

第六章 TD-LTE 系统物理层基本过程

6.1 小区搜索与同步

小区搜索过程是指 UE 获得与所在 eNodeB 的下行同步（包括时间同步和频率同步），检测到该小区物理层小区 ID。UE 基于上述信息，接收并读取该小区的广播信息，从而获取小区的系统信息以决定后续的 UE 操作，如小区重选、驻留、发起随机接入等操作。

当 UE 完成与基站的下行同步后，需要不断检测服务小区的下行链路质量，确保 UE 能够正确接收下行广播和控制信息。同时，为了保证基站能够正确接收 UE 发送的数据，UE 必须取得并保持与基站的上行同步。

6.1.1 配置同步信号

在 LTE 系统中，小区同步主要是通过下行信道中传输的同步信号来实现的。下行同步信号分为主同步信号（Primary Synchronous Signal, PSS）和辅同步信号（Secondary Synchronous Signal, SSS）。TD-LTE 中，支持 504 个小区 ID，并将所有的小区 ID 划分为 168 个小区组，每个小区组内有 $504/168=3$ 个小区 ID。小区 ID 号由主同步序列编号 $N_{ID}^{(1)}$ 和辅同步序列编号 $N_{ID}^{(2)}$ 共同决定，具体关系为 $N_{ID}^{cell} = 3N_{ID}^{(2)} + N_{ID}^{(1)}$ 。小区搜索的第一步是检测出 PSS，在根据二者间的位置偏移检测 SSS，进而利用上述关系式计算出小区 ID。采用 PSS 和 SSS 两种同步信号能够加快小区搜索的速度。下面对两种同步信号做简单介绍。

1) PSS 序列

为进行快速准确的小区搜索，PSS 序列必须具备良好的相关性、频域平坦性、低复杂度等性能，TD-LTE 的 PSS 序列采用长度为 63 的频域 Zadoff-Chu (ZC) 序列^[1]。ZC 序列广泛应用于 LTE 中，除了 PSS，还包括随机接入前导和上行链路参考信号。ZC 序列可以表示为

$$a_q = \exp[-j2\pi q \frac{n(n+1)/2 + nl}{N_{ZC}}]$$

其中， $a_q \in \{1, \dots, N_{ZC} - 1\}$ 是 ZC 序列的根指数， $n \in \{1, \dots, N_{ZC} - 1\}$, $l \in N$, l 可以是任何整数，为了简单在 LTE 中设置 $l=0$ 。

为了标识小区内 ID，LTE 系统中包含 3 个 PSS 序列，分别对应不同的小区组内 ID。被选择的 3 个 ZC 序列的根指数分别为 $M = 29, 34, 25$ 。对于根指数为 M ，频率长度为 63 的序列可以表示为

$$ZC_M^{63}(n) = \exp[-j\pi \frac{Mn(n+1)}{63}], n = 0, 1, \dots, 62$$

设置 ZC 序列的根指数是为了具有良好的周期自相关性和互相性。从 UE 的角度来看，选择的 PSS 根指数组合可以满足时域的根本对称性，可以通过单相关器检测，使得复杂度降

低。UE 侧对 PSS 序列采用非相干检测。

PSS 采用长度为 63 的频域 ZC 序列，中间被打孔打掉的元素是为了避免直流载波，PSS 序列到子载波的映射关系如图 6-1 所示。

在 LTE 中，针对不同的系统带宽，同步信号均占据中央的 1.25MHz（6 个 PRB）的位置。长度为 63 的 ZC 序列截去中间一个处于直流子载波上的符号后得到长度为 62 的序列，在频域上映射到带宽中心的 62 个子载波上。PSS 两侧分别预留 5 个子载波提供干扰保护。PSS 的频域分布如图所示。

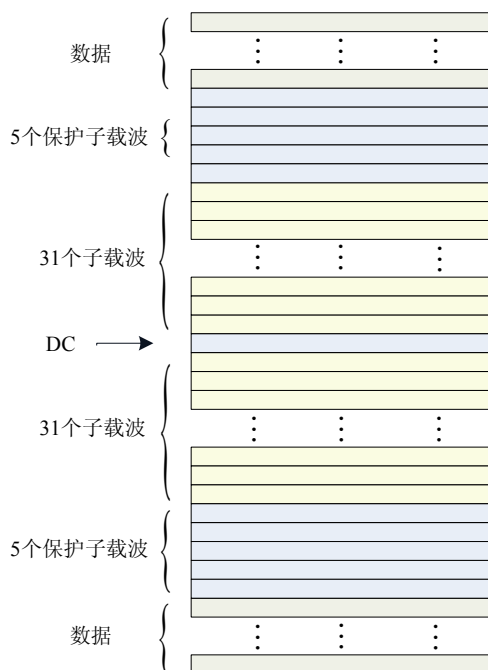


图 6-1 PSS 序列映射

2) SSS 序列

M 序列由于具有适中的解码复杂度，且在频率选择性衰落信道中性能占优，最终被选定为辅同步码（Secondary Synchronization Code, SSC）序列设计的基础。SSC 序列由两个长度为 31 的 m 序列交叉映射得到。具体来说，首先由一个长度为 31 的 m 序列循环移位后得到一组 m 序列，从中选取 2 个 m 序列（称为 SSC 短码），将这两个 SSC 短码交错映射在整个 SSCH 上，得到一个长度为 62 的 SSC 序列。为了确定 10ms 定时获得无线帧同步，在一个无线帧内，前半帧两个 SSC 短码交叉映射方式与后半帧的交叉映射方式相反。同时，为了确保 SSS 检测的准确性，对两个 SSC 短码进行二次加扰。

SSS 序列映射过程如图 6-2 所示，每个 SSS 序列由频域上两个长度为 31 的 BPSK 调制辅助同步码交错构成，即 SSC1 和 SSC2。

SSS 序列具有良好的频域特性，在 PSS 存在的情况下，SSS 检测允许频偏至少为 $\pm 75kHz$ 。时域上，由于扰码的影响，SSS 序列的任何循环移位的互相性没有传统 M 序列好。

从 UE 的角度看，SSS 检测是在 PSS 检测之后完成的，因此假设信道已经检测出 PSS 序列。对于 SSS 序列检测，UE 侧可以采用相干和非相干两种检测方法。

3) PSS 和 SSS 的位置和映射

频域上，PSCH 和 SSCH 均占据整个带宽中央的 1.05MHz，即 6 个 PRB。62 个子载波均匀分布在 DC 两侧，剩余 10 个子载波作为 SCH 信道与其它数据/信令传输的保护间隔。

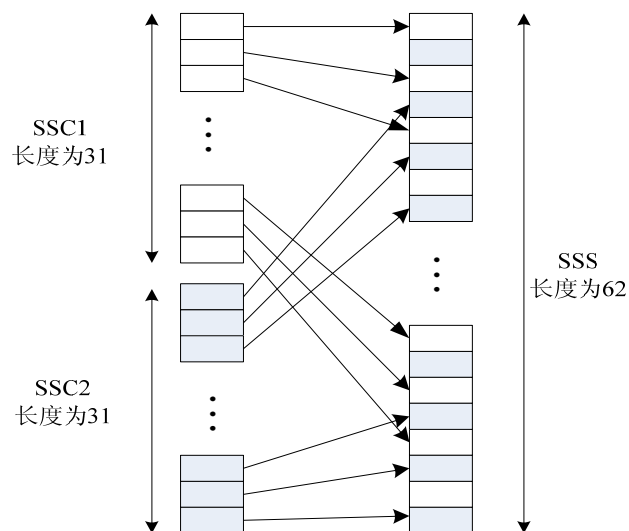


图 6-2 SSS 序列映射

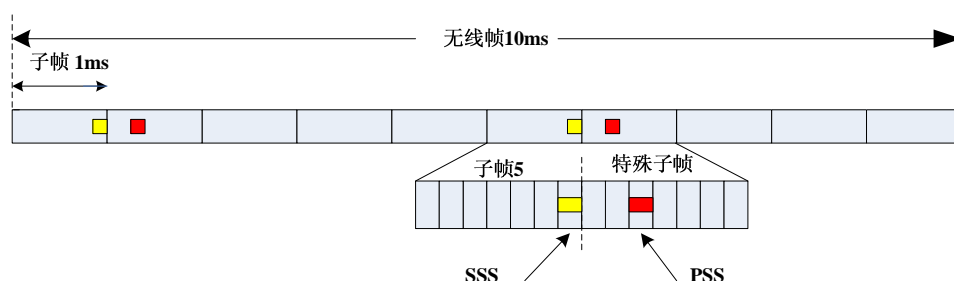


图 6-3 PSS 和 SSS 的时域分布

时域上，主同步信号与辅同步信号周期性传输，且二者位置偏移固定。如图 6-3 所示，主同步信号在每个无线帧的 GwPTS 的第三个符号上传输，辅同步信号在每个无线帧的第一个子帧的最后一个符号上传输。

6.1.2 时间同步检测

时间同步^[2]是小区搜索中的第一步，其基本原理是利用ZC序列的相关性获取PSS的位置，再利用盲检测算法确定CP类型，最后根据PSS与SSS的固定位置偏移确定SSS的位置，利用相干或非相干检测成功检测出SSS信号。具体步骤如下：

1) PSS 检测

当 UE 处于初始接入状态时，首先在频域中央的 1.05MHz 内进行扫描，分别使用本地主同步序列（三个 ZC 序列）与接收信号的下行同步相关，根据峰值确认服务小区使用的 3 个 PSS 序列中的哪一个（对应于组内小区 ID），以及 PSS 的位置。PSS 检测可用于 5ms 定时。

2) CP 类型检测

LTE 中子帧采用常规 CP 和扩展 CP 两种 CP 类型，因此在确定了 PSS 位置后，SSS 的位置仍然存在两种可能，需要 UE 采用盲检的方式识别，通常是利用 PSS 与 SSS 相关峰的距离进行判断。

3) SS 检测

在确定了子帧的 CP 类型后，SSS 与 PSS 的相对位置也就确定了。由于 SSS 的序列数量

比较多（168 个小区组），且采用两次加扰，因此，检测过程相对复杂。从实现的角度来看，SSS 在已知 PSS 位置的情况下，可通过频域检测降低计算复杂度。SSS 可确定无线帧同步（10ms 定时）和小区组检测，与 PSS 确定的小区组内 ID 相结合，即可获取小区 ID。

6.1.3 频率同步检测

为了确保下行信号的正确接收，小区初步搜索过程中，在完成时间同步后，需要进行更精细化的频率同步，确保收发两端信号频偏的一致性。为了实现频率同步，可通过 SSS 序列、RS 序列、CP 等信号来进行载频估计，对频率偏移进行纠正。

频率偏移是由收发设备的本地载频之间的偏差、信道的多普勒频率等所引起的。频率偏移一般包括子载波间隔的整数倍偏移和子载波间隔的小数倍偏移两种情况。对于子载波间隔的整数倍偏移，由于接收端的抽样点位置仍然是在载波的定点，并不会造成子载波间干扰，但是解调出来的信息符号的错误率是 50%（无法正确接收）；而子载波间隔的小数倍频偏，由于收发抽样点不对齐，会破坏子载波之间的正交性，进而导致子载波间的干扰，影响信号的正确接收。

小数倍频偏估计的具体算法有多种，目前大多数算法的原理基本相同，即在发送端发送两个已知序列或信号，如果存在频率偏移，那么经过信道后两个发送时间不同的信号之间会存在相位差，通过计算这个相位差就可以得到具体的频率偏移量；对于整数倍频偏，在频域上通过不同在不同整数倍子载波间隔上检测已知序列和接收信号的相关性来进行判断，相关性最强的子载波间隔为该整数倍偏移。

6.1.4 小区同步维持

为了保证下行信令和数据的正确传输，在小区搜索完成后，UE 侧需要对下行链路质量进行测量，确保正确接收下行信令和数

1) 下行无线链路检测

UE 与服务小区同步后，会不断检测下行链路质量，并上报至高层以指示其处于同步/异步状态。

在非DRX模式下，UE物理层在每个无线帧都对无线链路质量进行检测，并综合之前的信道质量与判决门限（ Q_{out} 和 Q_{in} ），确定当前的信道状态。

在DRX模式下，一个DRX周期内，UE物理层至少进行一次无线链路质量测量，并综合之前的信道质量与判决门限（ Q_{out} 和 Q_{in} ），确定当前的信道状态。

UE将链路质量与判决门限（ Q_{out} 和 Q_{in} ）进行比较来判定自身处于同步/失步状态。当测量的无线链路质量比门限值 Q_{out} 还差时，UE物理层向高层上报当前UE处于失步状态；当测量的无线链路质量好于 Q_{in} 时，UE物理层向高层上报当前UE处于同步状态。

2) 上行同步维持。

为了保证UE能够与基站保持同步，需要对UE的定时时刻进行调整。基站通过检测UE上发的参考信号，确定UE是否与基站保持同步，如果存在同步偏差，则基站将下发一个定时调整指令指示UE需要进行定时同步点的调整。UE一旦接收到eNodeB的定时提前命令，将会调整自身用于PUCCH/PUSCH/SRS传输的上行定时（ $16T_s$ 的整数倍）。

- 对于随机接入响应的定时，基站使用 11bit的定时指令 T_A ，其中 $T_A = 0, 1, 2, \dots, 1282$ ，

单位为 $16T_s$ 。UE 侧接收到定时指令 T_A 后，计算定时提前量 N_{TA} ， N_{TA} 单位为 T_s ，

调整自身随机接入定时。其中， $N_{TA} = T_A \times 16$ 。

- 在其他情况下，基站使用 $6bit$ 的定时指令 T_A ， $T_A = 0, 1, 2, \dots, 63$ 。UE 侧接收到定时指令 T_A 后，根据当前的定时量 $N_{A,old}$ 计算新的定时提前 $N_{TA,new}$ 。

$N_{TA,new} = N_{A,old} + (T_A - 31) \times 16$ ，这里调整量 $N_{TA,new}$ 可以为正，也可以为负，分别代表 UE 的定时需要提前或者延时。

6.2 随机接入

6.2.1 随机接入过程

随机接入是 UE 与网络之间建立无线链路的必经过程，通过随机接入，UE 与基站取得上行同步。只有在随机接入过程完成后，eNodeB 和 UE 才可能进行常规的数据传输和接收。UE 可以通过随机接入过程实现两个基本功能：

- 取得与 eNodeB 之间的上行同步；
- 申请上行资源。

按随机接入前 UE 是否与 eNodeB 获得同步，随机接入过程可分为同步随机接入和异步随机接入。当 UE 已经和 eNodeB 取得上行同步时，UE 的随机接入过程称为同步随机接入。当 UE 尚未和 eNodeB 取得同步时，UE 的随机接入过程称为异步随机接入。由于在进行异步随机接入时，UE 尚未取得精确的上行同步，因此异步随机接入区别于同步随机接入的一个主要特点就是 eNodeB 需要估计、调整 UE 的上行传输定时。在 LTE 早期的研究阶段，还准备采用同步随机接入，但随着后期研究的深入，最终没有定义单独的同步随机接入过程。本节对随机接入过程的介绍主要指异步随机接入。

在以下 6 种场景下 UE 需要进行随机接入：

- RRC_IDLE 状态下的初始接入；
- RRC 连接重建；
- 切换；
- RRC_CONNECTED 状态下有下行数据到达，但上行处于失步状态；
- RRC_CONNECTED 状态下有上行数据发送，但上行处于失步状态，或者没有用于 SR 的 PUCCH 资源；
- RRC_CONNECTED 状态下的 UE 辅助定位。

LTE 支持两种模式的随机接入：竞争性随机接入和非竞争性随机接入。

在竞争性随机接入过程中，UE 随机的选择随机接入前导码，这可能导致多个 UE 使用同一个随机接入前导码而导致随机接入冲突，为此需要增加后续的随机接入竞争解决流程。场景（1）~（5）均可以使用竞争性随机接入模式。

在非竞争性随机接入过程中，eNodeB 为每个需要随机接入的 UE 分配一个唯一的随机接入前导码，避免了不同 UE 在接入过程中产生冲突，因而可以快速的完成随机接入。而非竞争性随机接入模式只能用于场景（2）、（3）和（6）。若某种场景同时支持两种随机接入模

式，则 eNodeB 会优先选择非竞争性随机接入，只有在非竞争性随机接入资源不够分配时，才指示 UE 发起竞争随机接入。

下面将详细介绍两种随机接入模式。

1. 竞争性随机接入

UE 的物理层的随机接入过程由高层触发。对于 RRC 连接建立、RRC 连接重建和上行数据到达的情景，随机接入由 UE 自主触发，eNodeB 没有任何先验信息；对于切换和下行数据到达场景，UE 根据 eNodeB 指示发起随机接入。

初始物理随机接入过程之前，UE 的物理层从高层接收用于随机接入的高层请求信息。高层请求中包含可使用的前导序号、前导传输功率（PREAMBLE_TRANSMISSION_POWER）、关联的随机接入无线网络临时标识（Random Access Radio Network Temporary Identify, RA-RNTI）以及 PRACH 资源。

根据协议规定，LTE 系统中每小区可以使用的随机接入前导码数量至多为 64 个，其中有 N_{cf} 个前导码用于非竞争随机接入，剩余的 $64 - N_{cf}$ 个前导码用于竞争性随机接入。用于竞争性随机接入的前导码又划分为 A 和 B 两个集合组。竞争接入可以使用的前导码索引会通过小区广播消息进行播报，其中包括了前导码集合 A 和前导码集合 B 的大小。

前导的传输功率 P_{PRACH} 由下式决定：

$$P_{PRACH} = \min(P_{\max}, PREAMBLE_TRANSMISSION_POWER + PL)$$

其中 P_{\max} 是由 UE 功率等级决定的最大的可配置功率， PL 是由 UE 估计出的下行链路损耗。

RA-RNTI 由 PRACH 的时频资源位置所确定。作用是 UE 在接收 msg2 的时候通过 RA-RNTI 来检测 PDCCH。

由高层触发后，UE 开始进行随机接入过程。竞争性随机接入流程如图 6-4，又称为“四步”接入法。

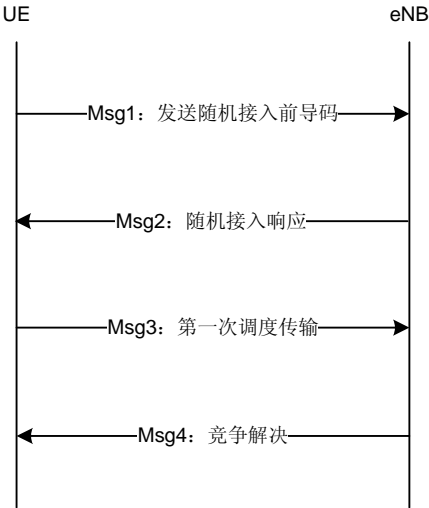


图 6-4 竞争性随机接入流程图

(1) Msg1: UE 向基站发送随机接入前导码

该消息为上行信息，由 UE 发送，eNodeB 接收。UE 选择要发送的前导序列，在高层指示的 PRACH 资源上，使用传输功率 P_{PRACH} 向基站发送随机接入前导码。

首先, UE 使用前导序列索引集合中选择要发射的前导码。如前所述, 用于竞争性随机接入的前导序列分为 A 和 B 两个集合。触发随机接入时, UE 首先根据待发送的 Msg3 的大小和路损大小确定前导码集合, 其中集合 B 应用于 Msg3 较大且路损较小的场景, 集合 A 应用于 Msg3 较小或路损较大的场景。UE 在确定前导码集合后, 从该集合中随机选择一个前导码。物理层的随机接入前同步码由一个长度为 T_{CP} 循环前缀和一个长度为 T_{SEQ} 的序列组成, 前导序列结构具体参见 6.2.2 节。

初始前导序列的传输功率设定是基于具有路径损耗完全步长的开环估计。这一设计保证了前导序列的接收功率独立于路径损耗; 对于重传前导序列的传输, eNodeB 可以配置前导序列功率爬升, 使每个重传序列的传输功率按固定步长增加。

(2) Msg2: 基站向 UE 发送随机接入响应消息

基站接收到 UE 发送的随机接入前导码后, 在物理下行共享信道 (PDSCH) 上向 UE 发送随机接入响应授权 (RAR), RAR 必须在随机接入响应窗内发送。

eNodeB 使用 PDCCH 调度 Msg2, 并通过 RA-RNTI (随机接入过程之前由高层指示给 UE) 进行寻址。Msg2 携带了 backoff 时延参数、eNodeB 检测到的前导序列标识、用于同步来自 UE 的连续上行传输定时对齐指令, 以及 Msg3 准许传输的初始上行资源以及临时小区无线网络标识 (Cell radio network temporary identify, C-RNTI) 等。

UE 发送完随机接入前导码之后, 将在随机接入响应窗内 (随机接入响应窗的起始和结束由 eNodeB 设定, 并作为部分小区特定系统信息广播) 以 RA-RNTI 为标识监听 PDCCH 信道。PDCCH 包含承载 RAR 的 PDSCH 的调度信息。UE 将监听到包含自身发送的前导序列的 DL-SCH 传输块传送给高层, 高层解析这些数据后下发 20bit 的 UL-SCH 授权 (grant) 信令给物理层。UL-SCH 授权具体形式参见 6.2.3 节。

UE 发送完前导码后, 根据不同的基站相应结果, 在后续做不同的操作, 具体情况如下:

- 1) 如果在子帧 n 检测到与 RA-RNTI 相对应的 PDCCH, 且解析到相应的包含已发送前导序列的 DL-SCH 传输块, 则根据这个相应信息在 $n + k_1$ 子帧或 $n + k_1 + 1$ 子帧 (取决于上行延时指示信息) 后的第 1 个可用子帧上发送 1 个 UL-SCH 传输块, 其中 $k_1 \geq 6$ 。
- 2) 如果在子帧 n 检测到与 RA-RNTI 相对应的 PDCCH, 但解析到相应的 DL-SCH 传输块不包含已发送前导序列, 如果高层需要, 则 UE 将在不迟于 $n+5$ 子帧前重传前导序列。
- 3) 如果在子帧 n 上没有接收到随机接入响应, 如果高层需要, 则 UE 将在不迟于 $n+4$ 子帧前重传前导序列。
- 4) 如果随机接入过程是由 PDCCH 指示有下行数据到达时触发的, 如果高层需要, 则 UE 在 $n + k_2$ 子帧后的第 1 个可用子帧内发起随机接入, 其中 $k_2 \geq 6$ 。

(3) Msg3: UE 向 BS 发送 MSG3 消息

UE 接收到基站的随机接入响应后, 在 PUSCH 上进行 L2/L3 消息的传输。MSG3 消息的发送, 支持 HARQ 重传。

L2/L3 消息包含了确切的随机接入过程消息, 如 RRC 连接请求、跟踪区域 (TA) 更新、调度 (SR) 请求, 步骤 2 中 RAR 上的临时 C-RNTI 分配, 以及 UE 已经有的一个 C-RNTI 或 48bit 的 UE ID 等。

假如步骤 1 中多个 UE 发送相同的前导序列, 则冲突的 UE 会从 RAR 接收到相同的临

时 C-RNTI， L2/L3 消息在相同的时频资源上进行发送，此时多个 UE 间存在干扰，使得冲突的 UE 都不能解码。当 UE 发送 MSG3 消息达到最大重传次数后，会重新开始随机接入过程。即便一个 UE 能够正确解码，其他 UE 也存在冲突。为此，需要步骤 4 进行竞争解决。

(4) Msg4: BS 向 UE 发送竞争判决消息

BS 如果对某个 UE 发送的 Msg3 消息进行正确解码，则认为该 UE 成功接入，向 UE 发送竞争判决消息。竞争解决消息包含成功接入的用户 ID，用 C-RNTI 或临时 C-RNTI 进行加扰。它支持 HARQ。

当 eNode B 成功接收到 MSG3 消息以后，将在反馈消息中携带该 UE 在 MSG3 消息中发送的竞争决议标识；当 UE 在竞争判决定时器启动期间，成功接收到自己的竞争决议标识的 MSG3 消息响应，则认为本次随机接入成功，否则认为本次随机接入失败。eNode B 将为竞争判决成功接入的 UE 分配数据传输所需的时频资源。

2. 非竞争的随机接入

非竞争的随机接入流程如图 6-5 所示，又称为“三步”接入法。

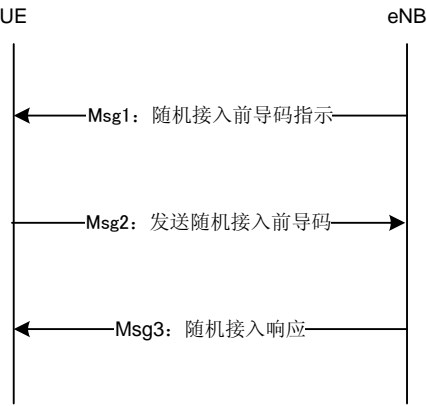


图 6-5 非竞争性随机接入流程图

在非竞争性随机接入过程中，eNodeB 为每个需要随机接入的 UE 分配一个唯一的随机接入前导码，避免了不同 UE 在接入过程中产生冲突，因而可以快速的完成随机接入。随机接入过程止于 RAR。

6.2.2 随机接入前导序列结构

如图 6-6 所示，物理层随机接入前导码由长度为 T_{SEQ} 的复数序列和长度为 T_{CP} 的循环前缀 CP 构成。

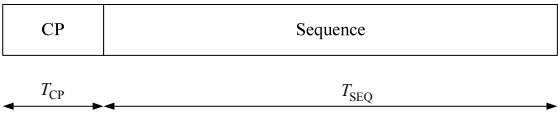


图 6-6 随机接入前导序列格式

LTE 上行系统在 DFT-S-OFDM 符号之间插入 CP，可以实现小区内用户之间的正交性，前提是用户之间的同步误差控制在 CP 长度内。但是，在发起非同步随机接入时 UE 只取得了下行时钟同步，尚未对不同 UE 由于与 eNodeB 间距离造成的上行时钟差异进行调整，不同 UE 的 PRACH 信号并不是同时到达 eNodeB，这样会造成小区内多用户之间的干扰。因此，随机接入突发前后需要额外的保护间隔，以消除用户之间的干扰。也就是说，非同步随机接入突发的长度应小于 0.5ms（如果 UE 采用一个时隙发送 PRACH）或 0.5ms 的倍数（如

果 UE 采用多个连续时隙发送 PRACH)，而且该突发前后应该插入保护间隔（Guard Period，GP）。

由于UE上行发送是功率受限的，在大覆盖条件下需要较长的PRACH发送，已获得所需的能量积累，因而随机接入突发长度应该是可调整的，以适应不同的小区半径。TDD-LTE 支持 5 种前导码格式适用于不同的场景^[3]。其中，格式 4 是TDD-LTE所特有的，主要用于覆盖范围比较小的场景。UE在随机接入过程中使用的前导码格式有高层配置。5 种前导码格式的具体参数配置如表 6-1 所示，相应的典型适用场景如表 6-2 所示。图 6-7 为 5 种PRACH 前导格式和尺寸大小^[4]。

表 6-1 随机接入前导序列参数（格式 0-4）

前导码格式	T_{CP}	T_{SEQ}
0	$3168 \cdot T_s$	$24576 \cdot T_s$
1	$21024 \cdot T_s$	$24576 \cdot T_s$
2	$6240 \cdot T_s$	$2 \cdot 24576 \cdot T_s$
3	$21024 \cdot T_s$	$2 \cdot 24576 \cdot T_s$
4*	$448 \cdot T_s$	$4096 \cdot T_s$

表 6-2 随机接入前导格式典型适用场景

前导格式	$T_{cp} (\mu s)$	$T_{SEQ} (\mu s)$	典型应用场景
0	103.125	800	具有 800us 前导序列的正常 1msRA 突发对于中小型小区（高达 14km）
1	684.375	800	具有 800 μs 前导序列的 2msRA 突发对于大型小区（高达 77km），没有链路预算问题
2	203.125	1600	具有 1600 μs 前导序列的 2msRA 突发对于中小型小区（高达 29km），支持低数据速率
3	684.375	1600	具有 1600 μs 前导序列的 3msRA 突发对于超大型小区（高达 100km）
4	14.6	133	具有 133 μs 前导序列的 UpPTS 突发对于超小型高速小区（半径小于 1.5km）

格式 4 的前导序列在 UpPTS 时隙中传输。不同于前导序列模式 0~3，对于载波间隔为 7.5kHz 的模式 4，针对高速小区受到约束的前导序列集合是不必要的。前导序列模式 4 中的两个 OFDM 符号间随机接入持续时间主要用于半径小于 1.5km 的小尺寸小区，且无需限制高速移动 UE 的循环移位。

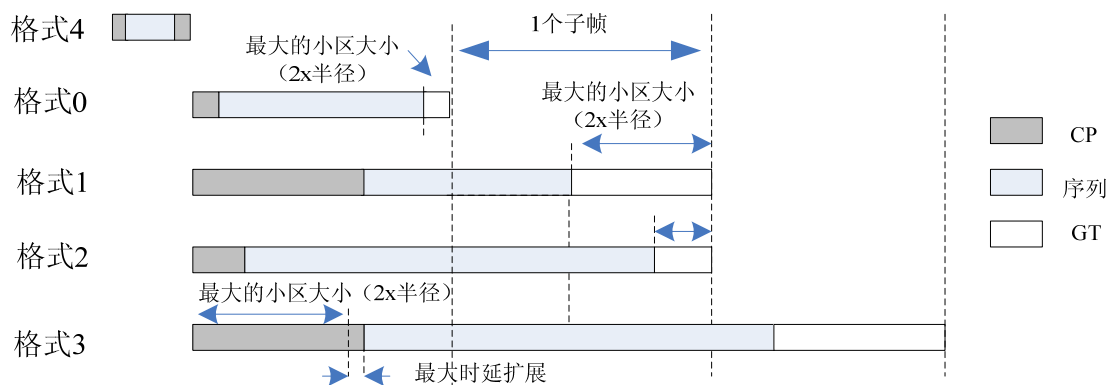


图 6-7 PRACH 前导序列格式和尺寸大小

6.2.3 随机接入响应鉴权

高层将给出 20bit 的随机接入响应传递给物理层。这 20bit 的信息从高位到低位依次代表如下含义^[5]。

- 跳频标识：1bit
- 固定的资源块大小分配：10bit
- 截短的调制方式和编码方案：4bit
- 调度的 PUSCH 的传输功率控制指令：3bit
- 上行延迟：1bit
- CQI 请求：1bit

表 6-3 用于被调度的 PUSCH 的功控指令 δ_{Msg2}

发送功率控制指令	数值 (dB)
0	-6
1	-4
2	-2
3	0
4	2
5	4
6	6
7	8

如果跳频标识置为 1，则 UE 将在 PUSCH 信道执行数据跳频，否则不执行，如果执行跳频，则 UE 的跳频模式将通过固定的资源块分配比特指示。

固定的资源块大小分配的解释为：如果 $N_{RB}^{UL} \leq 44$ ，截取 b 比特信息的固定资源块大小分

配, $b = \left\lfloor \log_2(N_{RB}^{UL} \times (N_{RB}^{UL} + 1) / 2) \right\rfloor$, 这种分配原则是基于截取的普通的 DCI 格式 0; 否则, 在 N_{UL_hop} 跳频指示后插入 b 比特 0, 其中 $b = \left\lfloor \log_2(N_{RB}^{UL} \times (N_{RB}^{UL} + 1) / 2) \right\rfloor - 10$, 这种方式是基于扩展的普通的 DCI 格式 0。

截短的调制方式和编码方案对应于协议 36.213 表格 8.6.1-1 中的索引 0~15 中 MCS 的 16 种情况。

调度的 PUSCH 符号的传输功率控制指令 δ_{Msg2} 用于确定 PUSCH 的发送功率, 其具体配置见表 6-3。

6.3 功率控制

6.3.1 下行功率控制

在此开始

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 ρ_A 或 ρ_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。

ρ_A 或 ρ_B 表示每个 OFDM 符号内的 PDSCH EPRE 和小区专属 RS EPRE 的比值, 且 ρ_A 或 ρ_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 ρ_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 ρ_A 表示。一个时隙内不同 OFDMA 的比值标识 ρ_A 或 ρ_B 与 OFDMA 符号索引对应关系如表 6-4 所示。

表 6-4 一个时隙内不同 OFDMA 的比值标识 ρ_A 或 ρ_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 ρ_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 ρ_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

对于小区专属比值 ρ_A 与 PDSCH 使用的不同传输模式有关，取值说明如下（具体参见 36.213）。

对于 16QAM、64QAM 调制、多层空分复用，或多用户 MIMO 的 PDSCH 传输：

- 当 UE 接收使用 4 小区特定天线端口发送分集预编码传输的 PDSCH 数据时（参见协议 36.213 中的 6.3.4.3）， $\rho_A = \delta_{\text{power-offset}} + P_A + 10 \log_{10}(2)$
- 其他情况下， $\rho_A = \delta_{\text{power-offset}} + P_A$

其中，在除了多用户 MIMO 之外的所有传输模式中， $\delta_{\text{power-offset}}$ 均为 0； P_A 为高层指示的 UE 特定参数。

表 6-5 1、2 或 4 小区专属天线端口下的 ρ_A / ρ_B 比

P_B	ρ_A / ρ_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

在已知 ρ_A 的情况下，UE 可以根据比值 ρ_A / ρ_B 得到 ρ_B 的取值。 ρ_A / ρ_B 由表 6-5 给出，

具体的比值是根据高层通知的小区专属参数 P_b 以及eNodeB配置的天线端口数目进行配置的。

6.3.2 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。

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^[6-7]。

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

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

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 α 来决定路损在UE的上行功控中的权重^[8]。 α 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 $\alpha \in \{0, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1\}$ 。

- $\alpha = 0$ ，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。

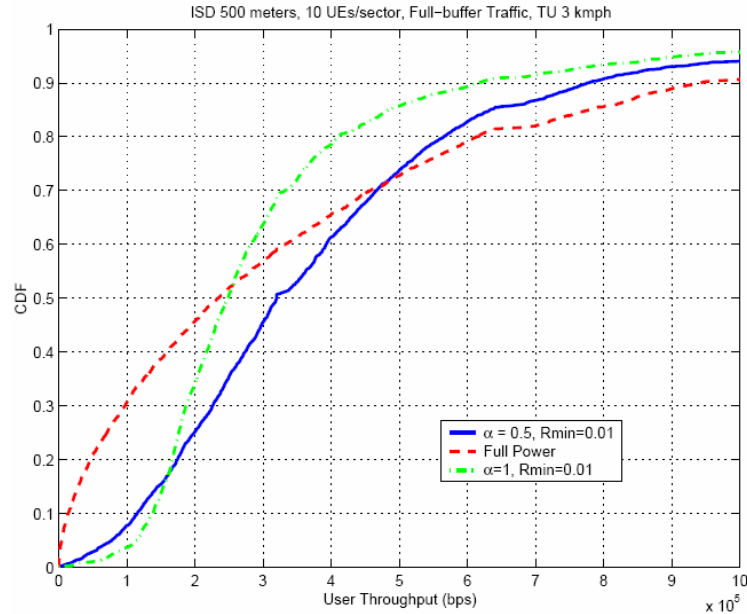


图 6-8 不同功控方案的用户吞吐量比较

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， (P_0, α) 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， α 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 Δ_{TF} 和闭环的功率控制。

基于 MCS 的功率调整 Δ_{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 $+4dB \sim -4dB$ 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 $+8dB \sim -8dB$)。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^[9]。

按照协议的规定, UE 在 PUSCH 信道上第 i 子帧的发送功率为:

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

中:

- P_{MAX} 为系统通过 RRC 信令给 UE 配置的最大发送功率;
- $M_{PUSCH}(i)$ 表示 UE 在 PUSCH 信道上第 i 子帧时所分配的可以占用的 RB 资源块的个数;
- $P_{0_PUSCH}(j)$ 是一个半静态设置的功率基准值, j 的取值为 0、1 或 2, $j = 0$ 对应于半静态调度授权的 PUSCH 传输或重传, $j = 1$ 对应于动态调度授权的 PUSCH 传输或重传; 而 $j = 2$ 对应于随机接入响应授权的 PUSCH 传输;

- 在 $j = 0$ 或 1 时：

$P_{0_PUSCH}(j) = P_{0_NOMINAL_PUSCH}(j) + P_{0_UE_PUSCH}(j)$ ， $P_{0_NOMINAL_PUSCH}(j)$ 为针对一个 eNodeB 的半静态功率基准值， $P_{0_UE_PUSCH}(j)$ 为针对一个 UE 配置的半静态功率基准值；

- 当 $j = 2$ 时：

$P_{0_UE_PUSCH}(2) = 0$ ， $P_{0_NOMINAL_PUSCH}(2) = P_{0_PRE} + \Delta_{PREAMBLE_Msg3}$ ，其中， P_{0_PRE} 和 $\Delta_{PREAMBLE_Msg3}$ 由高层信令配置，此时，对应于 UE 的随机接入过程。

- α 表示对路径损耗的补偿量，当 $j = 0$ 或者 1 时， α 为针对一个 eNodeB 由上层配置的 3 个比特的半静态数值，且 $\alpha \in \{0, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1\}$ ，且 $\alpha(2) = 1$ 。
- PL 为 UE 估计得到的下行路径损耗；
- $\Delta_{TF}(i)$ 是一个与调制编码有关的调整量。当 $K_S = 1.25$ 时， $\Delta_{TF}(i) = 10 \log_{10}(2^{MPR(i) \cdot K_S} - 1)$ ，当 $K_S = 0$ 时， $\Delta_{TF}(i) = 0$ 。 K_S 是针对一个 UE 的半静态配置参数。

- $MPR(i) = TBS(i) / N_{RE}(i)$ ，其中， $TBS(i)$ 表示传输块的大小，

$N_{RE}(i) = M_{PUSCH}(i) \cdot N_{SC}^{RB} \cdot N_{symbol}^{PUSCH}$ 表示第 i 子帧时 UE 在 PUSCH 上占用的 RB 数。

- δ_{PUSCH} 是功率校正值，是针对单个 UE 的参数，也称为 TPC 命令，在 DCI format 0 中传输或在 DCI format 3/3A 中与其他 TPC 命令联合编码，并使用 TPC-PUSCH-RNTI 对 CRC 校验比特进行加扰， $f(i)$ 表示第 i 子帧时对当前 PUSCH 功率的调整，定义为：

- $f(i) = f(i-1) + \delta_{PUSCH}(i - K_{PUSCH})$ ，对应于上层配置给 UE 的参数 *Accumulation-enabled* 使能，或者 δ_{PUSCH} 包含在 DCI Format 0 且对应的 CRC 用临时 C-RNTI 进行了扰码，共两种情况；

- $\delta_{PUSCH}(i - K_{PUSCH})$ 在子帧 $i - K_{PUSCH}$ 由 DCI format 0 或 3/3A PDCCH 指示，

累积取值复位后初始值是 $f(0)$ ；

- UE 在每个子帧（除 DRX 外）对 PDCCH DCI format 0 和 DCI format 3/3A 进行译码。
- 若 UE 在一个子帧内同时检测到 DCI format 0 和 DCI format 3/3A，则 UE 使用 DCI format 0 提供的 δ_{PUSCH} ；
- 若没有译码到 TPC 命令或 UE 处于 DRX，或者 i 不是上行子帧， $\delta_{PUSCH} = 0dB$ ；
- DCI format 0 PDCCH 指示的 δ_{PUSCH} 累积值由**错误！未找到引用源。** 6-7 给出。
- DCI format 3/3A PDCCH 指示的 δ_{PUSCH} 累积值是**错误！未找到引用源。** 6-7 的 SET1 或**错误！未找到引用源。** 6-8 的 SET2 中的一个，由高层提供的 *TPC-step-size* 决定。
- 若 UE 达到最大功率，则不累加正的 TPC 命令；
- 若 UE 达到最小功率，则不累加负的 TPC 命令；
- UE 在下面的场景下进行累积值的复位：
 - ① 收到绝对值的 TPC 命令
 - ② 收到 $P_{0_UE_PUSCH}(j)$
 - ③ 收到随机接入响应消息
- $f(i) = \delta_{PUSCH}(i - K_{PUSCH})$ 对应于上层配置给 UE 的参数 *Accumulation-enabled* 非使能时，或者，其中：
 - ✓ $\delta_{PUSCH}(i - K_{PUSCH})$ 包含在 UE 在子帧 $i - K_{PUSCH}$ 处接收到的 DCI format 0 中；
 - ✓ 若在子帧内没有译码到 DCI format 0、UE 处于 DRX 或者第 i 个子帧不是上行子帧时， $f(i) = f(i-1)$ ；
- K_{PUSCH} 的取值：
 - ✓ 对于 FDD，固定取值为 4，
 - ✓ 对于 TDD UL/DL 配置 1~6，由表 6-6 给出；
 - ✓ 对于 TDD UL/DL 配置 0，若 DCI format 0 PDCCH 指示在子帧 2 或 7 调度

PUSCH 传输，且上行标识的第二个比特设置为 1，则 $K_{PUSCH} = 7$ ，

- ✓ 对于其他的 PUSCH 传输， K_{PUSCH} 的取值由表 6-6 给出；
- DCI format 0 PDCCH 指示的 δ_{PUSCH} 绝对值由表 6-7 给出；
- 对于 $f(i)$ 的两个取值方式：累积的或绝对的，初始值的设置如下：
 - ✓ 如果 UE 从上层收到 $P_{O_UE_PUSCH}$ ，则 $f(i) = 0$ ；
 - ✓ 否则， $f(0) = \Delta P_{rampup} + \delta_{msg2}$ ，其中 δ_{msg2} 是随机接入响应中指示的 TPC 命令， ΔP_{rampup} 由高层提供，表示从第一个到最后一个 preamble 的总的功率抬升。

表 6-6 TDD 配置 0~6 的 K_{PUSCH} 取值

TDD UL/DL Configuration	subframe number i									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	6	7	4	-	-	6	7	4
1	-	-	6	4	-	-	-	6	4	-
2	-	-	4	-	-	-	-	4	-	-
3	-	-	4	4	4	-	-	-	-	-
4	-	-	4	4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	7	7	5	-	-	7	7	-

表 6-7 DCI format 0/3 的 TPC 命令到绝对与累积 δ_{PUSCH} 值的映射

TPC Command Field in DCI format 0/3	Accumulated δ_{PUSCH} [dB]	Absolute δ_{PUSCH} [dB] only DCI format 0
0	-1	-4
1	0	-1
2	1	1
3	3	4

表 6-8 DCI format 3A 的 TPC 命令到 δ_{PUSCH} 值的映射

TPC Command Field in DCI format 3A	δ_{PUSCH} [dB]
0	-1
1	1

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】）：

- ◆ OI 携带当前小区基于每个 PRB 的干扰水平；
- ◆ 报告值的范围包含 3 种干扰水平指示：低（low）、中（medium）、高（high）；
- ◆ 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】）：

- ◆ eNodeB 调整功控公式的参数，然后广播到 UE；（标准支持）
- ◆ eNodeB 调整单个 UE 的传输功率；（标准支持）
- ◆ 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 6-9 所示。

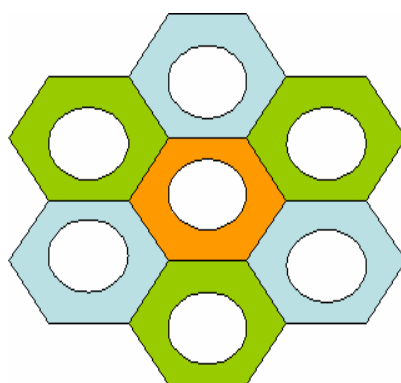


图 6-9 为小区分配不同的高干扰频段

HII 具有如下的特点和要求：

- ◆ 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；
- ◆ “cell-edge UE” 可以通过 UE 测量的服务小区和邻小区 RSRP 确定；
- ◆ 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；
- ◆ 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）；
- ◆ 服务小区和目标小区之间不需要 handshake 过程。

参考文献

- [1] R. L. Frank, S. A. Zedoff and R. Heilmiller, 'Phase Shift Pulse Codes with Good Periodic Correlation Properties'. IRE IEEE Trans. On Information Theory, Vol. 7, pp. 254-257, 1961(10).
- [2] 3GPP R3-071530. Ericsson. Definition of logical synchronisation port for phase- and- time-synchronisation. 3GPP TSG RAN WG3#57
- [3] 3GPP Technical Specification 36.211, 'Physical Channels and Modulation (Release 8)', www.3gpp.org.
- [4] LTE-UMTS 长期演进理论实践, Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker, Wiley, 2009
- [5] TD-LTE 技术原理与系统设计, 王映民, 孙韶辉等, 2010.
- [6] R1-080948, Summary of Power Control Discussion.
- [7] R1-080330, Summary of Power Control E-mail Discussion, Nokia Siemens Network.
- [8] Castellanos, C.U.; Villa, D.L.; Rosa, C.; Pedersen, K.I.; Calabrese, F.D.; Michaelsen, P.-H.; Michel, J, Performance of uplink fractional power control in UTRAN LTE. IEEE Vehicular Technology Conference, Spring 2008. Page(s):2517 – 2521.
- [9] R1-073224 Way Forward on Power Control of PUSCH.