

## 第九课：LTE 功率控制

### LTE下行功率控制

由于LTE下行采用OFDMA技术，一个小区内发送给不同UE的下行信号之间是相互正交的，因此不存在CDMA系统因远近效应而进行功率控制的必要性。就小区内不同UE的路径损耗和阴影衰落而言，LTE系统完全可以通过频域上的灵活调度方式来避免给UE分配路径损耗和阴影衰落较大的RB，这样，对PDSCH采用下行功控就不是那么必要了。另一方面，采用下行功控会扰乱下行CQI测量，影响下行调度的准确性。因此，LTE系统中不对下行采用灵活的功率控制，而只是采用静态或半静态的功率分配（为避免小区间干扰采用干扰协调时静态功控还是必要的）。

下行功率分配的目标是在满足用户接收质量的前提下尽量降低下行信道的发射功率，来降低小区间干扰。在LTE系统中，使用每资源单元容量（Transmit Energy per Resource Element, EPRE）来衡量下行发射功率大小。对于PDSCH信道的EPRE可以由下行小区专属参考信号功率EPRE以及每个OFDM符号内的PDSCH EPRE和小区专属RS EPRE的比值 $\rho_A$ 或 $\rho_B$ 的得到。

$$PDSCH\_EPRE = \text{小区专属RS\_EPRE} \times \rho_A$$

$$PDSCH\_EPRE = \text{小区专属RS\_EPRE} \times \rho_B$$

其中，下行小区参考信号EPRE定义为整个系统带宽内所有承载下行小区专属参考信号的下行资源单元（RE）分配功率的线性平均。UE可以认为小区专属RS\_EPRE在整个下行系统带宽内和所有的子帧内保持恒定，直到接收到新的小区专属RS\_EPRE。小区专属RS\_EPRE由高层参数Reference-Signal-power通知。

$\rho_A$ 或  $\rho_B$ 表示每个OFDM符号内的PDSCH EPRE和小区专属RS EPRE的比值，且 $\rho_A$ 或 $\rho_B$ 是UE专属的。具体来说，在包含RS的数据OFDMA的EPRE与小区专属RS EPRE的比值标识用 $\rho_B$ 表示；在不包含RS的数据OFDMA的EPRE与小区专属RS EPRE的比值标识用 $\rho_A$ 表示。

一个时隙内不同OFDMA的比值标识 $\rho_A$ 或 $\rho_B$ 与OFDMA符号索引对应关系

天线端口数	PDSCH EPRE 与小区专属的 RS EPRE 的比值标识为 $\rho_A$ 的 1 个时隙内的符号索引		PDSCH EPRE 与小区专属的 RS EPRE 的比值标识为 $\rho_B$ 的 1 个时隙内的符号索引	
	常规 CP	扩展 CP	常规 CP	扩展 CP
1 或者 2	1、2、3、4、5、6	1、2、4、5	0、4	0、3
4	2、3、4、5、6	2、4、5	0、1、4	0、1、3

图1

- OFDMA 系统如果要使用下行功控，主要用于补偿信道的路径损耗和阴影。但下行功控和频域调度存在一定的冲突。

1. 系统完全可以通过频域调度的方式避免在那些路径损耗较大的 RB 进行传输，因此对 PDSCH 采用下行功率控制就不是很重要了。
2. 采用下行功率控制反而会扰乱下行 CQI 测量，由于功控补偿了某些 RB 的路径损耗，UE 无法获得真实的下行信道质量信息，从而影响到下行调度的准确性。

在频率和时间上采用恒定的发射功率，基站通过高层信令指示该发射功率数值。下行功率分配以每个 RE 为单位，控制基站在各个时刻各个子载波上的发射功率。

#### 下行功率分配方法：

1. 提高参考信号的发射功率 (Power Boosting)
2. 与用户调度相结合实现小区间干扰抑制的相关机制

小区通过高层信令指示或  $\rho_B/\rho_A$ ，通过不同比值设置 RS 信号在基站总功率中的不同开销比例，来实现 RS 发射功率的提升

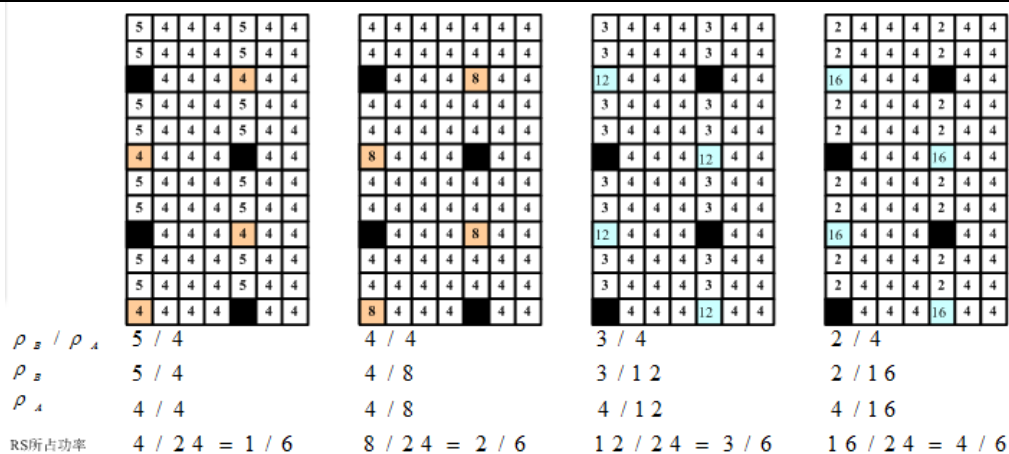


图2

- 在指示  $\rho_B/\rho_A$  基础上，通过高层参数  $P_A$  确定  $\rho_A$  的具体数值，得到基站下行针对用户的PDSCH发射功率。
- 关系：  $\rho_A = \delta_{power-offset} + P_A$   
其中，在除了多用户MIMO之外的所有传输模式中， $\delta_{power-offset}$ 均为0；为高层指示的UE特定参数。
- $\delta_{power-offset}$  用于MU-MIMO的场景
- $\delta_{power-offset} = -3\text{dB}$  表示功率平均分配给两个用户
- 为了支持下行小区间干扰协调，定义了基站窄带发射功率限制（RNTP，Relative Narrowband Tx Power）的物理层测量，在X2口上进行交互。它表示了该基站在未来一段时间内下行各个PRB将使用的最大发射功率的情况，相邻小区利用该消息来协调用户，实现同频小区干扰协调。

$P_B$	$\rho_A / \rho_B$	
	单天线端口	2/4 个天线端口
0	1	5/4
1	4/5	1
2	3/5	3/4
3	2/5	1/2

图3 1、2或4小区专属天线端口下的 $\rho_B/\rho_A$ 比

## LTE上行功率控制

无线系统中的上行功控是非常重要的，通过上行功控，可以使得小区中的UE在保证上行发射数据的质量的基础上尽可能的降低对其它用户的干扰，延长终端电池的使用时间。

CDMA系统中，上行功率控制主要的目的是克服“远近效应”和“阴影效应”，在保证服务质量的同时抑制用户之间的干扰。而LTE系统，上行采用SC-FDMA技术，小区内的用户通过频分实现正交，因此小区内干扰影响较小，不存在明显的“远近效应”。但小区间干扰是影响LTE系统性能的重要因素。尤其是频率复用因子为1时，系统内所有小区都使用相同的频率资源为用户服务，一个小区的资源分配会影响到其他小区的系统容量和边缘用户性能。对于LTE系统分布式的网络架构，各个eNodeB的调度器独立调度，无法进行集中的资源管理。因此LTE系统需要进行小区间的干扰协调，而上行功率控制是实现小区间干扰协调的一个重要手段。

按照实现的功能不同，上行功率控制可以分为小区内功率控制（补偿路损和阴影衰落），以及小区间功率控制（基于邻小区的负载信息调整UE的发送功率）。其中小区内功率控制目的是为了达到上行传输的目标SINR，而小区间功率控制的目的是为了降低小区间干扰水平以及干扰的抖动性。

**终端的功率控制目的：**节电和抑制用户间干扰

**手段：**采用闭环功率控制机制

控制终端在上行单载波符号上的发射功率，使得不同距离的用户都能以适当的功率达到基站，避免“远近效应”。

通过X2接口交换小区间干扰信息，进行协调调度，抑制小区间的同频干扰，交互的信息有：

过载指示OI（被动）：指示本小区每个PRB上受到的上行干扰情况。相邻小区通过交换该消息了解对方的负载情况。

高干扰指示HII（主动）：指示本小区每个PRB对于上行干扰的敏感程度。反映了本小区的调度安排，相邻小区通过交换该信息了解对方将要采用的调度安排，并进行适当的调整以实现协调的调度。

- TDD系统可以利用上下行信道的对称性进行更高频率的功率控制。

- 小区间干扰抑制的功控机制和单纯的单小区功控不同。单小区功控只用于路损补偿，当一个UE的上行信道质量下降时，eNodeB根据该UE的需要指示UE加大发射功率。但当考虑多个小区的总频谱效率最大化时，简单的提高小区边缘UE的发射功率，反而会由于小区间干扰的增加造成整个系统容量的下降。

应采用部分功控的方法，及从整个系统总容量最大化角度考虑，限制小区边缘UE功率提升的幅度。具体的部分功控操作通过X2接口传递的相邻小区间的小区间干扰协调信令指示来实现。

分成3种：

- 上行共享信道PUSCH的功率控制
- 上行控制信道PUCCH的功率控制
- SRS的功率控制

终端的功率空间：终端最大发射功率与当前实际发射功率的差值作为功率控制过程的参数，物理层对终端的功率空间进行测量，并上报高层。

## 1 小区内功率控制原理

由于LTE上行采用OFDMA技术，同小区内不同UE之间的上行数据是相互正交的。因此同WCDMA相比，小区内上行干扰的管理就容易的多，LTE中的上行功控是慢速而非WCDMA中的快速功率控制，功控频率不高于200Hz。

与上行功控不同的是，LTE上行功控是对每个资源块的功率谱密度（Power Spectral Density, PSD）进行设定，且即使如果一个UE在一个子帧中发射的数据多于多个RB，每个RB的功率对于该UE占用的所有RB都是相同的。

LTE的上行包括：接入信道、业务共享信道（PUSCH）和公共控制信道（PUCCH），它们都有功率控制的过程，此外，为了便于eNodeB实现精确的上行信道估计，UE需要根据配置在特定的PRB发送上行参考信号（SRS），且SRS也要进行功率控制。除接入信道外（对于上行接入的功控如随机接入前导码，RA Msg3会有所区别）：其他3类信道上的功率控制的原理是一样的，主要包括eNodeB信令化的静态或半静态的基本开环工作点和UE侧不断更新的动态偏移。

UE发射的功率谱密度（即每个RB上的功率）=开环工作点+动态的功率偏移

### 1) 开环工作点

在此开始

开环工作点=标称功率 $P_0$ +开环的路损补偿（ $PL \times \alpha$ ）

标称功率 $P_0$ 又分为小区标称功率和UE特定的标称功率两部分。eNodeB为小区内所有UE半静态的设定一标称功率 $P_{0-PUSCH}$ 和 $P_{0-PUCCH}$ ，通过SIB2系统消息广播。 $P_{0-PUSCH}$ 的取值范围是-126dBm~+24 dBm(均指每RB而言)， $P_{0-PUSCH}$ 的取值范围是-126dBm~-96 dBm。

除此之外，每个UE还可以有UE特定的标称功率偏移，该值通过专用RRC信令下发给UE。

$P_{0\_UE\_PUSCH}$ 和 $P_{0\_UE\_PUCCH}$ 取值范围-8dB~+7dB，是不同UE对于小区标称功率 $P_{0-PUSCH}$ 和 $P_{0-PUCCH}$ 的一个偏移量。

开环的路损补偿 $PL$ 基于UE对于下行的路损估计。UE通过测量下行参考信号RSRP，与已知的RS信号功率进行相减进行路损估计。RS信号的原始发送功率在SIB2中广播。

为了抵消快速衰落对路损估计的影响，UE通常在一个时间窗内对下行的RSRP进行平均。时间窗口的长度一般在100ms~500ms之间。

对于PUSCH和SRS，eNodeB通过参数 $\alpha$ 来决定路损在UE的上行功控中的权重。 $\alpha$ 表示对路径损耗的补偿因子，是针对一个eNodeB由上层配置的3个比特的半静态数值，且 $\alpha \in \{1, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0\}$ 。

$\alpha=0$ ，UE均以最大功率发送，这导致高的干扰水平，恶化了小区边缘的性能；

$\alpha=1$ ，边缘用户以最大功率发送，小区内其他用户进行完全的路损补偿，每个用户到达接收端的功率相同，则SINR相同，这降低了系统的频谱效率；

$0 < \alpha < 1$ ，UE的发送功率处于最大功率和完全的路损补偿之间，小区内部的用户越靠近小区中心，到达接收端的SINR越高，具有更高的传输速率，实现了小区边缘性能和系统频谱

效率的平衡。

下图给出了 $\alpha=0$  (全功率补偿)、 $\alpha=1$ 和 $\alpha=0.5$ 三种功控方式的用户吞吐量CDF曲线，表明了FPC实现了小区边缘数据速率和系统整体吞吐量的折中。

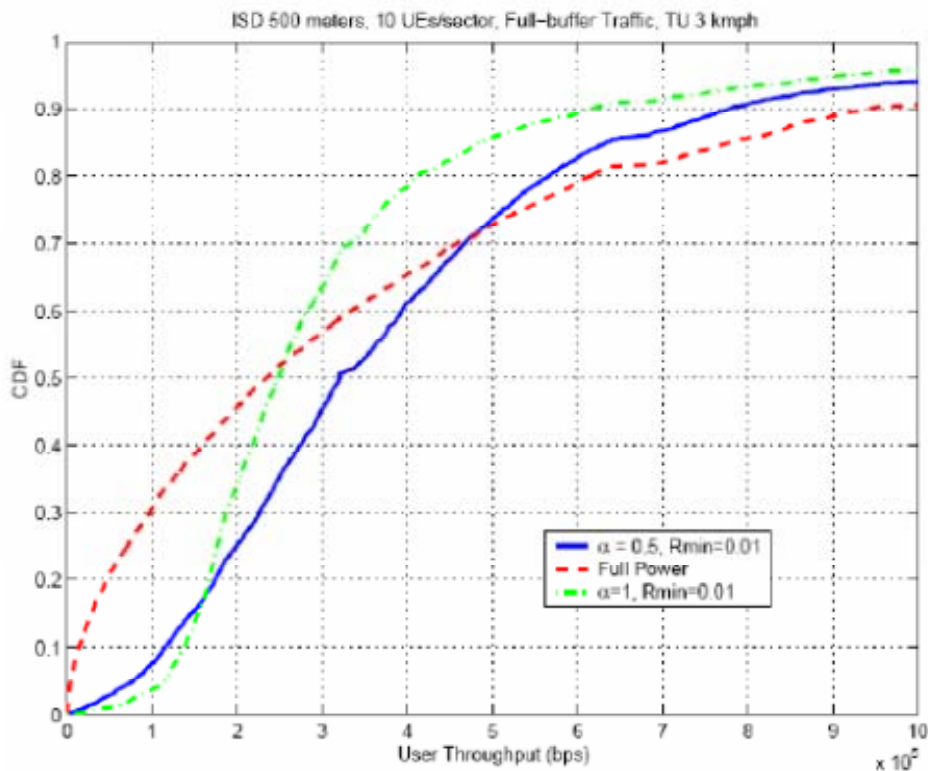


图4 不同功控方案的用户吞吐量比较

实际系统中，为了获得小区平均吞吐量和小区边缘速率的性能折中， $(\alpha, R_{min})$ 的设置还与应用场景、业务和小区配置有关。

对于PUCCH来说，由于不同的PUCCH用户是码分复用的， $\alpha$ 取值为1，可以更好的控制不同PUCCH用户之间的干扰。

## 2) 动态功率偏移

动态功率偏移包含两个部分，基于MCS的功率调整 $\Delta TF$ 和闭环的功率控制。

基于MCS的功率调整 $\Delta TF$ 可以使得UE根据选定的MCS来动态的调整相应的发射功率谱密度。UE的MCS是由eNodeB来调度的，通过设置UE的发射MCS,可以较快的调整UE的发射功率谱密度，达到类似快速功控的效果。eNodeB还可以基于每个UE关闭或开启基于MCS的功率调整，通过专用RRC信令实现。

PUCCH中基于MCS的功率调整体现为：LTE系统会对每个PUCCH format定义相对于format 1a的功率偏移。具体计算公式参见协议36.213的5.1.2.1节。

闭环的功率控制是指UE通过PDCCH中的TPC命令来对UE的发射功率进行调整。闭环功控TPC命令可以分为累积调整和绝对值调整两种方式。累积调整方式适用于PUSCH、PUCCH和SRS，绝对值调制方式只适用于PUSCH。这两种不同的调整方式的转换是半静态的，eNodeB通过专用RRC信令指示UE采用累积方式还是绝对值方式。

对于累积TPC命令，每个TPC命令相对于前面的水平发送一个功率阶跃信号。累积TPC命令是默认模式并且特别适用于一个UE在一组连续子帧中接收功率控制命令的情况。在LTE中，提供两种不同的调整步长。第一套步长为 $\{-1, 0, +1, +3\}$ dB，对于PUSCH，由DCI



format 0/3指示；对于PUCCH,由DCI format 1/1A/1B/1D/2/2A/3指示。第二套步长为{-1, +1},由DCI format 3a指示（适用于PUCCH和PUSCH）。使用这两套步长的哪一个由TPC命令格式和RRC配置决定。相对于绝对性TPC,累积TPC命令可以实现较大的功率步进,也可以通过累积TPC命令和基于MCS的功率阶跃组合实现更大的功率步进。此外,包括0dB步进值的一套功率步进值可以使功率保持恒定,尤其适用于干扰不会显著变化的场景。

绝对型TPC命令是指直接使用TPC中指示的功率调整数值,只适用于PUSCH。此时,eNodeB需要通过RRC信令显式的关闭累积方式的功率调整方式。当采用绝对值方式时,TPC数值为{-4, -1, +1, +4}dB,由DCI format 0/3指示。绝对型功控模式只能控制功率在半静态工作点的+4dB~-4dB范围内,相对较大的功率步进可以通过一个单独命令触发(范围+8dB~-8dB)。因此,绝对调整模式特别适合于UE不连续的上行传输,可以使得eNodeB一步调整UE的发射功率至期望值。

LTE的上行功控涉及到的信道包括PUSCH、PUCCH、PRACH以及SRS。除接入信道外其他3类信道上的功率控制的原理是一样的。这里仅以PUSCH为例进行说明。

按照协议的规定,UE在PUSCH信道上第*i*子帧的发送功率为:

$$P_{PUSCH}(i) = \min\{P_{MAX}, 10\log_{10}(M_{PUSCH}(i)) + P_{0\_PUSCH}(j) + \alpha(j) \cdot PL + \Delta_{TF}(i) + f(i)\} [dBm]$$

## 2 小区间功率控制原理

LTE系统小区间功率控制的目的是实现小区间干扰协调,即协调小区间的干扰,提高小区边缘用户的吞吐量。小区间干扰协调和功率控制的基本原理是避免相邻eNodeB服务的UE以较高的功率调度到相同的资源块,因此关键问题是对相邻小区相同资源块的使用和这些资源块功率水平的设置,以避免过载,保证调度UE可接受的上行SINR水平。

LTE系统小区间功率控制的目的是实现小区间干扰协调,即协调小区间的干扰,提高小区边缘用户的吞吐量。小区间干扰协调和功率控制的基本原理是避免相邻eNodeB服务的UE以较高的功率调度到相同的资源块,因此关键问题是相邻小区相同资源块的使用和这些资源块功率水平的设置,以避免过载,保证调度UE可接受的上行SINR水平。

目前上行小区间干扰协调主要有两个方法:Reactive方法和Pro-active方法。其中,Reactive方法是小区干扰水平超过一定门限时,通过向邻区发送过载指示,以通知调度器和功率控制机制采取措施;Pro-active方法是通过调度邻区不用的资源块或者对于干扰不敏感的资源块,试图避免小区边缘用户之间的资源冲突。下面将对这两种方法进行介绍。

### 1) 基于过载指示(OI)的小区间功率控制

“Reactive方法”是通过在X2接口交互过载指示信息(OI, Overload Indicator),以进行上行功率控制和干扰协调。该技术具有如下特点和要求(参见提案【R1-080511】):

- ① OI携带当前小区基于每个PRB的干扰水平;
- ② 报告值的范围包含3种干扰水平指示:低(low)、中(medium)、高(high);
- ③ 报告是基于事件触发,报告频率不高于20ms一次(这受限于X2接口时延~20ms);

OI是一个反映过去状态的测量,基于eNodeB对上行一些子带的干扰测量(例如RIP,包

含热噪声)，当检测到干扰水平超过一定的门限时，通过X2接口触发向邻区的汇报。邻小区收到OI指示后，将采取一定的措施，以抑制小区间干扰，改善过载小区的性能。

eNodeB可以有下面几种方式进行功控的自适应调整（参见提案【R1-074042】）：

- ④ eNodeB调整功控公式的参数，然后广播到UE；（标准支持）
- ④ eNodeB调整单个UE的传输功率；（标准支持）
- ④ eNodeB广播（处理的）X2消息，然后UE相应地调整各自的传输功率。（没有标准化）

## 2) 基于高干扰指示（HII）的小区间干扰协调

高干扰指示是“Proactive方法”。在这个概念中，每个小区有一些分配给边缘用户的高干扰频段，小区将高干扰指示通过X2接口传送给邻小区，使得邻小区调度器知道哪些是干扰频段，即产生最强的干扰的用户（即小区边缘用户）将调度的频段。这是非常重要的，接收小区将不允许在这些频段调度边缘用户，倘若边缘用户的可用资源不充足时，调度器也可以结合邻小区的高干扰频段和自己小区内的用户路损信息，进行合适的调度决策，以最小化小区间干扰。

假定给每个邻小区指定一个不同的频段用于小区边缘的用户，则只需要3个高干扰频段，如图 5所示。

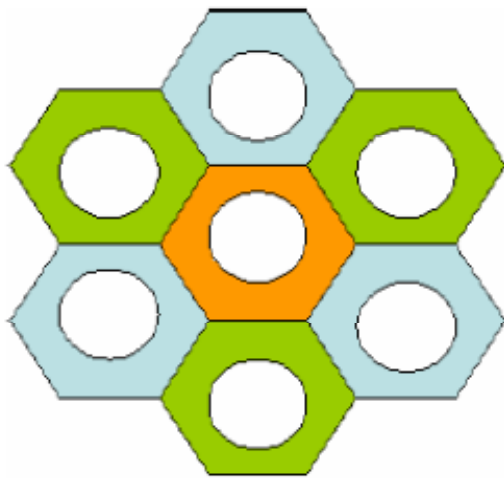


图 5 为小区分配不同的高干扰频段

HII具有如下的特点和要求：

- ④ HII指示服务eNodeB内调度给小区边缘用户的PRB，这些PRB将产生高的小区间干扰，同时这些PRB对于小区间的干扰也是最敏感的；
- ④ “cell-edge UE”可以通过UE测量的服务小区和邻小区RSRP确定；
- ④ HII以Bitmap形式发送（1bit/PRB），不同邻小区可以有不同的bitmap，目标小区可以明确自己的HII；
- ④ 基于事件触发，HII更新频率不高于20ms一次（这受限于X2接口时延~20ms）；
- ④ 服务小区和目标小区之间不需要handshake过程。



《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：mscbssc888，或直接扫描下面二维码）



MSCBSC 官方微信账号:mscbssc888

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

2013-06-17



LTE下行功率控制



LTE上行功率控制

