



基于 MEC 的高速铁路无线通信网络优化方案

李斌

(佳讯飞鸿(北京)智能科技研究院, 北京 100044)

摘要: 为实现对高速铁路无线通信网络的优化处理, 满足高速铁路安全、可靠、高效运行的多维铁路运输需求, 在分析现有高速铁路车地无线通信网络的基础上, 结合目前在其他行业广泛应用和推广的 MEC 技术, 提出了基于 MEC 的高速铁路无线通信网络优化方案。通过实验室搭建仿真环境, 对比两种高速铁路无线通信网络的优化方案模型, 并对基站和车站 MEC 服务器功能及 MEC 平台架构进行阐述, 通过高速铁路应用实例, 系统地描述基于 MEC 的无线通信网络优化方案, 为后续高速铁路无线通信网络优化提供理论依据, 对网络时延、无线传输优化、虚拟化技术等方面的研究和攻关提供模型支持。

关键词: MEC; 车地无线通信网络; MEC 平台架构; 虚拟化

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019199

Wireless communication network optimization scheme for high-speed railway based on MEC

LI Bin

Jiaxun Feihong Intelligent Technology Institute Co., Ltd., Beijing 100044, China

Abstract: The optimization scheme of high-speed railway wireless communication network based on MEC was proposed, in order to achieve the optimization of high-speed railway wireless communication network and meet the needs of safe, reliable and efficient multi-dimensional railway transportation of high-speed railway, based on the analysis of existing high-speed railway vehicle-ground wireless communication network, and combining with MEC which was widely used and popularized in other industries,. Comparing the two models of wireless communication network optimization scheme of high-speed railway, the function of MEC server and MEC platform structure of base station were expounded. Through the application example of high-speed railway, the optimization scheme of wireless communication network based on MEC was systematically described. It provided theoretical basis for the future optimization of wireless communication network of high-speed railway, and provided model support for the research on network delay, wireless transmission optimization, virtualization technology and other aspects.

Key words: MEC, vehicle-to-ground wireless communication, MEC platform architecture, virtualization

1 引言

截至 2018 年年底,中国高速铁路运营里程已达到 2.9 万千米。中国国家铁路集团有限公司(简称“铁路总公司”)对我国高速铁路信息化建设的要求逐年提高,高质量的铁路网络建设,成为“交通强国,铁路先行”目标的重要保障。铁路固定通信网络和移动通信网络,成为信息化建设以及铁路高速发展的必要通信基础设施。当前我国铁路通信网,采用的是自建专网通信,移动通信网络基于 GSM-R(global system for mobile communications – railway)系统,目前主要承载列车控制系统业务和调度通信等主要核心工作。众所周知,GSM-R 网络是一种铁路专用的窄带通信网络系统,除上述铁路业务以外,难以实现当下高速铁路发展过程中诸多业务的承载,尤其是目前采用广泛的高清视频业务。铁路下一代移动通信网络(即 LTE-R 网络)系统虽然在列车运行控制、列车运营管理、旅客上网、运维作业管理等方面有了更好的支持和应用,而且有很多基于 LTE-R 网络的应用逐渐落地,但是在当前 GSM-R 和 LTE-R 网络场景下,无线传输的空口资源有限,带宽以及时延等 QoS 指标仍然无法满足当前铁路运营的业务场景需求,存在如下几类问题。

(1) 无线通信业务应用广泛,对于带宽需求呈现几何倍数增长,无线专网通信资源不足。高速铁路列车运营场景中,车地之间音频通信和数据通信均需要通过空口链路传输,而在传输过程中,车地通信中的重复数据和未经压缩的数据都会对空口链路资源造成浪费,降低空口链路的利用率。

(2) 数据吞吐量低,传输文档性差,应用落地受到制约。传统的有线传输方式稳定、可靠,但是车地之间通信是在高速移动场景下的通信,即需要满足 350 km/h 的高速通信场景,车地通信会变得不稳定,通信中断情况不可避免地出现,

造成车地间通信分组丢失率较高,进而导致无线通信网络的数据吞吐量降低。

(3) 车地之间、车车之间传输时延高。在下一代移动通信系统 LTE-R 中,车地之间、车车之间的通信均是基于核心网 EPC(evolved packet core)完成的,在 350 km/h 的高速通信场景中高延时的问题,将会影响正常的行车安全,严重时可能造成高铁紧急制动等重大事故。

当前我国采用的两种移动通信网络系统(GSM-R 和 LTE-R)均无法解决上述存在的问题。本文探索利用 5G 技术中移动边缘计算(mobile edge computing, MEC)技术解决上述问题,提出基于移动边缘计算的高速铁路车地无线通信网络的解决方案。

2 边缘计算

2.1 边缘计算的定义

边缘计算经过不断的发展和演进,基本已经形成明确的概念和应用范畴,参考各个标准化组织及技术产业联盟的描述,总结边缘计算的定义如下。

- 边缘计算产业联盟中,边缘计算是指在靠近物或者数据源头的网络边缘侧,融合网络、计算、存储、应用核心能力的开放平台,就近提供边缘智能服务。
- 工业互联网产业联盟中,边缘计算对所有从边缘获取或者通过边缘的数据提供计算、存储、通信等功能与服务。
- Linux 开源项目 EdgeX Foundry 中,边缘计算是一种物联网架构,允许客户在边缘的计算节点上部署即插即用的微服务。

移动边缘计算的基本思路就是在边缘计算的基础上,把云计算平台的功能和服务下沉到移动接入网络的边缘,从而显著减少移动通信业务交互时端到端的时延,充分发掘无线网络的利用效率,为用户提供多维度的服务,从而提升用户体验。



2.2 边缘计算的系统参考框架

基于新 ICT 技术的发展和铁路业务自身发展的需要,边缘计算在铁路行业应用的优势逐渐凸显,选择边缘计算技术作为铁路行业解决方案,原因如下。

(1) 边缘计算是一种分散式运算的架构。在这种架构下,将应用程序、数据资料与服务的运算,由网络中心节点移往网络逻辑上的边缘节点来处理,将原本完全由中心节点处理的大型服务加以分解,切割成更小且更容易管理的部分,分散到边缘节点去处理。

(2) 理论上,高铁铁路列车运行场景中,几乎所有的电子设备均可以通过网络(铁路专网、铁路物联网、互联网)互连,设备在工作过程中会产生海量的数据。边缘节点更接近于终端设备,可以加快数据的处理速度与传送速度,降低时延,同时减轻网络负载,提高网络利用率。

(3) 需要更高级别的安全性。因为在边缘端,可以更大程度地加密、认证保护数据,以分布式的方式将安全嵌入边缘;项目需要更低的成本和

更高的效率,综合对比实时性、存储与带宽成本等因素之后,边缘计算比云计算更有优势。

参考边缘计算产业联盟(Edge Computing Consortium, ECC)与工业互联网产业联盟(Alliance of Industrial Internet, AII)联合发布的《边缘计算参考架构 2.0(2017)》,提出基于高速铁路应用的移动边缘计算系统架构,如图 1 所示。

2.3 边缘计算的能力

边缘计算吸取了虚拟化技术和云计算技术的经验,构建出一种能够管理大规模分布式节点的潜在能力,并且满足复杂多样的业务场景,例如工业领域的万物互联或者应用于铁路设备设施的工作状态全方位实时监控。边缘计算的能力包括并不限于下列:

- 提供一个跨多种基础设施的一致性操作范式;
- 能够支持大规模分布式环境;
- 能够为全球分布的客户交付网络服务;
- 能够满足应用集成、编排和服务交付的需求;

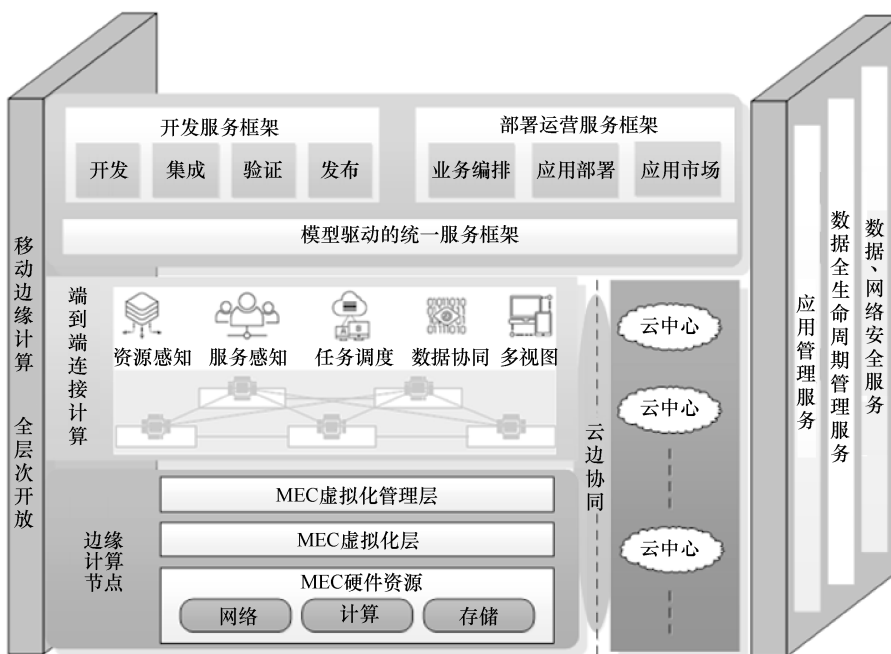


图 1 移动边缘计算系统参考架构

- 能够符合硬件资源的限制条件和成本的限制条件;
- 能够运行在局限的以及不稳定的网络之上;
- 能够满足应用对超低时延的需求, 如增强现实、虚拟现实和语言识别等;
- 能够实现区域隔离, 保护本地数据的隐私。

2.4 边缘计算服务管理的特征

边缘计算节点的服务管理, 应该有以下 4 个特征, 包括差异化、可扩展性、隔离性和可靠性, 进而保证一个高效、可靠、低时延、高吞吐的系统。

(1) 联结性

所联接物理对象的多样性及应用场景的多样性, 需要边缘计算具备丰富的联接功能, 如各种网络接口、网络协议、网络拓扑、网络部署和配置、网络管理和维护。

(2) 约束性

边缘计算产品需要考虑通过软硬件集成与优化, 以适配各种条件约束, 支撑行业数字化多样性场景, 适配工业中 (尤其是铁路行业现场等) 相对恶劣的工作条件与运行环境。

(3) 分布性

边缘技术实际部署天然具备分布式特征, 要求边缘计算支持分布式计算和存储, 实现分布式资源的动态调度和管理、支撑分布式智能应用, 具备分布式安全等能力。

(4) 可靠性

可靠性可以从服务、系统和数据 3 方面来谈论。

- 从数据角度来看, 可靠性指的是数据在传感和通信方面是可靠的。有时需要提出新的通信协议来保证物联网在传输数据时的可靠性。
- 从系统角度来看, 节点之间能够互通状态和诊断信息。这种特征使得在系统层面部署故障检测、节点替换、数据检测等十分方便。

- 从服务方面来说, 网络拓扑中任意节点的丢失都有可能导致服务不可用, 如果边缘系统能够提前检测具有高风险的节点, 则就可以避免这种风险。

3 MEC 在高速铁路车地无线通信网络中的应用

3.1 LTE-R+MEC 系统整体架构

基于高速铁路车地无线通信网络的应用场景, 本文提出两种系统的整体架构。

方案 1 在 LTE-R 系统基础上, 分别在高铁列车、沿途通信基站、沿途车站部署 MEC 服务器。高铁列车的网络请求先发送给车载 MEC 服务器, 由车载 MEC 服务器负责与高铁沿线基站处 MEC 服务器通信, 基站 MEC 服务器再与车站 MEC 服务器通信, 最后, 车站 MEC 服务器与铁路内部专网和外部互联网通信, 完成网络服务的访问。整体架构如图 2 所示。

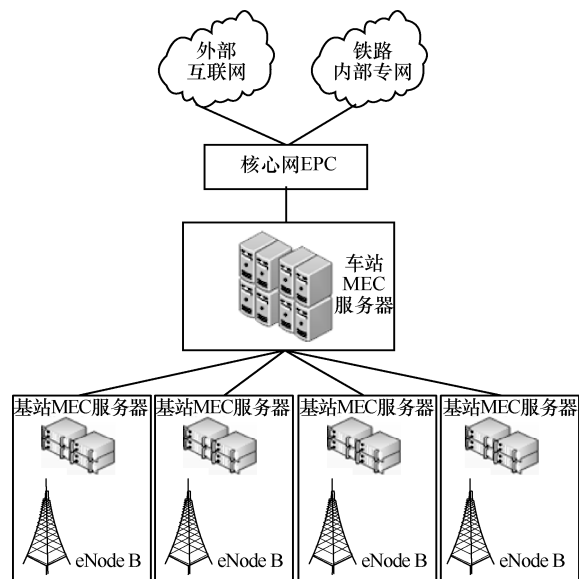


图 2 基于 LTE-R 的 MEC 整体架构 (方案 1)

方案 2 在 LTE-R 系统基础上, 分别在高铁列车、沿途通信基站部署 MEC 服务器, 省去车站 MEC 服务器。高铁列车的网络请求先发送给车载 MEC 服务器, 由车载 MEC 服务器负责与高铁沿



线基站处 MEC 服务器通信，最后基站处 MEC 服务器与铁路内部专网和外部互联网通信，完成网络服务的访问。整体架构如图 3 所示。

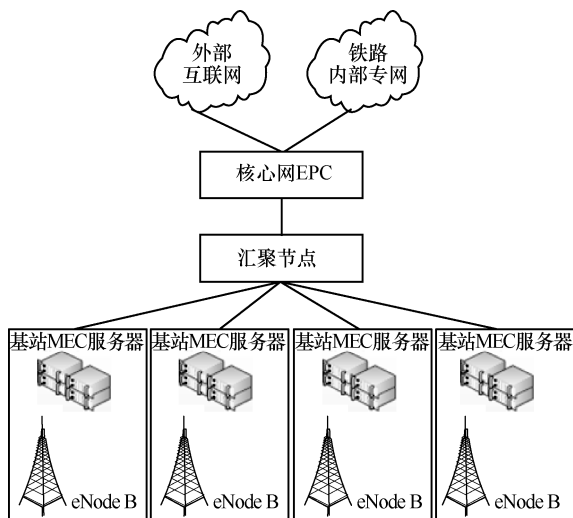


图 3 基于 LTE-R 的 MEC 整体架构（方案 2）

上述两种解决方案，是在 LTE-R 系统中加入 MEC 服务器，利用 MEC 服务器自身具备的计算、存储、网络、通信等能力，可以在车站、基站附近提供智能服务，使原本需要在铁路内部专网或者外部云平台处理的业务，可以下沉到车站 MEC 服务器或者高铁沿线基站 MEC 服务器上处理和运行，从而降低了网络服务响应的时延，提高了通信资源使用效率，优化了现有的 LTE-R 系统。

3.2 基站和车载 MEC 服务器功能

综合考虑目前高速铁路工程项目建设和开通运营的实际要求，对工程建设项目进度、质量、成本以及与其他线路互联互通的诸多要求，优选第 3.1 节中的方案 2。

在车体和移动通信基站处部署 MEC 服务器，通过两级 MEC 服务器的协同配合，完成下述功能。

- 车地之间无线传输优化功能。
- 车车之间数据传输时延优化功能。
- 基于 MEC 的流量缓存与压缩功能。
- 基于 MEC 的多流合并功能。

MEC 在高铁网络架构中的应用主要是通过列车内部署 MEC 服务器，以及在 LTE-R 系统中的轨道基站一侧部署 MEC 服务器共同实现。列车内的通信服务请求，按照车载网关 MEC 服务器、基站网关 MEC 服务器、互联网的顺序进行发送。

在服务请求过程中，基站网关的 MEC 服务器有 3 点功能。

- 分析车载 MEC 服务器的请求，合并重复流量。由于基站的空口资源有限，当基站处 MEC 服务器分析到车载网关发出多个重复请求后，基站网关 MEC 服务器在返回数据时将只返回一份数据。
- 压缩流量。为提高空口资源利用率，当基站网关 MEC 服务器向车载网关 MEC 服务器发送数据时，将对数据进行压缩。
- 优化无线传输。配合车载网关的 MEC 服务器共同提升无线传输的稳定性，降低分组丢失率。

车载的 MEC 服务器具备以下 4 点功能。

- 分析车内请求。对于可以本地处理的服务请求，由车载网关的 MEC 服务器进行本地化处理。对于不能本地化处理的服务请求，将以代理的形式，向互联网发送服务请求。
- 缓存网络资源。列车曾经访问的网络资源，将被缓存在车载 MEC 服务器中，为本地化处理做准备。
- 接收并处理来自基站 MEC 服务器的数据。由于基站 MEC 服务器会对流量进行合并及压缩以节省空口带宽资源，故车载 MEC 服务器需要对这部分流量进行分拆和解压缩。
- 优化无线传输。配合基站网关的 MEC 服务器共同提升无线传输的稳定性，降低分组丢失率。

3.3 MEC 平台架构

为满足高速铁路车地无线通信的需求,构建 MEC 平台,现将 MEC 平台划分成 3 个层次,即基础设施层、分析管理层、业务管理层。MEC 平台架构如图 4 所示。

基础设施层基于通用的 x86 服务器,为 MEC 平台提供底层的网络、计算、存储等硬件资源。虚拟化技术降低了系统开发和部署的成本,已经开始从服务器应用场景向嵌入式系统应用场景渗透。

信息基础设施虚拟化管理的思路是,把硬件和网络等信息基础设施设施作为服务项进行管理,为高速铁路车地通信网络的上层应用提供弹性扩展、灵活高效、多个应用独立、同步运行的硬件平台环境。虚拟化管理层完成对物理服务器、网络设备、虚拟机、操作系统、平台服务的全面监控,并通过开放的 API 向上层业务管理层开放。将 MEC 平台功能组件进一步组合封装成虚拟的应用(如流量缓存合并、流量解压压缩、传输协

议优化、第三方接口服务等),并通过标准接口开放给第三方提供应用平台和服务。

3.4 高速铁路无线传输优化应用举例

在高速铁路传输网络中,车地之间的通信通过无线传输,在 350 km/h 的高速运行场景下,列车和通信基站之间频繁切换,加之无线传输链路上存在较高的误码率,在传统的无线传输网络中,当出现分组丢失情况时,由于车地无线传输采用 TCP,导致发送端无法接收并确认 ACK 信息,发送端根据自身处理机制进行通信中断判定,判定为网络中出现数据拥塞导致分组丢失和间歇性中断情况,发送端降低发送通道大小,同时降低无线传输网络链路的数据吞吐量,从而造成更加严重的分组丢失和中断现象,但此种分组丢失和中断现象并非是真的数据拥塞引起的。

此方案为了优化数据拥塞处理机制,提升无线传输网络链路的 TCP 处理性能和提高数据吞吐量,在实验室搭建高速铁路车地无线通信模拟仿

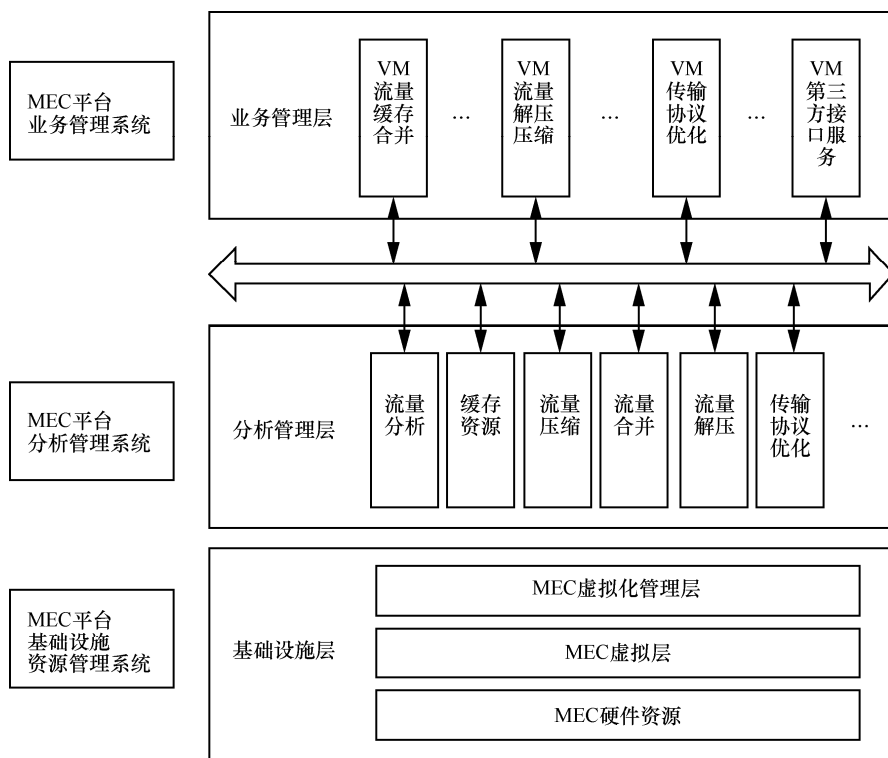


图 4 MEC 平台架构



真环境,有针对性地提出 TCP 连接的传输优化方案。方案连接示意如图 5 所示。

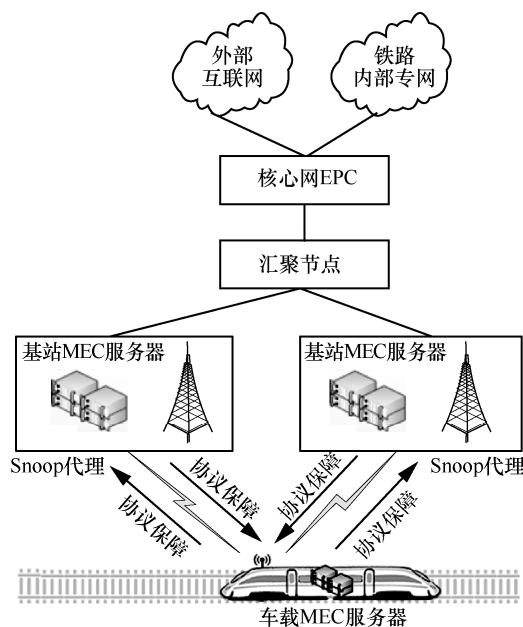


图 5 TCP 连接传输优化方案连接示意

车地通信传输过程优化是指对列车和通信基站之间的 TCP 连接进行性能优化。具体优化方案,按照如下方式完成:

(1) 在通信基站处的 MEC 服务器上部署 Snoop 代理;

(2) 在列车上的 MEC 服务器中部署 Snoop 代理;

(3) 基站 MEC 服务器 Snoop 代理监视从基站发往列车的 TCP 报文段和收到的全部 ACK 应答信息,同时对所有未应答的 TCP 报文段进行缓存;

(4) 基站 MEC 服务器 Snoop 代理收到多个重复的 ACK 应答信息,本地边缘侧判断通信超时,从而判断某个报文段在无线传输链路上丢失,并将自身缓存中的 TCP 报文段重传,同步丢弃由该报文段丢失引起的重复的 ACK 应答信息;

(5) 列车上的 MEC 服务器中的 Snoop 代理,工作原理与基站 MEC 服务器 Snoop 代理相同;

(6) 此方案通过实验室验证,可以显著改善通信基站到列车方向、列车到通信基站方向性能。

4 结束语

当前我国采用的两种移动通信网络系统(GSM-R 系统和 LTE-R 系统)均无法解决上述高速铁路运行场景下移动网络通信中存在的问题。本文探索利用 5G 技术中移动边缘计算技术来解决上述问题,创新性地提出将移动边缘计算技术应用到下一代移动通信系统中,在车地通信网络中对 LTE-R 系统进行优化,并通过实验室搭建车地无线通信模拟仿真环境,在实验室环境中对系统的框架、架构以及算法进行了试验和验证,验证了与现有系统相比,车载 MEC 服务器、基站 MEC 服务器在传输速度、传输时延、吞吐量等方面均有明显的优势,为 MEC 技术在高速铁路车地无线通信网络的研究和应用奠定了坚实的基础。后续的工作中,将进一步对网络时延、无线传输优化、虚拟化技术等方面进行进一步的研究和攻关。

参考文献:

- [1] 边缘计算产业联盟, 工业互联网产业联盟. 边缘计算参考架构 2.0 (2017) [R]. 2017. ECC, AII. Edge computing reference frame v2.0(2017)[R]. 2017.
- [2] 阴晓亮. LTE-R 应用于中国铁路的技术分析[J]. 铁道技术监督, 2016, 44(5): 40-44, 48. YIN X L. Technical analysis of LTE-R applied in China railway[J]. Railway Quality Control, 2016, 44(5): 40-44, 48.
- [3] 李福昌, 李一喆, 唐雄燕, 等. MEC 关键解决方案与应用思考[J]. 邮电设计技术, 2016, (11): 81-86. LI F C, LI Y Z, TANG X Y, et al. Considerations on the key solutions and applications of MEC[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2016, (11): 81-86.
- [4] 蒋鑫. MEC 整体解决方案及典型应用场景研究[J]. 电信技术, 2015(12): 7-8. JIANG X. Research on MEC overall solution and typical application scenarios[J]. Telecommunications Technology, 2015(12): 7-8.

- 2015(12): 7-8.
- [5] 戴晶, 陈丹, 范斌. 移动边缘计算促进 5G 发展的分析[J]. 邮电设计技术, 2016(7): 4-8.
- DAI J, CHEN D, FAN B. Analysis of mobile edge computing promoting 5G development[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2016(7): 4-8.
- [6] 俞一帆, 任春明, 阮磊峰, 等. 移动边缘计算技术发展浅析[J]. 电信网技术, 2016(11): 59-62.
- YU Y F, REN C M, RUAN L F, et al. A brief analysis on the development of mobile edge computing technology[J]. Telecommunication Network Technology, 2016(11): 59-62.
- [7] 张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 等. 移动边缘计算技术及其本地分流方案[J]. 电信科学, 2016, 32(7): 132-139.
- ZHANG J M, XIE W L, YANG F Y, et al. Mobile edge computing and its local triage scheme[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(7): 132-139.
- [8] 叶敏华, 刘雨, 张惠民. 无线链路的 TCP 性能问题及其改善[J]. 电子科技大学学报, 2003, 32(2): 179-183.
- YE M H, LIU Y, ZHANG H M. Improve the TCP performance over wireless link[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2003, 32(2): 179-183.

[作者简介]



李斌(1982-), 男, 佳讯飞鸿(北京)智能科技研究院知识产权与标准研究所所长、高级工程师, 主要研究方向为铁路通信信号、铁路信号设备 PHM 以及铁路私有云。