第三届国家期刊奖百种重点期刊 | 中国科技核心期刊
中国科技论文统计源期刊 | 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

2011年4月 • 第2期

专题：未来网络

ISSN 1009-6868
9 771009 686007 04>

中兴通讯技术
ZTE TECHNOLOGY JOURNAL
二〇一一年四月 第十七卷第二期 总第九十七期

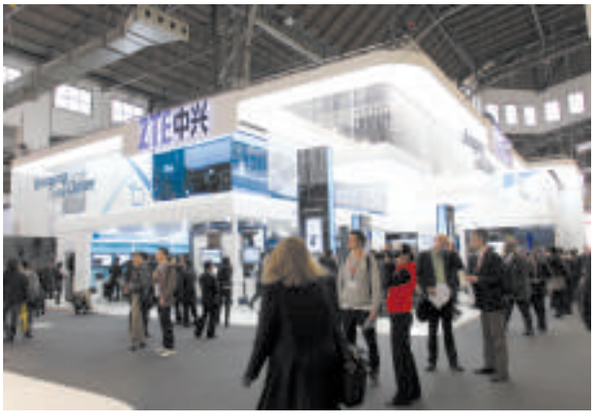
中兴通讯全球国际专利申请量跃居全球第二

【本刊讯】2011年2月10日晚，世界知识产权组织(WIPO)在其官网上公布2010年全球专利申请情况，中国国际专利申请数量在2010年显著增长，目前已跃居世界第4。其中，中兴通讯凭借1 863件国际专利申请总量，排名由2009年的第23位跃居第2位。

中兴通讯坚持每年将收入的10%投入研发，并针对国际市场的发展需要，尤其加大以国际专利为主的知识产权领域的重点覆盖和布局。即使在近两年的金融危机中，中兴通讯依然不减研发投入，近两年的研发资金累计高达130亿元。世界知识产权组织指出，受金融危机和研发投入下降等因素影响，欧美国家在专利申请方面表现不佳。美国和英国的国际专利申请量甚至出现连续3年下降的局面，而中国国际专利申请则显示出强劲的逆势增长态势，近两年增幅分比达到30%和56%，增速居世界各主要国家之首。

凭借在知识产权领域的长期积累，目前中兴通讯已经累计申请专利超过3 3000项，成为全球通信产业主要专利持有者之一，所持有专利90%以上为具有高度权利稳定性和技术品质的发明专利，包括众多覆盖国际通信技术标准的基本专利，以及覆盖通信产业关键技术的核心专利。中兴通讯也是LTE基本专利主要拥有者之一。中兴通讯在专利技术的创新高度和申请质量方面已累计荣获多项国家级权威大奖，包括3项中国专利金奖、10项中国专利优秀奖、4项信息产业重大发明奖等。

中兴通讯巴塞展全球首推 LTE-A CoMP原型机



【本刊讯】2011年全球移动大会(Mobile World Congress)于2月14—17日在西班牙巴塞罗那举行。作为全球主要的通信解决方案提供商之一，中兴通讯集中展示了代表着移动网络演进风向标的LTE-A系统，并进行业务演示。中兴通讯LTE-A系统引入载波聚合、多天线增强、中继技术和多点协作传输等关键技术。中兴通讯在上述技术领域均具有领先地位。

在本次巴塞罗那展会上，中兴通讯展示了基于载波聚合、多天线增强及多点协作传输技术的LTE-A及CoMP原型机及相关业务演示。其中，CoMP技术的引入极大提高了小区边缘吞吐量。在演示现场，LTE-A下行峰值速率超过1 Gbit/s，体验者率先感受到第4代无线通信带来的畅捷。中兴通讯计划于2012年推出LTE-A商用产品，以满足日益增长的高速数据通信发展的需要。

据悉，中兴通讯在LTE相关核心领域的技术经多年积累后取得极大提升。在标准研究领域，截至2010年11月30日，中兴通讯已向ETSI声明拥有235件LTE标准必须使用的基本专利(简称EP)，约占LTE已声明标准基本专利总数的7%。EP占比表明中兴通讯已迈入4G标准EP实力的“第一阵营”。目前中兴通讯已向LTE-A领域3GPP RAN工作组贡献约550篇提案。

中兴通讯ZXUN xGW实测性能达174 Gbit/s居业界第一

【本刊讯】中兴通讯与全球领先的IP测试厂商IXIA联合宣布，在刚刚结束的与某全球领先运营商的LTE核心网EPC大话务量性能业务演示中，中兴通讯开创了两项业界记录：MME设备ZXUN uMAC通过了业界最大容量1 500万用户的测试；SAE-GW设备ZXUN xGW性能达到了174 Gbit/s，超过当前业界实测最高的50%，居业界第一。

中兴通讯核心网总裁徐子阳表示："此次与运营商的合作测试结果显示了中兴通讯分组核心网大容量、高吞吐量的优异性能。欧洲市场作为新技术的应用前沿，对设备商技术与方案能力提出了更高的要求。测试表明中兴通讯完全满足市场主流需求，再一次证实了中兴通讯在LTE/EPC领域的持续领先地位。"

移动互联网的高速发展催生了管道智能化的需求，提供超越用户期望的体验是管道运营者的核心竞争力。中兴通讯推出以ZXUN xGW为核心的ZSP(ZTE Smart Pipe)方案，通过ZXUN xGW、ZXUN RCP、ZXUN UBAS、ZXUN ICG等一系列产品组合及ZOOMs、ZEROs、zCOIN方案组合，创新演绎钻石的4C标准：为用户提供重量级带宽(Carat)，让管道纯净可视(Clarity)，去粗存精(Cut)，成就用户多彩体验(Color)，从而帮助运营商创造管道钻石价值，积极面对移动互联网转型挑战。

中兴通讯是业界唯一支持全制式的核心网解决方案供应商，提供不断创新和完善的技术方案和服务，正成为全球范围大规模推动核心网领域技术进步与市场应用的领军者。截至2011年1月底，中兴通讯已经在香港CSL、中国电信、印尼PT Smart等运营商处成功实现商用，并陆续与欧洲、北美、俄罗斯以及东南亚等区域和国家的运营商签订合同，全面展开xGW分组网关的合作或部署。

中兴通讯电信级路由器平台荣登"信息产业重大技术发明"榜首

【本刊讯】中国工业和信息化部公布了第十届"信息产业重大技术发明"评选结果，评选出2010年度五大"信息产业重大技术发明"。中兴通讯高性能大容量电信级路由器平台荣膺榜首。

中兴通讯高性能大容量电信级路由器平台，拥有授权专利119项，软件登记6项，采用中兴通讯自主研发的三款核心芯片和分布式软件操作系统，打造出中国完全自主知识产权的电信级高端路由器，在技术创新性和成本控制方面都走在了业界的前端。高端芯片技术，主要包括高速路由转发技术、大容量分组交换技术和复杂流量管理技术；自主研发的ROS 5.0操作系统，建立在灵活可伸缩、故障可跟踪、系统高可用性的架构上，成为真正的全分布式、模块化、进程化的系统，大大降低了传统管理维护的复杂度，保证了设备的稳定性和可演进性。

中兴通讯高性能大容量电信级路由器平台最大可支持16+64个机架级联，其超大容量、无中断系统运行、IPv4/IPv6无缝融合能力，充分满足了3G/4G时代超大城市承载网络核心节点的建设需求，适用于Internet核心节点、骨干网超级节点以及大型城域网出口。同时，高性能大容量电信级路由器平台在以自主研发芯片为基础的前提下，结合智能启动、供电、调速等多种先进节能技术，能耗比现有技术降低23%，助力客户打造"绿色、低碳、节能、环保网络"。

在高性能大容量电信级路由器平台基础上，中兴通讯推出业界容量最大的200T集群路由器系统ZXR10 T8000、首款40 G接入能力的宽带接入服务器ZXR10 M6000，以及在欧美高端市场屡创佳绩的固网移动融合网关HA、PDSN、GGSN等。中兴通讯的产品已经广泛应用在中国运营商、政府、企业、海外高端运营商、欧美高端通信领域市场。

中兴通讯作为全球通信行业优秀设备供应商的领跑者，作为全球运营商最值得信赖的合作伙伴，自1985年成立以来，在董事长侯为贵的带领下，将创新作为企业发展的立身之本，坚持每年10%以上的营收投入研发，最近两年研发投入总计达百亿元。

目次

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。

中兴通讯技术
ZHONGXING TONGXUN JISHU
双月刊 1995年创刊 总第97期
2011年4月 第17卷第2期

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

总编：谢大雄
副总编：邓新
常务副总编：黄新明
责任编缉：杨勤义
编辑：朱莉，卢丹，徐烨，Paul Sleswick
排版制作：余刚
发行：王萍萍
编务：王坤

《中兴通讯技术》编辑部
地址：合肥市荣事达大道450号
邮编：230041
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)5533356
传真：(0551)5850139

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：2011年4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10.00元，全年60.00元

专题:未来网络

01 一体化标识网络体系及关键技术 …… 苏伟，刘琪，张宏科
05 内容定位分组技术 …… 李幼平
07 内容感知网络架构 …… 林涛，唐晖，侯自强
10 下一代互联网体系结构研究现状和发展趋势 …… 吴建平，李星，刘莹
15 未来网络虚拟化关键技术研究 …… 韩言妮，覃毅芳，慈松
20 支持未来网络创新的可编程虚拟化路由器技术 …… 贺鹏，关洪涛，谢高岗
25 一种基于位置和标识分离的移动性管理解决方案 …… 李玉宏，侯云静，程时端
30 下一代互联网的网络安全 …… 张智江，张尼

专家视点

33 电信运营商的云计算与物联网发展策略 …… 唐雄燕

运营应用

37 电信运营商宽带升速的部署策略分析 …… 李家京

研究论文

43 云计算的开放架构设计 …… 钱煜明，陆平，赵培
49 移动Widget主流标准和平台的差异性研究 …… 贾霞，王蔚，易宁

开发园地

52 自适应多天线技术 …… 肖华华，朱登魁，胡留军

系列讲座

56 分组通信网的同步与定时技术(2) …… 王文鼐，王斌，糜正琨

综合信息

中兴通讯成功演示业界首个MAB方案(14)　中兴通讯推zVOA方案促语音和多媒体融合运营(24)　中兴通讯首家完成联通PTN综合承载测试 实现L3 VPN功能(29)　广告索引(51)

期刊基本参数：CN 34-1228/TN * 1995 * b * 16 * 64 * zh * P * ¥10.00 * 15000 * 14 * 2011-04

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P4

Contents

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol.17 No.2 Apr. 2011

Special Topic: Future Internet

01 Architecture and Key Technologies of Identifier–Based Universal Networks …… SU Wei, LIU Qi, ZHANG Hongke

05 Technology of Content Location Packet …… LI Youping

07 Content Aware Network Architecture …… LIN Tao, TANG Hui, HOU Ziqiang

10 Research Status and Development Trends of Next–Generation Internet Architecture …… WU Jianping, LI Xing, LIU Ying

15 Key Technologies in Future Internet Virtualization …… HAN Yanni, QIN Yifang, CI Song

20 Programmable Virtual Router Technologies that Support Future Internet Innovation …… HE Peng, GUAN Hongtao, XIE Gaogang

25 A Mobility Management Solution Based on ID/Locator Separation …… LI Yuhong, HOU Yunjing, CHENG Shiduan

30 Security of the Next Generation Internet …… ZHANG Zhijiang, ZHANG Ni

Expert View

33 Development Strategy of Cloud Computing and Internet of Things …… TANG Xiongyan

Operational Application

37 Strategies for Increasing Broadband Speed …… LI Jiajing

Research Paper

43 Open Architecture Design of Cloud Computing …… QIAN Yuming, LU Ping, ZHAO Pei

49 Differences between Mainstream Standards and Platforms for Mobile Widgets …… JIA Xia, WANG Wei, YI Ning

Development Field

52 Adaptive Multi–Antenna Technology …… XIAO Huahua, ZHU Dengkui, HU Liujun

Lecture Series

56 Synchronization and Timing Technology of Packet Communication Networks (2) …… WANG Wennai, WANG Bin, MI Zhengkun

《中兴通讯技术》编辑委员会

主　任　钟义信

副主任　侯为贵　糜正琨

编委(按姓氏拼音顺序排列)

艾　波　曹淑敏　常金芸　陈常嘉
陈建平　陈　杰　陈锡生　程时端
程时昕　高　文　龚双瑾　古永承
顾畹仪　郭云飞　侯为贵　何士友
洪　波　纪越峰　江　华　蒋林涛
雷震洲　李红滨　李建东　李乐民
李少谦　李　星　孟洛明　糜正琨
倪　勤　史立荣　谈振辉　田文果
王晓明　王晓云　王育民　韦乐平
卫　国　谢大雄　谢希仁　徐安士
须成忠　续合元　杨义先　杨　震
殷一民　尤肖虎　乐光新　张同须
张智江　赵厚麟　赵慧玲　赵先明
钟义信　周苏苏　朱近康

敬告读者

一、本刊享有所发表文章的版权，包括英文版、电子版和网络版版权，所支付的稿酬已包含上述各版本的费用。

二、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：未来网络

专|题|导|读

目前，随着信息技术的快速发展和信息化应用水平的不断提高，层出不穷的社会和商业应用需求、多样化的接入手段和急剧增长的终端数量正在将现有的互联网推向它能力的极致。原先主要以科学研究为目的设计的TCP/IP网络体系架构已经难以满足社会经济发展的要求。因此，近年来研究人员开展了面向变革式创新的未来网络的研究，即后IP网络。未来网络将采用全新的网络设计和创新理念来构建安全可信、高效可扩展的全新网络体系，以提供超越当前网络的服务能力。未来网络应具有高度的鲁棒性和自适应性、新型的协议体系、异构终端的移动性、内置的安全性等技术特征，支持创新的未来网络应用。

未来网络已经成为网络领域的最新研究热点，并开始在全球范围内掀起网络技术变革的新浪潮。到目前为止，发达国家已陆续部署了未来网络的国家级研究计划。美国最近推出未来互联网体系结构FIA计划，将未来网络与云计算、移动网络等紧密结合；欧盟在FP7中安排了4WARD项目，从零开始研究未来网络，提出网络虚拟化概念，解决异质网络共存问题；日本的AKARI计划，从2011年开始第二阶段建设实验床的工作。在标准化研究方面，ITU-T、ETSI等国际标准化组织也启动了相关工作。中国的相关工作仍侧重于增量式研究，对面向全新设计的未来网络研究投入不够，目前仍没有国家级的全面研究计划部署，仅在国家自然科学基金、“973”计划等项目中有零散支持。

未来网络的研究是集科学研究、社会经济研究和工程创新于一体的复杂系统工程。并且现有互联网体系架构也将因为其已经取得的巨大成功而持续运行很长的时间，未来网络应该能够与之共存实现平稳过渡。因此新的网络体系的设计、验证、部署以及推广将面临极大的挑战。此期专题就未来网络的研究现状、新型网络架构、创新试验环境、核心关键技术等方面进行深入讨论，反映了中国在未来网络研究方面的一些新进展。在此，衷心地感谢各位作者在百忙之中为本刊撰稿，这些文章不仅体现了他们的创新思想和观点，更凝聚了他们的研究成果和心血。

新一轮的网络技术创新浪潮正在掀起，我们希望能有更多的有识之士加入到未来网络研究中来，共同创造互联网的璀璨明天！

本期专题策划人

侯自强

中国科学院声学研究所教授、工业和信息化部通信科技委委员，曾任中国科学院秘书长、中国科学院声学研究所所长。

2011年第1—6期专题计划

1. 物联网技术及其应用
   杨震 南京邮电大学校长
2. 未来网络
   侯自强 中国科学院声学研究所教授
3. 车辆自组织网络及其应用
   乐光新 北京邮电大学教授
4. 三网融合演进技术与业务
   李红滨 北京大学教授
5. 新一代宽带移动通信创新技术
   李少谦 电子科技大学教授
6. P比特级光交换网络
   徐安士 北京大学教授

D:\MAG\2010-06-91\VOL16\COVER.VFT——TPPS/P6

一体化标识网络体系及关键技术

Architecture and Key Technologies of Identifier-Based Universal Networks

中图分类号：TP393.4 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 02-0001-04

苏伟/SU Wei[1]
刘琪/LIU Qi[2]
张宏科/ZHANG Hongke[1]
(1. 北京交通大学 下一代互联网互联设备国家工程实验室，北京 100044；
2. 清华大学电子工程系信息网络与复杂工程系统实验室，北京 100084)
(1. National Engineering Lab for Next Generation Internet Interconnection Devices, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;
2. Department of Electronics Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

摘要： 现有互联网由于原始设计模式方面的不足，不仅难以满足网络及服务的多元多样性需求，而且在移动性、安全性、可控可管性及服务质量支持方面存在着严重弊端。为解决这些问题，文章提出了一体化标识网络体系，创建了一体化标识网络的“基础设施层”和“普适服务层”理论及关键技术，建立了原型系统对上述网络体系与关键技术进行验证。实验结果表明，这种新的网络体系在有效地解决现有互联网安全、移动、可控可管等严重弊端的同时，可支持普适服务。

关键词： 一体化网络；标识；基础设施层；普适服务层

Abstract: Because of historical reasons and the original Internet model, serious shortcomings exist in the current Internet. At present, the Internet cannot adapt well to the demands of diverse networks and services and also lacks support for mobility, security, controllability, and Quality of Service (QoS). This paper proposes a new identifier-based universal network architecture and creates the basic theory and key technologies of the infrastructure layer and pervasive services layer. It also establishes the prototype system and validates the corresponding theories. Results show that our network architecture remedies mobility, security, controllability, and QoS shortcomings in existing information networks. The new network system also provides prefect support for pervasive services.

Key words: universal network; identifier; infrastructure layer; pervasive services layer

互联网已成为推动社会进步的巨大动力。经济与社会发展要求互联网能够满足当前乃至未来一段时间内多元化、多样性服务的需求。然而现有互联网由于在原始设计模式上是一种网络支撑一种主要服务的模式，距此目标甚远。此外，现有互联网是以“固定、有线”为主的连通方式，不能满足无线和移动环境下用户的需求，移动性支持差；互联网的拓扑结构是具有幂律结构的无标度网络[1]，导致其对恶意攻击和欺骗的抵御能力十分脆弱，难以有效地支持安全性和可控可管性。不难看出，现有互联网已经不能很好地满足当今信息社会的需求，严重阻碍着信息网络的进一步发展，急需突破性、跨越式的构思和设计一种新的网络体系结构，以解决现有互联网存在的严重弊端。

近年来，世界各国纷纷展开了新网络体系方面的研究工作[2-6]；中国也非常重视对新一代信息网络体系及关键技术的研究，启动了一系列与新一代信息网络相关的科研工作，包括国家重点基础研究发展(“973”)计划、国家自然科学基金、国家高技术研究发展(“863”)计划、发展和改革委员会的中国下一代互联网(CNGI)等项目。比较有代表性的项目如图1所示。

需要指出的是，GENI等计划对新一代信息网络的研究只是停留在起步和规划阶段，还没有形成清晰的理论研究方案，其他一些计划也只是从未来互联网的某一个或某几个方面展开研究，缺乏对新网络体系及关键理论与技术的全面性和系统性研究。

北京交通大学下一代互联网互联设备国家工程实验室依托国家“973”项目“一体化可信网络与普适服务体系基础研究”，在新网络体系方面进行了积极探索，提出了一系列的研究成果[7-9]。本文在这些成果的基础上，提出了一体化标识网络体系，以满足未来互联网在普适服务、移动性、安全性、可控可管性等方面的需求。

1 一体化标识网络的总体系结构

文献[7]初步提出了一体化网络的总体结构。本文在此基础上，针对未来互联网的需求和特点，进一步完善并提出了一体化标识网络的体系

基金项目：国家自然科学基金项目(60903150)

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P7

	时间	项目支持国家及组织	项目名称
国际	2004年	英国电信 (8 000万英镑)	21CN 下一代网络建设计划
	2005年	美国自然科学基金委 (3亿美元)	GENI (Global Environment for Netowrking Innovations)
	2006年	美国自然科学基金委 (2 000万美元)	FIND (Future Internet Design)
	2006年	日本通讯内务部 (4 000万美元)	AKARI (Next Generation network research plan)
	2007年	韩国电子通信研究院 (预研)	FI (Future Internet)
	2007年	欧盟下一代网络研究组 (4 000万欧元)	FIRE (Future Internet Research and Experiment)
	2008年	德国教育科研部 (预研)	G-Lab (A Future Generation Internet Research Lab)
中国	2003年	国家“973”计划	新一代互联网体系结构理论研究
	2003年	国务院发改委	中国下一代互联网示范工程
	2006年	国家“973”计划	新的网络体系基础研究重要支持方向
	2007年	国家“863”计划	基于新的网络体制及标准的研究
	2007年	国家科技支撑计划	可信任互联网
	2008年	国家自然基金委	未来互联网体系理论及关键技术研究

▲图1 新一代信息网络方面的主要研究项目

结构，如图2所示。

从图2可以看出，一体化标识网络包括两个大的层面：基础设施层和普适服务层。这两个层面又包括4个标识：接入标识、交换路由标识、连接标识、服务标识。4个标识之间包括3个映射：接入标识解析映射、连接标识解析映射、服务标识解析映射。下面对一体化标识网络的总体系结构做一个简要介绍。

基础设施层的目的是在一个可信(安全、可靠、可控可管)的一体化标识网络平台上提供多元化的网络和终端接入，保证信息交互的可信性和移动性，并有支持普适服务的能力。基础设施层采用接入标识代表终端的身份信息，采用交换路由标识代表终端的位置信息。接入标识和交换路由标识将普适服务层分为虚拟接入部分和虚拟骨干部分，虚拟接入部分使用接入标识负责通信终端的接入，虚拟骨干部分块使用交换路由标识解决位置管理和交换路由的问题。

普适服务层负责各种业务的会话、控制和管理，这些业务包括由运营商或第三方增值服务商提供的各种网络业务，主要是语音、数据、流媒体等。不同的业务用同一个普适服务层承载。普适服务层创建了虚拟服务部分与虚拟连接部分，以及服务标识解析映射与连接标识解析映射，以实现对各种业务的统一控制和管理等。虚拟服务部分引入服务标识来描述和表示多种业务的服务；虚拟连接部分为每个业务提供多种连接。服务标识解析映射将服务对象映射到多个服务连接，以支持多种业务；连接标识解析映射将服务连接映射到基础设施层的多个连接，体现了一次服务可对应多个连接、多种路径选择的思想，从而使服务的实现更加可靠。

一体化标识网络体系结构是一种不同于开放系统互连(OSI)7层网络体系和互联网4层网络体系的新型网络体系结构。一体化标识网络体系将用户、业务和网络资源三者有机统一为一个整体，很好地实现了网络一体化接入并为用户提供普适服务。

下面就具体介绍基础设施层和普适服务层的体系结构与理论。

2 基础设施层理论及关键技术

从图2可以看出，基础设施层主要包括虚拟接入部分、虚拟骨干部分以及接入标识和交换路由标识之间的接入标识解析映射。

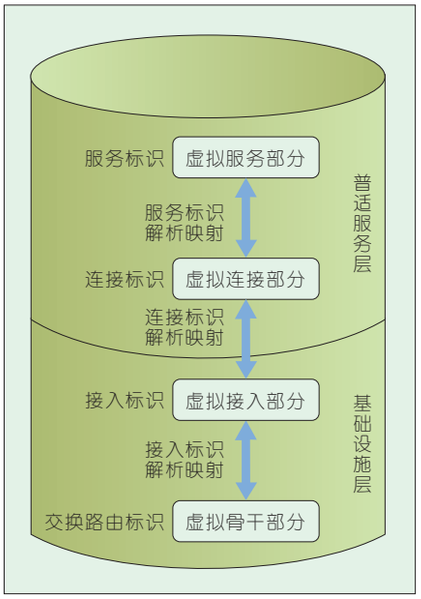
虚拟接入部分通过引入接入标识的概念和机制，实现各种终端、网络等的统一接入，使用户能够在任何时间、任何地点实现最佳的接入与通信，获得最广范围的普适服务，同时保证了异构网络之间的互联互通和密切合作。虚拟骨干部分通过引入交换路由标识，通过核心网络实现业务和资源的协调配置，并用于核心网络上的广义交换路由。接入标识解析映射指将接入标识映射到交换路由标识的过程。接入标识解析映射支持一对一、一对多、多对一、多对多4种映射方式。接入标识解析映射的定义见文献[7]。

基础设施层的构思和设计方案如图3所示。

在图3中，用户位于虚拟接入部分。接入标识代表接入终端或子网的用户身份信息，只在虚拟接入部分使用；而虚拟骨干部分的交换路由标识则标识接入终端或子网的位置信息，只在虚拟骨干部分使用。接入交换路由器通过接入标识解析映射实现从接入标识到交换路由标识的映射。这样就实现了用户身份信息与位置信息的分离。

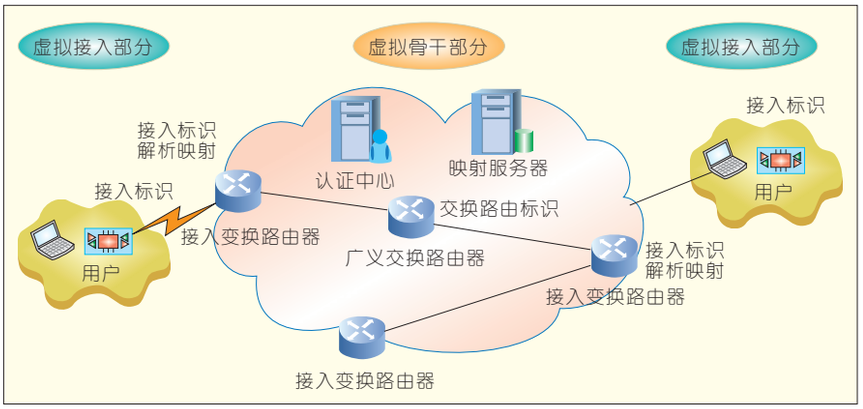
基础设施层的主要优势如下：

(1)接入标识与交换路由标识的一对一映射解决了IP地址的双重属性问题，能够对移动性等提供较好的支持。各种接入网络在移动到其他位置之后，仅其交换路由标识需要发



▲图2 一体化标识网络的总体系结构模型

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P8



▲图3 基础设施层的构思与设计

生变化，代表用户身份的接入标识不需要发生变化，只需要改变交换路由标识和接入标识的映射关系。这样，用户的连接不需要中断就可以保证用户继续接受各种服务。

(2)保证用户的安全性和隐私性。在一体化标识网络中，接入标识代表用户的身份，而交换路由标识仅仅用于核心网络进行交换路由。接入标识和交换路由标识分离后，代表用户身份的接入标识不会在核心网络上传播，使得其他用户不可能通过用户的身份来截获他们的信息进行欺骗和攻击，有效地保证了用户信息的安全性；也不可能通过截获核心网络的信息分析用户的身份，保证了用户的隐私性。

(3)保证了网络的可控可管性。终端或子网在申请接入标识时，网络管理者根据用户的签约信息，对各种接入网络进行接入控制和鉴权。鉴权的结果决定是否接受用户连接请求，同时决定为用户提供的服务质量水平。

(4)接入标识与交换路由标识之间支持一对多映射、多对一映射以及多对多映射，可以有效支持各种新的互联网应用。当一对多映射在相同的接入位置时，不同的交换路由标识可以具有不同的优先级或流量工程参数，可以满足同一个终端上各种应用类型所具有的不同需求。一对多映射还可以在不同的接入位置完成，从而有效地支持多家乡技术。同一个节点的不同接入标识可以在相同的接入位置映射为同一个交换路由标识，这种多对一映射体现了同一个节点的身份可以具有多样性。另一种多对一指多个接入标识在不同的位置映射为相同的组播交换路由标识，从而为多个节点建立组播路径。这说明接入标识与交换路由标识的映射可以有效支持组播。同一个节点的多个接入标识在不同的接入点接入网络时，网络为多个接入标识分配多个对应的交换路由标识，映射时可以随机选取，这种多对多的映射方式可以保护业务流的安全性。

3 普适服务层理论及关键技术

如图2所示，普适服务层包括虚拟服务、虚拟连接部分以及服务标识解析映射和连接标识解析映射。

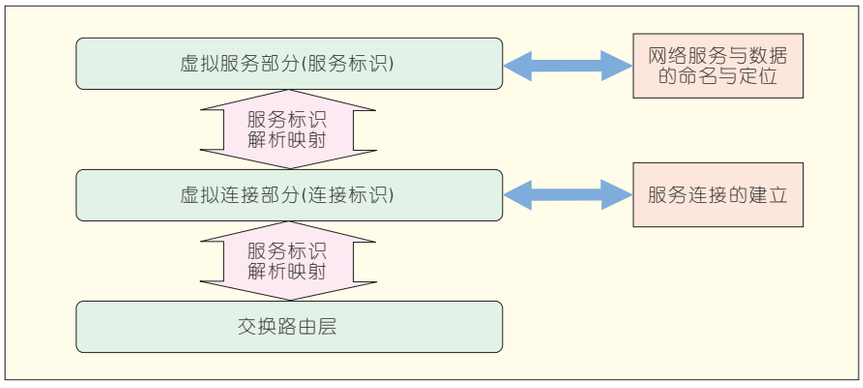
虚拟服务部分是实现普适服务的基础，用于解决各种服务的统一描述和表示，提供服务的可控可管等。在虚拟服务部分我们引入了服务标识的概念。服务标识用于对多样化的服务进行统一的分类标识和描述，从而体现普适服务的思想。服务标识解析映射将虚拟服务部分和虚拟连接部分的工作联系起来，完成服务标识到连接标识的映射，从而为多种服务建立连接。该解析映射的定义见文献[7]。虚拟连接部分引入了连接标识，作为服务连接和用户身份的标识，可以很好地支持移动性、安全性，并提供一定的服务质量保证。连接标识解析映射完成连接标识到基础设施层接入标识的映射，该解析映射的定义见文献[7]。整个普适服务层的模型如图4所示。

服务标识到连接标识的解析映射包括4种：一对一映射、一对多映射、多对一映射、多对多映射。

(1)一对一映射是目前互联网和电信网采用的主要服务连接模式。互联网中，一次服务由一个传输控制协议(TCP)或数据报协议(UDP)连接完成；电信网中，一次电话服务由一条电路连接实现。

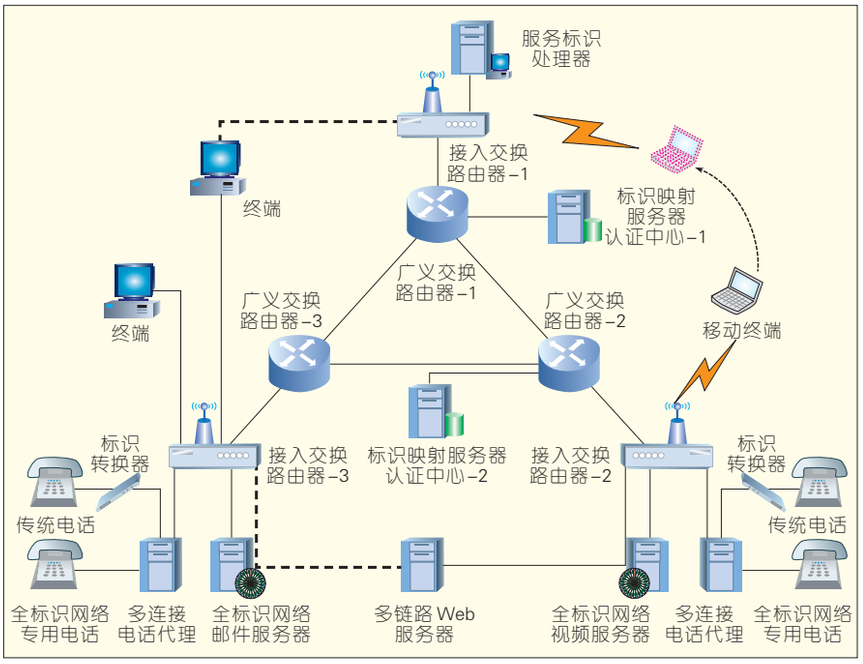
(2)一对多映射将一次应用的数据分组，各组数据基于不同的连接传输，从而加快服务过程中数据的传输速度。

(3)多对一映射指在一次连接过程中传输多个不同类别的数据流，数



▲图4 普适服务层的模型

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P9



▲图5 一体化标识网络试验床拓扑图

据流来源于同一服务。分为多个数据流传输的好处是可以在连接流内根据数据类型的不同需要提供不同的连接方式，提高传输效率。

(4)多对多映射实现多个应用到多个连接的传输设计。将多个服务分解为不同类型的流，再通过建立多个连接传输。多对多映射可加快服务数据传输速度，同时对不同数据类型的流进行区别处理，体现普适服务的思想。

连接标识解析映射将虚拟连接部分和基础设施层的工作联系起来，完成一个连接标识到多个接入标识的映射，实现服务连接在网络上的多个路径选择，提高了网络传送的可靠性。连接标识解析映射同样支持一对一、一对多、多对一、多对多4种映射方式。

(1)一对一映射为目前互联网的主要工作方式。

(2)利用一对多映射，可以在原始接入标识发生故障时切换到备用接入标识，保证连接不中断，提高了可靠性。

(3)多对一的映射可以解决头端阻塞问题，提高传输的可靠性。

(4)多对多映射可以得到多个接入标识并建立多条链接。数据可在多条链接上同时传输。多对多映射下多路径同时传输能够明显减少数据的传输时间，攻击者不能通过监听其中一条路径截获所有的数据包。

通过以上一体化标识网络普适服务层的分析，可归纳出其基本工作原理和机理如下：首先，通过虚拟服务部分定义的服务标识对各种网络支持的不同服务进行统一的命名标识，以完成统一的服务调度，为在一体化标识网络上支持多种服务提供可能。当用户需要获得某次特定服务时，可通过服务标识查询机制，根据服务标识在网络中定位服务。然后，定位的服务与虚拟连接部分建立一个或多个连接，并通过服务标识解析映射与连接标识建立多对一的映射关系。之后，一个连接再通过连接标识解析映射到一个或多个基础设施层选路，多个选路可保证连接可靠，并提供负载平衡支持，最终完成一体化标识网络下的一次普适服务。

经过以上全新的设计，普适服务层可以克服传统互连网、电信网对普适服务支持的两个缺陷：缺乏统一的服务标识，缺乏服务标识到服务连接的合理映射。同时，服务标识为各种服务进行统一的命名和管理，实现服务的可控可管，而连接标识可作为主机的唯一身份标识在通信过程中保持不变，以提供移动环境下连接的稳定性。

4 一体化标识网络的原型系统

基于上述理论与关键技术，北京交通大学下一代互联网互联设备国家工程实验室成功研制出一体化标识网络的原型系统，并在2009年12月通过科技成果鉴定。图5是典型的一体化标识网络原型系统拓扑结构图。

一体化网络原型系统中5个主要设备的介绍如下：

(1)广义交换路由器。用于骨干部分内的交换和路由。

(2)接入交换路由器。提供用户接入功能，完成接入标识与交换路由标识的解析映射。

(3)标识认证服务器。用于用户身份的认证。

(4)标识映射服务器。用于提供接入标识和交换路由标识、连接标识到接入标识的映射。

(5)服务标识处理器。用于生成服务标识，并且完成服务标识和连接标识之间的解析映射。

该原型系统已经在中国国家工程实验室内部进行了测试和实际使用，并且在北京信息科技大学、兆维电子、无锡北邮研究院等多家单位进行了部署和应用，获得了一致好评。

5 结束语

“一体化标识网络系统”是中国“十一五”期间战略高技术和大型基础科技研究领域取得的一项重大创新成果，在体系结构和机制上体现了

➡下转第42页

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P10

内容定位分组技术
Technology of Content Location Packet

中图分类号：TP393.4 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 02-0005-02

摘要： 互联网由于按主机地址分组运行，目前存在“流量剧增、内容难管、耗能过大”等问题。文章提出增添按内容属性分组的运行机制，并把广播网与电信网都看成是未来互联网的基础设施。文章认为这样将使问题迎刃而解。

关键词： 内容定位分组；播存；多播

Abstract: The Internet operates in groups according to the host address, but it still has some problems including: increasing traffic, uncontrollable content, large consumption and so on. In this paper, adding an operating mechanism in groups according to content property is considered, and both the broadcast network and telecommunication network are regarded as the infrastructure of the future Internet. Under the guidance of these ideas, many problems can be resolved.

Key words: content location packet; broad-store; multicast

李幼平/LI Youping
(北京应用物理与计算数学研究所，北京 100088)
(Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088, China)

1 分担互联网的流量

当前互联网的“流量剧增、内容难管、耗电过大”问题，原因是社会应用与技术结构脱节。社会应用已经改变互联网的数学性质由泊松分布的随机网络改变为幂律分布的无尺度网络。流量的80%属于“一点对极多点”传播的公共内容，而技术结构仍停留于“点对点”的个案投递。增添“一点对极多点”的内容分发结构，大比例旁路不堪重负的“点对点”流量，是解决上述问题的办法。数字广播，尤其是无线电广播，本身是“一点对极多点”的内容分发结构，只需引入按内容管理的存储环节，有可能成为分担互联网流量的全新结构。

数字广播分担互联网部份流量，是中国政府三网融合的一项举措。为了实施三网融合，广电行业制订了下一代广播(NGB)的发展战略。NGB当前处于初级阶段，IP多播、双向点播、推送播存等3种模式独立生存。NGB的下一步，可以用内容分组技术整合这3种模式，形成大比例分担互联网流量的全新生产力。

自2010年1月以来，中国各地兴建CDN、ACR、P2Pcache、互动电视等文化共享工程，策略都是“就近大规模分发内容”，为分担互联网热门内容铺垫了物质基础。无独有偶，2010年8月，美国国家科学基会批准NDN(Named Data Networking)作为未来互联网的可能架构。科学家们用不同方式，表达对内容分组技术的关切，希望以内容为核心价值，营造新的网络，改革当今的互联网。

2 内容分组技术

本文建议，用内容分组(UCL Packet)承载各种各样以内容为核心价值的信息。UCL是统一内容定位的英文缩写。内容分组是一种按内容属性定位的IP分组，可两栖游走于IP通信网和数字广播网，可拆分、可积累，可激活、可繁殖，可搜索、可阅读。总之，可以用规模化生产方式，满足个性化的文化需求。

UCL由内容代码与内容属性两个字段组成：内容代码定长，8字节，嵌入IP报头的Option段；内容属性非定长，一千多字节，嵌在文件内容的前端，含内容代码、URL代码、文件标题、小于140字中文摘要、内容数字指纹、分类域名、行业域名、作者、价位等元数据。

在存储环节帮助下，内容定位技术分别赋予广播和多播“各取所需”的大批量分发能力，赋予互联网整合广播网与电信网的机会：

(1)广播网供应个性化内容

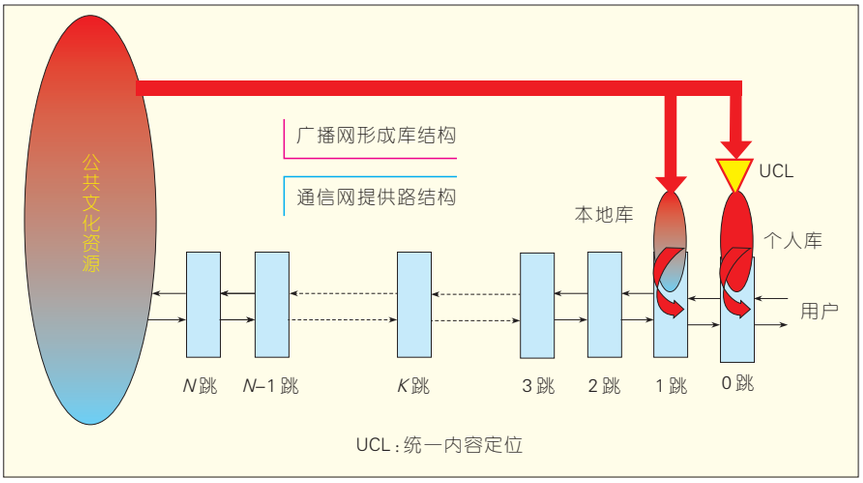
UCL借助内容分组交换，提升广播的推送能力。单频点可推送上千种媒体，实现中国热门内容的一体化大聚合，直接向全体人民提供没有路由、没有拥堵的“播存服务”。

UCL个性化过滤下载内容，实现“网页主动寻找网民”。

(2)通信网旁路热门流量

UCL使得附加内容存储能力的路由器或服务器具备大规模分发能力，把热门流量拦截于网络边缘。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P11



▲图1 公共文化内容的分发

在IP网内，相同内容被避免重覆传输，大幅节省带宽耗费，保证全网低碳运行。

(3)互联网通过内容管理整合广播网与电信网

把内容数字指纹当成是监管部门核准该内容广为传播的印记，赋以互联网内容管控能力。

统一的内容监管指纹，促使电信网、广播网双双成为未来互联网的基础设施，落实三网融合的国家目标。

3 内容分组的社会应用

作为社会应用的实例，下面讨论如何运用UCL技术，完成公共文化内容的大规模分发。

按内容属性承接网络服务是三网融合的技术基础。在2015年前，按内容属性承接网络服务可以帮助国家建成公共文化服务平台；在2020年前，按内容属性承接网络服务可以帮助国家找到“积极利用与有效管理互联网”的具体办法，并最终形成中国全新的互联网。

分发有3个层次，即在保留传输控制协议/网间协议(TCP/IP)个案分发基础上，增添“主流内容主动到户”的个人库分发和“热门内容本地获取”的本地库分发。公共文化内容的分发如图1所示。

(1)主流内容主动到户——广播方式形成0跳个人库

UCL数据包把无连接概念植入广播，入库时序随信源的忙闲灵活变化。作者可以在任意时刻投入内容，用户可以在任意时刻享用内容，广播的推送能力因此获得极大提升。单个40 Mb/s的卫星转发，每天可推送超过400 GB的内容，赋以全民无拥堵获取上千种报刊、网站和数万分钟视频的平等权力，以及主流内容实现公益性、基本性、均等性、方便性的文化服务。

当然，个人库并非万全方案。由于库成本需由个人承担，容量不可能很大，不可能满足个人的所有兴趣，因此还需要营造存储更丰富内容的本地库。

(2)热门内容本地获取——组播、广播共建本地库

ACR大规模汇聚路由器和P2Pcache本地服务器是中国自主创新的两种异步多播分发系统。由于网民群体的即兴拉动，形成容量巨大、内容极其丰富的本地库。第一位网民的访问内容暂存起来，第二、第三位……相同兴趣的访问内容不需重复收存，以后只需很少的跳数即可从库中获取。当然，本地库也接受来自广播的主流内容。多元拉动与主流推送机会均等，先入为主(完全相同的内容只需收存一次)。按库闲时间长短吐故纳新，保证热门内容得以按民意自然繁衍，而不计较它的具体来源。

(3)先问库、后上路的3层服务

身边个人库里有的，就近取用；个人库没有，上本地库索取；本地库仍然没有，通过TCP/IP到网站中查找索取。

单播的通信线路不限内容品种，承载“各献所知”的多元文化。广播的个人库不限用户数目，通过UCL过滤实现各取所需，弘扬主流文化。多播的本地库，繁荣多元和弘扬主流两不耽误。三者珠联璧合，自然融合。

尽管库与路各自都不尽完美，但互补相助，依然可以融合成为相对完美的公共文化平台。

单独的广播网与电信网也不尽完美，但两者互补相助，可以组成相对完美的全新互联网。

4 结束语

实践证明，引导广电、电信比拼带宽大、服务全，会导致两大行业关系紧张。内容分组技术与此相反，提倡各有侧重、互补相助，将最大可能地简约社会资源的总体耗费。电信尽力传输，广电尽力存储，促使两种不尽完美行业“尽力而为”，融合成为相对完美的未来互联网。

收稿日期：2011-02-02

作者简介

李幼平，中国工程院院士；从事电子系统的设计与研究；获国家人事部授予“有突出贡献专家”称号，获香港何梁何利基金技术科学奖。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P12

内容感知网络架构
Content Aware Network Architecture

中图分类号：TP393.4 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 02-0007-03

摘要： 文章提出一种内容感知的未来网络架构。该网络架构通过新型的主机/内容命名机制，能够在网络层支持对内容和主机的统一标识，从而在实现内容高效分发的同时，有效地支持端到端通信；同时，该网络架构还具备良好的扩展性、移动性、安全性。

关键词： 未来网络；内容感知；路由可扩展；标识/位置分离

Abstract: This paper proposes a content-aware network architecture. Through a novel host/content naming mechanism, the architecture supports unified identification of host and content at the network layer and has efficient content distribution and efficient end to end communication. Routing scalability, mobility, and security are also well supported.

Key words: future network; content aware; route scalability; identifier/location split

林涛/LIN Tao
唐晖/TANG Hui
侯自强/HOU Ziqiang
(中科院声学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)

随着互联网网络规模的迅猛增长，以及新型应用的飞速增加，原来主要面向科学研究设计的互联网在可扩展、安全、能耗等方面面临重大挑战。互联网流量的快速增长是造成上述问题的重要原因之一。据Cisco预测[1]，IP流量将以年复合增长率34%的速度增长，2014年全球的IP流量将达到每个月64 EB，而互联网上内容相关的流量将超过97.5%的份额。同时，互联网在内容热度方面呈现无尺度分布特征[2]，大量相同内容在网络中低效、重复传输是互联网流量剧增的根本原因。

针对上述问题，目前主要存在两种解决方案：增量式演进方案和革命式解决方案。增量式演进的方案主要通过应用层技术，如对等网络(P2P)、缓存、内容传送网络(CDN)等技术来实现。虽然这些技术在一定程度上可以改进内容分发效率，但是由于难以对网络状态进行有效感知以及缺乏统一的内容标识，因此存在路由效率低、实施难度大等问题。革命式解决方案，包括NDN(Named Data Networking) [3]、DONA(Date Oriented Network Architecture)[4]、PSIRP[5]等未来网络架构，其中NDN最具代表性。NDN提出一个基于内容的命名/路由的网络体系结构，实现通信方式由“Where”到“What”的根本转变。但是基于内容的命名和路由方式，使得NDN面临路由可扩展性以及对端到端通信类应用有效支持等挑战。

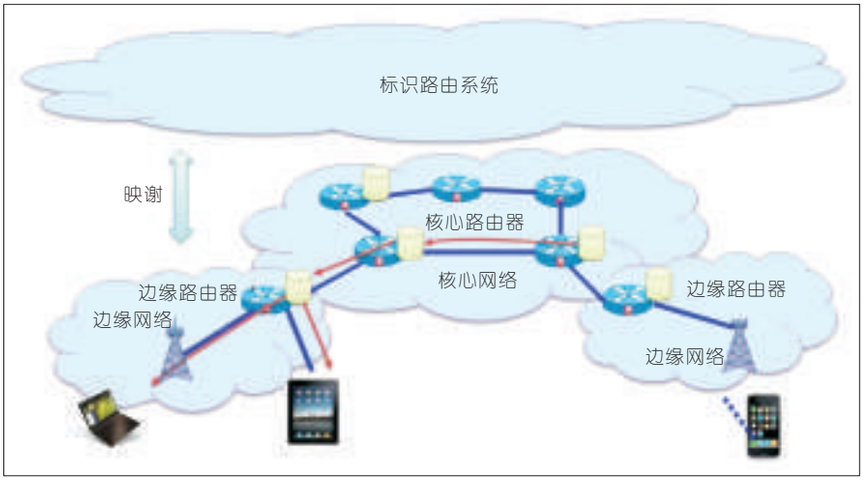
1 总体架构

众所周知，IP地址的双重属性(同时包含标识和位置信息)是导致目前互联网路由可扩展性、移动性差的根本原因。因此，标识和位置分离的命名机制，如LISP[6]、GLI-split[7]、SHIM6[8]等方案应运而生。本文在标识和位置分离思想的基础上，将标识进一步分为主机标识和内容标识，使得网络具备内容感知的能力；同时主机标识和内容标识采用一种逻辑可汇聚的路由前缀，实现标识和位置的高效映射。

另外，随着通用处理器计算能力的提高和存储设备成本的降低，通信设备日益呈现IT化趋势，其计算能力和存储能力将极大提高。内容感知网络架构的另一个重要特点就是存储网络化，即路由设备具备大容量存储能力。结合本文提出的内容标识机制，具备存储能力的路由设备在支持传统路由转发功能的基础上，还可实现内容缓存和高效分发。

内容感知网络总体架构如图1所示。在内容感知网络架构中，主要包括边缘网络、核心网络、标识/位置映射系统3部分。在边缘网络，主机和边缘路由器之间通过数据报文包含的标识信息进行通信；在核心网络，核心路由器根据数据报文包含的位置信息进行路由、转发。边缘路由器作为边缘网络和核心网络之间的功能实体，实现标识到位置的解析以及数据报文封装/解封装操作。同时，边缘路由器和核心路由器可具备大容量存储能力，从而支持内容感知的

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P13



▲图1 内容感知网络总体架构

转发机制。

标识/位置映射系统包括标识路由系统和分布在边缘网络内部的映射服务器。映射服务器存储所在边缘网络内主机/内容标识与位置的映射信息。标识路由系统由标识路由器构成,标识路由器根据标识中包含的逻辑可汇聚路由前缀进行消息路由,从而将映射请求发送至目的映射服务器。为简化起见,在本架构中,映射服务器与边缘路由器位于同一功能实体。

2 命名机制

为了解决现有互联网名在结构和解析机制方面的问题,本文设计了适合未来网络的命名机制,其中包括逻辑可汇聚标识(LA-ID)和拓扑可汇聚地址(TA-LOC)。

逻辑可汇聚标识可分为两类:主机标识和内容标识。逻辑可汇聚标识是主机或内容的全局唯一标识,其具体格式是LA-Prefix/type/Name,其中LA-Prefix是逻辑可汇聚前缀,type用于区分是主机标识还是内容标识,Name是主机或内容的名称。主机标识主要面向端对端通信类业务,其格式为LA-Prefix/0/Host Name。内容标识面向内容类业务,其格式为LA-Prefix/1/Content Name。由于边缘/核心路由器可具备内容存储能力,路由器可根据逻辑可汇聚标识对内容数据进行缓存和分发,提升内容分发效率。

逻辑可汇聚前缀是指根据物理拓扑不可汇聚的前缀,这些前缀在类似重叠网的逻辑网络上实现可汇聚。逻辑可汇聚标识不但能够体现层次化的标识空间,明确主机或内容的归属网络,还可以在边缘网络用于数据报文的路由。更为重要的是,配合标识路由系统,这种编址方式可极大改善映射系统的查询效率。

拓扑可汇聚地址用于表示位置信息,其格式可采用类似目前IP地址的编址方式。在核心网络中,核心路由器根据数据报文中的拓扑可汇聚地址进行路由转发。

该命名机制基于标识与位置分离的思想,可以较好地解决IP地址双重属性所引发的路由可扩展性问题,同时还支持移动性和多宿主。

3 映射系统

映射系统由标识路由系统和分布在边缘网络内部的映射服务器(边缘路由器)组成,负责维护(LA-ID、TA-LOC)的映射关系。具体映射机制与LISP-ALT[9]类似,边缘路由器存储映射数据库,标识路由系统仅负责消息路由和转发。

在标识路由系统中,标识路由器(IR)之间通过通用路由封装(GRE)隧道相互连接,从而在底层基础网络上形成一个树形拓扑结构的逻辑网络。该逻辑网络负责将映射请求消息(MAP-REQUEST)路由至存储相应映射信息的边缘路由器。标识路由器可基于边界网关协议(BGP)向隧道邻居通告逻辑可汇聚前缀的可达消息。这些可达性信息使得逻辑可汇聚前缀在树形拓扑结构的逻辑网络中逐层汇聚。

当主机或内容初次在系统中注册时,其所在的边缘路由器(ER)负责存储逻辑可汇聚标识和拓扑可汇聚地址之间的映射关系。当发生移动之后,主机或内容当前连接的边缘路由器根据逻辑可汇聚前缀信息可寻址该主机或内容的家乡边缘路由器,并由家乡边缘路由器完成映射信息的更新。

该映射系统及机制的优点在于实现了消息路由与映射信息存储的分离,具有很好的规模可扩展性。标识路由器可以基于现有的BGP路由协议实现可达信息的通告和消息路由,降低部署的难度。另外,由于LA-ID与TA-LOC的映射是在边缘路由器完成,终端用户并不能直接获取核心网络节点信息,因此提高了网络安全性。

4 内容感知的转发机制

数据包的路由和转发是路由器的主要功能,除此之外,对于支持内容感知的路由器,路由器还需要进行内容缓存和分发。为此,边缘路由器和核心路由器需要具备两张表:转发表和内容库。其中,转发表与IP路由器的转发表功能类似,用于拓扑可汇聚地址的路由;内容库是近期访问内容的缓存数据库,内容库可以依据访问频度或最近访问时间等策略进行更新。

对于边缘路由器,由于其承接映射服务器的功能,因此还需维护LA-ID/TA-LOC映射表,该映射表记

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P14

录本地主机和内容的LA–ID和TA–LOC映射信息，另外还记录缓存的近期访问主机或内容的映射信息。下面结合上述表项，分别就端到端通信类业务和内容类业务的转发流程进行说明。

4.1 端到端通信类业务

端到端通信类业务包括会话业务、在线游戏、虚拟现实等个性化、非共享类业务。对于此类业务，虽然在网络整体流量中所占比例不大，但是大部分业务对实时性要求较高，因此对网络的时延、抖动更为敏感。

对于端到端通信类业务，通信源端将数据报文发至边缘路由器。边缘路由器收到报文后，根据目的逻辑可汇聚标识中的类型字段判断通信类型为端到端业务。因此边缘路由器首先查询本地LA–ID/TA–LOC映射表及映射系统，获取目的逻辑可汇聚标识对应的目的拓扑可汇聚地址；然后进行数据封装操作，在收到的数据报文前面添加了一个LOC首部，包括源拓扑可汇聚地址和目的拓扑可汇聚地址；最后，源边缘路由器根据目的拓扑可汇聚地址查找转发表，并转发至核心路由器。

数据报文到达核心路由器后，核心路由器仅根据目的拓扑可汇聚地址进行路由和转发。数据报文被路由至目的边缘路由器。该边缘路由器进行解封装，然后根据ID首部中的目的LA–ID发送至通信目的端。

由于核心网络具备较好的路由可扩展性，因此能够降低路由器转发时延，有利于提升端到端业务的用户体验。

4.2 内容类业务

内容类业务包括文件下载、流媒体等文化共享类业务，该类业务具备文化共享和访问热度呈无尺度分布等两个特点。在内容感知网络架构中，支持在网络层对内容进行统一标识，结合具备大容量存储能力的路由器，可以最大化地利用内容类应用的上述两个特点，提高内容管理和分发效率。

具体地说，路由器收到数据报文后，依据目的逻辑可汇聚标识的类型字段可初步判断为内容类业务。另外，在ID首部中，对于内容类业务，还包含了请求/应答选项，根据该选项可判断该数据报文是内容请求报文还是内容应答报文。

对于内容请求报文，路由器将首先查询内容库。若内容库包含了请求的内容数据，则路由器将直接发送内容数据至源通信端；若内容库没有相应内容数据，路由器接下来执行与端到端通信类业务相同的处理流程。对于内容应答报文，路由器除完成对内容库更新操作外，还执行路由、转发操作。

基于上述机制，内容消费者可就近获取内容，从而达到平抑网络流量、改善网络性能的目的。

5 结束语

内容类应用是互联网流量的最重要组成部分。在互联网内容热度呈现无尺度分布的背景下，大量相同内容在互联网中低效、重复传输是互联网在性能、能耗等方面遭遇挑战的重要原因。为此，本文基于标识与位置分离的思想，提出了内容感知网络架构，通过新型的命名机制，支持主机和内容两种标识方式，从而在保持目前互联网端到端通信特性基础上，实现网络层对内容的感知，并且实现了路由可扩展、移动性支持及提高了安全性。结合具有大容量存储能力的路由设备，该架构可以支持内容的高效分发与管理。接下来，将充分考虑高度移动和异构的未来网络环境，围绕该架构进一步开展关键技术研究和协议设计工作。

6 参考文献

[1] Cisco visual networking index: global mobile data traffic forecast update 2009–2014 [R/OL]. [2009–11–17]. www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white–paper–c11–520862.
[2] BARABASI A L. Emergence of scaling in complex networks [M]//BORNHOLDT S, SCHUSTER H G. Handbook of Graphs and Networks: From the Genome to the Internet. Berlin,Germany: Wiley–VCH, 2002: Chapter 3.
[3] ZHANG Lixia, ESTRIN D, BURKE J, et al. Named Data Networking (NDN) project [R]. Technical Report NDN–0001. Aiken, SC, USA: PARC, 2010.
[4] KOPONEN T, CHAWLA M, CHUN B G. A data–oriented (and beyond) network architecture [C]// Proceedings of the Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications(SIGCOMM'07), Aug 27–31, 2007, Kyoto, Japan. New York, NY, USA:ACM, 2007:181–192.
[5] PSIRP [EB/OL]. [2009–12–15]. http://www.psirp.org/.
[6] FARINACCI D, FULLER V, MEYER D, et al. Locator/ID Separation Protocol (LISP) [R]. IETF draft–ietf–lisp–09. 2010.
[7] MENTH M, HARTMANN M, KLEIN D. Global locator, local locator, and identifier split (GLI–split) [R]. Technical Report 470. Wurzburg, Germany: University of Wurzburg, 2010.
[8] NORDMARK E, BAGNULO M. Shim6: Level 3 multihoming shim protocol for IPv6 [R]. IETF RFC 5533. 2009.
[9] FULLER V, FARINACCI D, MEYER D, et al. LISP Alternative Topology (LISP+ALT) [R]. IETF draft–ietf–lisp–alt–05. 2010.

收稿日期：2011–01–31

作者简介

林涛，中国科学院声学研究所高性能网络实验室副研究员、博士；主要研究方向为未来网络、下一代互联网。

唐晖，中国科学院声学研究所高性能网络实验室主任、研究员、博士生导师，国家中长期科发展规划重大专项"新一代无线宽带移动通信网"总体专家组专家，并担任中国下一代互联网工程专家组成员。

侯自强，中国科学院声学研究所教授，工业和信息化部通信科技委委员，中国网通集团(香港)有限公司独立董事，曾担任中国科学院秘书长、中国科学院声学研究所所长。

D:\MAG\2010–06–91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P15

下一代互联网体系结构研究现状和发展趋势

Research Status and Development Trends of Next-Generation Internet Architecture

中图分类号：TP393.4 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 02-0010-05

吴建平/WU Jianping
李星/LI Xing
刘莹/LIU Ying
（清华大学，北京 100084）
(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

摘要： 现有互联网面临着众多技术挑战。为了更好地解决这些重大技术挑战，各国启动了多项下一代互联网研究计划，开展下一代互联网体系结构和关键技术研究。文章介绍了国际上和中国下一代互联网体系结构的研究现状和进展，并在此基础上分析展望了未来下一代互联网体系结构研究的发展趋势。

关键词： 下一代互联网；网络体系结构；发展趋势

Abstract: The Internet faces many technical challenges. To solve these major technical challenges, a number of Next-Generation Internet (NGI) research projects have been launched. This paper discusses international and domestic research into NGI architecture; and based on this research, analyzes development trends of NGI system architecture.

Key words: next-generation Internet; network architecture; development trend

互联网已成为支撑现代社会发展及技术进步的重要的基础设施之一。深刻地改变着人们的生产、生活和学习方式，成为支撑现代社会经济发展、社会进步和科技创新的最重要的基础设施。互联网及其应用水平已经成为衡量一个国家基本国力和经济竞争力的重要标志之一。随着超高速光通信、无线移动通信、高性能低成本计算和软件等技术的迅速发展，以及互联网创新应用的不断涌现，人们对互联网的规模、功能和性能等方面的需求越来越高。三十多年前发明的以IPv4协议为核心技术的互联网面临着越来越严重的技术挑战，主要包括：网络地址不足，难以更大规模扩展；网络安全漏洞多，可信度不高；网络服务质量控制能力弱，不能保障高质量的网络服务；网络带宽和性能不能满足用户的需求；传统无线移动通信与互联网属于不同技术体制，难以实现高效的移动互联网等等。

为了应对这些技术挑战，美国等发达国家从20世纪90年代中期就先后开始下一代互联网研究。中国科技人员于20世纪90年代后期开始下一代互联网研究。目前，虽然基于IPv6协议的新一代互联网络的轮廓已经逐渐清晰，许多厂商已开始提供成熟的IPv6互联设备，大规模IPv6网络也正在建设并在迅速发展。但是互联网络面临的基础理论问题并不会随着IPv6网络的应用而自然得到解决，相反，随着信息社会和正在逐渐形成的全球化知识经济形态对互联网络不断提出新的要求，更需要人们对现有的互联网络体系结构的基础理论进行新的思考和研究。近年来国际上已经形成了两种发展下一代互联网的技术路线：一种是“演进性”路线，即在现有IPv4协议的互联网上不断“改良”和“完善”网络，最终平滑过渡到IPv6的互联网；另一种是“革命性”路线，以美国FIND/GENI项目为代表，即重新设计全新的互联网体系结构，满足未来互联网的发展需要。

本文首先介绍国际下一代互联网体系结构的研究现状，涉及美国和欧洲的GENI[1]、FIND[2]、FIRE[3]以及FIA等计划。然后介绍中国下一代互联网体系结构的研究进展，涉及国家重点基础研究发展（“973”）计划、国家高技术研究发展（“863”）计划和中国下一代互联网(CNGI)等项目的研究。在此基础上，本文分析展望未来下一代互联网体系结构研究的发展趋势。

1 国际下一代互联网体系结构研究现状

国际上各个国家的下一代互联网研究计划不断启动、实施和重组，其研究和实验正在不断深入。从国家地域方面看，美国、欧洲、日、韩都有其各自的计划和举措；从研究内容方面看，有的关注网络基础设施和试

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P16

验平台的建立，有的关注体系结构理论的创新；从技术路线上看，有的遵从“演进性”的路线，有的遵从“革命性”的路线。

1996年10月，美国政府宣布启动“下一代互联网”研究计划。陆续地，一些全球下一代互联网项目分别启动。全球下一代互联网试验网的主干网逐渐形成，规模不断扩大，包括美国的Internet2、欧洲的GEANT2、亚洲的APAN以及跨欧亚的TEIN2等。这些项目的设计大多遵循“演进性”的技术路线。

另一些研究者认为需要从根本上改变互联网的体系结构，才能彻底解决互联网所面临的诸多难题。于是有了“革命性”的研究路线。

早在2000年，美国启动了NewArch项目，其目标是“为未来的10到20年开发和评价一种加强的Internet体系结构”。NewArch项目研究了互联网变化的需求，并对一些关键的体系结构问题和思想进行了探索，形成了一系列的报告。但其具体实现方案中仍然沿用了现有互联网技术，仅仅在应用层进行了功能性验证。

2003年，美国科学基金会(NSF)启动Clean Slate 100*100研究计划，针对“推倒重来，从零开始”的设计方法论、全面的网络框架及网络拓扑设计、网络协议栈设计等3个方面展开研究，计划到2010年实现1亿家庭用100 Mb/s上网。该项目现在已经结束，并未达到预期的目标。此后，美国NSF还启动了FIND、SING、NGNI等研究项目。2005年，美国NSF又启动全球网络创新环境GENI项目，提出了许多新的概念，并引入了OpenFlow作为实验平台。

2006年，美国NSF再次启动全新互联网设计(Clean Slate Design for The Internet)项目，除了斯坦福大学等高校的团队以外，还有众多工业界伙伴参与。项目目标是通过建立网络互联、计算和存储的创新平台来彻底改造互联网基础设施和服务，其重点是移动计算。

2006年，日本政府启动新一代网络架构设计AKARI项目。希望重新设计互联网的体系结构。AKARI共分为3个阶段(JGN2、JGN2+、JGN3)建设试验床。

2007年，欧盟启动未来互联网研究和实验平台计划FIRE。目标是建立欧洲未来互联网实验平台，支持有关解决网络可扩展性、复杂性、移动性、安全性以及透明性问题的新方法研究。

2009年，美国NSF启动针对网络科学与工程的研究计划NetSE。并把FIND、SING、NGNI等3个项目并入到NetSE，希望通过跨学科、跨领域的联合研究，突破未来互联网体系结构的研究。2010年NSF又设立了未来互联网体系结构计划FIA。

1.1 全球网络创新环境

2005年NSF出资3亿美元提出全球网络创新环境(GENI)计划。GENI计划的目的是构建一个全新的、安全的、能够连接所有设备的互联网，以促进互联网的发展，并刺激科技创新，促进经济增长。GENI由两部分组成：研究计划和实验设施。“研究计划”的重点是研究创造新的核心功能，包括要超越现有的数据报、分组和电路交换框架，设计新的命名、寻址和身份识别体系结构，设计内置的网络安全机制和新的网络管理机制，使下一代互联网具有高度安全性和可管理性；“实验设施”的重点是研究能够提供包括传感器和无线移动通信设备等在内的多种接入技术，并能够部署和验证新的体系结构。

GENI的设计思想中引入了切片化、虚拟化和可编程，按照需要支持的业务类型虚拟地将网络节点设备划分资源和处理能力。

GENI参考了OpenFlow[4]技术。OpenFlow是一个开放的标准，允许人们在实际网络中运行试验协议，基本思想是：OpenFlow交换机由数据流表、安全通道和OpenFlow协议3个组成部分，网络中的路由和交换设备的最核心的路由和交换信息都存放在“数据流表”里。OpenFlow提出通用的“数据流表”设计思想，每一条“表项”支持规则、操作和状态3个部分。灵活地定义“数据流”，同时“数据流表”支持多种远程的访问和控制，从而达到满足各种需求，控制流量的目的。

GENI项目的发展遵循一种结构化的自适应的螺旋式的过程，包括规划、设计、实现、集成和应用。2009年1月，GENI实现了新的原始的端到端的工作模型的开发、整合和试运行。下一阶段，建立真正的大规模的虚拟实验环境，加强国际合作是其重点。

1.2 未来互联网设计项目

未来互联网设计项目(FIND)是由NSF的“网络系统和技术研究计划”(NeTS)于2005年提出的一个长期计划。FIND在网络体系结构各个方面的研究和设计都尽量做到不受到以往的研究思路的影响和束缚，即“Clean Slate Process”。FIND的目标是设计一种全新的满足未来15年社会需求的下一代互联网，其核心功能应安全、健壮、可管理、集成新的网络技术以及新的网络体系结构理论。

FIND计划初拟分成3个阶段：第1阶段(2006到2008年)关注基础研究，解决互联网安全、命名及路由等基础问题；第2阶段(2009到2011年)提出可能不只一个的网络体系结构方案；第3阶段(2012到2014年)在GENI等实验床上测试和论证。

2009年4月，FIND发布了新的专家评估报告[5]，建议继续FIND项目，并在网络安全、网络管理和项目总体集成方面投入更多研究精力。

1.3 未来互联网研究和试验项目

2007年，欧盟在其第七框架(FP7)中设立了未来互联网研究和试验

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P17

(FIRE)项目。FIRE的主要研究内容包括:网络体系结构和协议的新设计;未来互联网日益增长的规模、复杂性、移动性、安全性和通透性的解决方案;在物理和虚拟网络上的大规模测试环境中验证上述属性。

FIRE和GENI有着很多的相似之处。它们都关注如何搭建试验环境为理论研究提供证据支持。FIRE也希望通过螺旋式的部署方案,突破地理限制,建立全球性的大规模试验环境;FIRE同样采用虚拟化思想,该技术将独立存在的资源和设施联系起来;FIRE同样也具有联盟和跨学科等特点。

1.4 未来互联网体系结构计划

2010年美国NSF设立了未来互联网体系结构(FIA)计划。FIA的目标是设计和验证下一代互联网的综合的新型的体系结构,为期3年(2010到2013年),研究范围包括:网络设计、性能评价、大规模原型实现、端用户应用试验等。FIA资助了4个项目,分别致力于未来网络体系结构研究和设计的不同方向,同时也为集成架构方面有所考虑,为建立综合的可信的未来网络体系结构努力。

NDN[6]项目致力于使互联网支持不考虑内容存储所在的物理位置,直接提供面向内容的功能。NDN网络将通信的模式从关注于“在哪”,例如地址、服务器、端系统,到关注于“是什么”,即用户和应用关注的内容。NDN通过命名数据而不是它们的位置地址,把数据作为基础实体。项目重点研究建立NDN网络面临的技术挑战,包括路由可扩展性、快速转发、信任模型、网络安全、内容保护和隐私,以及新的支持这一设计的基础通信原理。

MobilityFirst[7]项目则致力于对无缝的平滑的移动性的支持,它以支持移动节点间的通信为主,而不再是把对移动性的支持当成互联网连接中的一种特殊情况。这一体系结构使用“全面延迟容忍网络”(GDTN)来提供通信稳定性,关注于移动性和可扩展性的平衡,以及充分利用网络资源来实现移动端点间的有效通信。主要的技术包括分布式的命名服务和延迟容忍的路由和传输等。

NEBULA[8]项目的名字是拉丁文“云”的意思,它是一个体系结构,其中云计算数据中心是主要的数据存储和计算核心。在这一未来的模型中,数据中心被高速的、可靠的、安全的骨干网络连接在一起。这一项目致力于建立一个以云计算为中心的体系结构。

XIA[9]项目致力于构建一种未来互联网体系结构,具有以下特点:可信、支持长期更新的多种使用模型、支持长期的技术革新、支持不同网络组成角色间的明晰的接口。XIA体系结构的核心是XIP协议,该协议支持不同类别目标直接的通信。XIA目标主要指内容、服务和端系统3种情况。协议簇将保留TCP/IP协议族的细腰特性,即在中间采用互操作协议定义最简单基础的功能。

2 中国下一代互联网体系结构研究进展

中国较早开展了下一代互联网的研究,国家自然科学基金、国家重点基础研究发展(“973”)计划项目、国家高技术研究发展(“863”)计划项目、科技支撑计划项目、中国下一代互联网(CNGI)项目都是有力的支持,从基础研究、关键技术突破、推广应用3个层次,展开下一代互联网体系结构研究的探索与实践。

2000年底,国家自然科学基金委支持启动了“中国高速互联研究实验网络(NSFCNET)”项目,研制成功中国第一个地区性下一代互联网试验网络。网络采用当时国际上先进的密集波分复用(DWDM)和IPv6技术,连接了清华大学、北京大学的6个节点,开发了一批面向下一代互联网的重大应用,并通过Internet2,实现了中国下一代互联网试验网与国际下一代互联网的对等互联。同时,国家自然科学基金委员会在“十五”期间,资助了一大批下一代互联网及其应用的探索性研究课题。国家自然科学基金委还先后启动了面向下一代互联网及其应用研究的重大研究计划“网络和信息安全”和“以网络为基础的科学活动环境研究”,重点资助了下一代互联网体系结构、新一代网络应用平台和网络管理的基础理论和关键技术研究、网络计算环境的基础科学理论、网络计算环境综合试验平台、网格计算环境示范应用等研究项目课题。2003年后,国家重点基础研究发展(“973”)计划项目陆续支持了新一代互联网相关研究。

清华大学等5个单位共同承担了国家重点基础研究发展(“973”)计划项目“新一代互联网体系结构理论研究”。这是关于互联网理论研究的“973”项目。主要的研究成果为:

(1)在基础理论方面,围绕新一代互联网络发展过程中的主要矛盾研究新一代互联网络的基础理论问题,重点解决现有网络体系结构的单一可扩展性和网络功能的复杂多样性之间的矛盾、未知的网络行为与确定的传输控制目标之间的矛盾、网络的脆弱性和安全可信需求之间的矛盾和稳定的网络体系结构和不断变化的网络服务需求之间的矛盾。建立新一代互联网络体系结构的多维可扩展模型和分析验证理论;建立互联网动态行为模型和分析理论;建立互联网的资源管理与控制理论;研究互联网的脆弱性模型并建立可信性模型理论;建立互联网的服务模型和服务管理理论;建立系统的互联网科学实验理论框架和多维网络行为观测模型。

(2)在网络体系结构设计和实现方面,基于上述理论成果,设计出面向新一代互联网络的提供多维可扩展的、可管理的、安全的网络体系结构和服务总体框架,设计其中主要的

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P18

协议机制、关键算法并实现可运行验证的原型系统。

(3)在实验平台建设和实验方面，提出互联网基础研究的综合实验验证理论框架，为基础研究成果的实验验证提供理论支持；依托CERNET和NSFCNET，建设一个新一代互联网技术的实验、验证和演示平台，为基础研究成果的实验验证提供实验环境；依托实验平台完成一系列典型实验和展示项目。

2009年该项研究继续得到“973”计划的延续支持，启动了新一期“973”项目“新一代互联网体系结构和协议基础研究”，在前期“973”项目的基础上，从IPv6互联网出发解决互联网的重大技术挑战，继承和发展前期项目初步理论研究成果，不仅注重体系结构的理论探索，同时更加注重体系结构和协议的基础研究，并继续深入研究多维可扩展的网络体系结构及其基本要素，以及体系结构对规模可扩展、性能可扩展、安全可扩展、服务可扩展、功能可扩展、管理可扩展的支持。同时，还面向互联网开始大规模采用IPv6协议，异构环境、普适计算、泛在联网、移动接入和海量流媒体等新应用的涌现，重点解决急需的重大技术挑战(如大规模网络的编址和路由、异构接入网络实时服务质量保证和大规模流媒体高效网络传送等)。

北京交通大学等单位承担的“973”计划项目“一体化可信网络与普适服务体系基础研究”，针对新信息网络的体系理论问题、异质异构网络的一体化问题、新网络体系的服务普适问题、新网络体系下的可信与移动等科学问题展开研究，希望能够创建一体化可信网络与普适服务的基础理论，形成一系列国家与国际标准，并创造性给出一体化可信网络与普适服务的新型体系结构，提出一体化网络广义交换路由、服务标识和连接标识解析映射等机理与原理。项目还研制了原型系统和验证平台，对新型网络体系结构、理论等方面进行验证。

上海交通大学等单位承担的“973”计划项目“无线传感网络的基础理论及关键技术研究”，针对国内外网络技术的发展现状和传感器件制造的发展趋势，以建设大规模、实用化、高可靠的新一代无线传感网络系统所急需的关键技术为突破口，围绕3个关键科学问题展开研究：

(1)低耗自组：适合于动态自组环境下的低耗节能机制。

(2)异构互连

研究不同传感器或传感网络互连的原理。

(3)泛在协同

研究大规模部署的无线传感网络数据协同处理与控制。

项目希望能够实现从传统网络到新一代网络的转变，从系统实体单元的单一同构性到泛在异构性的转变，以能量、时间和空间复杂性最小化为目标，提出一整套无线传感网络基础理论与关键技术的突破，为中国无线传感网络产业的发展提供核心技术的支持。

在示范网络和推广应用方面，2002年初，杨嘉墀等57名院士致信国务院领导，提出建设中国第二代互联网的学术性高速主干网的建议，受到了国务院领导的高度重视。2003年8月，国务院批准了国家发展改革委、科技部、信息产业部、国务院信息化工作办公室、教育部、中国科学院、中国工程院和国家自然科学基金会提出的“关于推动中国下一代互联网发展有关工作的请示意见”，并正式启动中国下一代互联网示范工程。部署建设了6个主干网(覆盖中国22个城市、连接59个核心节点)、2个国内/国际交换中心(北京和上海)、273个驻地网。2005年和2006年共设立103个CNGI技术试验及产业化项目，其中技术试验、应用示范和标准研究项目56个，系统研发及产业化项目47个。2008年底开始，国家组织实施CNGI试商用项目，包括列入国家拉动内需计划的“教育科研基础设施IPv6技术升级和示范应用”重大项目，以及46个业务试商用及产业化项目。来自中国上百所高校、上百个科研机构、所有全国性电信运营商、几十个设备制造商和软件开发商的上万人参加了上述工程建设，建成了大规模下一代互联网示范网络，提供了重大科研和新型业务的试验床，推动了标准制订和国产网络设备产业化，取得了大量示范性应用成果，增强了下一代互联网领域的自主创新能力，锻炼和培养了一批下一代互联网专业人才。

3 下一代互联网体系结构研究的发展趋势

经过十多年时间，人们越来越深刻地认识到下一代互联网研究的重要性、复杂性、艰巨性和长期性。发达国家纷纷把下一代互联网研究列入未来信息技术领域的重点发展方向。面对目前互联网存在的重大技术挑战，单靠一般的技术发明和工程实践，很难找到理想的解决方案。基础理论在下一代互联网研究中具有重要的指导作用。

通过对国际下一代互联网项目，如GENI、FIND、FIRE和FIA的分析，可以看到各国对下一代互联网需求的研究结果基本吻合，认识基本一致，下一代互联网的重大需求主要包括扩展性、安全性、移动性、可管理性、高性能和实时性等方面。

新一代互联网研究计划重大需求如表1所示[10]。

虽然基于共同的研究需求，但各个国家在选择新一代互联网体系结构研究路线上却各有不同。目前，对新一代互联网的研究有两种基本思路，一种思路是基于现有的互联网体系结构来解决面临的重大技术挑战，采用IPv6协议的大规模试验网，攻克和试验相关的关键技术；另一种思路是重新设计一种全新的互联网体系

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P19

▼表1 新一代互联网研究计划重大需求列表

IETF	GENI	FIND	FIRE	中国国家“973”项目
大规模路由扩展性	—	—	可扩展	扩展性
网络安全与可信	安全、高可靠	安全可信；普适感知、计算、内容、数据挖掘中的隐私保护	安全	安全性
IPv6协议应用及过渡问题	高可用、对无线通信等新技术的支持	对未来新技术的适应性	移动性和透明性、对多跳自组网的适应性	移动性
复杂网络环境下的管理	易配置、易管理、易错误定位	可管理、易使用	—	可管理
实时性流量的控制和管理	—	对应用的支持	—	高性能、实时性
—	经济增长持续性	经济增长持续性	—	—

结构来解决面临重大技术挑战。

人们必须承认互联网的技术精髓和成功经验，例如：分层分布式体系结构、无连接分组交换、可扩展的路由寻址、简单实用技术等，这是几十年来互联网迅速发展壮大的根源，是在互联网长期大规模技术试验的基础上逐步形成的体系结构的重要内容。实践表明，互联网体系结构本身具有很好的多维扩展特性。因此，在下一代互联网体系结构研究中，要尽可能继承和发扬目前互联网体系结构的技术精髓，基于IPv6下一代互联网，从基本组成、工作原理和实现机理，攻克重大技术挑战和开发新的革命性应用，开展下一代互联网体系结构的研究。

致谢：

感谢清华大学信息网络工程研究中心任罡博士整理并且提供相关材料。

4 参考文献

[1] WROCLAWSKI J. GENI: Global Environment for Network Innovations [R/OL]. [2011–01–12]. Using the Component and Aggregate Abstractions in the GENI Architecture, GDD–06–42(2006–12–19). http://www.geni. net.
[2] FIND[EB/OL]. [2011–01–12]. http://www.nets–find.net/.
[3] FIRE: Future Internet Research and Experimentation [EB/OL]. [2011–01–12]. http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/.
[4] OpenFlow [EB/OL]. [2011–01–12]. http://www.openflowswitch.org/.
[5] CERF V, DAVIE B, GREENBERG A, ET AL. FIND OBSERVER PANEL REPORT [EB/OL]. [2009–04–09]. HTTP://WWW.NETS–FIND.NET/FIND_REPORT_FINAL.PDF.
[6] NAMED DATA NETWORKING (NDN) [EB/OL]. [2011–01–12]. HTTP://WWW.NAMED–DATA.NET/.
[7] MOBILITYFIRST [EB/OL]. [2011–01–12]. HTTP://MOBILITYFIRST.WINLAB.RUTGERS.EDU/.
[8] NEBULA [EB/OL]. [2011–01–12]. HTTP://NEBULA.CIS.UPENN.EDU/.
[9] EXPRESSIVE INTERNET ARCHITECTURE(XIA) [EB/OL]. [2011–01–12]. HTTP://WWW.CS.CMU.EDU/~XIA/.
[10] 吴建平，刘莹，吴茜. 新一代互联网体系结构理论研究进展 [J]. 中国科学，F辑:信息科学 2008,38(10):1540–1564.

收稿日期：2011–01–10

作者简介

吴建平，清华大学计算机科学与技术系教授、博士生导师，现任中国教育和科研计算机网CERNET专家委员会主任、网络中心主任，下一代互联网核心网国家工程实验室主任，清华大学信息化工作领导小组副组长兼信息化办公室主任，清华大学信息网络工程研究中心主任，还长期担任国家信息化专家咨询委员会委员，中国互联网协会副理事长；已发表学术论文300篇，获得中国技术发明专利30项。

李星，清华大学电子工程系教授、博士生导师，网络与人机语音通信研究所所长，网络中心副主任，美国SigmaXi科学学会会员，亚太网络工作组APNG主席，亚太网络信息中心APNIC执行委员会委员；研究领域为统计信号处理、多媒体通信和计算机网络；已发表论文200篇。

刘莹，清华大学副研究员、博士，中国计算机学会高级会员，中国计算机学会互联网专家委员会秘书长；研究领域为计算机网络体系结构、下一代互联网等；已承担国家级基金项目8项，发表论文30篇。

综合信息

中兴通讯成功演示业界首个MAB方案

【本刊讯】2月17日，中兴通讯在巴塞罗那移动世界大会期间，成功演示了业界首个多种接入绑定(MAB)方案。中兴通讯MAB方案以“All–Join”为品牌，意指一个终端如何同时绑定多种接入。

大会首日，35家世界顶级运营商来到中兴通讯展位VIP厅，观看了现场演示。中兴通讯Uni Core团队成功演示了多种相关应用，如通过UDC统一认证将LTE和WiFi绑定在同一终端，以及使用ISGW绑定多种接入技术等。现场演示过程中，各大运营商对基于LTE的流媒体视频会议和基于WiFi的FTP下载(P2P业务)同时进行表现出极大兴趣。来自欧洲、中东、印度、亚洲等地的众多高端运营商都对现场演示给予了高度赞誉。

MAB方案是解决数据风暴的有效途径，只需极低的成本即可为运营商创造收益。该方案通过接入技术之间的协同，帮助运营商提供优质的服务，并支持3G、LTE、WiFi、WiMAX、Femto等多种技术组合的接入绑定。

中兴通讯是支持全制式接入的核心网设备及方案提供商，在核心网发展和大规模市场应用进程中正迅速成为全球领先者。

D:\MAG\2010–06–91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P20

未来网络虚拟化关键技术研究

Key Technologies in Future Internet Virtualization

中图分类号：TP393.4 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 02-0015-05

韩言妮/HAN Yanni
覃毅芳/QIN Yifang
慈松/CI Song
（中国科学院声学研究所，北京 100190）
(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

摘要： 网络虚拟化可使得多个服务提供商动态组合多个异构的共存却相互隔离的虚拟网。文章提出一种支持上下文感知的网络虚拟化实现方法，通过虚拟化网络资源和动态资源分配与控制技术建立底层资源与上层服务之间的映射关系，通过虚拟化层在应用层和底层基础网络间形成透明的隔离，同时采用认知管理的方式对虚拟化网络进行动态控制，以改善和提升互联网能力，满足端对端服务质量、安全性、可管理性等需求。

关键词： 未来网络；网络虚拟化；资源分配；认知网络

Abstract: Network virtualization allows different service providers to dynamically establish concurrent but isolated heterogeneous virtual networks. This paper proposes network virtualization that supports context-aware. Using allocation and control technology for virtualization network resources and dynamic resources, a mapping relationship is established between substrate resources and upper service. A transparent separation can also be introduced in the virtualization layer between application layer and substrate infrastructure layer, and cognitive management can be implemented to dynamically control the virtualization network. In this way, the Internet can be greatly improved so that end to end QoS, security, and manageability are met.

Key words: future network; network virtualization; resource allocation; cognitive network

互联网从最初只考虑“尽力而为”的数据业务，发展到现在互联网的应用已经无所不包，并进入实时业务、流媒体等领域。据 Internet 系统协会 2009 年 7 月发布的数据显示，Internet 已成为超过 6 亿个节点，核心节点系统处理能力达到每秒太比特级的全球超级信息系统[1-2]。然而，因为互联网是由多种服务提供商提供服务，使得采纳一种新的架构或者在现有架构上进行一些修改变得十分困难，导致现有的互联网技术不利于支持移动性，影响了核心路由的扩展性，降低了现有安全机制的效能，阻碍了网络新技术的发展。为了解决互联网的“僵化”问题并刺激未来网络研究的创新，网络虚拟化的方法被提出来，并成为未来网络研究工作的重点[3-5]。通过允许网络共享相同的物理链路和路由器等物理资源，构建健壮的、可信的、易于管理的虚拟环境，为各种各样的虚拟网请求分配合适的虚拟资源，实现资源共享，提高基础设施资源利用率，是网络虚拟化的主要目标。

基金项目：国家自然科学基金项目(60372048、60496316、2010ZX03004-002)

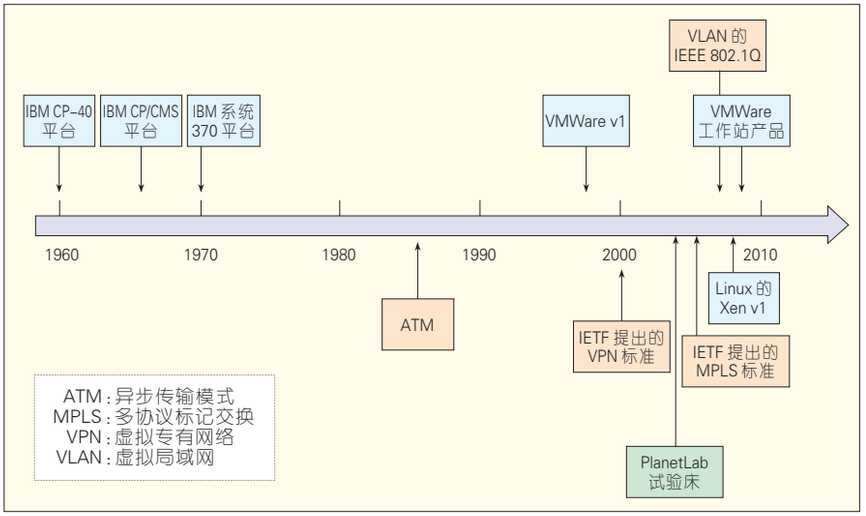
1 虚拟化的发展历程及技术基础

虚拟化在信息和通信领域是一个非常宽泛的概念。这个概念首次于 1960 年在计算机领域被提出，表示从物理资源中抽象出逻辑计算资源的通用技术。重要虚拟技术的发展历程如图 1 所示。虚拟技术与隐藏/共享物理有关，同样也包括虚拟资源，例如目标操作系统、硬件、CPU 和嵌入系统、网络或实践中采用的存储。目前存在很多虚拟化概念。在计算机领域虚拟化技术已被应用到了内存虚拟化、存储虚拟化和桌面虚拟化中；在通信领域，虚拟化与许多技术相关，例如异步传输模式(ATM)虚拟电路、多协议标记交换(MPLS)虚拟路径、虚拟专有网络(VPN)、虚拟局域网(VLAN)、虚拟重叠网。

1.1 虚拟局域网

一个虚拟局域网(VLAN)是逻辑上在同一广播域下连接起来的一组主机，而与它们的物理连接无关。虚拟局域网在网络执行、管理和重新配置等方面十分灵活。传统的 VLAN 基本上基于第二层构建。一个 VLAN 中的所有帧在 MAC 头中具有一个共同的 VLAN ID，支持 VLAN 的交换机实用目的媒体访问控制(MAC)地址和 VLAN ID 来转发帧。多个交换机上

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P21



▲图1 重要的虚拟技术的发展历程

的不同VLAN可以通过中继的方法连接起来。

1.2 虚拟专用网

一个或多个企业的专用通信网，其节点是分布式的，通过公共通信网以隧道方式连接起来。每个虚拟专用网(VPN)包括一个或多个用户边缘(CE)设备，这些CE连接到提供商边缘(PE)路由器上。VPN曾经取得了巨大的成功，但是VPN距离网络虚拟化还有一些差距：所有的VPN网都基于相同的技术和协议栈，限制了多种组网方案的共存；虚拟网资源无法实现真实的隔离，VPN服务提供者和设施提供者的角色依然没有分开。

1.3 重叠网

重叠网是在现有网络物理拓扑结构之上创造的虚拟拓扑结构。重叠网中的节点通过虚拟链路相连接，对应底层网络中的路径。从路由器的性能和利用率、多播、服务质量(QoS)、服务攻击的保护、内容分发到文件共享和存储系统，重叠网在研究中得到了广泛关注。重叠网通常是在应用层执行，如P2P网络是在应用层上的重叠。但重叠技术不能实现路径分离，同时只能在基于IP层上的应用层进行部署和设计，因此不能支持异构的网络架构。

目前的网络虚拟化技术，例如ATM、MPLS和其他类似的技术主要是链路的虚拟化而不是全网络解决方案的虚拟化。而更高级的一些解决方案，例如VPN，仅仅是使用公用网络的技术来满足安全、共享、应用的可兼容执行环境，只能提供简单的虚拟连接或IP转发，不能用于端到端的部署或底层基础设施的全虚拟化。重叠虚拟网的许多方案通过引入应用层网络，更接近于全虚拟化的概念。为了支持未来网络“演进”式架构，需要使用网络虚拟化技术提供虚拟网络环境，允许多个服务提供商，将许多网络实例部署在一个公共的物理网络设施上，动态组合出异构、共存却相互隔离的虚拟网。但是这种虚拟化网络的类型一定不能与当前的技术混淆，如虚拟专有网络，仅提供一种通信隔离，而虚拟化网络需要在未来网络架构下将IP网络与并行的非IP网络进行自治的管理控制和灵活的安全隔离，以提高使用网络虚拟化作为未来网络的基础。

2 国际上的研究项目

2.1 PlantLab项目

PlantLab[6]是一个支持新的网络服务而开发的全球性重叠网。PlantLab结合分布式系统和网络虚拟化的优势实现节点的虚拟化，用于设计、评价、部署地理上分布式的网络服务。PlanetLab架构的设计中心思路是切片。每个服务运行在PlanetLab的一个切片中，一个切片包含一定数量的进程、内存、存储和跨越很多分布式独立节点的网络资源。切片不仅仅是分布式资源的简单相加，更是虚拟机的网络。切片把物理资源分配到每个虚拟机上。

2.2 Geni项目

Geni[7]借鉴PlantLab和其他类似的试验床，通过搭建一个开放、大规模、现实的实验设施，代表终端用户承载真实流量并连接现有互联网到外部站点。Geni实现评价新的网络架构创新的全球环境，从而为研究者提供一个创建定制虚拟网络和无限制实验的机会。GENI从空间和时间两个方面将资源以切片形式进行虚拟化，为不同网络实验者提供他们需求的网络资源(如计算、缓存、带宽和网络拓扑等)，并提供网络资源的可操作性、可测性和安全性。

2.3 VINI项目

VINI[8]类似于PlantLab但更接近于GENI。VINI同时支持X-Bone或VIOLIN的虚拟网络。VINI提供了比PlantLab更多的自由，因为PlantLab仅仅在路由器层次上实现虚拟化。VINI的原型在PlantLab上实现，通过将可获得的软件进行组合，实现运行软件路由器的重叠网的具体实例，并允许多个这样的重叠网并行存在。VINI使用XORP来路由，Click来进行包转发和网络地址翻译，并用OpenVPN服务器来连接终端用户。

2.4 CABO项目

CABO[9]实现了完全虚拟化，将因特网业务提供商(ISP)的角色进行分解，允许服务提供者同时在不同的基

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P22

础设施提供者拥有的设备上运行多个端到端的服务。CABO支持虚拟路由器的自动迁移，从一个物理节点到另外一个物理节点。同时CABO提出的多层路由计划具有可扩展特性，能快速响应网络条件的任何改变。在支持可编程路由器方面，CABO类似于主动网络的研究，但不允许用户对网络编程，而服务提供者可以定制网络来为终端用户提供端到端的服务。

2.5 4WARD项目

4WARD虚拟化框架允许多个网络在一个通用的平台上，通过网络资源运营级的虚拟化进行共存。4WARD可以支持异构虚拟网络在一个安全、可信的商业环境下，进行按需的实例化和可靠的互操作。4WARD同时支持异构网络技术的虚拟化(包括有线和无线)、异构终端用户设施和新型网络协议等。这些都是4WARD核心框架设计的一部分，但4WARD期望将网络虚拟化带给终端用户，而不仅仅把它限制在试验网络或试验床上。

从上述研究计划中，可以看出目前虚拟化技术在网络技术、协议层次和虚拟粒度上出现了3种趋势[10-11]。

(1)粒度越来越细

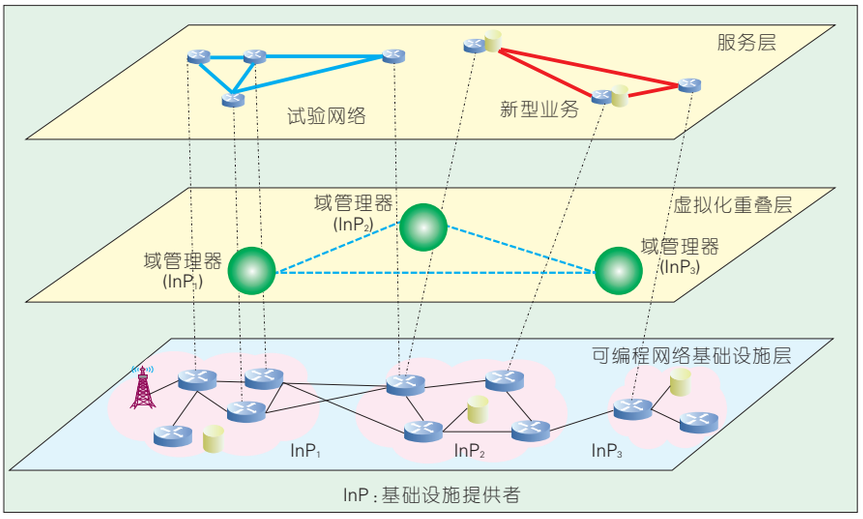
早期的虚拟化项目只关注在连接的虚拟节点或在物理节点之间部署虚拟链路，实现虚拟网的隔离。最近的研究例如GENI、4WARD等，不仅仅实现节点或链路的虚拟化，更关注通过有效的完整隔离实现服务器、交换机、网络管理平面的虚拟化。

(2)层次越来越低

虚拟网络的研究存在着不同的分层，从物理层(如UCLP)到应用层(如VIOLIN)，虚拟化的层次越低。虚拟网络对更高层的协议越来越不可知，虚拟网络的灵活性将更高。

(3)越来越关注网络的异构环境

随着移动和无线设备数量的增加，专门网络技术的出现(例如传感器网络)。网络虚拟化尝试在一个集成环境下兼容多种异构网络技术，更关注平滑不同技术的差异。



▲图2 网络虚拟化的分层模型

3 支持上下文感知的网络虚拟化技术

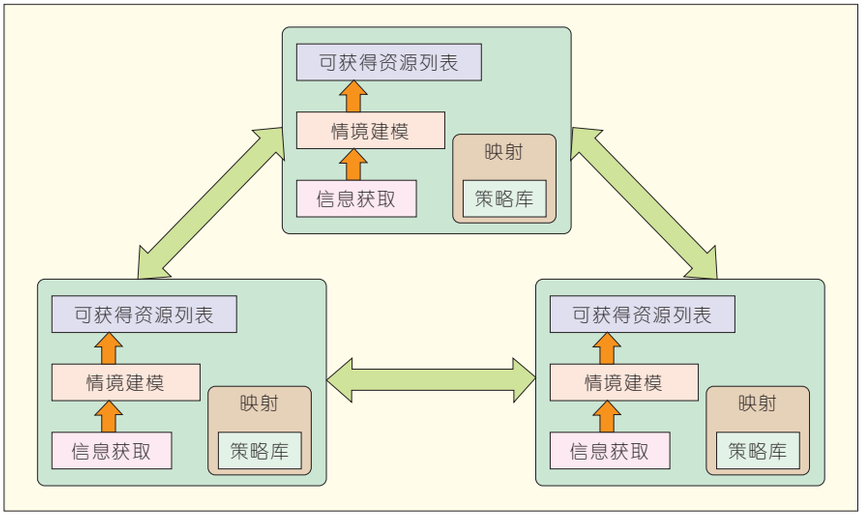
可以看出，网络虚拟化技术可以不受现有互联网“僵化”设计缺陷影响，通过虚拟网络环境为新技术的测试、验证提供创新的试验平台，支持不同网络架构的共存与管理，激发网络技术的创新，提高网络的灵活性。另一方面，现有互联网的QoS保障机制存在缺陷，互联网仅提供“尽力而为”转发服务，难以满足上层业务的QoS需求，通过虚拟化的方法，对底层资源(包括链路资源、节点资源等)优化组合，可以动态获得较为可靠的QoS能力，从而支持上层业务的QoS需求。因此，本文提出一种支持上下文感知的网络虚拟化实现方法，从虚拟化的分层模型、动态资源分配与控制和虚拟网络创建流程3个方面进行介绍。

3.1 分层模型

在网络虚拟化分层模型中，包含如下3层结构：基础设施层、虚拟化重叠层以及服务层，如图2所示。基础设施层由众多的基础设施提供者(InP)组成，每个InP包括大量的可编程的支持虚拟化的节点，例如路由器及终端服务器等。InP通过虚拟化资源统一描述方式将底层资源的细节屏蔽，为上层提供统一的虚拟资源抽象。虚拟化重叠层基于分布式智能多代理系统，由一系列分布的域管理器组成。每个域管理器对应相应的一个InP。域管理器负责资源的探测、抽象，虚拟资源的分配、调度，虚拟网的创建、实例化。服务层由众多相互隔离的虚拟网组成。这些虚拟网由用户或者用户代理发起的请求进行驱动，由域管理器进行调度、分配、创建，完成特定的功能。这些特定的功能主要包括两大方面：新型网络协议、架构的测试验证和针对特定的服务需求，实现特定的虚拟专网。

对于虚拟化层中域管理器之间的协同和交互问题，可以采用集中或分布式的管理方式，按照特定的协议交互信息，以获得相关域管理器的资源信息。每个域管理器内部由一系列相应的功能模块构成：资源发现、情境建模、资源映射以及特定的策略库等组成，如图3所示。资源发现主要是确定它们管理网络的拓扑和相应网络元素的状态，更进一步，邻近的域管理器也同样共享状态信息，在网络之间建立链路，实现域间虚拟网络的构建。虚拟资源映射主要是按

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P23



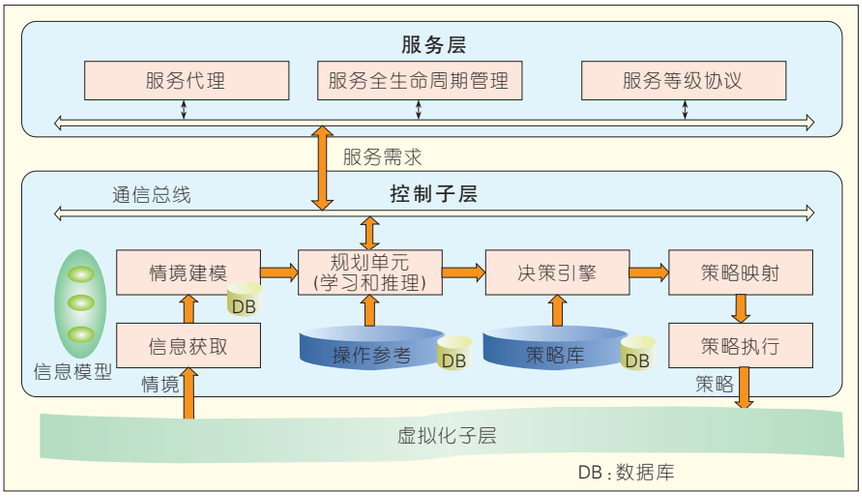
▲图3 域管理器之间的交互

照策略库中的约束对虚拟节点和虚拟链路分配到相应的物理的节点和路径上，目前主要有静态分配和动态分配两种方式[11-13]。

3.2 动态资源分配和控制

虚拟化重叠层逻辑上可以分为虚拟化子层和控制子层，不仅可以实现网络隔离与资源共享，同时可以与业务层面进行交互，并对底层网络基础设施进行集成与管理，实现互联网的上下文感知和资源的优化配置。业务感知的动态资源分配和控制如图4所示。这里借鉴通信网络的认知技术，感知当前内外环境和网络状态的变化，并依据网络整体目标及端到端需求，通过执行适当的学习推理机制，利用感知到的网络环境和状态信息获取网络自主决策，实时动态地调整网络配置，从而使网络可以通过自管理和自学习能力来完成管理任务的自动化，最终实现对网络的自配置、自优化、自恢复和自保护等操作。

可以看出这些需要感知的信息与资源或拓扑发现和资源消耗及资源可用性等相关。感知通常包括2个部分：网络资源感知(资源发现、可利用资源的定性和定量评价和故障检测)及网络状态感知(提供资源消耗和承载流量属性信息的操作)。通过监控网络运行的上下文以及运行的网络状态，以评估网络当前行为是否与其业务目标相符。规划单元的主要功能则是对所采集的信息进行学习和推理，实现对网络资源可用性，以及所处网络环境变化实现实时识别和感知的目的，并依据认知结果进行动态决策，从而指导网络进行智能重构。网络的智能重构可以采用基于策略的网络管理方式。网络管理策略是一组规则，每条规则由一组条件和动作组成。条件中定义了规则使用的参数，一旦规则的条件满足，规则中的动作就能够被触发，从而实现系统自动调整功能。基于策略的网络管理的是一个系统化的网络管理系统，它强调的是系统能够在运行时依据管理者设定的目标需求，对网络资源进行动态的配置和重配置，从而达到动态适应网络环境变化，优化网络资源利用率的目标。



▲图4 业务感知的动态资源分配和控制

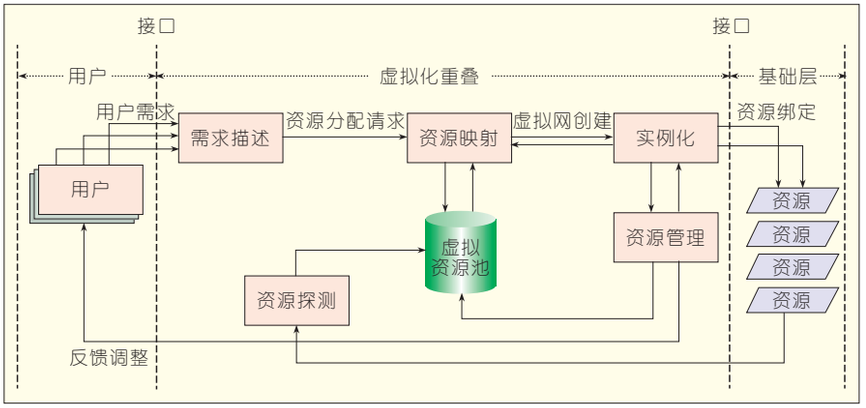
3.3 虚拟网络的创建流程

基于上述的分层架构和动态资源分配技术，可以实现虚拟网络的创建流程，其中虚拟资源的抽象、映射、管理是网络虚拟化的关键。虚拟网流程如图5所示。

首先终端用户发起资源请求，通过统一资源描述的方式对用户需求与物理资源的描述进行相似度匹配，其中需求的描述包括节点的数目、处理能力、链路的带宽，拓扑信息等。目前的虚拟资源描述解决方案多是用可扩展标记语言(XML)进行描述，从而满足灵活性、可扩展性、层次性、安全性等需求。

其次进行虚拟资源的映射，也称为“虚拟网的嵌入”。即在用户将需求准确的描述给域管理器后，域管理器将这些虚拟网络请求进行划分，分别映射到不同的基础设施提供者上，这也是虚拟网创建过程中最重要的环节。资源映射属于多目标多约束问题。一方面，要同时满足用户的节点、链路的需求；另一方面，要使得资

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P24



▲图5 虚拟网流程图

源的开销最低、InP收益尽量最大化，还要兼顾负载均衡等问题。目前基于代理的集中式和基于策略的分布式映射算法是域间虚拟网络映射的热点研究问题。这个过程涉及到虚拟资源的动态探测，通过域管理器周期性的扫描本地域所管理的资源，将资源的属性和状态收集、储存起来，放到虚拟资源池中，并以列表的形式招贴出来，供其余的域管理器查看、调度。

最后是虚拟网的实例化构建。域管理器选定可用的虚拟资源后，进行资源绑定而实现虚拟网络的实例化，将用户需要的虚拟环境安装到底层的设备中，在虚拟机中部署用户需要的协议、软件等，如支持某种路由协议的XORP软件，然后将这些资源连接起来，形成用户需要的特定虚拟网络。在虚拟网进行实例化后，用户可以通过域管理器提供的接口(Web接口或SSH接口等)对虚拟网络进行管理和控制。同时规划单元负责虚拟网状态的监控，按照用户反馈的信息对虚拟网进行动态的局部调整，如增加或者删减某些节点，扩大或者缩小链路的带宽等。在虚拟网的生存周期结束时，域管理器将会注销虚拟网，收回绑定的资源，并更新虚拟资源池中的资源状态。

4 结束语

当前互联网“端到端透明”的原则设计只是提供简单尽力而为地传递信息，在服务质量、安全性、可扩展性和可管理性方面存在严重的缺陷。因此未来网络需要业务的上下文感知和网络资源的优化传输。本文通过虚拟化网络资源和动态资源分配和控制技术建立底层资源与上层服务之间的映射关系；通过虚拟化层，在应用层和底层基础网络间形成透明的隔离；采用认知管理的方式对虚拟化网络进行动态控制，改善和提升互联网能力，满足端对端QoS保证、安全性、可管理性等需求，适应服务和资源来满足用户的需求和业务目标。

5 参考文献

[1] BONIFACE M, SURRIDGE M, UPSTILL C. Position paper: Research challenges for the core platform for the future Internet[R]. University of Southampton IT Innovation Centre.2010(1):1–9.
[2] HUSTON G. Analyzing the Internet's BGP routing table [J]. The Internet Protocol Journal, 2001,4(1):2–15.
[3] SCHRECK G. The virtualization imperative: why virtualization is the key to IT flexibility [R]. Forrester Research, Inc, 2007.
[4] 4WARD –– Architecture and design for the future Internet, D–3.1.1 Virtualisation approach: Concept [EB/OL]. [2011–01–08]. Objective FP7–ICT–2007–1–216041/ D–3.1.19(2010–09–09). http:// www.4ward–project.eu/ index.php%3Fs% 3D.
[5] MARQUEZAN C, NOBRE J, GRANVILLE L, et al. Distributed reallocation scheme for virtual network resources[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'09), Jun 14–18,2009, Dresden, Germany. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009.
[6] CHUN B, CULLER D. PlanetLab: An overlay testbed for broad–coverage services [J]. Computer Communications Review, 2003,33 (3):3–12.
[7] WROCLAWSKI J. GENI: Global Environment for Network Innovations [R/OL]. [2011–01–08]. Using the Component and Aggregate Abstractions in the GENI Architecture, GDD–06–42(2006–12–19). http://www. geni.net
[8] About VINI:What is VINI [EB/OL]. [2011–01–08]. http://www.vini–veritas.net/.
[9] FEAMSTER N, GAO L. REXFORD J. How to lease the Internet in your spare time [J]. Computer Communication Review, 2007, 37 (1): 61–64.
[10] MOSHARAF KABIR CHOWDHURY N M, RAOUF BOUTABA R. A survey of network virtualization [J]. Computer Networks,2010, 54(5):862–876.
[11] YU M, YI Y, REXFORD J, et al. Rethinking virtual network embedding: Substrate support for path splitting and migration [J]. Computer Communication Review, 2008,38 (2): 17–29.
[12] HOUIDI I, LOUATI W, ZEGHLACHE D. A distributed virtual network mapping algorithm [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'08),May 19–23, 2008, Beijing, China. Piscataway, NJ,USA: IEEE,2008:5634–5640.
[13] ZHU Y, AMMAR M. Algorithms for assigning substrate network resources to virtual network components[C]//Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Computer Communications(INFOCOM'06), Apr 23–29,2006,Barcelona,Spain. Piscataway,NJ,USA:IEEE, 2006: 12p.

作者简介

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担任助理研究员；主要研究方向为未来网络和网络科学。

覃毅芳，中国科学院声学研究所在读博士研究生；研究方向为认知网络技术、移动通信技术、分布式计算和P2P网络技术等。

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 MMTC SIG Chair；已发表论文80篇，申请专利2项，撰写专著1部。

D:\MAG\2010–06–91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P25

支持未来网络创新的可编程虚拟化路由器技术

Programmable Virtual Router Technologies that Support Future Internet Innovation

中图分类号：TP393.4 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 02-0020-05

贺鹏/HE Peng
关洪涛/GUAN Hongtao
谢高岗/XIE Gaogang
（中国科学院计算技术研究所，北京 100190）
(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

摘要： 未来互联网体系结构、协议、算法需要在试验网络中进行评估与验证。可编程虚拟化路由器是构建未来互联网试验床的核心设备。由可编程虚拟化路由器构建的试验床可以在一个物理网络上构建多个独立虚拟网络，实现不同体系结构并行实验验证。相比传统路由器，可编程虚拟化路由器需要具备虚拟化与灵活可编程的特点。文章给出一种支持未来网络创新的可编程虚拟化路由器平台——PEARL。PEARL具有可编程、虚拟化隔离与高性能的特点，可满足未来互联网试验床建设要求。

关键词： 未来互联网；虚拟化；可编程；路由器

Abstract: The architecture, protocols, and algorithms of the future Internet need to be evaluated and verified in the network testbed. A programmable virtual router is one of core components of the future Internet testbed. Using programmable virtual routers, the testbed can build multiple independent virtual networks on one physical network, and parallel experiment authentication can be realized for different system architectures. Compared with traditional routers, programmable virtual routers require virtualization and flexible and programmable features. This paper proposes a programmable virtual router platform called PEARL that supports future Internet innovation. Programmable, virtual isolation and high-performance of PEARL, can meet the requirements of future Internet testbeds.

Key words: future Internet; virtualization; programmability; router

传输控制协议/网间协议(TCP/IP)体系结构面临挑战，未来互联网研究成为热点[1-2]。未来互联网体系结构、协议、算法与实现技术在部署之前需要大量的理论分析与仿真实验，更需要在试验网络系统中进行评估与验证。由于路由器的封闭性与正常业务对试验的影响，在现有的互联网上实现、验证和部署新体系结构、新协议与新算法非常困难，这严重制约了互联网体系结构的发展和创新。例如，TRILL[3]系统从设计实现到部署花费了6年时间。

为了解决该问题，研究者提出了网络虚拟化的思想：在一个实际的物理网络上构建多个独立且互不干扰的虚拟网络平面(Slice)，不同的虚拟网络平面可以采用不同的体系结构与协议栈，每个Slice为网络创新研究提供真实有效的并行实验平台。多个虚拟网络可以分别处理不同类型的业务流量，并根据业务的特性提供功能扩展服务，从而满足物联网、云计算等新兴应用和技术对未来互联网的需求。

与每个单独搭建的物理网络不同，虚拟网络构建更快捷与方便，在不影响现有互联网正常运行条件下满足网络新应用和新技术研究的评估与部署等需求，并将这些网络创新思想更快速地部署到实际网络中。

为了满足实验评估与部署需要，作为互联网核心设备的路由器必须具备以下特性：

(1)虚拟化与隔离性

虚拟路由器是在一台物理路由器设备上可同时运行多个独立虚拟的逻辑路由器。设备管理者为每个独立的虚拟路由器单独分配带宽、处理器和缓存等资源，并实现相互隔离的配置管理。

(2)灵活的可扩展可编程机制

虚拟路由器要求开放性和灵活性，即提供各种层次的编程接口，以支持IP或非IP等多种网络体系结构和协议的改进和创新。

(3)高效数据包处理能力

虚拟路由器需要承载多个逻辑路由器的业务，其多个路由表(或流

基金项目：国家自然科学基金项目(60903208)；中国科学院重大科研装备研制项目(YZ200926)

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P26

表)存储与数据包查询等面临着巨大的性能挑战。同时,可编程性要求大量的数据包处理流程由软件模块来实现,这也对虚拟路由器的高效数据包处理带来更多困难。

本文讨论了当前可编程虚拟化路由器结构,分析了虚拟化、可编程以及高效数据包处理等关键技术,并介绍一种支持未来网络创新的可编程虚拟化路由器平台——PEARL。

1 可编程虚拟化路由器结构

传统路由器是由硬件设备层、操作系统层和路由管理层等3个逻辑层次所构成,如图1所示。可编程虚拟化路由器是在操作系统层中引入虚拟化技术,从而在同一硬件设备层上构建多个虚拟的路由管理层,从而实现多个并行的虚拟路由器。可编程虚拟化路由器不仅面临传统路由器的性能挑战,而且存在如何折衷考虑高效数据包处理与灵活可扩展可编程等需求。此外,虚拟化技术的引入还带来了如何实现路由器虚拟化和虚拟路由器之间的相互隔离等新问题。

路由器结构研究的核心问题是如何折衷考虑高效数据包处理与灵活可扩展可编程。由于互联网飞速发展带来网络链路速率不断提升,对于传统路由器,设备制造商和研究人员主要关注其高效数据包处理能力。当前互联网的骨干链路带宽已达40 Gb/s,而且还在不断提升,这要求路由器必须具备处理高速链路数据的能力。因此,设备制造商一直致力于研制高性能核心路由器。例如Cisco公司的CRS1高端路由器的最大吞吐量可达92 Tb/s。但是,在传统路由器结构研究的发展过程中,研究者对高性能和高速度的极致追求(例如传统路由器采用专用硬件实现数据包处理),将降低其灵活性和可扩展性。为了克服上述问题,虚拟路由器采用数据平面与控制平面相分离的结构,在兼顾高效数据包处理的同时,增强其灵活可扩展可编程能力。

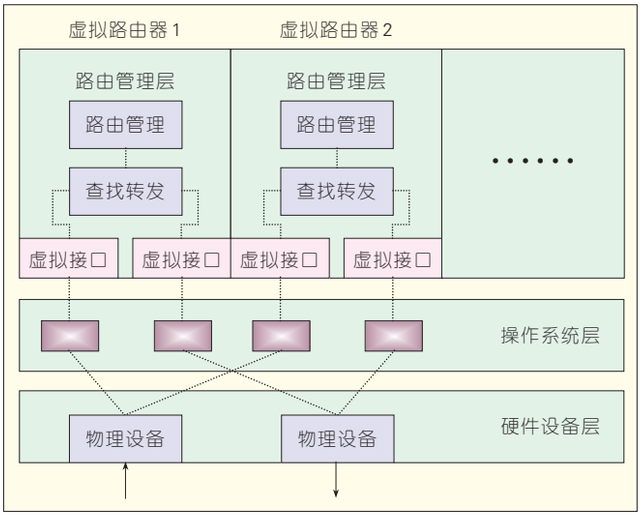


图1 可编程虚拟化路由器结构

近年来,除了研究高效数据包处理,许多研究者开始关注路由器的可扩展与可编程性等问题。例如,Morris等人[4]提出了的基于模块的软件路由器——Click。Click是一个基于软件实现的路由器结构,其核心思想是将组成路由器的各个部分模块化,用户可通过组合配置这些功能模块,对路由器进行自定义扩展。Click采用了数据平面与控制平面相分离的结构,在控制平面上采用XORP[5]等通用路由管理组件,因此具有良好的灵活性和通用性。

随着CPU处理能力的不断提高,路由器的高效数据包处理与灵活可扩展可编程性之间的冲突获得了一定缓解,但是可编程虚拟化路由器仍然面临如何实现支持虚拟化等新问题。当前虚拟化技术主要应用于通用计算机系统中,可支持跨操作系统及异构平台的多种应用。但是,通用计算机系统的虚拟化技术主要执行计算和调度任务,而路由器的虚拟化技术要求执行数据包查找与转发任务。特别是,在数据平面与控制平面相分离的路由器结构中,控制平面的虚拟化实现可采用当前通用计算机系统的虚拟化技术,而数据平面的虚拟化实现则需要新的虚拟化技术。国内外在可编程路由器的虚拟化技术方面尚处于起步状态,主要研究如何有效实现数据平面的虚拟化支持,以及多个虚拟数据平面之间如何相互隔离等。

2 相关技术研究进展

2.1 虚拟化技术

可编程虚拟化路由器的控制平面虚拟化可采用通用计算机系统的虚拟化技术。当前通用计算机系统的虚拟化技术按照虚拟层次不同可分为3类:全虚拟化、半虚拟化和操作系统级虚拟化。

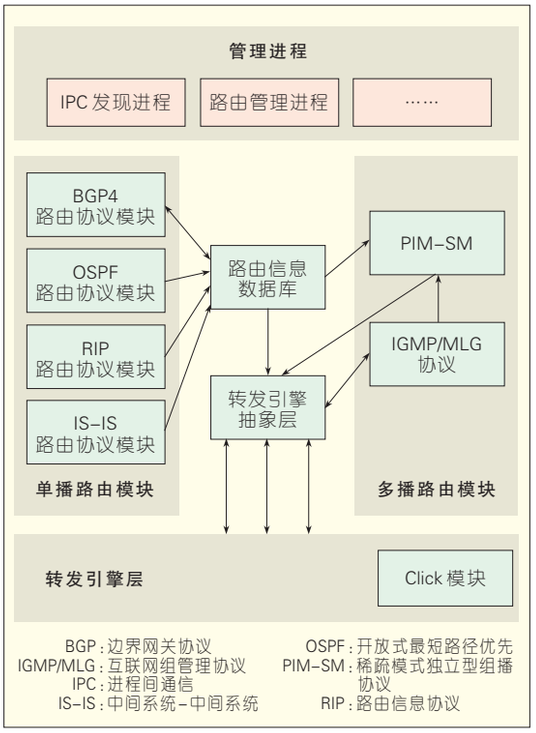
(1)全虚拟化

全虚拟化又称本地虚拟化技术,其典型代表是VMware和KVM[6]。该技术在操作系统和底层硬件之间采用一个中间层Hypervisor,使得底层硬件可被上层操作系统共享访问。当客户操作系统执行某项特权指令时,中间层将接管该段代码,并执行对应的操作。由于在全虚拟化技术中,客户操作系统不能对底层硬件进行任何直接控制,而必须通过中间层进行代理,导致输入输出(I/O)性能会受到一定影响。

(2)半虚拟化

半虚拟化技术又称准虚拟化技术,其典型代表是Xen[7]和UML[8]。该技术也采用中间层来隔离底层硬件

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P27



▲图2 利用Click和XORP构建的软件路由器功能模块

和操作系统。不同的是，该技术通过修改操作系统代码，让客户操作系统本身知道其运行在一个虚拟化平台上。该技术能够显著提升虚拟化技术的I/O性能。但是，由于半虚拟化技术需要对操作系统代码进行修改，其实现非常复杂，且较难应用在非开源的商业操作系统上。

(3)操作系统级虚拟化

操作系统级虚拟化相对与前两种虚拟化技术最大的不同是其轻量化特点，其典型代表是OpenVZ[9]、Linux-VServer[10]、LXC[11]。该技术利用操作系统所提供的一些机制(如Linux中命名空间)，将一组进程放入到“容器”中，与主操作系统的进程隔离开来，并采用这些机制限制该组进程的CPU和内存占用率，从而实现虚拟化技术中资源隔离与分配。该虚拟化技术只能运行在特定的操作系统上(例如Linux)，且所有虚拟机共享一个内核。因此，该技术的优点是虚拟化开销非常小(但是不能运行多个异构的操作系统)，非常适合虚拟化路由器这样功能单一且性能需求较高专用设备。

2.2 可编程设计

Click采用XORP可实现一个功能灵活的软件路由器。图2给出了利用Click和XORP构建的软件路由器功能模块图。在图2中，XORP主要完成路由计算、路由表维护和路由管理等功能，而Click主要完成数据平面的协议栈处理、数据包查找与转发等功能。

Handley等人认为，现有商业路由器具有封闭性，导致新路由协议研究缺乏一个可靠测试平台，从而提出了XORP。XORP是旨在提供一个开放的、可扩展的路由器软件平台，方便研究者部署和实现新路由协议。XORP采用多进程机制，通过转发引擎抽象层将数据包交换、路由计算和转发引擎等隔离出来，不仅增强了鲁棒性，而且保证了其开放性。

与XORP类似，Quagga也是一个功能灵活的路由器软件平台。Quagga具有路由收敛更快、兼容性更好、更加轻量化等优点，已经被工业界和教育研究机构广泛采纳，并获得大量实际应用验证。例如，Vyatta公司的商用路由器采用了Quagga作为其路由管理软件系统。

与XORP和Qugga等不同，Click是一个针对路由器数据平面的模块化可编程平台。Click的目的是为了在数据平面上实现灵活的功能配置和模块的可重用性。不过，通过调节和配置Linux内核也可实现Click的相同功能和效果。

2.3 数据包转发加速方法

随着通用计算机和普通网卡性能的不断提升，可编程性软件路由器在数据包转发效率上也获得了提升。近年来，研究者对通用平台下的数据包转发性能进行了不断优化工作。例如，内核版本的Click路由器采用轮询方式读取数据包[12-13]，在普通网卡上获得很高的小包转发性能。该方法的优点是采用通用网卡实现数据包转发，可扩展性强、灵活方便。Dobrescu等通过充分挖掘单个物理网络设备的吞吐量潜力，利用集群技术提出了高性能软件路由器RouteBricks，从而有效提升软件路由器的整体性能。Huang等人[14]提出了路由表压缩算法，从而以更低的存储空间开销实现基于软件的高性能路由查找，适合可编程软件路由器的性能需求。Han等人[15]利用通用GPU提出了高速软件路由器——PacketShader，可实现高速路由查找，实现了高效数据包查找与转发。

3 可编程虚拟化路由器实例

(1)vRouter

Egi等人[16]提出了典型的虚拟路由器架构——vRouter。vRouter是一种基于通用计算机平台的纯软件虚拟路由器。vRouter利用普通网卡的硬件多队列特性，提供不同数据平面的数据隔离；采用Xen虚拟技术，提供不同的控制平面隔离性；利用内核态Click的轮询技术提高数据包转发吞吐量。Keller等人[17]采用Linux-VServer虚拟技术和Click搭建了一个改进的虚拟路由器平台，克服了vRouter的内核态Click只能使用一个配置文件等问题。该虚拟路由器平台可使用多个Click配置，确保不同的虚拟路由器的自定义数据平面。vRouter及其改进研究在虚拟化和可编程性上表现优良，但是由于采用纯软件的实现方式，其性能及可扩展性较差。

(2)CAFE和SwitchBlade

与纯软件虚拟路由器不同，Anwer等人采用NetFPGA硬件[18]实现了多个虚拟路由器的数据平面，每个数据平面采用相同结构，实现数据包

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P28

查找与转发等功能。Lu等人[19]提出了一种可配置的数据转发引擎CAFE。CAFE采用不同API配置底层硬件，实现不同的数据平面，从而避免了底层硬件的重新设计。Anwer等人[20]提出了一种虚拟路由器的模块化的流水架构SwitchBlade，支持硬件可编程行，从而在确保底层硬件的高速转发性能前提下，支持新路由协议的快速原型实现与部署。基于专用硬件的虚拟路由器要求在保证其高性能的同时，支持底层数据平面的可扩展性。上述这些研究只关注硬件数据平面的可编程性，未解决好虚拟路由器结构在性能和可编程行之间折衷问题。

(3)OpenFlow

斯坦福大学提出了一种新型数据包交换设备——OpenFlow[21]，其采用数据平面与控制平面完全分离的结构，采用十元组规则(即MAC地址对、IP对、端口对等)作为数据平面的数据包转发规则，从而实现不同于传统IP协议的数据包转发策略。OpenFlow较好地体现了可编程性，但是OpenFlow实质上是一个跨层次交换设备，无法作为支持路由交换的虚拟化可编程路由器。

4 可编程虚拟化路由器平台

为了折衷兼顾性能和灵活可编程性，本文提出了一个支持未来网络创新的可编程虚拟化路由器平台——PEARL。PEARL采用通用计算机和专用数据包处理卡相结合的方式来构建可编程虚拟化路由器。专用数据包处理卡内嵌TCAM和SRAM存储器，可实现线速路由查找和转发等功能，而通用计算机采用高性能多核处理器作为路由管理，利用操作系统级虚拟机LXC实现对控制平面虚拟化的支持。因此，PEARL不仅实现虚拟化、灵活可编程，而且兼具良好的数据包转发性能。

(1)虚拟化及隔离性

在软件层面，PERAL采用的操作系统级虚拟机LXC通过Linux内核所提供的一些特性，给每个虚拟路由器提供了独立的“容器”，在实现共享CPU和内存资源的基础上，确保资源分配的可配置性和虚拟机间的相互隔离。在硬件层面，专用硬件数据包处理卡执行上层软件对于各个虚拟路由器数据平面的配置，实现数据通路的资源分配与隔离。软硬件之间则通过多个独立的I/O通道来实现不同虚拟路由器间的数据互不干扰。该软硬件相结合的实现方式可实现路由器虚拟化所要求的高度隔离性。

(2)配置和可编程的灵活性

PEARL的灵活性体现在两个方面：配置灵活性和可编程灵活性。在配置方面，PEARL提供了两种虚拟路由器实例，即高优先级和低优先级虚拟路由器实例。每个高优先级实例独自享有一个高性能I/O通道，并且在底层数据包处理卡上拥有独立三态内容寻址存储器(TCAM)空间，从而加快查表速度。高优先级实例适合需要处理大流量和复杂操作等网络应用。低优先级路由器共享一个I/O通道，并且没有专门TCAM硬件用于查找加速，适用于小流量的网路应用，例如新路由协议实验平台。PEARL通过提供上述配置的灵活性，从而满足实际应用的不同需求。在可编程方面，PEARL支持用户采用插件方式，直接嵌入其代码在数据包处理的守护进程中，或采用著名的Socket API来处理数据包。由于未采用系统调用，前种方式的性能比后种方式较高；后种方式支持某些Demo程序(例如OpenFlow)不做任何修改就可以运行在PEARL上，具备更好的通用性。

(3)高效数据包查找与转发

在PEARL中，专用数据包处理卡采用高速PCIE总线接口，因而具有极高的数据吞吐能力，而其内嵌的TCAM和SRAM芯片实现了高速复杂查找等功能。在PERAL中，路由查找和虚拟机区分查找是计算型操作，可能成为系统“瓶颈”，因而在专用数据包处理卡上实现，从而极大提升了PERAL的处理能力。此外，由于操作系统级虚拟机LXC具有轻量化特点，极大降低了虚拟化所带来的PERAL系统开销。实验结果证明，对于64 B的数据包，PEARL可实现4 Gb/s的线速转发速率。

5 结束语

可编程虚拟化路由器是未来互联网研究的热点。虚拟路由器面临性能、虚拟化和可编程等技术挑战。在虚拟路由器中，多个虚拟路由器实例需要运行在一个物理路由器上，对数据包转发性能提出了更高的性能需求。例如，多个虚拟路由器实例维护多个独立的路由表，导致虚拟路由器的存储空间开销高。同时，多个虚拟路由器实例如何相互隔离、互不干扰地独立运行也是热点问题。此外，虚拟路由器要求提供用户更多自定义空间，面临如何确保灵活性的问题。本文介绍的PEARL采用软硬件结合方式，可实现高性能、虚拟化和可编程的软件路由器。

致谢：

李忠诚研究员对本文写作给予了指导，在此表示衷心感谢！

6 参考文献

[1] WROCLAWSKI J. GENI: Global Environment for Network Innovations [R/OL]. [2011-01-08]. Using the Component and Aggregate Abstractions in the GENI Architecture, GDD-06-42(2006-12-19). http://www.geni.net.
[2] FIRE: Future Internet Research and Experimentation [EB/OL]. [2011-01-08]. http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/.
[3] TOUCH J, PERLMAN R. Transparent Interconnection of Lots of Links (TRILL): Problem and applicability statement[R]. IETF RFC 5556.2009.
[4] MORRIS R, KOHLER E, JANNOTTI J, et al. The click modular router[C]//Proceedings of the 17th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP'99), Dec 12-15, 1999, Charleston, SC, USA. New York, NY, USA:ACM, 1999:217-231.
[5] HANDLEY M, HODSON O, KOHLER E. XORP: An open platform for network research [J]. Computer Communication Review, 2003,33(1): 53-57.
[6] Kernel Virtual Machine(KVM) [EB/OL].

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P29

[2011–01–08]. http://www.linux–kvm.org/.
[7] BARHAM P, DRAGOVIC B, FRASER K, et al. Xen and the art of virtualization [C]// Proceedings of the 19th ACM SIGOPS Symposium on Operating Systems Principles (SOSP'03), Oct 19 – 22, 2003, Bolton Landing, NY, USA. New York, NY, USA: ACM, 2003: 164–177.
[8] User Mode Linux(UML)[EB/OL]. [2011–01–08]. http://user–mode–linux.sourceforge.net/.
[9] OpenVZ [EB/OL]. [2011–01–08]. http://wiki.openvz.org/Main_Page.
[10] Linux–VServer [EB/OL]. [2011–01–08]. http://linux–vserver.org.
[11] Linux Container. LXC [EB/OL]. [2011–01–08]. http://lxc.sourceforge.net/.
[12] DOBRESCU M, EGI N, KATERINA J, et al. RouteBricks: Exploiting parallelism to scale software routers [C]//Proceedings of the 22nd ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP'09), Oct 11–14, 2009, Big Sky, MT, USA. New York, NY, USA: ACM, 2009: 15–28.
[13] EGI N, GREENHALGH A, HANDLEY M, et al. Towards high performance virtual routers on commodity hardware[C]// Proceedings of the 4th ACM International Conference on Emerging Networking EXperiments and Technologies Student Workshop (CoNext'08), Dec 9–12,2008, Madrid, Spain. New York, NY, USA:ACM,2008:20.
[14] HUANG Kun, XIE Gaogang, LI Yanbiao, et al. An offset addressing approach to memory–efficient IP address lookup[C]// Proceedings of the 30th IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM'11), Apr 10–15,2011, Shanghai, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011.
[15] HAN Sangjin, JANG Keon, PARK Kyoung Soo, et al. PacketShader: a GPU–accelerated software router [C]// Proceedings of the Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications(SIGCOMM'10), Aug 30–Sep 3, 2010, New Delhi, India. New York, NY,USA. 2010: 195–206.
[16] EGI N, GREENHALGH A, HANDLEY M,et al. A flexible and performant virtual router[C]// Proceedings of the International Workshop on Self–Organizing Systems (IWSOS '07), Sep 11–13, 2007, Evanston, IL, USA. LNCS 4725. Berlin, Germany: Springer–Verlag, 2007.
[17] KELLER E, GREEN E. Virtualizing the data plane through source code merging[C]// Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop on Programmable Routers for the Extensible Services of Tomorrow (PRESTO'08), Aug 22, 2008, Seattle, WA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2008:9–14.
[18] NetFPGA [EB/OL]. [2011–01–08]. http://www.netfpga.com.
[19] LU Guohan, SHI Yunfeng, GUO Chuanxiong, et al. CAFE: A configurable packet forwarding engine for data center networks [C]// Proceedings of the Workshop on Programmable Routers for Extensible Services of Tomorrow (PRESTO'09), Aug 21, 2009, Barcelona, Spain. New York, NY, USA: ACM, 2009: 25–30.
[20] ANWER M B, MOTIWALA M, TARIQ M B, et al. SwitchBlade: A platform for rapid deployment of network protocols on programmable rardware [C]// Proceedings of the Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications(SIGCOMM'10), Aug 30–Sep 3, 2010, New Delhi, India. New York, NY,USA. 2010: 183–194.
[21] MCKEOWN N, ANDERSON T, BALAKRISHNAN H, et al. OpenFlow: Enabling innovation in campus networks [J]. Computer Communication Review, 2008,38 (2):69–74.

收稿日期：2011–01–11

作者简介

贺鹏，中科院计算技术研究所网络技术研究中心在读博士；主要研究方向为高性能数据包处理和未来互联网体系结构。

关洪涛，清华大学博士毕业；中科院计算技术研究所网络技术研究中心助理研究员；主要研究方向为路由器体系结构；已发表论文10篇。

谢高岗，湖南大学博士毕业；中科院计算技术研究所网络技术研究中心主任、研究员、博士生导师；主要研究方向为未来互联网体系结构、可编程虚拟化路由器以及网络测量分析模型化；已发表学术论文80篇。

综合信息

中兴通讯推zVOA方案促语音和多媒体融合运营

【本刊讯】在2011年西班牙巴塞罗那移动世界大会上，中兴通讯推出可用于任意接入方式的融合语音和多媒体网络zVOA解决方案，帮助运营商实现传统语音业务和多媒体业务的统一运营。中兴通讯zVOA方案可以借助传统的语音网络的优势开拓更多宽带接入的语音、视频和多媒体等业务，应对互联网的冲击，提升网络运营竞争力。

中兴通讯zVOA方案完全迎合用户对多接入和SCC业务的需求，兼容CS和IMS的各种标准接口。该方案基于中兴通讯先进的ETCA硬件平台和软件中间件，采用虚拟化和云计算技术，打造了全新的iCX智能控制器产品和iMG融合媒体网关产品。iCX产品全面集成了移动及固定软交换、IMS网元和融合的业务逻辑控制功能，iMG则集成了语音、视频等融合的媒体面功能。

中兴通讯zVOA方案提供软交换域和IMS域单框组网、共用硬件；系统处理能力可由软交换域和IMS域共享；容量可平滑升级，适应于语音话务从传统终端到智能终端的迁移，旨在提供一个低成本、易维护、易扩展的综合语音和多媒体解决方案，帮助运营商平滑部署VoLTE、VoBB及多媒体网络，通过为用户提供更多的新业务提升运营竞争力。

中兴通讯核心网首席架构师刘建业表示："zVOA方案充分考虑运营商核心网的发展需求，在全面继承传统语音网络功能的同时，基于标准的IMS方式提供统一面向传统终端和多媒体智能终端的电信级VoIP和多媒体业务，如MMTel、融合Centrex、一号通、DRVCC、SRVCC等，为用户提供完美的融合业务和多接入技术的业务连续性体验，帮助运营商向全业务和多媒体转型，实现网络的可持续发展和持续盈利。"

D:\MAG\2010–06–91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P30

一种基于位置和标识分离的移动性管理解决方案

A Mobility Management Solution Based on ID/Locator Separation

中图分类号：TP393.4 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 02-0025-05

李玉宏/LI Yuhong
侯云静/HOU Yunjing
程时端/CHENG Shiduan
(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 Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

摘要： 基于位置和标识分离的解决方案不能很好地同时解决移动性支持和可扩展性差的问题，并且难于部署。文章提出一种新的基于位置和标识分离的网络架构，并给出与该架构相适应的移动性管理解决方案。该方案不仅能很好地解决网络的可扩展性问题，在移动性支持方面还具有如下的特点：不需要修改终端协议栈，易于部署；标识符含有一定的路由信息，能提供较好的与传统终端互通的能力；将映射系统分布于边缘网络内，增强了系统的鲁棒性并降低了切换时延。

关键词： 位置和标识分离；移动性管理；位置管理；切换控制

Abstract: Solutions based on ID/Locator separation are not easily deployed and cannot be used to resolve routing scalability and mobility problems simultaneously. This paper proposes a novel network architecture based on the idea of ID/Locator separation but which has a mobility management mechanism built on top of the architecture. In the proposed mobility management mechanism the protocol stack of the mobile hosts does not need modifying, so the solution is easily deployed. The IDs contain some routing information that provides intrinsic interworking capabilities with traditional mobile nodes. The mapping system is also distributed to the edge networks, increasing the robustness of the whole system and decreasing handoff delay.

Key words: identifier and locator separation; mobility management; location management; handoff control

随着技术的不断进步以及人类对信息通信需求的不断增长，人们对移动性的要求越来越高，提出了移动上网、移动商务、移动计算等一系列新需求。但是，由于Internet运行的基础传输控制协议/网间协议(TCP/IP)是针对静态主机设计的，IP地址在TCP/IP协议栈中具有表示位置和主机标识的双重语义，因此，Internet在本质上不支持移动性。为了解决该问题国际标准化组织因特网工程任务组(IETF)在IP协议的基础上提出了移动IP(MIP)[1-2]、代理移动IPv6(PMIPv6)[3]等移动性管理协议，使得Internet能够在一定程度上支持终端移动。但是，IP地址的双重语义带来的不仅仅是移动支持的问题，而且还引发了Internet严重的路由可扩展问题[4-6]。

解决上述问题的根本方法是解耦IP地址的双重语义。国际上的一些著名的研究机构在该方向上进行了大量的研究并相继提出了一些解决方案，例如R.Moskowitz等提出的HIP[7]，Nordmark等提出的SHIM6[8]，思科公司提出的LISP[9]，Christian Vogt提出的Six/One[10]以及Michael Menth等人提出的GLI-split[11]等。在基于位置和标识分离的网络架构下，由于传统的针对Internet的移动性管理协议可扩展性差，移动性管理实体集中化存在单点失效的隐患，可能成为终端数据通信的“瓶颈”，因此，传统的移动性管理解决方案不再适用，需要提出一种新的针对位置和标识分离网络架构的移动性管理解决方案。

本文在分析现有的基于位置和标识分离的移动性管理解决方案的缺点的基础上，提出一种新的基于位置和标识分离的网络架构，并在该架构的基础上提出基于目的地址重写的移动性管理解决方案。

1 现有的基于位置和标识分离的移动性管理解决方案

目前存在的基于位置和标识分离的方案可分为3类：基于终端的解决方案、基于网络的解决方案、终端

基金项目：欧盟第七框架项目EFIPSANS(INFSO-ICT-215549)；国家重点基础研究发展(“973”)规划(2009CB320504)

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P31

和网络联合的解决方案。

HIP方案是基于终端的解决方案的典型代表。HIP协议在TCP/IP协议栈的TCP层和IP层之间增加主机标识层，解耦IP地址的双重语义，并对传输层及其上层屏蔽终端IP地址的变化。但是HIP部署的难度较大，因为需要修改终端并在网络中部署大量的RVS服务器[12]。同时HIP协议不支持组播，当通信双方同时发生移动时，切换时延大。SHIM6方案将IP层划分为3个子层，其中SHIM子层维护每个会话的终端标识对和位置符之间的关联，并对上层屏蔽终端位置符的改变。但是，SHIM6检测可用地址对的过程会引入较大的时延，不能很好地支持移动性。

LISP方案是基于网络的解决方案。LISP的优点是不需要修改终端，只需要增强边缘网络的边缘路由器的功能即可。但是，LISP是一种封装协议，终端发出的数据包要在入口隧道路由器(ITR)处封装之后才被发送到核心网，增加了带宽消耗。在LISP中，每个终端在边缘网络内都有一个在边缘网络内唯一的终端标识符(EID)，当终端在通信过程中进行跨边缘网络移动时，由于EID的改变，将导致TCP连接的中断。为此，人们又提出了LISP MN[13]方案。但是部署LISP MN需要增强终端的功能，并且LISP MN能够直接访问映射系统，影响整个系统的安全性。此外，为了实现LISP终端与传统终端之间的互通，还需要在网络中设置PETR功能。由于LISP MN中移动终端在网络中没有移动锚点，所以，从移动终端发生移动到通信对端获得移动终端新的IP地址这段时间内，通信对端向移动终端发送的数据包将丢失。Six/One Router是基于地址重写的解决方案。边缘网络通过Six/One Router连接到核心网络。终端具有在边缘网络内唯一的边缘地址和具有全球路由能力的传输地址两个地址，二者之间一一映射。但这种方案的传输开销较大，并且当功能增强的终端和传统终端通信时，如果功能增强的终端发生了移动，二者之间的通信就会中断。

Michael等人提出的GLI-split方案是一种基于终端和网络的解决方案。GLI-split将IP地址分为全局地址、局部地址和标识地址3个空间。在终端侧提出了垂直地址转换功能，将传输层使用的标识地址转换成局部地址或全局地址。终端使用标识地址建立通信关联，但GLI-split的两级映射系统引入了较大的切换时延。此外，在GLI-split中，终端具有访问映射系统的能力，存在一定的安全隐患。

总的来说目前已有的基于位置和标识分离的移动性管理解决方案存在安全问题、部署难度大、切换时延大等问题。因此有必要继续研究和探讨新型网络架构，设计与架构兼容的完善的移动性管理机制。

2 基于目的地址重写的移动性管理解决方案

综上所述，基于位置和标识分离的移动性管理解决方案应具有下述特点：

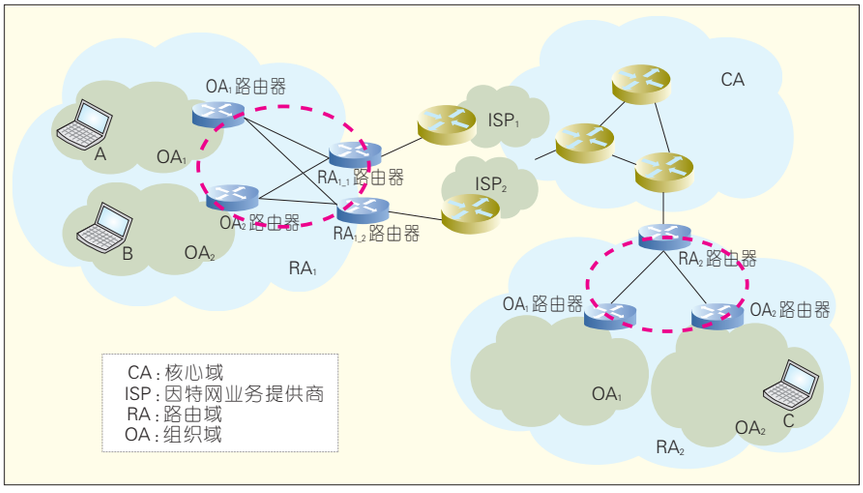
- 为了降低部署的阻力，方案应能够与传统Internet兼容，减小对终端和Internet的修改；
- 为了保证系统的安全性，只有网络实体才能具有访问映射系统的能力；
- 为了减小切换时延，映射系统应该接近边缘网络或部署在边缘网络内；
- 存储终端标识符和位置符映射关系的映射系统应分布化，以便提供良好的鲁棒性；
- 将边缘网络和核心网络使用的地址空间分离，使网络具有可扩展性；
- 应该能够支持各种类型的应用，包括单播、组播和多播；
- 应该能够支持多接口终端，提供多连接服务。

基于上述考虑，本文首先给出一种基于位置和标识分离的网络架构，然后提出相对应的移动性管理解决方案。

2.1 基于位置和标识分离的网络架构

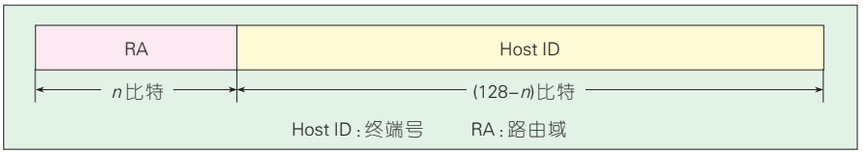
图1所示是一种新的基于位置和标识分离的网络架构，该架构将网络划分为核心域(CA)和路由域(RA)两部分，其中CA和目前Internet骨干网的功能相同，由高速路由器组成；RA由多个的组织域(OA)组成。

RA属于边缘网络。RA的范围和具体的部署方法有关，如按照地理位置划分等。OA和具体的组织、机构有关，例如一个公司可以是一个

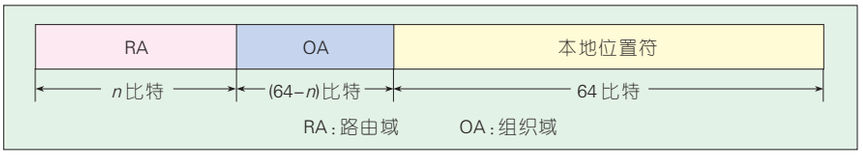


▲图1 一种新的基于位置和标识分离的网络架构

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P32



▲图2 标识符的格式



▲图3 位置符的格式

OA。每个RA通过一个或多个路由域路由器接入CA。路由域路由器负责连接RA和CA。

终端发出的数据包的源和目的IP地址分别为源和目的主机的标识符。终端配置的缺省路由器是终端当前连接的OA路由器的地址。OA路由器接收到数据包之后，根据通信对端的标识符，查找本地缓存中的标识符和位置符之间的映射关系。如果查找到相关记录，在本OA内转发数据包；否则，OA路由器需要使用全球可路由IP地址重写数据包的目的IP地址字段：先根据通信对端的标识符，查找映射系统获取通信对端的全球可路由地址，并将查找到的映射信息存储在本地，然后使用该全球可路由地址重写数据包的目的IP地址字段，将数据包发送出去。当通信对端的OA路由器(记为OA–Router–D)接收到数据包时，会根据数据包的目的IP地址查找本地存储的<ID，global locator>映射关系，并使用查找到的ID重写数据包的目的IP地址字段，然后将数据包转发给目的主机。

2.2 标识符与位置符

标识符是标识终端的唯一信息。为了不修改终端的协议栈和应用，我们设计的标识符对终端及其应用来说，作用与IP地址相同。标识符长度同IPv6地址相同，为128比特。它由RA信息和终端号组成。RA信息指存储终端映射信息的路由器(记为Router–M)所在的路由域的前缀，长度为n比特。终端号(Host ID)是终端的全球唯一性的信息，具体生成方法可以借鉴HIP生成HIT的方法，但只需截取哈希值中的(128–n)比特。标识符的格式如图2所示。

本文提出的方案的运行基础是IPv6协议，因此假设所有的传统终端都支持IPv6协议族。相应地我们将在基于位置和标识分离的系统中注册的终端称为扩展终端。

目前已经提出的源和目的地址重写解决方案在支持扩展终端与传统终端互通方面存在两个问题：一是在域名服务器(DNS)系统中存储扩展终端的全球可路由地址。由于DNS系统更新时间较长，传统终端通过DNS解析有可能获得扩展终端旧的IP地址信息，因此传统终端无法成功地初始化二者之间的通信；二是当扩展终端和传统终端建立通信之后，如果扩展终端发生移动，由于传统终端无法获得扩展终端新的全球可路由地址，二者之间的会话连接将会产生中断。

针对第一个问题，本文提出的方案是在DNS系统中记录扩展终端的标识符，由于标识符是扩展终端的静态信息，因此不会存在因DNS更新慢而导致的连接建立失败的问题。针对第二个问题，本方案是使标识符中包含部分路由信息，并提出代理路由优化的通信模式。无论是由扩展终端还是由传统终端来初始化二者之间的通信，传统终端向扩展终端发出的第一个数据包的源地址是传统终端的全球可路由地址，目的地址是扩展终端的标识符。由于标识符包含部分路由信息，所以该数据包最终被路由到RA–Router–M。当在通信过程中扩展终端从OA路由器1移动到OA路由器2时，OA路由器1负责更新通信对端中记录的扩展终端的位置信息。如果通信对端是扩展终端，OA路由器1向通信对端连接的OA路由器发送Transfer消息。如果通信对端是传统终端，OA路由器1向传统终端发送正常的IPv6绑定更新消息，传统终端可按照正常的MIPv6协议处理该绑定更新消息。因此在标识符中包含路由信息和代理路由优化过程为系统提供了良好的向后兼容性。

位置符随着终端位置的改变而改变，是终端的全局路由标识信息，它是长度为128比特的IPv6地址，由RA、OA和本地位置符组成。其中，RA+OA是终端连接的OA路由器的前缀，本地位置符是OA路由器为终端分配的、仅在OA路由器覆盖范围内有效的局部地址，终端只能“看到”本地位置符。

位置符的格式如图3所示。

2.3 映射系统

映射系统存储标识符和位置符之间的映射关系，由位于不同RA域内的局部映射系统组成。为了避免在网络中引入新的实体，映射系统可以部署在路由器上。为了保证映射系统的鲁棒性，我们使用分布式哈希表(DHT)在RA域内的路由器上构建覆盖网络。

当终端第一次在系统中注册时，终端连接的OA路由器将终端的标识符和位置符的映射关系存储在其所在的RA域内的局部映射系统中，我们将存储终端映射信息的路由器记为Router–M。Router–M的选择与所使用的DHT协议有关。

D:\MAG\2010–06–91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P33

当终端发生移动之后，终端新连接的OA路由器负责更新映射系统中终端的映射信息，由于终端的标识符中的RA字段是Router-M所在路由域的RA路由器的前缀，因此终端新连接的OA路由器可以判断出终端的Router-M所在RA域的入口信息，更新终端的映射信息。

2.4 移动性管理解决方案

这里所说的移动性管理包括位置管理和切换控制。涉及的信令过程包括注册过程、位置更新过程和切换控制过程。

2.4.1 注册过程

注册过程指的是终端(Host)第一次加入到系统的过程。此时终端连接的OA路由器在映射系统中注册终端的映射信息，即标识符与位置符之间的对应关系。

OA路由器不断地广播路由通告消息。当终端进入到OA路由器的覆盖范围时，根据接收到的路由通告消息，产生自己的标识符，然后向OA路由器发送Register消息，消息参数为终端的标识符(ID-H)。OA路由器接收到该消息后，OA路由器为终端分配一个本地位置符，在本地缓存中记录信息<ID-H，local locator>，然后执行DHT操作，将终端的映射信息存储在本路由域内的局部映射系统中。结果是在Router-M中存储终端的相关信息：终端的位置符以及OA路由器的位置符。当OA路由器接收到Put ACK消息之后，向终端返回一个Register ACK消息，表明注册成功。

2.4.2 位置更新与切换控制过程

位置更新过程指的是由于终端的移动导致终端的位置符发生改变时，映射系统更新的过程。这里将位置更新过程的前提设定为终端在与通信对端(CH)通信的过程中发生移动。考虑到路由优化，位置更新过程不仅需要更新映射系统中终端的相关信息，还需要更新通信对端的OA路由器中存储的终端的位置符。

综合终端可能发生的所有的移动方式，这里只考虑最复杂的情况：终端在与通信对端通信过程中，从OA路由器1的覆盖范围移动到OA路由器2的覆盖范围，OA路由器1与OA路由器2位于不同的RA域内，分别记为老RA和新RA。终端的Router-M不在老RA内，也不在新的RA内。

位置更新与切换控制过程如下：

(1)终端移动到OA路由器2的覆盖范围，接收到OA路由器2广播的消息。

(2)根据消息，终端判定其移动到了新的OA路由器的覆盖范围，终端向OA路由器2发送Register消息，消息参数为终端的标识符。

(3)OA路由器2接收到Register消息之后，OA路由器2为其分配一本地位置符，然后形成终端的全球可路由地址，并向RA路由器2发送Update消息，请求其更新映射系统中的终端的位置信息，消息参数为终端的标识符和新的终端位置符。

(4)当RA路由器2接收到Update消息之后，根据Update消息中的标识符的RA字段判断终端的Router-M所在的RA，然后向该RA的RA路由器发送Update消息。

(5)当终端的Router-M所在RA的RA路由器接收到Update消息之后，触发本域内的DHT更新过程。

(6)Router-M接收到Update消息之后，在本地缓存中查找到终端的相关记录，向OA路由器1发送Forward消息，将终端的信息更新为终端的新的全球可路由地址以及OA路由器2的全球可路由地址。Forward消息的参数为终端的ID-H和新的终端的位置符。

(7)当OA路由器1接收到Forward消息之后，在本地存储Forward消息的参数。当它接收到目的地为终端的标识符的数据包时，OA路由器1使用终端的新的全球可路由地址重写目的IP地址。由于OA路由器1中记录有通信对端的标识符和位置符之间的映射关系，OA路由器1向通信对端连接的OA路由器发送Transfer消息，请求通信对端连接的OA路由器将其接收到的发送给终端的数据包转发给终端的新的全球可路由地址。

2.5 方案特点

本文所提出的基于位置和标识分离的移动性管理解决方案除了不需要修改终端协议栈，不需要引入新的网元而易于部署；采用DHT的方式组织映射信息而具有较强的鲁棒性；终端不能直接访问映射系统而具有较强的安全性之外，还具有如下的一些特点：

(1)将映射系统以分布式的形式部署在不同的路由域内，缩短了路由器与映射系统之间的距离，可降低切换时延。

(2)支持单播、多播和组播应用，且不需要修改组播协议；OA路由器可记录订阅某个组播服务的终端的标识符和位置符，当OA路由器接收到组播数据的时候，OA路由器将其发送给相关的终端。

(3)支持多接口终端，可部署多连接方案：终端的每个接口都可以从其连接的OA路由器中获得一个在OA路由器覆盖范围内唯一的本地位置符，因此终端可以通过多条连接接收数据。OA路由器为终端维护一个连接表，连接表的内容为终端的标识符、通信对端的标识符，以及终端接收该会话数据的接口的本地位置符。当OA路由器接收到发送给终端的数据时，OA路由器查找连接表，将数据发送到连接表某条记录中的本地位置符对应的接口上。终端综合接入网络状况、用户喜好、网络费用和应用等条件选择出接收数据的最优的连接/接口，并更新OA路由器中记录的本地位置符。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P34

(4)终端使用的地址空间，不会进入到核心网中的路由表中，解决了路由可扩展问题。

3 方案的部署

本文所提出的解决方案的部署工作包括核心域功能和路由域功能的部署。例如，可将核心域和路由域部署在自治域内。核心域的功能部署在自治域内的骨干路由器上，而且不需要对这些路由器做任何修改。将自治域按照地理位置划分为不同的路由域，例如一个省可以作为一个路由域，将省内的不同市划分为不同的组织域。在省和市的出口路由器上部署RA路由器和OA路由器的功能。同时在这些路由器上部署DHT协议，以形成映射系统。

4 结束语

本文提出一种新的基于位置和标识分离的移动性管理解决方案。该方案通过目的地址重写的方式，能够很好地与Internet兼容，并且不需要在Internet中部署新的功能实体。同时终端不具有访问映射系统的能力，为用户和网络提供了安全性。此外，映射系统分布在不同的边缘网络内，缩短了路由器访问映射系统的距离，减小了切换时延，为用户带来更好的移动体验。该系统还从本质上支持多播和组播及多接口终端。下一步的工作是对整个系统的性能进行全面的理论分析和仿真试验。

5 参考文献

[1] PERKINS C. IP mobility support for IPv4 [R]. IETF RFC 5944. 2010.
[2] JOHNSON D, PERKINS C, ARKKO J. Mobility support in IPv6 [R]. IETF RFC 3775. 2004.
[3] GUNDAVELLI S, LEUNG K, DEVARAPALLI V, et al. Proxy mobile IPv6 [R]. IETF RFC 5213. 2008.
[4] MERYER D, ZHANG L, FALL K. Report from the IAB workshop on routing and addressing [R]. IETF RFC 4984. 2007.
[5] BGP routing table analysis reports [R/OL]. [2009-11-18]. http://bgp.potaroo.net/.
[6] HUSTON G. The BGP instability report [R/OL]. [2009-11-18]. http://bgpupdates.potaroo.net/instability/bgpupd.html.
[7] MOSKOWITZ R, NIKANDER P, JOKELA P, et al. Host identity protocol [R]. IETF RFC 5201. 2008.
[8] NORDMARK E, BAGNULO M. Shim6: Level 3 multihoming shim protocol for IPv6 [R]. IETF RFC 5533. 2009.
[9] FARINACCI D, FULLER V, MEYER D, et al. Locator/ID Separation Protocol (LISP) [R]. IETF draft-ietf-lisp-09. 2010.
[10] VOGT C. Six/One: A solution for routing and addressing in IPv6 [R]. IETF draft-vogt-rrg-six-one-02. 2009.
[11] MENTH M, HARTMANN M, KLEIN D. Global locator, local locator, and identifier split (GLI-split) [R] Technical Report 470. Wurzburg, Germany: University of Wurzburg, 2010.
[12] LAGANIER J, EGGERT L. Host Identity Protocol (HIP) rendezvous extension [R]. IETF RFC 5204. 2008.
[13] MEYER D, LEWIS D, FARINACCI D. LISP mobile node [R]. IETF draft-meyer-lisp-mn-04.2010.

收稿日期：2011-01-12

作者简介

李玉宏，北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室副教授；主要研究方向为移动性管理和新一代互联网体系结构。

侯云静，北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室在读硕士研究生；主要研究方向为移动性管理。

程时端，北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室教授、博士生导师；长期从事通信网与计算机网络的方面的研究工作。

综合信息

中兴通讯首家完成联通PTN综合承载测试 实现L3 VPN功能

【本刊讯】在中国联通集团组织的八大城市分组化业务综合承载测试中，中兴通讯在大连联通率先完成PTN试验网外场业务割接与测试。该试验网承载了包括2G、3G、宽带上网及NGN等在网业务，充分验证了PTN的综合承载能力、L3 VPN功能、与MSTP现网无缝连接能力等。在测试过程中，中兴通讯PTN产品完成各项测试项目，性能稳定，实测效果优异。中兴通讯在中国联通辽宁分公司和大连分公司的积极配合和主持下，整体进度最快。尤其中兴通讯新一代网管系统NetNumen产品也以易用性以及友好的界面等赢得了客户肯定。

中兴通讯此次参加外场测试的全系列PTN，成功验证了4个业界热点：核心层PTN设备的L3 VPN功能，可以很好满足中国联通从2G/3G向LTE的演进需求；其特有的SDH网关单板实现了PTN和现有MSTP网络的无缝连接，便于端到端业务配置和维护；业界体积最小的10GE接入设备，可很好满足未来LTE接入层的承载需求；新一代网管系统NetNumen产品强大的管理功能和灵活的组网能力，可保证所有业务在安全、可靠、便利的环境中运营，很好适应网络发展的管理需求，其易用性和友好界面也降低了运维管理的难度和复杂度。

随着中国联通分组化承载网建设进程的加速，中兴通讯将凭借融合、稳定、灵活的分组传送综合承载方案提供多样化的选择和服务，助力中国联通因地制宜地推进分组化承载网建设。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P35

下一代互联网的网络安全

Security of the Next Generation Internet

中图分类号：TP393.4 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 02-0030-03

摘要： 安全问题是下一代互联网的焦点之一。文章介绍两种路线下的安全进展：演进路线下的安全进展、从零开始路线下的安全进展。两种路线实现难易程度不同。对于演进路线，文章重点阐述现有安全技术和安全机制，并指出其不足之处；对于从零开始的路线，文章重点讨论安全需求，预测未来网络应具有的安全特征。对下一代互联网未来的安全发展，文章进行了深入思考。

关键词： 下一代互联网；安全；从零开始；未来网络

Abstract: Security is of paramount importance for next generation Internet. This paper introduces two approaches to security: incremental evolution and clean slate. These approaches are currently in different phases. For incremental evolution, current security technology and mechanisms are discussed as well as shortcomings. For the clean slate approach, security requirements are discussed in detail and predictions made about security features of the future Internet. Some deeper thoughts on future Internet security are offered in conclusion.

Key words: next generation Internet; security; clean slate; future Internet

张智江/ZHANG Zhijiang
张尼/ZHANG Ni
（中国联合网络通信集团有限公司，北京 100033）
(China United Network Communications Corporation Limited, Beijing 100140, China)

互联网以其网络的开放性、技术的创新性、信息传播的交互性而广泛渗透到社会各个领域，深刻地改变了人类的生活方式，有力地促进了社会的发展。但是，随着人们对互联网的规模、功能和性能等方面的需求越来越高，以IPv4协议为核心技术的互联网面临着日趋严峻的挑战[1]。具体表现为网络可扩展性差，地址匮乏和路由表不断膨胀；网络不可控、不可管、没有感知和测量功能，服务质量无法得到保证等[2]。

目前，人们对下一代互联网的需求和基本特征有了比较一致的看法，即下一代互联网应该解决目前互联网在“扩展性、高性能、实时性、移动性、安全性、易管理和经济性”等方面存在的重大技术问题。如何向下一代互联网发展，目前有两种技术路线，即演进路线和从零开始(Clean Slate)路线，两种路线的主要区别在于是否沿用现有互联网端到端透明的体系结构[3]。

演进的技术路线不改变现有IP网络的体系架构，采用协议增强或者网络功能增强技术解决现有问题。比如，使用IPv6协议解决IPv4面临的地址空间危机，采用IP安全(IPsec)机制增强IP报文的安全性；使用多协议标记交换(MPLS)协议加快路由处理速度；引入IP多媒体子系统(IMS)增强IP网对多媒体的处理等。

从零开始的技术路线不考虑与现有互联网的兼容性，旨在设计全新的从零开始的网络架构，即重新探讨地址、域名解析、路由等基本问题，重新设计网络架构、协议、应用。这种网络不仅可以支持现在的各种业务，有线、无线、固定、人与人、人与物、物与物的服务，而且满足未来多种网络、多种应用的叠加，从根本上解决原有体系结构存在的问题。这一研究思路引起了许多国家的特别关注，发达国家相继启动了未来网络(Future Internet或称POST IP)研究计划，意图掌握未来互联网核心技术。研究计划主要有：美国的PlanetLab、GENI、FIND和FARA，欧盟的Fire，日本的Akari等。

最初的互联网仅仅被当作一种研究工具在科研人员之间使用，由于用户相对单一，使用者之间完全可以通过默契建立良好的信任关系，并没有考虑到商用场景中用户规模、信任、管理等问题。在商业化进程中，由于利益驱动，加上用户技术水平和道德素质参差不齐，使得互联网的安全受到威胁[4]。一方面，恶意攻击、僵尸网络、蠕虫病毒、网络病毒层出不穷，垃圾邮件、色情信息弥漫于网络的各个角落，为网络系统和用户带来严重威胁；另一方面，企业、机构不断加固系统，扩容设备，升级软件，使得网络安全管理的费用超过网络建设费用，同时也导致了网络越来越复杂，系统越来越臃肿。

正是因为上述原因，在两种演进

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P36

路线中，如何保障网络安全都是研究者关注的重点。两种路线的安全保障实现难易程度不同，第一种路线已经有较为成熟的安全技术和安全机制，而第二种路线还处于安全需求讨论阶段。

1 演进路线下的网络安全

互联网发展到现在，安全问题始终与其息息相关。互联网设计的前提是假定用户自律，位于彼此信任小规模、封闭的网络环境，因此没有内置相关的安全机制，也没有去考虑开放环境下操作系统和应用的安全问题，这种情况导致早期的互联网面临层出不穷的安全威胁，由于网络协议与管理机制不可靠，互联网解决安全问题的方式是“打补丁”，这形成了演进路线的基本思路。

演进路线中的安全机制一部分依赖现有互联网协议的增强，另一部分通过网络设备对网络末端节点或核心网元进行加固，因此互联网中存在大量防火墙、流量清洗设备、监控和审计系统。演进路线确实在一定时期解决了部分安全问题，取得了不错的成效，但从长远角度看，使网络变得更加复杂且难于管理。

在演进路线中，IPv6是一种典型的协议增强技术。IPv6通过IPSec为网络中的每个节点提供数据源认证、完整性保护和加密的机制，同时还可以使节点有能力抵抗重放攻击。IPsec通过两个扩展报头，即认证头(AH)和封装安全载荷(ESP)将安全机制内嵌在协议之中。其中AH实现了保护数据完整性(即不被非法篡改)、数据源发认证(即防止源地址假冒)和抗重放攻击3个功能，而ESP则在AH所实现的安全功能基础上，增加了对数据保密性的支持。

IPv6为用户提供端到端的安全保障，使IP网络的安全性得到极大的改善。但是从IPv6实验和商用的情况来看，针对互联网中现存的安全问题，各主流厂商并没有相应成熟的安全产品。同时，IPv6安全机制也存在一些问题，如网络节点大量使用端到端的加密方式，会对目前基于报文解析、内容扫描的安全体系造成严重影响[5]。尽管IPv6设定之初就已经开始考虑安全问题，也确实为网络安全来带了不少的好处，但IPv6在设计上仍存在缺陷，Any-cast服务、路由头协议、Internet控制消息协议第6版(ICMPv6)、碎片包、无状态地址自动配置(SLAAC)和巨大地址数量都可能给下一代互联网带来潜在危险。

上述所列问题如果不能妥善解决，下一代互联网将会建立在一个不牢靠的基础上，毫无疑问，仍将重现当前互联网所面临的安全问题。

2 从零开始路线下的网络安全

从零开始的技术路线主张抛弃现有互联网网络体系，旨在设计全新的从零开始的未来网络架构。研究者认为应将安全和系统架构设计视为一个整体：即在设计网络架构的同时，提出安全需求，设计安全机制，从下一代互联网体系结构上系统地解决互联网安全问题。

经过了近5年的研究，目前研究者们达成的共识是从零开始的方案太过超前，脱离现有互联网，从而导致目前的研究较为零散，没有实质性的应用成果产生。目前该方案技术方面基本还都处于研究和试验状态，且标准化水平较低。由于未来网络的安全机制和网络需求与架构密切相关，因此并没有产生具体的安全机制或安全参考模型。

2.1 下一代互联网可信、可控、可管问题

互联网的脆弱性表现在设计、实现、运行管理的各个环节。中间节点对传输数据包的来源不验证、不审计，导致地址、身份被假冒，垃圾信息泛滥，大量的入侵和攻击行为无法跟踪，难以溯源；用户个人信息或者关键数据在网络上存储和传输都会面临风险，互联网中的数据系统、业务系统常常遭到攻击，各层漏洞层出不穷……

目前互联网中普遍存在的脆弱性导致其是不可信任的。文献[4]指出：下一代互联网的研究应该充分体现可控、可信、可管的特点。

文献[4]认为可信的下一代互联网应具有如下特性：(1)实现系统和信息的保密性、完整性、可用性；(2)真实性，即用户身份、信息来源、信息内容的真实性;(3)可审计性，即网络实体发起的任何行为都可追踪到实体本身；(4)私密性，即用户的隐私是受到保护的，某些应用是可匿名的；(5)抗毁性，在系统故障、恶意攻击的环境中，能够提供有效的服务；(6)可控性，指对违反网络安全政策的行为具有控制能力。

可控性与可信性是相辅相成的。如果网络实体的身份是可信的，则可更有效地控制和规范实体的行为；同时，在可控的网络架构下，才能对网络实体的身份和行为构成有效约束。

当前的互联网主要是通过部署第三方安全设备实现网络的可控性。例如，使用防火墙或者安全网关保证末端节点的安全，使用入侵检测设备，流量清洗设备过滤互联网中多数有害的流量，保证网络的正常运行。一方面，这些设备能阻止绝大多数简单的攻击，防御外来攻击；另一方面，配置设备难度较大，且设备仅对已知的外部攻击提供有限保护，不能处理内部攻击或未知攻击。

关于网络安全设备的讨论可转化为关于网络架构设计的讨论。如果我们能够在网络的关键点上严格控制和规范业务流，使其符合正常业务流的特性，则可以在很大程度上减小垃圾邮件的传播和分布式拒绝服务攻击(DDOS)等安全威胁。如果人们能在网络架构设计中融入安全设备的控制能力，将控制作为网络与生

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P37

俱来的特性，并将其从网络末端延伸至网络的核心，那么这种强化的控制措施将会有利于维护互联网这个复杂的巨大系统可靠地运行。

如果可控性作为下一代互联网协议的一部分，那么网络中是否应有专门的安全网元？这个网元应该如何部署？执行什么样的安全功能？有了这些安全功能，网络体系的健壮性如何得到改善？网络的传输效率、服务质量应该如何与其协同？这些问题必须在下一代互联网的设计中得到解决。

网络管理最主要的功能是对网络运行期间的各种状态进行及时感知，而这种感知的目的是对包括故障、攻击和服务质量下降等各种异常现象的及时定位、推理和诊断，最终做出适当的反应。当前的互联网，由于控制和管理功能依赖于数据平面，缺乏协调的分布式控制，大多数控制和管理功能都是后期定制，而不是在网络设计之初就统一考虑的，因此呈现出难以有效收集网络状态、难以有效发现和定位网络异常，从而难以及时做出反应的特点。因此，在未来网络中应该有专门的管理控制系统重点解决上述问题[6]。

从理论上讲，根本上消除脆弱性、企图设计并实现一个绝对安全的互联网是不切实际的。但下一代互联网络需要从体系结构上为安全付出必要的努力。下一代互联网络必须提供可信任的网络服务，至少应有机制确保下一代互联网地址及其位置的真实可信、网络对象可识别和网络攻击可防范等；下一代互联网必须无缝、高效地解决可控性问题；下一代互联网必须提供更方便、灵活的管理手段，对网络运行的各个方面实施全面、高效的管理。

2.2 互联网协议的设计问题

当前互联网协议在设计时，没有特别考虑到安全问题。下一代互联网中，安全应该成为是协议设计的重要前提，各层协议在设计时需要从各个方面执行安全检查[7]。例如，TCP的最初握手协议应该被重新设计，允许网络中的节点执行最初的源身份检验；简单邮件传输协议(SMTP)的身份验证、匿名转发应该重新设计，保证只有具有真实身份的用户才能发送邮件等。此外，单层协议的增强不能使系统安全性得到明显改善，为提高系统整体安全性能，在协议设计时，必须对网络协议栈中所有的安全问题进行综合的考虑。以边界网关协议(BGP)为例，为了增强BGP协议的安全性，可使两个通信的BGP路由器共享某密钥，以对通信内容进行加密和完整性保，但是攻击者完全可以跳过BGP协议层，直接利用传输控制协议(TCP)的漏洞，攻击进而控制BGP路由器。

3 对下一代互联网安全的思考

互联网是迄今为止运行经验最为丰富的网络，也是全球投资最大的网络。各种技术、各种模式在其中兴衰、沉浮，无数成功与失败的经典案例在其中沉淀、积累。尽管对下一代互联网的研究不应受当前互联网的约束，但我们不可能完全摒弃原有以IP为基础的互联网，在寻求创新和突破同时，更要遵循经验，做好继承。

例如异步传输模式(ATM)在效率上要强于IP，但因为复杂在实践中遭到失败；IP具有强大兼容性，但在可信、可控、可管方面却存在严重不足；电子邮件协议是互联网应用的成功典范，但随之带来垃圾邮件问题，成为无法根治的顽疾；域名服务器(DNS)是互联网内访问的基石，同时也是网络安全的短板。因此，在新一代互联网的研究中，我们必须在继承的基础上不断完善和创新，总结过去成功的经验，吸取失败的教训，以获得灵感，并将其应用到设计下一代互联网安全的实践中。

经过了40多年的发展，互联网已经在全世界范围内为人类构造一个相对健全的信息共享和交换平台，深刻改变并影响了人类社会的运作模式。下一代互联网安全的设计和建设是一项长期、艰巨、系统的工程，无论采取哪种技术路线，既不应全盘否定现有的技术，也不能受制于现有的技术，同时必须要以构建可信、可控、可管的互联网为研究的重点，此外，运营者还必须慎重考虑如何从现有网络向下一代互联网平滑过渡以及保护现有投资等问题。

4 参考文献

[1] 吴建平, 吴茜, 徐恪. 下一代互联网体系结构基础研究及探索 [J]. 计算机学报, 2008,31(9): 1536– 1548.
[2] 刘韵洁. 不能在未来网络上丧失话语 [C]//第九届中国信息港论坛, 2009年 11月29日,东莞.
[3] 唐晖, 林涛, 范典,等. 开展后IP技术研究发展互联网下一代 [J]. 中国科学院院刊, 2010, 25 (1):55–63.
[4] 林闯, 任丰原. 可控可信可扩展的新一代互联网 [J]. 软件学报, 2004,15(12):1815–1821.
[5] 魏亮. 下一代互联网安全模式探讨 [J]. 通信技术政策研究, 2006(2):44–54.
[6] 王晟, 虞红芳, 许都. 可信网络中安全、可控可管及可生存技术研究[J]. 中兴通讯技术,2008, 14(1):36–41.
[7] BELLOVIN S M, CLARK D D, PERRIG A, et al. A clean–slate design for the next–generation secure Internet [R].GENI Design Documents, GDD–05–05. NSF Workshop Report. 2005.

收稿日期：2011–01–10

作者简介

张智江，中国联通技术部总经理，中国联通研究院院长；已在国内外刊物上发表文章27篇，出版技术专著12部，被国际标准组织采纳文稿27篇；获授权的国内外技术发明专利10项，正在申请的专利8项；获国家和省部委科技进步奖17项。

张尼，中国联通博士后；工作于中国联通研究院业务与平台开发中心，研究方向为网络安全、业务安全、终端安全；已发表文章20篇，被国际标准组织采纳文稿10篇，获授权的国内外技术发明专利4项。

D:\MAG\2010–06–91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P38

电信运营商的云计算与物联网发展策略

Development Strategy of Cloud Computing and Internet of Things

中图分类号：TN929.5　文献标志码：A　文章编号：1009-6868 (2011) 02-0033-04

摘要：以云计算与物联网为代表的新兴IT技术，对传统的电信运营业既带来冲击也带来机遇和发展。在云计算领域，电信运营商通过电信业务能力的开放，聚合电信云和IT云，实现通信资源和计算、存储资源的协同，创新了服务模式；在物联网领域，运营商可以通过构建物联网运营支撑平台和服务体系，在物联网产业链中发挥关键作用。面对新兴IT技术，电信运营商应该坚持合作与开放，并注重标准化，与产业链各方共同努力，开创新的发展空间。

关键词：云计算；物联网；新一代信息技术；电信运营

Abstract: Cloud Computing and the Internet of Things (IoT) are impacting and bringing new opportunities to traditional telecommunications. In the process of opening up telecom service capabilities, telecom operators are converging the telecom cloud and IT cloud so that collaboration is achieved between computing/storage resource and network resource. In IoT, telecom operators must play a key role in the IoT industry chain by constructing IoT operation support platforms and management systems. With emerging IT technologies, telecom operators should insist on cooperation and openness and attach great importance to standardization. They should work together with partners to create new development space.

Key words: cloud computing; Internet of Things; new generation IT technology; telecom operation

唐雄燕/TANG Xiongyan

（中国联通研究院，北京 100032）
（China Unicom Research Institute，Beijing 100032,China）

- 目前中国运营商新的业务增长点主要在固网宽带与移动互联网这两个方面
- 云计算代表了IT服务的发展趋势，被视为信息服务业的下一场革命
- 对于运营商来说，机器对机器(M2M)业务是物联网的切入点

1 新兴IT对电信运营业的影响

电信行业正处于深刻的变革期，传统电信业务和电信商业模式正受到前所未有的冲击，面临巨大的挑战。近年来，中国电信业在经历高速发展阶段后，一直处于收入增长乏力、利润日趋下降的状态。从2004年起中国电信业务收入的实际增长率已经持续低于GDP增长率，如2009年电信业务收入增速为4.1%，2008年为7.2%，2007年为10.9%。电信业务每用户平均收入(ARPU)也不断下降，如中国移动2009年ARPU为77元，2008年为83元，2007年为89元；中国联通宽带业务ARPU由2008年的63.6元降至2009年的57.2元[1]。与电信业务收入增长趋缓形成鲜明对比，中国互联网经济处于高速增长阶段。根据市场研究公司艾瑞的数据，中国互联网经济规模自2004—2010年的平均年增长率达到53%[2]。因此电信运营商必须高度重视互联网经济，抓住宽带互联网与移动互联网的发展机遇，积极培育新的业务增长点，以应对传统话音业务日趋下降的压力。

以互联网为代表的IT技术对电信运营商是一把双刃剑，一方面，由于互联网是一个开放的公共网络平台，业务运营与网络运营分离，“体验”与“眼球”成为赢利关键因素，业务收益主要依赖广告、娱乐和电子商务，而话音等基础通信可以免费提供，业务收益与网络资源不再有直接关系，因此可以认为联网颠覆了传统电信商业模式，正在动摇传统电信赖以生存的基础。另一方面，互联网经济高速成长，因此电信运营商的业务增长需要高度依赖互联网。目前中国运营商新的业务增长点主要在固网宽带与移动3G这两个方面，其实

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P39

质就是宽带与移动互联网。

物联网、云计算等技术和产业的兴起又给电信运营商带来了新的发展机遇，也带来了新的挑战。如何在新兴IT产业中找准自己的定位，发挥自身的优势，制订合理的策略，赢得更大的发展，成为摆在运营商面前的重大课题。

2 云计算与物联网的发展概况

2.1 云计算发展概况

云计算是2007年末才兴起的新概念，没有统一严格的定义。通常意义上，云计算是指IT基础设施的交付和使用模式，他通过网络以按需、易扩展的方式获得所需的资源（硬件、平台、软件等），这些资源池（包含计算资源、存储资源、网络资源等）被称为“云”。云计算的理念是希望像使用水电一样使用IT基础设施。“云”中的资源在使用者看来是可以随时获取、按需使用、随时扩展、按使用付费。虽然云计算是新名词，但其基本理念早已存在于通信领域，如电话服务实际上就是一种原始的云服务。云计算服务是电话服务、水电服务等服务理念在IT领域的拓展和深化：一是对更底层的IT基础资源和平台实现云服务；二是对更多类型的应用实现云服务。云计算的服务类别众多，包括：基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)、软件即服务(SaaS)等。

云计算代表了IT服务的发展趋势，被视为信息服务业的下一场革命，但还处于初级发展阶段，尚无统一标准和模式。从全球看Amazon、Google、IBM、微软等是云计算的先行者，在技术和商业应用上推动着云计算的发展。除了IT企业，各国政府纷纷将云计算服务视为国家IT产业发展的新机遇，以云计算技术为驱动力的公共效用IT、绿色低碳IT受到各国政府的重视。各国各大电信运营商对云计算高度重视，纷纷使用云计算业务，典型案例有：

- AT&T于2008年8月面向商业用户推出了一项计算机网络和存储服务—SynapticHosting，由此成为首个进入“云计算”领域的电信运营商。
- Verizon于2009年6月面向企业用户推出云计算服务，用户按使用量付费。
- BT于2009年7月与微软达成协议，面向商业用户推出MOS，提供云计算和协作通信服务。
- 2009年12月，BT与思科宣布推出基于云计算的全球IPT解决方案，提供一种可扩展的商务级全球托管统一通信（IP电话）服务。
- 2010年3月18日，Orange宣布推出从基础设施到实时商务应用的端到端云计算服务，通过“云就绪”网络，为企业提供更简单、安全、灵活的云服务。

中国的云计算也得到一定的发展：一是政府牵头建立云计算服务平台，如2008年5月，IBM在无锡建立中国第一个云计算中心；二是互联网企业采用云计算技术，如2009年，阿里巴巴在南京建立中国首个“电子商务云计算中心”；百度、新浪、搜狐等都在从传统互联网数据中性(IDC)架构向云计算平台转型；瑞星、360等都推出了云安全解决方案；三是电信运营商的云计算探索，如中国移动2008年启动了“大云”研发计划，中国电信与中国联通也开展了云计算研究和试验工作，目前中国运营商云计算服务的主要体现是IDC虚拟资源出租。

2.2 物联网发展概况

2009年温家宝总理多次发表关于物联网的讲话，拉开了中国向物联网进军的序幕。虽然对物联网的认识和理解还不统一，但我们通常认为物联网应该包含信息感知、传递和处理这3个基本要素，物联网架构也相应地包含感知层、网络层和应用层3个基本层次。感知层使用传感器（网）、射频识别(RFID)等手段来实现信息采集和标识；网络层利用现有的移动网、互联网或其他专用网，对采集来的信息进行传输和基础处理，并提供公共管理服务；应用层对所感知的信息进行智能处理和决策后，实现各类应用服务。

对于运营商来说，机器对机器(M2M)业务是物联网的切入点。所谓M2M，就是将移动通信模块嵌入到物体中，实现机器之间或者机器与人之间的互联通信。

目前业界虽然对物联网产业的界定还不明晰，对其市场规模的计算和预测也都存在不同的方式，但都公认物联网有着广阔的市场前景和极大的产业规模。咨询机构Forrester预测：到2020年，世界上物物互联的业务与人人通信的业务之比将会达到30:1；市场研究公司IDC也预测：到2020年，将有超过500亿台设备连接到全球公共网络；赛迪顾问的研究显示：2010年中国物联网产业市场规模将达到2 000亿元，到2015年中国物联网整体市场规模将达到7 500亿元，年复合增长率将超过30%。

总体来看，目前物联网还处于市场培育和初级发展阶段，许多应用也往往是孤立垂直应用，离物联网的理想目标还有很大的差距。

在国际上，2008年IBM抛出“智慧地球”的概念，对物联网的发展起到了重要推动作用；2009年，“智慧地球”理念被奥巴马政府采纳，上升为美国国家战略；2009年2月17日，奥巴马总统签署了《2009年美国恢复和再投资法案》，提出要在智能电网投资110亿美元、卫生医疗信息技术应用投资190亿美元、教育信息技术投资6.5亿美元。2009年6月18日，在经过将近4年的研究与准备后，欧盟发布了“物联网—欧洲行动计划”。日韩也在多年前就提出了U-Japan与U-Korea计划，积极开展泛在网的建设和应用。世界各国各大运营商（如Orange、Verizon、Vodafone、Telenor等）近年也在积极开展M2M服务，但整

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P40

体市场规模还不大。

中国自2009年8月也掀起了物联网发展的热潮：2009年11月底，国务院批准无锡建设国家传感网创新示范区（感知中国中心）；2009年11月中国三大电信运营商接踵与无锡市政府签约，在无锡建立物联网研发中心；2010年，上海、杭州、广州、北京、深圳、重庆、天津、武汉、太原、佛山、嘉兴等地都高调宣布要大力发展物联网产业。中国三大运营商都推出了各类物联网解决方案，积极拓展物联网市场。

3 云计算与物联网对电信运营商的机遇与挑战

3.1 云计算带来的机遇与挑战

云计算的价值一方面体现在通过资源共享和规模经济来降低成本，另一方面就是通过各合作伙伴在“云”中的协同创新来提升商业价值。云计算是一个价值创造和商业创新的新环境，云计算将给电信运营商带来多方面的机遇[3]：

(1) 利用云计算构建运营商内部IT“私有云”。企业内部IT系统，如业务运营支撑系统(BOSS)、客户关系管理系统(CRM)、企业资源计划(ERP)等通过采用云计算技术，可以提高资源利用率，降低IT投资和运行成本。

(2) 为云计算服务商和用户提供网络资源和接入服务。云计算是基于宽带互联网的服务，云计算的发展将对网络资源产生更大的需求，从而为运营商带来网络服务的新机遇。

(3) 直接提供公共云计算服务。由于拥有大型数据中心和网络带宽资源，运营商具有成为云计算服务运营商的先天优势。通过与云计算基础软件商合作，可以在硬件基础设施、IaaS、PaaS、SaaS(Xaas)等各方面提供服务。

(4) 提供基于开放通信能力的云服务。这是最具运营商特色的云服务，即运营商将通信业务能力甚至IT支撑能力以云服务的方式开放出来，建立业务协作环境，降低应用合作伙伴的开发门槛，加速业务创新。从世界各国运营商的云计算业务经验看，也往往是将计算/存储资源出租与通信服务结合在一起。

当然，运营商在云计算的发展过程中还面临多方面挑战：

(1) 互联网企业的云计算服务将蚕食运营商的传统业务市场（包括各类增值业务甚至基础话音业务），从而给运营商的传统业务发展带来严重冲击。

(2) 云计算的安全问题。不单是公共云甚至连企业私有云也存在安全的问题。企业的一些私有信息，像财务信息、客户信息即使放在私有云中也可能存在内部泄密的隐患。

(3) 云计算的服务质量保障问题。云计算服务依赖于互联网，并通过互联网远程使用IT资源和应用，往往存在不可靠性。

(4) 管理模式不适应云计算。企业传统的IT系统管理和使用模式在某些方面与云计算不相适应，另外原有企业IT应用如何迁移到云计算环境存在巨大挑战。

(5) 标准化问题。目前云计算没有统一的标准，各个云计算的厂商和服务商都在各自为战，不同云之间缺乏互操作性。

(6) 监管问题。云计算服务是一种虚拟运营服务，打破了地域的概念，资源的跨地域提供与本地化的监管之间存在矛盾。

3.2 物联网带来的机遇与挑战

对于运营商而言，发展物联网具有如下几方面的重大现实意义：

(1) 人人通信趋于饱和，运营商需要转向物物通信并寻找新的增长点。物物通信将有着比人人通信更广阔的市场前景，而且物联网的发展将深化网络、业务和产业的融合，加快运营商转型的步伐。

(2) 可以推动运营商更加关注和积极开拓行业应用的市场蓝海，有助于加快中国信息化与工业化融合的步伐。

(3) 从物联网自身演进需求来看，物联网必然会从孤立的、局域的垂直应用阶段发展到泛在的、联网的协同应用阶段，通信网络和电信运营商的价值和作用将愈来愈显现。

在物联网的发展中，运营商可以发挥如下多方面的作用：

(1) 基础网络服务。安全可靠的接入与承载网络是运营商的核心价值所在。物联网的信息传递需要依赖移动网与互联网，需要实现无缝网络覆盖和异构网络融合，构建异构的泛在网为运营商提供了发展机会。

(2) 应用集成服务。运营商可打造基于移动互联网的物联网应用，将已有的诸多基础电信业务能力如短信、定位能力等开放出来与物联网应用相结合，通过应用集成促进业务创新，从信息流的传输者演变为应用服务的聚合者。

(3) 运营支撑服务。运营商的一大核心优势是其业务管理和运营支撑能力，包括终端接入管理、信息安全管理、网络管理和业务管理等。运营商通过构建物联网运营支撑平台和服务体系，可以将认证、计费等内部支撑能力和短信、定位等关键资源进行统一封装，从而降低学习成本、简化产品开发环节、加快产品上线速度，还可以提高网络安全性、提升产品质量和管理效率、降低管理成本；传感设备与终端还可以通过物联网运营支撑平台与运营商业务平台和行业应用平台沟通，为应用集成提供更便捷的手段。总之，物联网运营支撑平台应用模式的确定将极大推动和促进物联网业务的发展，并且为各行各业的网络和业务资源互联互通奠定基础。

(4) IT设施服务。云计算模式是海量智能信息处理的重要手段，运营商能够基于强大的数据中心资源，发展成为智能平台建设者以及云计算

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P41

服务的提供者。

尽管物联网为电信运营商带来了巨大的发展机遇，而且运营商也有条件担当起物联网产业链关键角色的重任，但也面临许多挑战和困难[4]。

(1) 产品问题。电信运营商现有的M2M产品尚处于初级阶段，缺乏体系化和标准化，难以规模复制。

(2) 商业模式与产业链问题。物联网产业链更为复杂，商业模式有待探寻。运营商需要积极同平台提供商、内容提供商、终端厂商、传感器厂商以及用户等多方合作，不断完善物联网产业链。

(3) 成本和市场培育问题。目前物联网相关设备和应用成本较高，限制了应用的规模化推广，另外，用户消费习惯和使用习惯的培育也需要一个过程。

(4) 标准化问题。物联网涉及传感网、通信网、信息处理、终端和应用等多个环节，各个环节都有大量的标准化工作需要开展，而且不同行业、不同标准化机构对物联网相关标准的理解和要求又不完全统一，更增加了标准化工作难度。

(5) 地址和码号问题。每个联网的终端都需要配置相应的网络地址，发展IPv6是解决地址问题的根本手段，但目前业已存在的庞大IPv4网络和应用使得向IPv6的演进依然面临巨大阻力；另外运营商要解决物联网终端所需的移动码号资源问题，尚需监管部门的支持。

(6) 服务质量和运维问题。随着物联网应用与移动通信和互联网的结合越来越紧密，如何实现传感网与移动网、互联网等的无缝融合并确保服务质量和安全，以及融合后对数量众多的传感节点如何进行高效的网络维护和故障判断，都对运营商提出了新的挑战。

4 电信运营商的云计算与物联网发展策略

在云计算方面，运营商可以积极开展如下工作：

(1) 积极跟踪研究云计算技术和应用，推动云计算的标准化和互操作，创新云计算的业务应用模式。

(2) 积极在企业内部IT系统建设中采用云计算技术，以云技术引入为契机，推动IT管理的一体化变革。研究试验原有IT应用向云计算平台迁移的技术实现手段，确保应用的平滑过渡。

(3) 以服务器与存储资源出租为切入点，建立云计算数据中心，提供基础云计算服务，将IT资源出租与通信服务相结合并向用户提供一体化解决方案。

(4) 推动电信业务能力的开放，逐步实现电信业务的云服务，并实现电信云和IT云的聚合。通过通信资源和计算、存储资源的协同创造新的业务和商业模式。

(5) 增强互联网的安全和服务质量保障能力，提高移动和固定宽带接入速率和质量，为云计算服务商和用户提供更优质和具有差异化的网络服务，提升基础网络价值。

在物联网方面，电信运营商应坚持合作与开放，联合产业链各方共同克服面临的问题和困难，推动物联网的发展。

(1) 广泛开展产业合作，积极整合产业链资源。从“完善物联网产业链、建设物联网运营支撑平台、推动物联网相关标准制订、加快IPv4向IPv6的演进、构建云计算平台”等环节入手，与产业链各方共同努力推动物联网的成熟和发展。

(2) 选取具体行业进行重点突破。由于初期存在盈利模式和运营经验不足的客观约束，因此要结合政府所引导发展的重点行业和领域进行重点突破，成功后再进行大规模的复制推广。

(3) 根据自身实力和特点开展有针对性的部署和差异化应用服务。一是充分考虑自身网络的优势和特征，切入特定的行业应用；二是打造整合在统一品牌下的标准化产品，并在各地分公司结合当地实际将标准化产品与个性化应用相结合进行推广；三是要逐步拓展行业应用辐射下的公众服务和自服务管理领域，使已有的大规模公众客户和企业自身首先成为物联网的使用者和推广者。

(4) 积极介入物联网领域的研发和标准化工作，努力成为中国物联网产业的主力军。要高度重视物联网应用的标准化工作，规范化与标准化是物联网规模化推广和降低应用成本的关键。

总之，云计算与物联网作为新一代信息技术的代表，已成为中国战略性新兴产业的重要组成部分。云计算与物联网的发展相辅相成，物联网的庞大信息处理需要采用云计算，从而为云计算带来广阔的市场空间。在云计算与物联网的发展过程中，中国电信运营商应该坚持合作与开放，创新发展理念，与产业链各方共同努力，利用3G移动网、宽带互联网上的技术优势，以及完善的服务体系和能力，在产业链中发挥更大的作用，同时也为自己赢得更大的发展空间。

5 参考文献

[1] 2010年9月通信业运行状况 [R]. 工业和信息化部. 2010.
[2] 2009–2010年中国网络经济行业发展报告简版 [R]. 艾瑞咨询集团.2010.
[3] 唐雄燕. 云计算带给电信运营商的机遇与挑战 [C]// 2010云计算中国峰会, 2010年3月25日, 北京.
[4] 唐雄燕，宁小玲. 物联网对电信运营商的机遇与挑战 [J]. 电信网技术, 2010 (6):37–40.

收稿日期：2011–01–18

作者简介

唐雄燕，工学博士、教授级高工、“新世纪百千万人才工程”国家级人选；现任中国联通集团国家工程实验室副总工程师，兼任北京邮电大学兼职教授、博士生导师，中国通信标准化协会泛在网技术工作委员会副主席；长期从事通信网络研究、业务开发和技术管理工作；出版专著4部，发表技术论文100余篇。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P42

电信运营商宽带升速的部署策略分析

Strategies for Increasing Broadband Speed

李家京/LI Jiajing
（北京电信规划设计院有限公司，北京 100048）
(Beijing Telecom Planning & Design Institute Co., Ltd., Beijing 100048,China)

摘要：在当今信息和通信技术迅猛发展的趋势下，以铜线为主的接入网已经不能满足人们日益增长的宽带接入需求，部署光纤接入网已是电信运营商未来有线综合接入网建设的发展趋势。文章归纳和总结了电信运营商各种 FTTX 部署方式及其优缺点，对宽带接入的规划、建设等基本模式进行探讨。文章提出了电信运营商光纤接入网的部署策略，保证宽带接入网的先进性、统一性、可扩展性和可控性。

关键词：宽带升速；三网融合；光纤到户(FTTH)；交互式网络电视(IPTV)

Abstract: Copper access networks no longer meet demands for broadband access, and constructing optical fiber access networks have become the trend. This article introduces advantages and disadvantages of various FTTX deployment strategies, and discusses the basic models used in broadband access planning and construction. Fiber optics can bring about an advanced, unified, scalable, and controllable broadband access networks.

Key words: increasing broadband speed; integration of telecom, radio and TV; Fiber To The Home (FTTH); Internet Protocol Television (IPTV)

中图分类号：TP393.03　文献标志码：A　文章编号：1009-6868 (2011) 02-0037-06

随着以 Internet 为代表的信息通信技术的迅猛发展和普及，社会信息化程度的不断提高，需求宽带接入并愿意为之付费的用户数呈持续稳定增长。各种新型多媒体业务，如视频电话、视频点播技术(VOD)以及高清数字电视等不断涌现，并受到人们越来越多的喜爱，传统的窄带语音和数据业务已不再能够满足人们日益增长的需求。

但是，在电信领域中，与骨干网相比，处于网络边缘的接入网的建设发展却相对缓慢，甚至逐渐成为信息高速公路最后的“瓶颈”，严重制约着用户多媒体业务等高带宽业务的提供和发展。

近十年来，电、光信号处理技术领域，都取得了巨大的进步。高质量的光纤得到普及，高效率的光源和接收机价格也降到了可接受的范围。这使得构建光接入网不再像以前那么昂贵，同时它可以获得比数字用户线路(DSL)及 Cable 系统更为显著的性价比。

无源光网络(PON)技术的应用，较大程度降低了光缆建设成本，使光纤更接近用户，提高了用户带宽，加强系统整体的可靠性，同时节省机房的租、建投资，降低建设和维护成本，加快建设速度。构建光接入网是固网运营商未来综合接入网建设的发展趋势，同时也是光接入技术当仁不让的选择。尽管各国发展光接入网的步骤各不相同，但现阶段光纤到户(FTTH)是光接入网公认的最终发展目标。

2010 年 3 月，工业和信息化部、国家发展改革委等七部委员联合印发了《关于推进光纤宽带网络建设的意见》，更将光纤宽带网络的建设提升到了国家战略的层面。

1 背景形势和网络现状分析

1.1 背景和形势

近几年来，互联网多媒体业务应用得到迅猛的发展，用户对宽带接入的带宽提升需求越来越高。交互式网络电视(IPTV)、高清电视、网络视频等业务的发展，大幅度提升了用户对下行接入带宽的需求；而物联网业务的发展，则大大提升了用户对上行带宽的需求。带宽需求预计每年都将成倍递增。

2010 年，中国的三网融合在国务院主导下取得了实质性突破：一方面广电进入电信领域将加剧宽带接入竞争白热化；另一方面，电信运营商的融合业务部署将迅速增加对宽带数据流量的需求，电信运营商必须大幅度提高接入带宽以支持未来融合业务的开展。此外，三大电信运营商在重新整合后均可进行全业务运营，中国移动也加入到固定宽带业务的竞争行列。宽带接入的业务竞争成为重要焦点，特别是带宽能力将成为评判运营商所推广的宽带产品的优

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P43

▼表1 铜缆距离与可达带宽的对应关系

可达带宽	≥20 Mbit/s	8 ~ 20 Mbit/s	8 Mbit/s	4 Mbit/s	2 Mbit/s	1 Mbit/s	512 kbit/s
接入距离/km	≤0.5	0.5 ~ 1	1 ~ 1.5	1.5 ~ 2	2 ~ 2.5	2.5 ~ 3	3 ~ 3.5

劣标准。

1.2 宽带网络现状

在接入网中，能否拥有覆盖完善的线路资源是重中之重。中国电信、中国联通经过多年的接入网建设，各自在主导省份已拥有着较为完善的覆盖，基本实现了宽带网络的广泛覆盖，使乡镇光缆通达率和宽带覆盖率均达到95%以上；但在拓展省份，资源相对比较薄弱，宽带覆盖率不足50%。对于中国移动而言，因其是固网接入业务的新进者，固网接入资源整体都比较匮乏，但其近两年凭借资金优势在商务楼宇和小区积极拓展固网接入业务，并结合无线网络的优势进行多业务捆绑，也具有较强劲的竞争力。

电信和联通现有的接入方式中DSL接入仍占大部分比率，而DSL方式提供的带宽能力与铜线距离和质量有直接关系。在线路条件良好的情况下，DSL铜缆距离与可达带宽测试的对应关系如表1所示。

实际部署中，电信和联通在主导区域的电缆年限超过10年的比例较高，由于线路老化、潮气侵蚀、接续过多等原因，部分DSL难以保障开展高带宽业务，而在拓展区域铜缆建设期较短，DSL线路质量良好。

随着光纤接入网技术发展成熟，各运营商已把宽带升速和光进铜退作为重要战略进行部署。

2 接入宽带需求测算

未来三网融合的部署将实现语音、数据、广播电视和移动业务融合，接入网是电信运营商三网融合架构的重点，能否支持高带宽和多业务服务质量(QoS)是一切融合业务发展的前提。分析三网融合对接入带宽的需求，每路标清节目的数据流量至少是2 Mbit/s，高清节目的数据流量至少是8 Mbit/s。初期考虑到偏远的农村对高清需求不高的情况，农村地区接入速率至少需达到4 Mbit/s，城市则至少达到10 Mbit/s。考虑到今后多数城市家庭都至少有2台电视，且需要2 ~ 4 Mbit/s的上网接入，一般来说接入速率需要20 Mbit/s，农村地区则至少要达到16 Mbit/s。随着融合业务的不断创新和推广，预计未来将发展超高清、3D视频等更高速率需求的业务，因此远期接入速率则需达到50 ~ 100 Mbit/s。另外未来上行速率需求也将逐步提高。

表2是三网融合后典型客户接入速率需求测算，可见电信运营商必须坚定不移地加快宽带升速的建设。尽量以中、远期为目标，避免重复建设、重复投资，因地制宜地结合业务的开展和推广，推出不同的建设和改造部署方案。

3 宽带接入技术的选取

随着技术的发展，运营商的有线宽带接入技术手段从传统的DSL和局域网(LAN)接入，发展到正在规模应用的EPON、GPON等光接入技术，再到现阶段正在快速发展和完善的10G PON技术，有线宽带接入技术越来越呈现出多样化的趋势[1-4]。

3.1 宽带接入技术分类

(1) 宽带接入技术方式按物理介质可分为两大类别：铜线接入和光纤接入。

铜线接入主要是在端局等位置部署数字用户线路接入复用器(DSLAM)，这种传统的接入方式中铜缆接入距离过长，致使接入带宽多数无法满足未来高带宽业务的发展需求；另一方面，在非对称数字用户环路(ADSL)系列的接入方式中上行带宽受限较大，更无法满足物联网、视频通话等业务需求。因此，电信运营商应停止铜线接入方式的建设，大跨步向光纤接入网演进。

光纤接入方式按组网结构可分为点到点光纤接入(P2P)和点到多点光纤接入(P2MP)。

● P2P结构

P2P光传输方式，即从局端到每个用户端设备都是一一对应，且设备之间都用一对或一根独立的光纤。点到点之间的业务承载可通过光纤直驱方式，也可通过传输设备承载。

点到点设备主要服务于商务、大客户接入，一般采用光纤到办公室(FTTO)的接入方式，局端设备一般部署在端局或模块局，用户端设备一般放置在企业、单位的中心机房内，以

▼表2 三网融合后典型客户接入速率需求测算

客户类型和等级	上网(含流媒体、femto WiFi)/(Mbit/s)	IPTV业务/路(高清，8 Mbit/s每路)	IPTV业务/路(标清，2 Mbit/s每路)	可视电话/路(0.5 Mbit/s每路)	语音/路(0.1 Mbit/s每路)	家庭监控/路(0.5 Mbit/s每路)	其他家庭智能终端/路(2 Mbit/s每路)	综合速率需求/(Mbit/s)(上行带宽)	综合速率需求/(Mbit/s)(下行带宽)
商务客户1（高端）	8	2	2	2	—	1	1	14	32
商务客户2（低端）	4	1	1	—	2	—	1	6	16
家庭客户1（中期城区）	8	2	2	1	—	1	—	4	20
家庭客户2（中期农村）	8	1	1	1	—	—	—	2	16
家庭客户3（近期城区）	2	1	1	—	1	—	—	1	10
家庭客户4（近期农村）	2	—	1	—	1	—	—	0.5	4

注：1 大客户一般采用专项方式解决其需求，不在公众客户接入范畴。
2 远期带宽需求为50 ~ 100 Mbit/s。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P44

获得最优越的保障设施条件，同时也方便与用户设备对接。但此方式占用管线资源较多，适用于中高端商业用户。

• P2MP结构

P2MP光接入技术是局端设备对应多个用户端设备，可以实现多个用户端设备复用一根主干光纤，是公众用户提供接入的主要方式。点到多点的主要实现技术为PON技术。

(2) 光纤宽带接入方式按光纤到用户的距离又分为FTTH、光纤到楼(FTTB)、光纤到路边(FTTC)、光纤到村(FTTV)和FTTO等。其中FTTH与FTTO的部署方式基本类似，而FTTC则与FTTV的部署方式比较类似，因此总体归并为FTTH、FTTB和FTTC三大类。

• FTTH

光纤到户指主干段、配线段和引入段全程采用全光接入，该方式是宽带接入网络“光进铜退”的最终目标，具有用户接入带宽高、业务接入灵活、故障点少、故障定位灵活等特点，但是建设投资较大。

• FTTB

FTTB是光纤接入网络向用户端推进的重要方式之一，以xPON的方式将光纤深入至用户小区楼宇，在楼道中设置光节点(ONU)设备，最后100 m用户末端接入采用PON+LAN的方式，可为用户提供10～100 Mbit/s的接入带宽，初期投资略低于FTTH方式。但由于楼道有源节点过多，存在难以维护且运营质量无法保证等情况，有悖于大容量、少局所的部署原则。

• FTTC

FTTC采用PON+xDSL、DSLAM或多服务接入网关(MSAG)等方式部署到小区，是现有铜缆接入网络改造的主要方式之一。它将宽带设备推进至用户小区，接入末端采用xDSL方式接入。FTTC投资最低，但铜线接入距离较长，接入速率能力受铜线老化、接续质量等因素影响较大，与宽带接入网的最终目标差距最远。

3.2 光纤宽带接入手段对比

(1) FTTX带宽拓展能力对比

• FTTH

采用EPON技术进行光纤到户建设时，按分光比1∶64部署，每个EPON接口的最大吞吐量按照下行950 Mbit/s、上行900 Mbit/s计算，同时考虑70%的利用率，平均每用户可获得20 Mbit/s的对称带宽。如再考虑一定比例的业务并发比，每用户则可获得带宽最高达50 Mbit/s。采用GPON技术进行光纤到户建设时，在同样部署方式下，每个GPON接口的最大吞吐量按下行2.4 Gbit/s、上行1.0 Gbit/s计算。每用户可获得下行带宽50 Mbit/s，上行带宽20 Mbit/s。考虑一定比例的业务并发比，每用户可获得下行带宽100 Mbit/s，上行带宽50 Mbit/s。

待未来10G PON技术发展成熟时，可将每用户接入带宽提升至200～500 Mbit/s。从更长远看，10G PON下一代无源光网络技术(NGPON2)也在探索研究中。总的来说，光纤的带宽能力是可以是无限提升的，因此光纤到户的端到端全光接入可以说有着无限的带宽提升能力。

• FTTB

目前采用FTTB建设，使用较多的是16或24个以太网接口的ONU，采用EPON技术部署时，分光比按照1∶16部署，考虑70%的利用率，平均每用户可获得3～5 Mbit/s对称带宽。再考虑一定比例的业务并发比，每用户可获得带宽最高达10～15 Mbit/s。采用GPON部署时，在同样部署方式下，每个用户可以获得下行带宽约为9～13 Mbit/s，上行略高于EPON。考虑一定比例的业务并发比，每用户可获得下行带宽10～20 Mbit/s。

待未来10G PON技术发展成熟，可通过PON设备替换和升级，可将每用户接入带宽提升至30～50 Mbit/s。

• FTTC

无论是采用PON+DSL还是DSLAM部署到小区机房，FTTC接入方式的带宽能力“瓶颈”主要在于铜缆长度和质量因素。目前的DSL技术主要以ADS2+为主，铜线距离在500 m以内时，理论上(实验室测试)采用ADSL2技术用户线路，带宽可达下行20 Mbit/s，上行2.3 Mbit/s；采用VDSL2技术时，用户线路带宽达到下行60 Mbit/s，上行20 Mbit/s，甚至更高。但DSL接入易受铜缆质量、老化程度、接续质量等较多因素的影响。在实际部署中，由于铜线条件良莠不齐，难以保证全部能支持高带宽。

另外，无论小区宽带设备是采用PON(ONU)上联，还是GE(DSLAM)接口上联，由于单Gbit/s接口下带较多用户，因此必须考虑未来流量增加、用户带宽需求提升时，如何扩展或升级上联接口。

由此可见，光纤到户的带宽扩展提升能力的优势是无可比拟的。

(2) FTTX造价对比

分别采用统计法和模型法进行综合造价分析，统计法是调研了电信运营商多个省份的批量项目，从中排除不合理的项目后，统计分析各种建设方式的综合造价。模型法是调研了2010年电信运营商集中采购的各种设备和材料价格，结合工程经验并按通信行业、国家的相关标准取定配套材料费、工程费及其他工程建设费，推算出典型场景下的各种建设方式的综合造价。其中小区内的ONU、DSLAM设备和配线光缆、引入光缆、综合布线等工程以1 000户小区为模型，而对于主干光缆、光缆终端设备(OLT)及其配套等覆盖范围较广的设施资源，建设投产后，其产生的服务范围较大，平均在万户左右，因此将其投资分摊到1万户计取平均造价。电信运营商宽带接入几个主要建设方式的平均单位造价情况如表3所示。

光纤部署位置越接近用户，建设成本相对越高，但能提供的带宽扩展

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P45

▼表3 FTTX单位造价对比

接入方式	OLT及配套/(元/户)	主干光缆/(元/户)	配线光缆/(元/户)	引入光缆/(元/户)	电缆/综合布线/(元/户)	楼宇或小区内ONU/DSLAM等设备及配套/(元/户)	总计/(元/户)
FTTH	100	100	550	490	—	—	1 240
PON+LAN	79	18	120	—	300	396	913
PON+DSL	79	28	—	—	47	512	666
DSLAM	—	18	—	—	47	496	561

DSL：数字用户线　DSLAM：数字用户线路接入复用器　LAN：局域网　ONU：光网络单元设备
FTTH：光纤到户　OLT：光线路终端设备　PON：无源光网络

性也越高。前几年由于电信运营商的3G传输和宽带建设规模较大，光缆、光纤材料居高不下，但总体下降空间大，未来几年将呈较大幅度的下降趋势。

(3) FTTX运行维护费用对比

运行维护费用主要有房屋租赁、人员维护费用和能耗费用等。其中由于运营商不同、地域的租房价格不同、人员费用等因素差距较大等原因，不便进行量化对比，只进行定性分析。

房屋租用费用的情况是：FTTC>FTTB>FTTH，其中FTTB部署方式由于设备部署的楼道交接间或竖井间等位置属于公用设施，一般不发生租用费，对于每万用户人员维护量及单用户能耗测算如表4所示。

不同建设方式对运维的影响远不止于费用方面，FTTB/FTTC由于在维护体制与大容量少局所的原则背道而驰，大规模部署后在安全性、可控性等方面均容易产生大量问题。例如FTTB楼道交接间或竖井间是共用空间，维护困难、易遭损坏；FTTC占地多、租房难等。

3.3 FTTX技术的选取建议

对于中国联通和中国电信来说，新建和改造主要以FTTH方式进行建设，并尽量实现宽、窄带的综合接入，大力推进光进铜退。对部分不具备光纤入户条件的，采用FTTB和FTTC为补充建设方式；不具备光纤入楼条件的，采用FTTC为补充。

城区原则上不再进行主干铜缆的建设，优先采用基于PON的FTTH或FTTB+LAN/DSL模式，并逐步将具备条件的传统ADSL用户区域改为PON接入方式，并使用PON技术，提升用户带宽。城市地区铜线距离不宜超过500 m；农村及山区可采用PON+DSL的FTTC模式，铜线距离不应超过1 km。在采用FTTB/FTTC方式建设时需考虑未来进一步升速，主干、配线光缆的建设应有预留，同时紧密跟踪、适时推广10G EPON、NG PON；对于联通和电信各自的弱势省份，线路资源匮乏、入小区难、入户难的情况，可探索与广电合作的方式加快宽带网络建设，并可采用广电主导的PON结合EOC等技术进行部署。

对于中国移动来说，固网接入资源较少，应利用资金优势和移动网络优势，灵活运用业务捆绑，先期将竞争重点着眼于商务和中高端小区，后期逐步拓展，向周边区域渗透。由于移动本身并没有大量可利用的铜缆资源，FTTX建设方式也应以光纤到户FTTH方式为主，以FTTB为补充。

4 FTTH的部署要点

中国电信和中国联通FTTB和FTTC的建设，已持续了若干年，因此部署策略已比较成熟，文章中将不再赘述；而FTTH虽一直作为公认的发展目标，但现阶段仍部署较少，很多省份的建设方不知从何着手规划和实施，在此对其部署的关键要点进行论述。

(1) OLT部署

• OLT部署位置和覆盖范围

为充分利用配套资源和集中维护，须遵从大容量少局所的原则，因此OLT应尽量集中部署。

根据目前PON技术的发展情况，近几年光模块较多采用的是EPON PX20+和GPON Class B+，与此同时GPON Class C+光模块也逐步趋于成熟。在规划OLT局所服务范围和分光比选择时，一方面从造价考虑，分光比每提高一倍，光缆的单位造价可减少100～200元，所以分光比越高越好；另一方面考虑到PON光功率预算限制，光缆全程衰耗若超过光功率预算，将导致误码率的提高甚至系统无法使用。表5中列举了各种PON光模块光功率预算与光网络衰耗核算的关系。

由表5可见，在采用目前主流光模块，即PX20+和Class B+时，分光比可采用1:64，光缆部署距离近5 km。因此在城市地区，OLT的覆盖范围在5 km之内比较合理，在光功率损耗允许范围内尽量采用大分光比，以降低光网络投资。OLT的覆盖范围应同时考虑用户的分布及对接入光缆资源的消耗等因素。农村地区考虑到网络实际情况，OLT的覆盖范围可以适当扩大，但同时应考虑PON光功率预算的影响。光缆距离超过5 km时，根据需要在覆盖用户数量较少时，可降低分光比；覆盖用户数量较多时，可下沉OLT局所。

目前部分PON厂商尚不能支持1:128分光，支持32 dB的光模块价格

▼表4 运行维护成本测算对比

FTTX部署模式	FTTH	FTTB	FTTC
维护人员/人	3	6	5
年度用电/(度/户)	3.11	19.56	10.8

FTTB：光纤到楼　FTTC：光纤到路边　FTTH：光纤到户　ONU：光节点
备注：FTTH ONU用电由用户自行承担。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P46

▼表5 FTTH衰耗核算举例

光模块种类	最大全程衰耗/dB	分光比（1：N）	光缆线路富余度/dB	光纤衰减系数/（dB/km）	光活动连接器插入损耗值/（dB/个）	光活动连接器数量/个	熔接插入损耗值/（dB/个）	熔接数量/个	光缆最长覆盖距离/km
EPON PX20	25	32	1	0.36	0.5	8	0.08	4	6.89
EPON PX20+	28	64	1	0.36	0.5	8	0.08	4	4.67
GPON Class B+	28	64	1	0.36	0.5	8	0.08	4	4.67
GPON Class C	30	64	2	0.36	0.5	8	0.08	4	7.67
GPON Class C+	32	128	1	0.36	0.5	8	0.08	3	6.06
GPON Class C+	32	64	3	0.36	0.5	8	0.08	4	8.89
GPON Class C+	32	32	3	0.36	0.5	8	0.08	14	18.56

备注：最大全程衰耗减去各类插损、富余度等，除以光纤衰减系数，可得光缆覆盖距离。
光缆长度5 km以下富余度取1 dB，5 ~ 10 km富余度取2 dB，10 km以上富余度取3 dB。

也比较高。但PON设备技术发展非常快，未来在技术发展条件具备时，可进一步提高分光比，降低光网络投资，并扩大OLT局所覆盖范围。

• OLT上联

OLT设备产品向大容量发展的趋势较明显，未来将下带较多用户。为提高安全性，承载多业务时，每种业务应采用双上联。初期业务流量较小时，宽带业务可采用2×GE上联，语音业务可采用2×FE上联。OLT设备应预留2个上联槽位和接口扩展能力，未来随流量增加逐步增加上联，远期可替换为10 GE接口上联。

(2) 光分路器(POS)部署

根据目前PON技术发展情况，采用光模块以EPON PX20+和GPON Class B+为主，分光比不宜超过64，采用GPON Class C+时不宜大于128。二级分光时，采用PX20+、Class B+光模块两级分路比乘积不宜大于64；采用Class C+光模块，两级分路比乘积不宜大于128。

POS可集中设置在小区机房（模块局机房），也可分散设置在楼宇内。集中部署便于维护和管理，分散部署可节省光缆投资，此部分原则需根据具体情况制订。新建小区建议设置光缆交接间、分纤盒，作为交接配线和POS设置使用。

• 对于现有小区用户，POS设置应首选楼内，次选楼外。楼内应首选弱电间综合布线柜，无综合布线柜的应在楼道内设置分纤盒，将POS放置在分纤盒内。楼外可选择光缆交接箱、小区交接间等设施。安装位置须安全可靠，并应做到防盗和防破坏。

• 对于平房用户，市区优选交接间、交接箱设置POS；郊区则可优选交接间/箱，次选电杆、壁挂分纤盒来放置POS。

• 工程建设时，无源光分路器POS的配置应一次性配足。

• POS上联、下联光缆宜采用活接头，以便于维护测试。

(3) 引入(入户)光缆和ONU的设置

引入光缆的建设由于受物业和业主方面的影响，目前FTTH部署中主要有以下几种情况：

• 引入光缆入户：用于新建楼宇和有需求的用户，ONU安装在综合配线箱内；

• 引入光缆布放至用户门口：引入光缆暂时盘存，待用户申请装机时再布放至用户室内，主要用于旧楼改造，ONU桌面放置；

• 配线光缆布放至楼道分纤盒：暂不布放引入光缆，待用户申请装机时再布放，主要用于旧楼改造，ONU桌面放置。

5 EPON和GPON技术对比

现阶段PON光接入相对先进和成熟的有EPON和GPON两种技术。电子电气工程师协会(IEEE)工作组IEEE802.3制订了EPON的相应标准IEEE802.3ah，将以太网的应用范围从局域网扩展至用户接入网，上下行均为1.25 Gbit/s。全业务接入网论坛(FSAN)研究制订了GPON的标准，采用成帧技术为与通用成帧规程(GFP)类似的GPON封装模式，能支持下行2 488.32 Mbit/s，上行1 244.16 Mbit/s速率，其速率支持和封装效率相对高于EPON。QoS实现方式采用T-Cont + GEM_PORT + IEEE802.1P，理论上优于EPON的LLID + IEEE802.1P方式，GPON针对时分复用模式(TDM)业务支持Native TDM方式。两种技术的主要技术指标对比如表6所示。

▼表6 GPON和EPON主要技术指标对比

对比项	GPON(ITU-T G.984)	EPON(IEEE 802.3ah)
每PON口下行/上行吞吐量/(Mbit/s)	2 300 /1 100	900/850
分光比	1:64, 1:128	1:32, 1:64
光功率预算	25 dB(PX20)；28 dB(PX20+)	28 dB(Class B+)；32 dB(Class C+)
每用户下行/上行带宽(1：64 FTTH模型)/(Mbit/s)	36 /17	15 /14
运营、维护	G.984.4OMCI标准	以太OAM标准
TDM传输	内置，支持NativeTDM模式和电路仿真模式	电路仿真(ITU-T Y.1413或MEF或IETF)
时钟同步	GPON采用物理层同步。	采用标准以太包封装TDM业务，物理层不同步，无分片成帧机制。
QoS	DBA调度单位包括TCONT(5种类型)、GEMport，粒度精细。采用多TCONT，灵活的业务流映射机制。每ONU至少8个TCONT，每TCONT至少4个队列。	DBA调度单位为LLID，标准协议每个ONU1个LLID，颗粒度粗。QoS主要通过ONU设备内部调度实现，每个LLID内有8个优先级队列。

CES：电路仿真业务　LLID：逻辑链路标记　PON：无源光网络
DBA：动态带宽分配　MEF：城域以太网论坛　QoS：服务质量
GEM：GPON封装模式　OAM：操作、管理和运行　TCONT：传输容器
IETF：互联网工程任务组　OMCI：ONT管理控制接口　TDM：时分复用模式
ITU：国际电信联盟　ONU：光网络单元

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P47

虽然GPON相对EPON在技术理论上优势较多，但由于其标准的发布晚于EPON，因此GPON在中国和其他国家现网应用的规模总数远少于EPON。GPON复杂度高于EPON，其厂商也少于EPON。另外从技术的下一代演进方面分析，EPON的下一代10GEPON(IEEE 802.3av)的进展更快，已于2009年9月发布正式颁布标准，要求在同同光配线网络(ODN)中与现有EPON ONU并存；FSAN的下一代PON标准制订了NG-PON1(10G GPON)和NG-PON2两个阶段，其中NG-PON1目前已部分完成，拟定于2010下半年发布，NG-PON1也要求在同ODN与现有GPON ONU并存。NG-PON2将引入波分复用(WDM)、正交频分复用(OFDM)、码分多址(CDMA)等技术以实现更大跨步的性能提高，不要求与现有GPON在ODN并存，目前其技术方式尚不明确。

由于EPON和GPON各有优势，各自演进和发展都很快，优劣难以定论。单从FTTH和TDM专线的部署来说，GPON的技术标准具有一定优势；而从FTTB/FTTC的部署来说，由于FTTB/FTTC部署需要考虑向10G PON演进升级，而10G EPON技术标准发布较早，因此有一定优势。

6 结束语

电信运营商的宽带升速不应简单地应对市场需求和外界竞争压力，而应把它作为自我完善和发展的契机。宽带建设、改造应尽量作到基础设施一次到位，特别要建设并完善各层面的光纤基础资源，将光纤推向用户侧，并尽量避免在小区、用户侧的重复建设和改造。在技术的选取方面要有一定的前瞻性，根据不同的情况，选择适合的部署模式和技术体制。

7 参考文献

[1] IEEE Std 802.3av: 2009. Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements, Part3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection(CSMA/CD) Access Method and Physical Layer. Specifications Amendment1: Physical Layer Specification and Management Parameters for 10Gb/s Passive Optical Networks[S].2009.
[2] ITU-T G.987. 10-Gigabit-Capable Passive Optical Network (XG-PON) Systems: Definitions, Abbreviations, and Acronyms [S].2010.
[3] ITU-T G.987.2. 10-Gigabit-Capable Passive Optical Networks (XG-PON): Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification [S].2010.
[4] ITU-T G.987.3. 10-Gigabit-Capable Passive Optical Networks(XG-PON): Transmission Convergence (TC) Specifications[S].2010.

收稿日期：2010-11-23

作者简介

李家京，毕业于北京邮电大学；现任北京市电信规划设计院有限公司第一设计所高级工程师；长期从事规划、设计方面的工作；主要研究领域为交换、数据及宽带接入等。

⬅上接第4页

全新的理念，尤其是在解决移动性、提高网络安全性和支持普适服务等方面具有非常大的应用价值。借助一体化标识网络系统，人们只需一种网络就可以享受数据通信、语音通信、多媒体通信等业务，即通过一种网络技术真正的实现“三网融合”的目标。新网络还能够提供对“物联网”有效支持，可以使用户通过传感器节点与各种物体通信，而且安全性可以得到保障。

“一体化标识网络系统”不仅为全世界未来信息网络研究提供了重要的研究思路和可行的实验环境，也为中国国防和经济建设、科学研究等领域使用的局域网、公共网和专用网提供了新的具有自主知识产权的基础平台。该系统实现了未来网络体系从概念到现实的跨越，使中国在占领信息领域的制高点，在知识产权问题上不再受国外制约，对中国的发展具有重大的科学意义、经济意义和社会意义。

6 参考文献

[1] WATTS D J, STROGATZ S H. Collective dynamics of small-world networks [J]. Nature,1998,393:440-442.
[2] The 100x100 Project [EB/OL]. [2010-12-29]. http://100x100network.org/.
[3] 21CN Project [EB/OL]. [2010-12-29]. http://www.btglobalservices.com/business/global/news/2005/edition_1/21CN.html.
[4] WROCLAWSKI J. GENI: Global environment for network innovations [R/OL]. [2010-12-29]. Using the Component and Aggregate Abstractions in the GENI Architecture, GDD-06-42(2006-12-19). http://www.geni.net.
[5] FIND: Future Internet Network Design [EB/OL]. [2010-12-29]. http://find.isi.edu.
[6] FIRE: Future Internet Research and Experimentation [EB/OL]. [2010-12-29]. http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/.
[7] 张宏科, 苏伟. 新网络体系基础研究——一体化网络与普适服务 [J]. 电子学报, 2007,35(4): 593- 598.
[8] 董平, 秦雅娟, 张宏科. 支持普适服务的一体化网络研究 [J]. 电子学报, 2007,35(4):599-606.
[9] 杨冬, 周华春, 张宏科. 基于一体化网络的普适服务研究 [J]. 电子学报, 2007,35(4):607-613.

收稿日期：2011-01-05

作者简介

苏伟，北京交通大学工学博士毕业；北京交通大学下一代互联网互联设备国家工程实验室讲师；主要研究方向为下一代互联网关键理论与技术；目前主持国家自然科学基金项目“未来互联网的认知服务与感知路由基础研究”。

刘琪，北京交通大学工学博士毕业；清华大学电子工程系博士后；主要研究方向为无线通信与移动通信；目前参加国家重点基础研究发展(“973”)基金项目“一体化网络与普适服务体系基础研究”。

张宏科，电子科技大学工学博士毕业；北京邮电大学网络技术研究院执行院长，北京交通大学下一代互联网互联设备国家工程实验室主任；主要研究方向为下一代信息网络关键理论与技术；作为首席科学家主持国家重点基础研究发展(“973”)基金项目“一体化网络与普适服务体系基础研究”。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P48

云计算的开放架构设计
Open Architecture Design of Cloud Computing

钱煜明/QIAN Yuming，陆平/LU Ping，赵培/ZHAO Pei
（中兴通讯股份有限公司 业务研究院，江苏 南京 210012）
(Communication Service R&D Institute, ZTE Corporation, Nanjing 210012,China)

中图分类号：TP393.03 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 02-0043-06

摘要：云计算作为IT基础设施的提供者，必须提供开放接口才能够获得广泛使用，否则只是专用系统而不能称为云计算。文章从云计算各个层面，包括基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)、软件即服务(SaaS)讨论了服务开放的实现方式，并提出了如何处理开放引发的安全及升级问题的解决方案。最后指出利用开放的云计算服务可以给传统的电信服务发展带来新的契机。

关键词：云计算；开放架构；虚拟化；块存储；对象存储

Abstract: As the basis of IT infrastructure, cloud computing has to provide open interface for widespread use otherwise it is just a dedicated system. This paper discusses the implementation of open service from all levels of cloud computing including Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS), and Software as a Service (SaaS). Solutions are proposed for security and upgrading in an open service environment. In conclusion it is proposed that open cloud computing can bring about many development opportunities for traditional telecom services.

Key words: cloud computing; open architecture; virtualization; block storage; object storage

随着技术的发展和各行业对云概念理解的深入，云开始在各个层面和各个领域蔓延。它已经变成一种思路、一种潮流，如云计算、云服务、云安全等。它们可以使计算能力、服务、运营能力及安全能力通过一个平台集中提供并控制，并让其成为千千万万的企业和个人可以随需索取的东西。

如何让云深入人们的生活？其中的关键在于开放平台的提供，它可以使云透过标准通用管道，服务于普通百姓人家。可以说，使用云能力的门槛越低、越便利，使用范围才能越来越广。云计算的能力开放，不仅方便最终使用者，更是受益第三方企业，他们能利用开放的接口和服务，提供超出云计算本身能力的服务。

1 IaaS能力开放架构

1.1 虚拟化能力开放

目前业界已有很多厂商可以提供虚拟化解决方案，如VMWare、Microsoft、Citrix以及基于开源的Xen/KVM等。各种虚拟化解决方案各有特色，但目前面临的最大问题是：不论是生成的虚拟化文件，还是虚拟化的管理都各自为政、互不兼容。

当前的形式迫切需要一种标准，能向所有参与者提供虚拟化应用的方法，并且减少多个、竞争性的、不兼容的实现所带来的问题。目前，分布管理任务组织已开始使用开放式虚拟机(OVF)格式。OVF支持多虚拟化映像格式，对于任何监管程序的虚拟机都可以使用它引导程序并加载。另外，OVF引导程序是基于数字签名的，确保了免费发布和用户的利益。

虚拟化最主要的参与厂商，像Dell、HP、IBM、微软、VMware以及Citrix都加入了OVF，后几者的加入表明虚拟化厂商参与的重要性，同时也增强了标准被广泛采纳的可能性。

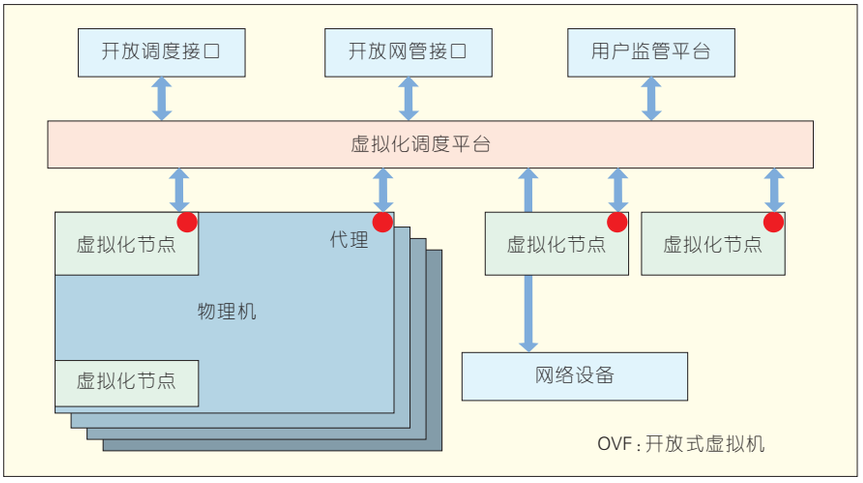
中兴通讯公司在虚拟化的统一管理方面提供了开放的管理平台，能够支持多种底层虚拟化环境，如图1所示。它未来也将可以支持OVF，并能提供用户侧的监控与网管，自由创建、销毁、迁移及监测各虚拟机及上层应用的状态。由于虚拟机调度可能导致网络设备以及负荷平衡设备的变化，因此将对网络设备也实现统一管理。虚拟化平台向应用层提供可信的虚拟化开放接口，可以让应用系统根据自身需求，动态调度虚拟机。业务系统通过开放的接口调用，就能够实现更加广义的自动化业务弹性可扩展解决方案。

1.2 存储能力开放

存储能力是最基本的能力之一，也是所有数据能够被处理的基础。目前的数据存储主要有3种访问方式：文件存储、对象存储以及块存储。块存储与文件存储面向底层接口，一般来说对应用透明；对象存储属于应用层之上的软接口[1]。

从文件系统的角度来看，云计算

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P49



▲图1 基于OVF的统一虚拟化调度平台

主要面向的是分布式文件系统，它是云基础架构中最核心的元素，目前比较著名的有RedHat GFS、IBM的GPFS及SUN的Luster。这些分布式文件系统对硬件设施的要求较高，往往需要存储节点自身提供数据可靠性的保证。这类文件系统通常会在操作系统核心提供开放接口供文件访问。另外一类是类似Google GFS产品，如开源的HDFS、KFS、阿里巴巴的盘古文件系统等，此类产品使用廉价商用机器搭建分布式文件系统，并在用户态提供开放接口。

不论何种内部实现方式，分布式文件系统都需要提供可靠性存储及可供应用访问的接口。核心域实现的存储开放方式主要是在操作系统内核层面通过专用驱动实现裸设备的暴露，操作系统使用通用的文件系统如Ext3对应用开放。用户域的存储开放方式是Posix接口或专用的私有协议接口。使用用户态开放接口有如下好处：

- 在用户态文件系统与操作系统松耦合，便于单独升级，稳定性好。
- 减少操作系统导致的底层交互次数，降低复杂度，提高效率。
- 接口更丰富，能够实现更好的优化。
- 安全性更好控制。

当然，用户态开放也有缺点，如接口对应用有侵入性。如果迁移到其他存储系统将需要重新编译相关应用。

对应用户态开放的是通用接口方式，如网络文件系统(NFS)、文件传输协议(FTP)等标准协议。由于这些标准协议制订时并未考虑到分布式问题，所以接口本身的分布式需要重点解决，即接口本身如何寻址、容错、负载均衡等。同时需要重点解决多文件共享访问的读写锁问题。

中兴通讯分布式文件系统对于通用接口方式采用动态域名系统(DNS)结合接口IP虚拟化技术，较好地解决寻址及容错问题，并且通过服务端增加额外一层接口层实现了根据能力的负载均衡技术。

1.3 对象存储技术

直接开放文件系统的存储方式比较适合私有云的构建，对于面向公众服务的公有云服务，我们期望能够和WEB协议(HTTP)兼容。互联网的快速发展对存储系统的容量、性能和功能提出了巨大挑战，主要表现为大容量、高性能、可扩展性、可共享性、自适应性、可管理性，以及高可靠性和可用性，目前市场上没有一种解决方案可以满足所有这些要求。对于快速升级的存储需求，基于对象存储(OBS)技术是一种非常有前景的解决方法，它融合了高速可直接访问的存储网络(SAN)和安全、良好跨平台共享数据的网络附属存储(NAS)的优点。通过对象存储可以很好地屏蔽底层协议及网络结构的复杂性，对象存储的具体特点如图2所示。下一代互联网和PB级存储大规模部署迫切地期待基于对象存储技术的成熟和大规模应用。对象存储设备(OSD)可以基于独立的设备(如OSD硬盘)，也可以在分布式系统上构建。为保证对象的唯一性，面向分布式系统时一般会划分对象组，确保在不同对象组内对象具有唯一性。

对象包括数据和元数据，有两个重要特点：

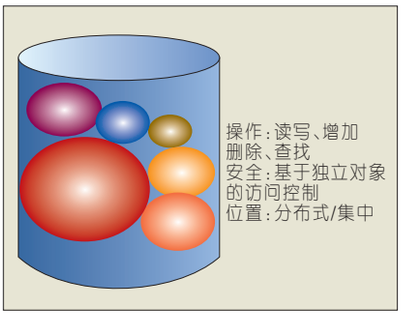
- 对象设备内部管理元数据(空间管理)。
- 对象ID是访问该对象的唯一标志(每个OSD设备唯一)。

图3所示的是OSD安全模型，它是一个基于证书的访问控制系统，由4个实体组成：应用客户端、安全服务、策略/存储管理者及对象服务。

对象存储一般都要包含如下操作：读、写、列表、删除、获取元数据，例如Amazon简单存储服务(S3)面向各种应用提供了面向对象的S3。

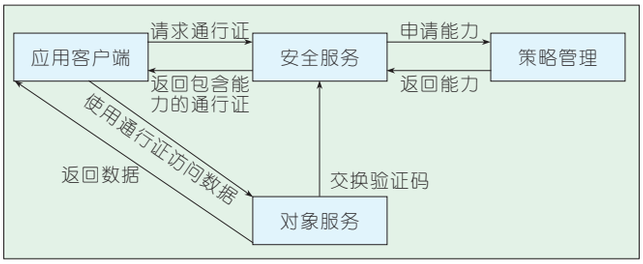
对象存储主要是面向应用开放，目前各种系统接口尚未完全统一。提供WebService或RESTful的接口比较便于应用的透明接入，但提供基于长链接的定制化客户端接入则比较容易做到高效访问。

中兴通讯开发的分布式键值访问系统就属于典型的对象存储方

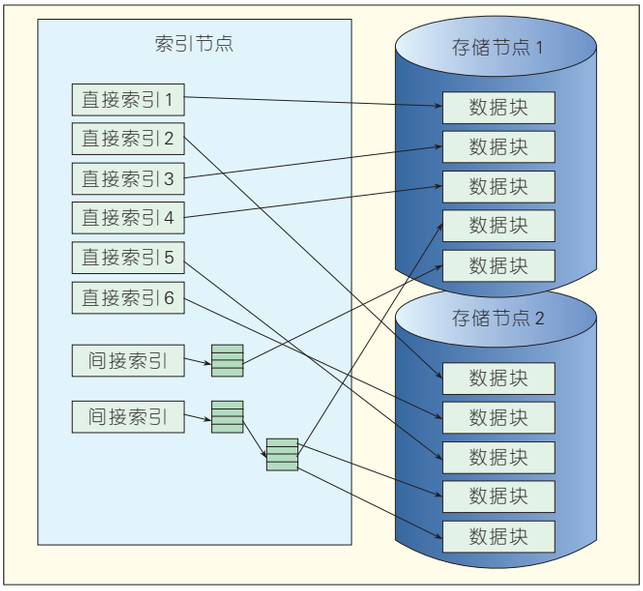


▲图2 对象存储的特点

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P50



◀图3
对象存储安全访问



◀图4
分布式块存储服务模型

式。它将数据区划分为不同的桶，每个桶内的对象对应唯一的键。通过键信息，可以获取对应的访问权限验证元数据信息和值信息。为了保证系统的可扩展性，整个系统搭建成无主网络，并且可以做到元数据信息以及键值信息的自动分布与备份。系统为提高性能，同时支持了持久化存储与非持久化存储机制。

1.4 块存储能力开放

块存储将存储区域划分成固定大小的小块，是传统裸存储设备的存储空间对外暴露方式，如图4所示。传统设备的块存储面向的是单一的物理设备，而到了云计算环境，块存储设备也将面临分布式环境。

在云计算中提供块存储能力对于虚拟机与存储系统的有机结合有着其他存储方式无法替代的作用[2]。因为很多应用软件并没有按照云存储形式进行改造或优化，例如大部分的数据库软件。如果想要在虚拟机中有效地部署并使用这些应用，提供块存储能力必不可少。

块存储的一个问题是安全性较差。因并非直接对应用暴露接口，而是面向操作系统暴露底层设备，因此对于存储的内容往往没有较好的办法进行控制。

中兴通讯配合虚拟机技术，实现了分布式的块存储访问模式。通过块存储，能够将多台机器上的物理存储设备虚拟化，并且重新切分，分配给需要使用的虚拟机。使用块存储设备还可以很好地利用淘汰下来的旧存储设备，通过存储虚拟化接口层，将不同的物理底层设备接口进行屏蔽[3-4]。

通过存储虚拟化层整合各种物理存储设备，并将它的内空间按固定的大小统一切片。然后向客户端提供块存储接口，并将多个切片后的小块存储区域通过存储虚拟化层统一调度并组成客户所需要的卷大小，如图5所示。每个小的切片都会由接口将客户机的块访问请求直接映射成为物理机的块访问请求。

块存储技术可将业务虚拟机的数据与服务完全隔离开来。当对虚拟机进行迁移时，重新绑定虚拟卷后数据即可自动迁移，这样可以有效提高迁移效率。

1.5 IaaS能力开放的安全性考虑

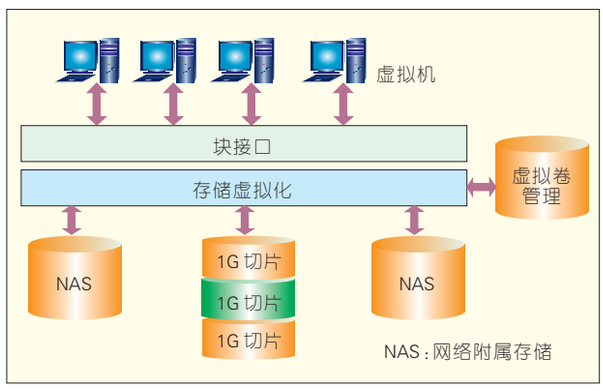
对于商业系统用户来说，系统的高效访问、可靠性、易用性是其中一个方面，但最终决定是否使用云计算作为企业基础服务的是能力开放的安全性。

(1) 特权使用者的管理

特权使用者，例如运营商的管理员，由于具有绝对的权力，必须严格监管。

(2) 法规的遵守

虽然云计算公司是通过运营商提供服务，但法律法规还需要提供服务的公司遵守并承担，而非运营商本身。因此客观要求不仅是服务公司必须满足相关的法规要求，为其提供服务的运营商也必须满足相关的要



▲图5 使用存储虚拟化技术实现块存储服务

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P51

求才能够避免法律风险。

(3) 资料所在地理位置的管控

隐私保护权在各个国家和地区有所不同，作为无边界的网络服务，必须有能力满足特定地理位置下用户的隐私规则，以保证符合服务地的法规。有些国家和地区对敏感数据的物理存储地址也有限定，服务提供商必须能够满足这些要求。

(4) 数据的隔离

云服务面向很多用户，因此必须保障数据的有效隔离，必要时要有能够提供数据物理隔离的能力。

(5) 故障情况下数据的恢复能力

故障发生时，如何能够快速恢复服务与数据，并有效备份数据，是必须考虑的。

(6) 对调查的支援能力

某些法律，如《萨班斯法案》中，要求所有的数据操作都有可追溯性。如果面临审计或法律调查，服务提供商要能够有效提供相关的操作数据。

(7) 永久可用性

云服务的供应商不一定可以永久地提供服务，例如HP最近就停止了网络相册服务。在服务终止时，将数据和服务由一个运营商迁移到另一个运营商或自己的数据中心是一个非常重要的安全性因素。

2 PaaS能力开放架构

2.1 基于虚拟化的业务云托管与部署

这种应用场景主要是互联网数据中心(IDC)的运营[5]，典型的如Amazon的弹性计算云(EC2)，能够支持各种不同的操作系统以及开发环境。这种类型的平台一般向用户提供了如下特性：

• 灵活性

系统一般容许用户对运行实例的类型、数量、占用的资源量甚至地理位置进行相对自由的定制，并可以根据用户需求随时调整。

• 低成本

使用运营商提供的这种服务以后，小型企业就不必自行购置昂贵的机器设备及网络设备，可根据服务的容量及时间进行收费。

• 安全性

运营商一般会提供一整套的安全措施，如基于安全外壳协议(SSH)的访问鉴权、防火墙设置等，同时容许用户对他们的应用自行监控。

• 易用性

运营商除了提供基础的虚拟机服务以外，还会提供其他一些基础服务，如对象存储、数据库、消息管道等。应用程序不必额外搭建这些基础设施就能够直接使用。

• 容错性

系统一般都提供一定的网络及存储容错机制，一旦发生故障，能够保障数据的可靠及尽可能稳定的用户服务。

对外提供的访问接口主要有3类：

• 虚拟机远程访问接口。主要是通过统一验证的SSH服务及可靠数据协议(RDP)服务提供。

• 管理服务接口。提供用户自行监控虚拟服务集群的状态及创建、删除、调整虚拟节点。

• 业务服务访问接口。完全由客户在虚拟机内运行的服务提供，但系统可以提供统一的安全访问服务。

2.2 业务能力开放

业务开放平台能够提供网络或业务执行的模块接口。开发者能够通过调用开放应用程序编程接口(API)所提供的各种功能[6]，快速集成不同的模块，以建立新的网络应用。目前这类服务有很多，最著名的是Google的地图服务。电信企业也能够开放和电信相关的一些业务，例如手机的位置查询服务、短信群发服务等；淘宝也根据自身需要，开放了与很多用户商品和交易相关的API。

为了让这些不同的服务与资料快速集成，很多公司还同时提供Mashup快速开发工具，例如Yahoo的Pipe、Google的Mashup Editor以及微软的Popfly。

在业务能力开放平台，一般还需要设立开发者沙箱[7]，用于协助开发者在开发阶段模拟真实系统操作，同时又不干扰真实系统的运营。图6是业务能力开放平台的一套典型部署结构。

为保障业务能力开放平台的稳定运行，必须将各种业务能力隔离，以防在极端情况下某种业务能力的异常引发整个系统的异常。

业务能力开放平台对于客户端的接入必须要有访问控制功能，一方面是客户方的鉴权与认证，只有经过合法认证的客户方才能够使用业务服务；另一方面不同级别客户的访问权限及调用频率需要验证，以防错误的客户方或恶意的程序导致服务异常或数据异常。

2.3 在线服务托管模式

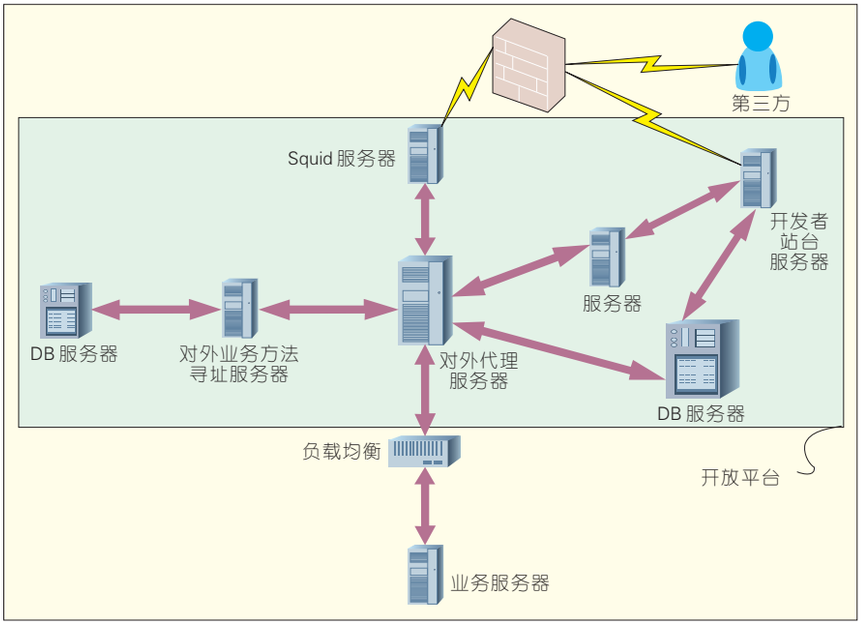
在线业务托管平台是企业资源计划(ERP)、客户关系管理(CRM)或通用的服务提供商通过开放平台，容许第三方在托管平台上开发自己的服务并对外提供服务。这些第三方开发的服务有各自明确的用户、独立的需求，但是需要使用平台方提供的基础资源进而对外服务。典型的如Google的App Engine、Saleforce的force.com及ebay与淘宝的托管平台。第三方服务共享平台的资源、用户和数据，专心开发需求解决方案，有效地补充了平台所不具备的各种能力。例如目前eBay有45%的商品是通过第三方应用上架。

各平台包含标准的服务框架、数据访问接口以及特定的编程语言支持。部署在平台上以后，平台可以自动根据访问的热度等分配计算资源，进行平滑扩展。

2.4 开放服务接口的版本管理与动态升级

对外服务不可避免地会涉及到

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P52



▲图6 业务能力开放平台典型架构

接口的版本管理与升级策略，为保证服务的持续性，我们必须保证能够在不中断服务的情况下进行版本升级，保障不同版本客户端之间的兼容性与可用性。图7说明了如何进行向前兼容的服务接口设计及升级流程。

业务访问接口中带有版本号，不同版本的接口使用不同的服务。当某一接口升级后，首先需要发布通告，告知所有的客户端开发者进行相关升级，同时将对应的版本接口标志为“不建议使用”，但仍然对外提供服务。在这一阶段会有两个版本同时服务，在确认所有客户端软件全部使用新版本后，废止旧版本接口。

2.5 安全的服务开放

保证服务稳定可靠的关键是提供可信服务，它有3层含义：需要有手段去验证服务的使用者身份，只有授权的用户才能访问特定服务；服务本身是可靠的，非法用户或非法访问不会影响正常的用户访问；服务的数据保存是安全可靠的，只有可信赖的人能够访问可信赖的数据。

保证访问安全有如下一些做法：

- 访问应用的授权与签名。客户端系统或应用接入云服务前，必须经过云服务商的认证。认证结果以授权码方式交给客户方。以后的每次访问，客户方都需要出示授权码，或请求使用授权码进行签名。系统返回的结果也同样由系统证书进行签名，以达到通信双方的互信[8]。
- 时间戳方式。对于异步系统，使用时间戳及唯一的客户端ID作为请求的序列号，系统返回时同样使用相同的方式构造序列号以进行适配。
- 幂等检查。通过客户端生成唯一的序列号，服务端可以检测客户端命令是否重复发送，如有重复将直接抛弃。幂等检查可以保证所有服务请求都是一次性且唯一的，即使被恶意截获并通过网络设备重播，也不会执行。
- 通过安全白名单进行控制。通过白名单制度，系统保证只有经过安全认证的客户端能够接入，通常可以通过认证证书实现，这是最严格的访问限制。

如果涉及到第三方开发的应用，可以使用系统反向调用方式保证用户输入的认证信息不被第三方应用获取，并且可以通知第三方应用使用者是否有相关授权。

图8说明了用户联邦模式的关系，实现用户联邦模式下的统一用户开放具体步骤如下：

(1) 用户访问第三方应用。

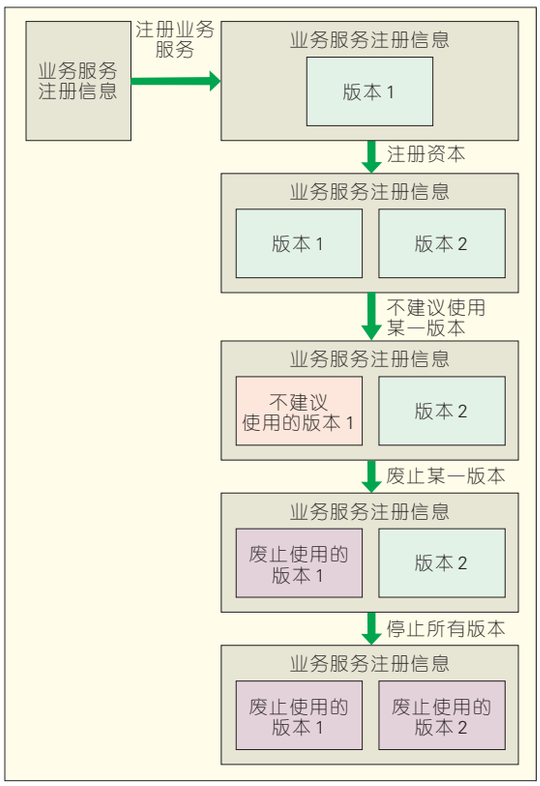
(2) 第三方应用将用户引导到平台侧进行认证。

(3) 平台对用户在平台所属界面进行权限认证。

(4) 平台生成令牌，反向调用第三方应用接口，将用户、用户令牌以及所属授权信息交给第三方应用。

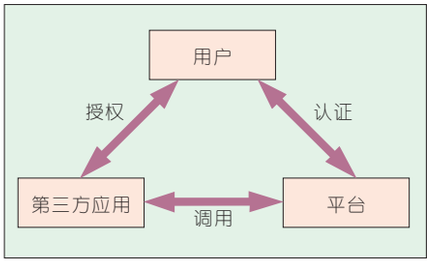
(5) 第三方应用将用户与用户令牌绑定。

(6) 第三方应用需要访问平台侧用户数据时，出示用户令牌，即可按用户权限进行访问。



▲图7 实现向前兼容的业务服务接口的升级与注销

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P53



▲图8 业务、用户与第三方应用认证授权关系

(7) 访问完成后，第三方应用通知平台注销令牌。

3 SaaS能力开放架构

Force.com的CRM软件巨头Salesforce建立了企业级的云计算平台，它允许其客户在Force.com上开发用于内部使用的应用。2009年，Force.com推出了一个新的分销途径：增值零售商(VAR)。这些VAR通常是为大公司做IT咨询的顾问和系统集成的公司，它们可以基于Force.com开发应用，并把这些应用连同Force.com的基础数据库打包销售给大公司。比如，一个人力资源顾问公司可以基于Force.com数据开发一套招聘应用，卖给财富500强。

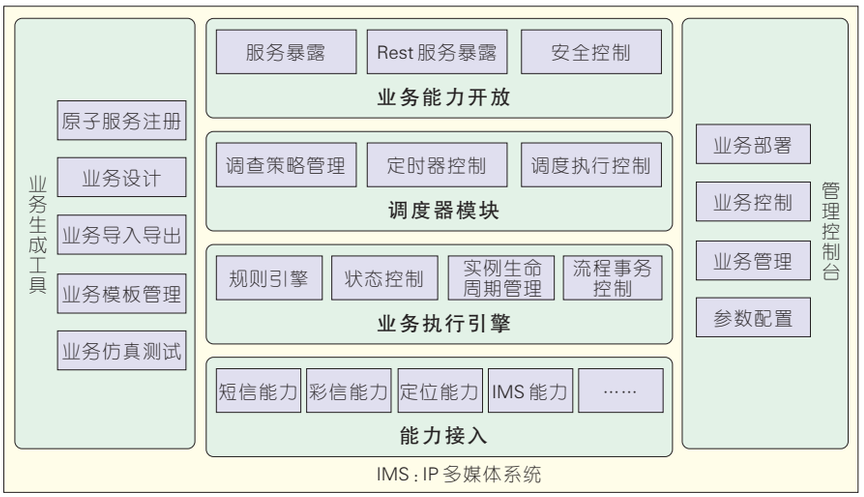
这些VAR伙伴不仅能够分销Force.com的云计算平台，也能分销诸如移动能力、存储、建站、开发沙箱等附加功能。为Force.com平台开发企业级应用的可能性非常多。目前，有超过12万个围绕Force.com开发的应用，如供应链管理、货物跟踪、品牌管理、应收账款、投诉处理等等。

中兴通讯针对电信业务，打造了电信服务能力开放平台，第三方可以通过这个平台定制化开发电信业务的各种能力。这个平台还能够将电信业务的各种原子服务进行组合，在免编程情况下组合成为复杂业务对外提供。

中兴通讯的电信能力开放平台主要由业务开发环境，业务执行环境及管理模块构成，如图9所示。

4 结束语

云计算作为通用的服务基础设施，必须能够被各种业务和应用使用才能够体现价值，否则只是封闭的专用系统。就像水和电，必须要有标准化的水管与电路才能够引入千家万户。因此云计算的各个层面，均需要进行开放并遵循相关的开放标准，实现通用的云服务。在IaaS层有OVF的虚拟化标准、标准的文件访问以及对象存储和块存储；PaaS层是业务的提供和能力开放平台，这个层面服务本身千变万化，但我们可以遵循一些通用的设计原则保证服务接口的平滑升级以及服务的安全提供；SaaS层面是完整的业务提供，中兴通讯在这个层面关注如何提供平台，让第三方也能够快速开发各种业务。



▲图9 中兴通讯业务开放平台

5 参考文献

[1] 刘鹏.云计算[M]. 北京:电子工业出版社,2010.
[2] 黄然. 虚拟化格式开放推动虚拟化进程[EB/OL].(2010-01-12).http://virtual.51cto.com/art/200901/106039.htm
[3] FACTOR M, METH K, NAOR D,et al. Object Storage: The Future Building Block for Storage Systems[C]// Local to Global Data Interoperability-Challenges and Technologies: Proceedings of the 2nd International IEEE Symposium on Mass Storage Systems and Technologies(MMST'05), Jun 20-24,2005, Sardinia, Italy. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2005:119-123.
[4] SNIA-Storage Networking Industry Association.OSD: Object Based Storage Devices Technical Work Group[EB/OL].http://www.snia.org/tech _ activities/workgroups/osd/.
[5] 杨志强,张炎.构建移动互联网应用基础设施—打造"开放花园"[J].中兴通讯技术,2009,15(4):1-4.
[6] 王英浩.网络存储技术初探[J].中小企业管理与科技,2009(4):238.
[7] 李崴.基于SAML联邦身份管理机制研究[C]// 全国第19届计算机技术与应用学术会议(CACIS2008),2008年7月15-20日,乐山.
[8] KING. Salesforce推面向开源的Force云运算架构[N]. 计算机世界,2008-01-19.

收稿日期：2010-11-25

作者简介

钱煜明，中兴通讯业务研究院总工，目前主要负责移动互联网及云计算领域前沿技术研究。

陆平，中兴通讯业务研究院院长、中兴通讯云计算平台研发负责人；长期从事增值业务研究和开发。

赵培，中兴通讯业务研究院总工程师、中兴通讯专家委员会专家；研发的ZXJ10程控交换机《单板大容量数字时分交换网络》系统获广东省火炬优秀项目奖、深圳市科技进步奖一等奖；拥有发明专利8项。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P54

移动 Widget 主流标准和平台的差异性研究

Differences between Mainstream Standards and Platforms for Mobile Widgets

贾霞/JIA Xia[1]，王蔚/WANG Wei[1]，易宁/YI Ning[2]

（1. 中兴通讯股份有限公司，江苏 南京 210012；
2. 北京邮电大学，北京 100876）
(1. ZTE Corporation, Nanjing 210012, China;
2. Beijing University of Posts and Telecom, Beijing 100876, China)

中图分类号：TP393　文献标志码：A　文章编号：1009-6868 (2011) 02-0049-03

摘要：移动 Widget 具有的易开发、易部署、个性化、交互式、消耗流量少等特性，使其在移动互联网中得到了迅速的发展。但由于不同移动 Widget 平台厂商采用了不同的标准和非兼容性扩展，使得同一种移动 Widget 应用在不同移动 Widget 平台运行时无法完全兼容，从而大大地制约了移动 Widget 的发展。文章通过对移动 Widget 的主流标准和平台进行对比分析，总结了移动 Widget 各标准和平台之间的差异性，从而为实现在各个主流平台上兼容地运行移动 Widget 应用提供依据。

关键词：移动 Widget；标准；兼容性

Abstract: Ease of development and deployment, personalization, interactivity, and reduced consumption of flow are driving the rapid development of widgets in mobile networks. However, manufacturers are using different standards and incompatible expansions which means mobile widges are not fully compatible across different platforms. As a result, the development of mobile widgets is greatly restricted. This paper compares mainstream standards and platforms for mobile widgets and analyzes the differences. It provides a basis for developing and running mobile widgets that are compatible across different mainstream platforms.

Key words: Mobile Widget; standards; compatibility

移动 Widget 指运行在移动终端上的 Widget，他不仅可以独立于浏览器运行，有效地利用手机屏幕，而且可更快速、直接、方便地访问移动互联网，从而给手机用户带来良好的呈现方式和互联网体验。移动 Widget 具有小巧轻便、开发成本低、潜在开发者众多、与操作系统耦合度低及功能完整等特点[1]，并且由于运行在移动终端上，移动 Widget 可实现个性化的用户界面，提供众多适合的移动场景的应用，使用户更容易获得有价值的信息。

在当今市场，不管是移动终端厂商、移动服务提供商，还是移动运营商，都不遗余力地推进移动 Widget 技术的研究、开发和推广，力图最大程度地利用移动 Widget 价值，抢占更大的市场份额。但是由于不同移动 Widget 平台大都采用了不同的标准，相互之间无法完全兼容[2]，使得 Widget 应用的第三方提供商需要为一款业务应用制作多种不同 Widget 以适应不同的 Widget 平台。文章通过对移动 Widget 主流标准和平台之间的差异性分析，为实现移动 Widget 应用在各个主流平台上兼容运行提供依据。

1 移动 Widget 主流标准

1.1 移动 Widget 主流标准介绍

目前与移动 Widget 相关的标准主要有：万维网联盟 (W3C) 制订的 W3C Widget 1.0 标准、联合创新实验室 (JIL) 制订的 JIL Widget 标准、开放移动终端平台组织 (OMTP) 制订的 BONDI 标准、中国通信标准化协会 (CCSA) 制订的移动 Widget 标准。

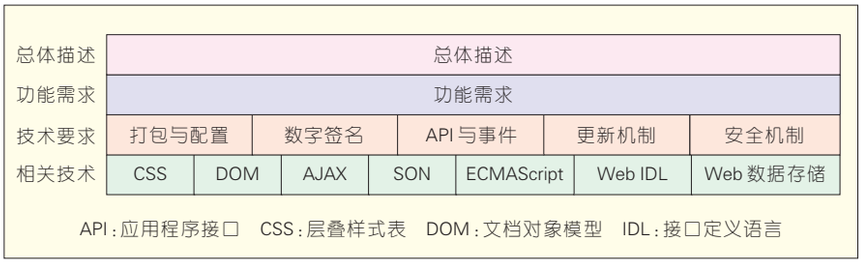
W3C Widget 1.0 是由 W3C 制订的。针对 Widget 应用，W3C 主要拟定了以下标准：

- Widgets 1.0: The Widget Landscape
- Widgets 1.0: Requirements
- Widgets 1.0: Packaging and Configuration
- Widgets 1.0: Digital Signature
- Widgets 1.0: Automatic Updates
- Widgets 1.0: APIs and Events

各标准的关系如图 1 所示：

JIL 标准是联合创新实验室制订的针对 Widget 的开放应用程序编程接口 (API)，主要包括 API 规范和技术格式规范。JIL 标准更加关注开放 API 接口标准。目前，中国移动的基于浏览器技术的应用引擎 (BAE) 平台支持 JIL 标准，而其他 Widget 软件提供厂商也将 JIL 标准作为下一阶段的研发方向之一。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P55



▲图 1 W3C 标准结构图

BONDI 标准是 OMTP 组织制订的针对 Widget 引擎或者可兼容浏览器的开放 API 接口。BONDI 标准的主要工作体现在以下两个方面：更为严格的终端安全性规定和更为全面、丰富的 Widget API[3]。BONDI 标准更加贴近运营商需求，但是目前支持 BONDI 标准的终端和 Widget 厂家较少，W3C 已经考虑将 BONDI 标准纳入其规范范围。

CCSA 参加 Widget 工作相对较晚，工作主要集中在移动 Widget 标准方面，由中国几大运营商牵头编写[4]。CCSA 的标准充分反映了中国运营商的需求，运营商更多地关注 Widget 如何建设、如何运营。目前罕有支持此标准的厂商。

1.2 移动 Widget 主流标准的差异性对比分析

本章节针对移动 Widget 的相关标准从主要内容、侧重平台、API、优缺点、支持的平台等方面作为主要切入点，详细分析差异性。

(1) 各标准规范的主要内容：W3C Widgets 1.0 主要规范了 Widget 内容、打包、配置、签名和 API 等；JIL 标准主要规范了 Widget 打包和 API；BONDI 标准主要规范 Widget 打包、安全和 API。

(2) 各标准侧重平台情况：W3C Widgets 1.0 主要侧重于桌面终端；JIL 标准侧重于移动终端；BONDI 标准侧重于针对 Widget 引擎或者可兼容浏览器的开放 API 接口；CCSA 侧重于移动终端。

(3) 各标准 API 规范情况：W3C 的 Widget 1.0 草案定义了基本的 API，其中仅包括一个对象，对象中包含一个 openURI 方法和若干个基本域；JIL 标准定义了一套较完整的针对移动设备的 API；BONDI 标准继承了 W3C Widget 的 API，还添加了一套较完整的针对移动设备的 API。

(4) 各标准优缺点：目前支持 W3C Widgets 1.0 的软件厂商最多，但其提供的 API 相当滞后；JIL 标准由运营商联合创建，在亚洲、非洲、欧洲和北美洲拥有超过 10 亿的移动用户，但是符合 JIL 规范的 Widget 应用很少；BONDI 项目已得到了全球众多运营商及手机制造商的支持，近期获得了 LiMo 基金会的认证，但符合规范的应用极少；而 CCSA 最明显的缺点就是支持他的移动运营商、手机设备较少，不足以达到大规模应用。

(5) 各标准支持平台情况：支持 W3C Widgets 1.0d 的厂商或平台主要包括 Opera、Vodafone、Nokia、Palm、Windows Mobile 平台；支持 JIL 标准的厂商或平台主要包括 LG、RIM、Samsung、Limo、Sharp、OPhone、Windows Mobile、S60 等平台；支持 BONDI 标准的厂商或平台主要包括 NF Widgets 平台；CCSA 支持的平台目前较少。

(6) 各标准的安全性：W3C 标准制订了专门的数字签名文档《Widgets 1.0: Digital Signature》；JIL 标准的安全概况则在每一种安全域上为每一个 API 作了简单的适配；BONDI 标准采用 Widgets 1.0 数字签名，其安全模块能容纳 JIL 的相对简单的安全模块[5]。

从以上对比分析可知，W3C 为 Widget 制订了比较完善的 Widget 标准，包括打包、数字签名、API 等。但是由于 W3C 的 Widget API 相对滞后，不能满足移动 Widget 各种丰富应用的要求，因此大部分厂家都对其进行了扩展，导致不同厂家的移动 Widget 应用部分互不兼容。OMTP、CCSA、JIL 等组织结合自身特点，从不同层面对 Widget 技术进行了相关规范性的工作，例如，JIL 标准更加关注开放 API 接口标准，而 OMTP 旨在制订能被业界广泛接受的标准，并主要制订针对 Widget 引擎或者可兼容浏览器的开放 API 接口。移动 Widget 相关规范的多样性，加大了移动 Widget 兼容的难度。

2 移动 Widget 平台的研究

2.1 主流移动 Widget 平台介绍

目前移动 Widget 开发平台种类繁多，主流移动 Widget 平台按照技术规范可以分为富互联网应用(RIA)型、标准 WEB 技术型和其他型平台，详细分类如表 1 所示。

RIA 型移动 Widget 开发平台是基于 JavaFX mobile 或 Flash Lite 的移动 Widget 开发引擎，简化并改进了移动 Widget 应用程序的用户交互，使得应用程序可以提供更丰富、更具有交互性和响应性的用户体验。

基于标准 Web 技术的移动 Widget 平台是通过 HTML 语言来呈现内容，层叠样式表(CSS)来定义格式，

▼表 1 移动 Widget 平台分类

类别	RIA 型	标准 WEB 型	其他
典型应用实例	Adobe AIR、Microsoft Silverlight	Nokia S60 WRT、Motorola WebUI、WM IE Mobile、Access NetFront、Opera Mobile、中国移动 BAE、Webwag Mobile 和 Samsung TouchWiz	Android

RIA：富互联网应用

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P56

Javascript语言来表现逻辑。目前大多数的主流移动Widget平台都属于标准的WEB技术型。这是由于采用标准Web技术来开发移动Widget应用具有如下优点：开发语言相对简单；潜在的开发者数量众多；海量、免费的互联网应用可在短时间内转换成移动Widget应用。

Google Android的移动Widget也相应被选择作为其他移动Widget平台的主要代表。Google Android通过Java语言构建了Android上的移动Widget框架，并非采用一般的WEB技术。

2.2 移动Widget平台差异性分析

在目前的情况下，针对某一移动Widget平台开发的移动Widget应用的一个重要限制是：不能不加修改地运行在另一移动Widget平台之上，无法实现无缝移植。这表明不同移动Widget平台之间存在一些差异[6]。这些差异则主要体现在移动Widget引擎、开发和打包方式3个方面。

(1) 各移动Widget平台之间在运行环境方面一般都有特有的移动Widget引擎，例如采用系统内置方式、通过插件的形式下载到手机上或是采用基于移动浏览器的方式等。

(2) 在相关开发方面，不同移动Widget平台支持的HTML/CSS/JavaScript版本、各平台提供的功能接口、支持的扩展功能、XML标签与元数据以及安全模型也不尽相同。

(3) 对于打包方面，现有的移动Widget平台采用的通用方法就是用ZIP文档的形式打包Widget资源。但是各平台在打包规范上也存在着差异性：不一致的文件扩展名、不一致的包结构和未定义的Zip规范等。

尽管目前各种移动Widget平台实现的技术原理、开发所用的语言、参考技术标准、甚至功能特性、用户体验都存在差异，但在某些核心理念和用户目的上或多或少有一定的共识：例如，便于应用开发，有更出色、灵活的用户体验，力求支持跨平台运行，面向小工具、小应用以及Web应用等。

2.3 移动Widget平台兼容性分析

目前要实现移动Widget兼容运行至少需要满足两个条件：首先，平台使用的移动Widget引擎采用相同的技术，并且支持程度不能有太大的差异；其次，平台应遵循统一的规范或标准。例如：基于WEB技术，采用W3C制订的Widget标准草案的Nokia S60、Windows Mobile和Opera移动Widget平台，他们之间的移动Widget应用就存在一定的通用性。

从操作系统商、服务提供商以及运营商对移动Widget的关注，可以表明移动Widget在实际应用中的影响正日益扩大。移动Widget实现兼容运行，已成为移动互联网研究的热点。中国移动设计并开发的BAE目前支持Symbian、Windows Mobile以及开放式手机操作系统(OMS)等主流移动终端智能平台。BAE Widget引擎屏蔽了手机操作系统的差异性，实现了移动Widget“一次开发，到处运行”的跨平台兼容运行。

随着移动Widget逐渐成为移动互联网业务的重要呈现形式，在不久的未来，移动Widget必将能够畅通无阻地运行在各个移动Widget平台之上，发挥移动Widget的价值。

3 结束语

文章介绍了几种主流的移动Widget标准和平台，重点从技术基础、打包、配置、扩展API接口和安全规范这些方面对比分析了他们的差异性，并且以此为依据深入探讨了移动Widget平台之间的兼容性。从文章的分析中可以看出，移动Widget的标准和平台纷繁多样，要真正实现移动Widget的跨平台兼容运行，并且让移动Widget拥有更加良好的应用前景，需要各大标准化组织的积极努力和各大移动Widget平台厂商之间的协同发展，以营造出良好的移动Widget生态环境。

4 参考文献

[1] 倪敢峰, 薛立宏, 龚雪峰. Mobile Widget在移动增值业务中的应用研究[J]. 电信科学, 2009, 25(5): 17–21.
[2] 黄荣志. Widget现状分析及发展策略[J]. 移动通信, 2009, 33(3): 101–104.
[3] BONDI 1.1 Approved Release[EB/OL]. (2009–02–10). http://bondi.omtp.org/1.1/.
[4] 陆钢, 李慧云, 张凌,等. Widget技术标准化研究[J]. 广东通信技术, 2009(11): 52–56.
[5] JIL versus BONDI[EB/OL]. [2009–11–09]. http://dabase.com/blog/JIL_versus_BONDI/.
[6] 张潮. 中国移动Widget应用现状及竞争分析[J]. 移动通信, 2009, 33(11): 17–21.

收稿日期：2011–01–23

作者简介

贾霞，大连理工大学硕士毕业；现就职于中兴通讯股份有限公司；负责中兴通讯下一代业务网络聚合业务网的技术研究，包括移动互联网、新媒体、数字音视频等多个领域；已发表业务网络新技术发展方面的4篇论文和专利。

王蔚：南京航空航天大学毕业；现就职于中兴通讯股份有限公司，长期从事移动增值业务的技术和产品研发工作，近年来主要从事与移动互联网新型业务及应用、Widget技术相关的方面的研究。

易宁，北京邮电大学在读硕士研究生，主要研究方向是现代网络管理，现从事移动Widget、三网融合下的跨屏开发技术等方面的研究。

广告索引

A1–A5、封四：
中兴通讯股份有限公司

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P57

自适应多天线技术
Adaptive Multi-Antenna Technology

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2011) 02-0052-04

摘要：多天线技术有多种实现模式，不同的实现模式有不同的特点和应用场景。文章首先介绍了波束赋形(BF)、循环延迟分集(CDD)、空间分集(SD)、空间复用(SM)等各种多天线技术实现模式的原理。进而分析了各种多天线模式的技术特征以及他们适合的应用场景。基于这些分析，文章提出了一种多天线模式自适应切换算法，他能根据应用场景或者无线信道特征，自适应地选择最优的多天线模式来发送数据，从而进一步发挥多天线技术的优势。

关键词：波束赋形；循环延迟分集；空间分集；空间复用；自适应模式切换

Abstract: Multi-antenna technology can be implemented in several modes, and different modes have different characteristics and are used in different scenarios. This paper introduces beamforming(BF), Cyclic Delay Diversity(CDD), Space Diversity(SD), Spatial Multiplexing(SM), and other multimode antenna technologies. It also analyses various technical features and their application scenarios. A self-adaptive multi-antenna switching algorithm is proposed that is capable of choosing a suitable mode for sending data according to the scenario or wireless channel conditions. This switching algorithm improves multi-antenna technology and enhances the quality of wireless network communications.

Key words: BF; CDD; SD; SM; adaptive mode switch

肖华华/XIAO Huahua
朱登魁/ZHU Dengkui
胡留军/HU Liujun
（中兴通讯股份有限公司 无线预研部，广东 深圳 518004）
(Wireless Technology Preresearch Dept., ZTE Corporation, Shenzhen 518004,China)

多天线技术，是指在发送端或接收端都采用多根天线的无线通信技术，是近期发展较快的热点研究技术之一。采用多天线技术可获得功率增益、空间分集增益、空间复用增益、阵列增益和干扰抑制增益[1]，从而可以在不显著增加无线通信系统成本的同时，提高系统的覆盖范围、链路的稳定性和系统传输速率。多天线技术有不同的实现模式，如波束赋形[2]、循环延迟分集[3]，空间分集[4-6]、空间复用[7]，以及他们之间的结合。

1 多天线技术模式介绍

每种多天线技术模式都各有其特点，下面将详细介绍他们的原理和特点。

(1) 空间分集技术

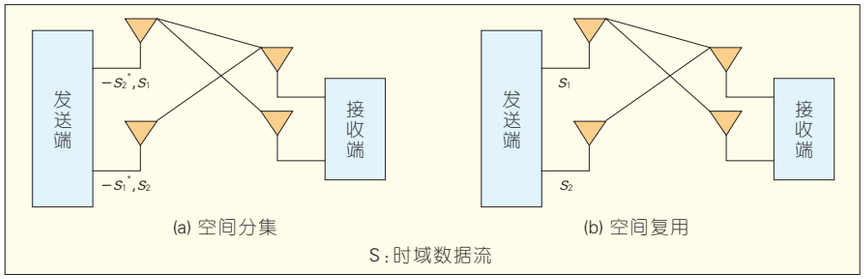
空间分集是在空间引入信号冗余以达到分集的目的。如图1中空间分集所示，发送端通过在两根天线的两个时刻发送正交的信息集合，从而获得分集增益。

(2) 空间复用技术

空间复用是在每根天线上的同一时频资源上，发送不同信息，以达到在不增加频谱资源的情况下成倍提高频谱效率的目的，如图1中空间复用所示。通常人们将空间分集和空间复用技术称为多输入多输出(MIMO)技术。

(3) 波束赋形技术

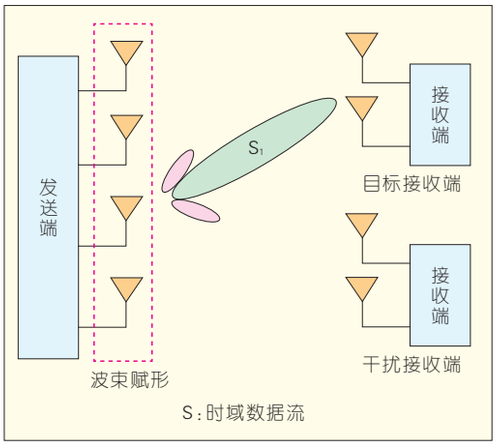
波束赋形(BF)是基于自适应天线原理，利用天线阵列通过先进的信号处理算法分别对各物理天线进行加权处理的一种技术。如图2所示，发射端对数据流 S_1 进行加权，并发送出去。在接收端看来，整个天线阵列相当于一根虚拟天线。通过加权处理后，天线阵列形成一个窄发射波束对准目标接收端，并在干扰接收端方向



▲图1 2发2收的空间分集和空间复用示意图

基金项目：国家科技重大专项(2009ZX03003)

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P58



▲图2 4发2收的波束赋形系统示意图

循环延迟分集(CDD)是正交频分复用(OFDM)[10]技术中常用的一种多天线发送分集方案，他在各个物理天线上发送相同的频域数据，并对时域的OFDM符号进行不同的循环延迟，以此来获得频域分集增益。其发送端如图4所示，时域数据流 S_1 在各物理天线上分别进行循环延迟 δ_i 后再发送出去。其中，δ_i 为循环延迟量，i=1,2,3,4，δ_1 一般为0。经过CDD处理后，整个天线阵列在接收端看来，也相当于一根虚拟天线。

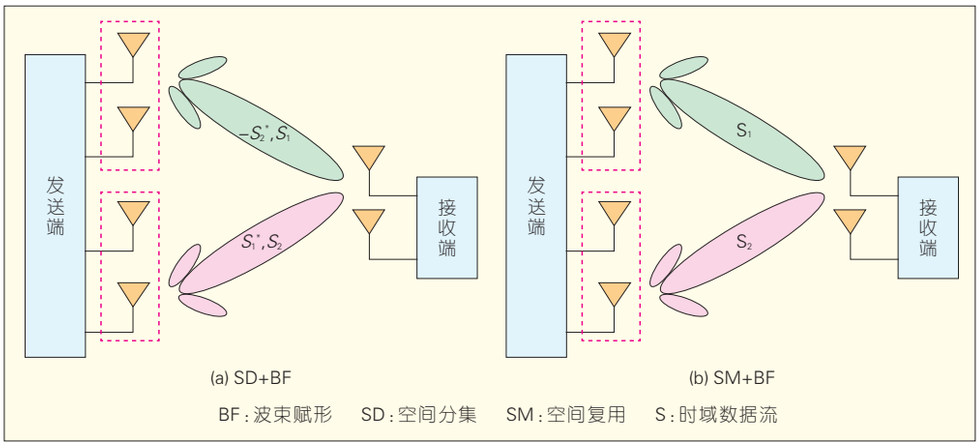
每种多天线技术模式在每根物理天线上发送的数据是不一样的。以IEEE 802.16e[4] 4天线为例，在两个相邻的符号内，并在同一个数据子载波上，每根物理天线发送的频域数据流如表1所示。空间复用使用的是BLAST编码[7]；空间分集使用的是Alamouti编码，他在两个正交频分多址(OFDMA)符号间引入冗余。第 i 根发送天线上第 k 个数据子载波对应的BF权值为 $w_i(k)$, i =1,2,3,4。另外，对时域数据进行的循环延迟，等价于频域数据乘以一个相位旋转

$$D_i(k)=0.5\times e-\frac{j(2\pi k(\delta_i))}{N_F}$$ [3]，

其中，系数0.5是功率归一化因子，N_F 是IFFT的点数，k 是子载波索引，δ_i 是CDD的循环延迟量，i =1,2,3,4。数据流为 S_1,S_2,S_3,S_4……。

(2) 特点

一般情况下，BF、SD + BF、SM + BF需要根据信道状态信息动态调整权值，属于闭环技术，需要对导频进行波束赋形，所以必须支持专用导频；而CDD、SD + CDD、SM + CDD可以在发送端并不知晓信道状态信息的情况下完成，属于开环技术。SM + BF、SM + CDD在不同的虚拟天线上可以发送不同的数据流，在信道条件比较好的情况下，能提升系统的传输能力，满足用户高速



▲图3 4发2收的空间分集波束赋形和空间复用波束赋形示意图

形成零点以减小干扰。

(4) MIMO+BF技术

由于BF技术在同一时刻只发射一个数据流，没有复用增益。尤其是当信道质量较好时，使用BF带来的传输速率提升并不明显。因此，为了进一步提高系统传输速率，可将BF技术与MIMO结合起来[8-9]。空间分集与波束赋形的结合，称为空间分集波束赋形(SD + BF)；而空间复用与波束赋形的结合，则称为复用波束赋形(SM + BF)。其中的一种实现方案如图3所示。发送端的4根物理天线被分成2个子阵列，在每个子阵列上利用波束赋形技术，形成一根虚拟天线或者波束，2个波束间构成空间分集或者空间复用。

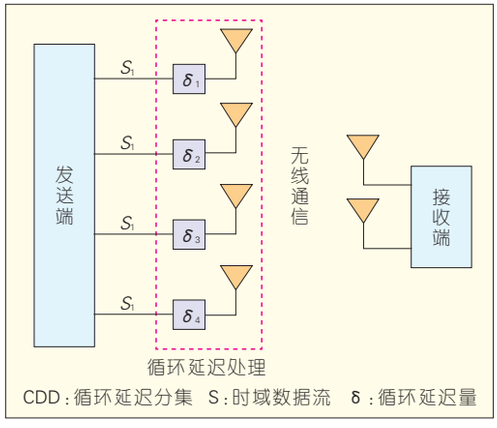
(5) 循环延迟分集技术

(6) CDD +MIMO技术

由于CDD技术在同一时刻只发射一个数据流，当信道条件比较好时，可以跟MIMO技术相结合来提升传输速率[11-12]。空间分集与循环延迟分集的结合，称为空间分集循环延迟分集(SD + CDD)；而空间复用与循环延迟分集的结合，称为空间复用循环延迟分集(SM + CDD)。其中的一种实现方案如图5所示，发送端的4根物理天线被分成2个子阵列，每个子阵列做CDD处理，形成一根虚拟天线。

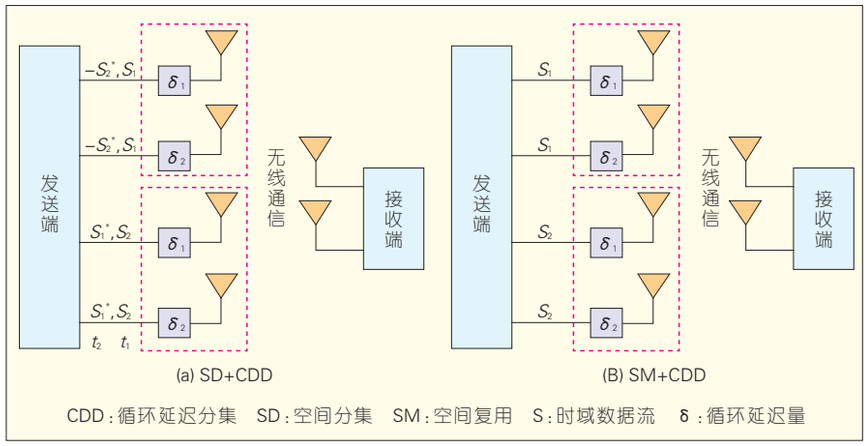
2 多天线技术比较

(1) 数据发送格式



▲图4 4发2收的CDD示意图

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P59



▲图5 4发2收的CDD与MIMO相结合的发送端示意图

▼表1 不同多天线技术模式的数据发送格式

多天线模式	BF		SD + BF		SM + BF	
	符号2	符号1	符号2	符号1	符号2	符号1
发送天线1	$w_1(k)s_2$	$w_1(k)s_1$	$-w_1(k)s_2^*$	$w_1(k)s_1$	$w_1(k)s_3$	$w_1(k)s_1$
发送天线2	$w_2(k)s_2$	$w_2(k)s_1$	$-w_2(k)s_2^*$	$w_2(k)s_1$	$w_2(k)s_3$	$w_2(k)s_1$
发送天线3	$w_3(k)s_2$	$w_3(k)s_1$	$w_3(k)s_1^*$	$w_3(k)s_2$	$w_3(k)s_4$	$w_3(k)s_2$
发送天线4	$w_4(k)s_2$	$w_4(k)s_1$	$w_4(k)s_1^*$	$w_4(k)s_2$	$w_4(k)s_4$	$w_4(k)s_2$
多天线模式	CDD		SD + CDD		SM + CDD	
	符号2	符号1	符号2	符号1	符号2	符号1
发送天线1	$D_1(K)S_2$	$D_1(K)S_1$	$-D_1(K)S_2^*$	$D_1(K)S_1$	$D_1(K)S_3$	$D_1(K)S_1$
发送天线2	$D_2(K)S_2$	$D_2(K)S_1$	$-D_2(K)S_2^*$	$D_2(K)S_1$	$D_2(K)S_3$	$D_2(K)S_1$
发送天线3	$D_3(K)S_2$	$D_3(K)S_1$	$D_3(K)S_1^*$	$D_3(K)S_2$	$D_3(K)S_4$	$D_3(K)S_2$
发送天线4	$D_4(K)S_2$	$D_4(K)S_1$	$D_4(K)S_1^*$	$D_4(K)S_2$	$D_4(K)S_4$	$D_4(K)S_2$

BF：波束赋形 CDD：循环延迟分集 SD：空间分集 SM：空间复用

率传输数据的需求；而BF、SD + BF、CDD、SD + CDD主要依靠在空间维引入冗余以达到分集增益，进而增加链路的稳定性和覆盖范围。另外，SD + BF、SD + CDD每个虚拟天线可以发送一个数据流，并在时域或频域引入冗余以获得空间分集增益，平均1个时刻只发1个数据流；BF、CDD每个时刻只有1个数据流，更适合信道相关性高的场景，实现简单，对用户透明，且不要求支持MIMO技术。在所有这些多天线技术模式中，比较常见的天线配置是发送端共有4根或者8根天线，而接收端只有1～2根天线。以上这些特点的总结如表2中所示。

(3) 影响因素

CDD、SD + CDD、SM + CDD靠人为引入信道多径时延来获得频域分集增益，他们可以在未知信道状态信息的情况下完成；而BF、SD + BF、SM + BF则需要估算波束赋形的权值，并要求用户反馈信道状态信息，或利用信道的互易性特点，因此其性能会在很大程度上受权值估计的准确性和及时性影响。表3总结适合各种多天线技术模式的应用场景[13]。

3 自适应模式切换

每种多天线技术模式都有其特点和应用场景。实际通信时，由于用户的物理位置、信道环境、移动速度、业务类型等存在着很大的差异，单独使用哪种技术都不能最佳地发挥系统的性能。无线通信系统需要在不同的模式间自适应地切换，以适应信道环境等因素的改变，从而最大限度地提升系统的性能，满足用户高质量的通信要求[14]。

实际应用中，实现各种多天线技术模式的自适应切换是一个充满挑战的工作。首先，影响多天线技术模式性能的因素有很多[15]。所以算法设计时，需要对这些影响因素进行深入分析和研究，并根据情况设计不同的算法以满足系统配置、信道条件、业务类型等多样性要求。

其次，模式切换的类型很多。我们在对多天线技术的性质进行深入分析和大量仿真的基础上，将切换类型分成3类：BF相关技术(BF、SD + BF、SM + BF)之间的相互切换；CDD相关技术(CDD、SD + CDD、SM + CDD)之间的相互切换；BF相关技术与CDD

▼表2 各种多天线技术的特点比较

特点	BF	SD+BF	SM+BF	CDD	SD+CDD	SM+CDD
发送端天线数/个	2/4/8	4/8	4/8	2/4/8	4/8	4/8
接收端天线数/个	1/2	1/2	2	1/2	1/2	2
平均数据流数/个	1	1	2	1	1	2
波束赋形权值	动态调整	动态调整	动态调整	固定	固定	固定
支持MIMO	不用支持	需要支持	需要支持	不用支持	需要支持	需要支持
支持专用导频	需要支持	需要支持	需要支持	不用支持	不用支持	不用支持
闭环/开环	闭环	闭环	闭环	开环	开环	开环
主要作用	增加覆盖	增加覆盖	提升流量	增加覆盖	增加覆盖	提升流量

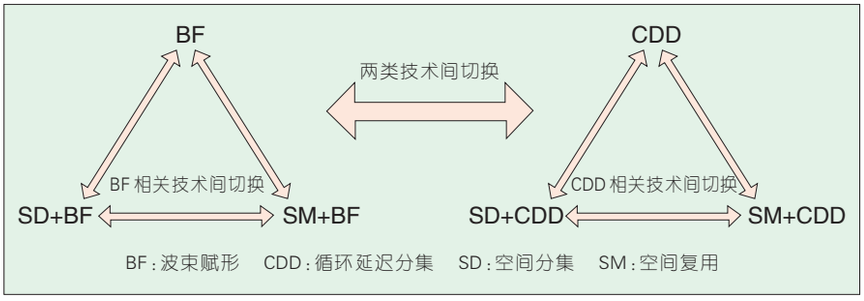
BF：波束赋形 CDD：循环延迟分集 MIMO：多输入多输出 SD：空间分集 SM：空间复用

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P60

▼表3 各种多天线技术模式的应用场景

场景	BF	SD+BF	SM+BF	CDD	SD+CDD	SM+CDD
高信道相关性	适合	比较适合	不适合	比较适合	比较适合	不适合
大移动速度	不适合	不适合	不适合	适合	适合	适合
小区边缘	适合	适合	不适合	适合	适合	不适合
小区中部	适合	适合	比较适合	适合	适合	比较适合
小区内部	不适合	比较适合	适合	比较适合	比较适合	适合

BF：波束赋形 CDD：循环延迟分集 SD：空间分集 SM：空间复用



▲图6 多天线技术切换的分类

相关技术之间的切换，如图6所示。

根据接收端的移动速度或者相邻两个权值的相关性，选择使用BF相关技术或者CDD相关技术。如果选择了BF相关技术，那么需要计算SM + BF、SD + BF、BF模式下的频谱效率，并选择频谱效率大的模式为最佳的数据发送模式；如果选择了CDD相关技术，则需要计算SM + CDD、SD + CDD、CDD频谱效率，并选择频谱效率大的模式为最佳的数据发送模式。

4 结束语

文章介绍了各种多天线技术模式的概念，分析比较了各种多天线技术模式的性能、影响因素和应用场景。最后介绍了多天线技术模式切换的算法。

中兴通讯对多天线技术的研究进行了大量的投入，并且取得了显著的成果，是最早掌握该技术的通信设备商之一。不仅实现了各种多天线技术模式，还对影响多天线技术的因素进行了深入的分析、大量仿真和实际系统的验证。可以根据场景或者信道环境灵活地选择多天线技术模式，以最大限度地提高通信系统的性能，从而能够满足客户的高质量通信要求。

5 参考文献

[1] Combination of MIMO and Beamforming Technology for WIMAX[EB/OL]. http://wwwen.zte.com.cn/en/solutions/wireless/wimax/200912/t20091218_178788.html.
[2] KOBAYASHI M, CAIRE G, GESBERT D. Transmit Diversity Versus Opportunistic Beamforming in Data Packet Mobile Downlink Transmission[J]. IEEE Transactions on Communications, 2007,55(1): 151–157.
[3] SADEQUE A, SAQUIB M. Delay Diversity for Correlated MIMO Channel[C]// Proceedings of the 2009 International Waveform Diversity and Design Conference(WD&D'09),Feb 8–13, 2009, Kissimmee, FL,USA. Piscataway,NJ,USA:IEEE,2009:302–306.
[4] IEEE Std 802.16e ™ – Rev2–D8. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems[S]. 2008.
[5] ZHANG Lizhong,TSE D N C. Diversity and Multiplexing: A Fundamental Tradeoff in Multiple Antenna Channels[J]. IEEE Transactions on Information Theory,2003,49 (5):1073–1096.
[6] ALAMOUTI S M. A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(8): 1451–1458.
[7] GOLDEN G D,FOSCHINI C J,VALENZUELA R A,et al. Detection Algorithm and Initial Laboratory Results Using V–BLAST Space–Time Communication Architecture[J]. Electronics Letters,1999, 35(1): 14 – 16.
[8] MENG Weixiao, GU Lei, LI Cheng. The Combined Beamforming and Space–Time Block Coding Technique for Downlink Transmission[C]// Proceedings of the 2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing (WirelessCom'05):Vol 1, Jun 13 – 16, 2005 Maui, HI, USA. Piscataway, NJ,USA:IEEE, 2005:481–486.
[9] KIM I, LEE K, CHUN J. A MIMO Antenna Structure That Combines Transmit Beamforming and Spatial Multiplexing[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2007,6(3): 775–779.
[10] 佟学俭，罗涛.OFDM移动通信技术原理与应用[J].北京:人民邮电出版社,2003.
[11] YUEN C, WU Y, SUN S. Four Transmit Diversity Schemes for Coded OFDM Systems with Four Transmit Antennas[J]. Journal of Communications, 2008,3(4): 1–7.
[12] RAHMAN M I, DAS S S, DE CARVALHO E, et al. Spatial Multiplexing in OFDM Systems with Cyclic Delay Diversity[C]// Proceedings of the 65rd Vehicular Technology Conference (VTC–Spring'07), Apr 22–25, 2007, Dublin,Iseland. Piscataway,NJ,USA: IEEE,2007:1491–1495.
[13] 侯延昭, 陶小峰. 面向绿色无线通信的基站体系结构 [J]. 中兴通讯技术, 2010,16(6): 16–19.
[14] 张武雄, 胡宏林, 杨旸. 基于协同覆盖的绿色无线网络技术 [J]. 中兴通讯技术, 2010,16 (6): 04–07.
[15] 高培, 陈肖虎, 王军. ZP–CI/OFDM：一种高功率效率的无线传输技术 [J]. 中兴通讯技术, 2010,16(6): 20–23.

收稿日期：2010–11–25

作者简介

肖华华，中山大学计算机软件与理论专业硕士毕业；现任职于中兴通讯股份有限公司担任三级主任工程师；主要从事多天线技术算法预研相关的工作；在多天线技术相关领域申请国际、国内专利30多篇。

朱登魁，东南大学通信与信息系统专业硕士毕业；现任职于中兴通讯股份有限公司研发体系担任无线预研部MIMO项目预研经理，多年从事宽带无线通信领域的研究，参与过中兴通讯WiMAX、LTE等多个重大项目的预研及产品实现；目前主要负责系统仿真以及关键技术研究，对OFDM及MIMO关键技术具有深刻理解。

胡留军，哈尔滨工程大学毕业；现任职于中兴通讯股份有限公司担任无线预研部部长、高级工程师；主要研究方向为移动通信网络及其关键技术；已发表论文及专利80余篇。

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P61

分组通信网的同步与定时技术 2

王文鼐，王斌，糜正琨
（南京邮电大学 通信与信息工程学院，江苏 南京 210003）

[编者按]分组通信网同步与定时，其技术需求源于分组网与传统通信网的互连互通，是分组网承载电路仿真业务和实时型业务的前提条件，是移动回传网、音视频桥和无线传感网等应用的关键技术之一。无线分组网的定时与同步，面向无线传感网和物联网的控制与应用，具有广阔的发展前景。本讲座从技术发展、有线和无线环境3个方面，分期论述分组网同步与定时技术：第1讲概要介绍同步与定时的技术概念、需求和现状，第2讲着重讨论以太网为主的同步技术标准，第3讲对无线分组网的同步算法及性能进行综述和介绍。

中图分类号：TN929.11　文献标志码：A　文章编号：1009-6868 (2011) 02-0056-05

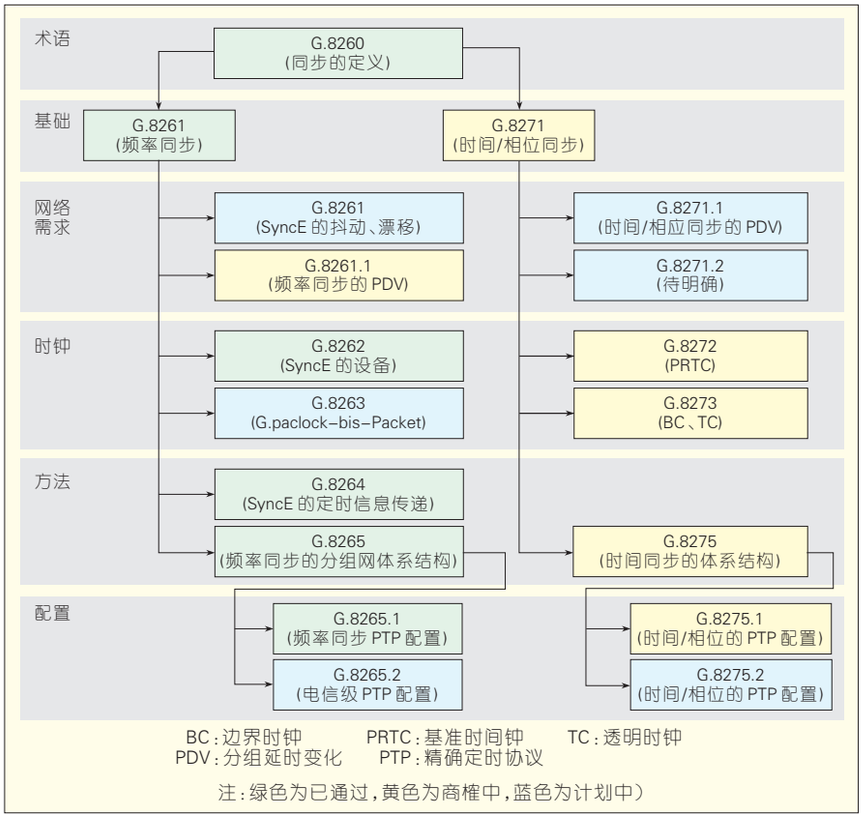
5 同步以太网

近年来，以太网的应用范围从最初的局域网被不断拓展到城域网和广域网，网络接口类型、交换性能、组织方式和管控能力都得到了极大的提升，而在业务供给、故障保护和同步与定时方面的新发展，则进一步增强了以太网的电信级服务能力。由国际电信联盟远程通信标准化组织(ITU-T)制订的以太网同步相关建议，涵盖了组网结构、技术需求、时钟功能、实现方法和技术路线等。

5.1 ITU-T系列标准

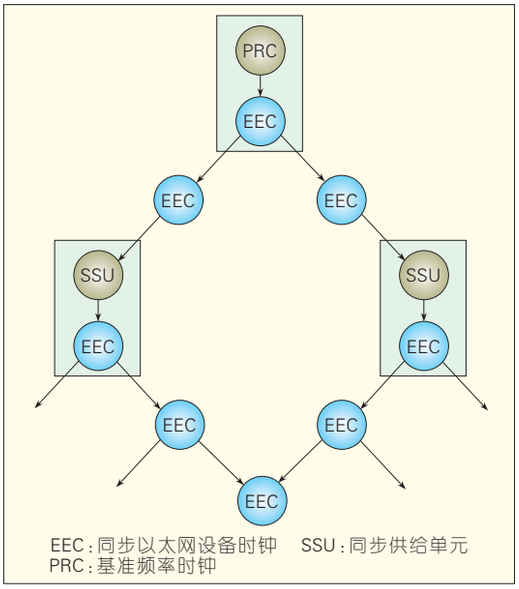
ITU-T SG15研究组Q13专题制订了分组网同步的标准，包括G.826x和G.827x系统建议，分别针对分组网频率同步和时间及相位同步[1]。图1给出了系列建议的主题及相互关系。从图1可以看出，与同步以太直接相关的ITU-T建议，包括G.8260、G.8261、G.8262和G.8264。他们规定采用带外方式逐跳传送时钟频率信号，不提供时间和相位的同步功能。

G.8260明确了分组网频率同步和时间及相位同步的概念与术语，给出了衡量同步稳定性等质量指标的数学表达式，并新增了分组延时变化(PDV)来描述分组网的同步损伤；G.8261定义了分组网中的定时同步网元，规定了网络中和时分复用模式(TDM)接口上所容许的最大抖动和漂



▲图1 ITU-T SG15 Q13形成的标准

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P62



▲图2 同步以太网节点间频率信号分配的体系结构

移，描述了网元实现同步的最低功能要求，提出了两种基准时钟信号的分配方式：网络同步方式和基于分组方式，用以解决分组网特别是以太网的同步问题；G.8262主要针对同步以太网的节点设备，即同步以太网设备时钟(EEC)，制订接口带宽、频率准确度、守时性能和噪声约束的需求；G.8262明确了同步以太网采用TDM网络同步信号传送方式，即通过同步物理层或TDM系统分配定时信号；G.8264主要针对定时信息，即同步状态消息(SSM)，制订了同步以太网设备的互操作方式和SSM协议及消息格式，以便从时钟掌握定时信号的质量以提高网同步的可靠性[2-4]。

5.2 同步以太网的体系结构

(1) 频率同步信号的分配

同步以太网通过通信线路上的位流定时信息传送时钟频率，这种频率信号的传送方式与基于E1/T1以及同步数字体系/同步光纤网络(SDH/SONET)的同步极为相似，他要求设备的物理端口能以一种持续不断的方式连续发送信号。因此，同步以太网也被认为是TDM同步技术在以太网的延伸。

提供频率同步的以太网设备，其时钟部件称为EEC，他可跟踪同步网的基准时钟，并向下游设备提供频率参考信号。图2为同步以太网频率分配的典型体系结构。

同步以太网的频率信号分配也采用了与SDH/SONET完全相同的体系结构，除了基准频率时钟(PRC)和EEC之外，都引入了可独立运行的同步供给单元(SSU)，以便在3个方面增强电信级应用能力：

- 减少因抖动和漂移累积而导致的同步性能劣化
- 向各种不同的应用目标供给同步和定时参考
- 在PRC故障时增强同步的保持能力和恢复能力

同步以太网参照SDH/SONET的网同步规范(G.803)，在PRC到SSU之间以及SSU到SSU之间的同步链中，规定其间SDH设备时钟(SEC)的数量不能超过20，串接在一条PRC分支链中的SSU数量不能越过10，EEC数量不能超过60。实际应用中，为留有一定余地，同步链中通常间隔10~15个EEC并穿插一个SSU，以适应扩容和演进之需。

(2) 同步信令

在以TDM为基础的同步网中，SSM也称为同步信令，用于在时钟之间传递时钟的质量等级(QL)信息。基准时钟的质量等级名为QL_PRC，处于保持工作模式的SDH时钟名为QL_SEC。G.8264为同步以太网新定义了2个质量等级：QL_ECC1和QL_ECC2，分别对应自由运行的ECC和保持运行的ECC，相应的性能指标在G.8262中得到约定。

在SDH/SONET中，SSM通过STM-N/OC-N帧开销的SSM字节传递；而同步以太网中，SSM则通过名为以太网同步消息信道(ESMC)的特殊以太网帧传递。ESMC是ITU-T在IEEE 802.3制订的组织机构专用慢协议(OSSP)基础上，扩展用于以太网同步信令的规范，其消息格式如表1和表2所示。

同步以太网时钟质量采用TLV编码方法，对应于表2中的类型(T)、长度(L)和SSM码(V)，其中SSM码由4个比特位组成，已规范的取值有两个，值0AH对应于QL_EEC2，值0BH对应于QL_EEC1。表1中的“事件标识”字段取1时，用于心跳，发送周期为1秒，以便接收时钟快速判定上游时钟是否可用。

(3) 与SDH混合组网的同步

众所周知，以太网与SDH/SONET

▼表1 ESMC协议各字段说明

字段	大小	内容或用法
目标地址	6个八位组	01-80-C2-00-00-02 h
源地址	6个八位组	发送端口的MAC地址
慢协议类型	2个八位组	88-09 h
慢协议子类型	1个八位组	0A h
ITU的标识符	3个八位组	00-19-A7 h
ITU的子标识类型	2个八位组	01 h
版本	4个比特位	01 h
事件标识	1个比特位	0用于SSM，1用于心跳
保留	3个比特位	-
保留	3个八位组	-
数据和填充字节	36~1 490个八位组	(见表2)
帧校验和	4个八位组	-

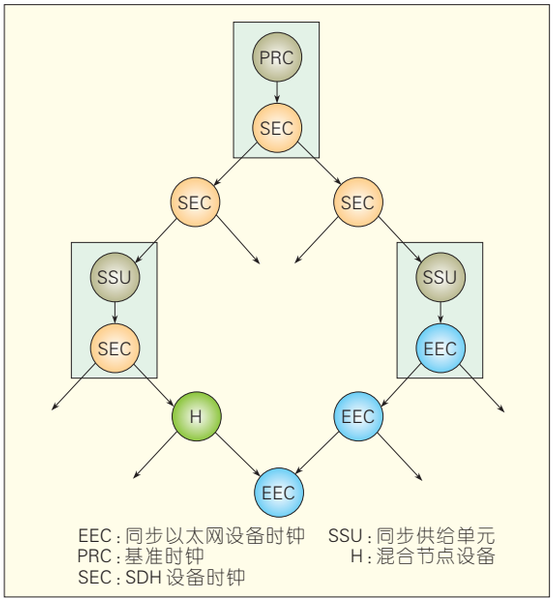
ESMC：以太网同步消息信道 ITU：国际电信联盟 MAC：媒体接入控制 SSM：同步状态消息

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P63

▼表2 同步以太网时钟质量编码(ESMC数据字段)格式

字段	大小	内容
类型	1个八位组	01 h
长度	2个八位组	04 h
保留	4个比特位	0
SSM码	4个比特位	SSM编码

SSM:同步状态消息 ESMC:以太网同步消息信道



▲图3 同步以太网的混合节点(H)在同步信号分配中的位置

会长期共存。实际网络中,骨干网核心层更多可能采用SDH/SONET技术,而网络的汇聚层或接入层则更可能采用以太网技术。这种情况下,两种技术网络的互连边界节点,既存在SDH接口,也存在以太网接口。由于EEC采用了与SEC等同的规范结构,同步以太网有利于混合组网的同步组织。图3给出了混合组网的同步信号分配结构。

图3中,混合节点设备(H)从SEC获取定时参考,并向EEC提供定时参考。在一般情况下,混合节点设备可从SEC、EEC和SSU获取时钟参考信号,并可向SEC、EEC以及SSU提供时钟参考。

6 IEEE 1588以太网同步

IEEE 1588同步技术最初由安捷伦提出,第一版标准于2002年得到了批准,第二版标准于2008年颁布[5-6]。IEEE 1588标准的全称是"网络测量和控制系统的精确时钟同步协议标准",简称为精确定时协议(PTP),他可以使基于以太网的分布式系统达到精确同步[7]。2009年中国通信标准化协会发布了相对应的YD/T 2022"时间同步设备技术要求"规范。

6.1 IEEE 1588系统结构

IEEE 1588系统由PTP设备和无PTP功能的网络设备组成。根据功能的不同,PTP设备可分类为:普通时钟(OC)、边界时钟(BC)、透明时钟(TC)和管理节点。只有一个PTP通信端口的时钟是普通时钟,有一个以上PTP通信端口的时钟是边界时钟,每个PTP端口提供独立的PTP通信。从通信关系上又可把时钟分为主时钟和从时钟,理论上任何时钟都能实现主时钟和从时钟的功能,但一个PTP子系统内只能有一个主时钟。

系统中的最优时钟为最高级时钟(GMC),有着最好的稳定性和准确性。根据各节点上时钟的精度和级别以及世界协调时(UTC)的可追溯性等特性,由最佳主时钟选择算法来自动选择各子网内的主时钟;在只有单一PTP子网中,主时钟就是GMC。每个系统只有一个GMC,且每个子网内只有一个主时钟,从时钟与主时钟保持同步。

如果不同PTP子网需要互联,则必须由BC来实现。BC的某个端口会作为从属端口与GMC相联,并为整个系统提供时间标准。BC的其他端口作为主端口,将同步信息传送到其他子系统。图4给出了一个简单IEEE 1588系统的结构示意。

PTP透明时钟,位于主时钟和从时钟的通信路径之中,通常为以太网交换机或中继器,主要为延时测量提供精确测量出的收发时间,并添加到同步消息中,为主从同步操作中的延时计算提供准确依据。

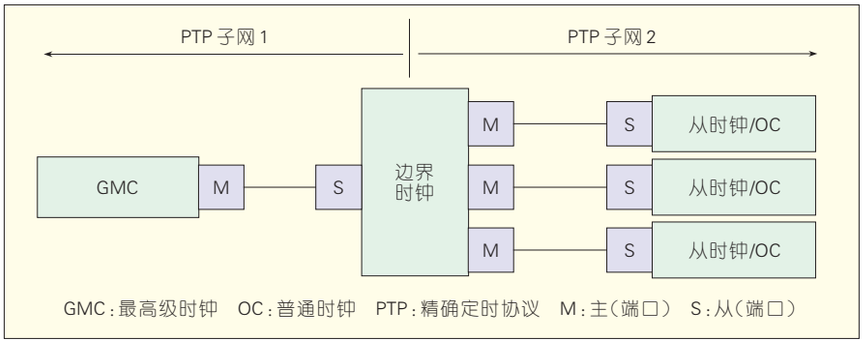
PTP同步过程中需要记录经由物理层的发出和接收时间,并添加到同步信息的"时间戳"字段。PTP的协议功能,主要用于主、从时钟之间相互交换用于同步的时间戳信息,以便从时钟计算得到其相对标准时间偏差,用于时间校对。PTP的协议报文,包括以下10类:

(1) 同步(Sync),包含了一个时间戳,描述了数据包发出的预计时间;

(2) 跟随(Follow_Up),包含测量出的同步报文发送时间;

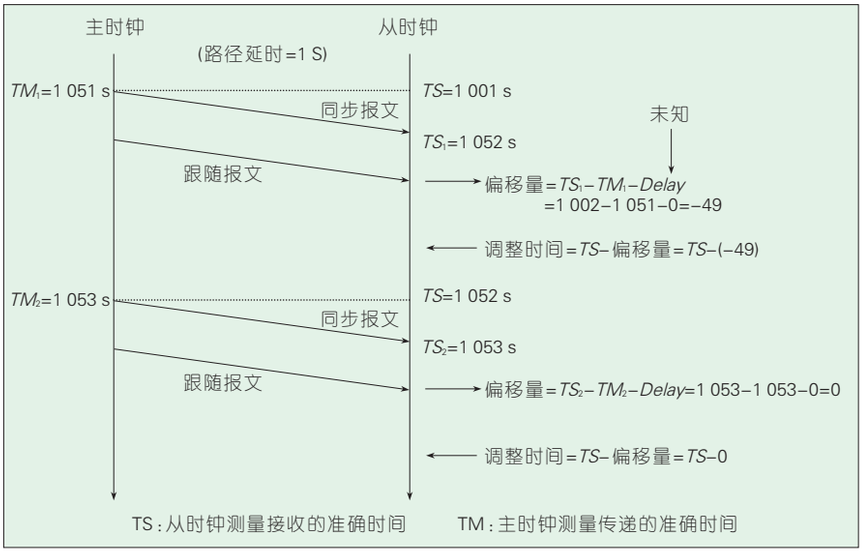
(3) 延时请求(Delay_Req),要求对端返回接到报文的时间;

(4) 延时应答(Delay_Resp),包含测量出的Delay_Resp报文接收时间;



▲图4 包含2个PTP子网的IEEE 1588系统结构

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P64



▲图5 PTP时钟漂移测量和计算的过程

(5) 对等延时请求(PDelay_Req)，包含透明时钟测到的延时修正；

(6) 跟随对等延时请求(Pdelay_Resp_Follow_Up)，包含透明时钟测到的延时修正；

(7) 对等延时应答(PDelay_Resp)，包含透明时钟测到的延时修正；

(8) 申明，用于在以太网中建立等级制的同步树；

(9) 管理，在管理节点与PTP时钟之间实现配置和管理消息传送；

(10) 信令，在时钟节点之间传送其他消息。

在简单配置结构中，通过(1)~(4)类PTP报文交换，从时钟可与直连的主时钟达到时间同步。

6.2 同步机制

PTP同步过程分为漂移测量阶段和偏移与延时测量阶段。第一阶段修正从时钟与主时钟之间的时间偏差，称为漂移测量。如图5所示，在修正漂移量的过程中，主时钟按照定义的间隔时间(缺省是2 s)周期性地向相应的从时钟发出同步报文。同步报文包括该报文离开主时钟的时间估计值。主时钟测量传递的准确时间(TM)，从时钟测量接收的准确时间(TS)。之后主时钟发出跟随报文，此报文与同步报文相关联，包含了此前同步报在物理接口发送的更为精确的测量时间，即TM。从时钟根据同步报文的接收时间和TM计算本地时间偏移量，修正从时钟的时间。

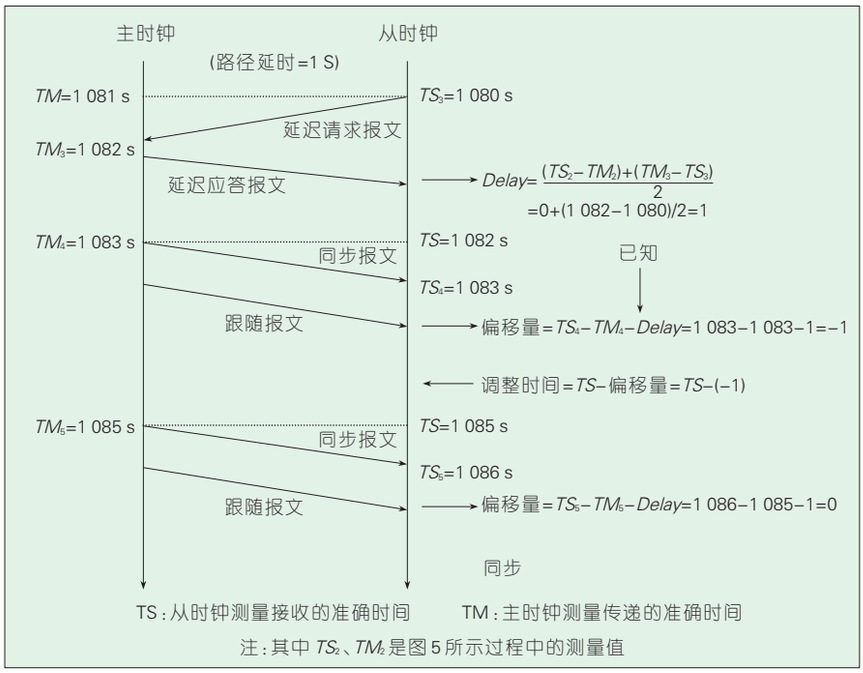
如果在传输路径中没有延迟，那么两个时钟就达到同步。如果路径延时不可忽略，需要通过如图6所示的第二阶段同步操作，把主时钟到从时钟的报文传输延时考虑进来，达到精确同步。

从时钟向主时钟发出一个延时请求报文，主时钟收到请求报文后，在延迟响应报文中把接收时间戳送回到从时钟。根据发送时间戳和主时钟提供的接收时间戳，从时钟计算得到其主时钟之间的延时。与偏移测量不同，延时测量的间隔时间(缺省值是4~60 s之间的随机值)比偏移值测量间隔时间要大，以保证网络尤其是设备终端的负荷不会太大。

主、从时钟的通信路径包含交换机等中间设备时，要求中间设备支持透明时钟功能，以便从时钟能扣除同步消息在中间设备上的延时变化和收发路径上的不对称延时。

6.3 最佳主时钟选择算法

IEEE 1588系统中，通常会存在多个时钟设备，都可以选作为主时钟。最佳主时钟选择算法，可依据时钟特性、网络拓扑、端口状态和管理要求，在一个PTP系统中自行选取最佳时钟。IEEE 1588允许不同的应用扩展采用不同的时钟选择算法，但在一般



▲图6 PTP时钟延时测量和偏移计算的过程

D:\MAG\2010-06-91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P65

▼表3 IEEE 1588最佳主时钟选择判定规则

判定顺序	条件	说明
1	1类优先级	取值范围0~255，值小优先；
2	时钟类别	取值范围0~255，值小优先；
3	时钟准确度	取值范围00 ~FF h，其中已定义的20 h对应准确度<25 ns…，31 h对应准确度>10 s，详见IEEE 1588表6；
4	偏移方差	反映时钟稳定性，值小优先；
5	2类优先级	取值范围0~255，值小优先；
6	时钟标识	时钟节点的MAC地址，值大优先。

MAC：媒体接入控制

▼表4 同步以太网与IEEE 1588联合应用前后的时间准确度测试结果

同步以太网开启状态	主时钟类型	从时钟类型	平均偏差	标准偏差	峰峰值
禁开	OXCO	OXCO	–2.148 ns	5.237 ns	48.3 ns
禁开	OXCO	普通晶振	–543 ps	9.527 ns	119.25 ns
开启	OXCO	OXCO	319 ps	80.6 ps	900 ps
开启	OXCO	普通晶振	784 ps	77.5 ps	700 ps

OXCO：温控晶振

情况下，首选时钟等级高(级数小)的时钟，同等级情况下首选媒体接入控制(MAC)地址值大的时钟。由IEEE 1588附带的最佳主时钟判定规则包括6条，如表3所列。

最佳主时钟选择由每个时钟分立计算，各时钟之间通过申明报文交换上述数据信息。表3中，1类优先级、2类优先级和部分的时钟类别，由面向特定应用的PTP配置来约定。比如，PTP的电信级应用，由ITU–T G.8265.1/2和G.8275.1/2给出相应定义。再比如，IEEE PC37.238针对电力系统应用制订了专门的PTP配置，IEEE 802.1AS针对AVB制订了相应PTP配置，IETF TICTOC工作组则正在制订针对MPLS传送的PTP相关配置。

6.4 IEEE 1588与同步以太网的联合应用

IEEE 1588采用分组方式传送时间同步消息，其同步性能低于采用TDM方式的同步以太网。但是，IEEE 1588适用面更广，技术成熟度较高，且不占用专门的传输资源，特别有利于部署在网络的接入部分。如前所述，同步以太网能与现有TDM为基础的同步网平稳互联，因此更适宜部署在网络的核心侧。这种横向联合的技术应用方案，既可以发挥同步以太网的高性能和兼容性，也可以充分利用IEEE 1588的经济性。

同步以太网主要面向时钟频率的同步要求，IEEE 1588则主要面向时间的同步要求。在准确度方面，同步以太网技术很容易实现10 ns以内的频率准确度，而IEEE 1588的时间准确度通常要低于100 ns。重叠部署同步以太网和IEEE 1588，在实现频率同步和时间同步的基础上，同时也可以大幅度地提升以太网的时间同步性能。

早在2007年，研究人员就已提出了采用纵向联合的技术方案，在实验室内得到了准确度达亚纳秒的实验测试结果，如表4所示。在单独应用IEEE 1588的同步实验中，时间准确度最差达到约120 ns，这与中国运营企业的实验结果是相互吻合的。而启用同步以太网提供频率同步服务后，时间同步准确度小于1 ns，性能改善了2个数量级[8]。

需要强调的是，无论是横向方案还是纵向方案，IEEE 1588与同步以太网的联合应用，其技术可行性和同步性能都还有待于进一步的研究和探索。 (待续)

7 参考文献

[1] FERRANT J L,RUFFINI S. Q13 Standards Updates[R]. IETF 79/TICTOC.2010.
[2] ITU–T G.8261/Y.1361. Timing and Synchronization Aspects in Packet Networks [S]. 2006.
[3] ITU–T G.8262/Y.1362. Timing Characteristics of Synchronous Ethernet Equipment Slave Clock (EEC) [S]. 2007.
[4] ITU–T G.8264/Y.1364. Distribution of Timing Information through Packet Networks [S]. 2008.
[5] IEEE 1588. IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems[S]. 2008
[6] Harris K R, Balasubramanian S, Moldavansky A. The Application of IEEE 1588 to a Distributed Motion Control System [EB/OL]. http://www.ab.com/networks/ethernet/get/AMotionControlApplicationUsing1588.pdf.
[7] MILLER D. DP83640 synchronous Ethernet mode: Achieving Sub–Nanosecond Accuracy in PTP Applications[R]. National Semiconductor Application Note 1730.2007
[8] 李晗. PTN 承载高精度时间同步协议技术研究[J]. 中兴通讯技术, 2010, 16(3):35–39.

收稿日期：2011–01–20

作者简介

王文鼐，南京邮电大学教授，南京大学博士毕业；现从事新一代网络技术方面的教学与科研工作；公开发表的学术论文超过50篇，近30篇被SCI/EI检索。

王斌，南京邮电大学副教授，北京邮电大学博士毕业；现从事低轨道卫星通信、LTE移动通信、电信级以太网保护和高性能交换等方面的教学和科研工作；公开发表论文12篇，其中5篇被SCI/EI检索，申请国内发明专利31项，申请国外发明专利8项。

糜正琨，南京邮电大学教授、博导；目前主要研究方向为下一代网络技术和异构网络融合技术；曾获江苏省科技进步二等奖一项，信息产业部科技进步二等奖和三等奖各一项；已发表SCI、EI收录论文40余篇，出版专著和国家级教材8部，申请国家发明专利4项。

D:\MAG\2010–06–91/VOL16\COVER.VFT——1PPS/P66