



第三届全国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](http://www.zte.com.cn/magazine)

2011年8月 • 第4期

**专题：三网融合演进技术与业务**



ISSN 1009-6868



9 771009 686007

08>

# 中兴通讯 2011 年第 1 季度 PCT 专利申请量居全球企业首位

【本刊讯】根据世界知识产权组织(WIPO)在其官网上公布的 2011 年第 1 季度全球专利申请情况,中兴通讯凭借 974 件专利合作协定(PCT)申请量占据全球公司首位,松下以 559 件位居第二,同时中兴通讯也是 2011 年第 1 季度 PCT 专利申请量全球前 5 名中唯一的一家中国企业。

2010 年中兴通讯凭借 1 863 件国际专利申请总量排名全球第二,2011 年第 1 季度申请量已达 2010 年全年的二分之一。照此趋势,2011 年中兴通讯 PCT 专利申请量将继续大幅增长,有望取得 2011 年全球国际专利年度申请量首位。

中兴通讯知识产权总监王海波表示:“中兴通讯根据自身国际市场开拓程度和未来趋势进行知识产权布局,为了支撑欧美市场业务发展,今后还将继续加大国际专利布局,申请量将会持续保持增长。”

中兴通讯坚持自主创新战略,并注重产业链合作及创新。一方面,中兴通讯坚持每年将收入的 10%投入研发,近 4 年研发资金累计高达 200 亿元;另一方面,在通过自主创新积累知识产权实力的同时,中兴通讯历来也根据国际通行惯例与多家公司签署交叉专利协议,涉及许可和被许可。在被许可的支出方面,2010 年中兴通讯的专利许可费用达 1.1 亿美元。

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 3.5 万项,所持有专利 90%以上是覆盖国际通讯技术标准的基本专利,以及覆盖通信产业关键技术核心专利。其中,中兴通讯申请国际专利已达近 7 000 项,全面覆盖 3 G、4 G 核心技术,并在以 LTE、云计算等为主的新技术领域的竞争中,取得技术领先。截至 2010 年底,中兴通讯以 107 件云专利申请量居中国第一,LTE 核心专利申请量行业占有率达到 7%。

## 中兴通讯推出全球首个 LTE 商用一体化小型微站 致力“小小区”解决方案

【本刊讯】2011 年 7 月 4 日,中兴通讯宣布已于日前推出一体化 LTE 微站 ZXSDR BS8920,这是全球首款付诸商用的 LTE 微基站。与传统分布式基站相比,这款一体化小型基站设备硬件成本将降低一半,相关配套设施建设成本将降低 30%,同时工程安装成本也将随之降低 30%。其体积小、重量轻,并支持全标准 LTE 频段及交直流供电,整机功耗低,满足运营商对低 TCO 的需求,相关指标位居行业领先地位。这也标志着中兴通讯 LTE 全系列商用产品和全网解决方案进一步得到完善,尤其适合室内、机场、购物中心、地铁等热点区域的“小小区”覆盖。

业界普遍认为,LTE 需求必然从城市热点区域开始,且建筑体内热点区域通信覆盖难度最大。在这种情况下,研发新型的专门覆盖基站,一方面要求体积小、重量轻,可以满足快速灵活部署;另一方面,要求功

率较高、能耗小,可以实现低成本部署,能够将热点区域内投资尽快收回。BS8920 作为一款具有完整 LTE eNodeB 功能的独立基站,只有不到 RRU 的大小和重量,但却能够满足以上两方面需求,并且可广泛用于室内、室外等各种复杂环境,在 LTE 单独布网和混合叠加网应用中发挥重要作用。该产品用于 LTE 热点、盲点和室内覆盖等解决方案中,满足了运营商不同场景下的快速组网需求,为其大大节省基站部署时间和成本。中兴通讯的 LTE 全网解决方案全面增强,满足运营商的需求。目前,该款产品已经在部分客户处应用,反响较好。

随着中兴通讯在 LTE 技术和解决方案方面的快速进展,公司的产品也在全球不断地获得认可。截至 2011 年 4 月初,中兴通讯与全球运营商签署 18 个 LTE 商用合同,合作部署 70 个试验网。

# 中兴通讯获 Frost & Sullivan 2011“最佳光传输厂商”和“最佳 IPTV 厂商”两项大奖

【本刊讯】2011年6月17日，全球知名咨询公司 Frost & Sullivan 年度光传输以及 IPTV 大奖揭晓，中兴通讯一举斩获“2011 最佳光传输厂商”以及“2011 最佳 IPTV 厂商”两项大奖。两项大奖的获得再次证明了中兴通讯在光传输以及 IPTV 领域所做出的贡献。中兴通讯已经连续3年获得最佳 IPTV 设备奖。

对于中兴通讯在光传输市场的成绩与表现，Frost & Sullivan 亚太区 ICT 副总裁 Jayesh Easwaramony 给予评价：在亚太区光传输市场，中兴通讯是唯一一家保持收入增长的供应商。尽管竞争激烈，但是中兴通讯依旧在一级运营商市场和海外市场取得重大胜出。

对于 IPTV 市场，Frost & Sullivan 研究报告称：中兴通讯以 11% 的市场份额保持 IPTV 中间件市场用户数全球前三、亚洲第一、中国第一。中兴通讯在亚洲、南美和中东等区域的光传输以及 IPTV 市场拥有强大影响力。中兴通讯承载网产品线将坚持成本领先、快速定制和持续创新的经营思路，充分利用技术变革机会，通过差异化、快速定制化能力，提供低 TCO 的高效、融合网络等解决方案。

在全球市场，中兴通讯拥有完整的 IPTV 端到端解决方案，并在数字社区、多屏融合、OTT 和多媒体云等技术上走在业界前列。中兴通讯 IPTV 在北美和欧洲市场表



现优异、屡获认可，在亚洲等市场则进一步巩固其领先地位。中兴通讯正凭借成熟的运营经验和优秀的项目执行为越来越多的客户创造精彩的多媒体数字生活体验。截至目前，中兴通讯已成功拥有超过 5 000 000 位活跃的网上用户，9 000 000 线系统总容量及超过 33 个世界商用的 IPTV 案件。这些主要得益于其良好的财务状况，持续的研发投入，优秀的市场业绩及商业前景。随着全球宽带市场的发展，作为宽带网络时代最新的业务应用之一，IPTV 已经成为业界关注的焦点，全球 IPTV 市场在未来 4 年内有望实现加速发展。

## 中兴通讯发布全球首款 CDMA/LTE 双模 4T4R 分布式基站系统

【本刊讯】2011年6月16日，中兴通讯宣布推出业界首款 CDMA/LTE 双模 4T4R (4 发射 4 接收) 分布式基站系统。该分布式基站使用的是业界领先的多输入多输出 (MIMO) 技术。该技术可灵活分解为两个  $2 \times 2$  或  $4 \times 4$  MIMO，使分布式基站具有大的带宽，能有效覆盖运营商的零散频谱资源，同时提升小区的覆盖和容量，帮助运营商加快网络部署速度并大幅降低网络建设成本。

此款分布式基站是基于中兴通讯大规模商用的 SDR 平台设计的，可同时支持 CDMA 2000 1X、EV-DO 和 LTE。中兴通讯也是全球首家能真正实现 CDMA 和 LTE 网络融合以及平滑演进的设备供应商。

中兴通讯 CDMA&LTE 产品总经理李键表示：“中兴

通讯在 CDMA 向 LTE 演进的实现上持续保持业界领先，我们在美国达拉斯已经建成了 CDMA-LTE 双模开放实验室。目前正在包括美国在内的多个市场进行了 CDMA-LTE 双模的试验网络，中兴通讯正在利用最先进的 Uni-RAN 方案积极地帮助 CDMA 运营商逐步向 LTE 演进。”

作为持续创新的 CDMA&LTE 技术的领跑者，中兴通讯积极与各国主流运营商合作，已经在全球承建了 18 个 LTE 商用网络及 70 个试验局，中兴通讯 CDMA 出货量连续 5 年保持全球第一。截至 2011 年第 1 季度，中兴通讯 CDMA 基站出货量已超过 31 万台，以 32.5% 份额位居 CDMA 全球市场首位。

## 专题:三网融合演进技术与业务

# 专 | 题 | 导 | 读

三网融合是中国信息产业发展的战略目标。早在1998年中国就提出要进行三网融合,并将其列入国家“九五”、“十五”计划和“十一五”规划;在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》中也提出需要加强宽带通信网、数字电视网和下一代互联网等信息基础设施建设,推进三网融合;2010年初,《国务院关于印发推进三网融合总体方案的通知》(国发[2010]5号文)也明确指出推进三网融合战略部署,不仅是当前和今后一个时期应对国际金融危机的重大举措,也是推动国家信息化、培育战略性新兴产业的重要任务。

在信息网络发展和演进的过程中,三网融合得到了进一步的发展。然而,在三网融合的实施过程中,由于网络隶属于不同主管单位,其发展的理念、对网络安全性的要求、对双向准入政策的期望都各不相同,使得业内普遍认为三网融合的核心问题是政策、经济问题而非技术问题,这使该问题复杂化。

回顾信息技术的发展历程,可以看出信息技术最主要的动力来自于技术和创意,其他方面只是加速或迟滞其发展的次要因素。因此,面向三网融合,技术方面的挑战和机遇是本期专刊组稿的初衷。结合国家“863”重大科技项目“三网融合演进技术与系统”立项的思考,提出了一些问题供大家讨论:

(1) 三网融合的技术短板是广电网络,在逐步完成数字化、双向化是基础上,下一代广播电视网(NGB)应如何发展;

(2) 广播电视业务对网络安全、网络质量要求很高,信息网络在融合该业务后,可能会导致网络体系结构的发展与变化,这是一个可能使中国信息网络技术引领全球发展的重要机遇;

(3) 随着带宽的不断增长,特别是全球都处于向100 Mbit/s用户接入带宽演进的过程中,支持融合业务的宽带、高速网络设备将会有新的发展机遇;

(4) 电视终端的双向、智能化发展可能是互联网、移动互联网之后的又一个新增长点;

(5) 随着视频编码和压缩技术的发展及视频业务的数字化传输,空闲出来的一部分黄金频谱,需要通过合理的技术手段加以充分有效的利用。

本期专题主要从技术的角度和大家共同探讨一些问题。这些论文凝聚了作者多年的研究成果和工作经验,希望能给读者有益的启示与参考。在此,对各位作者的积极支持和辛勤工作表示衷心的感谢。

## 本期专题策划人



## 李红滨

北京大学信息科学技术学院教授,长期从事通信网络的研究开发,现任区域光纤通信与新型光通信系统国家重点实验室主任、北京大学现代通信研究所所长、北京大学科研部副部长、国务院三网融合专家组成员、国家“863”计划“高可信网络”专项总体组组长、国家宽带网络科技发展“十二五”专项规划起草组组长、广电总局科技委特邀委员。

## 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



## 中兴通讯技术

ZHONGXINGTONGXUN JISHU

双月刊 1995年创刊 总第99期

2011年8月 第17卷第4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

责任编辑：杨勤义

编辑：徐烨，卢丹，朱莉，Paul Sleswick

排版制作：余刚

发行：王萍萍

编务：王坤

《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8月10日

刊号：ISSN 1009-6868

CN 34-1228/TN

广告经营许可证：皖合工商广字0058

定价：每册10.00元，全年60.00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。

### 专题：三网融合演进技术与业务

- 01 三网融合的发展历程与目标 ..... 邬江兴
- 04 三网融合下的电信网技术与网络发展 ..... 赵慧玲, 韩苏川, 霍晓莉
- 07 基于国家试验床的三网融合规模试验和产业化 ..... 陆肖元, 李毅
- 10 面向三网融合的光传送网技术进展 ..... 张海懿, 金耀辉, 张杰
- 14 下一代广播电视网无线系统 ..... 封松林, 解伟
- 19 三网融合下的集成播控平台与技术 ..... 张世乐, 陆伟, 卢宝丰
- 23 面向三网融合的统一安全管控技术 ..... 李玉峰, 兰巨龙, 薛向阳
- 29 三网融合与基于协作的无线技术 ..... 许玲, 方惠英

### 专家视点

- 33 三网融合业务形态与未来发展策略 ..... 周旗

### 运营应用

- 37 云计算分布式缓存技术及其在物联网中的应用 ..... 高洪, 董振江

### 研究论文

- 43 LTE-Advanced 中的 QoS 参数映射的研究 ..... 孔祥祯, 赵季红

### 开发园地

- 48 宽带无线网络的新选择——Wi-Fi 分流 ..... 魏元
- 52 1588v2 在电信网应用的标准化进程 ..... 宿飞, 何力, 李争齐

### 系列讲座

- 58 光正交频分复用技术及其应用(1) ..... 陈章渊, 李巨浩, 杨川川

### 综合信息

- 中兴通讯 ZXR10 T8000 率先完成“100G 以太网路由器业务部署” (57) 广告索引 (62)

期刊基本参数: CN 34-1228/TN \* 1995 \* b \* 16 \* 64 \* zh \* P \* ¥10.00 \* 15000 \* 14 \* 2011-08

# Contents

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol.17 No.4 Aug. 2011

## Special Topic: Technology and Business of Tri-Network Convergence

- 01 Development Course and Targets for Tri-Network Convergence ..... WU Jiangxing
- 04 Development of Telecommunication Technology and Networks  
in Tri-Network Convergence ..... ZHAO Huiling, HAN Suchuan, HUO Xiaoli
- 07 Trialing and Industrializing Tri-Network Convergence Using  
a Large-Scale National Testbed ..... LU Xiaoyuan, LI Yi
- 10 Development of Optical Transport Network Technology  
for Tri-Network Convergence ..... ZHANG Haiyi, JIN Yaohui, ZHANG Jie
- 14 Next-Generation Broadcast Network Wireless Systems ..... FENG Songlin, XIE Wei
- 19 Integration and Broadcasting Platform and Technologies  
in Tri-Network Convergence ..... ZHANG Shile, LU Wei, LU Baofeng
- 23 Common Security and Control Framework  
in Tri-Network Convergence ..... LI Yufeng, LAN Julong, XUE Xiangyang
- 29 Cooperative Wireless Technologies in Tri-Network Convergence ..... XU Ling, FANG Huiying

## Expert View

- 33 Business Models and Future Development Strategy  
of Tri-Network Convergence ..... ZHOU Qi

## Operational Application

- 37 Distributed Cache of Cloud Computing Technology and Its Application  
in the Internet of Things ..... GAO Hong, DONG Zhenjiang

## Research Paper

- 43 Study of the Mapping of QoS Parameters in LTE-A Systems ..... KONG Xiangyi, ZHAO Jihong

## Development Field

- 48 A New Option for Broadband Wireless Network: Wi-Fi Offload ..... WEI Yuan
- 52 Standardization of 1588v2 for Application  
in Telecommunication Networks ..... SU Fei, HE Li, LI Zhengqi

## Lecture Series

- 58 OFDM Technology and its Application  
in Optical Fiber Communication (1) ..... CHEN Zhangyuan, LI Juhao, YANG Chuanchuan

## 《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  
顾晚仪 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、本刊享有所有发表文章的版权,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。

# 三网融合的发展历程与目标

## Development Course and Targets for Tri-Network Convergence

中图分类号: TN915; TN94; TP393.03 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0001-03

**摘要:** 文章在分析三网融合的重要意义和发展趋势、对中国三网融合的发展历程进行回顾的基础上,探讨了三网融合的内涵与特征,并对国家三网融合发展的目标进行了分析讨论。文章认为三网融合不能简单认为是现有电信网、互联网和广播电视网的三个网络的合一,其最终目的是为了满足不同增长的各种业务需求,在对新的业务模式形成有效支撑的情况下,有效整合各类网络资源,进一步完善网络覆盖,显著降低功率消耗,实现真正快速、便捷、绿色健康的宽带信息服务,提高信息产业的整体水平。

**关键词:** 三网融合; 下一代网络; 网络改造

**Abstract:** This paper analyzes the significance of tri-network convergence in China and discusses some development trends, features, and goals of tri-network convergence. This paper suggests that tri-network convergence is not just a simple convergence of telecommunications networks, cable TV, and the Internet—its ultimate goal is to meet increasing service requirements. With the support of a new service module, network resources can be integrated into a converged network, coverage can be improved, power consumption can be significantly reduced; and fast, convenient, and green broadband information services can be provided. This greatly improves the overall level of the information industry.

**Key words:** tri-network convergence; next generation network; network transformation

邬江兴/WU Jiangxing

(国家数字交换系统工程技术研究中心,  
河南 郑州 450002)  
(National Digital Switching System Engineering  
& Technological Research Center, Zhengzhou  
450002, China)

三是三网融合对于优化产业结构,转变经济增长方式具有巨大的促进作用。要提高“中国制造”的含金量,很重要的一个因素是需要使中国现在的产业链、创新链和价值链得到足够的延长。

从这个层面来看,国家三网融合战略对于全面带动国家经济的发展,实现经济增长方式的转变,实现产业结构的优化调整,起到了一个引领牵引需求、制造需求、提供发展空间的作用。

事实上,世界上其他主要国家也在以各种形式积极推动三网融合,其根本动力在于科技创新带来的经济增长需求。

温家宝总理多次谈到:历史经验表明,每一次大的危机常常伴随着一场新的科技革命;每一次经济的复苏,都离不开技术创新。通过科学技术的重大突破,创造新的社会需求,用科技的力量推动经济发展方式转变,从而催生新一轮的经济繁荣。

美国在 20 世纪 50 年代末提出“阿波罗”登月计划。当时美国正处于战后经济衰退期,其工业生产骤降,失业率不断攀高,美国急需新的突破点来催生新一轮的经济繁荣,以推动国家政治、经济、军事和文化不

### 1 三网融合是当前形势下的国家重大战略举措

**进**入 21 世纪,尤其是 2007 年世界范围内的金融危机发生以后,中国在经济、社会发展方面均面临着巨大的挑战。传统经济结构和经济增长模式的缺陷逐渐显现,国家对新型产业的需求非常迫切。信息产业作为典型的可持续发展产业,同时也是未来新型产业的支撑产业,在面向未来的经济版图中具有更加重要的地位和作用。因此,三网融合作为当前形势下的国家重大战略举措,其意义体现在多个层面:

一是对于中国的自主创新来讲,三网融合为在网络技术和相关核心领域进行跨越式发展提供了契机。全世界都没有中国这样一种特殊的国情,也没有特别合适的技术能够来解决三网融合的问题,这就给中国自主创新提供了一个历史性机遇。

二是对于发展国家现代服务业来讲,这是一个非常重要的一个机遇。服务业中有两个关键:一个是信息流,一个是物流。三网融合对于支撑信息流、影响物流都是有及其重要的意义,所以我们可以把三网融合看作成发展现代服务业的一个基础或者是关键的一步。

断发展。正是在这种背景下,1961年5月美国总统肯尼迪批准了“阿波罗”计划。因此,三网融合最重要的战略意义是国家政治和经济发展战略需要,其是推动国家经济高速发展的重要动力。

具体来说,三网融合将推动信息服务业的发展,繁荣文化事业,推动国家信息基础设施(电信网/广电网)的更新换代,为技术、服务、商业模式创新提供空间,为可能出现的战略性新兴产业提供机会。

## 2 三网融合是社会与技术发展的必然趋势

### 2.1 社会发展需要

现代服务业呼唤新兴信息服务,而产业结构升级的必要条件之一就是打造新一代的国家信息基础设施,“网上打工,居家办公”等反映信息化程度的基础数据将成为全球衡量经济体发达水平的指标之一。

能解决实时、可管、可闻、可见是新兴服务的基础业务功能。可信、可管、可控、可扩展已经成为支撑现代信息服务业可持续发展的基本管理业务功能。

社会发展需要可管、可信、有序发展的信息服务业,但缺乏先验知识支持也无法照搬国外模式是目前建设与发展阶段需要解决的紧迫问题。因此,网络技术急需转型,业务也急需转向,市场急需重定位。但目前并没有合适的网络技术能够支撑这种变革,由此对下一代网络技术产生了现实的强烈需求。

作为“十二五”信息产业战略性新兴产业的突破口,三网融合对促进社会经济发展起到重要的推动作用。以网络融合和智能化为特征的下一代网络产业是全球IT产业发展的重要方向之一,三网融合演进技术与产品的研发和应用推广,将形成庞大的产业链和巨大的产业规模,成为推动中国国民经济发展和传统产业

升级的重要动力。

随着信息渠道区隔的打破,丰富的内容和充分的竞争将使广大用户受益,企业信息化、农村信息化和个人信息化的水平也将随之不断提高,最终使中国社会的信息化水平迈上一个新台阶。

三网融合最终目的是为了满足不断增长的各种业务需求,在对新的业务模式形成有效支撑的情况下,有效整合各类网络资源,进一步完善网络覆盖,显著降低功率消耗,实现真正快速、便捷、绿色健康的宽带信息服务,提高信息产业的整体水平。当前,通过三网融合,面向物联网和现代服务业的实际需求,实现“人-机-网-物”的融合,能够创新地提出未来网络的技术、标准和协议,实现中国信息网络技术的跨越式发展<sup>[1]</sup>。

### 2.2 国家政策支持

实际上早在20世纪90年代中国就提出三网融合基本构想,并将其列入国家规划。1997年4月,国务院在深圳召开全国信息化工作会议,讨论通过《国家信息化总体规划》,提出中国信息基础设施的基本结构是“一个平台,三个网”。一个平台即指互联互通的平台,三个网即指电信网、广播电视网和计算机网,这也是国家首次提出了三网融合的概念。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》也提出:“加强宽带通信网、数字电视网和下一代互联网等信息基础设施建设,推进三网融合”,此三网融合是指业务融合而非物理网络融合,在原有基础业务共性化的过程中拓展新兴服务和创新业务经营模式,实现跨越式发展,推动信息服务业增长方式的转变和相关产业结构的优化调整。

2010年1月13日,温家宝总理主持国务院常务会议,提出要推进三网融合总体方案,加强有线电视网络建设和整合,推动广播电信业务双向进入,要求2012年完成试点,2015年全

面推进三网融合,建成国家级有线电视网络,培育新型市场主体,创新商业和服务模式,制订相关产业政策,支持三网融合的共性技术、关键技术、基础技术、关键软硬件的自主研发和标准化及产业化,发展战略性新兴产业。

### 2.3 技术基础

国家科技部在“十五”期间就已经启动重点科技工程项目“高性能宽带信息网(3TNet)”,旨在在长三角地区建立一个自主研制的、能支持大规模并发流媒体和交互式多媒体业务的试验工程。

研究人员参考国内外对下一代网络的研究,形成对“下一代网络”若干核心问题的解决理念,历时4年多的时间完成了这一重大科技/示范工程项目,取得了一批以规模化试验为基础的技术成果。

3TNet提出的创新交换结构是一个混合的城域网结构,利用电路交换(组播)结构支持广播类节目,利用扁平化的宽带互联网结构支持交互和数据业务。

3TNet的驻地网基于大规模汇聚路由器(ACR),采用扁平的网络架构和“胖树”拓扑,既解决了宽带业务质量保证问题又较好地解决了广电网对业务的可控可管需求。正是基于3TNet的成功示范应用,2008年12月科技部和广电总局签署了《国家高性能宽带信息网暨中国下一代广电网自主创新合作协议书》,提出以3TNet核心技术建设中国下一代广播电视网。

国家在“十一五”计划中设立了新一代高可信互联网重点专项,包含3个项目,即“863”计划的“新一代高可信网络”、由教育部牵头的支撑计划项目“可信任互联网”和由广电总局牵头的支撑计划项目“中国互动新媒体网络与新业务科技工程”。科技部希望由这些工程互为支撑推动产生中国三网融合的技术架构和标准

体系。

可以预计,新一代高可信互联网专项将攻克面向未来“三网融合”的网络体制、关键技术、节点设备、融合业务等难关,构建一个跨区域的国家试验示范网络,引领和支撑电信网络、广电网络和互联网络向新一代高可信互联网方向演进,成为国际网络技术主流发展方向之一。

此外,国家多项计划项目中还安排了相关的共性技术研究,包括:新的网络标准体制,系列化低成本的接入单元,公共业务支撑平台,各种类型的新业务开发及其适配的管理模式等等,这些举措都为三网融合地开展提供了坚实的技术和环境基础。

#### 2.4 国际相关计划

信息化是当今世界发展的大趋势和推动社会变革的重要力量,世界发达国家和主要发展中国家对信息通信技术(ICT)特别是三网融合及其产业均在战略层面上给予高度的重视。

国际电信联盟(ITU)调研数据显示<sup>[1]</sup>,全球22%的国家已经出台了促进三网融合的政策,其余国家中的50%也正在考虑三网融合的计划。

1993年,美国提出NII计划(国家信息基础设施行动计划,通称“信息高速公路”计划),作为重整美国经济、提高国际竞争力、加速美国经济和社会向信息化迈进的一项重大战略决策。1996年美国对其《电信法》首次进行重大修改,决定取消电信、电视互不进入对方市场的限制,从而为三网融合扫清了法律障碍。2010年3月,美国联邦通信委员会向国会提交了国家宽带计划<sup>[2]</sup>,计划旨在保证每个美国人都能拥有使用宽带的机会,利用宽带改造美国社会和产业的各个方面,从而使美国成为世界高速互联网的领先者,提高美国的全球竞争力。

欧盟于1994年发表《开放电信基础设施和CATV网》绿皮书,从而开

启了三网融合的第一步。2002年欧盟发布《电子通信网络与服务的统一监管框架指令》,准许电信网进入广电网,三网融合进入对称准入的时期。2008年欧盟通过了第七研发框架计划(FP7),开展包括有线宽带在内的ICT领域研究与创新,明确提出需要突破当前网络的结构限制,研究支撑未来网络的融合体系架构。

2001年1月13日,日本IT战略总部允许电信广电事业互相自由渗透和兼营,从而正式步入电信和广电融合阶段。2009年7月,日本信息技术战略本部发布了日本中期信息技术发展战略“i-Japan战略2015”<sup>[3]</sup>,该战略将实现行政部门的数字化技术改革,消除网络界限,实现各种服务的真正融合,推动产业、地域的发展以及信息服务业的培养,实现产业结构重整,提高国际竞争能力。

综上,三网融合已是大势所趋而且不可逆转。在经济全球化背景下,中国应该结合具体国情,抓住有利时机,积极稳妥地推进三网融合,促进信息产业和文化产业的快速发展,从而在未来国际竞争中处于主动地位。

### 3 三网融合战略目标与近期目标

所谓三网融合,是指随着数字技术、网络技术、计算机技术的高速发展及用户对多种业务需求的不断增长,电信网、广播电视网、互联网在向宽带通信网、数字电视网、下一代互联网演进过程中,其技术功能趋于一致,业务范围趋于相同,网络互联互通、资源共享,能为用户提供语音、数据和广播电视等多种服务。

在中国,电信网和互联网经过十多年的发展早已实现了融合。三网融合的关键在于广播电视网和电信网的融合:对广电行业来说,有线电视行业具有广泛的用户和丰富的视频节目资源,具有确保信息安全传播、文化娱乐宣传的经验;对电信行业而言,中国拥有世界上最完善、规

模最大的全国全程全网的电信网络,主要电信公司均在海外上市,具有良好的运营素质和竞争力,用户数超过10亿。

因此,三网融合的战略目标不仅仅是使得最优秀的网络和中国最优质的图像资源融合,实现业务融合,同时也要为提高人们生活质量的提供各种新型业务提供基础平台,未来将不断有新的需求和应用出现,从而进一步提高国民经济和社会信息化水平,推动国家经济高速发展,维护国家政治稳定,促进信息产业、文化产业和社会事业发展,满足人民群众日益增长的物质文化生活需要。

具体而言,三网融合的近期目标如下:

#### (1) 近期总体目标

三网融合是国家战略性工程,体制和科技创新的核心,牵引社会经济发展和改善民生质量是其根本目标。其总体目标是:到2015年,实现电信网、广播电视网、互联网融合发展,新型信息产品和服务不断涌现,网络利用率大幅提高,科技创新能力明显增强,国民经济和社会信息化水平迅速提升,网络信息安全和文化安全保障能力进一步增强,信息产业、文化产业和社会事业进一步发展,社会主义文化进一步繁荣,人民群众享有更加丰富多彩、快捷经济的信息和文化服务。

#### (2) 近期阶段目标

试点阶段(2010—2012年)。以推进广电和电信业务双向阶段性进入为重点,制订三网融合试点方案,选择有条件的地区开展试点,不断扩大试点广度和范围;加快电信网、广播电视网、互联网升级改造,加快培育市场主体,组建国家级有线电视网络公司,初步形成适度竞争的产业格局;探索建立分工明确、行为规范、运转协调、协同高效的工作机制,调整完善网络规划建设、基础设施共建共享、业务规划发展、网络信息安全和

➡下转第18页

# 三网融合下的电信网技术与网络发展

## Development of Telecommunication Technology and Networks in Tri-Network Convergence

中图分类号: TN915; TN94; TP393.03 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0004-03

**摘要:** 文章认为三网融合作为国家的战略部署已进入了实质性推进阶段, 为了满足三网融合类业务的需求, 电信运营商必须考虑其网络技术的选择和自身网络的未来发展。基础网络和业务网络是电信网的两个组成部分, 在业务提供的过程中都是不可或缺的。文章依据三网融合形势下的业务特点, 对应用于基础网络和业务网络的新技术进行讨论, 对网络架构的演进进行描述并提出未来的研究重点。

**关键词:** 三网融合; 电信网; 业务网; 网络架构

**Abstract:** Wireless access in vehicular environments (WAVE) systems based on IEEE 802.11.p will be the infrastructure for intelligent transportation system applications that improve transport safety, efficiency, and convenience. This paper discusses the background, technical challenges, and broader impacts of WAVE systems and reports on recent activities at the Center for Vehicular Communications and Networks at the University of Michigan-Dearborn. These activities include research into a WAVE prototype based on field programmable gate array (FPGA) and research into a vehicular network simulator.

**Keywords:** tri-network convergence; telecommunication network; service network; network architecture

赵慧玲/ZHAO Huiling  
韩苏川/HAN Suchuan  
霍晓莉/HUO Xiaoli

(中国电信股份有限公司北京研究院, 北京 100035)  
(China Telecom Corporation Limited Beijing Research Institute, Beijing 100035, China)

随着2010年1月13日, 国务院总理温家宝主持召开国务院常务会议, 决定加快推进电信网、广播电视网和互联网三网融合, 三网融合的战略意义即被确定。

电信网络是一个开放的网络, 本就可以满足各种类型业务的开放。但在过去由于受到一些限制, 而主要注重于语音业务和数据业务的发展, 其网络发展也是以满足语音和数据业务需求为首要目标的。因此, 在三网融合的大趋势下, 运营商首先要考虑自身网络的发展方向问题。新技术的引入、网络架构的构建、网络方案的选择等都要以三网融合这一战略方向为目标。三网融合在满足业

务需求, 提升用户体验的同时又能兼顾成本控制、网络安全、节能减排等关系企业利益和国家利益的诸多因素<sup>[1-4]</sup>。

### 1 基础网络的发展

电视、监控、视讯等视频类业务的飞速发展是基础网络面临的最大挑战, 大带宽和质量控制是应首先解决的问题。

#### 1.1 大带宽的全程网络

带宽问题的解决需要从两方面着手: 一方面是大带宽技术的应用, 一方面是采用合理的网络方案来提高网络资源的利用率。

#### (1) 宽带接入

以太网无源光网络(EPON)和千兆比无源光网络(GPON)在电信网络中早已部署, 但目前提供带宽还较小, 为了实现用户几十兆甚至上百兆的接入带宽, 光接入速率的提高成为必需。大容量光接入技术主要有两个方向: 一个是速率提高, 如10G EPON、10G GPON; 另一个是引入波分技术, 通过波分复用提高单光纤的带宽能力。目前, 10G EPON正趋向成熟, 测试与试点近期即可开展, 研发重点主要集中在容量和设备密度的提高与功耗和成本的降低; 10G GPON标准化尚未完成, 还存在高带宽上下行突发模式接收及高分光比长距传送等需要突破的关键技术。波分技术引入PON网络对于接入距离、最大分光比、接入带宽均有本质上的提升, 但目前标准制订和“无色”技术选择都还处于研究阶段。

为了提高单用户的带宽能力, 光纤到家(FTTH)将是未来接入网络建设的总体方向。对于FTTH的组网结构, 如何部署高质量低成本的接入侧光缆网络是研究重点。光缆铺设、各

级配线设备和分光器的设置方式、施工与维护的便捷性与规范性、低成本光器件的引入,甚至家庭内部署光纤的问题都是需要进一步研究和试点验证的。对于接入网,应主要通过光进铜退的推进,利用无源光网络(PON)、甚高速数字用户线(VDSL)等新技术实现接入带宽的拓展;无线接入网适时引入LTE,提供高速的无线接入能力。对于城域和骨干网,应配合接入提速的进程,通过大容量路由设备和端口的引入以及网络的合理规划,支持视频等大带宽业务对网络的基本需求。此外,为了支持用户多种方式的灵活接入,需要将现有的有线技术以及Wi-Fi、3G、未来的LTE等手段有机结合,并可以使用户可以采用统一账号接入不同的网络。不同的接入终端可以实现即插即用与自动适配,既让用户感到使用方便、成本合理、速率高,又利于运营商的合理投资,如支持CDMA和Wi-Fi优选接入的C+W技术、未来支持LTE和Wi-Fi的无缝切换技术、不同接入网络的统一控制等。

#### (2)大带宽承载

网络具备足够大的带宽是一切智能化手段实施的基础。提高网络速度是用户能够感受到的最直接的体验方式。单用户接入带宽的提升直接导致城域核心网络所需带宽的激增。目前,40G承载已成熟并在现网中大量部署,更高速率的100G技术已成为业界的研究热点。IEEE在2010年6月18日正式发布了定义40GE和100GE接口的IEEE 802.3ba-2010标准。各路由器厂家已推出或即将推出商用100GE接口板,近期即可进行设备测试。ITU-T SG15已完成100GE光传送网(OTN)映射以及100G OTN接口规范。光互联论坛(OIF)已完成100G波分复用(WDM)传输需求和相关模块的接口规范,各传输设备厂家即将推出80×100G的长距传输WDM商用系统。可见,建设100G的大带宽承载网将不

是很遥远的事情。

IP承载网网络与光传送承载网络具有各自的承载特点,对于不同类型的业务,两个网络有着不同的承载方案和各自的优劣势。通过两个网络的配合组网,特别是对于大带宽要求的视频业务的承载,将可以提高网络资源使用效率,降低网络的整体成本。该问题将是电信网络架构研究在未来重点解决的问题。

#### 1.2 质量管控

质量管控涉及多个方面:网络自身质量的保证、承载业务质量的保证、精细化管理和安全保证等。在保证质量方面引入智能管道的机制。

电信网络从开始建设就是以网络的高质量为要求的。电信网络采取各种设备备份机制、链路保护机制、故障修复时限要求等技术手段和管理措施以保证在设备与线缆发生故障时,将业务受到的影响降到最低,提供电信级的保障。对于进一步提供网络服务质量,目前人们仍在不懈努力。为了提高末端排障速度,光链路监测和诊断系统正在被研究和建设,以解决FTTH网络架构下故障难定位、海量光纤难管理等问题,并进一步着眼于接入网的整体视角,贯通业务开展的全流程,构建面向FTTX网络的宽带服务保障体系。为了进一步提高IP承载网的可靠性,业务路由器层面将采用路径快速检测、快速路由收敛、显式备份路径等技术降低业务受影响时间,在核心路由器层面采用双归属等技术彻底解决端到端单点故障问题。

##### (1)承载业务质量保证

由于视频业务不同于语音业务和一般的数据业务,具有大带宽和低时延的业务特点。承载网络需要提供视频质量提升的专有技术解决方案,针对三网融合的业务要求,提供层次化服务质量(QoS)技术,提供业务级、用户级、用户组级多层次、灵活的业务质量保障。在现网中引入频道

切换加速技术、视频缓存技术、丢包检测报文重传技术等新技术可大幅提升用户的视频业务体验;部署探针、搭建视频业务监测系统实现端到端视频监控;部署视频业务保障系统,根据视频业务的体验质量(QoE),研究视频QoE与网络质量的映射关系,从网络QoS方面保障视频业务的QoE。这些针对视频业务特点的网络保障措施仍需要进一步研究、试验和部署。

端到端差异化管道是要建立从用户终端—接入—城域—骨干—业务平台/终端的全程具有QoS保障的通道。现有网络部分区域采用区分服务(Diffserv+)网络轻载的方式进行基于业务大类的相对QoS保障。对智能管道而言,一方面应以区分服务为基本能力,扩大全网的QoS部署范围,对特定流量进行差分处理,包括限速、带宽分配、基于QoS等级的队列调度等处理;另一方面应做细QoS的部署粒度,要综合网络感知等技术,实现对用户及业务的细粒度区分和针对性的处理,包括对关键流量的质量保障和对非法无用流量的限速和管控。另外,应结合图形化网管、自动策略配置等手段,进行基于用户个性化需求及业务策略的便捷的QoS配置,实现差异化管道的快速指配。

策略控制系统是智能管道实现业务层和承载层联动的关键,它能够依据业务的实际需求动态地控制底层网络资源的配给。策略控制系统的主要功能是根据来自上层业务平台及认证系统的各类信息请求,生成控制策略,下发到IP承载网及移动分组域的边缘设备,对特定流量进行动态的控制和处理(包括带宽分配、QoS等级设定、准入控制、灵活计费等)。在实际部署中,可依据现有标准,根据现网情况和业务需求进行具体的实施,同时还需要特别考虑的是固定网络和移动网络在控制层的互通与融合。

##### (2)精细化管理和安全保证

在三网融合的形势下,业务越来越趋向于多样化,视频、P2P、在线商务等业务的开展,对网络的精细化管理和安全保障提出了更高的要求。目前,防火墙、IP 安全协议、DPI、合法监听、NETStream 技术提供网络层面的安全解决方案;PPPOE、AAA 等一体系的接入技术提供了宽带接入网络的认证、鉴权、控制的解决方案。特别是将 DPI 功能集成到宽带接入远程服务(BRAS)、业务路由器(SR),可提供对业务的深度解析,完成 P2P、视频流量的监管、优化、安全保障,同时有利于提升运营商的精细化管理能力,加强业务管理。

## 2 业务网络的发展

三网融合环境下业务网络的发展,一方面要构建面向未来各种视频业务的统一的可管可控的交互式流媒体服务网络,另一方面要提供适应高带宽要求的视频类增值业务的网络能力。

### 2.1 可管可控的交互式流媒体服务网络

构建可管可控的交互式流媒体服务网络,必须实现 IPTV、互联网视频、移动流媒体等不同种类的流媒体业务的融合承载、高效分发,确保传送过程中的高质量、高安全性、高可控性;同时必须实现基于分布式云存储技术,实现存储云化、服务云化、可管理的 P2P 等关键技术。

(1)采用存储与流媒体服务分离的方案解决内容传送网络(CDN)的内容存储问题。用统一的存储系统屏蔽不同编码格式、不同封装格式、不同业务要求的视频文件差异,实现统一分发;同时采用云存储类存储方案,降低系统成本和可扩展性。

(2)在现有的 CDN 中引入可控 P2P 技术,打通边缘节点与中心节点的通道。同级/不同级 CDN 之间进行分片调度,同时在 CDN 控制功能中增加拓扑管理功能,避免提供服务的节点不

在一个域内而增加跨域的网络开销。

(3)在新的流媒体服务网络中引入实时转码和 SVC 编码技术,实时处理不同终端类别和不同网络条件对视频码率的变化要求,保证终端之间交互视频的质量。

### 2.2 部署视频类增值业务的网络能力

#### (1)构建富通信能力

构建与承载网无关的可管可控的融合核心网架构。面向三网融合的下一代融合核心网需实现承载和控制的分离,提供多种不同接入手段,能够为来自任何一种接入手段的终端提供实时多媒体会话连接及语音/多媒体业务的互通。实现智能手机终端、新型电视机、机顶盒、电脑终端、新型终端等不同接入终端间的语音、视频电话及包括图片、Flash、文本在内的多种通信方式的互通。

#### (2)支持多屏互动能力

结合全球运营商经验和用户业务需求的发展趋势,梳理出真正满足用户需求,并且有利于产业链良性发展的多屏互动业务场景和相关业务模式。构建三屏互动业务平台,平台侧与现有平台系统实现无缝对接,实现统一用户管理、统一业务管理、统一内容管理等。终端侧重点研究多屏终端的互动关联接口,研究适用于公众用户的云桌面系统,基于云桌面系统提供三屏互动应用。

#### (3)支持各类视频云应用

从云游戏的关键技术(如远程控制、编解码、虚拟化等)着手,解决游戏原始画面在生成之后如何有效转换成低时延实时视频以及多用户通过 GPU 虚拟化,即使实现同时在线操控等方面的问题;在单个关键技术得到解决的情况下,通过简单集成的方式完成云游戏基本服务系统的实现;在基本服务器架构成型的基础上,深入研究接口和功能的耦合,将各个单一的功能模块整合成能够满足多数用户并发使用的高效率高性能低成本的高级服务系统,从而实现云游戏

的成熟服务器架构。

## 3 结束语

三网融合是国家重要发展战略,我们将发挥在网络和运营方面的优势,通过网络、平台、业务、终端方面的大胆创新,突破三网融合的关键技术,开展三网融合新业务,为国家三网融合战略的顺利实施和快速发展做出贡献。

## 4 参考文献

- [1] 100G ultra long haul DWDM framework document [R]. OIF(Optical Internetworking Forum), 2009.
- [2] Rich Communication Suite (RCS), Release 2 Functional Description v1.1 [S]. GSM Association, 2010.
- [3] Rich Communication Suite (RCS), Release 2 Technical Realization v0.5 [S]. GSM Association, 2009.
- [4] IEEE std 802.3av-2009. Physical layer specifications, Amendment 1: Physical layer specifications and management parameters for 10Gb/s passive optical networks [S]. 2009.

收稿日期:2011-04-25

### 作者简介



**赵慧玲**, 中国电信股份有限公司北京研究院副院长、教授级高工、博士生导师, 中国通信学会信息通信网络技术专业委员会副主任委员, 中国通信学会北京通信学会副理事长, 中国通信标准协会网络与交换技术工作委员会主席;主要从事于宽带网络和下一代网络的技术研究以及通信网络发展战略研究,主持了中国网络标准的研究和制订工作;已发表文章 100 篇,出版技术专著 12 部;获国家攻关项目一等奖 1 项,国家科技进步二等奖 2 项,部级科技进步一等奖 1 项、二等奖 4 项、三等奖 7 项。



**韩苏川**, 中国电信股份有限公司北京研究院宽带与互联网创新中心专家;长期从事通信网络规划、设计工作,近期主要从事业务网络架构方面研究。



**霍晓莉**, 中国电信股份有限公司北京研究院网络技术部主任工程师;长期从事光通信技术研究,主要研究方向为 ASON 技术与组网、WDM 技术、OTN 技术与网络同步技术等,近期开始从事光接入技术研究;已发表文章 10 篇,合作出版技术专著 1 部。

# 基于国家试验床的三网融合规模试验和产业化

## Trialing and Industrializing Tri-Network Convergence Using a Large-Scale National Testbed

中图分类号: TN915; TN94; TP393.03 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0007-03

**摘要:** 下一代网络与业务国家试验床是中国信息领域代表性的公共创新平台,也是目前全球最大的网络与业务试验床。该试验床历经“十五”、“十一五”的建设,目前已形成覆盖 20 个城市 100 万用户的规模,支持网络体制创新、新设备试验和新业务示范,成为服务于包括内容提供商、网络运营商和设备提供商等整个宽带网络产业的国家级长效试验示范平台,引领中国网络产业的跨越式发展。文章介绍国家试验床的功能和架构,以及面向三网融合规模试验和产业化等内容。

**关键词:** 国家试验床; 三网融合; 规模试验; 产业化

**Abstract:** The Next Generation Network and National Service Testbed is a typical network innovation platform in China. It is the world's largest network and service testbed. At the end of the Eleventh Five-Year program, this national testbed now covers one million users in 20 cities across China. It can be used to reform the networks of institutions, test new networking technologies, verify new network equipment, and demonstrate emerging services. It also acts as a long-term trial platform on a national scale, providing services to content providers, network operators, equipment providers, and other broadband network industries. The platform leads China's broadband network industry. This article briefly addresses the function and structure of the testbed as well as issues in trialing and industrializing tri-network convergence.

**Keywords:** national testbed; tri-network convergence; scale trial; industrialization

陆肖元/LU Xiaoyuan

李毅/LI Yi

(国家宽带网络与应用工程技术研究中心,  
上海 200336)  
(National Engineering Research Center for  
Broadband Networks & Applications, Shanghai  
200336, China)

### 1 国家试验床的功能和架构

随着宽带网络技术的发展,原有基于 IP 分组交换和最有效机制的互联网体系已经不能满足网络泛在、融合、宽带的发展要求,下一代网络体系和架构成为当前世界各国争相研究的重点<sup>[1]</sup>。而在新一波网络技

术的热潮中,试验床作为网络技术的创新平台 and 大规模试验验证的环境,已经成为当前发展的焦点。发达国家纷纷建立自己的网络试验床,比如美国的 GENI、欧洲的火 FIRE、日本的 JGNI 等<sup>[2-3]</sup>。

中国从“十五”高性能宽带信息网(3TNet)项目开始,通过“十五”、“十一五”的“863”重大项目,建立了下一代网络与业务国家试验床(SNG Testbed)。目前该试验床的主体由 3

部分组成。如图 1 所示。分别是柔性试验床、业务试验床和下一代广电网(NGN)试验床,同时还拥有联试联调环境、组织调度中心、网管中心和行业实训中心等功能单元。

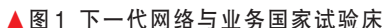
#### 1.1 柔性试验床

柔性试验床是基于可重构技术体系的“后 IP”网络<sup>[4]</sup>,是具有高柔性和开放式可重构网络体系结构的“后试验床”。该试验床为可重构路由交换设备开发提供开放的环境和测试平台,满足中国对下一代网络技术和设备的迫切需要。该试验床由部署在上海的 5 个核心节点构成,即宽带中心、上海交大(闵行校区)、漕河泾、技贸大厦、复旦大学节点,每个节点包含可重构路由器和光网络节点设备,各节点之间的光纤链路呈全网状拓扑。

#### 1.2 业务试验床

业务试验床主要面向宽带网络的新业务发展的需要,重点测试、试

基金项目:国家高技术研究发展(“863”)计划(2009AA01A333)



由于三网融合中下一代广电网采用3TNet技术作为技术支撑,为解决3TNet技术产业化过程中的应用技术创新和产业化推广,为各地广电开展NGB建设提供示范和技术支撑,在“十一五”期间部署了NGB试验床,结合下一代广电网的大规模建设,提供技术规范、标准、低成本接入设备等支持。

国家试验床作为一个多种网络技术融合试验的创新平台,具有高度的开放性和巨大的产业促进能力。试验床提供从联试联调、试验内场、外场、分片专一的试验区、到大规模试验示范网的基础环境,面向从开发、测试、技术可行性研究、商业模式验证到最终大规模应用的不同发展阶段需要,构建不同特性的子网来满足不同发展阶段的不同网络与节点设备试验、测试、考验的需要。试验床的作用就是一个新技术、新模式的加速器,并且已经在三网融合的各条

通过该试验,一方面验证了 IPTV

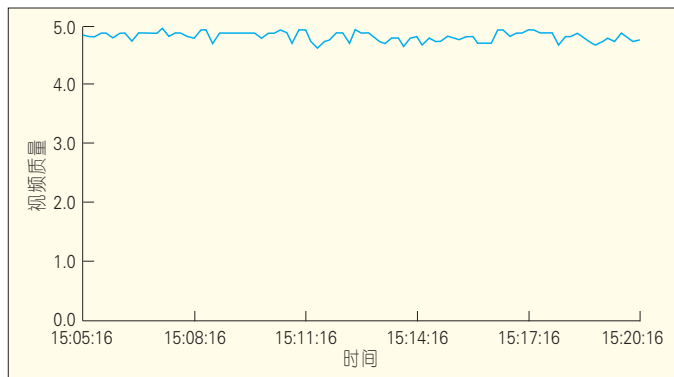


图2  
少量用户通过  
3TNet网络传播的  
视频流

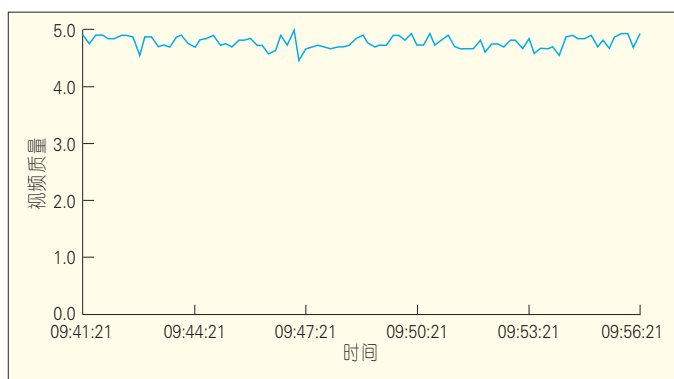


图3  
8 000 用户通过  
3TNet网络同时观看  
高清直播的视频流

的技术可行性,指明了电信IP网多业务承载的发展方向,另一方面催生了中国第一张IPTV运营牌照,使电视产业进入数字互动新时代。

#### (2)FTTH光接入示范

“十五”期间,基于国家试验床上海电信在浦东地区利用光纤到户接入技术建成了拥有1 500户用户的FTTH试验示范区,并开展了规模试验。该试验的成功为FTTH的技术方案、工程方案和应用方案进行了探索和示范,在三网融合过程中,上海电信基于3TNet FTTH试验示范区,启动了上海“城市光网”行动计划,其核心内容是在未来3年内通过建设IP化、扁平化、宽带化、融合化的宽带信息通信网络,加速推进宽带网络的覆盖和现有网络的升级改造,显著提高城市信息与通信基础设施水平,提高经济发展和信息化水平。

### 2.3 面向下一代广电网的规模试验和成果

“十五”期间,3TNet专项在太比

特的传输、交换、路由和网络架构等方面形成了重大技术创新,该成果作为整体解决方案在向行业进行产业化转化中,国家试验床起到了举足轻重的作用。主要体现在:

(1)解决3TNet创新技术在行业推广中的应用技术和工程问题,集中体现在宽带网络入户时采用光纤、以太网入户的扰民问题,并提出了采用电缆技术经同轴电缆入户实现家庭宽带接入的技术方案和工程方案。

(2)采用3TNet整体解决方案对嘉定有线实施整体双向化、IP化改造,从而证明该创新技术已达到可运营、可推广的水平。

(3)积极开展试验床新业务试验,推出“炫视通”解决方案和4E新业务示范,为广电三网融合中的战略新业务开展进行了业务模式、用户行为分析、技术平台等多方面的探索。

广电总局王太华局长到国家试验床调研参观,并于2008年底与科技部签署了《国家高性能宽带信息网暨中国下一代广播电视网自主创新合

作协议书》,确定了以3TNet自主创新的核心技术为支撑建设下一代广播电视网(NGN)的总体目标,并以此为依托开展三网融合。上海计划第一期完成覆盖50万户的网络建设。在第一期覆盖50万户的网络建设后,NGN将实现上海全市450万户范围的升级改造,并在今后10年内完成全国1.6亿有线电视用户进行NGN改造。

### 3 结束语

下一代网络与业务国家试验床已经成为中国宽带网络发展和三网融合的助推器,其开放性、产业整合和集成创新的能力已经得到了充分的体现,并将在今后的发展中进一步发扬光大。

### 4 参考文献

- [1] PETERSON L, ANDERSON T, BLUMENTHAL D, et al. GENI design principles [J]. Computer, 2006,39(9):102-105.
- [2] CHERRY S. A telecom diet rich in fiber [J]. IEEE Spectrum, 2009,46(7):56.
- [3] FELDMANN A. Internet clean-slate design: What and why? [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2007,37(3):59-64.
- [4] KOBAYASHI K, KATSUNO S, NAKAMURA K, et al. JGN IPv6 network [C]//Proceedings of the International Symposium on Applications and the Internet Workshops(SAINT'03), Jan 27-31, 2003, Orlando, FL, USA. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2003: 161-166.

收稿日期:2011-05-04

#### 作者简介



陆肖元,华中理工大学工学硕士毕业;国家宽带网络与应用工程技术研究中心副总工程师、总师办主任;长期从事数据通信和光通信领域的研究开发工作;已发表论文4篇,申请发明专利3项、实用新型专利11项,参加国际标准1项、国家标准2项的制订。



李毅,澳大利亚La Trobe大学工学博士毕业;国家宽带网络与应用工程技术研究中心主任、研究员,科技部“新一代高可信网络”重大项目专家总体组成员,上海未来宽带技术及应用工程研究中心董事长;已发表论文10篇,拥有发明专利5项。

# 面向三网融合的光传送网技术进展

## Development of Optical Transport Network Technology for Tri-Network Convergence

中图分类号: TN915; TN94; TP393.03 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0010-04

**摘要:** 文章认为三网融合的发展对网络架构的新需求主要体现在网络的扁平化和透明化,对网络容量的需求也有大幅度提高,同时需要传送网提供灵活的大容量调度能力;作为业务网络的基础承载网络,传输网络需要满足各种业务承载的传送带宽和长传输距离、安全性和灵活调度等要求;传送网的技术发展在光传送网(OTN)技术、分组传送网(PTN)技术和 100G 技术方面的发展为传输网的进一步发展和融合做好了技术储备。

**关键词:** 三网融合;传输;光传送网;分组传送网

**Abstract:** Converging networks raises the requirements for flattened architecture as well as increased transparency and capacity. Flexible high-capacity scheduling is also needed in the transport network. The transport network is the basic bearing network and should be safe, flexible, broadband, and capable of transmitting over long distances. The transport network in optical transport networks (OTNs), packet transport networks (PTNs), and in 100G technology is preparing the way for better convergence and the development of the transport network.

**Keywords:** tri-network convergence; transmission; optical transport network; packet transport network

张海懿/ZHANG Haiyi<sup>1</sup>金耀辉/JIN Yaohui<sup>2</sup>张杰/ZHANG Jie<sup>3</sup>

(1. 工业和信息化部电信研究院, 北京 100191;

2. 上海交通大学, 上海 200030;

3. 北京邮电大学, 北京 100876)

(1. China Academy of Telecommunication Research of MIIT, Beijing 100191, China;

2. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China;

3. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

三网融合是指电信网、广播电视网、互联网三网互相融合。三网融合是一种广义的、社会化的说法,在现阶段它并不意味着电信网、计算机网和有线电视网三大网络的物理合一,而主要是指高层业务应用的融合。其表现为技术上趋向一致,网络层上可以实现互联互通形成无缝覆盖,业务层上互相渗透和交叉,应用层上趋向使用统一的 IP 协议,在经营上互相竞争、互相合作,朝着向人类提供多样化、多媒体化、个性化服务的同一目标逐渐交汇在一起,行业管制和政策方面也逐渐趋向统一。三大网络通过技术改造,能够提

供包括语音、数据、图像等综合多媒体的通信业务。三网融合,在概念上从不同角度和层次上分析,可以涉及到技术融合、业务融合、行业融合、终端融合及网络融合。

从技术发展的角度来看,数字技术的迅速发展和全面采用,使电话、数据和图像信号都可以通过数字编码进行传输和交换;光通信技术的发展,为传送各种业务信息提供了必要的带宽和高质量传输,成为各类业务的理想传送平台,同时软件技术的发展使得三大网络及其终端都通过软件变更,最终支持各种用户所需的特性、功能和业务。

在现阶段,三网融合主要是指电信和广电运营商在业务上双向进入,双方在国家政策允许范围内,可以开

展形式多样的各种综合业务。对电信运营商而言,最主要的是可以为用户提供 IPTV 传输服务。三网融合对网络架构也有新的需求,主要体现在网络的扁平化和透明化,对网络容量的需求将大幅度增加,业务的双向进入。除了对业务网络提出新的需求以外,为了适应业务的变化,对作为基础承载网络的传送网也提出了更高要求。从光传送网的角度来看,三网融合的发展带来了带宽的压力,随着三网融合业务逐步放开和竞争的日益激烈,尤其是宽带多媒体业务的开展,将引发接入、城域到核心的网络流量激增,物理传送网络的“瓶颈”问题将日益显现,同时需要传送网提供的灵活的大容量调度能力<sup>[1-3]</sup>。本文将结合三网融合的传送需求和传送网技术的发展展开分析和讨论。

### 1 三网融合对于光网络提出的需求

三网融合的发展促进了宽带计划的发展,对传输带宽的需求将倍

基金项目: 国家重点基础研究发展(“973”)规划(2010CB328200、2010CB328201)

增。2011年年初,中国电信宣布启动“宽带中国,光网城市”工程。目标是中国电信宽带用户的接入带宽将在3~5年内跃升10倍以上,并将持续快速提升。南方城市将全面实现光纤化,核心城区全部实现光纤接入,最高接入带宽达到100 Mbit/s,城市家庭接入带宽普遍达到20 Mbit/s以上。在城市地区,中国电信2011年计划新增光纤入户(FTTH,接入带宽达到100 Mbit/s以上)3 000万个家庭,是“十一五”期间的3倍,累计覆盖4 000万家庭;南方城市(含县城)实现8 Mbit/s接入带宽全覆盖,20 Mbit/s覆盖率达到70%;东部发达城市和中西部省会城市20 Mbit/s覆盖率达到80%以上。2013年对南方城市(含县城)的所有家庭客户均可提供20 Mbit/s接入,光纤入户覆盖8 000万户。“十二五”末,南方城市地区实现家庭和政企用户光网全覆盖,光纤入户超过1亿户,世界领先。而中国联通也在规划中提到,在未来的两三年中,类似于北京等核心城市的宽带升级确定将达到20 Mbit/s,而在三到五年,这一目标将达到100 Mbit/s。

三网融合各种业务对带宽的典型需求如表1所示。两大运营商对于宽带计划方面的发展在目标上看似聚焦在了接入网,但是要为用户提供满意的服务,势必需要城域网和骨干网提供足够大的带宽以便支撑各类业务和应用。

目前,用户使用的典型业务包括高速上网+1路标清+语音+少量其他业务,需要的用户接入带宽一般为512 kbit/s~4 Mbit/s;而在2~3年内,业务可能发展到高速上网+2路高清+可视电话+其他业务,对接入带宽的需求达到8~20 Mbit/s;而从长期来看,如果用户使用高速上网+2路高清+可视电话+家庭监控+丰富的其他业务,接入带宽需求将达到50~100 Mbit/s。同时,对传输网络也提出了高速、大容量、长距离传送和宽带多媒体等大颗粒度业务的承载

▼表1 各种业务对带宽的需求

业务	单路业务带宽需求		数量	单项业务的带宽需求	
	上行	下行		上行	下行
高速上网	100 kbit/s ~ 5 Mbit/s	2 ~ 10 Mbit/s	1	100 kbit/s ~ 5 Mbit/s	2 ~ 10 Mbit/s
标清电视	100 kbit/s	2 ~ 3 Mbit/s	1 ~ 3	100 ~ 300 kbit/s	2 ~ 9 Mbit/s
高清电视	100 kbit/s	8 ~ 10 Mbit/s	1 ~ 2	100 ~ 200 kbit/s	8 ~ 20 Mbit/s
语音	100 kbit/s	100 kbit/s	1	100 kbit/s	100 kbit/s
可视电话	500 kbit/s	500 kbit/s	1	500 kbit/s	500 kbit/s
家庭监控	500 kbit/s	500 kbit/s	1~2	500 kbit/s ~ 1 Mbit/s	500 kbit/s ~ 1 Mbit/s
其他(如教育、游戏、购物等)	100 kbit/s ~ 1 Mbit/s	100 kbit/s ~ 8 Mbit/s	1 ~ 3	100 kbit/s ~ 3 Mbit/s	100 kbit/s ~ 24 Mbit/s

需求。在Web浏览时代,下载网页后,用户需要几分钟才能浏览完,相对来说实时性不强,带宽收敛比高;而在视频时代,用户观看视频的速度与下载速度相当,因此业务的实时性要求高,带宽难以收敛,对传输网络的性能和带宽都提出了更高的要求。

## 2 三网融合背景下载送网面临的挑战

作为业务网络的基础承载网络,传输网络需要满足各种业务承载的传送带宽和长距离传输、安全性和灵活调度的要求。在三网融合阶段,随着网络规模不断扩大,视频等宽带多媒体业务的发展,业务规模的迅速扩张,现有的传送网在传送带宽、交换容量、动态调度和多业务统一承载等方面将面临诸多挑战,在运行维护等方面也提出了简化和智能化方面的需求,有待传送网技术的发展和网络演进进一步解决。

在三网融合环境下,传送网面临的主要挑战包括:

(1)三网融合环境下,网络IP化的进程逐步加快,对传输网提出了大管道、高效、安全传送需求的同时也提出了分组粒度的传送和处理能力需求。三网融合中的核心业务是视频等宽带多媒体业务,大量的IP类业务在网络中的出现更加凸显了网络IP化的需求。这种IP化的发展不仅是接口的IP化,而且还包括内核的分组化,这就对传输网提出了多业务统一承载需求,不仅是对大管道的IP类业

务的高效、安全传送需求,同时包括小颗粒的分组交换和处理能力。传输技术发展到现在,光传送网(OTN)技术可为大颗粒业务的传送提供高效安全的传送,除了具备较完备的运行、管理和维护(OAM)能力之外,还有较为完备的保护机制,能够保证业务50 ms的倒换时间。分组传送网(PTN)技术可为分组业务提供高效的传送,既具有分组的处理能力,同时兼顾了传送网的保护和OAM能力。

(2)随着电信业务的逐步放开和竞争的日益激烈,传输容量不足与业务带宽需求快速增长之间的矛盾日趋明显,特别是网络中存在的传输“瓶颈”将大大限制业务的发展。随着三网融合的推进,传输“瓶颈”问题也会更为突出。目前基于40 Gbit/s的波分复用(WDM)系统已经在电信网中规模商用,100 Gbit/s WDM系统的研发和标准也已具备初步的成果,为后续解决宽带传输和带宽“瓶颈”提供较为有效的解决方案。

(3)传输网络也面临进一步增强智能的需求。目前传输网络主要以静态配置和调度为主,难以满足今后端到端业务动态灵活调度的需求。传输网的控制技术将由目前的单层单域逐渐转向基于多层多域的智能控制技术;从目前基于SDH的VC颗粒控制平面技术发展到现在基于WDM的波长、基于PTN分组包的控制平面技术。从波长静态配置到智能动态调度,实现波长交换光网络(WSON)技术的同时,基于PTN引入控制平面技

术,实现智能PTN。

### 3 传送网技术的最新进展

近年来,传送网技术在OTN、PTN和高速传输方面取得了较大进展,可以从某种程度上解决大容量传输、灵活高效组网、大颗粒和分组处理能力兼顾等方面的需求。下面介绍传送网方面技术的优势和进展情况。

#### 3.1 光传送网

光传送网(OTN)技术是电网络与全光网折衷的产物,将SDH强大完善的OAM&P理念和功能移植到了WDM光网络中,有效地弥补了现有WDM系统在性能监控和维护管理方面的不足。OTN技术可以支持客户信号的透明传送、高带宽的复用交换和配置(最小交叉颗粒为ODU1,约为2.5 Gbit/s),具有强大的开销支持能力,提供强大的OAM功能,支持多层嵌套的串联连接监视(TCM)功能、具有前向纠错(FEC)支持能力。

OTN的概念在10年前已经提出,它分为电层OTN网络和光层OTN网络。电层的典型设备是基于ODUk交叉的OTN电交叉设备,光层的典型设备是波长灵活配置的可重构光分插复用设备(ROADM)。

OTN电交叉设备的特点是支持比SDH更加强大的维护管理能力;支持大颗粒业务的交叉和传送(ODU0~ODU4);组网不受传送距离限制,支持灵活组网、调度和保护恢复能力;综合了SDH和WDM的优势。关键不足在于交叉颗粒较大,不适合小颗粒容量业务调度,目前调度业务量不能过大,部分技术需要进一步完善,如环网保护技术、恢复技术等。

ROADM设备的主要优势在于可以实现纯光域组网,业务透明性更好;无光电光(OEO)变换,可降低网络成本;适合大颗粒业务,如10 Gbit/s、40 Gbit/s的传送;支持灵活组网、业务调度和保护能力。主要不足在于受传输距离和一些物理条件的限制,目

前无法组建大型端到端纯光网络,同时初期投资较高。

目前OTN技术已经商用化,主要传送设备厂商都支持电层或者光层的OTN设备类型,有的采取两种设备一体化的设备结构。全球设备厂商均支持光层的ROADM设备,维度可达到16;中国中兴通讯、华为和烽火等可提供OTN电交叉设备,基于ODUk交叉容量可达到太比特每秒级别。OTN主要标准目前已趋于成熟,后续的主要工作将集中于已有标准的完善和修订,同时基于更高速率的OTU5及其相关映射复用结构的规范、基于光层损伤感知的智能控制等将也是后续标准发展的方向。

#### 3.2 分组传送网

PTN技术是以分组交换为核心,面向分组数据业务的新一代传送网技术,主要包括T-MPLS/MPLS-TP和PBB-TE+PBB两类技术,随着近两年的发展,技术的选择已经日趋明朗化,基于MPLS-TP的PTN设备已经在网络中规模商用。

作为PTN主流的技术的基于传送的多协议标记交换(MPLS-TP)技术抛弃了基于IP地址的逐跳转发机制,并且不依赖于控制平面来建立传送路径,保留了多协议标记交换(MPLS)面向连接的端到端标签转发能力,去掉了其无连接和非端到端的特性(不采用倒数第二跳标签弹出PHP、LSP合并(LSP Merge)、等价多路径(ECMP)等),从而具有确定的端到端传送路径,并增强了满足传送网需求、并具有传送网风格的网络保护机制和OAM能力。在中国运营商的城域网中,PTN技术主要定位于城域的汇聚接入层,解决以下需求:

(1)多业务承载:无线基站回传的TDM/ATM以及今后的以太网业务、企业网和家庭用户的以太网业务。

(2)业务模型:城域的业务流向大多是从业务接入节点到核心/汇聚层的业务控制和交换节点,为点到点

(P2P)和点到多点(P2MP)汇聚模型,业务路由相对确定,因此中间节点不需要路由功能。

(3)严格的QoS:TDM/ATM和高等级数据业务需要低时延、低抖动和带宽保证,而宽带数据业务峰值流量大且突发性强,要求具有流分类、带宽管理、优先级调度和拥塞控制等QoS能力。

(4)电信级可靠性:需要可靠的、面向连接的电信级承载,提供端到端的OAM能力和网络快速保护能力。

(5)网络成本(TCO)控制和扩展性:中国许多大中型城市都有几千个业务接入点和上百个业务汇聚节点,因此要求网络具有低成本、统一管理和可维护性,同时在城域范围内业务分布密集且广泛,要求具有较强的网络扩展性。

T-MPLS技术标准最初由ITU-T于2005年5月开始开发,到2007年底已发布和制订了T-MPLS框架G.8110.1、T-MPLS网络接口G.8112、T-MPLS设备功能G.8121、T-MPLS线性保护G.8131和环网保护G.8132、T-MPLS OAM G.8114等系列标准。2007年,IETF出于MPLS利益之争以及兼容性问题,提出由它主导相关标准化工作。2008年2月,ITU-T同意和IETF成立联合工作组(JWT)来共同讨论T-MPLS和MPLS标准的融合问题。之后经过组织形式的调整 and 不同利益集团的博弈,目前的IETF MPLS-TP标准是传送和数据领域利益竞争和平衡协调的产物,特别是在OAM和保护机制的标准化上尤为突出,导致最早到2011年12月才有望完成,标准化进程相对于最初的时间表已经大大延误。

中国随着3G牌照在的发放,在大量3G回传业务和网络IP化需求的推动下,各大运营商对于PTN技术和应用的需求日益明显。为了满足网络需求和应用的发展,中国加快了PTN标准的进程,目前《分组传送网(PTN)总体技术要求》已经报批,该标

准将针对中国应用需求,对于PTN技术要求给出明确的选项,相信对于PTN的产业发展也会有较大的促进作用。PTN技术标准和产品都在不断发展过程中,各主流设备厂商也相继推出了PTN产品,在中国移动的网络中已经应用了20余万端设备,中国电信和中国联通也相继开展了现网的试验和应用。

### 3.3 高速传输技术

伴随着路由器40 Gbit/s POS接口的推出和传送网络带宽的持续增长,40 Gbit/s技术已经逐步成熟并走向规模商用,前两年中国运营商在传送网上开展了不同规模的试验和小规模商用。从2010年开始,中国电信和中国联通等运营商相继在干线网络上大规模引入40 Gbit/s WDM系统,标志着基于40 Gbit/s的WDM系统已经逐步进入规模商用阶段。随着100GE标准的确立,100 Gbit/s的高速传输技术成为业界关注的下一个高速平台。

100G技术的相关标准IEEE、ITU-T和光互联论坛(OIF)等均进行开发。IEEE主要定义高速以太网的相关规范,也就是100G的客户信号的相关要求。100GE的标准已经于2010年6月17日正式通过,100GE的信号速率为103.125 Gbit/s,需要满足 $10 \times 10$  Gbit/s信号在屏蔽铜缆上至少传输7 m,在多模光纤上至少传输100 m; $4 \times 25$  Gbit/s信号在单模光纤上至少传输10 km和至少传输40 km这两种传输距离的需求。国际电信联盟作为传送领域一直以来较为强势的标准组织,定义了OTU4的速率为111 809 973.568 kbit/s,ODU4的速率为104 794 445.815 kbit/s,保证了未来100GE作为客户信号映射进OTN的兼容性,同时开展了相关光波分传输接口和前向纠错码(FEC)等方面的研究工作;OIF规范相关的电接口,对于IEEE采用何种电接口的方式进行内部传送有较大影响,同时它也开展了针对DP-QPSK码型的100 Gbit/s长

距传输研究;从某种角度来说,它对ITU-T开展的相关长距传输标准研究造成了一定的挑战。

从调制格式和复用方式来看,100 Gbit/s除了基于偏振复用结合多相位调制的调制方式,如偏振复用-(差分)四相相移键控(PDM-(D)QPSK)之外,还包括多级相位和幅度调制的调制码型以及基于低速子波复用的正交频分复用(OFDM)等。从调制编解码调来看,目前主要可采用直接解调和相干解调两种方式,其中相干解调主要采用数字信号处理(DSP)技术来实现,显著降低了相干通信中对于激光器特性的要求。综合考虑系统性能要求、实现复杂性和性价比等多种因素,对于100 Gbit/s传输商用设备,业界一般看好的长距传输码型为采用相干接收的PDM-QPSK。另外,由于目前模数转换器(ADC)和DSP芯片等处理技术水平的限制,几乎所有高速电信号处理芯片都没有商用解决方案,目前基于100 Gbit/s信号的实时相干接收处理等尚待技术突破,这是100 Gbit/s WDM系统走向商用的最大技术“瓶颈”。从光信噪比(OSNR)容限来看,对于相同的调制格式,100 Gbit/s相对于40 Gbit/s的OSNR容限要求要提升4 dB左右,这对于系统研发挑战性很大,目前采用不同调制格式的OSNR容限差异较大,但相同的调制格式采用相干接收后可显著提升OSNR容限1~2 dB以上,但是在OSNR上要实现100 Gbit/s WDM系统1 000 km以上的传输,还需要在FEC方案、相干接收、软判决等方面有更多的增益,才能满足OSNR的要求。

### 4 结束语

三网融合是一个大的系统工程,它在政策、监管等方面都面临着巨大的挑战和考验。以上从技术层面分析了三网融合环境下对于传送网的需求和挑战,并在分析的基础上阐述了光传送网技术近年来的最新进

展。总体来说,传送网是底层承载网络,在解决传输管道需求的基础上,近年来也不断增强了大颗粒和光层组网能力,在超高速传输方面也有了较大进展。这从某种程度上为三网融合的后续发展提供了大容量的承载通道。随着三网融合进程的进一步深入,各类需求也将不断凸显,相信传送网技术的不断发展也能够为三网融合的技术进程添砖加瓦。

### 5 参考文献

- [1] 陆洋, 胡昌军. “三网融合”驱动接入和传输技术发展[J]. 网络电信, 2011, 13(1): 15-18.
- [2] 张海懿. 100G传输技术新进展[N]. 人民邮电报, 2010, 10.
- [3] 张海懿, 李芳. 对中国PTN技术要求及其关键问题的思考[J]. 中兴通讯技术, 2010, 16(3): 1-4.

收稿日期: 2011-05-25

### 作者简介



**张海懿**, 工业和信息化部电信研究院通信标准研究所传送与接入研究部主任; 长期从事光传输系统、OTN、PTN、WDM系统、SDH系统、MSTP、自动交换光网络以及电信传送网络体制标准、运营商的技术咨询等方面的研究工作; 已发表论文30篇, 获国家科技进步二等奖1次、中国通信标准化协会科学技术一等奖和二等奖各1次。



**金耀辉**, 上海交通大学光纤通信国家重点实验室教授, 网络信息中心副主任; 研究兴趣包括三网融合、未来Internet演进、数据中心网络、网络流量分析与挖掘等; 先后作为负责和主研人员承担基金项目10项; 已发表论文100篇, 在国际会议上做邀请报告10次, 获上海市科技进步一等奖1次。



**张杰**, 北京邮电大学信息光子学与光通信研究院副院长、教授、博导, APOC2007、PS2009、ACP2009/2010/2011、OECC2009、ONDM2010等国际会议TPC委员; 主要研究方向为自动交换光网络、光传送网和全光网; 先后主持基金项目10项, 已发表论文100篇, 出版专著6部, 获国家技术发明二等奖1次, 省部级科技奖励一等奖2次、三等奖1次。

# 下一代广播电视网无线系统

## Next-Generation Broadcast Network Wireless Systems

中图分类号: TN915; TN94; TP393.03 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0014-05

**摘要:** 基于下一代广播电视无线网(NGB-W)技术需求分析,文章给出了两种广播与双向通信融合的网络架构,讨论了下行广播传输、广播与通信融合数据推送、双向无线接入、频谱感知等方面涉及的关键技术,并探讨了NGB-W的应用前景。文章认为采用广播与双向通信融合网络,NGB-W系统可以充分利用超高频(UHF)频谱资源,根据各种信息业务的不同特点,有针对性地分配网络资源和频谱资源,选择最优传输方式,从而提高系统整体无线频谱利用率。

**关键词:** 下一代广播电视网;下一代广播电视网无线系统;广播与通信融合;网络架构;推送

**Abstract:** This paper proposes two network architectures in which broadcast and bidirectional communications are converged. These architectures are based on the next-generation broadcast wireless network (NGB-W). This paper discusses the application prospects of NGB-W and key technologies such as downlink broadcast transmission, data push of converged broadcast and communications, bidirectional wireless access, and spectrum sensing. It suggests that by using a converged broadcast and bidirectional communication network, the NGB-W system can make better use of ultrahigh frequency (UHF) spectrum resources, distribute network and spectrum resources more efficiently, choose suitable transmission schemes for various services, and improve efficiency in wireless spectrum use.

**Key words:** next-generation broadcast (NGB) network; NGB-wireless (NGB-W); broadcast and communication convergence; network architecture; push service

封松林/FENG Songlin  
解伟/XIE Wei

1. 中国科学院上海高等研究院,  
上海 201203;
2. 国家广播电影电视总局广播科学研究院,  
北京 100045)
- (1. Shanghai Advanced Research Institute,  
Chinese Academy of Science, Shanghai  
201203, China;
2. Television Technology Research Institute,  
Academy of Broadcasting Science, Beijing  
100045, China)

于公共业务内容的广播和推送。实现广播网和双向通信网的融合,是解决移动信息业务数据量快速增长和无线网络传输容量受限之间的矛盾的有效途径。

通过建立网络资源和频谱资源的统一调度机制,根据各种移动信息业务的不同特点,有针对性地分配网络资源和频谱资源,选择最优传输方式,可以显著提高系统整体无线频谱利用率。

广播和双向通信业务融合,因其技术合理性和广阔市场前景,在世界范围内,受到了学术界和工业界的广泛关注<sup>[6-8]</sup>。

中国对广播和双向通信的业务融合非常重视。国家“十一五”规划明确提出:“加强宽带通信网、数字电视网和下一代互联网等信息基础设施建设,推进三网融合”。2008年12月,国家广电总局与科技部签署了《国家高性能宽带信息网暨中国下一代广播电视网自主创新合作协议》,确定了以自主创新的“高性能宽带信息网”核心技术为支撑,以有线电视网数字化整体转换和移动多

随着世界经济文化的快速发展,移动用户对信息业务的需求量快速增长。据初步估计,在2011年至2015年期间,世界范围内移动用户对信息业务的需求量将以92%的复合年均增长率增长,到2015年将累计增长超过26倍<sup>[1]</sup>。为了应对信息业务需求量的快速增长,广播和通信业界都在积极研发传输速率和频谱利用率更高的新一代广播和通信标准<sup>[2-5]</sup>。尽管如此,无线网络传输容

量的提升速度还是远远落后于信息业务数据量的增长速度。

在未来无线移动网络中,单独依靠传统广播网或传统双向通信网,都无法实现移动信息业务的最优化传输。传统广播网采用大区制组网方式,覆盖范围大,单向广播效率高,有利于公共业务内容的广播和推送,但是其不具备上行回传信道,无法实现点播或宽带接入,不利于个性化内容的传输。现有移动通信网采用小区制蜂窝组网方式,双向通信效率高,有利于个性化内容的传输,但是其覆盖范围小,广播和推送效率低,不利

基金项目:“十一五”国家科技重大专项  
(2009ZX03005-004)

媒体广播电视(CMMB)<sup>[9]</sup>的成果为基础,实现建设可同时传输数字和模拟信号的、具备双向交互、组播、推送播存和广播4种工作模式的、可管可控可信的、全程全网的宽带交互式下一代广播电视网(NGB)的目标。

按照国家规划,2015年中国将完成广播电视模拟数字转换。这将释放出大量超高频(UHF)频段资源,而下一代广播电视网无线系统(NGB-W)的核心任务就是有效利用这一重要频谱资源,实现无线广播和双向通信的融合共存,促进广电向无线全业务服务方向发展。

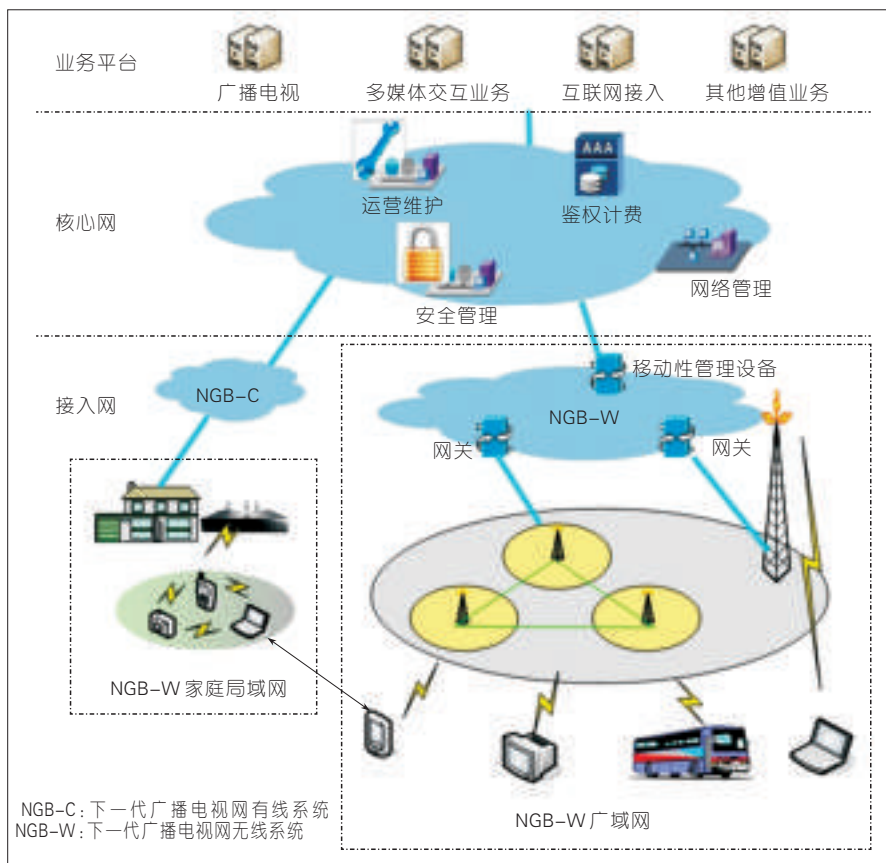
## 1 NGB-W 技术需求分析

为了满足用户的综合业务需求,NGB-W 应与中国移动数字多媒体广播(CMMB)等数字化无线广播网络有机融合,提供单向广播、数据推送、双向互动、和宽带双向接入等服务。NGB-W 应充分利用 UHF 频段空闲频谱资源,实现与 B3G/4G 系统相当的频谱效率与传输速率。NGB-W 应支持多种组网模式,实现全国区域的基本覆盖和局部区域的增强覆盖,降低网络部署成本,并支持全网漫游。NGB-W 必须实现全程全网可管、可控、可信,支持对网络传输、用户接入、网络内容的安全保证。现有数字广播网技术(如 CMMB 标准、DVB 标准)或移动通信网(如 LTE eMBMS 标准)技术,都无法完全满足上述 NGB-W 技术要求。因此,只有遵循无线广播和双向通信相互融合的技术路线,才能够达到 NGB-W 特有技术要求。

以此为出发点,本文探讨了适合无线广播和双向通信融合共存的 NGB-W 网络架构,并进一步明确了需要实现的 NGB-W 关键技术。

## 2 NGB-W 网络架构

根据 NGB 总体规划,NGB 网络由核心网和接入网构成。其中,NGB 核心网承载 NGB 的业务平台、运营维



▲图1 广播网和双向通信网双层重叠式的NGB-W广域网网络架构

护、网络管理、计费鉴权和安全管理等网络支撑平台,为用户提供全面的三网融合服务;NGB接入网由NGB有线系统(NGB-C)和NGB无线系统构成,NGB-C为用户提供宽带入户服务,NGB-W为用户提供无线广播和双向通信服务,而两者能够在网络层实现无缝切换和漫游,最终实现NGB全程全网覆盖。

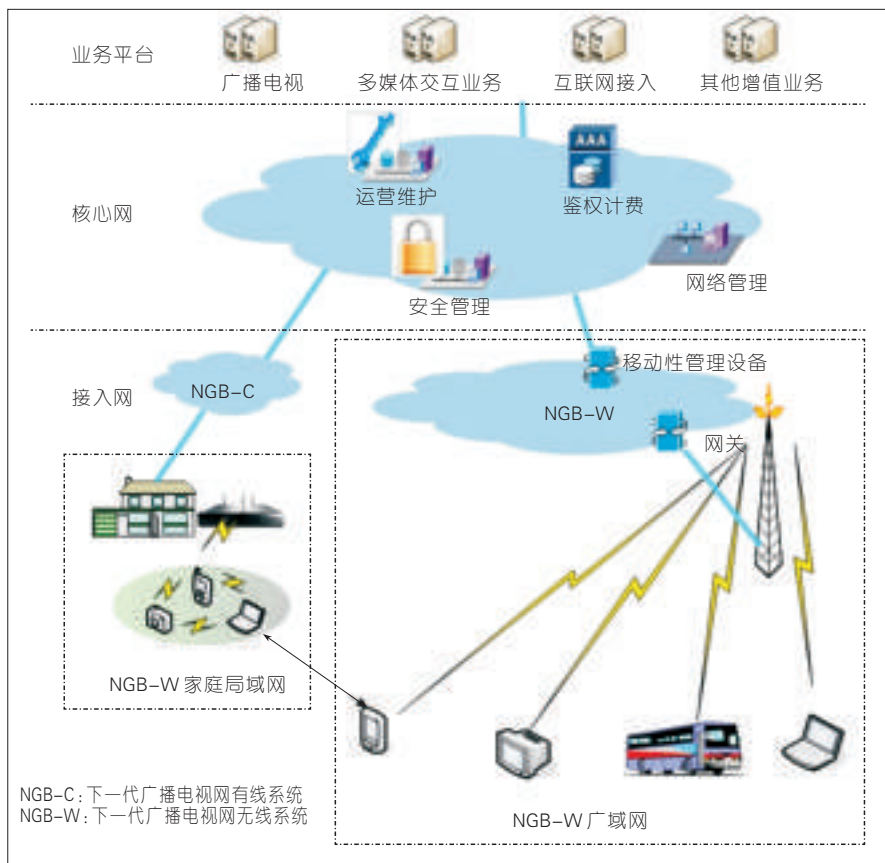
NGB-W 由 NGB-W 广域网和 NGB-W 家庭局域网共同构成。移动用户可以根据其所处通信环境,选择适当的接入网络。当移动用户处于 NGB-W 家庭局域网覆盖范围内时,可以通过 NGB-W 家庭局域网与无线家庭网关连通,进而通过 NGB-C 接入核心网;当移动用户处于 NGB-W 广域网覆盖范围内时,则可以直接通过 NGB-W 广域网接入核心网。基于 NGB 总体架构,在综合考虑 NGB-W 技术需求和建设成本的基础上,

NGB-W 广域网网络架构可采用两种方案:广播网与双向通信网双层重叠式组网方案,以及广播网和窄带回传链路相结合的组网方案。

### 2.1 广播网和双向通信网双层重叠式的NGB-W广域网网络架构

大区制广播网和小区制双向通信网双层重叠式的 NGB-W 广域网网络架构方案以及 NGB-W 在 NGB 总体架构中的位置如图1所示。在这种 NGB-W 网络架构中,广播大塔和双向通信基站协同覆盖,广播推送和双向传输相互融合;其中,广播大塔以传统广播网络为基础,主要实现单向广播和数据推送的大区域覆盖;双向通信基站以传统蜂窝网络为基础,主要实现广播补点覆盖、数据推送补充传输、小区组播,以及点播和双向通信等业务。

与传统广播网大区制网络架构



▲图2 广播网和窄带回传链路相结合的 NGB-W 广域网网络架构

和传统双向通信网小区制网络架构相比,这种双层重叠式的网络架构充分体现了无线广播和双向通信相互融合的技术特点。其优点是网络容量大、传输效率高,可以满足复杂业务需求;其缺点是所需建设经费较多。因此,比较适合应用于移动用户分布密集、信息业务需求量大的城市地区。

## 2.2 广播网和窄带回传链路相结合的 NGB-W 广域网网络架构

大区制广播网和窄带回传链路相结合的 NGB-W 广域网网络架构如图2所示。该架构基本沿用传统大区制广播网的网络架构,只增加了由用户终端至广播大塔的窄带直连回传链路。广播大塔不仅需要承担单向广播和数据推送的任务,而且还需要与窄带回传链路相互配合,承担点播和双向通信的任务。

这种网络架构的优点是网络结构简单、部署速度快、成本低;缺点是回传链路容量小,难以支持上行速率要求较高的业务。因此,比较适合应用于 NGB-W 初期建设阶段,或应用于移动用户分布较为稀疏、信息需求量较小的农村和边远地区。

## 3 NGB-W 关键技术

为了达到 NGB-W 的技术要求,在设定网络架构前提下,还需要细致研究相关关键技术,主要包括: NGB-W 下行广播传输技术、双层重叠式广播/双向网络中的数据推送技术、双向无线接入技术、感知无线电和频谱共享技术等。

### 3.1 NGB-W 下行广播传输技术

NGB-W 下行广播传输技术将在 CMMB 的基础上,兼顾移动接收和固定接收的要求,借鉴国际上 DVB-T2

和 DVB-NGH 的技术发展趋势,进一步提高空口的传输效率。

#### (1)信道编码调制技术

数字电视广播信道是一个信道时延扩展长、频率选择性强的多径衰落信道。NGB-W 需要进一步考虑广播大塔/双向通信小塔协同同频广播的应用场景,因而其可能面临更为严重的多径干扰问题。

为了提高 NGB-W 广播信号的传输可靠性,NGB-W 需要研究编码效率和纠错能力更强的低密度稀疏检验矩阵码(LDPC)和 Turbo 码、信号空间分集增益更高的比特编码调制技术以及低复杂度的迭代解调译码技术<sup>[10]</sup>。

#### (2)多天线技术

为了提高 NGB-W 下行广播传输的速率和可靠性,达到 NGB-W 下行广播技术需求,必须考虑设计并应用适当的多输入多输出(MIMO)技术。从发射天线配置角度观察,MIMO 技术可以分为共置式 MIMO 技术(广播大塔单独传输)和分布式 MIMO 技术(广播大塔和双向通信小塔协同传输);从 MIMO 编码方式角度观察,MIMO 技术包括 MIMO 开环空分复用技术和 MIMO 开环发射分集技术(如 STBC 码或单频网)。

不同 MIMO 技术,具有不同的技术特点和实现复杂度,NGB-W 应根据具体应用场景和技术要求,选用不同的 MIMO 技术。

#### (3)载波聚合技术

NGB-W 还可以利用载波聚合技术<sup>[11]</sup>,将数据分配到多个空闲广播电视频道上进行同步传输,以此提高其传输带宽和传输速率。由于 NGB-W 工作频带由多个连续或不连续的空闲广播电视频道构成,因而必须考虑连续载波聚合和不连续载波聚合两种技术选项。由于各个广播电视频道上的信道衰落特性有所不同,需要研究 NGB-W 可用频段内的信道特性,并设计一个支持载波聚合的无线资源调度算法,以提高 NGB-W 传输

频谱利用率。

### 3.2 双层重叠式广播/双向网络中的数据推送技术

传统广播网进行数据推送时,由于必须考虑广播大区内最恶劣的用户接收环境,广播大塔只能采用相对保守的编码调制方式进行数据推送,在这种情况下,频谱利用率较低;传统双向通信网进行数据推送时,由于小区覆盖范围较小,需要部署数量较多的双向通信小塔,才能保证数据推送的覆盖效果,在这种情况下,即使采用同频网传输模式,功率利用率也较低。而在采用双层重叠式网络架构的 NGB-W 中,数据推送由广播大塔(点对多点)初始传输、用户反馈、双向通信小塔(点对点或点对多点)补充传输这 3 个阶段共同完成。由于存在基于用户反馈的补充传输机制,广播大塔能够以较高速率进行初始传输,实现广播大区的基本覆盖。未能成功接收初始传输的用户,可以要求所属双向通信小塔进行补充传输,以便再次接收。采用该传输模式,可以充分利用大区制广播网和小区制双向通信网各自的优势,实现较高的广播传输效率。为了提升 NGB-W 数据推送的传输效率,需要设计效率更高、纠错能力更强的编码方案(如数字喷泉码等<sup>[12]</sup>),需要设计基于 NGB-W 双层重叠式网络架构的、以优化 NGB-W 数据推送的整体传输效率为目标的、能够根据 NGB-W 网络状态(包含广播网络状态和双向通信网络状态)调整广播大塔初始传输和双向通信小塔补充传输的传输模式的自适应模式切换技术。

### 3.3 双向无线接入技术

为满足 NGB-W 系统对高带宽的双向交互需求,NGB-W 将借鉴宽带无线通信领域的最新技术发展趋势,结合 NGB-W 工作频段特点以及 NGB-W 系统的网络架构和业务需求,研究适合 NGB-W 的双向无线接

入技术。

#### (1)先进的多址接入技术

多址接入技术是 NGB-W 双向接入网络物理层的核心。针对广播和双向通信等多种业务的特点,NGB-W 系统采用目前最先进的正交频分多址/单载波-频分多址(OFDMA/SC-FDMA)技术作为多址接入的主体框架,并针对 NGB-W 系统的网络架构和业务特点进行改进型研究,以研究出支持高移动性、高传输速率、高功率效率和频谱效率的接入技术。值得注意的是,NGB-W 需要支持载波聚合技术以实现宽带双向接入。

#### (2)广播大区窄带回传技术

在 NGB-W 网络建设初期,可能存在广播大塔单独覆盖的状况,为了配合广播大塔实现投票、拉数据、电子邮件和电子购物等窄带宽双向交互业务,可以建立从用户终端至广播大塔的直连回传链路。由于广播大塔和用户终端的发射功率差别较大,造成上下行链路预算差别较大,需要研究编码增益更大的信道编码(如 LDPC 码或先进级联码)来提高回传链路的传输可靠性。

#### (3)邻区干扰管理技术

NGB-W 工作在 UHF 频段,无线信号的信号强度随传播距离增大而衰减的速率较低,因此 NGB-W 中的邻区干扰将比工作在 2 GHz 频段的蜂窝移动通信系统中的邻区干扰有显著增加,双向通信小区的边缘用户的接收性能受到很大影响。为了提高系统容量和提高小区边缘用户的接收性能,可以考虑使用频率复用、小区间干扰协调、负载均衡等动态、静态、半静态邻区干扰管理技术,降低邻区干扰对系统容量和用户接收性能的影响。

#### (4)负荷分流技术

NGB-W 工作在 UHF 频段,无线信号的信号强度随传播距离增大而衰减的速率较低,因此 NGB-W 小区半径较大,覆盖的用户数量可能较多。如果同时请求数据通信的用户

数量较大,总带宽需求量超出小区容量,则用户成功接入概率降低,用户体验也会下降。在这种情况下,需要研究利用负荷分流技术,将一定比例的数据通信负荷,通过 NGB-W 局域网和 NGB 有线网,转移至其他接入网络,减小双向通信小区内的数据通信负荷,改善用户体验。

### 3.4 认知无线电技术

为了提高 NGB-W 频谱利用率,需要建立统一静态频谱规划信息和动态频谱感知信息的无线资源管理机制。第一,掌握全国各地的完整的静态频谱规划信息,建立静态频谱规划地理信息数据库;第二,通过认知无线电频谱感知技术<sup>[13]</sup>,建立 NGB-W 动态空闲频谱发现和报告机制;第三,利用认知无线电频谱共享技术,建立动态空闲频谱管理机制。其中,NGB-W 频谱感知是指利用频谱感知技术来获取 NGB-W 频谱使用特征、发现动态空闲广播电视频道的机制;NGB-W 频谱共享是指利用频谱共享技术,协调和管理 NGB-W 中动态空闲广播电视频道的机制。为了提高 NGB-W 整体频谱利用率,需要研究更先进的频谱共享技术和频谱共享技术。

## 4 NGB-W 应用前景

NGB-W 是广电行业无线三网融合的解决方案,服务于广电打造无线新媒体的总体目标,可以提供应急信息多平台广播、音视频指挥、视频云服务、内容推送、现场新闻采编与播报、移动电视、互动电视、VoIP、在线游戏、家庭宽带互联、多屏互动、虚拟社区服务、高级驾乘助理等业务应用,覆盖城市管理、行业应用、企业服务、家庭全媒体等经济社会生活的方方面面,具有广阔的应用前景。

## 5 结束语

为最大限度地缓解无线带宽日益增长的需求和有限的能力提升之

间的矛盾, NGB-W 系统提出了大塔广播与小塔通信相结合的技术路线, 所纳入的关键技术基于对不同场景下实际业务需求和应用定位的综合考虑。

NGB-W 能够适应社会发展水平的不平衡性: 在城镇信息化基础较好地区, 可以进一步提升城镇的无线基础设施, 服务于城市管理等专网应用, 并且可以实现 NGB 有线业务向无线领域的延伸, 服务于社区、企业、家庭和个人; 在城市远郊、农村等信息化基础薄弱地区, NGB-W 可以重点服务于实现无线三网融合的普遍服务, 用以消弭数字鸿沟。

## 6 参考文献

- [1] Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2010–2015 [R]. Cisco Systemc Inc, 2011.
- [2] ETSI EN 302 755 V1.1.1. Digital video broadcasting (DVB): Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) [S]. 2009.

- [3] ETSI EN 300 744 V1.6.1. Digital video broadcasting (DVB): Frame structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television [S]. 2009.
- [4] 3GPP LTE Release 10 and beyond [R]. to be released.
- [5] IEEE P802.16m/D8. IEEE draft amendment standard for local and metropolitan area networks – Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems – advanced air interface [S]. 2010.
- [6] ROADIBROM (roadmapping digital broadcasting / mobile convergence RTD 2015) [R/OL]. [2009–11–23]. [http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=PROJ\\_ICT&ACTION=D&CAT=PROJ&RCN=80515](http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=PROJ_ICT&ACTION=D&CAT=PROJ&RCN=80515).
- [7] ETSI TS 102 468 V1.1.1. Digital video broadcasting (DVB): IP datacast over DVB-H: Set of specifications for phase 1 [S]. 2007.
- [8] 3GPP TS 26.346 V10.0.0. Multimedia broadcast/multicast service(MBMS): protocols and codecs:(Release 10) [S]. 2011.
- [9] GY/T 220. 移动多媒体广播 [S]. 2006.
- [10] NOUR C A, DOUILLARD C. Improving BICM performance of QAM constellations for broadcasting applications [C]//Proceedings of the 5th International Symposium on Turbo Codes and Related Topics, Sep 1–5, 2008, Lausanne, Switzerland. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008:55–60.
- [11] RATASUK R, TOLLI D, GHOSH A. Carrier aggregation in LTE-advanced [C]//Proceedings of the 71st Vehicular Technology Conference (VTC–Spring' 10),

May 16–19, 2010, Taipei, China.

Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010:5p.

- [12] SHOKROLLAHI A. Raptor codes [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(6):2551–2567.
- [13] ZHANG Y, ZHENG J, CHEN H. Cognitive radio: Architecture, protocols, and standards [M]. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2010.

收稿日期: 2011–05–05

## 作者简介



封松林, 中科院上海高等研究院筹建组组长、研究员、博士生导师, 国家“863”专家, “973”项目专家组成员, 艾森豪威尔基金研究员(Fellow); 研究领域为微系统技术、量子器件、三网融合; 已发表学术论文 100 篇。



解伟, 北京邮电大学通信与信息系统专业毕业, 国家广播电视总局广播科学研究院电视技术研究所所长、工学博士; 长期从事移动多媒体广播、图像与多媒体通信、高清晰度电视等相关工作; 已发表学术论文 20 篇。

## ←上接第 3 页

广播电视安全播出、用户权益保护等管理体系, 基本形成保障三网融合规范有序开展的政策体系和体制机制。

推广阶段(2013–2015 年)。总结推广试点经验, 全面推进三网融合; 自主创新技术研发和产业化取得突破性进展, 掌握一批核心技术, 宽带通信网、数字电视网、下一代互联网的网络承载能力进一步提升; 网络信息资源、文化内容产品得到充分开发利用, 融合业务应用更加普及, 适度竞争的网络产业格局基本形成; 适应三网融合的体制机制基本建立, 相关法律法规基本健全, 职责清晰、协调顺畅、决策科学、管理高效的新型监管体系基本形成; 网络信息安全和文化安全监管机制不断完善, 安全保障能力显著提高。

三网融合将推动广电、电信业务双向进入, 即符合条件的广电企业可经营增值电信业务、比照电信业务管理的基础电信业务、基于有线电视网

络提供的互联网接入业务、互联网数据传送增值业务、中国 IP 电话业务。IPTV、手机电视的集成播控业务由广电部门负责, 宣传部门指导; 符合条件的国有电信企业在有关部门的监管下, 可从事除时政类节目之外的广播电视节目生产制作、互联网视听节目信号传输、转播时政类新闻视听节目服务, 以及除广播电台电视台形态以外的公共互联网音视频节目服务和 IPTV 传输服务、手机电视分发服务等。

## 4 结束语

三网融合是中国在新形势下推动社会进步和发展国民经济的战略举措, 为中国信息技术产业的发展指出了明确的方向, 将成为中国产业结构调整和经济发展的重要推动力。但是, 由于目前中国行业政策、技术水平的发展不平衡, 三网融合的实施还需要国家、部委、科研院所和各个运营商的共同努力, 逐步实施,

稳步推进。

## 5 参考文献

- [1] 郭江兴. 中国下一代广播电视网(NGB)战略研究报告 [J]. 现代电视技术, 2010(4):20–25.
- [2] HOURCADE J C, NUEVO Y, WAHLSTER W, et al. Future Internet 2020: Visions of an industry expert group [R]. Brussels, Belgium: European Commission Information Society and Media, 2009.
- [3] KRUGER L G, GILROY A A, GOLDFARB C B, et al. The national broadband plan [M]. Hauppauge, NY, USA: Nova Science Publishers, 2010.
- [4] i-Japan Strategy 2015 [R]. The Japanese IT Strategic Headquarters, 2009.

收稿日期: 2011–06–06

## 作者简介



郭江兴, 中国工程院院士, 国家数字交换系统工程技术研究中心主任、教授、博导, 亚太经合组织工商咨询理事会理事, 中国高科技产业化研究会副理事长, 国家“三网融合”专家组副组长; 获国家科技进步一等奖 1 次、国家科技进步二等奖 2 次。

# 三网融合下的集成播控平台与技术

## Integration and Broadcasting Platform and Technologies in Tri-Network Convergence

中图分类号: TN915; TN94; TP393.03 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0019-04

**摘要:** 电视业务的传输网络已从有线电视网延伸到电信网、互联网,而相应的集成播控平台都是针对各自的业务需求建设而成,缺乏统一的技术规范与业务规范,不易管理与扩容。人工方式的内容审查和监控,难以适应三网融合形势下多样业务、海量内容的集成需求。现有的各自独立的播控平台难以支撑多内容、多业务提供商与多网络运营商之间的业务协作运营,内容版权没有保护机制。文章提出建设三网融合下的集成播控平台,研究相关技术,从内容集成、内容播控和协同运营3个方面来解决这些问题。

**关键词:** 三网融合;集成播控;内容审查;内容保护;协同运营

**Abstract:** With improving technologies, the transmission network of cable TV has extended to the telecom network and Internet. Integration and broadcasting platforms that are being built for business lack uniform technical and operation specifications and are not easy to manage and scale up. Manually censoring and monitoring content is insufficient for integrating business and mass content in tri-network convergence. Current broadcasting platforms are independent and unable to support business collaboration between content providers and network operators. There is also no mechanism for copyright protection. In this paper, we propose a platform for integration and broadcasting and research technologies that solve these problems from three aspects: content integration, content broadcasting and the collaborative operating.

**Keywords:** tri-network convergence; integration and broadcasting; content censoring; content protection; collaboration operating

长期以来,由于电视业务形态的不断演进、内容来源的多样化和传输方式的网络化,电视业务在广电、电信、互联网上的播控平台分别不同的阶段形成,如图1所示。传统播控平台缺少统一的技术规范,各个播控平台相互分离,同时平台上的业务不能相互贯通,内容参差不齐,为业务运营带来较多限制;另外,传统播控平台多以人工对内容进行审查和监控,难以适应新形势下业务多

样化、内容海量化的审查与监控需求。随着三网融合进程的发展,音视频业务逐渐呈现出内容多元化和跨网络服务的趋势,现有的以行业或业务类别为划分而建立起的各种播控平台在技术层面已不能满足三网融合下对音视频业务开展集成播控的需求。面对这一现状,需要设计三网融合下的集成播控平台以满足多源多网络下的电视播控需求、对各类终端提供音视频内容集成与播控服务。集成播控平台如图2所示。该平台主要涉及多源内容集成与管理、多网络内容适配与发布、多源多网络

张世乐/ZHANG Shile

陆伟/LU Wei

卢宝丰/LU Baofeng

(上海文广互动电视有限公司,上海 200072)  
(Shanghai Interactive Television Co. Ltd.,  
Shanghai 200072, China)

协同运营支撑。

### 1 集成播控平台总体架构

三网融合新业态下,新型融合业务将具有跨网络、跨终端、强交互等新特性,具体表现为:

(1)内容传输方式上,除传统的广播式传输外,点对点传输逐渐成为内容分发的主流方式。

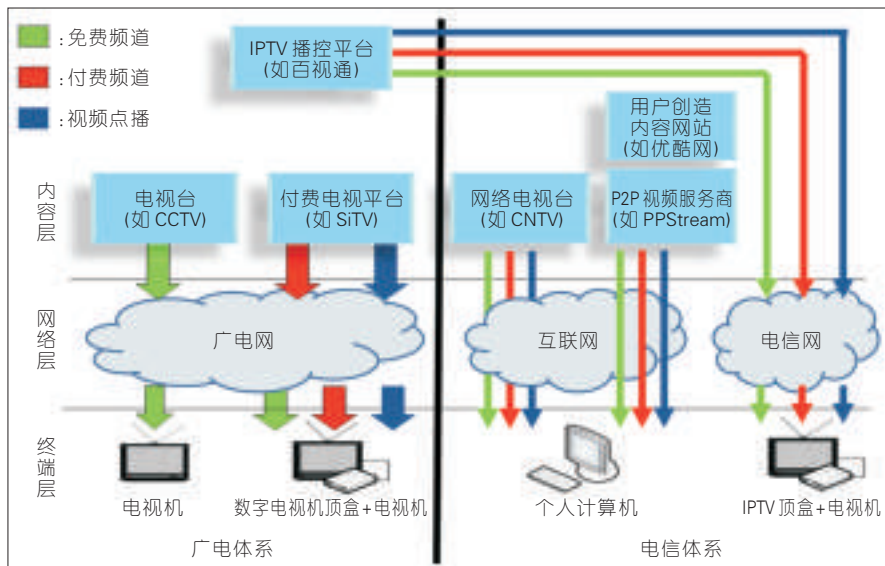
(2)内容呈现形式上,传统的广电网线性播出形式逐渐被业务门户等内容非线性组织发布形式所取代。

(3)网内内容的播放总量方面,新引入的海量视频点播内容(VOD)、用户创造内容(UGC)、富媒体内容等提高了内容管理的复杂度,也大大增加了播控单位对内容审核的开销。

(4)用户行为方面,融合业务用户跨网络、跨终端的行为特征数据超出了现有系统对电视用户收视率数据和互联网用户行为数据进行统计和分析的功能范畴。

综合上述特点,本文将研究三网融合下集成播控平台的定位,即平台与上游内容平台上的内容和业务提供商,以及下游网络平台上的用户终端间的关联关系、相关的业务流程和规范;还将研究集成播控平台内部的功能模块划分以及模块间的流程、接

**基金项目:** 国家高技术研究发展(“863”)计划(2011AA01A107863)



▲图1 传统的播控平台

口规范和模块测试规范。

本文将集成播控平台分解为3个系统：集成管理系统、播控管理系统和协同运营系统，分别解决内容与业务的集成审查问题、适配保护发布问题和运营支撑问题。集成播控平台总体架构如图3所示。接下来，本文将分别介绍这3个系统的组成、功能和相关技术。

## 2 集成管理系统

### 2.1 系统组成与功能

集成管理系统主要负责面向三网融合的内容集成、审查和编排，业务集成和审查。内容集成子系统接收与收录频道提供商的信号，集成互动内容提供商的内容，主动抓取互联网的内容，实现元数据格式的一致性转换。内容审查子系统以计算机辅助人工的方式，对视频的内容和质量进行审查。类似地，业务集成和审查子系统针对各类互动增值应用业务进行集成与审查工作。通过审查后，编辑人员利用业务编排子系统进行节目、栏目的内容编排，生成相应的节目包，由该子系统实现节目包上下线管理。

视频摘要生成子系统可以从视

频内容中自动抽取有代表性、有意义的部分，将它们合并生成紧凑、简明扼要、用户可读并能充分表达视频内容的缩略形式<sup>[1]</sup>。视频摘要既可以辅助人工审查、编排，也可以作为一项服务提供给用户。支付子系统实现基于机顶盒浏览器的支付功能，为用户的消费提供便利的支付渠道。

### 2.2 集成管理系统关键技术

本系统涉及以下关键技术：基于多模态信息的视频内容审查技术、基于内容的视频质量损伤检测技术、基

于场景的视频摘要自动生成技术。

基于多模态信息的视频内容审查技术主要用辅助人工来发现视频内容中的敏感信息。将输入视频分割生成关键帧和片断之后，提取多模态语义特征，经过与敏感内容数据库中的样本进行比对，判断其敏感性，并将机器判为敏感的内容和相关信息呈现给专业编辑，由他们进行人工判断。

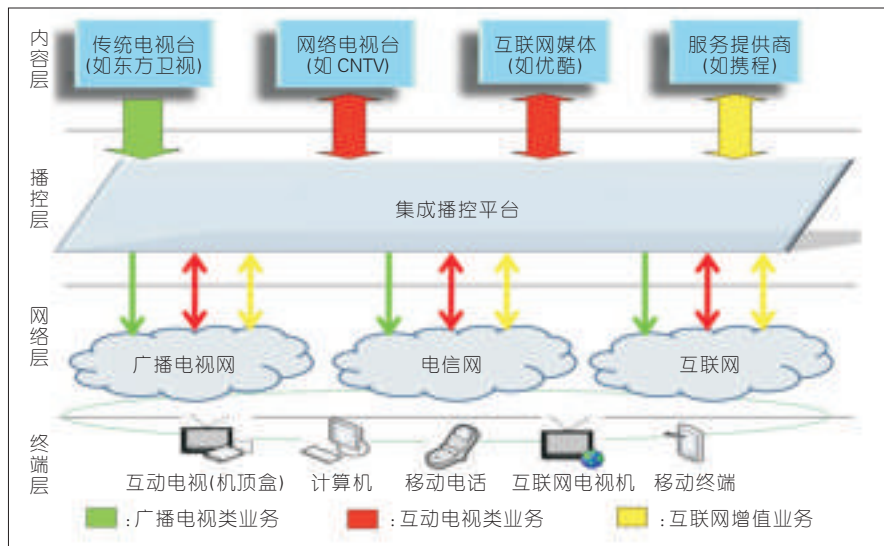
基于内容的视频质量损伤检测技术利用视频上下文信息，区别视频质量损伤和视频特效处理，并将判断结果加以标注输出，由专业编辑去判断视频质量是否出现异常（如马赛克、黑场、静帧、静音等）。

基于场景的视频摘要自动生成技术首先对视频进行镜头切分，将一段视频表示成一个镜头序列，接着在每个镜头中提取一帧或几帧关键场景帧和视频片断来表示这个镜头，然后对这些镜头进行一系列的处理并挑选出最有代表性的一些镜头，最后生成一个完整的摘要呈现给用户。

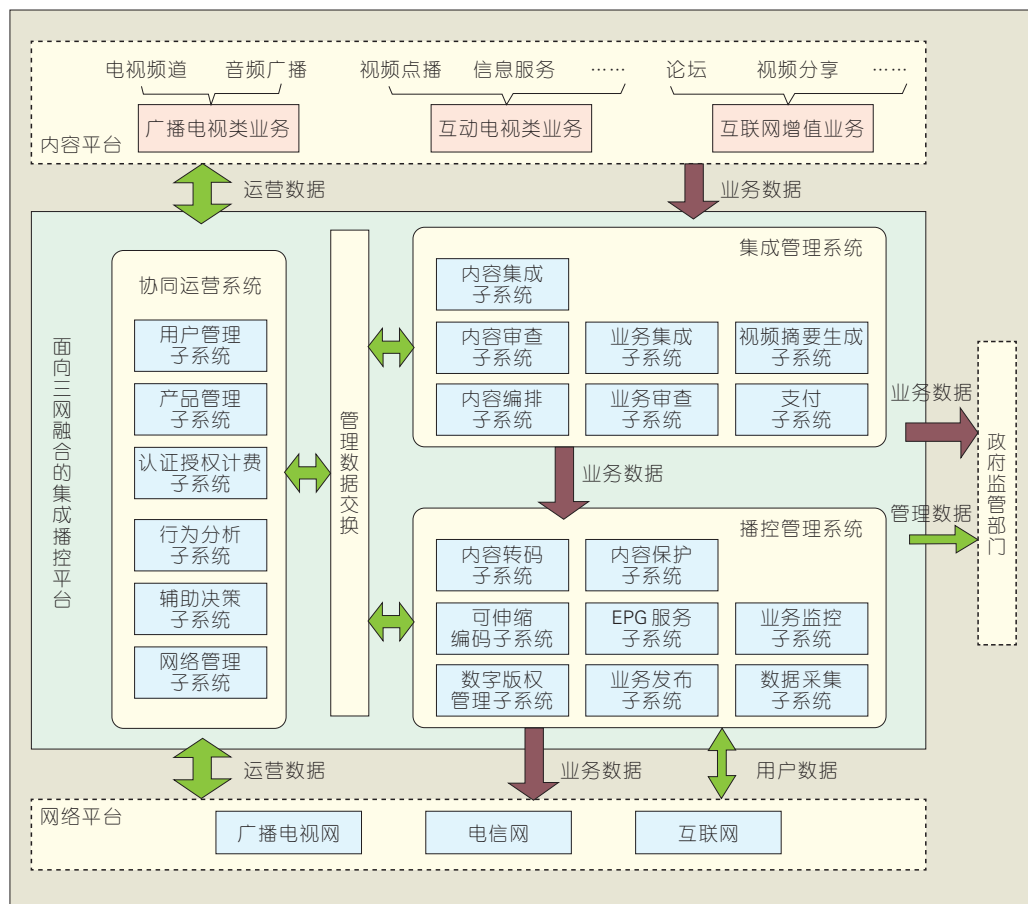
## 3 播控管理系统

### 3.1 系统组成与功能

播控管理系统主要针对融合业务进行适配、保护、发布以及监播，面



▲图2 三网融合下的集成播控平台



▲图3 集成播控平台总体架构

向三网,为终端用户提供电子节目菜单(EPG)服务,并采集用户行为数据。内容转码子系统将音视频内容进行转码<sup>[2]</sup>,以保证内容在不同终端上的正常播放;可伸缩编码子系统是转码子系统在视频编码方面的一个扩展,该编码子系统基于H.264可伸缩视频编码(SVC)标准<sup>[3]</sup>,通过可重写的SVC编码方法,生成一种类似于SVC的码流,该码流可提供时间分辨率、空间分辨率和质量可伸缩,全面支持码流重写技术,这样转码子系统能以很小的代价,从一路码流中得到多路不同码率、不同质量的视频码流,分发给不同网络条件和终端播放能力的用户。

在转码后的内容发布前,需要在内容中加入视频水印<sup>[4]</sup>,再经由数字版权管理系统进行加密。视频水印有内容保护子系统生成,其目的是

以数字签章的形式标识内容版权,并且可以自动检测内容是否被篡改。数字版权管理<sup>[5]</sup>通过对视频进行加密,并控制解密密钥的分发来解决视频被非法复制、传播等版权问题。

视频经过转码、打水印和加密后,由业务发布子系统根据视频内容的编排信息,同步到EPG和边缘服务器。除此以外,其他融合业务也通过该发布子系统实现在EPG和边缘服务器上的部署、同步。业务监控子系统对接入播控平台并对外发布的直播信号进行实时监控,保证内容的合法性和质量,在出现意外时可以实现主备信号的无缝切换。

来自不同终端的三网用户通过统一的用户认证访问EPG服务子系统,得到相应的EPG服务,可实现业务跨终端订购和多屏联动。用户的一系列行为数据由数据采集子系统

收集,转化为统一的格式后放入数据仓库,为行为分析子系统提供数据源。

### 3.2 播控管理系统关键技术

本系统主要涉及以下关键技术:适用于可调度转码的多粒度分割技术、多级可伸缩编码技术、基于多级小波分解和最小可察觉失真模型的视频水印技术、基于鲁棒水印和比特串承诺的多源内容盗版篡改责任认定技术等。

三网融合下的集成播控平台既要面对各种形式的媒体内容来源,又要针对不同的目标传播平台进行内容适配,对内容的转码处理必不可少。转码集群利用设备数量优势,使用集中式的通用计算平台解决大数据量的转码计算问题,但目前集群转码产品的任务调度均基于文件级,至多只能让一个计算节点去完成一个转码任务,在调度策略上缺乏灵活性,

无法优先快速执行紧急突发的转码任务。适用于可调度转码的多粒度分割技术将一个视频文件进行分解,通过音视频同步信息的共享与逐级调整策略,实现高并发情况下的多视频片段合并时的音视频重同步问题,从而避免任务由于分割所带来的转码质量劣化。同时,基于不同粒度的视频分割算法通过与转码计算单元属性特征参数等信息的结合,能够实现灵活的任务调度策略,从而大大优化转码系统的单文件转码倍速等核心指标。

视频转码在视频格式和码率上实现内容对网络和终端的适配,如果终端都能够支持H.264/AVC的视频编码,那么视频只需调整码率即可达到适配效果。可伸缩编码(SVC)在基本层与H.264/AVC兼容的基础上,利用

增强层提供时间层(帧率)、空间层(分辨率)以及质量层的可伸缩。在同一段码流中,可以根据网络实际带宽和终端的需要,通过码流重写,很方便的抽取几段子码流,提供不同的时间分辨率、不同空间分辨率以及不同质量的视频码流。

三网融合环境下,内容来源多样化,使用主体不可信,利用视频水印来实现内容保护、防篡改,以及事后的责任认定成为了一个主要的技术手段。为了保证视频水印的不可见性,水印的容量和强度必须低于一定的阈值;为了提高视频水印的鲁棒性,水印的容量和强度应该尽可能大。通过研究影响感知的两个心理生理学概念:视觉敏感度和视觉注意力,建立最小可察觉失真模型,从而获得水印容量和强度的阈值度量模式。此外,通过设计视频重要帧到比特串的映射函数以及对称加密算法、单向函数,得到视频的比特串承诺,在内容发生传播的两方之间彼此承诺,以便发生问题后进行责任认定。

## 4 协同运营系统

### 4.1 系统组成与功能

协同运营系统对上对接内容、业务提供商运营支撑系统,实现用户订购信息和结算信息同步,对下对接网络运营商运营支撑系统,实现用户订购信息、产品信息、详单和结算信息同步。它实现协同管理用户与产品、用户认证与授权、协同计费、统一结算、行为分析,并进一步完成业务运营辅助决策。

### 4.2 协同运营系统关键技术

本系统主要涉及以下关键技术:基于业务属性抽象分层的融合业务管理模型,以及支持兴趣时间变迁的自适应用户行为分析技术。

融合业务的统一管理需要建立合适的多业务管理模型,实现核心业务集成的一致性管理。业务的定义

可以分层逐步抽象:首先枚举实现该业务的转发、流化、计费、加/解密、业务展示、授权控制和受控组播等功能业务设备,分析获得业务管理模块同这些业务设备通信实现用户业务受理请求下发所需的业务基本属性,从而获得实现该业务管理功能的设备类型集和基本业务属性集,对业务基本属性进行归纳和抽象生成业务属性,对设备类型进行抽象和归纳生成业务元素,并建立业务元素和业务属性间多对多的关联关系;其次,提取同类业务的共有属性,根据业务对业务设备的依赖关系,提炼出业务模板,以及业务模板同业务元素和业务属性的关系;接着,业务类型即对业务种类公共属性的抽象,每类业务都包含一个业务模板,并可以根据业务模板和业务核心属性值实例化出多个业务实例。

作为个性化服务的基础和核心,用户兴趣模型的质量直接关系到个性化服务的质量。常见的用户兴趣模型,诸如加权矢量模型、类型层次结构模型、加权语义网模型、书签和目录结构模型等,一般只适用于相对不变的系统环境。三网融合下的集成播控平台上集成的内容、提供的服务会越来越多,用户的兴趣模型也需要进行更新,添加新的内容和领域。因此,支持兴趣时间变迁的自适应用户行为分析的关键在于建立支持迁移的用户兴趣模型,利用基于内容或者协同过滤的方法,分析预测用户的兴趣可能发生的变化。

## 5 结束语

三网融合下的集成播控平台将为三网融合新业态下业务的跨网络集成播控提供技术支撑,为内容提供商、服务提供商、网络运营商的业务无缝集成、多源内容集成与管理、多网络内容适配与发布、跨域环境下的协同运营支撑等提供全套技术支撑系统。集成播控平台在正式运营和推广后,有助于催生健康、具备可持

续发展能力的融合业务模式,不断优化产业链结构,将带来良好的示范效应和社会效益。

## 6 参考文献

- [1] PRITCH Y, RAV-ACHA A, PELEG S. Nonchronological video synopsis and indexing [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30 (11): 1971-1984.
- [2] SUN Huifang, CHEN Xuemin, CHIANG Tihao. Digital video transcoding for transmission and storage [M]. New York, NY, USA: CRC Press, 2005.
- [3] SCHWARZ H, WIEN M. The scalable video coding extension of the H.264/AVC standard [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2008, 25(2): 135-141.
- [4] COX I J, MILLER M L, BLOOM J A, et al. Digital watermarking and steganography [M]. 2nd ed. Amsterdam, Netherland: Morgan Kaufmann, 2008.
- [5] ROSENBLATT B, TRIPPE B, MOONEY S. Digital rights management: Business and technology [M]. New York, NY, USA: Hungry Minds/John Wiley & Sons, 2001.
- [6] COOPER J O, HERON T E, HEWARD W L. Applied behavior analysis [M]. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2007.

收稿日期:2011-05-05

### 作者简介



张世乐,复旦大学博士毕业;上海文广互动电视有限公司首席工程师;研究方向为视频图像处理与智能分析、统计机器学习与数据挖掘;已发表8篇学术论文(其中收录SCI检索1篇、EI检索1篇)。



陆伟,于同济大学硕士毕业;上海文广互动电视有限公司高级研发经理、高级工程师;研究方向为音视频技术应用、互动电视前端建设、融合业务运营等领域;已发表论文10篇,申请国家发明专利5项(其中已授权3项)。



卢宝丰,同济大学毕业;上海文广互动电视有限公司副总经理,上海互动媒体工程技术研究中心主任,上海市信息家电协会副会长,上海市多媒体行业协会副秘书长,科技部与国家广电总局中国下一代广播电视网自主创新联合行动计划实施领导小组总体专家委员会成员;长期从事数字电视和IPTV领域的技术研发与工程管理工作;已发表论文20篇,申请国家发明专利13件(其中7件已获专利授权)。

# 面向三网融合的统一安全管控技术

## Common Security and Control Framework in Tri-Network Convergence

中图分类号: TN915; TN94; TP393.03 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0023-06

**摘要:** 基于三网融合面临的业务安全、网络安全、内容安全和行为安全等挑战, 文章提出了一种架构独立、运行透明、全程全网的统一安全管控网络。该网络以网络链路为对象, 基于分布式安全管控平台, 融合了链路流量识别、分析、检查、控制等功能, 可实现“一点发现、全网联动”安全控制, 并且具有良好的扩展性和适用性。以安全事件的事前防范、事中阻断、事后追溯的技术保障体系为目标, 文章分析了统一安全管控网络的支撑技术并给出了其未来发展方向。

**关键词:** 统一安全管控网络; 管控中心; 管控平台

**Abstract:** This paper proposes a Common Security and Control Framework (CSCF) for application security, network security, information security, and behavioral security in tri-network convergence. CSCF has an independent architecture and can be operated transparently across the whole network. It treats the network link as the control object and can perform functions such as link traffic identification and link traffic analysis. It can also check and control a security problem at one point and initiate a whole-system response. CSCF is based on a distributed security and control platform with high scalability. This paper discusses the development of techniques used to establish a security system that proactively defends against threats, flexibly reacts to and blocks threats as they occur, and traces threats.

**Key words:** common security and control framework; control center; control platform

李玉峰/LI Yufeng<sup>1</sup>

兰巨龙/LAN Julong<sup>1</sup>

薛向阳/XUE Xiangyang<sup>2</sup>

(1. 国家数字交换系统工程技术研究中心, 河南 郑州 450002;

2. 复旦大学计算机科学技术学院, 上海 201203)

(1. National Digital Switching System Engineering & Technological Research Center, Zhengzhou 450002, China;

2. School of Computer Science, Fudan University, Shanghai 201203, China)

随着三网融合工作的不断深入推进, 网络的开放性、交融性和复杂性不断提高, 以往互联网、广电网和电信网各自面对的安全问题不仅会依然存在, 而且还会借助融合网络这个统一平台在更大范围内传播泛滥。同时, 三网融合后, 各种分离的业务平台也正在逐步融合为以IP为承载的综合业务平台, 在此之上开始出现新的业务种类, 衍生出很多新的业务形态, 从而也产生新的网络安全问题。这些都将对网络安全和可信造成严重威胁。

**基金项目:** 国家高技术研究发展(“863”)计划(2009AA01A346)

### (1) 网络安全

融合网络作为国家信息基础设施, 必须确保网络基础设施安全。特别是数字广播电视网作为党和国家的喉舌, 确保其不受非法网络用户攻击、保持信息传播畅通显得尤为重要, 所以三网融合必须加强网络设施安全能力的建设。网络设施安全能力建设, 具体而言就是研究融合网络骨干链路恶意代码与攻击流量实时检测和清洗技术, 确保网络基础设施安全, 保持网络高效运行, 确保网络用户权益不受侵害。

### (2) 内容安全

融合网络下, 信息和网络通道更加多元和庞杂, 在这种情况下, 用户

各种重要、敏感的信息更加需要加倍的安全保障。此外, 网络已经成为文化传播的重要媒体和舆论宣传的主要渠道, 传统广电网虽然是一个相对封闭的系统, 但三网融合之后原有的媒体业务也要纳入统一开放的业务体系中, 媒体业务原有的内容篡改、插播等问题不但仍然存在, 而且开放体系还会引入新的安全问题。三网融合的发展必须改进和完善网络内容监管方式, 加强网络内容安全能力建设, 牢牢占领网络空间思想舆论主阵地。当前, 网络空间不良媒体内容与不良信息传播方式不断变化, 以逃避网络管理机构的有效监管, 因此三网融合形势下, 必须研究创新音视频内容在线审查手段, 必须研究网络热点事件的形成传播机制以便确保正确的舆论导向, 必须提高网络不良信息的发现和溯源能力, 确保网络空间的绿色纯洁和健康文化导向。

### (3) 行为安全

随着三网融合的不断推进和网络应用的不断普及, 融合网络必将成为全社会广泛参与的工作、学习、生

活、商务、政务的一体化网络,确保网络行为可信、可管、可审计显得尤为重要,所以三网融合必须加强网络行为安全能力的建设。网络行为安全能力建设,具体而言就是研究提高针对网络恶意攻击、木马病毒植入与传播、控制僵尸网络从事非法活动以及视频直播类节目的插播篡改等网络安全事件的追踪溯源能力,实现融合网络行为的可审计与可追踪,确保融合网络的可信、可管、可控。

#### (4) 业务安全

融合网络业务将不仅仅是传统的电信网、广播电视网、互联网业务的简单叠加,网络带宽的跨越式提升、广电与电信业务双向准入、社会信息化水平的迅速提升,将极大地促进网络业务、应用服务的创新发展,因此急需加强网络业务安全能力建设。一方面必须对各种网络用户、不同类型终端运行的业务种类、运营方式进行业务准入控制和监测管控,从而确保融合网络业务的安全有序可持续发展;另一方面融合网络作为一个承载数据、语音、视频的综合性信息平台,特别是针对受众面巨大的视频直播类节目信息,必须保证其网络传输的完整性,确保业务传输安全。融合网络中不仅业务种类更加丰富,应用终端类型也更加多样,面对错综复杂的融合网络业务和资源,如果缺乏针对融合网络的精细化运营基础,融合网络运营商将无法进行针对性的业务开发和营销。

### 1 面向三网融合的统一安全管控网络

从安全监管的管理角度看,传统互联网采用的是“多头监管”模式,电信部门是互联网行业的主管部门,宣传、公安、安全、广电等部门是互联网重要的内容管理部门,宣传部门是网络文化的主管部门,多头管理很难适应三网融合业务交叉融合的趋势。三网融合需要逐步建立与之适应的“融合监管”模式。从国际上已有的

经验看,美国和英国,都是采取统一的监管机构进行监管<sup>[1]</sup>,极大地促进了网络融合产业的发展。反观中国现状,成立统一的管理机构或许最为有效,但短期或许难以实现。从近期推进三网融合总体方案和三网融合试点方案中可以看出,目前三网融合推进过程中采用的是“分业监管”模式,广电、电信主管部门按照各自职责分工,分别对经营广电、电信业务的企业履行行业监管职责。

从技术角度看,传统的三网内在的安全特性各异,电信网络、广播电视网络特点是网络智能、终端简单、容易实现有效的管控机制;而互联网网络、终端智能的特性和其自由发展的哲学使得安全管控困难重重。虽然在单个节点或局域网内部,已经有起到一定作用的流量识别与控制、防火墙等安全设备,但网络安全一直没有很好地解决,更缺乏成熟有效的网络安全架构和技术体系。而融合网络背景下,网络不断开放,业务持续交叉和融合,安全需求在各个层次上已远远超越传统独立网络的范畴,照搬三网传统的安全保障架构和技术体系已不可能,而且任何一种网络的安全管控缺失,必将导致全网的安全

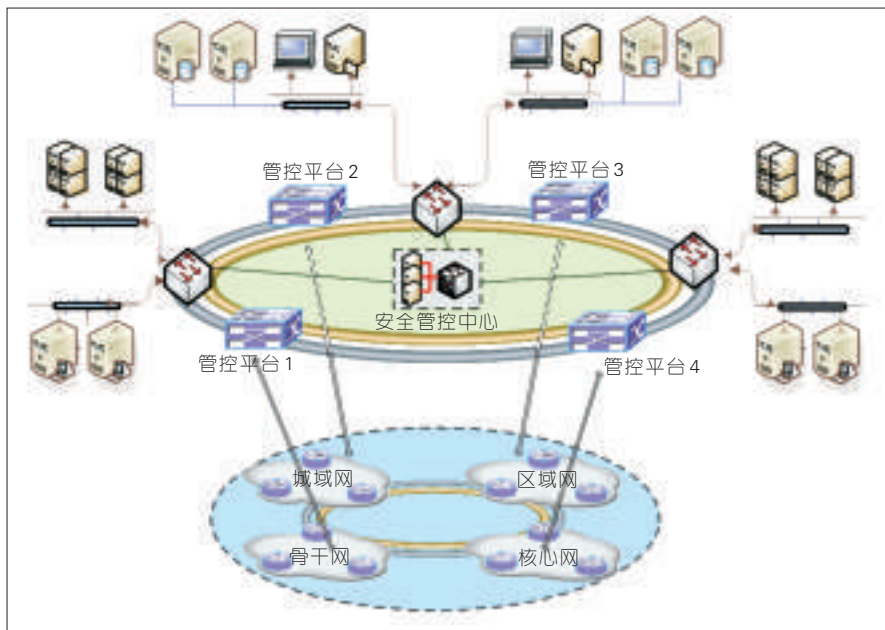
威胁,即网络安全的“短板效应”。因此,目前基本的安全现状是:电话网、互联网、广电网均具有一些独立的安全手段,但是对于三网融合后的网络安全研究甚少,国内外也无成熟、可靠的经验可以借鉴,需要从系统架构、标准体系、关键技术、设备研制、示范应用等多个方面进行研究。

考虑到网络安全技术具有动态变化、攻防对抗的特点,必须首先研究融合网络安全的技术架构,注重安全的系统顶层设计,从网络对抗、体系对抗的高度提出符合中国三网融合实际的安全管控架构,形成系列标准,建立安全事件事前防范、事中阻断、事后追溯的技术保障体系。为此,本文提出了一种面向三网融合的安全保障技术架构—面向三网融合的统一安全管控网络。

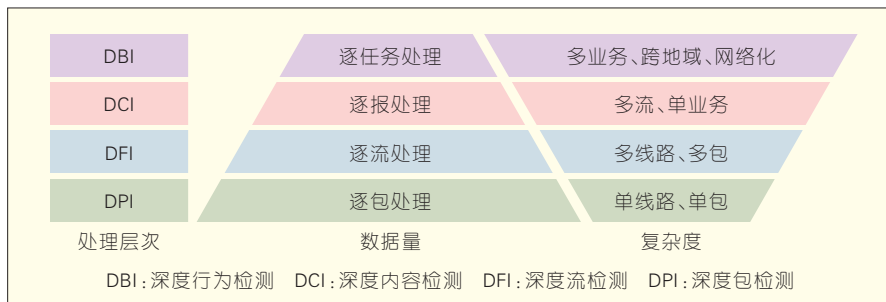
#### 1.1 统一安全管控网络架构

##### (1) 统一安全管控网络系统组成

安全管控网络构建于融合网络的数据承载网络之上,通过内部安全通信机制独立成网,从而实现对数据通信网络的安全监管。统一安全管控网络由分布式前端管控平台和后端管控中心组成,系统组成情况如图



▲ 图1 统一安全管控网络系统组成和结构图



▲图2 管控网络体系结构分层模型

1所示。管控平台串接在汇聚层和骨干层的网络链路中,不仅仅是网络“摄像头”,能够进行分布式网络数据采集,而且是网络数据的“安检站”,能够对链路上流量进行识别、分析、检测和管控;管控中心负责采集数据的融合分析、安全操作识别、管控策略维护下发以及全网调配部署。

### (2)统一安全管控网络体系结构分层模型

管控网络体系结构分层模型如图2所示。系统共分为4个操作层面:深度包检测(DPI)负责对高速网络链路上的数据包进行实时深度检测,服务于数据包的检测、流量控制及管控的实施,保障网络安全;深度流检测(DFI)负责对高速链路上的数据流进行实时统计分析与认知,服务于业务识别和业务接入控制,保证网络业务安全;深度内容检测(DCI)负责对网络数据内容进行还原分析与比对判断,服务于业务内容的合法性和有效性检查,保证网络内容安全;深度行为检测(DBI)负责对各类安全威胁进行综合分析,形成网络安全事件,并对安全事件进行审计、定位和溯源,保证网络行为安全。

### (3)管控网络系统结构

统一安全管控网络系统内模块的逻辑组成与各模块间关系如图3所示。管控网络系统结构包括管控操作层、智能识别层和系统联动层。其中,管控操作层依据智能识别层的识别结果实施管控;智能识别层综合运用DPI、DFI、DCI、DBI等识别技术对报文进行分组级整包分析、流级别

还原、内容级筛查、行为级聚类,网管联动层将集成统计数据分析、信息展示、系统运维和管控策略维护与联动等功能。这种分层的管控网络系统结构能够有效地集成线速业务、内容、行为的统计、识别、安全管控和网络设备联动等功能,同时又能将整个系统划分成多个功能独立的模块和子系统,便于各个模块及子系统的灵活组合与独立开发,具有良好的可扩展性和重构能力。

### (4)统一安全管控中心

统一安全管控中心的系统结构、系统内模块的逻辑组成与各模块间关系如图4所示。统一安全管控中心包括海量数据管理系统、管控策略反馈系统、网络热点发现系统和网络安全事件追踪溯源等。其中网络安全事件追踪溯源系统与网络热点发现系统是统一安全管控中心的核心部分,为了能够更好地实时处理信

息,达到统一安全管控的目标,两者之间采用双向融合共享信息,这样既便于各个模块及子系统的灵活组合与独立开发,又能够将核心功能实时高效,并具有良好的可扩展性和重构能力。

### (5)统一安全管控网络的部署

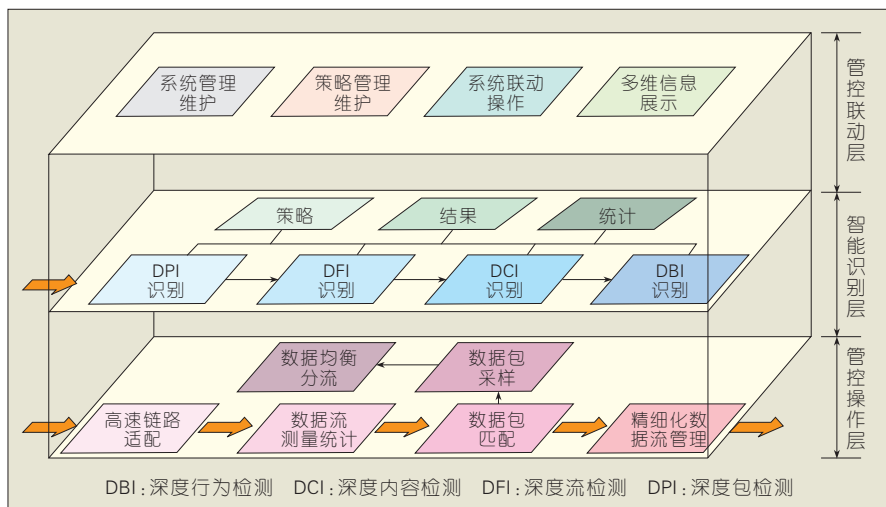
统一安全管控网络的部署如图5所示。图中,在城域网出口部署骨干层安全管控平台用以对网络出口安全管控,在城域网汇聚层部署汇聚层安全管控平台用以对城域网汇聚层进行安全管控,安全管控平台都和安全管理中心互联,通过安全管理中心实现全网安全管控联动。

## 1.2 统一安全管控网络技术分析

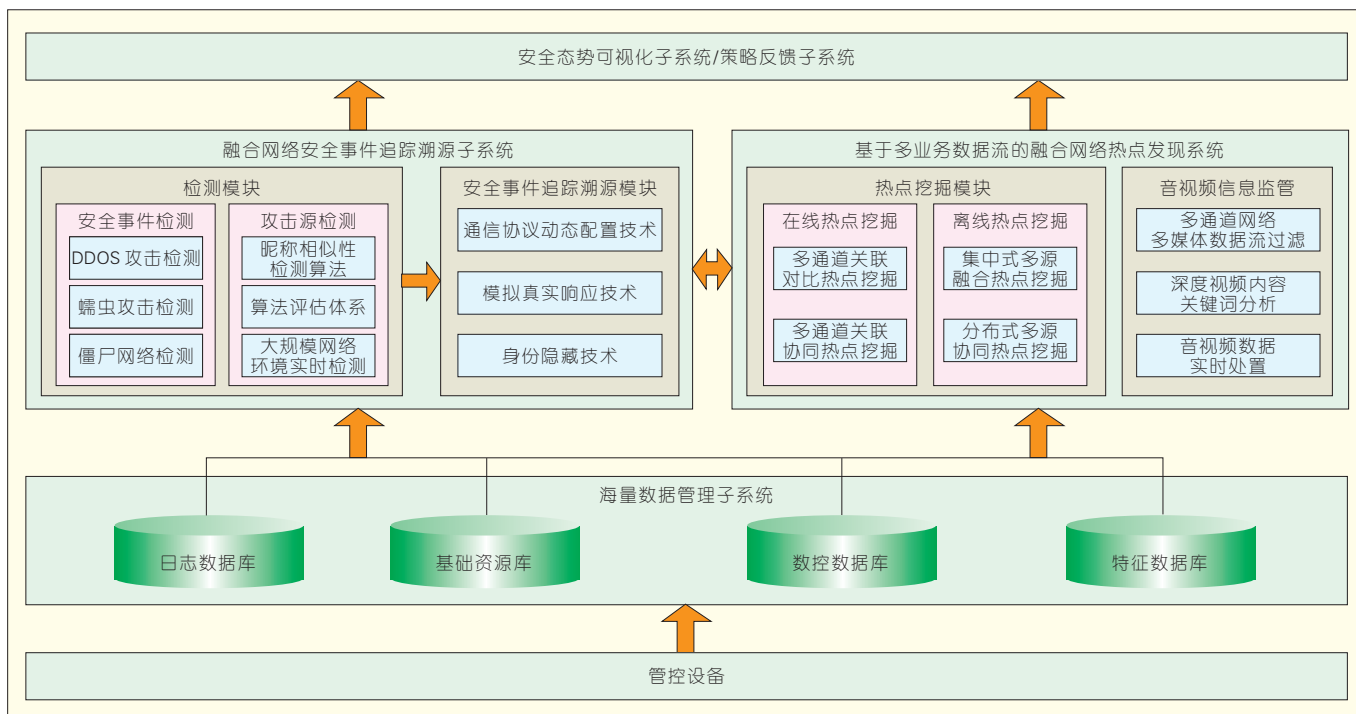
基于统一安全管控网络可具有如下安全优势:

### (1)“全程全网”和“一点发现,全网联动”的安全管控

融合网络的发展将会引发网络应用的革命性改变。传统的单节点计算逐渐发展为云计算,单节点应用也发展为多节点互协作应用。单节点、局部网络安全管控的管控覆盖范围小,既无法保障用户和业务提供方之间的端到端服务质量,也不能对网络内容实施高效检测和控制,而且还存在业务识别和内容识别实时性差、效率低、管控手段少、管控能力差等



▲图3 管控网络系统结构



▲ 图4 统一安全管控中心体系结构图

缺点,无法应对不断发展的网络业务,更无法保证整个网络的安全管控。

统一安全管控网络的安全管控可覆盖从用户、汇聚层链路、骨干层链路到国际关口局链路的全程全网范围。网络中的各个安全管控平台可独立实施单节点安全管控,还可实施多个节点间、多个区域间乃至全网间的联动安全管控,实现安全事件“一点发现,全网联动”管控。对于近年来不断涌现的、通过单个节点或单个区域无法独立实施安全管控的新业务和新应用来说,这种网络化、联动式的安全管控将大大提高融合网络的安全管控水平。

(2)事前防范、事中阻断、事后追溯的安全保障体系

管控中心可对分布式管控平台采集的全网业务信息、流量信息和安全事件信息进行汇总和分析,掌握各类安全事件、异常流量的事前特征,基于管控平台串接链路的“安检站”优势,实现网络安全事件、异常流量的实时阻断,并可根据所采集数据进行事后追溯。

(3)独立运行的透明网络,用户无感知

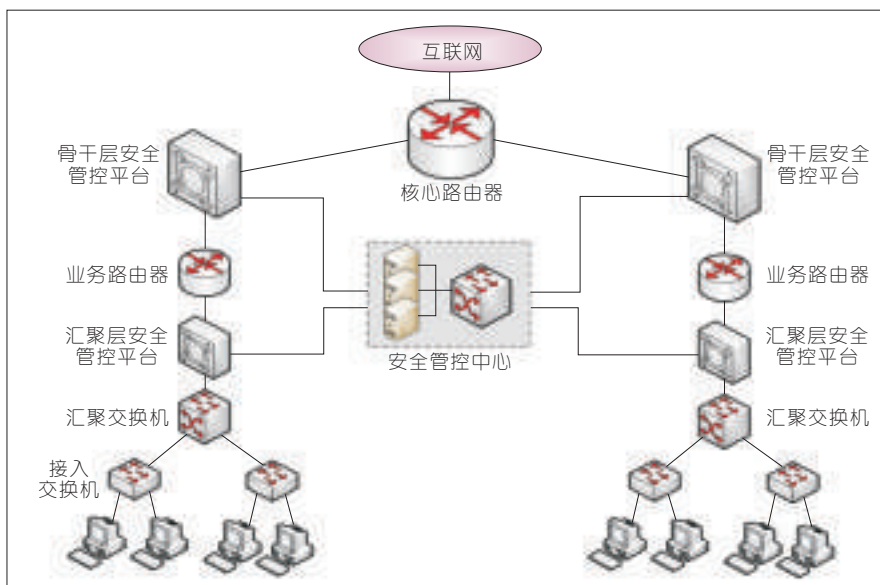
统一安全管控网络的构建基于链路串接完成,不影响现有及未来融合网络的发展,本身只是一个独立的管控网络。它的运行既不影响现有网络体制,也不影响用户的使用,对遵守法律法规的用户透明、无感知。

(4)可扩展性强

统一安全管控网络中,管控平台分布式部署,管控中心可基于域分层次实现,扩展简单。

(5)适用性强

统一安全管控网络中,安全管控平台的部署是基于链路实现。它忽略了传统三网间网络安全管控的边



▲ 图5 统一安全管控网络部署示意图

界和壁垒影响,可在不影响现有网络体制的基础上完成。此外,统一安全管控中心可克服传统安全管控“九龙治水”的局面,还可较方便地与三网现有的安全监管系统实现对接,发挥联动监管作用。

## 2 统一安全管控网络主要支撑技术

统一安全管控网络以网络中的链路为安全管控的对象,基于分布式安全管控平台融合网络“摄像头”和“安检站”功能,可形成安全事件事前防范、事中阻断、事后追溯的技术保障体系,以下将以该体系的形成为目标,针对统一安全管控网络进行技术分析,指出其发展方向。

### 2.1 统一安全管控网体系结构研究

目前安全管控技术都是针对单节点、单域提出,缺少多节点、多层面的分布式联合管控理论和相关技术,需要针对统一安全管控网络展开研究,包括:

(1)研究适应三网融合需求的,具备多层次、独立运行、全程全网管控能力的统一安全管控网架构和组网规范。

(2)研究统一安全管控网的层次结构模型,促进管控网演进和发展。

(3)研究并制订管控设备的技术规范和管理规范,管控中心的技术规范和管理规范、管控设备之间的联动协议以及接口标准等,形成统一安全管控网标准。

### 2.2 网络业务识别与管控技术

三网融合后,虽然在物理上应该使用同一套网络基础设施,但是根据管控要求不同,一般在逻辑上需要存在两套网络:一套称为“三网融合绿色网络”(业界一般称为可管网络,广电部门也称为绿色网络);另一套网络是互联网,承载传统的互联网业务,实行现有的一般化管控。

从业务安全层次而言,三网融合

后具体的管控需求主要包括:

(1)三网融合绿色网络环境中精细化业务准入控制。在三网融合绿色网络环境中,统一安全管控系统不仅需要控制哪些业务准入,还需要精细控制准入业务的作用范围。例如,对于某些业务(如视频点播)只能从某些固定服务器上进行。

(2)对融合网络上传统互联网实行通常的选择性管控。对于运行在融合网络上的传统互联网由于其业务类型复杂多样,数据量巨大等原因,完全实行精细的安全管控技术难度大、成本过高,因此可实行选择性管控,即只对进入“黑名单”的地址、URL和网络业务进行精细管控。

当前,业务管控技术的研究主要集中在对传统互联网业务平面中的业务进行识别和控制,尤其是P2P业务的识别,主要的业务识别技术有以下两类:

(1)动态流行为检测方法,其原理是基于各种应用的连接数、单IP地址的连接模式、上下行流量比例关系、数据包发送频率等数据流的行为特征指标的不同,用这些特征指标与DFI监测模型进行模式匹配,进而从中区分出业务类型<sup>[2-4]</sup>。

(2)深度包检测(DPI)方法,其原理是通过检测各种业务使用的固定特征字进行协议流量识别<sup>[5-7]</sup>。

总之,针对三网融合绿色业务平面的精细化业务识别和控制技术研究较少,是需要探索的研究方向。

### 2.3 媒体业务防篡改、防插播技术

目前,利用水印<sup>[8]</sup>和数字签名<sup>[9]</sup>技术进行媒体业务的防篡改检测得到了广泛研究,但是数字签名需要进行密钥管理与分发,而且这两种方法都需要在传输端部署相应的设备用来嵌入视频水印或数字签名,进行数据的完整性分析,增大了视频的传输延时和客户端数据处理的复杂度,而且不能有效防止其他运营机构在转播的同时进行内容插播。

此外,还有一些直接利用原始视频进行完整性鉴定的方法,如采用空域帧间相关性鉴别<sup>[10]</sup>,可以有效地检测出媒体篡改或插播,但该方法在子序列较小时计算复杂度会很大,检测不明显,而且对于相对静止或类似静止视频难以进行检测。

### 2.4 攻击流量的实时检测与清洗技术

攻击流量的实时检测与清洗通过收集和分析网络流量信息,发现网络是否有违反安全策略的行为和被攻击的迹象。从技术层面上来讲,攻击流量的实时检测和清洗主要包括误用检测和异常检测。

误用检测依据具体特征库进行特征匹配(又可称为“特征检测”),所以检测准确率很高,非常类似于现在的病毒检测,目前的商用产品主要采用这种方法。异常流量检测根据“异常行为”与“正常模式”比较做出判决。两者各有优缺点:误用检测的检测率较高,但只能检测出那些包含在特征库里的已知入侵行为,而不能检测那些新出现的攻击或者已有攻击的变种;异常检测是可能检测到以前从未出现过的攻击,通用性强,缺点是误报率高。

### 2.5 融合网络热点发现技术

融合网络中新闻信息传播速度快、业务类型多、传播方式复杂,能够更快速、更直接、更真实地映射出社情民意,因此迫切需要从融合网络的海量信息中提取热点信息,以便加强对社会舆论及时监管和适时引导。

在基于传统互联网的热点发现方面领域,国内外研究人员做出了一系列的相关工作,进行了大量的理论研究。但是融合网络中热点发现领域的研究工作还处于萌芽状态。在融合网络中,新闻信息将呈现多样化和跨媒体特征,其传播速度快、业务类型多、传播方式复杂、网络互动性强、新闻信息更新快等特点势必给融合网络的热点发现技术带来新的

难点。

## 2.6 异构攻击源安全事件追踪溯源技术

在融合网络下,网络攻击源呈现出“异构”形态,即攻击源可能来自计算机、移动终端、伪造基站等。攻击源的异构化,给网络空间带来的新的、更严重的威胁,为安全事件的检测与追踪溯源提出了新的挑战。

在传统IP网络的安全事件追踪溯源方面的代表工作包括美国UUNet公司的Stone提出的输入调试法<sup>[11]</sup>、卡内基梅隆大学的Burch提出的控制洪泛法<sup>[12]</sup>、加利福尼亚大学的Song提出的改进的PPM法<sup>[13]</sup>等。在融合网络中,安全事件追踪溯源,目前主要技术手段包括通过利用WAP、Web网关以及内容应用服务器配合,利用移动用户标志(例如加密后的电话号码)实现对移动用户行为溯源;利用移动通信网提供的精确定位功能,可以直接定位终端位置。

总之,需进一步研究的内容包括:研究统一安全管控网络的架构、组网规范和设备规范等,形成系列技术标准和体系规范;研究融合网络业务特征识别技术,业务用户区分技术,形成融合网络的业务安全支撑体系;研究骨干线路恶意代码与攻击流量的实时检测与清洗技术,形成融合网络的网络安全支撑体系;研究网络热点发现技术,音视频等媒体流的内容识别与播控技术,形成融合网络的内容安全支撑体系。研究安全事件追踪溯源技术,为融合网络行为的可审计可追踪提供保证,形成融合网络行为安全支撑体系。

## 3 结束语

面向三网融合的安全挑战,本文从体系结构层面提出了一个架构独立、运行透明、全程全网的统一安全管控网络,可实现“一点发现、全网联动”安全控制,并且具有良好的扩展性和适用性,能够适应融合网络安全

需求不断演进变化的发展趋势。

统一安全管控网络作为一种新的安全架构,将面临体系化技术基础薄弱,可供借鉴经验少,管控平台串接风险高、操作难度大等诸多挑战。为此,统一安全管控网络研究的总体思路应该是:根据国家三网融合的发展目标,研究支持三网融合的网络安全与管控技术,开发网络安全与管控设备,探索全网联动的安全管控网络组网技术,进行规模化试验与应用示范,构建三网融合新型网络的安全与管控标准体系,为保证三网融合战略目标的顺利实施提供安全保证。

## 4 参考文献

- [1] 续俊旗,毛飞琴. 改革管理体制 完善法律法规——国外三网融合经验可资借鉴[J]. 世界电信, 2007,20(12):15-18.
- [2] WON Y J, PARK B C, JU H T, et al. A hybrid approach for accurate application traffic identification [C]//Proceedings of the 4th IEEE/IFIP Workshop on End-to-End Monitoring Techniques and Services(E2EMON'06), Apr 03, 2006, Vancouver, Canada. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006:8p.
- [3] KARAGIANNIS T, PAPAGIANNAKI K, FALOUTSOS M. BLINC: Multilevel traffic classification in the dark [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2005, 35(4):229-240.
- [4] ALSHAMMARI R, ZINCIR-HEYWOOD A N. Machine learning based encrypted traffic classification: Identifying SSH and skype [C]//Proceedings of the 2nd IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defense Applications (CISDA'09), Jul 8-10, 2009, Ottawa, Canada. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 289-296.
- [5] AHO A V, CORASICK M J. Efficient string matching: an aid to bibliographic search [J]. Communications of the ACM, 1975, 18(6): 330-340.
- [6] KUMAR S, TURNER J, WILLIAMS J. Advanced algorithms for fast and scalable deep packet inspection [C]//Proceedings of the 2006 ACM/IEEE Symposium on Architecture for Networking and Communications Systems(ANCS'06), Dec 3-5, 2006, San Jose, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2006: 81-92.
- [7] NAGHMOUCHI J, SCARPAZZA D P, BEREKOVIC M. Small-ruleset regular expression matching on GPGPUs: Quantitative performance analysis and optimization [C]//Proceedings of the 24th ACM International Conference on Supercomputing(ICS'10), Jun 2-4, 2010, Tsukuba, Ibaraki, Japan. New York, NY, USA: ACM, 2010: 337-348.
- [8] LIN Y R, HUANG H Y, HSU W H. An embedded watermark technique in video for copyright protection [C]//Proceedings of the

- IEEE 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06): Vol 4, Aug 20-24, 2006, Hong Kong, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006:795-798.
- [9] SUN Q, HE D, TIAN Q. A secure and robust authentication scheme for video transcoding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(10): 1232-1244.
- [10] WANG W H, FAFID H. Exposing digital forgeries in video by detecting double MPEG compression [C]//Proceedings of the ACM Multimedia and Security Workshop(MM&Sec'06), Sep 26-27, 2006, Geneva, Switzerland. New York, NY, USA: ACM, 2006:37-47.
- [11] STONE R. Centertrack: An IP overlay network for tracking DoS floods [C]//Proceedings of the 9th Conference on USENIX Security Symposium, Aug 14-17, 2000, Denver, CO, USA. Berkeley, CA, USA: USENIX Association, 2000:199-212.
- [12] BURCH H, CHESWICK B. Tracing anonymous packets to their approximate source [C]//Proceedings of the 14th USENIX Conference on System Administration(LISA'00), Dec 3-8, 2000, New Orleans, LA, USA. Berkeley, CA, USA: USENIX Association, 2000:319-327.
- [13] SONG D X, PERRIG A. Advanced and authenticated marking schemes for IP traceback [C]//Proceedings of the 20th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM'01): Vol 2, Apr 22-26, 2001, Anchorage, AK, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2001:878-886.

收稿日期: 2011-05-07

## 作者简介



**李玉峰**, 解放军信息工程大学讲师、博士; 主要研究领域为宽带信息网络技术; 先后主持和参加重大项目7项; 已发表论文30篇, 其中被SCI/EI检索20篇。



**兰巨龙**, 解放军信息工程大学教授、博导; 主要研究领域为宽带信息网络技术。



**薛向阳**, 复旦大学教授、博导; 主要研究方向为网络多媒体信息处理与内容安全技术。

# 三网融合与基于协作的无线技术

## Cooperative Wireless Technologies in Tri-Network Convergence

中图分类号: TN915; TN94; TP393.03 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0029-04

**摘要:** 无线协作技术,特别是立体化的协作架构,有助于广播网和无线通信网更紧密地协同。文章认为无线协作技术提供初级回程通道。它可以通过统一的资源管理,互相配合,提供网络级自动重发请求(ARQ)以及面向用户与业务特性的特色传输。无线协作技术还通过协作中继,提升覆盖质量,实现更紧密的动态频谱共享。紧密地协作将为三网融合提供更有效的协作机制,为用户带来新的业务体验,更好地满足新业务和用户需求的多样化发展。

**关键词:** 三网融合;协作式无线技术;统一无线资源管理;协作中继;动态频谱共享;感知无线电

**Abstract:** Cooperative wireless technology, especially cross-layer cooperative architecture, will contribute to tri-network convergence. This paper proposes cooperative technology that provides primary return channel and network-level automatic repeat request (ARQ) as well as user and service-oriented transmission by means of unified resource management and coordination. Cooperative technology improves coverage quality and allows for dynamic spectrum sharing through cooperative relay. It also provides a more effective coordination mechanism for tri-network convergence—which creates a new service experience and is suited to the development of diverse new services.

**Key words:** tri-network convergence; cooperative wireless technology; unified radio resource management; cooperative relay; spectrum sharing; cognitive radio

许玲/XU Ling

方惠英/FANG Huiying

(中兴通讯股份有限公司,广东深圳518004)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518004, China)

四代移动通信系统能支持更大的峰值速率和系统吞吐量,从而支持更丰富的移动业务,包括高清晰度图像业务、会议电视、虚拟现实业务等,使用户在任何地方都可以获得任何所需的信息服

务。随着无线技术逐步向前发展,智能终端的迅猛崛起,各种互联网上的应用、业务不断向移动网络迁移,而广播电视网丰富的节目源也为促进移动互联网的发展提供了更丰富的内容。三网融合新业务对无线网络提出了更高的要求:全方位无缝覆盖、高吞吐量、业务连续性等。在这样的大背景下,如果电信网、广播电视网和互联网之间能够结合各自的特点技术,实现高效协同工作,将能有效提升整体网络性能,极大提升用户体验。

### 1 协作式无线技术的发展

近年来,各种无线技术(WPAN、WLAN、WMAN、WWAN等)共存使得单点技术的创新已经无法满足用户的需求,而系统级的技术变革与整体优化成为探索异构网发展的途径。协作式无线技术在这种背景下应运而生。各种无线技术构成的异构网络如图1所示。

常见的几类无线协作技术如下:

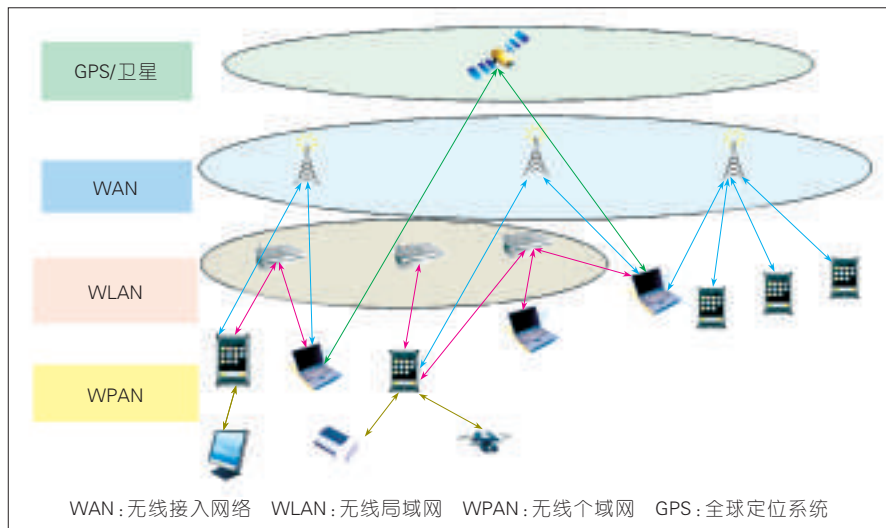
三网融合可以理解为电信网、广播电视网、互联网在向宽带通信网、数字电视网、下一代互联网演进过程中,其技术功能趋于一致,业务范围趋于相同,网络互联互通、资源共享,能为用户提供语音、数据和广播电视等多种服务。

三网融合不是三网物理合一,不是网络的相互替代,而是每个网络都能开展多种业务,电信网、广播电视网和互联网之间协同工作,为用户提供最合适的服务。

目前中国地面广播电视系统(CMMB)适用于30 MHz到3 000 MHz频率范围内的广播业务频率。通过卫

星和/或地面无线发射电视、广播、数据信息等多媒体信号的广播系统,覆盖面广,可以实现全国漫游。但CMMB仅有下行通道,不支持上行互动,用户体验很局限。同时因为是广播大站模式,在室内覆盖和深度覆盖上也存在很大的缺陷。

近年来,移动通信技术迅猛发展,能根据动态的网络和变化的信道条件进行自适应处理,使高速和低速的用户以及各种各样的用户设备能够共存与互通,从而在满足终端多样性、用户个性化的需求上有了长足的进步。波束成型、多输入多输出(MIMO)等多天线技术的发展,使得第



▲图1 多种无线技术共存的异构网络

#### (1) 统一无线资源管理技术

统一无线资源管理(CRRM)技术通过协作式的无线资源共享来减少闲置资源和紧缺资源的贫富两极分化,平衡不同网络的负载,达到业务分流的目的。与此同时,还可以与核心网络协作,获取对业务/用户属性的感知信息。通过统一的无线资源管理,运营商一方面实现端到端的业务分流,提供个性化的用户服务;另一方面由多个小区/多个系统联合给某个用户传输数据,大幅提高用户吞吐量,有效提升用户体验。

CRRM 涉及到的主要技术有:联合的无线资源管理(Joint RRM)、动态频谱共享技术、感知无线电、无线自组织技术等,3GPP 正在研究的负载均衡、Internet Offload 技术也属于这个范畴。

根据文献[1]的研究,CRRM 的统一管理架构分为3种:集中式、分布式和混合式。结合市场需求以及无线网络发展趋势,本文认为,CRRM 的架构将从集中式向混合式发展,CRRM 的主控点可以在核心网络,也可以在无线网络的某个集中控制点(如RNC、eNodeB等)。混合式的协作无线资源管理架构将持续应用非常长的时间。

#### (2) 多点协作传输技术

多点协作传输(COMP)分为联合调度(JP)与协作处理(CP/CB)两大技术方向。多点协作传输(COMP)原理如图2所示。通过多小区协作,交换干扰信息,或者规避干扰,从而大幅降低小区边缘的干扰,有效提高小区边缘吞吐量和系统吞吐量。这种技术要求无线网络的架构尽可能集中,以便达到物理层帧级别的信息交互与协作。

#### (3) 认知无线电

认知无线电(CR)是一种动态频谱共享与协作技术,通过智能感知,并机会式利用授权频段中的频谱空穴(即已分配给授权用户但未被其占用的空闲频谱),实现不可再生频谱资源的再次利用。CR 为有效解决当今无线网络中频谱资源紧张与频谱利用率不高这一矛盾开辟了新的途径。

目前在欧洲电信标准组织(ETSI) CR 课题主要研究两大场景:一类是广播电视数字化后,空闲频谱的利用;一类是国际移动通信(IMT)频段内,随着2G/3G向4G逐步演进,频谱动态共享技术。CR 主要的解决思路是利用感知导频,并定义主辅系统。辅系统通过扫描主系统发出的感知导频,获取现有频谱的被使用情况,从而找寻确定自己可用频谱。当出现冲突时,主系统优先,辅系统重新

寻找新的可用频谱。

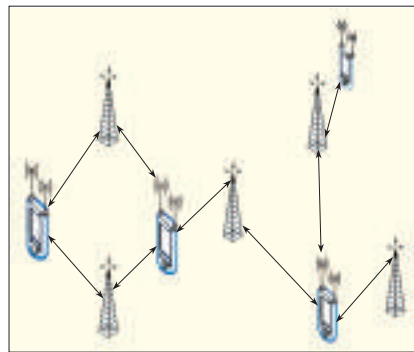
#### (4) 载波聚合技术

载波聚合技术通过把连续或者不连续的零散频谱整合成为一个大的逻辑可用频谱,获得更高的吞吐量,从而提升整体频段的使用效率。目前标准组织讨论的载波聚合技术仍然局限在同一个无线技术内,随着标准研究不断向前推进,不同无线系统通过系统级协作,在不同层面的广义聚合将成为研究热点。

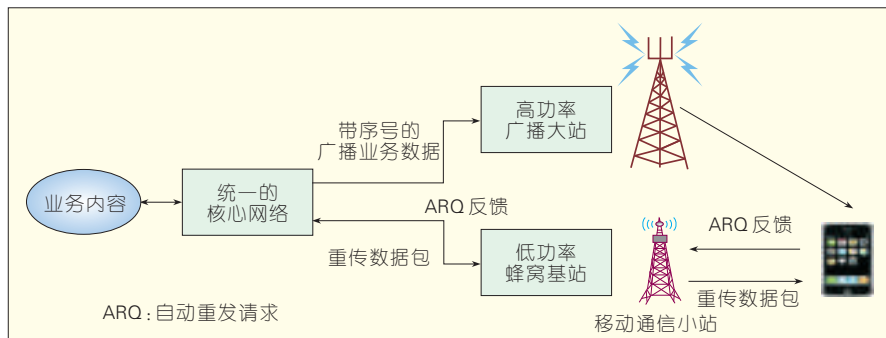
随着无线协作技术的不断发展,结合各种无线技术将长期共存现状,建立立体的协作通信架构,是无线协作技术发展的必然趋势。所谓立体的协作通信架构,是因为单纯一种协作技术并不能适应目前复杂的无线环境以及未来更加丰富的无线业务需要,必须建立立体的协作通信架构。物理层协作、网络层协作、无线与核心网络协作、频谱动态共享、业务的迁移与融合等这些不同协议层、不同网元、不同平台之间的协作技术互相配合,构成立体的协作通信体系,才能多角度满足用户和业务需求<sup>[2-5]</sup>。

## 2 三网融合中的协作式无线技术

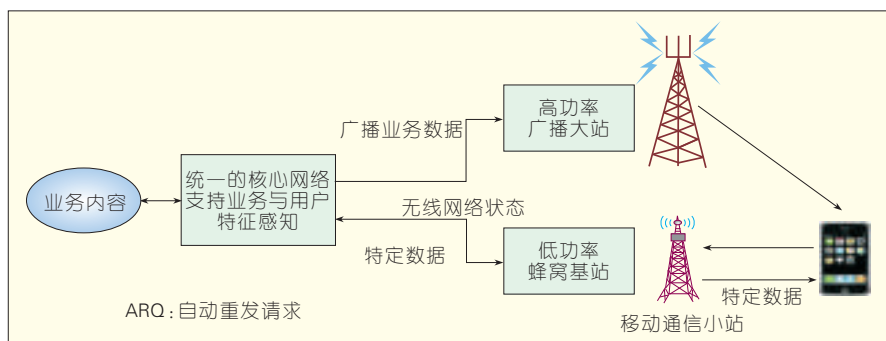
三网融合要求电信网、广播电视网和互联网之间协同工作。目前实用中已经有一些业务层面的融合和应用。随着业务和用户需求的变化与发展,网络特别是三网融合涉及到的无线网络之间如何协同工作越来越



▲图2 多点协作传输(COMP)原理



▲ 图3 网络级自动重发请求



▲ 图4 结合业务与用户特征感知的差异化传输

越引起业界的重视。

经过分析,本文认为,基于立体的协作通信体系,三网融合中的无线协作网络有4种主要协作机制:

#### (1) 机制1

统一的计费与用户管理,这是目前已经有市场部署的一种业务层协作方案。小站(例如蜂窝站)与大站(即广播站)之间没有交互,小站仅用来做大站的上行回传通道。终端要求双模双待。对无线系统基本没有影响。

#### (2) 机制2

大小站协同,提高传输质量,提供个性化传输。根据大站和小站各自优势,同一个业务数据可以分别在大站或小站发送,大站和小站的业务流彼此互相独立。一方面可以支持网络级 ARQ 功能(NARQ),提高传输可靠性,另一方面结合用户和业务特性信息,由小站提供个性化服务。

网络级自动重发请求(NARQ)如图3所示。这里的网络级 ARQ,要求大站和小站连接到统一的核心网络,

由终端、大站、小站、统一的核心网络配合完成。大站的广播包中需要增加包序号,终端需要反馈接收情况,而核心网络可以在收到该 NARQ 反馈后,根据业务策略,有选择有差别地通知小站传输特定数据包给特定的用户,从而提供更可靠的数据传输服务。

同时,这种协作机制可以结合业务/用户特性感知功能,根据业务策略,由小站通道有选择地有差别地传输该业务流的全部或者部分数据包给特定用户或者特定用户组,提供差别服务。

本机制下,小站与大站仍然是互相独立的,之间没有信息交互,由核心网络(即 CRRM 中的集中控制点)作为协作纽带。

更进一步,结合 CRRM 的研究,因为小站也同时承载其他单播业务,所以还需要考虑把小站的无线资源负荷情况上报到核心网络,以帮助核心网络决策。结合业务与用户特征感知的差异化传输如图4所示。这

是目前运营商比较关注的需求。

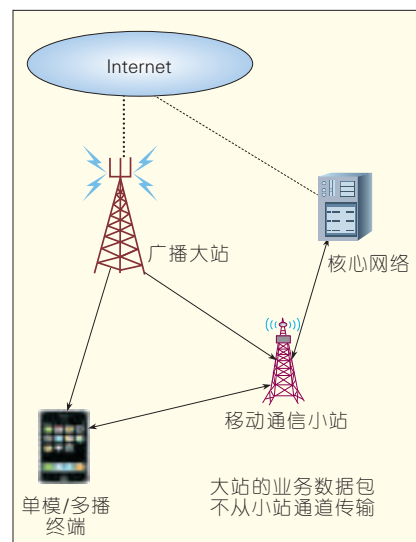
#### (3) 机制3

引入中继的概念,实现协作覆盖。协作覆盖原理如图5所示。小站作为中继节点,直接接收大站的下行数据,并转发给终端。与机制2相比,下行数据不再从核心网络获取,而是从大站获取。这样一方面可以减少网络侧的负荷,另一方面因为小站作为大站的中继节点,在大站覆盖的死角位置部署小站,形成与大站协作覆盖,就可以有效提升覆盖质量。

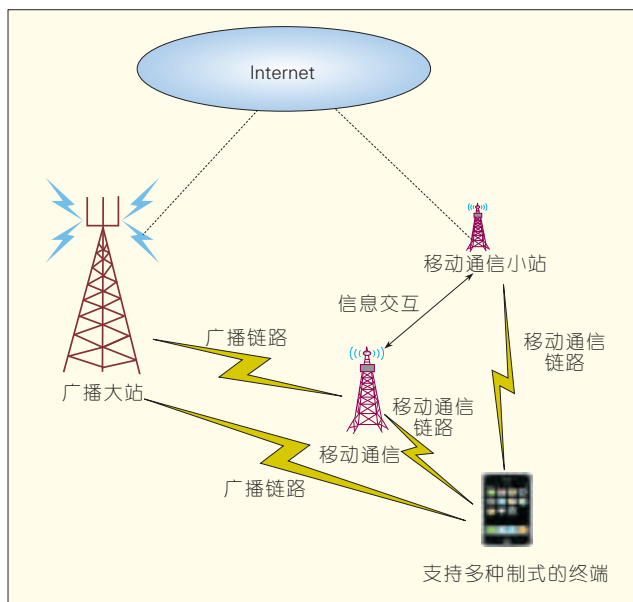
此种模式下,小站与大站有直接接口。对于小站,一方面它继续作为上行通道向核心网络发送上行数据,另一方面小站从大站接收下行数据,中继给用户终端。本机制下,可以采用传统的层2 ARQ 功能,由小站解析上行 ARQ 反馈后重发对应数据包。进一步地,小站向终端转发大站来的数据时可以用大站的帧结构也可以用本站的帧结构。对于前者,终端可以是单模终端;如果是后者,则类似前面的几种模式为多模终端。

#### (4) 机制4

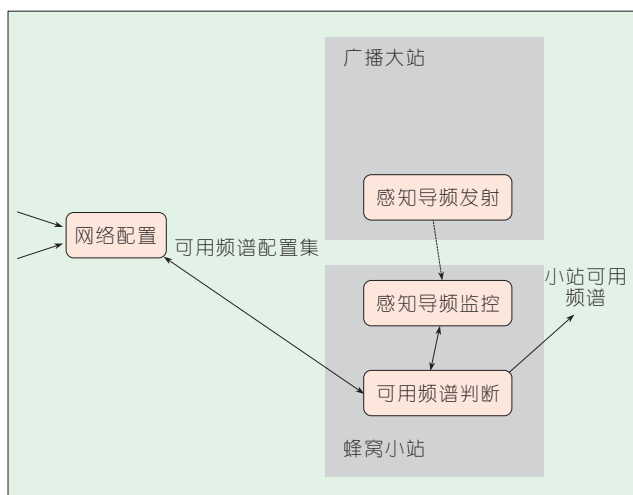
随着计算和处理技术的发展,更底层的协作值得进一步的研究。终端可以从大站小站都接收数据,进行合并接收,提高接收增益。合并接收



▲ 图5 协作覆盖原理



◀ 图6  
合并接收与多点协作



◀ 图7  
小站与大站频谱共享

与多点协作原理如图6所示。小站之间还可以考虑结合多点协作机制,互相交换传输信息,调整传输方式,进一步降低干扰,提升小区边缘的频谱效率,提升用户体验。

以上为三网融合的情况下,大站与小站协作通信的几种协作机制。作为无线系统,在这几种机制下都需要考虑小站与大站之间的频谱共享问题。

在频率资源有限的情况下,频谱共享就成为一种新的途径。业界对于频谱共享的研究从静态到动态共享逐步展开,但是实时的动态共享仍停留在学术层面。结合产业实际,本

文认为在以上几种协作方案下,小站可以根据大站当地的情况,采取静态或者半静态的频谱共享技术。

首先假设大站与协作的小站在同一个频段内,该频段内仅有该大站以及与其协作的多个小站。对于静态频谱共享方案,大站与小站使用的频谱资源由网管后台配置达到分时共享的目的。而半静态共享则对协作网络的智能性提出比较高的要求。小站与大站频谱共享如图7所示。后台配置整体可用资源后,小站获得可用频谱配置后,持续检测感知导频,以确定当前可用的频谱,之后调整到新频谱后,继续检测感知导

频。当检测到感知导频信号后,则继续寻找和调整当前可用的频谱资源。以此形成闭环的共享调整过程。对于半静态来说,调整周期至少以天为单位。

### 3 参考文献

- [1] PILLEKEIT A. Common radio resource management – Theory, architectures, algorithms [C]//Summer Academy 2010 of International Graduate School on Mobile Communications, Jul 26–Aug 08, 2010, TU Ilmenau, Germany. 2010.
- [2] Cognitive radio, spectrum and radio resource management [R]. WWRF WG6 White Paper. 2004.
- [3] VON Hugo D, BOGENFELD E, GASPARD I, et al. Joint RRM as a concept for efficient operation of future radio networks [C]//Proceedings of the 70th Vehicular Technology Conference (VTC–Fall'09), Sep 20–23, 2008, Anchorage, AK, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 5p.
- [4] Performance of cognitive collaborative network, management concepts [R]. End-to-End Efficiency (E3) Deliverable D3.4. 2009.
- [5] GELABERT X, PÉREZ-ROMERO J, SALIENT O, et al. Radio resource management in heterogeneous networks [C]//Proceedings of the 3rd International Working Conference on Performance Modelling and Evaluation of Heterogeneous Networks (HET-NETs'05), July 18–20, 2005, Ilkley, UK. London, UK: IEEE, 2005: 12p.

收稿日期: 2011-05-11

### 作者简介



**许玲**, 工作于中兴通讯股份有限公司标准部, 负责宽带无线标准研究工作; 长期从事无线产品研发和无线宽带技术研究工作, 主要研究领域为宽带无线接入、新型无线通信系统架构、异构网无线资源管理等; 已发表技术论文3篇。



**方惠英**, 工作于中兴通讯股份有限公司标准部; 长期从事无线通信标准研究工作, 主要研究领域为移动宽带无线接入及新一代无线通信新技术、干扰抑制、物联网相关的空口技术等; 曾参与WiMAX和LTE等新一代无线通信标准的研究以及标准制订工作; 已提交国际标准化会议技术文稿20篇。

# 三网融合业务形态与未来发展策略

## Business Models and Future Development Strategy of Tri-Network Convergence

中图分类号: TN915; TN94; TP393.03 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0033-04

**摘要:** 随着全球广播电视的数字化, 三网融合已成为全球信息产业发展的趋势, 中国的三网融合也逐渐成为拉动经济的重要手段之一。文章认为三网融合使电信业具备了传媒特性, 扩展了电信运营企业的服务外延, 终结了终端划分媒体的传统时代。文章指出三大网络的业务元素跨域渗透和融合, 促使三网融合的业务形态向多态发展, 开辟了新媒体产业发展和业务形态创新的崭新空间。

**关键词:** 三网融合; 全业务; 多屏融合; 交互式网络电视

**Abstract:** With the emergence of digital broadcast television, tri-network convergence has become a trend in the global information industry and an important stimulant of the Chinese economy. Influenced by tri-network convergence, telecommunications has now taken on some of the features of traditional media, and services offered by telecom operators have expanded. Separation of terminals, which characterized the traditional media era, has ended. This paper suggests that service element cross-domain integration and convergence allows for multistate service development in tri-network convergence. It creates new media industries and gives rise to innovative business models.

**Key words:** tri-network convergence; full-service; multiscreen convergence; IPTV

周旗/ZHOU Qi

(工业和信息化部电信研究院, 北京 100037)  
(China Academy of Telecommunication  
Research of MIIT, Beijing 100037, China)

- 业务融合是三网融合的核心本质, 多屏融合将成为三重播放业务自然发展要求
- 终端融合和创新是三网融合发展的重要环节
- 高清未来将成为中国各大运营商发展大宽带业务的主要驱动和三网融合未来发展的制高点

三网融合是指电信网、广播电视网、互联网在向未来网络演进过程中, 随着信源数字化和网络IP化的推进, 三大网络的技术架构和业务范围趋于一致, 同时三大网络通过技术改造能够提供包括语音、数据、图像等综合多媒体的通信业务。

三网融合使网络从各自独立的专业网络向综合性网络转变, 同时网络性能得以提升, 资源利用水平进一步提高。三网融合并不意味着互联网、广播网、电信网三大网络的物理融合, 从更宽泛意义上讲是指三网业务上的融合。由于互联网已经开放, 三网融合的核心本质是通信与广播媒体的融合, 使通信具备了传媒特性、广播具备了通信能力, 对运营商来说实际上意味着广义的全业务运

营(通信与媒体的融合)。

### 1 三网融合的业务形态

三网融合使电信业具备了传媒特性, 扩展了电信运营企业的服务外延, 终结了终端划分媒体的传统时代, 同时也带来三网融合业务的混业经营和分业监管局面。三大网络的业务元素跨域渗透和融合, 促使三网融合的业务形态向多态发展, 开辟了新媒体产业发展和业务形态创新的崭新空间<sup>[1]</sup>。

业务融合是三网融合的核心本质, 从业务融合实现形式的发展主线来看, 三网融合的业务形态可以归结为下述4种类型:

(1) “双向进入”基础开放业务——业务捆绑将成为试点阶段主要

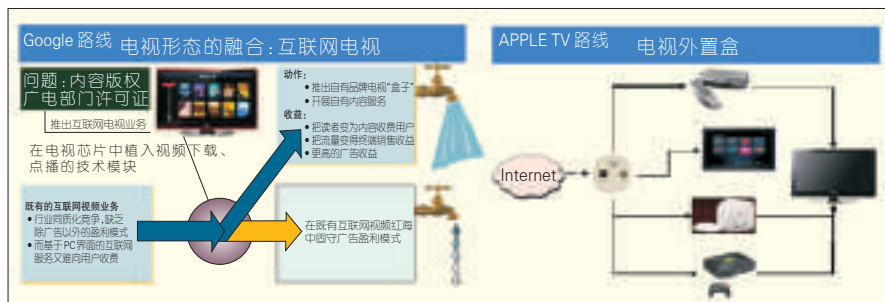
推广手段

双向进入是三网融合在试点阶段的基本业务形态和主要发展指标, 广电和电信相互进入对方传统业务市场, 电信经营IP电视业务, 广电经营有线宽带和数据业务, 从而产生诸如交互式网络电视(IPTV)、手机电视、互联网视频和广电有线宽带、互动电视等的基本业务形态。

业务捆绑无疑是试点阶段最容易实施的融合手段。业务捆绑通常是一种以市场为导向、与技术融合无关的浅层次业务融合。运营企业在推广新业务时, 通过与若干优势业务捆绑形成一个新的综合产品, 满足特定用户的“一站购齐”的业务需求, 通常表现为一个合约(一个运营商)、一个账单, 以及相对于购买单独服务的



▲ 图 1 以 IPTV 为纽带的四网合一战略



▲ 图 2 互联网电视的两种技术方式

整体折扣。

业务捆绑的经典案例是香港盈科的“四网合一”战略,如图 1 所示。该战略将固网、宽带、IPTV 与移动业务捆绑起来,有效地遏制了固网下滑的势头,带动了多屏业务全面发展。

三网融合环境下,运营商除与自有业务捆绑以外,还可以通过合作方式来实现跨行业捆绑带动宽带和内容业务的发展。如 2009 年深圳移动和深圳广电签署的全业务合作框架,开展跨行业的多业务套餐营销——家庭欢乐颂,提供“移动通信 + 宽带接入 + 无线上网 + 数字电视”的全业务方案,通过合作实现三网融合的业务对接和融合。

(2) 终端融合——发展新型“融合”终端,创新产业形态

终端融合和创新是三网融合发展的重要环节,目前比较有发展前途的新型终端主要有互联网电视,实现

了电视形态融合,并集成互联网和视频下载功能;“TD+CMMB”手机终端或上网本,实现手机形态融合;上海电信推出融合电视、娱乐和通信于一体的家庭信息机——“魔屏”,在数字家庭中引入了第四屏;同时通过“机顶盒+电视”和互联网电视实现的“电视上网”也作为一种产业创新形态受到政府和产业界高度关注。

互联网电视(WEBTV)是通过互联网实现的开放式网络电视服务,主要有两种技术实现方式,如图 2 所示。

一种是以中国彩电厂商和 Google TV 的互联网电视为代表的内置接口方式,其中彩电厂商和内容商合作提供内容,电视机配备互联网接口,并在电视芯片中植入视频下载和点播的技术模块,使得电视可以直接接入互联网访问内容商的内容平台;另一种是以 APPLE TV 和 BBC iPlayer TV 为代表的外置方式。通过外置电视盒(TV BOX)实现互联网电视功能,外置电视盒相当一台小型电脑,可访问苹果的 iTunes 平台。

(3) 业务融合——发展增值服务新业态,业务模式的相互输出与移植

业务融合,即互联网、电信和广电业务互相渗透,如广电和电信运营商将互联网上的业务移植到数字电视和 IPTV 上,实现互联网、电信和广电业务的融合<sup>[2]</sup>。具体如电子商务的业务模式输出到 IPTV 上,形成 IPTV 购物的业务形态;网络游戏的业务模式输出到 IPTV 上形成 IPTV 电视游戏等。比较经典的案例有电讯盈科的互动订票服务与和记黄埔“3”的 SeeMeTV (如图 3 所示)。电讯盈科与城市热线等电影院合作,提供电影票互动订购和实时座位预订,在 now TV 上订票的人数已经超过在城市热线网站的订票人数;和记黄埔“3”的 SeeMeTV 是将互联网用户生成内容(UGC)视频模式移植到移动网上,用户可以通过手机发送多媒体信息服务(MMS)上传自己的视频内容,与他人分享,并可以从自己制作的内容下载收费中获得 10% 的收入分成。

(4) 平台融合——发展三屏融合,实现三网融合时代的 FMC



▲ 图 3 SeeMeTV 的模式

三屏融合的主要支撑技术是融合视讯平台,主要业务形式有三屏同播、三屏监控和位移电视等。三网融合概念下的固定与移动融合(FMC)可以包括语音 FMC 和视频 FMC。语音 FMC 可实现诸如宽带电话、手机电话、固话(无线固话)的同振、统一账号,还可实现户外使用移动电话,室内使用宽带电话或固话,同时要保证通话的连续。视频 FMC 可以实现户外利用手机看手机电视,户内使用电脑或电视看 IPTV 节目,同时保证播放的连续性,提供用户的观看连续体验。这需要平台、网络 and 终端的联动,是一种深层次的融合<sup>[1]</sup>。典型案例有 KDDI 的 AU BOX 实现的 FMBC 和增强型 IPTV 概念,如图 4 所示。

## 2 三网融合的业务发展趋势

(1) “三重播放”将成为近期三网融合的市场主流

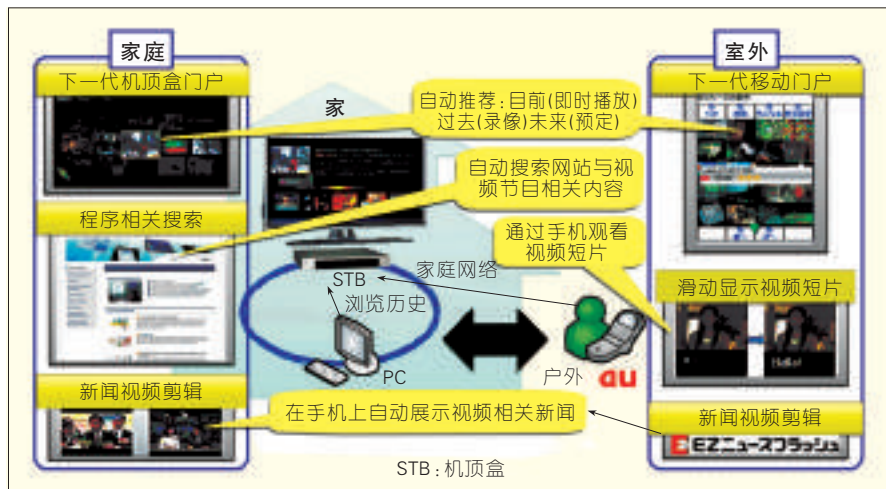
从全球范围来看,主导运营商 BT、AT&T、法国电信等纷纷涉足音视频媒体经营,并推出多种捆绑和融合业务,三重播放已成为各运营商基本服务,新宽带运营商和有线电视运营商为适应竞争也参与发展三重播放。三重播放在初期主要表现为业务捆绑,不涉及平台和网络融合。

(2) 移动视频渐成三网融合业务焦点

美国的互联网视频中,移动通道与固定通道已经平分秋色,手机的媒体效应增强,32%的美国人通过移动终端使用视频业务;2009年,欧盟移动视频受众增长率在 76~362% 内,属于增速第一的移动互联网应用;日本习惯用手机观看剧集的人群已经超过了使用 PC 观看剧集的人群。可以看出,3G 普及加速移动视频业务的快速发展,移动视频渐成三网融合业务焦点。

(3) IPTV 和数字电视在竞合中发展

IPTV 不受地域限制,互动性强,能为用户提供个性化的视频服务。数字电视传播业务主要在特定的范



▲ 图4 KDDI的三网融合FMC

围内,有一定的独占性内容,而且信号传输几乎不受噪声干扰,从而能够提供清晰度的图像;但交互业务和点播业务的实现成本高,在互动性、交互式业务设计上不及 IPTV。三网融合的双向试点是以双方合作为前提,虽然行业利益冲突不可避免,但数字电视与 IPTV 总体将在竞争中实现共赢发展。

(4) 互联网引领三网融合向纵深发展

互联网领域是技术和业务创新的引擎,无疑将成为三网融合的技术理念和业务模式的战略先导,诸如 widget、虚拟货币、用户参与等技术和理念将在三网融合中得到更广泛的应用。运营商可与领先互联网 SP 合作,将互联网领先 SP 的业务模式输出到 IPTV 平台,合作开发新的融合应用,在 IPTV 上打造互联网的“围墙花园”模式。

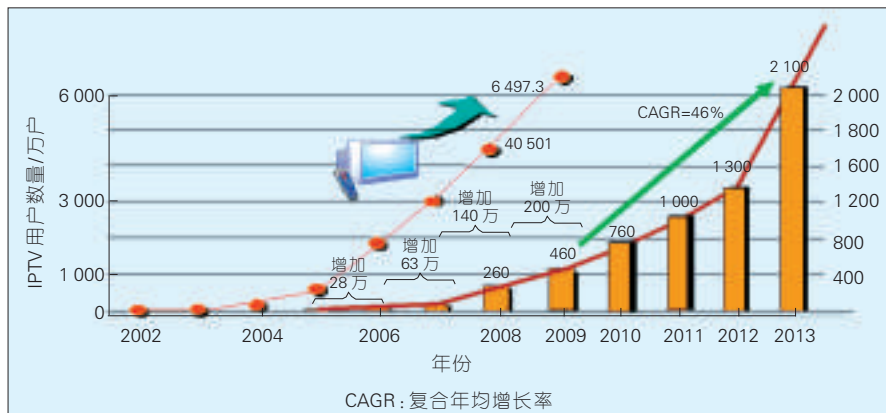
(5) 多屏融合将成为三重播放的业务自然发展要求

从全球范围来看,三重播放已成为发达国家各大运营商的基本服务。三网融合的核心本质在于业务融合,多屏融合通过统一的内容和业务平台,实现多屏之间的视频互动和信息服务的业务融合,这无疑将成为三网融合未来发展的必然和运营商差异化服务的外在体现。业界普遍

看好多屏业务前景,一些国家的研究认为同一内容和应用在电脑、电视和手机(三屏)之间平滑过渡将是未来 5 年内的重要方向。2010 年,中国电信的多屏业务已经率先从“概念炒作”进入实质运营阶段,面向家庭用户推出的“翼视通”和多屏合一终端“魔屏”,为用户提供内容跨屏交互功能多屏业务;面向政企用户推出支持三屏的“天翼看交通”(武汉)。从产业链参与各方的未来计划和行动部署来看,多屏业务更广泛地应用在面向不同客户群的信息娱乐和行业应用将成为必然。

(6) 高清在全球范围内快速发展,将成为中国三网融合发展制高点

高清视频业务在全球范围内快速发展,2008 奥巴马竞选、2010 年世界杯的网络直播都进一步推动高清视频发展。发达国家掀起的数字高清业务浪潮指明了下一代电视业务发展方向。从产业角度来看,全球范围内数字电视的高清业务浪潮已经掀起,2010 年全球高清内容频道由 320 个增加到 500 个,高清终端(包括 HDTV 一体机、高清机顶盒等)价格逐步平民化,并逐渐成为家电市场新宠。专家预计未来 70% 以上出售的机顶盒(STB)都将具备高清功能,高清业务从节目内容到设备终端的各个环节都日趋成熟。在数字转换和高



▲图5 2010-2013年中国IPTV用户规模预测

清兴起的大背景下,电信运营商超宽带战略瞄准高清业务承载,光进铜退已经补足运营商高清短板,高清未来将成为中国各大运营商发展大宽带业务的主要驱动和三网融合未来发展制高点。

(7) IPTV 用户 2013 年将会突破 2 000 万

2010-2012 年是三网融合的试点阶段和磨合期,三网融合政策实际上不利于电信运营商,在试点阶段 IPTV 仍处于非完全市场化的发展和竞争状态,但随着产业环境的完善和消费者认知与接受程度的提高, IPTV 的用户规模必将稳步扩张。由图 5 可以看出,2010 年中国 IPTV 用户将达到 760 万,2013 年将超过 2 100 万的用户规模,2009-2013 年复合增长率将高达 46%。

### 3 电信企业三网融合发展策略

(1) 加快用户发展,提升三网融合话语权

近年来,由于广电部门在监管和内容上的垄断地位,直接导致了电信企业在三网融合业务发展上滞后、话语权盘落和边缘化。试点阶段电信企业应将用户发展作为第一目标,通过多种渠道和策略相结合,加快市场的培育和启动,通过 IPTV 的规模推广拉动高带宽应用的需求,释放电信“网络领先”的市场动能,配合融合应

用提升电信宽带的吸引力和附着力,并在规模化发展的基础上通过前后向经营形成新的收入增长点,用户规模增长有助于提升电信企业未来与广电系竞争的谈判筹码。

(2) 推进光进铜退,面向三网加快网络优化改造

电信企业应积极实施宽带提速改造,大力推进光进铜退并提升带宽能力,扩大接入光缆网的覆盖范围,使网络普遍具备支持高清视频业务能力,继续巩固电信企业的网络领先优势;在接入和承载层,电信企业需要部署商用规模的网络或应用层组播,同时不仅启用静态组播加入模式,提高用户切换体验,实现可控组播的普遍化,还需要打造三级内容分发网络(CDN),以实现整体平台双中心架构,及业务管理、内容服务和存储能力的分布式部署,扩大边缘节点规模和容量,降低业务时延,提升用户体验;在业务平台层面,电信企业应部署统一内容中心和融合视讯平台,透过不同的网络提供客户品质一致、服务一致的融合业务体验。

(3) 加强内容筹备,筹划和建设开放的自有内容运营平台

在试点阶段,广电部门拥有政策和内容的独占性资源,掌握了集成播控权。在该阶段电信企业应与广电系统开展积极合作,内容引入初期以合作为主<sup>[4]</sup>。

(4) 依托通信网络和业务资源,发

展融合应用,实现差异化经营

三网融合是提升信息化水平和服务民生的重要手段,电信企业应依托原有的通信和网络能力、围绕现实生活和行业应用需求打造三网融合应用,服务于社会和人民,体现差异化经营优势和“两个服从,一个尊重”的国家意志。以多屏融合和高清点播为发展重点,彰显电信企业在通信和带宽等独占性或优势资源的核心竞争力,在高清时代电信运营商的带宽优势将得到更加充分体现,特别是高清点播业务。广电系统由于通道资源(IPQAM)和系统扩展性限制,不能更好支持高清点播业务的长尾。

### 4 结束语

三网融合未来将展现百花齐放的业务表现,并将带动终端呈现出多元化、多功能化的融合发展形态。三网融合业务发展需求将进一步驱动电信企业的业务转型和网络转型。面向三网融合电信企业部署统一内容中心和融合视讯平台等重要基础设施,完善电信业务网架构,支撑多媒体业务、互联网业务、内容运营的统一经营,这将带来商业模式和通信能力的跨越式发展机遇。

### 5 参考文献

- [1] 蒋林涛. IPTV——三网融合的开端[J]. 电信网技术, 2006, 4(4): 17.
- [2] 杜百川. 新一代广播电视网与三网融合[J]. 广播电视信息, 2009(9): 32-35.
- [3] 韦乐平. 三网融合的四大挑战及对策建议[J]. 通信世界, 2010(5): 25.
- [4] 周旗, 高艳丽. 面向三网融合电信企业内容引入的思路[J]. 现代电信科技, 2010(21): 15-19.

收稿日期: 2011-06-20

#### 作者简介



周旗, 北京邮电大学通信与电子系统专业博士毕业; 工信部电信研究院规划设计所高级工程师; 从事电信咨询工作, 在电信咨询和网络规划领域拥有比较丰富的研究经验; 在期刊和会议上发表论文数十篇。

# 云计算分布式缓存技术及其在物联网中的应用

## Distributed Cache of Cloud Computing Technology and Its Application in the Internet of Things

**摘要:**物联网是信息技术发展到一定阶段的产物,而云计算平台是物联网应用的基础。文章从当前云计算应用所面临的问题和缺陷出发,介绍了云计算分布式缓存的部署方式、功能架构及关键技术,并说明了分布式缓存高性能、高吞吐、高可靠性、高扩展性等优势和特性。文章解决了物联网应用普遍面临的数据可靠性、大容量内存共享、多模块数据一致保障、线性扩容等难题,为物联网平台云化架构的底层支撑奠定了基础。

**关键词:**云计算;物联网;分布式缓存

**Abstract:** The Internet of Things (IoT) is the product of information technology, and the cloud computing platform is the basis of IoT applications. This paper discusses the deployment, functional architecture and key technology of cloud computing distributed cache, which can be used to overcome certain IoT shortcomings. This paper focuses on the advantages of distributed cache, including high performance, throughput, reliability, and scalability. Cloud computing distributed cache can solve IoT application problems that affect data reliability, large shared memory, consistency in multimodule data protection, and linear expansion. These support the bottom layer of cloud architecture in the IoT platform.

**Key words:** cloud computing; Internet of things; distributed cache

中图分类号: TN91 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0037-06

多网融合、低碳节能、物物互联及移动互联网,这些当今社会的热点需求,催生了云计算技术的发展;随着PC性能提升、成本下降以及网络技术的发展,构建分布式的业务计算环境比集中的大型机的业务环境更具有成本和技术优势,为云计算的发展提供了强大的技术驱动力;Google, Amazon, Salesforce等IT巨头更是推出了基于云计算的服务,并取得了巨大的成功,让人们看到了云计算所带来的巨大优势和影响力;这也让世界各国政府对云计算的发展的非常重视,中国政府在“十二五”信息规

划的技术背景中特别对云计算技术做了阐述,明确提出云计算技术是中国下一个五年信息化产业发展的重点领域之一,为云计算的发展提供了政策驱动力<sup>[1-2]</sup>。

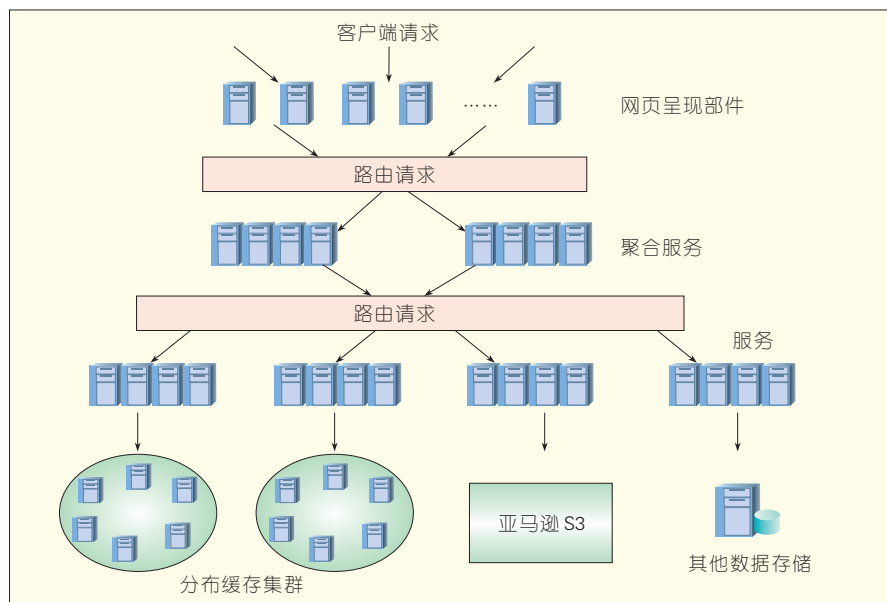
正是在这样的需求、技术、应用和政策的背景下,云计算成为IT业界共同认可的主流声音。云计算其实就是把所有的计算应用和信息资源都用网络连接起来,供个人和应用随时访问、管理和使用。云计算服务提供资源,包括计算、存储及网络资源,需要能够实现海量的存储、出色的安全性和可靠性;云计算提供的服务应

该是动态的、可扩展的,能够根据用户和应用的规模进行动态伸缩,并且这种伸缩所需要的时间是短暂、迅速的;云计算平台应该能够提供开发应用程序编程接口(API)、环境和工具,供各种应用进行使用。只有这样云计算平台才能够和应用很好地结合起来,使得传统的集中式应用方便地迁移成高性能、高可靠且易扩展的分布式的云计算应用,为用户提供类型多样的云服务。

云计算是物联网发展的基础。互联网主要解决人与人的互联,连接了虚拟与真实的空间;而物联网主要解决的是物与物之间的互联,连接了现实与物理世界。物联网是以互联网的发展为前提的。随着物联网应用的发展、终端数量的增长,会产生非常庞大的数据流,这时就需要一个非常强大的信息处理中心。传统的信息处理中心是难以满足这种计算需求的,在应用层就需要引入云计算中心处理海量信息,进行辅助决策。云计算作为一种虚拟化、分布式和并行计算的解决方案,可以为物联网提

高洪/GAO Hong  
董振江/DONG Zhenjiang

(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)



▲图1 Amazon 分布式缓存业务架构

供高效的计算能力、海量的存储能力,为泛在链接的物联网提供网络引擎和支撑。

## 1 分布式缓存的发展

在互联网应用刚起步时,各种平台大多采用的是关系型数据库。那时PC机昂贵、性能低下并且网络不普及,而关系型数据库因为处理能力强、数据安全可靠、一致性好等优势,一直处于主导地位,并发挥了重要的作用。随着互联网的发展,特别是WEB 2.0等交互式、个性化应用的出现,数据量急剧增加,传统的关系型数据库已经无法满足这种快速增长的存储需求。为此不少IT服务提供商都设计开发了自己的存储系统,如亚马逊在2007年10月份开发出的Dynamo就是其中非常典型的一种存储系统(如图1所示),作为状态管理组件和存储服务的基础被用于众多的亚马逊的系统中<sup>[3-4]</sup>。

对于Google, Amazon, 淘宝这样的互联网企业,每时每刻都有无数的用户在使用它们提供的互联网服务,这些服务带来的是大量的数据吞吐量,在同一时间,并发的会有成千上万的连接对数据库进行操作。在这种情

况下,单台服务器或者几台服务器远远不能满足这些数据的处理需求,单靠提升服务器性也已经改变不了该情况,所以唯一可以采用的办法就是扩展服务器的规模。服务器规模扩展通常有两种方法:一种是仍然采用关系型数据库,然后通过对数据库的垂直和水平切割将整个数据库部署到一个集群上,这种方法的优点在于可以采用基于关系型数据库(RDBMS)的技术,但缺点在于它是针对特定应用,实施非常困难;另外一种方法就是Google和Amazon所采用的方法,抛弃关系型数据库,采用Key-Value形式的存储,这样可以极大地增强系统的可扩展性。事实上,基于Key-Value的分布式缓存就是由于Google的BigTable, Amazon的Dynamo以及Facebook的Cassandra等相关论文的发表而慢慢进入人们的视野,这些互联网巨头在分布式缓存上的成功实践也使之成为了云计算的核心技术<sup>[5]</sup>。

## 2 分布式缓存技术

### 2.1 分布式缓存的部署方式

缓存服务器集群采用无主架构,

所有服务器节点地位完全一致,互相之间采用网状的全连接方式。应用通过调用分布式缓存提供的API对数据进行透明访问,无需关心数据在后端服务节点的分布情况。数据在集群各节点均匀分布,集群数据处理能力随集群中节点数量的扩充呈线性增长。集群通过数据的多副本机制能够提高系统的可用性,某几台服务节点的宕机对应用的数据访问没有任何影响。服务器节点能够根据应用的需求灵活配置数据是否持久化存储。

分布式缓存同时提供操作控制台,能够登录到任何一个服务节点并对集群的成员关系、访问负荷、数据分布进行监控和配置,同时通过操作维护台可以完成分布式缓存集群软件版本的安装、升级和配置。目前分布式缓存提供基于命令行(telnet登录)和基于B/S的图形化运维方式。分布式缓存系统的具体部署如图2所示。

### 2.2 分布式缓存功能架构

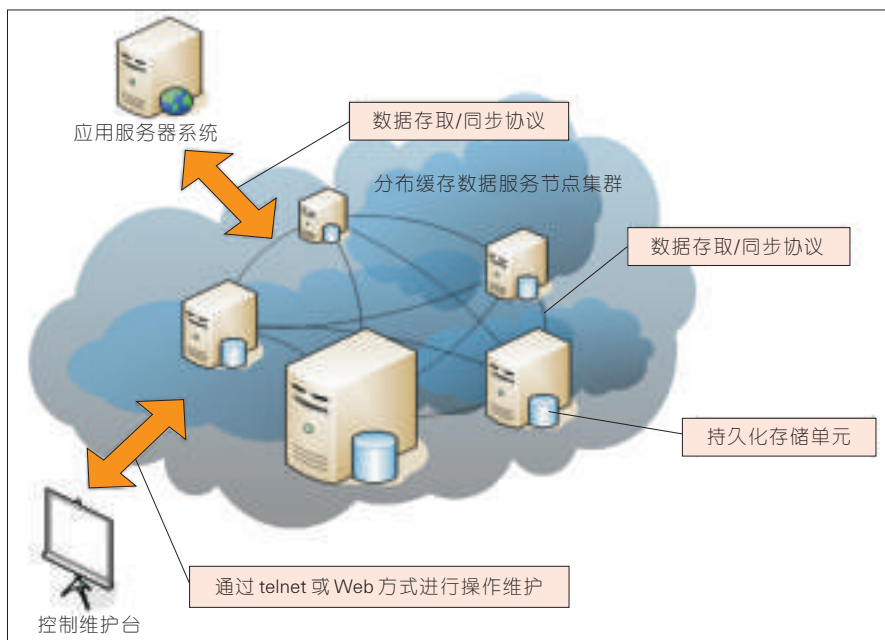
分布式缓存为应用程序提供了客户端程序库以及若干数据服务节点组成的服务集群,客户端通过和数据服务节点通信形成可用服务器列表,并将应用程序提交的存取请求通过路由算法映射到一个确定的数据服务节点上,具体的功能架构如图3中所示。

数据服务节点主要分成3个层次:通信支撑层、数据处理层和数据存取层。

- 通信支撑层主要负责通信协议适配,根据数据处理层中路由链路管理模块的指示进行端口的侦听和主动建链,同时完成底层通信数据包的发送和接收。

- 数据处理层包括路由链路管理模块、访问控制处理模块以及数据迁移控制模块。

- 数据存储层提供内存/SSD/硬盘介质的三级存储管理,具体可以根



▲图2 分布式缓存部署图

据应用的要求进行不同的配置。内存管理关注内存分配的效率以及如何避免内存碎片的形成,并根据数据访问频度进行最近最少使用算法(LRU)控制。SSD和硬盘存储模式在保证访问性能的同时提供数据的持久化存储,在这两种存储模式下数据不会随着服务节点重新启动而丢失。数据存储层提供数据生存期管理机制,能够自动清理过期数据。

### 2.3 分布式缓存关键技术

分布式缓存在保证数据访问可靠性、最终一致性的同时对应用提供高吞吐、低时延的访问服务,通过增加数据服务节点即能实现处理能力的性能扩充,扩容过程对应用访问完全透明。下面对分布式缓存涉及的关键技术进行介绍。

#### 2.3.1 NRW 多副本机制

分布式缓存通过多副本机制实现数据访问的可靠性,同时多个副本之间的数据同步又会带来性能和一致性的问题。我们采用NRW多副本技术来保证数据在可靠性、高性能访问以及最终一致性之间取得平衡。

图4是NRW机制的示意图,其中 $N$ 是一个数据的副本数, $R$ 代表一次成功的读取操作中最小参与节点数量, $W$ 代表一次成功的写操作中最小参与节点数量。当分布式缓存的访问模型满足 $R+W>N$ 时就能保证数据访问的可靠性和一致性。

$R$ 和 $W$ 直接影响性能、可用性和一致性。如果 $W$ 设置为1,则分布

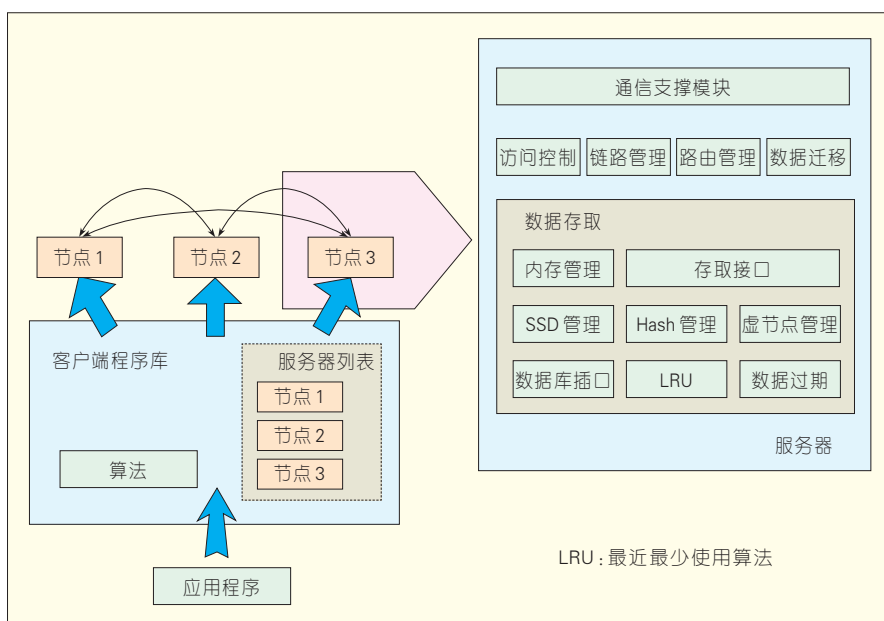
式缓存集群中只要有一个节点可用,就不会影响写操作;如果 $R$ 设置为1,则分布式缓存集群中只要有一个节点可用,就不会影响读请求。但显而易见 $R$ 和 $W$ 值过小都会对影响数据访问的性能和可用性,为兼顾性能、可用性和一致性,这两个值一定要合理设置。

#### 2.3.2 一致性Hash和虚节点

一致性Hash需要首先求出分布式缓存数据服务器(节点)的哈希值,并将其配置到0~232的圆上,用同样的方法求出存储数据的键的哈希值,并映射到圆上。然后从数据映射到的位置开始顺时针查找,将数据保存到找到的第一个服务器上。如果超过232仍然找不到服务器,就会保存到第一台缓存数据服务器上。

因为数据节点服务器的机型并不统一,其性能和容量是不同的,可以使一个物理节点负责多个Hash区间的处理,使高端机器能够被充分利用。在出现热区时,可以将过热的Hash区间以虚拟节点的方式放在负荷较低的物理节点上。

分布式缓存平台结合了一致性Hash和虚拟节点的特点并加以改进,



▲图3 分布式缓存功能架构



▲ 图4 NRW 机制示意图

形成了如图5的方案:将232的Hash空间等分为若干分片,每个分片即是一个虚节点,根据各物理节点性能差异配置处理不同数量的虚节点,这些虚节点在物理节点上的部署关系即形成虚节点的路由。

通过一致性Hash和虚节点相结合的方式,实现了数据在集群的均匀分布,同时也实现了数据服务器节点热点的消除。

### 2.3.3 智能路由交换

路由是指分布式缓存集群中虚节点在数据服务节点上的分布情况。分布式缓存平台构建了一个分布式锁同步系统来存放全局路由表,这张路由表是分布缓存集群路由管理的基准表,路由变更时必须首先要修改这张路由表中对应的路由记录。

为避免每次路由查找都需要查询分布式锁服务,各数据服务节点在本地同时存储全局路由表,路由查找时可直接在本地进行。这样带来的一个问题是本地路由记录可能已经过期,因此在路由记录中增加修改时间戳来进行路由记录版本的控制,举例说明:

(1) 第10号虚节点的路由信息是:存在3个副本,依次存放在服务节点A、B、C上,该条路由信息在集群中所有节点本地都有存储。

(2) A节点发生故障宕机,在A宕机期间,操作员对10号虚节点的路由记录进行了手工调整:仍然是3个副本,依次存放在服务器节点A、D、C上,集群中除A节点外都完成了本地路由记录的更新。

(3) 此后A恢复了服务,A节点本地10号虚节点的路由记录成为一个过期的记录,当A节点收到落在10号虚节点上的数据读写请求时,就会对B、C节点的副本进行访问,访问时会带上本地10号路由记录的时间戳,B、C节点收到访问请求后会立即通知A路由信息已经过期,通过这样的路由交换机制,A快速地完成本地路由记录更新。

上述例子中路由交换是通过数据访问请求被动触发,同时集群中每个节点的路由管理模块也会定时启

动路由交换,通过这种类似病毒传染式的智能路由交换,路由变更能在集群所有节点中快速生效。客户端API的路由记录也采用同样的方式:客户端API本地缓存路由信息表,在数据访问的同时完成和服务节点的路由交换,大大提高了路由查找的效率,降低了数据访问的时延。

### 2.3.4 成员关系维护和故障检测

分布式缓存将节点分成两类:种子节点和普通节点。

种子节点是系统配置时,需要预先从所有节点中选出若干个节点,它们的职责是指挥系统的链路建立和拆除等。

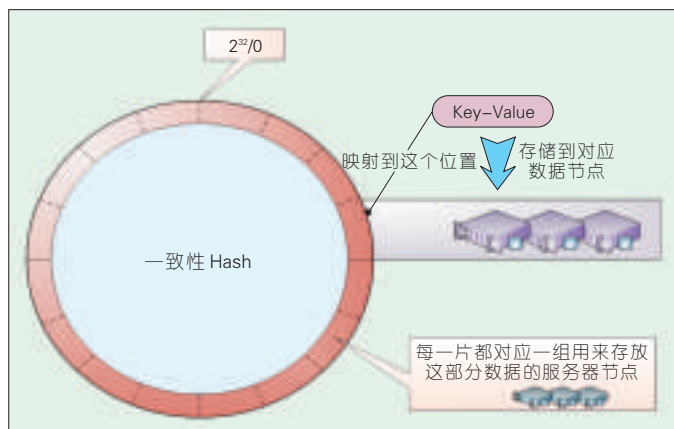
普通节点启动后,根据配置向种子节点主动建链,种子节点对连接上的普通节点进行统一管理,根据一定的原则比如按照IP数值的大小,通知普通节点完成互相之间的建链,种子节点互相之间也根据这个原则完成两两之间的连接。图6描述集群成员关系建立的过程。

(1) 分布式缓存当前有节点1、2、3、5共4个节点,相互之间两两存在链路,节点1、2是种子节点,节点0、3、5是普通节点。

(2) 普通节点4新加入缓存集群,它首先根据配置主动连接种子节点1和节点2。

(3) 种子节点1发现当前有普通节点0、3、5和它建立了链路,当普通节点4连接成功后,它根据节点大小

图5  
分布式缓存的Hash分片



原则指挥节点4连接普通节点0和3,同时指挥原有普通节点5连接节点4。

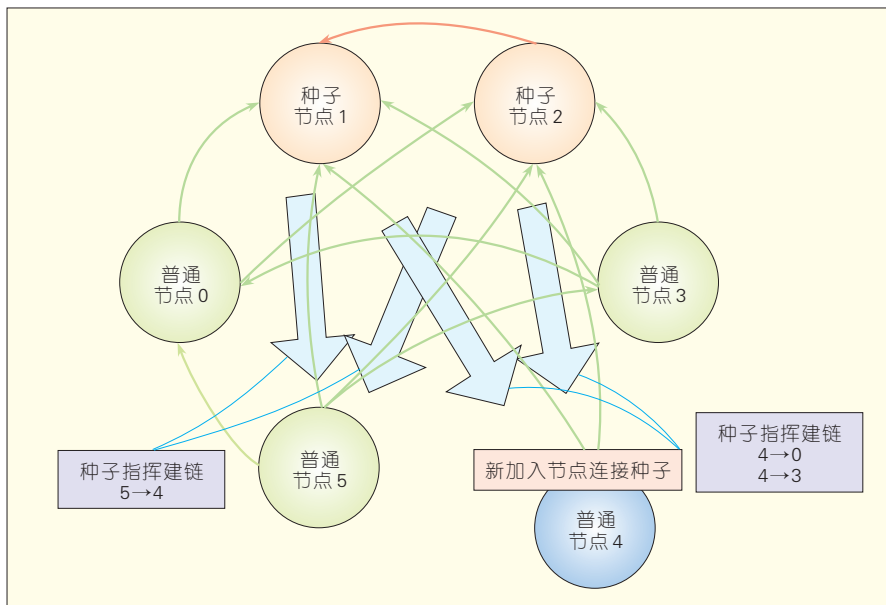
分布式缓存通过上述机制维护集群中节点的成员关系,最终在各节点间形成网状的全连接模型,两两之间具备通信链路,任何节点故障和恢复都能够快速被集群中其他节点检测到。

### 3 分布式缓存助力物联网平台云化

#### 3.1 分布式缓存的优势和解决的问题

分布式缓存具有明显的技术优势。分布式的架构从架构上保证了良好的扩展性,当性能不够时,可以轻松地通过添加新节点的方法扩展性能;因为良好的扩展性,所以分布式缓存的容量可以随着节点规模的增大而呈线性增加,容量不会成为系统的瓶颈;分布式缓存采用的是基于Key-Value的简单存储方式,缓存的架构和以内存为基础的访问方式使得分布式缓存性能非常高,单节点每秒可以达到24万多次的读写操作;分布式缓存所使用的多副本复制的方法,避免单点故障;同时无中心化的架构和一致性Hash的数据分布算法,使得局部节点的损坏不会影响整体集群的可用性,把故障的影响降到最低。

目前的应用在部署运行过程中常会遇到一些问题:第一,单节点不能满足性能要求时,需要扩展到多个节点,通常采用按号段的方式进行扩展,此种扩展方式不具有通用性,与各个应用密切相关,开发和维护的成本也较高;第二,在不同的物理节点的应用上共享数据,通常通过文件的方式或同步的方式进行共享,但是这在性能和一致性的处理上存在较大的风险和困难;第三,因为多个节点同时访问数据库,使得数据库和磁盘I/O成为系统的瓶颈,通常使用单节点的缓存方式来解决,这样一方面会



▲图6 分布缓存集群成员关系

造成系统资源的浪费,另一方面也使各个节点中缓存一致性的处理也非常复杂;第四,应用节点的应用程序意外退出重启后,如何保证已有的会话不掉线,往往通过写文件的方法实现,这时磁盘I/O以及系统初次的加载都存在性能瓶颈。把分布式缓存引进应用后,可以方便地帮助应用解决这些问题。应用通过调用分布式缓存提供的API接口,把关键的数据放到分布式缓存中,而自身重点关注应用逻辑的处理,这样可以轻松打造出高性能的、可扩展的、高可靠的分布式应用系统,通过标准接口的封装,对外提供云服务。

#### 3.2 分布式缓存在物联网中的应用

物联网的出现是信息通信技术(ICT)的新挑战。物联网无所不在,它可以使所有的物体,从洗衣机到冰箱、从房屋到汽车通过物联网进行信息交换。物联网技术融入了射频识别(RFID)技术、传感器技术、纳米技术、智能技术与嵌入技术。物联网技术将是改变人们生活和工作方式的重要技术。物联网主要包括3个层次,如图7中所示。第1个层次是传感器网络,也就是目前所说的包括

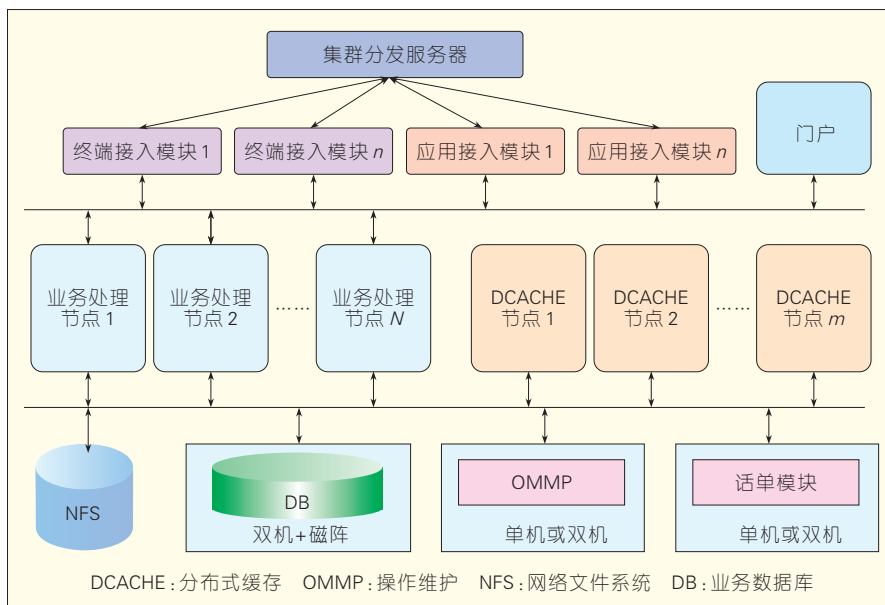
RFID、条形码、传感器等设备在内的传感网,主要用于信息的识别和采集;第2个层次是信息传输网络,主要用于远距离无缝传输来自传感网所采集的巨量数据信息;第3个层次是信息应用网络,该网络主要通过数据处理及解决方案来提供人们所需要的信息服务。

物联网业务网关属于第3个层次,如图8所示。它是实现物联网应用和物联网终端智能连接的桥梁,能够提供接入认证、智能路由、业务计费、能力接入、服务质量(QoS)服务保障等核心功能。支持通用分组无线业务(GPRS)、短信、有线接入等多种网络接入方式。物联网业务网关汇聚所有的机器到机器(M2M)终端消息,除了支持标准协议终端的消息处理外,对非标准协议终端也提供IP层路由转发和业务鉴权功能。因此对业务网关相关的性能提出了极高的要求。

中兴通讯物联网业务网关采用多模块架构,通过引入云计算分布式缓存平台,使其具有极高的吞吐率,保证了网关的高并发处理能力,系统在两个刀片框满配置的情况下,可达到18万条/秒的报文转发速率。分



▲ 图7 物联网层次结构



▲ 图8 物联网业务网

布式缓存的应用,使系统支持数据动态迁移,在个别节点故障不会造成事务的中断。

#### 4 结束语

物联网与云计算存在着密不可分的关系。一方面,物联网的发展离不开云计算的支撑。从量上看,物联网将使用数量惊人的传感器(如数以

亿万计的RFID、智能尘埃和视频监控等),采集到的数据量惊人。这些数据需要通过无线传感网、宽带互联网向某些存储和处理设施汇聚,而使用云计算分布式缓存等系列技术来承载这些任务具有非常显著的性价比优势;从质上看,使用云计算系列技术对这些数据进行处理、分析、挖掘,可以更加迅速、准确、智能地对物

理世界进行管理和控制,使人类可以更加及时、精细地管理物质世界,从而达到“智慧”的状态,大幅提高资源利用率和社会生产力水平<sup>[6]</sup>。可以看出,云计算凭借其强大的处理能力、存储能力和极高的性能价格比,很自然就会成为物联网的后台支撑平台。另一方面,随着物联网针对智能交通、智能医疗、智能电网等领域解决方案的落地,物联网将成为云计算最大的用户,为云计算系列技术取得更大商业成功奠定基石。

#### 5 参考文献

- [1] 刘鹏.云计算[M].北京:电子工业出版社,2010.
- [2] 陈明,王锁柱.物联网的产生与发展[J].计算机教育,2010(12):1-3.
- [3] DECANDIA G, HASTORUN D, JAMPANI M, et al. Dynamo: Amazon's Highly Available Key-Value Store[C]//Proceedings of the 21th ACM SIGOPS Symposium on Operating Systems Principles (SOSP'07), Oct 14-17, 2007, Washington, DC, USA. New York, NY, USA: ACM, 2007:205-220.
- [4] CHANG F, DEAN J, GHEMAWAT S, et al. Bigtable: A Distributed Storage System for Structured Data[C]//Proceedings of the 20th ACM SIGOPS Symposium on Operating Systems Principles (SOSP'05), Oct 23-26, 2005, Brighton UK. New York, NY, USA: ACM, 2005: 205-218.
- [5] LAKSHMAN A, MALIK P. Cassandra: A Decentralized Structured Storage System[J]. SIGOPS Operating Systems Review, 2010, 44(2):35-40.
- [6] 邬贺铨.物联网的应用与挑战综述[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2010,22(5): 526-531.

收稿日期:2011-05-25

#### 作者简介



**高洪**,中兴通讯业务研究院平台研发总工,中兴通讯技术专家委员会成员;先后从事智能网和增值业务的研发设计工作,目前主要从事云计算平台研发工作;研究方向为IN技术、信令网络、开放业务平台、IMS业务。



**董振江**,中兴通讯业务研究院副院长、公司技术专家委员会业务组组长;先后从事交换机和智能网等开发、设计和规划等工作;研究方向为SDP、P2P、业务引擎、3G业务和ICT等;参与和负责过多项国家发改委的技术课题,发表过多篇增值业务相关文章。

# LTE-Advanced 中的 QoS 参数映射的研究

## Study of the Mapping of QoS Parameters in LTE-A Systems

孔祥祎/KONG Xiangyi<sup>1</sup>, 赵季红/ZHAO Jihong<sup>2</sup>

(1. 西安邮电学院 通信工程学院, 陕西 西安 710061)

(2. 西安交通大学 电子与信息工程学院, 陕西 西安 710049)

(1. School of Communications and Information Engineering, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710061, China;

2. School of Electronic and Information Engineering, Xi'an JiaoTong University, Xi'an 710049, China)

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0043-05

**摘要:** QoS 参数映射提供了一种机制, 使得下层能够从上层的信息中获得相关的 QoS 信息, 从而保障整个传输的服务质量。随着 LTE-A 系统的不断更新演进, 在满足系统架构的 QoS 决定、传递或映射系统信息的功能方面, QoS 参数映射起着越来越重要的作用。文章根据 LTE-A 中的 QoS 参数映射架构, 分析了该架构中各组成部分的功能和作用, 对具体参数的映射过程和映射规则做出了详细的说明。

**关键词:** LTE-Advanced; 服务质量; 参数映射

**Abstract:** Mapping of QoS parameters provides a mechanism for lower layers to know the service QoS information of the upper layer so that transmission quality is guaranteed. As LTE-A continues to be evaluated, mapping of QoS parameters is becoming more important in satisfying the QoS decision of the system architecture and transforming or mapping systems information. This paper analyzes the architecture for mapping QoS parameters in LTE-A. It examines the function of each part of the architecture's framework and specifies the mapping process and rules for specific parameters.

**Key words:** LTE-A; QoS; mapping of parameters

第三代合作伙伴计划(3GPP)提出的 LTE-Advanced 是国际电信联盟无线电通信部门(ITU-R)先进的国际移动通信(IMT-Advanced)标准之一, 他的最高目标是到达甚至超过由 ITU-R 组织提出的 IMT-Advanced 的要求。此外, 还要满足任何额外的由运营商提出的需求。这些要求包括支持低速 1 Gbit/s、高速 100 Mbit/s 的接入速率, 高质量的移动服务等<sup>[1]</sup>。在不久前 ITU-R 5D 工作组在重庆召开的会议上, 由 3GPP 提交的 LTE Release 10 & Beyond(LTE-Advanced)被

正式接受为 4G 技术。

随着网络性能的快速增加和应用服务的多样化, 服务质量(QoS)机制和如何提供一个有效稳定的 QoS 控制变得越来越重要。但目前只有少量的文章关注 QoS 参数映射, 正如 Carl Wijting<sup>[2]</sup>所说, 由于 QoS 参数映射的复杂性与应用业务的依赖性, QoS 参数映射是 QoS 管理家族中最棘手的问题。既然 LTE-A 要提供端到端的系统和全 IP 网络, 那么, 找出其存在的映射机制将不仅帮助我们了解整个网络的整体架构, 还将为今后的

优化提供途径。

### 1 QoS 参数映射的定义和分类

#### 1.1 QoS 参数映射的定义

文献[3]给出了 QoS 参数映射的定义: 在两个不同层次的协议栈中翻译 QoS 规范的过程就叫做 QoS 映射。在传统的分层架构中, 只有对等层才能理解对方传输的信息, 上下层之间更像是黑匣子一样只负责上下传递分组信息而并不需要知道分组中包含的信息。那么, 系统如何从上层业务中提取下层所需的 QoS 保证呢? 于是, 就引出了参数映射这个概念。他的目标是为低层提供从上层性能指标中翻译下来的 QoS 保证<sup>[4]</sup>。

#### 1.2 QoS 参数映射的分类和方法

文献[5]对 QoS 映射进行了分类, 主要分为两类: 水平映射和垂直映射。水平映射指的是异构网中的 QoS 映射, 是不同技术之间 QoS 信息的交互和协商, 可以使信息在传递的过程中获得稳定且适合的服务质量。垂直映射关注同构网中的 QoS 映射, 也就是上层到下层的映射, 保证信息在层与层之间的传递。文章中主要介绍的是 3GPP 系统中的垂直映射。

传统的参数映射方法有两种: 基于查表的映射和基于函数的映射。基于查表的映射不能适应不同用户的使用需要, 但是映射规则简单、占用资源也少。基于函数的映射只能将用户的 QoS 需求映射到一个固定

▼表1 EPS 标准化 QCI 特性定义

EPS QCI	资源类型	优先级	分组延迟预算/ms	分组错误丢失率	服务举例
1	GBR	2	100	$10^{-2}$	语音会话
2		4	150	$10^{-3}$	视频会议(实况流业务)
3		3	50	$10^{-3}$	实时游戏
4		5	300	$10^{-6}$	非会话类视频(缓存流业务)
5	非 GBR	1	100	$10^{-6}$	IMS 信令
6		6	300	$10^{-6}$	视频(缓存流业务)、基于 TCP 的业务(例如 WWW、E-mail、聊天、FTP、P2P 文件共享、逐行扫描视频等)
7		7	100	$10^{-3}$	语音、视频(实况流业务)、交互式游戏
8		8	300	$10^{-6}$	视频(缓存流业务)、基于 TCP 的业务(例如 WWW、E-mail、聊天、FTP 业务、P2P 文件共享等)
9		9			

EPS: 演进型分组系统  
FTP: 文件传输协议  
GBR: 保证比特率  
IMS: IP 多媒体子系统  
P2P: 点对点  
QCI: QoS 等级标志  
TCP: 传输控制协议

值,不能适应动态变化环境下的自适应要求。但是该方法灵活,可以适应不同业务的不同需求。文章主要介绍了 LTE-A 的 QoS 参数映射策略。

### 1.3 QoS 参数及 QCI 特性

服务级别中的 QoS 参数具体包括 QoS 等级标志(QCI)、分配与保留优先级(ARP)、保证比特率(GBR)、最大比特率(MBR)以及聚合最大比特率(AMBR)<sup>[6]</sup>。根据两种不同的场景,AMBR 又可分为用户聚合最大比特率(UE-AMBR)和接入点聚合最大比特率(APN-AMBR)。其中,QCI 与 AMBR 两个参数是演进型分组系统(EPS)新增加的,其余参数都沿用现有的通用移动通信系统(UMTS)系统。文章主要介绍的是 QCI。

每个 EPS 承载或者演进型通用陆地无线接入承载(E-RAB)(无论 GBR 或非 GBR)都包含 QCI 和 ARP 两个参数。每个服务数据流(SDF)只与一个 QCI 相关联。如果与相同的 IP 协议接入网络(IP-CAN)会话相对应的多个 SDF 具有相同的 QCI 和 ARP 值,则他们可以作为一个单独的业务集合来处理,这就是 SDF 集合。QCI 是一个标量,是特定接入节点控制承载级数据转发功能的 QoS 参数索引标志,其具体索引标志含义由运营商预配

置到特定接入节点中。其具体含义由标准化的特征量表示(资源类型、优先级、分组延迟预算和分组丢失率)。其用来表示控制承载级别的数据包传输处理的接入点参数包括调度权重、接入门限、队列管理门限、链路层协议配置等。表 1 给出了 EPS 系统定义的标准 QCI 属性,他与相应的标准化特征量组之间是一对一的映射关系。这些参数决定了无线侧承载资源的分配。

## 2 LTE-A 中 QoS 参数映射架构及过程

在 LTE-Advanced 网络中,IP 级的 QoS 参数映射功能包括在策略与计费

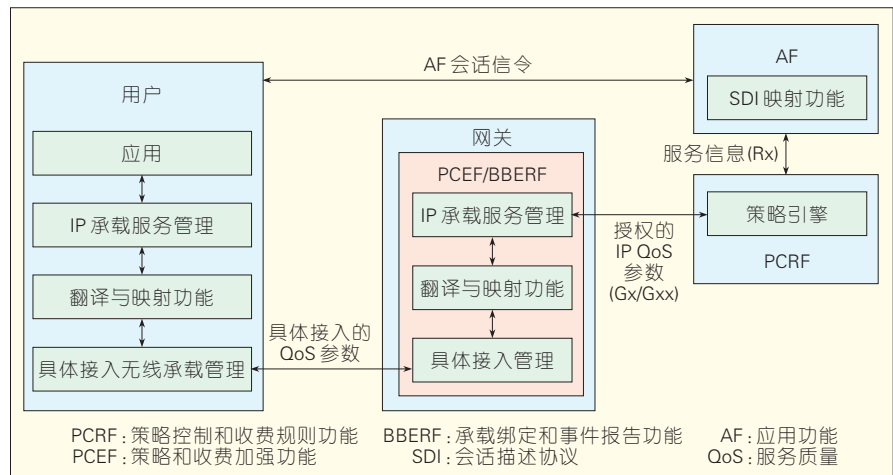
控制(PCC)功能中。下面将更加具体地介绍 PCC 功能中和 QoS 参数映射相关的构造。

### 2.1 QoS 参数映射架构

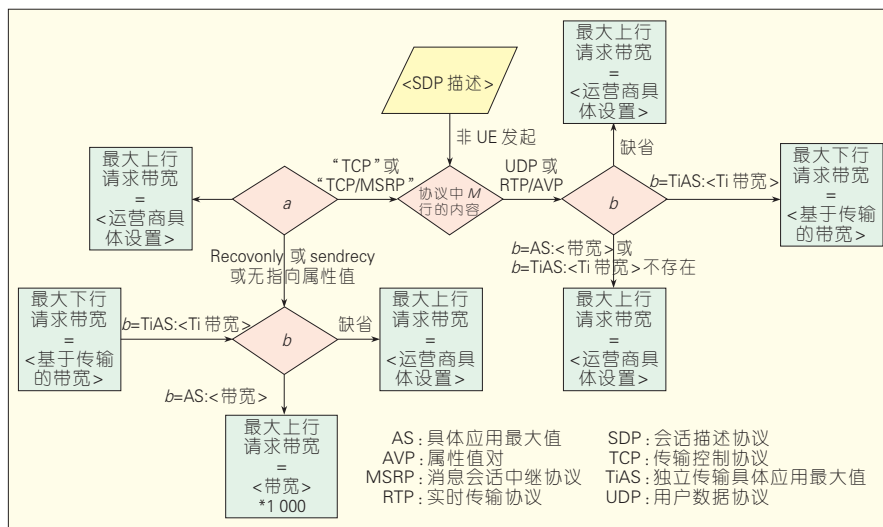
3GPP 的 R7 版本之后引入了 PCC 架构,将网络的 QoS 策略控制和计费控制结合在一起,实现有效的、多样化的、更细粒度的服务控制功能。PCC 架构将应用层会话服务数据流的 QoS 要求映射为 IP-CAN 接入传输网络承载级服务的 QoS 要求,以保障数据传输<sup>[7]</sup>。这些功能主要集中在应用功能(AF)、策略控制和计费规则功能(PCRF)、策略和计费加强功能(PCEF)或承载绑定和事件报告功能(BBERF)和用户设备(UE)上。这些映射功能的主要目的是将 QoS 参数由一种形式转化成另一种。转化的 QoS 信息包括会话描述语言(SDI),例如会话描述协议(SDP)IP QoS 参数或者具体接入的 QoS 参数。QoS 映射的架构如图 1 所示。

### 2.2 QoS 参数映射过程

图 1 中 AF 将媒体面参数以 AF 会话信令的形式得到业务信息并通过 Rx 接口传送到 PCRF 中,PCRF 根据运营商策略、用户签约信息等将业务信息映射成授权的 IP QoS 参数(如 QCI, GBR, MBR, ARP 等),该功能中的映射是独立的,不根据接入技术的改变



▲图1 QoS 映射架构



▲ 图2 AF中最大上行请求带宽映射规则

而改变。网关中的PCEF或BBERF根据PCC规则进行承载绑定并通过Gx或Gxx接口将这些参数再映射成具体接入的QoS参数。这就是完整的QoS参数映射过程。

### 3 各功能实体的映射规则

这一章节总结了协议中关于QoS参数映射的部分,并给出了部分参数映射规则的流程图,因为EPS的PCC架构基于Diameter协议传输,所以映射规则里也大量运用到了与协议相关的内容,如属性值对(AVP)及特定参数取值等。UE的应用层与网络应用功能实体AF之间进行应用层会话过程,在这个过程交互会话媒体面QoS参数,AF将媒体面参数以业务信息的形式通知给PCRF,PCRF根据运营商的策略、用户签约信息对业务媒体流进行会话绑定、IP QoS授权、将这些信息以PCC规则形式通知给网关上执行策略的PCEF或BBERF实体,PCEF或BBERF根据PCC规则进行承载绑定,然后执行承载层QoS信令过程实现承载资源的分配过程。

#### 3.1 AF中的QoS参数映射规则

AF功能通过Rx接口将具体的应用信息映射成适当的AVP。AF从SDI或者其他来源处得到业务信息,

并将服务信息通过Rx接口传送到PCRF。接口所运用的协议为Diameter协议<sup>[8]</sup>。当一个会话建立或修改时,AF应当按照相应的映射规则为每个SDP媒体部件中SDP参数中提取媒体部件描述属性值对<sup>[9]</sup>。其中,服务信息中媒体部件描述AVP包括媒体部件号、AF应用标志、媒体类型、流状态最大上行/下行请求带宽、接受报告包带宽、原报告包带宽<sup>[10]</sup>等。

图2给出了从SDP参数中得到服务信息媒体部件描述AVP中最大上行请求带宽的映射规则。

在图2中可以看出最大上行请求带宽是通过一个整体的算法策略得出的。首先判断SDP描述中的类型,如果为UE终结的则为上行,UE发起的为下行。接下来判断SDP参数中“m-line”的类型,不同的类型有不同的“a”“b”的取值。文献[11]中对其取值有详细的介绍。最后,通过运营商预选定的算法或者基于传输的带宽算出最大上行请求带宽。最大上行请求带宽指示了上行IP流每秒的最大请求带宽比特。该带宽包括IP层及IP层之上的所有开销,例如,IP、用户数据协议(UDP)等。

#### 3.2 PCRF中的QoS参数映射规则

PCRF功能包括策略控制决定和

基于流的收费控制功能。这两个功能在R6版本之前是分开的,R7之后整合到一个功能实体上。PCRF根据对服务数据流的检测、门控、QoS和基于流的收费来提供网络控制。PCRF则从AF处接收会话和媒体相关的信息并同时通知AF数据流平面的事件。

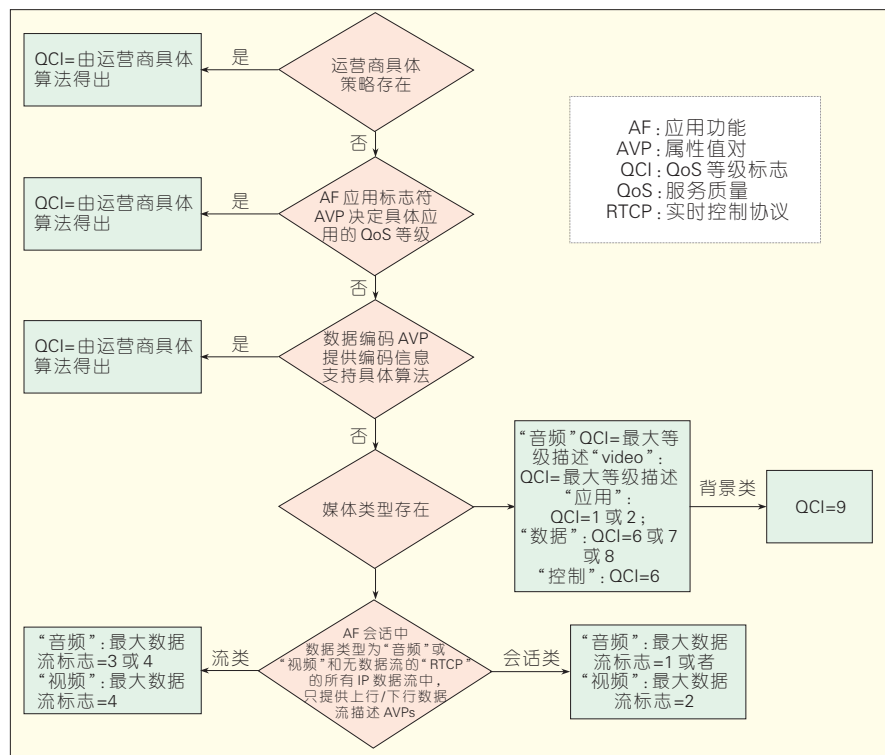
PCRF中的QoS参数映射过程也是QoS的授权过程。当一个会话建立或修改时,他将从Rx接口得到的服务信息映射成IP QoS参数,包括QCI,GBR,MBR和ARP。映射过程与接入无关。当UE发起的承载建立时,UE可以从AF会话信令中得到IP QoS参数,请求具体接入的QoS参数和授权的具体接入QoS参数。图3给出了从服务信息中得到QCI的映射规则流程图。

图3中可以看出QCI的得出首先考虑到的是运营商预先配置的策略,如果存在,则通过设定好的算法直接得出QCI的值。否则,PCRF按照缺省的方法先从AF应用指示AVP中得出具体应用算法算出的QCI,如AF应用指示AVP不存在则从指示编码AVP中算出QCI,如果此项仍为缺省,还可以通过媒体类型和上下行数据流描述AVP中得出QCI的值。

#### 3.3 PCEF/BBERF中的QoS参数映射规则

PCEF/BBERF把从PCRF接收到的授权的IP QoS参数映射成为授权的具体接入的QoS参数。这个功能实体也将请求具体接入QoS参数和授权的具体接入QoS参数进行比对。

PCEF的基本功能包括策略加强和基于流的收费功能。R6版本之前这两个功能是分离的,R7版本之后将两个功能整合成为现在的PCEF。这个功能实体位于网关中(如果是GPRS则位于GPRS支持节点网关(GGSN)中,如果是无线局域网络(WLAN)则位于分组数据网网关(P-GW)中)。它提供了在网关的用户



▲ 图3 从服务信息中得到 QCI 的映射规则

面数据流处理和 QoS 功能, 还提供了业务数据流检测和计数以及在线离线计费的互动。

BBERF 功能位于服务网关 (S-GW) 中, 他通过 Gxx 接口<sup>[12]</sup>接收 PCRF 提供的 QoS 规则。提供的功能包括承载绑定和事件报告功能等。

以 GPRS 为例, GGSN 可以把从 PCRF 接收到的授权的 IP QoS 参数通过翻译/映射功能得到分组数据协议 (PDP) 上下文中授权的 UMTS QoS 参数。PDP 上下文中授权的 UMTS QoS 参数包括: 最大授权上行和下行带宽、授权的保证上下行数据率、最大授权数据流、数据流处理优先级、信令指示、资源统计描述、演进的分配/保持优先级和上下行接入点 APN-AMBR 参数。

表 2 给出 PDP 上下文中最大授权数据流和授权 IP QoS 参数之间映射的方式。

由表 2 可以看出 QCI 的 1 或 2 值对应的数据流等级为会话级<sup>[13]</sup>, 3, 4 对应流级, 5、6、7、8 对应的是交互

级, 其他对应的是背景级。

以 3GPP EPS 系统为例, 当 P-GW 中的翻译/映射功能适用于 P-GW 与 GPRS 服务支持节点 (SGSN) 通过 Gn/Gp 接口交互时, 相应的映射规则只有细微的改动。

### 3.4 UE 端的 QoS 参数映射规则

UE 可以建立或修改发往 PCEF/BBERF 的 IP-CAN 承载请求。此外, IP-CAN 会话也支持网络发起的承载, 网络为 IP-CAN 承载建立一个合适的承载。图 4 显示了当 UE 激活或修改 PDP 上下文时, 参与生成 QoS 参数请求的实体的构架。

主要步骤如下:

(1) 应用业务主要通过 IP 承载服务管理和翻译与映射功能提供给 UMTS 承载业务管理。

▼ 表 2 QCI 参数与 PDP 上下文中最大授权数据流的映射

数据流类型	会话类	流类	交互类	背景类
QCI 值	1, 2	3, 4	5, 6, 7, 8	其他
QCI: QoS 等级标志				

(2) 也可以通过特定的应用直接得到 UMTS QoS 参数。

(3) 如果 SDP 可用, 那么 SDP 参数应根据相应的规则来引导 UMTS 承载管理设置最大上下行比特率和上下行保证比特率。

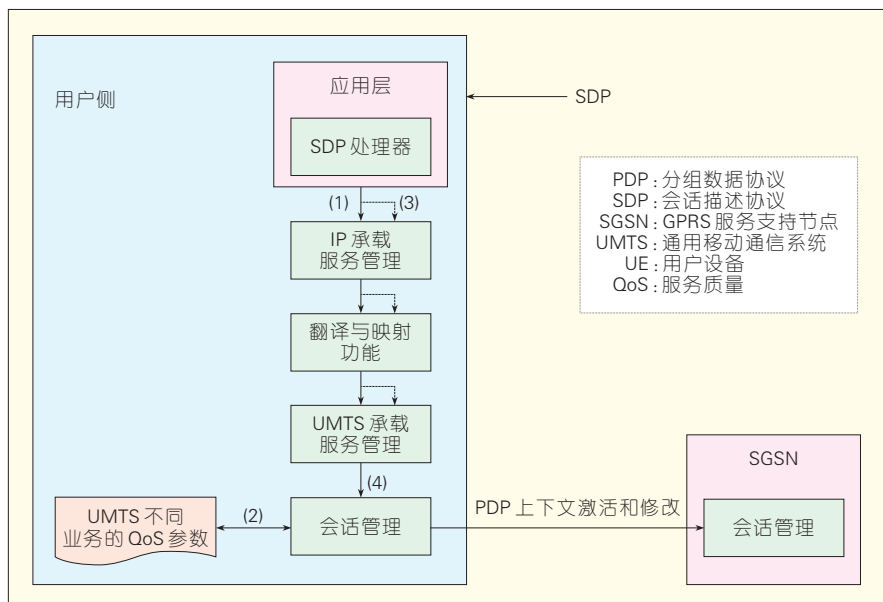
(4) 从步骤 1 或步骤 2 设置的 UMTS QoS 参数可能和步骤 3 得到的最大上下行比特率和上下行保证比特率合并在一起。其结果应是请求的 UMTS QoS 参数。UE 应检查请求的上下行保证比特率或请求的最大上下行比特率是否超过步骤 3 中的最大上下行带宽。此外, UE 还要针对相应的映射规则对最大数据流进行确定, 应确定请求的数据流没有超过最大授权的数据流。

图 5 是从 SDP 参数中得出最大上下行比特率和上下行保证比特率的映射过程。

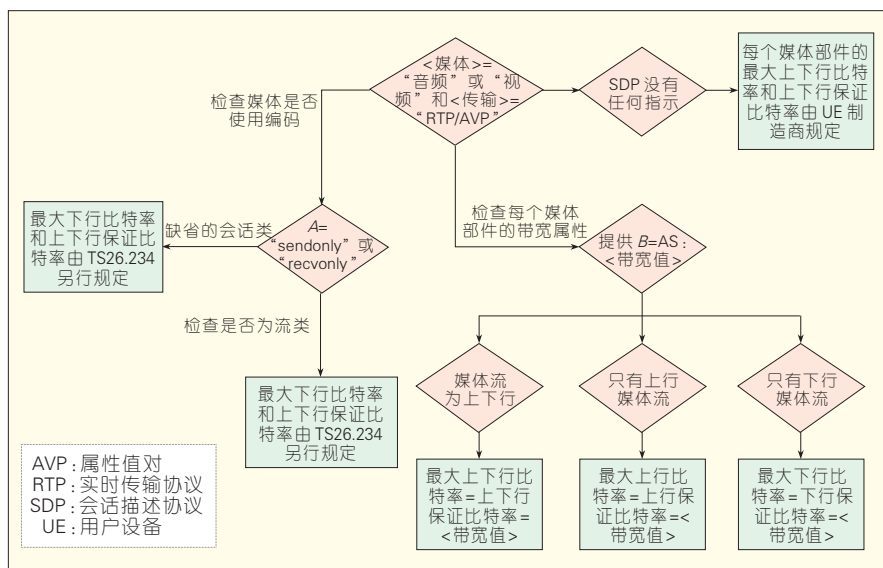
UE 首先查看 SDP 参数中的媒体类型和传输类型, 如果此值为缺省, 则最大上下行比特率和上下行保证比特率按照 UE 厂商制订。如 SDP 参数中存在编码指示 AVP 或媒体部件指示中存在带宽属性则针对不同的取值和情况算出最大上下行比特率和上下行保证比特率。

## 4 结束语

QoS 参数映射是极为复杂繁琐的过程, 需要各个层之间的交互和协商。作为 QoS 管理中最重要的一环, 在 3GPP 不断演进的过程中, QoS 参数映射也需要不断的完善和调整。现代电信网络是由不同的技术组成的, 每种技术都可以利用相应的算法和参数来满足性能的需求以实现不同的 QoS。目前面临的挑战是如何在异构网络中提供透明的端到端的 QoS 保证。这些挑战具体体现在:



▲ 图4 UE端生成QoS请求的框架



▲ 图5 SDP参数与最大上下行比特率和上下行保证比特率之间的映射

(1) QoS要求能够通过不同技术不同协议遍历从源到端的整个网络。

(2) QoS要求能够被每种具体的技术所接收和理解。在这里，服务质量可以有不同含义和解释，这主要取决于用户所使用的协议和网络功能。

(3) QoS要求应该由控制机制管理使得QoS要求能够被具体的技术映射到各层中去。

文章总结了3GPP架构中的参数映射过程，同时，我们也发现很多的

方面相关标准还未涉及到，比如针对异构网络之间的参数映射及应用新技术场景下（如中继，CoMP（协作多点传输）等）参数映射的规范等。此外，总结及了解QoS参数映射的规则也为下一步优化进而达到4G要求做出了准备。

## 5 参考文献

- [1] ITU-R M.2134. Requirements Related to Technical Performance for IMT—Advanced Radio Interface [S].2008.

- [2] MASRI W, MAMMERI Z. Mapping Density to Bandwidth in Tree-Based Wireless Sensor Networks[J].Telecommunication Systems, 2010,43(1/2):73–81.
- [3] CHANG Qian, SONG Junde, HOU Chunping. Study of QoS in UTRAN/CI//Proceeding of the 2002 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE'02), May 12–15, 2002, Winnipeg, Canada.Piscataway, NJ, USA:IEEE,2002:1605–1609.
- [4] DASILVA L A. QoS Mapping Along the Protocol Stack: Discussion and Preliminary Results[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications(ICC'00):Vol 2, Jun 18–22, 2000, New Orleans, LA, USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2000:713–717.
- [5] MARCHESE M, MONGELLI M. Vertical QoS Mapping over Wireless Interfaces[J]. IEEE Wireless Communications, 2009,16(2):37–45.
- [6] 3GPP TS 23.203. v10.1.0. Policy and Charging Control Architecture[S].2005.
- [7] 3GPP TS 29.213. v9.4.1. Policy and Charging Control Signaling Flows and Quality of Service (QoS) Parameter Mapping[S].2010.
- [8] CALHOUN P, LOUGHNEY J, GUTTMAN E, et al.Diameter Base Protocol[R]. IETF. RFC 3588.2003.
- [9] 3GPP. TS 29.214 v10.0.1. Policy and Charging Control over Rx Reference Point[S].2011.
- [10] CASNER S. Session Description Protocol (SDP)Bandwidth Modifier [R]. IETF. RFC 3556. 2003.
- [11] HANDLEY M, JACOBSON V, PERKINS C. SDP: Session Description Protocol[R]. IETF. RFC 4566.2006.
- [12] 3GPP TS 29.212. v10.0.0. Policy and Charging Control over Gx Reference Point [S].2010.
- [13] 3GPP TS 23.107.v9.1.0. Quality of Service (QoS) Concept and Architecture[S].2010.

收稿日期:2011-05-10

## 作者简介



孔祥祎,西安邮电学院本科毕业;现为西安邮电学院通信与信息系统专业在读硕士;主要研究方向为新一代宽带无线通信网。



赵季红,西安交通大学博士毕业;西安交通大学教授、博导;主要研究方向为移动互联网、新一代宽带无线通信网、网络的管理技术等;已发表论文100余篇。

# 宽带无线网络的新选择——Wi-Fi 分流

## A New Option for Broadband Wireless Network: Wi-Fi Offload

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0048-04

**摘要:** 以 iPhone 为代表的智能手机及笔记本电脑, 带来了爆发性的数据流量, 用 Wi-Fi 分流部分用户数据已渐成潮流。文章认为通过引入智能天线技术可以增强信号覆盖能力, 改良 AP/AC 能够减少切换时间, 引入 PMIP 从而提供 IP 移动, 使用相对透明 Wi-Fi 网络有利于提供新业务。文章提出一种无缝覆盖、无缝切换、满足中速移动的 Wi-Fi 热区, 大大分流了用户的 Internet 及其他数据, 而 2G/3G/LTE 网络则通过业务区分, 继续承载语音及其他高附加值业务。

**关键词:** 无缝覆盖; 无缝切换; Wi-Fi 热区; IP 移动; 开放网络接口

**Abstract:** Smartphones and laptop computers have brought about an explosion in data traffic, and using Wi-Fi to offload data flow has become a trend. This paper suggests that a smart antenna can enhance signal coverage, improved AP/AC can reduce handoff time, PMIP can provide IP mobility, and a relatively transparent Wi-Fi network can be used to provide new services. It proposes seamless coverage and handoff that satisfies medium-speed mobile Wi-Fi and greatly offloads Internet and data traffic. The 2G/3G/LTE network continues to carry voice and other high value-added business.

**Key words:** seamless coverage; seamless handoff; Wi-Fi hotspot; IP mobility; open system resource interface

魏元/WEI Yuan

(中兴通讯股份有限公司 中心研究院,  
江苏 南京 210012)  
(Central Research Institute, ZTE  
Corporation, Nanjing 210012, China)

2008 年, 数据流量在 Vodafone 网络首次超过语音流量, 之后每年翻一番, 而在下一个十年里, 数据流量将增长 300 ~ 500 倍 (Cisco 2008); iPhone 仅占全球智能手机销量的 17%, 但其网络浏览次数却达到全球的 65%; 在过去 3 年内, AT&T 的数据增长超过了 50 倍, iPhone 用户仅占 AT&T 总客户 3%, 但是却占用了 40% 的网络流量<sup>[1]</sup>。由此可以看出: 以 iPhone 为代表的智能手机及笔记本电脑, 带来了爆发性的数据流量。

与此同时, 在以 3G 技术和长期演进 (LTE) 技术提供的宽带无线接入服务中, 若将服务价格控制在大众可以接受的尺度, 则成本将大大超出收益, 这是运营商无法接受的。对于电信业界寄予厚望的 LTE, 其第一应用

场景是在室内, 这又与无线局域网 (Wi-Fi) 重叠, 而大量的终端已经内置了 Wi-Fi 功能, 所以对于室内无线网络而言, 具备低成本、大量终端优势的 Wi-Fi 技术具有强大的竞争力和吸引力。

新一代高速无线局域网 (WLAN) 标准 802.11n 已经于 2009 年 9 月定稿, 它以 600 Mbit/s 高速接入、多输入输出 (MIMO)、正交频分复用技术 (OFDM) 等优势特征, 使 Wi-Fi 能够构造室内外宽带无线互联网并大规模组网<sup>[2]</sup>。

文章描述一个支持 IP 移动的 Wi-Fi 热区, 它是独立成网的宽带无线网络, 而语音和其他高价值数据业务仍然可以途经 2G/3G/LTE 等电信网络, 以便电信运营商能够提供更好的

服务。

### 1 Wi-Fi 热区的构建

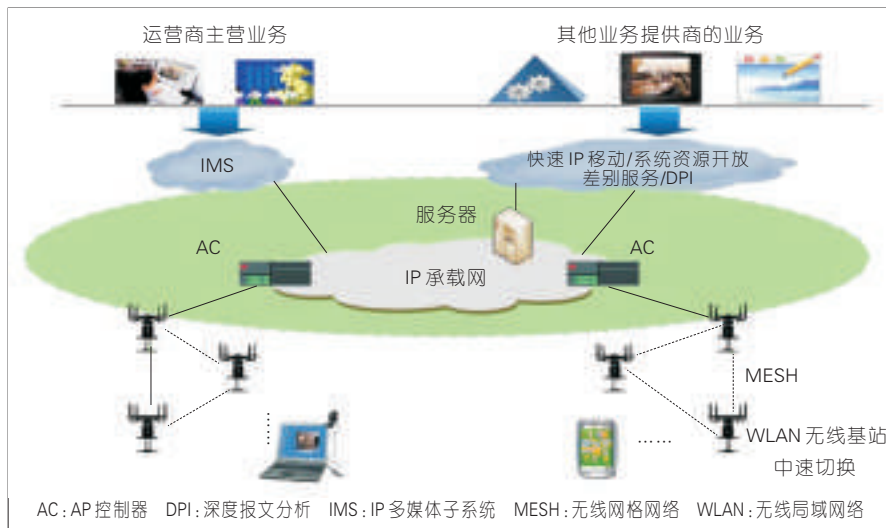
#### 1.1 Wi-Fi 网络

当前运营商主导的 Wi-Fi 网络, 由固网应用、笔记本电脑及热点构成, 它寄生于有线宽带网络中, 是原有电信网络的补充, 用于留住客户; 而 Wi-Fi 热区, 由移动应用、固网应用、手持终端/笔记本电脑及热区构成, 有线网络只作为承载网, 能够独立成网, 用于分流和新网络新业务。这样的网络, 将迎来手持终端、Wi-Fi 网络和业务良性发展, 如图 1 所示。

#### 1.2 统一以太网

以太网延伸到各个地方已成为不可阻挡的趋势, 和迅速成长、渗透到社会的各个方面的 Internet 一样, 以太网已经延伸到了网络的各个地方: 有线网络局域网 (Ethernet)、WLAN、EPON、城域网 (10G/100G Ethernet)、城际网 (100G Ethernet)<sup>[3]</sup>。

作为一种无线接入技术, 包分争用的 WLAN 非常适用于 Internet 数据业务, 由于无线/有线的全网无需媒体接入控制 (MAC) 层和 IP 层转换, 所以它的效率更高。以高效率、简单、



▲图1 Wi-Fi 热区系统结构

低成本的优势,以太网络在开放式系统互联(OSI)的分层模型中,恰如其分地担负了第二层的任务。统一以太网的优势在于<sup>[4]</sup>:

- 包分争用,最适合数据业务
- 统一的MAC包,没有转换开销
- 统一技术,因而实现简单、成本低廉

### 1.3 802.11n

802.11n 将能够为 WLAN 提供 100 ~ 600 Mbit/s 的速率,这一速率约比目前的 WLAN 快 10 倍,而且能与现有的 Wi-Fi 标准广泛兼容,并支持 PC、消费电子设备和移动平台等装置。802.11n 标称值较多,主要是因为信道带宽和 MIMO 的不同造成的,计算公式为:

802.11n 速率 = 12 × 信道带宽系数 × 空间流数 × 编码位数 × 编码率 × 防护时间间隔系数

具体的参数如表 1 所示。

- 信道带宽系数: 20 MHz 信道的带宽系数为 1, 40 MHz 信道的带宽系数为 2.25。

- 空间流数: 可以为 1、2、3、4, 必须小于等于传输天线数,并至少支持两条空间流。

- 编码位数: 64 QAM 为 6, 16 QAM 为 4, 四相相移键控信号(QPSK)

为 2, 二相相移键控(BPSK)为 1。

- 编码率: BPSK 为 1/2, QPSK、16 QAM 为 1/2 或 3/4, 64 QAM 为 2/3、3/4 或 7/8。

- 防护时间间隔系数: 800 ns 的系数为 1, 400 ns 的系数为 1.11

因此, 802.11n 产品将具有以下各速率: 100 Mbit/s 或 125 Mbit/s (2 × 2, 20 MHz), 200 Mbit/s 或 250 Mbit/s (4 × 4, 20 MHz), 300 Mbit/s 或 250 Mbit/s (2 × 2, 40 MHz), 500 Mbit/s 或 600

Mbit/s (4 × 4, 40 MHz)。当前的市场产品已经能够提供 3 × 3MIMO 以及 300 Mbit/s 的速率。

### 1.4 Wi-Fi 的无线覆盖能力

以往的 Wi-Fi 一直定位为近距离覆盖,但高达 4 × 4MIMO 则大大提高了 Wi-Fi 的无线覆盖能力,最新的测试表明:使用 2 × 2MIMO 和 500 nW 发射功率的接入点(AP),其覆盖能力可以达到空旷环境 1000 m (2.5 Mbit/s)及 500 m (5 Mbit/s),街道环境则可达 500 m (12 Mbit/s)。通过适当的规划, Wi-Fi 能够覆盖各种类型的地域(如表 2 所示)<sup>[5]</sup>。

### 1.5 MESH 技术

由于有线线路的部署、租用以及维护的代价非常高,都大大超过了 AP 本身,所以除了原先的固网运营商,上行链路采用无线方式是 Wi-Fi 网络运营商大规模部署 Wi-Fi 网络的必然选择。

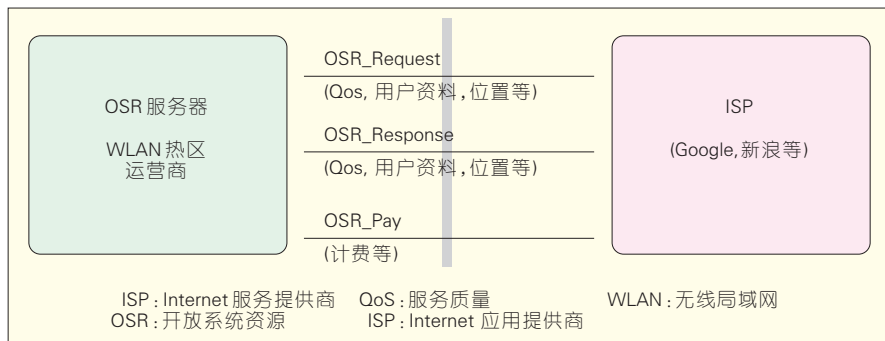
802.11s 定义了 MESH 的架构、安全和路由,采用 MESH 技术, AP 能够自动发现、加入、撤除,并根据带宽和业务的情况,自动连接到其他合适的

▼表 1 802.11n 的速率

MIMO	2 × 2MIMO		4 × 4MIMO		2 × 2MIMO		4 × 4MIMO	
频宽/MHz	20		20		40		40	
常数	12	12	12	12	12	12	12	12
信道带宽系数	1	1	1	1	2.25	2.25	2.25	2.25
空间流数	2	2	4	4	2	2	4	4
编码位数	6	6	6	6	6	6	6	6
编码率	0.875	0.75	0.875	0.75	0.875	0.75	0.875	0.75
防护时间间隔系数	1	1	1	1	1	1	1	1
理论速率/(Mbit/s)	126	108	252	216	283.5	243	567	486
MIMO: 多输入输出								

▼表 2 典型覆盖、穿越及切换时间

类别	覆盖形状	用户移动速度/(km/h)	全区穿越时间/s	邻区信号重叠时间/s
步行		4	720	45
汽车		40	270	34
		80	135	17
高速火车		300	120	15



▲ 图2 OSR系统结构

MESH AP<sup>[6]</sup>。

### 1.6 AP/AC 结构

为了适应大规模部署和管理的要求,AP已经简化为纯粹的无线控制执行点,而其他用户认证、用户策略、报文加解密、带宽管理、QoS管理、简式计费、快速移动、网管等功能,均放在其控制器AC上面,AP/AC结构类似于电信蜂窝网的基站/基站控制器。AP/AC之间的接口,采用标准化的CAPWAP协议,rfc5415定义了CAPWAP架构和原语,rfc5416定义了各种802.11控制功能。AC以上,是Wi-Fi网络的核心网,包括AAA、BOSS等各种服务器,可以提供认证、策略和计费等功能<sup>[7-8]</sup>。

### 1.7 PMIP 协议

支持移动IP是Wi-Fi网络必备的功能。由网络侧代为实现MIP Client的代理移动IP协议(PMIP),由于无需改终端,而在业界普遍应用<sup>[9]</sup>。将PMIP应用到Wi-Fi中,需要解决一些新的问题:

- 经过进一步的改进,终端的3层切换时间尚可减少30%左右。
- 即使实现新旧媒体访问网关(MAG)的三角路由,网络仍有丢包。
- 按照FPMIP协议:原MAG需要知道某个终端的去向,而新MAG需要知道某个新终端的出处,目前Wi-Fi网络没有机制满足这一需求。
- 因为用户报文被打包在MAG隧道中,MAG1、MAG3是某个组播的

组播复制点,STA1是该组播组成员,当STA1切换到某个并未加入该组播组的MAG时,需要研究保证STA1依然能够接收到组播报文,互联网工程任务组(IETF)于2009年夏天成立了Multimob WG,专门关注组播移动性,该组尚处于初始阶段。

网络的性能要求,与终端和业务是息息相关的。由于终端软件和硬件能力的飞速进步,许多业务的服务质量可以通过终端来实现,因此并不需要独占链路的、昂贵的电信网络高质量(QoS)。特别对于语音而言,Skype、QQ等使用的是来自Global IP Sound的iLBC解码器,该解码器速率可达到13.3 kbit/s,音质达到G.729,能容忍高达30%的丢包,并能解决IP网络所造成的延迟与抖动<sup>[4]</sup>。新一代语音编解码器的进步,使得802.11这种非同步开放系统,无需如传统电信网络那样复杂的时序与同步方法,就能实现优良的语音品质。同时,IETF已对此解码器制订标准<sup>[10]</sup>。

在开放系统的潮流下,Wi-Fi网络可具备很多开放接口,以便业务提供商开展新业务或提升为现有业务。

### 1.8 OSR 协议

一般情况下,运营商有很多用户,并知晓用户的状态,如:设备信息、用户定位信息、计费信息等;Internet服务提供商(ISP)拥有众多的内容和应用,是内容的拥有者;开放系统资源(OSR)将两者结合起来,使双方都有业务增长点。如图2所示,

运营商将一些用户信息提供给ISP供应商获利,而ISP供应商向用户提供新的业务,通过收费或通过更多用户访问来收取更多的广告费进行获利。

下面是一些应用场景:

(1) 定位信息:用户用手机访问Google,发送OSR\_Request,查询当前位置附近的咖啡馆,Google根据定位信息和关键字去搜索,将附近离用户最近的咖啡馆均搜索出来,并通过OSR\_Response反馈给该用户。

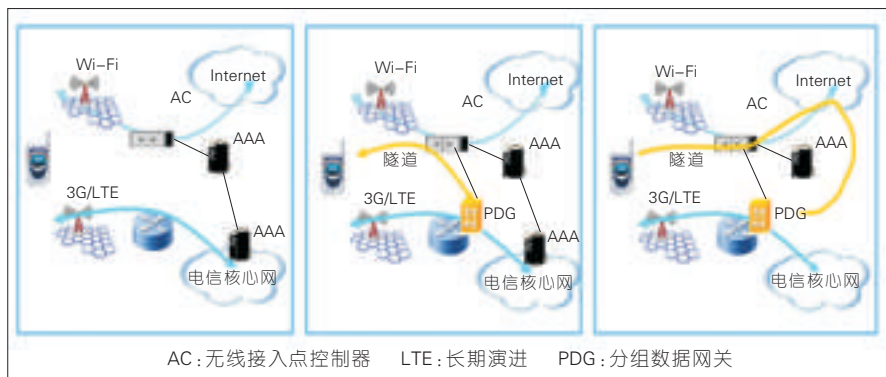
(2) 设备信息:ISP做广告时,可以根据终端能力的不同提供不同的广告内容,比如运营商通过OSR\_Response向ISP答复设备信息服务,则不管客户端是个人数字助理(PDA)、PC或手机,用户只要输入统一资源定位器(URL),就可以根据不同的设备得出不同的网页。

(3) QoS保证:现在很多的视频网站,是无法保证QoS的,在这种情况下,就可以基于OSR的QoS保证功能,在用户看视频的时候,如果选择了确保QoS,则将通过OSR接口发QoS保证消息来提供相应级别的QoS保证。

### 1.9 Wi-Fi热区相关标准

构建Wi-Fi热区,已经有基本齐备的相关标准,如下所示:

- IEEE 802.11n提供了更高的传输速率、更大的覆盖范围与更好的信号质量。
- IEEE 802.11e提供了一定程度的QoS保障机制。
- IETF MIF、NETEXT、MEXT WG从不同角度对多接口进行研究,包括终端对于不同接口的选择等。
- IETF Hokey工作组致力于Wi-Fi的快速二层切换,hokey相关机制与FPMIP、FPMIP协议的结合使用可以保证Wi-Fi终端的移动性需求。
- 3GPP TS23.234、TS29.234,互联结构规范,规定了Wi-Fi offload时的数据流向。
- 3GPP TS32.252、TS33.234,互联



▲图3 3种Wi-Fi分流场景

计费、安全规范。

## 2 Wi-Fi 分流的流向与策略

Wi-Fi 已是运营商用来承担移动数据业务、进行分流的主要手段之一,中国移动甚至提出并正在积极实施 2G/3G/LTE/WALN 四网合一的战略。随着用户无线数据流量的猛增,Wi-Fi 的地位日显重要,如何有效分流各种数据,并同时保证运营商的利益及保持对网络、终端和数据的控制力,需要研发各种新型分流技术,目前主要有 3 种方式(如图 3 所示)。

(1) 最初流向采取简单分流,即将所有用户数据直接分流,以减轻 3G 网络的负载。

- 数据分流:通过 Wi-Fi 网络直接从 AC 分流 Internet 业务,不增加核心网的负荷。

- 身份认证有以下两种方法:

- (a) 使用 Wi-Fi 身份认证信息,由 Wi-Fi AAA 完成

- (b) 使用 SIM 卡信息,转由 3G AAA 完成

(2) 为了抓住高价值的业务,就需要部分业务仍然经过自有的核心网。

- 低价值业务的数据通过 Wi-Fi 流向 Internet。

- 高价值业务通过内部隧道经分组数据网关(PDG),再进入 3G/LTE 核心网。

- 高价值业务的区分策略,由系统在必要时下载给终端,此策略尚未标准化。

(3) 在没有 Wi-Fi 网络的地方,需从第三方 Wi-Fi 网络分流。

高价值业务由 Internet 的隧道经 PDG,再进入 3G/LTE 核心网,其他和以上两种方式相同。

分流策略也是一个关系重大的选择。电信业传统的策略表是用户加业务,这样导致了系统实现非常繁杂,而用户未必需要这样细的颗粒度服务。电信业另一个传统是一切选择保持在网络侧,即在运营商手中。

所以,将 Wi-Fi 分流的部分选择权交给用户也是一种积极的思路。如按照不同流向制订不同套餐,用户可根据自己的需要和资费,来决定使用何种通道和流向。

## 3 结束语

经过多种技术改良,Wi-Fi 技术已能构建热区,但并不能支持移动性。虽然通过各种方式,3G 网络内部也能分流,但 Wi-Fi 分流是空中立即分流,不占用 3G 频谱,因此才能支持未来的无线宽带<sup>[11]</sup>。分流并不是卸掉包袱。业务分流可使低价值业务直接从 Wi-Fi 网络分流,而运营商通过 PDG 开展高价值数据业务。Wi-Fi 网络可以自建或与第三方签约,而便捷上网和 EAP-SIM 统一认证,将极大地方便用户,便于运营商黏住用户。

以 iPhone 为代表的手持终端迅猛增长了数据流量,因此使用 Wi-Fi 网络分流 Wi-Fi 终端产生的数据流量是

合理的和彻底的方案。文章提出的综合 Wi-Fi 分流解决方案,能够使用户高速无线上网、支持移动性,并全方位满足运营商分流需求。

## 4 参考文献

- [1] GHOSAL A. Mobile Data Offload Can Wi-Fi Deliver[R]. IntelliNet Technologies Inc,2010.
- [2] IEEE Std 802.11n. IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications-Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput [S]. 2009.
- [3] IEEE Std P802.3ba/D3.0. 40Gb/s and 100Gb/s Ethernet Comments. Draft 3.0 Comments[S]. 2009.
- [4] The iLBCfreeware.org. What is iLBC? [EB/OL]. <http://www.ilbcfreeware.org/>.
- [5] 郑小华. WLAN 区域覆盖的探讨[J]. 电信工程技术与标准化, 2004(2): 12-15.
- [6] IEEE Std P802.11s/D0.01. IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications-Amendment 10: Mesh Networking [S]. 2009.
- [7] CALHOUN P, MONTEMURRO M, STANLEY D. Control and Provisioning of Wireless Access Points (CAPWAP) Protocol Specification [R]. IETF RFC 5415.2009.
- [8] CALHOUN P, MONTEMURRO M, STANLEY D. Control and Provisioning of Wireless Access Points (CAPWAP) Protocol Binding for IEEE 802.11[R]. IETF RFC 5416.2009.
- [9] GUNDAVELLI S, LEUNG K, DEVARAPALLI V, et al. Proxy Mobile IPv6 [R]. IETF RFC 5213.2008.
- [10] 刘乃安. 无线局域网(WLAN)—原理、技术与应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2004.
- [11] 夏侯允德. 3G 与 Wi-Fi, 一个都不能少[J]. 数字通信, 2010,37(1):20-22.

收稿日期:2010-06-09

### 作者简介



魏元,东南大学毕业;现就职于中兴通讯中心研究院,从事 Wi-Fi 与 IP 移动网络研究,目前主持江苏省科技成果转化专项资金项目“支持 IP 移动的 WLAN 基站及其核心网设备”的研发;主要研究领域为支持 IP 移动的大规模 Wi-Fi 网络;申请发明专利 5 项,发表论文 10 篇。

# 1588v2 在电信网应用的标准化进程

## Standardization of 1588v2 for Application in Telecommunication Networks

中图分类号: TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0052-06

**摘要:** 文章介绍了 1588v2 在电信网领域应用的背景、需求和主要标准组织 ITU-T 的相关工作进展, 包括频率同步应用和时间同步应用。通过分析目前 1588v2 电信应用规范中的热点问题, 如影响 1588v2 频率恢复性能的网络分组延时变化(PDV)指标、1588v2 端到端频率传送的应用场景和协议规范, 提出 1588v2 在电信网络部署的可靠性、可管理维护等特点和基本思路, 并对未来标准化需要解决的问题进行总结。

**关键词:** 精确定时协议; 1588v2; 网络分组延时变化; 全球导航卫星系统

**Abstract:** This article introduces the requirements of 1588v2 for application in telecommunication networks and discusses 1588v2 standardization in the ITU-T with reference to frequency and time/phase synchronization. Issues affecting the application of 1588v2 include network Packet Delay Variation (PDV) limits (which impact 1588v2 frequency recovery), and application scenarios and specifications for 1588v2 end to end frequency transmission. This paper also discusses the characteristics and basic thought of 1588v2 in telecommunications deployment. Problems arising during standardization are discussed in conclusion.

**Key words:** precision time protocol; 1588v2; PDV; Global Navigation Satellites System

宿飞/SU Fei

何力/HE Li

李争齐/LI Zhengqi

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳  
518055)

(ZTE Corporation, Shenzhen 518055, China)

## 1 1588v2 规范的介绍

### 1.1 1588v2 的产生背景

在工业测量和控制等应用领域, 目前大量使用基于网络通信和本地计算的分布式系统。为了确保分布式终端如传感器、驱动器和其他器件等能够实现精确的数据采集、运行控制等实时性任务, 需要整个系统具有统一的参考时间, 并且应该使所有分布式终端的本地时钟与该系统时间保持同步。分布式终端与系统时间的同步需要依靠某种通信协议完成, 为了使不同的系统器件和网络设备提供商之间互联, 美国电气和电子工程师协会(IEEE)于 2000 年开始开发针对工业测量和控制应用领域的标准同步协议——精确时间同步协议(简称 PTP 或 1588)。1588 满足

该领域的特殊需求, 即: 分布式环境、微秒或亚微秒精度、无需管理、可应用于各种类型的终端器件(高成本或低成本)<sup>[1]</sup>。

随着来自其他应用领域同步需求的日益增长, IEEE 在 2002 年发布了 1588 的第一版本。在此基础上, 针对其他应用领域的特点, 开发了具有增强特性的版本, 并于 2008 年正式发布, 即 IEEE 1588™-2008, 简称 1588v2。1588v2 可以满足包括测量与控制、工业自动化、军事、工业制造、电力系统以及电信系统等众多领域对频率和时间同步的需求。文章主要关注 1588v2 在电信网络中的应用和标准化的情况。

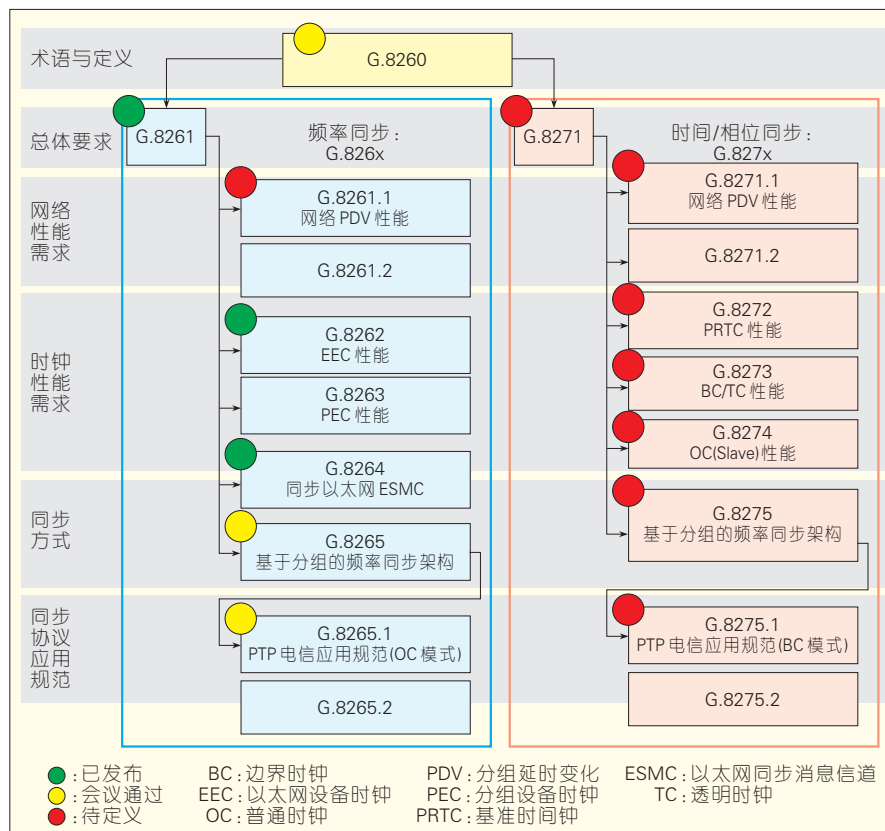
1588v2 规范中的一些特性是基于电信网络环境的需求而开发的, 如: 增加了边界时钟(BC)和透明时钟

(TC)的 PTP 时钟类型以及适用于不同时钟类型的路径延迟测量机制, 从而在大规模组网时能有效减少网络延迟带来的同步精度下降, 同时增加了 PTP 网络的扩展性和组网的灵活性。1588v2 还支持单播通信模式以及单播协商机制, 从而为 1588v2 的应用从本地局域网环境向广域网环境的扩展提供了条件。此外 1588v2 具有很好的 PTP 时钟协议容错能力, 从而保证 PTP 系统的稳定运行, 并且可以通过最佳主时钟算法(BMCA)和 PTP 自身的管理机制, 实现 PTP 网络的保护和配置。

国际电信联盟电信标准化局(ITU-T)是制订包括 1588v2 电信应用规范在内的分组网络同步与定时技术规范的主要国际标准组织, 具体工作由 Q13/15 负责。ITU-T 分组网络同步的总体标准框架如图 1 所示。目前已经成熟的规范主要针对频率同步应用, 包括已经正式发布的 G.8261/G.8262/G.8264 同步以太网系列规范、预发布的 G.8260/G.8265/G.8265.1 基于分组的频率同步网络及 1588v2 电信应用系列规范。

### 1.2 1588v2 的应用需求

以时分复用模式(TDM)为交换核

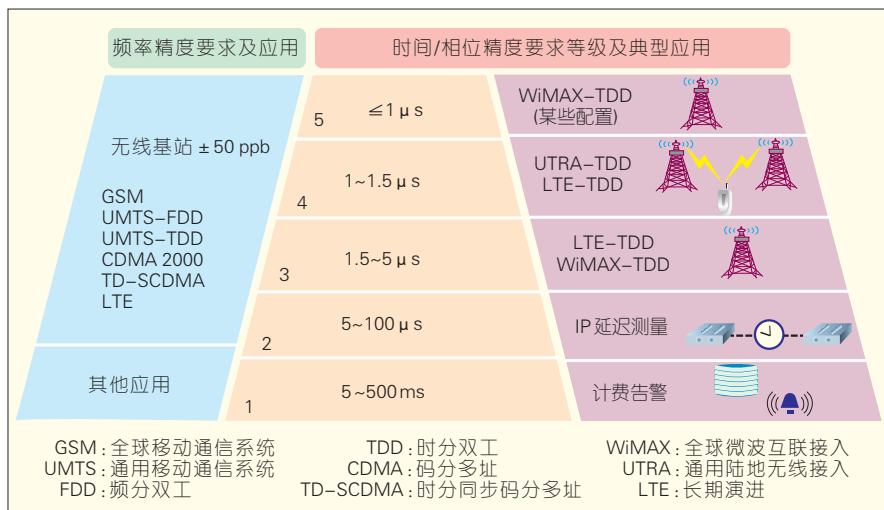


▲图1 ITU-T Q13/15分组网络同步标准框架

心的城域传送网络,如同步数字体系(SDH)、准同步数字体系(PDH)在承载以语音为主的2G移动业务时,由于网络自身同步的特点,可以很好满足业务的同步需求。同时,移动接入网络(RAN)的终端设备(基站)可以从TDM线路获得参考定时信号,满足空口的同步需求。由于3G移动技术的驱动,城域传送网络的分组化趋势已不可避免,因此解决TDM业务时钟的透明传送和网络参考时钟的传递是传送网分组化过程中需要解决的重要课题。同时,采用时分双工(TDD)模式的3G移动系统需要空口之间保持精确的时间或相位同步。在1588v2问世之前,只有通过安装全球导航卫星系统(GNSS)接收机获取世界协调时间(UTC)来进行同步。分组化设备通过实现PTP功能,并以主从方式保持与系统参考频率或时间(由时间服务器设备提供)的同步,从而避免了大量使用GNSS接收设备带

来的诸多问题。

图2给出了ITU-T定义的频率和时间/相位同步需求等级及典型应用,其中无线系统对时间/相位同步的要求根据不同的部署模式会有所差异。在一般情况下,图2中所示的3~5等级的时间精度需求是选择



▲图2 频率和时间/相位同步需求等级及典型应用

1588v2的主要目的<sup>[2]</sup>。

## 2 1588v2 频率同步

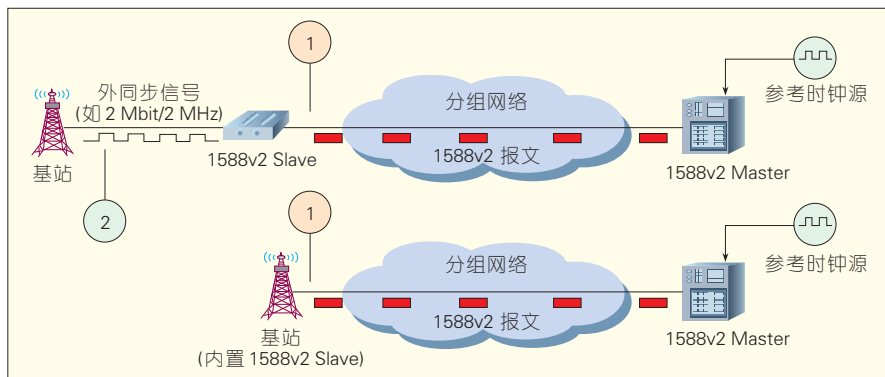
### 2.1 1588v2 频率同步的应用场景

对于频率同步,可靠的方式是采用同步以太网组建频率同步网,为终端设备分配定时。目前主流的分组设备都支持同步以太网组网功能,但是一些较早部署3G应用的移动运营商以及租用其他运营商的网络承载业务的移动运营商,其网络设备不支持同步以太网,或者不能在短期内升级到同步以太网,因此唯一的选择是通过基于分组的频率传送技术为终端设备提供参考定时信号。

由于早期的分组设备同样不支持PTP功能,即网络的中间结点不能实现BC或TC时钟模式。因此对移动运营商来说,可行的方式是在接入侧部署独立的PTP从时钟设备(PTP Slave),与核心侧的PTP主时钟设备(PTP Master)进行同步,并通过外部接口向基站输出参考定时,或者部署内置PTP Slave的基站,直接接收PTP Master报文进行频率恢复<sup>[3]</sup>。具体如图3所示。

### 2.2 1588v2 频率同步的性能要求和影响因素

如图3所示,在第一种部署方式



▲图3 1588v2频率同步的应用场景

下,PTP Slave恢复的频率信号通过外同步接口传递给基站,为了满足空口时钟 $\pm 50$  ppb的要求,参考点2处PTP Slave输出的外同步信号的长期频偏要求远低于 $\pm 50$  ppb,一般要求至少低于 $\pm 16$  ppb(ITU-T G.812 Type I时钟的要求)。同时,传统的频分双工(FDD)基站通过E1业务接口提取的时钟作为射频模块的参考时钟,因此参考点2处的时钟频率短期性能应至少满足ITU-T G.823 traffic的限值要求<sup>[4]</sup>。

对第二种部署方式,内置的PTP Slave只需要满足基站空口的 $\pm 50$  ppb的频偏要求,不需要满足短期稳定性的限值,因此对PTP Slave实现条件的约束放宽。

参考点2的物理时钟性能与PTP Slave频率恢复算法和本振晶体的稳定性有直接关系,而频率恢复算法对参考点1处PTP报文的分组延迟变化(PDV)有所响应,从而使PDV的稳定性与输出物理时钟的频率稳定性之间存在某种相关性。运营商在部署1588v2频率同步应用时,面临的主要风险是PDV随机性对频率恢复性能的影响。导致PDV随机性的因素包括网络流量变化、不同分组技术的报文转发延迟特性的差异等。实际应用中,运营商和厂家提出通过对PDV的测量和某种量度指标的确定,给出网络的某种PDV量度的限值指标。如果网络产生的PDV符合该量度的限值指标时,输出的频率性能可以满足

足要求(如图2中的参考点2)。

物理定时信号的短期稳定性通常用最大时间间隔误差(MTIE)和时间偏差(TDEV)等指标进行量化,其时域特征分别反映了信号的最大相位误差和相位噪声分量相对于观测时间的变化。对于分组定时信号的PDV,可以采用相似的量度进行描述,但在误差值的抽样上与物理定时信号有所不同:物理定时信号的误差函数一般具有静态期望值和正态分布的特征,可以进行均匀的抽样;而分组信号的误差函数通常具有非静态的期望值和非正态分布的特征(如图4所示)<sup>[5]</sup>。因此,在使用相似的工具计算PDV量度时,需要对报文延迟的抽样

值进行预处理,即在所有接收到的定时报文中根据某种规则选择部分报文进行计算,滤除非稳态PDV的影响,如图5所示<sup>[5]</sup>。

根据实际网络延迟特性具体情况的不同,常用的报文的选择方式有以下几种<sup>[5]</sup>:

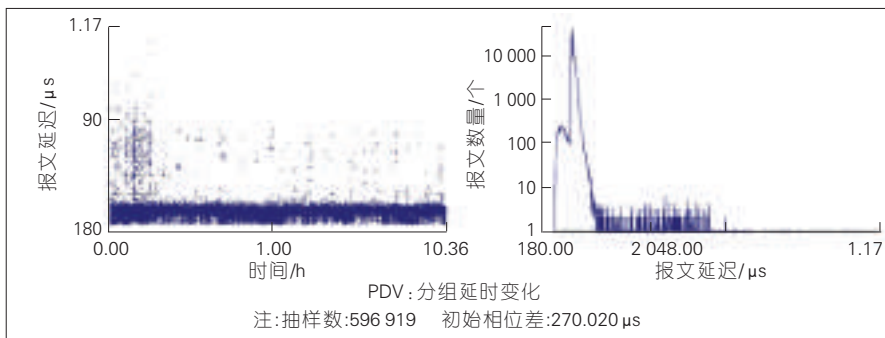
最小值报文选择:即选择某个观测时间间隔内延迟最小的报文。

百分比报文选择:即选择某个观测时间间隔内具有最小延迟的一部分报文并对延迟做平均值处理。

区段报文选择:即在某个观测时间间隔内,按照报文延迟由小到大的顺序,选择某一段延迟范围内的报文并做平均值处理。

集群报文选择:在某个观测时间间隔内,选择相对延迟比较集中的一组报文并做平均值或其他平滑处理。延迟参考点的选择可根据不同情况而定,例如可以选择接近底部延迟的点或者其他区域的点,也可以在当前观测时间间隔之外的抽样点中选择。

百分比报文选择和最小值报文选择的原理是假设某段时间内网络延迟都有一个下限值,称为底部延迟;报文选择的依据是筛选出位于或



▲图4 分组延迟的样本及统计分布示例

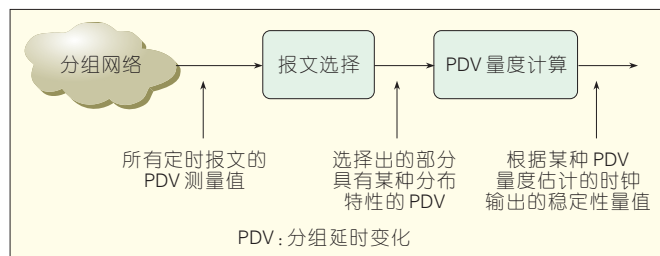
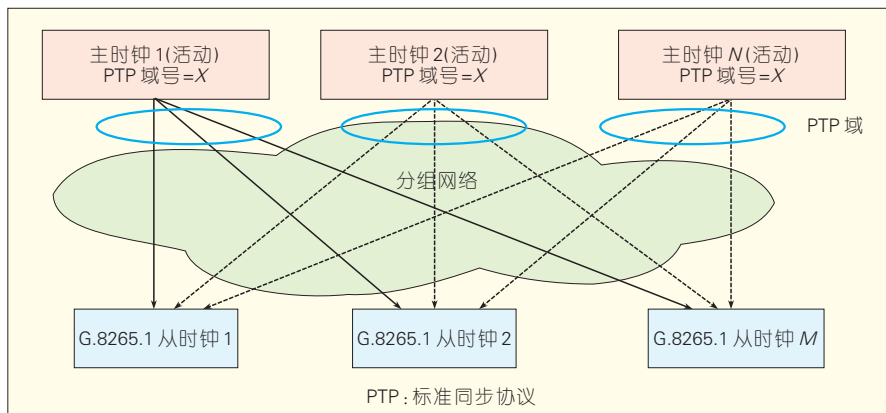


图5  
定时报文预处理过程



▲图6 G.8265.1 的应用场景

接近底部延迟的一系列报文；区段报文选择是百分比报文选择的一般情况，当选择接近底部延迟的区段时，即为百分比报文选择，也可以选择接近于最大延迟的区段或其他中间区段等。

根据报文选择方式的不同，可以应用不同的PDV量度并对网络的PDV稳定性进行量化，进而推断出输出物理时钟是否满足相应的稳定性指标（如MTIE，TDEV）。目前分组时钟领域主要研究的PDV量度包括：minTDEV，percentileTDEV，bandTDEV（简称xTDEV）和最大平均时间间隔误差/最大平均频率误差（MATIE/MAFE）等。其中xTDEV是根据TDEV的定义演变而来，MATIE/MAFE是根据MTIE的定义演变而来，其实质是在计算TDEV和MTIE前对报文延迟的抽样值进行了不同的预处理，同时为了减少计算次数，可以采用固定窗口代替交叠窗口的模式。与TDEV的性质相似，xTDEV给出了对预处理后的报文延迟噪声分量的抑制情况，从而估计物理时钟输出的相位噪声特性；而MATIE/MAFE反映了预处理后的报文延迟变化的最大值和变化频率，适用于估计物理时钟输出的最大相位偏差和频率偏移<sup>[6]</sup>。由于报文选择方式及PDV量度与频率恢复的具体实现相关，从目前的分析和测试来看，PDV量度与物理时钟的输出性能之间并没有普遍严格的对应关系，而

各种PDV量度也不能反映所有网络PDV变化的情况。因此各种PDV量度及相应网络限值模板的定义、PTP Slave对PDV的容限以及PDV量度与物理时钟输出的关系还需进一步讨论，相关内容将在ITU-T G.8261.1和G.8263中进行规范和描述。

### 2.3 1588v2 频率同步在电信网应用的协议规范

为了满足当前某些移动运营商对1588v2穿越普通分组交换网络，并提供端到端参考时钟传送的迫切需求，ITU-T首先制订了第一个1588v2在电信网应用的规范G.8265和G.8265.1。其中G.8265对一般的基于分组方式的频率同步架构进行描述，G.8265.1对1588v2的应用模式和协议属性进行了具体规范和说明。

根据G.8265的要求，基于分组方式的频率同步网络应满足以下基本需求<sup>[7]</sup>：

- 能够实现Master与Slaver之间互通。
- 能够满足广域电信网络可管理的运营要求。
- 能够实现与现有基于SDH频率同步网络和同步以太网网络的互操作。
- 能够实现可配置的固定时钟模式。
- 保护机制必须符合传统的电信运营规则，Slave应能从地域分布不

同的Master中选择合适的时钟源。

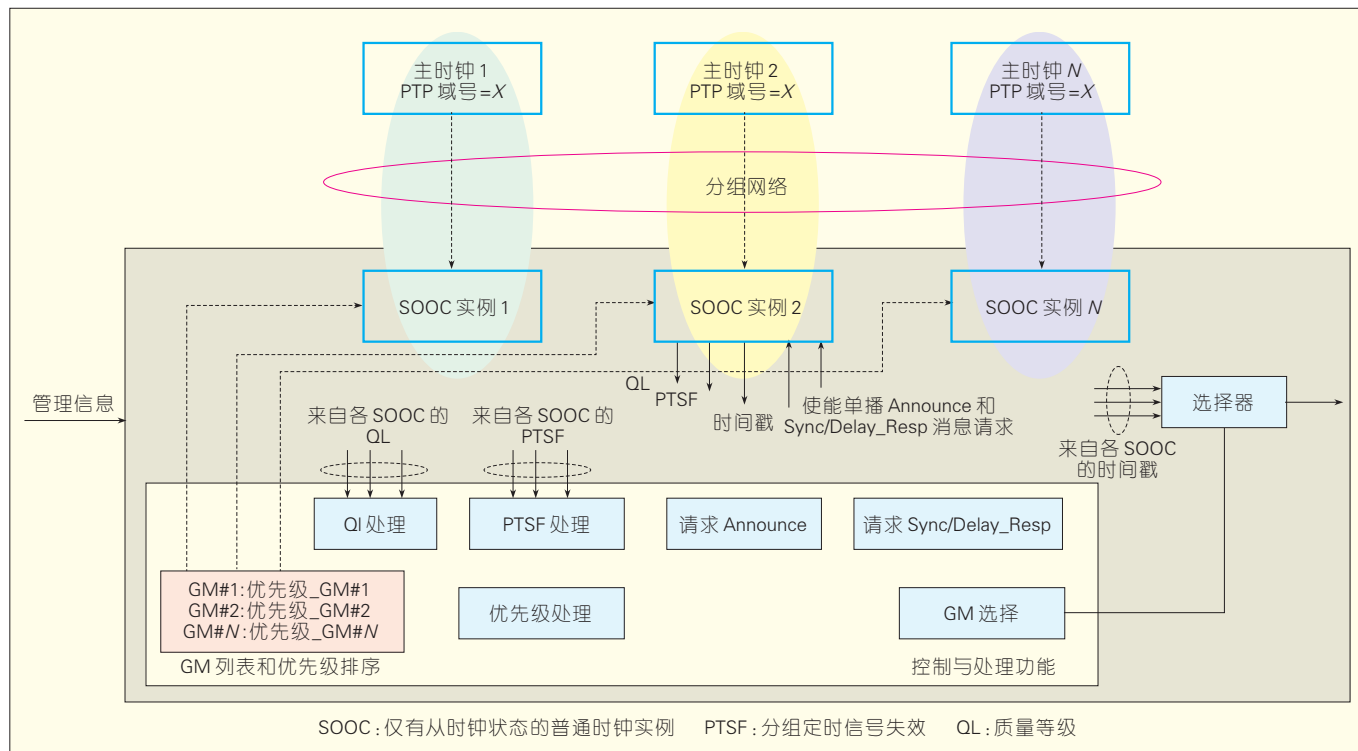
- Slave的时钟源选择应与现有的物理层时钟选择机制保持一致，即允许基于时钟质量等级（QL）和优先级的选择。

- 允许同步协议使用标准网络安全机制（如VLAN等）确保同步网络的完整性。

满足G.8265.1规范的具有PTP Slave功能的设备也称之为Telecom Slave，而PTP Master等效于Grandmaster(GM)设备。在一个G.8265.1的网络中存在多个处于活动状态的GM，且不同域之间的GM不能相互通信。Telecom Slave通过预先配置的GM单播地址请求GM的服务，GM收到请求后应答，建立单播连接，因此防止了某个GM向其他GM扩散PTP消息，实现了PTP域的隔离，如图6所示<sup>[8]</sup>。

另外，一个Telecom Slave可以同时与网络中的多个处于活动状态的PTP Master进行通信，即每个Telecom Slave可以属于不同的PTP域。同样，Slave对Master的选择和协议交互是在同一个域内进行，这就需要对Telecom Slave进行PTP域的隔离。具体做法是在Telecom Slave内部允许存在多个PTP实例，每个实例逻辑上相当于一个独立的OC，称之为仅有从时钟状态的普通时钟实例(SOOC)实例，每个SOOC实例通过最佳主时钟算法选择出该域内唯一的GM，并始终处于Slave状态之中，具体的情况如图7所示<sup>[8]</sup>。

Telecom Slave根据已配置的GM列表，使能SOOC的单播请求（包括Announce消息和Sync/Delay\_Resp消息），GM接受请求后向SOOC发送Announce和Sync/Delay\_Resp消息。Announce消息携带了GM的clockClass属性值。G.8265.1使用PTP协议保留的clockClass属性值（80~110），并通过clockClass映射到相应的QL，标识GM



▲ 图7 Telecom Slave的功能模型

可溯的时钟源质量等级,从而保证时钟路径上QL的传递和物理层同步设备进行基于QL的时钟源选择,实现PTP频率同步网络和物理层频率同步网络的互操作。

如果SOOC在某约定时间内未收到Announce或Sync/Delay\_Resp消息,SOOC则产生分组定时信号失效(PTSF)告警,并触发Slave进行时钟源倒换或进入保持模式。

除了PTP消息接收超时外,当PTP报文的PDV不能满足Slave的容限要求时也需要产生PTSF告警,从而触发Slave切换到其他GM或进入保持模式,但目前PDV容限的定义和触发倒换的时延等参数还需要进一步研究。

每个GM列表中的GM都预先分配一个优先级,用于人工干预GM的选择。优先级的具体分配原则可以参见ITU-T G.781的规范。

Slave在当前无PTSF告警的信号中选择QL最佳的GM。如果QL值相同,则选择预置优先级较高的GM,并

将被选择的GM的时间戳信息输出到频率恢复单元。

### 3 1588v2时间同步应用的标准化

目前ITU-T在1588v2时间同步的电信网应用规范上进展比较缓慢,原因是欧洲主要运营商(法国电信、英国电信、德国电信等)已经部署的3G系统不需要高精度的时间同步,而规模部署长期演进(LTE)尚需时日。相比之下,中国运营商(如中国移动)正处于3G的规模商用阶段,正逐渐部署和扩展3G网络。以时分同步码分多址(TD-SCDMA)和码分多址2000(CDMA 2000)技术为代表的3G系统需要微秒级的时间同步精度,为了摆脱GPS授时的制约因素并配合中国自主研发的卫星授时系统(北斗)的产业化进程,中国运营商与各厂家联合对1588v2在3G backhaul网络的时间同步方面做了大量验证测试、试验网部署和标准化工作,已经形成了较完善的企业标准并全力推动中国行业

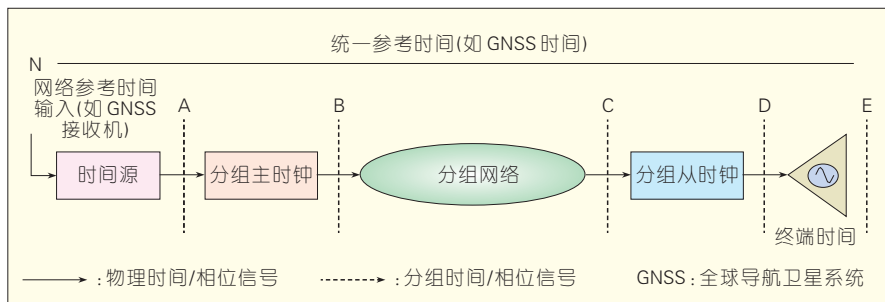
标准的制订。基于中国对1588v2时间同步的测试和试运行经验,目前ITU-T初步定义了时间同步网络的性能参考模型,如图8所示<sup>[9]</sup>。整个时间分配路径由以下几部分组成:

(1) 基准时间钟(PRTC),可以是独立设备或者是分组主时钟的一个功能模块,可以从某外部授时系统获取具有标准时标的网络参考时间,例如通过GNSS接收机获取源于UTC的时间,或者依靠本地时钟的稳定运行产生参考时间信号(可以是非标准的时标)<sup>[10]</sup>。

(2) 分组主时钟从PRTC获取网络参考时间并产生带有时间戳信息的分组定时信号。分组主时钟与PRTC的时间同步通过物理时间接口(如1PPS+ToD)实现。

(3) 分组从时钟,根据分组主时钟提供的分组定时信号同步本地时间。

(4) 终端设备,可以集成Packet Slave的功能,或者从分组从时钟的物理时间接口(如1PPS+ToD)获得时间信息。



▲ 图8 时间同步性能分配参考模型

终端设备需要的时间精度和稳定性指标通常用相对于网络参考时间的误差表示,即图8中参考点E与N之间的误差。以各测量参考点为界,可以将整个时间分配路径上的误差进行分配,如参考点A或B与N的误差是由PRTC(如卫星接收机)产生的;C或D与N之间的误差包含了PRTC的误差和网络产生的误差;E与N之间的误差除以上两者外包含了终端设备自身产生的误差。网络产生的误差是影响性能的主要因素,为了获得微秒级的同步精度,需要网络中的所有节点支持具有硬件时戳能力的时间传递功能,如1588v2的BC或TC功能。以TD-SCDMA为例,终端(基站)时间同步的误差要求小于 $\pm 1.5 \mu\text{s}$ ,网络分配的误差不能超过 $\pm 1 \mu\text{s}$ 。

## 4 结束语

1588v2作为一种有效的实现频率和时间传送的技术,在电信领域的受到广泛的关注,其标准和产品日趋成熟,运营商已在全球范围内进行了

反复的测试及现网试运行,未来商用前景广阔。但在规模部署1588v2的同时,一些关键问题如频率同步性能指标与PDV量度指标的关系、时间同步中延迟非对称性的自动补偿等还需要进一步研究。此外,1588v2在多种传送技术(如OTN, PTN, xPON/xDSL)混合组网情况下的应用、多运营商域情况、1588v2的协议安全性等问题也是需要考虑的。

## 5 参考文献

- [1] IEEE1588-2008. IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems[S].2008.
- [2] ITU-T G.8261/Y.1361.Timing and Synchronization Aspects in Packet Networks[S].2008.
- [3] JOBERT S. Challenges with PTPv2 Slaves Performance Testing and Network PDV Characterization[C]//Proceedings of the 7th Time & Synchronisation in Telecoms Symposium (ITSF'09), Nov 3-5, 2009, Rome, Italy.2009.
- [4] FDD node B CES Wander Requirements for G.8261 Deployment Case 2, Application B [C]// ITU-T Q13/15 Meeting, Apr, 2008, Miami, FL, USA. 2008.
- [5] Latest Draft of New Recommendation G.8260 (for consent) [C]// ITU-T SG15 Meeting, May 31-Jun 11, 2010, Geneva, Switzerland.2010.

- [6] xTDEV/MAFE Definitions and Usage for G.8260 Appendix[C]// ITU-T Q13/15 Meeting, Mar 2010, San Jose, CA, USA. 2010.
- [7] Architecture and Requirements for Packet Based Frequency Delivery (for consent) [C]// ITU-T SG15 Meeting, May 31-Jun 11, 2010, Geneva, Switzerland.2010.
- [8] IEEE1588™ Profile for Telecom (frequency delivery without support from network nodes) (for consent) [C]// ITU-T SG15 Meeting, May 31-Jun 11, 2010, Geneva, Switzerland.2010.
- [9] G.pactiming-bis (G.8271) latest draft ITU-T SG15 Meeting, May 31-Jun 11, 2010, Geneva, Switzerland.2010.
- [10] YD-T 2022-2009. 时间同步设备技术要求 [S].2009.

收稿日期:2011-05-21

## 作者简介



宿飞,英国 Strathclyde 大学通信与信号处理专业硕士毕业;现任中兴通讯标准部高级课题经理,从事网络同步方面的技术和标准研究;已提交国际会议提案40余篇,参与制订4项中国行业标准。



何力,中国科学技术大学信号处理专业硕士毕业;现任中兴通讯承载网规划系统部系统工程师,从事网络同步方面的技术研究;负责的时钟时间团队获2009年中兴通讯差异化竞争技术创新一等奖;参与提交7个国际会议提案、10篇专利,并发表3篇时钟方向的论文。



李争齐,复旦大学数学系硕士研究生毕业;现任中兴通讯承载网产品规划系统部系统工程师;从事过SDH、MSTP及PTN产品的研发工作;提交专利10篇。

## 综合信息

### 中兴通讯 ZXR10 T8000 率先完成“100G 以太网路由器业务部署”

【本刊讯】2011年6月14日,中兴通讯宣布其自主研发芯片的100G集群路由器顺利通过“EANTC 100G以太网路由器性能和扩展性独立测试项目”的严格检测,成为首家通过欧洲高级网络测试中心(EANTC)100G测试的厂家,再度领先下一代超高速路由技术领域。一个

月前,中兴 ZXR10 T8000 平台(M6000-16)也顺利通过 EANTC 此项测试。

作为中兴通讯技术创新战略的核心成果之一, T8000 IP 平台产品于2009年面市,在这个平台上诞生了 T8000 集群路由器和 M6000 宽带多业务网关(BMSG)产品,以满足 Internet、运营商骨干和城域网核心节点的需求,构建扁平化网络,实现统一承载网的平滑演进。

# 光正交频分复用技术及其应用

1

陈章渊, 李巨浩, 杨川川

(北京大学, 北京 1000871)

[编者按] 正交频分复用(OFDM)是一种多载波调制技术, 用来解决各种无线和有线通信系统中因信道色散引起的符号间干扰问题。近年来的研究表明 OFDM 在光纤通信方面也极有前途, 可以用于超大容量的长距离光纤传输、可变带宽光交换和 100 Gbit/s 高速光接入。本讲座将分 3 期对该技术进行介绍: 第 1 期讲述光正交频分复用的发展历史、基本原理和在光传输方面的应用; 第 2 期将介绍基于光正交频分复用的高速光接入; 第 3 期将介绍利用光正交频分复用实现的可变带宽光交换。

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 04-0058-05

## 1 光正交频分复用的发展

**正**交频分复用(OFDM)<sup>[1-2]</sup>是多载波调制技术的一种, 可以有效地解决由色散信道引起的符号间干扰(ISI)问题, 能够广泛地用于各种宽带无线和有线通信中。这种抗色散能力在强调高速、宽带能力的今天显得尤为重要。

OFDM 的概念最早是贝尔实验室的 R.W. Chang 于 1966 年提出的。其他的一些 OFDM 关键技术包括: 1969 年 Weinstein 等提出的用逆离散傅里叶变换(IDFT)/傅里叶变换(DFT)实现 OFDM 的调制和解调; 1980 年提出的循环前缀技术。这 3 个关键概念构成了 OFDM 的基础<sup>[2]</sup>, 后两项技术对于 OFDM 的实用化非常关键。1995 年 Telatar 和 Foschini 关于多天线的系统的工作为现行 OFDM 所具有的良好抗色散能力和扩展能力奠定了基础。

OFDM 技术早期主要限于军事通信系统, 在宽带应用方面发展很缓慢, 原因在于 OFDM 所需的高速、复杂计算能力是当时的集成电路难以做到的。从 20 世纪 80 年代起, 人们开始考虑将 OFDM 用于无线系统和

宽带有线系统, 例如 1985 年贝尔实验室的 Cimini 建议将 OFDM 用于移动通信, 1987 年法国的 Lassalle 和 Alard 提出将 OFDM 用于无线电广播, 1991 年斯坦福大学的 Cioffi 等人证明 OFDM 在数字用户线路(DSL)方面很有潜力。同时, 随着超大规模集成电路的发展, OFDM 终于开始进入应用。1995 年 OFDM 首先成为欧洲数字音频广播(DAB)标准。目前, 采用了 OFDM 调制技术的重要标准包括欧洲数字视频广播(DVB)、无线局域网(Wi-Fi)(IEEE 802.11a/g)、无线城域网(WiMAX)(802.16e)、非对称数字用户线(ADSL)(ITU G.992.1)和第四代移动通信的长期演进(LTE)技术<sup>[3-4]</sup>。

但是 OFDM 在光通信方面的应用却很晚。最早的工作出现在 1996 年, 但一直到 2001 年人们才注意到 OFDM 最重要的优点是抗色散能力在光纤通信中的价值。因为多模光纤的色散与无线通信系统中多径衰落类似, 它使人们首先想到的是将 OFDM 移植到多模光纤中来抵抗色散的影响。在单模光纤系统中, OFDM 主要用来实现超大容量长距离传输, 包括采用直接光检测的光 OFDM 和

基于相干光检测的光 OFDM(CO-OFDM)。最近 NEC 美国实验室实现了 101 Tbit/s OFDM 系统<sup>[5]</sup>, 在单模光纤上传输了 165 km, 其中采用了偏振复用和 128 QAM 调制, 谱效率高达 11 BPS/Hz。北京大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室利用 OFDM 的一个变种, 即单载波频分复用(SCFDM), 实现了 1 Tbit/s 超级通道信号可以在单模光纤上传输 160 km。近来基于多输入多输出(MIMO)技术的相关研究也取得进展, 它可以同时利用多模光纤或少模光纤中的不同空间模式(相当于增加了一个自由度), 进一步增大 OFDM 传输容量。例如, 澳大利亚墨尔本大学的谢伟教授实验室在双模光纤上实现了 107 Gbit/s 相干光通信<sup>[6]</sup>。这里需要说明的是: 光纤通信里广泛使用的光频分复用(FDM)/波分复用(WDM)技术与文章介绍的 OFDM 是有区别的。

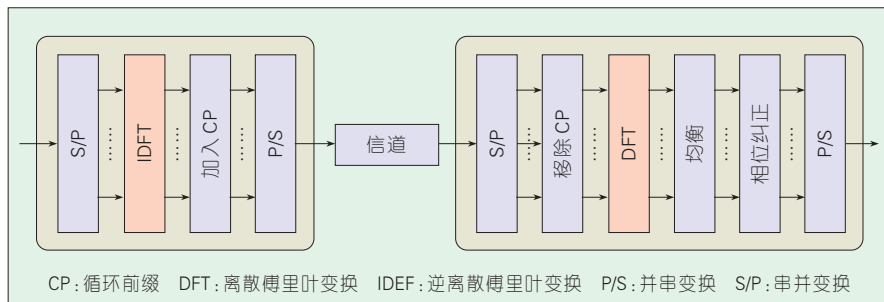
OFDM 在光通信的另一个重要应用是高速光接入。无源光网络(PON)是最主要和最有潜力的光接入方式, 主流的技术包括以太无源光网络(EPON)和千兆无源光网络(GPON), 同

时 10 Gbit/s PON 已经开始大规模商用,更高速率的下一代 PON 标准在研究制订中。NEC 提出一种基于 OFDM 的无源光网络(OFDM-PON)<sup>[5]</sup>,利用数字信号处理(DSP)的优势,可以实现很灵活的 100 Gbit/s 超高速光接入,包括动态的带宽指配、高度可重构性、更低的成本。

在光网络方面,NTT 提出一种可以实现高谱效率和带宽灵活可变的弹性光网络<sup>[6]</sup>,其中两项核心技术是采用基于光 OFDM 的可变速率收发器,以及利用波长选择性开关(WSS)和多个光子载波之间的正交性实现带宽可变交叉连接。这种带宽可交换网络可以实现从亚波长粒度到超波长粒度的动态带宽交换,这是过去波分复用光网络中波长交换难以达到的目标。相比之下,OFDM 在光纤传输和高速光接入的应用前景已经很明朗,但在可变带宽交换方面还有较长的路要走。

## 2 OFDM 系统基本架构

图 1 是典型的 OFDM 系统架构。其中 IDFT 和 DFT 分别是发射机和接收机中的主要单元。在发射机中,输入的串行数据首先变换成许多并行子数据流(S/P),分别调制到相应的子载波上,不过这个调制过程是利用 IDFT 实现的,这同时保证了子载波间的正交性。并行子数据流经 IDFT 后变成了数字时域信号,然后再加进循环前缀(CP),经并串变换(P/S)和数模转换器(DAC)变成实时波形,形成 OFDM 码元。组帧时通常还要加入同步序列和信道估计序列,以便于接收机进行突发检测、同步和信道估计。由此产生的基带信号,可以用 IQ 调制器上转换到一个适当的射频(RF)通带或光波上。在接收机中,OFDM 信号用 IQ 解调器下转换到基带,用模数转换进行采样,再经串并转换,去掉循环前缀后,用 DFT 进行解调,完成信号处理,再并串转换恢复出串行数据信号。



▲图1 OFDM通信系统架构

在上述架构中,快速傅里叶变换(FFT)采用允许各子载波重叠排列,同时保持正交性,不需要像传统频分复用那样加入保护带来减少相邻载波的串扰,因此极大地提高了频谱利用效率。

循环前缀技术对于 OFDM 的实用化非常关键。利用循环前缀,任何由线性色散信道引起的畸变都可以很简单地用“单抽头”均衡器纠正,避免 ISI 和载波间干扰(ICI)。其基本原理如下:色散引起两个 OFDM 符号间出现延迟,接收时在一个 DFT 窗口里看到的是某个 OFDM 符号有一小段移出了窗口。虽然可以加入保护时间间隔消除 ISI,但这样在一个 DFT 窗口里有一段非逆傅里叶变换产生的波形,将破坏子载波间的正交性,从而产生 ICI;循环前缀就是将 OFDM 符号的一段“拷贝”到保护时间间隔里,相当于作周期性的延伸,代替因色散延迟移出 DFT 窗口的那一段波形,从而完全消除 ISI 和 ICI。

## 3 OFDM 光纤传输系统

OFDM 应用到光通信远比无线和宽带(电)有线通信晚,主要原因是 OFDM 依赖于 DSP,只有到 DSP 芯片能够处理高速率信号时,实时的光 OFDM 系统才有可能实现。

传统无线和有线 OFDM 系统与传统的强度调制直接检测(IM-DD)光纤通信系统之间存在某些根本区别。典型的电 OFDM 系统中,信息加载在电场上,信号可以是双极性的,接收时通常采用相干检测;而传统的 IM-DD

光纤通信系统中,信息加载在光波强度上,是单极性的,接收时采用直接检测。由于集成电路的发展,目前基于 DSP 的相干光检测系统发展非常迅速,一个本振光与信号经混频后在光检测器中拍频,拍频成分经 DSP 处理恢复出数据。

光 OFDM 的实现方式可以大致分成两类<sup>[7]</sup>:第一类技术适用于接收多个不同光模式的系统,这些系统包括光无线通信系统、多模光纤通信系统、塑料光纤通信系统等,这些系统中的 OFDM 信号应该用光信号的强度进行表述;第二类技术适用于接收单个光模式的系统,即单模光纤通信系统,该系统中的 OFDM 信号应该用光场进行表述。下面介绍 3 种具有代表性的光 OFDM 系统<sup>[8]</sup>。

### 3.1 采用强度调制的光 OFDM 系统

采用强度调制的光 OFDM 广泛应用于光无线传输系统之中。OFDM 的高频谱效率、高功效以及只需简单的频域均衡这一系列优点已经被一系列宽带无线传输标准采用,包括高清晰度电视(HDTV)、DSL、Wi-Fi 和 WiMAX。OFDM 调制格式可以在提高系统性能的同时拥有较低的成本。例如,NEC 美国实验室在 2008 年的美国光纤通讯展览会(OFC)上报道了 10 Gbit/s 的光无线 OFDM 系统传输实验<sup>[7]</sup>。已报道的研究结果表明,和 OOK 调制格式相比,OFDM 这种新型调制格式在抗无线信道中的随机湍流、不利大气条件等方面表现出更好的性能,OFDM 是下一代光无线传输

系统非常有竞争力的调制格式<sup>[8-14]</sup>。

无线光 OFDM 同样是一种多载波方案,将高速数据流分为低速的数据流,调制到窄带的子载波上传输出去。这些窄带子载波数据流传输时遭受的畸变远低于高速信号,而且所需的信号处理可以在 RF 域完成。基本的传输结构是:发送数据经过串并转换后进行多元调制。调制后的信号首先进行离散傅立叶变换产生 OFDM 信号,然后进行并串转换转化为串行数据,加上循环前缀后,通过激光器将基带信号调制到光载波上,随后经过一定距离的光纤传输后,通过自由空间光天线发射出去,再经过无线信道传输后,在收端由自由空间光天线将无线信号接收下来,接着经过光纤信道传输,在接收机通过光电转换器进行光信号解调,得到基带 OFDM 信号,之后进行 OFDM 信号解调,去掉循环前缀,进行串并转换,执行快速傅立叶变换,进行信道均衡以调制格式解调最后输出。

在光无线 OFDM 系统中,接收机中接收到多个光模式将使系统表现为在光强上是线性的,因此 OFDM 信号必须表示为强度信号,这意味着调制信号应当为正实数。但基带 OFDM 信号通常是复数的和双极性的,因此需要产生实 OFDM 信号。文献[15]报道了几种单极性 OFDM 信号格式:直流偏置的光 OFDM 信号(DCO-OFDM)和非对称限幅 OFDM 信号(ACO-OFDM)。

### 3.2 采用线性光场调制的光 OFDM 系统

该类 OFDM 光纤传输系统可以分为直接检测的光 OFDM 系统(DD-OFDM)和 CO-OFDM 系统。从发展历程来看,早在 2001 年,光通信领域就已开始注意 OFDM 技术的价值,并对此进行了大量的研究。初期的研究中 OFDM 发射机所使用的调制器为电吸收调制器<sup>[15]</sup>。后来发展为利用马赫-曾德尔(MZI)结构的强

度调制器来进行电光转换,并且接收端采用直接检测的方式<sup>[16]</sup>。随着 DSP 技术的发展,相干技术重新成为人们关注的焦点<sup>[17-18]</sup>。

在 DD-OFDM 系统中,电发射机产生的信号用一个强度调制器进行调制,这里调制的 OFDM 信号是已经频谱搬移到中频的信号。

对于 CO-OFDM 系统,可以采用的发射机结构有两种。一种是直接调制的方法:就是将产生的基带 OFDM 信号利用 IQ 调制器直接进行电光转换。这种方法的有两种好处:不需要在发射和接收端外加一个镜像滤波器来滤除一个边带;极大地减小了发射和接收机中所需的电带宽。在 OFDM 信号的传输系统中,调制器和信号发生器的带宽限制了所能发送信号的带宽,也就是在同等调制格式下的信号速率。第二种调制方法类似直接检测系统中的先将 OFDM 信号利用一个电 IQ 调制搬移到中频上,再将此中频信号利用一个强度调制器转换到光域。在接收端的相干接收时也可以分别采取直接下变频和间接下变频的方法。每种发射机结构都可以与任意一种接收机结构配套使用,所以 CO-OFDM 系统一共有 4 种架构。

DD-OFDM 接收机相对简单,它将光载波携带的 OFDM 信号送入 PD 进行光电检测,并送入接收机中进行接收。但是为了避免干扰,一些光频率无法使用。这个缺点一般通过在光载波和 OFDM 子载波间插入保护带宽来解决。但是这样就会降低频谱效率,并且 DD-OFDM 系统需要更多的传输光功率。

CO-OFDM 系统在接收端额外需要一个激光器产生本地光载波,接收到的信号要与本振一起送入 90° 光混频器中,混频得到多个分支信号并送入平衡接收机进行接收。CO-OFDM 系统对相位噪声更加敏感,并且引入了频偏估计等问题;但由于本振光的放大作用,提高了接收机的灵敏度,

因此更加适合超长距离传输。相对于 DD-OFDM 系统,CO-OFDM 系统最大的优点在于可以有效地恢复信号除强度之外的相位、偏振等所有信息,配合如今快速发展的 DSP 技术,十分方便地对信号进行各种均衡。由于 OFDM 信号对于色散和偏振模色散(PMD)的高容忍度,在 CO-OFDM 系统中就可以去掉在线的光学色散补偿(如色散补偿光纤),在接收端利用 DSP 技术进行补偿。

在实际应用中,有一点需要特别指出。在 DD-OFDM 系统中,由于我们考虑的是电场与光强的转换关系,所以从 MZ 调制器的传递函数可以看出,最佳线性偏置点是在正交点;而对于 CO-OFDM 系统来说,考虑的对象就变成了电场与光场之间的转换关系,此时 MZ 调制器最佳线性偏置点是在谷点,也就是功率最小处。

目前的发展趋势客观要求我们不但要追求更高的传输速率,还要追求更大的频谱效率,因此 CO-OFDM 的发展更加迅猛。近几年国际上有很多实验室陆续实现了 1 Tbit/s 的 CO-OFDM 传输实验,例如墨尔本大学的谢伟教授实验室、贝尔实验室、日本 NTT 公司等很多国际知名科研机构<sup>[19-21]</sup>。目前中兴通讯在 OFC 2011 会议上报道了单通道 11.2 Tbit/s 的 CO-OFDM 传输实验<sup>[22]</sup>。在各种超过 1 Tbit/s 的超级通道实验中,关键在于如何产生满足速率要求的多个正交光子载波。由于电器件带宽所限,一个光载波上的信号一般只能达到几十、甚至 100 Gbit/s,所以往往要实现无保护间隔的多波带 OFDM 系统来提高速率。产生多个光载波的方式有将多个激光器频率锁定、循环移频、相位-强度调制器串联以及光梳等<sup>[23-24]</sup>。德国卡尔斯鲁厄工学院的 D. Hillerkuss 等最近利用单个光梳光源实现了 26 Tbit/s 线速的 OFDM 超级通道传输实验<sup>[23]</sup>,其中的光梳是利用锁模激光器输出经高非线性光纤产生的,这是目前用单个光源实现的最

高线速。

### 3.3 MIMO-OFDM 光通信系统

随着社会对信息需求爆炸式的增长,低成本、超高速、超大容量、超长距离光纤传输系统越来越成为人们的追求目标。要更有效地利用石英单模光纤的 THz 带宽资源,实现更低成本、更高谱效率的传输,比较可行的途径是使用高阶的调制格式以及偏振复用等。最近的研究表明,在单模光纤上传输的信道容量已即将达到基本的香农极限了。为了突破这一限制,有效的办法是使用 MIMO 的信号传输方式。在无线通信中,MIMO-OFDM 系统已经从理论研究过渡到了商业应用。由于无线信道会引入严重的多径色散,MIMO 的传输方式经常和 OFDM 结合使用。

MIMO 技术目前已经应用于自由空间光通信,但是不一定结合使用 OFDM 调制方式。这是因为无线光通信中色散并不是一个主要的问题,OFDM 在抑制色散方面的良好性能并不能表现为一个优势。在光纤传输系统中,人们更关注 MIMO 技术在多模光纤传输中的潜力。A.Tarighat 等人在 2007 年发表在 Communication Magazine 中的论文中提出<sup>[24]</sup>的信息论表明,通过增加空间模式,多模光纤(MMF)或者是少模光纤(FMF)可以通过 MIMO 的传输方式提高光纤容量。在 MMF 或者 FMF 中,使用 MIMO 技术必须解决多个传输模式之间群速度色散的问题。在此背景下,MIMO 技术和 OFDM 技术联合使用,就具有非常明显的优势<sup>[25-29]</sup>。在 OFDM 技术中,加入循环前缀是非常有效的抑制码间串扰的方法。

MIMO 技术在单模光纤传输系统中的另一项成功应用是与偏振复用结合,从而使系统容量加倍。具体方式是利用单模光纤信道中的两个正交偏振方向,分别在发射端正交的两个偏振模式上调制传输信号,然后通过偏振合束器耦合进入光纤信道,并

在接收端通过偏振分束(或光混频)以及数字信号处理将两路正交偏振态上的信号进行分离,最后依据不同的调制格式进行解调。在这种背景下,MIMO 也叫做偏振复用。2007 年澳大利亚墨尔本大学谢伟教授课题组在首先提出单模光纤传输系统中使用 MIMO-OFDM 技术<sup>[30]</sup>。目前 MIMO-OFDM 技术已经被广泛地研究和使用的。例如在 2011 年的 OFC 大会上,NEC 美国实验室报道了在  $3 \times 55$  km 单模光纤上使用 PDM-128 QAM-OFDM 调制实现了 101.7 Tbit/s 的传输容量<sup>[3]</sup>。

### 3.4 光 OFDM 系统的缺点

当然 OFDM 系统也有许多缺点,主要包括峰均比问题,对频偏、相噪及 IQ 不平衡的敏感等问题。

在无线 OFDM 系统中,峰均比过高会导致信号在电放大时出现非线性;在长距离光纤传输中,OFDM 峰均比过高会在光纤中引起克尔非线性效应,特别是有色散补偿的链路中更明显。因此有必要采取某些限幅措施,减小 OFDM 信号峰均比过高带来的非线性问题<sup>[31-35]</sup>。

另一个降低峰均比高影响的方法是采用 OFDM 的一种变形结构 SCFDM。SCFDM 原是移动通信 LTE 中的上行传输标准,因为是单载波调制,峰均比较低。SCFDM 与 OFDM 的抗色散性能相当,但非线性容限更好。因此,在此基础上我们完成了 100 Gbit/s SCFDM 信号在标准单模光纤上传输 1 850 km,以及 1 Tbit/s 的 SCFDM 超级通道在标准单模光纤上传输 160 km 的实验。(待续)

## 4 参考文献

- [1] SHIEH W, DJORDJEVIC I. OFDM for Optical Communications [M]. Burlington, MA, USA: Academic Press/Elsevier, 2010.
- [2] ARMSTRONG J. OFDM for Optical Communications [J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27(3): 189-204.
- [3] JINNO M, TAKARA H, KOZICKI B, et al. Spectrum-Efficient and Scalable Elastic Optical Path Network: Architecture, Benefits,

and Enabling Technologies [J]. IEEE

Communications Magazine, 2009, 47(11): 66-73.

- [4] CVIJETIC N, QIAN D, HU J. 100 Gb/s Optical Access Based on Optical Orthogonal Frequency-Division Multiplexing [J]. IEEE Communications Magazine, 2010, 49(7): 70-77.
- [5] LI A, AMIN A A, CHEN X, et al. Reception of Mode and Polarization Multiplexed 107-Gb/s CO-OFDM Signal Over a Two-Mode Fiber [C]//Proceedings of the Conference on Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'11), Mar 6-11, 2011, Los Angeles, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: PDPB8.
- [6] QIAN D, HUANG M, IP E, et al. 101.7-Tb/s ( $370 \times 294$ -Gb/s) PDM-128QAM-OFDM Transmission over  $3 \times 55$ -km SSMF Using Pilot-Based Phase Noise Mitigation [C]//Proceedings of the Conference on Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'11), Mar 6-11, 2011, Los Angeles, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: PDPB5.
- [7] CVIJETIC N, WANG T. WiMAX over Free-Space Optics-Evaluating OFDM Multi-Subcarrier Modulation in Optical Wireless Channels [C]//Proceedings of the IEEE Sarnoff Symposium, Mar 27-28, 2006, Princeton, NJ, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006: 4p.
- [8] CVIJETIC N, QIAN D, WANG T. 10Gb/s Free-Space Optical Transmission Using OFDM [C]//Proceedings of the Conference on Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'08), Feb 24-28, 2008, San Diego, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 3p.
- [9] ALAVI S E, REZAIE H, SUPA'AT A S M. Application of OFDM on Integrated System of Visible Free Space Optic with PLC [C]//Proceedings of the IEEE Asia Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE'10), Nov 9-11, 2010, Port Dickson, Malaysia. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 5p.
- [10] ZHAO Li, LEI Zhiyong, REN Anhu, et al. Research on Light Polarization FSO-OFDM System [C]//Proceedings of the 1st International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE'10), Jun 25-27, 2010, Wuhan, China. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2010: 4552-4555.
- [11] BEKKALI A, BEN NAILA C, KAZAURA K, et al. Transmission Analysis of OFDM-Based Wireless Services Over Turbulent Radio-on-FSO Links Modeled by Gamma-Gamma Distribution [J]. IEEE Photonics Journal, 2010, 2(3): 510-520.
- [12] DIMITROV S, HAAS H, CAPPITELLI M, et al. On the Throughput of an OFDM-Based Cellular Optical Wireless System for an Aircraft Cabin [C]//Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP'11), Apr 11-15, 2011, Rome, Italy. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: 3089-3093.
- [13] MARINOS D, AIDINIS C, SCHMITT N, et al. Wireless Optical OFDM Implementation for Aircraft Cabin Communication Links [C]//Proceedings of the 5th IEEE International

- Symposium on Wireless Pervasive Computing (ISWPC'10), May 5-7, 2010, Modena, Italy. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2010:465-470
- [14] FRED A M M, MURRAY J M, Low-complexity Blind Timing Synchronization for ACO-OFDM-Based Optical Wireless Communications[C]// Proceedings of the 2010 IEEE GLOBECOM Workshops(GC Wkshps), Dec 6-10, 2010, Miami, FL, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010:1031-1036.
- [15] Tong Z, Yang Q, Ma Y, et al. 21.4 Gb/s Coherent Optical OFDM Transmission Over 200 km Multimode Fiber[J]. Electronics Letters, 2008, 44(23): 1373-1374.
- [16] LOWERY A J, ARMSTRONG J. 10 Gbit/s Multimode Fiber Link Using Power-Efficient Orthogonal-Frequency-Division Multiplexing[J]. Optics Express, 2005, 13(25): 10003-10009.
- [17] WAN Renwei, TONG Zhengrong, XIE Xiaofang, et al. Research on Adaptive Modulation Algorithm of Multimode Fiber Communication System Using Coherent Optical OFDM[C]// Proceedings of the 2010 International Conference on Communications and Mobile Computing (CMC'10): Vol 2, Apr 12-14, 2010, Shenzhen, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 26-29.
- [18] MA Yiran, TANG Yan, SHIEH W. 107 Gb/s Transmission Over Multimode Fiber with Coherent Optical OFDM Using Center Launching Technique[C]// Proceedings of the 35th European Conference on Optical Communication (ECOC'09), Sep 21-23, 2009, Vienna, Austria. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009:2p.
- [19] GUO Y X, PHAM V H, YEE M L, et al. Performance Study of MB-OFDM Ultra-Wideband Signals Over Multimode Fiber[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Ultra-Wideband (ICUWB'07), Sep 24-26, 2007, Singapore. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: 429-431.
- [20] EZRA B, LEMBRIKOV Y, RAN B I, et al. Experimental and Theoretical Investigation of the Multiband OFDM Ultra-Wideband Radio Over Multimode Fiber Transmission [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Ultra-Wideband (ICUWB'08), Sep 10-12, 2008, Hannover, Germany. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008:55-58.
- [21] PIZZINAT A, URVOAS P, CHARBONNIER B. 1.92 Gbit/s MB-OFDM Ultra Wide Band Radio Transmission over Low Bandwidth Multimode Fiber[C]// Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'07), Mar 25-29, 2007, Anaheim, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: OThM6.
- [22] TANG J M, LANE P M, SHORE K A. Transmission Performance of Adaptively Modulated Optical OFDM Signals in Multimode Fiber Links [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2006, 18(1): 205-207.
- [23] JIN X Q, TANG J M, QIU K, et al. Statistical Performance Comparisons of Optical OFDM Adaptive Loading Algorithms in Multimode Fiber-Based Transmission Systems[J]. IEEE Photonics Journal, 2010, 2(6): 1051-1059.
- [24] JIN X Q, TANG J M, QIU K, et al. Statistical Investigations of the Transmission Performance of Adaptively Modulated Optical OFDM Signals in Multimode Fiber Links[J]. Journal of Lightwave Technology, 2008, 26(18): 3216-3224.
- [25] FRANZ B, SUKAT D, DISCHLER R, et al. High Speed OFDM Data Transmission over 5 km GI-Multimode Fiber Using Spatial Multiplexing with 2 x 4 MIMO Processing [C]// Proceedings of the 36th European Conference on Optical Communication (ECOC'10), Sep 19-23, 2010, Turin, Italy. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 3p.
- [26] TANG J M, LANE P M, SHORE K A. High-Speed Transmission of Adaptively Modulated Optical OFDM Signals over Multimode Fibers Using Directly Modulated DFBs [J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(1): 429-441.
- [27] WATANABE R, HORIUCHI Y, TANAKA H, et al. Optical Modulation Characteristics of 5.8 GHz OFDM Signal with Electro-Absorption Modulator[C]// Proceedings of the 2002 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP'02), Nov 5-8, 2002, Awaji, Japan. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2002: 221-224.
- [28] SHIEH W, BAO H, TANG Y. Coherent Optical OFDM: Theory and Design[J]. Optics Express, 2008, 16(2): 841-859.
- [29] SHIEH W, YI X, MA Y, et al. Coherent Optical OFDM: Has Its Time Come? (Invited) [J]. Journal of Optical Networking, 2008, 7(3): 234-255.
- [30] YU Jianjun, DONG Ze, XIAO Xin. Generation, Transmission and Coherent Detection of 11.2 Tb/s (112 x 100 Gb/s) Single Source Optical OFDM Superchannel [C]// Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'11), Mar 6-11, 2011, Los Angeles, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: PDP6.
- [31] QIAN D, YU J, HU J, et al. 10 Gbit/s WDM-SSB-OFDM Transmission over 1000 km SSMF Using Conventional DFB Lasers and Direct-detection[J]. Electronics Letters, 2008, 44(3): 223-224.
- [32] SHIEH W, Q YANG, MA Y. 107 Gb/s Coherent Optical OFDM Transmission over 1000-km SSMF Fiber Using Orthogonal Band Multiplexing [J]. Optics Express, 2008, 16(9): 6378-6386.
- [33] JANSEN S L, MORITA I, SCHENK T C W, et al. Long-Haul Transmission of 16 x 52.5 Gb/s Polarization-Division-Multiplexed OFDM Enabled by MIMO Processing (Invited) [J]. Journal of Optical Networking, 2008, 7(2): 173-182.
- [34] DISCHLER R, BUCHALI F. Transmission of 1.2 Tb/s Continuous Waveband PDM-OFDM-FDM Signal with Spectral Efficiency of 3.3 bit/s/Hz over 400 km of SSMF[C]// Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'09), Mar 24-26, 2009, San Diego, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: PDP2.
- [35] MASUDA H, YAMAZAKI E, SANO A, et al. 13.5-Tb/s (135 x 111-Gb/s/ch) No-Guard-Interval Coherent OFDM Transmission over 6248 km Using SNR Maximized Second-Order DRA in the Extended L-band[C]// Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'09), Mar 24-26, 2009, San Diego, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: PDPB5.

收稿日期: 2011-06-07

## 作者简介



陈章渊, 北京大学毕业; 北京大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室博士、教授; 主要研究方向为光纤传输、光网络与光子器件; 已发表论文 100 余篇。



李巨浩, 北京大学毕业; 北京大学博士、讲师; 主要研究方向为相干光通信、光接入和光网络; 已发表学术论文 30 篇, 授权发明专利 2 项。



杨川川, 北京大学毕业; 北京大学博士、讲师; 主要研究方向为光纤通信和光纤传感, 专业特长是光纤通信以及传感系统中的数字信号处理技术; 已发表学术论文 15 篇, 申请发明专利 2 项。

## 广告索引

A1-A3、封四: 中兴通讯股份有限公司