

3G-5G 小区间干扰抑制技术综述

一、概述：

干扰,泛指一切进入信道或通信系统对合法信号的正常工作的影响非期望信号。移动通信系统的干扰是影响无线网络掉话率、接通率等系统指标的重要因素之一。它严重影响了网络的正常运行和用户的通话质量。

1.1、干扰的分类：

(1)、从频段上可分为上行干扰与下行干扰。上行干扰定义为干扰信号在移动网络上行段,基站受外界射频干扰源干扰。上行干扰的后果是造成基站覆盖率的降低。物理上看,在无上行干扰的情况下,基站能够接收较远处手机信号。当上行干扰出现时,期望的手机信号需强于干扰信号,基站才能与手机联络,因此手机必须离基站更近,因此造成了基站覆盖率的降低。下行干扰是指干扰源所发干扰信号在移动网络下行频段,手机接收到干扰信号,无法区分正常基站信号,使手机与基站联络中断,造成掉话或无法登记。由于基站下行信号通常较强,对 GSM 来说,当某一下行频点被干扰时,手机能够选择次强频点,与其他基站联络。而 CDMA 本身即自扰系统,因此上行干扰的危害比下行干扰更严重。

(2)、从频点上可分为同频干扰与非同频干扰。同频干扰广义上是指干扰源占用的频率恰好与正常信号频率相同,上行下行都存在。但在移动通信网络中,同频干扰特指 GSM 制式中不同基站同一频点的下行信号在同一小区出现,使手机无法区分不同的基站,形成干扰。由于 GSM 制式采用多频点复用,相邻小区不会用同一频点。但远处小区功率控制出现问题时,远处小区同频点信号可能干扰到本小区。

(3)、从干扰源可分为固定频率干扰、随机宽带干扰、强信号对弱信号的干扰以及互调干扰等。固定频率干扰是指具有固定频率的干扰源工作于移动通信频段。这种干扰频率几乎不变,或小范围抖动,上下行都可能存在;随机宽带干扰,是指具有宽频带或频率随机变化的干扰源工作于移动通信频段,这种干扰幅度起伏不定,频率随机飘动,主要存在于上行;强信号对弱信号的干扰,是指合法的信号占用合法的频率,由于功率过强,造成邻近频段接收设备阻塞。或由于强信号杂散辐射过宽,造成对邻接频段的干扰;互调干扰,是由于外部一个或多个无线信号源由馈缆进入接收装置的非线性放大器产生的。

(4)、从通信系统来分可以分为移动通信系统内部干扰和移动通信系统外部干扰。

1.2、移动通信系统中干扰的分类

(1)、移动通信系统内部频率的干扰：

在2G系统中为提高频率利用率采用了频率复用方式。这虽然增加了系统的容量,但同时也增加了系统的干扰程度。这些干扰主要包括同频干扰、邻频干扰和互调干扰。

(a)、同频干扰：

所谓同频干扰,即指无用信号的载频与有用信号的载频相同,并对接收同频有用信号的接收机造成的干扰。现在一般采用频率复用的技术以提高频谱效率。当小区不断分裂使基站服务区不断缩小,同频复用系数增加时,大量的同频干扰将取代人为噪声和其它干扰,成为对小区制的主要约束。这时移动无线电环境将由噪声受限环境变为干扰受限环境。当同频干扰的载波干扰比 C/I 小于某个特定值时,就会直接影响到手机的通话质量,严重的就会产生掉话或使手机用户无法建立正常的呼叫。

(b)、邻频干扰：

所谓邻频干扰,即指干扰台邻频道功率落入接收机通带内造成的干扰。由于频率规划原因造成的邻近小区中存在与本小区工作信道相邻的信道或由于某种原因致使基站小区的覆盖范围比设计要求范围大,均会引起邻频道干扰。当邻频信道的载波干扰比 C/I 小于某个特定值时,就会直接影响到手机的通话质量,严重的就会产生掉话或使手机用户无法建立正常的呼叫。

(c)、互调干扰：

当两个以上不同频率信号作用于一非线性电路时,将互相调制,产生新频率信号输出,如果该频率正好落在接收机工作信道带宽内,则构成对该接收机的干扰,我们称这种干扰为互调干扰。互调干扰主要是指指数模共站的基站,由于模拟基站发射机的影响,而对数字基站产生的干扰。这种干扰的直接后果是时隙不能使用,造成基站资源的浪费,也会产生掉话。

(2)、外来电波的强烈干扰：

由于移动通信是靠空中电波传播的,当空中某些电波对正在使用的电波产生的干扰达到一定程度时,会使信号噪声比下降到标准值以下(影响通话质量),这时手机将自动关闭,便出现掉话。这些干扰电波来源非常复杂,是多方面的,例如工业干扰、电源火花干扰和其它的邻近电波干扰等,这些干扰是很难完全避免的。移动通信系统中无线电波传播的特性,决定了其在通信过程中必然受到外界多种因素的影响,因此,外来电波的干扰是造成移动通信系统干扰的主要原因之一。

二、技术现状:

2.1、传统干扰抑制技术

在传统移动通信系统中,相邻小区采用不同频段以抑制小区间干扰

2.1.1、基于软频率复用的小区间干扰协调

软频率复用的核心思想是把小区覆盖范围分为小区中心和小区边缘两种不重叠的区域,在小区边缘采用和传统2G 系统类似的频率复用策略以降低小区间干扰,在小区中心采用全频率复用以提高速率。

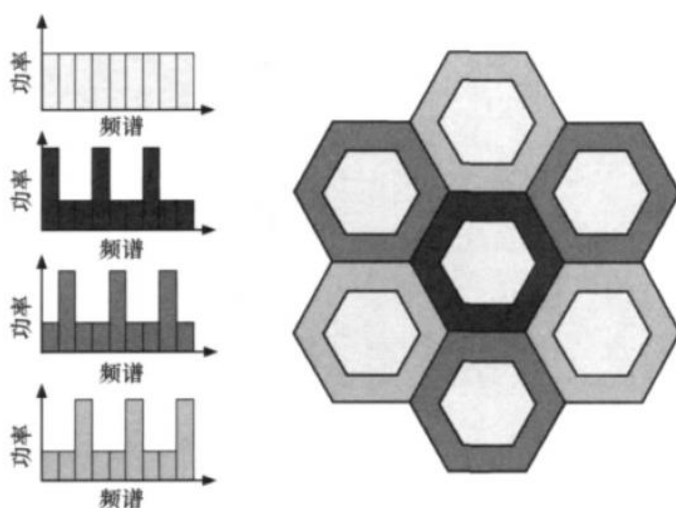


图1 软频率复用示意

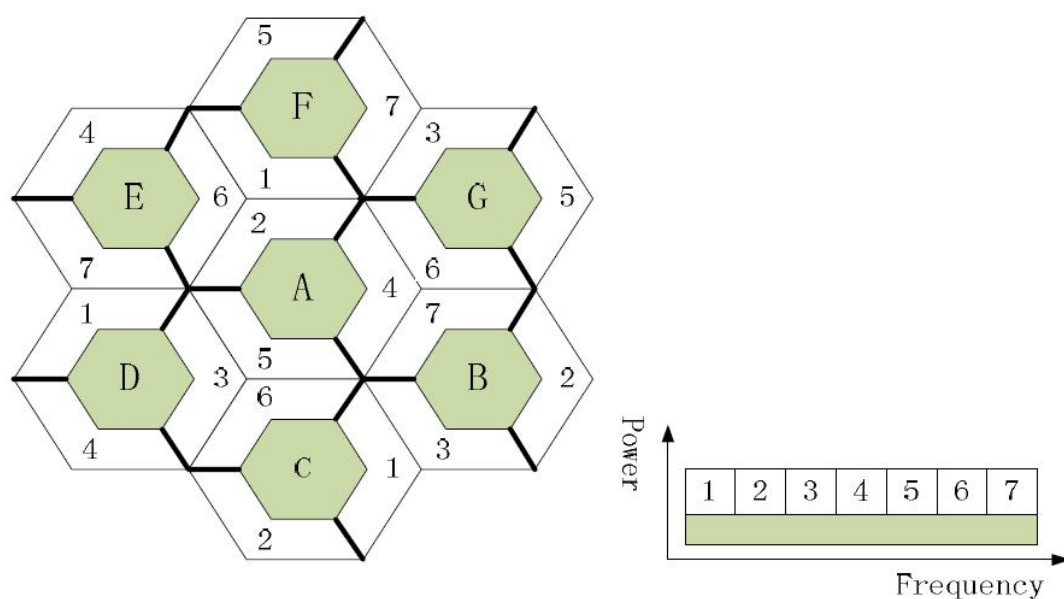
图1 给出了一种典型的实现方案,小区中心用户可使用整个频谱,但使用较小的功率以降低对邻近小区的干扰。由于其路径损耗较小,所以降低功率并不影响其正常使用。对小区的边缘用户,先将整个频带分成3 个互不重叠的子频段,一个小区只使用一个子频段并且相邻小区使用不同的子频段。由于邻小区边缘用

户使用互不重叠的频段，边缘用户可以使用较大的功率。

该提案简单易行，通过在系统初始化阶段进行一次频率资源规划再辅以一定的资源分配算法即可以实现对小区间干扰的抑制，且软频率复用效率比较高。

但它也存在明显的缺点，一是小区边缘频谱效率不高，通常只能使用1/3的频谱资源；二是当OFDM系统内各小区的负载随着时间的变化而剧烈变化时，该方法显得很不够灵活。阿尔卡特提出一种改进方案，该方案的核心是对小区边缘进行了细分，将整个可用频段分为7组。将小区边缘分成6个部分，每个部分可用频率为这7组中间的其中一组，不同小区间的相邻小区边缘采用的频带互不重叠。这使得在确保小区间干扰减小的前提下，小区边缘可用频率相较于华为的提案显著提高(从1/3提高到6/7)。

具体实现如下：



在该方案中，每个小区的中心区域使用全段频率以使中心区域容量最大，而边缘区域被分为3部分，每部分又使用不同的频段。再将整个频段7等分，分别与小区中各数字区域部分相对应，如图。这样就实现了各相邻数字区域之间频率的交错，避免了相邻小区间的同频干扰。

该方案虽然大大提高了SINR值，但这是以频谱利用率作为代价，系统容量并未得到提高反而下降，如图3。

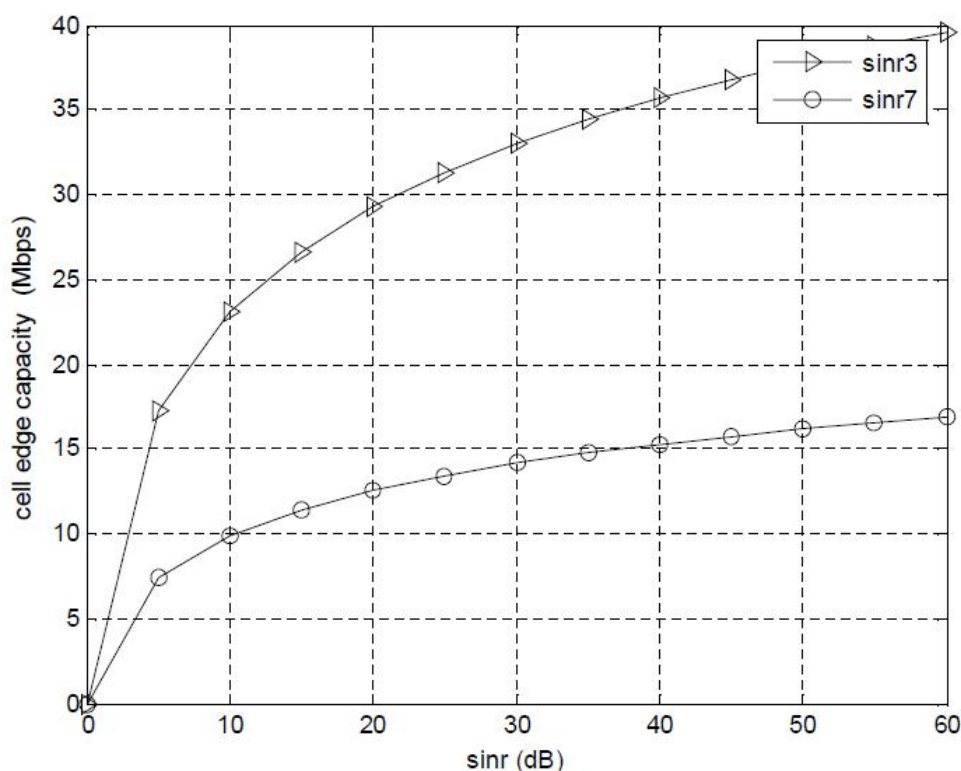


图 3. 未采用资源调度方法的两种 SFR 方案小区边缘区域容量

由于 OFDM 系统小区内子载波严格正交，很好地避免了小区内的同频干扰，因此，在某小区边缘区域可以采取由该小区3 个数字区域部分的频率之和。A 小区的数字2 区域可以采用频段为4 和5 的频率，因为小区内的同频干扰已经被正交子载波消除，因此，A 小区边缘区域就可以共用 2、4、5 频段的频率资源，占整个频率带宽的3/7，频谱利用率得以提高，系统容量也必然提高，如图4。

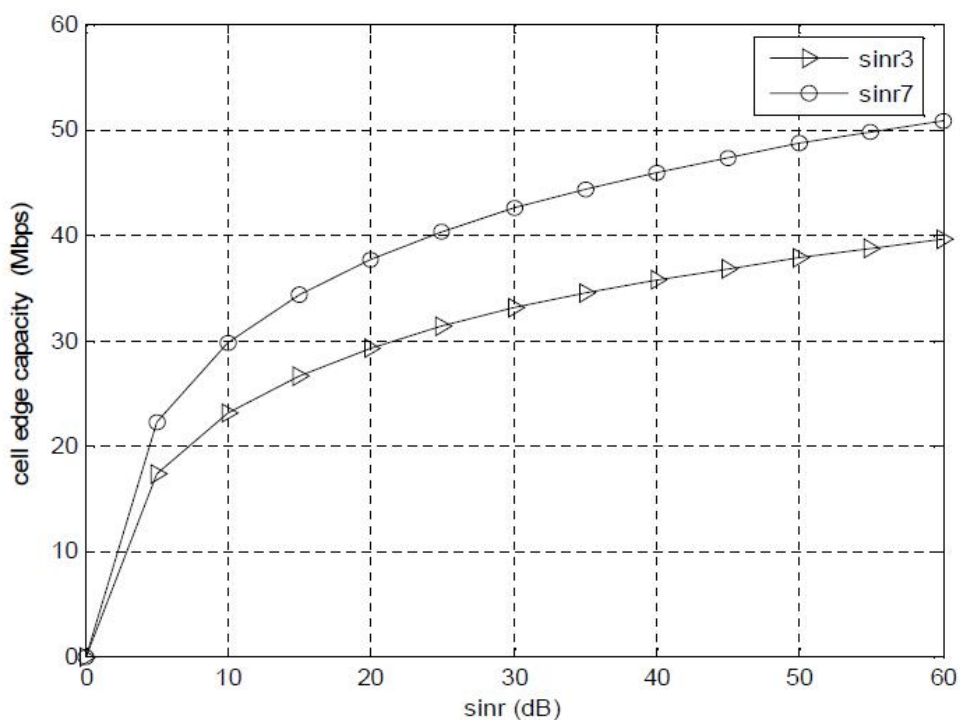


图 4. 采用调度方法后两种 SFR 方案小区边缘区域容量

这种方案虽然可行，但是必须使用有效的资源调度方法进行控制。当A 小区的数字2部分调用频段为4 的频率资源，而E 小区的数字6 部分也调用频段为4 的频率资源，这样，由于两数字区域距离相距太小，小区间的同频干扰较大，误码率会急剧上升，严重影响系统性能，甚至无法保证最低通信质量要求。

资源调度方法就是用来杜绝相邻两数字区域使用同一频率造成干扰过大的情况发生。由于用户数和业务量往往都是随机的，很少会出现多个相邻小区同时达到资源短缺的情况，因此可以通过一定的资源调度方法让资源紧张的小区边缘区域调用同小区的其他频率资源，而与该小区较近的邻小区不允许再调用该频率资源。A 小区的数字2 区域已调用频段4 的频率，那么小区 E的数字 6、7 区域就不能再调用频段为4 的频率，从而避免小区间同频干扰过大。同样，如果A 小区数字4 区域已调用频段5 的频率资源，那么小区G 的数字3、6 区域就不能调用5 频段频率。这样，A 小区的数字4 边缘区域就可占用整个频段的3/7，系统容量得以提升，满足更多用户的需求；而G 小区的数字3 和6 边缘区域不能再调用频段5，但仍可互相调用，所占频率也能达到整个频段的2/7，不会导致系统容量下降过大。如果不采用资源调度算法，频率复用因子为7 的软频率复用方案中各小区中每个数字区域的可用频率为整个频段的1/7，虽然其SINR 值相对于频率复用因子为3 的软频率复用方案有较明显提高，但是对于小区边缘区域容量却有较大的降低。

采用合理的资源调度算法，不仅可以明显增大SINR 值，也可使各小区边缘

部分的可用频率达到3/7，这样小区边缘区域的容量相对频率复用因子为3 的软频率复用方案就有较大105 提升，如图4 所示。

2.1.2、 结论

本文给出了一种频率复用因子为7 的软频率复用方案来抑制小区间干扰，相对较常用的频率复用因子为3 的软频率复用方案，该方案在小区边缘区域部分获得了更高的用户峰值速率，使整个系统容量得到提升。

软频率复用基本不需要在基站间交换信息，优点是计算复杂度低，信令开销也很低，具有较高的可行性。但软频率复用使得小区边缘只能使用部分频谱资源，吞吐量受影响，难以实现高速率传输，这是软频率复用技术的根本缺陷。

2.2、 CDMA 系统中常用的干扰抑制技术

2.2.1、 功率控制

在CDMA系统中，功率控制是无线资源管理的核心技术之一，它对于克服“远近效应”、减小小区间干扰、增加系统容量和提高系统性能具有重要作用。

在移动通信的上行链路中，如果小区内的所有用户均以相同功率发射，则靠近基站移动台到达的信号强，远离基站移动台到达的信号弱，导致强信号掩盖弱信号的“远近效应”。CDMA是同一小区内多个用户同一时刻共同使用同一频率的系统，因此“远近效应”更加突出。为了克服CDMA系统的“远近效应”，应对移动台进行功率控制。在下行链路中，位于小区边缘的移动台受其它相邻小区的干扰，导致接收信号恶化，产生“边缘效应”，为了克服这种效应，也需要对基站实行功率控制。功率控制技术可补偿传输损耗、解决“远近效应”和“边缘效应”问题、增加系统容量和提高系统性能，从而更好地发挥第三代移动通信系统的优势。按照不同的分类标准，功率控制技术可分为不同的类型。

(1)、按通信的上下行链路方向，功率控制可分为：

(a)、上行链路功率控制：

它又称反向功率控制，用于控制移动台的发射功率，保证基站收到各个移动台发射的信号功率或信噪比（SNR）基本相等，这样既能有效克服“远近效应”，又能使移动台在满足自身服务质量（Qos）要求的情况下，尽可能降低发射功率，从而延长移动台的电池寿命。

(b)、下行链路功率控制：

它又称前向功率控制，用于控制基站的发射功率，使所有移动台收到的基站发射信号功率或信噪比基本相等，从而克服“角效应”，并可使基站的平均发射功率减小，有效降低小区间干扰。

(2)、集中式和分布式功率控制

(a)、集中式功率控制

它是指在网络端进行功率控制，根据接收端接收的信号功率和各条链路的增益整体，调整发射端的发射功率。在已发表的论文中，对集中式功控作过分析研究，证明它能通过几次迭代，快速收敛到一个最佳的发射功率向量。由于集中式功控需知道所有链路的信息，会造成很大的时延，而且计算复杂度很高，在实际系统中很难实现，但它可提供功率控制的性能范围。

(b)、分布式功率控制

它是在接收端进行的功率控制，根据接收端的接收信号功率及其链路增益，单独调整自身发射功率。这种方式只需了解接收端自身的局部信息，算法比较简单，在实际系统中易于采用。

(3)、开环功率控制、外环功率控制和内环功率控制

(a)、开环功率控制

主要用于随机接入过程中。在移动台准备发起呼叫时，先接收基站发射的广播信号，估计下行链路的衰落情况，然后把下行链路衰落近似等价上行链路损耗进行补偿，再加上一定的安全裕度，作为初始发射功率。

(b)、外环功率控制

主要功能是适应无线信道的变化情况。由于服务质量要求是根据误码率或误块率衡量，外环通过检测接收端的误块率，动态调整内环功控中的目标信噪比，把功率控制与为用户提供的服务质量直接相关联。

(c)、内环功率控制

又称快速功率控制，把实时测量的SIR与目标信噪比相比较，产生传输功率控制（T[C]）命令，发射端根据收到的TPC进行功率调整。

2.2.2、扩频技术：

扩频是一种信息处理传输技术。扩频技术是利用同欲传输数据（信息）无关的码对被传输信号扩展频谱，使之占有远远超过被传送信息所必需的最小带宽。扩频信号具有抗干扰，抗多径衰落，低截获概率，码分多址能力，高距离分辨率

和精确定时特性等。

扩频的基本方法有，直接序列(DS)、跳频(FH)、跳时(TH)和线性调频(Chirp)等4种，其目前人们所熟知的新一代手机标准CDMA就是直接序列扩频技术的一个应用。而跳频、跳时等技术则主要应用于军事领域，以避免己方通信信号被敌方截获或者干扰。

2.2.2.1、工作原理：

在发端输入的信息先经信息调制形成数字信号，然后由扩频码发生器产生的扩频码序列去调制数字信号以展宽信号的频谱。展宽后的信号再调制到射频发送出去。在接收端收到的宽带射频信号，变频至中频，然后由本地产生的与发端相同的扩频码序列去相关解扩。再经信息解调、恢复成原始信息输出。

由此可见，一般的扩频通信系统都要进行三次调制和相应的解调。一次调制为信息调制，二次调制为扩频调制，三次调制为射频调制，以及相应的信息解调、解扩和射频解调。与一般通信系统比较，扩频通信就是多了扩频调制和解扩部分。

2.2.2.2、分类：

按照扩展频谱的方式不同，现有的扩频通信系统可以分为：

(a)、直扩方式：

直接序列扩频工作方式，简称直扩(DS)方式所谓直接序列扩频，就是直接用具有高码率的扩频码序列在发端去扩展信号的频谱。而在收端，用相同的扩频码序列去进行解扩，把展宽的扩频信号还原成原始的信息。

用窄脉冲序列对某一载波进行二相相移键控调制。如果采用平衡调制器，则调制后的输出为二相相移键控信号，它相当于载波抑制的调幅双边带信号。

(b)、跳频方式：

另外一种扩展信号频谱的方式称为跳频所谓跳频，比较确切的意思是：用一定码序列进行选择的多频率频移键控。也就是说，用扩频码序列去进行频移键控调制，使载波频率不断地跳变，所以称为跳频。

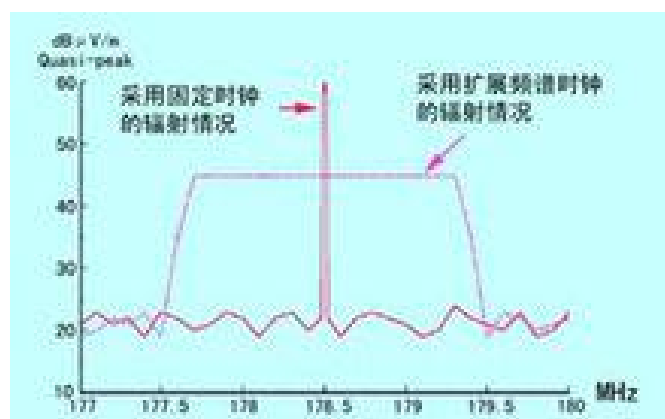
简单的频移键控如2FSK，只有两个频率，分别代表传号和空号。而跳频系统则有几个、几十个、甚至上千个频率、由所传信息与扩频码的组合去进行选择控制，不断跳变。

(c)、跳时方式：

跳变时间工作方式，简称跳时(TH)方式。与跳频相似，跳时是使发射信号在

时间轴上跳变。首先把时间轴分成许多时片。在一帧内哪个时片发射信号由扩频码序列去进行控制。可以把跳时理解为：用一定码序列进行选择的多时片的时移键控。

由于采用了窄得很多的时片去发送信号，相对说来，信号的频谱也就展宽了。在发端，输入的数据先存储起来，由扩频码发生器的扩频码序列去控制通一断开关，经二相或四相调制后再经射频调制后发射。在收端，由射频接收机输出的中频信号经本地产生的与发端相同的扩频码序列控制通一断开关，再经二相或四相解调器，送到数据存储器并再定时后输出数据。只要收发两端在时间上严格同步



进行，就能正确地恢复原始数据。

(d)、Chirp方式：

宽带线性调频工作方式，简称Chirp方式。

这种扩频调制方式主要用在雷达中，但在通信中也有应用。发端有一锯齿波去调制压控振荡器，从而产生线性调频脉冲。它和扫频信号发生器产生的信号一样。在收端，线性调频脉冲由匹配滤波器对其进行压缩，把能量集中在一个很短的时间内输出，从而提高了信噪比，获得了处理增益。匹配滤波器可采用色散延迟线，它是一个存储和累加器件。其作用机理是对不同频率的延迟时间不一样。如果使脉冲前后两端的频率经不同的延迟后一同输出，则匹配滤波器起到了脉冲压缩和能量集中的作用。匹配滤波器输出信噪比的改善是脉冲宽度与调频频偏乘积的函数。一般，线性调频在通信中很少应用。

2.2.2.3、优势：

(1)、抗干扰能力

强扩频通信系统扩展的频谱越宽，处理增益越高，抗干扰能力就越强。简单

地说，如果信号频谱展宽10倍，那么干扰方面需要在更宽的频带上去进行干扰，分散了干扰功率，从而在总功率不变的条件下，其干扰强度只有原来的1/10。

另外，由于接收端采用扩频码序列进行相关检测，空中即使有同类信号进行干扰，如果不能检测出有用信号的码序列，干扰也起不了太大作用，因此抗干扰性能强是扩频通信的最突出的优点。

(2)、码分多址能力强

由于扩频通信中存在扩频码序列的扩频调制，充分利用各种不同码型扩频序列之间优良的自相关特性和互相关特性，在接收端利用相关检测技术进行解扩，则在分配给不同用户不同码型的情况下，系统可以区分不同用户的信号，这样在同一频带上许多对用户可以同时通话而互不干扰。

(3)、高速可扩展能力强

由于独占信道且码分多址，所以速率很高。由于在IEEE802.11标准中，11位随机码元中只有1位用来传输数据，因此吞吐量的扩展能力强。相对于通用标准采用的相位变化DQPSK/DPSK调制技术，增强型采用了直序/脉冲位置调制（DS/PPM）技术。PPM技术使用了预置的8位码元中的3位传输数据，这就使传输率产生了飞跃。

2.2.2.4、应用前景：

扩频信号是用扩展随机序列——伪随机码调制射频信号或不断跳跃的载波信号频率而得到的，这样，扩频系统不同于传统通信系统，它可以极大地共享相同的频道资源。每套系统都具有与众不同的扩展序列来减少来自其他设备的干扰，只有具有与发射者相同扩展序列的接收者才可以重组或压缩扩频传输信号来获得其中加载的有效信息。即使是多套扩频设备使用同一个频道在同一地区进行信号传输，只要采用不同的扩频序列，就不会相互干扰。扩频系统这一频道复用的优势，使其成为在大城市频谱资源十分拥挤的环境下最理想的选择。

扩频通信作为一种成熟的高科技技术，可应用于：（1）地僻人稀的农村及通信不发达地区；（2）有线基建已饱和的繁华市区；（3）因业务要求骤增而有线基建滞后的新建社区；（4）用户主干/备份通信网络，以弥补邮电公众网络的不足。

2.3 基于多小区载波、功率联合分配的干扰协调技术

软频率复用可以认为是将OFDM 系统整个频带分为多个子频段，确定各子频

段功率，然后为每个用户指定所使用的频段，在频段中为用户分配子载波。因此，针对软频率复用缺陷的改进方法是直接为用户分配载波和功率。在多小区载波、功率联合分配中，一般假设各用户的信道状况已知，并且当一个子载波分配之后，对其他小区同一载波形成的干扰可以计算得到。多小区载波、功率联合分配一般可以用约束优化问题建模，根据优化目标的不同，目前的研究可大概分为两类，第一类的目标是在最大发送功率受限和满足用户公平性条件下，通过子载波和功率的最优分配使系统吞吐量达到最大[7~8]；第二类的目标是在满足用户传输速率的条件下，通过子载波的最优分配使总的传输功率最小。

载波和功率的联合分配在具体实施上可以分为集中式和分布式两种形式。集中式资源分配方案假设网络中存在包含全局网络信息的设备（如RNC），该设备根据所有用户的信道信息和相互干扰统筹载波和功率的分配。集中式资源分配方案的缺陷是所有计算都集中到了一个网元设备上，计算量大，复杂度高。为了使方案更具实用性，一般需要对问题模型进行简化，参考文献[11]对载波分配进行了简化，假设每个用户分配的载波数相同。简化方案以一定性能下降为代价显著降低了复杂度。

分布式资源分配方案是指载波分配发生在只有网络局部信息的网元设备，如基站。基站独立操作，同时通过基站之间交换信息实现全局的优化。参考文献[12]提出了一种基于最大化吞吐量准则的分布式功率分配算法。首先针对单载波在每个小区计算关闭该载波对整体系统吞吐量的影响，以此决定该载波在本小区是否分配，然后并行应用于多载波的情形。但该算法没有考虑到用户的公平性问题。参考文献[13]同样通过子载波对整体吞吐量的贡献来判断是否在小区内选择该载波。算法同时还加入了用户权重，使用户的公平性在一定程度上得到了保证，收敛速度也较快。总体而言，分布式资源分配的收敛性分析是个很困难的问题。很难保证算法能收敛到全局最优解，并且分布式方案的分配结果会存在波动现象，收敛速度较慢。

2.4、基于交织多址的干扰随机化和干扰消除

交织多址（interleave-division multiple access, IDMA）技术是码分多址技术的一种特例（可以认为是扩频因子为1时的码分多址）[14~15]，因此IDMA继承了码分多址技术抗多径衰落、抗多用户干扰等诸多特性。IDMA 系统的实现如图2 所示。IDMA 技术的核心是在不同小区使用不同的伪随机交织器，通过伪随机交织器产生不同的交织图案，并分配给不同的小区，接收机采用不同的交织图案解交织，即可将目标信号和干扰信号分别解出，然后在总的接收信号中减

去干扰信号，进而有效地提高接收信号的信干比。

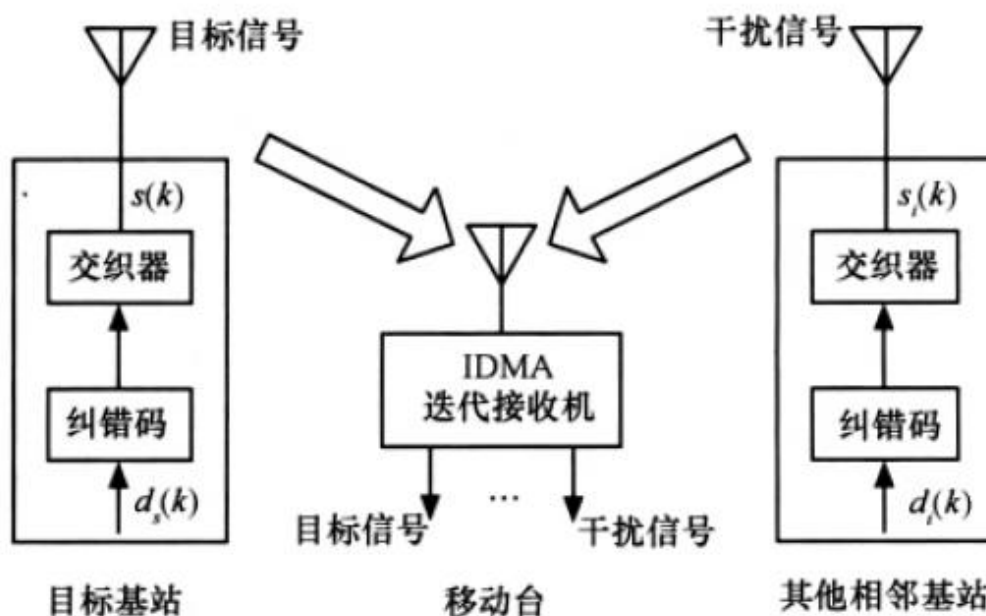


图 2 交织多址系统示意

IDMA 技术在LTE 系统的应用体现在两方面：一方面，IDMA 技术对每个基站发送信号应用不同的交织码，可作为干扰随机化的手段，其效果与传统3G 系统的加扰并无明显差异；另一方面，IDMA 可以采用类似于码分多址系统多用户联合检测的干扰消除技术，这种技术是通过将干扰信号解调/解码后，对该干扰信号进行重构（reconstruction），然后从接收信号中减去。如果能将干扰信号分量准确减去，剩下的就是有用信号和噪声，是一种更为有效的干扰消除技术。小区间干扰删除的优势在于，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。有研究表明，基于IDMA 的迭代干扰消除技术可以使小区边缘吞吐量（即5% CDF 吞吐量）获得50%的性能增益；在小区平均吞吐量方面，也有5%的性能增益。

由于需要完全解调甚至解码干扰信号，IDMA 对系统的设计如资源块分配、信道估计、同步、信令等提出了更高要求或带来了更多限制。因此，LTE Release 8 中没有采用IDMA 的干扰消除，而仅作为一种干扰随机化技术，但是，IDMA 干扰消除技术的优越性能仍然吸引了很多研究者的注意，在LTE 的演进版本中有持续的论。

2.5、基于协作调度的干扰抑制技术

LTE-Advanced 系统提出了多点协作传输技术 (coordinated multipoint transmission/reception, CoMP), 因其能有效改善小区边缘用户性能, 提高系统吞吐量, 在近年来引起了业界的广泛关注和研究, 成为LTE 小区间干扰抑制技术的新研究方向。

多点协作传输技术是对传统单基站MIMO 技术的一个补充和扩展, 若干小区的基站使用光纤或电缆连接, 通过基站间协作传输来达到减少小区间干扰、提高系统容量、改善小区边缘覆盖的目的。目前, 多点协作传输技术分为多点联合处理和多点协调调度两大类, 分别适用于不同的应用场景, 互相之间不能完全取代。

(1) 多点联合处理技术

多点联合处理, 即多个协作节点(基站)之间通过共享数据及信道信息、调度信息等, 联合为目标用户提供服务。其基本原理如图3 所示, 位于小区边缘的用户同时被小区1、小区2 服务。在采用多小区联合处理的系统中, 每个基站都可以看作是虚拟天线, 与用户形成虚拟MIMO 系统, 使用多个基站为一个或多个用户服务。此技术可以把相邻小区干扰信号转换为有用信号, 从而消除相邻小区干扰, 提高小区边缘用户的信号质量。

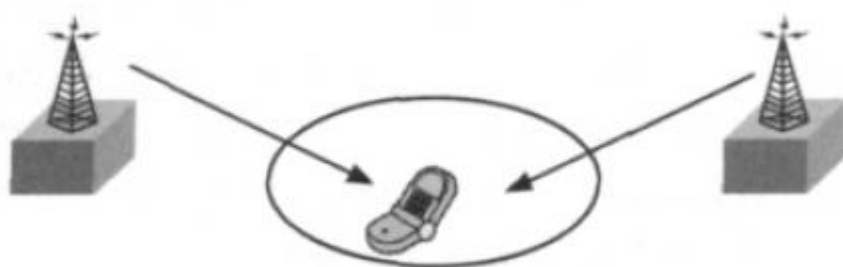


图3 多点联合处理技术示意

多小区联合发送虽然可以得到较大的增益, 但是要在实际系统中实现仍然具有一定的难度: 首先参与联合发送的各个基站都需要获得所有用户的数据包, 在用户速率较高时会要求基站之间的支撑网络具有较大的容量; 另外, 在用户端对来自于多个基站的信号进行时间和频率的同步也比较困难。

(2) 多点协调调度技术

多点协调调度, 即用户数据通过用户所在的服务小区传输, 在相邻节点(基站)之间交互调度信息、协同调度, 用以避免小区间干扰。此技术类似于干扰协调、干扰随机化的思想, 通常集中在和多天线波束成形相结合的解决方案上。

在多天线蜂窝通信系统中，波束成形是一种实现复杂度较低的发送方案，通过使用与用户信道相匹配的发送波束，可以优化信号功率的利用，提高服务质量，但由于发送波束具有手电筒特性，可能会对相邻小区所服务的用户造成较大的干扰。因此，将多点协调调度技术与波束成形结合起来，即通过相邻小区间的X2 接口交换调度信息，使每个小区选择使小区吞吐量总和最大或小区间干扰最小的波束，而不是仅仅考虑本小区的吞吐量，这样即可有效避免波束成形可能带来的干扰。其实现方式如图4 所示，当相邻基站同时选择波束RS1 或RS2 时，可最大限度地降低干扰。由于波束成形调度技术需根据小区实时用户分布情况来确定波束类型，设备昂贵且计算复杂，目前许多提案对此进行简化，普遍做法是假设小区内波束的类型（如发射方向、覆盖范围等）是事先确定的，小区间协作调度只需考虑某个时隙使用哪个波束，而不用考虑波束的类型。

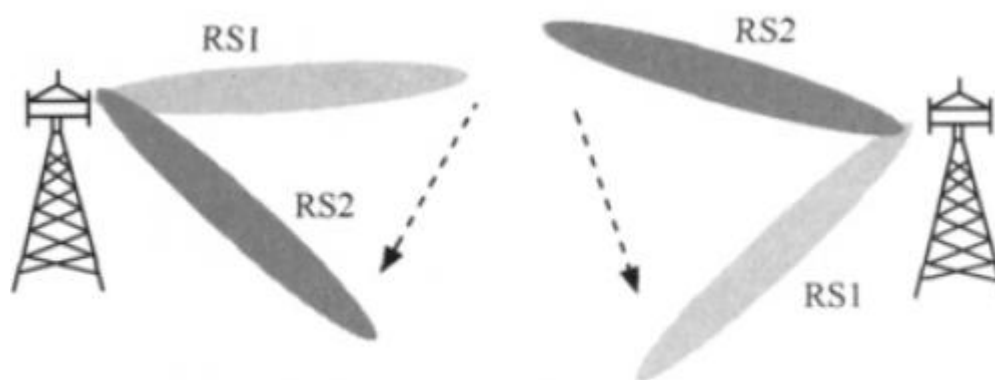


图 4 多点协调波束调度示意

波束协作调度实现复杂度低，只需在相邻干扰小区间交换用户信息，实用性较好，更重要的是，波束协作调度与其他干扰抑制技术可以同时使用，现有波束协作调度没有考虑波束功率的协作控制，预计引入波束功率协作控制后，波束协作调度可弥补软频率复用的缺陷。

三、技术演进：

抑制MIMO蜂窝系统中小区间干扰的多基站联合处理研究进展如下：

MIMO技术在解决容量和传输速率方面的优势无与伦比是新一代移动通信系统的关键技术。在MIMO系统多小区组网情况下“由于每个天线都是干扰源MIMO蜂窝系统中的小区间干扰比单天线蜂窝系统严重得多，导致MIMO吞吐量锐减和用户性能恶化。如何在多小区环境更好地利用MIMO技术抑制或降低小区间干扰或其它小区干扰是关键，因此，研究抑制MIMO蜂窝系统中小区间干扰的算法和方法具有

重要的理论与应用价值。但是“仅通过单个基站处理无法解决小区间干扰问题，必须通过多基站联合处理才行，现在这方面的研究工作刚刚起步，其中包括一些很有意义的工作，特别是以联合传输或预编码为代表的多基站联合处理。联合传输/预编码是一种可以在不牺牲性能的情况下降低接收端复杂性的方案，这对移动通信下行链路（从基站到移动台，接收端是用户移动终端）非常适合。在单小区环境中，联合传输/预编码已取得很大进展。利用联合传输/预编码解决MIMO系统在多小区组网时下行链路中小区间干扰或其它小区干扰问题”是一种新的思路和扩展。

如何在多小区环境更好地利用MIMO技术降低小区间干扰或其它小区干扰十分关键。已有的MIMO系统中降低小区间干扰的方案主要包括：传统方法，联合检测，干扰抵消（包括基于IDMA的软干扰抵消），宏分集，信道资源调度，分布式天线，干扰随机化，波束成型，预编码/联合传输等，其主要技术特点总结如表1：

技术		优点	缺点
频率再用（包括软频率再用）		可以简单、有效地降低小区间干扰或其他小区干扰	需要复杂的频率规划，不仅降低了频谱有效性，而且目前已用到极致，很难再取得进展
传统方法	扇区化	减少小区边沿的平均干扰，频率可以按扇区再用，相对频率再用方法提高了频谱利用率	减少了多径分集效果，不能充分利用MIMO优势；存在区间用户数不平衡问题，增加切换复杂性
	扩频	通过码分配和控制每个小区的负载等，将干扰调整在较低水平	降低了系统负载”不能充分利用MIMO优势
	功率控制	通过功率控制，降低对相邻小区的干扰	理想的功率控制很难实现
联合检测		可以采用ML, ZF, MMSE等联合检测方案，去的较低的比特错误率	移动台需要配置较大数量的天线，移动台需要连续处理导频信道和进行信道估计，移动台的处理复杂度高
干扰相消		可以采用串行’并行’迭代等方案”取得较低的比特错误率”与联合检测比较复杂度有一定下降	移动台需要配置较大数量的天线”移动台需要连续处理导频信道和进行信道估计，对信道估计误差十分敏感
宏分集		可以获得较好的分集效果”有	合并需要信道估计，小区间需要

	效地降低小区间干扰或其它小区干扰~增加系统稳健性	大量交换信息, 频谱有效性低
信道资源调度	通过实时地动态分配相邻小区间信道资源回避其它小区干扰。一般在高层实现, 可以与物理层方案结合效果更佳	实时性要求高, 需要对信道占用、负载、干扰水平、Qos等进行测量, 小区间需要大量交换信息, 各种调度依据参数会因应用场景而不同, 如何设置其门限很困难
分布式天线	具有较低的传输功率, 减少了小区间干扰。有较好的小区覆盖	需要发展新的网络结构, 在城区部署困难且建网需要大的投资
干扰随机化	包括加扰、小区特定交织等方法, 将小区间干扰随机化为“白噪声”	只能将小区间干扰白化, 并不能消除干扰
波束成型	通过波束成型得到一个指向用户的窄波束, 只有相邻小区的波束发生碰撞才会造成干扰	波束成型需要附加的方向角估计, 另外, 波束成型的天线阵列配置与基于容量最大化的MIMO不一致
预编码/联合传输	通过多小区基站联合预编码/联合传输, 理论上可以获得最佳性能, 频谱有效性高, 适合下行链路采用	传输端需要信道信息, 小区间同步要求高, 小区间需要大量交换信息, 基站处理复杂度高

四、结论或结束语

上述的小区间干扰抑制技术中, 软频率复用和波束协作调度有较高的实用性, 也是目前在业界可能会首先得到应用的技术。软频率复用基本不需要在基站间交换信息, 计算复杂度低, 具有较高的可行性。目前, 3GPP 干扰抑制提案中很大部分基于软频率复用技术, 研究较成熟, 但软频率复用使得小区边缘只能使用部分频谱资源, 吞吐量受影响, 这是软频率复用技术的根本缺陷。波束协作调度实现复杂度低, 只需在相邻干扰小区间交换用户信息, 实用性较好, 更重要的是, 波束协作调度与其他干扰抑制技术可以同时使用, 现有波束协作调度没有考虑波束功率的协作控制, 预计引入波束功率协作控制后, 波束协作调度可弥补软频率复用的缺陷。

理论上多小区载波、功率联合分配可以实现比软频率复用更优秀的性能，但集中式分配由于需要大量计算资源并且不符合未来网络扁平化架构的发展趋势，实用性较差。现有3GPP 提案以分布式分配为主，但如何在性能和复杂度之间取得较好的折中，仍是有待解决的问题，另外，现有分布式分配方法普遍缺乏性能分析，因此，在不同网络状态下的性能稳定性仍有待研究。

基于IDMA 的干扰消除和基站协作通信为小区间干扰抑制带来全新思路，并且可以和其他技术，如多小区载波、功率联合分配同时使用，但是现有的方法尚未成熟。如现有IDMA 干扰消除技术使用迭代求解，要求用户端有强大的计算资源，并且知道附近多个基站的交织码，这在实际中往往是不可能得到的。我们预计低复杂度干扰消除技术，如线性干扰消除是未来小区间干扰消除的研究热点。

小区间干扰是制约LTE 系统性能的重要因素，干扰协调和干扰消除是两种实现干扰抑制最主要的方式，未来的系统极有可能是两者同时使用，但目前仍没有公认的、成熟的技术，即使在LTE-Advanced 系统中，也很难有确定的实施方案，预计LTE 小区间干扰在未来几年将仍是业界关注的重点。

微信扫描以下二维码，免费加入【5G 俱乐部】，还赠送整套：5G 前沿、NB-IoT、4G+ (VoLTE) 资料。

