

第十三课：LTE 无线资源管理

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。

资源管理概念

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，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

适合数据量大、突发特征明显的非实时业务。
缺点是需要调度器获取比较详细的CQI信息

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。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。

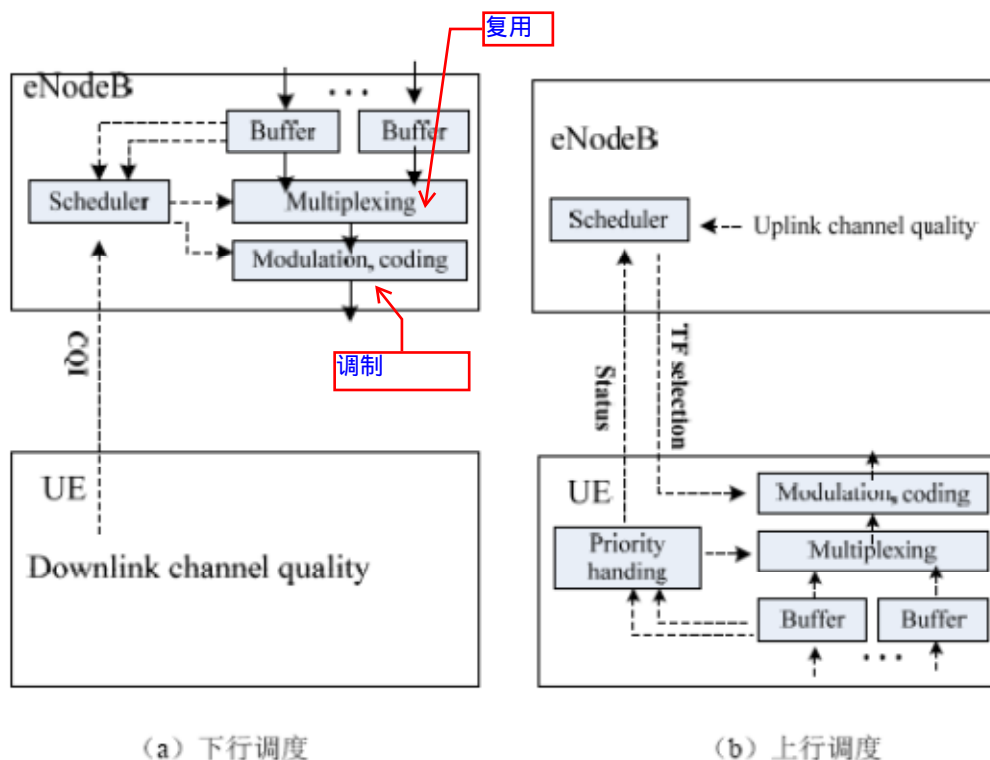


图1 LTE动态调度

(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 时刻的优先级定义如下:

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

这里 $(C/I)(t)$ 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图2。

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		

图2 三种调度算法比较

3. 接入控制

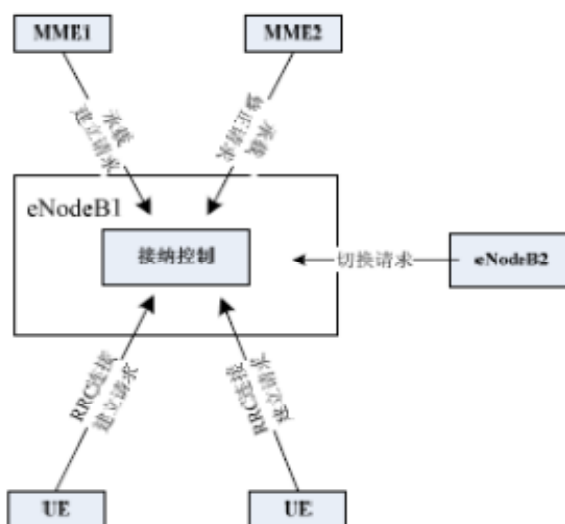


图3 接纳控制场景示意图

如图3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DRB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。

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。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。

负载均衡算法包括LTE系统内的负荷均衡以及系统间的负荷均衡，负载均衡算法的目标包括：

- 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。对于系统间的负荷均衡，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。

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。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 X_2 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 X_2 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。

《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

第十三课：LTE无线资源管理

2013-06-24



【LTE每天一课】第十三课，LTE对无线资源的管理和调配。错过前面课程的读者，可以直接回复“第一课”“第二课”.....获取以往课程