



专题：移动边缘计算

移动边缘计算场景下网络服务灵活适配的解决方案

冯博昊, 周华春

(北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044)

摘要: 为应对“万物互联”所带来的挑战, 移动边缘计算因其独特优势受到学术界和产业界的高度重视。然而, 传统 IP 网络由于其原始设计不足难以为移动边缘计算提供高效的网络服务动态构建能力。为此, 基于新兴网络技术, 提出一种移动边缘计算场景下网络服务灵活适配的解决方案, 旨在实现网络服务的按需、高效部署, 满足不同用户的多元化与个性化需求。

关键词: 身份位置分离网络; 信息中心网络; 网络功能虚拟化; 软件定义网络; 移动边缘计算

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019054

A solution for flexible adaption of network services in mobile edge computing

FENG Bohao, ZHOU Huachun

School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract: In order to cope with the challenges brought by the “internet of everything”, mobile edge computing has been highly valued by academics and industry for its unique advantages. However, traditional IP networks are unable to provide network services dynamically in an efficient way for mobile edge computing, due to deficiencies from their original design. To this end, based on emerging network technologies, a solution for flexible adaptation of network services in mobile edge computing scenarios was proposed, aiming at realizing on-demand and effective deployment of network services to meet the diversified and personalized needs of different users.

Key words: LOC/ID split networking, information-centric networking, network functions virtualization, software-defined networking, mobile edge computing

1 引言

近年来, 随着智能设备的高速普及与移动互联网应用的蓬勃发展, 网络服务模式已从传统的

管道式传输向更为复杂的通信与计算平台转变^[1]。

据预测, 2020 年全球将有超过 500 亿台设备联网, 其中超过 50% 的数据需要在网络边缘侧进行分析、存储与处理^[2]。规模庞大的网络设备在引领

收稿日期: 2019-02-10; 修回日期: 2019-03-07

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (No.2018M641171)

Foundation Item: The China Postdoctoral Science Foundation (No.2018M641171)

全球产业信息化革命浪潮的同时,也对网络信息技术提出了新的挑战。显然,以云计算^[3]为核心的集中处理模式难以满足“万物互联”在高带宽、低时延、用户体验等诸多方面的迫切需求。为此,移动边缘计算的概念应运而生^[4-6],并受到学术界和产业界的高度重视。其核心思想在于将现有云数据中心的业务下沉至离终端设备距离更近的边缘网络,通过本地满足用户所需相关网络服务,实现流量传输压力的有效缓解、服务质量的可靠保障以及云数据中心负载的大幅降低。

然而,传统IP网络由于原始设计不足以呈现“静态”“僵化”态势,在路由可扩展性、传输效率、资源利用率等诸多方面暴露出诸多严重弊端,难以为移动边缘计算提供高效的网络服务动态构建能力,尚需引入身份位置分离网络(LOC/ID split networking, LISN)^[7]、信息中心网络(information-centric networking, ICN)^[8]、网络功能虚拟化(network functions virtualization, NFV)^[9]、软件定义网络(software-defined networking, SDN)^[10]、智慧标识网络(smart identifier networking, SINET)^[11-12]等新兴网络技术理念来重新设计底层网络基础框架,通过网络灵活性、可管可控性与运行效率的全面提升,为移动边缘计算的美好愿景提供有效支撑。故本文提出一种移动边缘计算场景下网络服务灵活适配的解决方案,通过融合上述新兴网络技术优势,实现网络服务的按需、高效部署,以满足不同用户的多元化与个性化需求。

2 新兴网络技术

本节对上述新兴网络技术理念进行简要介绍。具体来说,LISN旨在解决现有网络存在的“身份与位置绑定”问题,其根源在于IP(internet protocol)地址的语义过载设计,即在传输层代表终端设备的身份信息,在网络层代表终端设备的位置信息。IP地址的二义性是导致现有互联网路

由可扩展性差、移动性差等的本质原因。LISN的思想则是使用不同的标识来表征终端设备的身份与位置信息,并引入身份—位置标识映射系统来动态绑定其关系。其优势在于,终端设备的身份信息不会注入路由系统中,路由器需要维护的路由表条目数量大幅下降。此外,当终端设备接入链路发生改变(切换、增减)时,其原有基于身份标识建立的逻辑通信连接并不会随着其位置标识的变化而中断。

ICN与NFV则有效解决了现有网络存在的“服务(内容与功能)与位置绑定”的问题。对于服务内容,现有互联网是基于通道传输的,中间路由器仅仅根据IP地址转发报文,不利于其高效分发。而ICN的设计理念则在于将服务内容作为网络的核心要素进行处理,以代替现有网络的主机位置。ICN直接对服务内容进行命名,与其位置信息无关,并在路由器中引入缓存功能,通过类似于多播的逐跳转发方式,实现路由器对数据的按需缓存与用户的就近获取,大幅提高网络传输效率。另一方面,对于服务功能而言,在现有网络中,其通常与所处硬件紧耦合并以中间件(middle-box)的形式进行部署,存在开发周期长、升级管理困难、技术淘汰率快、投入成本巨大等问题,严重阻碍了网络新服务的部署实施。鉴于此,NFV利用虚拟化技术,将服务功能以软件的形式运行在通用服务器上,以便于其按需启动、迁移与关闭,在完成服务功能灵活部署的同时,全面提升资源利用率。

SDN是针对现有网络存在的“控制与转发绑定”的问题而提出的。现有网络将路由的控制平面与转发平面耦合于单一节点之上,并通过相应协议以分布式的方式进行路由计算与更新,造成灵活性差、收敛速度慢、管控能力弱等缺陷,难以满足当前数据传输面临的多样需求。为此,SDN将控制平面与转发平面解耦,通过控制层控制器实现转发层交换机按照应用层商业应用意图转发



报文, 大大增强了网络路由的可编程性和差异化处理能力, 为各类流量按需经过不同的网络服务, 即由一系列服务功能按需组合而形成的服务功能链^[13], 提供基础技术支撑。

SINET 旨在综合解决现有网络中存在的“资源和位置绑定”“控制和数据绑定”以及“身份与位置绑定”问题, 提出了“三层”“两域”的体系架构, 以实现资源的动态适配。其中, “三层”为“智慧服务层”“资源适配层”以及“网络组件层”; 两域为“实体域”和“行为域”。具体来说, 建立服务标识、族群标识、组件标识及其行为描述, 以分别对服务、族群功能模块、网络组件设备进行标记和行为特征说明; 通过行为匹配机制、博弈决策模型、行为聚类机制实现“服务标识”到“族群标识”的映射以及“族群标识”到“组件标识”的映射, 以完成服务需求到族群选择、族群内网络组件匹配以及网络组件内部联动, 最终达到智慧服务的目标。

此外, 随着人工智能的兴起, 使用相关技术进行网络决策和管控亦受到广泛关注^[14-17]。对于网络服务而言, 深度学习 (deep learning)、增强学习 (reinforcement learning) 等学习策略不仅能优化网络服务的性能, 更能完成对网络行为、用

户喜好等内容的预测; 对于网络管理而言, 诸如神经网络 (neural network)、机器学习 (machine learning) 等人工智能技术可以为网络管理提供完备的管控策略与优化的资源调度方案, 以达到高效利用网络资源的目的。人工智能技术与网络的深度耦合不仅有助于提升网络基础功能的运行效率, 更能从本质上改变网络的运行模式, 进一步推进网络“智慧化”的演进。

3 网络服务灵活适配解决方案

结合上述新兴网络技术, 本文提出一种网络服务灵活适配的解决方案, 通过解耦现有网络中存在的多种“绑定”问题, 全面提升网络的灵活性、可管可控、运行效率等, 进而实现网络服务在移动边缘计算场景下的按需、高效部署, 以满足不同用户的迥异需求。

所提出的网络服务灵活适配解决方案的基础框架如图 1 所示。根据实际作用, 其具体分为三层, 即服务发布订阅层、资源管理适配层以及网络基础设施层。其中, 服务发布订阅层由服务提供商及其所发布的服务内容和服务功能以及利用计算机、笔记本电脑、智能手机、智能设备等进行通信的服务消费者构成。网络基础设施层由用于部

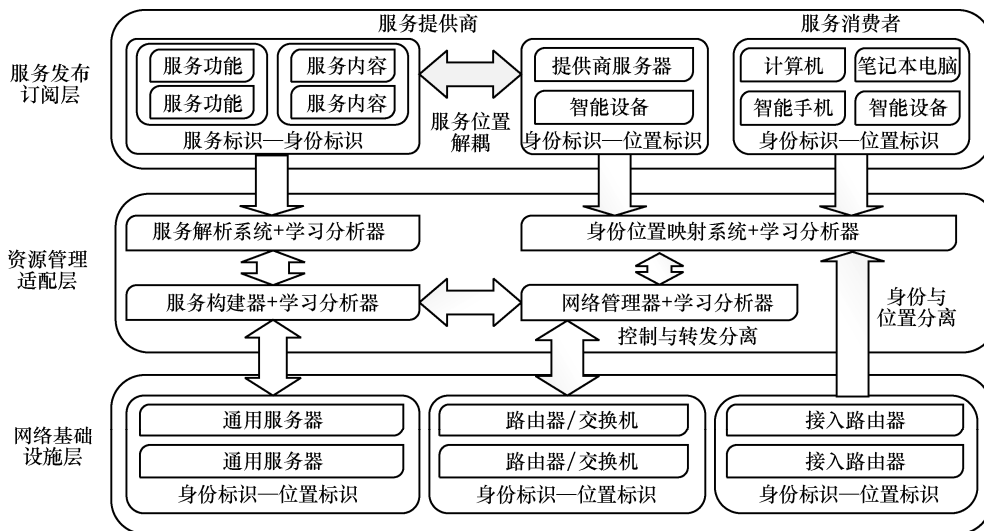


图 1 所提网络服务灵活适配解决方案的基础框架

署服务功能的通用服务器、用于报文转发的路由器/交换机以及用于接入服务提供商与服务消费者的接入路由器构成。资源管理适配层则作为服务发布订阅层与网络基础设施层的枢纽，一方面，感知网络运行状态，管理和控制物理或虚拟网络对象；另一方面，根据服务提供商与服务消费者的实际需求，调度网络资源以为不同通信需求提供多元化、差异化的组网支撑。同时，资源管理适配层也是实现“身份与位置分离”“服务与位置分离”“控制与转发分离”的核心，亦是网络智慧化的基础。

3.1 “身份与位置绑定”的解耦

IP 地址的二义性是导致现有网络“身份与位置绑定”的主要原因。为此，类似于 LISN 的解决思路，引入两类相互独立的标识空间，即身份标识空间和位置标识空间。其中，身份标识（ID）用于唯一表征网络对象的身份信息，与位置标识解耦，用于身份认证、传输连接建立等。考虑到与现有终端的兼容性问题，身份标识采用 32 位长度地址，与 IPv4 地址的长度保持一致。位置标识（LOC）则用来表征网络对象在网络中所处的位置，由所属网络使用的路由交换协议决定，其实质是路由器/交换机某端口所使用的地址，如 IPv4 地址、IPv6 地址、MPLS（multi-protocol label switching）标签、路由器/交换机层次或扁平名称等。在所提服务智慧供应体系架构中，任何一个网络对象，包括服务器、智能设备、终端、通用服务器、交换机/路由器、接入路由器等均含有一对身份标识与位置标识。此外，引入身份位置映射系统及其学习分析器，用于记录网络对象身份标识与位置标识的动态绑定关系，并基于其历史信息利用学习分析器获得网络对象网络接入与通信

习惯，如接入位置、接入时长、常用通信对端、一天通信时长等，以便进行增值服务。表 1 给出了身份位置映射系统及其学习分析器信息维护的示例。另外，网络对象在进入网络或接入位置发生变化后，均需要与身份位置映射系统进行交互，以更新必要的信息。

3.2 “服务与位置绑定”的解耦

网络服务大致可分为内容服务和功能服务。前者是向服务消费者提供内容数据，而后者则为服务消费者提供处理其数据的某种服务功能虚拟机镜像。但无论是哪种类型的服务，其均与位置信息绑定。具体来说，服务内容虽然有自己独立的命名机制，如统一资源定位符（uniform resource locator, URL），但其标识在通信前便通过域名系统（domain name system, DNS）与服务器的 IP 地址进行了绑定，而服务功能则直接与其硬件进行绑定，无法实现迁移。因此，为了解决“服务与位置绑定”问题，并对这些服务内容和功能进行统一的管理，定义解耦于位置信息的服务标识（SID）来唯一标识一种服务，由服务信息的散列值得来，以便服务内容在类似于支持 ICN 的网络缓存中进行存储或服务功能在类似于支持 NFV 的通用服务器中进行运行。另外，服务标识需要与描述文件进行绑定以对该服务属性进行全面说明，如服务名称，类型，所处服务器或设备身份标识的关键字、摘要等。

为实现服务资源寻址，引入服务解析系统及其学习分析器，一方面，方便服务消费者对网络所提供的服务进行查询；另一方面，也便于网络对这些服务进行相关信息统计，如近期热度、趋势指数、总请求数、请求间隔等，以更好地为服务消费者进行推荐。因此，当服务提供商生成新

表 1 身份位置映射系统及其学习分析器信息维护示例

身份标识	位置标识	历史信息		
ID	LOC	历史接入位置及时长列表	历史通信对端及时长列表	...
...				



服务时，需向服务解析系统及其学习分析器进行服务标识及其描述文件的注册。当服务消费者寻求某些服务时，其可向服务解析系统及其学习分析器提供一些关键字。后者将其系统数据库中进行查找并返回相关服务信息列表。之后，服务消费者便可进行选择并将结果返回至服务解析系统，以启动后续服务请求流程。表 2 给出了服务解析系统及其学习分析器信息维护的示例。

3.3 “控制与转发绑定”的解耦

现有网络中由于路由的控制平面与转发平面耦合，使得流量按需转发难以实现。随着 SDN 的兴起，集中式路由成为一种新趋势。类似地，引入网络管理器用于集中式路由，并将结果下发至路由器/交换机等执行。每台路由器/交换机需向网络管理器报告其邻居节点、链路带宽、处理能力等基本信息，以便后者生成拓扑并根据不同度量计算全局路由。之后，网络管理器将优先级设置为 0 的转发规则下发给每台路由器/交换机，以保证网络的基本连接。因此，即使在不询问网络管理器的情况下，每台路由器/交换机也可根据目的地址转发报文，大大地降低了网络管理器的处理负担。此外，每台路由器/交换机还需定期向网络

管理器报告其运行状态，以便后者重新进行路由计算和更新。一旦网络中出现拥塞或故障，网络管理器便可向相关路由器/交换机发出优先级大于 0 的新转发规则，以保证后续报文可以绕过存在问题的区域。需要说明的是，网络管理器的学习分析器则利用神经网络、增强学习等手段对路由器/交换机的历史信息进行剖析，以实现突发流量预测与设备故障预警。

3.4 服务按需灵活适配步骤

为实现服务按需灵活适配，引入服务构建器及其学习分析器，用于建立虚拟网络服务路径。当服务解析系统收到服务消费者服务请求建立的请求（假设请求一个视频文件）后，将其所选择服务的标识及其描述文件一同转发至服务构建器及其学习分析器。后者进一步查看该服务的描述文件以确定是否为其添加新的性能增强服务功能。例如，对于视频文件，可在网络服务路径中添加缓存功能、转码功能等，以进一步提升该次网络服务的用户体验。此时，服务构建器向服务解析系统请求缓存与转码服务功能，并获得相应结果。服务构建器将需要添加的服务功能根据通用服务器的运行状态进行优化部署及配置。此

表 2 服务解析系统及其学习分析器信息维护示例

服务标识	属性		摘要	历史信息
SID _C	名称：流浪地球		流浪地球讲述了在多年的运转中，人类忽略了太阳系，地球和木星越来越近。全世界都面临着同一个灾难。地球即将灭亡，为了挽救地球，联合国启动了流浪地球计划	近期热度
	类型：内容			趋势指数
	服务器或设备身份标识： XX.XX.XX.XX			总请求数
	关键字：科幻电影			请求间隔

...				
SID _F	名称：Squid 虚拟机镜像		Squid 是一个高性能的代理缓存服务器，支持 FTP、gopher、HTTPS 和 HTTP	近期热度
	类型：功能			趋势指数
	服务器或设备身份标识： XX.XX.XX.XX			总请求数
	关键字：缓存功能			请求间隔

...

后, 被选中的通用服务器根据服务构建器转发的服务解析结果通过网络管理器向服务提供商请求, 以进行镜像下载以及本地开启配置。再之后, 服务构建器与网络管理器进行交互, 告知后者流量需要按需经过的节点(服务消费者、服务提供者、通用服务器)的身份标识, 并由后者询问身份位置映射系统而获知所涉及节点的位置标识。最后, 网络管理器根据该虚拟网络服务路径下发相应的转发条目至路由器/交换机等, 以完成服务消费者报文流在虚拟网络服务路径中的引导。此外, 服务构建器还需对正在运行的服务功能、通用服务器进行状态感知和行为监管。图2给出了服务按需灵活适配机制的示例。通过这种方式, 适配出满足服务消费者所需的网络服务并进行性能增强, 以进一步提升服务质量。

4 结束语

结合新兴网络技术, 本文提出了一种移动边

缘计算场景下网络服务灵活适配的解决方案, 旨在实现网络服务多元化与个性化的按需高效部署, 以应对不同用户的迥异需求。在未来工作中, 将基于 OpenStack 搭建相关原型系统, 以对所提方案进行有效性验证与性能评估, 并根据结果做进一步改进和完善。

参考文献:

- [1] 周一青, 李国杰. 未来移动通信系统中的通信与计算融合[J]. 电信科学, 2018, 34(3): 1-7.
ZHOU Y Q, LI G J. Convergence of communication and computing in future mobile communication systems[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(3): 1-7.
- [2] VERNON T. The digital universe of opportunities: rich data and the increasing value of the internet of things[Z]. 2014.
- [3] 陈天, 樊勇兵, 陈楠, 等. 电信运营商云网协同业务及应用[J]. 电信科学, 2018, 34(2): 161-172.
CHEN T, FAN Y B, CHEN N, et al. Cloud-network coordination service and application for telecom operators[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(2): 161-172.
- [4] MAO Y, YOU C, ZHANG J, et al. A survey on mobile edge computing: the communication perspective[J]. IEEE Commu-

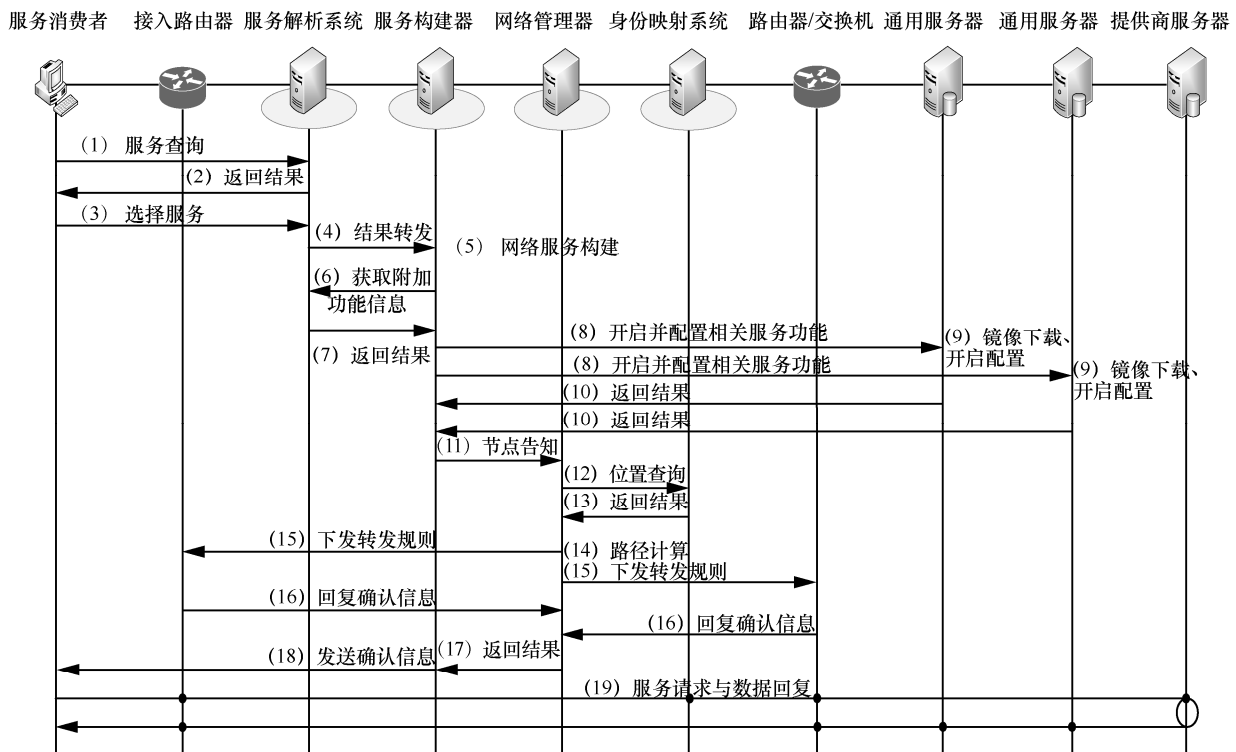


图2 服务按需灵活适配机制的示例



- nications Surveys & Tutorials, 2017, 19(4): 2322-2358.
- [5] MACH P, BECVAR Z. Mobile edge computing: a survey on architecture and computation offloading[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 19(3): 1628-1656.
- [6] 李子姝, 谢人超, 孙礼, 等. 移动边缘计算综述[J]. 电信科学, 2018, 34(1): 87-101.
- LI Z S, XIE R C, SUN L, et al. A survey of mobile edge computing[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(1): 87-101.
- [7] FENG B, ZHANG H, ZHOU H, et al. Locator/identifier split networking: a promising future Internet architecture[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 19(4): 2927-2948.
- [8] XYLOMENOS G, VERVERIDIS C N, SIRIS V A, et al. A survey of information-centric networking research[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(2): 1024-1049.
- [9] MIJUMBI R, SERRAT J, GORRICO J L, et al. Network function virtualization: state-of-the-art and research challenges[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016, 18(1): 236-262.
- [10] NUNES B A A, MENDONCA M, NGUYEN X N, et al. A survey of software-defined networking: past, present, and future of programmable networks[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(3): 1617-1634.
- [11] 张宏科, 罗洪斌. 智慧协同网络体系基础研究[J]. 电子学报, 2013, 41(7): 1249-1254.
- ZHANG H K, LUO H B. Fundamental research on theories of smart and cooperative networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2013, 41(7): 1249-1254.
- [12] ZHANG H, QUAN W, CHAO H C, et al. Smart identifier network: a collaborative architecture for the future internet[J]. IEEE Network, 2016, 30(3): 46-51.
- [13] MEDHAT A M, TALEB T, ELMANGOUSH A, et al. Service function chaining in next generation networks: state of the art and research challenges[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(2): 216-223.
- [14] 王志宏, 杨震. 人工智能技术研究及未来智能化信息服务体系的思考[J]. 电信科学, 2017, 33(5): 1-11.
- WANG Z H, YANG Z. Research on artificial intelligence technology and the future intelligent information service architecture[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(5): 1-11.
- [15] XIE J, YU F R, HUANG T, et al. A survey of machine learning techniques applied to software defined networking (SDN): research issues and challenges[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2019, 21(1): 393-430.
- [16] WANG M, CUI Y, WANG X, et al. Machine learning for networking: workflow, advances and opportunities[J]. IEEE Network, 2018, 32(2): 92-99.
- [17] MESTRES A, RODRIGUEZ-NATAL A, CARNER J, et al. Knowledge-defined networking[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2017, 47(3): 2-10.

[作者简介]



冯博昊 (1988-), 男, 博士, 北京交通大学电子信息工程学院讲师, 主要研究方向为未来互联网体系架构、信息中心网络、网络缓存、软件定义网络、时延容忍网络等。



周华春 (1965-), 男, 博士, 北京交通大学电子信息工程学院教授、博士生导师, 主要研究方向为未来互联网体系架构、移动互联网、网络安全、空间网络等。