

- 1) 传输信道的错误检测并向高层提供指示;
- 2) 传输信道的前向纠错 (FEC) 编解码;
- 3) 混合自动重传请求 (HARQ) 软合并;
- 4) 编码的传输信道与物理信道之间的速度匹配;
- 5) 编码的传输信道与物理信道之间的映射;
- 6) 物理信道的功率加权;
- 7) 物理信道的调制和解调;
- 8) 频率和时间同步;
- 9) 射频特性测量并向高层提供指示;
- 10) 多输入多输出 (MIMO) 天线处理;

- 11) 传输分集;
- 12) 波束形成;
- 13) 射频处理;

3. LTE无线传输帧结构

(1) 无线传输帧结构

LTE 在空中接口上支持两种帧结构: Type1 和Type2, 其中Type1 用于FDD 模式; Type2 用于TDD 模式, 两种无线帧长度均为10ms。

在FDD 模式下, 10ms 的无线帧分为10 个长度为1ms 的子帧 (Subframe), 每个子帧由两个长度为0.5ms 的时隙 (slot) 组成, 如图2 所示。

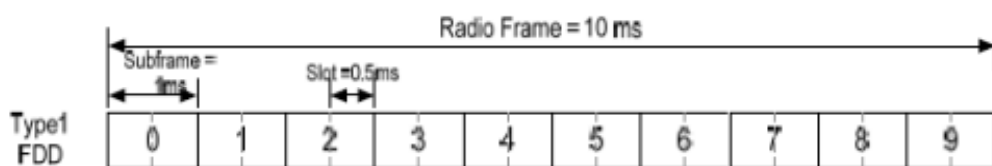


图2 帧结构类型1

在TDD 模式下, 10ms 的无线帧包含两个长度为5ms 的半帧 (Half Frame), 每个半帧由5 个长度为1ms 的子帧组成, 其中有4 个普通子帧和1 个特殊子帧。普通子帧包含两个0.5ms 的常规时隙, 特殊子帧由3 个特殊时隙 (UpPTS、GP 和DwPTS) 组成, 如图3 所示。

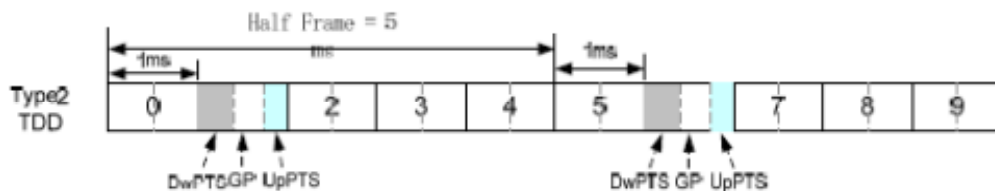


图3 帧结构类型2

(2) Type 2 TDD 帧结构—特殊时隙的设计

在Type2 TDD 帧结构中, 特殊子帧由三个特殊时隙组成: DwPTS, GP 和UpPTS, 总长度为1ms, 如图4 所示。

DwPTS 的长度为3~12 个OFDM 符号, UpPTS 的长度为1~2 个OFDM 符号, 相应的GP 长度为(1~10 个OFDM 符号, 70~700us/10~100km)。UpPTS 中, 最后一个符号用于发送上行sounding 导频。

DwPTS 用于正常的下行数据发送, 其中主同步信道位于第三个符号, 同时, 该时隙中下行控制信道的最大长度为两个符号 (与MBSFN subframe 相同)。

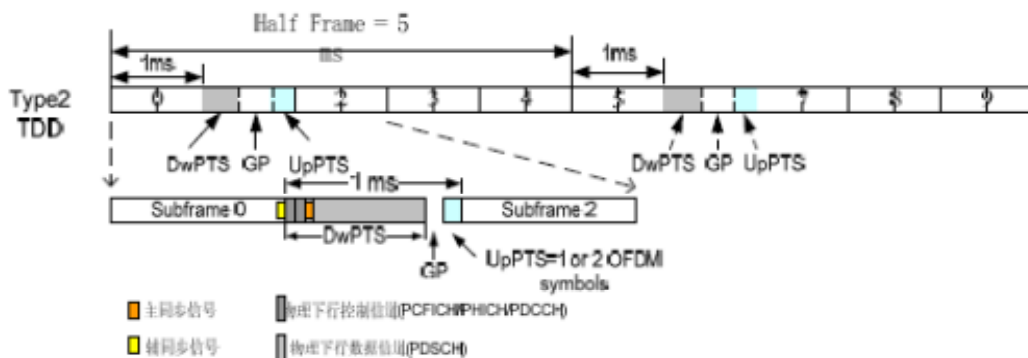


图4 TDD 帧结构特殊时隙设计

(3) Type 2 TDD 帧结构—同步信号设计

除了TDD 固有的特性之外（上下行转换、GP 等），Type2 TDD 帧结构与Type1 FDD帧结构主要区别在于同步信号的设计，如图5 所示。LTE 同步信号的周期是5ms，分为主同步信号（PSS）和辅同步信号（SSS）。LTE TDD 和FDD 帧结构中，同步信号的位置/相对位置不同。在Type2 TDD 中，PSS 位于DwPTS 的第三个符号，SSS 位于5ms 第一个子帧的最后一个符号；在Type1 FDD 中，主同步信号和辅同步信号位于5ms第一个子帧内前一个时隙的最后两个符号。

利用主、辅同步信号相对位置的不同，终端可以在小区搜索的初始阶段识别系统是TDD 还是FDD。

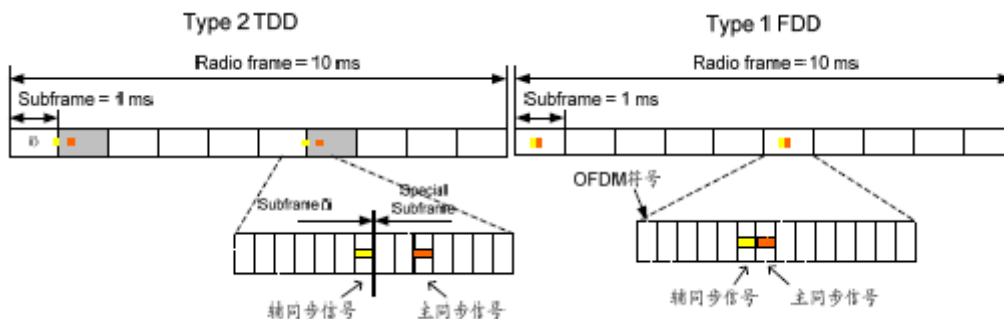
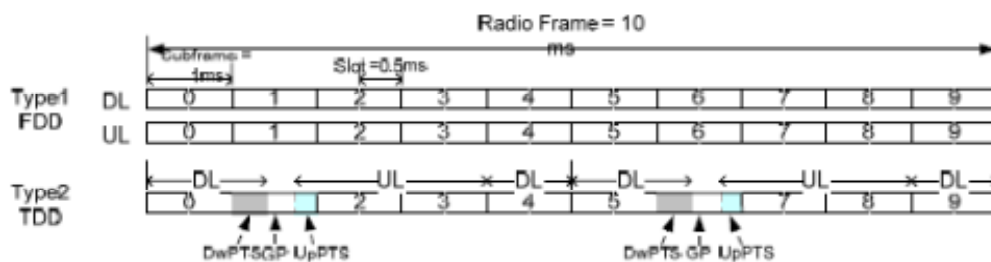


图5 TDD 帧结构同步信号设计

(4) Type 2 TDD 帧结构—上下行配比选项

FDD 依靠频率区分上下行，其单方向的资源在时间上是连续的；TDD 依靠时间来区分上下行，所以其单方向的资源在时间上是不连续的，时间资源在两个方向上进行了分配如图6 所示。



LTE TDD 中支持5ms 和10ms 的上下行子帧切换周期，7 种不同的上、下行时间配比，从将大部分资源分配给下行的“9:1”到上行占用资源较多的“2:3”，具体配置见图7，在实际使用时，网络可以根据业务量的特性灵活的选择配置。



图7 TDD 上下行时间配比

(5) TD-LTE 和TD-SCDMA 帧结构区别

TD-LTE 和TD-SCDMA 帧结构主要区别有：

- 1) 时隙长度不同。TD-LTE 的子帧（相当于TD-SCDMA 的时隙概念）长度和FDD LTE 保持一致，有利于产品实现以及借助FDD 的产业链；
- 2) TD-LTE 的特殊时隙有多种配置方式，DwPTS, GP, UpPTS 可以改变长度，以适应覆盖、容量、干扰等不同场景的需要；
- 3) 在某些配置下，TD-LTE 的DwPTS 可以传输数据，能够进一步增大小区容量；
- 4) TD-LTE 的调度周期为1ms，即每1ms 都可以指示终端接收或发送数据，保证更短的时延，而TD-SCDMA 的调度周期为5ms；

LTE系统物理层基本过程

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。

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）**。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和辅同步序列编号共

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

为了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。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

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

其中， $a_q \in \{1, \dots, N_{ZC} - 1\}$ 是ZC序列的根指数， $n \in \{1, \dots, N_{ZC} - 1\}$, $l \in N - 1$ 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25, 34, 29=M。对于根指数为M，频率长度为63的序列可以表示为

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

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8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。

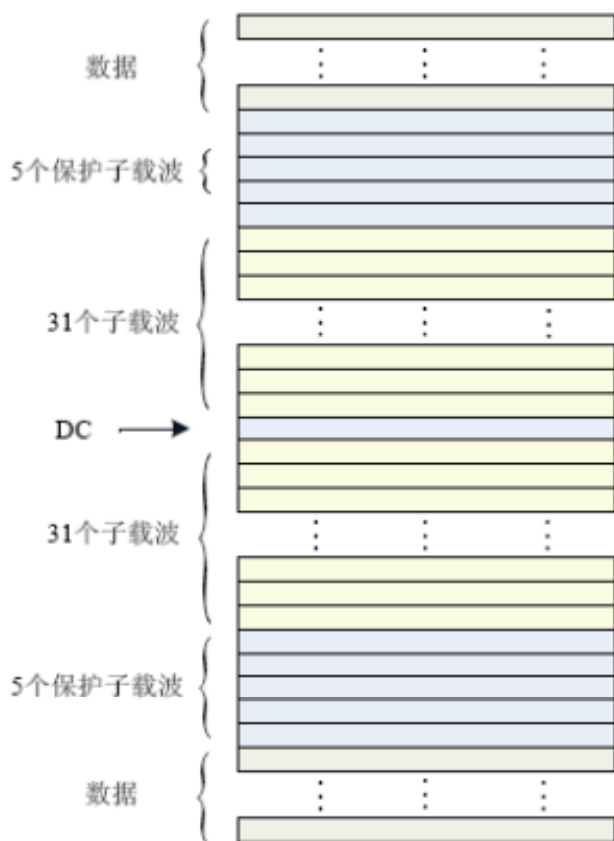


图8 PSS序列映射

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9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 ± 75 kHz。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。

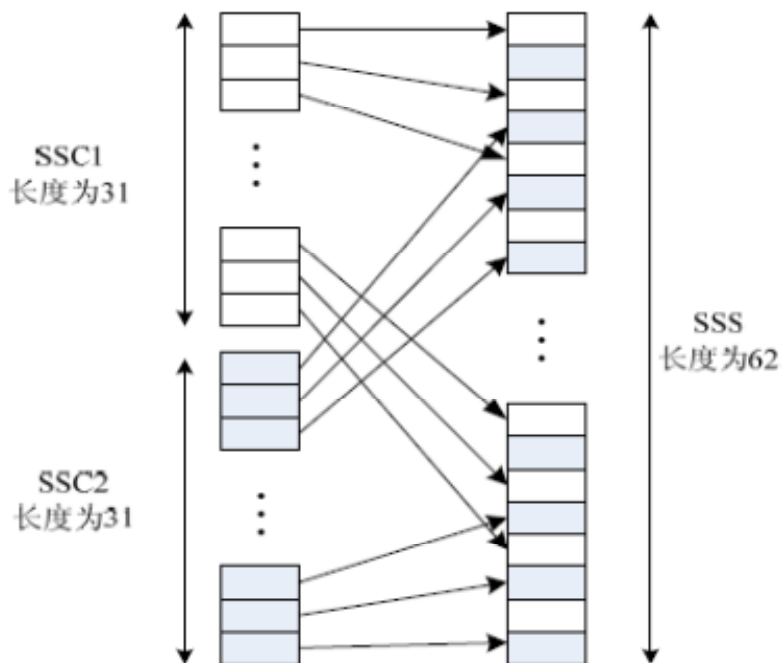


图9 SSS序列映射

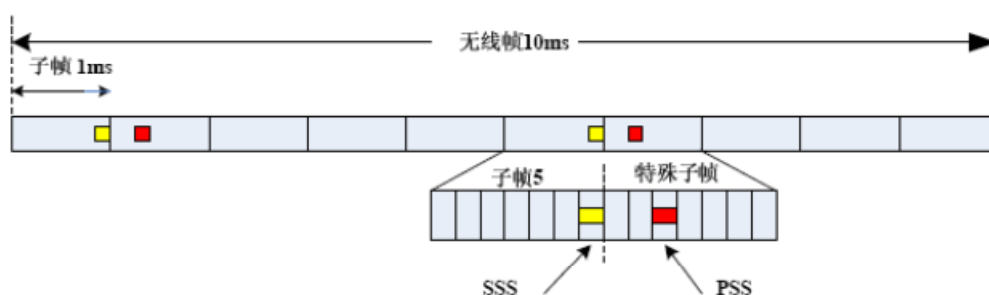


图10 PSS和SSS的时域分布

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。

1.2 时间同步检测

时间同步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。

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。

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​​据；同时，UE通过随机接入过程来实现与基站的上行同步，之后，**基站不断对UE发送定时调整指令来维持上行同步。**

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 ，其中， $T_A=0, 1, 2 \dots 63$ 。UE侧接收到定时指令后，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。

2 随机接入

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, 其中有个前导码用于非竞争随机接入, 剩余的 $N_{\text{CFN}} - 64$ 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。

前导的传输功率由下式决定:

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

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 11，又称为“四步”接入法。

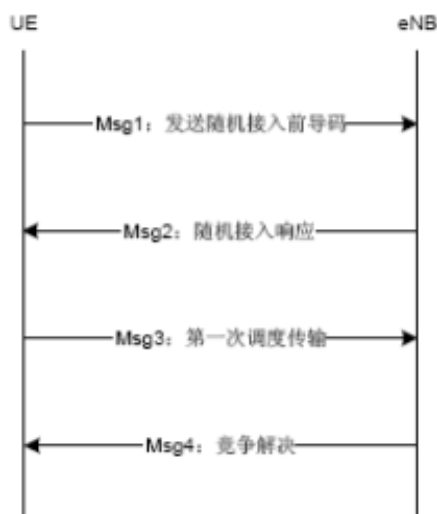


图 11 竞争性随机接入流程图

(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，使用传输功率向基站发送随机接入前导码。

首先，UE 使用前导序列索引集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 循环前缀 和一个长度为 的序列组成。

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。

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 $1kn$ +子帧或子帧 (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。

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在子帧后的第1个可用子帧内发起随机接入。

(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12所示，又称为“三步”接入法。

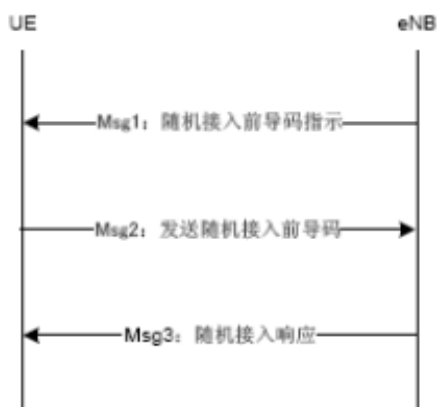


图12 非竞争性随机接入流程图

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。

《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