

第七章 TD-LTE 系统移动性和无线资源管理

7.1 移动性管理

7.1.1 概述

移动性管理是蜂窝移动通信系统必备的机制，能够辅助TD-LTE系统实现负载均衡、提高用户体验以及系统整体性能^[1]。移动性管理主要分为两大类：空闲状态下的移动性管理和连接状态下的移动性管理。空闲状态下的移动性管理主要通过小区选择/重选来实现，由UE控制；连接状态下的移动性管理主要通过小区切换来实现，由eNodeB控制。本节对两种状态下的移动性管理分别进行介绍^[2~3]。

7.1.2 小区选择/重选

UE 处于空闲状态时会驻留在某个小区上。由于 UE 会在驻留小区内发起接入，因此，为了平衡不同频点之间的随机接入负荷，需要在 UE 进行小区驻留时尽量使其均匀分布，这是空闲状态下移动性管理的主要目的之一。为了达到这一目的，LTE 引入了基于优先级的小区重选过程。

空闲状态下的 UE 需要完成的过程包括公共陆地移动网络（PLMN）选择、小区选择/重选、位置登记等。一旦完成驻留，UE 可以进行以下操作。

- 读取系统信息（例如，驻留、接入和重选相关信息，位置区域信息等）；
- 读取寻呼信息；
- 发起连接建立过程。

一般来说，UE 开机后会首先进行 PLMN 选择，然后进行小区选择/重选、位置登记等。由于 PLMN 选择和位置登记主要是 NAS 的功能，本节不做过多的涉及，下面将介绍小区选择和重选过程。

1. 小区选择

小区选择一般发生在 PLMN 选择之后，它的目的是使 UE 在开机后可以尽快选择一个信道质量满足条件的小区进行驻留，小区选择主要包括两大类。

(1) 初始小区选择

这种情况下，UE 没有储存任何先验信息可以帮助其辨识具体的 TD-LTE 系统频率，因此，UE 需要根据其自身能力扫描所有的 TD-LTE 频带，以便找到一个合适的小区进行驻留。在每一个频率上，UE 只需用搜索信道质量最好的小区，一旦一个合适的小区出现，UE 会

选择它并进行驻留。

(2) 基于存储信息的小区选择

这种情况下，UE 已经储存了载波频率相关的信息，同时也可能包括一些小区参数信息。UE 会优先选择有相关信息的小区，一旦一个合适的小区出现，UE 会选择它并进行驻留。如果储存了相关信息的小区都不合适，UE 将发起初始小区选择过程。

小区选择过程中，UE需要对将要选择的小区进行测量^[4~5]，以便进行信道质量评估，判断其是否符合驻留的标准。小区选择的标准被称为S准则。当某个小区的信道质量满足S准则时，就可以被选择为驻留小区。S准则的具体内容^[6]如下：

$$S_{rxlex} > 0$$

其中， $S_{rxlex} = Q_{relelmeas} - (Q_{relelmin} + Q_{relelminoffset}) - P_{compensation}$ 。式中各参数的含义见表 7-1。

表 7-1 小区选择参数含义

S_{rxlex}	小区选择 S 值，单位 dB
$Q_{relelmeas}$	测量小区的 RSRP 值，单位 dBm
$Q_{relelmin}$	小区中 RSRP 最小接收强度要求，单位 dBm，从广播消息中获得
$Q_{relelminoffset}$	当驻留在 VPLMN 上搜索高优先级 PLMN 的时候，采用 S_{rxlex} 评估小区质量，需要对 $Q_{relelmin}$ 进行的偏移，用于防止乒乓响应
$P_{compensation}$	$Max(P_{EMax} - P_{UMax}, 0)$ ，单位 dB
P_{EMax}	UE 在小区中允许的最大上行发送功率，单位 dBm，广播消息中获得
P_{UMax}	由 UE 能力决定的最大上行发送功率，单位 dBm

UE 在进行小区选择时，通过测量得到小区的 $Q_{relelmeas}$ 值，通过小区的系统信息及自身能力等级获取 S 准则公式中的其他参数，计算得到 S_{rxlex} ，然后与 0 进行比较。如果 $S_{rxlex} > 0$ ，则 UE 认为该小区满足小区选择的信道质量要求，可以选择其作为驻留小区。如果该小区的系统信息中指示其允许驻留，那么 UE 将选择在此小区上驻留，进入空闲状态。

2. 小区重选

当 UE 处于空闲状态，在小区选择之后它需要持续地进行小区重选，以便驻留在优先级更高或者信道质量更好的小区。网络通过设置不同频点的优先级，可以达到控制 UE 驻留的目的；同时，UE 在某个频点上将选择信道质量最好的小区，以便提供更好的服务。

小区重选可以分为同频小区重选和异频小区重选。同频小区重选，可以解决无线覆盖问题；异频小区重选，不仅可以解决无线覆盖问题，而且还可以通过设定不同频点的优先级来实现负载均衡。

(1) 同频小区重选
测量准则：

为了最大化UE电池寿命，UE不需要在所有时刻都进行频繁的邻小区监测（测量），除非服务小区质量下降为低于规定的门限值。具体来说，仅当服务小区的参数S(S值的计算方法与小区选择时一致)大于系统广播参数 $S_{intrasearch}$ 时UE才启动同频测量。

小区排序：

对候选小区根据信道质量高低进行 R 准则排序（参考文献[5]），选择最优小区。R 准则表述如下：

$$R_s = Q_{meas,s} + Q_{hyst}$$

$$R_n = Q_{meas,n} + Q_{offset}$$

表 7-2 同频小区重选参数含义

R_s	服务小区的 R 值 (dB)
R_n	临小区的 R 值 (dB)
$Q_{meas,s}$	用于小区重选的小区 RSRP 值 (dBm)
Q_{offset}	对于同频重选，该参数等于小区间的 Q_{offset} （系统广播中存在小区间 Q_{offset} ）或者 0（系统广播中没有小区间 Q_{offset} ）； 对于异频重选，该参数等于“频率间 Q_{offset} 和小区间 Q_{offset} ”（系统广播中存在小区间 Q_{offset} ）或者频率间 Q_{offset} （系统广播中没有小区间 Q_{offset} ）

小区重选准则：同频小区重选的对象可以是邻小区列表中的小区，也可以是通过重选过程中检测到的小区。排队及选择过程需要满足如下的约束条件。

- 新目标小区的信道质量在排序中要比当前服务小区质量好的持续时间不短于 $T_{reselection}$;
- 如果UE处于非普通移动状态（中速或高速），则需要考虑对参数 $T_{reselection}$ 与 Q_{hyst} 进行缩放。
- UE 驻留原小区时间超过 1s。

(2) 异频小区重选

在异频小区重选过程中，eNodeB 可以通过对各频点设置不同的优先级参数来实现不同频点小区的负载均衡。异频小区重选主要包括以下几个步骤。

测量准则：

对于系统信息指出的优先级高于当前频率优先级的频率，UE 总是执行对这些高优先级频率的测量；对于系统信息指出的优先级等于或低于当前频率优先级的频率，UE 的测量准则如下。

- 如果服务小区的S值大于门限值 $S_{nonintrasearch}$ ，不执行测量；
- 如果服务小区的S值小于或等于门限值 $S_{nonintrasearch}$ ，执行测量。

优先级处理：

UE 可以通过广播消息获取频点的优先级信息（公共优先级），或者通过 RRC 连接释放消息获取频点的优先级信息（公共优先级）。如果提供了专用优先级，UE 将忽略所有的公共优先级。如果系统信息中没有提供 UE 当前驻留小区的优先级信息，UE 将该小区所在的频点优先级设置为最低。UE 只在系统信息中出现的并提供了优先级的频点之间，按照优先级策略进行小区重选。

小区重选准则：

对于高优先级频点的小区重选，在满足以下条件后进行。

- 高优先级频率小区的S值大于预设的门限，且持续时间超过 $T_{reselection}$;
- UE 驻留原小区时间超过 1s。

如果最高优先级上多个相邻小区符合标准，则选择最高优先级频率上的最优小区。对于同等优先级频点/同频，采用同频小区重选的 R 准则。

对于低优先级频率的小区重选，在满足以下条件后进行。

- 没有高优先级频率的小区符合重选要求；
- 没有同等优先级频率的小区符合重选要求；
- 服务小区的S值小于预设的门限，并且低优先级频率小区的S值大于预设的门限，且持续时间超过 $T_{reselection}$;
- UE 驻留原小区时间超过 1s。

异频小区重选的对象可以是邻小区列表中的小区，也可以是小区重选过程中检测到的小区。

如果对UE速率的检测结果表明该小区处于非普通（中速或高速）移动状态，在重选过程中应该使用经过缩放的参数 $T_{reselection}$ 。

7.1.3 小区切换

LTE 系统是蜂窝移动通信系统，当用户从一个小区移动至另一个小区时，与其连接的小区将发生变化，执行切换操作。按照源小区和目标小区的从属关系和位置关系，可以将切换做如下的分类。

- **LTE系统内切换：**包括eNodeB内切换、通过X2 的eNodeB间切换^[7]、通过S1 的eNodeB间切换^[8]。
- **LTE 与异系统之间的切换：**由于 LTE 系统与其他系统在空口技术上的根本不同，从 LTE 小区切换到其他系统的小区，UE 不仅需要支持 LTE 的 OFDM 接入技术，还需要支持其他系统的空口接入技术，可能出现的情形包括但不限于以下几类：
LTE 与 GSM 之间的切换、LTE 与 UTRAN 之间的切换、LTE 与 WiMAX 之间的切换。

下面对切换过程中涉及到的信令以及切换流程进行介绍。

一、切换信令分析

LTE 切换过程中涉及 X2 接口、S1 接口和 UU 接口。

1. X2 接口切换相关信令

当 UE 从一个 eNodeB 的小区切换的另一个 eNodeB 的小区时，两个 eNodeB 会通过 X2 接口发生一系列的信令交互配合切换成功完成，下面将进行详细说明。

(1) X2 接口切换准备

这个信令流程是在eNodeB内为切换作资源建立。通过源eNodeB发送Handover Request 消息到目标 eNodeB 开始切换流程。当源eNodeB 发送此消息后，启动一个定时器 $TXRELOC_{overall}$ 等待目标端响应。

源 eNodeB 向目标 eNodeB 发起切换请求，请求在目标端建立与 MME 之间的信令承载 SAE bearers，SAE bearers 包含 SAE 承载的 ID，承载的业务 QoS 参数，服务网关地址等信元。如果请求的 SAE bearers 中至少有一个在目标端准入通过，则目标 eNodeB 应该为准入通过的 SAE bearers 保留必要的资源，并且向原端发送 HANDOVER REQUEST ACKNOWLEDGE 消息（如图 7-1 所示）。在 ACK 消息中，目标 eNodeB 回复资源已经准备好的 SAE bearers 列表信息（也就是准入通过的 SAE bearers）和准入失败的 SAE bearers 列表信息，并且要包含一个合理的失败原因。

源eNodeB收到ACK消息后，停止定时器 $TRELOC_{prepl}$ ，同时启动定时器 $TX2RELOC_{overall}$ ，终止切换准备流程。

如果目标 eNodeB 在切换准备阶段，没有任意一个 SAE bearer 准入成功或者有其他错误发生，则目标 eNodeB 应该发送 HANDOVER PREPARATION FAILURE 消息到源 eNodeB。这个消息应该包含 Cause 信元并且对其赋值表明相应的失败理由（如图 7-2 所示）。

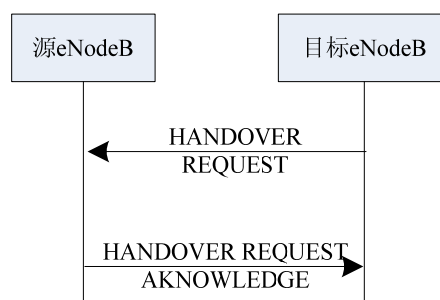


图 7-1 切换准备，成功流程

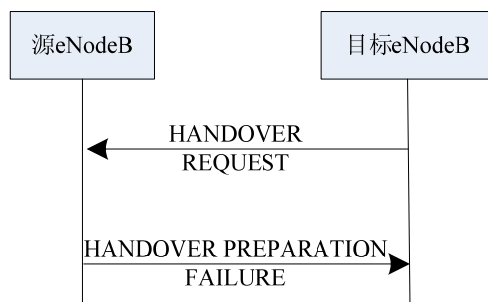


图 7-2 切换准备，失败流程

(2) X2 接口 UE 上下文释放

释放资源的流程是目标 eNodeB 通知源 eNodeB 释放 UE 在源 eNodeB 的控制面的上下文资源可以释放了。成功流程如图 7-3 所示。

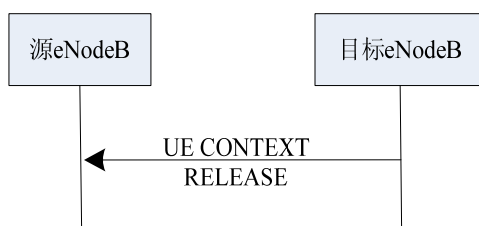


图 7-3 UE 上下文释放流程

释放资源的流程是目标 eNodeB 发起的。通过发送 UE CONTEXT RELEASE 消息，目标 eNodeB 通知源 eNodeB 切换成功，并且触发释放资源的流程。UE CONTEXT RELEASE 消息携带 UE 在源 eNodeB 内的 ID (Old eNodeB UE X2APID)，当源 eNodeB 收到该消息后，可以释放与该 UE 相关的控制面承载的资源。

如果一直到定时器 $TX2RELOC_{overall}$ 超时，源eNodeB都没有被触发进行释放资源的流程，则eNodeB应该自动释放UE在eNodeB上相关的所有的资源并且向MME请求释放UE在MME上的相关上下文。

如果在收到UE CONTEXT RELEASE消息或者定时器 $TX2RELOC_{overall}$ 超时之前UE回到源eNodeB，则源eNodeB停止定时器 $TX2RELOC_{overall}$ 并继续后续流程。

(3) 切换取消

该流程是源 eNodeB 向目标 eNodeB 发送的消息，指示目标 eNodeB 取消一个正在进行的切换，如图 7-4 所示。

切换取消流程通过源 eNodeB 发送 HANDOVER CANCEL 消息触发。源 eNodeB 应该给出一个合理的 HANDOVER CANCEL 的原因。收到 HANDOVER CANCEL 消息后，目标 eNodeB 应该移除所有相关的 UE 的上下文信息，并且释放先前在切换准备流程中为 UE 所保留的资源。

如果某个 eNodeB 收到一个 HANDOVER CANCEL 消息，其中包含的上下文信息在本 eNodeB 并不存在，则 eNodeB 忽略此消息。

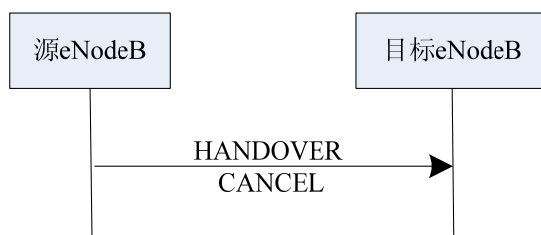


图 7-4 切换取消流程

2. S1 接口切换相关信令

当 UE 从一个 eNodeB 的小区切换的另一个 eNodeB 的小区时，源端和目标端的 eNodeB 会通过 S1 接口同 MME 发生一系列的信令交互配合切换成功完成，下面将进行详细说明。

(1) S1 接口切换准备

S1 接口切换准备流程的作用是源 eNodeB 侧判决需要发起切换，并准备向目标侧进行切换，通过 MME 请求目标侧 eNodeB 准备相关切换资源分配，如图 7-5 所示。

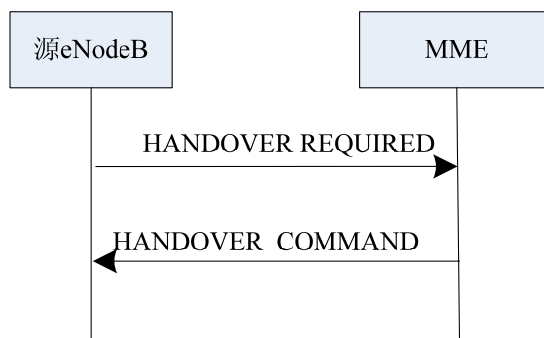


图 7-5 S1 接口切换准备，成功流程

源 eNodeB 使用 HANDOVER REQUIRED 消息触发切换准备流程，该消息由源 eNodeB 发往所属的 MME。当切换准备过程结束，包括目标侧完成资源分配，MME 会用 HANDOVER COMMAND 作为响应消息发往源 eNodeB，通知切换准备流程成功。而如果存在任何的 SAE Bearer 没有权限切换到目标侧，那么该 SAE Bearer 就需要在 HANDOVER COMMAND 消息中由信元 SAE Bearers to Release List 中给出。

如果目标侧没有能力接受任何一个切换入的 SAE Bearer，或者切换准备过程中存在错误，MME 将会向源 eNodeB 发送 HANDOVER PREPARATION FAILURE 消息，并在消息中携带适当的原因值，如图 7-6 所示。

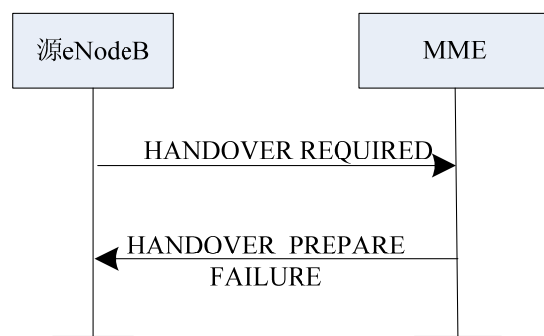


图 7-6 S1 接口切换准备，失败流程

(2) S1 接口切换资源分配

切换资源分配流程是 MME 用来通知目标 eNodeB 为切换入的 UE 分配及预留资源，包括建立该 UE 的通信上下文，如图 7-7 所示。

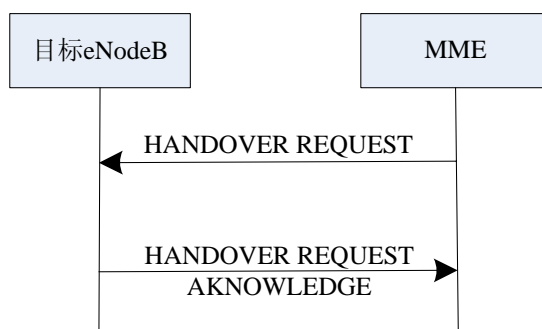


图 7-7 S1 接口切换资源分配，成功流程

MME 通过向目标 eNodeB 发送 HANDOVER REQUEST 消息触发本流程。在目标 eNodeB 为 UE 分配好所有必须的 SAE 承载资源后，目标 eNodeB 向 MME 发送 HANDOVER REQUEST ACKNOWLEDGE 消息。该消息中应该将目标小区为 SAE 承载所分配的资源信息填写在 SAE Bearers Admitted List 信元中。对于未分配的 SAE 承载资源，需要填写在 SAE Bearers Failed to Setup List 信元中。

如果目标 eNodeB 没有能力接受任何一个切换入的 SAE Bearer 或在切换准入过程中发生失败，则需要通过向 MME 发送包含特定原因值的 HANDOVERREQUEST FAILURE 消息告知 MME 切换资源分配失败，如图 7-8 所示。

UE 通过 S1 接口切换时，需要 S1 接口切换准备和 S1 接口资源分配两对信令配合使用才能完成源端和目标端的切换准备工作。

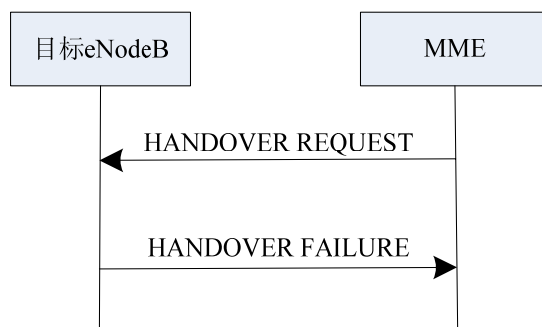


图 7-8 S1 接口切换资源分配，失败流程

(3) S1 接口切换结束通知

S1 接口切换结束通知流程是由目标 eNodeB 通知 MME 切换已经完成，如图 7-9 所示。

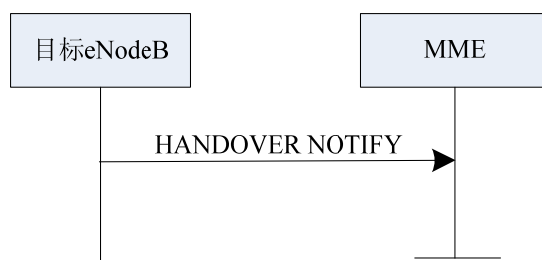


图 7-9 S1 接口切换结束通知

当 UE 切换入目标小区后，目标 eNodeB 向 MME 发送 HANDOVER NOTIFY 消息，指示 S1 接口此次切换流程成功完成。

(4) S1 接口取消

切换取消流程的目的是源 eNodeB 取消一个正在进行的切换流程。在切换准备流程中或切换准备流程结束后，当源 eNodeB 未能指示 UE 执行切换动作或者 UE 在执行切换动作之前又重新把源 eNodeB 视为服务 eNodeB 时，源 eNodeB 可以使用切换取消流程取消本次

切换，如图 7-10 所示。

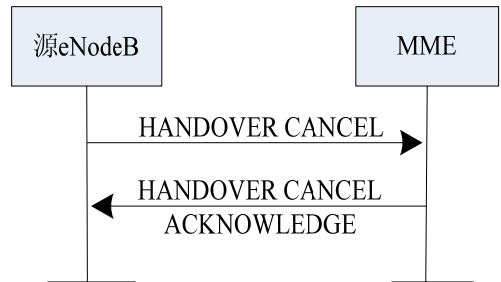


图 7-10 S1 接口切换取消流程

源 eNodeB 通过向 MME 发送 HANDOVER CANCEL 消息触发本流程。消息中需要在 Cause 信元中携带适当的切换取消原因。在收到 HANDOVER CANCEL 消息后，MME 应该终止进行中的切换准备流程，并释放所有与切换相关的资源，同时向源 eNodeB 发送 HANDOVER CANCEL ACKNOWLEDGE 消息。发送和接收到 HANDOVER CANCEL ACKNOWLEDGE 消息后，分别在 MME 和源 eNodeB 终止本流程。

(5) 路径切换请求

路径切换请求的目的是请求将业务数据的通道改变，具体讲就是将源 SAE bearers 中的 GTP 节点切换到在目标 eNodeB 中新建立的 SAE bearers 的 GTP 节点，如图 7-11 所示。

目标 eNodeB 能过向 MME 发送 PATH SWITCH REQUEST 消息触发本流程。在 MME，将业务传输两端的节点地址更新完成后，MME 会向 eNodeB 发送 PATHSWITCH REQUEST ACKNOWLEDGE 消息结束本次流程，该消息应该携带节点地址得到更新的 SAE bearers 列表和未能得到更新的 SAE bearers 列表，如果所有的 SAE bearers 都未能更新成功，MME 则向 eNodeB 发送 PATH SWITCH REQUEST FAILURE 消息，并在消息中携带适当的原因值，如图 7-11 所示。

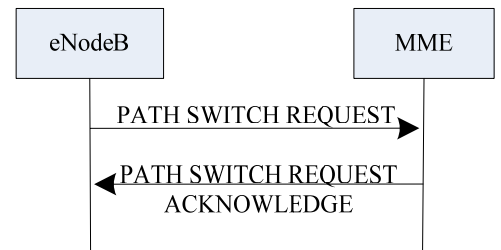


图 7-11 Path Switch 请求，成功流程

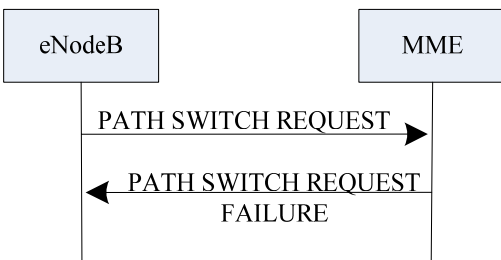


图 7-12 Path Switch 请求，失败流程

3. UU 接口切换相关信令

UE 从一个小区切换到另一个小区，等到目标小区的资源一切准备就绪，会向 UE 发送空口消息，要求 UE 执行切换动作，与新小区之间建立无线链路，并释放与源小区之间的无线链路，如图 7-13 所示。

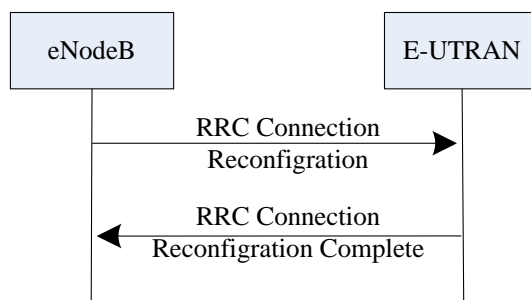


图 7-13 空口切换，成功流程

UE 收到 RRC Connection Reconfiguration 消息，消息中含有 IE Mobility control information 执行此流程。UE 的 RRC 层识别到此消息为移动性管理的相关信息，对 UE 的 L1、L2 进行重配置，重配置完成后，UE 会回复 RRC Connection Reconfiguration Complete 消息。如果 UE 重配置失败，向网络侧发送 RRC Connection Reconfiguration Failure 消息，表明空口切换失败。如图 7-14 所示。

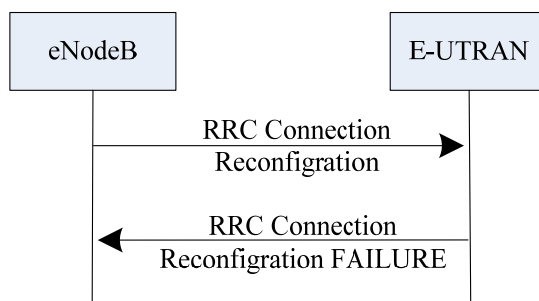


图 7-14 空口切换，失败流程

二、切换流程分析

1. LTE 系统内切换

(1) eNodeB 内切换

当 UE 所在的源小区和要切换的目标小区同属一个 eNodeB 时，发生 eNodeB 内切换。eNodeB 内切换是各种情形中最为简单的一种，因为切换过程中不涉及 eNodeB 与 eNodeB 之间的信息交互，也就是 X2、S1 接口上没有信令操作，只是在一个 eNodeB 内的两个小区之间进行资源配置，其流程图如图 7-15 所示。对其中 L3 协议层的具体流程分析如下，其中步骤 1、2、3、4 为切换准备阶段，步骤 5、6 为切换执行阶段，步骤 7 为切换完成阶段。

- 1) eNodeB 向 UE 下发测量控制，通过 RRC Connection Reconfiguration 消息对 UE 的测量类型进行配置；
- 2) UE 按照 eNodeB 下发的测量控制在 UE 的 RRC 协议端进行测量配置，并向 eNodeB 发送 RRC Connection Reconfiguration Complete 消息表示测量配置完成；
- 3) UE 按照测量配置向 eNodeB 上报测量报告；
- 4) eNodeB 根据测量报告进行判决，判决该 UE 将发生 eNodeB 内切换，在新小区内进行资源准入，资源准入成功后为该 UE 申请新的空口资源；
- 5) 资源申请成功后 eNodeB 向 UE 发送 RRC Connection Reconfiguration 消息，指示 UE 发起切换动作；
- 6) UE 接入新小区后 eNodeB 发送 RRC Connection Reconfiguration Complete 消息指示 UE 已经接入新小区；
- 7) eNodeB 收到重配置完成消息后，释放该 UE 在源小区占用的资源。

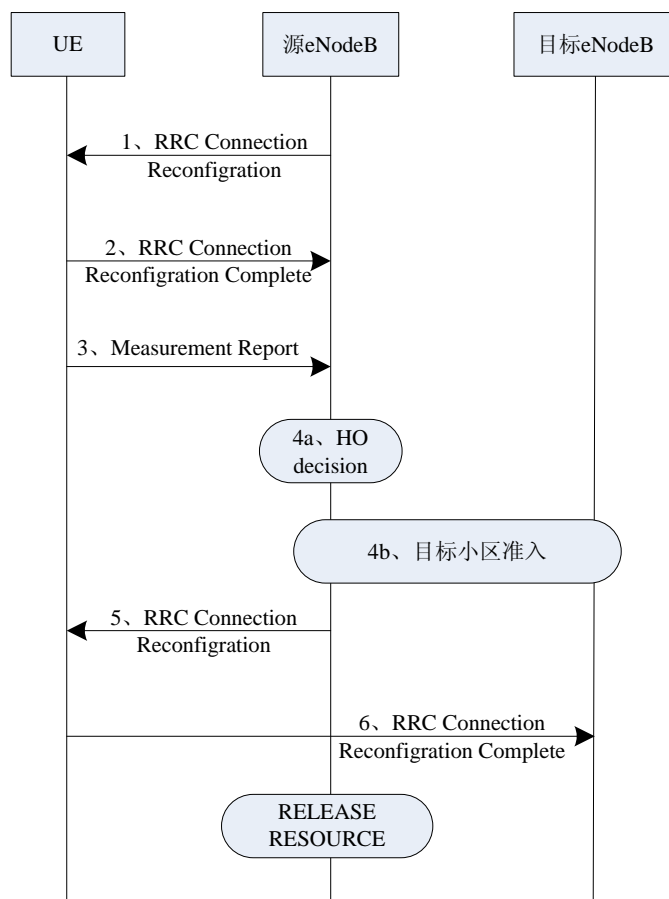


图 7-15

(2) 通过 X2 的 eNodeB 间切换

当 UE 所在的源小区和要切换的目标小区不属于同一 eNodeB 时，发生 eNodeB 间切换，eNodeB 间切换流程复杂，需要加入 X2 和 S1 接口的信令操作，其流程图如图 7-16 所示，对其中 L3 的信令分析如下，其中步骤 1、2、3、4、5、6、7 为切换准备阶段，步骤 8、9 为切换执行阶段，步骤 10、11、12、13 为切换完成阶段：

- 1) 源 eNodeB 向 UE 下发测量控制，通过 RRC Connection Reconfiguration 消息对 UE 的测量类型进行配置；
- 2) UE 按照 eNodeB 下发的测量控制在 UE 的 RRC 协议端进行测量配置，并向 eNodeB 发送 RRC Connection Reconfiguration Complete 消息表示测量配置完成；
- 3) UE 按照测量配置向 eNodeB 上报测量报告；
- 4) 源 eNodeB 根据测量报告进行判决，判决该 UE 发生 eNodeB 间切换；
- 5) 源 eNodeB 向目标 eNodeB 发生 HANDOVER REQUEST 消息，指示目标 eNodeB 进行切换准备；
- 6) 目标小区进行资源准入，为 UE 的接入分配空口资源和业务的 SAE 承载资源；
- 7) 目标小区资源准入成功后，向源 eNodeB 发送 HANDOVER REQUESTACKNOWLEDGE 消息，指示切换准备工作完成；
- 8) 源 eNodeB 向 UE 发送 RRC Connection Reconfiguration 消息命令 UE 执行切换动作；
- 9) UE 向目标 eNodeB 发送 RRC Connection Reconfiguration Complete 消息指示 UE 已经接入新小区；
- 10) 目标 eNodeB 向 MME 发送 PATH SWITCH REQUEST 消息请求，请求 MME 更新业务数据通道的节点地址；

- 11) MME 成功更新数据通道节点地址, 向目标 eNodeB 发送 PATH SWITCH REQUEST ACKNOWLEDGE 消息, 表示可以在新的 SAE bearers 上进行业务通信;
- 12) UE 已经接入新的小区, 并且在新的小区能够进行业务通信, 需要释放在源小区所占用的资源, 目标 eNodeB 向源 eNodeB 发送 UE CONTEXT RELEASE 消息;
- 13) 源 eNodeB 释放该 UE 的上下文, 包括空口资源和 SAE bearers 资源。

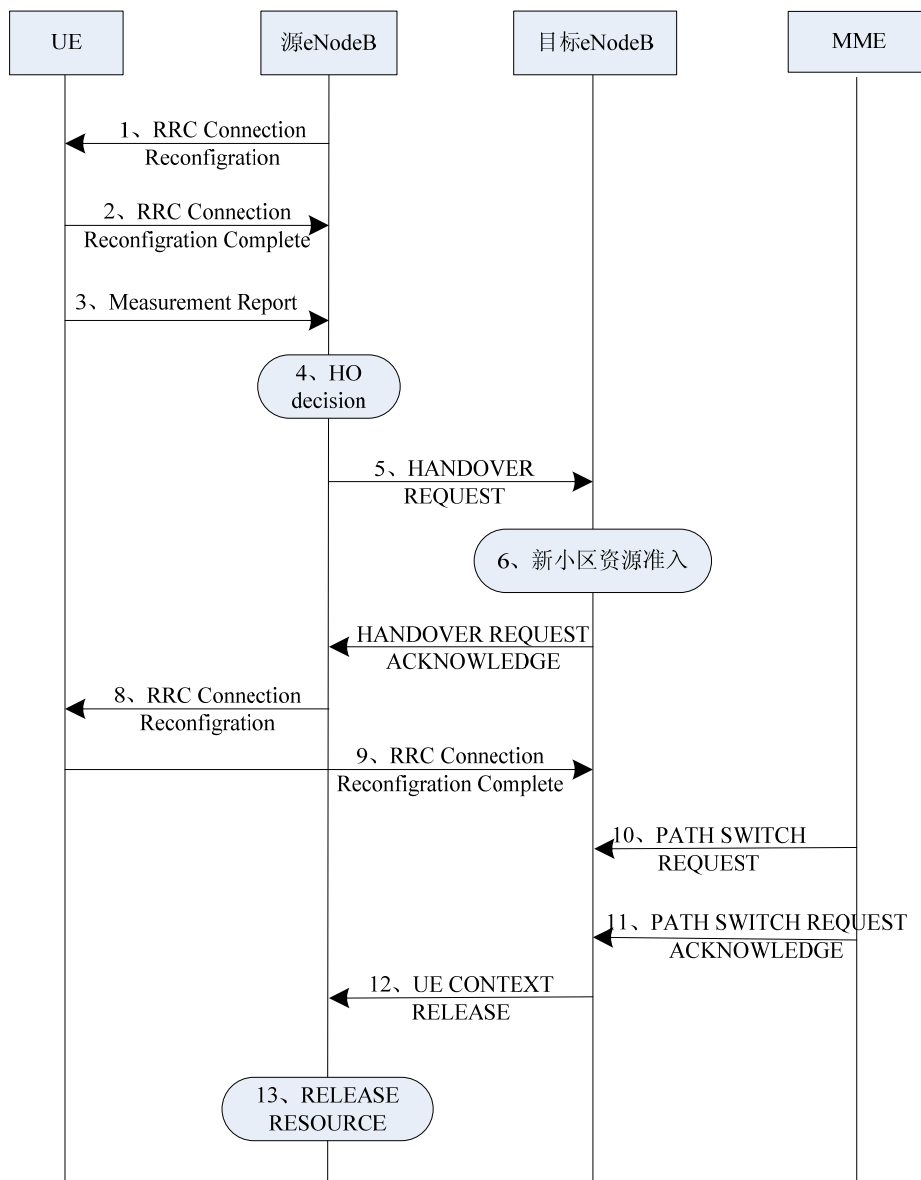


图 7-16 基于 X2 的 eNodeB 间切换

(3) 通过 S1 的 eNodeB 间切换

协议 36.300 中规定 eNodeB 间切换一般都要通过 X2 接口进行, 但当如下条件中的任何一个成立时则会触发 S1 接口的 eNodeB 间切换: (1) 源 eNodeB 和目标 eNodeB 之间不存在 X2 接口; (2) 源 eNodeB 尝试通过 X2 接口切换, 但被目标 eNodeB 拒绝。从第二章介绍的 LTE 网络结构来看, 可以把两个 eNodeB 与 MME 之间的 S1 接口连同 MME 实体看做是一个逻辑 X2 接口。相比较于通过 X2 接口的流程, 通过 S1 接口切换的流程在切换准备过程和切换完成过程有所不同, 其流程图 7-17 所示, 其中步骤 1 到 9 为切换准备过程, 步骤 10、11 为切换执行过程, 步骤 12 到 16 为切换完成过程。

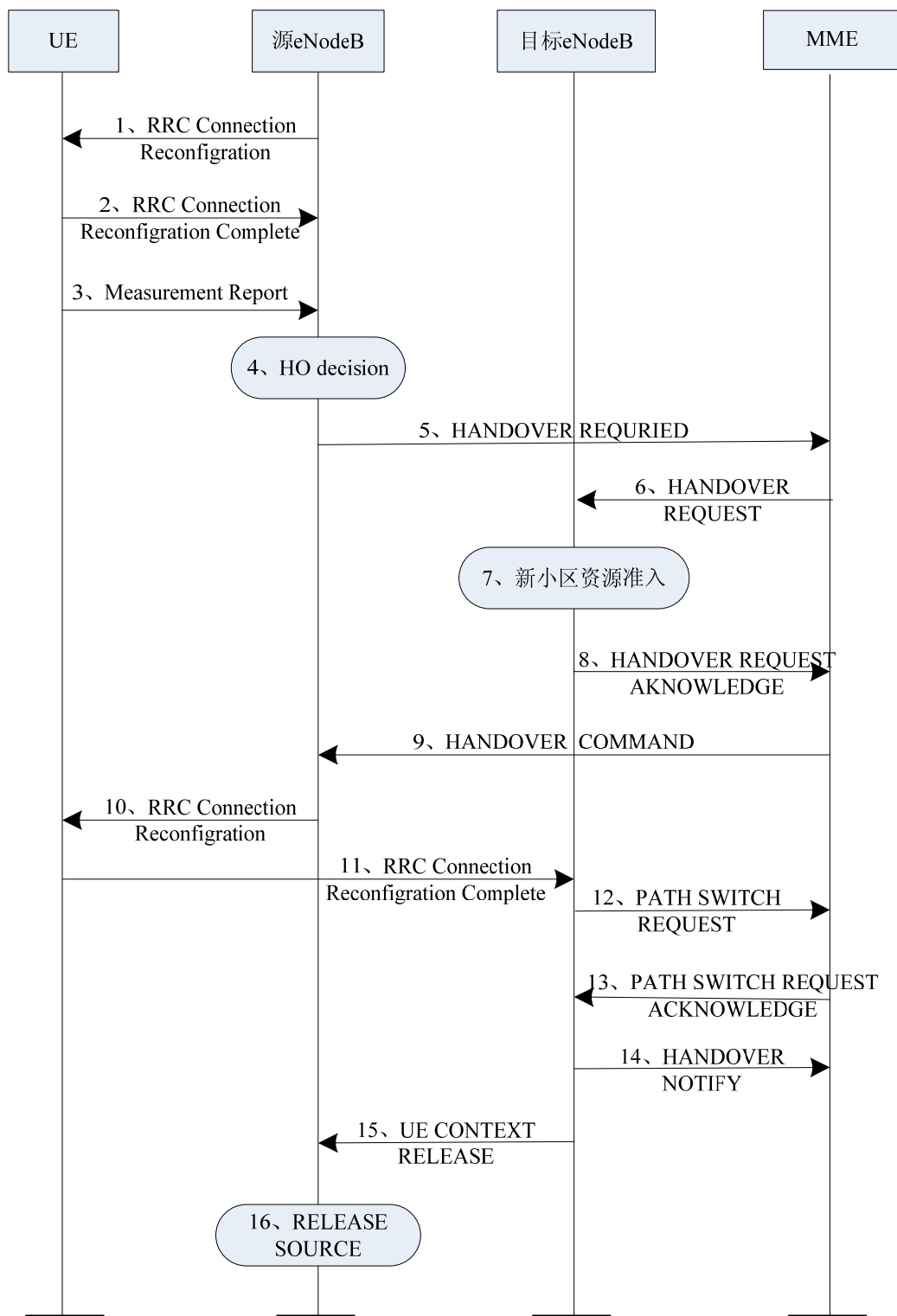


图 7-17 基于 S1 的 eNodeB 间切换

对其中不同于图 7-16 的分析如下：

- 1) 切换准备过程改为首先由源 eNodeB 向 MME 发送切换准备请求，MME 既而向 eNodeB 发送切换请求进行资源分配，最后再由 MME 通知源 eNodeB 切换准备完成；
- 2) 由于切换准备过程中 MME 的参与，所以在源 eNodeB 释放资源的之前通知 MME 切换动作即将完成。

2. LTE 与异系统之间的切换

E-UTRAN 的系统间切换可以采用 GERAN 与 UTRAN 系统间切换相同的原则。
E-UTRAN 的系统间切换可以采用以下的原则。

- (1) 系统间切换是源接入系统网络控制的。源接入系统决定启动切换准备并按目标系统要求的格式提供必要的信息。也就是说，源系统去适配目标系统。真正的切换执行过程由源系统控制。
- (2) 系统间切换是一种后向切换，也就是说，目标 3GPP 接入系统中的无线资源在 UE 收到从源系统切换到目标系统的切换命令前已经准备就绪。
- (3) 为实现后向切换，当接入网（RAN）级接口不可用时，将使用核心网（CN）级控制接口。

异系统切换的情形发生在 UE 在 LTE 小区与非 LTE 小区之间的切换，切换过程中设计到的信令流主要集中在核心网。以 UE 从 UTRAN 切换到 E-UTRAN 为例说明，UE 所在的 RNC 向 UTRAN 的 SGSN 发送切换请求，SGSN 需要与 LTE 的 MME 之间进行消息交互，为业务在 E-UTRAN 上创建承载，同时需要 UE 具备双模功能，使 UE 的空口切换到 E-UTRAN 上来，最后再由 MME 通知 SGSN 释放源 UTRAN 上的业务承载。

7.2 RRM 无线资源管理

7.2.1 概述

以移动通信为代表的无线通信系统都是资源受限的系统，而用户的数量却在持续高速增长。如何利用有限的资源来满足日益增长的用户需求，已经成为移动通信系统发展过程中急需解决的问题。无线资源的概念是很广泛的，它既可以是频率，也可以是时间，还可以是码字。无线资源管理就是对移动通信系统的空中接口资源的规划和调度，目的就是在有限的带宽资源下，为网络内的用户提供业务质量保证，在网络话务量分布不均匀、信道特性因信道衰落和干扰而起伏变化等情况下，灵活分配和动态调整无线传输部分和网络的可用资源，最大限度地提高无线频谱利用率，防止网络阻塞，并保持尽可能小的信令负荷。如果没有好的无线资源管理技术，再好的无线传输技术也无法发挥它的优势，极端的情况甚至会导致系统无法正常运转。LTE 系统中，无线资源管理对象包括时间、频率、功率、多天线、小区、用户，涉及一系列与无线资源分配相关的技术，主要包括资源分配、接入控制、负载控制、干扰协调等。

7.2.2 资源分配

LTE 系统采用共享资源的方式进行用户数据的调度传输^[9]，eNodeB 可以根据不同用户的不同信道质量，业务的 QoS 要求以及系统整体资源的利用情况和干扰水平来进行综合调度，从而更加有效的利用系统资源，最大限度的提高系统的吞吐量。

LTE 系统中，每个用户会配置有其独有的无线网络临时标识（Radio Network Temporary Identifier, RNTI），eNodeB 通过用 UE 的 RNTI 对授权指示 PDCCH 进行掩码来区分用户，对于同一个 UE 的不同类型的授权信息，可能会通过不同的 RNTI 进行授权指示。如对于动态业务，eNodeB 会用 UE 的小区无线网络临时标识（C-RNTI）进行掩码，对于半静态调度业务，使用半静态小区无线网络临时标识（SPS-C-RNTI）等。

LTE 下行采用 OFDM，上行采用 SC-FDMA。时间和频率是 LTE 中主要控制的两类资源。包括集中式（Localized）和分布式（Distributed）两种基本的资源分配方式。

- 集中式资源分配

为用户分配连续的子载波或资源块。这种资源分配方式适合于低度移动的用户，通过选择质量较好的子载波，提高系统资源的利用率和用户峰值速率。从业务的角度讲，这种方式比较适合于数据量大、突发特征明显的非实时业务。这种方式的一个缺点是需要调度器获取比较详细的 CQI（Channel Quality Indicator，信道质量指示）信息。

- 分布式资源分配

为用户分配离散的子载波或资源块。这种资源分配方式适合于移动的用户，此类用户信道条件变化剧烈，很难采用集中式资源分配。从业务的角度讲，比较适合突发特征不明显的业务，如 VoIP 可以减少信令开销。

根据传输业务类型的不同，LTE 系统中的分组调度支持动态调度和半静态调度两种调度机制。

- 动态调度

动态调度中，由 MAC 层（调度器）实时、动态的分配时频资源和允许的传输速率。动态调度是最基本、最灵活的调度方式。资源分配采用按需分配方式，每次调度都需要调度信令的交互，因此控制信令开销很大，因此，动态调度适合突发特征明显的业务。

- 半静态调度

半静态调度是动态调度和持续调度的结合^[10]。所谓持续调度方式，就是指按照一定的周期，为用户分配资源。其特点是只在第一次分配资源时进行调度，以后的资源分配均无需调度信令指示。半静态调度条中，由 RRC 在建立服务连接时分配时频资源和允许的传输速率，也通过 RRC 消息进行资源重配置。与动态调度相比，这种调度方式灵活性稍差，但控制信令开销较小，适合突发特征不明显、有保障速率要求的业务，例如 VoIP 业务。

下面对动态资源调度进行详细介绍。

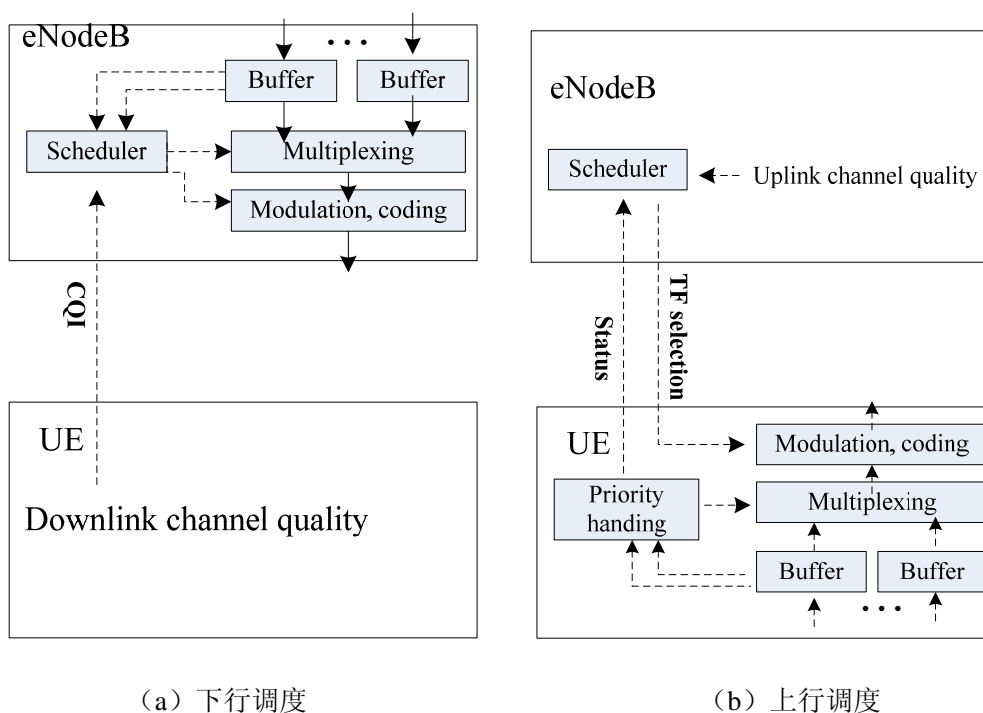


图 7-18 LTE 动态调度

(1) 下行调度

在 TD-LTE 系统中，下行调度器通过动态资源分配的方式将物理层资源分配给 UE，可分配的物理资源块包括 PRB、MCS (Modulation and Coding Scheme, 调制编码方式)、天线端口等，然后在对应的下行子帧通过 C-RNTI 加扰的 PDCCH 发送下行调度信令给 UE。在非 DRX 状态下，UE 一直监听 PDCCH，通过 C-RNTI 识别是否有针对该 UE 的下行调度信令，如果 UE 检测有针对该 UE 的调度信令，则在调度信令指示的资源块位置上接收下行数据。

(2) 上行调度

在 TD-LTE 系统中，下行调度器通过动态资源分配的方式将物理层资源分配给 UE，然后在第 $n-k$ 个下行子帧上通过 C-RNTI 加扰的 PDCCH 将第 n 个上行子帧的调度信令发送给 UE，即上行调度信令与上行数据传输之间存在一定的定时关系。在非 DRX 状态下，UE 一直监听 PDCCH，通过 C-RNTI 识别是否有针对该 UE 的上行调度信令。如果有针对该 UE 的调度信令，则按照调度信令的指示在第 n 个上行子帧上进行上行数据传输。

与下行不同的是，上行的数据发送缓存区位于 UE 侧，而调度器位于 eNodeB 侧，为了支持 QoS-aware 分组调度和分配合适的上行资源，eNodeB 侧需要 UE 进行缓存状态的上报，即 BSR 状态上报，从而使 eNodeB 调度器获知 UE 缓存区状态。UE 上报 BSR 采用分组上报的方式，即以无线承载组 (RBG, Radio Bearer Group) 为单位进行上报，而不是针对每个无线承载。上行定义了 4 种 RBG，RB 与 RBG 的对应关系由 eNodeB 的 RRC 层进行配置。

LTE 中常用的几种动态资源调度算法。

1) 轮询调度算法 (Round Robin, 简称 RR)

轮询调度算法 (RR) 假设所有用户具有相同的优先级，保证以相等的机会为系统中所有用户分配相同数量的资源，使用户按照某种确定的顺序占用无线资源进行通信。其主要思想是，以牺牲吞吐量为代价，公平地为系统内的每个用户提供资源。由于 RR 算法不考虑不同用户无线信道的具体情况，虽然保证了用户时间公平性，但吞吐量是极低的。通常 RR 调度算法的结果被作为时间公平性的上界。

2) 最大载干比调度算法 (Maximum Carrier to Interference, 简称 Max C/I)

最大载干比 (Max C/I) 调度算法保证具有最好链路条件的用户获得最高的优先级。

无线信道状态好的用户优先级高，使得数据正确传输的几率增加，错误重传的次数减少，整个系统的吞吐量得到了提升。通常 Max C/I 调度算法的结果被作为系统吞吐量的上界。

3) 比例公平算法 (Proportional Fair, 简称 PF)

PF 算法给小区内每个用户分配一个相应的优先级，小区中优先级最大的用户接受服务。

该算法中，第 i 个用户在 t 时刻的优先级 $R_i(t)$ 定义如下：

$$R_i(t) = \frac{(C/I)_i(t)}{\lambda_i(t)}$$

这里 $(C/I)_i(t)$ 指第 i 个用户在 t 时刻的载干比，而 $\lambda(t)$ 指该用户在以 t 为结尾的时间窗内的吞吐量。显然，在覆盖多个用户的小区中，当用户连续通信时， $\lambda(t)$ 逐渐变大，从而使该用户的优先级变小，无法再获得服务。PF 算法是用户公平性和系统吞吐量的折中。

三种分组调度算法的简单比较见表 7-3。

表 7-3 三种调度算法比较

调度算法	吞吐量	公平性	算法复杂度	信道状态跟踪	QoS 保证机制	适合业务类型
RR	低	最好	低	无	无	单业务
Max C/I	最高	差	中	有		
PF	较高	较好	较高	有		

7.2.3 接入控制

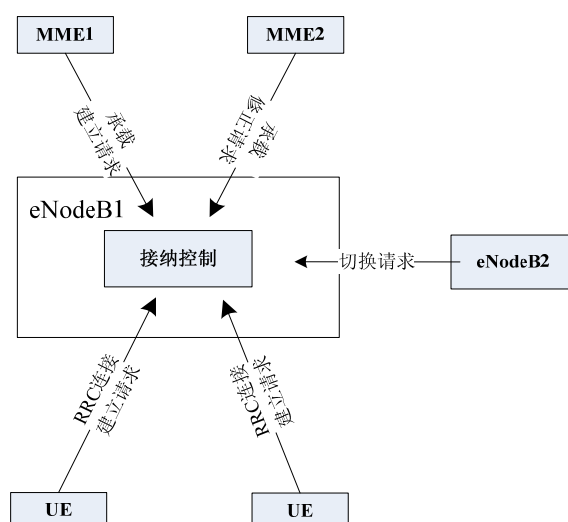


图 7-19 接纳控制场景示意图

如图 7-19 所示，接纳控制算法应用的场景包括：

- 用户开机、在空闲状态下发起呼叫或者接收到寻呼消息需要建立 RRC 连接时，用户向 eNodeB 发送 RRC 连接请求消息，eNodeB 收到 RRC 连接建立请求消息后判断是否可以建立 RRC 连接；
- 核心网节点 MME 向 eNodeB 发送承载建立请求消息，请求新的数据无线承载，在承载建立请求消息中携带了请求接纳的承载列表以及每个承载的 QoS 参数信息，eNodeB 根据收到的消息判断是否可以接纳消息中携带的承载列表中的承载；
- 核心网节点 MME 向 eNodeB 发送承载修正请求消息，更新已建立承载的 QoS 参数信息，如果 QoS 参数要求提高，例如保证比特速率值增加，则需要 eNodeB 判断是否可以接纳；
- 当一个连接状态的用户切换到其它小区时，目标小区需要对请求切换的用户进行接纳判决。

在接入网侧，承载类型包括信令无线承载（Signaling Radio Bearer, SRB）和数据无线承载（Data Radio Bearer DRB），接纳控制算法包括对 SRB 的接纳控制和对 DRB 的接纳控

制。上述的接纳控制算法应用的场景中，场景 1 为 SRB 的接纳控制场景，其他为 DBR 的接纳控制场景。

在设计接纳控制算法时，需要考虑的因素包括：

- 硬件负载信息，包括硬件可以支持的用户数以及承载数目；
- 空口的资源利用；
- 用户的服务情况；
- 核心网节点的负荷；
- 承载的接入保持优先级；
- 用户的最大速率限制；
- 承载的 QoS 特性，包括速率要求、时延和丢包率要求。

SRB 的接纳判决需要综合考虑无线接口的负荷状况以及核心网节点的负荷。当小区处于拥塞状态或者核心网节点过载时，会拒绝部分 SRB 建立请求。

LTE 系统为共享资源系统，所有用户通过调度共享资源，小区中的用户数主要受限于小区中总的资源数量。DRB 的接纳主要基于资源利用率进行接纳，设定一个合适的资源利用率门限，当上行和下行同时满足下述条件时，接纳成功，否则接纳失败：

$$\frac{R_{old} + R_{new}}{R_{total}} \times 100\% < TH$$

式中， R_{old} 为现有用户资源利用数， R_{new} 为新增业务资源需求的预测值， R_{total} 为系统总的可用资源数， TH 为资源利用率门限。

LTE 系统采用共享调度分配资源，当系统中只有几个大数据量的用户时，也有可能占满所有资源，测量得到的所有业务的已有资源利用率并不能真正反映小区的负荷水平，因此，判决条件中的现有用户资源利用量并不是实际测量值，需要经过一定的处理，处理后的值需要反映小区的负荷状况。预测新增业务资源需求根据请求接纳承载的 QoS 要求得到请求接纳承载需要的资源数量。

在 3G 系统中，存在 QoS 协商过程，如果 eNodeB 按照核心网指示的承载 QoS 参数不能够接纳，NodeB 会尝试降低 QoS 参数要求进行接纳判决，然后，核心网再决定是否接受 NodeB 所提供的降低的 QoS 参数。在 LTE 系统中改变了过去 3G 中 NodeB 可以参与 QoS 参数协调的 QoS 控制方式，定义了基于运营商的由网络控制的 QoS 授权过程，用户申请某项业务或者应用，核心网通过预设的运营机制和策略映射表，将业务映射到某一种 QoS，不存在 eNodeB 或 UE 参与的 QoS 协商过程，即如果 eNodeB 根据核心网指示的 QoS 参数不能够接纳某个承载，则 eNodeB 指示核心网承载接纳失败。

7.2.4 负载均衡

负载均衡用于均衡多小区间的业务负荷水平，通过某种方式改变业务负荷分布，使无线资源保持较高的利用效率，同时保证已建立业务的 QoS^[11]。当判定某个小区负荷较高时，将会修改切换和小区重选参数，使得部分 UE 离开本小区，转移到周围负荷较轻的邻区或者同覆盖的小区，这样就达到了将负荷从高的小区重新分布到低的小区的目的。

负荷均衡算法包括 LTE 系统内的负荷均衡以及系统间的负荷均衡，负荷均衡算法的目标包括^[12]：

- 各个小区之间的负荷更加均衡；
- 系统间的负荷更加均衡；

- 系统的容量得到提升；
- 尽可能减小人工参与网络管理与优化的工作；
- 保证用户的 QoS，减少拥塞造成的性能恶化。

根据负载均衡实现的方式不同，负载均衡可以采取分布式架构、集中式架构和混合式架构。在分布式架构中，eNodeB 间交互负荷信息，由 eNodeB 执行负载均衡的决策；在集中式架构中，各个 eNodeB 上报给 O&M 各自的负荷信息，由 O&M 执行负载均衡的决策；在混合式架构中，各个 eNodeB 交互负荷信息，并作出负载均衡的决策，eNodeB 作出决策后由 O&M 进行确认，得到确认后 eNodeB 才可以执行后续均衡的操作。其中，集中式和混合式结构都涉及到 O&M 的操作，这里只介绍分布式构架下 eNodeB 的负载均衡操作。

对于 LTE 系统内的负载均衡算法，考虑的负荷包括资源利用率、硬件负荷指示、传输网络层负荷指示、综合负荷指示。对于系统间的负载均衡，考虑的负荷包括可利用无线资源、最大吞吐量、最大用户数目。所有系统内和系统间的负荷参数，上下行分别统计。

负载均衡还需要考虑的因素包括：

- 用户目前的业务信息；
- 用户的能力信息；
- 用户签约信息相关的频率和系统优先级；
- 各个系统对业务的支持程度，例如对于数据业务，LTE 系统可以获得更高的速率。

负载均衡算法包含如下几个功能模块。

(1) 负荷评估

各个小区监控本小区负荷。

(2) 负荷信息交互

eNodeB 根据一定的机制触发负荷信息交互过程。例如，如果发现某个小区负荷较高，这个小区请求邻区发送负荷信息，收到请求消息的邻小区根据请求消息中的指示报告自己的负荷信息。

(3) 均衡策略

触发负荷信息交互的小区比较获取的本区和邻区的负荷信息，判定是否需要执行均衡操作。如果需要，则触发均衡操作，修改切换和小区重选参数，可以调整的参数包括小区个性偏移、频率和系统优先级等。

(4) 参数协商

源小区将修改的切换相关参数发送给相关的邻小区，目标小区判断是否可以接受源小区的参数建议，如果可以，则参数协商成功。否则，目标小区回复参数修改建议，重新进行参数协商过程。

7.2.5 干扰协调

LTE 系统采用 OFDM 技术，小区内用户通过频分实现信号的正交，小区内的干扰基本可以忽略。但是同频组网时会带来较强的小区间干扰，如果两个相邻小区在小区的交界处使用了相同的频谱资源，则会产生较强的小区间干扰，严重影响了边缘用户的业务体验。因此如何降低小区间干扰，提高边缘用户性能，成为 LTE 系统的一个重要研究课题。

在 LTE 的研究过程中，主要讨论了三种小区间干扰抑制技术：小区间干扰随机化、小区间干扰消除和小区间干扰协调^[13]。小区间干扰随机化主要利用了物理层信号处理技术和频

率特性将干扰信号随机化，从而降低对有用信号的不利影响，相关技术已经标准化；小区间干扰消除也是利用物理层信号处理技术，但是这种方法能“识别”干扰信号，从而降低干扰信号的影响；小区间干扰协调技术是通过限制本小区中某些资源（如频率、功率、时间等）的使用来避免或降低对邻小区的干扰。这种从RRM的角度来进行干扰协调的方法使用较为灵活，因此有必要深入研究以达到有效抑制干扰、提高小区边缘性能的目的。

小区间干扰协调的基本思想就是通过小区间协调的方式对边缘用户资源的使用进行限制，包括限制哪些时频资源可用，或者在一定的时频资源上限制其发射功率，来达到避免和减低干扰、保证边缘覆盖速率的目的。

小区间干扰协调通常有以下两种实现方式。

静态干扰协调：通过预配置或者网络规划方法，限定小区的可用资源和分配策略。静态干扰协调基本上避免了X₂接口信令，但导致了某些性能的限制，因为它不能自适应考虑小区负载和用户分布的变化。

半静态干扰协调：通过信息交互获取邻小区的资源以及干扰情况，从而调整本小区的资源限制。通过X₂接口信令交换小区内用户功率/负载/干扰等信息，周期通常为几十毫秒到几百毫秒。半静态干扰协调会导致一定的信令开销，但算法可以更加灵活的适应网络情况的变化。

参考文献

- [1] 3GPP TS36.331, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC) protocol specification.
- [2] 3GPP TS 36.331: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification”.
- [3] 3GPP TS36.331 Radio Resource Control (RRC) protocol specification v8.9.0 (2010-03)
- [4] 3GPP Technical Specification 36.214, ‘Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network(E-UTRA); Physical Layer-Measurements (Release 8)’, www.3gpp.org.
- [5] 3GPP Technical Specification 25.215. ‘Technical Specification Group Radio Access Network; Physical Layer- Measurements(TDD)’, www.3gpp.org.
- [6] TD-LTE 技术原理与系统设计, 王映民, 孙韶辉等, 2010.
- [7] 3GPP TS36.423 V9.0.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP)
- [8] TS 36.413 V9.0.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE); S1 Application Protocol (S1AP)
- [9] V. Vukadinovic and G. Karlsson, ‘Video Streaming in 3.5G: On Throughput-Delay Performance of Proportional Fair Scheduling’, in IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, Monterey, CA, 2006(9).
- [10] B. Wang, K. I. Pedersen, P. E. Kolding and T. E. Mogensen, ‘Performance of VoIP on HSDPA’, in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, Stockholm, 2005(5).
- [11] 3GPP TS 36.300 V9.2.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRAN) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2
- [12] 3GPP TR 36.902 v1.2.0. Self-configuring and self-optimizing network use cases and solutions
- [13] LTE-UMTS 长期演进理论实践, Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker, Wiley, 2009