



第三届全国期刊奖百种重点期刊 | 中国科技核心期刊
工信部优秀科技期刊 | 中国五大文献数据库收录期刊

ISSN 1009-6868
CN 34-1228/TN

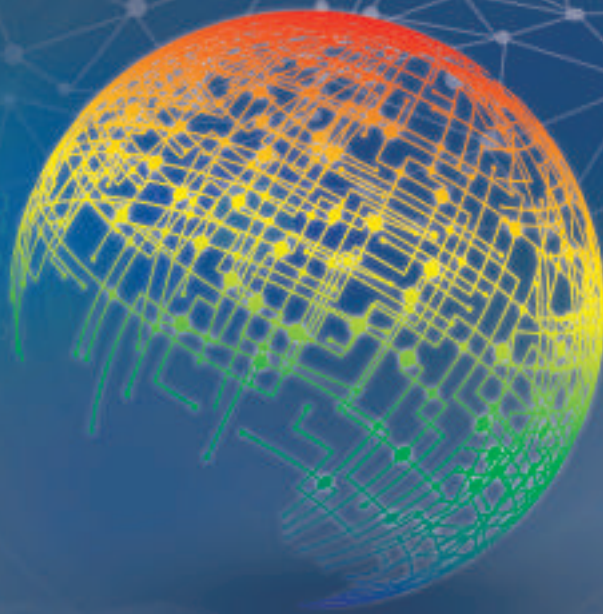
中兴通讯技术

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

www.zte.com.cn/magazine

2014年6月 • 第3期

专题：网络以及功能虚拟化



《中兴通讯技术》第6届编辑委员会委员名单

主 任 钟义信（北京邮电大学教授）

副主任 侯为贵（中兴通讯股份有限公司董事长） 糜正琨（南京邮电大学教授）

编委（按姓氏拼音排序）

- 艾 波** 中国联通学院党委书记,北京大学兼职教授,北京邮电大学兼职教授
- 曹淑敏** 工信部电信研究院院长、教授级高工
- 陈建平** 上海交通大学电子信息与电气工程学院电子工程系教授
- 陈 杰** 中兴通讯股份有限公司高级副总裁
- 陈前斌** 重庆邮电大学通信与信息工程学院执行院长、教授
- 陈锡生** 南京邮电大学通信与信息工程学院教授
- 程时端** 北京邮电大学网络技术研究院教授
- 高 文** 中国工程院院士,北京大学信息科学技术学院教授
- 葛建华** 西安电子科技大学通信工程学院副院长、教授
- 顾晓仪** 北京邮电大学信息光子学与光通信研究院教授
- 郭云飞** 解放军信息工程大学副校长
- 管海兵** 上海交通大学电子信息与电气工程学院副院长、教授
- 侯为贵** 中兴通讯股份有限公司董事长
- 何士友** 中兴通讯股份有限公司执行副总裁
- 洪 波** 中兴发展股份有限公司总裁
- 纪越峰** 北京邮电大学信息光子学与光通信研究院执行院长、教授
- 江 华** 中兴通讯股份有限公司副总裁
- 蒋林涛** 工信部电信研究院科技委主任、教授级高工
- 雷震洲** 工信部电信研究院科技委副主任、教授级高工
- 李红滨** 北京大学科研部副部长,信息科学技术学院教授
- 李建东** 西安电子科技大学副校长、教授
- 李乐民** 中国工程院院士,电子科技大学通信与信息工程学院教授
- 李融林** 华南理工大学电子与信息学院教授
- 李少谦** 电子科技大学通信抗干扰技术国家重点实验室主任、教授
- 李 星** 清华大学电子工程系教授,CERNET网络中心副主任
- 马建国** 天津大学电子信息工程学院院长、教授
- 孟洛明** 北京邮电大学职称评审委员会主任,学术委员会副主任,网络与交换技术国家重点实验室主任、教授
- 糜正琨** 南京邮电大学通信与信息工程学院教授
- 庞胜清** 中兴通讯股份有限公司高级副总裁
- 史立荣** 中兴通讯股份有限公司总裁
- 孙枕戈** 中兴通讯股份有限公司副总裁
- 孙知信** 南京邮电大学物联网学院院长、教授
- 谈振辉** 北京交通大学原校长,电子信息工程学院教授
- 唐雄燕** 中国联通网络技术研究院首席专家、教授级高工
- 田文果** 中兴通讯股份有限公司执行副总裁
- 童晓渝** 中电科软件信息服务有限公司董事、高级副总裁
- 王 京** 清华大学教授,清华大学信息科学与技术国家实验室副主任
- 王文东** 北京邮电大学网络技术研究院副院长、教授
- 王晓明** 中兴通讯微电子研究院院长
- 王育民** 西安电子科技大学通信工程学院教授
- 韦乐平** 中国电信集团公司科技委主任、教授级高工
- 卫 国** 中国科学技术大学信息科学技术学院教授
- 邬贺铨** 中国工程院原副院长、院士
- 吴克利** 香港中文大学电子工程系教授
- 徐安士** 北京大学信息科学技术学院教授
- 须成忠** 美国韦恩州立大学电子与计算机工程系主任、教授,中科院深圳先进技术研究院首席科学家、云计算中心主任
- 续合元** 工信部电信研究院通信标准研究所总工、教授级高工
- 薛一波** 清华大学CPU&SOC中心副主任,信息技术研究院研究员
- 杨义先** 北京邮电大学信息安全中心主任,灾备技术国家工程实验室主任、教授
- 杨 震** 南京邮电大学校长、教授
- 尤肖虎** 东南大学信息科学与工程学院院长、教授
- 乐光新** 北京邮电大学信息与通信工程学院教授
- 张宏科** 北京交通大学下一代互联网国家工程实验室主任、教授
- 张 平** 北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室主任、教授
- 张同须** 中国移动通信集团设计院副院长兼总工
- 张智江** 中国联合网络通信有限公司网络建设部总经理、教授级高工
- 赵厚麟** 国际电信联盟(ITU)副秘书长、俄罗斯电信科学院院士
- 赵慧玲** 中国电信股份有限公司北京研究院总工程师、教授级高工
- 赵先明** 中兴通讯股份有限公司执行副总裁
- 郑纬民** 清华大学计算机系高性能计算研究所所长、教授,中国计算机学会理事长
- 钟义信** 北京邮电大学计算机学院教授
- 朱近康** 中国科技大学信息科学技术学院教授



目次

中兴通讯技术 总第116期 第20卷 第3期 2014年6月

专题：网络以及功能虚拟化

- 02 网络虚拟化的过去、现在和未来 温涛, 虞红芳, 李乐民
08 网络虚拟化及网络功能虚拟化技术探讨 赵慧玲, 解云鹏, 史凡
12 移动核心网应用 NFV 的关键问题探讨及实践 陈炜, 韩小勇, 尼凌飞
16 无线网络虚拟化架构与关键技术 冯志勇, 冯泽冰, 张奇勋
22 基于软件定义网络的多区域网络虚拟化模型 罗萱, 马塞, 金耀辉
26 弹性光传输基础设施上动态透明虚拟网络嵌入 徐浩煜, 汪亮友, 朱祖勍
32 虚拟网络的服务迁移技术研究 慈松, 于冰, 韩言妮
36 集中与分布: 协同虚拟网络映射 丰旻, 廖建新, 王敬宇

专家视点

- 41 大数据的前世、今生和未来 薛一波

运营应用

- 44 利用后台实时跟踪及多载波解决全覆盖高铁网络质量 梁松柏, 魏宁, 韩广平

研究论文

- 48 CAN 总线通信控制协议的仿真与性能分析 曹剑馨, 梁庚

开发园地

- 52 基于 SBB 2.0 扩展的计算存储融合系统 马千里, 袁磊峰, 王朝营
55 2.65 GHz 双级高效、高增益 F 类开关功率放大器设计 周鹏, 王建利, 邬海峰

系列讲座

- 58 智能无线电技术 (3) 宋腾辉, 奚峥, 林云

综合信息

- 2013 年第 4 季度全球移动数据流量跃增 70% 网速差距大 (11) Gartner: 2014 年全球 IT 支出将稳步增长 3.2% (21) 中国开建世界上最远距离光纤量子通信干线 (43) 宽带论坛: 全球宽带用户数达 6.786 亿 (51)

办刊宗旨

以人为本, 荟萃通信技术领域精英;
迎接挑战, 把握世界通信技术动态;
立即行动, 求解通信发展疑难课题;
励精图治, 促进民族信息产业崛起。

期刊基本参数: CN 34-1228/TN*1995*b*16*64*zh*P* ¥ 20.00*15000*14*2014-06

Contents

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol.20 No.3 Jun. 2014

Special Topic: Network and Function Virtualization

- 02 The Road to Network Virtualization WEN Tao, YU Hongfang, LI Lemin
- 08 Network Virtualization and Network
Function Virtualization ZHAO Huiling, XIE Yunpeng, SHI Fan
- 12 NFV in Mobile Core Network:
Problems and Practice CHEN Wei, HAN Xiaoyong, NI Lingfei
- 16 Architecture and Key Technologies
for Wireless Network Virtualization FENG Zhiyong, FENG Zebing, ZHANG Qixun
- 22 An SDN-Based Multi-Zone Network
Virtualization Model LUO Xuan, MA Sai, JIN Yaohui
- 26 Dynamic Transparent Virtual Network Embedding Based
on Elastic Optical Transport Infrastructure XU Haoyu, WANG Liangyou, ZHU Zuqing
- 32 Main Service Migration Technologies
in Virtual Networks CI Song, YU Bing, HAN Yanni
- 36 Centralization vs. Distribution: Cooperative Virtual
Network Embedding FENG Min, LIAO Jianxin, WANG Jingyu

Expert View

- 41 Big Data: Yesterday, Today, Tomorrow XUE Yibo

Operational Application

- 44 Using Background Real-Time Tracking and Multi-Carrier to Solve the Complete Coverage
High-Speed Railway Quality Problem LIANG Songbai, WEI Ning, HAN Guangping

Research Paper

- 48 Simulation and Performance
of CAN Bus Communication Protocol CAO Jianxin, LIANG Geng

Development Field

- 52 Computing and Storage Convergence System
Based on Extended SBB 2.0 MA Qianli, YUAN Leifeng, WANG Chaoying
- 55 Design of a 2.65 GHz Two-Stage High-Efficiency, High-Gain Class-F
Switching-Mode Power Amplifier ZHOU Peng, WANG Jianli, WU Haifeng

Lecture Series

- 58 Intelligent Radio Technology (3) SONG Tenghui, DOU Zheng, LIN Yun

敬告读者

本刊享有所发表文章的版权,包括英文版、电子版、网络版和优先数字出版版权,所支付的稿酬已经包含上述各版本的费用。

未经本刊许可,不得以任何形式全文转载本刊内容;如部分引用本刊内容,须注明该内容出自本刊。

邮购须知

本刊常年办理邮购订阅业务,欢迎订阅。订阅方法:从邮局汇款至编辑部,在汇款单上将订阅者的详细地址、收件人姓名及联系电话填写清楚,并在汇款单附言栏注明所购杂志期次及数量。

专题：网络以及功能虚拟化

专 | 题 | 导 | 读

随着网络规模的不断扩大以及各种新型应用和服务的大规模部署,现有网络基础设施架构已经无法满足复杂多变的需求,网络僵化现象越发明显。被广泛认为是未来网络发展趋势的网络虚拟化技术为解决当前网络僵化问题提供了一条有效的途径。

网络虚拟化泛指用于抽象物理网络资源的技术。这些技术使物理网络资源池化,进而以逻辑资源方式按需分配给用户,达到资源灵活分割或者合并的目的。用户可以独立地部署和管理他所拥有的虚拟网络,而不用担心业务在物理网络如何承载,也不用担心其自身业务与其他用户的影响和作用。网络虚拟化技术的引入使得网络结构的动态化和多元化成为可能。

网络虚拟化的本质是“资源共享”和“用户隔离”。可共享的“资源”既可以是服务器网卡、交换机端口、物理链路、设备转发能力等物理资源,也可以是IP地址空间、控制通道、网络拓扑等逻辑资源。“用户隔离”根据应用场景的不同也有多种含义。

传统的网络虚拟化技术主要通过扩展已有协议、使用封装或者地址转换技术来实现。这些技术可看作是对现有网络技术的“修补”,使得原本复杂的网络协议变得更臃肿。近年兴起的OpenFlow技术与之掀起的软件定义网络(SDN)浪潮,为网络虚拟化注入新的强劲动力。在SDN中,数据平面与控制平面进行分离后,拥有全局视图的控制器能够直接管控网络行为,更加高效地使用网络资源。

2013年以来,网络功能虚拟化(NFV)成为一个热点。作为网络虚拟化的一个新的分支,其主要目的是加速业务部署和简化网络部署,旨在利用已有的高性能的服务器、交换机和存储设备等代替昂贵的传统网络设备部署网络服务。

这期专题将结合网络以及功能虚拟化的最新发展,探讨网络以及功能虚拟化面临的技术挑战,介绍无线和光网络虚拟化的最新实践进展,并探索多域网络虚拟化技术、服务迁移技术和混合虚拟网络映射技术。这些论文凝聚了作者多年的研究成果和工作经验,希望能给读者有益的启示与参考。在此,对各位作者的积极支持和辛勤工作表示衷心感谢。

虞红芳 李乐民

2014年4月20日

本期专题策划人



虞红芳



李乐民

虞红芳,电子科技大学教授、博士生导师,2009年11月—2010年10月在美国布法罗大学做访问学者,2011年11—12月在香港城市大学做访问学者;目前主要研究方向为网络虚拟化、软件定义网络与云计算等;已承担和参与国家级课题十余项,企业合作项目多项;发表学术期刊论文和会议论文150余篇。

李乐民,交通大学(上海)电机系电讯专业本科毕业;电子科技大学通信与信息工程学院教授、博士生导师,中国工程院院士;现从事通信与信息系统的科研与教学,研究方向为通信网络技术;已发表论文400余篇。

2014年第1—6期专题计划

- 1 社会网络技术、应用与市场**
王玉峰 南京邮电大学通信与信息工程学院教授
- 2 第5代移动通信需求与技术探索**
王京 清华大学信息技术研究院教授
- 3 网络以及功能虚拟化**
虞红芳 电子科技大学通信与信息工程学院教授
李乐民 电子科技大学通信与信息工程学院院士
- 4 智慧城市**
祁庆中 上海信天通信有限公司总经理
- 5 下一代无源光网络技术与应用**
陈雪 北京邮电大学信息光子学与光通信研究院教授
- 6 可见光通信技术**
陈建平 上海交通大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室教授

网络虚拟化的过去、现在和未来

The Road to Network Virtualization

中图分类号: TN915 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0002-06

摘要: 网络虚拟化过程中主要诞生过4类过渡技术: 虚拟局域网(VLAN)、虚拟专用网络(VPN)、主动可编程网络(APN)、覆盖网络。网络虚拟化的研究现在主要集中于3个领域: 云计算应用、平台化实现、软件定义网络。认为网络虚拟化的未来在性能保障、可靠性、易用性和完备性等方面需要加强, 为此未来的网络虚拟化需要优化自身服务结构, 并向无线网络、光网络等领域推广, 此外还需要提供更加友好的可编程接口(API)以及网络功能。

关键词: 网络虚拟化; 云计算; 软件定义网络; 网络功能虚拟化

Abstract: Four transitional steps have been taken on the road to network virtualization: local area network, virtual private network, active and programmable network, and overlay network. Current work focuses on how network virtualization is applied in cloud computing, platform realization, and software-defined networks. However, in the future, performance needs to be guaranteed, and the reliability and completeness of network virtualization need to be improved. Therefore, we should optimize the structure of service, expand network range to wireless & optical network, and make the application programming interfaces and network functions more user-friendly.

Key words: network virtualization; cloud computing; software defined networks; network function virtualization

温涛/WEN Tao
虞红芳/YU Hongfang
李乐民/LI Lemin

(电子科技大学 光纤传感与通信教育部重点实验室, 四川 成都 611731)
(Key Lab of Optical Fiber Sensing and Communications (Ministry of Education), University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, 611731, China)

互联网从诞生至今已经有40余年, 在科学技术和日常生活中都取得了巨大的成功, 如今它的踪影已经遍布我们生活的各个角落。然而随着应用规模的不断扩大, 互联网本身的僵化现象也越发明显。一方面, 互联网的核心架构多是基于早期的设想构建起来的, 已经难以满足现在复杂多变的网络需求; 另一方面, 互联网的基础服务提供商构成复杂, 他们之间存在的利益冲突也使得任何新的网络技术或对现有技术的重

大调整都变得异常困难^[1-3]。为了克服解决这些问题, 人们付出了很多的努力, 这也为网络虚拟化(NV)的诞生和发展创造了坚实的条件。

与服务器虚拟化类似, 网络虚拟化旨在在一个共享的物理网络资源之上创建多个虚拟网络(VN), 同时每个虚拟网络可以独立地部署以及管理^[4]。网络虚拟化概念及相关技术的引入使得网络结构的动态化和多元化成为可能, 被认为是解决现有网络体系僵化问题, 构建下一代互联网最好的方案^[1-3]。然而网络虚拟化技术体系庞大, 涉及领域众多, 易于让人产生认识上的困惑, 因此对于网络虚拟化的合理定义就显得尤为重

要。作为虚拟化技术的分支, 网络虚拟化本质上还是一种资源共享技术。有鉴于此, 网络虚拟化应当泛指任何用于抽象物理网络资源的技术, 这些技术使物理网络资源功能池化, 达到资源任意的分割或者合并的目的, 用以构建满足上层服务需求的虚拟网络。

网络虚拟化的一般结构如图1所示。在这种架构之下, 用户可以根据需要定制自己的网络, 用户的需求会被一个虚拟网络层接纳, 虚拟网络层完成需求到底层资源的映射, 再将网络以服务的形式返回给用户。这种模式很好地屏蔽了底层的硬件细节, 简化了网络管理的复杂性, 提升了网络服务的层次和质量, 同时也提高网络资源的利用率。

1 网络虚拟化的过去

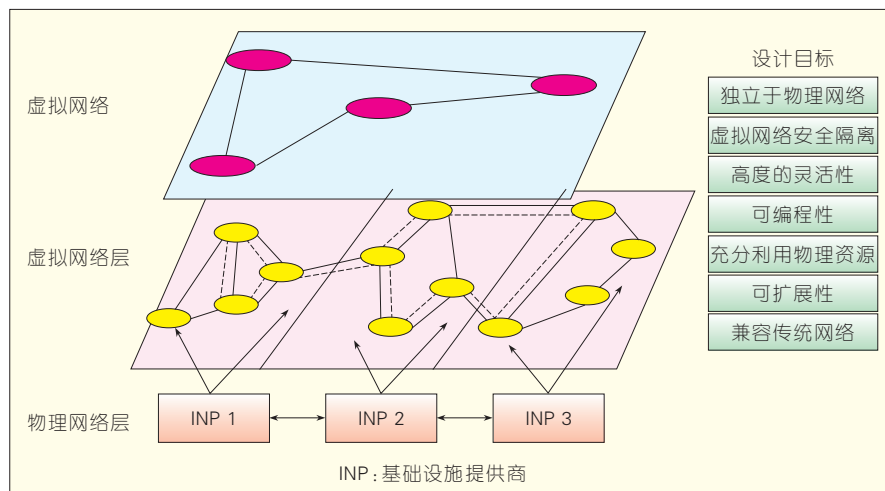
1.1 历史上网络虚拟化技术

网络虚拟化作为一个单独的概念存在并没有多长时间, 其背后的技术发展却是有了相当的积淀。网络虚拟化发展历程如图2所示。回顾整个互联网的发展过程, 就可以清楚

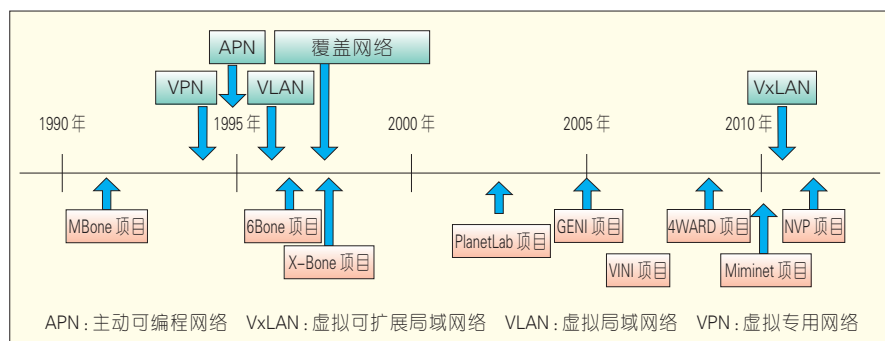
收稿日期: 2014-03-06

网络出版时间: 2014-04-29

基金项目: 国家重点基础研究发展(“973”)计划(2013CB329103); 国家自然科学基金(61271171、61272462)



▲ 图1 网络虚拟化结构



▲ 图2 网络虚拟化发展历程

地发现人们早就意识到了网络服务与硬件解耦的必要性,也因此诞生许多过渡的技术,其中最重要的4类分别是:虚拟局域网(VLAN)、虚拟专用网络(VPN)、主动可编程网络(APN)、覆盖网络。

(1) 虚拟局域网

VLAN^[5]是一种通过将局域网内的设备逻辑地而不是物理地划分成一个个网段从而实现虚拟工作组的技术。在传统的以太网中,单一的广播域使得网络对于资源的管理手段有限。VLAN技术的出现使得网络管理人员可以将同一物理局域网内的用户划分到不同的逻辑子网中,具有加强广播控制、简化网络管理、降低建设成本、提高网络安全等方面的作用。VLAN技术的实现方式也是纷繁多样,包含基于端口、基于媒体访问控制(MAC)、基于IP甚至是基于用

户自定义的实现方式。IEEE 802.1Q协议的发布统一了不同厂商的标签格式,进一步完善了VLAN的体系结构,也加速了VLAN的发展。

(2) 虚拟专用网络

VPN^[6]是指在公用网络上建立起来的“虚拟”的专用网络,它的任意两个节点间并无传统专用网络所需要的端到端的物理链路,而是构建在公用网络供应商所提供的物理网络之上,通过隧道技术实现站点间的互联,以达到共享物理网络资源的目的,所以说它是一种逻辑网络。VPN通常用于一些组织或者公司来互连它们的子部门,也可以用于个人远端接入公司内部网络。按照互连方式可以将VPN划分为3大类:一层VPN、二层VPN和三层VPN,其中二层VPN和三层VPN技术已经相当成熟并被广泛应用,而一层VPN才刚刚

起步。

(3) 主动可编程网络

APN技术是希望将物理网络的资源通过网络可编程接口(NAPI)的形式暴露出来,使得用户可以自定义指定报文的处理方式。APN实现方式上主要有两大类,第一类是利用电信技术中的信令方式将网络中传输和控制层面区分开来,抽象出来的控制层面就可以开放网络的可编程接口,允许服务提供者控制网络的状态;第二类则是利用网络本身的资源,将控制信息封装在报文内部,路由器在收到报文时再按照其带内信息处理,达到自定义处理报文的目的。不难看出,第二类在报文级粒度的处理带给APN更多的灵活性,更加适应复杂的网络模型。

(4) 覆盖网络

覆盖网络是构建在已有网络上的一个逻辑网络,利用隧道或封装等技术将感知节点互连起来,报文只在感知节点上处理,而在感知节点之外透明的传输。在覆盖网络中,虚拟的是网络的拓扑,所有的感知节点以及它们之间的联系构成了这个逻辑拓扑。覆盖网络技术无需特定的底层网络支持,也不需要改变网络的任何特性,因此常常被用于部署新的网络服务或者优化现有网络服务。

1.2 具有代表性的网络虚拟化项目

网络虚拟化的发展其实还得益于众多相关项目的支持。这些项目多是为测试和实验而搭建的网络平台,与针对具体问题产生的技术相比,它们更加完整地实现了网络虚拟化的构想。其中最具有代表性的是X-Bone^[7]、PlanetLab^[8]和GENI^[9]。

(1) X-Bone

排除早期的MBone和6Bone,X-Bone算是第一个比较成熟和完整的网络虚拟化实现工具。X-Bone主要采用封装技术实现虚拟网络,后来扩展成为了虚拟互联网(VI),即由一组虚拟主机和虚拟路由器以及连接其

中的隧道链路构成的IP网络,支持动态资源的发现、部署和监控功能。VI能虚拟出因特网的所有部件:主机、路由器,以及它们之间的链路,做到了覆盖网和底层物理网络的完全解耦,支持并发性、递归性和可恢复性。可恢复性的支持则要求因特网主机和路由器支持基于入端接口的分组和转发。

(2) PlanetLab

PlanetLab是普灵斯顿大学牵头创建的一个网络研究测试平台,主要用于计算机网络和分布式系统的研究,旨在提升互联网的智能化和适应力,它也是现如今影响最为广泛的网络虚拟化项目。PlanetLab的目标是创建一个面向服务的网络架构,融合分布式系统和网络系统的优点。其覆盖网包括两个主要的组件:运行于每个节点的虚拟机监视器,提供面向抽象资源的控制接口;用于控制覆盖网的管理服务。PlanetLab基于4个设计原则建立:第一,支持分层,即每个应用程序请求并运行在覆盖网的单个切片上;第二,支持高度去中心化的控制结构,使结点能依照本地策略执行命令;第三,覆盖网管理被分成多个子服务运行在各自的切片上,而非处于中心的单个管理服务;最后,覆盖网支持已有的编程接口,通过内部改动保持可编程接口(API)的不变性,确保服务开发的长期性而非临时性的测试。

(3) GENI

GENI是由美国国家科学基金会发起的一个全球范围的网络虚拟化项目,旨在集合原有的网络虚拟化技术成果来建立一个更为开放和大规模的网络测试平台,为探索下一代互联网提供条件。GENI的主要设计目标包括:可分层式资源共享,普适性(为研究者提供灵活的初始化平台)、精确性、多样性和可扩展性,受控的独立性和具备监视设备的能力。GENI提出了通过对资源在时间和空间上分片来实现虚拟化。为了平衡

性能,GENI对两种虚拟化方案进行了折中。若有充足的容量支持部署研究,则采用基于时间分片;否则,从空间上分配资源,优先满足高优先级的项目,而非让所有人都得到资源。

2 网络虚拟化的现在

早期的网络虚拟化的相关工作多在解决一些具体的问题,欠缺完整的技术体系与合理的组织结构。现在的网络虚拟化,一方面借助于云计算的平台来全面展示其优异的性能;另一方面整合自身的体系结构,以平台化的方式提供更为友好全面的服务。除此之外,软件定义网络(SDN)的兴起也为网络虚拟化提供了一个新的思路,如何利用SDN去实现网络虚拟化已然成为了一个热门的话题。

2.1 网络虚拟化与云计算

一直以来网络虚拟化都缺少一个杀手级的应用,云计算的出现对于网络虚拟化来说是一次千载难逢的机会。首先,云计算对于网络性能以及结构上的复杂要求恰恰是网络虚拟化追求的目标,二者在思想上天然的契合;其次,网络虚拟化与云计算中大量使用的服务器虚拟化可以有效地配合,二者在技术上可以完美地互补。

目前关于两者的研究主要集中在联合部署服务的架构方面,一种面向服务的层次结构(SOA)^[10]如图3所

示。在这种结构中,底部是资源层,它由网络和云计算的物理基础架构组成。在资源层之上是网络虚拟化层,在这一层中,基于SOA的网络虚拟化将封装不同的网络基础设施资源并将其转化为网络服务,而通过云计算基础设施供应商提供的计算资源将被抽象为符合SOA架构的云服务。服务供应层位于虚拟化层之上,这一层用于发现及选择网络服务和云服务,并将其聚合为网络-云混合服务,用以满足终端用户的需求。在这个结构下,网络资源的虚拟、访问和管理以及在云系统中的CPU能力和内存/磁盘空间等计算资源都是通过统一的机制来进行管理。因此,在这个基于SOA的架构下,网络资源可以被视为商品组件的一部分和云服务一起聚合成一种混合的网络-云服务结构。

2.2 网络虚拟化平台化

网络虚拟化本身的功能虽然已经相当齐备,然而各类技术都存在着一定的局限性,需要对网络虚拟化技术进行统一整合。这方面的主要成果主要来自产业界,其中Nicira公司的NVP^[11]、Cisco公司的OnePK^[12]以及Juniper公司的Junosphere^[13]平台最具代表性。

(1) NVP

Nicira公司的NVP是一个纯软件实现的产品,它将网络的控制功能从

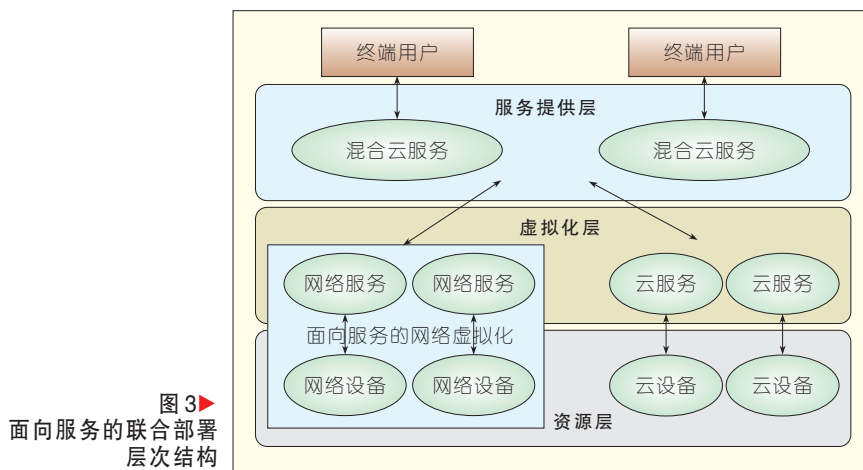


图3 面向服务的联合部署层次结构

底层的网络硬件中解耦出来,交由虚拟的网络层面处理。NVP架构如图4所示。在这个虚拟的网络层面上,NVP重构了整个网络。这种网络的虚拟化极大地简化了网络的构建和管理,已经在AT&T、eBay、Fidelity Investments、NTT和Rackspace等公司广泛应用。NVP两大核心的组件分别是OpenvSwitch和中心控制器。OpenvSwitch是一种开源的虚拟交换机,在NVP中被部署在现有网络的周围,实现物理网络资源虚拟化。中心控制器控制着所有的OpenvSwitch节点和网络连接,并将虚拟化后的网络资源以API的形式暴露出来。NVP具有良好的独立性,不需要更改现有的网络中的服务架构和配置方案,同时,它的实现完全依赖于软件模型,无需特定的硬件支持,这些都有效地推动了其发展。

(2) OnePK

Cisco公司 OnePK是一套方便开发者在Cisco的设备上自动部署服务的工具。OnePK架构如图5所示。借助于Cisco的路由器和交换机的可编程性,OnePK可以让网络高效地适应变化的应用需求,提供更高灵活性的同时,降低了运营维护的成本,让网络的性能充分释放出来。OnePK的架构中包含3个主要组件:表示层、OnePK API和通信信道。表示层由北向API库组成,供应用开发人员使用,其中包含针对特定网络的独立API。OnePK API指的是OnePK面向底层设备的南向API,它的作用是抽象统一化因系统和平台不同而带来的硬件差异。通信信道处于前两者之间,包含认证和管理功能,提供上层应用到下层设备之间的一个快速、安全的通道。OnePK支持包括C、Java、Python、REST等多种开发语言以及不同的部署模式,提供的API兼容所有的Cisco设备(目前也只适用Cisco设备)。

(3) Junosphere

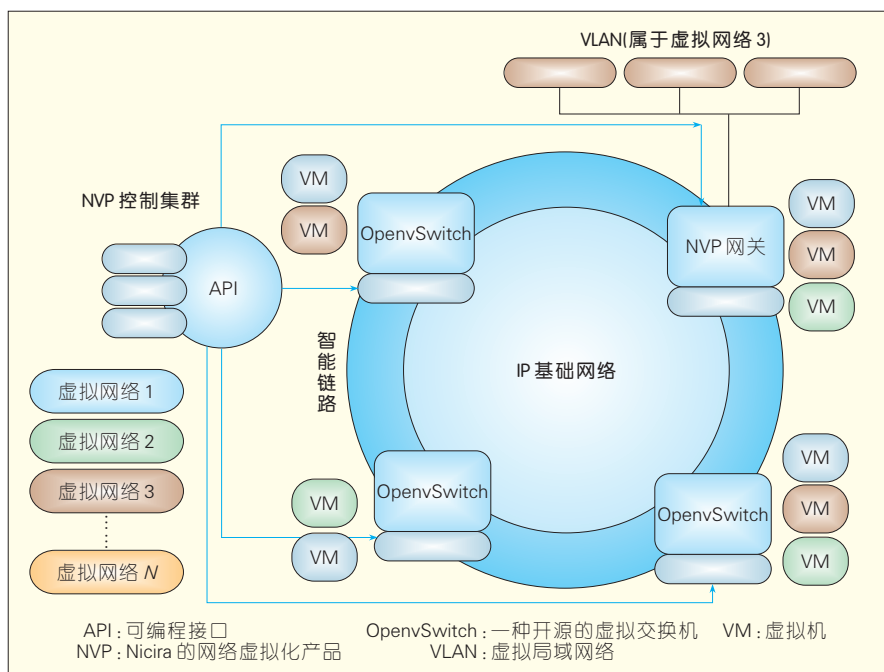
Juniper公司的Junosphere是一套

借助于云计算架构实现的虚拟网络平台,其完全依托于自身的基础设施,对外提供Web访问服务。Junosphere架构如图6所示。在Junosphere云中,用户可以方便地创建和运行虚拟网络,扩展网络规模也无需额外的配置工作。Junosphere从硬件到软件都是封闭的,以牺牲一定灵活性的代价换来了更安全可靠的服务保障,能够更好的满足商业级的应用。

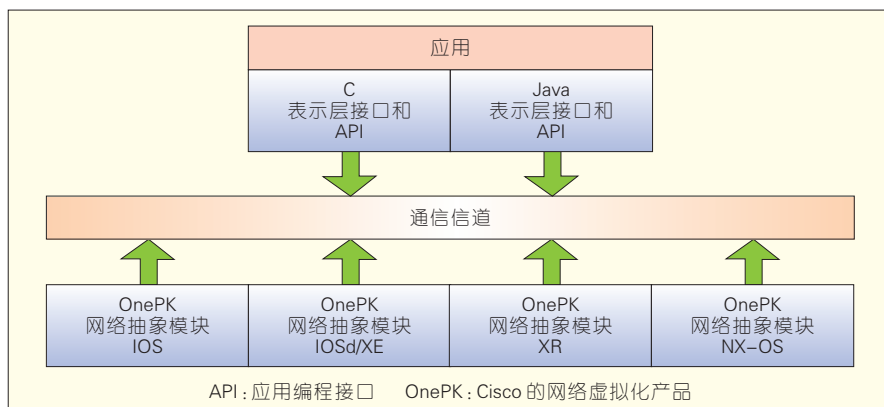
2.3 网络虚拟化与SDN

网络虚拟化与SDN因为存在许

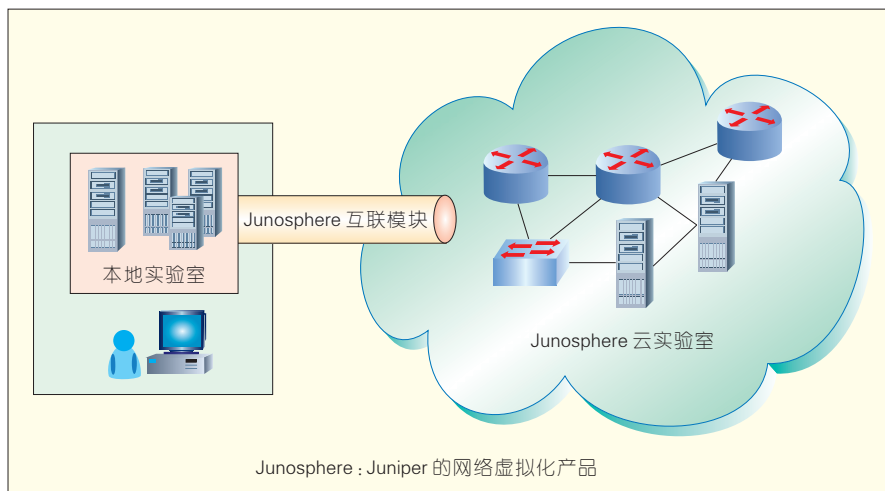
多类似的地方而常常被人混淆,其实SDN要做的是从底层数据平面分离出一个逻辑的中心控制平面,而网络虚拟化根据逻辑网络对底层网络进行抽象,两者并非一个概念^[14]。不过思想上的相似性确是加强了它们之间的联系。首先,SDN作为重构网络的技术被认为是实现网络虚拟化的一种有效的手段,如上文中提及的Nicira公司的NVP完全就可以按照SDN的方式进行部署;其次,SDN网络的性能测试可以借助于已有的网络虚拟化工具如Mininet实现;最后,网络虚拟化可以通过虚拟SDN交换



▲图4 NVP架构



▲图5 OnePK架构



▲图6 Junosphere 架构

机(事实上就是一些流表)来实现节点虚拟化。

利用SDN去部署实现网络虚拟化之所以得到越来越多的重视,更重要的原因是在于SDN优良的结构体系。两层分立的模型使得SDN可以实现两种不同级别的网络虚拟化,即数据平面虚拟化和控制平面虚拟化,区别在于后者实现了SDN的控制器部分的虚拟化,从而能够提供功能更加强大的API。目前SDN在支持虚拟化方面还存在着一些问题,首先是SDN本身的问题,SDN控制器虽然强大,但是中心化的特征很容易使其成为整个网络的性能“瓶颈”,而且也容易产生安全隐患,如何去中心化(如采用控制器分布式部署或多控制器备份机制)是SDN实际部署网络虚拟化首先要完成的任务;其次,SDN是基于流的方式实现网络的功能,要实现网络虚拟化中对于网络资源的隔离的需求就要实现流的有效隔离,在这一方面SDN还有待加强;最后,在网络虚拟化中,不同的流的服务质量(QoS)要求差异巨大,SDN需要区分服务,避免时延要求高的流进入控制器部分。

目前许多的主流的SDN控制器,如OpenDaylight、OpenContrail等都宣称支持网络虚拟化,像Flowvisor、FlowN以及Advisor等更是专门为实现

网络虚拟化开发的SDN组件。

3 网络虚拟化的未来

回顾发展历程以及当下的研究热点,不难发现网络虚拟化的一个明显的趋势:技术作为支持被模糊化,服务作为核心被抽象出来。这主要是受到云计算中的一切即服务(XaaS)思想的影响。现在的网络虚拟化还仅仅是为了支持其他服务而存在的底层支撑,它的许多能力因为复杂的特性无法完全展现出来。未来的网络虚拟化应该向着网络即服务(NaaS)的方向发展,底层的硬件被统一抽象功能化,对外暴露给用户的就是一系列的API。用户不再像以前只能使用网络,而无法操作网络本身,这对于定制个性化的网络意义重大,而API的访问机制也可以保证了服务的高效性和安全性。随着工业化与信息化融合进程的快速推进以及物联网、云计算等技术的规模发展,IP网络规模、业务规模和用户规模势必将进一步扩大,未来网络虚拟化在打造智能高效的网络服务方面必定大有可为。

网络虚拟化在无线网络和光网络中的推广是其发展的另一个趋势。作为传统网络的重要组成部分,无线网络和光网络的虚拟化必将能进一步提供网络虚拟化的实用价

值。不过因为物理资源上的特殊性,它们在网络虚拟化的实现上存在着不小的差异。在无线网络领域,网络虚拟化的实现主要有3种思路:基于数据和流的实现、基于协议的实现、基于频谱的实现。3种思路对虚拟化实现的粒度越来越细,难度也越来越大。在光网络领域,虚拟化的实现则分为3个部分:光交叉连接器(OXC)和单波长级光信号交换的设备(ROADM)的虚拟化、次波长交换虚拟化、光链路的虚拟化。

网络功能虚拟化(NFV)^[15-16]是2013年初才提出的一个新概念,作为网络虚拟化的一个新的分支,其主要目的是简化网络部署,旨在利用已有的高性能的服务器、交换机和存储设备等代替昂贵的传统网络设备部署网络服务。就目前来看,网络功能虚拟化可以看作是网络虚拟化中节点虚拟化的一种实现思路,利用已有的服务器虚拟化技术和过剩的服务器资源来实现虚拟网络中的功能节点可以说是一举多得。不过未来,网络功能虚拟化的含义不会止步于此,在服务化的思路里,一个虚拟网络就是一个网络功能。网络功能虚拟化可以站在一个全新的高度去指导和管理网络虚拟化所产生的虚拟网络资源。原则上,该技术可运用到固定和移动网络的任何数据处理层面和控制层面。T-NOVA^[17]项目是FP7支持的NFV项目,其主张利用NFV为用户提供自定义的网络功能,进行增值服务的部署,达到NFVaaS的目标。

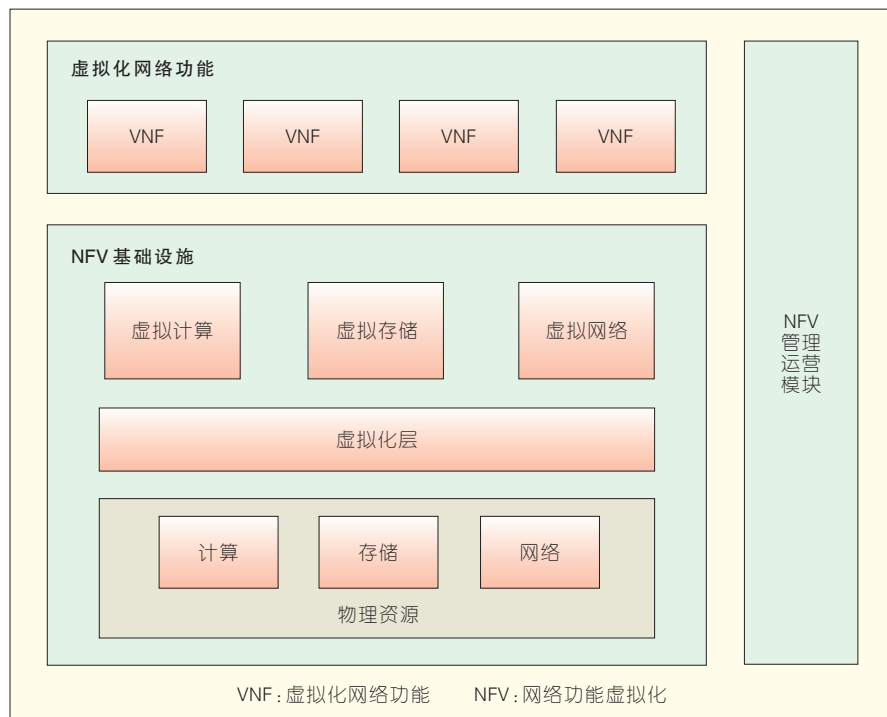
NFV的架构如图7所示。其定义了3个主要的工作领域:

(1) 虚拟化网络功能

虚拟化网络功能(VNF)即能够运行在网络功能虚拟化基础设施(NFVI)中的软件部署的网络功能。

(2) 网络功能虚拟化基础设施

网络功能虚拟化基础设施(NFVI)也包括了相应的物理资源以及如何将这些资源进行虚拟化的策略,同时NFVI支持VNF的执行。



▲图7 NFV架构

(3) NFV的管理运营模块

NFV的管理运营模块同时包括了对支持设施虚拟化的物理以及软件资源和VNF的管理以及规划,它的重点是管理和规划整个NFV架构中需要进行虚拟化的任务和进程。

作为一个新兴的概念,其标准化的过程才刚刚开始,技术方面也有待完善。然而按照目前的发展势头来看,NFV在内容分发网络(CDN)、IP多媒体子系统和虚拟路由器/安全网关等领域将大有可为。

4 结束语

网络虚拟化在技术和项目领域的积淀已经相当深厚,当下云计算、平台化实现以及SDN等相关领域的研究也异常火热。不过,网络虚拟化在性能保障、可靠性、易用性和完备性等方面需要加强。未来的网络虚拟化需要优化自身服务结构,并向无线网络、光网络等领域推广,同时还要提供更加友好的API以及网络功能。网络虚拟化在发展过程中存在的许多关键问题还没有令人满意的

解决方案,值得进一步研究。作为未来互联网发展的一个重要方向,网络虚拟化必将网络结构、服务等领域造成深远的影响。

参考文献

- [1] CHOWDHURY N M K, BOUTABA R. Network virtualization: state of the art and research challenges [J]. Communications Magazine, IEEE, 2009, 47(7):20-26.
- [2] CHOWDHURY N M, BOUTABA R. A survey of network virtualization [J]. Computer Networks, 2010, 54(5): 862-876.
- [3] WANG A, IYER M, DUTTA R, et al. Network Virtualization: Technologies, Perspectives, and Frontiers [J]. Journal of Lightwave Technology, 2013, 31(4): 523-537.
- [4] KHAN A, ZUGENMAIER A, JURCA D, et al. Network virtualization: a hypervisor for the Internet? [J]. Communications Magazine, IEEE, 2012, 50(1): 136-143.
- [5] COMMITTEE L S. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Virtual Bridged Local Area Networks [S]. IEEE Std 802.1Q-2005, 2006.
- [6] FERGUSON P, HUSTON G. What is a VPN? [R]. Tech. Rep., Cisco Systems, 1998.
- [7] TOUCH J, HOTZ S. The X-Bone [C]// Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Sydney, 1998, 1: 44-52.
- [8] PlanetLab: An open platform for developing, deploying, and accessing planetary-scale services [EB/OL]. (2014-03-01). <http://www.planet-lab.org/>.

- [9] GENI: Global Environment for Network Innovations [EB/OL]. (2014-03-01). <http://www.geni.net/>.
- [10] DUAN Q, YAN Y, VASILAKOS A V. A survey on service-oriented network virtualization toward convergence of networking and cloud computing [J]. Network and Service Management, IEEE Transactions on, 2012, 9(4): 373-392.
- [11] Nicira. It's time to virtualize the network [EB/OL]. (2014-03-01). <http://nicira.com/en/network-virtualization-platform>.
- [12] Cisco OnePK [EB/OL]. (2014-03-01). <http://www.cisco.com/c/en/us/products/ios-nx-os-software/onepk.html>.
- [13] Juniper Junosphere [EB/OL]. (2014-03-01). <http://www.juniper.net/us/en/products-services/software/junos-platform/junosphere/>.
- [14] DRUTSKOY D, KELLER E, REXFORD J. Scalable network virtualization in software-defined networks [J]. IEEE Internet Computing, 2013, 17(2):20-27. doi: 10.1109/MIC.2012.144.
- [15] Network Functions Virtualisation [R]. Introductory White Paper. SDN and OpenFlow World Congress. October 22-24, 2012.
- [16] NFV. Network Functions Virtualisation (NFV): Architectural Framework [R]. Technical Body: NFV, 1998.
- [17] T-NOVA [EB/OL]. (2014-03-01). <http://www.t-nova.eu/>.

作者简介



温涛, 电子科技大学光纤传感与通信教育部重点实验室在读博士研究生; 主要研究领域为网络虚拟化、云计算与数据中心网络。



虞红芳, 电子科技大学教授、博士生导师; 研究方向为网络虚拟化、软件定义网络、云计算、星地融合光网络、网络生存性等。已发表学术论文70余篇, 国际会议论文30余篇。



李乐民, 中国工程院院士、中国通信学会会士; 研究方向为通信网络技术, 包括光纤通信网技术、无线移动通信网技术、IP网络技术、新一代网络技术; 已发表学术论文400余篇, 专著4部。

网络虚拟化及网络功能虚拟化 技术探讨

Network Virtualization and Network Function Virtualization

中图分类号: TN915 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0008-004

摘要: 对网络虚拟化及网络功能虚拟化的需求及热点技术进行分析, 并提出在运营商网络中的典型应用场景: 数据中心网络、移动核心网络、家庭网络。数据中心网络虚拟化可灵活实现不同租户的安全、流量、性能策略, 实现网络自动配置; 演进分组核心网网元虚拟化通过网络功能虚拟化实现不同种类网络硬件架构的统一, 解决容量增加带来的成本问题, 解决业务灵活部署和增强的问题; 家庭网络虚拟化可简化用户侧设备, 通过减少用户终端设备的维护和升级进而降低运营成本, 并提高业务部署的灵活性。

关键词: 网络虚拟化; 网络功能虚拟化; 叠加网络; 虚拟可扩展局域网; 业务链

Abstract: This article provides some ideas for network virtualization and network function virtualization. It describes three typical scenarios of these topics in a carrier's network, including data center network(DCN), evolved packet core network (EPC), and home network (HN). DCN virtualization provides better security, throughput, and performance for multiple tenants, and the network can be configured automatically. EPC virtualization enables different types of network equipment be consolidated in order to reduce TCO. Through dynamic network reconfiguration, it also enables higher service availability and resiliency for end users. HN virtualization can simplify user equipment and reduce OPEX by eliminating the need to constantly maintain and upgrade the CPEs. HN virtualization also makes service deployment more flexible.

Key words: network virtualization; network functions virtualization; overlay network; VXLAN; service chaining

赵慧玲/ZHAO Huiling

解云鹏/XIE Yunpeng

史凡/SHI Fan

(中国电信股份有限公司北京研究院, 北京 100035)

(China Telecom Beijing Research Institute, Beijing 100035, China)

营商的角度出发提出的一种软件和硬件分离的架构, 主要是希望通过标准化的 IT 虚拟化技术, 采用业界标准的大容量服务器、存储和交换机承载各种各样的网络软件功能, 实现软件的灵活加载, 从而可以在数据中心、网络节点和用户端等不同位置灵活的部署配置。

1.2 对运营商的驱动力

(1) 市场竞争驱动

OTT (Over the Top) 的出现, 使得网络运营商需要面对互联网服务商和应用提供商的激烈竞争, 运营商的领地已经变成一片红海, 运营商提供增值服务变得异常困难^[3]。网络虚拟化及网络功能虚拟化技术能够支持网络设备中的软件按需进行安装、修改和卸载, 实现业务的灵活扩展, 运营商在此基础上可以快速提供各种差异化的应用和服务, 以应对 OTT 的挑战。

(2) 业务运营驱动

在运营商网络中, 网络资源配置复杂, 效率较低。网络虚拟化及网络功能虚拟化可以实现网络业务的自

1 网络虚拟化及网络功能虚拟化

1.1 技术简介

网络虚拟化 (NV) 的概念很早就已经提出, 但具体定义在业界还存在较多争议。目前通常认为网络虚拟化是对物理网络及其组件 (比

如交换机、端口以及路由器) 进行抽象, 并从中分离网络业务流量的一种方式。采用网络虚拟化可以将多个物理网络抽象为一个虚拟网络, 或者将一个物理网络分割为多个逻辑网络。网络虚拟化打破了网络物理设备层和逻辑业务层之间的绑定关系, 每个物理设备被虚拟化的网元所取代, 管理员能够对虚拟网元进行配置以满足其独特的需求。

网络功能虚拟化 (NFV)^[1-2]是由欧洲电信标准组织 (ETSI) 从网络运

收稿日期: 2014-02-25

网络出版时间: 2014-04-29

基金项目: 国家高技术研究发展 (“863”) 计划 (2011AA01A110); 国家高技术产业发展项目 (发改办高技[2012]1763号)

动化灵活配置,如虚拟局域网(VLAN)创建、数据中心多租户配置、网络负载均衡和防火墙策略配置等,有助于运营商提升配置和维护效率,缩短新业务部署的时间,并降低开展新业务的风险。

(3) 建维成本驱动

通过网络虚拟化及网络功能虚拟化,运营商可以很容易在网络设备基础之上构建多种虚拟网络环境,为不同用户提供服务,从而最大程度地提高网络资源利用率;另一方面,网络虚拟化及网络功能虚拟化对网络设备实现了通用化和统一化,运营商能够进一步减少网络设备的投资维护成本以及设备能耗。

2 网络虚拟化及网络功能虚拟化热点技术分析

传统的网络虚拟化技术以VLAN与虚拟专用网(VPN)为代表,通过协议封装在物理网络上提供互相隔离的虚拟专用网络。随着软件虚拟化、软件定义网络(SDN)等技术的发展,利用分布式的软件技术实现网络功能集的合理抽象、分割以及灵活调度逐步成为网络虚拟化及网络功能虚拟化的主流实现模式。现阶段,叠加(Overlay)组网技术、虚拟化流量调度技术、虚拟集群及组网技术等是网络虚拟化及网络功能虚拟化技术的主要研究热点。

2.1 叠加组网技术

在网络技术领域,Overlay指的是一种在网络架构上进行叠加的虚拟化技术模式,其大体框架是对基础网络不进行大规模修改的前提下,实现应用在网络上的承载,并能与其他网络业务分离,目前主要应用于数据中心内部网络的大规模互联,主流技术包括:

(1) 虚拟可扩展局域网

虚拟可扩展局域网(VXLAN)是网络虚拟化的重要技术,目前是因特网工程任务组(IETF)标准草案的一

个子集。VXLAN通过在三层网络上借助MAC-in-UDP封装叠加一个二层网络来实现网络虚拟。每一个VXLAN划分是利用24比特的VXLAN网络标识符(VNI)来标识的。VXLAN封装允许二层与任何端点进行通信,只要该端点在同一个VXLAN网段内即可,即便这些端点是在不同的IP子网内也没有关系,从而解决了交换机出现媒体访问控制(MAC)地址表容量受限问题。

(2) 通用路由封装的网络虚拟化

通用路由封装的网络虚拟化(NVGRE)用RFC 2784^[4]和RFC 2890^[5]所定义的通用路由封装(GRE)隧道协议来创建独立的虚拟二层网络。NVGRE中地址的学习是通过控制平面实现的,但是目前NVGRE还没有地址学习的具体实施方案。相对VXLAN,NVGRE在负载均衡方面有天生的缺陷,无法基于GRE键值实现负载均衡。此外,由于建立的是端到端的隧道,因此隧道的数量随终端数量增加以平方速率上升,导致维持隧道的开销极大。

(3) 无状态传输隧道

无状态传输隧道(STT)也是在二层/三层物理网络上创建二层虚拟网络的一种Overlay技术。在技术上,STT和VXLAN之间有很多相似之处,如,隧道端点都是由超级管理程序(Hypervisor)vSwitch提供的,虚拟网标识(VNID)的长度都是24位,可通过控制传输源包头发挥多路径优势。不同的是STT把数据帧先进行分割再封装,可以充分利用网卡的硬件加速功能来提升效率。另外,由于STT技术将原STT包伪装成了传输控制协议/网间协议(TCP/IP)包,而在传输控制协议(TCP)包头中又没有维护TCP状态信息,如果发生丢包不会进行重传,因此STT建立的是不可靠的隧道。

2.2 虚拟化资源调度技术

虚拟化资源调度技术借助SDN、

NFV等理念实现对网络流量、业务功能等资源的虚拟化和智能调度。主要包括虚拟化流量调度和业务链。

(1) 虚拟化流量调度

虚拟化流量调度技术通过虚拟化技术突破目前IP网络分布式路由选路的局限,利用集中式路由计算与流量调度,实现全网流量动态均衡与网络结构优化。虚拟化流量调度技术主要应用于IP骨干网,重点包括如何合理定义IP路由功能集的抽象、集中式路由决策系统实现方式、集中式系统的可靠性以及该种模式下的保护路径计算实时性算法等。目前虚拟化流量调度技术在朝着与SDN等新技术结合的方向发展,如通过新增路径计算单元/控制器(PCE/Controller)系统来实现集中式路由决策系统。

(2) 业务链

网络中的虚拟防火墙、负载均衡器、网关等业务处理功能被称为业务功能点,而流量经过一系列的业务功能点的处理,就形成了业务链^[6]。与虚拟化流量调度不同,业务链更侧重于解决虚拟网络中如何通过控制服务器对网络流量转发进行编程控制,将流量灵活的调配到某个或某些个业务功能点进行处理,为用户无缝交付网络服务。在SDN及NFV的推动下,业务链备受关注,其发展前景被普遍看好。

2.3 虚拟集群技术

虚拟集群指通过虚拟化技术将网元或其内部组件进行逻辑组合,以满足各类运营管理需求。现阶段,同构虚拟集群和异构虚拟集群技术是虚拟集群的研究重点。

(1) 同构虚拟集群

同构虚拟集群通过控制平面扩展,将多台相同类型的物理设备虚拟成单台逻辑设备,通过资源控制器实现多台物理设备的资源共享与灵活调度。采用池化技术的设备拥有单一的控制与管理平面,对外采用唯一

标识。相对于原物理设备,在设备容量与可靠性方面有显著提升。该技术主要应用在骨干网,解决核心节点单机转发和吞吐能力不足的问题,同时在IP网络中的多业务边缘路由器(MSE)池化、核心网中的移动性管理实体(MME)池化等方面也有应用的需求。

(2) 异构虚拟集群

异构虚拟集群主要通过分布式技术实现不同类型设备的整合,可进一步减少管理/配置网元类型和数量,从而提升业务和网络的部署效率与灵活性。目前研究重点是接入控制设备+交换机/光线路终端(OLT)、接入控制设备+家庭网关以及路由器+光传送网(OTN)的虚拟集群等。

3 网络虚拟化及网络功能虚拟化的典型应用场景

在市场竞争、业务运营以及建维成本等多方面驱动下,运营商在网络虚拟化及网络功能虚拟化方面也在积极研究和探索,并在一些已有明确业务需求的场景(如数据中心网络、移动核心网络、家庭网络等)中尝试引入。

3.1 数据中心网络

数据中心网络虚拟化可通过Overlay方式全面屏蔽底层物理网络设施,以软件方式实现底层物理网络的共享和租户隔离,实现针对每个租户的单独网络定义(组网、流量控制、安全管理等),云数据中心资源管理平台通过应用编程接口(API)接入SDN控制器,通过可编程方式实现多租户网络的灵活部署(包括跨数据中心部署)^[7-8]。其应用场景如图1所示^[9]。

数据中心网络虚拟化方案无需依赖底层网络,可以灵活实现不同租户的安全、流量、性能等策略,实现多租户模式,基于可编程能力实现网络自动配置^[10]。但是引入Overlay后可能使得网络架构复杂化,并且物理网络无法感知逻辑网络,而通过软件控

制逻辑网络也会对网络性能产生一定影响。

3.2 演进分组核心网网元

演进分组核心网(EPC)网元虚拟化采用“Applications + Controller + Switch”3层架构,将网元的流量流向、需要进行哪些流量处理功能等控制功能提取出来由“Applications + Controller”两层来实现,“Switch”层实现基于流的转发功能(甚至可能集成深度包检测等流量分析及处理功能),并逐步实现控制面网元的集中化,通过系统架构演进(SAE)网关的信令面与MME、策略与计费规则功能(PCRF)等设备的融合形成移动核心网虚拟控制云^[11]。应用场景如图2所示^[12]。

EPC单网元虚拟化通过网络功能虚拟化实现网络硬件架构的统一,解决容量增加带来的成本问题,通过业务控制和转发的分离以及硬件和软件的分离解决业务灵活部署和增强的问题,从而降低运营商的建设成本(CAPEX)和维护成本(OPEX)。

3.3 家庭网络虚拟化

家庭网络虚拟化是将家庭网络中的家庭网关(HG)、机顶盒(STB)设备中控制面功能及业务处理功能(如防火墙、地址管理、设备管理、故障诊断等)分离出来,虚拟化后迁移到控制器侧或云端,HG及STB设备上仅保留物理接入接口(广域网口、局域网口、USB接口等)以及数据面二层转发^[11,13]。应用场景如图3所示。

图1
数据中心虚拟化场景

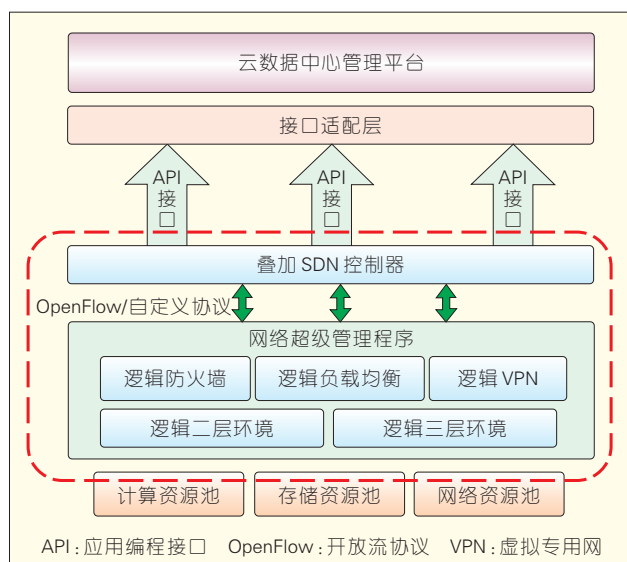
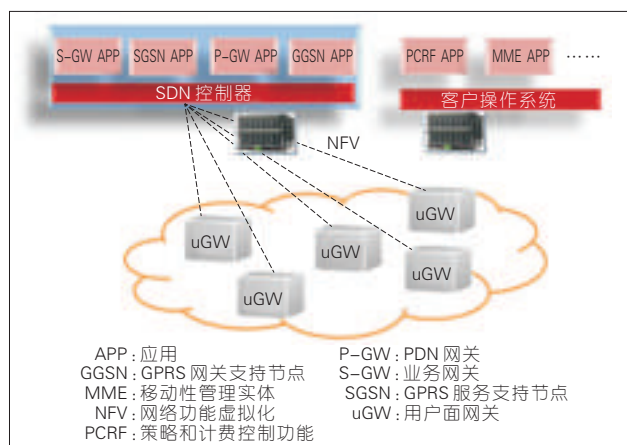
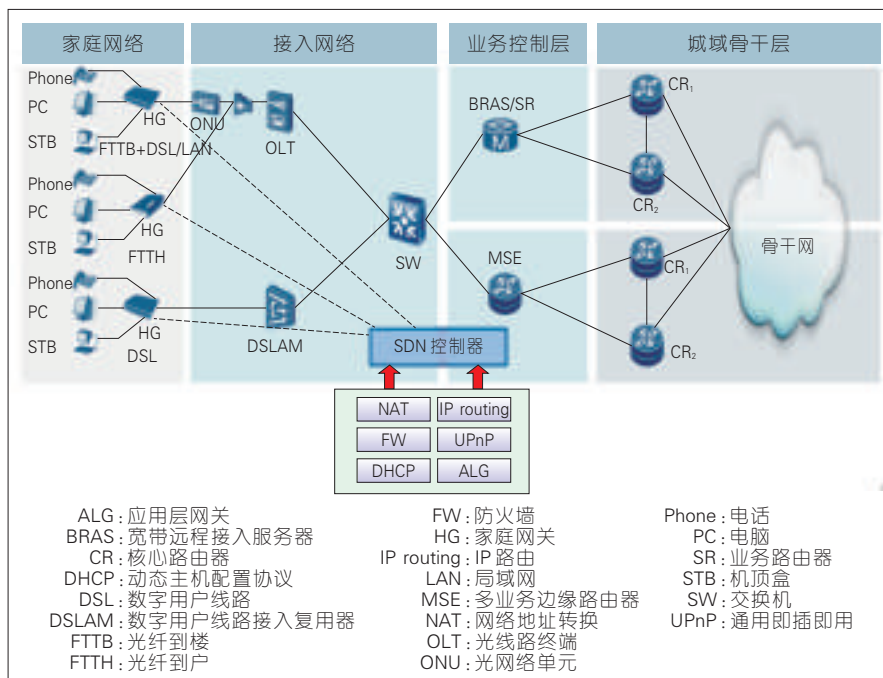


图2
核心网单网元虚拟化场景





▲图3 家庭网络虚拟化场景

家庭网络虚拟化一方面可以简化用户侧设备,运营商不需要对STB和HG进行持续的维护和升级,通过采用远程方式即可为用户提供网络故障诊断服务,便于故障诊断和修复,提升业务可管理性并降低能耗;另一方面可以提高业务部署的灵活性,运营商可更快速简单部署新硬件/软件,从而可以并为未来新业务的快速部署开放提供能力,缩短了新业务市场响应时间^[4]。

4 结束语

网络虚拟化及网络功能虚拟化携其在IT行业的巨大成功,已经逐步进入运营商的视野,在多个场景中由其使用的特点和优势,将逐步正在成

为电信行业未来发展的一个重要趋势。但同时也需要指出相关的技术实现,还有尚待进一步深入研究,值得关注和重视。

参考文献

- [1] 陈世兴. 虚拟化该成为网络面向应用的第一步 [EB/OL]. (2014-02-20). <http://network.51cto.com/art/201304/387608.htm>.
- [2] Network Functions Virtualisation [R]. Introductory White Paper. SDN and OpenFlow World Congress. October 22-24, 2012.
- [3] 王彦彬. 运营商交战OTT: 颠覆还是被颠覆 [N]. 通信产业报, 2013-03-05.
- [4] IETF RFC 2784. Generic Routing Encapsulation (GRE) [S]. IETF, 2000.
- [5] IETF RFC 2890. Key and Sequence Number Extensions to GRE [S]. IETF, 2000.
- [6] ETSI GS NFV 001 V1.1.1. Network Functions Virtualisation (NFV) Use Cases [S]. ETSI, 2013.
- [7] 罗莹, 黄保青, 韦建文. 面向数据中心的软件定义网络 [EB/OL]. (2014-02-20). http://www.edu.cn/sdn_12536/20130724/t20130724_992629.shtml.

992629.shtml.

- [8] 王茜, 赵慧玲, 解云鹏. SDN标准化和应用场景探讨 [J]. 中兴通讯技术, 2013, 19(05): 06-09.
- [9] NICK M. OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication, 2008, 38(2): 69-74. doi:10.1145/1355734.1355746.
- [10] 雷葆华, 王峰, 王茜. SDN核心技术剖析和实战指南 [M]. 电子工业出版社, 2013.
- [11] 王茜, 解云鹏, 陈运清. 未来数据网络(FDN)的应用场景和需求 [S]. CCSA, 2013.
- [12] ETSI NFV架构解读 [EB/OL]. (2014-02-20). <http://www.sdn.com/sdn-post/2856.html>.
- [13] BBF Draft, SD-313. High Level Requirements and Framework for SDN in Telecommunication Broadband Networks [S]. BBF, 2012.
- [14] BBF Draft, PD-295. Network Located Residential Gateway [S]. BBF, 2012.

作者简介



赵慧玲, 中国电信股份有限公司云计算研究中心主任、中国电信股份有限公司北京研究院总工、中国通信学会常务理事、信息通信网络技术专业委员会主任委员, 中国通信学会北京通信学会副理事长, 中国通信标准协会网络与交换技术工作委员会主席, 国家“十二五”科技宽带网络重点专项和三网融合专项专家, MEF 董事会成员。



解云鹏, 中国电信股份有限公司北京研究院网络技术部网络架构与前沿技术研究室高级工程师; 主要研究领域为 SDN/NFV、未来网络等; 已获得省部级奖 1 项, 申请专利 4 项, 合著专著 2 本, 发表论文 10 余篇。



史凡, 中国电信股份有限公司北京研究院网络技术部网络架构与前沿技术研究室主任、高级工程师, 城域以太网论坛(MEF)中国工作组主席; 主要研究领域为下一代互联网、SDN等; 已获得省部级奖 3 项, 申请专利 6 项, 合著专著 6 本, 发表论文 20 余篇。

综合信息

2013年第4季度全球移动数据流量跃增70%

网速差距大

2014年4月24日消息, 据The NextWeb网站报道, 网络服务提供商Akamai今日发布的报告显示, 2013年第4季度, 全球平均网速同比增长27%, 达3.8 Mbit/s, 全球移

动数据流量则跃增70%。

Akamai在报告中指出, 2013年第4季度, 全球有133个国家平均网速都出现同比增长, 增长幅度在0.7%~164%之间, 仅有7个国家的网速同比下滑。

(转载自《中国信息产业网》)

移动核心网应用 NFV 的关键问题探讨及实践

NFV in Mobile Core Networks: Problems and Practice

中图分类号: TN915 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0012-004

摘要: 基于网络功能虚拟化的背景,探讨了移动核心网应用网络功能虚拟化(NFV)需要解决的3大关键技术:基础设施平台选择、核心网云管理架构设计和转发面性能加速,并基于NFV架构定义了一种移动核心网的云管理系统架构。与传统电信核心网管理相比,该系统架构增加了对硬件资源、虚拟资源层、虚拟化网元以及完整网络功能的管理、编排和调度,增加了虚拟网元管理和虚拟网元之间的接口,增强了对通用硬件运行状态的管理能力,以便能更及时、更全面地管理通用硬件和虚拟网元,实现实时的资源和功能调度。

关键词: 虚拟化;网络功能虚拟化;云管理

Abstract: This paper describes three key aspects of network function virtualization (NFV) in a mobile core network: selection of infrastructure platform, design of core network management architecture, and forwarding performance optimization. We propose a mobile core network cloud management architecture, based on NFV architecture, in which the management, orchestration and scheduling of hardware, virtualization layer, virtualized network function, and integrated network function are integrated. Also, an interface between virtualized network function management and virtualized network function is added. This improves the management capability of common hardware run status in order to manage hardware and virtualized function on time and completely, and to realize the real time resource and function scheduling.

Key words: virtualization; network function virtualization; cloud management

陈炜/CHEN Wei
韩小勇/HAN Xiaoyong
尼凌飞/NI Lingfei

(中国移动通信有限公司研究院 网络技术研究所,北京 100053)
(Department of Network Technology,
Research Institute of China Mobile, Beijing
100053, China)

增长。在移动互联网时代,虚拟化、云计算的IT技术必将再一次深刻改变传统电信网络。

网络功能虚拟化(NFV)在这种背景下应运而生。2012年10月AT&T、BT、Telefonica、中国移动等全球13家运营商发起成立了ETSI ISG NFV工作组,提出了NFV的概念,旨在改变现有电信设备的形态及实现方式,拟基于通用标准的服务器、存储和网络设备并利用IT虚拟化技术以软件的方式实现现有多种电信设备的功能,推进电信网络虚拟化架构及关键技术的研发工作。移动网络和固定网络中的控制网元和数据转发网元是NFV的重要应用场景^[1]。

1.2 NFV可实现网络能力的提升

通过IT虚拟化及应用的软件化,可实现网络新功能的快速引入。移动网功能引入时间往往很长,通常需花费约3~3.5年的时间。一个新功能的引入涉及到多个过程,如标准方案的制订(以3GPP等标准化组织方案标准化估计,约需1.5年)、厂商设

1 背景

1.1 网络需要新技术促进变革

移动通信网络主要由电信级设备组成,具有高性能、高可靠和标准化的特点,但同时存在建设周期长、业务上线时间长和缺乏灵活性的问题。随着移动宽带的规模部署,移

动网络面临的流量将呈指数级增长,而传统的基础业务收入将逐渐降低。移动运营商迫切需要一种低成本和高效的运营方式,降低每比特传输的网络成本,提高利润。

在互联网领域,虚拟化、云计算技术实现了设备的通用化、业务的快速上线和资源的灵活管理与共享。这一方面支撑了Google、Amazon等互联网公司的海量数据存储和高性能计算的需求,另一方面尽可能地让网络建设和维护成本可控,实现可持续

收稿日期: 2014-03-23
网络出版时间: 2014-04-25
基金项目: 国家科技重大专项
(2014ZX03002004-003)

备的产品实现(约需0.5~1年)、硬件测试(约需0.5年)以及现网部署的规划和调整(约需0.5年)。虚拟化技术所带来的功能软件化和管理智能化将极大地提升网络部署的灵活性,在虚拟化环境中,网元演进为软件,可在虚拟资源上直接加载、扩容、缩容和灵活调度,从而使网络新功能的推出时间大幅缩短。

研究发现,软件化、虚拟化能显著降低建设成本(CAPEX)。据ACG Research统计^[2],移动运营商使用虚拟化技术能够降低部署费用约61%。这要归功于:采用通用硬件,实现了设备的统一化和资源共享;通过统一的管理和自动化运维,提升运维效率,如可根据网络负载的潮汐效应,进行系统的自动扩容和缩容,避免高能耗,实现网络的绿色可持续发展。

2 NFV 在移动核心网应用的关键问题探讨

在移动核心网(如EPC、IMS)中应用NFV技术,基础设施平台选择、核心网云管理架构设计和转发面性能加速问题是需要解决的三大关键问题。

2.1 基础设施平台选择问题

核心网虚拟化的基础设施主要包括物理硬件层及虚拟化层。

在物理硬件层面,计算设备的选择是关键问题之一,众所周知,传统核心网网元主要采用高级电信计算架构(ATCA)服务器,而云计算系统主要采用商业现货供应(COTS)服务器。一个是电信应用,一个是互联网应用,两者提供的服务不同,造成了对设备要求的不同。电信平台要保证不间断的业务提供,对物理硬件的可靠性要求高,而互联网应用仅需做到尽力而为,对物理硬件的可靠性要求较低;电信设备一般置于传统电信机房,对环境适用性(例如温度适用性、电信兼容性、防尘、抗震)、设备尺寸、功耗及供电类型、重

量等要求严格,而互联网设备一般置于新型数据中心,由于机房环境较好,可适当降低对设备的要求。核心网虚拟化是传统电信领域与互联网技术结合的产物,仅从功能上来讲,ATCA及COTS设备完全能够实现核心网虚拟化,但从可靠性、经济性等角度考虑,ATCA及COTS的选择仍是业界正在考虑的问题。

在虚拟化层面,从功能上来讲,核心网虚拟化对虚拟化层的基本要求主要包括以下几个方面:

(1)支持x86指令集以使用服务器设备。

(2)支持共享存储以实现虚拟机迁移等特性。

(3)支持硬件辅助虚拟化以提升虚拟机性能。

(4)支持虚拟机远程部署和监控以实现远程自动管理。

(5)支持标准化的虚拟机模板以实现跨厂家。

(6)支持亲和度识别以及虚拟层高可用机制以实现系统级可靠性。

目前,业界主流的虚拟化产品(如Xen^[3]、KVM^[4]、VMware^[5]、Hyper-V^[6]等)均能够支持以上特性。但电信厂家多选择Xen、KVM等开源软件,这主要是因为可进行定制研发,避免功能开发受制于第三方,并实现成本节约。此外,OpenStack^[7-8]提供了开源的云资源管理方案,其功能组件及标准的应用编程接口(API)已被各厂家的核心网虚拟化平台所采用,这也为核心网虚拟化层的开发提供了更多的便利。

除了计算设备和虚拟化软件的选择之外,物理硬件层与虚拟化层与外部的交互也是需要考虑的关键问题之一。传统的核心网软件直接运行在物理平台上,为保证系统的可靠性,网元软件需要实时采集物理服务器状态,判断电源、风扇、网口、磁盘,甚至芯片等是否工作正常。在核心网虚拟化环境中,网元软件不仅需要了解物理服务器的状态,还需要了

解虚拟化软件的状态。而且,一旦物理服务器或者虚拟化软件发生故障,需要将故障映射到相应的虚拟机,以使得上层软件能够正确定位并处理故障。这种状态上报及定位的机制需要云管理平台及核心网软件的共同支持,进一步来说,如果物理层、虚拟层以及网元软件来自不同的厂家,即跨厂家实现核心网虚拟化,我们认为这些状态上报的信息需要实现标准化。

2.2 核心网云管理问题

核心网虚拟化后,将打破现有的以网元为中心的软硬件紧耦合的管理模式,转向以资源为中心的软硬件松耦合的管理模式,从而实现跨域、跨地区、跨平台的集中管理,实现资源的智能调度(自动化的扩容、缩容等),这就是基于NFV的核心网云管理。基于欧洲电信标准组织(ETSI)的NFV架构^[9],我们定义了移动核心网的云系统架构,如图1所示。

与传统电信核心网管理相比,核心网云管理增加了对硬件资源、虚拟资源层、虚拟化网元以及完整网络功能的管理和调度。实现核心网云管理的网元功能包括虚拟设施管理(VIM)、虚拟网元管理(VNFM)和虚拟业务编排(VNFO)。

(1) VIM

VIM负责虚拟化基础设施的管理。主要功能包括:采集硬件资源和虚拟资源的状态信息并上报给VNFM,实现资源监测、故障监测和上报;接受来自VNFM的上层应用请求并进行认证,认证通过后,通过控制虚拟机管理器(Hypervisor)来执行上层应用请求,实现资源的迁移和弹性伸缩。

(2) VNFM

VNFM负责虚拟网络功能(VNF)的生命周期管理及其资源使用情况的监控。具体包括VNF的添加、删除、更改、查询、扩容/缩容、预留以及VNF所占用资源的动态监控等。以



由于业界普遍认为在已经部署且稳定运营的现有网络上直接替换并进行虚拟化改造的收益不大,因此承载 VoLTE 的 IP 多媒体子系统 (IMS) 成为核心网虚拟化的触发点。在 2013 年,多家电信运营商均对 IMS

云化进行了可行性验证和测试。2013 年年初运营商 Vodafone 提出在通用的 HP x86 服务器上开展 IMS 核心网虚拟化测试,各测试厂家实现了基于 HP C7000 服务器和 VMware 虚拟化平台的 IMS 云化可行性验证。同年 10 月韩国运营商 LG Uplus 在本土开展 IMS 云化测试,同月运营商 DT 在欧洲部署 VoLTE、RCS 和 RCS-e 的虚拟化平台,其中 RCS-e 已经实现商用。2013 年年底,运营商 TELE2 分别在荷兰和瑞典完成 IMS 核心网和业务平台的虚拟化测试,并计划于 2014 年上半年实现商用。

与 IMS 相比,核心网的其他网元虚拟化进程相对较慢。2013 年,全球的电信设备厂商、新兴电信厂商和创业公司纷纷开展了虚拟化演进分组核心网(EPC)的研发工作,与准商用的 IMS 云化产品不同,EPC 虚拟化目前还主要停留在概念验证阶段,主要的“瓶颈”在于转发面性能问题,而少数的几个准商用的 EPC 虚拟化案例主要来自不太考虑转发性能的企业网应用。

中国移动从 2010 年开始就开展了多项核心网虚拟化的研究工作,通过在实验室搭建虚拟化平台,验证了在进行任何技术优化的前提下,虚拟化的 IMS 及软交换网元将额外消耗 10%~20% 的 CPU 资源,并增加 10%~20% 的信令时延,这表明引入虚拟化带来的性能损耗在可接受的范围内。

2013 年中国移动在 TC3 牵头发起了《核心网控制网元虚拟化技术研究》的研究报告,研究移动核心网控制面网元(如 CSCF/MME 等)虚拟化的需求、场景、架构及关键问题,在 TC5 牵头发起了《移动软网络需求及架构》的研究报告,研究移动分组域网络演进的需求、架构及关键问题。同期,中国移动开展了多厂家的虚拟化 IMS 和虚拟化 EPC 的实验室测试工作,在 2014 年世界通信展^[15](MWC)成功展示了全球首次多厂家

混合组网的端到端虚拟化网络原型系统,并打通了基于微型基站(Nanocell)、基于通用服务器的虚拟化云接入网(C-RAN)和核心网(EPC 和 IMS)的 VoLTE 视频通话,展示了虚拟化核心网的可靠性、自动扩容和缩容等特性,会展期间引起了全球多个运营商、ETSI NFV 技术专家、各大通信设备商及 IT 厂家的极大关注,进一步加速电信网络实现网络功能虚拟化(NFV)的进程,并为后续核心网虚拟化技术的进一步研究和现网应用奠定了基础。

4 结束语

随着移动宽带的到来,互联网及流量对传统电信业的冲击将愈加激烈,这促使电信运营商走到了变革的十字路口,而核心网的网络虚拟化则是从网络自身出发的一种应对变革的有效手段。通过将虚拟化、云计算的 IT 技术引入到移动核心网,实现网络部署能力的提升、网络部署成本的降低和运营能力的增强。

虽然业界对于核心网虚拟化是未来网络的重要组成部分已经达成共识,但是核心网的网络虚拟化技术在基础设施平台、云管理以及转发性能优化上仍然存在很多待解决的问题,我们还需要继续深入开展核心网网络虚拟化的各项研究,推动产业的成熟,为将来部署云化的核心网做好技术储备。

参考文献

- [1] Network Functions Virtualisation [EB/OL]. (2014-03-20). http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf.
- [2] Business Case for Juniper Networks Virtualized Mobile Control Gateway [EB/OL]. (2014-03-20). <http://www.acgresearch.net/>.
- [3] Xen Home Page [EB/OL]. (2014-03-20). <http://www.xenproject.org/>.
- [4] KVM Home Page [EB/OL]. (2014-03-20). http://www.linux-kvm.org/page/Main_Page.
- [5] VMware Home Page [EB/OL]. (2014-03-20). <http://www.vmware.com/cn>.
- [6] LEINENBACH D, SANTEN T. Verifying the Microsoft Hyper-V Hypervisor with VCC [M]// FM 2009: Formal Methods. Springer Berlin Heidelberg. 2009: 806-809. doi: 10.1007/978-3-642-05089-3_51.

- [7] Openstack Home Page [EB/OL]. (2014-03-20). <https://www.openstack.org/>.
- [8] 林利, 石文昌. 构建云计算平台的开源软件综述 [J]. 计算机科学, 2012, 39 (11): 7-13.
- [9] Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework [EB/OL]. (2014-03-20). http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/002/01.01.01_60/gs_NFV002v010101p.pdf.
- [10] DDPK Home Page [EB/OL]. (2014-03-20). <http://ddpk.org/>.
- [11] DONG Y Z, YANG X W, LI J H, et al. High performance network virtualization with SR-IOV [J]. Communication Architectures for Scalable Systems. 2012, 72(11): 1471-1480. doi: 10.1016/j.jpdc.2012.01.020.
- [12] Network Functions Virtualisation (NFV); Use Cases [EB/OL]. (2014-03-20). http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV001v010101p.pdf.
- [13] Network Functions Virtualisation (NFV); Virtualisation Requirements [EB/OL]. (2014-03-20). http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/004/01.01.01_60/gs_NFV004v010101p.pdf.
- [14] Network Functions Virtualisation (NFV); Terminology for Main Concepts in NFV [EB/OL]. (2014-03-20). http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/003/01.01.01_60/gs_NFV003v010101p.pdf.
- [15] 2014 MWC Home Page [EB/OL]. (2014-03-20). <http://www.mobileworldcongress.com/>.

作者简介



陈炜, 北京邮电大学毕业; 中国移动通信有限公司研究院网络所项目经理; 长期从事 P2P 流媒体、内容分发及移动核心网的网络功能虚拟化技术及标准的研究; 已发表 SCI 论文 1 篇、EI 论文 2 篇, 获得 2013 年 CCSA 科学技术二等奖。



韩小勇, 北京邮电大学毕业; 中国移动通信有限公司研究院网络所项目经理; 长期从事分布式业务网络及网络功能虚拟化技术及标准的研究; 获得 2013 年 CCSA 科学技术二等奖。



尼凌飞, 西北工业大学毕业; 中国移动通信有限公司研究院网络所项目经理; 从事核心网、智能网、基础电信业务、网络虚拟化技术及标准的研究。

无线网络虚拟化架构与关键技术

Architecture and Key Technologies for Wireless Network Virtualization

中图分类号: TN915 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0016-006

摘要: 提出采用集中式和分布式的动态频谱管理技术来提升频谱资源利用效率, 解决无线网络虚拟化中频谱资源难以高效分配与不易管理难题; 认为为了构建一个稳定、灵活和开放的无线网络虚拟化架构, 需要从虚拟网络的隔离、信令优化设计、通用接口设计、用户移动性管理等方面开展研究。

关键词: 无线网络虚拟化; 资源虚拟化; 动态频谱管理

Abstract: This paper describes centralized and distributed dynamic spectrum management techniques, which can improve spectrum utilization and management in a virtualized wireless network. In order to build a stable, flexible, open virtualized wireless architecture, we need to study isolation of the virtual network, signaling optimization design, universal interface design, user mobility management and other aspects.

Key words: wireless network virtualization; resources virtualization; dynamic spectrum management

冯志勇/FENG Zhiyong

冯泽冰/FENG Zebing

张奇勋/ZHANG Qixun

(北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室, 北京 100876)

(Key Lab. of Universal Wireless Communications Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

云计算和计算机虚拟化已经成为推动IT产业发展的关键技术之一。网络虚拟化的提出将路由和交换功能虚拟化, 用户可以根据各自需求传输业务, 而无须考虑端到端过程中每一跳是如何建立连接的^[1-2]。随着多种无线通信技术日益成熟和多样化移动服务大量涌现, 未来无线网络呈现出密集部署、多样业务、异构网络并存的多样化形态。在复杂网络环境下, 多种无线网络技术的兼容性、用户对不同无线接入网络的选择、异构网间切换等问题, 是无线网络发展面临的新挑战。

无线网络虚拟化技术的提出为异构无线网络提供了一种有效管理

方式, 通过对网络资源的抽象和统一表征、资源共享和高效复用, 实现异构无线网络的共存与融合。无线网络虚拟化可使复杂多样的网络管控功能从硬件中解耦出来, 抽取到上层做统一协调和管理, 从而降低网络管理成本, 提升网络管控效率。集中化控制使得没有无线网络基础设施的服务提供商也可以为用户提供差异化的服务。然而, 无线网络虚拟化技术在实际应用中仍然面临以下难题: 首先, 无线网络资源既包含物理资源(如网络基础设施), 也包含频谱资源, 而且频谱资源在频域上跨度大, 从几十赫兹到百兆赫兹甚至吉赫兹, 不同频率频谱资源的传播特性存在较大差异, 其中还包括授权频段和非授权频段。无线网络拓扑形态呈现出动态变化、多样化的特征, 如自组织网络、蜂窝网络等。其次, 无线网

络性能还受到网络内和网络间的干扰影响。不同制式无线网络的通信协议标准的设计存在差异化, 硬件设备功能不同, 将导致不同网络资源的使用方式存在差异, 异构无线网络融合困难。因此, 无线网络虚拟化架构、虚拟化控制方式以及资源虚拟化管理等方面将是实现无线网络虚拟化所需关注的热点和难点。

本文首先针对3GPP国际标准化组织提出的虚拟化架构进行分析; 其次, 研究无线网络资源虚拟化和资源管理方法; 进一步, 研究并分析了典型无线网络虚拟化技术和实现方式。最后, 简要分析了未来无线网络虚拟化面临的挑战。

1 无线网络虚拟化架构

网络虚拟化技术在有线网络中已得到了广泛的应用, 包括: 虚拟局域网(VLAN)、多标签协议交换(MPLS)、异步传输模式(ATM)和软件定义网络(SDN)。这些技术手段在相同物理基础设施上虚拟出相互隔离的虚拟网络供不同用户使用。但是这些技术都是针对有线网络设计的, 并没有考虑如何针对无线

收稿日期: 2014-04-03

网络出版时间: 2014-04-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(61227801、61121001、61201152)

网络特征进行虚拟化的问题。由于无线网络相对于有线网络更加复杂,因此在无线网络虚拟化设计中需要考虑信道的不确定性、功率控制、信令开销等问题。这样的复杂性使得有线网络的虚拟化技术不能直接搬到无线网络中使用。如何将网络虚拟化的思想引入到无线网络中,已成为一个亟待解决的问题,并逐渐成为研究热点。针对无线网络信道时变、业务多样、网络结构复杂等特点,无线网络虚拟化技术的实现需要合适的构架来支撑。针对无线网络虚拟化问题,现有研究中关于架构的研究取得了初步进展。

1.1 接入网虚拟化

国际标准化组织 3GPP 的系统架构工作组已经开展符合技术演进的虚拟化架构—无线接入网共享增强(RSE),并定义了多个运营商共享无线接入网(RAN)资源的场景^[1],提出了网关核心网(GWCN)和多运营商核心网(MOCN)两个参考框架。接入网虚拟化框架如图1所示。GWCN方案通过多个运营商共享移动性管理实体(MME)来实现移动性管理和承载管理等功能的共享。MOCN方案中各运营商采用各自完整的核心网,仅在eNodeB层面进行资源共享。

3GPP 组织定义接入网虚拟化的目标在于通过共享接入网络资源,提升多个无线网络资源整体利用效率,满足数据业务爆炸式增长所带来的网络容量增长的需求,主要包含以下几方面:

(1) 根据相关的共享协议和/或政策,能够使无线网络资源在网络实体间进行共享。

(2) 根据不同无线接入共享场景,能够高效的共享无线接入资源。

(3) 针对更细时间粒度下的需求,能够灵活和动态的分配无线接入资源。

(4) 根据相关的共享协议和/或政策,能够合理高效的解决网络过载

问题。

针对以上需求,RSE的实现需要以下4种功能:

(1) 无线接入网拥有者一方面需要允许共享接入网资源的参与运营商(例如虚拟运营商)获得相应的无线接入网络资源,另一方面也需要这些参与运营商有同等机会获取无线接入网拥有者对网络操作管理与维护的状态信息。

(2) 参与运营商可以根据对网络容量需求的变化,提出不同的接入网络资源需求,以满足业务需求,例如虚拟运营商在工作忙时需要更多网络资源满足容量需求,而在晚上或者周末等闲时仅需要占用少量无线接入网络资源。

(3) 无线接入网拥有者根据参与运营商的容量需求变化,自主重配置无线接入网络资源,尽量满足共享网络的业务QoS。

(4) 无线接入网拥有者需要依据参与运营商的资源分配情况和网络负载情况,执行合理的负载均衡措施。尤其当小区出现过载情况,无线接入网拥有者可以根据每个参与运营商可承受的最大负载情况,合理的将用户卸载到其他小区。

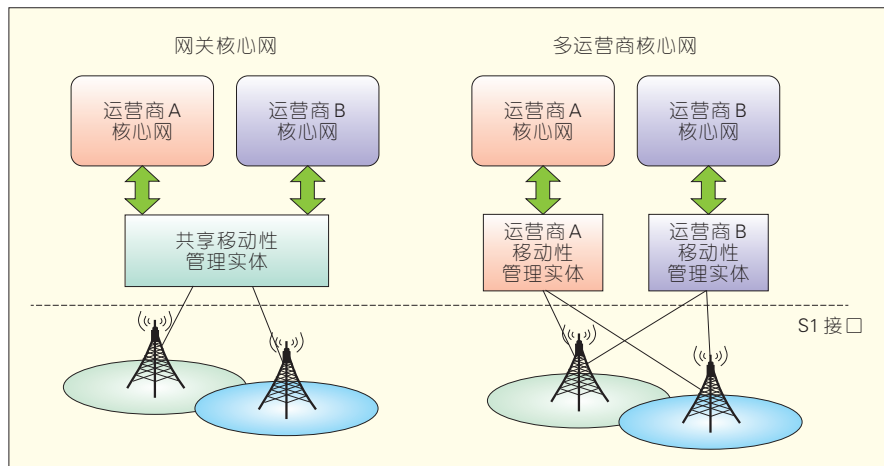
以上是3GPP组织提出的无线接入网共享增强RSE方案,通过自主动态的调整无线接入网络资源,以实现接入网资源的有效共享。这种共享

方式可以有效的带动产业界和运营商的商业模式转变。此工作已由TR 22.852完成,并将开始新一轮后续研究工作。

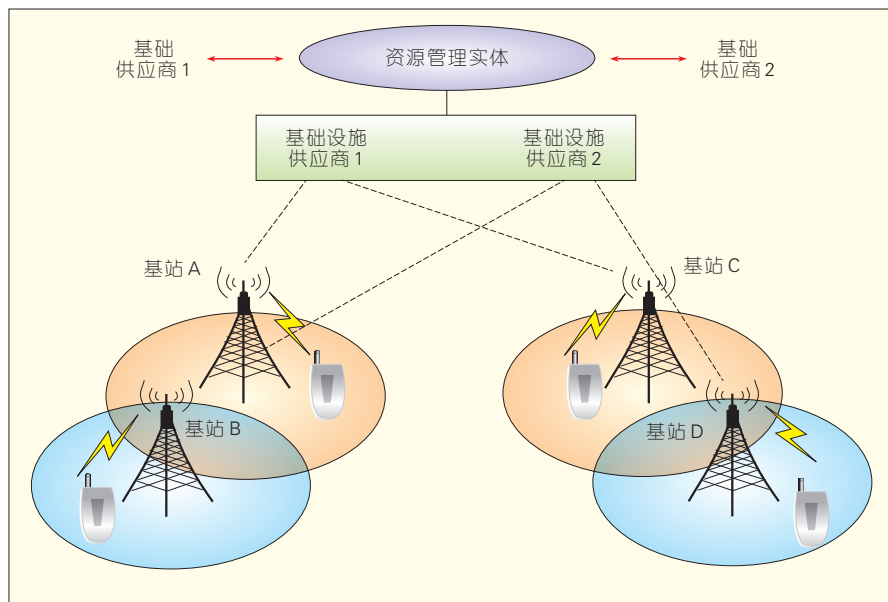
1.2 全网虚拟化

无线全网络虚拟化中网络可以由服务供应商(SP)和基础设施供应商(InP)组成。基础设施服务商负责生产和管理从接入网到核心网的整个网络的基础设施,譬如基站设备等,服务供应商负责为用户提供多样化的业务^[4]。基础设施服务商的资源往往虚拟化为多个子部分,服务供应商根据用户需求,请求相应的子部分资源,为终端用户提供端到端服务,并忽略底层物理网络结构的差异。这样每一子部分都认为其本身是一个完整的网络系统,包含(虚拟)核心网和(虚拟)接入网,这些子部分也称为虚拟网络^[5]。

图2是服务供应商和基础设施供应商实现无线网络虚拟化的一种网络架构。如果设备商在同一个区域内有共同的基础设施(基站)覆盖,则其资源可以被不同的服务商共享使用。图中基站A和基站B属于InP₁,基站C和基站D属于InP₂,上层的资源管理实体采用集中方式来管理InP之间的协作和隔离。重叠覆盖的基站(如A和B)为服务供应商按需提供物理资源,这种方式淡化了网络基



▲ 图1 接入网虚拟化框架



▲ 图2 服务提供商和基础设施提供商实现无线网络虚拟化的一种网络架构

础设备和设备商的隶属关系,而演变为资源池的方式供SP按照最优资源分配或者最小代价来使用。但是,这种网络结构需要明确不同InP的基站覆盖范围。否则,会由于服务提供商用户不被InP覆盖造成服务空洞。

SP和InP也可分别成为移动虚拟运营商(MVNO)和移动运营商(MNO)^[6]。很多国家已经颁布政策要求运营商开放其无线接入网络资源给虚拟运营商,鼓励多元化市场竞争。这样一方面移动运营商可以通过将无线接入网络资源租赁给虚拟运营商获取利润,同时也为自身腾出空间发展最擅长的通信技术,研发基站设备和实现更加精细化的运营维护等。另一方面,虚拟运营商可以发挥其市场优势,投入更多精力在用户市场需求分析预测、新型增值业务和功能性业务的开发与推广等工作,为用户提供更为专业和定制化服务,在获取市场利润的同时,提高无线网络空闲资源的利用效率,进一步提升了整个无线网络容量。

2 无线网络资源虚拟化

无线网络与有线网络最大的区别在于无线传输链路易受环境影响

而对信号造成衰减。由于无线链路具有广播性质,一个节点发出的无线电信号可以被其他多个节点获取。因此,需要通过时间、频率或者码字等不同的维度来区分无线信号,以降低多条无线链路之间的干扰。在无线网络虚拟化中,虚拟化节点和链路也需要通过不同的维度(时间、频率、空间、码字等)来避免不同虚拟链路之间的干扰。

无线网络资源虚拟化的关键问题是如何将网络底层各个维度资源与网络需求相匹配。网络底层资源可以分为多个正交的维度,例如:时间、频率和空间等,并可以定义每个维度的能力大小。简单的说,如果有一个虚拟化无线网络同时支持频分复用(FDD)和时分复用(TDM)方式,包括:频域和时域两个维度。当一个无线节点采用802.11b协议传输时,其频域上的能力值为3,因为802.11b协议支持3个互不干扰的正交信道,而时域上的能力值需要根据单位时隙的长度和子帧长度来确定。虚拟网络对资源的需求也可以划分为多个维度,而且网络底层的各维度必须要大于虚拟网络对各个维度资源的需求。因此,网络资源虚拟化表征与

利用方式如图3所示。

以3个维度的资源为例,图3中长方体的长宽高对应网络底层各维度可用资源的大小。网络资源需求可以认为是小的长方体,这样无线网络资源的最佳利用方案是使得各个维度的资源能够充分被利用,反映在图3中长方体如何优化填充的过程,即保证资源空间内留下的空洞最小。在实际资源分配过程中,不仅需要考虑资源的大小,还需要考虑资源的质量(如不同频段的频谱传播特性的差异性)。

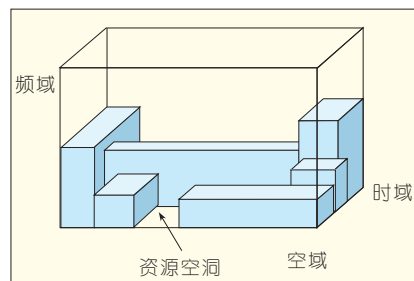
3 无线网络虚拟化关键技术

进一步考虑无线网络虚拟化关键技术,本文重点分析基站虚拟化关键技术,并提出无线网络虚拟化中动态频谱管理技术,实现对虚拟化无线网络资源的高效利用。

3.1 基站虚拟化技术

基站虚拟化技术可通过基站集中式放置、基站间协作以及分布式天线实现,根据基站服务区域的实际需求,为基站动态分配无线资源和配置系统参数,提升基站处理能力和效率,大幅降低成本和提升系统性能。

网络虚拟底层(NVS)^[7]是基站虚拟化实现的主要方式之一,其目标是对无线网络资源进行虚拟化并完成最优资源分配。首先,NVS需要具备一定的隔离功能,譬如两个共享基站的网络实体,其中一个实体中的用户由于业务量变化、位置移动或者信道条件波动,NVS需要确保另一个网络实体不受影响;其次,NVS需要提供



▲ 图3 无线网络资源虚拟化示意

可定制化的功能,使共享基站资源的网络实体对基站在一定程度可控,以达到业务的最优传输,这与无线接入网共享增强 RSE 中的网络操作管理与维护是相似的;最后,网络实体之间可以按照容量需求,合理共享资源,提高资源利用效率。在此基础上,我们把实际的物理网络分为多个虚拟网络(Slice),每个虚拟网络由不同的流(Flow)组成,共享物理基站的无线资源。NVS的实现分为两层,分别为虚拟网络调度和流调度,虚拟网络调度负责保证虚拟网络之间的资源使用独立,互不干扰。流调度通过一般化的帧结构在每个虚拟网络中进行高效的流信息传输。在调度事件发生时,NVS首先根据虚拟网络占用基站资源和带宽的大小选择能最大化系统效用或收益的虚拟网络;然后,虚拟网络根据数据包优先级和QoS需求等,对传输数据和所需资源做媒体访问控制层的帧结构映射。

中国移动提出的集中式接入网架构(C-RAN)进一步实现了集中化的基带处理^[8],通过基站集中化放置和分布式天线技术可以大幅降低建网成本,提升网络性能。通过分析宏蜂窝无线网络,我们发现无线网络的负载呈现动态变化、时空分布非均匀特征,白天办公区业务繁忙而晚上住宅区业务繁忙,而基站在设计时仅考虑要满足小区的最高峰值业务需求,这就浪费了大量的处理能力。采用集中式接入网架构的核心思想是将原来分布式的基站资源进行集中部署和管理,通过网络资源的共享与高效利用,提高资源利用效率,降低运营商的网络建设、维护和升级的成本。其主要包括3部分:由远端射频单元(RRU)和天线组成的分布式无线接入网络、基础设施共享和实时虚拟化集中式基带池、连接RRU和集中式基带池的光传输网络。C-RAN构架如图4所示。采用C-RAN架构可以实现基站设备的虚拟化,实现基站资源的高效利用并降

低能耗。

3.2 动态频谱管理

认知无线电技术可提升通信系统的频谱资源利用效率。国际上许多学者都认为动态频谱管理技术是支撑无线网络虚拟化资源管控的有效手段之一。在认知场景下,非授权用户通过协商或者机会式的方式接入授权频段,但是必须保证不影响授权用户的正常通信。由于无线环境的复杂性,用户接入频段会受到来自时域、空域等多种因素的限制,为了保障用户的服务质量,需要为用户分配合适频段来避免干扰^[9]。本文提出集中式和分布式的两种动态频谱管理方法,解决无线网络虚拟化中频谱资源高效分配与管理难题。集中式网络动态频谱管理如图5所示。分布式网络动态频谱管理如图6所示。在多种接入技术(RAT)共存和重叠覆盖的无线环境下,两种方式通过新添加的功能模块完成网络上层的频谱资源分配操作。各模块的功能描述如表1所示。

基于所提出的动态频谱管理架

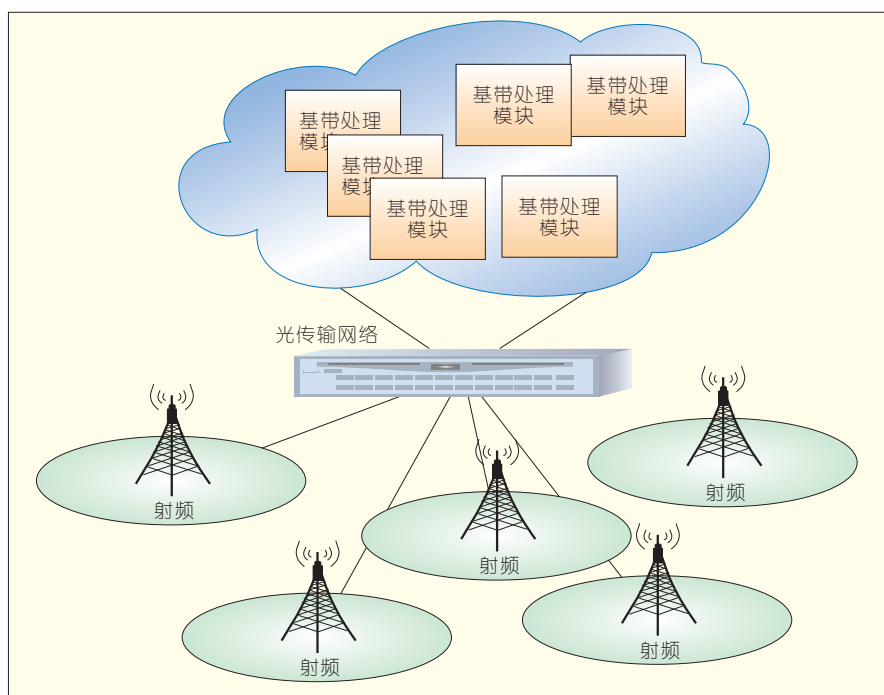
构,无线网络基站可以选择灵活的频谱资源共享,保证有足够的频谱资源满足用户业务需求,而不必考虑上层的频谱资源是如何分配的。无线网络基站通过对两个网络的业务量进行分析预测为两个网络动态的分配频谱资源。实验验证可提升频谱利用效率30%以上^[10-15]。

4 无线网络虚拟化面临的挑战

区别于有线网络虚拟化,无线网络虚拟化一方面面临着无线网络资源受限的挑战,无线资源需要进行合理的虚拟化,满足一定的空域、频域、时域的隔离以避免干扰;另一方面,无线网络虚拟化对移动终端的要求更为多样,例如支持多频段的硬件设计,高效频谱共享方法与技术等。因此,无线网络虚拟化技术的实施与部署仍面临诸多挑战。为了构建一个稳定、灵活和开放的无线网络虚拟化架构,需要从几方面开展研究。

4.1 虚拟网络的隔离

与有线网络相比,无线网络的性



▲图4 C-RAN构架

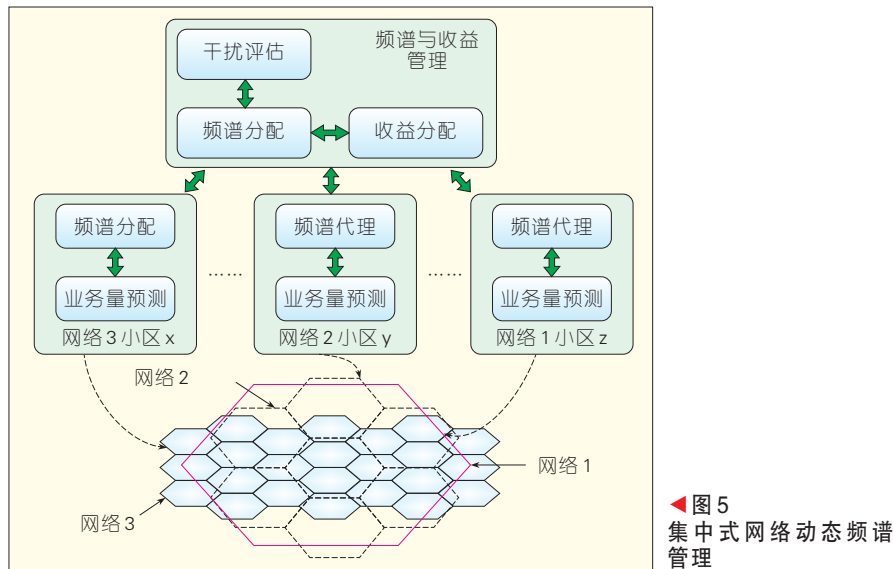


图5
集中式网络动态频谱管理

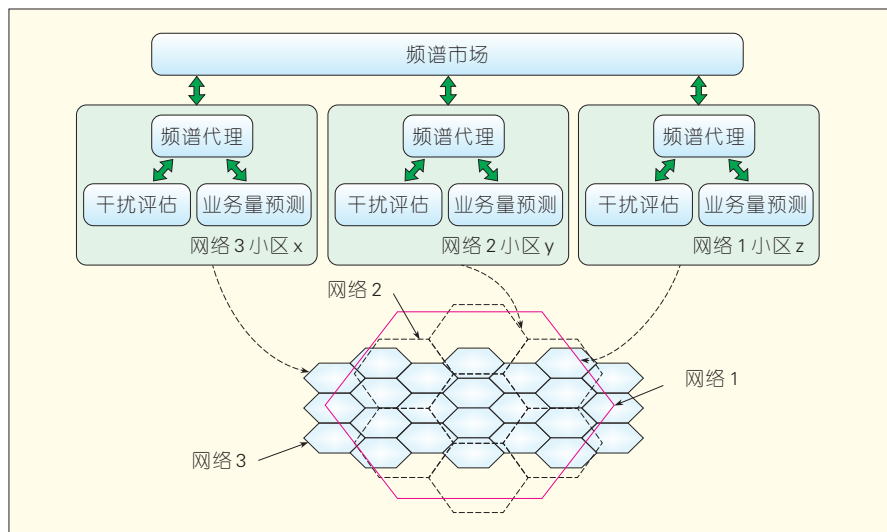


图6 分布式网络动态频谱管理

表1 集中式与分布式动态频谱管理特点比较

| 功能模块 | 集中式动态频谱管理特点 | 分布式动态频谱管理特点 |
|-------------|---|--|
| 业务量预测模块 | 负责本 RAT 小区业务量的周期预测 | 负责本 RAT 小区业务量的周期预测 |
| 干扰评估模块 | 估算小区之间的干扰, 控制干扰低于所需的门限 | 负责估算动态频谱管理带来的干扰, 并依据与相应的准则判决是否满足网络共存条件要求 |
| 频谱代理 | 负责完成频谱交易的相关决策, 并将其决策信息传递给集中式频谱管理的控制实体 | 观察并完成频谱资源环境的感知功能, 负责完成频谱交易的相关决策 |
| 频谱市场 | — | 定义租借频谱资源的 RAT 小区为买方, 出租频谱资源的 RAT 小区为卖方, 以及频谱资源为交易的物品 |
| 频谱分配与收益管理 | 集中式控制实体, 频谱分配模块负责将频谱资源分配给网络小区, 收益分配模块负责合理分配收益给运营商 | — |
| RAT: 多种接入技术 | | |

能对节点和链路之间的干扰更加敏感。因此, 虚拟网络之间的隔离尤为

重要。上面我们提出的频谱管理就是一种有效的方式, 它可以根据用户

的位置和吞吐量需求, 从频域和空域上对信道进行隔离使用, 保证用户之间不产生严重的干扰。在此基础上, 具备自配置、自由化、自愈合等网络自组织技术也将是实现无线网络虚拟化所需的智能高效管控技术, 虚拟化网络通过一定的反馈可以自主配置网络资源, 最大化提升网络性能。

4.2 信令优化设计

一方面, 无线网络虚拟化需要新的功能支持, 如资源虚拟化共享、服务商和基础设施提供商之间交互式管控等, 这些新增的功能需要设计新型高效的信令来支持; 另一方面, 对不同的无线接入技术虚拟化之后, 节点和链路的虚拟化资源的调度虽然屏蔽了具体接入技术差异, 但是还需要有完整而统一的信令体系作支撑, 在核心网侧对接入网资源进行动态调度。除此之外, 在频谱资源虚拟化之后, 控制信令是采用带内专用信道、还是结合带外或者有线的的方式来传输, 也是面临的挑战。

4.3 通用接口设计

要形成一个完全统一的无线网络虚拟化架构, 需要设计独立于技术的通用接口来连接硬件设备, 以实现不同虚拟节点和链路之间的信息传输^[1]。例如, 为了使得网络控制与管理更加一体化和集中化, 不同无线技术把相同或者相似的功能抽象出来, 形成一个功能数据库供本地的虚拟化实体进行功能调用。为此, 还需要推动相关接口传输协议和标准的制订。

4.4 用户移动性管理

无线网络需要保障移动用户在小范围的平滑无缝切换, 无线网络虚拟化需要通过资源共享等方式为用户提供最适合的基站接入, 特别是虚拟运营商需要选择租用合适的设备和频谱资源为其注册用户有效覆盖和容量支撑。因此, 无线网络虚

拟化需要在服务提供商和基础设施提供商之间设计合理的频谱和基础设施共享协议,保障用户能够选择接入可以提供最佳服务体验的运营商网络。

此外,高质量的用户业务保证、安全的虚拟化网络以及先进的市场运营模式等也将是实现灵活智能、稳定可靠的无线网络虚拟化所需要解决挑战与难题。

5 结束语

无线网络虚拟化通过资源虚拟化和控制虚拟化,将传统静态封闭的网络转变为开放智能融合网络。虽然现在无线网络虚拟化还没有一个统一认可的标准,但是诸如软件定义网络(SDN)、软件定义无线电(SDR)以及认知无线电等技术的发展已经为无线网络虚拟化中面临的挑战提供了解决思路参考。本文主要介绍和分析了无线网络虚拟化主流架构和关键技术,这些架构和技术将会指导智能开放的未来无线网络设计。一体化、模块化的网络虚拟化结构,多维无线网络资源的共享,通用的虚拟化网络协议和接口设计,将是灵活智能、稳定可靠的无线网络虚拟化研究关注的热点。

参考文献

- [1] CHOWDHURY N M, BOUTABA R. A survey of network virtualization [J]. Computer Networks, 2010,54(5):862-876.
- [2] PENTIKOUSIS K, YAN W, WEIHUA H.

- Mobileflow: Toward software-defined mobile networks [J]. Communications Magazine, IEEE, 2013, 51(7):44-53.
- [3] COSTA-PEREZ X, SWETINA J, TAO G, et al. Radio access network virtualization for future mobile carrier networks [J]. Communications Magazine, IEEE, 2013,51(7):27-35.
- [4] FORDE T K, MACALUSO I, DOYLE L E. Exclusive sharing & amp; virtualization of the cellular network: New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), [C]// Proceedings of the 2011 IEEE Symposium on, Aachen, 2011,5:3-6.
- [5] XIN W, KRISHNAMURTHY P, TIPPER D. Wireless network virtualization: Computing, Networking and Communications (ICNC) [C]// Proceedings of the 2013 International Conference on, San Diego, CA, 2013,1:28-31.
- [6] KIM B W, SEOL S H. Economic analysis of the introduction of the MVNO system and its major implications for optimal policy decisions in Korea [J]. Telecommunications Policy, 2007,31(5):290-304.
- [7] KOKKU R, MAHINDRA R, ZHANG H, et al. NVS: a substrate for virtualizing wireless resources in cellular networks [J]. Networking, IEEE/ACM Transactions on, 2012, 20(5): 1333-1346.
- [8] HADZIALIC M, DOSENOVIC B, DZAFERAGIC M, et al. Cloud-RAN: Innovative radio access network architecture: ELMAR [C]//Proceedings of the 55th International Symposium, Zadar, 2013,9:25-27.
- [9] MASENG T, ULVERSOY T. Dynamic frequency broker and cognitive radio [C]// Proceedings of the IET Seminar on Cognitive Radio and Software Defined Radios: Technologies and Techniques, London, 2008, 9: 1-5.
- [10] FENG Z Y, LI W, LI Q, et al. Dynamic Spectrum Management for WCDMA/DVB Heterogeneous Systems [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2011,10(5):1582-1593.
- [11] SHRESTHA S, LEE J, CHONG S. Virtualization and slicing of wireless mesh network [C]//Proceedings of the Conference on Future Internet (CFI), 2008,6.
- [12] FU F, KOZAT U C. Stochastic Game for Wireless Network Virtualization [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2013,21

(1):84-97.

- [13] KOKKU R. CellSlice: Cellular Wireless Resource Slicing for Active RAN Sharing [C]//Proceedings of the Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2013 Fifth International Conference on, Bangalore, 2013,1:1-10. doi: 10.1109/COMSNETS.2013.6465548.
- [14] LI L E, MAO Z M, REXFORD J. CellISDN: Software-defined cellular networks [R]. Computer Science, Princeton University, Princeton, NJ, USA, 2012.
- [15] HOFFMANN M, STAUFER M. Network Virtualization for Future Mobile Networks: General Architecture and Applications [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Communications

作者简介



冯志勇,北京邮电大学博士毕业;北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室主任、教授、博士生导师,北斗系统频率组专家;主要研究方向为认知无线网络频谱感知与动态频谱资源管理、异构网络融合及跨层设计、无线网络虚拟化网络架构与关键技术等;已提交国际标准化提案30余篇;已发表学术论文100余篇(其中30余篇被SCI检索),出版著作2部。



冯泽冰,北京邮电大学信息与通信工程学院在读博士研究生;主要研究方向为异构无线网络资源管理、无线网络资源虚拟化技术与资源动态管控等。



张奇勤,北京邮电大学博士毕业;北京邮电大学信息与通信工程学院讲师;主要研究方向为认知无线网络体系架构、异构网络融合、无线网络虚拟化关键技术等。

综合信息

Gartner: 2014年全球IT支出将稳步增长3.2%

2014年4月8日消息, Gartner发布最新预测,随着全球经济出现逐步复苏的迹象,2014年全球IT支出将稳步增长至3.8万亿美元,与2013年相比增长3.2%。

Gartner副总裁 Richard Gordon表示:“全球企业目前正在逐步摆脱阴霾,恢复对IT的支出以支持其业务的增长。消费者会在2014年购买许多新的设备,不过,与前几年相比,这波换机潮将有较多是价格较低且功能

较基本的设备。”

Gartner全球IT支出预测作为全球主要技术趋势的领先指标,涵盖硬件、软件、IT服务以及通信市场。逾10年来,全球IT和业务高管们皆运用这些备受瞩目的季报洞察市场商机和挑战。

2014年终端设备市场预期将重新开始增长,全球支出将达到6 890亿美元,与2013年相比增长4.4%。

(转载自《中国信息产业网》)

基于软件定义网络的多区域网络虚拟化模型

An SDN-Based Multi-Zone Network Virtualization Model

中图分类号: TN915 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0022-004

摘要: 提出了一种新的基于软件定义网络的多区域网络虚拟化模型。该模型引入了网络区域的逻辑概念, 在同一个区域中使用某种网络虚拟化技术, 在区域与区域的边界通过控制平面的统一控制实现不同虚拟网络标识符的转换, 完成跨区域交互。该模型可以同时兼容多种网络虚拟化技术, 实现高效率、可扩展、大规模的网络虚拟化。

关键词: 网络虚拟化; 虚拟网络; 软件定义网络; 区域

Abstract: In this paper, we present a novel network virtualization model based on software-defined networking (SDN). With the logic concept of network area, this model uses network virtualization technology in the same area and realizes the switch of different virtual network identifier between border regions by controlling the control plane in a unified way. In this way, it can complete the cross-regional interaction. This model is compatible with a variety of network virtualization technologies to achieve high efficiency, scalability, and large-scale network virtualization.

Key words: network virtualization; virtual network; SDN; zone

罗萱/LUO Xuan

马塞/MA Sai

金耀辉/JIN Yaohui

(上海交通大学, 上海 200240)

(Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

网络虚拟化通过将逻辑网络功能和物理网络设备解耦合, 使得网络资源可以方便地整合与扩展, 可以大大地降低运营商的资本/运营支出^[1-3]。在云计算环境中, 网络虚拟化将物理网络划分成多个虚拟网络, 在不同的虚拟网络之间进行隔离, 以保证租户的隐私和安全。虚拟网络的隔离主要体现在两方面: 第一, 通过有效的封装技术区分不同的虚拟网络; 第二, 允许每个租户在自己的虚

拟网络内自由定制地址空间。

为了实现网络虚拟化, 工业界提出了不少协议标准。虚拟局域网(VLAN)^[4]协议是最广泛使用的协议, 操作需要较多的人工配置, 最多支持4 096个虚拟网络, 无法满足大规模数据中心的需求。虚拟可扩展局域网(VXLAN)^[5]把二层以太网帧封装到数据报协议(UDP)报文中, 通过24比特的VXLAN网络标签(VNI)来区分不同的虚拟网络。VXLAN依赖组播实现地址学习, 需要通过VXLAN网关与物理设备(如防火墙/负载均衡器)相连。采用通用路由封装的网络虚拟化(NVGRE)^[6]把二层以太网

帧封装到通用路由封装协议(GRE)内, 通过24比特的租户网络标识(TNI)租户网络。NVGRE需要在端到端之间建立隧道, 隧道的数量随终端数量增加以平方速率上升。无状态传输隧道(STT)^[7]使用64比特的内容标识虚拟网络, 把数据帧先进行分割再封装到传输控制协议(TCP)报文中, 利用网卡的硬件加速功能来提升效率。STT在TCP包头中没有维护TCP状态信息, 故被称为无状态TCP, 隧道模式接近UDP模式。

这些协议各有优缺点, 运营商需要根据实际应用场景选择具体的技术路线。在选择过程中, 除了技术特点, 运营商还面临其他问题:

(1) 设备支持

网络虚拟化标准之争愈演愈烈, 交换机设备厂商或者支持VXLAN, 或者支持NVGRE, 很少有设备同时支持两种协议。STT则需要物理网卡支持TCP分段卸载(TSO)或者大段卸载(LSO)。运营商的硬件选择范围受到限制。

(2) 技术锁定

现有的网络虚拟化方案不支持

收稿日期: 2014-03-05

网络出版时间: 2014-04-28

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”)计划(2010CB328200); 国家自然科学基金(61371084)

多种虚拟化技术并存。运营商一旦选择了某种虚拟化技术,就被锁定了,无法为新的应用需求针对性的选择虚拟化技术。

(3) 原有设备兼容

运营商早期购买的交换机/网卡通常不支持 VXLAN/NVGRE/STT 等协议,如果没有合适的解决方案,只能全部替换,造成巨大浪费。

针对上述问题,我们设计了基于软件定义网络(SDN)^[8]的多区域网络虚拟化模型,可以兼容多种网络虚拟化技术,实现高效率、可扩展、大规模的网络虚拟化。主要设计原理是利用SDN对网络物理设备可控制的优势,引入网络区域(Zone)的逻辑概念,在同一个区域中使用某种网络虚拟化技术,在区域与区域的边界通过控制平面实现不同虚拟网络标识符的转换,完成跨区域交互。

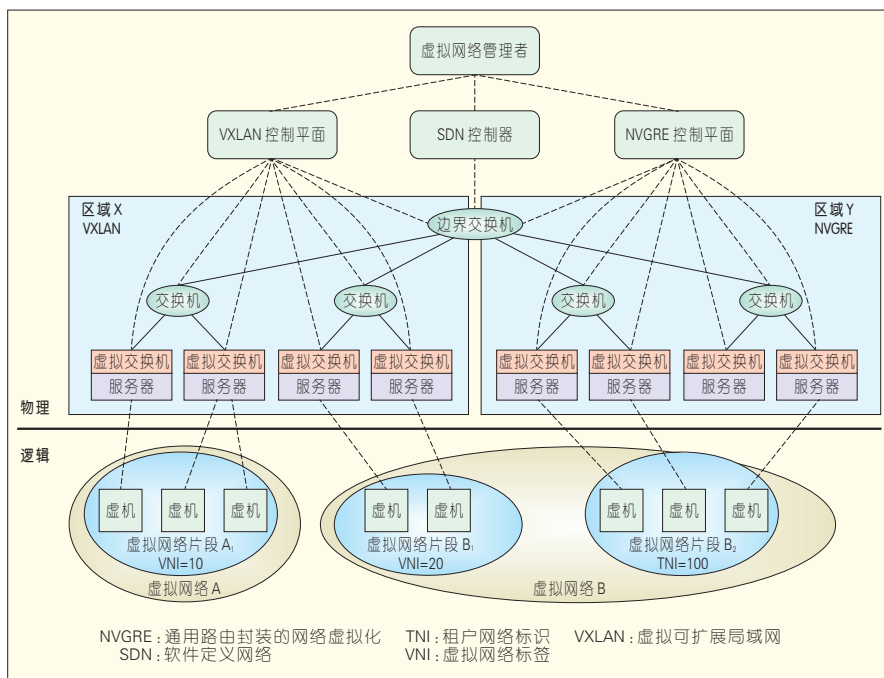
1 多区域模型

1.1 区域

区域是一个包含一定数量的服务器与交换机的物理设备集合。整个网络可以根据实际需求划分为若干个区域,不同的区域通过边界交换机互连。区域内的交换机(包括服务器上的虚拟交换机)和边界交换机需要能够支持同一种网络虚拟化技术,实现区域内的虚拟网络隔离。多区域网络虚拟化模型如图1所示。区域X采用VXLAN,区域Y采用NVGRE。每个区域拥有自己的控制平面,负责区域内的配置。

1.2 虚拟网络片段

虚拟网络可以在一个区域内,也可以跨多个区域。虚拟网络在每一个区域中被称为一个虚拟网络片段,多个虚拟网络片段通过域间的边界交换机级联成一个虚拟网络。如图1中,虚拟网络A仅分布在区域X中,拥有一个虚拟网络片段A₁;虚拟网络B分布在区域X和区域Y中,拥有两



▲ 图1 多区域网络虚拟化模型

个虚拟网络片段B₁和B₂。

1.3 虚拟网络标签

虚拟网络标签是实现虚拟网络隔离的关键。虚拟网络标签的格式为{区域:标识符,[区域:标识符]……},利用每一个区域内所采用网络虚拟化技术的虚拟网络标识符唯一标识其对应的虚拟网络片段,从而在不增加任何封装开销的前提下唯一标识一个虚拟网络。

1.4 标识符转换

当虚拟网络有多个虚拟网络片段时,需要在边界交换机处对报文进行解封封装和重新封装,更换标识符,使得两个虚拟网络片段可以互通。边界交换机为SDN交换机,需要同时支持所有相邻区域的网络虚拟化技术。边界交换机根据SDN控制器下发的配置,实现动态标识符转换,支持虚拟网络的动态修改。边界交换机标识符转换过程如图2所示。

1.5 虚拟网络管理者

虚拟网络管理者负责管理虚拟

网络与虚拟网络片段之间的映射关系。虚拟网络管理者通常作为云计算平台的一部分,向用户/应用提供定义良好的应用编程接口(API),用于动态创建/删除/更新虚拟网络。当收到请求时,虚拟网络管理者根据虚拟机的分布、物理网络拓扑以及区域的划分,将虚拟网络嵌入到物理网络中,计算需要多少个虚拟网络片段以及每个虚拟网络片段的边缘交换机端口,分配虚拟网络标签,然后调用对应区域的控制平面,配置交换机建立区域内的虚拟网络连接。与此同时,虚拟网络管理者将虚拟网络片段之间的对应关系发送给SDN控制器,由SDN控制器负责下发配置给边界交换机,实现标识符转换。

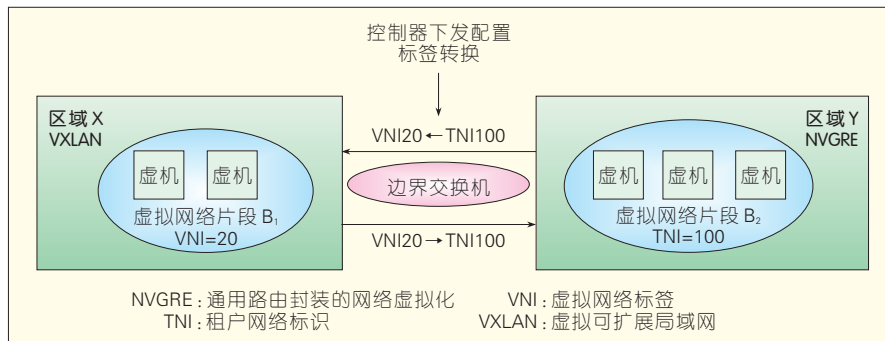
2 实现

2.1 区域划分

除了同区域交换机必须支持相同的网络虚拟化技术,区域划分策略还可能受到其他因素影响:

(1) 虚拟网络规模

VLAN 最多支持 4 096 个虚拟网



▲图2 边界交换机标识符转换过程

络。通过划分 N 个区域,将一个虚拟网络尽量嵌入到一个区域中,理想情况下可以将支持的虚拟网络数目扩大 N 倍。

(2) 系统开销

GRE隧道的数目随着终端数目增加以平方速率增长。通过合理控制区域中的服务器/交换机数目,可以有效控制系统开销。

2.2 虚拟网络嵌入

虚拟网络嵌入是非线性编程-硬(NP-hard)问题,计算复杂度随物理网络资源规模增加而急剧增加^[9]。在我们的模型中,虚拟网络嵌入分为两步:虚拟网络分解为若干个虚拟网络片段,区域内虚拟网络片段的嵌入。

为了实现简单,我们尽量将虚拟网络嵌入到一个区域内,降低跨区域引起的标识符转换开销。在某些情况下,虚拟网络会被分为多个片段:

(1) 策略需要

当网络区域划分与其他策略(如灾备区域划分)结合起来时,将一个虚拟网络划分成多个虚拟网络片段,使得一个虚拟网络中的虚拟机能处于不同的区域中,实现灾备等功能。

(2) 物理资源受限

一个区域的物理资源是有限的,包括服务器和交换机。当新增需求超过了区域内可用资源时,可以将需求分布在多个区域中。例如,某个用户需要150台2核CPU的虚拟机,连接在一个虚拟网络中,而每个区域可用CPU都只有200核。此时,虚拟网

络将被迫分为多个片段,通过多个区域的物理资源提供用户所需要的150台2核CPU的虚拟机。

区域内虚拟网络片段的嵌入可以使用任意已有的嵌入算法。

2.3 区域内网络虚拟化

区域控制平面有很多现成的解决方案,可以集成到我们的模型中,只需要其能提供API供虚拟网络管理者调用,配置虚拟网络连接。

下面将介绍如何用SDN实现区域内网络虚拟化。

我们将区域内的交换机分为两种:边缘交换机和中间交换机。所有与虚拟机直接相连的交换机(即虚拟交换机)都是边缘交换机,其他交换机则是中间交换机。边缘交换机负责对数据包进行封装/解封装,支持开放流协议(OpenFlow)^[10-11],可以通过OpenFlow控制器进行管理。中间交换机只要能够支持隧道的建立,可以不用支持OpenFlow。为了更好地控制虚拟网络之间的安全隔离以及防止广播包的洪泛,所有边缘交换机上添加一条最低优先级的流表,默认丢弃所有的数据包。当有虚拟网连接需要建立时,通过添加更高级别的流表来允许此虚拟网的数据包通过。

控制平面主要包括3个模块:

(1) 拓扑管理模块

控制器使用链路层发现协议(LLDP)^[12]实现物理拓扑自动发现。对于支持OpenFlow协议的交换机,通过发送带LLDP数据包的Packet-out

消息,触发相邻OpenFlow交换机发送Packet-in消息,从而获知两台交换机之间的连接情况。对于不支持OpenFlow协议的交换机,控制器通过简单网络管理协议从交换机的管理信息库读取相邻链路信息。

(2) 路径计算模块

根据输入的虚拟机位置,调用路由算法寻找网络路径。模块与路由算法解耦和,可以根据需求动态调用不同的路由算法。

(3) 虚拟网络服务模块

此模块负责维护虚拟网络片段与区域内物理网络之间的映射关系。当虚拟网络片段中有虚拟机加入/离开/迁移时,虚拟网络服务模块调用路径计算模块计算新的路径,下发配置给交换机,更新虚拟网络片段。

对于虚拟网络片段VN-X,当虚拟机VM-X被创建后,OpenFlow控制器在虚拟机VM-X所在的边缘交换机上创建一个端口P-X,并将端口P-X连接到虚拟机VM-X。如果虚拟机VM-X是虚拟网络片段VN-X在此边缘交换机上的第一台虚拟机,从此边缘交换机建立到其他拥有属于虚拟网络片段VN-X虚拟机的边缘交换机的隧道。

然后,控制器在边缘交换机上配置3条流表:

(1) 给从端口P发出的报文加上对应的虚拟网络标识符I,并发送到对应的隧道中,使得虚拟机V发出的报文能够进入虚拟网络。

(2) 将拥有相同虚拟网络标识符I的广播包去除标识符并发送到端口P,使得虚拟机V能收到所属虚拟网络的广播包。

(3) 将拥有相同虚拟网络标识符I且目的媒体访问控制(MAC)地址为虚拟机V的MAC地址的单播包去除标识符并发送到端口P,确保虚拟机V只收到应该收到的报文。

2.4 边界交换机

边界交换机需要支持OpenFlow协议和相邻区域所采用的网络虚拟

化技术。当虚拟网络 VN-X 仅在一个区域内时,边界交换机上无需做相应配置。如果虚拟网络 VN-X 分布在边界交换机相邻的 M 个区域时,OpenFlow 控制器从边界交换机建立到这 M 个区域中所有拥有属于虚拟网络 VN-X 的虚机的边缘交换机的隧道,然后在边界交换机上配置流表:

(1) 对于广播包,逐一更换相应的标识符,从接收到的隧道转发给所有其他虚拟网络 VN-X 的隧道。

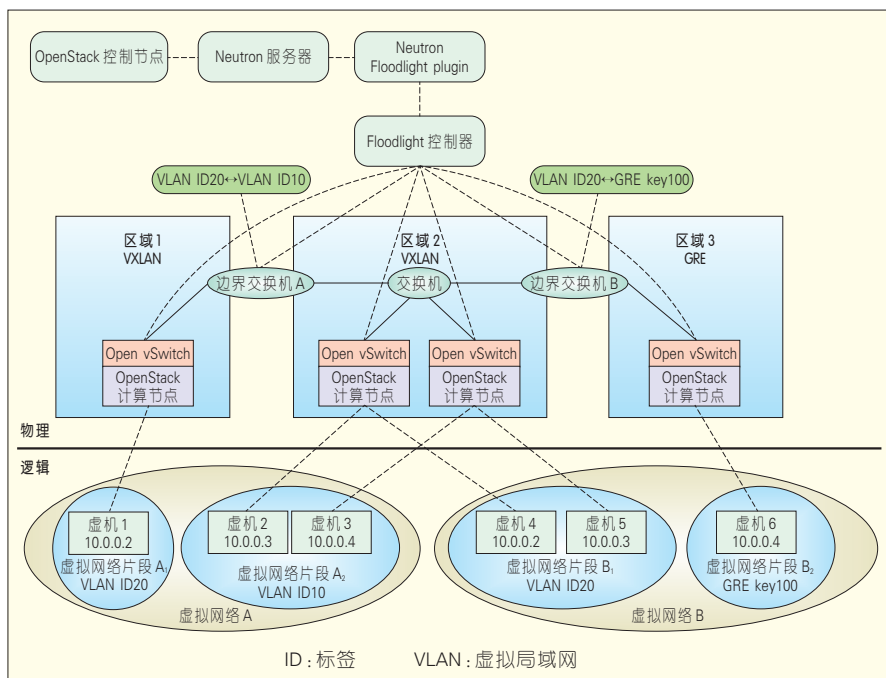
(2) 对于单播包,根据 MAC 地址,更换相应的标识符,转发到连接的虚机所在边缘交换机的隧道。

3 演示

我们搭建了一个演示环境,用于证明多种网络虚拟化技术可以共存于多区域网络虚拟化模型中。演示环境如图 3 所示。Floodlight^[13]是一款基于 Java 开发的开源 OpenFlow 控制器,支持 OpenFlow 协议 v1.0 版本。我们在 Floodlight 基础上做了扩展实现 SDN 控制器。OpenStack^[14]是开源云计算平台的领导者,其中的 Neutron 项目负责提供虚拟网络连接服务。Neutron 采用可扩展的 Plugin 架构,支持使用不同的网络虚拟化技术。Floodlight 为 Neutron 实现了一个 Plugin 架构^[15],我们在这个 Plugin 基础上,实现了虚拟网络管理者。虚拟网络管理者在启动的时候会载入一个配置文件。配置文件中记录了区域划分信息、每一个区域支持的网络虚拟化技术以及可用的标识符区间。在演示环境中,网络被划分为 3 个区域,其中区域 1 和区域 2 采用 VLAN,区域 3 采用 GRE。虚拟网络嵌入使用 OpenStack 默认的调度算法。

3.1 区域内连接与隔离

我们使用 OpenStack 控制节点创建两个虚拟网络 A 和 B,使用相同的地址空间。区域 2 内创建了 4 台虚机,其中虚机 2 和虚机 3 属于虚拟网络 A,分别分配地址 10.0.0.3 和



▲ 图 3 演示环境

10.0.0.4; 虚机 4 和虚机 5 属于虚拟网络 B, 分别分配地址 10.0.0.2 和 10.0.0.3。控制器在区域 2 内创建了 2 个虚拟网络片段 A₂ 和 B₁, 分别分配标识符 VLAN ID 10 和 VLAN ID 20。

我们使用 Ping 命令测试虚机之间的可达性,并使用 Tcpdump 工具进行抓包。测试结果显示,虚拟 2 和虚机 3 之间能够相互访问,但不能访问虚机 4 和虚机 5,也侦听不到虚机 4 和虚机 5 发出的广播包;反之亦然。这说明虚拟网络 A 和 B 拥有独立的地址空间,并且相互隔离。

3.2 跨不同网络虚拟化技术区域的虚拟网络

区域 2 和区域 3 使用了不同的网络虚拟化技术。在 3.1 节基础上,我们使用 OpenStack 控制节点在区域 3 内创建虚机 6,并加入虚拟网络 B。控制器会在区域 3 内创建虚拟网络片段 B₂,分配标识符 GRE key 100;然后配置边界交换机 B,对区域 2 的标识符 VLAN ID 20 和区域 3 的标识符 GRE key 100 进行转换。测试结果显示虚机 6 能与虚机 4 和虚机 5 相互访

问,不能访问虚机 2 和虚机 3。这表明虚拟网络可以跨不同网络虚拟化技术区域实现。

3.3 跨相同网络虚拟化技术区域的虚拟网络

区域 1 和区域 2 使用了相同的网络虚拟化技术。在 3.1 节基础上,我们使用 OpenStack 控制节点在区域 1 内创建虚机 1,并加入虚拟网络 A。控制器会在区域 1 内创建虚拟网络片段 A₁,分配标识符 VLAN ID 20;然后配置边界交换机 A,对区域 1 的标识符 VLAN ID 20 和区域 2 的标识符 VLAN ID 10 进行转换。测试结果显示虚机 1 能与虚机 2 和虚机 3 相互访问;虽然虚机 4 和虚机 5 在区域 2 内使用的标识符也是 VLAN ID 20,但不能与虚机 1 互相访问。这表明虚拟网络可以跨相同网络虚拟化技术区域实现,不同区域内的虚拟网络标识符空间独立。

4 结束语

本文提出了一种新型的多区域

➡ 下转第 31 页

弹性光传输基础设施上动态透明虚拟网络嵌入

Dynamic Transparent Virtual Network Embedding Based on Elastic Optical Transport Infrastructure

中图分类号: TN915 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0026-006

摘要: 提出了一个新的动态透明的虚拟网络嵌入(VNE)算法。该算法基于弹性光传输基础设施,同时考虑节点映射和链路映射,用于光正交频分复用(O-OFDM)的网络虚拟化。对每一个虚拟光网络(VON)的请求,该算法首先根据各光纤链路的频谱使用将底层光网络转化成一个分层辅助图,然后在该辅助图的单层上应用一个考虑了所有底层节点的本地信息的节点映射完成链接映射。仿真结果表明,该算法考虑了 O-OFDM 网络的独特性,并且由于算法提供较低的 VON 阻塞概率,优于直接应用 VNE 的参考算法。实际拓扑结构的仿真结果也表明,嵌入的底层路径的平均距离很好地被控制在 O-OFDM 信号的典型传输范围内。

关键词: 光网络的虚拟化;动态透明的虚拟网络嵌入;光正交频分复用

Abstract: This paper describes a new dynamic transparent virtual network embedding (VNE) algorithm based on elastic optical transport infrastructure. This new algorithm takes into account the node mapping and link mapping for optical orthogonal frequency division multiplexing (O-OFDM) network virtualization. To handle the requests of each virtual optical network, this algorithm first creates a hierarchical view of the underlying optical network then takes into account all the underlying local node mapping information to complete the link map based on the single application of one auxiliary figure. Simulations show that the algorithm takes into account the uniqueness of an O-OFDM network and is better than directly using VNE reference algorithms. Simulations for an actual topology show the average distance between the bottom of the embedded path is well controlled within the range of a typical O-OFDM transmission signal.

Key words: network virtualization; dynamic transparent virtual network embedding; O-OFDM

徐浩煜/XU Haoyu¹
汪亮友/WANG Liangyou^{2,1}
朱祖勋/ZHU Zuqing³

(1. 中国科学院上海高等研究院, 上海 201210;
2. 同济大学电子与信息工程学院, 上海 201804;
3. 中国科学技术大学电磁空间信息重点实验室, 安徽合肥 230027)
(1. Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201210, China;
2. School of Electronics and Information, Tongji University, Shanghai 201804, China;
3. Key Laboratory of Electromagnetic Space Information, CAS, Hefei 230027, China)

技术由于它的弹性特性,最近被视为波分复用(WDM)技术强有力的替代者^[2]。在基于 O-OFDM 技术的网络中,带宽粒度在几吉赫兹甚至更少的情况下,频谱资源是基于连续的子载波时隙分配的。因此,带宽可变的 O-OFDM 转发器可以分配刚好够用数量的子载波时隙为连接请求提供服务,并达到子波长的粒度。为此,基于 O-OFDM 的弹性光网络被认为是用作网络虚拟化的潜在物理基础设施^[3-4],特别是对于高度分布式和数据密集型应用,例如拍比特级网格计算^[5]。

光网络的虚拟化是在底层(或物理)光网络上提供多个虚拟光网络(VON)用于共享计算资源和带宽资源^[3,6]。虚拟光网络由虚拟节点(VN)和连接节点的虚拟光链路(VOL)构

近期网络应用的蓬勃发展刺激了高弹性和可扩展网络技术的研究和开发。因此,网络虚拟化正在成

为未来互联网一个可行的解决方案,并开始吸引越来越多的研究兴趣^[1]。同时,由于光纤带宽巨大,网络运营商一直依靠光纤技术来扩展他们的网络,其网络的带宽需求呈指数上升趋势。在光纤网络中用于物理数据的传输,光正交频分复用(O-OFDM)

收稿日期: 2014-02-24

网络出版时间: 2014-04-30

基金项目: 上海市科委科技攻关项目(13511503200、13511503202); 安徽省自然科学基金(1208085MF88)

成。基础设施通过使用一个被称为虚拟网络嵌入(VNE)的程序来服务虚拟光网络(VON), VNE中, 对于每个虚拟光网络的请求, 通过节点映射和链路映射在底层网络分配必要的资源。通常情况下, 我们可以将VNE分为静态和动态两类。对于静态VNE, 所有的虚拟光网络请求是已知的, 并且基础设施提供商可以优化请求服务的顺序以提高底层资源的利用效率; 对于动态VNE, 在动态的网络环境考虑如何服务时间变化的虚拟光网络请求。由于虚拟光网络请求不是已知的, 可以随时到来和离开, 所以动态VNE需要更复杂的算法来最小化虚拟光网络的阻塞概率。

以前在光网络上VNE的工作大多数是对基础设施使用时分复用(TDM)技术, 如SONET或SDH^[7]或使用波分复用(WDM)^[8-11]技术。在文献[7]中, 作者在多个域的SDH网络上研究动态VNE, 并提出了一个有效服务虚拟光网络请求的调度方案。基于所有的底层节点都配备了足够的波长转换器的假设, 在文献[8]中一个混合整型线性规划(MILP)模型被提出并用于解决波分复用网络上的静态VNE。通过将(物理层损伤PLI)考虑在内, 在文献[9]中作者提出了一个用于波分复用网络的动态感知损伤的VNE算法。接着在文献[10]中他们扩展了研究, 同时考虑单行速率和混合线路速率的波分复用网络。在文献[11]中, Pages等人在波分复用网络上为透明和不透明的VNE建立了整型线性规划(ILP)模型, 并提出一种启发式的透明方案。由于他们没有解决虚拟光网络的节点映射, 所以在文献[9-11]中的研究仅仅解决了VNE的部分问题。

最近, 在基于O-OFDM的弹性光传输基础设施上的网络虚拟化开始吸引人们研究的兴趣。它的工作原理和关键技术文献[3-4]中进行了综述, 这些综述指出O-OFDM转发器的操作需要虚拟光链路运行在频谱

域中连续的子载波时隙。因此, 在O-OFDM网络上的VNE有附加的约束, 而且开发用于波分复用或2/3层网络虚拟化的算法并不直接适用。在文献[12]中, Pages等人建立了用于O-OFDM网络上静态不透明的VNE的ILP模型。然而, 虚拟光网络的节点映射仍然被忽略了。

本文考虑了带有时变虚拟光网络请求的O-OFDM网络, 并提出一个动态透明的包含节点映射和链路映射的VNE算法。类似于波分复用网络上透明的VNE中的链路映射^[11]情景, 为了确保透光性的端到端的链接可以在虚拟光网络中任意两个虚拟节点间部署, 在虚拟光网络中我们需要给每个虚拟光链路分配相同的子载波时隙。对每个虚拟光网络请求, 该算法首先根据各个光纤链路的频谱使用将底层光网络转化为一个分层辅助图, 然后应用一个新的考虑了所有底层节点的本地信息的节点映射方法, 并且通过在该辅助图的单层执行最短路径路由完成链接映射。据我们所知, 同时包括链路映射和节点映射, 以解决弹性光传输基础设施上动态透明的VNE, 这是首次提出。

1 虚拟网络嵌入问题描述

1.1 虚拟网络嵌入模型

一个透明VNE的例子如图1所示。图1包括底层光网络、虚拟光网络请求和映射结果。

(1) 底层光网络

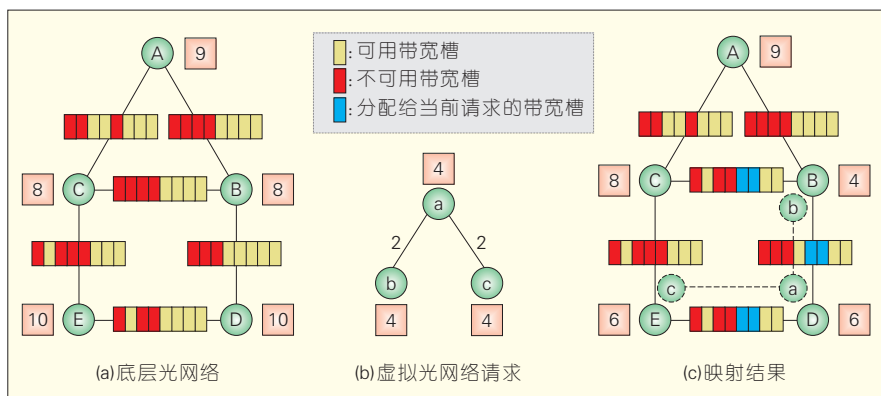
一个底层光网络可以建模成一个无向图, 记为 $G^s(V^s, E^s)$, 其中 V^s 是底层节点的集合, E^s 是底层光纤链路的集合。每个属于节点集合 V^s 的节点 v^s 都有一个相应可用的计算能力 c_v^s , 即该节点的计算能力。对于每个属于链路集合 E^s 的链路 e^s , 我们定义一个包含 B 个比特的比特掩码 b_e^s , 其中 B 是一个光纤链路可以容纳子载波时隙的最大数量。当 $b_e^s[j]=1$ 时, 表示链路 e^s 上第 j 个时隙被占用, 否则 $b_e^s[j]=0$ 。图1(a)显示一个底层网络的例子, 底层节点的计算能力标记在矩形内, 各个光纤链路的举行条描绘了它的频谱使用情况。

(2) 虚拟光网络请求

一个虚拟光网络请求(VON)可以被建模成一个无向图 $G^r(V^r, E^r)$ 。我们用符号 c_v^r 来表示在虚拟光网络请求中各个虚拟节点 $v^r \in V^r$ 的计算能力需求。每个虚拟光链路(VOL) $e^r \in E^r$ 的带宽要求被定义为 n^r , 是我们需要分配给它的连续时隙的数量。图1(b)显示一个虚拟光网络请求, 计算能力要求标记与图1(a)相似, 同时每个虚拟光链路的数量表示带宽要求 n^r 。注意, 一个虚拟光网络中所有的虚拟光链路的 n^r 是相同的, 这是对称网络中的常识。

1.2 虚拟网络嵌入程序

当虚拟光网络(VON)请求到达时, 动态透明VNE算法试图执行以下



▲ 图1 一个透明VNE的例子

两个操作:

(1) 将虚拟节点分配给有足够计算资源的底层节点(即节点映射)。

(2) 选择底层光纤链路来实现虚拟光链路,并在选定的节点上分配足够的子载波时隙以满足带宽需求(即,链路映射)。如果两个操作都成功,虚拟光网络的请求被置备(Provisioned);否则将被阻止。

节点映射和链路映射细节如下:

(1) 节点映射

每个虚拟节点 $v' \in V'$ 映射到唯一的底层节点 $v \in V$ 上。数学上,它可以被描述为一对一的映射 M_N ,如公式(1)所示。

$$M_N(V') = v', v' \in V', v \in V \quad (1)$$

式(1)存在2个约束:

- 一一映射约束, $M_N(V'^1) = M_N(V'^2)$, $\forall v'^1, v'^2 \in V'$, 当且仅当 $v'^1 = v'^2$ 。

- 底层计算能力约束, $c_{v'}^r \leq c_v^s$ 。

就像图1(c)所示,在图1(b)中用于虚拟光网络请求的节点映射为 $\{a \rightarrow D, b \rightarrow B, c \rightarrow E\}$ 。

(2) 链路映射

与文献[13]中描述的路由和频谱分配问题类似,链路映射需要决定各个虚拟光链路怎么嵌入到底层路径上,以及如何在频谱分配约束下分配特定数量的连续时隙。注意,在透明VNE中,我们需要为虚拟光网络中每个虚拟光链路分配相同的子载波时隙。我们用标记 P 来表示 G' 中无环路径的集合,并定义包含 B 个比特的比特掩码 b' 来表示频谱分配。当 $b'[j]=1$ 时,表示第 j 个时隙已分配,否则 $b'[j]=0$ 。接着,链路映射可以被描述成 M_L ,如公式(2)所示。

$$M_L(e') = p', e' \in E', p' \in P \quad (2)$$

公式(2)存在3种约束:

- 带宽要求约束(分配的时隙必须连续)

$$\text{sum}(b') = n^r$$

- 底层带宽能力约束

$$B - \text{sum}\left(\bigcup_{e' \in E'} \bigcup_{e' \in P'} b_e^s\right) \geq n^r$$

- 频谱不重叠约束

$$\text{sum}\left(b' \cap \left(\bigcup_{e' \in E'} \bigcup_{e' \in P'} b_e^s\right)\right) = 0$$

其中 $\text{sum}(\bullet)$ 函数计算一个比特掩码的所有比特之和, \cup 是用于多个比特掩码的比特或运算符, \cap 是用于两个比特掩码的比特与运算符。在图1(c)中,链路映射为 $\{(a,b) \rightarrow (D, B), (a, c) \rightarrow (D, E)\}$, 已分配的时隙标记为高亮。

1.3 虚拟网络嵌入目标

动态透明VNE算法的目标是最小化虚拟光网络请求的阻塞概率。这里,阻塞概率是指在特定时间周期内在多个到达节点上阻塞的请求数量与总的请求数量的比值。实际上,有两种可降低阻塞性能的惩罚因子(Penalty Factors)。

(1) 惩罚因子 I: 映射的底层节点或链路没有足够的资源。

(2) 惩罚因子 II: 映射的底层节点和链路有足够的资源,但是映射链路上的可用时隙不能满足频谱分配的约束。

这两种惩罚因子可以指导我们设计高效的动态透明VNE算法,见算法1。

2 动态透明虚拟网络嵌入算法

在本部分,我们提出一个有效的算法来解决弹性光传输基础设施上的动态透明VNE。为了减轻惩罚因子 I,我们设计一个贪婪节点映射来考虑所有底层节点的本地信息。同时为了减轻惩罚因子 II,我们应用分层辅助图的方法在频谱分配约束下优化链路映射。我们称该算法为 VNE-LINM-LAGLM,这是

“带有基于节点映射的本地信息和基于链路映射的分层辅助图的VNE”的缩写。算法阐释了VNE-LINM-LAGLM的总体程序,其中 $\text{node}(\bullet)$ 函数返回图中的节点数量, $|\bullet|$ 返回集合中元素的数目。

2.1 分层辅助图

在算法2中,18行描述了如何将底层网络转化成辅助图的一层的程序。具体而言,算法检查 n' 个连续时隙构成的频谱块在每个光纤链路是否可用。如果是,则该链路插入到辅助图的第 i 层,其中 i 是子载波时隙的起始索引号。在检查完所有的光纤

▼ 算法1 VNE-LINM-LAGLM 算法

输入: 底层网络 G^s , 虚拟网络请求 G^r
输出: 节点映射 M_N , 链路映射 M_L

```

1  $G^s \leftarrow G^s$ ;
2 for  $i=1$  to  $B-n'+1$  do
3    $G^s \leftarrow G^s$ ;
4   foreach  $e' \in E^s$  in  $G^s$  do
5     if  $\text{sum}(b_{e'}^s, [i \cdots (i+n'-1)]) > 0$  then
6       将  $e'$  从图  $G^s$  中删除;
7     end
8   end
9    $k=1$ ;
10  foreach  $G^s$  的连通分量 do
11     $G^{sub_k} \leftarrow G^s$  的一个连通分量;
12    从  $G^s$  中删除  $G^{sub_k}$  的所有节点以及链路;
13    if  $\text{node}(G^{sub_k}) \geq |V'|$  then
14       $k=k+1$ ;
15    end
16  end
17 按照  $\text{node}(G^{sub_k})$  从大到小对  $\{G^{sub_j}, j=1 \cdots k-1\}$  排序;
18  for  $j=1$  to  $k-1$  do
19    采用算法2尝试将  $G^r$  映射到  $G^{sub_j}$  上;
20    if 映射成功 then
21      更新  $G^s$ ;
22      输出映射结果  $M_N$  和  $M_L$  并且停止算法;
23    end
24  end
25 end
26 标记  $G^r$  被阻塞;
```


▼算法2 节点映射和链路映射

输入: G^{sub}_k, G^r 输出: M_N, M_L , 虚拟网络映射状态 F

```

1 计算  $G^{sub}_k$  中每个节点  $v^s$  的局部资源信息  $h_{v^s}^s$ ;
2 foreach  $v^s$  按照节点度从大到小的顺序 do
3   foreach  $G^{sub}_k$  中没有被标记的  $v^s$  按照  $h_{v^s}^s$  从大到小的顺序 do
4     if  $c_{v^s}^s \geq c_{v^s}^p$  then
5        $M_N(v^s) = v^s$ ;
6       在  $G^{sub}_k$  中标记  $v^s$  被选中;
7     break
8   end
9 end
10 if  $M_N(v^s) = 0$  then
11   return( $F=FAILURE$ );
12 end
13 end
14 foreach  $e^r = (v^{r1}, v^{r2})$  do
15   在  $G^{sub}_k$  中找到从  $M_N(v^{r1})$  到  $M_N(v^{r2})$  的最短路径  $p^s$ ;
16   if  $p^s = 0$  then
17     return( $F=FAILURE$ );
18   end
19    $M_L(e^r) = p^s$ ;
20   在  $G^{sub}_k$  中删除所有  $e^s \in p^s$ ;
21 end

```

链路后,该算法在构造层中搜索连通子图,并且根据它们的节点数目进行排序。一个连通子图是一个子图,在子图中任意两个节点通过路径连接,并且在超图中连接到没有额外的节点^[14]。

2.2 节点映射和链路映射

算法2说明辅助图的构造层中的节点映射和链路映射的详细程序。

底层节点 v^s 的本地信息包括其可用的计算能力 $c_{v^s}^s$ 和节点度 $d_{v^s}^s$ 。注意到节点度 $d_{v^s}^s$ 源自所构造的分层图的单层,但不是来自原先的底层网络。我们定义第 i 层上一个底层节点的本地信息为公式(3):

$$h_{v^s}^s = c_{v^s}^s d_{v^s}^s \quad (3)$$

其中, $d_{v^s}^s$ 表示所构造的分层图

的第 i 层的节点 v^s 的节点度。直观地,更大的值 $h_{v^s}^s$ 意味着节点 v^s 有更大的嵌入潜力。

3 虚拟网络嵌入算法性能评估

3.1 仿真配置

我们采用仿真来评估该算法,仿真实验使用两个底层网络拓扑,一个有14个节点和23个链路的实际的DT (Deutsche Telecom)^[13]拓扑结构,另一个是由50个节点和141链路构成的大型随机生成的拓扑结构。随机生成的拓扑是由GT-ITM工具生成的^[15]。我们设置每个节点的初始计算能力为200 units,并在底层网络的各个光纤链路分配200子载波时隙。虚拟光网络(VON)请求的到来遵循泊松(Poisson)流量模型,同时虚拟光网络的拓扑也是使用GT-ITM工具随机生成的。

为了评估该算法的性能,我们设计了两个参考算法。第一个参考算法借鉴了通常用于2/3层网络虚拟化计算动态VNE中本地信息的方法。具体而言,底层节点的本地信息是通过在所有的事件链路上它可用的计算能力与总的可用带宽(例如,未使用的子载波时隙的总数)的乘积计算的^[16]。节点映射是基于它本地信息,链路映射使用最短路径路由和首次适应频谱分配直接将虚拟光链路嵌入到底层网络,没有构造分层的辅助图。我们称这个参考算法为“无分层链路映射的VNE参考”或VNE-REF-NLLM。基本上,VNE-REF-NLLM算法仿真我们直接应用开发用于2/3层网络虚拟化的VNE算法到我们案例的情况。第二个参考算法使用和第一个相同的方法计算本地信息,但是

为链路映射构造了分层辅助图。我们称之为“分层链路映射的VNE参考”或VNE-REF-LLM。VNE-REF-LLM算法仿真我们认为在链路映射阶段O-OFDM物理层的独特性,但是仍然直接应用开发用于2/3层网络虚拟化的节点映射方案的情况。

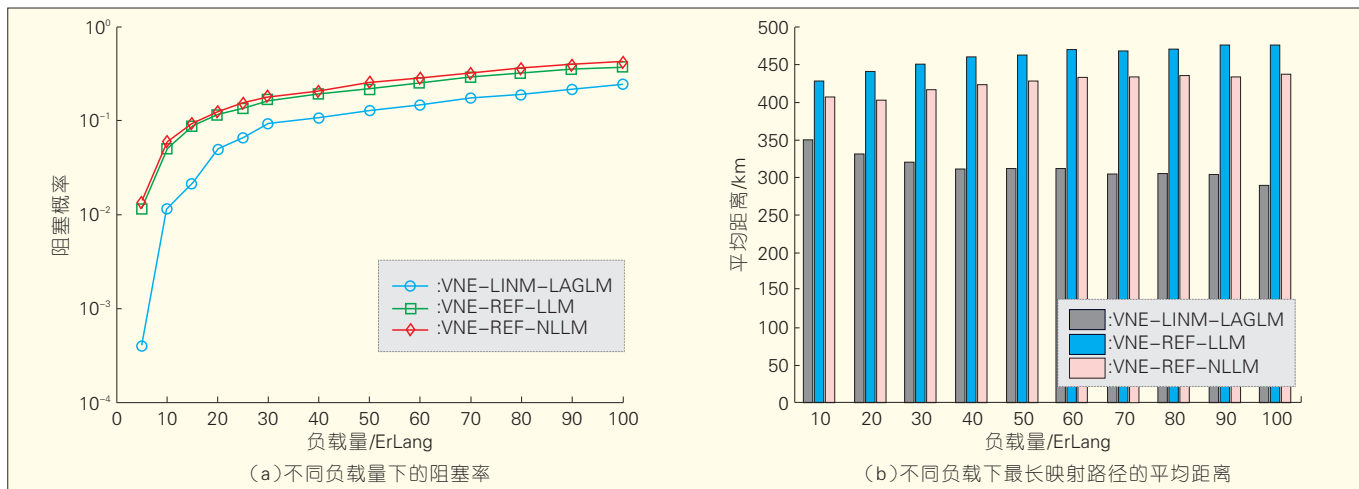
3.2 DT拓扑仿真

使用DT拓扑仿真,一次虚拟光网络请求中的虚拟节点的数量是随机地从3和4中选取,并且每对节点以0.5的概率连接。每个虚拟节点的计算能力需求 $c_{v^r}^r$ 是均匀分布在1~10 units之间,而每个虚拟光链路的带宽要求 n^r 是随机地从1~10个时隙中选取。

使用DT拓扑的仿真结果如图2所示。图2(a)表明,VNE-LINM-LAGLM算法提供了3个算法中最低的阻塞概率。我们还观察到算法VNE-REF-LLM的阻塞概率仅稍低于VNE-REF-NLLM算法的阻塞概率。这个观察结果反映,本地信息计算方案通过分层方法将链路映射约束考虑在内,因为节点映射可能为弹性光传输基础设施上动态透明的VNE带来更低的阻塞概率。正如以前的工作^[14,9]中解释的,物理层损伤(PLI)可以明显地影响光网络虚拟化的质量。因此,理想的是,为了减少的信号质量下降,我们以尽可能短的距离将虚拟光链路嵌入到底层路径。图2(b)比较了3个VNE算法底层路径的平均距离。可以看出,VNE-LINM-LAGLM算法趋向于以最短底层路径嵌入虚拟光链路来应对所有流量负载VNE-REF-NLLM和VNE-REF-LLM的平均距离分别为73%和68%)。算法VNE-LINM-LAGLM中平均路径距离大约313 km,这比500 Gb/s使用QPSK调制的O-OFDM超信道信号的典型传输距离要小得多^[17]。

3.3 大型随机拓扑仿真

对于DT拓扑的规模,我们很难



▲ 图2 使用DT拓扑的仿真结果

去仿真超过4个虚拟节点的虚拟光节点请求。为了进一步研究 VNE-LINM-LAGLM 算法的性能,我们在一个由50个节点组成的随机底层拓扑上仿真。

我们假设光纤链路的长度是相同的,都为50 km。一次虚拟光节点请求中的虚拟节点的数量随机地从2~10中选取,并且每对节点以0.5的概率连接。计算能力需求 c_v^r 是均匀分布在1~20 units之间,而每个虚拟光链路的带宽要求 n 是随机地从1~20个时隙中选取。

使用随机拓扑仿真的结果如图3所示。图3(a)表明,VNE-LINM-LAGLM算法仍然达到最低的阻塞概率。在图3(b)中,有趣的是,观察到算法 VNE-LINM-LAGLM 中平均路径距离要比从算法 VNE-REF-NLLM 的平均路径距离要长,而且,它们不再是最短的。我们相信这种现象可作如下解释。与那些使用DT拓扑的比较,本次仿真平均生成更多的虚拟节点和虚拟光链路的虚拟光网络请求。因为在链路映射前它不执行频谱连续性检查,所以在本次仿真情景中,VNE-REF-NLLM算法在长的底层路径嵌入虚拟光链路有困难。通过阻塞概率验证的基本原理如图3(a)刻画,VNE-REF-LLM算法比 VNE-REF-NLLM算法达到较大的阻塞性

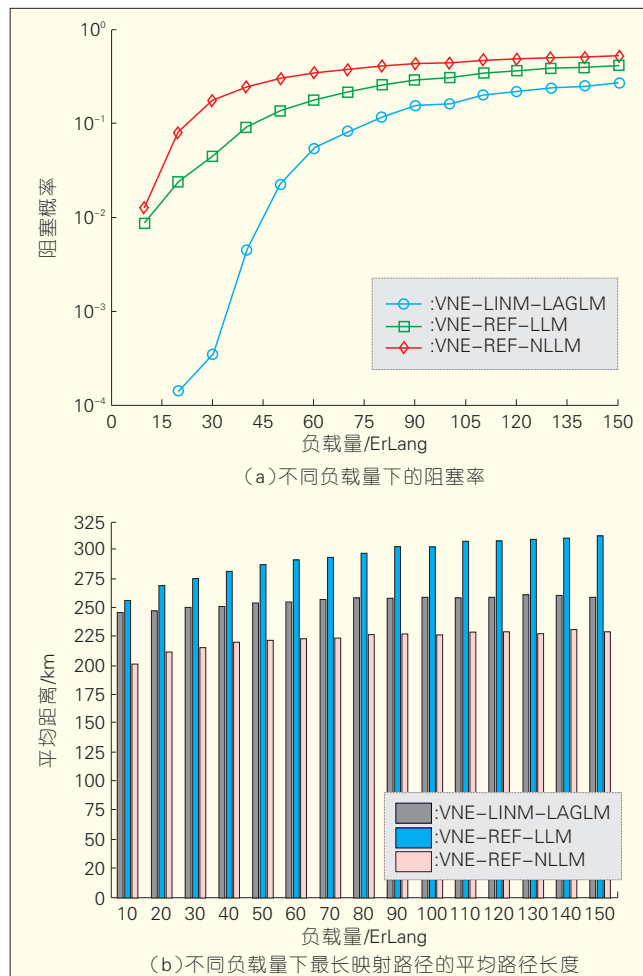


图3▶ 使用随机拓扑仿真的结果

能增益。

4 结束语

我们提出了一个新的动态透明

VNE算法,它同时考虑了节点映射和链路映射,用于弹性光传输基础设施上O-OFDM的网络虚拟化。仿真结果表明,该算法考虑了O-OFDM网络

的独特性, 优于两个直接应用于 2/3 层或波分复用网络虚拟化的 VNE 方案的参考算法。

参考文献

- [1] CHOWDHURY N, BOUTABA R. A survey of network virtualization [J]. Comput. Netw., 2010, 54(5): 862–876.
- [2] ARMSTRONG J. OFDM for optical communications [J]. Lightw. Technol., 2009, 27(3): 189–204.
- [3] NEJABATI R, ESCALONA E, PENG S, et al. Optical network virtualization [C]// Proceedings of the ONDM, 2011, 2: 1–5.
- [4] JINNO M. Virtualization in optical networks: from elastic networking level to sliceable equipment level [C]// Proceedings of the COIN 2012, 3: 61–62.
- [5] ZERVAS G. Phosphorus grid-enabled GMPLS control plane (G2MPLS): architectures, services, and interfaces [J]. IEEE Commun. Mag., 2008, 46(6): 128–137.
- [6] FIGUEROLA S, LEMAY M. Infrastructure services for optical networks [J]. Opt. Commun. Netw., 2009, 1(2): 247–257.
- [7] WANG Y. Virtual optical network services across multiple domains for grid applications [J]. IEEE Commun. Mag., 2011, 49(5): 92–101.
- [8] ZHANG S, SHI L, VADREUV C S K, et al. Network virtualization over WDM networks [C]// Proceedings of the ANTS'11, 2011: 1–3.
- [9] PENG S. An impairment-aware virtual optical

network composition mechanism for future internet [C]// Proceedings of the ECOC 2011, 2011, 9: 1–3.

- [10] PENG S, NEJABATI R, AZODOLMOLKY S. Virtual optical network composition over single-line-rate and mixed-line-rate WDM optical networks [C]// Proceedings of the OFC 2012, 2012, 3: 1–3.
- [11] PAGES A, PERELLO J, SPADARO S, et al. Strategies for virtual optical network allocation [J]. IEEE Commun. Lett., 2012, 2: 268–271.
- [12] PAGES A. Optimal allocation of virtual optical networks for the future internet [C]// Proceedings of the ONDM 2012, 2012, 4: 1–6.
- [13] GONG L, ZHOU X, LU W, et al. A two-population based evolutionary approach for optimizing routing, modulation and spectrum assignments (RMSA) in O-OFDM networks [J]. IEEE Commun. Lett., 2012, 16(9): 1520–1523.
- [14] Connected component (graph theory) [EB/OL]. (2014-02-11). [http://en.wikipedia.org/wiki/Connected_component_\(graph_theory\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Connected_component_(graph_theory)).
- [15] ZEGURA E, CALVERT K, BHATTACHARJEE S. How to model an internetwork [C]// Proceedings of the INFOCOM 1996, 1996, 5: 594–602.
- [16] YU M. Rethinking virtual network embedding: Substrate support for path splitting and migration [J]. SIGCOMM Comput. Commun. Rev., 2008, 28(2): 17–29.
- [17] KLEKAMP A, DISCHLER R, BUCHALI F. Transmission reach of optical OFDM superchannels with 10–600 Gb/s for

transparent bit-rate adaptive networks [C]// Proceedings of the ECOC'11, 2011: 1–3.

作者简介



徐浩煜, 中国科学院上海高等研究院航空通信研究实验室主任、副研究员; 主要从事通信网络、金融大数据等方面的研究; 已发表学术论文 10 余篇, 授权发明专利 2 项, 申请发明专利 6 项。



汪亮友, 同济大学电子与信息工程学院在读博士研究生; 中国科学院上海高等研究院高级工程师; 研究方向为通信网络、人工智能、软件工程和无线通信技术等。



朱祖劼, 美国加州大学戴维斯分校博士毕业; 中国科学技术大学信息科学技术学院副教授、博士生导师; 主要从事光通信网络、未来网络体系架构和媒体网络方面的研究; 已发表 SCI 期刊论文 37 篇。

←上接第 25 页

网络虚拟化模型, 将物理网络划分为多个区域, 可以同时兼容多种网络虚拟化技术, 实现网络平滑升级。我们基于开源软件搭建了一个原型系统, 验证了模型的可行性。

参考文献

- [1] SHEN W, MINATO K, TSUKISHIMA Y, et al. Implementation of a novel management development [C]// Proceedings of the Network Operations and Management Symposium (APNOMS), 2013 15th Asia-Pacific. 2013
- [2] CHOWDHURY N M, BOUTABA R. Network virtualization: state of the art and research challenges [J]. Communications Magazine, IEEE, 2009, 47(7): 20–26.
- [3] CHOWDHURY N M, BOUTABA R. A survey of network virtualization [J]. Computer Networks, 2010, 54(5): 862–876.
- [4] IEEE 802.1q. VLAN [S]. IEEE, 2005.
- [5] IETF drafts. VXLAN: A Framework for Overlaying Virtualized Layer 2 Networks over Layer 3 Networks [S]. IETF, 2014.
- [6] IETF drafts. NVGRE: Network Virtualization using Generic Routing Encapsulation [S]. IETF, 2014.

[7] IETF drafts. A Stateless Transport Tunneling Protocol for Network Virtualization (STT) [S]. IETF, 2013

- [8] WIKIPEDIA. Software-defined networking [EB/OL]. (2014-02-28). http://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_networking.
- [9] YU M, YI Y, REXFORD J, et al. Rethinking virtual network embedding: substrate support for path splitting and migration [J]. SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38(4): 19–29.
- [10] MCKEOWN N. OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks [J]. SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38(4): 69–74.
- [11] OpenFlow specification v1.4.0. [EB/OL]. (2014-02-28). <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/onf-specifications/openflow/openflow-spec-v1.4.0.pdf>.
- [12] IEEE 802.1AB-2009. Station and Media Access Control Connectivity Discovery [S]. IEEE, 2009.
- [13] Floodlight [EB/OL]. (2014-02-28). <http://www.projectfloodlight.org/floodlight/>.
- [14] OpenStack: Open Source Cloud Computing Software [EB/OL]. (2014-02-28). <https://www.openstack.org/>.
- [15] Floodlight plugin for neutron: [EB/OL]. (2014-02-28). <https://github.com/openstack/neutron/tree/master/neutron/plugins/bigswitch>.

作者简介



罗莹, 工作于上海交通大学网络信息中心, 博士; 负责学校数据中心网络的规划和建设、云计算平台的开发和建设; 主要研究方向为数据中心网络、云计算、网络虚拟化和数据挖掘。



马塞, 上海交通大学在读硕士研究生; 主要研究方向为网络虚拟化。



金耀辉, 上海交通大学教授、博士, 网络信息中心副主任; 主要研究方向为软件定义网络、数据中心网络、网络数据分析。

虚拟网络的服务迁移技术研究

Main of Service Migration Technologies in Virtual Networks

中图分类号: TN915 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0032-004

摘要: 提出了一种面向单域环境的虚拟网络迁移算法。基于动态服务质量计算, 定义了迁移判定因子, 量化迁移代价与收益参数, 动态评判迁移的时机, 并选择判定因子最小的虚拟节点作为服务迁移节点。该算法可以有效地减少服务延迟, 提高用户的服务体验质量, 实现网络高效的资源管理和降低能耗的目标。

关键词: 网络虚拟化环境; 服务迁移; 资源管理; 移动性

Abstract: This paper describes an intra-provider service migration algorithm in the network virtualization environment. Using the dynamic QoS computing method, we define the migration discriminant factor, which quantifies the trade-off of migration costs and benefits. With this algorithm, we can judge the migration time and select the optimal virtual node with minimum factor as service provider. The algorithm achieves the goals of service management, improved QoE, and reduced service latency and energy consumption.

Key words: network virtualization environment; service migration; resource management; mobility

慈松/CI Song

于冰/YU Bing

韩言妮/HAN Yanní

(中国科学院声学研究所 高性能网络
实验室, 北京 100190)(High Performance Network Laboratory
Institute of Acoustics, Chinese Academy of
Sciences, Beijing, 100190, China)

网络虚拟化技术, 在无需考虑底层物理网络属性的情况下, 实现虚拟网络服务的平滑移动和资源的按需分配, 为实现移动业务的泛在接入和无缝切换提供了可能。在网络虚拟化环境(NVE)中, 根据网络中用户的数量、行为及偏好, 重配置物理网络资源和按需流量管理, 实时对虚拟网络的规模、资源的分布进行动态调整, 实现网络资源的高效利用, 提升网络服务质量(QoS)和用户体验质量, 即虚拟网络迁移问题。

1 网络虚拟化技术

网络虚拟化是近年来互联网研

究领域出现的新技术, 主要为了解决互联网的“僵化”问题并进行未来网络体系结构的研究、试验和部署^[1-2]。其思想是通过抽象、隔离、重用的机制, 在一个公共的底层物理网络(SN)上支持多个虚拟网络(VN), 每个虚拟网络拓扑, 是一系列基于虚拟链路相互连接的虚拟节点的集合。本质上, 虚拟网络是底层物理拓扑的一个子集, 每个虚拟节点托管在一个底层物理节点上, 而一条虚拟链路是跨越物理网络中的一条链路, 并且包含了该链路上的一部分资源。在网络虚拟化环境中, 将传统网络中的因特网业务提供商(ISP)的角色按照功能进行分解, 分为基础设施提供商(InP)和服务提供商(SP)^[3], 支持部署多种共存的、异构的且隔离的网络架构, 上层的虚拟网络支持相互独立

的协议体系, 实现网络流量的安全隔离, 保障端到端的服务质量。相互隔离的虚拟网络服务如图1所示。

(1) 基础设施提供商

在网络虚拟化环境中部署和管理底层网络物理资源, 负责操作和维护底层网络的基础设施, 并通过可编程接口向不同的服务提供商提供其物理资源。

(2) 服务提供商

从多个基础设施提供商租赁资源来创建不同类型的虚拟网络服务, 即分片(Slice)。VN由虚拟节点和虚拟链路构成, SP可以部署自定义协议, 对分配的物理资源进行编程, 管理上层的虚拟网络, 并向终端用户提供业务、应用和服务。

(3) 终端用户

在网络虚拟化环境中, 不同类别的应用都是以服务的形式运行在相互隔离的分片上, 终端用户可以根据业务需求, 使用来自不同服务提供商提供的虚拟网服务。

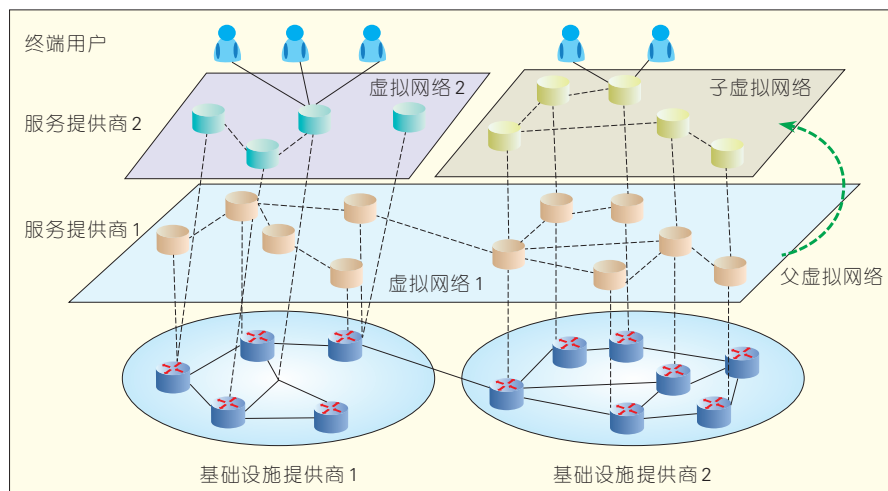
2 服务迁移问题的应用场景

在网络虚拟化环境下, 底层网络资源的位置、服务提供能力和负载时时刻刻发生变化, 而终端用户的行为

收稿日期: 2014-03-04

网络出版时间: 2014-04-28

基金项目: 国家自然科学基金(61303252);
中科院先导专项(XDA06010302)



▲图1 相互隔离的虚拟网络服务

也存在移动性、偏好性,可能需要实时的加入或离开。因此需要根据用户需求动态的调整虚拟资源的数量,对底层物理资源进行迁移和调整,保证虚拟网络服务的不间断使用,维护虚拟网络的拓扑连接关系。我们归纳了服务迁移问题的应用场景^[4]。

2.1 云爆炸场景

由于企业的峰值需求是暂时的,当用户数量急剧增多时,本地服务器上的负载会被迁移到云端的服务器,或者在云端服务器增加新的应用备份机以平衡负载。一旦负载降低,则减少云端的负载,或者只使用本地服务器^[5]。在网络虚拟化的环境下,通过虚拟机的动态迁移可以实现灵活的资源管理和调度,将多个应用分别部署在不同的云端资源站点以便实现负载均衡,或者将企业的虚拟机迁移到资费低廉的云服务平台取得更低的运营成本,又或者将应用服务部署到提供高性能计算服务的云计算平台获得更快速的运算需求。

2.2 时区场景

针对跨越多个大洲的网络服务,不同的用户群分布于不同的时区位置,共同使用相同的服务,而每组用户的使用时间都是在固定的时间段。在这个场景中,用户对网络应用

具有低时延的需求,可以在每个时区均设置云数据中心^[6],存储诸如内容存放、下载等类型的服务,以满足用户的需求。而对实时性、互通性要求较高的应用服务,可将一个或多个装有应用的虚拟机和数据随时间进行迁移,比如将某些全球性商业金融服务,每天的日落将数据迁移到即将日出的时区,如东京—伦敦—纽约。

2.3 用户移动性场景

由于用户一天中的不同时刻处于不同的位置,而所有用户的位置变化、需求变化存在规律性。比如,在上下班时刻,用户服务的热点处于公交车站或地铁等位置,用户关注的应用服务主要集中在音乐、即时通信等内容方面。工作时间用户服务的热点则处于城市中心、商业区、工业区等位置,业务类型倾向于邮件、Web浏览等内容。晚上网络服务的热点则集中于居民区等,此时用户更倾向于视频服务、大型游戏等内容。如何根据热点分布的不同,对网络中服务位置进行动态调整,能够有效的节约网络资源。

3 典型研究项目

当前大多数虚拟化平台只能实现局域网(LAN)内的虚拟机迁移,而在网络虚拟化环境,为了实现应用服

务的灵活部署和迁移,在关于负载均衡、运行成本和计算性能间平衡的研究还处于起步阶段。这里我们简单介绍几个比较典型的项目。

3.1 CloudNet 项目

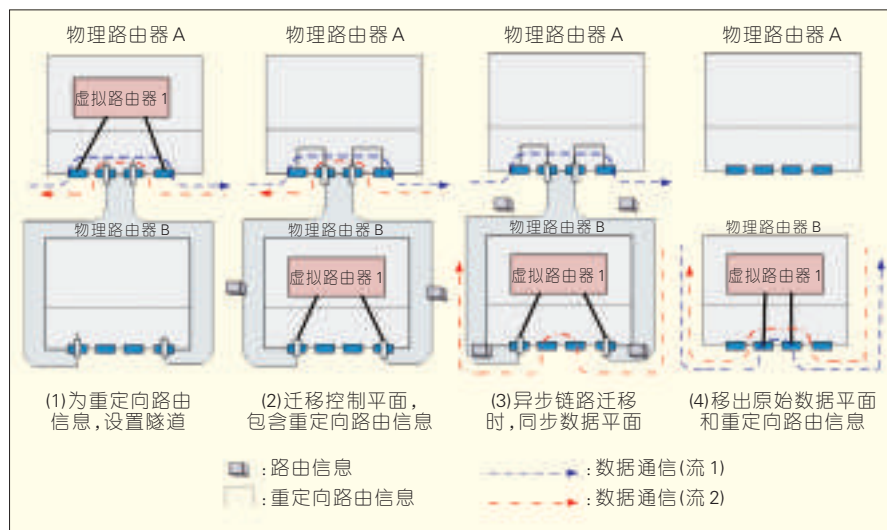
利用现有的服务器、路由器、网络的不同层面的虚拟化技术,建立安全隔离的资源池,支持广域网下虚拟机动态迁移。文献[4]和文献[7]中通过基于虚拟专用网(VPN)的网络基础设施,提供企业和数据中心站点的无缝连接,企业无需局限于本地的网络资源而是从云资源提供商处按需租赁廉价的资源,通过在云计算平台和网络服务提供商之间的协同操作,自动生成和管理VPN,实现云计算站点资源与企业站点资源之间的互联,优化广域网下迁移性能。

3.2 VROOM 项目

动态虚拟路由^[8-9](VROOM)打破路由器硬件与控制软件的紧耦合关系,实现了控制平面和数据平面的分离。VROOM的路由迁移机制如图2所示。由于转换不影响数据流的传输或改变网络拓扑结构,因此虚拟路由器的配置不用改变,可避免路由计算的收敛延时。VROOM迁移首先将控制平面迁移到新的物理平台,在保持原有平台数据平面工作的同时,原有平台将控制报文重定向到新平台上的控制平面,待新平台数据平面配置完毕(包括转发表的设置、控制状态的安装等)后,可将链路迁移到新的物理平台。

3.3 基于 OpenFlow 和 Xen 的虚拟网络迁移模型

文献[10]中提出在两种虚拟化平台 Xen 和 OpenFlow 下虚拟网络的迁移模型,可有效减少迁移过程中的丢包问题。在 Xen 虚拟化平台中,假定每个虚拟机都是一个虚拟路由器,利用其内置的机制实现虚拟网络(虚拟节点和虚拟链路)的迁移。为了保持



▲图2 VROOM的路由迁移机制

虚拟网络的拓扑,当迁移一个节点的时候,必须在源节点的相同虚拟邻节点中找到一个新的物理节点,因此可以实现整个虚拟环境迁移到新的物理节点。

在OpenFlow^[11]的平台中,所有的网络元素,如路由器、交换机和接入点都可以看作“OpenFlow 交换机”,通过数据平面和控制平面的分离,控制器通过集中管理方式掌握整个网络拓扑,并根据虚拟网络的策略执行应用,重新配置转发表实现流的迁移。OpenFlow 利用对流表的控制,简化了虚拟路由器的控制设计。OpenFlow 中迁移流的算法如图3所示。当控制器决定从一个物理节点迁移流时,它会在新的路径上的每个交换机中创建一个新的流条目,除了在新的和旧的路径之间的第一个通用交换机,即图3中的节点1;然后,控制器修改这个交换机中的条目,从源输出端口到新输出端口重定向流;最后控制器删除在原路径上的交换机的流条目,即图3中的节点2和3。可以看出Xen的虚拟迁移针对局域网,而OpenFlow可以利用配置转发表实现广域网的迁移,同时这种集中式的控制器可以在迁移后不需要创建隧道,不需要保持虚拟的拓扑结构。因此,OpenFlow提供了一个可创建多个虚拟网络的

通用基础设施,并进行灵活的网络资源重配置。

4 一种基于QoS计算模型的服务迁移算法

服务迁移在保障业务连续的同时也会带来网络的开销,大量数据传输和迁移对网络流量的巨大压力,甚至可能会导致服务中断^[12-14]。因此如果想在虚拟化环境下实现动态的服务迁移,应该明确迁移的影响因素,例如服务时延、链路带宽、服务器可用负载、服务本身大小等,还有一

些与服务器自身相关的属性,也会对迁移的代价和用户的用户体验质量产生影响,如服务器的价格和信用等。平衡各种代价,合理调整网络服务的位置,在提高网络资源的利用率的同时,降低服务响应时间和迁移成本,改善用户使用体验,以最小的延迟获取可靠稳定的网络服务,是虚拟网络环境下服务迁移问题的亟需解决的重要问题。

本文提出一种针对单域环境的虚拟网络迁移算法,该方法基于一种公开、公平的QoS计算模型^[15]。定义虚拟节点的迁移判定因子(MDF),用于表示迁移到该点并由其提供服务的相对代价。虚拟节点 v 的MDF是传输时延、可用负载、链路带宽、服务器价格、信用等一系列影响参数的共同作用函数,若虚拟节点 u 为前一时刻的服务提供商,即迁移的起点, δ 为请求序列的到达或改变,则:

$$MDF(v) = \sum_{\delta} f(C_{lat}(\delta, v), C_{load}(v), C_{band}(u, v) \dots)$$

量化迁移代价、收益和服务提供商属性的影响参数,用迁移路径的带宽,服务本身的大小和服务中断的代价共同决定服务迁移所产生的代价;用时延和服务器可用负载定义迁移的收益;将服务器的租用价格和信用

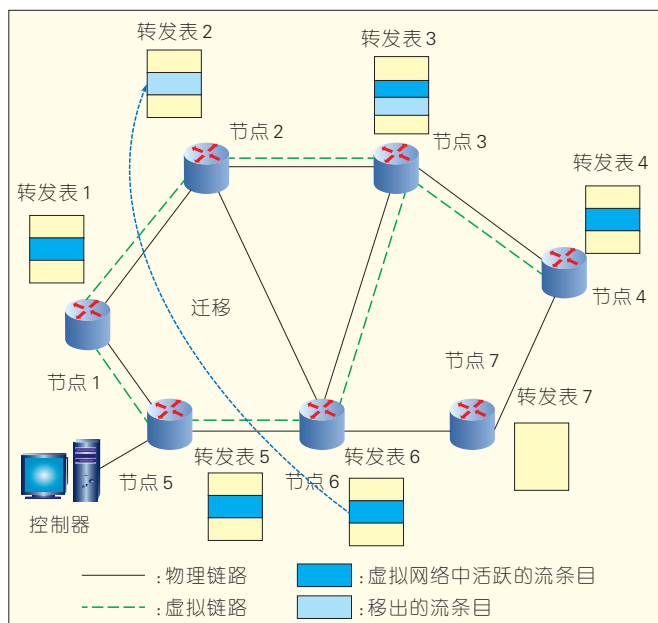


图3 基于OpenFlow的流迁移

作为迁移因素的一部分。用归一化的方式处理数据及分组,并通过设置不同评价标准的权重来计算每个虚拟节点的迁移判定参数,动态评判迁移的时机,并选择判定因子最小的虚拟节点作为服务迁移节点。具体的参数如表1所示。

这里我们给出一个简单示例,如图4所示。当用户的位置、偏好或请求发生改变的时候,如图中用户A的位置发生了移动,通过本地监视器来采集节点上的信息状态,如延迟时间、链路带宽、节点可用负载等参数信息,计算迁移判定因素,选择迁移判定因素最小的节点进行迁移,即图4中的节点5。由虚拟节点5作为服务提供商为用户A提供服务,直至下一个请求到达时重新进行判断。

迁移判定因素的具体计算方法如下所示:

(1)对于图4中包含6个虚拟节点的虚拟网络,节点集合 $V=\{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$ 。初始服务节点 S_0 为虚拟节点 v_1 ,用户A在 t_1 时刻发生位置的改变。我们选定5种迁移代价评价参数:服务的时延、服务器可用负载、迁移路径带宽、租赁服务器的价格和服务提供商的信用。通过本地监视器得到各个节点评价参数的矩阵 Q 。

$$Q = \begin{bmatrix} 10 & 10 & 2 & 40 & 4 \\ 8 & 4 & 4 & 80 & 1 \\ 7 & 4 & 4 & 100 & 0.5 \\ 5 & 2 & 6 & 80 & 2 \\ 3 & 4 & 6 & 100 & 4 \\ 6 & 8 & 4 & 100 & 2 \end{bmatrix}$$

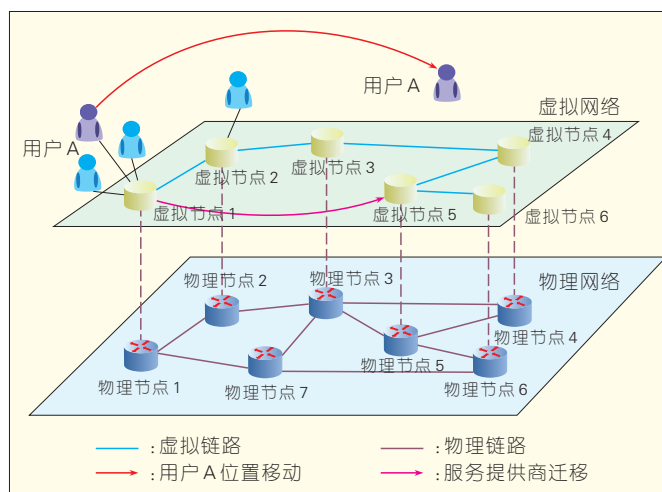
(2)对 Q 进行归一化计算,归一化为所有影响因素提供一种与单位无关的、标准的衡量方法并设置阈值,得到矩阵 Q' 。

$$Q' = \begin{bmatrix} 1.5385 & 0.5333 & 2.1667 & 0.48 & 0.5625 \\ 1.2308 & 1.3333 & 1.0833 & 0.96 & 2.25 \\ 1.0769 & 1.3333 & 1.0833 & 1.2 & 4.5 \\ 0.7692 & 2.6667 & 0.7222 & 0.96 & 1.125 \\ 0.4615 & 1.3333 & 0.7222 & 1.2 & 0.5625 \\ 0.9231 & 0.6667 & 1.0833 & 1.2 & 1.125 \end{bmatrix}$$

▼表1 影响迁移的参数

| 影响参数 | 数学表示 | 参数含义 |
|------|------------------|---------------------------------|
| 时延 | $C_{lat}(s, v)$ | 服务传输的时延,从服务提供商到请求的延迟 |
| 负载 | $C_{load}(v)$ | 服务器 v 的可用负载 |
| 带宽 | $C_{band}(u, v)$ | 从迁移起点 u 到终点 v 的迁移路径上的最大可用带宽 |
| 服务大小 | $C_{size}(s)$ | 服务本身的大小 |
| 中断代价 | $C_{inter}(s)$ | 服务中断及恢复的代价、复杂程度 |
| 信用 | $C_{rep}(v)$ | 服务提供者 v 的信用,终端用户对历史服务体验的反馈 |
| 价格 | $C_{pr}(v)$ | 终端用户租赁服务器 v 的开销 |

图4
基于QoS计算模型的
虚拟服务迁移算法



按照迁移的代价、利益和服务器的属性,对 Q' 进行分组和再次归一化,得到矩阵 G' 。

$$G' = \begin{bmatrix} 0.8965 & 1.8948 & 0.3879 \\ 1.1095 & 0.9474 & 1.1944 \\ 1.0429 & 0.9474 & 2.1209 \\ 1.4867 & 0.6316 & 0.7758 \\ 0.7766 & 0.6316 & 0.6558 \\ 0.6879 & 0.9474 & 0.8651 \end{bmatrix}$$

(3)设定代价、收益和服务器属性3种评价标准在总迁移判定参数中的权重分别为0.4、0.4、0.2。则计算得到6个服务节点的迁移代价分别为1.1941、1.0616、1.2203、1.0025、0.6944和0.8271。因此选择迁移判定参数最小的虚拟节点,即虚拟节点5作为服务提供商提供服务。

该方法可以有效地反映节点的优劣,综合多种因素对迁移的影响,允许根据用户的需求和环境的变化对影响参数进行扩展,可以减少服务

的延迟,提高用户的服务体验质量,实现网络的资源管理和降低能耗。

5 结束语

网络虚拟化技术为服务迁移机制设计提供了广阔的空间,虚拟网络的动态迁移可以有效地提高资源的利用效率,实现资源按需、实时的动态配置,提高用户的服务体验质量,降低能耗并实现绿色网络,已成为目前网络虚拟化研究领域的一个热点问题。

参考文献

- [1] ANDERSON T, PETERSON L, SHENKER S, et al. Overcoming the Internet impasse through virtualization [J]. IEEE Computer Society, 2005:34-41.
- [2] ANJING W, LYER M, DUTTA R, ROUSKAS G N. Network virtualization: Technologies, perspectives and Frontiers [J]. Lightwave Technology, 2013, 31(4): 523-537.
- [3] SCHAFFRATH G. Network virtualization architecture: proposal and initial prototype

→下转第40页

集中与分布:协同虚拟网络映射

Centralization vs. Distribution: Cooperative Virtual Network Embedding

中图分类号: TN915 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0036-005

摘要: 结合传统集中式和分布式两类算法各自的特性,提出了协同虚拟网络映射算法。该算法保留了集中式算法中拥有全局视野的中心控制实体,负责总体控制和关键决策,同时将具体映射方案的计算过程交给有限的底层网络子集实现;唯一的中心控制实体与多个底层节点相互配合协作,共同完成虚拟网络映射的整个过程。该算法继承了集中式和分布式算法各自的优势,有效弥补了二者的缺陷,初步的仿真试验也证明了其可行性和有效性。

关键词: 网络虚拟化;虚拟网络映射;集中;分布;协同虚拟网络映射

Abstract: This article proposes a cooperative virtual network embedding algorithm that leverages traditional centralized and distributed algorithms. Cooperative virtual network embedding keeps the central control entity with a global vision in centralized algorithms in charge of general control and vital decisions. At the same time, it trusts a set of limited substrate nodes with detailed embedding solutions. A central control entity and multiple substrate nodes cooperate closely to achieve successful virtual network embedding. The cooperative algorithm incorporates the advantages of both centralized and distributed algorithms and also avoids their shortcomings. Elementary simulations prove the practicability and effectiveness of this algorithm.

Key words: network virtualization; virtual network embedding; centralization; distribution; cooperative virtual network embedding

丰旻/FENG Min
廖建新/LIAO Jianxin
王敬宇/WANG Jingyu

(北京邮电大学 网络与交换技术国家重点
实验室,北京 100876)
(State Key Lab of Networking and Switching
Technology, Beijing University of Posts and
Telecommunications, Beijing 100876)

使得无论问题空间是否受限,虚拟网络映射问题都是 NP 难的^[6]。随着网络虚拟化技术的快速发展和应用,虚拟网络映射便成了其中亟待解决的核心问题之一。

难以驾驭的计算复杂性促使研究者们专注于设计各种启发式算法来寻找接近最优解的切实可行的映射解决方案^[7-14]。现有虚拟网络映射算法可以按照不同的标准进行多种分类,如按照节点映射与链路映射是同时进行还是先后进行,分为一阶段算法和两阶段算法(如文献[8]、文献[9]、文献[11]);按照涉及单个还是多个基础设施提供商,分为单域算法(如文献[9]、文献[10]、文献[11])和多域算法(如文献[14]);按照考虑可生存性分配备用冗余资源(如文献[7]、文献[8])与否等标准进行分类。本文中我们考虑虚拟网络映射实现的控制方式,将现有虚拟网络映射算法分为集中式的虚拟网络映射算法和分布式的虚拟网络映射算法两大类。

2.1 集中式虚拟网络映射算法

在集中式算法中,只有一个唯一的中心控制实体负责映射的全部决策。集中式算法的优势在于这个唯

1 网络虚拟化

作为消除互联网僵化顽疾的强大工具,网络虚拟化被视为下一代网络架构的关键技术,获得了学术界和产业界的广泛关注^[1-5]。网络虚拟化通过虚拟化技术将作为基础设施的底层网络抽象为相应的虚拟底层,通过虚拟资源切片的方式,将多个彼此隔离且异构的虚拟网络同时映射到其上。许多新的计算和网络技术都受益于网络虚拟化,如软件定

义网络、云计算和数据中心网络。在网络虚拟化环境中,传统的网络服务提供商自然分化为负责部署、管理和维护底层网络资源的基础设施提供商和租用网络资源构建虚拟网络以向终端用户提供多样化服务的服务提供商。

2 集中式和分布式的虚拟网络映射

基础设施提供商需要采用有效的算法来将虚拟网络请求映射到底层网络的特定节点和链路上,以更加有效且高效地使用底层网络资源。这就是虚拟网络映射问题。然而由于存在多维的资源限制和多个目标,

收稿日期: 2014-03-05

网络出版时间: 2014-04-28

基金项目: 国家重点基础研究发展(“973”)计划(2013CB329102); 国家自然科学基金(61372120)

一的中心控制实体通过收集、评估和管理底层网络中的所有资源信息而具有全局视野,清楚的了解整个网络的各种信息,因此更可能找出全局最优或者至少接近全局最优的映射方案,资源分配的过程中也不会发生冲突等情况。逻辑上集中的控制也使得根据具体业务需求进行的全局资源调配和优化成为可能,并使得整个虚拟网络的映射运营过程便于维护调整,提升了网络控制的便捷性。但是另一方面,这个唯一的控制实体也就成为了整个网络的“瓶颈”。随着底层网络的不断扩容,中心控制实体与众多节点间的通信数量将呈指数增长,及时获取底层资源的实时信息将越来越难以完成,因此对于网络拓扑不断变化的动态网络来说延迟较高。其面对大尺度网络则很容易出现扩展性问题和产生系统单点故障,而一旦中心控制实体出现问题,整个网络的映射、运行、管理和维护就会难以为继。

俞敏岚等^[9]将虚拟网络映射分为节点映射和链路映射两个阶段,并假定底层物理网络支持灵活的路径分割和周期性的路径迁移。算法采用了贪婪的节点映射,链路映射阶段则使用多商品流算法或K最短路径算法求解。

Chowdhury 等^[10]通过在节点映射阶段考虑链路的带宽限制,来协调节点映射和链路映射。算法结合地理位置约束条件,由底层网络加上元节点和元链路构成增广的拓扑图,进而将虚拟网络映射问题建模成混合整数规划,并利用确定或随机取整求解可行的节点映射方案。其链路映射算法与文献[9]相同。

廖建新等^[11]提出将多个拓扑特征值集成应用于设计拓扑感知的映射算法。文中提出了6个反映不同网络拓扑属性的拓扑特征值,进而利用其各自特点和优势设计了基于多拓扑特征值的拓扑感知算法。算法核心的节点排序策略也可用于改进其

他映射算法。拓扑特征值还被用于拓扑分解,以解开大尺寸虚拟网络的层次结构,优化映射过程。

2.2 分布式虚拟网络映射算法

相比于依赖单一中心控制实体的集中式算法,分布式算法则依靠分布广泛且数量众多的底层节点。虚拟网络映射的整个决策由各底层节点共同实现完成,于是负载得以分散,可扩展性得以增强,整个映射过程和网络运行不会因为单点故障而完全失效。然而,分布式的设计思路也一把双刃剑,与更好可扩展性、鲁棒性相伴的是节点间更大的同步开销。底层网络的全局信息,如各个节点和链路的状态,实时资源占用情况等等,都需要有完善的消息传递机制在所有底层节点间随时进行更新和同步,以在各底层节点维护最新的统一的全局信息。因为只有每个底层节点对全局信息了解得越清楚越及时,才越可能做出当前真实网络条件下的最佳映射决策,并且避免可能出现的冲突和不一致。

Houidi 等^[12]提出使用多代理系统设计分布式算法。实现节点间协商与同步的消息传递采用了洪泛机制,即每个底层节点映射虚拟节点和链路后,都向所有其他节点发送消息,告知映射结果。因此消息的数量相对底层网络的尺寸成指数增长,算法受到过多同步消息和较大映射开销的困扰,在扩展性和映射性能方面还无法与集中式算法相比。

卿苏德等^[13]提出了基于布隆过滤器的分布式映射算法。算法利用机器学习和推理技术,通过积累的历史信息在没有或缺乏底层网络信息的情况下对节点的能力进行评估,并依赖底层节点的自主映射完成整个虚拟网络映射。同步消息中捎带的布隆过滤器实现了有限范围的信息同步,既有效避免了映射冲突,又规避了传统洪泛算法的巨大通信开销。

Chowdhury 等^[14-15]针对多个基础设

施提供商,提出了根据地域切分和映射的 PolyViNE 架构,以协调解决基础设施提供商与服务提供商间的利益冲突。服务提供商将虚拟网络请求发给多个基础设施提供商,由其各自提出涉及自己和其他基础设施提供商网络的跨域映射方案和报价,最终由服务提供商择优确定映射方案。另外基础设施提供商之间也存在竞争,争夺高利润的映射任务并尽力将难以牟利的部分留给其他基础设施提供商。

3 协同虚拟网络映射算法

集中式算法和分布式算法各自的优劣势启发我们在本文中尝试充分结合利用两者的特点与优势,设计一个介于集中与分布控制之间的虚拟网络映射算法,我们称之为协同虚拟网络映射(CVNE)。

集中式算法的优势源于中心控制实体拥有全局视野,因此我们保留全局唯一的中心控制实体,依然负责收集、评估和管理底层网络中的所有资源信息,并具有全局视野和关键决策的控制权。分布式算法的优势在于映射的整个决策由众多底层节点实现完成,分散负载,于是我们将具体细节的映射方案计算过程交给底层节点实现。中心控制实体与底层节点相互配合协作,共同完成虚拟网络映射。

3.1 协同算法总体流程

当一个虚拟网络请求达到后,首先进入中心控制实体维护的虚拟网络请求队列。中心控制实体采取自定义的排队机制依次进行虚拟网络映射。

对于当前进行映射的虚拟网络请求,如果其虚拟节点数量较少、拓扑结构简单且无需分区映射,则中心控制实体首先采取特定算法选取一个或多个底层节点作为“中心节点”。选取中心节点的具体数量由整个系统(包括底层网络和中心控制实

体)的负载情况决定:系统负载较轻时可以选择合理数量的多个中心节点,而负载较重时则将只选取唯一的中心节点。中心节点的选择算法可借鉴文献[11]中的拓扑感知的节点排序算法,即利用基于多拓扑特征值的节点排序策略对底层节点排序,然后选取初步满足映射要求的候选底层节点中排名较高且自身资源占用率较低的作为中心节点。中心控制实体将当前虚拟网络请求和全局网络信息一同发给各中心节点,由其为该虚拟网络计算映射方案。中心节点获得全局网络信息后,进一步从与相邻节点(一定跳数范围内)的通信中获取自己所处局部网络的实时信息,更新全局网络信息,以解决中心控制实体获取底层网络信息的延迟问题。节点和链路映射算法可根据中心节点所属网络的具体设置,灵活选用定制的算法。每个中心节点计算出映射方案后发回给中心控制实体,由中心控制实体比较选定最优方案(默认总开销最少为最优)进行资源分配,完成映射。如果中心节点计算映射方案失败,则将失败情况告知中心控制实体,由中心控制实体进行相应调整:重新选择其他中心节点计算映射方案,或在多次映射失败后推迟或放弃该虚拟网络请求。我们将上述过程称为“简单网络映射”。

如果当前虚拟网络请求的虚拟节点数量较多、拓扑结构复杂或者有地域限制需要分区域映射,则中心控制实体需要在中心节点选择之前首先对虚拟网络拓扑进行预处理:对于有地域限制或者跨多个运营商等情况的虚拟网络请求,优先根据具体限制情况将其自然分解为多个虚拟子网;对于虚拟节点数量较多或拓扑结构复杂的虚拟网络我们采用KS核分解算法^[11]将其分解为一个核心网络和多个边缘网络。自然分解的多个虚拟子网将被相应分配给各底层网络自治域中处于相邻边界的一个或多个中心节点,分别进行多个简单网

络映射,然后各中心节点将各自的虚拟子网映射方案发回给中心控制实体,由其选择其中的全局最优(默认总开销最少为最优)的方案组合进行映射,或进行相应调整。拓扑分解后的核心网络则首先进行简单网络映射。由于每个边缘网络通过KS核分解算法生成,核心网络中与之相连的衔接节点已确定映射方案,因此我们在边缘网络映射中将已映射的衔接节点作为下阶段的中心节点,其从上阶段核心网络映射的中心节点处得到全局网络信息和边缘网络信息后进行简单网络映射。如果边缘网络映射的中心节点计算映射方案失败,则将失败原因告知核心网络的中心节点,由其进行相应调整,重新映射对应的衔接节点,或在多次映射失败后推迟或放弃该虚拟网络请求。

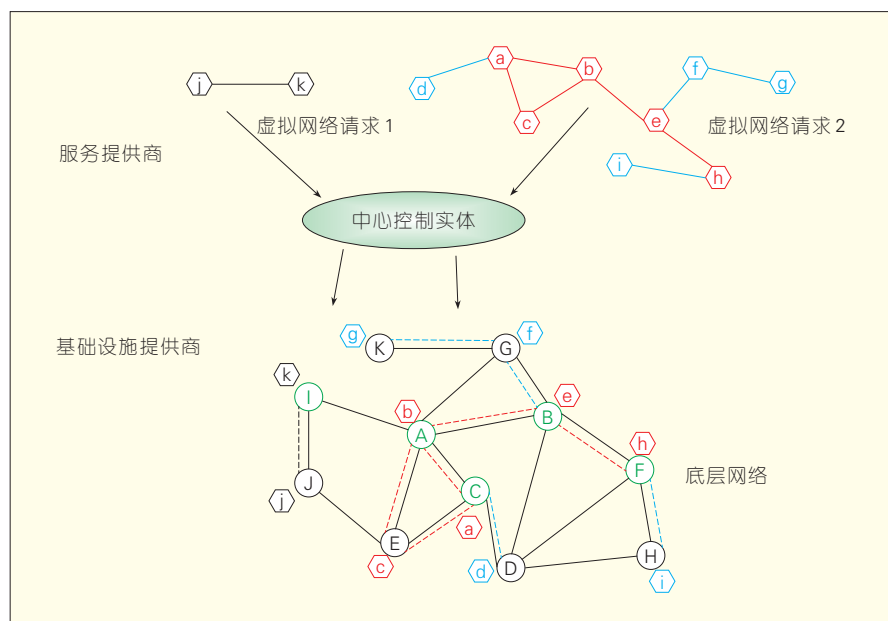
协同虚拟网络映射算法相比传统集中式算法,由于将大量具体的映射任务交由底层中心节点完成,中心控制实体在映射中只负责虚拟网络请求的预处理、分配、重分配、方案确定和资源分配等,因此负载明显减轻。由中心控制实体在头尾阶段进行全局最优的决策,由分布的中心节点进行局部最优的方案计算,保证了

最终的映射方案是接近最优解的,也不会出现映射冲突等情况。动态网络的延迟问题由于中心节点从中心控制实体处获取的全局网络信息与在所处局部网络中的实时信息更新相结合而得以有效解决;面对大尺度网络的扩展性问题和系统单点故障问题也将得到极大缓解。

相比传统分布式算法,协同虚拟网络映射算法中虽然每个底层节点都具备成为中心节点的能力,但是每一次映射只有少数更有能力的优质节点被选中,映射任务限定在有限的底层网络子集中。映射冲突由于中心控制实体的存在得以有效避免。这些都使得节点间的同步开销大大降低,无需采取洪泛等产生大量同步消息的消息传递机制。多个中心节点同时计算部分或整体映射方案也实现了虚拟网络映射的并行计算,可以明显降低映射耗时。

3.2 协同算法映射实例

图1显示了服务提供商的两个虚拟网络请求通过协同算法映射到基础设施提供商的底层网络的实例。图中实线代表链路连接,其粗细反映带宽大小;虚线代表映射成功的虚拟



▲ 图1 协同虚拟网络映射算法映射实例

链路;底层网络节点用大写字母表示,虚拟网络节点用小写字母表示,在映射中被指定为中心节点的底层网络节点用绿色标明。虚拟网络请求1和2先后到达,进入虚拟网络请求队列中,但由于虚拟网络请求2预期收益较高,因此将优先映射。虚拟网络请求2节点较多,于是通过KS核分解算法被分解为红色的1个核心网络和蓝色的3个边缘网络。其核心网络被中心控制实体分配给底层网络的中心节点A计算映射方案。3个边缘网络在核心网络映射方案确定后被分别交给下阶段的中心节点B、C、F,同时计算各自边缘网络的映射方案。最后的总体映射方案由中心控制实体确定,并进行资源分配以完成映射。虚拟网络请求1由于节点数量少,拓扑简单,也没有地域限制,因此无需分解。其被中心控制实体交给底层节点I计算映射方案,最后得以映射。

4 仿真结果

初步的仿真实验参照文献[9]、文献[11]和文献[13]的网络环境和参数设置进行,将集中式算法的代表——文献[9]的算法(以BL表示),以及分布式算法的代表——文献[13]的基于布隆过滤器的分布式算法(以P2PVNE表示)作为对比算法,定量测试我们的协同虚拟网络算法(以CVNE表示)在长期平均收益、接受率和收益开销比3项性能指标上的表现。协同算法中虚拟网络请求队列采用了传统收益优先的排队机制,即按照预期收益由多到少的顺序先后进行映射;各中心节点处的映射算法采用了文献[11]中的NDC算法。

协同算法与集中式、分布式代表算法的长期平均收益比较如图2所示。协同算法与集中式、分布式代表算法的长期接受率比较如图3所示。协同算法与集中式、分布式代表算法的长期收益开销比比较如图4所示。从图2、图3和图4中我们可

以看到,文献[13]中的分布式算法在长期平均收益、接受率和收益开销比3项性能指标上相比文献[9]中的集中式算法都有了明显提升,而我们的协同算法在长期接受率和收益开销比两项性能指标相比前两者又有了更大的提升,在长期平均收益上相比分布式算法也有一定的提升。总的来看,协同虚拟网络映射算法由于将集中式算法和分布式算法的相对优

势充分结合,有效弥补了二者的缺陷,从而达到了更好的映射性能。

5 结束语

虚拟网络映射问题是网络虚拟化中的关键挑战,传统集中式和分布式的映射算法各有利弊。我们在本文中充分结合利用两大类算法的相对优势,设计了兼具集中与分布特点的协同虚拟网络映射算法。算法相

图2
协同算法与集中式、分布式代表算法的长期平均收益比较

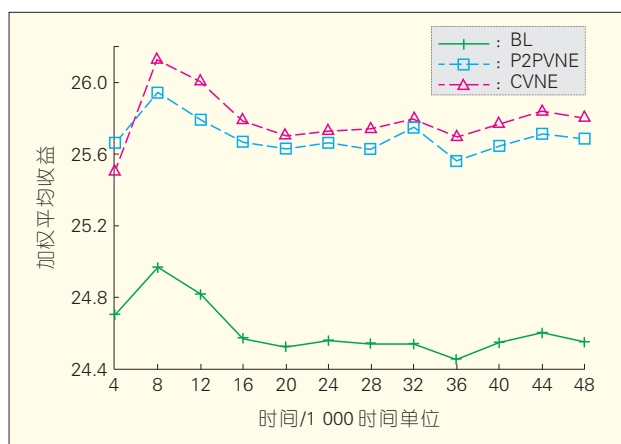


图3
协同算法与集中式、分布式代表算法的长期接受率比较

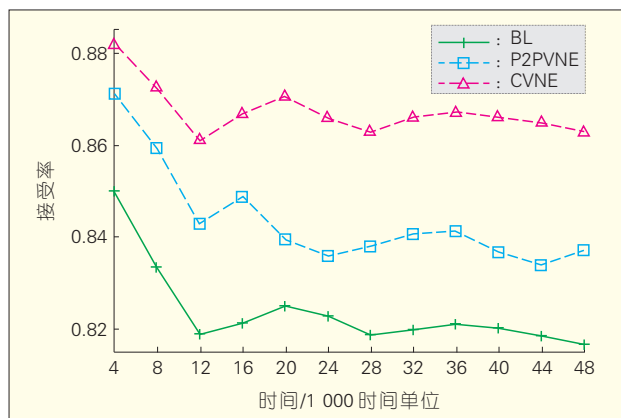
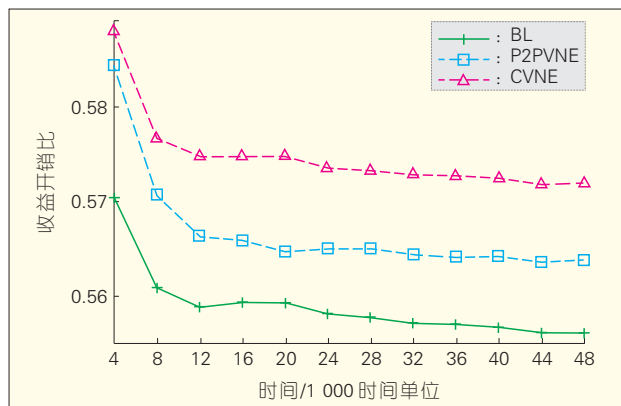


图4
协同算法与集中式、分布式代表算法的长期收益开销比比较



比传统的集中式和分布式算法的综合优势明显,初步的仿真试验结果也证明了算法的可行性和有效性。

参考文献

- [1] CHOWDHURY N, BOUTABA R. A survey of network virtualization [J]. Computer Networks, 2010,54(5): 862–876.
- [2] FEAMSTER N, GAO L, REXFORD J. How to lease the Internet in your spare time [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2007,37(1): 61–64.
- [3] BAVIER A, FEAMSTER N, HUANG M, et al. In VINI veritas: Realistic and controlled network experimentation [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2006,36(4): 3–14.
- [4] ANDERSON T, PETERSON L, SHENKER S, et al. Overcoming the Internet impasse through virtualization [J]. IEEE Computer Magazine, 2005,38(4): 34–41.
- [5] TURNER J, TAYLOR D. Diversifying the Internet [C]//Proceedings of the Global Telecommunications Conference, 2005. St. Louis, MO, 2005,2: 755–760. doi:10.1109/GLOCOM.2005.1577741.
- [6] ANDERSEN D G. Theoretical approaches to node assignment [R]. Unpublished Manuscript, 2002.
- [7] YU H, QIAO C, ANAND V, et al. Survivable Virtual Infrastructure Mapping in a Federated Computing and Networking System under Single Regional failures [C]//Proceedings of the IEEE GLOBECOM, 2010:1–6.
- [8] YU H, ANAND V, QIAO C, et al. Cost Efficient Design of Survivable Virtual Infrastructure to Recover from Facility Node Failures [C]//Proceedings of the IEEE ICC, 2011:1–6.
- [9] YU M, YI Y, REXFORD J, et al. Rethinking virtual network embedding: substrate support for path splitting and migration [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008,38(2): 17–29.
- [10] CHOWDHURY N, RAHMAN M, BOUTABA R. Virtual network embedding with coordinated node and link mapping [C]//Proceedings of the IEEE INFOCOM, 2009: 783–791.
- [11] LIAO J, FENG M, LI T, et al. Topology-aware Virtual Network Embedding Using Multiple Characteristics [J]. KSII Transactions on Internet and Information Systems, 2014,8(1): 145–164.
- [12] HOUIDI I, LOUATI W, ZEGHLACHE D. A distributed virtual network mapping algorithm [C]//Proceedings of the IEEE ICC, 2008:5634–5640.
- [13] 卿苏德. 网络虚拟化映射算法研究 [R]. 北京邮电大学博士学位论文, 2013.
- [14] CHOWDHURY M, SAMUEL F, BOUTABA R. Polyvine: policy-based virtual network embedding across multiple domains [C]//Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM workshop on Virtualized infrastructure systems and architectures, New York, USA, 2010:49–56.
- [15] FENG M, ZHANG L, ZHU X, et al. Topology-aware virtual network embedding through the degree [C]//Proceedings of the IET National Doctoral Academic Forum on Information and Communications Technology, 2013:1–6.

作者简介



丰旻, 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室在读博士研究生; 主要研究领域为网络虚拟化、云计算与数据中心网络。



廖建新, 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室网络智能研究中心主任、二级教授、博士生导师, 教育部“创新团队”带头人, 国务院学位委员会博士、硕士学位授权点评议专家, 北京邮电大学学术委员会委员, 《北京邮电大学学报》编委; 主要从事业务网络智能化、下一代互联网和叠加网络方向的研究工作; 已发表 SCI 检索论文 30 余篇, 出版专著 3 部, 合作出版国际专著 2 部。



王敬宇, 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室副教授、博士; 主要从事多路径传输、虚拟网络、流量控制、流媒体服务等方向的科研与学术指导工作; 已发表学术论文 30 余篇(其中 SCI 索引论文 10 余篇), 合作出版专著 2 部。

← 上接第 35 页

- [C]//Proceedings of the 1st ACM workshop on Virtualized infrastructure systems and architectures, New York, 2009: 63–72.
- [4] WOOD T, RAMAKRISHNAN K, SHENOY P, et al. CloudNet: dynamic pooling of cloud resources by live WAN migration of virtual machines [J]. ACM SIGPLAN Notices, 2011, 46(7):121–132.
- [5] NAIR S K, PORWAL S, DIMITRAKOS T, et al. Towards secure cloud bursting, brokerage and aggregation [C]//Proceedings of the 8th European Conference on ECOWS, Ayia Napa, 2010:189–196.
- [6] ZEYU Z, MINMING L, JIANGPING W. Coordinated resource provisioning and maintenance scheduling in cloud data centers [C]//Proceeding of the INFOCOM, 2013:345–349.
- [7] WOOD T, RAMAKRISHNAN K, SHENOY P, et al. CloudNet: a platform for optimized WAN migration of virtual machines [C]//Proceedings of the 7th ACM SIGPLAN/SIGOPS international conference on Virtual execution environments, New York, 2011: 121–132.
- [8] WANG Y, KELLER E, BISKEBORN B, et al. Rexford J. Virtual routers on the move: live router migration as a network-management primitive [J]. ACM SIGCOMM Computer Communications Review, 2008, 38(4):231–242.
- [9] WANG Y, Der MERWE J V, REXFORD J. VROOM: Virtual routers on the move [C]//Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networking, 2007:1–7.
- [10] PISA P. OpenFlow and Xen-based virtual network migration, Communications: Wireless in Developing Countries and networks of the Future [M]. 2010.
- [11] MCKEOWN N. OpenFlow: Enabling innovation in campus networks [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008,38(2):69–74.
- [12] BIENKOWSKI M. The wide-area virtual service migration problem: A competitive analysis approach [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2014,22(1): 165–178.
- [13] BIENKOWSKI M. Competitive analysis for service migration in VNET [C]//Proceedings of the ACM SIGCOMM VISA, 2010.
- [14] ARORA D. Online strategies for intra and inter provider service migration in virtual networks [C]//Proceedings of the 5th International Conference on Principles, Systems and Applications of IP Telecommunication, 2011.
- [15] LIU Y, NGU A H, ZENG L Z. QoS computation and policing in dynamic web service selection [C]//Proceedings of the 13th international World Wide Web conference on Alternate track papers & posters, 2004:66–73.

作者简介



慈松, 中国科学院声学研究所研究员、美国内布拉斯加大学林肯分校副教授、智能泛在计算实验室主任、IEEE 高级会员、IEEE COMSOC MMTS SIG Chair; 主要研究方向为虚拟网络服务迁移技术; 已发表学术论文 80 篇, 申请专利 2 项, 撰写专著 1 部。



于冰, 中国科学院声学研究所高性能网络实验室在读硕士研究生; 主要研究方向为虚拟网络服务迁移技术。



韩言妮, 北京航空航天大学博士毕业; 中科院声学所高性能网络实验室助理研究员; 主要研究方向为网络资源管理和调度。

大数据的前世、今生和未来

Big Data: Yesterday, Today, Tomorrow

中图分类号: TP393.03 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0041-03

摘要: 分析了大数据产生的原因,阐述了大数据的作用、价值以及所面临的问题。认为大数据开启了一次重大的时代转型,其科学价值和社会价值主要体现在两个方面:一方面,大数据不仅可以发现事物的显式规律,而且可以挖掘事物的隐式规律和潜在价值;另一方面,大数据可以转化为经济价值的源泉,撼动世界的各个方面。

关键词: 大数据;关联分析;数据科学

Abstract: This paper analyzes the reasons that big data is generated. It then describes big data in terms of effects, value, and issues. Now, big data is opening a new era of development and presents good opportunities. The science and social values of big data focus on two aspects. On the one hand, big data can discover explicit laws and also dig up implicit laws and potential value. On the other hand, big data can be changed into the fountain of economic value and shake all aspects of the world.

Key words: big data; correlation analysis; data science

薛一波/XUE Yibo

(清华大学 信息技术研究院, 北京 100084)
(Research Institute of Information
Technology, Tsinghua University, Beijing
100084, China)

- 大数据是众多新技术和新应用产生的结果
- 通过大数据的关联分析,可以更准确、快捷地获得全貌信息和潜在价值,从而更好地了解世界
- 大数据的核心是数据,谁拥有数据,谁就能抢占制高点
- 大数据的精髓就是挖掘出庞大数据中独有的价值

1 大数据的前世

大数据没有“前世”,只有“今生”和“未来”。

2 大数据的今生

Google 每个月要处理 900 亿次的 Web 搜索,数据量高达 600 PB;百度拥有数千亿的网页,同时数据总量接近 1 000 PB;Facebook 是全球最大的在线社交网络,用户人数达 12.3 亿,日活跃人数达 7.57 亿,日均消息量达 10 亿条;Twitter 用户数突破 5 亿,日活跃人数 2.4 亿,日均消息量 2.3 亿条;腾讯 QQ 目前拥有 8 亿互联网用户、4 亿移动用户,数据量经压缩处理后约 100 PB,并且这一数据还在以

日新增 200 TB 到 300 TB、月增加 10% 的数据量不断增长。

2013 年中国产生的数据总量超过 0.8 ZB,是 2012 年中国产生的数据总量的 2 倍,相当于 2009 年全球的数据总量。预计到 2020 年,中国产生的数据总量将是 2013 年的 10 倍,超过 8.5 ZB^[1]。

2.1 大数据的起因

(1) 数字化。由于计算机的出现,使得人类可以用数字化的“眼睛”来观测和处理整个世界,数字化意味着可以从大千世界的一切事物中汲取信息。数字化是大数据的手段。

(2) 移动化。随着智能手机、移动终端、便携设备的快速普及,推动了移动互联网的迅猛发展,使得人们可以快速、实时、便捷地产生、分享和获取数据。移动化是大数据产生的

原因之一,主要是人在产生数据。

(3) 物联化。随着物联网的快速发展,世上万物皆有生命,既能被感知(传感网),又能感知“它”(物联网),还能共分享(网络化);随着物联网技术的进一步发展,感知的广度和深度都将会逐步地加大,不可避免地会产生数据的“海洋”。物联网是大数据产生的原因之二,主要是物在产生数据。

(4) 社会化。好奇、求知和交流是人类永恒的渴求,社会网络的出现满足了人们实时交流、分享信息、抒发情感、寻求朋友的愿望,因而得到了迅猛的发展,社会网络每时每刻、每地产生数据。社会化是大数据产生的原因之三,主要是人和人、人和物的交流在产生数据。

(5) 网络化。随着网络用户的增加、带宽的增大以及新应用的不断出

收稿日期: 2014-03-21
网络出版时间: 2014-05-12

现,信息的产生和传播更快、更广、更深。网络化是大数据产生的原因之四,主要是传播在产生数据。

当然产生大数据的原因还有很多,如精度的提升可能使数据量指数不断增长,原来一张照片的数据量不到1 MB,现在可能超过10 MB;再如视频监控的普及、多媒体应用的增多,都产生了大数据。

总之,大数据是一种“现象”,是众多新技术和新应用产生的结果。

2.2 大数据的特点

大数据不仅是指其数据量大,而且还有很多特点,目前公认的至少有4个特点:体量大、形式多、时效强、价值大^[4]。

- 体量大主要指范围广、规模大、容量大,通常可以达到PB级,甚至达到EB、ZB级,其中以非结构化数据居多,占总数据量的80%~90%,其增长的速度比结构化数据还要快10~50倍。

- 形式多主要指数据类型,具有异构性和多样性,很多不同形式(文本、音频、图像、视频)的数据共存,数据没有特征模式或者特征模式不明显,缺乏语法和语义,具有很强的混杂性和模糊性。

- 时效强主要指时效性强,要求实时分析,希望立竿见影而非事后见效,因此需要强大的计算处理能力和及时的数据服务。

- 价值大主要指知识的聚合、产生的价值大,大数据具有大量的不相关信息,价值密度相对较低,需要复杂的统计、关联、挖掘和深度分析,来对显式规律、隐式规律、未知规律、发展趋势等进行分析 and 预测。

2.3 大数据的作用

对于大数据,你信与不信,它已存在;你喜不喜欢,它迅猛而来。

对于大数据,你用它就会有用了,就会产生价值;你不用它就是垃圾,而且不只是垃圾。

(1) 大数据的负面影响

任何事物都有两面性,大数据亦如此!

- 信息垃圾。大数据的规模大、冗余多、类型复杂,如果不能加以利用,它就是信息垃圾。另外还需要大量的存储资源、计算资源和人力资源来维护和处理,需要消耗大量的能源,不利于可持续发展。因此我们需要倡导健康的信息观念,不要随意产生和传播信息垃圾。

- 隐私威胁。互联网已经对用户的隐私产生很大的影响,在大数据时代隐私威胁会更加严重。通过大数据可以获得一个用户更多的信息,并且通过关联分析,可以获取其行为轨迹、兴趣爱好、社会关系、买卖信息等,对用户的隐私安全造成了极大的威胁。

- 数据滥用。大数据的价值不再单纯来源于它的基本用途,而更多源于它的二次或多次利用,会产生许多不可预见的影响,这些影响会有意或无意地威胁到用户的切身利益和隐私安全。如果被用于恶意滥用,甚至会严重侵犯用户的人身和财产等安全。

(2) 大数据的正面作用

垃圾也可变废为宝,大数据亦是如此!

- 发现规律。以前人类只能“以一斑而窥全局”,经常是“瞎子摸象”,只知其一不知其二。有了大数据,我们就有了感知世界和认识世界的能力和手段,不仅通过简单的统计分析就可以发现事物的显式规律,而且通过深入的挖掘可以发现事物的隐式规律,可以做到全面、实时、准确地认识世界和感知世界。

- 关联分析。一个数据可能没有意义或价值,但数据多了,不仅可以探测数据之间的因果关系(纵向,解决事出有因的问题),而且可以分析数据之间的关联关系(横向,解决相互作用的问题),通过几个维度可以更加清晰和准确地分析一个事物

的全貌。

当数据以数量级方式增长的时候,可以观察到许多似是而非的关联关系,通过大数据的关联性分析可以更准确、更快捷地获得全貌信息和潜在价值,并且不受偏见的影响。关联性分析通过探求“是什么”,而不是“为什么”,可以更好地了解世界,掌握以前无法理解的复杂技术和社会动态。

- 辅助决策。通过大数据的分析,可以建立和刻画事物的行为轨迹和生命周期,继而可以辅助用户做出决策。例如,商业追踪和交易分析报告形式的辅助决策;故障分析、异常检测等诊断形式的辅助决策;产品评测、广告投放等评估形式的辅助决策等。大数据有价值的的一个很重要原因就是它能够帮助我们做出决策。

- 趋势预测。通过大数据,不仅可以分析和掌握事物的发展规律,而且可以预测未来的发展趋势,进行态势感知,做到未雨绸缪。大数据是人们获得新认知、创造新价值的源泉。

大数据正如火如荼地在业界展开应用,典型的代表就是互联网巨头:Google、Amazon、Facebook等。随着大数据的演进,不仅越来越多的互联网企业会进入大数据的产业,而且更多的传统企业也会进军大数据。

3 大数据的未来

大数据即将引发第3次科技浪潮和技术变革,既是我们的机遇,也是面临的挑战。

(1)“数据科学”的出现。任何事物都会由量变引发质变,大数据也是如此!大数据不断的快速膨胀,可能很快就会超出我们的认知和处理能力,需要新的科学理论,去引发新的学科——数据科学;需要新的数学理论、计算模型和处理方法,去引发多元创新。

(2)思维理念的转变。大数据不是一个概念,而是一个思维理念,需要对传统的思维理念进行5个方面

的转变。第1个转变是:在大数据时代,我们可以分析更多的数据,甚至是某个事物的全集数据,并且“样本”可以等于“总体”,因此我们可以洞察全局、整体和所有,而不是需要随机抽样和多级抽样;第2个转变是:在大数据时代,因为数据量非常庞大,我们可以不再热衷于追求精确性,而是可以适当忽略微观层面的精确性而专注于宏观层面的洞察力,偏重于用概率说话,接受混乱和不精确性,我们可能会因此打开一扇新的窗户,宽容错误可能会带来更多价值;第3个转变是:在大数据时代,寻找因果关系不再是长久以来的习惯,我们将更侧重于寻找事物之间的关联关系,这会让我们发现新的潜在价值,这正是大数据的关键;第4个转变是:大数据时代的简单算法比小数据时代的复杂算法更有效,所以我们要寻找更为有效的简单算法;第5个转变是:数据的价值从基本用途转变为潜在用途,数据的价值不会随着它的使用而减少,而是可以不断地被处理和利用,并不断地产生价值,即数据可以被无限利用,而不是一次性消费^[1]。

(3)全面数据的掌握。大数据的

核心是数据,谁拥有数据,谁就有话语权,谁就能抢占制高点。因此,一是要花大气力全面、实时、准确地获取数据,这是“本”;二是要对大数据进行科学的分析、规范、整理,洞察数据的丰富特性,这对数据的分析和利用可以起到事半功倍的效果!

(4)潜在价值的挖掘。有了大数据,掌握了多个数据源,就可以从多个角度把握事物。更为重要的是,大数据之间存在着相互联系,通过关联性分析可以获得潜在价值,可以创造新的发现,并预测未来。大数据的精髓就是挖掘出庞大数据中一些独有的价值!

(5)核心技术的研发。有了数据,有了需求,就要研究和提出合适的统计、分析、挖掘、关联和预测模型,设计高效的处理方法和手段,构建精细的处理流程,设计精美的可视化界面和工具,做出一个好的大数据分析系统和产品,从而发现规律、产生价值,为客户乃至世界带来新的价值增长。

4 结束语

大数据开启了一次重大的时代

转型,大数据的科学价值和社会价值主要体现在两个方面:一方面大数据可以转化为经济价值的源泉;另一方面,大数据已经开始撼动世界的各个方面。

大数据蕴藏着巨大的宝藏,就像传统的石油、天然气、金矿等一样,就看你是否有能力挖到?能挖到多少?大数据的时代汹涌而来,我们要迎难而上,避免错失良机!

参考文献

- [1] 大数据史记 2013:盘点中国 2013 行业数据量 [EB/OL]. <http://www.36dsj.com/archives/6285>
- [2] 城田真琴.大数据的冲击[M].周自恒,译.北京:人民邮电出版社,2013.
- [3] 维克托.迈尔-舍恩伯格,肯尼恩.库克.大数据时代—生活、工作与思维的大变革[M].盛杨燕、周涛,译.杭州:浙江人民出版社,2013.

作者简介



薛一波,1995年于中国科学院计算技术研究所获得博士学位;清华大学信息技术研究院研究员,清华大学CPU&SoC中心副主任,CCF高级会员,IEEE/ACM会员;主要研究领域为计算机网络、信息安全、并行处理、分布式系统;发表论文140余篇,申请专利40余项。

综合信息

中国开建世界上最远距离光纤量子通信干线

2014年5月12日消息,中国开始建设世界上最远距离的光纤量子通信干线——连接北京和上海,光纤距离达到2 000 km。

另一方面,由东芝、英国电信集团、德国ADVA光网络公司以及英国国家物理实验室组成的联合研究组宣布了通过现场网络实验而得出的“令人鼓舞”的研究成果,验证了在进行经典通信的同时实现量子通信的可行性。

数据安全依赖于密钥(由数字0和1组成的一段序列,用于对信息进行加解密)的安全性。然而传统的加密系统中,密钥在传输过程中面临着被窃听的风险。而量子通信通过一项利用光子微观特性的量子密钥分发技术“解决了现有通信系统中这一最薄弱的环节”,

提供量子密码产品和服务的瑞士公司ID Quantique的共同创始人和首席执行官格列瓦·里波迪说。

量子密钥分发利用单光子的量子状态对密钥进行编码。当存在任何窃听时,量子力学原理决定了这种行为一定会扰动光子的量子状态,从而被通信方察觉。中国上述投资约1亿美元的开创之举和上面提到的联合研究中的系统都应用了量子密钥分发技术。

中国科学技术大学的潘建伟教授——其团队牵头实施“京沪干线”工程——介绍道:“‘京沪干线’不仅将为政府和金融机构提供最高安全等级的通信保障,也将会成为检验量子物理基本原理和测试、应用新技术的试验床。”潘建伟希望结合这个地面光纤网络和将于2014年发射的量子科学实验卫星来实现广域的量子通信网络。

(转载自《中国信息产业网》)

利用后台实时跟踪及多载波解决全覆盖高铁网络质量

Using Background Real-Time Tracking and Multi-Carrier to Solve the Complete Coverage High-Speed Railway Quality Problem

摘要: 后台实时跟踪方法准确定位、分析 W 网完全覆盖高铁场景下,列车经过时载干比(E_c/I_o)和宽带接收总功率(RTWP)急剧恶化的原因,得出突发网络负荷和干扰是影响高铁网络质量的关键因素。同时验证了双载波策略能快速有效解决高铁 W 网突发网络负荷及 E_c/I_o 恶化等问题。认为双(多)载波策略是 W 网高铁建设规划设计解决负荷、容量和质量矛盾的唯一手段。

关键词: E_c/I_o ; 实时跟踪; 网络负荷; 双载波

Abstract: In this paper, we use background real-time tracking to determine the reason for sharp deterioration of E_c/I_o and received total wideband power (RTWP) on a complete-coverage high-speed railway. Burst network load and interference are the key factors that affect the quality of high-speed railway. Due to rapidly improved network quality, double(multi) carrier will be the only way to resolve the contradiction of load, capacity and quality in W network high-speed railway construction planning and designing.

Keywords: E_c/I_o ; real-time tracking; network load; double carrier

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0044-04

近年来部分路段高速铁路已正式运营,越来越多的人选择乘坐高铁出行。为此,中国联通针对高铁进行了 W 网专项覆盖。但在实际运营过程中,人们发现专项覆盖后的网络容量和质量仍无法满足用户通信需求。如何保证高铁场景 W 网覆盖区域满足高铁用户的通信需求已成为目前高铁移动网络优化的最重要课题。由于 W 网容量、质量和覆盖可替换性,载干比(E_c/I_o)是当前 W 网络中各类终端进行选择、重选和切换时首选的策略标准。文章以提升 E_c/I_o

收稿日期: 2014-01-20
网络出版时间: 2014-03-07

I_o 为切入点,找出质量和容量同步提升方法,以实现高铁内信号质量和容量满足用户各类业务需求。

1 下行质量问题定位

京广高铁河南段 W 网专项覆盖在京广高铁全线贯通时完成,为提升专项覆盖后 W 网网络质量,经过长时间的精细化覆盖控制,精准的切换链优化,小区合并技改以及同频改异频等方法解决了干扰,提升了 E_c/I_o 。同时将覆盖高铁的所有小区的功率从 20 W 提升至 40 W,解决覆盖和容量不足的问题^[1-3]。拉网评估取得效果如图 1 所示。

梁松柏/LIANG Songbai

魏宁/WEI Ning

韩广平/HAN Guangping

(中国联合网络通信有限公司 河南省分公司,
河南 郑州 450008)
(China Network Communication Co., Ltd,
Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450008, China)

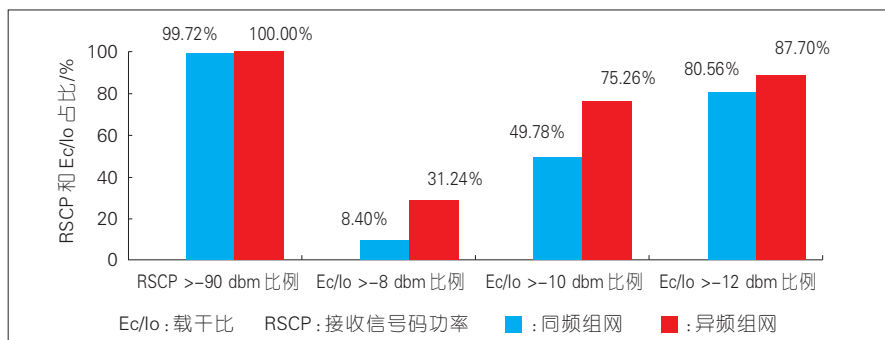
图 1 显示,在现有高铁上座率为 40% ~ 60% 的情况下,40 W 功率异频组网对覆盖没有提升,但在负荷相当的情况下对 $E_c/I_o > -10$ dB 的比例提升可以达到 25%,但会时常伴随着接入类、接续类等异常事件,同时还存在下载速率低、时延长等问题^[4]。

为准确定位高铁质量问题,进一步提升 E_c/I_o ,彻底解决未知原因导致的异常事件,我们选取其中一段 W 网做试点提升^[5]。

1.1 常规分析方法

主要采用专用测试软件拉网测试和后台网络性能统计方法结合来定位质量问题。通过来回、多次拉网评估测试,得到表 1 所示结果。

我们发现在覆盖基本达标的情况下, $E_c/I_o > -10$ dB 比例与目标值有一定的差距,结合后台忙时性能数据分析,结果如表 2 所示,载频接收功率均正常,载频的发射功率利用率也正常,最大载频发射功率和功率利用



▲图1 高铁同、异频组网 RSCP 及 Ec/Io 对比

率在用户集中接入时似乎也并无太大异常。由此得出常规分析方法已无法准确定位高铁质量短板问题^[6]。

1.2 后台实时跟踪分析方法

1.2.1 理论分析

依据第三代合作伙伴计划(3GPP)定义,对应的收发端及信道类型不同有着不同的 Ec/Io 计算公式:比如

$$P - CCPCH \frac{E_c}{I_o} \quad (1)$$

式(1)反映用户终端接收端主公共控制信道的 Ec/Io。

$$P - CCPCH \frac{E_c}{I_o'} \quad (2)$$

式(2)反映基站发射端主公共控制信道的 Ec/Io。

$$P - CPICH \frac{E_c}{I_{o_total}} \quad (3)$$

式(3)反映用户终端接收到的主公共导频信道的 Ec/Io。其中

$P - CPICH \frac{E_c}{I_{o_total}}$ 为服务小区主导频信道每码片功率能量; I_{o_total} 表示手机当前所接收到的所有信号强度,即 UE 接收机在 5M 工作带宽范围内接收的总能量功率,由服务小区总功率 (I_{o_s}) 和其他邻近小区同频干扰噪声 (I_{o_n}) 组成。在实际应用中,一般用公式(3)反映终端当前接收的导频信号的质量水平^[7-8]。

在异频组网且频率隔离度足够的前提下,依据式(3)可以得出式(4):

$$\frac{P - CPICH \frac{E_c}{I_{o_s}}}{I_{o_s}} \quad (4)$$

此式基本反映了京广高铁河南南段当前 W 网异频组网模式下仅有主服务小区、单腿软切换、无外部干扰源干扰的情形。

从发射端来看,导频信道的 Ec/Io 值会随着小区下行负载的增加而变差。如果单小区额定功率为 20 W (43 dBm),并以额定功率发射,且小区的导频信道功率配置为 33 dBm 时,依据式(4)可知该小区的主导频信道的 Ec/Io 将最多能达到 -10 dB (33 ~ 43 dBm)。由可推测京广高铁南段 W 网 Ec/Io 过低的根源只可能与高铁用户的业务负荷有关^[9]。

从接收端来看,经过实地、多轮次测试分析,结果如表 1、2 统计所

示,前后台性能统计指标无异常、无法找到下行质量恶化的根本原因是高铁列车通过单小区的时间不会超过 60 s,后台网管指标的统计粒度最小为 15 min,采用常规分析方法分析高铁小区指标时,秒级粒度的短暂突发业务被均摊到 15 min 甚至 60 min 粒度。因此无法真正反映高铁经过时的网络质量情况,只能通过呼叫跟踪等后台实时跟踪方法,分析、查找真正影响 Ec/Io 的关键负荷因子^[10]。

1.2.2 跟踪结果分析

在单载波异频(40 W)条件下,依据列车时刻表,该实验段某列高铁通过时,后台专业网管实时跟踪高铁 W 网小区的瞬时功率利用率及发射功率情况如图 2 所示。

当列车经过时,单载波异频高铁小区瞬时发射功率从 40 dBm 增强至 45 dBm,比平时最高值还提升了 5 dB;功率利用率从平均 30% 增至 80% 左右,比平时提升了 50%,占到额定发射功率(46 dBm)的 97.8%。

依据式(4)可知,部分小区下端接收到的 Ec/Io < 12 dB,已经满足不了某些业务的质量需求^[11-12]。

当列车经过时,单载波异频高铁小区瞬时宽带接收总功率(RTWP)

▼表1 京广高铁河南南段 CRH380A 型车拉网评估结果

| 评估时间 | 下行覆盖率/(Ec/Io>-12 dB 且 RSCP>-90 dBm)/% | RSCP>-90 dBm 比例/% | Ec/Io>-10 dB 比例/% | 短呼主叫接通率/% | 掉话事件 | 未接通 |
|-----------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------|------|-----|
| 2013/4/19 | 93.48 | 98.66 | 77.76 | 80.00 | 1 | 1 |
| 2013/4/24 | 90.10 | 92.71 | 89.22 | 92.31 | 1 | 1 |

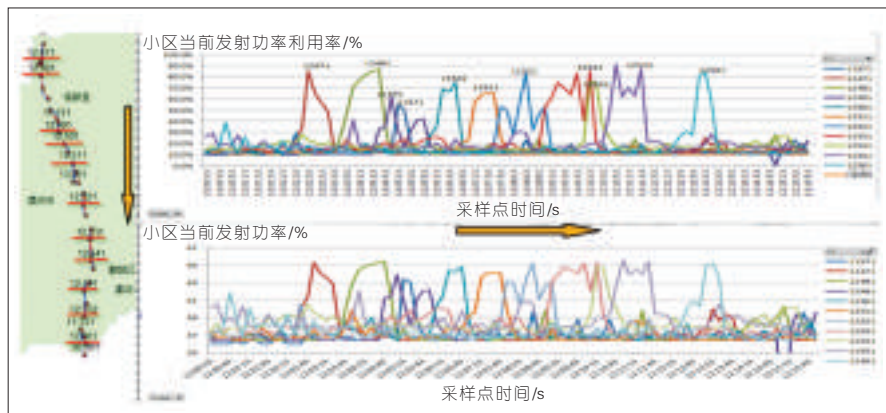
Ec/Io: 载干比 RSCP: 接收信号功率

▼表2 高铁经过时小区后台性能统计指标

| 评估时间 | 后台指标提取时段 | 最佳小区 HSDPA 最大用户数/个 | 最佳小区 HSDPA 最大用户数/个 | RTWP 平均值/dBm | TCP 平均值/dBm | TCP 平均利用率/% | TCP 最大利用率/% |
|-----------|-------------|--------------------|--------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 2013/4/19 | 9:00-9:15 | 17 | 15 | -105.35 | 37.35 | 14.67 | 47.21 |
| 2013/4/24 | 11:00-11:15 | 19 | 16 | -105.27 | 37.32 | 14.62 | 48.32 |
| 2013/4/26 | 9:00-9:15 | 21 | 22 | -104.87 | 38.28 | 15.25 | 54.16 |
| 2013/4/28 | 11:00-11:15 | 27 | 26 | -104.61 | 38.76 | 16.60 | 60.63 |
| 2013/5/2 | 15:00-15:15 | 25 | 19 | -104.99 | 37.27 | 14.16 | 47.32 |

HSDPA: 高速下行链路分组接入
HSUPA: 高速上行链路分组接入

RTWP: 宽带接收总功率
TCP: 载频发射功率



▲图2 单载波异频(40W)高铁用户业务瞬时功率占用情况

从-105.5 dBm 平均提升至-87 dBm, 比平时提升 18.5 dB; 最高可以提升至-77 dBm^[13]。如图3所示。

这种情况说明上行干扰已很严重, 直接影响无线网络控制器(RNC)对用户终端的随机接入控制、拥塞控制、接续控制和功率控制。同时说明上行方向单载波已无力承担如此大量用户业务需求^[14]。图4为单小区在列车经过时 RTWP 提升情况。

由以上信息我们可以总结出在现有单向高铁列车(16节车厢, 额度载客人数1220人, 用户上座率40%以上), 后台实时跟踪显示高铁用户业务负荷居高不下, 实时在线用户数过多(最大H用户数达到30人, 加上普通语音用户20人)^[15]。下行方向, 网络下行功率接近满负荷发射, 体现下行功率严重不足, 导致高速下行链路分组接入业务(HSDPA)调度速率降低, 无法满足突发容量需求。上行方向, 终端的Tx-Power达到较高水平, RTWP恶化明显, 无法满足W网业务质量需求^[16]。

2 下行质量问题的解决

根据以上分析, 我们需要采取双载波策略解决高负荷及由此引起的干扰问题。

2.1 双载波策略分析

依据以上结论, 必须对现有高铁W网进行紧急扩容。目前高铁常用

双载波策略如表3所示。

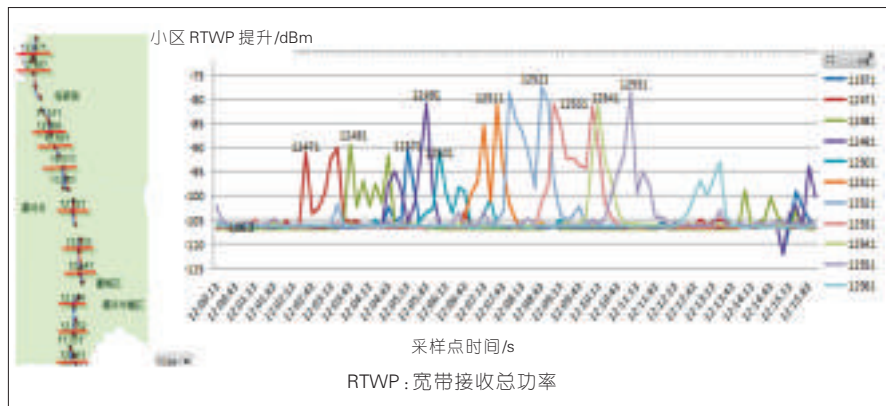
半交互方式(双载波单异频)因存在基础载波, 具有可以实现用户向大网平滑过渡, 基础载波存在较大干扰等特点。完全独立方式(双载波双异频)因与大网异频, 具有无线环境

好, 吸收大网用户少, 负载低等特点; 在部分场景需要设置过度切换带; 存在用户掉入大网后不能及时返回专网问题, 对高铁站点维护要求高。本次试验主要采取半交互方式(双载波单异频)双载波策略, 应对高铁用户突发业务负荷的冲击。

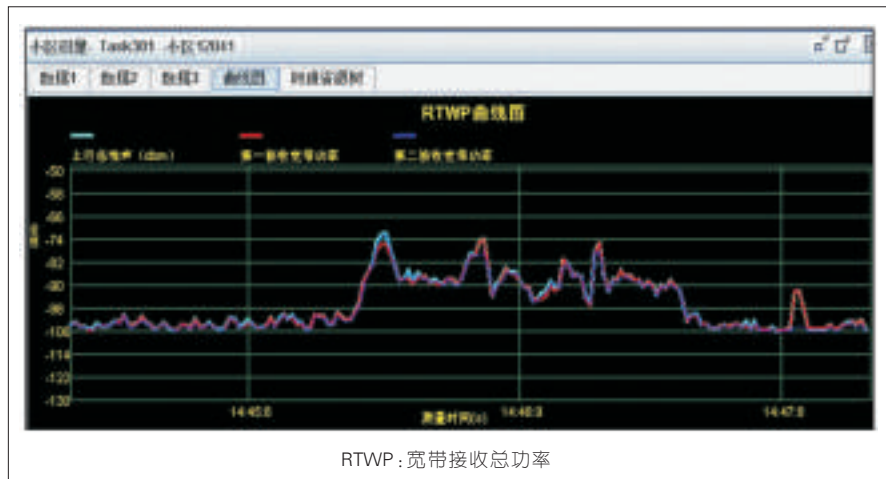
2.2 实施效果分析

对该段网络实施了双载波单异频及随机驻留话务均衡策略, E_c/I_o 得以持续提升, $E_c/I_o > 0$ dB 的比例提升至 91.3%。 $E_c/I_o > 2$ dB 的比例提升至 96.49%。如图5所示。

配合双载波实施, RTWP 及 TX-POWER 可以得到同步优化和提升, 如图6所示。高铁列车内用户移动终端经过高铁覆盖小区时 TX-POWER 从平均 0 dBm 下降至-15 dBm



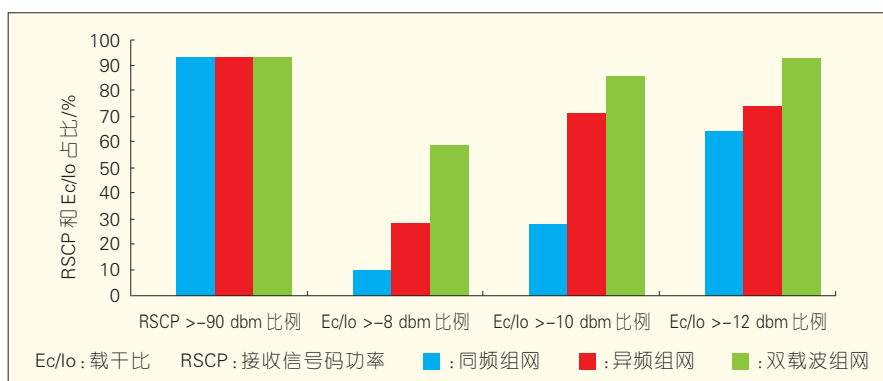
▲图3 高铁覆盖链路小区 RTWP 瞬时提升情况



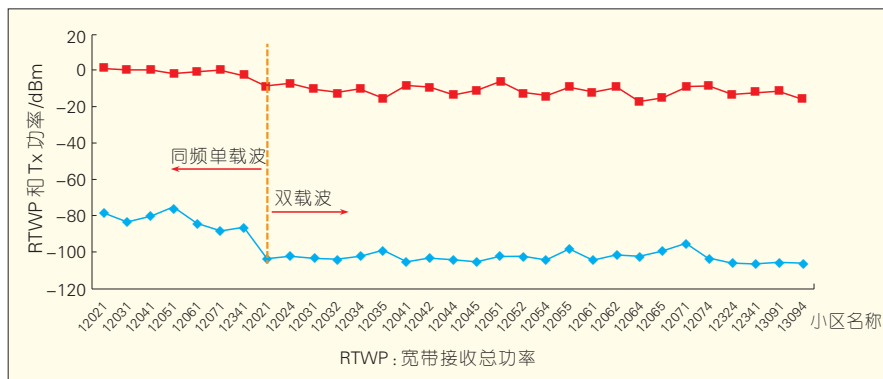
▲图4 高铁覆盖单小区 RTWP 瞬时提升情况

▼表3 常用高铁双载波组网策略分析

| 高铁组网策略 | 半交互方式(双载波单异频) | 完全独立方式(双载波双异频) |
|---------------|--|---|
| 载频话务策略 | 基本载波与大网同频,二个载波异频,采取随机驻留话务均衡策略。 | 二个载波均异频,采取随机驻留话务均衡策略。 |
| 质量提升关键技术和相关策略 | <p>(1)火车站进出口点设置入、出口异频重叠覆盖区域。</p> <p>(2)高铁覆盖沿线小区除设置同频邻区外,考虑过度小区设置少数大网异频邻区;并配合设置接入、切出参数设置(无切入或甚少切入邻区关系)。</p> | <p>(1)火车站进出口点设置入、出口异频重叠覆盖区域。</p> <p>(2)高铁覆盖小区仅设置高铁同频邻区。</p> <p>(3)基于高速移动性高铁用户(仅部分厂家支持能根据多普勒频移区分用户)的选择、重选、接入和软切换参数设置。</p> <p>(4)沿途仅设置个别返回带,让掉入大网的用户返回高铁网络。</p> |



▲图5 单载波同频、异频、双载波网络质量对比



▲图6 高铁覆盖单小区RTWP瞬时提升情况

以下;而RTWP则会从-80 dBm改善至-100 dBm(为业务状态的正常值)^[17]。

3 结束语

基于以上分析,可以得出两点:在高铁全覆盖网络场景下的问题分析和定位办法必须采用实时跟踪方法,才能精准定位问题;无论从前向还是从反向来看,导致高铁W网Ec/Io和RTWP严重恶化的因素为高网络负荷及由此产生的网络干扰。经验

证,采用双载波话务均衡策略方式能有效解决高铁W网络突发业务问题。

在以后的高铁网络建设规划设计中,除考虑W网全覆盖外,还需考虑双向高铁列车交汇时的用户业务需求。因此要彻底解决W网网络干扰和负荷问题,在建设阶段可直接采用双载波策略。随着高铁用户量的持续提升,高铁在线用户数对W网负荷、容量和质量是一大挑战,三载波甚至更多载波将是未来应对网络负

荷不断增加等的不二选择。

参考文献

- [1] Radio Propagation Modeling [EB/OL]. <http://morse.colorado.edu/~tlen5510/text/>
- [2] Harri Holma, Antti Toskala 著. UMTS 中的 WCDMA—HSPA 演进及 LTE(原书第5版)[M]. 杨大成等译. 北京:机械工业出版社,2011.
- [3] 王有为,徐志宇,夏国忠编著. WCDMA 特殊场景覆盖规划与优化[M]. 北京:人民邮电出版社,2011.
- [4] 3GPP. 3GPP TS 25.101[S].
- [5] 张传福著. WCDMA 通信网络规划与设计[M]. 北京:人民邮电出版社,2007.
- [6] 姜波著. WCDMA 关键技术详解(第二版)[M]. 北京:人民邮电出版社,2008.
- [7] 3GPP. TS 23.002 Network architecture: 5.3.0 [S].
- [8] 3GPP. TS 23.060 General Packet Radio Service; Service description 5.1.0[S].
- [9] 窦中兆,雷湘编著. WCDMA 系统原理与无线网络优化[M]. 北京:清华大学出版社,2009.
- [10] 张建华,王莹著. WCDMA 无线网络技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2007.
- [11] 徐志宇,韩玮,蒲迎春. HSDPA 技术原理与网络规划实践[M]. 北京:人民邮电出版社,2007.
- [12] 麦罗拉著. 蜂窝移动通信工程设计[M]. 聂涛等译. 北京:人民邮电出版社,1997.
- [13] 张平等. WCDMA 移动通信系统[M]. 北京:人民邮电出版社,2004.
- [14] ITU-R. P. 1238-6-2009[S].
- [15] ETSI. TR 101 112.p33-35[S].
- [16] 郭东亮等. WCDMA 规划设计手册[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.
- [17] 孙记明,张惠谦,李广彬. WCDMA 网络无线行业应用信息安全分析[J]. 邮电设计技术,2012,(2): 13-16

作者简介



梁松柏, 北京大学毕业; 现为河南联通网络优化中心技术专家; 长期从事移动通信网络优化及网络质量研究及提升工作; 发表论文2篇。



魏宁, 河南科技大学毕业; 现任河南联通网络优化中心优化工程师; 主要从事移动通信网络优化工作。



韩广平, 郑州大学毕业; 现任河南联通网络优化工程师; 主要从事移动通信网络优化工作。

CAN 总线通信控制协议的仿真与性能分析

Simulation and Performance of CAN Bus Communication Protocol

曹剑馨/CAO Jianxin, 梁庚/LIANG Geng

(华北电力大学 控制与计算机工程学院, 北京 102206)
(School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

中图分类号: TP393.1 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0048-04

摘要: 在控制器局域网(CAN)总线通信控制协议的基础上,在 MATLAB/Simulink 软件 Stateflow 仿真环境下,利用有限状态机理论对 CAN 总线通信系统进行了形式化建模。通过此仿真模型,可以分析 CAN 总线通信系统中负载率的变化对网络吞吐量、平均信息时延、通信冲突率、网络利用率、网络效率以及负载完成率的影响。仿真结果验证了 CAN 总线通信控制协议的特点,同时也证明了 Stateflow 对 CAN 总线协议进行建模仿真的可行性。

关键词: 现场总线; CAN; 状态流; 网络性能

Abstract: In this paper, we use the theory of finite-state machines and a MATLAB/Simulink Stateflow simulation environment to formalize the modeling of a controller area network (CAN) bus communication system with CAN bus communication control protocol. We use the simulation model to analyze the impact of the load rate of the CAN bus communication system on throughput, average delay of information, communication collision rate, network utilization, network efficiency, and load completion. The simulations show the benefits of the CAN bus communication control protocol and prove the feasibility of CAN bus protocol modeling and simulation in a Stateflow environment.

Key words: fieldbus; CAN; Stateflow; network performance

控制器局域网(CAN)属于现场总线的范畴,是一种有效支持分布式控制系统的串行通信网络。它是由德国博世公司在 20 世纪 80 年代专门为汽车行业开发的一种串行通信总线。由于其通信速率高、工作可

靠、调试方便、使用灵活和性价比高优点,已经在汽车业、航空业、工业控制、安全防护等领域中得到了广泛应用^[1-5],被公认为几种最有前途的总线之一,其协议也发展为重要的国际标准^[6]。

随着 CAN 总线在各个行业和领域的广泛应用,其通信性能也越来越受到人们的关注。目前,已有很多学者对 CAN 总线通信性能进行分析研

究。文献[7]利用网络仿真软件 OPNET,按照载波监听多路访问/冲突检测方法(CSMA/CD)的总线仲裁方法,构建了 CAN 网络三层结构模型,实现了 CAN 网络软件模拟仿真及性能分析;文献[8]对基于 CAN 协议现场总线的分布式控制系统中的实时通信进行了深入系统的研究,对 CAN 总线网络实时性能进行分析,提出了报文截止期时间单元制定方法,并对其协议进行了改进;文献[9-11]采用 petri 网对 CAN 总线建模,并对总线性能进行仿真与分析。

文中在分析 CAN 总线通信控制协议的基础上,在 MATLAB/Simulink 软件 Stateflow^[12]仿真环境下,利用有限状态机理论对 CAN 总线通信系统进行了形式化建模。通过此仿真模型,分析了 CAN 总线通信系统中负载率的变化对网络吞吐量、平均信息时延、通信冲突率、网络利用率、网络效率以及负载完成率的影响。

1 CAN 总线通信控制协议

根据 ISO11898(1993)标准,CAN 从结构上分为物理层和数据链路层,数据链路层又包括逻辑链路层控制子层(LLC)和介质访问控制子层(MAC)。在 CAN 总线系统中,节点间通过公共传输介质传输数据,因而数据链路层是总线的核心部分。CAN 总线数据链路层的通信介质访问控制方式为事件触发,采用 CSMA/CD。只要总线空闲,网络上任意节点均可在任意时刻主动地向网络上其他节点发送信息,而不分主从,节点在请求发送信息时,首先侦听总线状态,若总线空闲(或等待至总线空闲)则开始发送。当多个节点同时发送产生冲突时,采用非破坏性位仲裁机制,即借助 ID 标识符及逐位仲裁规则,低优先级节点主动停止发送,高优先级节点不受影响继续发送,从而避免总线冲突,避免信息和时间发生损失。在发送过程中,发送节点对发送信息进行校验,完成发送后释放

收稿日期: 2014-03-20

网络出版时间: 2014-04-28

基金项目: 北京市自然科学基金(4122074);
国家自然科学基金(61174116); 北京高层次人才计划项目(PHR20110504)

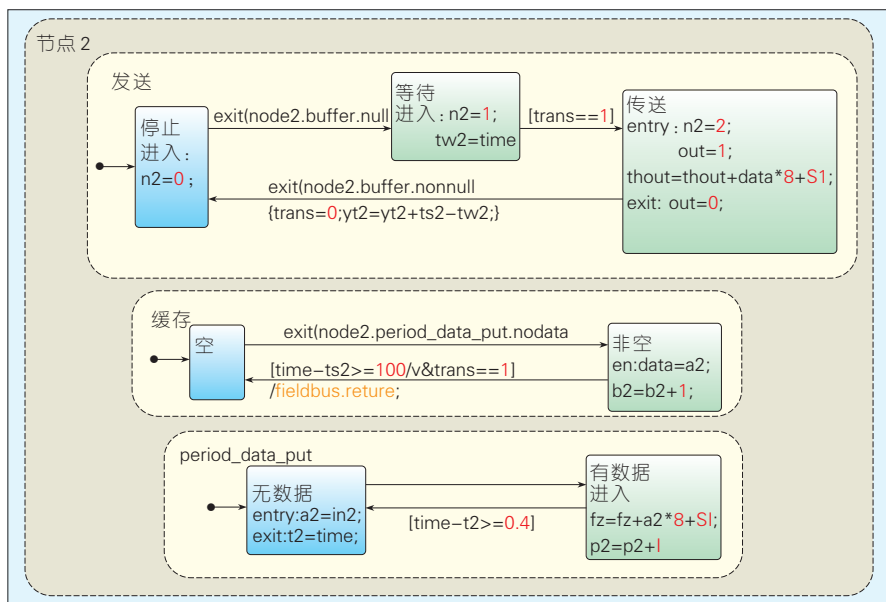
总线。CAN 总线系统通过使用这种非破坏性的逐位线仲裁技术来处理多个节点同时访问网络的冲突,最后优先级最高的节点能够立即发送数据,满足了高优先级节点实时性的相关需要。

2 CAN 总线系统仿真模型

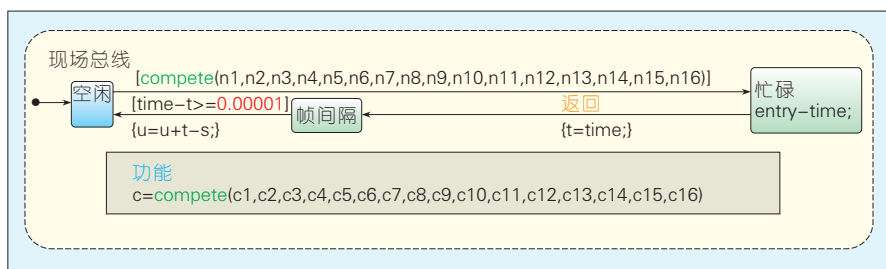
文章在 Matlab/Simulink 软件 Stateflow 仿真环境中建立了 16 节点的 CAN 总线通信系统仿真模型。节点 1—16 的结构是相同的,节点模块如图 1 所示。

节点模块包括发送、缓存、数据采集 3 个部分。因为本次仿真主要研究 CAN 总线的通信性能,所以建立节点模型时,只考虑了其通信活动所涉及的部分,没有加入节点计算控制活动部分和数据接收部分。数据采集用于采集 Simulink 中输入的数据,数据长度服从随机平均分布,在状态“有数据”中,数据被组装成 CAN 标准短帧。在实际系统中,数据可能是节点本身采集的现场检测数据,或是节点控制器输出的数据。“缓存”代表节点的缓冲器,这里假设容量为 1。包括两个状态:“空”和“非空”。数据被采集并组装成 CAN 标准短帧后,触发由“空”到“非空”的转换,将节点信息放在等待发送的缓冲器中,发送完成后,返回“空”状态,等待下一次触发。“发送”代表节点发送部分,当缓冲器有数据等待传输时,触发由“停止”到“等待”的转换,进入等待状态;当总线仲裁允许本节点发送时,触发由“等待”到“传送”的转换,开始发送数据;当缓冲器的数据传送完成时,触发由“传送”到“停止”的转换,等待下一次发送。

通信调度模块,如图 2 所示。包括总线活动模块 fieldbus 和仲裁判断函数 compete。fieldbus 模块包括 3 个状态:“空闲”、“忙碌”、“帧间隔”。开始总线在“空闲”状态下,当有节点要发送信息时,用 compete 函数对待发节点进行仲裁,并触发由“空闲”到



▲ 图 1 节点模块



▲ 图 2 通信调度模块

“忙碌”的转换;节点发送数据完成后,以“返回”事件触发由“忙碌”到“帧间隔”的转换;经过一个“帧间隔”后,回到“空闲”状态,等待下一次传输。compete 函数对各节点的仲裁符合 CAN 仲裁机制,通过比较各待发节点的优先级,实现“线与”功能,将发送权给优先级最高的节点。

以上所述的仿真平台简洁直观地解释了 CAN 网络的控制机理,并能动态地仿真其通信活动。

3 网络性能

3.1 性能指标

我们先介绍总线网络相关性能指标的相关定义^[3]。

网络负载率:单位时间内发出访问网络的节点数(需要传送的报文

数)与网络最大容量的比率。

吞吐量:单位时间内系统成功发送信息数量的均值。

平均信息时延:从信息发出传输请求到被成功地传输到目的节点所需要的平均时间。

通信冲突率:节点遭受通信冲突的概率。

网络利用率:单位时间内通道传送信息的时间比率,即是通道处于忙碌状态的概率,它反映了通道被利用的情况。

网络效率:单位时间内通道成功传送的信息与通道发送信息的时间比率,即吞吐量与通道利用率两者间的比率。

负载完成率:所有节点运行完成后成功向总线上发送的报文帧的总个数与所有节点请求发送的报文帧

的总个数的比率。

3.2 性能分析

仿真设定 CAN 总线传输速率为 200 kbit/s, 总的运行时间为 $T = 2\text{ s}$, 并假设每一帧报文的数据长度为 100 bit, 可以得知, CAN 总线满负载时传输 4 000 帧数据, 表示为 $N=4\ 000$ 帧, 即满负载时传输的数据帧的总长度为 400 kbit, 表示为 $S = 400\text{ kbit}$ 。通过设定各节点的发送周期, 来调整负载率的大小^[14]。

CAN 总线仿真模型中, 输出参数含义分别为: u 代表通道处于忙碌状态的总时间; $thout$ 代表所有节点发送的所有数据帧的总长度; f_z 代表所有节点产生的所有数据帧的总长度; $b1-b16$ 分别代表第 1—16 个节点每次运行完成后成功向总线上发送的数据帧的个数; $p1-p16$ 分别代表第 1—16 节点每次请求发送的数据帧的个数。

所以, 吞吐量的计算公式为:

$$\text{吞吐量} = \frac{thout}{T} = \frac{thout}{2} \quad (1)$$

平均信息时延的计算公式为:

$$\text{平均信息时延} = \frac{\sum_{i=1}^{16} y_i t_i}{16} \quad (2)$$

式中 i 表示节点编号 ($i = 1 \sim 16$)。

通信冲突率的计算公式为:

$$\text{通信冲突率} = \frac{N \times \text{负载率} - \sum_{i=1}^{16} b_i}{N \times \text{负载率}} \quad (3)$$

$$= \frac{4\ 000 \times \text{负载率} - \sum_{i=1}^{16} b_i}{4\ 000 \times \text{负载率}}$$

网络利用率的计算公式为:

$$\text{网络利用率} = \frac{u}{T} = \frac{u}{2} \quad (4)$$

网络效率的计算公式为:

$$\text{网络效率} = \frac{thout}{u} \quad (5)$$

负载完成率的计算公式为:

$$\text{负载完成率} = \frac{\sum_{i=1}^{16} b_i}{\sum_{i=1}^{16} p_i} \quad (6)$$

式中 i 表示节点编号 (1~16)。

经过运行仿真模型, 得到系统在负载分别为 16%、33%、50%、81.5%、100%、125%、150%、175%、200%、230%、250%、280%、310% 时的一系列仿真结果。

依据公式 (1)~(6), 我们分析了负载率从 0.02 到 3.1 的情况下, CAN 总线通信系统中负载率的变化对网络吞吐量、平均信息时延、通信冲突率、网络利用率、网络效率以及负载完成率的影响。结果如图 3—8 中所示。

图 3—8 的变化趋势都是由 CAN 总线通信控制协议决定的, 即总线空闲时, 任一节点都有发起通信的权力, 当多个节点同时发送产生冲突时, 采用非破坏性位仲裁机制, 低优先级节点停止发送, 高优先级节点不受影响继续发送, 从而可以避免总线冲突。

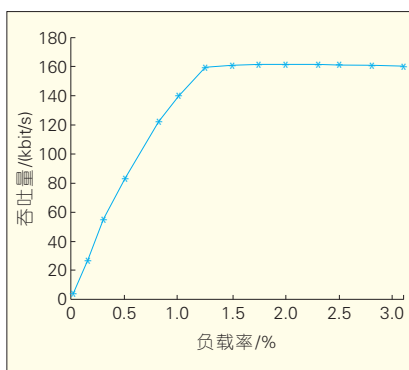
图 3 中, 由于当负载率较低时, 低优先级的信息可以竞争到总线权

得以发送, 随着负载率的增加, 网络利用率提高, 所以, 吞吐量也随之增加, 当负载率增加到一定程度时, 只有高优先级的信息得以发送, 此时吞吐量趋于饱和。

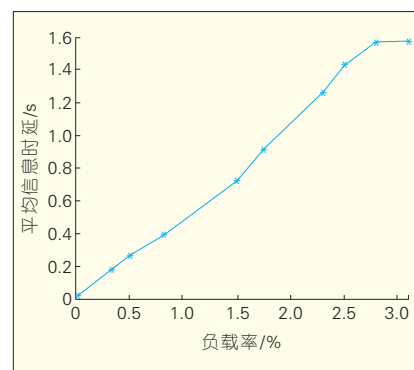
图 4 中, 由于随着负载率的增加, 信道主要用来发送高优先级的信息, 而低优先级的信息却被长时间延迟甚至造成数据丢失, 所以平均信息时延随着负载率的增加几乎呈线性增加。

图 5 中, 由于随着负载率增加, 吞吐量增加, 即单位时间内需要处理的信息量增加, 信息发生冲突的机会也增加。而且随着负载率的增加, 当吞吐量增加到趋于饱和后, 信息发生冲突的机会也增加的较为缓和, 即通信吞吐率增加的较为缓和。

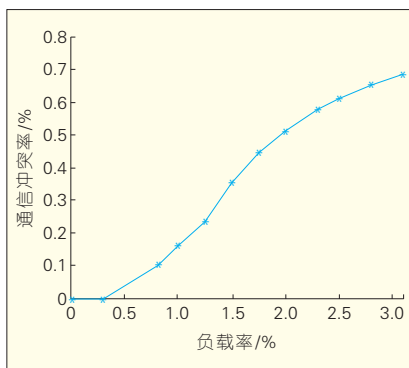
图 6 中, 由于随着负载率增加, 吞吐量随之增加, 则单位时间内需要处理的信息量增加, 从而使得通道的利用率增加。同时, 通道由“忙碌”到“空闲”状态所用的帧间隔时间也增



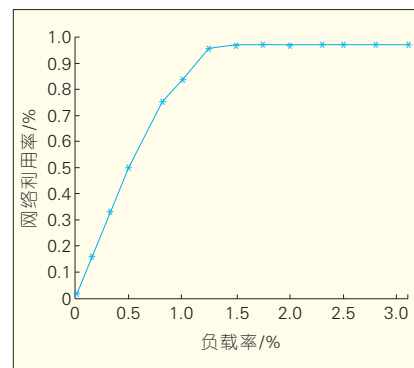
▲ 图 3 吞吐量与负载率的关系



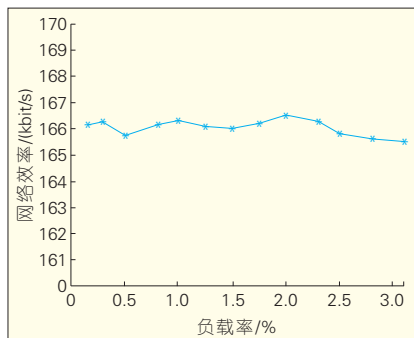
▲ 图 4 平均信息时延与负载率的关系



▲ 图 5 通信冲突率与负载率的关系



▲ 图 6 网络利用率与负载率的关系

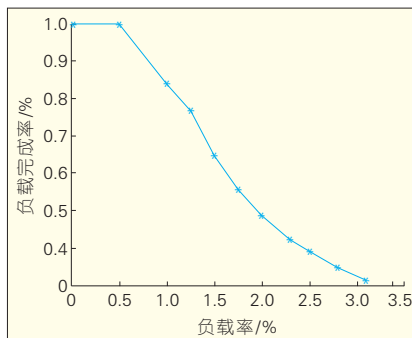


▲ 图7 网络效率与负载率的关系

加,使得通道不可能连续不断地传输信号,这样随着吞吐量增加并趋于饱和时,网络利用率也随之增加并趋于1,但不会达到1。

图7中,由于随着负载率的而增加,吞吐量增加,而通道处于“忙碌”状态的总时间也在增加,并且在吞吐量达到饱和时,通道处于“忙碌”状态的时间也趋于稳定,所以,单位时间内通道成功传送的信息与通道发送信息的时间比率几乎不随着负载率变化而变化,基本在一个恒值附近微小变化。

图8中,由于在负载率较低时,各优先级的信息都可以竞争到总线权得以发送,所有节点成功向总线上发送的数据帧的个数与请求发送的数据帧的个数相等或相差很小,但是随着负载率的增加,低优先级信息得不到发送,只有高优先级信息才得以发送,导致所有节点成功向总线上发送的数据帧的个数远小于请求发送的数据帧的个数。所以,负载完成率



▲ 图8 负载完成率与负载率的关系

随着负载率的增加而减小,并且在负载较小时,负载完成率很大,几乎接近于1。

总之,以上分析结果验证了CAN总线通信控制协议的特点。

4 结束语

运用 MATLAB 软件中 Stateflow 工具箱来对 CAN 总线通信系统建模仿真切实可行,是现场总线协议分析与研究的又一途径。仿真模型能够完全描述协议的复杂逻辑关系,而且形象直观贴近实际系统,易于理解,也便于修改调试。

参考文献

- [1] 阳宪惠. 现场总线技术及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [2] 滕荣华, 谢晓燕. 在煤矿信息通讯网络中CAN总线的应用[J]. 煤炭技术, 2013, 32(2): 161-163.
- [3] 潘绍明, 蔡启明, 韩峻峰. CAN总线在汽车领域的应用[J]. 制造业自动化, 2010, 32(10): 173-175.
- [4] 杨斌, 李阜东. CAN总线在航空模块化综合系统中的应用[J]. 电讯技术, 2009, 49(5): 43-48.

- [5] 柴钰, 张奇. CAN总线技术在工业报警网络系统中的应用[J]. 自动化仪表, 2011, 32(2): 43-48.
- [6] ISO 11898 Road vehicles- interchange of digital information- controller area Network for high-speed communication ISO[S].
- [7] 袁远. CAN网络通信及实时性研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2010.
- [8] 成进. CAN总线实时性能研究和改进[D]. 苏州: 苏州大学, 2010.
- [9] 宋小庆, 任维彬, 陈克伟, 熊全谦. 基于有色Petri网的CAN总线仿真与性能分析[J]. 装甲兵工程学院学报, 2011, 25(1): 75-78.
- [10] 韩江洪, 唐璐, 王跃飞, 张本宏. 基于DSPN的CAN/LIN网络建模及性能分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2010, 33(3): 351-353.
- [11] 周杨. 基于Petri网的CAN总线性能分析与评估[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2009, 14(3): 47-50.
- [12] 张威. stateflow逻辑系统建模[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.
- [13] 周悦, 于海斌, 王天然, 苑明哲. Profibus和FF现场总线的性能分析与评价[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2004, 22(4): 434-437.
- [14] 郝佳, 吴杰长, 郭朝有. CAN总线通信过程的Stateflow建模与仿真[J]. 计算机与数字工程, 2011, 39(9): 54-56.

作者简介



曹剑馨, 华北电力大学控制与计算机工程学院硕士研究生; 研究方向为工业通信网络性能分析、评价。



梁庚, 华北电力大学控制与计算机工程学院副教授; 研究方向为分布式控制系统、现场总线技术; 已发表论文30余篇, 申请专利10余项。

综合信息

宽带论坛: 全球宽带用户数达6.786亿

2014年4月30日消息, 非政府组织宽带论坛发布的最新数据显示, 2013年全球宽带用户数量增加了4 000万, 已达到6.786亿。市场研究机构Point Topic数据显示, 虽然基于铜缆接入的宽带技术仍占主导地位, 但是包括FTTx和VDSL在内的光纤宽带连接技术增长最快。

2013年光纤宽带连接增长了17.6%, 相较之下所有

宽带连接的增长率仅为6.1%。事实上, 2013年铜缆宽带用户数量减少了1.6%, 是唯一用户数量下降的宽带连接技术。同期, 全球IPTV用户数增加了1 700万, 达到9 600万。

目前, 中国是世界上拥有宽带用户数量最多的国家, 用户数高达1.92亿。仅在2013年第4季度, 中国新增用户数就达到300万。(转载自《中国信息产业网》)

基于SBB 2.0扩展的计算存储融合系统

Computing and Storage Convergence System Based on Extended SBB 2.0

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0052-03

摘要:对SBB 2.0规范进行了扩展,通过增加PCIe信号提出了一种小型化的计算存储融合系统。相比于SBB 2.0,该系统融合了计算和存储两种应用,具有集成度高、功能丰富、扩展性强、兼容性好、配置灵活等诸多特性,不失为一种小型化的计算存储通用系统。

关键词: 存储桥接坞;高级电信计算架构(ATA);串行连接小型计算机系统接口(SAS);快速外部设备互连;网络存储;服务器虚拟化

Abstract: This paper describes a small-scale convergence system that is based on storage bridge bay (SBB) and has added PCIe signals. This system combines computing and storage applications. It is highly integrated, feature-rich, scalable, and highly compatible. It also enables flexible configuration. It is a universal miniaturized computing storage system.

Key words: SBB; advanced telecom computing architecture (ATCA); serial attached small computer system Interface (SAS); PCIe; network storage; server virtualization

马千里/MA Qianli
袁磊峰/YUAN Leifeng
王朝营/WANG Chaoying
(中兴通讯股份有限公司,江苏 南京
210012)
(ZTE Corporation, Nanjing 210012, China)

存储桥接坞(SBB)是由非盈利性协作组织为提高网络存储接口标准化而提出的一种规范。SBB 2.0^[1]版本定义了箱式存储阵列设备中控制器和插槽的机械、电气和底层管理特性,使得不同存储厂商基于该标准的控制器具有统一的兼容性和互操作性。如EMC公司的VNXe3150^[2]、Fujitsu公司的DX60^[3]磁盘阵列柜都是符合SBB 2.0的产品,2 U高的机箱最多可以容纳24个2.5 inch串行连接小型计算机系统接口(SAS)硬盘。

SBB 2.0设备是面向中小规模的通用网络存储而设计的,广泛适用于企业、政府、金融、电信、互联网等行业。在这些行业中,除了存储的应用外,小型化的计算应用更广,如采用

高级电信计算架构(ATCA)平台^[4-5]及相应的服务器刀片,典型的有Comtel公司的CO2产品^[6]、Emerson公司的Centellis 2000产品^[7],都是小型化、3U高的ATCA机框。

但是,这些应用也存在着系统上的不足。比如,计算和存储在物理上隔离,只作为计算或存储的应用,功能单一,集成度不高;再者,计算及存储应用间的互换性、通用性不佳。另外,对于计算应用来说,因某些限制而提供的接口或处理资源不够,扩展性不强。

针对上述问题,文章对SBB 2.0规范进行了扩展,在此基础上,提出了一种小型化的计算存储融合系统(以下简称融合系统),既适合计算应用,也适合存储应用,或者同时作为计算及存储的融合应用,应用于通

信、信息及工业控制等领域。

1 SBB 规范简介

SBB 2.0定义了存储阵列机箱和存储控制盒之间的机械和电气需求,以支持符合SBB规范的模块具有更高的互通性。这样以来,多个机箱可以共享同一种控制盒,或者不同的控制盒能够插入同一个机箱,解决不同产品之间的互用性问题,降低产品成本,缩短开发周期,给用户提供了灵活选择。这就是SBB规范的主要精髓。

需要说明的是,SBB规范现行版本是2011年发布的2.1版,除了对SBB 2.0进行一些勘误补充外,还增加了6 Gb SAS等高速信号的定义,但总体上变化不大。文章基于最新的SBB 2.1规范,但业界仍然习惯上称为SBB 2.0。

一个典型的SBB机箱如图1所示。前视为最多24个高密度磁盘封装,后视为1~2个存储控制盒、1~2个电源风扇模块,它们都插在中背板上进行互联。

SBB 2.0为存储控制盒到中背板定义了SBB中背板连接器(SBBMI),对应两个控制盒插槽,称为SBBMI A和SBBMI B,分别由M1—M13接插件

收稿日期: 2014-03-20
网络出版时间: 2014-04-30

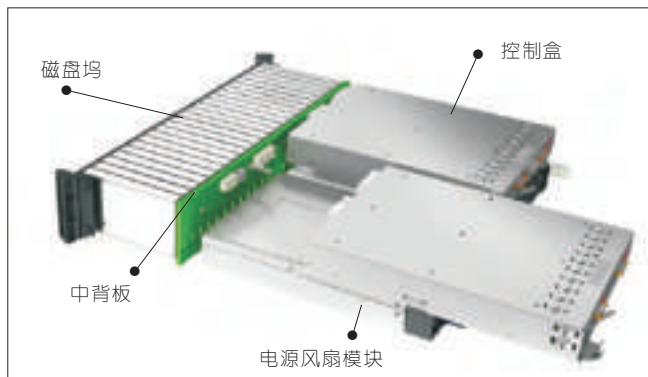


图1
SBB 2.0 机箱组件

模块组成,如图2所示。

其中,M1、M5两组可选模块含有两个控制盒之间互连的高速信号,M3含有机箱管理及控制的低速信号,M4为导向插脚,M6为电源插脚,M2含有硬盘1—6的信号,可选的M7—M13含有硬盘7—48的信号。

2 融合系统原理

2.1 融合系统 TOPO 架构

快速外部设备互连(PCIe)是第三代 I/O 局部总线标准^[8-9],以其串行传输、点对点连接、报文交换的体系结构带来了高带宽、低开销、可扩展、高可靠、易用性等特点,加之它可以提供虚拟化方法,不仅已普遍用于主机与外部设备的高速可靠通信^[10],而且在高密度计算、网络通信、工业控制等领域也得到了大量应用,具有广泛的通用性。

融合系统正是在 SBB 2.0 的基础上引入 PCIe 总线进行扩展而来。

SBB 2.0 定义了 48 个硬盘信号,融合系统根据实际应用需求的具体情况,对支持的硬盘数量进行了缩减,单机箱仅支持 12 个硬盘,这样就可以将前述 M8—M13 的信号进行重新定义,增加 PCIe 2.0 的信号连接(单通道带宽 5 Gb/s),并对硬盘盒的插槽进行扩展,以便混插其他的功能板卡,从而使系统兼具存储和计算的双重功能。

系统拓扑(TOPO)如图3所示。

在结构上,融合系统将 SBB 2.0

机箱的前后进行了颠倒,以便统一后走线。

机箱前视为横插的两个主控制器 1、2(左右分别列于上部),以及两个电源风扇模块 1、2(左右分别列于下部)。

中背板后视有 16 个竖向的插槽,可以插入相应的后插板卡,按功能可分为 3 个部分:

- 两侧是电源槽位 1、2,用来插入电源输入板卡为系统引入外部电源,并通过中背板转接到电源风扇模块,由此给整个机箱提供电源和通风散热。

| M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 | M11 | M12 | M13 |
|-----------|---------|---------|-----|-----------|------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| SBB 到 SBB | 驱动器 1—6 | 机箱管理和控制 | 导向针 | SBB 到 SBB | 电源引脚 | 驱动器 7—12 | 驱动器 13—18 | 驱动器 19—24 | 驱动器 25—30 | 驱动器 31—36 | 驱动器 37—42 | 驱动器 43—48 |

图2 SBBMI 连接器模块

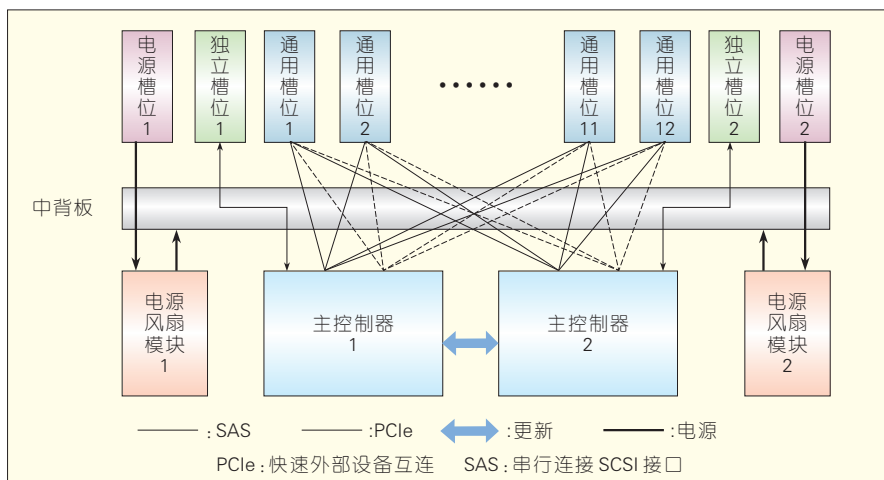


图3 融合系统 TOPO 架构

- 电源槽位向内是两个独立槽位 1、2,分别对应主控制器 1、2,两个主控制器分别通过这两个槽位上的独立板卡直接出对外接口,或提供相应的独立功能。

- 其余为连续的 12 个通用槽位,每个槽位到两个主控制器均连接有 2 条 SAS 2.0 通道和 4 Lane 的 PCIe 2.0 总线。这样,通用槽位可以混插 2.5 inch SAS 硬盘板卡或者 PCIe 功能板卡,并同时受控制器 1 及 2 的控制,实现存储或计算的功能。

和 SBB 2.0 一样,两个控制器之间还有相互通信的更新信号,并可完成整个机箱的管理控制功能。

2.2 SBBMI 信号扩充

参考图2,融合系统对 SBB 2.0 扩展的关键是利用 M8—M13 接插件在 SBBMI 中引入 PCIe 2.0 信号。以 M8 为例,两个控制器到 M8 共有两组 PCIe 2.0 × 4 总线信号、复位信号 PERST#、在位信号 PRSNT1# 和 PRSNT2#,分配给 2 个后插通用槽位。控制器到 M8—M13 的 PCIe 信号

共可分配给12个通用槽位,其他可选的公共信号如PCIe时钟REFCLK \pm 、测试总线JTAG、管理总线SMBUS则通过M3连接到12个通用槽位,不需要新增接插件。图2中,以灰色表示的M1,M2,M4—M7在SBB 2.0中所定义的信号没有变化。

2.3 PCIe 功能板卡构成

图4给出了PCIe功能板卡的原理构成及其与两个控制器的连接。

PCIe功能板卡上需扩展一片PCIe交换器,该交换芯片支持双主连接,配置3个PCIe 2.0 \times 4端口,其中两个端口经板卡上的PCIe中继器进行接收均衡、发送去加重后分别连接到两个主控制器的PCIe交换上^[11-13],另外一个端口连到板卡自身的PCIe端点设备,实现相应的板卡功能。默认情况下,这3个端口分别设置为上行、非透明(NT)和下行。此时,该功能板卡受控于主控制器1。如主控制器1出现故障,主控制器2通过心跳线更新实时检测到后,即将功能板卡上PCIe交换器的上行端口、NT端口分别重置为NT端口、上行端口,主控制器2的CPU重新枚举,从而接管对PCIe功能板卡的控制,确保系统的正常运行。

同样,功能板卡也可灵活配置为默认受控于主控制器2,主控制器2异常时即切换到由主控制器1控制。

和SBB 2.0类似,不管通用槽位上插的是硬盘板卡还是PCIe功能板卡,两个控制器均可以主备或双主方式工作,提高融合系统的可靠性和处理能力。

2.4 虚拟化技术对融合系统的支持

随着多核处理器技术的发展,尤其是Intel架构(IA)Xeon处理器按架构-工艺模式以2年为周期Tick-Tock交替持续演进,服务器的硬件性能仍然在逐年快速提升。此时,应用虚拟化技术,将一台服务器作为多个虚拟机来使用,让多个应用共享同一硬件

平台,可以提高系统资源利用率,降低系统成本。

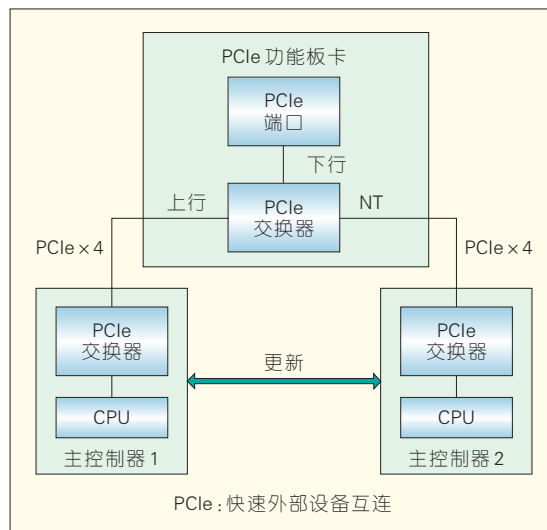
图5描述了通过虚拟化技术,在主控制器上实现计算存储的融合。基于内核虚拟机(KVM)是宿主型的虚拟机监视器Hypervisor^[14],它运行在Linux操作系统内核中,将硬件资源虚拟为相互隔离的虚拟机,不同的虚拟机中运行不同的系统和应用,这样就在主控制器上同时实现了计算和存储的应用。

结合Intel提供的硬件辅助虚拟化技术,如CPU虚拟化技术VT-x、芯片组虚拟化亦即定向I/O虚拟化技术VT-d^[15]和网络连接虚拟化技术VT-c,KVM具有很高的虚拟化性能,并且更为高效和安全。

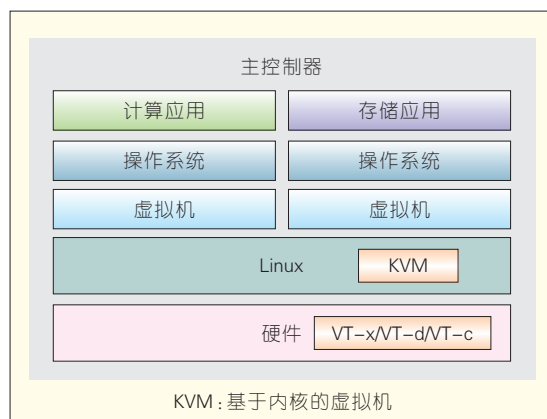
2.5 融合系统的应用

利用PCIe总线的通用性,可以对PCIe功能板卡、硬盘板卡以及融合系统通用槽位进行统一的机械和电气规格定义,不但能实现PCIe功能板卡间的兼容性和互换性,而且PCIe功能板卡与硬盘板卡在融合系统的通用槽位上还可以混插。

根据应用需求,PCIe功能板卡上的Endpoint设备既可以作为主控制器对外的时分复用(TDM)接口、IP接口或者数据采集/转换接口,扩展系统对外的接口种类和数量,比如1个PCIe接口板卡可以出1个10 GbE口、4个GE网口或者8个E1接口;另外,端点设备也可以用作硬件加速,如扩展数字信号处理(DSP)、IPSec、分辨率(DPI)引擎芯片,配合主控制器实现语音或视频编解码、IP加密、深度报文检测的集中处理,完成计算方面的协处理功能,适合通信产品的小型化应用。



▲图4 PCIe功能板卡构成



▲图5 计算存储融合的虚拟化实现

再结合存储和虚拟化技术,融合系统可以进一步完成通信产品的多网元合一或者多模合一的应用需求,提高系统的集成度。比如,原来需要一个3U ATCA再加一个磁盘阵列柜的系统或者需要两个3U ATCA的系统,在一些场景下只需要一个融合系统即可实现^[16-17]。

3 结束语

综上所述,通过对SBB 2.0稍加扩展,引入PCIe 2.0信号,我们在继承SBB 2.0大部分特性的基础上,可以设计出尺寸为宽19 inch、高度2 U、深度约400 mm,采用交直流供电、前后通风的小型化计算存储融合机箱。

➡下转第62页

2.65 GHz 双级高效、高增益 F 类开关功率放大器设计

Design of a 2.65 GHz Two-Stage High-Efficiency, High-Gain Class-F Switching-Mode Power Amplifier

中图分类号: TP393.03 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0055-03

摘要: 在 F 类功率放大器的基本工作原理和设计方法的基础上, 采用开路枝节微带线匹配的方法实现了 F 类功率放大器所需要的谐波阻抗匹配, 并采用 GaN HEMT 晶体管设计制作了应用于无线通讯领域的双级高效高增益 F 类功率放大器。在 2.65 GHz 工作频率, 该功率放大器具有 65.69% 功率附加效率 (PAE)、20 dB 的功率增益和 10 W 输出功率。该功率放大器的实测结果与电路仿真结果相吻合, 证明了使用该方法设计 F 类功率放大器的有效性。

关键词: F 类功率放大器; 双级; 高效率; 高增益开关功放

Abstract: In this paper, we use an open stub microstrip line to realize harmonic impedance matching of a class-F PA. We analyze the fundamental design methods of a class-F PA and design a two-stage high-efficiency, high-gain class-F PA using GaN HEMT. At 2.65 GHz, the PA has 65.69% power-added efficiency, 20 dB gain, and 10 W output. The measured results conform with the circuit simulations, and this proves that our design method is effective.

Key words: class-F power amplifier; two-stage; high efficiency; high gain switching-mode power amplifier

周鹏/ZHOU Peng¹
王建利/WANG Jianli²
邬海峰/WU Haifeng¹

(1. 天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072;
2. 中兴通讯股份有限公司, 陕西 西安 710000)
(1. School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
2. ZTE Corporation, Xi'an 710000, China)

如今的移动通信基站对降低能耗的要求越来越高, 高效节能绿色基站已经成为无线通信研究的焦点。在移动通信基站中, 射频功率放大器 (RFPA) 耗去了 85% 以上的功率, 因此高效率功率放大器 (PA) 是实现绿色基站的关键, 开关类功率放大器 (SMPA) 正是实现高效率功率放大器的重要可选方案。SMPA 的高效特性可以通过研究功放晶体管端口的电压和电流波形特性得以实现, 漏

极电流和漏极电压最小的重叠意味着最小的晶体管功耗和最高的效率。F 类功率放大器, 通过谐波滤波电路改变晶体管漏极电压和电流波形来实现高的漏极效率^[1], 理想 F 类 PA 的漏极电压与电流没有交叠, 效率为 100%。F 类 PA 已成为具有代表性的高效率开关类放大器。

通信系统的末级功率放大链路的典型功率增益在 40 dB 左右, 采用 AB 类驱动级 + 末端功率放大级结构。一般来说, 末级功率放大器的效率、增益决定了整个功率放大链路的

整体效率。单级开关功率放大器的典型功率增益为 10 dB, 效率为 70%。若采用双级开关功率放大器, 将末端功率放大器的增益提高到了 20 dB, 效率维持 70%, 这样对整个功率放大器链路的整体效率提升约 10% 左右, 可以大大减小功率损耗。

同时, AlGaIn/GaN 高电子迁移率晶体管 (HEMT) 技术被证明在高效率、高功率射频功率放大器的应用上具有巨大的潜能, 因为其具有高电子迁移率、高功率密度、高击穿电压等特性。在过去的几年中很多高效率 E 类、F 类 (逆 F 类)、J 类, 和逆 D 类 GaN 工艺射频功率放大器已经被报道^[2-7]。GaN HEMT 技术已经成为应用于移动通信基站的 PA 的首选方案。

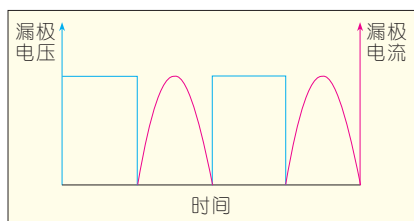
1 F 类功率放大器原理

F 类 PA 使用输出滤波器对晶体管漏端电压或者电流中的谐波成分

收稿日期: 2014-03-16
网络出版时间: 2014-05-04

进行控制,归整晶体管漏端的电压波形或者电流波形,使得它们没有重叠区,以此减小开关的损耗,提高功率放大器的效率^[1]。

理想 F 类 PA 的漏极电压为方波,漏极电流为半正弦波(如图 1 所示),且两者的相位相差为 $\lambda/4$,这样功率放大器晶体管漏极的电压波形和电流波形没有交叠,晶体管上的功率损耗为零,漏极效率为 100%。理想状态下, F 类 PA 晶体管漏极电压波中只



▲图1 F类PA漏极电压电流波形

含基波分量和奇次谐波分量,电流波只含基波分量和偶次谐波分量,漏极输出阻抗需要满足如下关系式:

$$\begin{cases} Z_1 = \frac{8 V_{cc}}{\pi I_s} \\ Z_n = 0, n \text{ 为偶数} \\ Z_n = \infty, n \text{ 为奇数} \end{cases} \quad (1)$$

实际电路设计中不可能满足所有高次谐波阻抗的设计要求,当考虑到 4 次谐波阻抗的匹配时, F 类 PA 的理论效率便能达到 80%^[1]。

另外,晶体管寄生参数的存在对 F 类 PA 的效率会产生很大的影响,特别是在高频时,晶体管漏源电容(C_{ds})将会造成高次谐波短路到地,同时晶体管漏极的寄生电容和电感也会对 PA 的输出谐波分量产生很大的影响,这些影响无疑加大了 F 类 PA 的设计难度。

2 双级高效 SMPA 的设计与仿真

根据上述的理论分析,我们选取 Cree 公司的 GaN HEMT 管 CGH40010F 设计了一款双级高效 PA,其前级为 B 类,后级为 F 类。

放大器偏置电路的设计要考虑

晶体管的工作状态、频率响应、稳定性、损耗等因素。电路中直流偏置电路要为晶体管提供稳定的工作电压,同时阻止交流信号通过。该放大器的漏极偏置电路选取了传统的 $\lambda/4$ 微带线结构, $\lambda/4$ 微带线在基频时实现交流短路到交流开路的变换,在二次谐波时实现 $\lambda/2$ ($\lambda/2$ 为二次谐波的波长)的阻抗变换。与漏极直流偏置电路不同栅极直流偏置电路选取的并非传统的 $\lambda/4$ 微带线结构,而是选取有耗元件电阻馈电,相比 $\lambda/4$ 微带线结构,其具有更好的稳定性。

双级 PA 的末级输出电路设计是实现高效率的关键,该双级高效 PA 的末级输出匹配电路采用了多级开路枝节线结构,偏置电路的 $\lambda/4$ 微带线在 2 次谐波时转化为 $\lambda/2$ 的短路枝节线,将 2 次谐波短路到地,实现了 2 次谐波的短路; $\lambda/12$ 的开路枝节线,在 3 次谐波时转换为 $\lambda/4$ ($\lambda/4$ 为 3 次谐波波长)的短路枝节线,再经过 T 型枝节转换为开路,从而实现了 3 次谐波的开路;在 4 次谐波时,偏置电路的 $\lambda/4$ 微带线在 4 次谐波时转化为 $\lambda/4$ 的短路枝节线,将 4 次谐波短路到地,实现了 4 次谐波的短路。电路的结构如图 2 所示。

双级高效 PA 的输入匹配电路、级间匹配电路同样采用多级开路枝节线结构来实现阻抗匹配,同时输入匹配电路采用了电阻电容(RC)谐振回路来提高晶体管的稳定

性。整体电路原理如图 3 所示。

电路的电磁仿真结果如图 4 所示,双级高效 PA 在 2.65 GHz 频率时的输出功率能够达到 41.73 dBm,附加效率能够达到 73.80%。末级 PA 的漏极电压电流波形如图 5 所示,从图中可以看出,该 PA 的漏极电压近似为方波,漏极电流近似为半正弦波,这与 F 类 PA 的漏极电压电流波形相吻合。

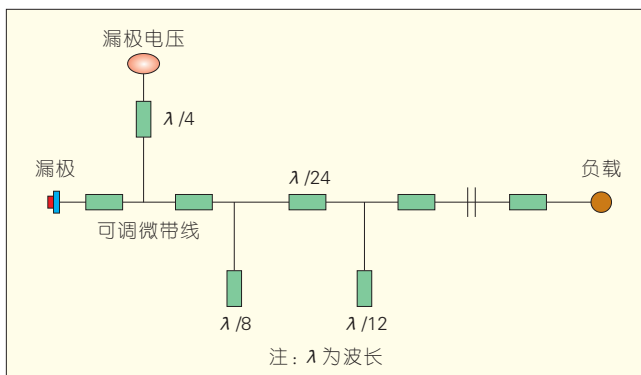
3 双级高效 PA 测试结果

PA 的测试方案构架如图 6 所示,测试所用的仪器有矢量网络分析仪(R&S ZVA40),功率计(R&S NRP2),频谱仪(R&S FSV)等。

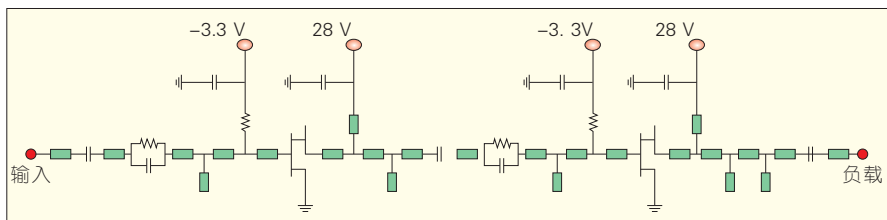
通过一系列的优化调试,双级高效功率放大器测试的结果如图 7 所示,在 2.65 GHz 频率, PA 的附加效率达到 65.69%,输出功率可以达到 40.5 dBm。2.6 ~ 2.7 GHz 频段内, PA 的最高附加效率为 67.53%,输出功率均大于约 40 dBm,功率增益平坦度为 ± 0.3 dB。

4 结束语

文章简要介绍了 F 类 PA 的工作



▲图2 双级高效PA末级输出电路



▲图3 双级高效PA电路

原理以及 F 类 PA 的设计方法,并运用 ADS 仿真软件设计了一个双级高效 PA,其前级驱动 PA 为 B 类,后级 PA 为 F 类,整体效率在 2.65 GHz 时达

到 65% 以上,输出功率 40 dBm。

参考文献

- [1] Raab F H. Class-F power amplifiers with maximally flat waveforms[J]. Microwave

Theory and Techniques, IEEE Transactions on, 1997, 45(11): 2007–2012. doi : 10.1109/22.644215.

- [2] Sigg A, Heck S, Brackle A, et al. High efficiency GaN current-mode class-D amplifier at 2.6 GHz using pure differential transmission line filters[J]. Electronics Letters, 2013, 49(1): 47–49. doi : 10.1049/el.2012.3984.
- [3] Lee Y S, Jeong Y H. A high-efficiency class-E GaN HEMT power amplifier for WCDMA applications[J]. Microwave and Wireless Components Letters, IEEE, 2007, 17(8): 622–624. doi: 10.1109/LMWC.2007.901803.
- [4] Ramadan A, Reveyrand T, Martin A, et al. Two-stage GaN HEMT amplifier with gate-source voltage shaping for efficiency versus bandwidth enhancements[J]. Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, 2011, 59(3): 699–706. doi: 10.1109/TMTT.2010.2095033.
- [5] Schmelzer D, Long S I. A GaN HEMT class F amplifier at 2 GHz with > 80% PAE[J]. Solid-state circuits, IEEE journal of, 2007, 42(10): 2130–2136. doi: 10.1109/JSSC.2007.904317.
- [6] Aflaki P, Negra R, Ghannouchi F M. Design and implementation of an inverse Class-F power amplifier with 79% efficiency by using a switch-based active device model [C]//Radio and Wireless Symposium, 2008 IEEE. IEEE, 2008: 423–426. doi: 10.1109/RWS.2008.4463519.
- [7] Wright P, Lees J, Tasker P J, et al. An efficient, linear, broadband class-J-mode PA realised using RF waveform engineering [C]//Microwave Symposium Digest, 2009. MTT'09. IEEE MTT-S International. IEEE, 2009: 653–656. doi: 10.1109/MWSYM.2009.5165781.

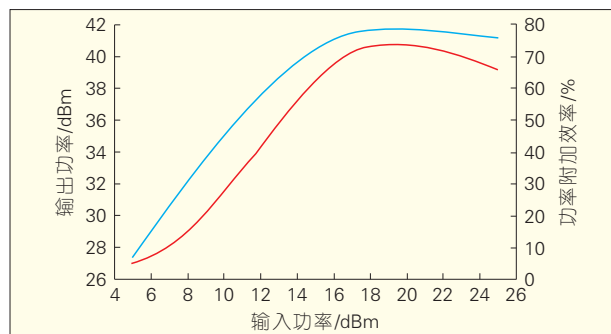


图 4
双级高效 PA 电磁仿真
输出功率与附加效率曲线

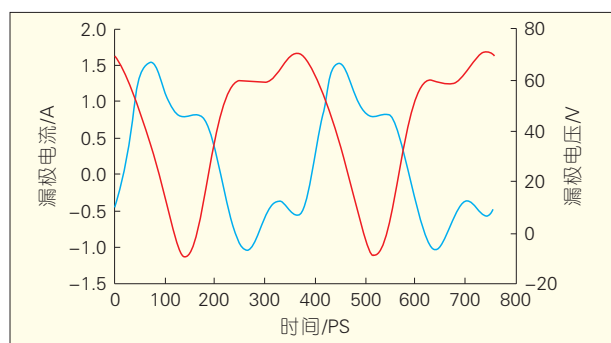


图 5
末级 PA 漏极电压电流
波形

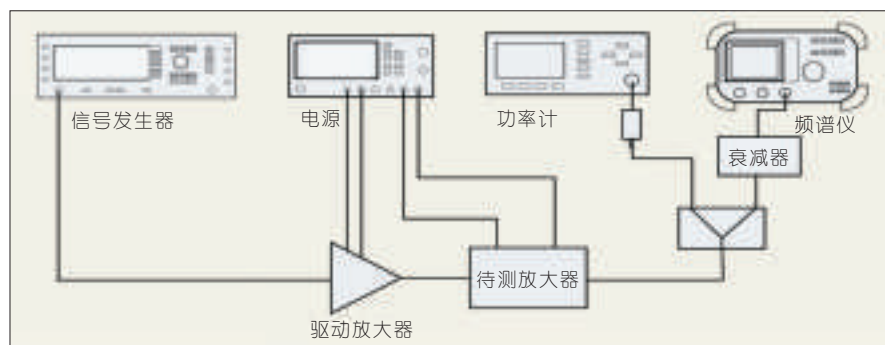


图 6 高效 PA 测试构架

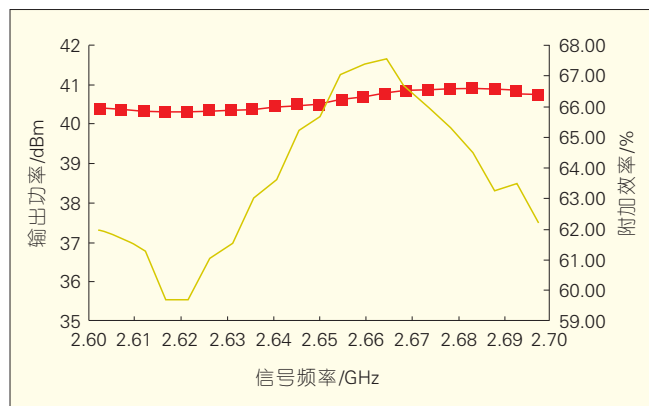


图 7
双级高效 PA 实测输出
功率和效率曲线

作者简介



周鹏, 天津大学电子信息工程学院硕士研究生; 主要研究方向为射频微波电路和开关类功放设计。



王建利, 天津大学测试计量技术及仪器博士毕业; 现任中兴通讯无线技术架构师、无线总工; 负责无线方面的标准制定和无线系统产品的开发。



邬海峰, 天津大学电子信息工程学院博士研究生; 主要研究方向为射频微波电路设计、射频功率晶体管建模和功率放大器设计。

智能无线电技术

3

宋腾辉/SONG Tenghui, 窦峥/DOU Zheng, 林云/LIN Yun

(哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

[编者按]随着软件无线电技术的发展,智能无线电技术逐渐成为通信领域关注热点,并给无线通信带来新的发展空间。讲座将分为3期对智能无线电技术进行介绍:第1期讲述智能无线电技术的背景及发展现状;第2期对智能无线电技术中的关键技术——软件无线电的架构做了详细介绍,并从其应用及通用平台设计角度分析各类平台的优缺点;第3期介绍了软件无线应用中的多种开发工具。

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2014) 03-0058-05

3 软件无线电的开发工具

软件无线工作者希望基于一款通用的平台将功能软件化,并可以通过软件升级来完成系统的升级。考虑到软件无线电的软件功能离不开硬件设备,所以关于软件无线电的开发工具,可以分为3类:

- 底层硬件的程序设计软件。该软件可以用于例如现场可编程逻辑门阵列(FPGA)开发 Xilinx ISE 设计套件软件、用于数字信号处理(DSP)开发的 TI CCS 软件以及 Matlab/Simulink 等。

- 基于特定通用平台的开发软件。这类工具开始具备软件无线电的性质,例如第2期中提到的基于通用软件无线电外设(USRP)的开源软件定义无线电(GNU Radio)等。

- 基于软件通信体系架构(SCA)的软件无线电(SDR)开发工具。这是最接近软件无线电思想的开发工具,例如开源软件通信体系框架嵌入式解决方案(OSSIE)。

文章主要讨论后两种开发工具

收稿日期: 2014-01-18
网络出版时间: 2014-04-28

以及具有代表性的软件,3.1节将详细介绍一种第3类的SCA SDR开发工具,而3.2和3.3介绍了两种第2类开发工具,希望能给相关工程应用带来一定的指导意义。

3.1 SDR 工具 Spectra 与 SCA

3.1.1 SCA SDR 的应用前景

随着通信设备一体化和通用化的发展,人们对SDR软件波形开发提出了要求,例如多种功能波形应用,支持不同平台的移植、模块化等。因此,SCA SDR的应用优势逐渐凸显,PrismTech公司的Spectra工具包括了模型开发工具、自动代码生成、测试框架和操作环境(OE)4个部分,支持SCA 2.2和SCA 2.2.2^[4]标准的波形组件(也称为波形的逻辑代码的实现)和平台组件的开发。基于SCA的SDR将无线通信相关的算法(或设计者的其他算法)封装成波形组件,而各种物理应用平台也被封装成平台组件,直接体现为Spectra CX软件中的一个组件;可装配多种波形,每个波形应用实现一组特定的功能,在硬件平台具备的基础上,各个波形应用

以组件的方式部署到系统的不同节点中。

3.1.2 Spectra CX 波形开发环境

基于Spectra SCA^[5]波形的开发环境包括Spectra CX波形开发工具和针对SDR硬件平台的Spectra OE,包含以下工具:

(1)建模工具。它为SDR开发人员提供高层抽象、易使用和图形化的建模工具,用于动态地设计波形和平台开发。帮助波形设计人员高效地建立平台独立、可移植的波形模型,并可以映射到不同的平台上。这些工具也能支持可插入地第三方工具,以支持完全的SDR工具链集成。

(2)源代码生成器。Spectra CX集成了特定语言组件源代码生成器、单元测试生成器等,为波形应用提供了一个完整的开发和测试环境。Spectra源代码生成器为SDR组件的针对特定语言代码、描述器和测试代码生成提供了高性能的无错工具。通过将域特定的SDR模型映射为一系列可执行的、语言特定的文件,这些文件包含了在Spectra OE上运行的所需要的所有功能。多语言、高效率

的自动代码生,从图形化模型生成源代码、描述器和测试代码。与手写代码相比,提高开发效率高达50倍(几个月的工作缩短到1天或更少的时间内完成),也使代码具有固有的标准兼容。

(3)测试与验证。提供模型的SCA兼容性验证,能对对组件或子系统进行SCA兼容性、功能进行测试,并能提供部署后的实时测试。验证包括应用、平台、部署的验证:模型语法、语义验证;组件、应用、设备和节点的验证;完整SCA部署的验证等。

(4)Spectra OE。Spectra OE是一种高性能、低负载SDR实时运行环境,它支持SCA OE的要求。它能超过典型的SCA通用处理器(GPP)边界,为DSP/FPGA提供一致结构。Spectra OE是先进和优化的实时运行平台,将应用软件和硬件分离,使应用可以移植,同时也具有最小的可能尺寸、重量和功耗。它为开发人员大幅度减少了实时运行环境的复杂程度,提供了单一的应用程序编程接口(API)。Spectra OE结合了PrismTech的核心框架(CF)和先进的中间件(e*ORB与ICO),并根据完全的实时运行结构(CF、中间件和用户传输)从尺寸、重量和性能进行优化。

(5)波形部署监视器。该监视器用于将波形部署到硬件平台上,并能在波形实时运行时,对波形组件参数进行查询、设置等,并能监视系统事件。Spectra CX的Monitor可以链接到任何SCA兼容的操作环境,比如可以运行在装备了PC兼容的中间件的PC开发主机上。通过这个特点,部署的测试可以在开发周期中大大提前。这个运行时监控器能跟嵌入式目标OE通信,以便在真实目标上测试。监视器可以通过点击按钮的方式启动或终止多种应用。这样可在SCA平台上加载多种应用,以尽可能的描述域要发生的情况(如组件属性的预设值可以随时修改)。Spectra CX还能捕获CF产生的日志,并在Spectra

CX的用户界面中显示出来。

3.1.3 基于Spectra CX的SDR开发

SCA SDR能装配多种波形应用,每个波形应用实现一组特定的功能。在硬件平台具备的基础上,各个波形应用以组件的方式部署到系统的不同节点中。由于不同的波形应用有不同功能和特性,需要分别对每个波形应用依照SCA规范进行开发。

(1)波形应用开发流程:创建组件—生成端口—添加端口属性—创建应用—建立组件链接—创建装配控制器。

(2)节点和平台的开发流程:创建设备—生成设备接口—创建设备管理器—创建域管理器—创建节点—将设备管理器、域管理器、设备添加到节点—创建平台—将节点添加到平台。

平台是一些节点的集合,由域管理器控制,如图14所示。设备管理器驻留在其中的一个节点上。节点是计算节点的抽象,是一些设备和服务的集合,由一个设备管理器控制。通过节点可以监视和控制节点的资源状况,实现OE,执行设备管理器以及安装OE&CF服务,例如公共对象请求代理体系结构(CORBA)、命名服务、FileSystem、Log、事件服务等。

波形在Spectra SCA架构上的应用的操作步骤如下:

(1)启动硬件平台,启用节点,启动域管理器、设备管理等;

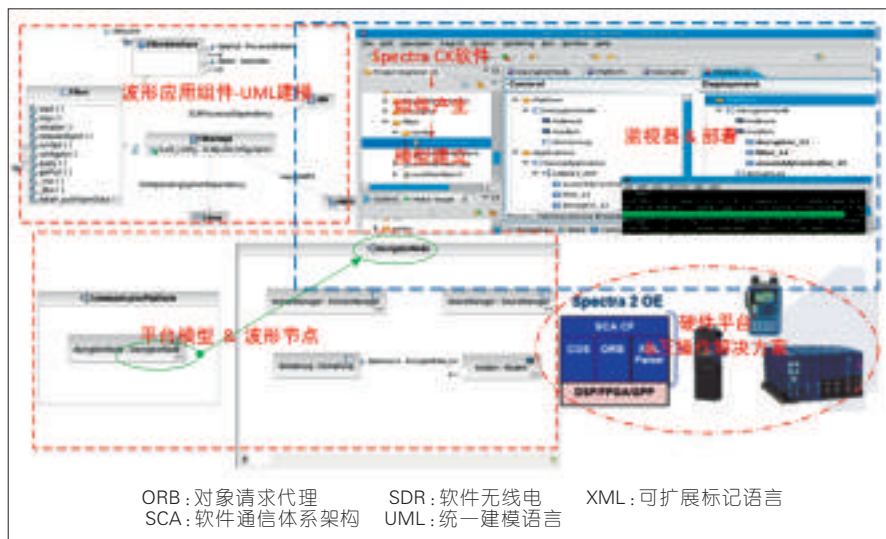
(2)打开波形部署监视器,添加部署到监视器中;

(3)安装应用程序,创建应用程序,加载波形应用;

(4)停止应用程序,释放应用程序,卸载波形应用;

(5)可以重复步骤3、4,加载、卸载其他波形应用。

用户按照步骤操作,可以完成基于Spectra SCA的波形部署。以FPGA器件为例,通过上位机操作软件配置不同功能的波形组件,可以完成底层FPGA代码功能的加载和重新加载,即完成通信功能的设置或变更,例如由发射改为接收或者发射不同的调制信号;从操作人员主观上来看,我们只是修改了软件指定的功能,就完成了底层硬件的各种应用切换,用户层和底层得到了较好的隔离,这就体现出SDR的软件性质。我们通过软件升级来实现更多的功能,而不必考虑底层的硬件平台,工程师从硬件开发集中到了软件开发,有力地加速了应用开发;更有意义的是,这些软件波形应用对于SDR硬件平台具有完美的可移植性,避免了代码的重复开



▲图14 Spectra SCA SDR波形开发环境

发,节省了时间、人力、财力、物力。

3.2 基于 USRP 的 LabVIEW 软件

NI(美国国家仪器)公司的 USRP 是一款价位合理且灵活的软件无线电平台。它将一台标准计算机转变成为一个无线通信系统的快速原型开发平台。结合 NI USRP 射频收发器与 NI LabVIEW 软件的优势,USRP 和 LabVIEW 两者共同提供了一个可快速上手且功能强大的系统。以 NI USRP2920 为例,其支持频带可以达到 50 MHz ~ 2.2 GHz,中心频率可调,覆盖 FM 全球定位系统(GPS)、数字移动通信系统(GSM)、雷达和 ISM 频段;高达 20 MHz 基带 I/Q 带宽,读写速率达 25 MSPS。借助 NI LabVIEW 软件可进行频谱监测、快速开发无线通信协议、灵活的多输入多输出(MIMO)系统等应用。

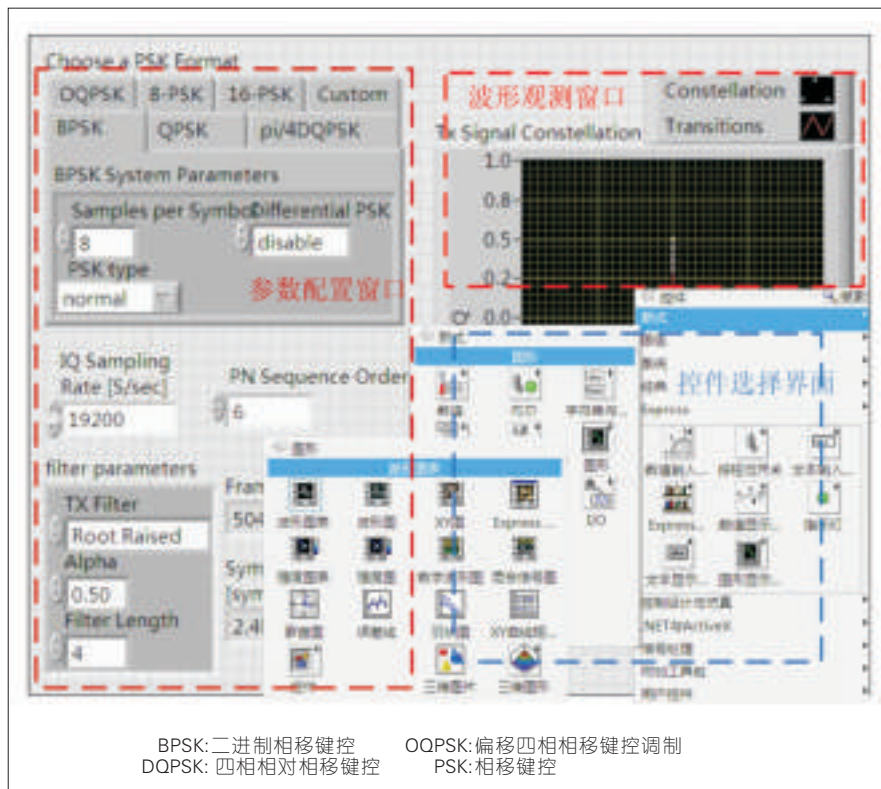
3.2.1 LabVIEW 软件

LabVIEW^[17]开发环境提供了图形化编程方法和前所未有的硬件集成,旨在帮助工程师和科学家快速设计和部署测量和控制系统,加快产品开发。借助这一灵活的平台,工程师可以开发大中小型系统,完成从设计到测试等一系列流程,同时重用 IP 和简化流程,实现性能的最优化。

LabVIEW 应用程序分成前面板和程序框图两部分。前面板实现程序参数的设置以及界面可视化功能,它可以对程序进行手动控制和对结果进行图形化显示。在前面板单击右键可以添加需要的控件,实现程序参数的设置或者结果图形化显示,如图 15 所示。

程序框图是程序的功能实现部分,它采用图形语言来实现编程,如图 16 所示。在程序框图面板单击右键添加需要的函数来实现程序的功能部分。

另外,LabVIEW 程序运行时是以数据流的形式运行的,这样程序的处理流程非常清晰,对程序编写和调试



▲ 图 15 前面板控件添加过程



▲ 图 16 程序框图函数添加过程

非常有用。

3.2.2 LabVIEW 的开发流程简介

LabVIEW 和 USRP 平台上手容易,而且提供了汉化窗口,不再做案例介绍。LabVIEW 基于框架式设计,根据发射和接收程序流程框架配置即可,以下是收发通信工作流程。

(1) 发射:打开设备发射会话—配置参数—写入指定通道—关闭会话句柄;

(2) 接收:打开设备接收会话—配置参数—接收捕获—读出指定通道数据—分析处理—停止捕获—关闭句柄^[18]。

LabVIEW 和 USRP 平台,将算法

集中到用户接口界面,常被通信工作人员用来快速开发验证算法以及自定义信号测试源,例如用于软件无线电算法验证、频谱监测、认知无线电算法验证等。

3.3 BPS 系统级软硬件协同设计工具

3.3.1 BPS 软件简介

BPS(BEEcube 平台工作室)^[19-21]是基于 MathWorks 公司 Simulink 上的一个系统级的、软硬件协同开发的环境。这个开发环境可以自动生成特定硬件接口和相应软件驱动。对于 Matlab 算法设计人员,平台中的系统级软硬件协同设计工具可以隐藏所有 FPGA 设计细节,例如:高速 I/O 的例化和配置,多时钟域的时序收敛,软硬件接口和 IP 集成,加快了应用设计。用户核心算法模块的外部连接可在 BPS 用户界面中直接访问。对于复杂的 DSP 算法工程任务,以往需要数月才能完成,而现在利用系统级软硬件协同设计工具在几天内就可以完成。

3.3.2 设计流程

BPS 软件是最简单、最快速和最可靠的,用于硬件实现算法,并与实际应用相连接的平台。用户不必是一个 FPGA 专家,只需将用户的设计输入到 Matlab/Simulink, BPS 会自动将其映射到 FPGA 内,其包含了平台上所有的接口 IP。

图 17 所示为 BPS 基本的设计流程,其设计思路围绕系统生成器(也称作实现开发工具)展开。系统生成器是 Xilinx 公司进行数字信号处理开发的一种设计工具,它通过将 Xilinx 开发的一些模块嵌入到 Simulink 的库中。在 BEE 系统中,同时也需要将硬件接口的 IP 和基本的运算 IP 集成到 Simulink 的 IP 库中,可以在 Simulink 中进行定点仿真,生成 HDL 文件(网表),可以在 Xilinx FPGA 开发工具(ISE)中进行例化使用,也可以直接

生成配置文件(.bit 文件)。因此,它能够加快信号处理系统的开发进程。

在图 17 的设计流程中,除了可以利用 Xilinx SysGen 本身提供的 IP 库和 BPS 加入的硬件接口 IP 库之外,还可以将 HDL 代码借助 ip_import 工具,将 HDL 代码生成 BPS 的 IP 库添加到设计系统中。从而将 BPS 可靠的接口驱动与用于核心算法联系起来。接下来,只需执行 BPS 的相关指令,即可完成最终 .bit 文件的生成。在生成 .bit 的过程中,基于 Simulink 的工程会生成嵌入式开发套件(EDK)的工程,系统自动地添加 MicroBlaze 到系

统中,利用该软核运行 NectorOS 自定义的操作系统,可以方便的访问预置在设计里的寄存器,完成系统级控制。整个过程运行于 Matlab 后台,如无特别改动之处,不必人为干预。

3.3.3 软件配置简介

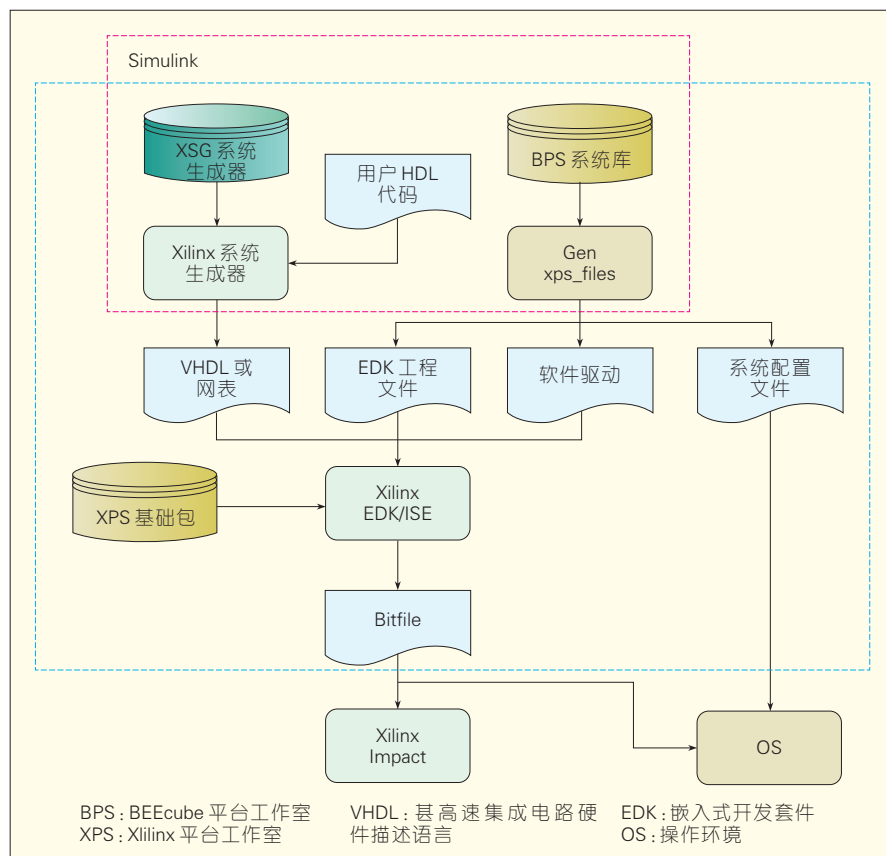
(1) 开发环境: BPS

(2) 需要预装软件: Matlab/Simulink、Xilinx ISE Design Suite

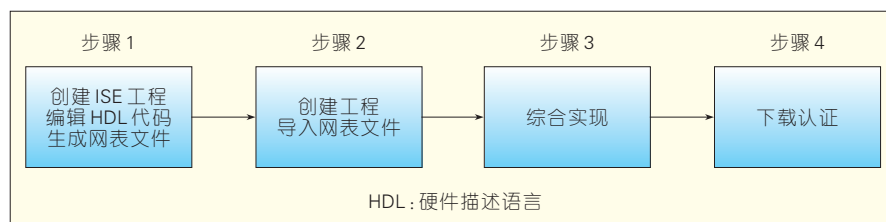
(3) 配置步骤见 图 18。

4 结束语

软件无线电是一种智能化无线



▲ 图 17 BPS 基本设计流程



▲ 图 18 配置步骤

通信技术,它展现了一种全新的波形配置管理模式,并将自身与外部环境智能匹配,为从根本上解决日益增长的无线通信需求与有限的无线频谱资源之间的矛盾开辟一条行之有效的途径,并给无线通信带来了新的发展空间。而基于盲源分离的终极无线电的概念,是对软件无线电和认知无线电的进一步拓展,实现还面临许多技术难题,需要进一步深入研究。其概念是否准确也有待商榷。

从文章对SDR应用发展及平台架构等技术的综述中可以看出,软件无线电技术是若干技术的高度综合,已越来越广泛地被人们接受,其在军事和民用领域的应用有着巨大的前景。然而,软件无线电从概念到应用尚面临很多挑战,尤其是许多关键技术需要突破,实际应用起来还有相当一段长的路要走,这也使其成为了近年来无线通信研究的热点。该领域及相关领域的研究人员应牢牢把握

发展机遇,紧密跟踪其发展动向,努力开展技术攻关,力争尽早研制出具有自主知识产权的设备,为国家的发展和富强做出应有的贡献。(续完)

参考文献

- [14] JTRS Software Communications Architecture Specification (Version 2.2.2) [S]. 2006.
- [15] PrismTech. Spectra CX On-Line Help [EB/OL]. http://spectracxhelp.prismtech.com/files/CX_help/Spectra%20CX%20Help/webhelp/index.htm
- [16] Michi Henning, Steve Vinoski. 基于C++ COBAR 高级编程 [M]. 徐金梧等,译. 北京:清华大学出版社, 2000.
- [17] NI. LabVIEW™ HELP [Z]. 2011.
- [18] NI. USRP HELP [Z]. 2012.
- [19] BEEcube Electronic Technology CO.LTD. BEEcube Platform Studio Version 4.2 User Manual [Z].
- [20] BEEcube Electronic Technology CO.LTD. Getting Started with BPS on the BEE4 and miniBEE Hardware Platforms [Z].
- [21] BEEcube Electronic Technology CO.LTD. BEEcube BPS 软件 IPIU 使用 [Z].

←上接第54页

该机箱的深度与前述的ATCA机框相当,但是比前述的磁盘阵列柜要浅很多。机箱前插有两个主备或双主工作的主控制器,后插有充足的通用槽位,可以混插最多12个2.5 inch SAS硬盘板卡或各种PCIe功能板卡,一套系统既适合存储应用,又适合计算应用,或者计算及存储的融合应用。

相对而言,尽管融合系统的存储容量弱于SBB 2.0磁盘阵列柜,计算性能较小型化的ATCA系统会稍有不足,但是,在SBB 2.0基础上提出的系统融合了计算和存储两种应用,具有集成度高、功能丰富、扩展性强、兼容性好、配置灵活等诸多特性,不失为一种小型化的计算存储通用系统。

参考文献

- [1] Storage Bridge Bay (SBB). Specification Version 2.1 [S]. 2011.
- [2] EMC Corporation. EMC VNXe 系列 VNXe3150 硬件信息指南 [Z]. 2012.
- [3] Fujitsu Limited. ETERNUS DX60/DX80/DX90 SA/SE Disk Storage System Handbook

- [Z]. 2010.
- [4] PICMG 3.0. AdvancedTCA (Base Specification) Rev3.0 [S]. 2008.
- [5] PICMG 3.4. AdvancedTCA PCI Express Rev1.0 [S]. 2003.
- [6] COMTEL Electronics GmbH. 3U 2 Slot AdvancedTA Shelf User Manual [Z]. 2009.
- [7] Emerson Electric Co. Centellis 2000 AdvancedTCA Platform Core [Z]. 2009.
- [8] PCI Express Base Specification Revision 2.0 [S]. 2006.
- [9] PCI Express Card Electromechanical Specification Revision 2.0 [S]. 2007.
- [10] 王齐. PCI Express 体系结构导读 [M]. 北京:机械工业出版社, 2010: 101-139.
- [11] PLX Technology, Inc. ExpressLane PEX 8612-AA, AB and BB 12-Lane/3-Port PCI Express Gen 2 Switch Data Book [Z]. 2013.
- [12] Pericom Semiconductor Corporation. P12EQX5984 5.0Gbps 4-lane PCIe 2.0 ReDriver with Equalization & Emphasis [Z]. 2012.
- [13] PLX Technology, Inc. ExpressLane. PEX 8664-AA 64-Lane, 16-Port PCI Express Gen 2 Multi-Root Switch Data Book [Z]. 2013.
- [14] 广小明, 胡杰, 陈龙, 郭京. 虚拟化技术原理与实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 156-188.
- [15] 英特尔开源软件技术中心, 复旦大学并行处理研究所. 系统虚拟化——原理与实现 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 104-151.
- [16] Avaya Inc. Avaya Aura Communication Manager Hardware Description and Reference Release 6.2 [Z]. 2012.
- [17] Cisco Systems, Inc. Cisco Unified

作者简介



宋腾辉, 哈尔滨工程大学信息与通信工程学院电子与通信工程专业在读硕士研究生; 研究方向为宽带通信系统设计与信息处理。



宋静, 哈尔滨工程大学信息与通信工程学院副教授、博士生导师, 工学博士后; 研究方向为宽带通信系统, 高速数字信号处理, 基于软件无线电的智能通信系统及一体化平台设计、超宽带通信信号处理等; 目前主要承担国家自然科学基金、国防基础研究重点项目等8项项目工作; 发表学术论文30余篇, 其中SCI、EI检索共20篇。



林云, 哈尔滨工程大学信息与通信工程学院讲师, 工学博士; 研究领域为宽带信号处理; 已参与完成基金项目12项, 获得国防科技进步三等奖1项; 已发表学术论文38篇, 其中SCI检索1篇, EI检索15篇。

Communications on the Cisco Unified Computing System [Z]. 2012.

作者简介



马千里, 西北工业大学毕业; 现任中兴通讯股份有限公司主任工程师; 长期从事移动核心网产品的研发和规划工作。



袁磊峰, 南京理工大学毕业; 现任中兴通讯股份有限公司主任工程师; 长期从事移动核心网产品的研发和设计工作。



王朝营, 哈尔滨工程大学毕业; 现任中兴通讯股份有限公司系统工程师; 从事移动核心网产品的研发工作。

《中兴通讯技术》杂志(双月刊)投稿须知

一、杂志定位

《中兴通讯技术》杂志为通信技术类学术期刊,通过介绍、探讨通信热点技术,展现通信技术最新发展动态,并促进产学研合作,发掘和培养优秀人才,为振兴民族通信产业做贡献。

二、稿件基本要求

1. 投稿约定

- (1) 作者需登陆《中兴通讯技术》投稿平台: www.zte.com.cn/paper, 并上传稿件。第一次投稿需完成新用户注册。
- (2) 编辑部将按照审稿流程聘请专家审稿, 并根据审稿意见, 公平、公正地录用稿件。审稿过程需要1个月左右的时间。

2. 内容和格式要求

- (1) 稿件须具有创新性、学术性、规范性和可读性。
- (2) 稿件需采用WORD文档格式。
- (3) 稿件篇幅一般不超过6000字(包括文、图), 内容包括: 题名、作者姓名、作者单位、中文摘要、关键词(4~8个)、英文摘要、正文、参考文献、作者简介。
- (4) 中文题名一般不超过20个汉字, 中、英文题名含义应一致。
- (5) 摘要尽量写成报道性摘要, 包括研究的目的、方法、结果/结论, 150~200字为宜。摘要应具有独立性和自明性, 采用第三人称的写法。中英文摘要应一致。
- (6) 文稿中的量和单位应符合国家和国际标准。外文字母的正斜体、大小写等须写清楚, 上下角的字母、数据和符号的位置皆应明显区别。
- (7) 图、表力求少而精(以8幅为上限), 应随文出现, 切忌与文字重复。图、表应保持自明性, 图中缩略词和英文均要在图中加中文解释。表应采用三线表, 表中缩略词和英文均要在表内加中文解释。
- (8) 参考文献以20条左右为宜, 未公开发表的资料不宜列入。所有文献必须在正文中引用, 文献序号按其在文中出现的先后次序编排。主要种类参考文献的书写格式为:
 - 期刊[序号]作者. 题名[J]. 刊名, 出版年, 卷号(期号): 起止页码。
 - 书籍[序号]作者. 书名[M]. 出版地: 出版者, 出版年: 起止页码。
 - 论文集中析出文献[序号]作者. 题名[C]//论文集编者. 论文集名(会议名). 出版地: 出版者, 出版年(开会年): 起止页码。
 - 学位论文[序号]作者. 题名[D]. 保存地点: 保存单位, 授予年。
 - 专利[序号]专利所有者. 专利题名. 国别: 专利号[P]. 出版日期。
 - 国际、国家标准[序号]标准编号, 标准名称[S].
- (9) 作者原则上不超过3人, 超过3人时, 可以感谢形式在文中提及。作者简介包括: 姓名、工作单位、职务或职称、学历、毕业于何校、现从事的工作、专业特长、科研成果、已发表的论文数量等。
- (10) 提供2寸正面、免冠、彩色标准照片一张, 最好采用JPG格式(文件大小超过100kB)。
- (11) 尽可能标注出研究课题的资助基金或资助项目名称。
- (12) 作者姓名中含有多音字时, 应标注作者姓名的汉语拼音。
- (13) 提供联系方式, 如: 通信地址、电话(含手机)、Email等。

3. 其他事项

- (1) 请勿一稿多投。凡在2个月(自来稿之日算起)以内未接到录用通知者, 可致电编辑部询问。
- (2) 为了促进信息传播, 加强学术交流, 在论文发表后, 本刊享有文章的版权(包括英文版、电子版、网络版和优先数字出版)。作者获得的稿费包括版权酬金。如对此持有不同意见, 请在投稿时说明。

编辑部地址: 安徽省合肥市金寨路329号国轩凯旋大厦1201室, 邮政编码: 230061

联系电话: 0551-65533356, 联系邮箱: magazine@zte.com.cn

本刊只接受在线投稿, 欢迎访问本刊投稿平台: www.zte.com.cn/paper

中兴通讯技术

ZHONGXING TONGXUN JISHU

双月刊 1995 年创刊 总第 117 期
2014 年 8 月 第 20 卷第 4 期

主管:安徽省科学技术厅
主办:安徽省科学技术情报研究所
中兴通讯股份有限公司
编辑:《中兴通讯技术》编辑部

总编:孙枕戈
副总编:赵今明
常务副总编:黄新明
责任编辑:杨勤义
编辑:徐烨, 卢丹, 朱莉, Paul Sleswick
排版制作:余刚
发行:王萍萍
编务:王坤

ZHONGXING TONGXUN JISHU

《中兴通讯技术》编辑部
地址:合肥市金寨路 329 号凯旋大厦 12 楼
邮编:230061
网址: www.zte.com.cn/magazine
投稿平台: www.zte.com.cn/paper
电子信箱: magazine@zte.com.cn
电话: (0551)65533356
传真: (0551)65850139

出版、发行:中兴通讯技术杂志社
发行范围:全球发行
印刷:合肥中建彩色印刷厂
出版日期:2014 年 8 月 10 日
刊号: ISSN 1009-6868
CN 34-1228/TN
广告经营许可证:皖合工商广字 0058
定价:每册 20.00 元, 全年 120.00 元