

第十课：LTE 干扰抑制技术

LTE系统采用OFDM技术，小区内用户通过频分实现信号的正交，小区内的干扰基本可以忽略。但是同频组网时会带来较强的小区间干扰，如果两个相邻小区在小区的交界处使用了相同的频谱资源，则会产生较强的小区间干扰，严重影响了边缘用户的业务体验。因此如何降低小区间干扰，提高边缘用户性能，成为LTE系统的一个重要研究课题。

小区间干扰抑制技术

在LTE的研究过程中，主要讨论了三种小区间干扰抑制技术：小区间干扰随机化、小区间干扰消除和小区间干扰协调。小区间干扰随机化主要利用了物理层信号处理技术和频率特性将干扰信号随机化，从而降低对有用信号的不利影响，相关技术已经标准化；小区间干扰消除也是利用物理层信号处理技术，但是这种方法能“识别”干扰信号，从而降低干扰信号的影响；小区间干扰协调技术是通过限制本小区中某些资源（如频率、功率、时间等）的使用来避免或降低对邻小区的干扰。这种从RRM的角度来进行干扰协调的方法使用较为灵活，因此有必要深入研究以达到有效抑制干扰、提高小区边缘性能的目的。

小区间干扰协调的基本思想就是通过小区间协调的方式对边缘用户资源的使用进行限制，包括限制哪些时频资源可用，或者在一定的时频资源上限制其发射功率，来达到避免和减低干扰、保证边缘覆盖速率的目的。

小区间干扰协调通常有以下两种实现方式。

静态干扰协调：通过预配置或者网络规划方法，限定小区的可用资源和分配策略。静态干扰协调基本上避免了 X_2 接口信令，但导致了某些性能的限制，因为它不能自适应考虑小区负载和用户分布的变化。

半静态干扰协调：通过信息交互获取邻小区的资源以及干扰情况，从而调整本小区的资源限制。通过 X_2 接口信令交换小区内用户功率/负载/干扰等信息，周期通常为几十毫秒到几百毫秒。半静态干扰协调会导致一定的信令开销，但算法可以更加灵活的适应网络情况的变化。

小区间干扰（Inter-Cell Interference, ICI）：频率复用（传统的解决方法），较大的频率复用系数（3或7）可以有效的抑制ICI。但频谱效率降低到1/3或1/7。

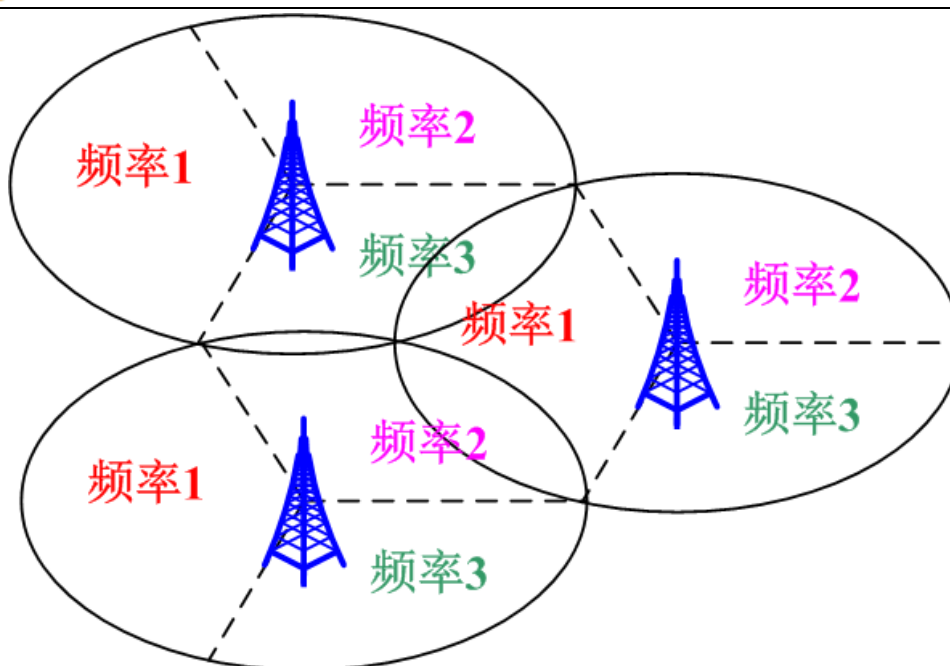


图1：传统的频率复用系数为3的典型频率规划

- 未来的宽带移动通信系统对频谱效率要求很高，尽可能的接近复用系数1
- OFDM技术比CDMA技术更好的解决了小区内干扰的问题，但带来的ICI问题比CDMA更严重一些。
- 相邻小区结合部使用相同的频谱资源，会产生较强的ICI

波束赋形天线技术

普通扇区天线形成的波束是覆盖整个扇区的，因此必定会和相邻小区的扇区波束重叠，造成小区间干扰。

波束赋形天线的波束是指向UE的窄波束，因此只有在相邻小区的波束发生碰撞时才会造成小区间干扰，在波束交错是可以有效的回避小区间干扰。

在移动通信系统中，由于用户通常分布在各个方向，加之无线移动信道的多径效应，有用信号存在一定的空间分布。其一，当基站接收信号时，来自各个用户的有用信号到达基站的方向可能不同，且信号与其到达角度之间存在复杂的依赖关系；其二，当基站发射信号时，可被用户有效接收的也只是部分的信号。考虑到这一因素，调整天线方向图使其能实现指向性的接收与发射是很自然的想法，这也就是波束赋形概念的最初来源。

随着信号处理，尤其是数字信号处理芯片的普及以及算法的发展，原来必须依靠射频硬件实现的波束赋形转为使用中频或者基带的数字信号处理来实现。在这一基础上，结合无线移动通信系统的发展，又进一步出现了智能天线的概念。智能天线的目标是能根据实际信道情况实时调整自身参数，有效追踪多个用户，在系统中实现空分多址（SDMA）。智能天线一般由射频部分的无线信号接收发射，A/D、D/A转换，以及基带（或者中频）部分的数字信号处理组成。传统意义上的波束赋形与多种信号处理方法融合，使得这一概念的确切含义逐渐

模糊。习惯上，在与自适应天线阵列的信号处理相关的文献中，波束赋形特指根据参数计算最优权重矢量的过程；而在其他场合有时特指严格意义上的空域波束赋形，有时则泛指根据测量以及估算参量进行数字信号处理（可包括时域和空域）的过程。本文取波束赋形的一般含义，即根据测量以及估算参数，实现信号最优（次优）组合或者最优（次优）分配的过程。

小区间干扰随机化

对于OFDMA的接入方式，来自外小区的干扰数目有限，但干扰强度较大，干扰源的变化也比较快，不易估计，于是采用数学统计的方法来对干扰进行估计就成为了一种比较简单可行的方法。干扰随机化不能降低干扰的能量，但能通过给干扰信号加扰的方式将干扰随机化为“白噪声”，从而抑制小区间干扰，因此又称为“干扰白化”。干扰随机化的方法主要包括小区专属加扰和小区专属交织。

干扰信号随机化不能降低干扰的能量，但能使干扰的特性近似“白噪声”，从而使终端可以依赖处理增益对干扰进行抑制。

干扰随机化方法：

1、小区特定的加扰（Scrambling）（传统技术）

小区专属加扰，即在信道编码后，对干扰信号随机加扰。如图1所示，对小区A和小区B，在信道编码和交织后，分别对其传输信号进行加扰。如果没有加扰，用户设备(UE)的解码器不能区分接收到的信号是来自本小区还是来自其他小区，它既可能对本小区的信号进行解码，也可能对其他小区的信号进行解码，使得性能降低。小区专属加扰可以通过不同的扰码对不同小区的信息进行区分，让UE只针对有用信息进行解码，以降低干扰。加扰并不影响带宽，但是可以提高性能。

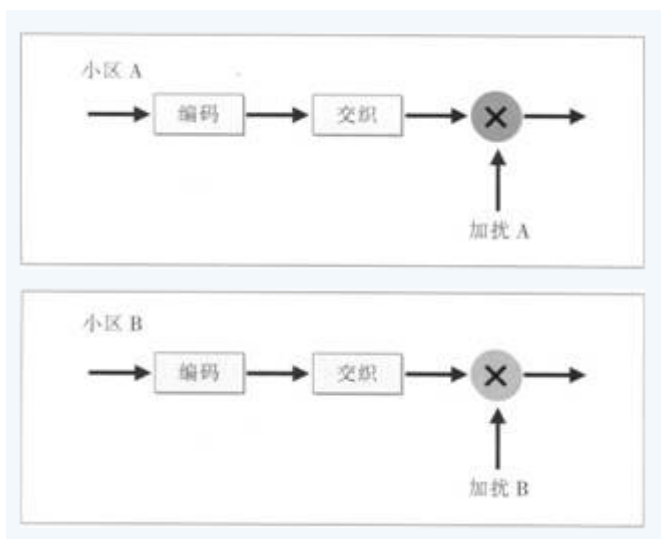


图2：小区专属加扰

1) 对各小区信号在信道编码和信道交织后采用不同的伪随机扰码进行加扰，以获得干

扰白化效果。

2) LTE采用504个小区扰码（与504个小区ID绑定）区分小区，进行干扰随机化

2、小区特定的交织（Interleaving）也称交织多址（Interleaved Division Multiple Access, IDMA）

小区专属交织，即在信道编码后，对传输信号进行不同方式的交织。如图2所示，对于小区A 和小区B，在信道编码后分别对其干扰信号进行交织。小区专属交织的模式可以由伪随机数的方法产生，可用的交织模式数(交织种子)是由交织长度决定的，不同的交织长度对应不同的交织模式编号， UE端通过检查交织模式的编号决定使用何种交织模式。

在空间距离较远的小区间，交织种子可以复用，类似于蜂窝系统中的频分复用。

对于干扰的随机化而言，小区专属交织和小区专属加扰可以达到相同的系统性能。

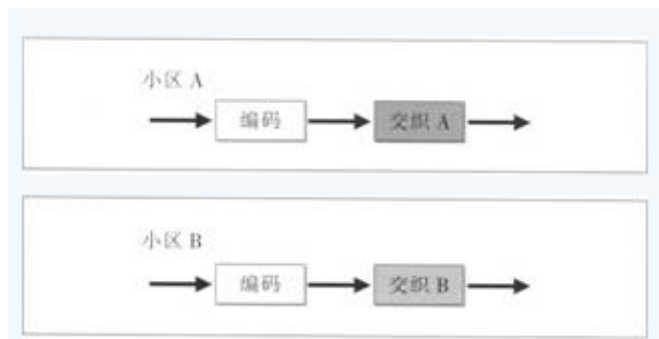


图3：小区专属交织

- 1) IDMA是一种新的干扰随机化技术和干扰消除技术，比较复杂，在R8 LTE中未被使用。
- 2) 仅干扰随机化效果而言，小区加扰和IDMA性能相近。但IDMA可用于干扰消除技术。
- 3) 对各小区的信号在信道编码后采用不同的交织图案进行信道交织，以获得干扰白化效果。交织图案与小区ID一一对应。相距较远的两个小区可以复用相同的交织图案。

小区间干扰消除

干扰消除的想法最初是在CDMA系统中提出，可以将干扰小区的信号解调、解码，然后将来自该小区的干扰重构、消除。LTE虽然采用OFDMA的接入方式，仍然引入了干扰消除的概念。对干扰小区的干扰信号进行某种程度的解调甚至解码，然后利用接收机的处理增益从接收信号中消除干扰信号分量。

干扰消除方法：

1、基于多天线接收终端的空间干扰抑制技术

利用多天线技术，接收机的实现技术，不需要标准化。又称为干扰抑制合并（Interference Rejection Combining, IRC），不依赖发射端配置，利用从两个相邻小区到UE的空间信道独立性来区分服务小区和干扰小区的信号。配置双天线的UE可以区分两个空间

信道，也即空分复用原理

2、基于干扰重构/减去的干扰消除技术

通过将干扰信号解调/解码后，对该干扰信号进行重构，然后从接收信号中减去。能将干扰信号分量准确分离，剩下的就是有用信号和噪声。是干扰消除的最理想的方法。IDMA技术可以通过迭代干扰消除获得显著的性能增益。可以获得明显的小区边缘性能增益。但需要系统在资源分配、信号格式获得、小区间同步、交织器设计、信道估计、信令等提出更高的要求或更多的限制。

另外，在LTE的下行传输中，可以通过不同方式来获得干扰信号的信息。消除Node B间干扰时，可以通过检测UE端的干扰控制信号来获得干扰信号的信息；消除扇区间干扰时，Node B直接使用自己的控制信道向UE发送干扰信号的信息。显然，接收机获取的干扰信号信息越多，干扰消除的性能越好。

小区间干扰消除的优势在于，对小区边缘的频率资源没有限制，相邻小区即使在小区边缘也可以使用相同的频率资源，可以获得更高的小区边缘频谱效率和总频谱效率。局限在于小区间必须保持同步，目标小区必须知道干扰小区的导频结构，以对干扰信号进行信道估计。对于要进行小区间干扰消除的用户，必须给其分配相同的频率资源。

小区间干扰协调技术

原理：对下行资源管理（频率资源/发射功率等）设置一定的限制，以协调多个小区的动作，避免产生严重的小区间干扰。

- 小区间干扰协调ICIC（Inter-cell Interference Coordination）是小区干扰控制的一种方式，本质上是一种调度策略。
- LTE系统可以采用软频率复用SFR（Soft Frequency Reuse）和部分频率复用FFR（Fractional Frequency Reuse）等干扰协调机制来控制小区边缘的干扰。
- 主要目的是提高小区边缘的频率复用因子，改善小区边缘的性能。

方法：

1、回避-软频率复用

又称分数频率复用——频域协调

原理：允许小区中心的用户自由使用所有频率资源；对小区边缘用户只允许按照频率复用规则使用一部分频率资源

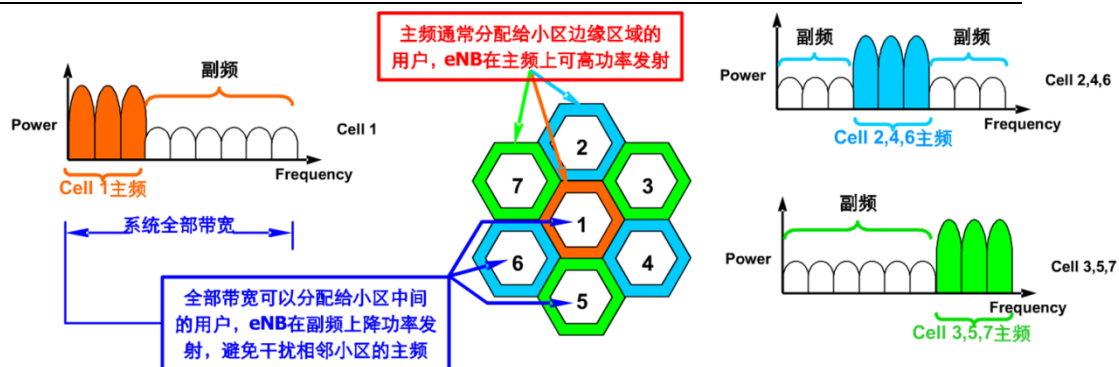


图4：频域协调

2、下行功率分配：在下行不使用功率控制

同站不同小区ICIC—时域协调

同站各小区的主频一样。对于同站小区间干扰协调，采用时域协调，如图5所示。

- 1) 黄色区域的用户只在偶数子帧调度
- 2) 淡蓝色区域的用户只在奇数子帧调度

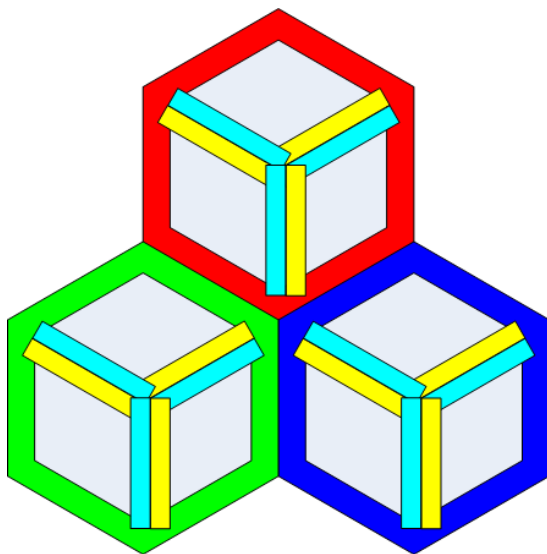


图5：时域协调

上行小区间干扰协调（ICIC）技术

- 采用基于高干扰指示(HII)和过载指示(OI)信息的ICIC技术
- 相邻eNodeB之间有线接口X2用于传送HII/OI
- 一个eNodeB将一个PRB分配给一个小区边缘用户（通过UE参考信号接收功率来判断是否处于小区边缘）时，预测到该用户可能干扰相邻小区，也容易受相邻小区UE干扰，通过HII将该敏感PRB通报给相邻小区。相邻小区eNodeB接收到HII后，避免将自己小区的边缘UE调度到该PRB上。
- 当eNodeB检测到某个PRB已经受到上行干扰时，向邻小区发出OI，指示该PRB已经受到干扰，邻小区就可以通过上行功控抑制干扰。

- HII和OI的传送频率

最小更新周期20ms，与X2接口控制面最大传输延迟相当

- HII和OI传送的频率选择性

为每个PRB发送一个HII和OI指示

非频率选择性的HII和OI可以降低X2接口的信令开销，但只能指示本小区受到了邻小区干扰，无法说明那些频带受到了干扰，也就无法指导邻小区有针对性的降低干扰

- HII和OI的等级：HII不分等级；OI分低、中、高三个等级
- HII和OI采用事件触发方式发送
- 对不同的邻小区发送不同的HII

《LTE 每天一课》由移动通信网发起，在2013年6月份每天发送到微信，欢迎添加MSCBSC官方微信为好友（微信号：mscb888，或直接扫描下面二维码）



MSCBSC官方微信账号:mscb888

最新动态，微信通知；
有问题微信反馈，超快捷回复；

关注方法：

打开微信右上角“魔法棒”，选择
“扫一扫”功能，对准左边的二维码即可