

## 长期演进切换中的 TCP 性能改进

李 云, 赵晓娟\*, 张 博

(重庆邮电大学 重庆移动通信技术重点实验室, 重庆 400065)

(\* 通信作者电子邮箱 363807578@qq.com)

**摘 要:** 针对长期演进(LTE)网络中切换引起的 TCP 数据包乱序问题,提出了一种动态超时重传计时器(RTO)算法——DRTO。DRTO 算法的核心是利用 TCP 数据包的序号来区分新旧数据包,通过新旧数据包序号的差值来取代以往计算传统 RTO 时很难确定的乘积因子。该算法不需要对切换机制进行修改,就可以解决用户切换完成前接收的数据包(源基站接续转发的数据包)与切换完成后接收的数据包(服务器发送的数据包)的乱序问题。最后,在 NS-2 仿真平台下,分析比较 DRTO 算法与传统 RTO 算法。仿真结果表明,在吞吐量、重传数据包个数和时延三个性能指标上,DRTO 算法均优于传统 RTO 算法。

**关键词:** 传输控制协议;长期演进;超时重传计时器;切换

**中图分类号:** TP393 **文献标志码:** A

### TCP performance improvement of long term evolution handover

LI Yun, ZHAO Xiao-juan\*, ZHANG Bo

(Chongqing Key Laboratory of Mobile Communication Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** A dynamic Retransmission Timeout (RTO) algorithm: DRTO (Dynamic RTO) for solving the TCP packets out-of-order caused by LTE network handover was proposed. The essence of DRTO was to use the TCP packet sequence number to distinguish the old and the new packets. Hence the multiplicative factor calculated in the past traditional RTO could be replaced by the difference of the serial number. The algorithm did not need to modify the handover mechanism, which can solve the packet out-of-order between the first part of packets (the packets transferred from source eNB to target eNB) which was transferred before handover process and the second part of the packets (the packets sent by server) which was transferred after handover process. Finally, the DRTO algorithm was compared with the traditional RTO algorithm on NS-2 simulation platform. The simulation results show the DRTO algorithm is better than the traditional RTO algorithm in terms of throughput, the number of retransmission packets and latency.

**Key words:** Transmission Control Protocol (TCP); Long Term Evolution (LTE); Retransmission Timeout (RTO); handover

## 0 引言

随着移动互联网的快速发展,现有移动通信系统已不能满足用户日益增长的通信需要。为了改善这一现状,针对各种不同移动系统的解决方案也相继出台。为了保持其市场竞争力,第三代合作伙伴计划(The 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project, 3GPP)启动了长期演进(Long Term Evolution, LTE)项目。LTE 在降低时延、提高用户的数据速率、增大系统容量和覆盖范围及降低移动运营商运营成本等技术上有很大的进步<sup>[1]</sup>。

为了实现网络资源的合理配置,提高网络的服务质量,有效合理的无线资源管理<sup>[2]</sup>算法至关重要。无线资源管理一般包括以下 3 个基本部分:资源控制,它包括接纳控制(或称接入控制)、拥塞控制、切换控制、功率控制、速率控制等;资源分配,它包括基站(或小区)分配与选择、信道分配、队列分配、资源预留、功率分配等;资源调度,它包括时隙(队列与分组包)调度、码资源调度、切换小区调度、自适应链路调度等。

其中,切换是无线资源管理中的一项重要功能,并且是必

不可少的过程。正在进行通话的用户在蜂窝覆盖区域内移动时,有可能从一个基站所覆盖的范围转移到另一个基站所覆盖的范围当中,此时就需要进行切换。在切换过程当中,为了使得用户精确地接入到目标蜂窝,用户需要高带宽,而切换的执行会引起数据吞吐量下降,甚至会造成无线网络中数据流拥塞。考虑到切换在 LTE 网络中会频繁发生,目前国内外研究者针对改善网络数据拥塞的情况提出了各种解决方法,其中不少是通过修改切换机制从而提升数据的传输性能,达到提供给用户高效、快捷的切换服务的目的<sup>[3]</sup>。

在 LTE 切换过程当中,可以通过改变传输控制协议(Transmission Control Protocol, TCP)的性能参数超时重传计时器(Retransmission Timeout, RTO)来避免核心网络路由器中所接收的数据包的乱序问题。当用户成功接入到目标蜂窝后,需要将停留在源基站中的数据进行接续传输,使其通过核心网络路由器投递给目标基站。此时为了避免新旧数据包在该路由器中的冲突而引起的乱序,可以采取即刻修改 TCP 的 RTO 的方法,尽量在源基站中的数据全部被转发完后,再对新数据的确认标识(Acknowledgement, ACK)<sup>[4]</sup>进行应答回

收稿日期:2012-06-14;修回日期:2012-07-24。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(61071118,60702055)。

作者简介:李云(1974 - ),男,四川南充人,教授,博士生导师,主要研究方向:宽带无线接入及短距离无线通信、机会互联网络通信体系;赵晓娟(1987 - ),女,青海西宁人,硕士研究生,主要研究方向:LTE 网络中的切换技术优化;张博(1986 - ),男,吉林通化人,硕士研究生,主要研究方向:LTE 网络中的切换技术优化。

复,从而达到减少乱序数据包、网络拥塞和重复传输数据包数量的目的,使得网络的整体性能得到提高<sup>[4]</sup>。

## 1 LTE 切换中导致的分组乱序问题

### 1.1 LTE 切换技术

在 LTE 系统中,对于正在通信的移动终端,当它从一个区域移动到另一个区域,为了保持用户通话的连续性,源基站会根据切换判断策略来控制用户启动切换过程<sup>[5]</sup>,此过程必须快速而准确,目标小区的选择必须是最佳,而且要使用户察觉不到。根据 3GPP 36 系列的协议研究可以得出 LTE 系统的切换流程,主要可分为 3 个过程<sup>[6]</sup>:测量过程、判决过程和执行过程,如图 1 所示。

1) 切换是以用户设备 (User Equipment, UE) 给源基站发送一个测量报告开始的。源基站根据测量报告和无线资源管理信息做出切换决定。

2) 切换准备阶段开始于源基站给目标基站发送切换请求消息。这个消息包含了所有相关的切换信息。

3) 目标基站保存文本信息,并且对源基站发送的切换请

求消息进行确认,提供了建立无线链路的信息。

4) 源基站通过切换命令给用户传输所有必要的信息,这标志着切换准备的结束。从这个时刻开始源基站把下行数据转发给目标基站。用户与目标基站的无线链路的建立开始于切换命令被接收的瞬间。这个过程涉及了从源基站的分离、与目标基站的同步,包含了时间的提前量和上行链路的接入。在这个中断时间段(由于硬切换引起的用户与系统的断开时间)中,用户是与整个系统断开的。

5) 用户从成功接入目标基站到发送切换确认消息。在这段时间内目标基站接收从源基站缓存下来的数据。

6) 源基站通过发送切换完成消息给移动管理实体和服务网关 (Mobile Management Entity and Service Gateway, MME/SAE) 通知其执行路径转换过程。在 MME/SAE 中的用户位置信息在收到切换完成后被更新,并且执行路径转换,达到的目的是使得分组直接由服务器发送给目标基站。

7) MME/SAE 通过发送切换完成确认回复消息完成路径转换。目标基站在收到这个消息后,发送一个资源释放指示给源基站,使其缓存被释放。

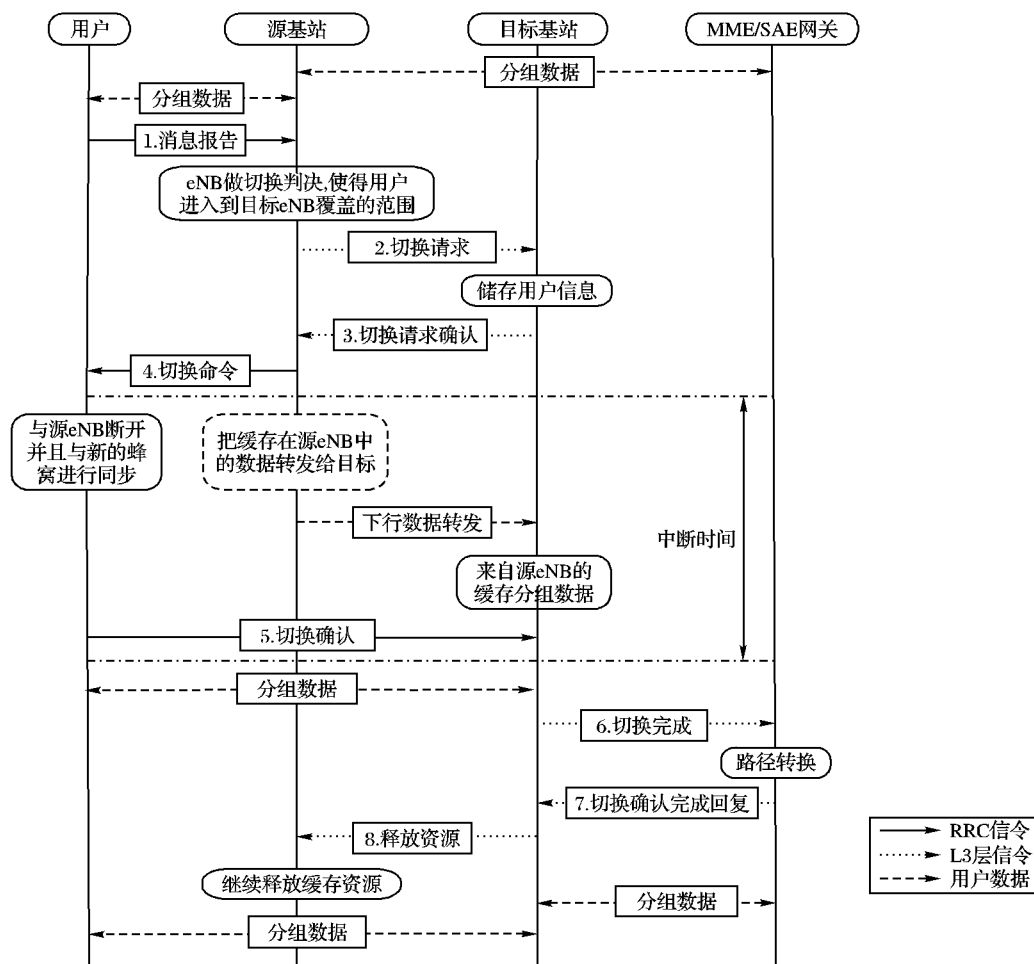


图1 LTE 系统内部切换过程

### 1.2 切换技术引起的分组乱序问题分析

根据 1.1 节中所描述的切换过程,当 MME/SAE 收到目标基站发给它的切换完成消息之后,源基站需要将切换完成之前的数据接续转发给目标基站<sup>[7]</sup>。根据实际情况,设计系统模型如图 2 所示。

一个用户正在从一个基站的覆盖范围移动到另一个基站所覆盖的范围中去,该用户正在使用 TCP 连接从服务器下载数据,核心网络路由器与两个基站连接,并且与服务器相连为

众多的用户提供服务。

在这个切换过程当中,数据包在源基站中等待被发送给用户,这些数据包在中断时间内需要首先通过核心网络路由器抵达目标基站,然后再将其转发给用户。当 MME/SAE 收到切换完成消息<sup>[9]</sup>后,立刻执行路径转换请求,此时,服务器会直接将数据通过核心网络路由器下载到目标基站<sup>[10]</sup>中。在这个过程中旧数据(切换完成前由源基站通过核心网络路由器转发到目标基站的用户数据)与新数据(切换完成后服

务器通过核心网络路由器下载到目标基站的用户数据)都会通过核心网络路由器。在上述过程中,两种数据同时在核心网络路由器中的出现将会导致数据包的乱序问题,从而引起数据包的超时重传使得用户的吞吐量下降<sup>[11]</sup>。

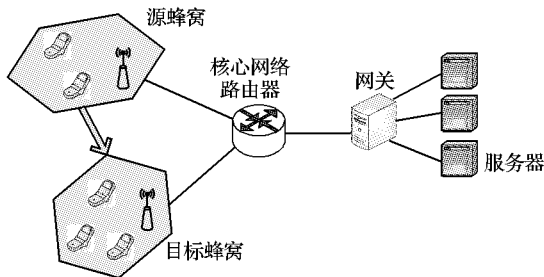


图2 系统模型

2 动态超时重传计时器算法

传统 RTO 性能参数的算法是通过记录每一个数据包被发出的时刻,以及收到其确认信息的时刻,计算得出的时间差就是该数据包的往返时延。将各个数据包的往返时延样本加权平均,就得出平均往返时延 (Round-Trip Time, RTT)。每测量一个新的往返时延样本,就按式(1)重新计算一次平均往返时延 RTT:

$$RTT = \alpha \times RTT_{旧} + (1 - \alpha) \times RTT_{新} \quad (1)$$

其中  $0 \leq \alpha \leq 1$ 。若  $\alpha$  很接近于 1,表示新算出的平均往返时延 RTT 和原来的值相比变化不大,而新的往返时延样本对整体过程的影响不大(RTT 值更新较慢);若选择  $\alpha$  接近于零,则表示加权计算的平均往返时延 RTT 受新的往返时延样本的影响较大(RTT 值更新较快),典型的  $\alpha$  值为 7/8。

显然,计时器设置的超时重传时间 RTO 应略大于上面得出的平均往返时延 RTT,即:

$$RTO = \beta \times RTT \quad (2)$$

其中  $\beta$  是大于 1 的系数。实际上,系数  $\beta$  是很难确定的。若取  $\beta$  很接近于 1,发送端可以很及时地重传丢失的报文段,因此效率得到提高。但若报文段并未丢失而仅仅是增加了一点时延,那么过早地重传未收到确认的报文段,反而会增加网络的负担,因此 TCP 原先的标准推荐值取 2。

综合考虑在 LTE 网络当中执行切换过程时数据传输的特殊情况,针对性地提出动态超时重传计时器 (Dynamic Retransmission Timeout, DRTO) 的算法,使得停留在源基站中的数据尽快完成传输,从而避免乱序数据包的产生,提高网络中数据的传输性能。采取不断跟踪 TCP 数据报文段序号的方法,保证源基站中的数据尽快完成投递,如图 3 所示。

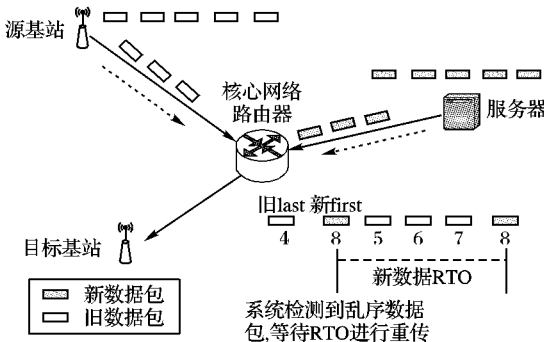


图3 动态 RTO 算法模型

通过分析可以通过 TCP 数据包序号,来对 RTO 进行动态设置:

$$DRTO_{2,3,4,...}(\text{新数据}) = (SN_{\text{新first}} - SN_{\text{旧last}} - 1) \times RTT_{\text{旧}} \quad (3)$$

其中  $DRTO_{2,3,4,...}(\text{新数据})$  表示了 在 MME/SAE 收到路径转换请求后,直接由服务器开始下载数据通过核心网络路由器到目标基站的后续新数据的新的 RTO 值。 $SN_{\text{新first}}$  代表了第一个后续新数据包的序号, $SN_{\text{旧last}}$  代表了现阶段收到的由源基站接续转发数据包的序号, $RTT_{\text{旧}}$  代表了在未修改性能参数的情况下系统默认的 RTT 值。

3 性能仿真

3.1 参数设置

采用常用的网络仿真软件 NS-2, 仿真拓扑如图 4 所示, 仿真时间为 15 s。仿真的业务类型为文件传输协议 (File Transfer Protocol, FTP) 数据流。图中时段代表切换前, 节点 n1 给节点 n2 发送数据流,  $t_1 - t_2$  表示在切换过后 n1 节点转而直接给 n3 节点发送数据流, n2 节点则继续传输之前为未转发完成的数据流<sup>[12]</sup>。

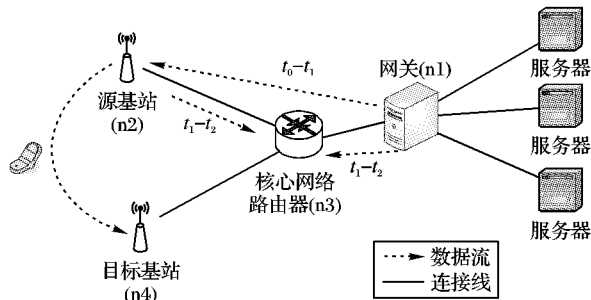


图4 仿真拓扑

根据表 1 所示仿真参数,利用 DRTO 公式,调整 TCP 协议的 RTO。

表 1 仿真参数

参数名	参数值	参数名	参数值
仿真场景	蜂窝小区	切换迟滞	3 dB
数据传输方向	上行 + 下行	切换 TTT	100 ms
复用方式	FDD	链路类型	duplex-link
路径损耗	$128.1 + 37.6 * \lg r$	带宽	100 Mbps
阴影衰落	8 dB	延时	10 ms
用户速度	30 km/h	队列类型	DropTail
切换测量	RSRP	数据包长	1 000 B

3.2 性能指标

吞吐量 是指在没有任何帧丢失的情况下,设备能够接受的最大传输速率。其测试方法是:在测试中以一定速率发送一定数量的帧,并计算待测设备传输的帧,如果发送的帧与接收的帧数量相等,那么就将发送速率提高并重新测试;如果接收帧少于发送帧则降低发送速率重新测试,直至得出最终结果。吞吐量测试结果以比特/秒(bps)或字节/秒(Bps)表示。

重传包数 当接收节点未按顺序接收到包时,需要进行数据包的重传,总计传输的包的总和。

时延 是指一个报文或分组从一个网络的一端传送到另一个端所需要的时间。它包括了发送时延、传播时延、处理时延、排队时延(时延 = 发送时延 + 传播时延 + 处理时延 + 排队时延)。一般情况下,我们考虑的时延主要包括发送时延与传播时延。对于报文长度较大的情况,发送时延是主要矛

盾;报文长度较小的情况,传播时延是主要矛盾。此处,时延主要针对节点间有效数据包的传输延时情况。

### 3.3 仿真分析

首先,从吞吐量的角度进行了对比,选定 n3 为目标节点,如图 5 所示。

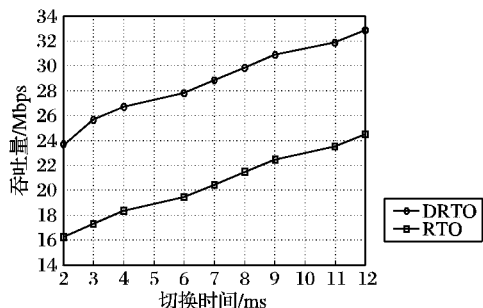


图5 吞吐量的比较

从仿真图形中可以看出,随着中断时间(忽略信令的传输时间)的延长,由源基站转发到核心网路由器的数据量就会增加,从而使得停留在源基站中的数据就会减少,进而使得切换完成后服务器所产生的通过核心网络路由器直接抵达目标基站的数据则会更少地与源基站转发的旧数据包产生冲突而造成乱序。通过仿真发现本文提出的 DRTO 的计算方法性能会高于原超时重传计时器的计算方法,吞吐量整体呈现上升趋势,其性能提升了 30% 左右。

其次,选定 n1 为目标节点,从重传数据包数目的角度进行了对比。对于重传数据包的数量整体呈下降趋势的原因同上述吞吐量分析类似,通过采取 DRTO 算法,使得由源基站转发至目标基站的数据优先进行传输,尽量减小在核心网络路由器中乱序数据包的数量。图 6 展示了通过动态设置 RTO 后,重传数据包的数量相应减小。经过大量仿真数据统计,DRTO 算法使得重传包数量下降了大概 30% 左右。

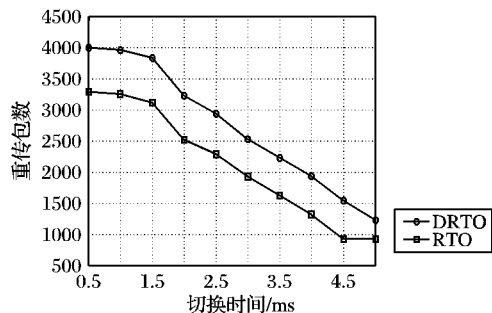


图6 重传数据包的数目的比较

最后,从时延的角度进行分析,主要针对 n2 到 n3 的所有有效数据包,如图 7 所示。

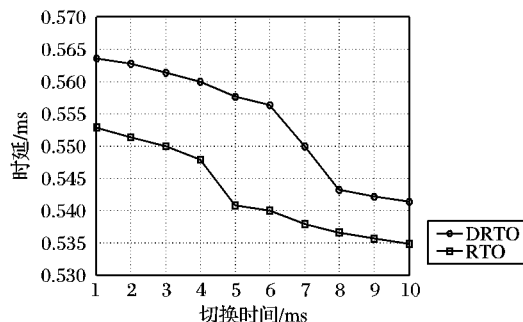


图7 数据包传输时延的比较

分析仿真图形可以得到 DRTO 算法对网络数据传输的性

能影响明显优于未修改前,达到了将停留在源基站中的数据优先传输完毕的目的,减少了新旧数据同时出现在核心网络路由器中时引起的数据包乱序,缩小了源基站与核心网络路由器之间数据包的传输时延。经过仿真统计数据得到 DRTO 算法使得节点间数据包的传输时延下降了 40% 左右。

## 4 结语

DRTO 算法不需要对切换机制进行修改,就可以解决在核心网络路由器中用户切换完成前其接收的数据包(源基站接续转发的数据包)与切换完成后接收的数据包(服务器发送的数据包)的冲突而导致的数据包的乱序问题。DRTO 算法提高源基站中数据传输的优先级,保证其准确、快速地完成投递,以提高网络的整体性能。

经过大量仿真实验比较 DRTO 算法与传统 RTO 算法的性能。结果表明,在吞吐量、重传数据包个数和时延三个性能指标上,DRTO 算法均优于传统 RTO 算法。

### 参考文献:

- [1] DAHLEN A, JOHANSSON A, GUNNARSSON F, *et al.* Evaluation of LTE automatic neighbor relations[C] // Proceedings of Vehicular Technology Conference. Piscataway: IEEE, 2011: 1-5.
- [2] LEGG P, GAO H, JOHANSSON J. A simulation study of LTE intra-frequency handover performance[C] // Proceedings of Vehicular Technology Conference. Piscataway: IEEE, 2010: 1-5.
- [3] PACIFICO D, PACIFICO M, FISCHIONE C, *et al.* Improving TCP performance during the intra LTE handover[C] // Proceedings of Global Telecommunications Conference. Piscataway: IEEE, 2009: 1-8.
- [4] 赵丽莉, 孙伟. TCP 协议乱序数据包处理算法综述[J]. 软件工程, 2010, 26(7): 61-63.
- [5] 王华, 李鲁群, 王力. LTE-A 中基于准入控制的切换决策算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(5): 88-90.
- [6] 郎为民, 焦巧. LTE 内部切换研究[J]. 数据通信, 2010, 28(5): 11-14.
- [7] YEJEE L, BONGJHIN S, JAECHAN L, *et al.* Effects of time-to-trigger parameter on handover performance in SON-based LTE systems[C] // Proceedings of Asia-Pacific Conference. Piscataway: IEEE, 2010: 492-496.
- [8] 唐丽均, 李云, 柴毅, 等. 一种结合传染路由的缓存调度算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2012, 39(1): 1-5.
- [9] BOGINENI K, LUDWIG R, MOGENSEN P, *et al.* LTE Part I: Core network[J]. IEEE Communication Magazine, 2009, 47(2): 40-43.
- [10] YUAN YANBIN, CHEN ZIQING. A study of algorithm for LTE intra-frequency handover[C] // Proceedings of International Conference on Computer Science and Service System. Piscataway: IEEE, 2011: 1986-1989.
- [11] RACZ A, TEMESVARY A, REIDER N. Handover performance in 3GPP Long Term Evolution (LTE) system[C] // Proceedings of Mobile and Wireless Communications Summit. Piscataway: IEEE, 2007: 1-5.
- [12] KIM T H, YANG QIPING, LEE J H, *et al.* A mobility management technique with simple handover prediction for 3G LTE system[C] // Proceedings of Vehicular Technology Conference. Piscataway: IEEE, 2007: 259-263.