

# 基于X86通用硬件平台的高性能5G核心网UPF实现



## High-Performance 5GC UPF Based on X86 Hardware Platform

李勇/LI Yong<sup>1</sup>, 马建伟/MA Jianwei<sup>1</sup>, 应晓冬/YING Xiaodong<sup>1</sup>,  
娄方亮/LOU Fangliang<sup>2</sup>, 蔡茹莹/CAI Rujun<sup>1</sup>

(1. 英特尔(中国)有限公司, 中国 上海 200241;  
2. 中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057)  
(1. Intel (China) Ltd, Shanghai 200241, China;  
2. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202501010

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20250219.1538.004.html>

网络出版日期: 2025-02-20

收稿日期: 2024-08-15

**摘要:** 5G网络应用对核心网用户面网元(UPF)性能提出了更高要求。研究了基于X86通用硬件平台的高性能5G核心网UPF方案,通过利用第三代至强处理器和800系列网络适配器的内置硬件特性,不需要额外的专用硬件加速器,使UPF整机转发吞吐量可达462 Gbit/s。该方案对动态设备个性化(DDP)技术进行了深度开发,实现了UPF整机转发吞吐量比前代平台提升334.8%、转发延迟降低50.7%的性能突破,并可以有效节省系统总体成本。

**关键词:** 5G核心网; UPF; 至强处理器; DDP技术

**Abstract:** High-performance 5G core (5GC) user plane function (UPF) is critical to meet the needs of 5G network applications. A high-performance 5GC UPF solution is proposed in this paper, based on the hardware features of the 3rd Gen Intel Xeon Scalable processors and Ethernet 800 Series Network Adapters, without any additional hardware acceleration. Test results indicate that the forwarding performance can reach up to 462 Gbit/s. This UPF solution achieves 334.8% throughput improvement and 50.7% latency reduction compared with the previous generation hardware platform, based on the deep development of dynamic device personalization (DDP) technology. It can also cut down total system cost.

**Keywords:** 5GC; UPF; Intel Xeon processor; DDP technology

**引用格式:** 李勇, 马建伟, 应晓冬, 等. 基于X86通用硬件平台的高性能5G核心网UPF实现[J]. 中兴通讯技术, 2025, 31(1): 58-62. DOI: 10.12142/ZTETJ.202501010

**Citation:** LI Y, MA J W, YING X D, et al. High-performance 5GC UPF based on X86 hardware platform [J]. ZTE technology journal, 2025, 31(1): 58-62. DOI: 10.12142/ZTETJ.202501010

业务场景的创新和数据使用量的激增驱动着移动通信网络持续演进。5G网络正在全球范围内推进商用部署。5G采用网络功能虚拟化(NFV)技术和软件定义网络(SDN)技术,使网络架构进一步解耦和IP化。基础设施层以X86通用服务器为主,通过云化硬件资源承载上层网络功能,相比于传统专用硬件架构,其在资源调度、部署效率、备灾修复和运维成本等方面具有显著优势<sup>[1-3]</sup>。5G核心网基础设施层主要采用英特尔至强系列处理器。近年来,至强系列占中国X86通用服务器市场近9成<sup>[4]</sup>。

5G核心网分为控制面和用户面,基于服务化架构可拆解为包括UPF在内的各个网络功能组件,通过应用程序接口连接,可面向多样化的业务需求进行灵活部署。用户面网元(UPF)作为5G核心网的关键组件之一,承载着用户数据处

理及转发的重要功能,直接影响网络效率和用户体验,对带宽、时延、稳定性要求较高<sup>[5-7]</sup>。因此,打造高性能UPF是实现高速率、低时延、大连接5G网络应用的必要一环。

UPF的性能由组网架构、硬件平台、部署策略等多方面因素决定。2020年,中兴通讯基于第二代至强6230N处理器和频率分组技术(SST)使UPF整机性能达到173 Gbit/s<sup>[8]</sup>。同年,三星基于第二代至强8280处理器,通过云原生架构软件优化,使UPF整机性能达到305 Gbit/s<sup>[9]</sup>。本方案主要从硬件平台的角度切入,基于第三代至强平台和中兴通讯5G Common Core核心网方案,进一步提高5G核心网UPF性能。一方面,发挥通用硬件平台的内置优势特性,包括多核处理器的虚拟化配置、SST技术、数据平面开发套件(DPDK)、万兆以太网卡动态设备个性化(DDP)技术等,不需要额外

的现场可编程门阵列 (FPGA)、专用集成电路 (ASIC)、图形处理器 (GPU)、神经网络处理器 (NPU) 等硬件加速<sup>[10-11]</sup>；另一方面，5G Common Core方案基于云化硬件资源而设计，控制面集中式部署，用户面分布式部署<sup>[12]</sup>。其中，用户面UPF基于矢量数据包处理 (VPP) 框架，采用消息多队列无锁处理、业务首包深度报文解析 (DPI)、流表等技术，与底层通用硬件平台相辅相成，充分发挥硬件平台性能。

## 1 硬件平台技术

### 1.1 系统架构

本方案将两台至强服务器分别作为控制节点和计算节点。虚拟化UPF部署于计算节点上，通过用户面N3/N6接口完成用户数据流在基站和公用数据网之间的上下行转发。系统整体架构如图1所示，其中每台服务器搭载1—4路处理器和多块网络适配器。

### 1.2 硬件特性

第3代至强处理器采用10 nm工艺，最高配有40个高性能处理器核，支持8通道DDR4—3200 MT/s，拥有64条PCIe 4.0、3条UPI通道。该处理器的主要特性表现在以下几个方面：在网络工作负载方面，相比于前代平台，可实现32%~97%的性能提升，支持DPDK方案替代内核网络协议栈转发模式，满足UPF性能要求；在安全方面，支持软件保护扩展 (SGX)、平台固件恢复 (PFR)、加解密加速技术 (QAT) 等，满足通信领域的安全要求；在性能控制方面，采用SST技术，使当前运行高优先级任务的处理器核运行在更高频率，而其他处理器核保持在较低频率，在确保性能稳定的同时最大限度地控制能耗，优化系统运行成本。

英特尔800系列网络适配器以PCIe 4.0接口与处理器互

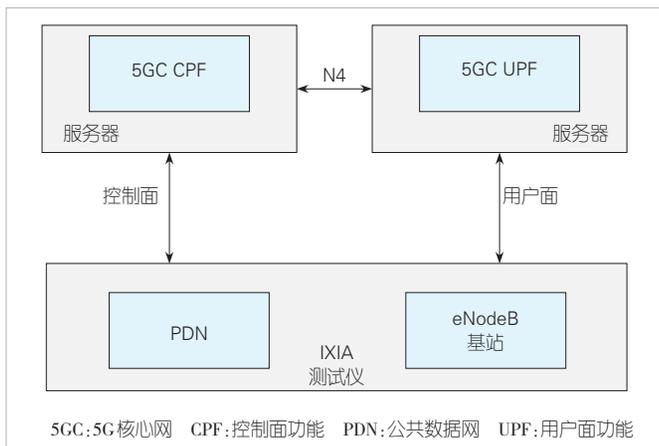


图1 系统整体架构

连，网络侧支持1~4个以太网端口，单端口支持100、50、25、10、1 GbE多档速率，最大支持200 Gbit/s吞吐量。DDP技术具备使网卡硬件部分可编程等功能，使网卡硬件具备部分可编程能力，通过加载固件配置文件 (profile)，可以动态解析内层报头，配置特定通信协议的数据包转发流水线，结合网卡的流引导 (FDIR) 和散列 (RSS) 技术，实现网络报文解析及分发功能的硬件卸载。800系列网络适配器涵盖多种协议类型的配置文件，除了传输控制协议 (TCP)、用户数据报协议 (UDP)、互联网协议 (IP)、虚拟扩展局域网协议 (VxLAN) 等通用协议外，还包括GPRS隧道协议 (GTP)、以太网上点对点协议 (PPPoE)、互联网安全协议 (IPSec)、二层隧道协议 (第三版) (L2TPv3)、分组转发控制协议 (PFCP)、多协议标签交换 (MPLS) 等电信网络协议<sup>[8]</sup>。

### 1.3 DDP技术应用

核心网UPF作为用户面数据流通道，海量数据经网卡流入。在传统UPF方案中，网卡无法解析GTP报文的内层报头，只能缺省地认定其为普通四层报文。处理器则需要分配若干核专门负责数据分发，即以软件方式完成内层报头解析，再分发至不同处理器核进行处理转发，如图2所示。一般情况下，多核处理器负责分发和转发的核数比约为1:2。这种方式会占用处理器的算力资源，加重UPF系统的数据处理延迟，并且往往使分发核成为整个系统的性能瓶颈。

为此，我们采用DDP技术，优化UPF系统的数据流框架，如图3所示。网卡通过加载DDP固件配置文件，扩展报

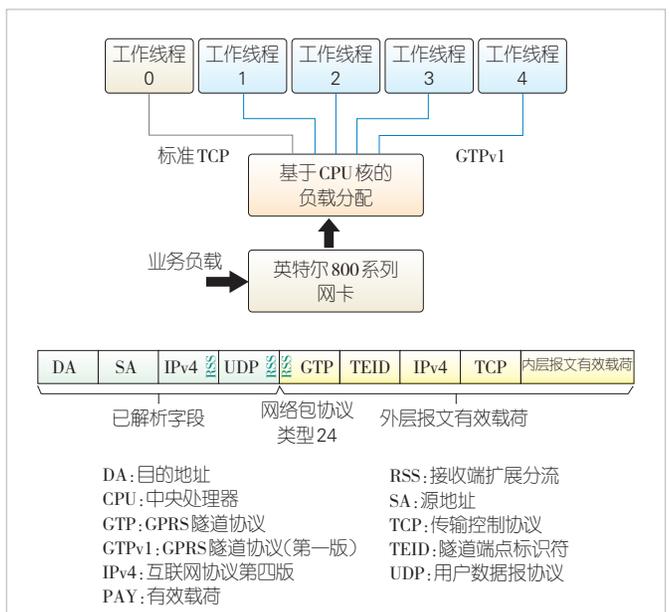


图2 使用处理器核分发的数据流框架

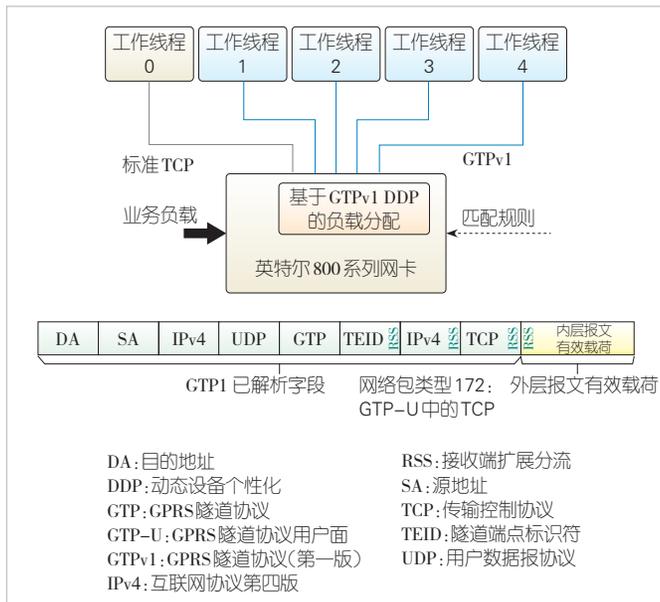


图3 使用动态设备个性化技术的数据流框架

文识别内层报文的传输层，可直接在网卡上对内层报文使用FDIR和RSS功能，将其散列于不同的网卡队列，再送至不同的处理器核并行处理。由于报文分发到队列的全流程由网卡完成，无需处理器分配专用的接收（RX）核或发送（TX）核，因此相应的核资源得以释放，提升了系统性能。从NFV架构的角度看，底层硬件平台中网卡和处理器各司其职，整个系统更具确定性，延迟与抖动也能在一定程度上得到改善。

在此基础上，本方案对DDP功能进行二次深度开发，使来自相同终端IP地址的所有数据包分类分发到同一网卡队列，再由固定的处理器核以运行到完成（RTC）模式处理。为了绑定处理器核与报文IP地址，需提取上行链路的GTP-U封装报文的源地址和下行链路的普通IP报文的目的地地址，经由DDP技术修改GTP-U协议和普通IP报文类型的匹配关键字作为数据分发规则。此方案保证同一个用户的上下行数据始终在同一个处理器核上进行处理，减少了核间通信，可以充分将用户的上下文信息保存在对应缓存中，实现了非对称报文的对称哈希和双向流亲和性，提升了整个UPF系统性能。另外，利用用户IP做哈希，系统在5G控制面上可以预先算出某个用户的数据会在哪一个核上处理，以便于提前将用户的管理核策略信息推送至特定核上。

## 2 方案配置

### 2.1 测试拓扑

部署5G核心网控制面功能和用户面功能的两台服务器（中兴通讯5300 G4X）通过交换机（中兴通讯5960-4M）连接

到IXIA测试仪（IxNetworks-XGS2）。测试仪模拟5G移动用户端经由运营商基站接入网络的控制面和用户面业务，系统运行于中兴通讯TECS云管理平台。相关测试拓扑如图4所示。每台服务器搭载2路第三代至强处理器（6330N×2或8380×2），每路6330N处理器配备2块800系列网络适配器（E810-CQDA2），每路8380处理器配备3块800系列网络适配器。

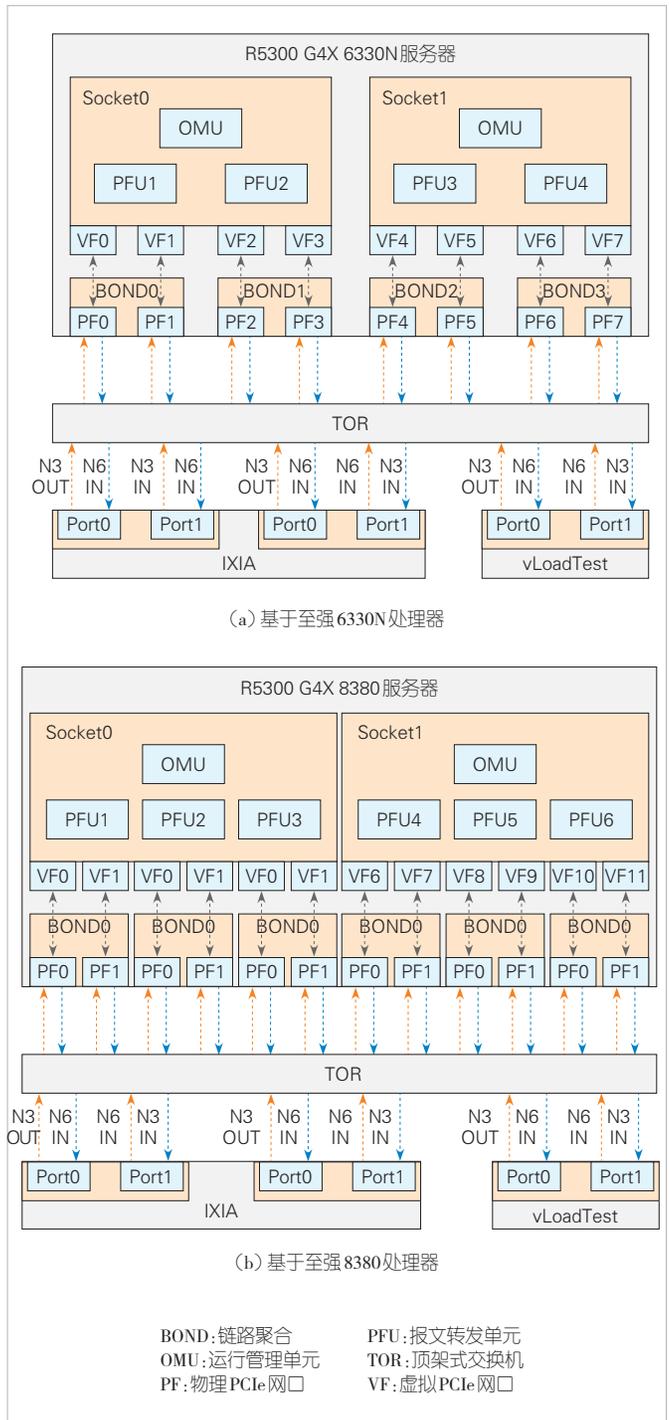


图4 基于英特尔至强6330N和8380处理器硬件平台的测试拓扑

## 2.2 虚机配置

在用户面网元的虚机配置方面，6330N处理器有28个物理核，超线程得到56个虚拟核，每路6330N部署1个运行管理单元（OMU）虚机和2个报文转发单元（PFU）虚机；8380处理器有40个物理核，超线程得到80个虚拟核，每路8380部署1个OMU虚机和3个PFU虚机。其中，每个OMU占用4个虚拟处理器核，每个PFU占用24个虚拟处理器核。

## 2.3 测试模型

按照运营商标准话务测试模型进行测试，主要参数设置如下：最大可接入用户数为600 000，实际接入用户数为6 000；内容计费配置方面，7层为40 000条，3—4层为10 000条；策略与计费控制方面，静态策略45，动态策略5；流量比例方面，HTTP流量占比85%，UDP流量占比15%；平均包长为690字节。

## 3 测试结果

### 3.1 转发性能

首先测试UPF的基本转发性能和带业务处理能力的转发性能，测试结果如图5所示。带业务处理能力指的是UPF使能离线计费和DPI功能。基于6330N处理器，不使能DPI等业务处理能力的UPF转发吞吐量达到287 Gbit/s（51.3 MPPS），工作线程平均利用率达到84%；使能DPI等业务处理能力的UPF转发吞吐量达到177 Gbit/s（31.6 MPPS），工作线程平均利用率达到85%。基于8380处理器，不使能DPI等业务处理能力的UPF转发吞吐量达到462 Gbit/s（81.4 MPPS），工作线程平均利用率达到83%；使能DPI等业务处理能力的UPF转发吞吐量达到280 Gbit/s（49.4 MPPS），工作线程平均利用率达到84%。显然，两种型号的处理器硬件

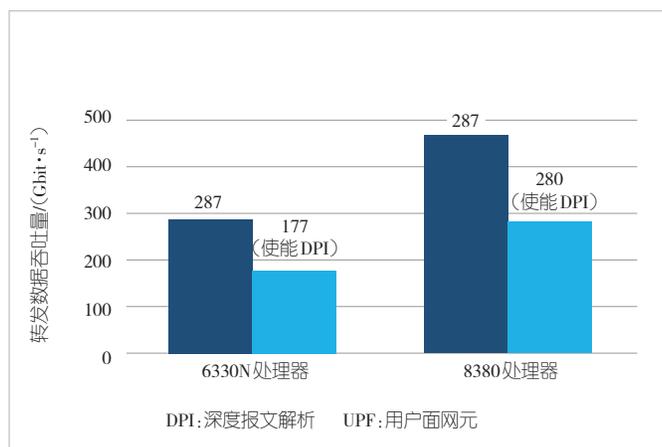


图5 基于第3代至强6330N处理器和8380处理器的UPF性能

自身性能都得到了充分发挥。

我们比较了通用硬件平台的升级和硬件技术的创新对UPF性能的综合影响，并选取第1代至强处理器的同档型号6138和第2代至强处理器的近似型号6230N作为参考，结果如图6所示。与前两代硬件平台相比，基于第3代至强6330N的UPF转发数据吞吐量显著提升。其中，第2代和第3代硬件平台都具备DDP功能，在不使能DPI等业务处理能力的设置下，与不带DDP功能的第1代硬件平台相比，吞吐量分别提升162.1%和334.8%。随着第2代硬件平台到第3代硬件平台的迭代升级，UPF吞吐量提升65.9%。

### 3.2 转发延迟

应用DDP技术可大大降低UPF系统转发的延迟。这是因为，DDP技术可以减少数据的核间通信，提高高速缓存利用率，进而使UDP报文的平均转发延迟从150  $\mu$ s下降至74  $\mu$ s。

### 3.3 系统总体成本

在比较UPF系统总体成本时，我们主要关注硬件设备采购费和运行电费两部分。在同等UPF性能要求下，基于6330N和8380处理器、配合800系列网络适配器的UPF方案，具有更好的功耗性能比，比基于前代6230N的UPF方案的总体成本更低，并且这种优势会随着时间的推移更加明显。根据运营商对单个UPF的性能要求，我们还要考虑设备数量向上取整的问题。表1展示了不同硬件平台在各档性能要求下所需的设备数量（使能DPI）。以400 Gbit/s为例，系统只需要2台基于8380处理器的服务器或3台基于6330N处理器的服务器，而若基于6230N处理器则至少需要4台服务器才能达到性能要求。因此，根据当下及未来的实际网络需

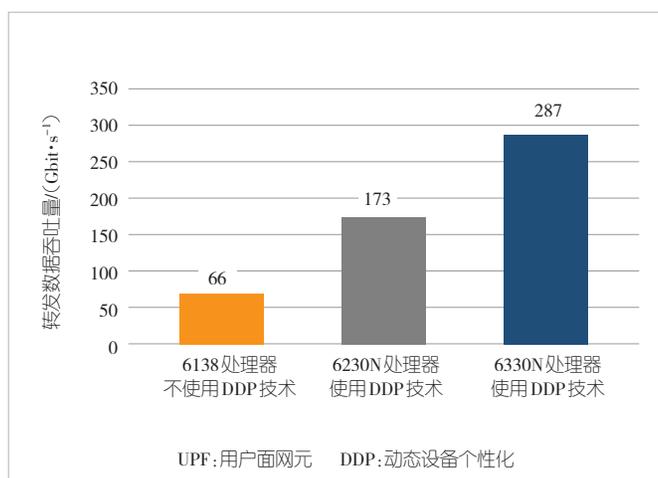


图6 3代硬件平台对应的UPF性能比较

表1 各档网元性能要求下所需服务器的数量

处理器类型	吞吐量/(Gbit·s <sup>-1</sup> )				
	100	200	300	400	500
6230N (132)	1	2	3	4	4
6330N (177)	1	2	2	3	3
8380 (280)	1	1	2	2	2

求，对硬件平台进行合理配置，可以有效节省服务器数量，降低系统总体成本。

#### 4 结束语

本文介绍了基于通用硬件平台的高性能虚拟化5G核心网UPF方案。该方案可使用户面数据转发性能最高达到462 Gbit/s。具体而言，当采用基于6330N处理器的硬件平台时，用户数据转发性能可达287 Gbit/s，比前两代近似型号的硬件平台分别提升65.9%和334.8%。运用DDP技术卸载处理器核的分发工作，使更多处理器核的性能得以发挥，并使转发延迟降低50.7%。本方案在实现更高性能的同时，使系统总体成本更具优势。

测试表明，依靠通用硬件本身的升级换代带来的能力提升和包括DDP技术在内的配套技术的创新优化，可实现5G核心网UPF性能快速增长。完全基于通用硬件平台的5G网络架构，比原有专有通信设备或额外增加专用加速硬件的网络架构更简约、更开放、更具性价比，符合移动通信网络的演进趋势，亦能满足运营商和设备商在未来众多5G业务场景中的性能诉求。

#### 参考文献

[1] IMT-2020(5G)推进组. 5G核心网云化部署需求与关键技术白皮书[R]. 2018

[2] LI Y, CHEN M. Software-defined network function virtualization: a survey [J]. IEEE access, 2015, 3: 2542-2553. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2499271

[3] 张雪. 5G核心网云网一体化运维[J]. 电信科学, 2021, 37(8): 128-135. DOI: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021200

[4] IDC. China x86 server market overview [R]. 2023

[5] 3GPP. System architecture for the 5G system: 3GPP TS 23.501 [S]. 2019

[6] 马瑞涛, 王光全, 任驰, 等. 3GPP R16 5G核心网标准及关键技术研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(11): 30-35, 40. DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200993

[7] 薛妍, 杨立, 谢峰. 6G时代新用户面设计和关键技术[J]. 移动通信, 2022, 46(6): 1-7. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1010.2022.06.001

[8] ZHANG J, LOU F, MA J. 中兴通讯高性能5G核心网UPF实现[R]. 2020

[9] GLUSTSOV A, QUBAIAH K, MA J. Samsung achieves 305 Gbit/s

on 5G UPF core utilizing Intel architecture [R]. 2020

[10] 王立文, 王友祥, 唐雄燕, 等. 5G核心网UPF硬件加速技术[J]. 移动通信, 2020, 44(1): 19-23, 32. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1010.2020.01.004

[11] 王升, 班有容, 陈佳媛, 等. 硬件加速在核心网转发面应用的思考 and 实践[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(3): 31-36. DOI: 10.12142/ZTETJ.202003007

[12] LI Y, ZHANG J, GU G. ZTE's high performance 5G core network UPF implementation based on 3rd generation Intel Xeon scalable processors [R]. 2021

#### 作者简介



李勇，英特尔（中国）有限公司技术主管；主要研究方向为移动通信网络、云计算等。



马建伟，英特尔（中国）有限公司网络架构师；主要研究基于英特尔平台的通信NFV网元解决方案的性能优化、节能、数据安全等。



应晓冬，英特尔（中国）有限公司网络架构师；主要从事核心网、云网络相关研发工作。



娄方亮，中兴通讯股份有限公司技术总工；主要从事核心网相关研发工作。



蔡茹馨，英特尔（中国）有限公司技术专员；主要从事基于英特尔平台的通信网络、云计算相关研发工作。