

# 中继节点缓冲区对 LTE-A 系统性能影响研究\*

徐啸涛<sup>1</sup> 陈丽琴<sup>2</sup>

(1. 浙江机电职业技术学院 杭州 310053; 2. 诺基亚通信系统技术(北京)有限公司浙江分公司 杭州 310053)

**摘要:**在 LTE-Advanced(长期演进技术升级版,简称为 LTE-A)中,接入中继节点的前向和后向链路之间存在着链路质量间的不匹配问题,首先分析了当缓冲区上溢或者下溢发生时,缓冲区的大小对整个系统的影响。然后基于仿真结果,得出中继节点缓冲区大小能够有效的影响服务用户的吞吐量性能,并且着重研究了具有有限缓冲区大小中继节点的 LTE-A 辅助系统的性能。最后,阐述了对于 LTE-A 系统中不同的中继节点,尤其是当缓冲区进入上溢或者下溢状态时,缓冲区的大小设置对系统整体性能起着至关重要的作用。

**关键词:** LTE-Advanced; 中继技术; 有限缓冲区; 上溢; 容量; 用户

**中图分类号:** TN915.03 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5030

## LTE-advanced system performance impact assessment for its RNs buffering configuration

Xu Xiaotao, Chen Liqin

(1. Department of Electrical and Electronic Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China; 2. Nokia Siemens Network Technology (Beijing) Co. Ltd. Zhejiang Branch, Hangzhou 310053, China)

**Abstract:** In presence of a link quality mismatch between the backhaul and access links of the relay node, we analyze the impact of the buffer size on the occurrence of undesirable events such as buffer overflows or underflows on the LTE-Advanced system. Moreover, based on simulations, we find out that the size of the buffer at the RN can positively influence the throughput performance of the served users. Finally, we observe that in different relaying conditions, the buffer size setting plays an important role on the overall system performance, especially in terms of underflow and overflow occurrence.

**Keywords:** LTE-Advanced; relay; finite buffer; overflow; size; users

### 1 引言

过去几年,人们对于高速多媒体服务需求出现了突飞猛进的增长,为了满足用户日益增长的服务需求,3GPP(第三代合作伙伴计划项目)引入了新的移动网络架构,即UMTS的长期演进技术(long term evolution, LTE)。这项技术定义了IP(基于互联网协议)的网络基础设施,目的在于通过无线接入接口提供高数据速率。但是所需的高数据速率带来了服务提供商严重的担忧,因为发射功率一定的情况下,信号能量随着传输数据速度的加快而迅速递减。此外,指定频宽的无线传播也容易受到非视距传播条件的影响。逻辑上来说,上述问题可以通过增加基站的密度来解决<sup>[1]</sup>。在LTE中,中继节点(relay node, RN)的引入

被视作替代提高基站密度的解决方法,且成本更为合理。

### 2 LTE-A 系统中继技术简介

为了引入中继节点和LTE Rel. 8中其他功能的强化方案,3GPP开发了LTE-Advanced(长期演进技术升级版)作为新的技术架构。中继技术目前已经在IEEE 802.16j架构中得以应用,可以扩展现有移动系统的容量和覆盖能力。一个中继节点是UE(用户设备)与DeNB(主增强型eNodeB基站)之间连接的桥梁,对于DeNB来说,它可以被当作是UE,而对于接入的UE来说,它就是一个DeNB,如图1所示。在这一架构中,主增强型eNodeB与中继节点之间的无线电链路称为后向链路<sup>[2]</sup>,DeNB和UE之间为直接链路,而中继节点和UE之间的

收稿日期:2017-01

\* 基金项目: 浙江省教育厅 2016 年科研项目(Y201636446)、浙江机电职业技术学院 2016 年重点科研课题资助

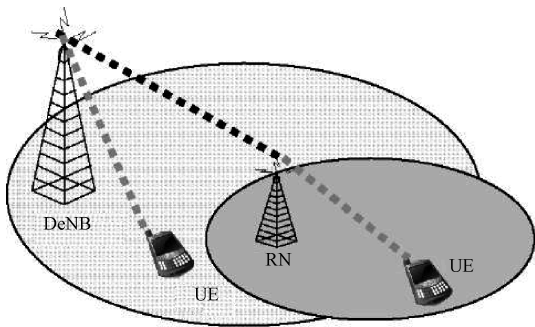


图1 两跳链路中继拓扑图

无线链接则称为前向链路。

在3GPP分类中,中继节点被分为两种主要类型:1型和2型。1型中继是L3(层3)中继,特点是其有自己的中继小区ID,因而能够作为UE连接到eNB(基站)。2型是指L2(层2)中继,与普通的eNB相比<sup>[3]</sup>,功能有所减少,对于UE来说,它可以当作是透明的,因为它并不控制自己的中继小区。

在3GPP中标准化的1型中继可以按照频段使用方法将其进一步划分为3个子分类。其中比较典型的两类:1型和1b型中继节点在前向链路和后向链路中使用同样的载波频率,它们被归为带内中继。二者之间的区别在于分享共有资源的方式不同。对于前向链路和后向链路之间的资源分配,1型中继通过时间双工的方法执行<sup>[4]</sup>,而在1b型RNs中,前向链路和后向链路资源的则通过适当的隔离发射器和接收器天线进行区分分配。对于下一代无线网络一部分的1型中继节点,在高级架构中的1型中继性能或者整个架构,都取决于前向链路和后向链路的资源分配。针对1型中继的下行链路性能,后向链路和前向链路之间的资源分配以及中继节点的缓冲区容量都是此链路的关键参数。由于缓冲区容量有限,所以这对于系统设计是一个很大的挑战。容量受到限制的缓冲区也可以作为前向链路质量的标志,缓冲区排空速度越快,中继节点和终端UE之间信息交换速率就越高。

### 3 系统模型构建

本文在有限缓冲区容量对中继节点的性能进行研究的基础上<sup>[5]</sup>,进一步对中继节点有限缓冲区容量的条件下对转播用户吞吐量和上溢/下溢可能性进行了仿真研究,并把结果与中继节点没有缓冲区的情形进行了分析对比。在得出的研究结果中,概括了前向链路和后向链路质量不匹配可能造成RN的上溢和下溢问题。

#### 3.1 链路容量模型

根据图1设定LTE-Advanced为两跳链路。此端到端链路包括1个DeNB,1个1型中继节点和1个终端UE。在这一架构中,DeNB和中继节点一起构成了固定的基础设施,而UE是一个移动终端。由于本次研究不涉及直接传输(信息交换从DeNB直接到UE),所以两跳链

路为研究的重点。同时DeNB应用了全缓冲设定,对于整个传输期间,DeNB都有待传输至中继节点的数据。DeNB和中继节点RN都是固定节点,所以二者之间的信道只会因传播环境中一些弱扩散器移动的影响而产生微小变化,而其它大多数扩散器是静态的。在每个无线网络系统架构中通过后向链路传输的数据量 $D_{bl}$ 计算方法为:

$$D_{bl} = T_{bl} B_{bl} \log_2(1 + \bar{\gamma}_{bl}) \quad (1)$$

式中: $T_{bl}$ 是在一个无线网络架构中分配给后向链路的时间资源。此数据由分配给后向链路的子框架数量乘以每个子框架的持续时间,即一个传输时间间隔。 $B_{bl}$ 是分配给后向链路总带宽。

在每个无线系统框架中通过前向链路传输的数据计算方法为:

$$D_{al} = T_{al} B_{al} \log_2(1 + \gamma_{al}) \quad (2)$$

$T_{al}$ 是在一个无线网络架构中分配给前向链路的总时间资源<sup>[6]</sup>, $B_{al}$ 是前向链路带宽。因为前向链路并不是静止的,所以把前向链路信噪比定为 $\gamma_{al}$ 。式(1)和(2)同时包括对数正态分布带来的影响。另外,快速衰落的影响在此忽略不计。

#### 3.2 缓冲区模型

假定缓冲区存储容量 $D_{max}$ 是有限的,为了分析改变容量可获得的不同性能,容量是可变的。因此可以设定两个传输阶段:DeNB到RN和RN到UE。在第一阶段 $D_{bl}$ 字节通过RN传输并存储在缓冲区中,而缓冲区中已经缓存了上一次间隔传输的数据字节 $D_{k-1}$ 。在前向链路传输阶段, $D_{al}$ 数据字节从缓冲区传输至UE,缓冲区可以释放 $D_{al}$ 字节的空间,即缓冲区容量太小可能导致上溢或者数据包丢失。

$$D_k = \max\{0, \min\{D_{max}, D_{k-1} + D_{bl} - D_{al}\}\} \quad (3)$$

缓冲区的递归性通过式(3)进行模拟。此系统按照每个时间瞬间进行分析,设定缓冲区在每个时间瞬间的状态取决于输入 $D_{bl}$ 字节,输出 $D_{al}$ 字节,以及缓冲区在时间间隔TTI中的状态。

### 4 性能仿真分析

性能评估通过计算累积分布函数(cumulative distribution functions, CDFs)来计算缓冲区<sup>[7]</sup>状态、下溢容量、上溢容量和用户总吞吐量。描述上溢 $D_{OF}$ 和下溢 $D_{UF}$ 的公式如下:

$$\begin{aligned} D_{OF} &= \max\{0, D_{k-1} + D_{bl} - D_{al} - D_{max}\} \\ D_{UF} &= \max\{0, D_{al} - D_{k-1} - D_{bl}\} \end{aligned} \quad (4)$$

如果中继中没有缓冲区,式(4)中的变量 $D_{k-1}$ 和 $D_{max}$ 就会消失。如果缓冲区不存在,传输的信息数据就会上溢或者下溢,并且通过把 $D_{k-1}$ 设置为0计算出的转播用户总吞吐量,取决于两个链路的最小容量,即两个链路的最差容量。

在性能评估中,通过对比无缓冲区RN( $D_{max} = 0$ )和

缓冲区最大容量<sup>[8]</sup>为  $D_{max}$  的 RN, 当前向链路和后向链路相比质量不佳时,  $D_k$  达到  $D_{max}$  值, 就可能出现上溢。反之, 当前向链路质量好于后向链路时,  $D_k$  低至 0, 下溢就会出现。为了分析有限缓冲区对性能的影响, 可以把结果与参照的无缓冲区 RN 配置进行对比, 在无缓冲区的 RN 配置中, 缓冲区的状态一直是 0, 在此情况下, 通过对比两个链路的容量就可以得到哪个是端到端性能的瓶颈。

#### 4.1 仿真参数设计

通过对前向链路、后向链路和 RN 缓冲区的仿真模型的准确参数设计<sup>[9]</sup>, 为最后的仿真结果提供可靠的数据保证。首先后向链路假定为静态, 每个时间瞬间都有固定数量的数据  $D_k$  通过后向链路进行发送。根据 3GPP 模型原理, 户外转播的 SNR 比收到墙壁穿透损失的室内用户至少高 20 dB。此外, 小区尺寸是对室内用户而言的, 因此, 即使在小区边缘, 也可以合理假设后向链路的 SNR 为 20 dB。在前向链路中, 可以为平均 SNR 设定两个值, 一方面平均 SNR 设定为等于 10 dB 来反应由于室内穿透力造成的不同损失。另一方面, 把平均值设定为 20 dB, 以便考虑后向链路和前向链路质量平衡的情况。

#### 4.2 结果分析

缓冲区下溢仅能作为限制前向链路容量的指示器, 但是在后向链路开始限制整体性能(即转播的用户总吞吐量)的时候, 给后向链路分配更多的资源会导致更差的总吞吐量和下溢的出现。即使是两个链路资源量相同, RN 中也需要缓冲区来限制上溢和下溢, 以及增加转播用户总吞吐量。

仿真结果如图 2、3 所示, 平均前向链路 SNR 为 20 dB 时不同缓冲区容量下, 上溢和下溢的累积函数分布。从图 2 和 3 可以看出使用不同最大缓冲区容量时, 将会有一定量上溢和下溢的可能性。这也意味着增加 RN 的缓冲区容量可以增加工作范围。

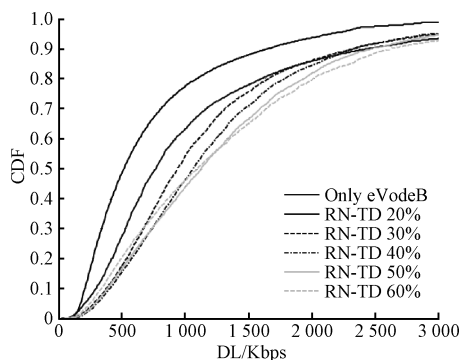


图 2 前向链路 SNR 为 20 dB 时上溢累积分布

图 4 所示为缓冲区容量是如何改善转播用户总吞吐量<sup>[10]</sup>的。这意味着, 如果 RN 没有缓冲区, 后向链路就会限制端到端的性能。而根据转播用户总吞吐量计算, 该性能可以通过在 RN 使用有限容量的缓冲区进行改善。同时缓冲区最大容量大于特定的极值并不能产生显著的性

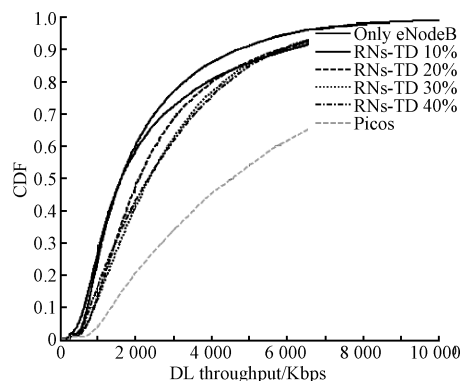


图 3 前向链路 SNR 为 20 dB 时下溢累积分布

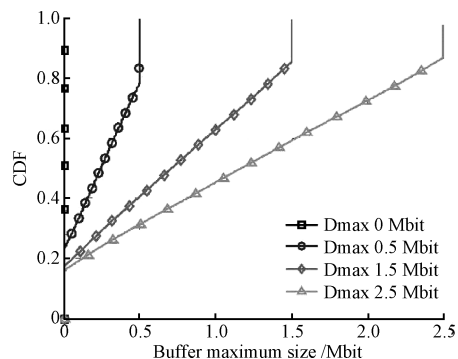


图 4 前向链路 SNR 为 20dB 时缓冲区状态累积分布

能改善。在图 4 所描述的缓冲区状态的累积分布函数表明, 缓冲区最大容量越大, 缓冲区满溢的可能性就越小。通过增加缓冲区容量, 用户总吞吐量也会改善。另一方面, 增加缓冲区容量也能减少上溢和下溢的可能性。

## 5 结论

仿真分析同时可以证明, 流量控制会对采用中继配置的 LTE-Advanced 新架构起到有利的作用。把有限容量的缓冲区引入 RN, 以避免如上溢或者下溢等不良情况发生, 同时, 也能够有效改善转播用户总吞吐量。通过仿真分析, 可以得出结论必须要尽量避免上溢情况出现, 因为它会造成数据包大量丢失和资源浪费。而如果下溢发生, 则只是意味着一部分用户链路资源转播未被使用, 系统运行效率低下。通过研究后向链路和前向链路资源分配相同的情况, 可以得出结论只要出现后向链路和前向链路容量不平衡, 上溢和/或下溢就会成为严重问题。尽管有限容量缓冲区可以改善系统容量、上溢和下溢问题, 以及用户总吞吐量, 但是缓冲区容量大于特定极值后, 就不会再产生明显的性能改善。

## 参考文献

[1] 罗冠洲, 葛春宇, 吴喆. TETRA 系统端到端加密方式中的密钥管理[J]. 信息安全与通信保密, 2008, 30(8):21-23. (下转第 73 页)