

第四课：LTE 的其它一些关键技术

除了 OFDM 和 MIMO，还有很多其它的技术应用于 LTE 上，下面一一介绍。

HARQ 混合自动重传

1、HARQ 技术

LTE 中 HARQ 技术主要是系统端对编码数据比特的选择重传以及终端对物理层重传数据合并。在这里涉及到 2 个方面，一个就是自动重传请求也就是 ARQ 技术，另外一个就是前向纠错技术 FEC。也可以这么说 $HARQ=ARQ+FEC$

FEC 是一种编码技术，编码的作用主要就是保证传输的可靠性，具有自动纠错的能力。举个例子，如果我要传输信息 0，我可以发 0000，如果收到干扰变成了 0001 或者 1000 的话，FEC 可以纠正为 0000，从而增加了容错率，而只发一个 0 的话一旦干扰成了 1 就会造成误码。而假如接收端收到的是 1100，由于 1 和 0 一样多所以，会认为是错码，从而要求重传，触发 ARQ。

而 ARQ 技术则是收到信息后，会通过 CRC 校验位进行校验，如果发现错误了或者压根就没收到这个包会回 NAK 要求重传，否则回 ACK 说明已经收到了。

2、HARQ 有两种运行方式：

- (1) 跟踪 (Chase) 或软合并 (Soft Combining) 方式一即数据在重传时，与初次发射时的数据相同；
- (2) 递增冗余 (Incremental Redundancy) 方式一即重传时的数据与发射的数据有所不同。

后一种方式的性能要优于第一种，但在接收端需要更大的内存。终端的缺省内存容量是根据终端所能支持的最大数据速率和软合并方式设计的，因而在最大数据速率时，只可能使用软合并方式。而在使用较低的数据速率传输数据时，两种方式都可以使用。

3、HARQ 流程

下面是一个软合并的流程图

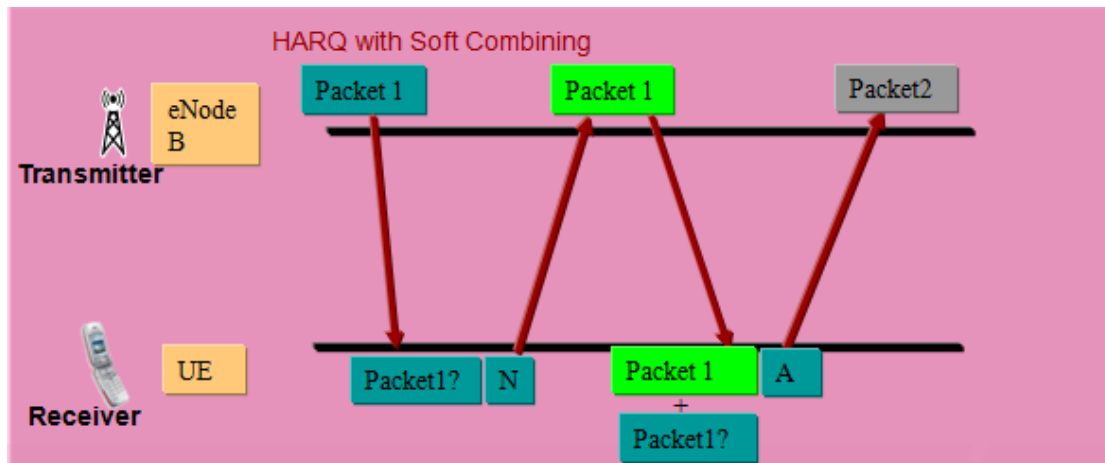


图 1 HARQ 流程

从图 1 看，ENB 先发一个 packet1 给 UE，UE 没有解调出来，回 NAK 给 ENB。这时候 ENB 将 packet1 另外一部分发给 UE，UE 通过两次发送的包进行软合并，解出来回 ACK，ENB 收到后继续发 packet2。

这里要的一点是，HARQ 发端每发一个包都会开一个 timer，如果 timer 到时时还没有下一个包到来，ENB 会认为这是最后一个包，会发一个指示给 UE，告诉它发完了，防止最后一个包丢失。而 UE 侧也有计时器，回 NAK 后计时器开始，到时候如果还没有收到重发的话就会放弃这个包，由上层进行纠错。而且不同 QoS 的 HARQ 机制也不同，如 VOIP 之类的小时延业务，可能就会不要求上层重发，丢了就丢了，保证时延。

最后再说说递增冗余 (IR) 这种方式，第一次发和重发的内容不同，那么是怎么不同呢？大致原理是信息在进入通信系统后会首先进行调制和编码，经过调制的信息相当于压缩过的，是比较小的信息，第一次会先发这个信息。而经过编码的信息是带冗余的信息，如果第一次发送失败的话第二次会将编码后的信息发射出去，由于冗余信息有纠错的功能，所以增加了重发的可靠性。

4、同步 HARQ 和异步 HARQ

同步 HARQ：每个 HARQ 进程的时域位置被限制在预定义好的位置，这样可以根据 HARQ 进程所在的子帧编号得到该 HARQ 进程的编号。同步 HARQ 不需要额外的信令指示 HARQ 进程号。

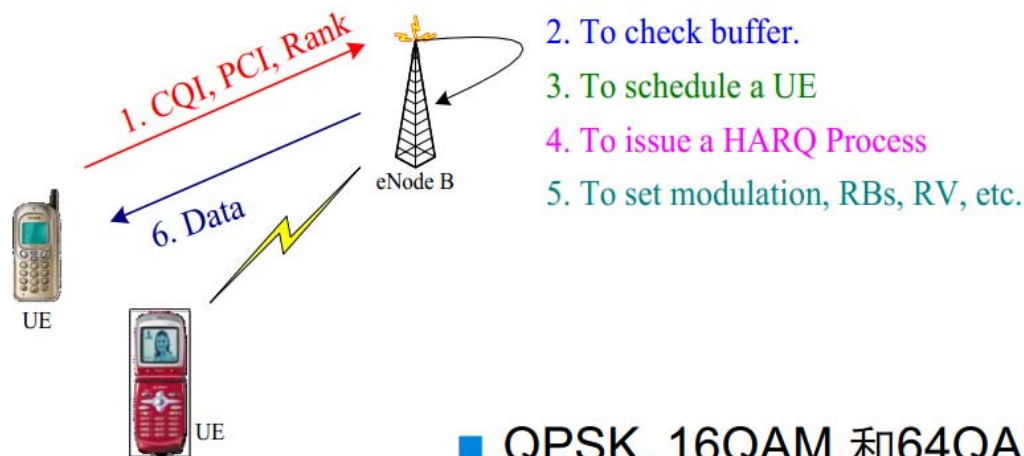
异步 HARQ：不限制 HARQ 进程的时域位置，一个 HARQ 进程可以在任何子帧。异步 HARQ 可以灵活的分配 HARQ 资源，但需要额外的信令指示每个 HARQ 进程所在的子帧。

可以根据业务的不同选择不同的方式。

AMC 自适应编码

LTE 支持 BPSK、QPSK、16QAM 和 64QAM 4 种调制方式和卷积、turbo 等编码方式，自适应编码就是可以根据无线环境和数据本身的要求来自动选择调制和编码方式。

早在 3G 的设计之初，设计人员就认定足够大的功率是保证高速传输根本，所以 3G 和 4G 都摒弃了之前通过功率控制方式来改善无线信道的做法，而采用了速率控制，也就是说既然功率无法改变，那么无线信道衰落了我怎么补偿呢？就是通过不同的调制和解码方式来适应信道环境。改主动改变信道环境为去适应信道环境。具体的流程如下图



- QPSK, 16QAM 和64QAM.
- “连续” 的编码速率 (0.07 ~ 0.93)

图 2 AMC 流程

UE 会周期性的测量无线信道，并上报 CQI（信道质量的信息反馈），PCI 和 RANK（步骤 1），其中 CQI 就是 UE 对无线环境的一个判断，ENB 会根据上报的 CQI 选择相应的调制和编码方式，同时兼顾缓存中的数据量（步骤 2 和 3），最后决定调制方式，HARQ，资源块大小等发射给终端（步骤 4 和 5）。下面就是不同的 CQI 和相对应的调制、编码方式，以及效率。

CQI index	modulation	code rate x 1024	efficiency
0	out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

图 3 CQI 对应编码和调制方式

从上图看，虽然是自适应编码，但是实际上在 R8 版本的时候就规定了 16 种不同的编码调制方式，根据 UE 上报的 CQI 来选择，其中 0 是无效的，也就是当前的无线环境无法传输数据，15 是最好的，可以采用最高阶的调制方式 64QAM 和最快的编方式，效率也最高。所以大家在优化 LTE 的时候，可以通过统计 CQI 上报的数值来分析本地网无线环境如何，如果上报的 CQI 里 14、15 档很少，那么说明网络还需要进一步的优化。

MAC 调度算法

在 LTE 中，资源的分配是以资源块 RB 给谁用来决定的，那么就牵扯到一个谁先用谁后用，谁用的多和谁用的少的问题，这就需要 ENB 中的 MAC 调度算法来决定。在这里讲几种常见的 MAC 调度算法。

1、最大 C/I 算法

由于 UE 在空间中是随机的，那么所处的无线环境也不同，从上面 AMC 的机制我们知道，无线环境好（C/I 好）的 UE 会上报更大的 CQI，从而获得更高的速率。所以如果想获得最大的扇区吞吐量的话，最好的办法就是将 RB 都给 C/I 最好的用户。

这个算法最大的好处就是能获得最大的扇区吞吐量和资源利用率，但是也有个致命的缺点，就是不公平，那些处在覆盖中间和边缘的用户由于 C/I 不如在覆盖中心的用户，可能一点被分配 RB 的机会都没有，所以就产生了第二种算法，轮询算法。

2、轮询算法

轮询算法就像它的名字，每个用户轮着来，避免了最大 C/I 算法无法兼顾弱势用户的那种情况，扇区下每个用户平均分配 RB 资源。但是牺牲了扇区的最大吞吐量和资源利用率。

3、比例公平算法

从上面两种调度算法看，都有很突出的优点和缺点，但是都不完美，就将上面两种算法采取了个折中的方法，比例公平算法。

比例公平算法的初衷是既要考虑到用户所处的 C/I，保证一些优质用户的网速，同时又要兼顾分配的公平，保证人人都有 RB 分配。为了便于说明写一个简单的公式。

$$U = \beta \frac{C/I}{1 + \sum T}$$

U 代表这个用户的权重，T 代表这个用户的吞吐量，β 是我自己添加的，代表了用户的 Qos 等级。也就是说这个用户的权重和 C/I 成正比，和一定时期内的历史吞吐量成反比。举个例子说，U1 的 C/I 比 U2 好，所以在一开始，U1 的权重高，他先获得 RB，随着时间的推移，U1 的吞吐量逐渐增加，它的权重也在下降，当低于 U2 的时候，U2 获得 RB，从而实现公平比例的调度。

在这里说明下，LTE 里最小的资源粒子是 RE，但是能够调度的最小单位是 RB，因为 RE 太小了，调度的粒度太小会使调度频繁和复杂。

4、持续调度、半持续调度和动态调度

以上 3 种调度都是动态调度的细分，调度根据时间分配上还分为持续调度和半持续调度。其中持续调度是电路域的思想，将资源一直给一个用户，在 LTE 里是不用的。而半持续调度在 LTE 里是使用的，就是将一段很长时间的 RB 都分给一个用户，比较典型的业务就是 VOIP，至少要保证通话这段时间我的 RB 分配。

- 持续调度算法 (Persistent scheduling : PS)
- 半持续调度算法 (Semi-persistent scheduling : SPS)
- 动态调度算法 (Dynamical scheduling: DS)

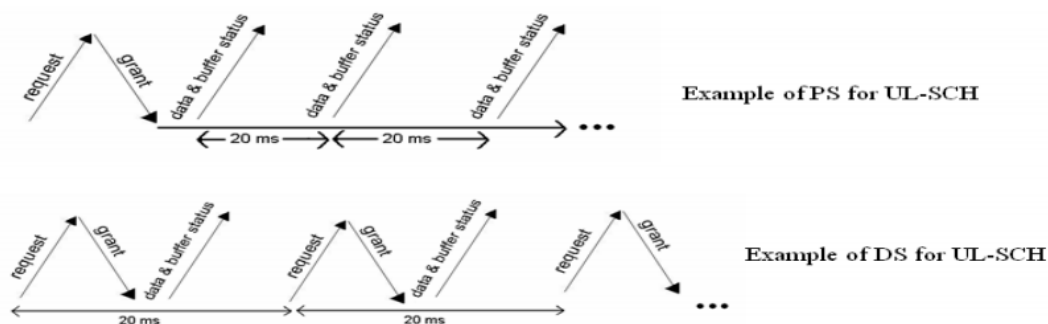


图 4 调度算法

小区间干扰消除

众所周知，LTE 是一个正交的系统，但是这个正交只限于小区内，也就是小区内所有的用户正交，由于正交他们都不存在互相干扰，可是不同小区的用户间呢？是否也存在干扰？答案很悲催，是肯定的，因为小区间的用户互相不正交，且是同频那么就会产生小区间的干扰。这个影响有多大呢，我没接触过 LTE 实验网，但是听开过实验网的同行介绍 LTE 网络在边缘的速度衰减很快，主要原因就是这个。

那么怎么解决这个问题呢？下面介绍 LTE 的解决方法。

1、加扰

加扰这个技术在 2G 时代就有了，主要的作用就是随机化，例如用手机的 ESN 去异或信号，使其避免全 0 或者全 1，增加解调的可靠性。在 LTE 中也是一样，不同的小区用不同的加扰，如 UEID 和小区 ID 和时隙的起始位置。

一般情况下加扰实在编码之前，调制之后进行比特级别的加扰。而且不同的信道加扰的扰码因素也不一样，例如 PDSCH/PUCCH/PUSCH 用的是小区 id, ueid 和起始时隙位置，PMCH 用的是 MBSFN SID 和起始时隙位置，PBCH/PDCCH/PCFICH/PHICH 用的是小区 id 和起始时隙位置来做扰码因素。

在这里要说一下 PHICH, 他的加扰位置和前面的不同，是在调制之后，扩频的时候加扰。

通过加扰，小区间用户的冲突可能性就会降低，举个例子，1 班和 2 班都有学号为 1 号的学生，在自己的班里绝对不会冲突，但是如果 2 个班的学生混在一起交作业，老师怎么区分那个是自己班的 1 号呢？如果用加扰的思想去解决，1 班的学生交作业必须在学号前加上

班号，那么 1 班的 1 号就是 1#1, 2 班的 1 号就是 2#1，这样互相干扰的情况就能降低了。当然这也是比较理想的情况，有很多情况是加扰后也会冲突，毕竟数据那么多，碰撞的机会也多，所以加扰只能随机化干扰不能从根本上避免干扰。

2、跳频

还有一种随机化解决干扰的方式就是跳频，这个也是 2G 时代就有的技术了，通过跳频避免了同一频率上的干扰。目前 LTE 上下行都支持跳频。这个技术很成熟了就不多说了，大多数信道都支持子帧内的跳频，PUSCH 支持子帧间的跳频。

当然缺点也是只能随机化，不能从根本上消除，这个很好理解，你们两个用户刚好都跳到同一个频点上也没办法。

3、发射端波束赋形

它的思想就是通过波束赋形技术的运用，提高目标用户的信号强度，同时主动降低干扰用户方向的辐射能量（假如能判断出干扰用户的位置），此消彼长来解决小区间干扰。

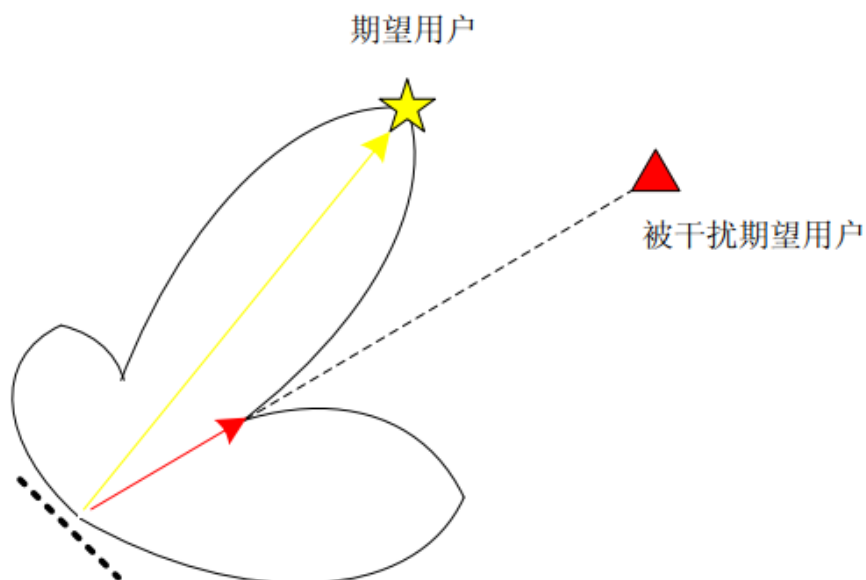


图 5 发射端波束赋形

4、IRC 抑制强干扰技术

当接收端也是多天线的话，就可以利用多天线来降低用户间干扰，其主要原理估计目标基站和干扰基站的信号，通过对接收信号进行加权来抑制干扰。

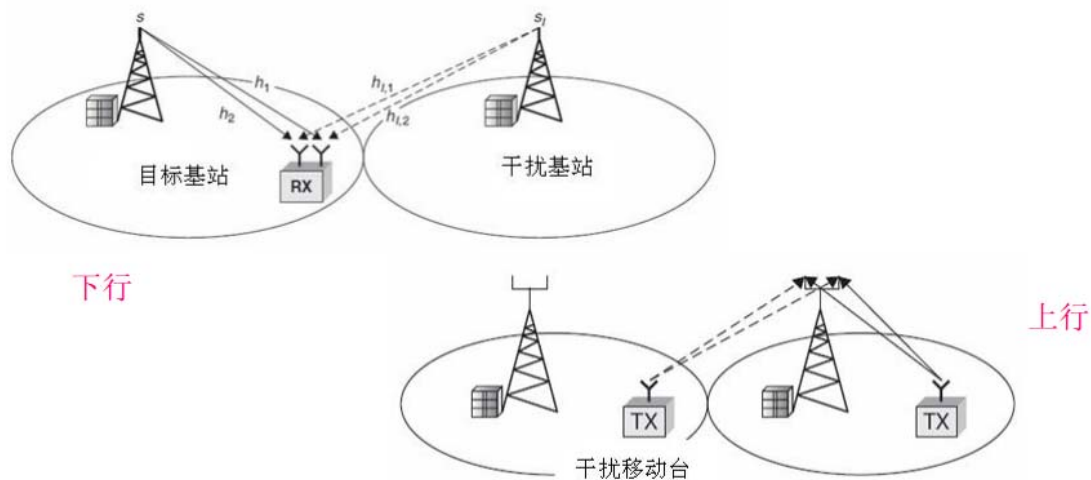


图 6 IRC

需要说明的是，这个技术目前比较复杂，实际中应用很少采用。

5、小区间的干扰协调

基本思想就是以小区协调的方式对资源使用进行限制，包括限制时频资源的可用性，或者限制功率资源可用性来是边缘用户得以区分。主要分为 2 种方式，**频率资源协调**和**功率资源协调**。

频率资源协调：

将频率分为 3 份，保证边缘用户始终处于异频的状态，从而避免小区间干扰。如下图

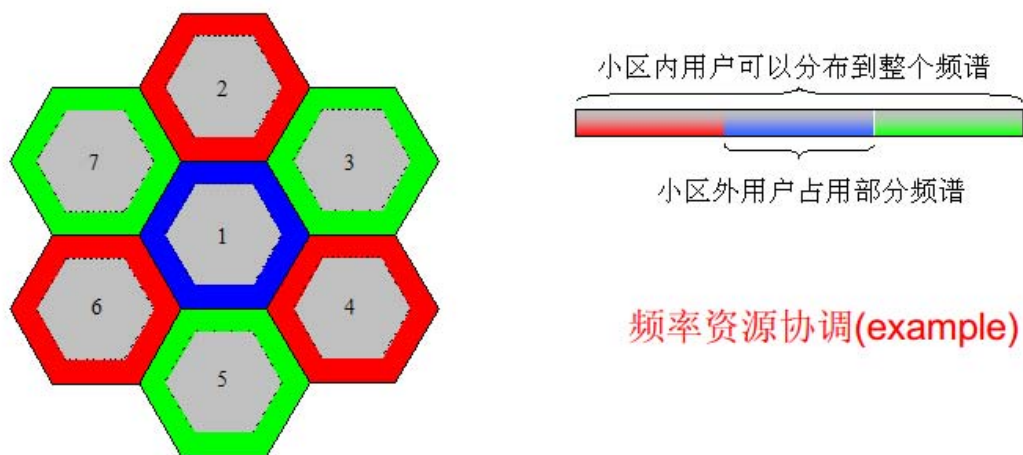


图 7 频率资源协调

小区中间用户全部使用频率，而小区边缘的用户则只使用三分之一的频率，从而是覆盖边界形成异频。当然，这样做牺牲频率资源，也牺牲了平均吞吐量但是保证了边缘的吞吐量。

这里有个问题，小区如何知道哪些用户在边缘呢？是通过 ue 上报的 rsrp 来判断距离，从而指派相应的频率。

功率资源协调：

和上面的原理一样，也是保证边缘异频，但是是通过功率来控制覆盖实现。看图

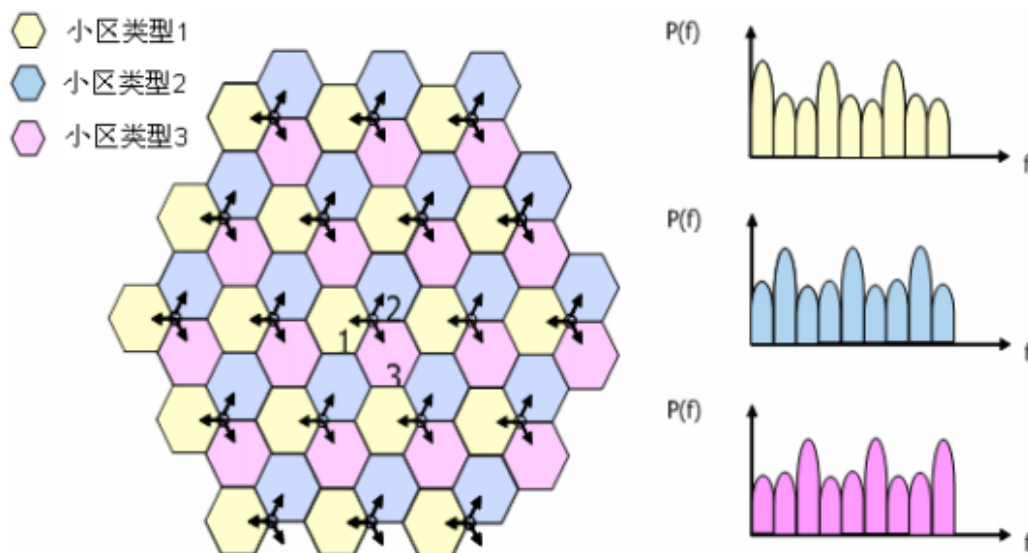


图8 功率资源协调

每个小区都会在某一个频率上加强功率，其余2个频率上降低功率，从而使小区边缘的频率不同，实现异频来解决干扰。基本原理同频率协调，它的好处是频率资源得到了全部的使用，缺点是功率资源没用完，浪费了。

小区间干扰协调的技术是一种可以从根本上解决小区间干扰的方法，但是其对资源的浪费也是很明显的，尤其是小区负载较低的时候。所以推荐的使用范围是负载达到30%~70%的时候使用。

上面说的都是静态的，小区间干扰协调还有动态的协调，通过 ENB 间的 X2 接口来交换过载指示信息（OI），进行小区间上行功率的控制，抑制干扰。

需要说明的是静态的小区间干扰协调是不需要标准支持的，实现的话要厂家的支持。

本文由论坛会员 bbgoal(hntele) 投稿，感谢他的贡献。bbgoal 在论坛有《白话 LTE 关键技术》系列，以及 LTE 群中在线视频讲解 LTE 技术，感兴趣的 C 友可以前往观看。

《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:mscbcs888,或直接扫描下面二维码)



MSCBSC 官方微信账号:mscbcs888

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

2013-06-07



第四课:LTE其它的一些关键技术

HARQ混合自动重传

关键技术
HARQ

AMC 自适应编码

关键技术
AMC

MAC调度算法

关键技术
MAC

小区间干扰消除

关键技术
干扰消除