

# 4G 网络负荷均衡方法研究

## Research on Load Balancing Method of 4G Network

王晓刚(中国联通山西分公司,山西 太原 030006)

Wang Xiaogang(China Unicom Shanxi Branch, Taiyuan 030006, China)

### 摘要:

随着LTE网络业务量快速增长,4G网络负荷快速增长,尤其是重点场景局部区域话务过热,导致用户下载速率降低、用户感知下降、网页打开缓慢、视频缓冲时延大、视频卡顿等,故研究4G网络负荷均衡势在必行。研究用户感知与负荷的关系,多载波分场景细分,多载波策略、参数优化,负载均衡评估标准,载波聚合开启及负载均衡案例分析,达到进一步均衡多载波的目的,提升用户感知。

### Abstract:

With the rapid growth of LTE network traffic, the 4G network load has increased rapidly, especially the local area traffic in a key scenario has become overheated, which leads to lower download rate, lower user perception, slow Web page opening, large video buffering delay, and video lag. Therefore, it is imperative to study 4G network load balancing. It studies the relationship between user perception and load, multi-carrier subdivision, multi-carrier strategy research, parameter optimization, load balance evaluation standard, carrier aggregation startup and load balance case analysis to further balance multi-carrier and enhance user perception.

### Keywords:

LTE; Load Balance; UE throughput; Optimization

### 关键词:

LTE; 负荷均衡; 感知速率; 优化

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2019.02.008

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

文章编号:1007-3043(2019)02-0042-05

引用格式:王晓刚. 4G网络负荷均衡方法研究[J]. 邮电设计技术, 2019(2): 42-46.

## 0 前言

当前2I2C业务迅猛增加,为应对流量爆发和节约投资,需要进行4G负载均衡方式的研究。2017年在联通冰激凌、腾讯大网卡等业务的迅猛发展和高流量的拉动下,4G网络业务量快速增长,造成4G网络负荷快速增长,尤其是重点场景局部区域话务过热,导致下载速率降低,用户感知下降,网页打开缓慢,视频缓冲时延大,视频卡顿等。故对多用户重点区域进行负载均衡势在必行。

本文研究了用户感知与负荷的关系、负载均衡的方式和流程、负载均衡的规则及评估标准、载波聚合,并通过案例进行阐述,提出了应对4G网络流量增长和效益平衡的方向和措施。

## 1 研究用户感知与负荷的关系

随着LTE网络负荷的增加,RRC用户数增加,流量增加,下行PRB利用率增加,故分配给每个用户的PRB数相对降低,每个用户的可用资源减少,单用户速率降低,用户感知下降。为研究网络负荷与用户感知的关系,找出影响用户感知的网络负荷节点,包括流量门限、PRB利用率门限、RRC用户数门限,提取山西省多载波站点单用户下行速率、下行流量、RRC平均用户数、PRB利用率,分析结果如下:

a) PRB利用率与单用户下行速率成反比,PRB利用率越大,单用户速率越小;当PRB利用率大于50%,单用户下行速率小于10 Mbit/s。

b) 单用户下行速率与下行流量成反比,下行流量越大,单用户速率越小。

c) 单用户下行速率与RRC平均用户数成反比,

收稿日期:2018-12-18

RRC平均用户数越大,单用户速率越小;当RRC平均用户数大于80,单用户下行速率小于10 Mbit/s。

d) 单用户下行速率与每带宽承载流量成反比,每带宽承载流量越大,单用户速率越小;当每带宽承载流量大于350 MB,单用户下行速率小于10 Mbit/s。

## 2 LTE 负载均衡原理

### 2.1 负载均衡流程(爱立信)

为了使不同载波间的负荷均衡,引入IFLB功能,通过迁移连接态的UE达到不同载波负荷分担的作用。

#### 2.1.1 IFLB生效条件

a) 要求激活基于覆盖的异频切换(Coverage-Triggered Inter-Frequency Handover)。

b) IFLB涉及的2个站点间要有正常的X2链路(load information进行exchange)。

c) IFLB只能发生在Ericsson的基站上。

d) 保证载波间负载均衡功能打开,同站异频邻区互配负载均衡关系(loadBalancing设置为ALLOWED)。

e) 激活异频切换功能Intra-LTE Inter-Mode Handover feature,负载均衡能够应用于Inter-Mode(FDD and TDD)。

#### 2.1.2 IFLB处理步骤

负载信息的评估是通过用户负荷(基站内部虚拟运算)开展的,如果主服小区和目标小区的用户负荷相差3%(lbThreshold)即启动负载均衡,当主服小区的RSRP小于-44 dBm(a5Threshold1Rsrp,很容易达到,相当于对主服不设限)且目标小区的RSRP大于-95 dBm(a5Threshold2Rsrp,为了确保目标小区的覆盖良好)即触发负载均衡的实施。

Step1: Load Assessment;依据subscription ratio进行评估。

$$\text{SubscriptionRatio} = \frac{\sum \text{qciSubscriptionQuanta}}{\text{cellSubscriptionCapacity}}$$

Step2: Load Information Exchange;负载信息交互通过X2链路进行,一个小区可以收到多个本站/其他站小区的load report;目标小区的选择由参数loadBalancing控制;而且负载信息交互只发生在配置了LB的相关小区上。

Step3: Load Balancing Action;基于收到的load information,源小区决定切换给目标小区负荷的差异化分配。具体依据如下:

a) 不同目标小区的负荷差异。

b) 载波负荷差(lbThreshold)触发LB的执行。

c) 源小区总的卸载量,如果存在多个target cell,那么负载在这些小区间分配。

d) 最大load差(lbCeiling)为一个负荷分担周期(15 s)可卸载的最大用户,多余用户等待下一个IFLB周期。

Step4: LB是通过HO来实现的,采用A5事件;如果isHoAllowed设置为FALSE,HO到目标小区是被禁止的;如果目标小区在Handover Restriction List(HRL)中,那么将被禁止切换。

### 2.2 负载均衡流程(华为)

负载均衡可基于用户数触发,或者基于PRB模式触发。目前现网大部分采用用户数模式触发,即用户数模式满足触发条件,则触发异频负载均衡,且均转移同步态的UE。

#### 2.2.1 触发/停止负载均衡

##### 2.2.1.1 基于PRB模式触发

选择PRB模式触发时,若连续5 s内(可配置)同时满足以下条件,则触发异频PRB利用率负载平衡。

a) 小区某类PRB利用率 $\geq$ 异频负载平衡门限(InterFreqMlbThd)+负载偏置(LoadOffset)。

b) 小区同步态用户数 $\geq$ MLB最小用户数门限(MlbMinUeNumThd)+MLB最小用户数偏置(MlbMinUeNumOffset)。

选择PRB模式触发时,若连续5 s(可配置)内满足以下任一条件,则停止异频PRB利用率负载平衡。

a) 小区所有PRB利用率类型 $<$ 异频负载平衡门限(InterFreqMlbThd)。

b) 小区同步态用户数 $<$ MLB最小用户数门限(MlbMinUeNumThd)。

##### 2.2.1.2 基于用户数触发

选择用户数模式触发时,若连续5 s内(可配置),小区同步态用户数 $\geq$ 异频负载均衡用户数门限(InterFreqMlbUeNumThd)+负载均衡用户数偏置(MlbUeNumOffset),则触发异频同步态用户数负载平衡。

选择用户数模式触发时,若连续5 s内小区同步态用户数 $<$ 异频负载均衡用户数门限(InterFreqMlbUeNumThd),则停止异频同步态用户数负载平衡。

#### 2.2.2 目标小区选择

eNodeB根据参数异频负载平衡开关(MlbAlgoSwitch)和负载均衡邻区范围(LoadBalanceNCellScope)

的配置情况,在异频邻区列表中筛选负载均衡邻区选择范围。目前MlbAlgoSwitch仅选择打开异频负载均衡开关,负载均衡邻区选择范围是:同站重叠覆盖邻区和配置了X2链路的异站重叠覆盖邻区,但后者使用很少,基于现网部署情况,负载均衡更倾向于同站重叠覆盖邻区。

触发负载均衡时启动负载信息交互,对于站内邻区,服务小区从所属eNodeB直接获取邻区的PRB利用率、同步态用户数、传输资源和硬件资源负载信息,而对于站间邻区,服务小区所属eNodeB将对候选邻区中配置了X2链路的异站邻区发起负载信息交互流程,邻区所属基站按照请求消息指示的交互周期回复PRB利用率、同步态用户数、传输资源和硬件资源负载信息。

候选邻区中,能获取到其负载信息的小区即为交互邻区。交互邻区按照部分默认和设定的条件进行筛选,需要注意的是以下条件是需要网络设置的:服务小区与邻小区PRB利用率差值大于负载差门限(LoadDiffThd)的小区,邻区InterFreqMlbUeNumThd-邻区同步态用户数>0的小区,或者满足(服务小区同步态用户数-邻区同步态用户数)/服务小区同步态用户数>用户数差值门限(UeNumDiffThd)的小区。然后根据负载均衡频点选择策略(FreqSelectStrategy)的配置选择满足频点要求的小区,形成当前执行周期的目标小区列表。

界面取值范围:公平选择策略(FAIRSTRATEGY)、根据MLB频点优先级选择(PRIORITYBASED)、基于负载的频点优先级(LOADPRIORITY)。

### 2.2.3 负载均衡执行

UE的选择:UE不处于CA状态,没有建立QCI1的业务,不处于惩罚阶段。转移出的UE个数要小于负载均衡最大切换出用户数。每异频负载评估周期(InterFreqLoadEvalPrd)内转移的最大UE个数不能超过负载均衡最大切换出用户数(MlbMaxUeNum),负载转移时,使用基于测量的EventA4。

当收到的切换请求消息携带的负载均衡切换原因为Reduce load in serving cell时,目标小区不做接纳判断,按照正常切换流程处理。当收到的切换请求消息携带的负载均衡切换原因为Resource Optimisation Handover时,如果目标小区PRB利用率或同步态用户数处于潜在高载状态或者负载均衡触发状态,则目标小区回复切换拒绝响应消息HANDOVER PREPARA-

TION FAILURE,否则按照正常切换流程处理。

## 2.3 分场景细分多载波策略

### 2.3.1 带内L1800异频场景

Band3多载波带内异频场景多为室分1650 20M+室分1506 10M,子载波间隔14.4 MHz。

带内L1800异频场景载波策略:带内1650与1506有相同的空闲态重选优先级,空闲态随机驻留;连接态优先级相同;1650与1506互操作方式为异频切换、基于用户数的负载均衡。

### 2.3.2 带间L1800与L2100异频场景

带间L1800与L2100异频场景多为宏站1650(20M)负责覆盖+宏站375(15M)增加容量。

带间L1800与L2100异频场景载波策略:L1800与L2100有相同的空闲态重选优先级,空闲态随机驻留;连接态优先级相同;L1800与L2100互操作方式为异频切换、基于用户数的负载均衡。

### 2.3.3 Inter-mode:FDD与TDD负载均衡

FDD与TDD场景适用于:用户集中,容量需求大,需重点解决网络容量问题;FDD已经进行CA扩容,无频率可用,需要使用TDD进行热点业务吸收。

TDD分流策略为:

a) 4G用户数多、负荷高已经扩容FDD场景,增加TDD基站。以FDD为主覆盖,TDD吸收热点流量。

b) 配置TDD高优先级或等优先级,根据频段的差异,通过设定不同的重选门限,使终端均匀地驻留在TDD/FDD网络。

c) FDD与TDD之间通过连接态负荷均衡+空闲态负荷均衡来调整2张网络间的负荷。当FDD网络负荷较高时,将数据业务均衡到TDD网络上。

d) TDD与FDD互操作方式为:异频切换、基于用户数的负载均衡。

## 3 负载均衡评估标准

IFLB实现机制:现网设置通过RRC用户数差值判断是否触发负载均衡;当载波1、载波2用户数差值大于设置值,触发IFLB,并通过异频切换进行off loading。

研究方法:使用一周小时级数据,筛选RRC用户数均衡(载波1、载波2RRC用户数差值小于参数设定值)小区,分析其PRB利用率差值。

带内:在RRC用户数均衡的前提下,90%的小区均可满足PRB利用率差值在20%以内;故PRB利用率差值在20%以内判断为负载均衡(见图1);当载波1、



载波 2PRB 利用率差值在 20% 以内,单用户下行速率大于 20 Mbit/s(见图 2)。

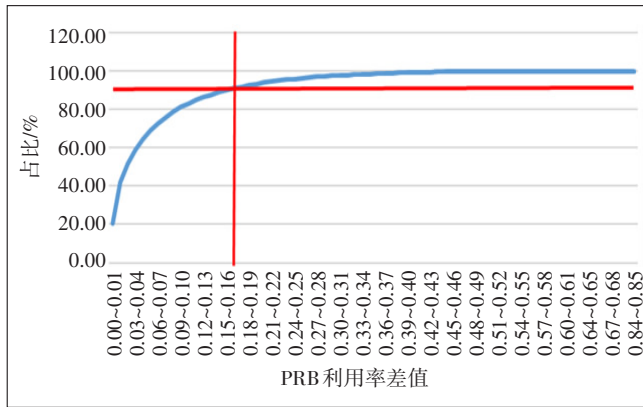


图 1 带内 PRB 利用率差值统计

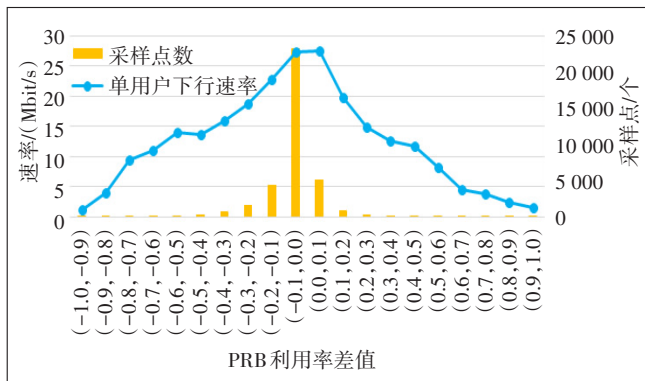


图 2 带内单用户下行速率与 PRB 差值关系

带间:在 RRC 用户数均衡的前提下,90% 的小区均可满足 PRB 利用率差值在 20% 以内;故 PRB 利用率差值在 20% 以内判断为负载均衡(见图 3);当载波 1、载波 2PRB 利用率差值在 20% 以内,单用户下行速率大于 15 Mbit/s(见图 4)。

评估方法:一周每天实际忙时的 PRB 利用率,取 7 天均值;分别计算载波 1、载波 2 负荷( PRB 利用率、流

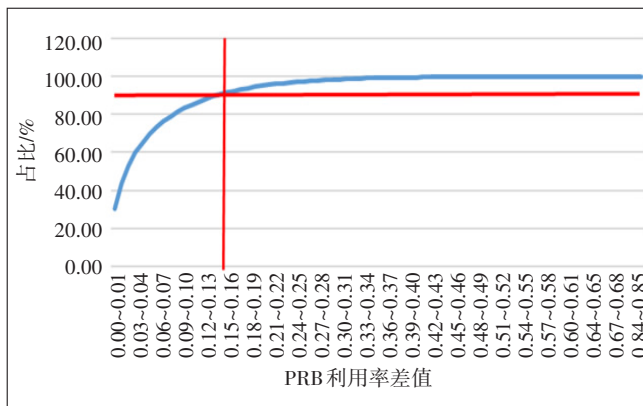


图 3 带间 PRB 利用率差值统计

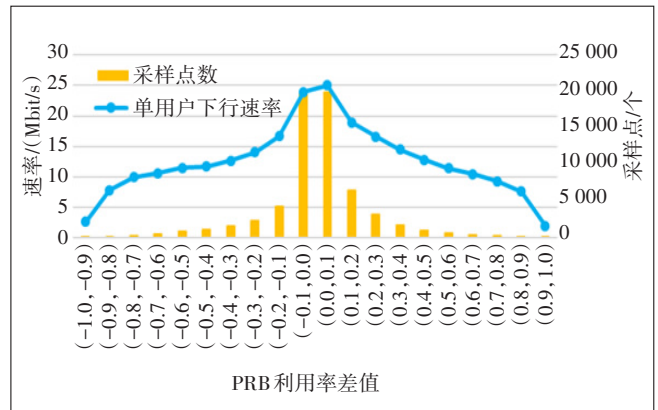


图 4 带间单用户下行速率与 PRB 差值关系

量、用户数),PRB 利用率差值>20%,判断为不均衡;统计时段:评估为自然周(周一到周日),自忙时。

表 1 示出的是负载均衡情况统计。

表 1 负载均衡情况统计

地(市)	扩容方式	多载波对	用户数已均衡载波对	用户数均衡比例/%	PRB 利用率均衡载波对(差值 20% 内)	PRB 利用率均衡比例/%
太原	带间扩容	191	116	60.73	160	83.77
晋中	带间扩容	198	143	72.22	158	79.80
	带内扩容	267	250	93.63	257	96.25

负载均衡标准:载波 1、载波 2PRB 利用率差值小于 20%。

## 4 负载均衡优化

多载波站点负载均衡优化方法如下:

a) 核查负载均衡 License、相关功能状态是否开启。

b) 核查同站异频邻区是否互配负载均衡关系(loadBalancing 设置为 ALLOWED),若未配置,进行添加。

c) 核查基站状态是否正常,是否存在告警;若有告警,推动告警处理。

d) 对问题小区统计的指标进行载波 1 小区与载波 2 小区 PRB 利用率分析,根据当前用户数门限设置用户数启动门限。若载波 1 PRB 利用率高,载波 2 PRB 利用率低,则减小载波 1 小区用户数启动门限,降低用户数差值门限,调节 A5 使载波 1 用户更容易触发负载均衡切换至载波 2,载波 2 用户不易触发负载均衡切换至载波 1。若载波 1 PRB 利用率低,载波 2 PRB 利用率高,则增大载波 1 小区用户数启动门限,提高用户数差值门限,调节 A5 使载波 2 用户更容易触发负载均衡切

换至载波1,载波1用户不易触发负载均衡切换至载波2。

e) 载波1、载波2的覆盖区域应大体一致,若覆盖区域基本无重叠,载波间负载不均衡需要进行天馈调整。加强入网管控、定期检查工程参数,确保扩容载波与已有载波覆盖一致。

## 5 载波聚合

目前全省多载波站点已全部开启负载均衡、载波聚合,且。开启载波聚合可提高小区速率,提升用户感知。

a) 开启CA站点,主载波一直处于开启状态,为节省电量,辅载波动态激活和去激活。

b) 当无线环境 SINR 大于门限值  $sCellScheduleSinrThres$  (现网设置为0),且 RLC buffer 数据传输时长大于  $sCellActDeactDataThres$ ,辅载波激活触发。

c) 当无线环境 SINR 小于门限值  $sCellScheduleSinrThres$  (现网设置为0),或者 RLC buffer 数据传输时长小于  $sCellActDeactDataThres-sCellActDeactDataThresHyst$ ,辅载波去激活触发。

负载均衡、载波聚合开启后,载波1单用户速率提升17.73%,载波2单用户速率提升30.78%(见图5);负载均衡、载波聚合开启后,载波1、载波2PRB利用率、RRC用户数、流量更加均衡(见图6和图7)。

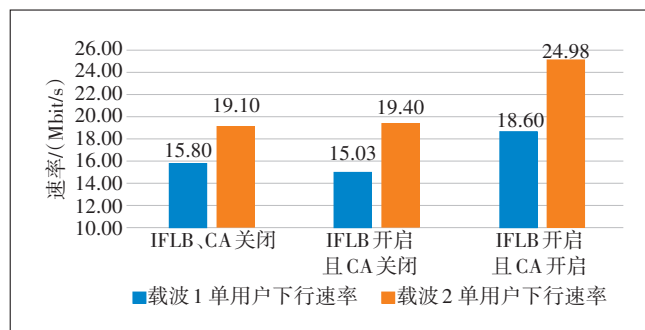


图5 载波间单用户下载速率对比

## 6 结束语

通过本文研究分析,梳理出用户感知与负荷的关系,负荷越高,用户感知越差。为缓解高热区域负荷,对多载波站点进行负载均衡优化。经过多载波分场景细分,分为带内L1800异频场景、带间L1800与L2100异频场景、inter-mode:FDD与TDD负载均衡,进行多载波策略、参数优化,负载均衡评估标准,载波聚合开

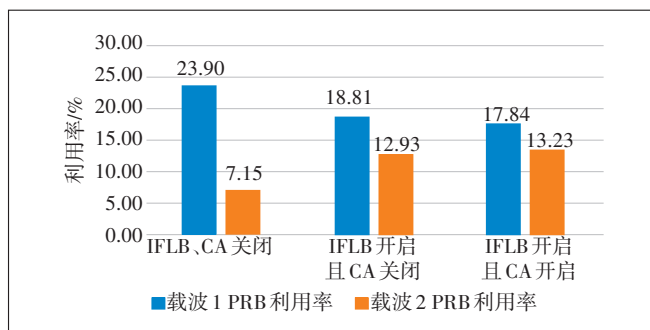


图6 载波间PRB利用率对比

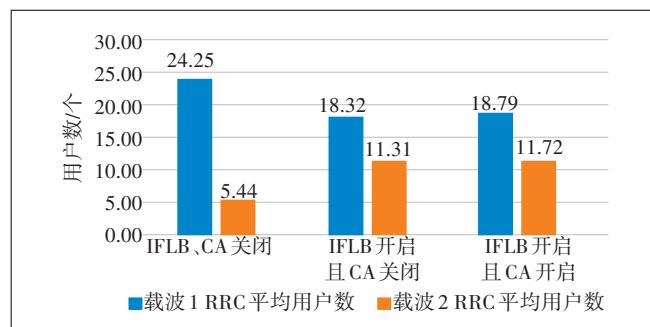


图7 开启CA前后RRC平均用户数对比

启场景研究,确定了负载均衡评估标准及优化方法,为日后负载均衡日常优化明确了思路和方法。

### 参考文献:

- [1] Evolved Universal Terrestrial Access Network (E-UTRAN); Radio Resource Control (RRC) Protocol specification (Release 8); 3GPP TS 36.331[S/OL].[2018-10-02]. <https://wenku.baidu.com/view/6c20d80887c24028915fc3d2.html>.
- [2] Evolved Universal Terrestrial Access Network (E-UTRAN); Physical Channels and Modulation; 3GPP TS 36.211[S/OL].[2018-10-02]. <https://wenku.baidu.com/view/110f57795acfa1c7aa00cc42.html>.
- [3] 李曼. LTE中负载均衡和切换方法的研究[D]. 重庆:重庆邮电大学,2013.
- [4] 王成. LTE-Advanced系统小区间负载均衡及干扰协调技术的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2012.
- [5] 何浩. 基于博弈论的LTE负载均衡的研究[D]. 北京:北京邮电大学,2011.

### 作者简介:

王晓刚,毕业于南京邮电大学,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络优化以及开展新技术研究和试点工作。

