

# 5G CPE 传输性能提升研究与实现

## Research and Implementation of 5G CPE Transmission Performance Improvement

姜元山<sup>1</sup>,王运付<sup>1</sup>,李 佳<sup>2</sup>(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048;2. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007)

Jiang Yuanshan<sup>1</sup>,Wang Yunfu<sup>1</sup>,Li Jia<sup>2</sup>(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd.,Beijing 100048,China;2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd. Zhengzhou Branch,Zhengzhou 450007,China)

### 摘 要:

5G网络峰值理论传输速度比4G网络传输速率快百倍。5G支持大带宽接入的特性使5G终端在成本与性能之间的冲突加剧,为了解决该问题,研究了提升5G CPE终端性能的方法,提出TCP/IP下的Linux数据包加速方法,试验证明该方法能够极大地提升5G CPE性能,降低CPE设备成本。

### 关键词:

TCP/IP;包加速;5G;CPE

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.07.007

文章编号:1007-3043(2021)07-0027-04

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

The peak theoretical transmission speed of 5G network is 100 times faster than that of 4G network. 5G supports large bandwidth access, which aggravates the conflict between cost and performance of 5G terminal. In order to solve this problem, it studies the method to improve the performance of 5G CPE terminal, and proposes the Linux packet acceleration method based on TCP / IP. The experiments show that this method can greatly improve the performance of 5G CPE and reduce the cost of CPE equipment.

### Keywords:

TCP/IP; Packet offload; 5G; CPE

**引用格式:**姜元山,王运付,李佳. 5G CPE传输性能提升研究与实现[J]. 邮电设计技术,2021(7):27-30.

## 1 概述

如今移动互联网承载来自不同行业越来越多的数据,各种不同类型的终端接入到无线网络中。随着5G的持续演进,网络的传输速率越来越高,网络侧设备可以靠提升CPU处理能力,增加CPU核等手段满足网络演进需求,但是个人手持终端、家庭工业互联网行业终端要求低成本、低功耗,传统方式下CPU无法满足1 Gbit/s、10 Gbit/s级别的数据处理需求。

为了解决5G CPE终端性能与成本功耗冲突问

题,本文提出了包加速技术,通过对Linux进行传输优化,数据包直接通过网络设备进行转发,减少转发路径的同时不影响正常的NAT、路由功能,在相同CPU处理能力下提升传输性能。

## 2 5G CPE介绍

CPE全称Customer Premise Equipment,即“客户终端设备”。它的作用是将移动通信信号(4G、5G等)或有线宽带信号转换成本地局域网信号,供用户设备使用。

5G CPE属于5G终端设备,如图1所示,它接收运营商基站发出的5G信号,然后转换成Wi-Fi信号或有

收稿日期:2021-05-28

线信号,让更多本地设备(手机、平板、电脑、工业设备)上网。目前的5G CPE产品,支持SA/NSA组网,兼容4G/5G信号。5G CPE应用通常以2种方式出现:面向家庭的toC场景和面向企业的toB市场。除了提供

网络连接功能外,5G CPE还可以与边缘计算结合,成为一个下沉的边缘计算节点,为相关设备提供算力支持。

5G CPE由5G Modem和5G Router 2部分组成,如

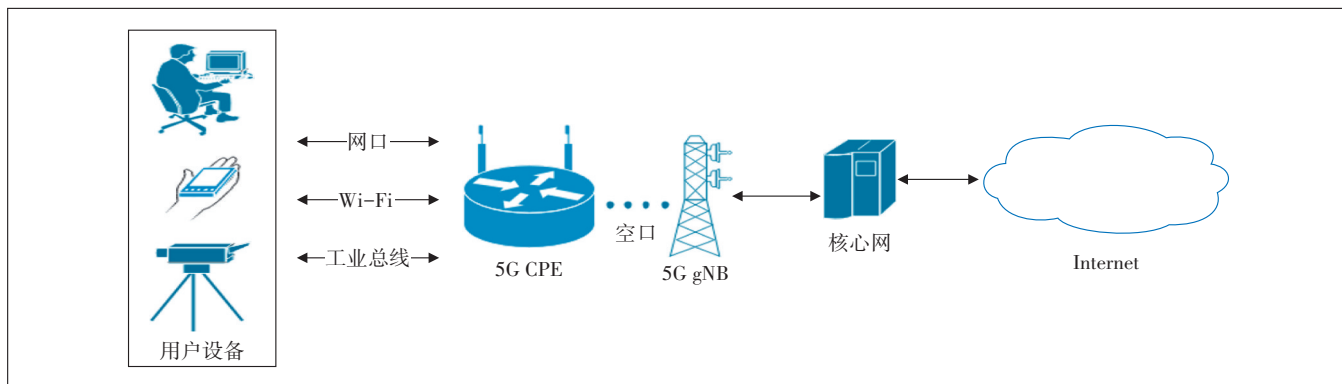


图1 5G CPE在5G网络中的位置

图2所示,5G Modem负责5G UE协议栈、基带、射频处理,将5G信号转化为网口信号。5G Router负责路由功能,将5G Modem的网口数据转化为局域网内Wi-Fi或者网口数据。本文主要针对5G CPE Router中的Linux TCP/IP以及网卡驱动进行优化研究,实现5G CPE传输性能的提升。

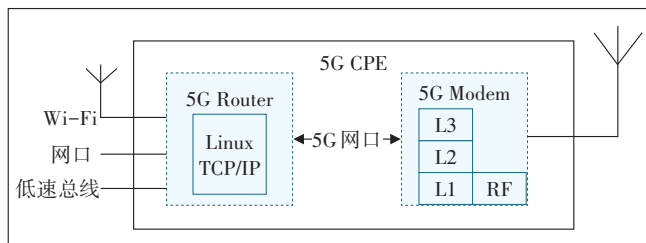


图2 5G CPE实现示意图

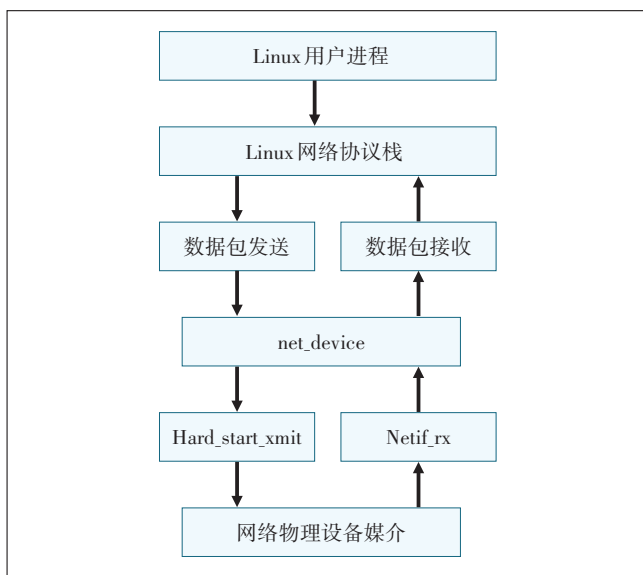


图3 Linux下的IP收发包示意图

### 3 传输性能提升研究与实现

#### 3.1 传统方式的传输

传统方式下Linux对TCP/IP数据包收发的流程如图3所示。

Linux的IP数据发送流程为用户进程通过系统调用进入内核,调用发送函数,通过内存拷贝将数据从用户空间拷贝到内核空间,完成发送函数处理后,将数据封装为标准SKB\_BUFF,随后进入到IP协议栈处理,最后到达网卡驱动。网卡驱动通过一次拷贝或者通过DMA将数据添加到网卡的发送队列,随后网卡将

数据发送到网络。

Linux的IP数据接收流程为网络的数据包到达网卡后,网卡将数据放到DMA中,然后产生一个硬中断通知数据包到达,中断处理程序调用网卡驱动中的接收函数将网卡中的数据包通过拷贝或者DMA操作到SKB\_BUFF,随后CPU进入软中断处理。在软中断的处理过程中,数据包进入IP协议栈处理后,再进入接收队列,应用程序通过系统调用进入到内核的接收函数,并将数据从内核空间拷贝到用户空间,完成了数据接收流程。

当前基于5G CPE产品进行性能优化时发现网卡接收数据时CPU占用率高,其中主要为softirq进程占用。使用perf性能工具分析,CPU占用高的函数主要为Linux网络协议栈函数流程,该路径消耗CPU过高。因此如何降低软中断的CPU占用率成为性能提升的关键。

### 3.2 包加速技术原理

为了解决5G CPE传输的性能瓶颈问题,本文提出

了包加速技术,即对Linux中的TCP/IP报文进行快速转发,达到性能提升目的。如图4所示,网卡接收到数据包,如果sa\_conn\_tuple五元组未命中,数据转交给IP Routing路径,按照Linux标准IP包处理流程处理,此时IP\_Forward在FORWARD hook将flow entry加入到forward entry表中。如果命中sa\_conn\_tuple五元组,获取forward entry项里的路由项,解析出发送网卡的信息,直接转发到对端网卡。

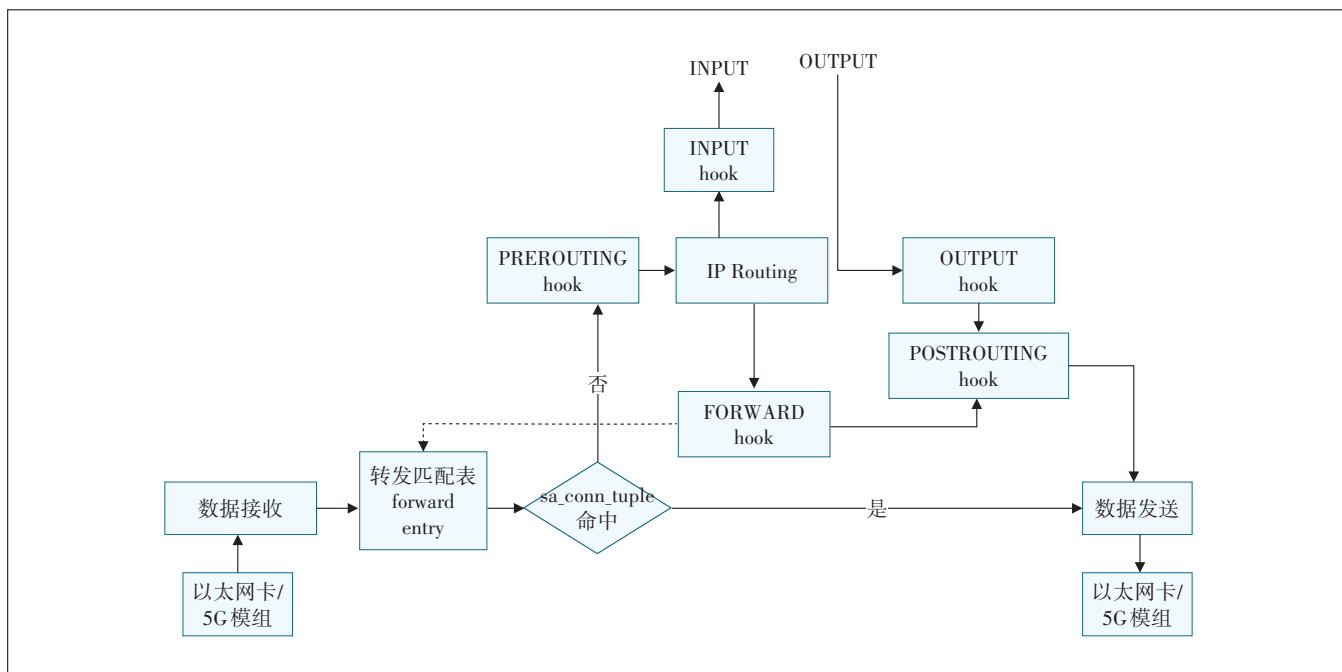


图4 包加速原理图

其中forward entry和sa\_conn\_tuple的定义如下。

a) forward entry用于记录路由表信息,发送网卡信息。由于缺少IP、ARP等支持,必须包含MAC和发送网卡设备信息,另外用Tuple来辨识数据流,用Age来记录最后一次entry hit的jiffies。

b) sa\_conn\_tuple用五元组来匹配发送数据包。

### 3.3 包加速技术实现

如图5所示,网卡接收到数据包进入到TCP/IP协议栈,如果匹配forward entry成功,则直接转发到对端网卡,如果不成功,按原来流程发送,并将sa\_conn\_tuple记录到forward entry中。

具体技术实现点如表1所示。

### 3.4 包加速实验测试

使用5G CPE在5G NSA网络下使用TCP报文进行测试,在5G CPE传输数据未消耗完CPU资源的场景

下,采用包加速技术可以降低CPU损耗。5G CPE传输数据流量超过CPU负载能力时,采用包加速可以提升5G CPE传输性能。具体测试结果如表2所示,本文所采用的5G CPE TCP未优化前可以达到上行600 Mbit/s、下行1 080 Mbit/s,采用加速技术后,下行提升到1 580 Mbit/s,上行由于网络限制,跑满600 Mbit/s时CPU占用率比未加速时降低39%。

## 4 结束语

网络设备所有网络处理都在操作系统内核运行,既有大量的中断,又要参与内核调度,所以协议栈效率低,消耗了大量的CPU资源,本文提出的运行在5G CPE设备上的TCP/IP包加速技术,缩短了网络数据包在Linux中的处理路径,对数据包进行协议加速处理,提高了网络处理效率,最后试验结果证明,采用包加

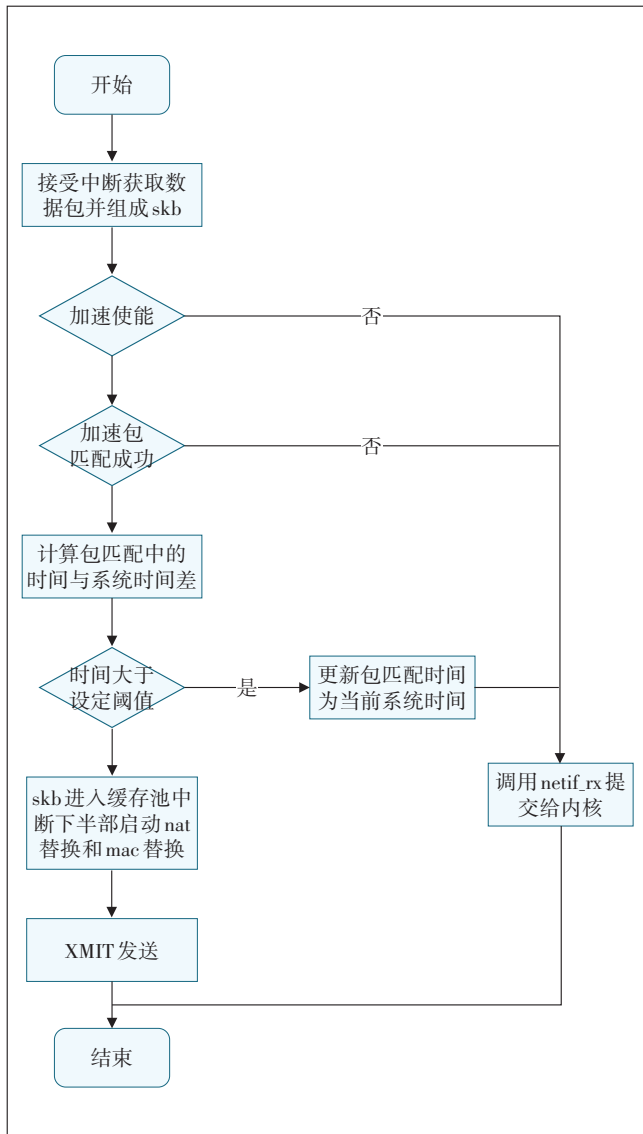


图5 包加速处理流程

速技术后设备的传输性能提高,CPU资源消耗降低。

目前包加速只能用在Linux平台,支持IPv4、IPv6的上传下载加速,支持网络内部转发及VLAN加速,数据包优先级调度。但是不支持点对点设备、隧道设备以及数据包大于MTU的情况,这些将在后续继续研究。

### 参考文献:

[1] 陈莉君. 深入分析Linux内核源代码[M]. 北京:人民邮电出版社, 2002.  
[2] STEVENS W R. TCP/IP详解 卷1:协议[M]. 范建华,译. 北京:机械工业出版社,2000.  
[3] STEVENS W R. TCP/IP详解 卷2:实现[M]. 陆雪莹,译. 北京:机械工业出版社,2004.

表1 包加速关键技术实现表

技术实现点	说明
增加加速包记录	在内核nf_nat_packet里NAT转换调用了manip_pkt,对IP地址进行了转换,在此进行加速转发匹配包的提取
数据包的检查和过滤	数据包转发没有经过IP协议栈和NAT模块;底层直接转发和NAT转发功能是有限度的,需要做如下基本检查: • 数据包是正确的ipv4/Ipv6包 • 不能处理ip_fragment • 不能处理包含tcp fin和rst标记的数据包 对于nat_helper相关的数据包,由于forward entry加入时已处理,所以forward entry其他所有类型的包发送到协议栈处理
Timer和超时处理	包加速时,由于数据包匹配forward entry成功,此时发送到内核的数据被截断,netfilter的老化会超时。本文采用间隔一段时间发1个包到内核IP协议栈的方式,利用包本身更新netfilter,确保数据正常发送
模块化和驱动修改	数据包匹配需要修改每个网卡驱动,在netif_rx被调用之前调用相关API,根据数据包信息查找转发匹配表,如果命中就直接进行地址转化,否则正常上传;设立控制开关,控制加速使能和关闭

表2 包加速测试数据表

5G领航者CPE LAN网口与5G网络之间发送数据		流量数据/(Mbit/s)	CPU占用率/%
启用加速	TCP上行	600	58
	TCP下行	1 580	99
未启用加速	TCP上行	600	97
	TCP下行	1 080	97

[4] JONATHAN C, ALESSANDRO R, GREG K H, 等. Linux设备驱动[M]. 魏永明等,译. 北京:中国电力出版社,2006.  
[5] 王瑾. 公众客户网关虚拟化对网络运维的影响[J]. 邮电设计技术,2015(2).  
[6] 刘光海. 5G NSA无线网性能验收指标及优化方法研究[J]. 邮电设计技术,2020(6).  
[7] 陈军俊. 5G CPE发展现状与展望[J]. 科技传播,2019,11(20): 108-109.  
[8] 陈楚雄. 5G系统接入网络性能优化研究[J]. 中国新通信,2021, 23(1):69-70.  
[9] 赵立群. 5G时代传输网络建设研究[J]. 通信电源技术,2020, 37(15):211-213.  
[10] 月球,杨小乐. 运营商5G部署商用问题探究[J]. 电信工程技术与标准化,2018,31(3):1-3.  
[11] 方箭,李景春,黄标,等. 5G频谱研究现状及展望[J]. 电信科学, 2015,31(12):105-112.

### 作者简介:

姜元山,毕业于四川大学,工程师,硕士,主要负责5G终端创新及研发工作;王运付,毕业于电子科技大学,工程师,硕士,主要负责5G终端创新及研发工作;李佳,毕业于西安电子科技大学,高级工程师,学士,主要从事移动通信网络规划、研发、设计工作。