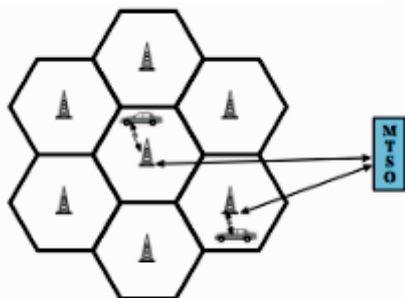
(b) 请求连接



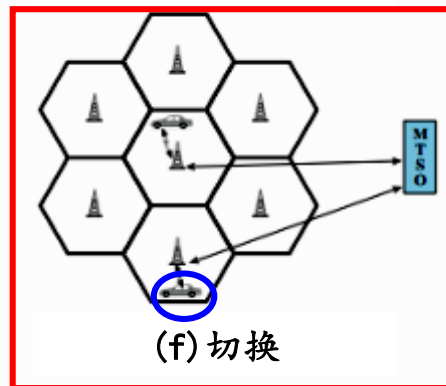
(c) 呼叫



(d) 呼叫连接



(e) 呼叫进行中



(f) 切换

- 切换:

- 在连接期间，移动单元从某个蜂窝的范围而**进入另一个蜂窝**的范围；
- **业务信道切换**到指派给新蜂窝的基站的业务信道上；
- 系统在进行切换时既**不会中断**呼叫，也**不会警告**用户。

移动蜂窝呼叫过程



- 系统还会执行其他一些功能：
 - **呼叫阻塞**：移动单元发起呼叫阶段，如果指派给最近的基站的所有业务信道都忙，则移动单元重试数次。在数次尝试失败后，向用户**返回忙音**。
 - **呼叫终止**：有一个用户挂机后，两个基站上的**业务信道被释放**。
 - **呼叫掉线**：在连接期间，如果基站在特定时间内**无法维持要求的最小信号强度**，用户的业务信道被清除，并向MTSO发出通知。
 - **往来于固定用户或长途移动用户之间的呼叫**：**MTSO与公用交换电话网**相连接，从而为管辖区内的移动用户和固定用户建立连接；**MTSO与远程MTSO连接**，可以为管辖区内的移动用户和远程移动用户之间建立连接。



1. 蜂窝网络的概念

- 蜂窝网络的构成
- 蜂窝系统的操作
- 移动无线电传播效应和移动环境中的衰落

2. 四代蜂窝网络

3. LTE-Advanced

移动无线电传播效应



- **信号强度**：基站和移动单元之间的信号强度**必须足够强**，以保持接收器端的信号质量，但**又不能太强**，否则导致使用相同频率的其他蜂窝的信道之间产生过量的同信道干扰。
- **衰落**：即使信号强度的确在有效范围内，**信号传播效应**也可能破坏信号导致差错。

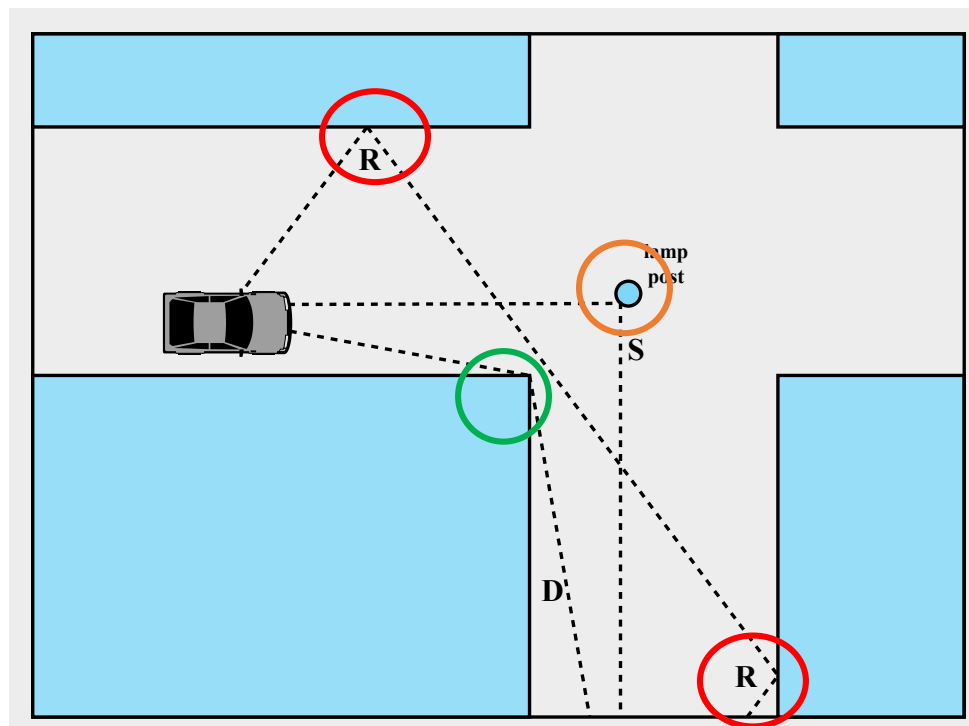
移动环境中的衰落



- **衰落**指的是由于传输媒体或路径中存在变化而是接收到的信号功率可能随时间而变化。

➤ 多径传播

- **反射**：发生在电磁信号遇到比信号波长更大的物体表面时。
- **衍射**：出现在比无线电波波长更大的无法穿透的物体边缘处。
- **散射**：障碍物的大小与信号波长接近或小于该信号波长。

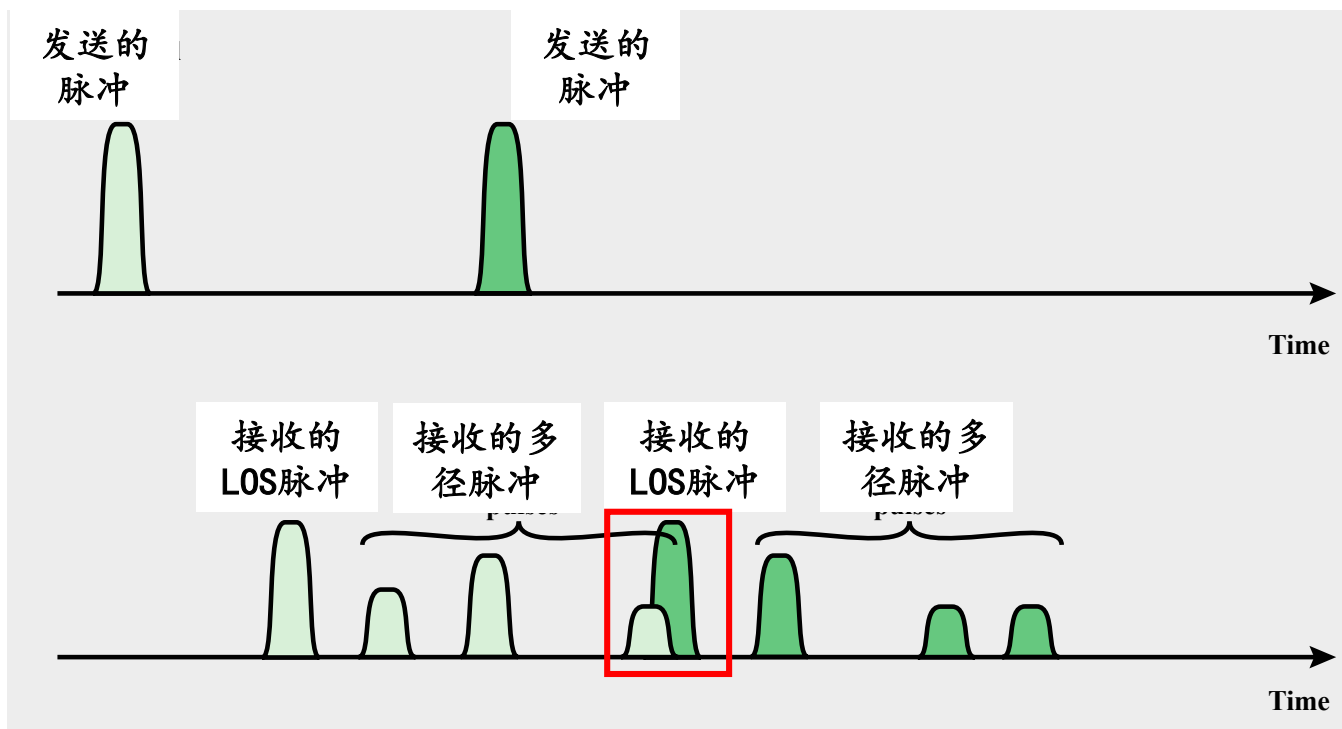


R:反射, S:散射, D:衍射

多径传播效应



- 多径传播效应：
 - 产生多个相位不同的**信号副本**：如果这些相位叠加后相互抵消，信噪比就会下降，是接收器端在检测信号时更加困难。
 - **码间干扰**：脉冲的一个或多个延迟副本可能会与下一个比特的主脉冲同时到达，从而加大提取数据比特的困难。



衰落类型



- **快衰落**：在超过半个波长的距离上，信号的强度会迅速发生变化。即使经过短距离，振幅的变化可能高达20-30dB。这种类型的迅速衰落变化现象称为快衰落。
- **慢衰落**：经过较长一段距离后，接收功率除了出现快速波动之外，接收到的平均功率水平也会变化，称为慢衰落。
- **平坦衰落**：或称非选择性衰落，接收信号的所有频率成分的波动是同时的且成相同比例的。
- **选择性衰落**：对一个无线电信号的不同频谱成分的影响是不同的。

差错补偿机制



对于由多径衰落引起的差错和失真的补偿工作可分为三类：

- **前向纠错**：可用于数字传输中，发送的总比特数与发送的数据比特数之间的比例在2到3之间。通过**增加冗余度**实现前向纠错。
- **自适应均衡**：可用于携带模拟信息或数字信息的传输中，且被用于应对码间干扰。均衡的处理过程涉及使用某些办法**将分散的码元能量收集起来**，并合并到它的原始时间间隔中。
- **分集技术**：通过在发送器和接收器之间提供某种意义上的**多条逻辑信道**，并在**每条信道上发送部分信号**，可以补偿差错带来的影响。这种技术不能消除差错，但能够减小差错率。
(空间分集、频率分集、时间分集)



1. 蜂窝网络的概念

- 蜂窝网络的构成
- 蜂窝系统的操作
- 移动无线电传播效应和移动环境中的衰落

2. 四代蜂窝网络

3. LTE-Advanced

四代蜂窝网络



- 第一代：1G

- 提供的是**模拟业务信道**
- 作为**扩展的公共交换电话网络**而设计
- 用户用砖头大小的手机拨打和接听电话，方式与固定电话相同。

| Generation | Device | Specifications | | | | | | | | | | |
|---|---|---|------|-----------|-----------|------------|------------|--------|-----------|---|------------|---|
| <div>1G</div> <div></div> | <div></div> | <div>1G</div> <table><tr><td>Year</td><td>early 80s</td></tr><tr><td>Standards</td><td>AMPS, TACS</td></tr><tr><td>Technology</td><td>Analog</td></tr><tr><td>Bandwidth</td><td>—</td></tr><tr><td>Data rates</td><td>—</td></tr></table> | Year | early 80s | Standards | AMPS, TACS | Technology | Analog | Bandwidth | — | Data rates | — |
| Year | early 80s | | | | | | | | | | | |
| Standards | AMPS, TACS | | | | | | | | | | | |
| Technology | Analog | | | | | | | | | | | |
| Bandwidth | — | | | | | | | | | | | |
| Data rates | — | | | | | | | | | | | |



摩托罗拉DynaTAC 8000X

四代蜂窝网络



- 第二代：2G

- 数字业务信道：1G几乎是纯模拟的，**2G是数字的**
- 加密：所有用户业务以及控制信道量都是数字化的，可以进行加密
- 差错检测和纠正：数字业务便于实现差错检测和纠正
- 信道接入：多个用户可动态地共享一个信道



| 2G | |
|------------|-------------------|
| Year | 1991 |
| Standards | GSM, GPRS, EDGE |
| Technology | Digital |
| Bandwidth | Narrow Band |
| Data rates | < 80 - 100 Kbit/s |



Moto 8900



NOKIA 3210



Moto V70

四代蜂窝网络



• 第三代：3G

- 提供相当高速的无线通信，**支持多媒体**、数据以及视频加音频的传输。
- 主导技术是码分多址CDMA
 - **带宽**：将信道使用限制在5MHz内
 - **码片速率**：带宽给定时，其取决于数据率、差错控制要求等。
 - **多速率**：为特定用户提供多条数据率固定的逻辑信道，不同逻辑信道提供不同的数据率。

| Generation | Device | Specifications |
|--|--|--|
| <div>3G</div> <div></div> | <div></div> | <div>3G</div> <div>Year2001</div> <div><div>StandardsUMTS / HSPA</div><div>Technologydigital</div><div>BandwidthBroad Band</div><div>Data ratesup to 2 Mbit/s</div></div> <div><div> MMS</div><div> Internet access</div><div> Video calls</div><div> Mobile TV</div></div> |



四代蜂窝网络

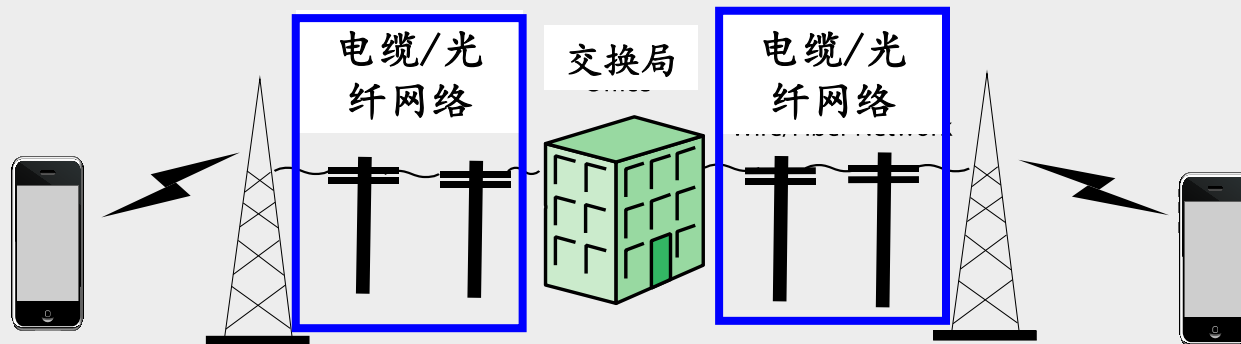


• 第四代：4G

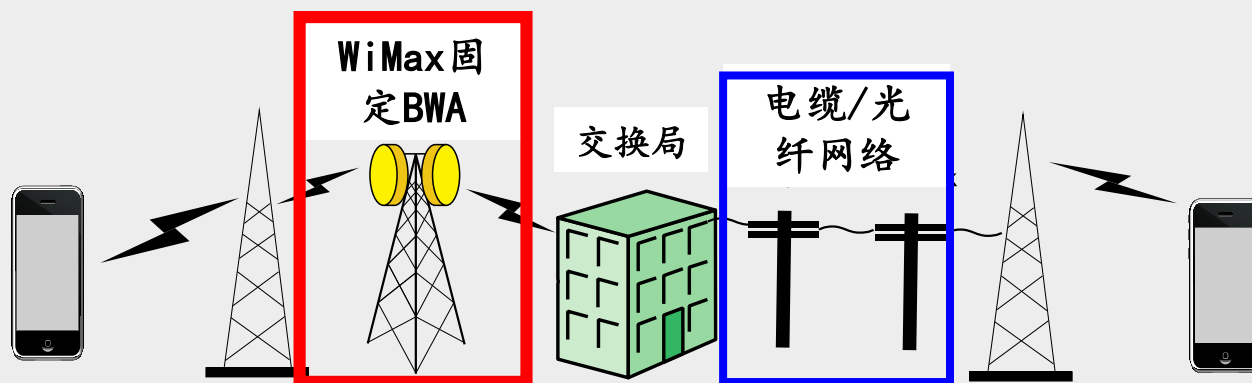
- 为各种设备提供**超带宽的因特网接入**，包括笔记本电脑、智能手机和平板电脑。
- 基于完全IP分组交换网络
- 高流动性的**移动接入**
- 动态共享和利用网络资源
- 支持跨异构网络的平滑切换
- **为新一代多媒体应用支持高质量的服务**



第三代和第四代蜂窝网络比较



(a) 第三代 (3G) 蜂窝网络



(b) 第四代 (4G) 蜂窝网络



1. 蜂窝网络的概念

- 蜂窝网络的构成
- 蜂窝系统的操作
- 移动无线电传播效应和移动环境中的衰落

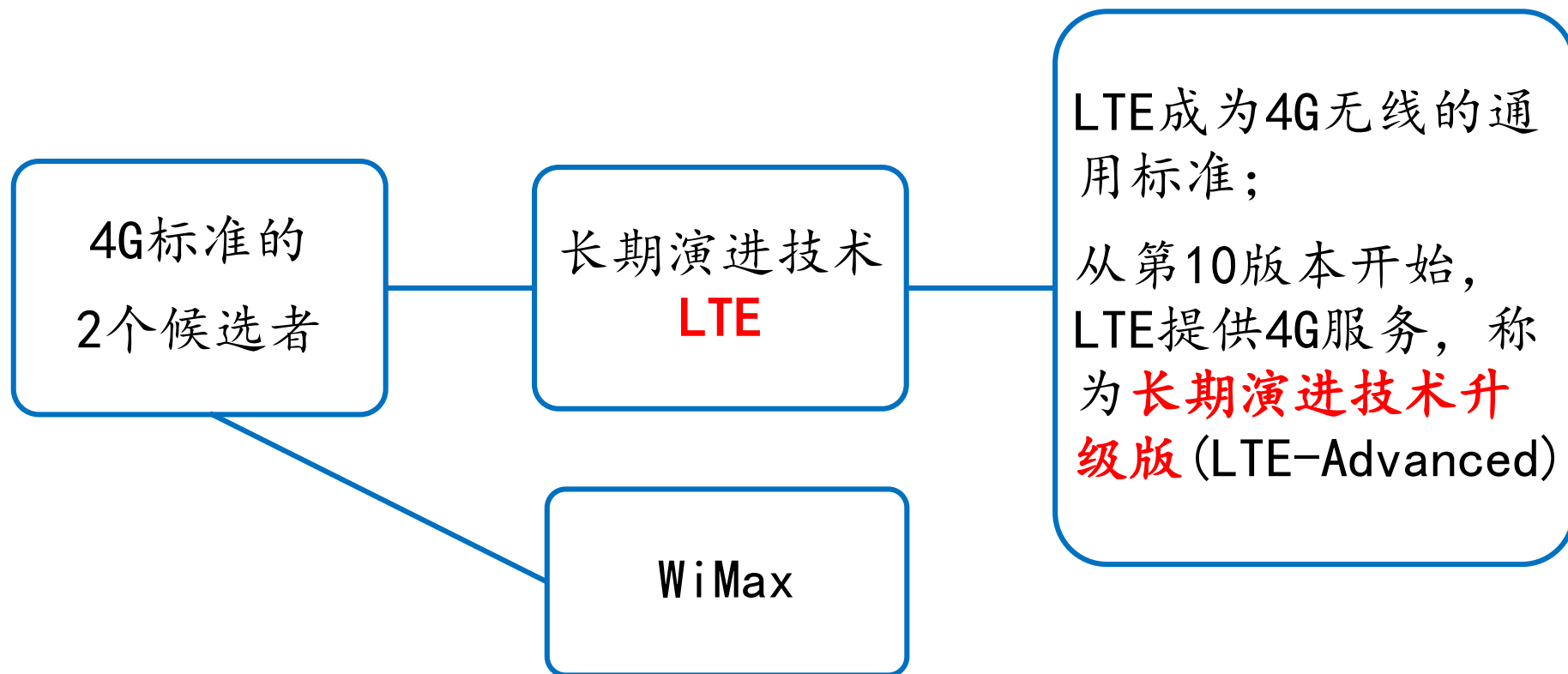
2. 四代蜂窝网络

3. LTE-Advanced

LTE-Advanced

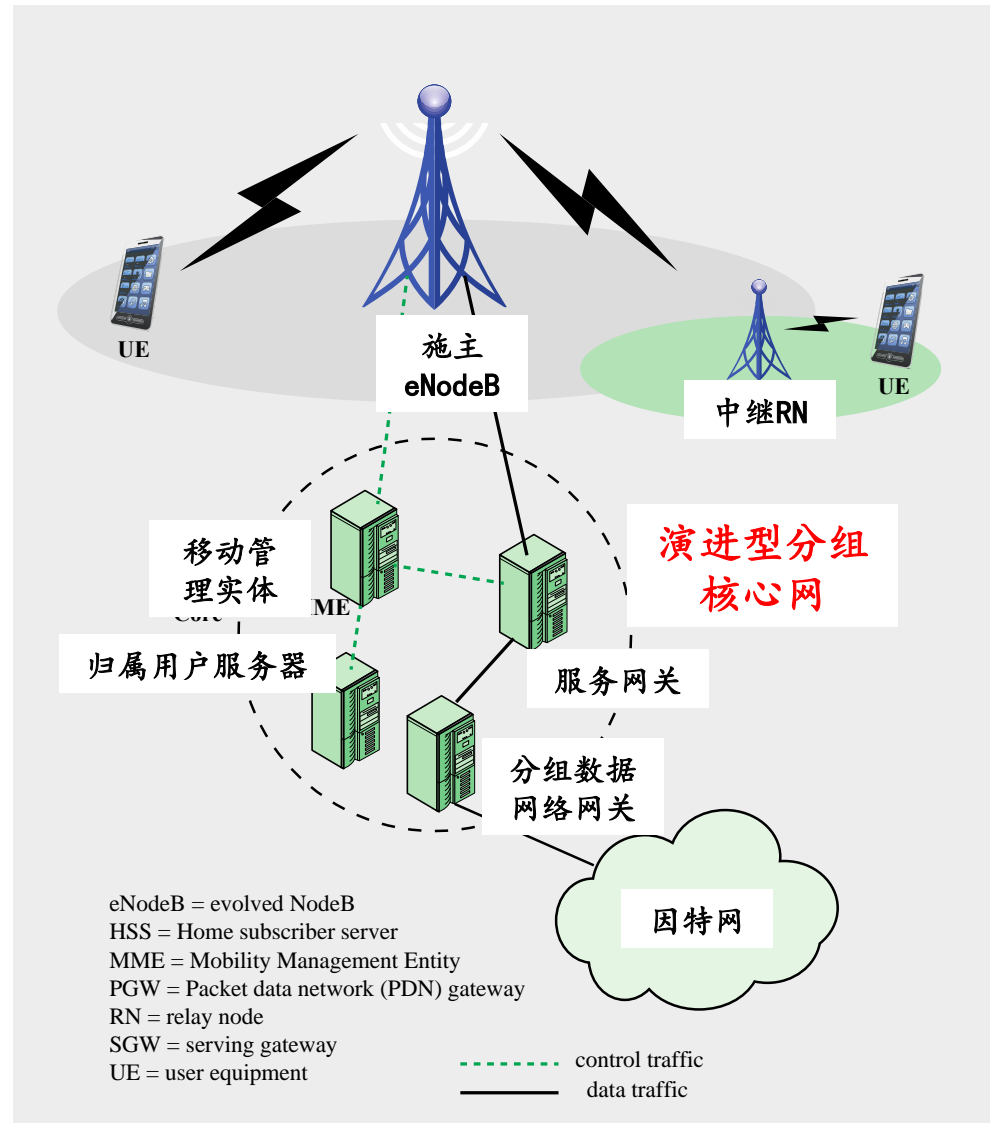


- LTE-Advanced: 长期演进技术升级版



LTE - Advanced体系结构

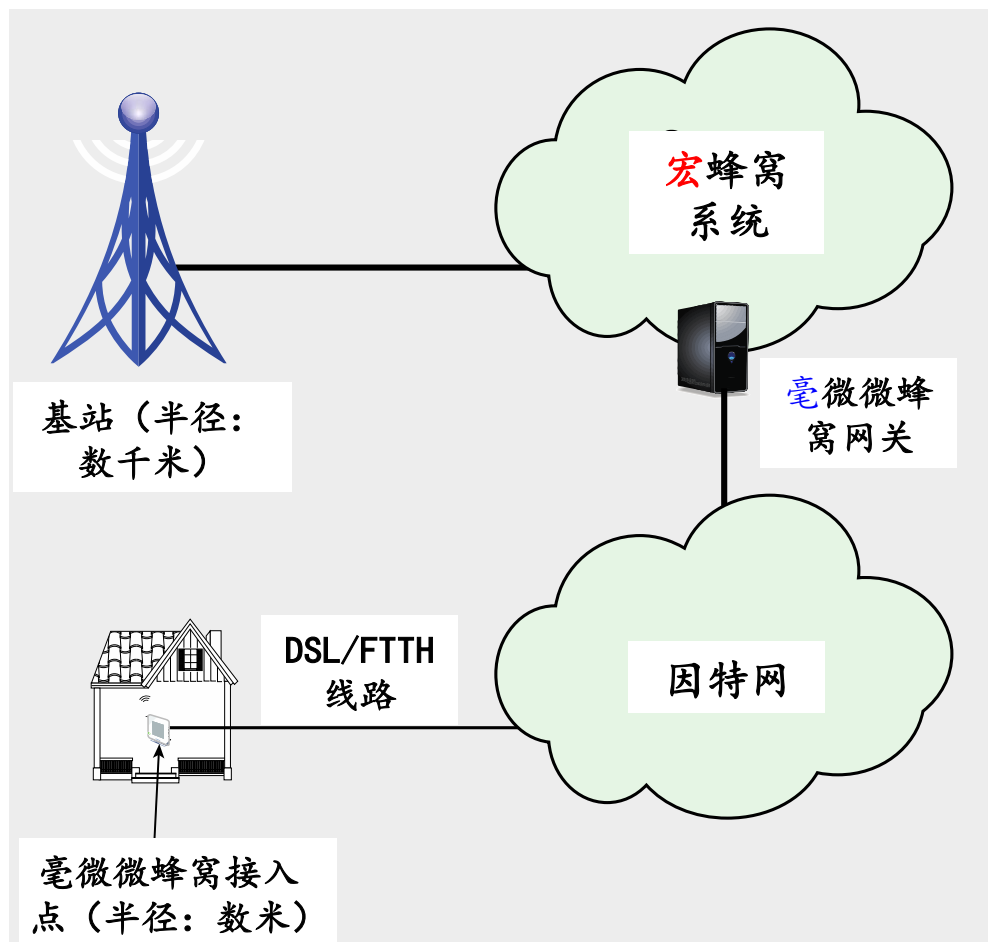
- **核心(eNodeB)**: 演进型NodeB的基站，嵌入了自己的控制功能，又称施主eNodeB
- **中继 (RN)** : 与eNodeB相比，控制半径更小。在中继节点附近的用户设备直接用中继相连，再由中继与eNodeB通信
- **移动管理实体**: 跟踪并寻呼处于空闲模式的用户
- **服务网关**: 对进入和外出的IP数据包进行路由选择，为用户设备提供服务
- **分组数据网络网关**: 为分组选择路由，使之往返于分组核心网和外部网络之间
- **归属用户服务器**: 包含用户和用户相关信息的数据库



毫微微蜂窝



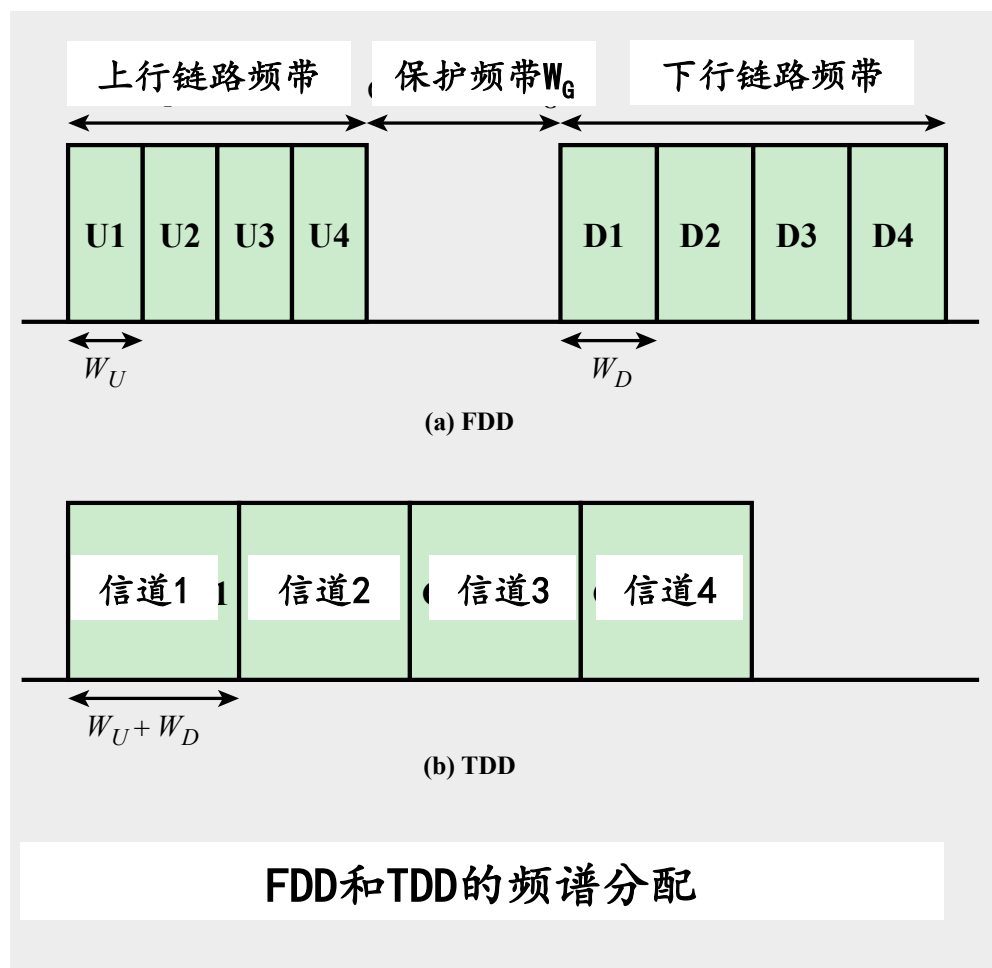
- **毫微微蜂窝 (femtocell)** 是一个低功耗、短距离、自包含的基站
 - 用来描述以住宅用户为目标的消费单位
 - 是对**范围在10米到几百米**，且运行在授权或未授权的频谱上的低功率无线接入结点的总称。
-
- **femtocell接入点**是一个微型的基站，如放置在住宅、企业或公共设施中的WiFi热点
 - femtocell使用DSL、光纤或有限电缆**与因特网连接**
 - femtocell通过网关**与手机运营商的分组核心网建立连接**



LTE-Advanced传输特性



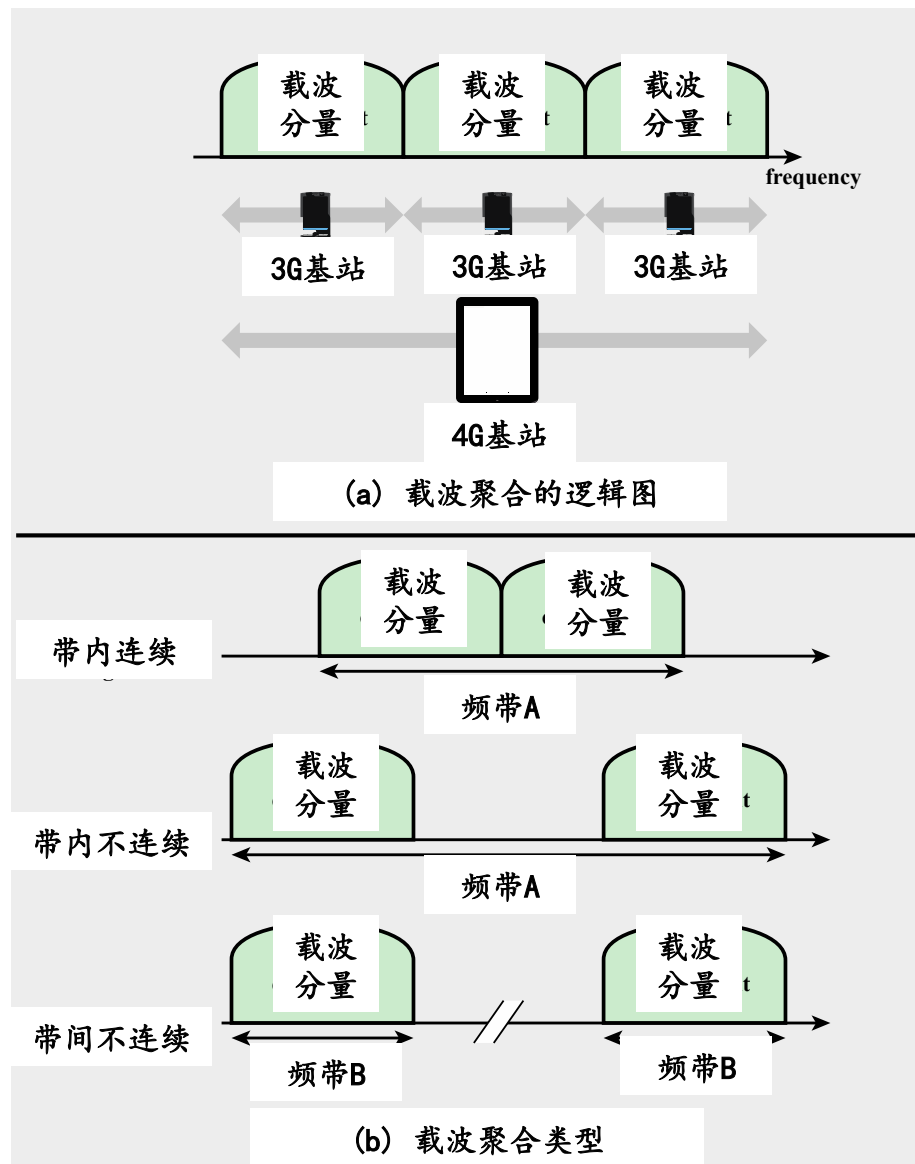
- LTE-Advanced即可适用于**频分双工FDD**的成对频谱，也可适用于**时分双工TDD**的非成对频谱
- FDD:
 - 分配给用户*i*的是一对信道*U_i*和*D_i*，他们的带块分别是 W_U 和 W_D
- TDD:
 - UL和DL的传输操作在同一频带上进行，但在**时域上交替**，TDD在容量分类上比FDD更灵活



LTE-Advanced传输特性：载波聚合



- LTE-Advanced使用**载波聚合**来增加带宽，提高比特率。每一个被聚合的载波称为一个分量载波。
- **带内连续的**：载波彼此之间是相邻的，可视为一个被放大的信道，用户基站只需要一个收发器，但需要连续的频带可用于分配。
- **带内不连续的**：多个分量载波属于同一频带，但不能视为一个信号，需要多个收发器。用于一个频带内频谱分配不连续的国家。
- **带间不连续的**：使用不同的频带，可利用频带碎片，需要多个收发器。



总结



问题？

殷亚凤

yafeng@nju.edu.cn

<http://cs.nju.edu.cn/yafeng/>

Room 901, Building of CS

