



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

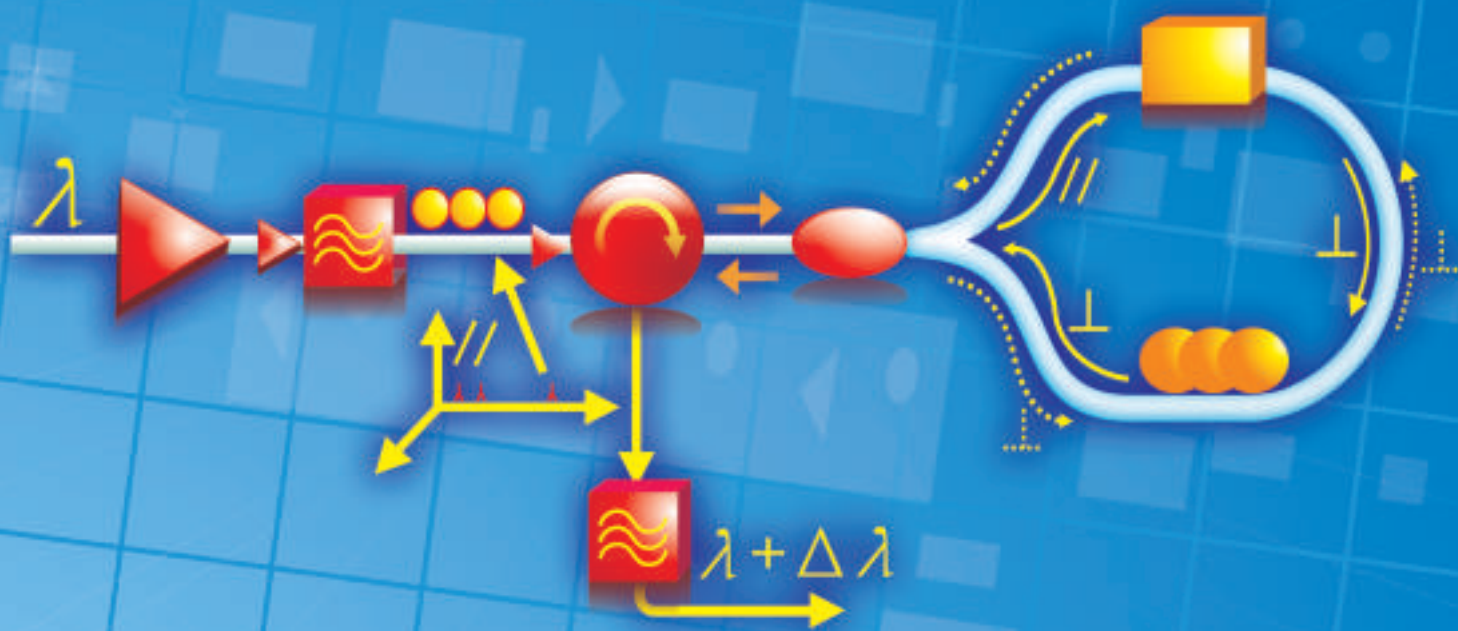
中兴通讯技术

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

www.zte.com.cn/magazine

2011年12月 • 第6期

专题:P 比特级光交换网络



ISSN 1009-6868



9 771009 686007



12>

中兴通讯获BSI业务连续性管理先锋奖

【本刊讯】凭借在业务连续性管理方面取得的突出成绩,中兴通讯在世界权威认证机构——英国标准协会(BSI)举办的中国区客户交流年会上,成为首家获得“BSI业务连续性管理(BCM)先锋奖”的企业。

BSI向40%以上的全球财富500强企业和70%以上的金融时报指数100强企业提供管理体系认证服务和培训服务,客户范围遍及全球100多个国家。而业务连续性管理先锋奖是2011年首次设立,旨在奖励有效管理业务中断、迅速恢复并能够及时提供关键产品或服务的企业。

在企业发展中,BCM管理体系可以有效应对在全球市场拓展与经营过程中可能发生的各种灾害和威胁,确保业务的持续运转。作为中国最大的通信设备上市公司,中兴通讯为客户创造可持续价值的同时,也注重自身抗风险能力的提升,在业务连续性管理方面积极探索和实践。

中兴通讯是中国通信行业首家按照BS25999标准建立覆盖研发、供应链、售后服务过程的业务连续性管理

体系的企业,目前已经率先将BCM管理体系覆盖到公司的各个业务领域,培养了一批具有业务专长的业务连续性管理骨干,在实践中逐渐地形成了独到的BCM运作模式。

中兴通讯副总裁周建峰在获奖致辞:“业务连续性管理不仅满足了中兴通讯自身发展的需要,更能够有效应对复杂多变的竞争环境。在过去的几年中,中兴通讯逐步建立起业务连续性管理体系,基本覆盖了系统产品和终端产品的市场、研发、制造和交付等业务环节。”作为供应链管理的佼佼者,中兴通讯在会议上分享了其在供应链成本、生产与交付效率、品质保障、社会责任与品牌等多方面的最佳实践,同时中兴通讯也展示了业务连续性管理能力在2008年汶川地震的应急通信恢复保障、2011年年初利比亚政局动荡时中方员工的有序撤离、“3·11”日本地震后全球采购紧急应对等事件中的突出表现。预计到2012年,中兴通讯还将把BCM逐步推进到其供应商和全球分支机构,建立更加完善的BCM体系。

中兴通讯以32.6%的市场份额领跑全球CDMA市场

【本刊讯】中兴通讯是业界首家推出CDMA/LTE双模基站系统的厂商,其创新的CDMA/LTE融合解决方案可以帮助运营商实现向未来网络的平滑升级,并快速演进到LTE。另外,中兴通讯的EV-DO Rev.B技术以及CDMA/LTE双模解决方案在业界也一直处于领先地位。

近几年,全球CDMA市场继续保持平稳增长,中兴通讯一直在积极开拓世界各地的CDMA市场,除了在最关键的中国、印尼、印度等新兴市场稳中稳固了其绝对优势地位之外,在北美市场也取得了突破性进展。互联网数据中心(IDC)分析师John Byrne表示:“相信作为全球CDMA市场的领导者,中兴通讯凭借其领先优势地位,将在全球新兴市场中占有最强地位,同时也将给运营商带来更重要的利益价值。”

2010年,中兴通讯承担了中国CDMA市场中80%以上供应商的设备搬迁工作,不仅在搬迁过程中用户投诉量没有增长,甚至在搬迁完成后网络性能还得到大幅度提升。中兴通讯在搬迁过程中体现出来的工程控制、执行和交付能力充分得到了运营商的肯定。

截至2011年第2季度,中兴通讯CDMA产品已经在全球70多个国家的120多家运营商大规模商用,其中在美国、印度、印尼、捷克等60多个国家和地区建立了80多个CDMA 2000 1xEV-DO网络。同时,中兴通讯已经获得了包括CSL、Telenor、Sonaecom、H3G等在内的23个LTE商用合同,并与全球80多个运营商合作并部署试验网,LTE终端订货量超过10万部,供应全球高端运营商。

中兴通讯成功完成业界首个VoLTE互通测试

【本刊讯】2011年10月27日,中兴通讯宣布成功完成业界首次Voice over LTE (VoLTE)互通测试。该测试活动由多业务论坛(MSF)主办,GSM协会(GSMA)协办,旨在验证多厂商环境下基于LTE/EPC/IMS技术的VoLTE接口的互联互通。此次测试站点分布在德国和中国,测试场景主要包括遵照GSMA标准定义的IMS VoLTE互通、全球漫游以及互联。

中兴通讯在位于德国杜塞尔多夫的Vodafone测试和创新中心参加了本次互通活动,提供了端到端的综合网络方案,包括IMS核心网(P/I/S-CSCF)、eNodeB、MME、S-GW、P-GW、PCRF、HSS、DRA、IMS MMTel AS、IMS软终端以及LTE终端。该测试成功完成了单一测试站点之内及两个测试站点之间包含MMTel业务的LTE语音互通。此外,还在两个站点之间完成了基于动态策略控制的LTE漫游业务,通过网络中部署的DRA实现归属网络和拜访网络的互联。

中兴通讯核心网副总裁王晓强表示:“MSF VoLTE互

联互通测试为运营商VoLTE的实际部署奠定了坚实的基础,我们对本次测试结果非常满意。中兴通讯高度重视在VoLTE领域的持续投入,致力于LTE阶段语音运营的创新应用。”

MSF主席Kyu-Ou Lee表示:“MSF和GSMA共同推动VoLTE标准验证以及产业链各方合作。此次中兴通讯的VoLTE互通测试活动,有效推动了IMS和LTE技术的结合应用,对电信行业具有重要的意义。”

中兴通讯是业界领先的VoLTE技术和方案供应商,能够为运营商提供基于IMS标准架构的VoLTE解决方案,除了支持部署话音业务和RCS业务之外,还能以开放的系统架构允许第三方开发者构建更为丰富的业务应用,帮助LTE运营商提升业务竞争力。早在2010年11月,中兴通讯联合GSM和香港运营商CSL,在移动通信亚洲大会上成功实现了业界首个基于LTE商用网络以及2G/3G现网之间的IMS VoLTE语音电话,引领了VoLTE应用。

中兴通讯在欧洲宽带论坛上 诠释“智能管道”获运营商肯定

【本刊讯】在2011年欧洲宽带论坛期间,中兴通讯在全面展示“端管云”理念的同时,重点诠释了其在“智能管道”领域的创新与成果。中兴通讯高级副总裁陈杰指出:管道的智能化是一个大趋势,中兴通讯已经在智能接入、智能承载、智能业务、智能管理方面进行了充分的考虑。

管道的智能化不仅让用户获得了更加满意的服务,还让运营商提升了收益,重构了价值链核心,同时也使得互联网服务提供商/网络内容服务商(ISP/ICP)增强了服务内容的吸引力和行业竞争力,最终形成价值链和谐、共赢的良性局面。

中兴通讯提出的接入网智能化基本模型是:首先以GPON/NGPON技术、VDSL2的系统级vectoring技术等为用户带来超高带宽接入;其次以深度包检测(DPI)技术让运营商看清管道中的业务和应用,为高价值的优质

业务提供高服务质量(QoS)保障。

承载网在智能管道总体架构中起到承上启下的作用,向上融入核心网,向下融合无线接入和有线接入。中兴通讯提出“智”、“融”、“宽”、“稳”的解决方案:“智”是目标,以智能光网络和业务精细化运营实现对业务的区分服务;“融”是核心,包括接入融合、业务控制层融合、IP与光网络融合,以此提高网络效率,降低总拥有成本(TCO);“宽”是基础,指的是端到端100G方案和大容量集群设备实现超宽网络;“稳”是保障,以全方位可靠性、一体化安全性、IPv6和绿色节能技术来实现网络高稳定和可持续发展。

在欧洲宽带论坛期间,多家运营商参观了中兴通讯展台,来自英国、土耳其等国家的运营商还参加了中兴通讯同期举办的宽带研讨会议,对中兴通讯提出的智能管道方案表示肯定。

专题:P比特级光交换网络

专 | 题 | 导 | 读

光网络是信息传送的骨干网络,在可预见的将来具有不可替代性。在中国社会向数字化、信息化、网络化发展过程中起着举足轻重的作用。中国电信网、互联网和广电网的彼此交互和渗透,固定网和移动网交织重叠,更是加剧了网络信息流量的进一步膨胀。网络带宽需求以超过每18个月翻一番的摩尔定律速度迅速增长。与此同时,视频数字化技术的成熟与快速发展,使视频业务不可避免地成为未来网络的主流业务。可以预见:中国光网络容量需求在5~10年后将超过现有网络承载能力的十倍乃至数十倍。现有光网络架构从本质上不仅难以适应以三网融合为代表的业务导致的海量信息流传送需求,也难以满足未来对网络的低能耗、绿色环保等方面的社会需求。

海量信息流的传送需求本身受到网络中多种因素的制约,新的信息传送模式使得网络状态变化越来越复杂。首先,网络承载海量信息流将导致网络结构的复杂化,包括网络物理拓扑的复杂化、网络节点结构的复杂化、交换方式的多样化、业务适配与汇聚的复杂化等;网络承载海量信息流将导致网络控管复杂化,包括通信协议多样化与可扩展、控制的可扩展与效率、网络控制的快速、可靠、稳定与鲁棒等;网络承载海量信息流还将导致网络生存性的复杂化,包括网络恢复成功率、恢复时间及资源的利用率之间的关系复杂化。研究这些问题,将涉及到光网络的网络架构、多业务适配、多粒度汇聚、交换模式、传输制式与效率、网络控管及时空资源优化调度等方面的核心技术,同时,这也是海量信息流传送对光网络提出的新要求。因此,海量信息流传送将对中国光网络的研究和发展提出巨大挑战,如何提升目前光网络的传送能力,适应中国未来社会需要,成为当前亟待探索 and 解决的问题。

经过光网络方面研究专家和学者多年孜孜不倦的努力,“Pbit/s级可控管光网络基础研究”首次获得“973”项目的立项资助。本期专题主要由参与研究的一线研究人员撰写,代表了中国在光网络研究方面的最新部分成果,希望能给读者带来有益的启示与参考。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



徐安士

北京大学教授、博导,中国电子学会高级会员,中国通信学会高级会员,美国光学学会高级会员,中国光学学会光电技术专业委员会常务委员,北京通信学会理事会理事,北京邮电大学信息光子学与光通信国家重点实验室学术委员会顾问委员,中国电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术教育部重点实验室学术委员会副主任委员,北京通信信息协会理事,西南交大信息光子与通信研究中心学术委员会委员,欧美同学会留美分会理事,《中兴通讯技术》、《中国激光》杂志编辑委员会委员;主要从事光网络、高速大容量波分复用光纤通信系统、基于等离子激元的光入光出广角接收模块等光器件等方面的研究;获国家科技进步三等奖;已发表论文300余篇。

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



目次

办刊宗旨

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

中兴通讯技术

ZHONGXING TONGXUN JISHU

双月刊 1995年创刊 总第101期
2011年12月 第17卷第6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: 合肥市金寨路329号凯旋大厦12楼
邮编: 230001
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12月10日
刊号: ISSN 1009-6868
CN 34-1228/TN
广告经营许可证: 皖合工商广字0058
定价: 每册10.00元, 全年60.00元

专题:P比特级光交换网络

- 01 P比特光交换节点研究 陈远祥, 何永琪, 李巨浩, 陈章渊, 徐安士
05 大容量光网络异构互联及控管研究 华楠, 郑小平
10 支持灵活谱利用的超大容量全光网体系结构研究 张杰
14 可变带宽光网络路由与资源分配研究 罗萱, 强思维, 金耀辉
20 大容量光电交换技术研究 张海懿, 赵文玉, 汤瑞
24 T比特频分复用相干光传输技术 张帆, 陈章渊
28 P比特光网络多故障定位的NP-complete问题研究 李新, 顾晓仪
32 超高速全光信息处理 闫连山, 陈智宇, 姜恒云

专家视点

- 38 中国云数据中心的优化布局与科学发展 徐志发

运营应用

- 43 分组网络中同步标准的进展及分析 郑滢雷, 张林, 张贺

研究论文

- 46 空中圈存系统平台研究 王丽君

开发园地

- 51 无线通信系统小区间干扰控制技术 刘琨, 鲁照华, 胡留军

系列讲座

- 56 光正交频分复用技术及其应用(3) 陈章渊, 李巨浩, 杨川川

综合信息

中兴通讯 TDD 技术再获“中国专利金奖”(9) 广告索引(13) 中兴通讯 iOTN 解决方案荣获 BBWF 2011 Infovision 大奖(42) 《中兴通讯技术》2012 年第 4-6 期专题征文(62) 第 17 卷总目次(II) 中兴通讯携手 CSL 成功展示 CS Fallback 业务 领跑 LTE 语音之路(III)

期刊基本参数: CN 34-1228/TN * 1995 * b * 16 * 64 * zh * P * ¥10.00 * 15000 * 13 * 2011-12

Contents

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol.17 No.6 Dec. 2011

Special Topic: Pbit/s Optical Switching Network

- 01 P bit/s Optical Switching Node CHEN Yuanxian, HE Yongqi, LI Juhao, CHEN Zhangyuan, XU Anshi
- 05 Control and Heterogeneous Internetworking of High-Capacity Optical Networks HUA Nan, ZHENG Xiaoping
- 10 Ultrahigh-Capacity All-Optical Network Architecture Based on Flexible Spectrum Use ZHANG Jie
- 14 Bandwidth-Variable Optical Network Routing and Resource Allocation LUO Xuan, QIANG Siwei, JIN Yaohui
- 20 High-Capacity O/E Switch Technology ZHANG Haiyi, ZHAO Wenyu, TANG Rui
- 24 T bit/s Coherent Optical Transmission with Frequency Division Multiplexing ZHANG Fan, CHEN Zhangyuan
- 28 NP-Complete Problem in Multiple Fault Localization in Pbit/s Optical Networks LI Xin, GU Wanyi
- 32 Ultra-High-Speed All-Optical Signal Processing YAN Lianshan, CHEN Zhiyu, JIANG Hengyun

Expert View

- 38 Layout Optimization and Scientific Development of China's Cloud Data Center XU Zhifa

Operational Application

- 43 Analysis of Synchronization Standards for Packet Switched Networks ZHENG Yanlei, ZHANG Lin, ZHANG He

Research Paper

- 46 Loading-in-Air System Platform WANG Lijun

Development Field

- 51 Inter-Cell Interference Control in Wireless Communication System LIU Kun, LU Zhaohua, HU Liujun

Lecture Series

- 56 OFDM Technology and its Application in Optical Fiber Communication (3) 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

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

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。

P 比特光交换节点研究

P bit/s Optical Switching Node

中图分类号: TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 06-0001-04

摘要: 光网络中引入全光交换技术可以无需进行光电光转换和电信号处理,使网络具备透明性,大大降低节点的复杂性和节点成本。多粒度交换节点减小了交换矩阵的规模,降低了交换矩阵的复杂性,是波分复用(WDM)网络节点发展的一个方向。随着正交频分复用(OFDM)技术的引入,带宽可变的节点技术得到了越来越广泛的关注。文章介绍了传统的基于波长的光交叉连接器(OXC)交换结构、多粒度交换结构,以及基于正交频分复用/单载波频分复用(OFDM/SCFDM)的节点交换结构,并通过实验对基于带宽可变的可重构的光分插复用器(ROADM)、OXC 节点技术进行了验证。在实验中提出的基于子波带的交换结构中,节点容量达到了 P 比特量级。

关键词: 全光交换;多粒度光交换节点;可变带宽;P 比特交换节点

Abstract: All-optical switching technology without optical-electrical-optical (OEO) conversion creates transparency in an optical network and greatly reduces the complexity and cost of the node. Multi-granularity optical cross-connect reduces the scale and complexity of the switching matrix—which indicates the direction of the wavelength division multiplexing (WDM) optical network. With the development of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM), bandwidth-variable optical node technology has become the focus of attention. This paper introduces the switching architecture of optical cross-connect (OXC) and multi-granularity optical cross-connect based on wavelength. It also introduces the node switching architecture of OFDM and single-carrier frequency division multiplexing (SCFDM). An experiments with bandwidth-variable reconfigurable optical add-drop multiplexer (ROADM) and OXC is presented. The node in the proposed optical switching has Pbit/s capability.

Keywords: all optical switching; multi-granularity optical cross-connect node; bandwidth variable; Pbit/s switching node

陈远祥/CHEN Yuanxian
何永琪/HE Yongqi
李巨浩/LI Juhao
陈章渊/CHEN Zhangyuan
徐安士/XU Anshi

(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,北京 100871)
(State Key Lab. of Advanced Optical
Communication Systems & Networks, Peking
University, Beijing 100871, China)

换,不仅使得交叉连接的矩阵规模大大减小,同时也相应地简化了管理控制。随着正交频分复用(OFDM)技术的引入,基于 OFDM 的弹性光网络得到了越来越广泛的关注。在弹性光网络中,和以往的固定栅格的波分复用(WDM)节点不同,OFDM 中的带宽可变节点采用分束器和带宽可变的波长选择开关(WSS)实现了传统的多粒度交换结构。

文章介绍了传统的基于波长的 OXC 交换结构、多粒度交换结构,以及基于正交频分复用/单载波频分复用(OFDM/SCFDM)的节点交换结构,并通过实验验证了基于带宽可变的可重构的光分插复用器(ROADM)、OXC 节点技术。提出的基于子波带的交换结构节点容量达到了 P 比特量级。

1 传统 OXC 的波长交换结构

光网络中传统的 OXC 执行的是单粒度的交换,即波长交换。图 1 给出了传统的单粒度交换节点结构示意图,其核心是一个大容量的波长交

随着光通信技术,特别是密集波分复用(DWDM)技术的日趋成熟,单根光纤中可以传输的波长数越来越多,而且未来核心光网络中相邻两个节点间可能会有几十甚至上百条光纤相连接。随着光纤传输容量不断地提升,对节点的交换容量扩充的要求也越来越高。实验室单节点

交换速率已经达到了 100 Tbit/s 级别,未来的网络节点需要实现 P 比特级交换速率。光纤数目和波长数目的增加使得光交叉连接器(OXC)的规模越来越大,传统的基于波长粒度的交换,使光节点达到数千个端口。如此大规模的端口数量不仅使得节点实现困难,而且成本高,控制复杂,给 OXC 的稳定性和设计带来了很大问题。在多粒度交换光网络中,光交换节点可以实现波长、波带和光纤的交

基金项目: 国家重点基础研究发展(“973”)规划(2010CB328202);国家自然科学基金(60931160439)

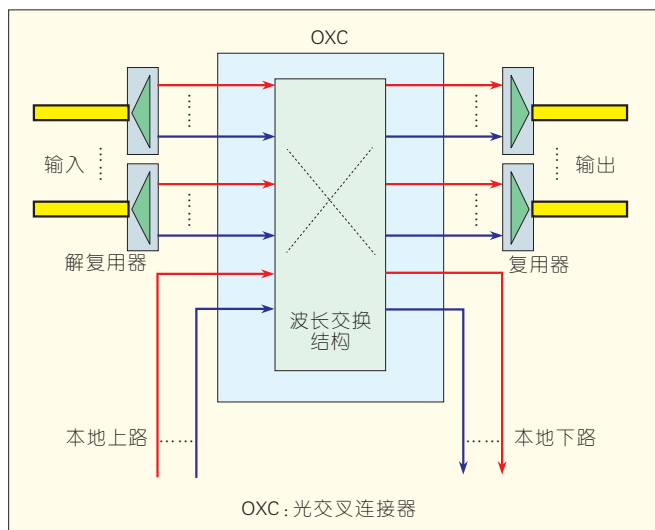


图1
传统的单粒度交换
节点结构

叉连接矩阵。

输入光纤中的信号通过解复用器(Demux)将每个单独的波长解复用出来,然后进入波长交叉连接结构进行交换,之后各个波长通过复用器(Mux)合波到不同的输出光纤。本地的上路和下路(Local add/drop)业务的端口直接和波长交换结构相连。实现光交叉连接的光开关是OXC光节点的核心功能器件,根据所采用技术的不同,可以分为自由空间开关和波导开关。目前比较常用的是基于微机电系统(MEMS)技术的光开关阵列。但是由于成本和可靠性等一系列原因,商用的MEMS光开关阵列的交换规模仅达到 8×8 和 16×16 ,更大规模的光开关阵列只是在试验阶段,还远未成熟。

实现大规模的光开关矩阵(数千个端口)无论从成本、稳定性来说都几乎是不可能的。而且如此复杂的光开关矩阵的大规模生产是非常昂贵而不现实的,因此希望能使用较小规模的光开关矩阵来实现复杂的光交换。另一方面,随着数据业务的快速增长,对光器件和光网络性能的要求也越来越高,如何快速、高效、智能地传递业务是光网络研究的一个重要方面。根据网络中业务流量的数据统计,对网络中的每一个单节点来说,占到总量60%~80%的大部分业

务与本节点无关,大部分业务都是“转发业务”而不是“接入业务”,即在本节点无须进行交换,只需要在本节点直通。由于传统的OXC是基于波长单粒度的结构,所有光路信号都必须适配到波长级别进行处理,这就导致了网络节点的处理速度将成为“瓶颈”。OXC节点的交叉规模受限、成本高、灵活性差、扩展比较困难,从而无法满足高速网络交换的需求。

2 多粒度光交换节点

1999年,多粒度的思想被引入到光交换节点中,相应的多粒度光交换节点应运而生^[1-3]。所谓的多粒度光交换是指交换节点的交换粒度不仅包含波长,而且包含波带以及光纤,即能够同时提供波长、波带以及光纤等多种带宽粒度的交换。波带是将多个波长捆绑在一起,并在波带等级进行交换和路由。波带光通道由一组波长光通道组成,并作为一个单独的信道来路由。波带交换将光节点

中部分端口的交换粒度扩大到了波带等级。同样,更大的光纤粒度是将多个波带进行捆绑并在光纤等级进行交换和路由。光纤交换将光节点中部分端口的交换粒度扩大到了光纤等级。多粒度交换中波带、光纤捆绑如图2所示。图2中一根光纤中有8个波长,每4个波长为一组组成一个波带,这样光纤中就有2个波带。

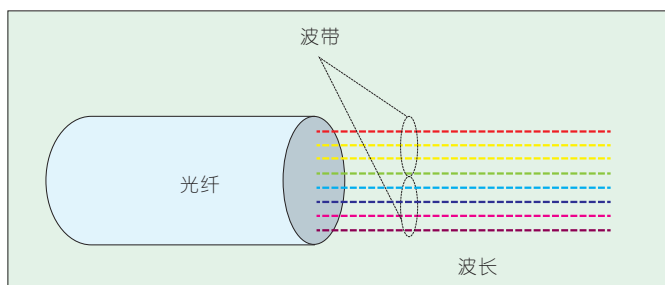
采用多粒度交换技术之后,交换节点不必对所有的波长都进行复用和解复用。可以将通过节点的多个“转发业务”汇聚在同一个波带或是同一根光纤内传输,从而在节点内实现“波带路由”或者“光纤路由”,因此可以显著地降低端口数。光交叉连接设备的端口数是决定节点费用以及控制复杂度的重要因素。所以,多粒度光交换在简化光节点的结构,降低节点的制造、维护和操作成本方面都有着显著的优势。

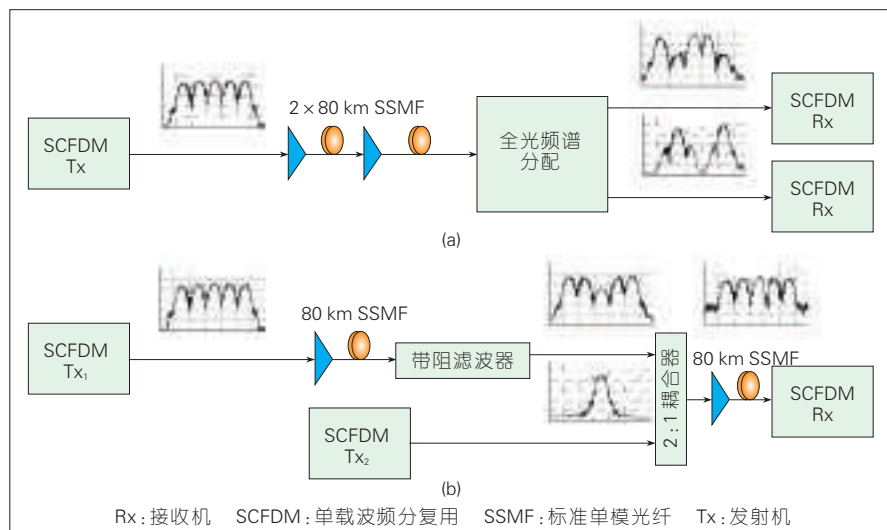
多粒度光交换也极大地提高了光网络设备的传送效率和吞吐容量。例如,对于与本地节点无关的业务,无需解复用/复用成较小粒度(如波长)的交换,可以在较大的粒度层次(如波带、光纤)上直通。多粒度光交换技术作为一项崭新的光网络节点技术,可以结合空分、波分以及时分等多种交换方式而成为下一代光网络传送平台的核心技术,因此,具有极为广阔的应用前景。

3 基于可变带宽交换的P比特级交换节点结构

随着光传输技术和新型的光交换器件的发展,基于正交频分复用的可变带宽全光交换技术得到了越

图2
多粒度交换中波带、
光纤捆绑示例





▲图3 200 Gbit/s 单载波频分复用系统上下路实验框图

来越广泛地关注。与传统的固定栅格的以波长为最小交换粒度的WDM系统相比,可变带宽全光交换技术中引入了子载波的概念,实现了更小颗粒度的交换。同时对于大数据容量的链路,多个子波带能够通过汇聚的方式实现超级通道,实现大容量高速数据的传输和交换^[5]。

对基于OFDM/SCFDM的ROADM、OXC结构,我们进行了实验验证。

(1)200 Gbit/s 单载波频分复用(SCFDM)系统上下路实验

图3为我们在200 Gbit/s SCFDM超级通道上验证的上下路实验。我们首次实现了在SCFDM超级通道上实现的单个子波带的上下路。在一个ROADM结构里面,输入的信号可以首先通过一个分束器将输入信号分成两路,一路进行下路操作,另外一路进行上路操作。实验中,我们分别对上路和下路进行验证。

图4是我们实验中的发射机和接收机结构。

首先我们利用任意波形发生器(AWG)产生SCFDM信号,然后利用光同相/正交(IQ)调制器将电信号调制到光上。IQ调制器输入端为通过两个射频源驱动强度调制器产生的等间距的5个光子载波。IQ调制器输出端为经过调制的5个光子载波的

SCFDM信号。信号经过偏振分束器、光延时和偏振合束器来模拟偏振复用,再经过链路、交换节点传送到接收端进行相干接收。

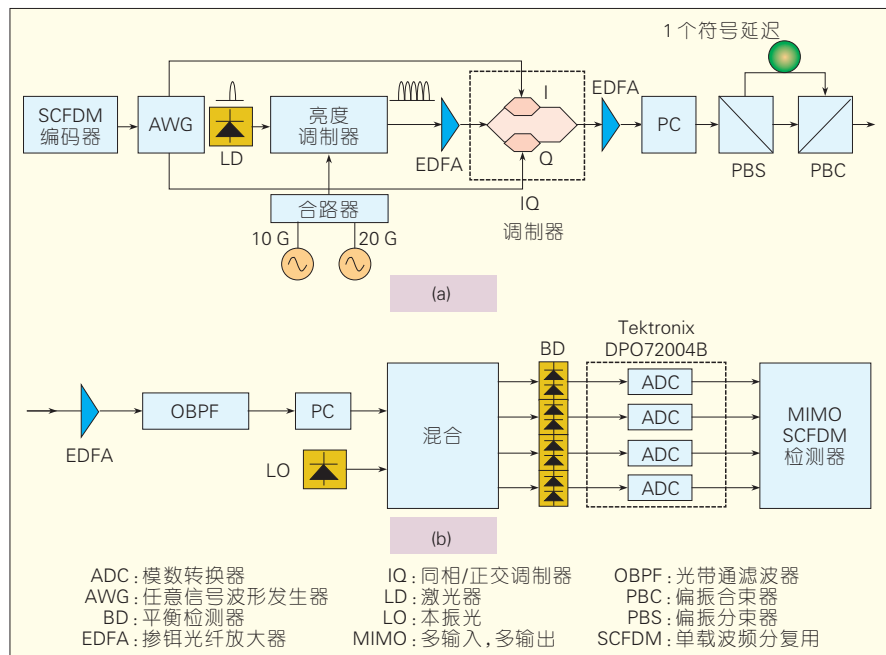
在接收端,将接收到的信号和本振光进行混频,再通过4个平衡检测器进行检测。实验中我们用数字存储示波器对信号进行采样,再对采样得到的信号进行离线处理。

上下路结构模拟中,发端信号为5个连续正交波带的复用的单载波频

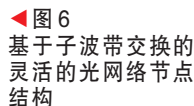
分复用(OBMSCFDM)信号,子波带的间距为10 GHz,采用QPSK调制。首先是下路信号的模拟,SCFDM信号经过2段80 km传输后,通过全光的频谱分配,分成两路,一路信号包括子波带1、3、4,另外一路包括子波带2、5,进行下路操作;然后是上路操作,SCFDM信号经过80 km传输后,首先通过一个带阻滤波器,将中间子波带移除,然后用另外一个发射机产生单个波带的SCFDM信号,其中心波长和原来子波带的中心波长精确对准;最后通过耦合器,将上路信号耦合,实现上路的操作。图5是其实验结果。可以看到,进行下路操作的时候,由于OBM机制,下路信号不会产生额外的功率代价;上路操作时候,由于滤波器的非理想特性,上路信号产生了功率代价。

(2)基于子带交换的灵活的光网络节点结构

可变带宽交换中,节点完成将各个输入信号通过管控信令路由到指定的输出端口的功能。图6采用的是一种组播-选择功能结构。从各个方向来的频谱连续输入信号经过分束器进行功率分束。各个方向来的



▲图4 SCFDM发射机和接收机结构图



谱,合路后的信号传输到下一个交换节点。在节点结构中,本地的客户端信号通过本地的带宽可变的转发器生成,经过分束器(Splitter)进行上



如果节点结构要达到P比特级交换,设光纤端口数为8(4进4出),采用16QAM调制格式,1 000个光载波,每个光载波信号带宽为10 GHz,符号率为10 GS/s,则总的节点容量将达到 $10\text{ GS/s} \times 4\text{ bit/s} \times 2 \times 1\,000 \times 8 = 0.64\text{ Pbit/s}$ 。

➡ 下转第 19 页

大容量光网络异构互联及控管研究

Control and Heterogeneous Internetworking of High-Capacity Optical Networks

中图分类号: TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 06-0005-05

摘要: 多种类型的网络设备并存造成光网络严重异构化,且难以实现真正意义上的互联互通,成为阻碍光网络进一步发展的“瓶颈”。文章针对大容量光网络异构互联及优化控管问题,对一些相关新技术和研究成果进行介绍,包括集中式与分布式相结合的异构多域大规模光网络广义控管架构、K随机最短路由路由优化技术、基于“边缘环”的多域网络拓扑架构、路由重定向信令技术,以及异构多域光网络试验平台搭建等。

关键词: 大容量光网络; 路径计算单元; 异构互联; 优化路由

Abstract: The coexistence of different types of equipment in an optical network makes the network complex and heterogeneous. If interconnection has not been realized, bottlenecks can occur that constrain the further development of the network. This article highlights control and internetworking problems in heterogeneous high-capacity optical networks. New technologies are introduced, including a novel centralized-distributed-mixed management and control architecture for large-scale heterogeneous optical networks, a K random-paths routing technology, an outer-ring based multi-domain topology, and an immediate re-routing signaling technology. Results of experiments carried out on our recently established heterogeneous network test-bed are also given.

Key words: high-capacity optical networks; path computation element; heterogeneous network internetworking; optimal routing

华楠/HUA Nan

郑小平/ZHENG Xiaoping

(清华大学 光网络与微波光子学实验室,
北京 100084)
(Laboratory of Optical Networks & Microwave
Photonics, Tsinghua University, Beijing
100084, China)

制平面那样提供端到端的保护和恢复功能,使 ASON 技术在多域网络中无法为业务提供高等级的保护恢复能力。

急速增加的网络业务需求也向光传送网的控管提出了严峻的挑战。欧盟信息社会专家小组预测 2010 年到 2020 年期间,全球年平均网络业务流量增长 50%~60%,其中 2010 年月平均业务流量为 8.5~9.5 EB (1 EB=10¹⁸ 字节)^[1]。由此估算到 2020 年全球网络业务流量将达到 10 ZB (1 ZB=10²¹ 字节),相当于全球现有印刷材料数据量总和的 5 万倍。如此庞大的业务仅通过传统的集中式网络控管是难以想象的,智能分布式动态光网络控制技术的引入必不可少。分布式动态光网络的优化控制需要单一网元掌握尽量完整而准确的全网资源信息,然而,在分布式动态网络环境下,其难以实现。首先,在分布式网络中,单一网元所能获得的网络信息通常不完整。特别是对于多域分布式网络来说,各个路由域或属于不同运营商,出于保密性考虑,大部分域内资源信息对外是屏蔽的。其次,在动态网络环境下,网元获得的网络信息通常不准确。这是因为,网络的传输时延和处理时延会造成

光 传送网以其大容量、长距离、低成本的特点构成了当前信息通信的重要承载媒介,在可预计的将来,其作用尚无法被替代。

随着通信技术的飞速发展,光传送网技术也在不断更新,同步数字体系(SDH)、分组传送网(PTN)、光传送网(OTN)等新型光传送网设备不断在网络上部署。由于光传送网设备更新迅速,导致现网中各种类型的设备并存。同时,由于中国幅员辽阔,运营商众多,传送网络中不仅设备类型众

多,而且网络根据地域、设备类型和设备提供商的不同被划分为不同的范围,每个范围内的网络设备由不同网络维护人员维护。一些问题由此产生,如全网无法统一管理、无法统一进行快速电路调度、故障定位缓慢、资源利用率低下等。另外,普通的光传送网仅能提供环网保护等简单的保护措施。自动交换光网络(ASON)技术作为新一代的传送网技术,通过给网络加载智能控制平面,为网络提供了快速电路调度、永久 1+1 标记交换通道(LSP)保护和重路由恢复等强大功能。但是在多域网络中,由于域间控制平面难以像域内控

基金项目: 国家重点基础研究发展(“973”)规划(2010CB328203、2010CB328205); 国家自然科学基金(60972020)

网络信息不同步,同时这种不同步会随着网络规模的增大及动态性的增加而提高。此外,诸如网络欺骗、网络攻击等主观原因也会造成网元获得的网络信息不准确。因此,分布式动态光网络智能控制技术需要网元能够尽可能地优化利用其所获得的有限网络信息,提高资源利用率。同时,智能控制技术还应具有较强的容错性,能够消除或抑制错误信息造成的负面影响。

针对上述大容量光网络异构互联及优化控管问题,本文将对一些相关新技术和研究成果进行介绍,包括集中式与分布式相结合的异构多域大规模光网络广义控管架构及试验平台、 K 随机最短路域间路由优化技术、基于“边缘环”的多域网络拓扑架构、路由重定向信令技术等。

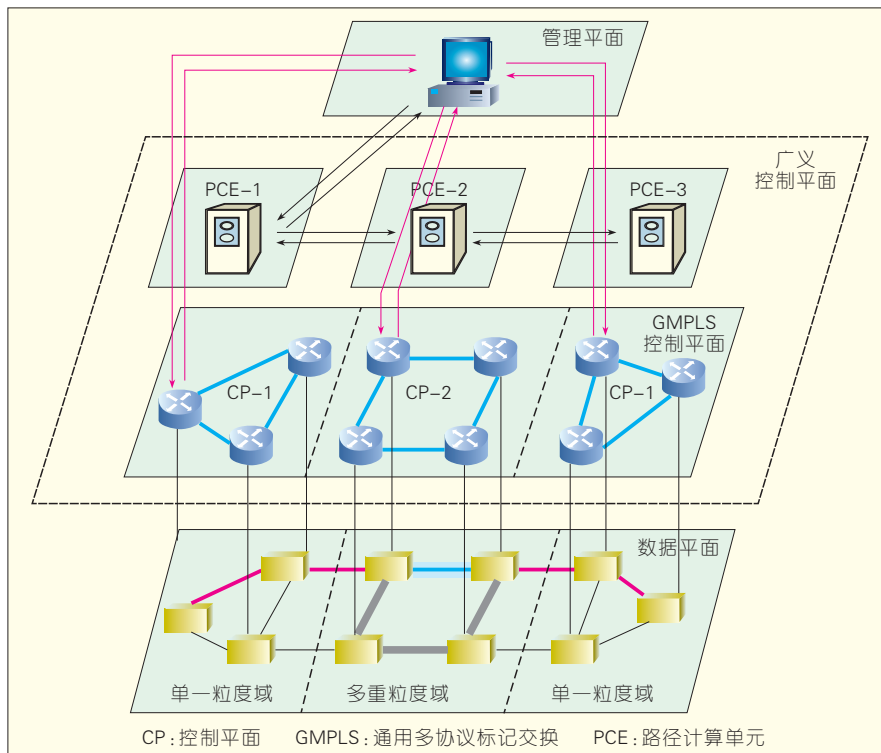
1 网络架构及试验平台

1.1 集中式与分布式相结合的异构

多域大规模光网络广义控管架构

针对复杂网络环境,因特网工程任务组(IETF)开发了路径计算单元(PCE)^[1]作为解决路径计算的工具。PCE方案通过在网络中部署路径计算单元的方式,允许负责网络不同区域的PCE之间相互协作来完成全网的最优路径计算,为解决复杂网络中的种种问题提供了解决的有效途径。

基于PCE的控制平面体系结构被普遍认为是解决异构多域多粒度传送网流量工程问题和服务质量保障问题的一个优选方案,在2006年首次提出后受到了产业界和学术界的广泛关注,美国、欧盟、日本等许多国家的信研机构、大学启动了研究和开发计划。与此同时,以IETF为首的标准化组织也在加紧实现PCE体系结构的标准化。随着研究的深入,PCE由最初的概念和方法逐步发展到面向实际网络具体应用,由单纯PCE光网络向多层多域光网络再到异构互连光网络,由传统路径计算到



▲图1 基于PCE的多层多域网络架构

具有特定要求的网络优化,正在经历由创新性课题向实用性技术的发展过程。

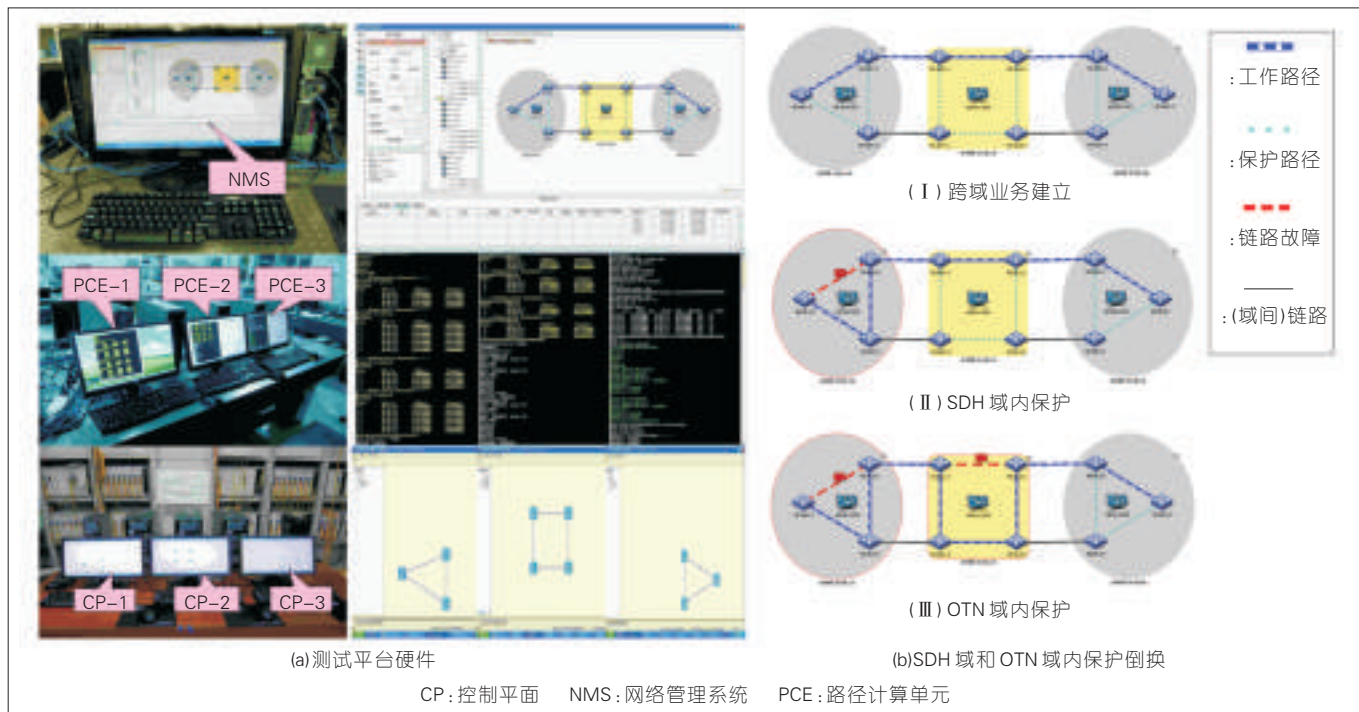
为了能够高效灵活的管理和控制异构多域光网络,我们提出了一种集中式与分布式相结合的广义PCE网络控制和管理架构^[2],能够高效灵活地控制和管理异构光网络。在基于路径计算单元的传送光网络中,每一个传送网域(可以是OTN、SDH或者PTN域)都存在一个或多个路径计算单元,用于进行多层多域路径计算。该路径计算单元独立于传统的网络控制平面和管理平面,同时利用灵活的开放接口和传统控管平面进行协调。这种融合路径计算单元以及传统控制、管理平面的网络架构如图1所示。

这一架构的特点在于:首先,它使用集中式的网络管理系统管理域间链路信息和资源,而使用分布式的PCE和通用多协议标记交换(GMPLS)控制平面管理和控制域内链路信息,同时进行多层多域路由计算。集中

式的网管系统极大地降低了域间信息交互量,简化了多域网络中的域间信令,还有利于域序列确定等优化技术的实施。分布式的路由计算和域内控制大大增加了路由计算的可扩展能力。其次,这一架构对不同的域的GMPLS控制平面采用了并行控制机制,如并行建立或拆除跨域业务。这种机制提高了网络建路的效率和扩展性。再次,该平台引入了层间流量工程(TE)链路自动发现机制,能够迅速发现高层逻辑资源。另外,由于这种控管架构对现有GMPLS控制平面改动很小,因此它能够很好的支持现有异构多种类型的控制平面和传送平面,实现网络的平滑升级。在开发了相应的控制平面PCE开放接口后,可实现网络的PCE功能并与传统控管平面无缝融合。

1.2 异构多域光网络试验平台

基于上述广义控制和管理架构为基础,我们搭建了一个异构多域光网络演示平台。该平台主要由网络



▲图2 基于广义控制和管理架构的多层多域网络测试平台

管理系统、路由计算单元(PCE)、控制平面和模拟设备几部分组成,分别承载在不同的实验PC机上。目前,该平台已经完成10节点模拟光网络的验证工作,同时,平台控制管理结构支持的可扩展节点数不少于1000个。图2展示了该平台的硬件和软件设施。平台以两个SDH域和一个OTN域混合组网的应用为例,演示了广义控制和管理架构的跨域多层控制功能。平台的可扩展性、实效性等一些性能指标已经得到了实验验证。

平台已经验证的关键技术包括:分布式路径计算结构、控制和管理协作模式,多粒度的资源配置,路径的保护和恢复机制,链路的故障和恢复机制等。平台具体的功能和性能包括:支持SDH单域业务、OTN单域业务和两种域类型混合组网跨域业务建立、删除、域内保护倒换和回复,以及链路故障告警和恢复等功能。在SDH域支持的VC4粒度的业务,在OTN域支持ODU1和波长粒度业务类型。平台支持的SDH域、OTN域和跨域业务保护类型包括无保护、1+1保

护和重路由。SDH无保护业务平均建立时间为1s(最小业务建立时间),跨域1+1保护业务平均建立时间为41.5s(最大业务建立时间),业务平均保护倒换时间为2s。

2 多域光网络优化控制技术

2.1 K 随机最短路域间路由优化技术

在PCE框架下解决多域光网络跨域路由问题时,传统的路由算法多基于反向递归路由(BRPC)流程^[4]展开,该流程以确定的域序列为前提。主流思想是通过拓扑抽象来完成域间路径计算,从而确定域序列。在动态确定域序列的算法中,往往存在仅考虑域间拓扑而忽视域内拓扑的问题,这导致了较高的资源阻塞率。

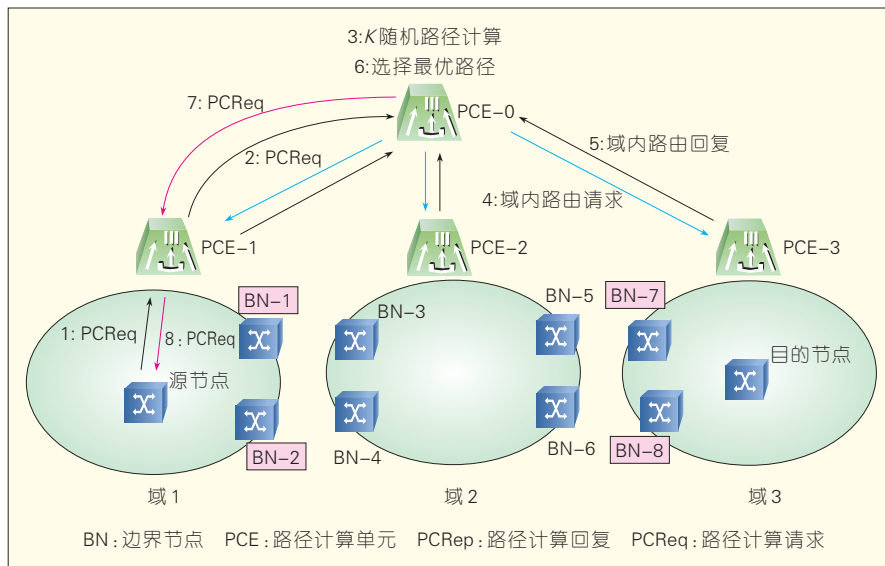
为了解决这个问题,我们提出了一种 K 随机最短路域间路由优化技术^[5-6]。该技术采用了分层PCE的结构,每一个域由一个子PCE负责进行域内路径计算,除此之外,上层通过一个父PCE利用拓扑抽象信息进行路径计算和选路决策。拓扑抽象采

用传统的边界节点格状网(Mesh)抽象。在进行域间路径计算时,引进了 K 条随机最短路径,即随机选择源域中 K 个边缘节点对进行域间路径计算,之后父PCE给相应的域发送路径计算请求,收到应答后,比较 K 个计算结果,选择最短路径。具体流程如图3所示。从概率角度看, K 值越大,达到理论最优解的概率越大。

K 随机最短路域间路由优化技术保证了在域间路径计算的时候,不仅考虑了域间路由信息,还相应考虑了域内的路由信息,对于域内拓扑较为复杂的情况优化效果明显。采用该技术后,网络连接阻塞率比传统算法有很大降低,资源利用率显著提高。

2.2 基于“边缘环”的多域光网络拓扑架构

随着光网络容量的扩大和节点数的增加,基于链路-状态的路由算法的时间/空间复杂度及信令网带宽均急剧增加,造成网络不稳定。解决这个问题有效方法是将整个网络划分为多个路由域,进行跨域路由计



▲图3 K随机最短路域间路由计算流程

算^[7]。考虑到网络的保密性及路由计算和信令交互的复杂度,跨域路由计算的一般做法是对每个子路由域的拓扑进行抽象,组成一个全网抽象拓扑,并基于该抽象拓扑进行域间路由的计算。然而,进行拓扑抽象会阻碍网元获得完整的全网资源状态,导致在跨域路由计算过程中,路由域的人/出端口选择丧失最优性,从而造成路由长度增大,网络资源浪费。

如图4(a)所示,在目的路由域,到达目的节点最优的入端口节点为节点B,其到目的节点的路由长度为1跳。然而,由于此路由域的完整内部资源状态无法被源节点获知,源节点在进行路由计算时选择了节点A作为入端口节点。这样便需要占用4跳的域内链路资源建立连接,所消耗资源为最优情况的4倍。此外,非最优的入/出端口选择还会使网络资源的占用集中于特定节点和链路,而其他网络资源得不到有效利用。

为解决这个问题,我们从全新的角度进行探索,通过对多域光网络的拓扑架构及其相应的路由方法进行合理设计,降低其对最优路由的敏感性,从而提升整体网络资源利用率。图4(b)展示了我们提出的基于“边缘环”结构的多域光网络拓扑架构。其

所有边界节点被一个或多个高速ROADM环连接,而其他内部网络节点均不在环上。可以看到,无论选择哪个入端口节点,路由的域内链路资源消耗最多为2跳,优势非常明显。

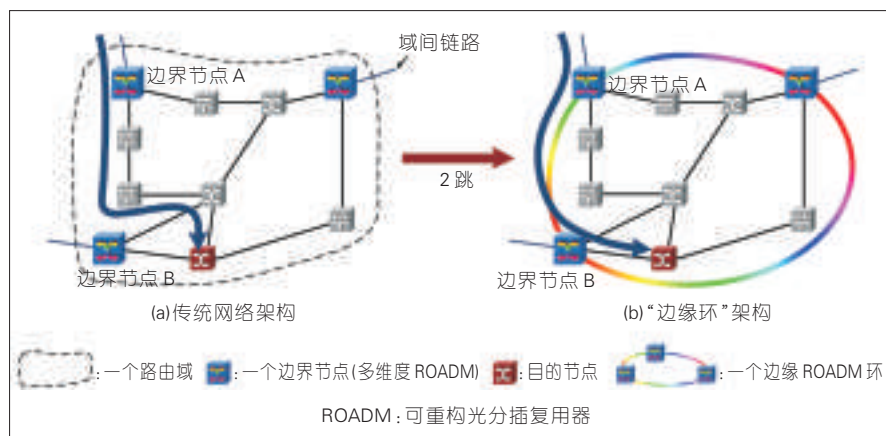
2.3 路由重定向信令技术

网络的信息传输时延和处理时延会造成网络资源信息的瞬时不同步。由于网络资源信息不同步的存在,如果业务到达率较高导致为某个业务计算路由时网络尚未收敛,其计算结果不一定符合网络的实际资源状态,从而造成该业务在连接建立的信令过程中发生资源冲突,或称为信令阻塞。由于信息不同步的程度和

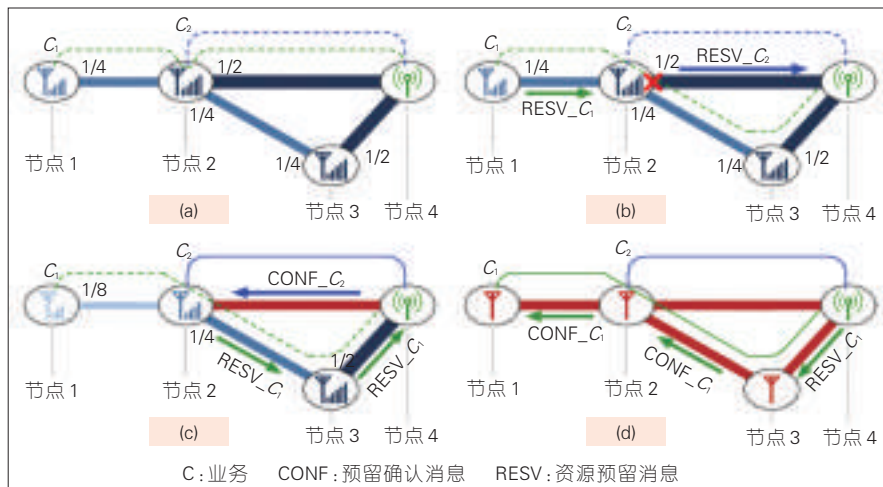
传输时延的大小正相关,因此信令阻塞率将会随着网络规模的扩大而快速增高。对于目前基于链路-状态路由协议的光网络来说,由于在连接建立过程中无法对路由进行修改,所以难以从根本上避免资源冲突的发生。因而即便在网络负载很低时,总体阻塞率仍无法得到显著降低。

为解决这个问题,我们创新性地提出了基于信息扩散的光网络路由体系架构^[8-9],首次将距离-向量路由引入分布式动态光网络的域内路由。在该路由体系下,路由计算分散在每个网元进行,同时各网元的信息扩散数据库中都保存着通过其各个端口到达所有其他网元的多条路由,因此在连接建立过程中当资源冲突发生时,可通过路由重定向替换阻塞路由,避免冲突发生。

基于该思想,我们提出了基于信息扩散光网络路由体系的路由重定向信令技术。基于信息扩散光网络路由体系的路由重定向信令过程如图5所示^[10]。图5(a)中, C_1 、 C_2 两个业务几乎同时完成路由计算,并分别在节点1和节点2发起到节点4的连接建立请求。当业务 C_1 的资源预留(RESV)信令到达节点2时,其路由中由节点2到节点4的链路已经被业务 C_2 占据,发生信令阻塞,如图5(b)所示。在启动路由重定向信令机制后, C_1 被即时重路由到2-3-4的新路由,信令阻塞被解决,如图5(c)所示。而



▲图4 跨域路由计算



▲图5 基于信息扩散光网络路由体系的路由重定向信令过程示意

后业务 C_1 、 C_2 均能成功建立,如图 5(d) 所示。

3 结束语

网络业务需求规模的不断扩大、带宽的不断增长,以及种类的不断多样化给下一代光网络的建设带来了大量问题和挑战。为解决这些问题,一些新的网络架构和技术应运而生。本文针对大容量光网络的异构互联及优化控管问题,对一些相关新技术和研究成果进行了介绍,包括集中式与分布式相结合的异构多域大规模光网络广义控管架构及试验平台搭建、 K 随机最短路域间路由优化技术、基于“边缘环”的多域网络拓扑架构,以及路由重定向信令技术。随着上述问题的逐步解决和更多新技术的商用化,在业务需求的持续推动下,下一代光网络的建设必将在全球范围内掀起新的高潮。

4 参考文献

- [1] HOURCADE J, NEUVY Y, POSCH R, et al. Future Internet 2020 – Visions of an industry expert group [R]. Brussels, Belgium: European Commission Information Society and Media, 2009.
- [2] RFC 4655. A path computation element (PCE)—Based architecture [S]. 2006.
- [3] LU R, WANG L, LI Q, et al. Implementation of PCE-based management and control plane for heterogeneous optical networks [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: NTuC2.
- [4] RFC 5441. A backward-recursive PCE-based computation (BRPC) procedure to compute shortest constrained inter-domain traffic engineering label switched paths [S]. 2009.
- [5] SHANG S, ZHENG X, ZHANG H, et al. A hierarchical path computation element (PCE) based routing algorithm in multi-domain networks [C]//Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC '10), Mar 21–25, 2010, San Diego, CA, USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2010:ThD4.
- [6] SHANG S, HUA N, WANG L, et al. A hierarchical path computation element (PCE)-based K-random-paths routing algorithm in multi-domain WDM networks [J]. Optical Switching and Networking, 2011, 8 (4): 235–241.
- [7] HUA N, CHEN Y, ZHENG X, et al. An outer-ROADM-ring-based multi-domain routing scheme in optical WDM networks [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: JWA52.

- [8] HUA N, HAN L, ZHENG X, et al. An information-diffusion-based routing scheme in wavelength-routed WDM mesh networks [C]//Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC '10), Mar 21–25, 2010, San Diego, CA, USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2010:OMM1.
- [9] CHEN Y, HUA N, ZHENG X, et al. Implementation of the information-diffusion-based routing on a large-scale ASON test-bed [C]//Proceedings of the 36th European Conference on Optical Communication (ECOC '10), Sep 19–23, 2010, Turin, Italy. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2010: P5.02.
- [10] CHEN Y, HUA N, ZHENG X, et al. Experimenting with immediate re-routing on an information-diffusion-based routing test-bed [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: OTh12.

收稿日期:2011-09-06

作者简介



华楠,清华大学电子工程系博士毕业;清华大学电子工程系博士后,IEEE、OSA 会员, IEEE JOCN、IET Communication 和 OSA 杂志审稿人;从事智能光网络控管及交换方面的研究;已获授权国家发明专利 5 项,发表 SCI/EI 检索论文 20 余篇。



郑小平,清华大学电子工程系教授,博导;长期致力全光通信网络与微光子学的研究;先后负责、参与国家级科研项目 20 余项;获省部级科技进步二等奖两项、三等奖两项,国家发明专利 16 项,发表论文百余篇。

综合信息

中兴通讯 TDD 技术再获“中国专利金奖”

【本刊讯】在中国知识产权局和世界知识产权组织主办的第 13 届中国专利奖颁奖大会上,中兴通讯再次获得“中国专利金奖”。这是继 2009 年中兴通讯获得了“两金两优”(两项“金奖”和

两项“优秀奖”)之后,再次获此殊荣。

中国专利奖是中国专利奖项的最高荣誉,也是唯一对获得专利权的发明创造实行奖励的政府部门奖,并得到联合国世界知识产权组织的认可。本届评选出的中国专利金奖仅有 15 项。

支持灵活谱利用的超大容量全光网体系结构研究

Ultrahigh-Capacity All-Optical Network Architecture Based on Flexible Spectrum Use

中图分类号: TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 06-0010-04

摘要: 随着超高速光传输技术的发展, 支撑 100 Gbit/s 以及更高速率的组网应用成为全光网研究的关键。文章提出支持灵活谱利用的超大容量全光网体系结构。该结构根据端口实际需要编程配置光通道带宽并实现全光交换, 突破波分复用(WDM)对通道带宽的限制, 解决超高速率光信号的传送问题。同时, 支持面向精细颗粒带宽的全光谱域分割和疏导控制与管理, 实现光层资源虚拟化与按需配置, 提高光纤带宽利用率。

关键词: 全光网; 灵活谱利用; 超大容量; 体系结构

Abstract: With the development of high-speed optical transmission technology, 100 Gbit/s or higher all-optical networks have become crucial. This paper proposes ultrahigh-capacity all-optical network architecture based on flexible spectrum use. In this architecture, the bandwidth of optical channels can be set up according to the actual port rate, and all-optical switching can be implemented. This new architecture can overcome problems of limited fixed-channel bandwidth in wavelength division multiplexing (WDM) networks and in the ultra high-speed optical transport. The new architecture supports fine-granularity control and management technologies used for segmenting and grooming in all-optical frequency domains. It also implements virtualization and on-demand allocation for optical-layer resources so that bandwidth use is optimized.

Keywords: all-optical networks; flexible spectrum use; ultrahigh-capacity; system architecture

张杰/ZHANG Jie

(信息光子学与光通信国家重点实验室 北京
邮电大学, 北京 100876)
(State Key Laboratory of Information Photonics
and Optical Communications, Beijing University
of Posts and Telecommunications, Beijing
100876, China)

20世纪末, 互联网蓬勃发展、方兴未艾; 21世纪初, 物联网开始浮出水面、引领潮流。以建设宽带、安全、泛在、融合的新一代信息基础设施为载体, 不同国家、不同文化、不同领域、不同行业被“网”打尽, 形成了跨国界、跨语言、跨人机、跨应用的虚拟化空间, 满足了人与人、人与物、物

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”)规划(2010CB328204); 国家自然科学基金(60932004); 教育部博士点基金课题(20090005110013)

与物的互动性要求。随着人们对信息的需求急剧增加, 信息量像原子裂变一样呈爆炸式增长。据 Cisco VNI 预测, 2009—2014 年全球 IP 数据量将增加 3 倍以上, 达到 0.767 泽字节(1 泽字节 = 10^{21} 字节), 人类社会正向字节时代迈进。

上述预测同时表明视频信息增长十分迅速, 视频通信是未来网络业务需求的主要来源。到 2014 年, 各类视频流量将超过全网业务总量的 91%。以高分辨率视频传输为代表

的巨带宽业务, 例如高质量视频流分发、商业视频会议、远程医疗支持系统、大型存储系统之间的数据镜像等, 具有大容量、低延时、端到端、通道化、动态灵活的业务特征, 对光网络基础设施的传送能力提出了更高要求。

当前, 中国信息通信产业持续高速发展。截至 2011 年 6 月底, 中国移动电话用户为 9.2 亿, 固定电话用户为 2.9 亿, 网民总人数为 4.85 亿; 基础电信企业的互联网国际出口带宽达到 1.2 Tbit/s。此外已建成辐射中国的通信光网络, 长度逾 1 000 万 km。随着信息产业与工业应用领域的进一步结合, 可以预测“十二五”期间中国通信业务需求将会有更大幅度增长, 网络建设规模也将继续扩大, 尤其是下一代互联网和物联网的未来发展具有很大空间。在大力建设光纤基础设施的同时, 如何充分利用带宽资源, 构建动态、高效、低耗的全光网络, 对促进经济社会持续、健康、和谐发展具有战略意义。

支持灵活光谱利用的超大容量全光网技术突破了传统波长通道的

刚性限制,使得通道带宽能够按需提供,在真实的业务需求与网络提供的通道带宽之间实现最佳的匹配。一方面,根据端口实际需要可编程配置光路带宽并实现全光交换,突破WDM对通道带宽的限制,解决超高速率光信号的传送问题;另一方面,支持面向精细颗粒带宽的全光谱域分割和疏导控制与管理,实现光层资源虚拟化与按需配置,可以提高光纤带宽利用率,降低网络节点处理的整体功耗。

1 全光网发展现状与问题

由于光子作用机理的特殊性,全光网和以电交换为主的传统光网络结构存在很大区别。早在20世纪90年代,随着波分复用(WDM)技术的崛起,全光网研究开始引起人们的极大关注。WDM技术将光纤的可用带宽通道化,提出了端到端的透明波长通道的概念,提供了利用光纤带宽资源的有效方法。基于WDM的全光网方案已成为主流,被纳入到光传送体系(OTN)当中,成为光传送网的未来发展趋势。那么,WDM光网络是否能够解决传送网当前面临的所有问题?是否能够满足未来发展的各种要求?下面对WDM光网络的现状特点进行分析。

WDM光网络利用波长选路技术,实现端到端的全光连接,波长通道是信号传输与带宽调度的基本单位。其现状特点可以概括为:

(1)基于WDM的可重构光分插复用(ROADM)节点只具备固定波长选择交叉能力。

(2)光层无法实现面向波长通道的子波长级全光处理,需要利用光传送网的电层交换功能来完成多层映射与疏导过程。

(3)波长交换光网络的通用多协议标记交换自动交换光网络(GMPLS/ASON)控制平面,仅能满足波长级通道的动态建立、拆除和智能调度等要求。通过以上分析,可以发现WDM

全光网存在的一个根本性问题:为了降低组网实现难度,在带宽分配与性能管理上采用了“一刀切”模式,即通道间隔、信号速率与格式等参数都是固定不变的。这一问题导致了WDM全光网灵活性不高、带宽浪费严重、能耗效率低下,已不能适应未来大容量、高速率、可扩展的光层传送需要。

上述问题的具体表现如下:

(1)在建立波长通道时,不能因地制宜根据用户容量的实际要求分配可用带宽资源,造成波长整体利用率下降。按照WDM标准只有位于规定栅格位置的波长可以分配给用户,而均匀的波长间隔直接决定了通道可用带宽大小,与用户容量和数据速率无关。目前的波长路由全光网在建立波长通道时已分配了固定的光路带宽,必然存在超量配置现象,如果节点之间的流量低于波长可用容量将导致带宽浪费。例如:10G和40G的不同数据速率同样采用50 GHz的标准通道间隔,显然传输10G信号时通道带宽没有得到充分利用。

(2)波长通道一旦建立,其光层可用带宽是不能动态调整的,从而难以适应业务和网络性能灵活变化的需要。由于当前波长通道光发射/接收机的工作速率以及中间转发节点的交叉带宽间隔都是固定的,不能及时响应用户容量的变化,按需增加或减少波长通道占据的带宽,提高光纤利用率。同时,固定通道带宽限制对全光组网的生存性也会带来不利影响,一条失效光路只有在迂回路由带宽相等或超出原始带宽的条件下才能得到恢复。

(3)由于光纤损伤影响,不同速率、格式的全光信号具有不同传输性能,物理属性固定配置的波长通道无法满足光路重构引起的传输质量动态可变要求。例如:全光交换造成端到端波长通道的路径变化,使得交换前后传输距离增加或缩短,接收端的信号质量也会相应发生改变。传统的波长通道由于光层物理属性固定

配置,无法自动适应这一变化,需要引入针对信号速率、格式等的动态调整能力,以最大程度地匹配光路传输条件,优化通道性能。

概括起来,该问题本质上是因为光层提供的波长通道是刚性的,不是柔性的;WDM频谱规划是均匀的,不是灵活的;对光路交换的智能控制是连接约束的,不是传输约束的。如何根据用户需求合理地分配全光网带宽资源是解决这一问题的关键。WDM全光网之所以采取“一刀切”模式,究其原因缺少光层带宽调整、性能监测与调节、动态网络控制和管理能力,已不能客观适应未来网络发展需要,必须从体系上突破WDM刚性带宽管道提供模式的制约,从技术上寻求提高全光网资源整体利用率的解决方案^[1-4]。

2 支持灵活谱利用的超大容量全光网体系结构

随着网络架构的扁平化,40G市场窗口被压缩,100G需求将在2012年后逐渐成为主导,2015年前后可能开始规模应用,并成为干线网的主要传输速率,实现低成本、大容量、长距离的快速直达通道。目前100G系统尚未成熟,面临着一系列技术挑战。最核心的挑战就是要在现有传送网10G速率基础网络架构上容纳100G系统。业界将长期面临10/40/100G共存的局面,需要综合考虑这3者的协调发展、引入节奏和长远架构。未来全光网技术必须满足10/40/100G和更高速率混合传输的需要。

随着业务流量的持续增长,超过100G的传输速率成为下一步人们关注的热点。针对单通道400G、1T方案,在全球已经开始了实验研究和技术验证。这些更高速率的传输信号提出“超波长”的需求,在现有标准WDM通道间隔上,即使采用多种复用方式与复杂的调制格式,也很难支持超100G业务的应用和发展。未来的新型全光网技术,必须满足100G

以上超高速率组网的需要。

随着路由器之间大规模互联的发展,全光旁路(Bypass)将发挥更大的作用。通过建立全光的直达通道连接,可以大大减轻路由器的信息转发压力,提高网络效率、降低网络成本。由于波长通道的刚性限制,使得通道带宽无法按需提供,不能在真实的业务需求与网络提供的通道带宽之间实现最佳的匹配。如何有效地填充旁路的全光连接资源成为一个突出的问题。未来的新型全光网技术,必须满足全光旁路路径上流量汇聚与疏导灵活性的需要。

针对上述需求挑战,图1给出了一种支持灵活谱利用的新型全光网体系结构。与传统WDM光网络相比,该方案突破了基于固定带宽间隔的波长光通道限制,通过灵活的带宽适配、动态谱域处理技术等实现了全光交换和全光组网能力,极大提高了光网络带宽资源利用效率。以下从3个方面分析描述支持灵活谱利用的全光网体系结构。

2.1 带宽灵活可变光通道的接口与映射方式

为了满足灵活带宽业务的承载需求,针对全光网频谱资源分配弹性可变的新特点,采用谱域切片、谱域组合、谱域压缩等全光谱域处理技术,实现可变速率、可变格式、可变通道间隔的光通道标准化接口和映射功能。主要技术包括:支持灵活谱利用的全光网功能建模、可变速率、可变格式和可变带宽的光发射机/光接收机技术等。

2.2 可编程通道间隔与中心频率的全光交换模式

为了突破ITU-T固定通道间隔的限制,基于灵活栅格设计,提出可编程通道间隔与中心频率的全光交换模式,实现满足方向无关、波长无关、竞争无关、栅格无关等要求的大容量、多维度、多方向全光节点方案。

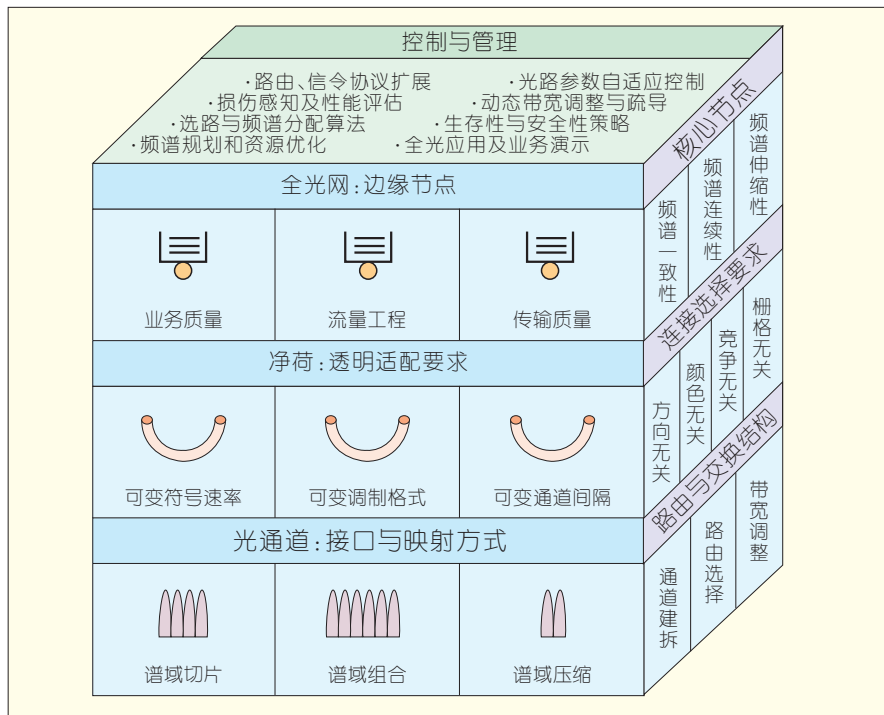


图1 支持灵活谱利用的全光网体系方案

通过采用高性能的可编程光路选择滤波集成组件技术,支持网状网中不同间隔和码型信号的灵活交换处理,具备光通道功率控制和色散控制能力。主要技术包括:光谱带宽灵活调整策略、超大容量可变带宽光收发和光交换等集成单元构件设计、全光通路性能监测与跟踪标识等。涉及到光通道带宽可编程滤波技术等。

2.3 全光网的控制与管理机制

针对可变带宽和动态连接的需求,提出支持灵活谱利用的全光网智能控制与管理机制,主要包括统一智能控制平面、增强信令机制、选路和频谱分配算法、损伤感知策略、网络生存性、光交换节点保护和容错机制、业务驱动的全光连接控制等技术。支持光交换节点性能监测、节点间协同控制与资源配置等机制的研究和实现。

3 带宽灵活可变光网络的关键技术

近年来,光传送网(OTN)、分组传

送网(PTN)和100G高速传输的核心技术及标准取得了较大进展,从很大程度上满足了超大容量通信、灵活高效组网、电路和分组信息传送兼顾等方面的需求。从干线网的未来发展来看,全光网正在向更高层次方向演进,呈现出由静态联网向动态交换、由较低传输速率水平向超高速率通道传输、由原始带宽提供向智能带宽提供的若干趋势。上述支持灵活谱利用的全光网体系结构可以针对当前网络面临的“瓶颈”制约和基础结构性挑战,解决实现超大信息容量和超高速率光交换的核心问题。其关键技术包括基于多载波调制的光收发技术、弹性可变的自适应调节技术、多约束条件下的路由与频谱资源分配技术、带宽碎片整理与频谱重构技术等。

3.1 基于多载波调制的光收发技术

典型的多载波调制包括光正交频分复用(OOFDM)技术和奈奎斯特频分复用技术。以OOFDM为例,满足一定速率、带宽需求的客户信号经过

调制后具有不同的基带子载波数目,每个基带子载波在保证正交性的同时可以采用不同进制的调制格式。如何利用多载波生成系统对各基带射频信号分别进行光路同相/正交(IQ)调制,得到全光正交子载波信号,进而复用汇聚形成带宽、速率、格式可灵活调整的透明光通道,以及如何在接收端通过全光子载波解复用和相干接收处理,最终实现基于正交光子载波的多址接入、OFDM解调和相关损伤的补偿,是支持灵活谱利用的全光网必须首要解决的问题。

3.2 弹性可变的自适应调节技术

弹性可变是支持灵活谱利用的超大容量全光网的一大特征,其核心在于可以根据业务质量与网络状态需求对端口速率、调制格式和频谱资源进行动态调节。此外,不同于光电混合传送网络的流量疏导过程是在电层中进行的,频谱灵活光网络的流量疏导是以光正交频分复用信号形式进行汇聚和疏导的,不同业务的光子载波在汇聚过程中会产生串扰。考虑上述流量疏导过程中可能产生的光信号串扰问题,需要一种自适应调节技术,针对不同的业务发射机进行自适应的调节,最终满足信号传输的要求。该技术主要包括自适应测评功能,硬件调节功能,分布式连接请求建立功能,网络信息同步功能等。通过节点中的自适应测评功能,进行发射机参数的计算,根据计算结果调节发射机参数。

3.3 多约束条件下的路由与频谱资源分配技术

与波长路由光网络中的波长分配不同,在带宽灵活可变光网络中,选路和频谱资源分配(RSA)需要考虑3个约束条件:频谱一致性、频谱连续性、频谱伸缩性。例如,利用光正交频分复用技术,可以将光通道分割成若干子载波,由这些子载波携带需要传递的用户信息。每条光通道在

频谱域上实际由多个连续的正交子载波构成,形成了切片,它的传输容量与子载波的数目以及子载波上调制的信号速率密切相关。由于允许从光通道中增加或者删除任意数量的子载波,因此光通道实际占据的通道带宽能够根据用户流量需求的变化而动态扩展或者压缩。其中会涉及到RSA体系方案,以及流量感知和损伤感知的RSA算法等。

3.4 带宽碎片整理与频谱重构技术

由于业务到达及持续时间具有较大随机性,一段时间后频谱资源状态将变得杂乱无序,出现很多带宽碎片。这些碎片在频谱上因为其不连续性而不能分配给新的业务,一旦数量过多就会造成很大的频谱资源浪费。如果将其整合成连续的频谱,则可以分配给新业务使用,从而提高频谱资源整体利用率。该整合过程即为频谱重构,其最基本的目标就是将业务已经使用的频谱资源集中化,将未使用的频谱资源连续化。本质上频谱资源碎片重构技术是对网络资源进行优化,它又可以分为网络局部重构和网络整体重构。

4 结束语

全光网技术是超大容量组网的迫切需要,是绿色通信发展的必然趋势,是网络安全保障的重要环节。随着业务IP化和高带宽应用的发展,对光层动态化和智能性提出了更高要求。由于带宽需求激增而导致设备功耗非线性增长,低功耗的全光技术成为主流方向。支持灵活谱利用的超大容量全光网技术突破了传统波

长通道的刚性限制,使得通道带宽能够按需提供,并在真实的业务需求与网络提供的通道带宽之间实现最佳的匹配,具有重要意义。

5 参考文献

- [1] 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.
- [2] AMAYA N, IRFAN M, ZERVAS G, et al. Gridless optical networking field trial: Flexible spectrum switching, defragmentation and transport of 10G/40G/100G/555G over 620-km field fiber [C]//Proceedings of the 37th European Conference on Optical Communication(ECOC'11), Sep 18-22, 2011, Geneva, Switzerland. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: Th.13.K.1.
- [3] KOZICKI B, TAKARA H, TSUKISHIMA Y, et al. Experimental demonstration of spectrum-sliced elastic optical path network (SLICE) [J]. Optics Express, 2010, 18(21): 22105-22118.
- [4] GEISLER D J, PROIETTI R, YIN Y, et al. The first testbed demonstration of a flexible bandwidth network with a real-time adaptive control plane [C]//Proceedings of the 37th European Conference on Optical Communication (ECOC'11), Sep 18-22, 2011, Geneva, Switzerland. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: Th.13.K.2.

收稿日期: 2011-10-08

作者简介



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; 教育部新世纪优秀人才, 北京市科技新星, 北京市优秀教师, APOC2007、ACP2009/2010/2011、OECC2009、PS2009、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; 已主持国家级基金项目 10 余项, 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; 已获授权发明专利 16 项, 发表 ITU-T 标准文稿 17 篇、专著 6 部、SCI/EI 论文百余篇。

广告索引

A1、封四: 中兴通讯股份有限公司

带宽光网络路由与资源分配研究

Bandwidth-Variable Optical Network Routing and Resource Allocation

中图分类号: TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 06-0014-06

摘要: 文章针对灵活速率光信道数据单元(ODUflex)以及带宽可变光正交频分复用(OFDM)两种光网络分别提出路由与速率分配和路由与频谱分配课题。该课题将降低系统总能耗作为最优化目标,采用最优化软件 ILOG CPLEX 进行仿真,分别提出了相应的启发式算法,并将最优化结果同启发式算法的结果进行了性能上的比较与讨论。

关键词: 带宽可变光正交频分复用;路由与频谱分配;路由与波长分配

Abstract: This paper describes routing and rate allocation for optical data unit flex (ODUflex), and it also describes routing and spectral allocation for variable-bandwidth orthogonal frequency division multiplexing (OFDM). To reduce power consumption in routing and rate allocation, and in routing and spectrum allocation, ILOG CPLEX is used to complete the optimization simulation, and heuristic algorithm is also proposed. In this paper, simulation results of optimized performance and heuristic algorithms are discussed.

Key words: bandwidth-variable optical orthogonal frequency-division multiplexing; routing and rate allocation; routing and spectrum allocation

罗萱/ LUO Xuan
强思维/ QIANG Siwei
金耀辉/ JIN Yaohui

(上海交通大学 区域光纤通信网络与新型
光通信系统国家重点实验室, 上海 200240)
(State Key Laboratory of Advanced Optical
Communication Systems and Networks,
Shanghai Jiao Tong University, Shanghai
200240, China)

当前,数据业务爆炸式增长,计算机互联网流量迅猛增加,人们对网络带宽和容量的需求持续快速增长。通信网络所承载的业务逐渐从文件传输(FTP)、网页浏览(WWW)等通信方式转变成P2P下载、网络视频点播等传输容量大、带宽需求高的通信方式。为了满足带宽和容量指数增长的需求,各种光复用技术被广泛应用。

光复用技术主要有波分复用、光时分复用和光码分复用技术。本文主要研究灵活速率光信道数据单元(ODUflex)、波分复用(WDM)和带宽可变光正交频分复用(OFDM)3种光网络,其中ODUflex采用光时分复用技

术。ODUflex可根据业务速率进行匹配,使得客户信号正好映射进入载荷区,占用高阶 k 级光信道数据单元(ODU k)中最少数量的时隙,使剩下的时隙能够承载其他业务,有效提高网络带宽利用率。混合速率WDM光网络采用波分复用技术,相比单速率WDM网络,混合速率WDM网络能提供10G、40G和100G 3种信道速率可供选择,具有一定的灵活性。带宽可变光OFDM网络采用类似于波分复用的多子载波调制技术,将高速数据信号分成多路低速数据信号,并调制到正交子载波上进行并行传输,能够明显提高系统频谱利用率。带宽可变光OFDM子载波数量根据业务请求大小动态调整,具有良好的颗粒度和灵活性。

伴随着传输流量爆炸式地增长,

通信网络系统能耗急剧增长。在不久的将来,通信网络的能耗问题将成为世界范围内亟待解决的问题。巨大的能耗不仅会消耗地球上紧缺的资源,引起环境污染和气候变化,同时会对网络运营商的成本支出产生很大影响。如何更好地规划网络资源,在满足业务需求的情况下降低能耗,是重要的研究课题^[1-10]。

1 ODUflex光网络

光信道数据单元(ODU)是光传送网中装载单元信号的容器。在光传送网中,客户信号首先映射进入ODU k ,然后在插入传输头部后在合适的波长上进行传输。传统ODU根据速率不同分为3种:2.5 Gbit/s($k=1$)、10 Gbit/s($k=2$)、40 Gbit/s($k=3$)。为了更好地传输各种新老客户信号,引入了ODU $_0$ 、ODU $_4$ 以及能够灵活调整带宽的ODUflex,使得复用层次由原先的两层复用结构:ODU $_1$ —ODU $_2$ —ODU $_3$ 更新成为4层复用结构:ODU $_0$ —ODU $_1$ —ODU $_2$ —ODU $_3$ —ODU $_4$ 。

随着网络的高速发展,出现了大量新的客户信号,且其中的大多数都不能直接映射进入现有ODU k ,不产生明显的带宽损失,而每次定义一个

基金项目: 国家重点基础研究发展(“973”)规划(2010CB328205);国家自然科学基金(60736002)

新的ODU是不实际的。ODUflex能通过调节自身容器的大小,与业务速率进行匹配,仅占用高阶ODUk最少数量的时隙,使剩下的时隙能够承载其他业务,有效提高了带宽利用率。

1.1 路由与速率分配问题

当业务请求到达时,光传送网需要首先为每条业务分配路由和每条路由上的速率,然后由光传送网的信令负责光通路的建立,达到传送业务的目的。一般可将路由和速率分配问题分成两个阶段:在源节点和目的节点之间分配路由,为每条路由分配速率。

路由与速率分配问题线性规划的最优化目标:假设系统总能耗由调制能耗和传输能耗两部分组成,总能耗=调制能耗+传输能耗,并假设调制能耗和节点输出速率成正比,传输能耗和节点输出速率和光路长度成正比。

1.2 路由选择策略

路由选择策略主要有3种:

(1) 固定路由

固定路由选路策略的思路是对任意节点对间确定一条固定的可用路由,可通过线下计算确定,一般由最短路径算法确定,如Floyd算法和Dijkstra算法。

当业务达到时,在固定路由上分配速率或频谱,若无可用速率或频谱,则该业务请求被阻塞。这种方案的优点是分配速度快,缺点是阻塞率高,并且因为没有可替代路由,不具备链路故障恢复能力。

(2) 固定备用路由

固定备用路由选路策略的思路是对任意节点对间确定多条可用路由,其中一条为主路由,其他为备用路由,并按规则进行优先级排序,一般为最短路由优先。

当业务达到时,首先使用主路由,当其阻塞时,再依次使用备用路由。相对于固定路由选择策略,这种

方案分配速度同样比较快,相对不容易阻塞。因为具备可替代路由,具备链路故障恢复能力。

(3) 自适应路由

自适应路由选路策略的思路是根据当前网络状态动态的选择路由,有两种实现方案:

(a) 受限的自适应路由。预先确定一组无序的备选路由,根据业务请求和当前的网络状态选择其中一条最适合的路由。

(b) 非受限的自适应路由。无备选路由,完全动态地选择路由。相对于前两种路由选择策略,这种方案的阻塞率最低,具有链路故障恢复能力,但时间复杂度也大大提高。

1.3 路由与速率分配问题启发式算法

在启发式算法中首先对业务进行排序,然后按照排序为每条业务请求分配路由和速率。路由分配采用固定备用路由策略。业务排序策略有:按业务流量进行排序、按业务路径进行排序。

(1) 按业务流量进行排序

按业务流量进行排序通常按业务的流量从大到小进行排序。首先满足流量较大的业务,对其分配路由和网络资源。

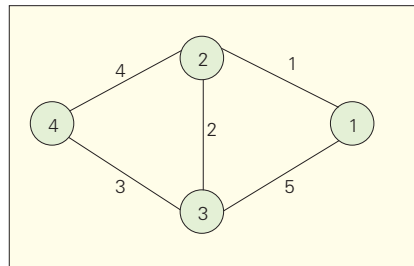
该策略优势在于分配成功率高,开始阶段网络资源较多,适合大流量业务分配;随着业务的分配,网络资源逐渐变少,适合小流量业务分配,整体而言阻塞率较低。

(2) 按业务路径进行排序

按业务流量进行排序通常按业务最短路由由长度或跳数从大到小进行排序。首先满足路由长度长或跳数多的业务,对其分配路由和网络资源。

该策略优势在于路由长度较长或跳数较多的业务对网络资源的占用要求比较高,应当预先使其得到满足,同样,整体而言阻塞率较低。

路由与速率分配问题的启发式算法主要分为4步:



▲ 图1 4点拓扑网络

步骤1——采用Dijkstra算法计算每对节点间的主路由和备用路由。

步骤2——按照业务流量和业务路径对每对节点间的业务从大到小进行排序。

步骤3——按照业务排序依次为每条业务先按照主路由分配路由和速率。若阻塞,则使用备用路由,如果全部备用路由使用失败,则报错并返回,否则执行步骤4。

步骤4——计算系统总能耗。

启发式策略包括3种:

启发式策略1——按业务流量对业务进行排序。

启发式策略2——按业务主路由长度对业务进行排序。

启发式策略3——按业务各路由链路的使用频率对业务进行排序。

1.4 仿真结果

(1) ODUflex 4点网络拓扑

图1所示为4点拓扑网络。图2所示为路由与速率分配问题4点拓扑网络仿真结果示意图。

路由与速率分配问题4点拓扑网络仿真结果分析:

(a) 当流量较小时,各种启发式策略均能得到全局最优解。这是因为各项业务均分配均能满足最短路径路由分配而不产生阻塞。

(b) 当流量较大时,各种启发式策略增幅较小(不超过20%)。启发式策略1和启发式3相对较好。

(2) ODUflex 24点拓扑网络仿真

图3所示为24点拓扑网络。图4所示为路由与速率分配问题24点拓扑网络仿真结果示意图。

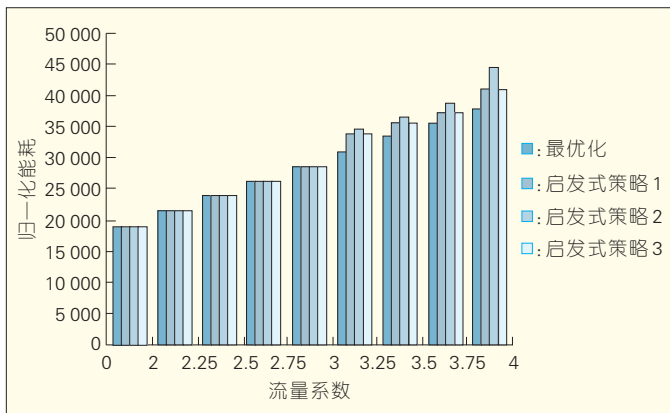


图2
路由与速率分配
问题4点拓扑网络
仿真结果

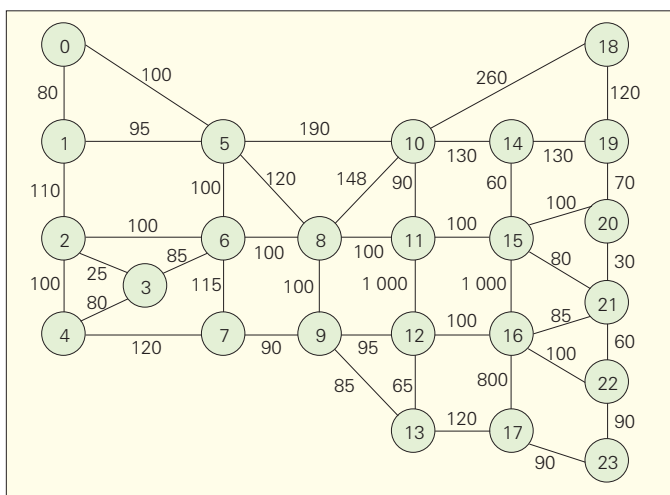


图3
USNet24点拓扑网络

路由与速率分配问题24点拓扑网络仿真结果分析:

(a)当流量较小时,各种启发式策略计算结果均相同,推测为全局最优解。因为此时各项业务平均分配均能满足最短路径路由分配而不产生阻塞。

(b)当流量较大时,启发式策略1计算能耗最小,策略2、策略3均有较小增幅。当流量增大时策略3相对于策略1和2不容易阻塞,阻塞概率比较低。

(c)启发式算法平均运算时间为66 ms,运算效率高。

2 带宽可变光 OFDM 网络

当前,互联网IP爆炸式的增长趋势对传输容量和带宽需求提出了更高要求。为了满足爆炸式增长的业务,波分复用(WDM)技术被广泛应用

每个波长提供了极高容量,但没有被利用的带宽资源却是一种极大的浪费。带宽可变光 OFDM 网络能够很好地解决这个问题。OFDM 使用多子载波调制。在发送端首先把高速数据信号转换成并行的低速子数据流,然后调制到每个子信道上进行传输,并保证每个子信道之间的正交性;在接收端通过相关技术实现子信道的分离。其作为一种数字调制格式,由于每个子信道带宽仅为原信道带宽的一小部分,因此极大提高了网络的频谱利用率和系统的传输效率。

2.1 路由与波长分配问题

路由与波长分配问题主要包括两个子问题:在源节点和目的节点之间分配路由、为每条路由分配波长。系统能耗的假设与前文相同。WDM 光网络需要考虑波长连续性,分配更加复杂。波长连续性是指因光交叉节点(OXC)通常没有波长转换能力,从而要求一条光路在 OXC 的入链路和出链路上分配相同的波长。问题主要分为3步:首先对业务进行排序,然后依次为业务分配路由,最后为分配的路由分配波长。

具体到实际的 WDM 网络,假设使用偏振(Polarization)正交移相键控(QPSK)调制方式,则 10G、40G 和 100G 3 种速率的实际使用带宽分别为 2.5 GHz、10 GHz 和 25 GHz。因为

于提高光纤的传输容量。常见的混合速率 WDM 有 10G、40G、100G。相比单速率 WDM,混合速率 WDM 网络能够提供 10G、40G、100G 3 种信道速率进行选择,因此具有一定的灵活性,但是带宽粒度仍然较大。网络中

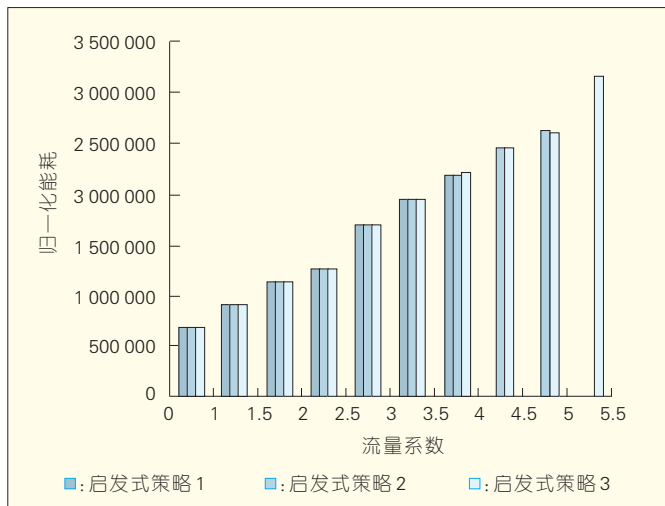


图4
路由与速率分配
问题24点拓扑网络
仿真结果

WDM 的信道间隔频率是 50 GHz, 所以这 3 种速率的所需占用带宽均为 50 GHz。

2.2 路由与频谱分配问题

与路由与波长分配问题类似, 路由与频谱分配问题主要包括两个子问题: 在源节点和目的节点之间分配路由、为每条路由分配频谱。问题主要可以分为 3 步解决: 首先对业务进行排序, 然后依次为业务分配路由, 最后为分配的路由分配频谱。频谱分配策略有: 随机适应法、首次适应算法和最佳适应法。

和 WDM 中的光交叉连接相同, 带宽可变的光交叉连接一般没有频谱搬移能力, 因此需要考虑频谱连续性约束。

本文假设带宽可变光交叉连接均不具备频谱搬移能力。如果分配不能满足频谱连续性限制, 连接请求将被阻塞。

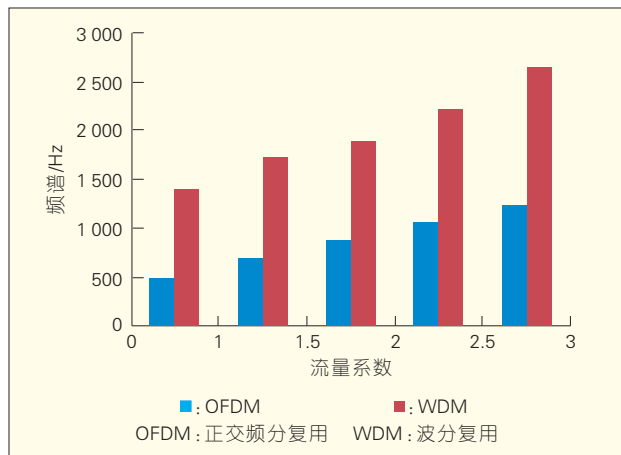
具体到实际的光 OFDM 网络, 本文采用文献[11]中提出的正交频段复用 OFDM 网络。文献中将 OFDM 信号分成多个子频段, 同时保证这些子频段之间的正交性。光 OFDM 网络每个子频段的频谱是 6.4 GHz, 提供 21.4 Gbit/s 数据速率, 可以通过调整子频段的数目产生与业务流量匹配的信号速率。根据 ITU-T G.694.1 中规定的 WDM 信道分配标准, 信道的频谱间隔为 50 GHz, 在 C-Band 中将有 80 个信道。假设每条光纤链路上可供分配的频谱资源为 4 000 GHz, 则每条光纤链路上子频率段的数目为 625 个。

2.3 路由与频谱分配问题启发式算法

在启发式算法中首先对业务进行排序, 然后按照业务排序依次为每条业务请求分配路由和频谱。业务排序策略与路由与速率分配问题中的 3 种策略相同。频谱分配策略主要包括 3 种。

(1) 随机适应法

图 5
WDM 光网络与带宽可变光 OFDM 网络带宽利用率比较图



随机适应法首先遍历所有可用资源, 确定在选定路由上的可用资源的集合, 再等概率地随机选取一段。算法的时间复杂度低, 但没有考虑当前的网络状态。

(2) 首次适应算法

首次适应算法将所有资源进行统一编号, 再依次搜索, 直到选择第一段能满足业务需求的资源来分配。该算法倾向于使用靠前的一段资源, 保留了靠后的大块空闲区便于以后分配。

(3) 最佳适应算法

最佳适应算法将所有资源进行统一编号, 再选取其中一段能满足业务需求的且编号最小的资源来分配。该算法倾向于使用最小的一段资源, 保留了完整的大块空闲区便于以后分配。

路由与频谱分配问题的启发式算法包括 6 个步骤:

步骤 1——采用 Dijkstra 算法计算每对节点对间的主路由和备用路由。

步骤 2——按照业务流量和业务路经对每对节点对间的业务从大到小进行排序。

步骤 3——按照业务排序依次为每条业务按主路由分配路由, 尽可能满足业务所需带宽, 若分配失败, 记录分配失败的流量。

步骤 4——判断业务分配成功否, 若存在分配失败的流量, 按照主路由集合分配路由; 若分配失败, 记

录分配失败的流量。

步骤 5——判断业务分配成功否, 若存在分配失败的流量, 按照备用路由顺序分配路由; 若全部备用路由分配失败, 则报错并返回, 否则执行步骤 6。

步骤 6——计算系统总能耗。

启发式策略包括 6 种:

策略 1A——采用频谱分配首次适应法, 并且按业务流量对业务进行排序。

策略 2A——采用频谱分配首次适应法, 并且按业务主路由长度对业务进行排序。

策略 3A——采用频谱分配首次适应法, 并且按业务各路由链路的使用频率对业务进行排序。

策略 1B——采用频谱分配最佳适应法, 并且按业务流量对业务进行排序。

策略 2B——采用频谱分配最佳适应法, 并且按业务主路由长度对业务进行排序。

策略 3B——采用频谱分配最佳适应法, 并按业务各路由链路的使用频率对业务进行排序。

2.4 仿真结果

(1) 波分复用与带宽可变光 OFDM 比较

图 5 所示为 WDM 光网络与带宽可变光 OFDM 网络带宽利用率比较。图 6 所示为 WDM 光网络与带宽

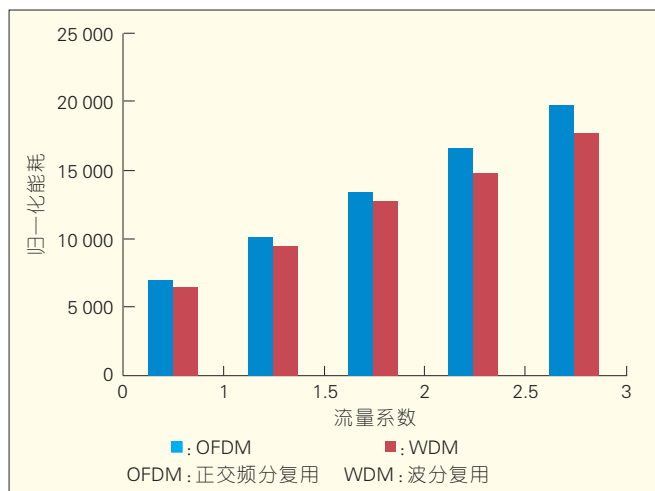


图6
WDM光网络与带宽
可变光OFDM网络
能耗比较图

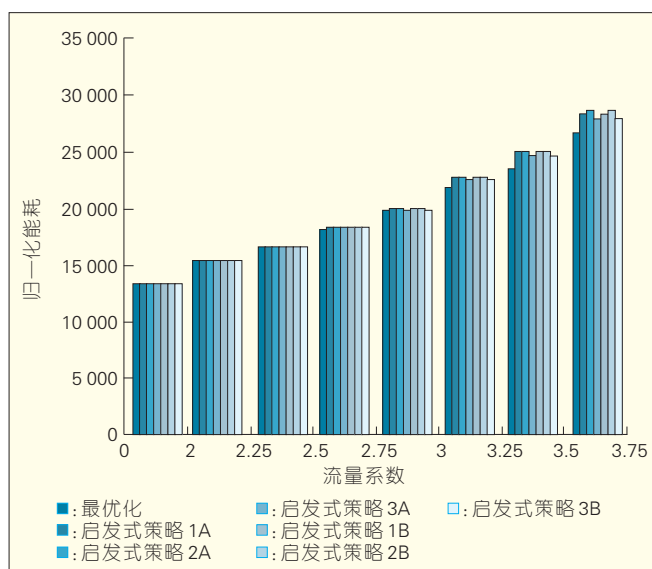


图7
路由与频谱分配问题
4点拓扑网络仿真
结果

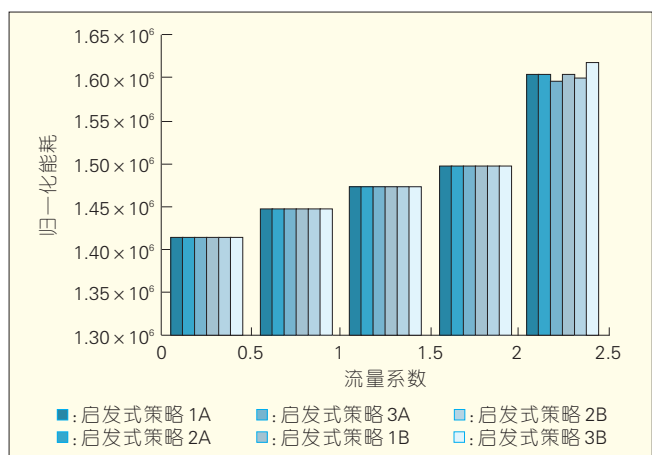


图8
路由与频谱分配问题
24点拓扑网络仿真结果

可变速光OFDM网络能耗比较。

仿真结果分析:

(a)在频谱利用率方面带宽可变

光OFDM网络具有绝对优势。

(b)在能耗方面WDM光网络具有一定微弱优势。

(c)因为在光传输网中频谱是相对紧缺的资源,应首先考虑。OFDM比WDM更具优势。

(2)带宽可变光OFDM 4点拓扑网络仿真

图7所示为路由与频谱分配问题各种算法4点拓扑网络仿真结果。

路由与频谱分配问题4点拓扑网络仿真结果分析:

(a)当流量较小时,各种启发式策略均能得到全局最优解,这是因为各项业务分配均能满足最短路径路由分配而不产生阻塞。

(b)当流量较大时,各种启发式策略增幅较小(不超过15%)。综合而言,采用按各路由链路的使用频率对业务进行排序效果较好,各种频谱分配方法对计算结果影响不大。

(c)最优化平均运算时间为117 s,启发式算法平均运算时间为168 μ s,运算速度约为最优化的 7×10^5 倍,运算效率极高。

(3)带宽可变光OFDM 24点拓扑网络仿真

图8所示为带宽可变光OFDM 24点拓扑网络仿真结果。

路由与频谱分配问题24点拓扑网络仿真结果分析:

(a)当流量较小时,各种启发式策略计算结果均相同,推测为全局最优解,因为此时各项业务分配均能满足最短路径路由分配而不产生阻塞。

(b)当流量较大时,各种启发式策略阻塞概率大致相同,同时使用按业务各路由链路的使用频率对业务进行排序和首次适应算法相对较好。

(c)启发式算法平均运算时间为89 ms,运算效率高。

3 结束语

当前,随着数据业务爆炸式的增长和各种新业务的出现,计算机互联网面临两大问题,即带宽和容量的需求持续快速增长和各种业务的不同粒度和传输信道带宽容量难以匹配。ODUflex光网络和带宽可变光

OFDM 网络能够较好地解决这两大问题,是本文研究的重点。伴随着传输流量的急剧增长,网络能耗增加迅猛,如何优化网络资源分配,降低能耗是本文研究的核心。

本文针对 ODUFlex 以及带宽可变光 OFDM 两种光网络分别提出路由与速率分配问题和路由与频谱分配问题,给出了最优化及启发式算法的仿真比较。

4 参考文献

- [1] 顾婉仪, 张杰, 王健全, 等. 光传送网 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [2] 杨淑雯. 全光光纤通信网 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] 刘国辉. 光传送网原理与技术 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2004.
- [4] 郑威. 带宽可变光网络资源分配优化研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
- [5] MUKHERJEE B. Optical WDM networks [J]. New York, NY, USA: Springer, 2006.
- [6] CHRISTODOULOUPOULOS K, VARVARIGOS E A. Offline routing and wavelength assignment in transparent WDM networks [J]. IEEE/ACM Transactions on

- Networking, 2010,18(5):1557-1570.
- [7] CHRISTODOULOUPOULOS K, TOMKOS I, VARVARIGOS E A. Routing and spectrum allocation in OFDM-based optical networks with elastic bandwidth allocation [C]// Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'10), Dec 6-10, 2010, Miami, FL, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010:6p.
- [8] ZHENG W, JIN Y, SUN W, et al. On the spectrum-efficiency of bandwidth-variable optical OFDM transport networks [C]// Proceedings of the Optical Fiber Communication/ National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'10), Mar 21-25, 2010, San Diego, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010:3p.
- [9] LOWERY A, DU L B, ARMSTRONG J. Performance of optical OFDM in ultralong-haul WDM lightwave systems [J]. Journal of Lightwave Technology, 2007,25(1): 131-138.
- [10] LOWERY A, ARMSTRONG J. Orthogonal frequency division multiplexing for dispersion compensation of long-haul optical systems [J]. Optics Express, 2006, 14 (6):2079-2084.
- [11] YAN Tang and WILLIAM S. Coherent Optical OFDM Transmission Up to 1 Tbit/s per Channel [J]. Journal of Lightwave Technology, 2009,27(16): 128-13.

收稿日期: 2011-09-08

作者简介



罗萱, 上海交通大学博士毕业; 上海交通大学网络信息中心高级工程师; 主要研究方向包括光通信网络、云计算、数据挖掘、移动互联网。



强思维, 上海交通大学在读博士研究生; 主要研究方向包括光通信网络、标识识别、数据挖掘。



金耀辉, 上海交通大学光子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。

上接第 4 页

以及基于 OFDM/SCFD 的节点交换结构,并实验验证了基于带宽可变的 ROADM、OXC 节点技术的可行性。在实验提出的基于子波带的交换结构中,节点容量达到了 P 比特量级。

5 参考文献

- [1] HARADA K, SHIMIZU K, KUDOU T, et al. Hierarchical optical path cross-connect systems for large scale WDM networks [C]//Proceedings of the Optical Fiber Communications conference and the International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communication (OFC/IOOC'99):Vol 2, Feb 21-26, 1999, San Diego, CA, USA Piscataway, NJ, USA:IEEE, 1999: 356-358.
- [2] GERSTEL O, RAMASWAMI R, WANG W K. Making use of a two-stage multiplexing scheme in a WDM network [C]//Proceedings of the Optical Fiber Communications Conference(OFC'00):Vol 3, Mar 7-10, 2000, Baltimore, MD, USA Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2000:44-46.
- [3] NOIRIE L, BLAIZOT C, DOTARO E. Multi-granularity optical cross-connect [C]// Proceedings of the 26th European Conference on Optical Communication (ECOC'00), Sep 3-7, 2000, Munich, Germany. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2000: 44-46.
- [4] ARMSTRONG J. OFDM for optical communications [J]. Journal of Lightwave

- Technology, 2009,27(3), 189-204.
- [5] MA Y, QI Y Q, YAN T Y, et al. 1-Tbit/s single-channel coherent optical OFDM transmission over 600-km SSMF fiber with

subwavelength bandwidth access [J]. Optics Express, 2009, 17(11):9421-9427.

收稿日期: 2011-09-29

作者简介



陈远祥, 北京大学在读博士研究生; 研究方向为光通信与光网络。



李巨浩, 北京大学通信与信息系统专业工学博士毕业; 北京大学信息科学技术学院讲师; 研究方向为无源光网络、可变带宽光网络、相干光传输系统; 已发表 SCI/EI 检索论文 30 余篇。



徐安士, 北京大学教授、博导, 中国电子学会高级会员, 中国通信学会高级会员, 美国光学学会高级会员, 中国光学学会光电技术专业学会常务委员, 北京通信学会理事, 北京邮电大学信息光子学与光通信国家重点实验室学术委员会顾问委员, 中国电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术教育部重点实验室学术委员会副主任委员, 北京通信信息协会理事, 西南交大信息光子与通信研究中心学术委员会委员, 欧美同学会留美分会理事, 《中兴通讯技术》、《中国激光》杂志编辑委员会委员, 主要从事光网络、高速大容量波分复用光纤通信系统、基于等离子激元的光入光出广角接收模块等光器件等方面的研究; 获国家获国家科技进步三等奖, 已发表论文 300 余篇。



何永琪, 丹麦技术大学博士毕业; 北京大学信息科学技术学院教授级高工、博导, 北京邮电大学和北京交通大学兼职教授, 中国通信学会第二通信软件技术委员会委员, 北京市科学技术奖专业评审委员会专家, 国家科技型中小企业创新基金评审专家, 国家重点新产品计划评审专家。



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。

大容量光电交换技术研究

High-Capacity O/E Switch Technology

中图分类号: TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 06-0020-04

摘要: 高效灵活地利用已有带宽, 充分、高效和灵活地调度和控制各种粒度的业务, 保证业务的生存性是光交换网络亟需解决的技术问题。为此文章探讨了融合光通路数据单元(ODUk)/分组的新型交换机制、光纤/ODUk/分组混合交换机制。文章认为新的交换机制和多粒度交换结构是超大容量实现和构建的关键, 业务多粒度生存性及协调机制、业务适配、带宽分配、管理和控制、损伤监测等是需要研究的重点问题。

关键词: 光交换; 分组交换; 电交换; 混合交换

Abstract: Efficient use of bandwidth and flexible control of granularity service are the main technical issues in optical switch networking. In this paper, a new optical channel data unit (ODUk) packet-converged switch scheme is discussed. An optical-ODUk packet-mixed switch scheme is also discussed. The new switch scheme and multi-granularity switch structure are key to realizing an ultra-large capacity optical switch network. Service multi-granularity survivability, service adaption, bandwidth distribution, management and control, and signal degradation monitoring also need to be taken into consideration when studying optical switch networks.

Key words: optical switch; packet switch; electrical switch; hybrid switch

张海懿/ZHANG Haiyi

赵文玉/ZHAO Wenyu

汤瑞/TANG Rui

(工业和信息化部电信研究院 通信标准研究所, 北京 100191)

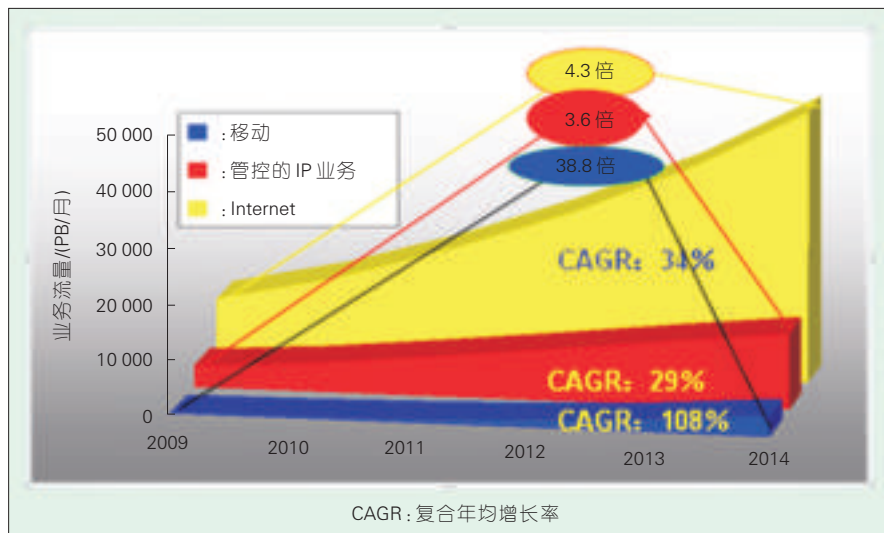
(Institute of Communication Standards Research, China Academy of Telecom Research, MIIT, Beijing 100191, China)

网络 IP 流量的快速增加在促进单波传输速率提高的同时, 也在促使网络架构发生改变, 以满足大容量 IP 业务的需求。与传统的语音业务相比, 当前网络流量的增加除了对带宽提出了更高的需求之外, 其业务粒度更加丰富, 对网络调度的智能灵活性、网络的生存性等多个方面也提出了更高的要求。这就要求未来的光通信网络不再仅仅是提供一个超大带宽的传输管道, 而是能够满足业务梳理、调度、质量保证等各个方面的

1 网络发展趋势

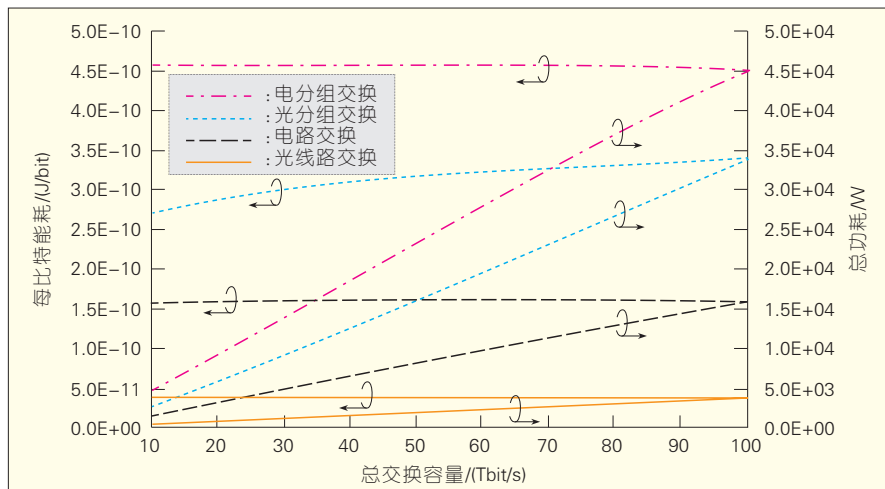
根据 Cisco 公司预测, 到 2014 年, 平均每年的全球 IP 业务流量将保持 34% 的年增长率(如图 1 所示)。如果保持该增长速度, 业务带宽的需求在 2~3 年内就将翻一番。从中国的情况来看, 按照中国电信的最新预测, 中国电信未来 5 年干线容量可能达到 110~188 Tbit/s, 并在今后不断增长, 这将会对光网络的容量、架构和性能提出严峻的挑战。网络流量的快速增加使得单个波长的传输速率和波分复用(WDM)系统的传输容量也在不断增加。40 Gbit/s WDM 技术成功已经在全世界范围内进行了

大规模商用部署, 100 Gbit/s WDM 技术也已经开始正式商用的步伐。



▲ 图1 Cisco关于互联网业务增长的预测(源自 Cisco VNI 2010)

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



▲图2 不同交换机制的能耗比较

需求。光网络中的交换节点将在其中扮演至关重要的角色。如何高效灵活地利用已有的带宽,如何对各种粒度的业务充分、高效和灵活地调度和控制,以及保证业务的生存性,这将决定着未来的光网络能否成功应对未来网络流量的快速发展和变化。而这些正是光交换节点技术需要解决的问题^[1-6]。

2 光交换技术研究现状

光网络中节点的交换技术从总体上可以分为四大类:电分组交换、光分组交换、电路交换和光线路交换。从能耗的角度考虑,电分组交换的能耗最高,而光线路交换的能耗最低(如图2所示)。目前的光网络迫切需要支持多种粒度的大容量光交叉节点。

光网络最早采用的交换方式就是电交换。交换粒度从早期的虚容器(VC)级别发展到目前的光通路数据单元(ODUk)级别。目前光传送网(OTN)还支持 ODUflex 粒度和通用映射规程(GMP)封装方式,可以对不同粒度的业务实现封装和调度。但是从目前的情况来看,分组业务的调度更多的还是首先将光信号通过光电转换设备转换为电信号,然后通过路由器在电域进行交换,再通过光电转换设备转换为光信号进行传输。这

种交换方式的灵活性比较高,但是耗费了大量的路由器资源,从而造成路由器的能耗和成本随着网络流量的发展而急速增加。近些年提出了分组光传送网(P-OTN)的概念,即在交换体系中引入二层交换能力,从而使得分组业务和时分复用(TDM)业务在 OTN 交换体系中具有同等地位,分组业务不再是 SDH 的客户业务,而是可以直接在 OTN 交换体系中进行交换。P-OTN 技术还在研究之中,标准化工作也还没有取得实质进展。

光交换可以分为光电路交换(OCS)、光突发交换(OBS)和光分组交换(OPS)。OCS 技术随着近些年可重构分插复用设备(ROADM)技术的发展而取得广泛的应用。随着传输速率的进一步提高(如达到太比特每秒级),信道的谱宽超过 100 GHz,使得原来的 50 Gbit/s 固定间隔的 WDM 系统已经无法适应;另一方面,随着频谱效率的进一步提高,系统传输距离进一步缩短,为了在频谱效率与传输距离之间得以实现比较好的性能权衡,软件定义收发机(SDO)的概念被提出,核心目标是通过软件的方式来配置和编程收发机的调制方式和载波带宽,从而根据不同的传输距离采用不同的调制方式,最大化地利用频谱资源。因此,考虑到网络的可升级性和可扩展性,下一代的频谱划分将

不再是以 50 GHz 或 100 GHz 为单位,而是采用可变的栅格系统。这一问题在光互连论坛(OIF)和国际电信联盟(ITU)已经开始讨论研究,并且 ITU 的 G.694.1 已经开始修改以支持可变频率栅格。可变栅格系统的每个信道的频谱宽度并不是任意的,而是具有一定的粒度(步进)。步进粒度和系统的复杂性成反比,如何取得两者的权衡还需要进一步研究。因此,支持无色、无方向性和无波长冲突性的 ROADM,以及带宽特性可调的支持频率间隔无关 ROADM 器件的发展都将会大大增强 OCS 交换技术的灵活性和应用前景。

常规的 OCS 支持波长粒度的交换,其业务速率可以是 10 Gbit/s,也可以是 100 Gbit/s。但是在实际应用中,需要交换的粒度可能是几个波长或者子波长粒度,这样如果仍然采用传统网络架构的话,不仅交换效率不高,也可能会存在资源浪费的情况。为此,在常规 OCS 的基础上,有研究项目提出了一种多粒度的交换节点结构,如图3所示。可以实现的交叉粒度包括光纤交换(FXC)、波带交换(BXC)、波长交换(WXC)以及子波长交换(通过电层 DXC 实现)。有研究项目提出了另外一种基于光码分多址(OCDMA)的子波长光交换机制。即把每一个正交码作为一个交换颗粒进行子波长连接的光交换。但是受 OCDMA 技术实际应用的限制,该种子波长交换方式的应用前景并不乐观。除此之外,还有学者提出了一种光子时隙交换技术。与时分复用相似,信号在时间上被划分成多个时隙。但是与时分复用不同的是,每一个时隙都包含系统的所有波长,每个波长都可能含有一定的分组数据。这样就可以通过对时隙内的波长进行交换从而实现分组数据的交换。

除了光交换技术的研究之外,也有许多关于光交换网络智能管控和生存性方面的研究。新的网络不仅解决网络的带宽需求,而且能够满足

不同的业务应用要求,支持点到点的应用和点到多点的应用。网络的控制平面应该是灵活且鲁棒的,不仅能够对光路进行实时监控,还需要能够对其进行多层跨域的管理,在实现资源利用最大化的同时保证服务质量,同时实现动态的带宽提供,满足按需的业务需求。

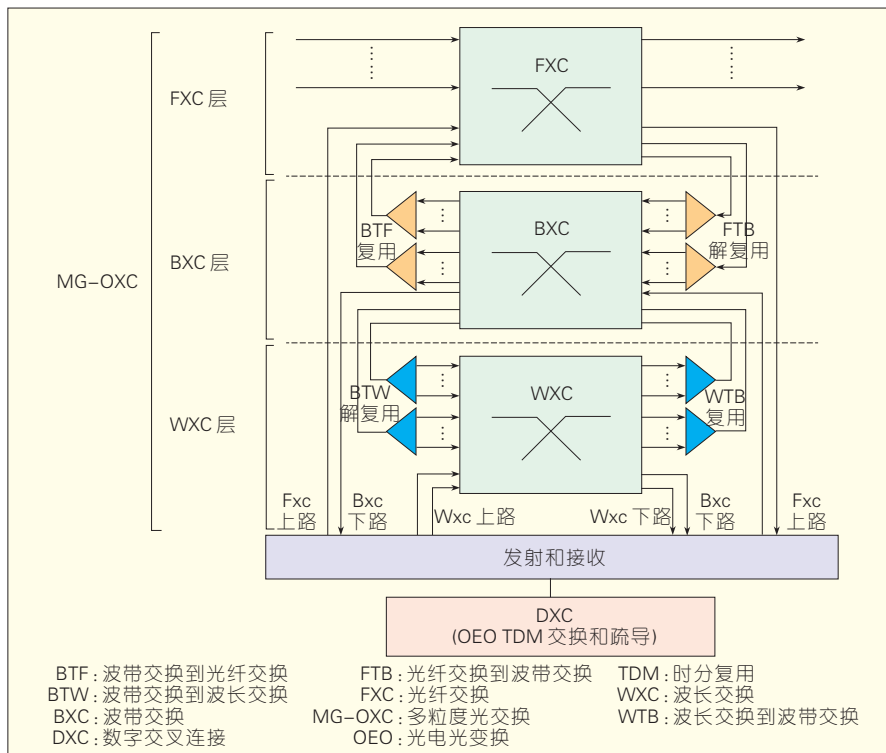
3 大容量光电交换需求和技术研究

从业务接口和光收发技术发展趋势上看,光网络应能够动态灵活地提供不同传输速率、不同带宽粒度的信号交换能力。原有 DWDM 系统中单波长 10G、40G 传输接口已经不能满足当前路由器丰富的接口需要,支持超波长级别和波长级别的交换能力成为实现多业务接入灵活性的迫切要求。

支持带宽可变波长交换能力的光交换是需要讨论的问题。按照 ITU G.694 讨论的可变频谱宽度范围 ($193.1 + n \times 0.00625$ THz) 和步进粒度 (12.5 GHz 的整数倍),如果支持所有的频谱宽度和步进粒度的组合,现有架构下的合分波单元的端口数量将非常巨大,不具有可实现性。可根据传输系统的需求来实现新的合分波单元架构,比如采用可变栅格滤波器和耦合器来实现带宽可变的合分波单元,以及通过相干接收的本振来选择下路波长等,并在此基础上研究带宽可变的光交换单元。也可采用适宜的带宽可变的光波长选择器件为基础来构建光波长交换单元实现波长级的柔性交换能力,研究面向频谱碎片整理的弹性光网络资源重构模式与优化机制。

3.1 融合 ODUk/分组的新型交换机制

为了提高带宽利用效率,分组交换正在逐步替代传统的电路交换。但是随着光传输技术的发展,分组交换所固有的非面向连接性在应用中



▲图3 多粒度光交换节点结构

又面临着一系列问题,使得电路交换又成为大规模应用的一个很好的选择,尤其是光电技术的融合,更使其显示出巨大的潜力。

从传统的观点看,电路交换技术不适用于数据业务网络,而分组交换技术则是当今因特网技术的主流。光传输技术的发展和技术的进步使得原本分组交换的优势和电路交换的缺陷在今天已不再有意义,而且随着应用领域的扩大,分组交换和电路交换逐渐趋向融合。

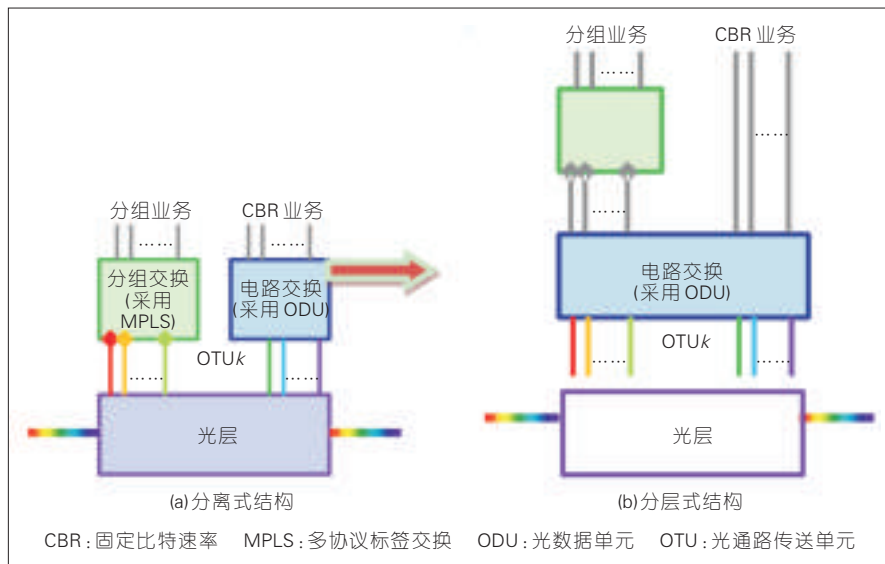
目前融合分组和 ODUk 的交叉有两种实现方式,如图4所示。在分组/ODUk 交叉分离结构中,两种不同类型的业务分别进入分组交换矩阵和 ODUk 交换矩阵,然后分别映射到 ODUk/OTUk 中。分组业务和电路业务无法共享相同的波长资源,因此网络资源利用率不高。在分层结构中,分组业务不是直接映射到波长上而是经过一层 ODUk 交叉。实现分组和 ODUk 交叉矩阵有多种方式,例如分组业务采用 GMP 封装方式映射到

ODUflex 中。

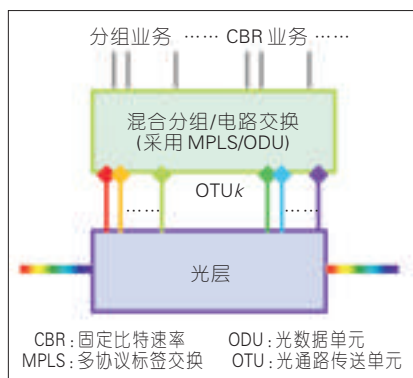
混合式结构如图5所示。使用单个混合交叉矩阵同时处理分组和电路业务,很容易实现流量汇聚和疏导,映射分组和电路业务到相同的波长上成为可能。与分层结构相比较,混合式交换结构可以节省分组交换和电路交换之间的多个光接口,总的交换矩阵容量需求也随之减小,可扩展性更高;与分离式结构相比,分组和电路业务可以共享相同的 ODUk 容器,因此可以获得更高的波长带宽利用率。

3.2 光/ODUk/分组混合交换机制

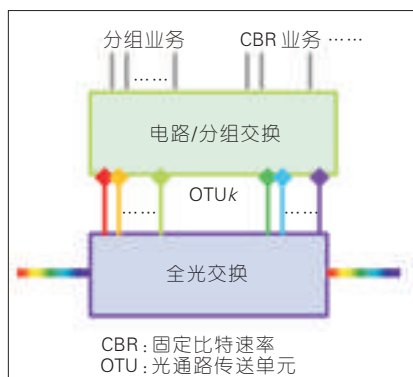
目前的网络上除了不断增长的 IP 流量,仍然存在大量的 TDM 业务。而且 TDM 业务和分组业务之间的互操作也有需求。通道化的 ODUk 交换使 TDM 业务和分组业务可以共享光层资源。网络的演进目标要求不仅能够支持动态带宽可变的业务连接管理,支持面向连接业务,支持数据统计复用和差异化服务。解决



▲ 图4 融合分组/ODUk交叉的结构



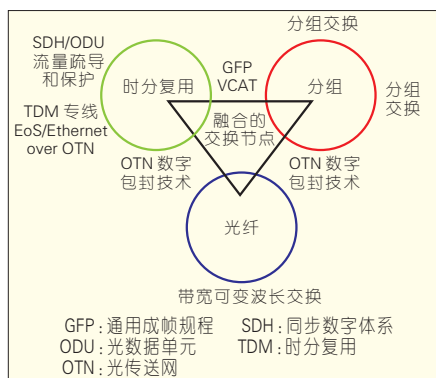
▲ 图5 分组/ODUk混合结构



▲ 图7 光/分组/ODUk混合结构

办法就是将 SDH/OTN/分组等电层交换和光层集中在一个平台上,实现统一的集中式交换,如图6所示。

混合节点结构可以灵活分配电路和分组流量,减少所需光端口,最



▲ 图6 光/分组/ODUk交换的融合

大限度获得可用光纤容量。如果将之与光层交换结合,则可实现光/ODUk/分组混合交换,其结构如图7所示。OTN层结合 ODUflex 实现分组和电路业务的接入、汇聚和疏导,光层实现损伤感知以及带宽可变光波长级交换。

4 结束语

面向大容量传送和交换的业务需求和网络 IP 化的不断发展,对于超大容量光交换节点的业务需求也更加强烈。交换机制和多粒度交换结构是超大容量实现和构建的一个主要因素。对于分层业务调度及协调、多粒度业务生存性及协调机制研究、业务适配模块、带宽分配模块、管理

和控制、损伤监测等需要展开进一步的研究。相信随着器件和系统技术的进一步发展成熟,P 比特甚至更高交换容量的设备会逐步出现并在网络中开展应用。

5 参考文献

- [1] 韦乐平. 光网络的发展趋势与挑战 [J]. 电信科学, 2011,27(2):7-12.
- [2] ALEKSIC S. Energy efficiency of electronic and optical network elements [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2011,17(2): 296-308.
- [3] GRINGERI S, BASCH B, SHUKLA V, et al. Flexible architectures for optical transport nodes and networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2010,48(7): 40-50.
- [4] MAIER M, REISSLEIN M. Trends in optical switching techniques: A short [J]. IEEE Network, 2008,22(6): 42-47.
- [5] KHATTAB T, ALNUWEIRI H. Optical CDMA for all-optical sub-wavelength switching in core GMPLS networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25 (5):905-921.
- [6] CHLAMTAC I, ELERK V, FUMAGALLI A, et al. Scalable WDM access network architecture based on photonic slot routing [J]. IEEE/ACM Transactions on Networks, 1999, 7(7): 1-9.

收稿日期:2011-09-22

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 余篇,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。



赵文玉,工业和信息化部电信研究院通信标准研究所传输与接入研究部高工;主要从事 40G/100G WDM、OTN 等光传送网新技术研究、标准制订以及系统测试评估等工作。



汤瑞,电信研究院研究生毕业;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工程师;主要从事 WDM、OTN、智能控制等光传送网技术的研究、标准制订以及系统测试工作。

T比特频分复用相干光传输技术

T bit/s Coherent Optical Transmission with Frequency Division Multiplexing

中图分类号: TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 06-0024-04

摘要: 高清电视、视频点播、云计算等新业务的发展要求光纤传送网带宽大并能灵活调度。文章讨论了几种实现传输速率为T比特每秒的超级信道产生方法。受电子“瓶颈”限制,T比特级速率的传输必须由多个密集的正交光子载波组成的超级信道承载。在每个光子载波上,可以采用基于正交频分复用的多载波技术,也可以采用单载波时域或频域均衡技术。通过调整光子载波的数目与颗粒度,或每个光子载波上承载的调制格式,可以实现可变速率的光传输与光交换。

关键词: 高速光纤传输; 正交频分复用; 相干光通信

Abstract: New services such as high definition (HD) TV, video-on-demand (VOD), and cloud computing require a large and flexible optical fiber transmission network. This paper highlights several ways of creating super channels that are capable of T bit/s transmission. Limited by electronic bottleneck, T bit/s transmission requires a super-channel with many intensive optical orthogonal subcarriers. Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) multicarrier technology and single-carrier technology with time or frequency domain equalization can be used on each optical subcarrier. Bandwidth-variable optical transmission and switching can be achieved by adjusting the optical subcarrier quantity, granularity, or applied modulation formats.

Key words: high-speed optical fiber transmission; OFDM; coherent optical communication

张帆/ZHANG Fan

陈章渊/CHEN Zhangyuan

(北京大学 区域光纤通信网及新型光纤通信
系统国家重点实验室, 北京 100871)
(State Key Laboratory on Advanced Optical
Communication Systems & Networks, Peking
University, Beijing 100871, China)

载波在频域的交叠,可以实现具有高频谱效率光子载波带传输的目的。除了满足超高速大容量的需求,通过控制光子载波的数量、颗粒度、调制格式,超级信道还可以实现可变速率和带宽的光传输与交换。

1 正交频分复用技术

正交频分复用的基本原理是把高速数据流进行串并变换,形成传输速率相对较低的若干个并行数据流,分别在不同的子信道中传输。由于子信道速率降低,符号周期会相应增加,这样就可以减少由于多径时延而造成的符号间干扰(ISI)。在OFDM系统中,每个子信道的频谱是重叠的,这样就提高了频谱利用率。OFDM系统的容量与子信道数目密切相关。通过调整子信道的数目,可以获得所需传输速率。

在OFDM发射机中,输入的串行数据首先变换成许多并行子数据流,分别调制到相应的子载波上。经逆快速傅里叶变换(IFFT)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(前导信号),以便于

光纤通信网络是国家重要的基础设施,支撑整个信息社会。超高速率和超大容量一直是光纤传输系统的目标。当今社会,网络信息成几何级数增长,移动办公、三维视频、云计算、远程医疗等多种新型业务所需带宽灵活多样,迫切需要增强光网络动态带宽管理功能。因此未来光纤传送网必须满足下面两个基本要求:超高速率和超大容量的信息传输、适应用户不同需求的动态带宽资源分配。

考虑到器件带宽与处理能力的限制,单个光载波可以承载的波特

率最高在几十吉波特每秒量级。结合偏振复用并采用多电平的光调制格式,单个光载波可以传输的最高速率在百吉比特每秒量级。多个密集的正交光子载波可以集合到一起形成一个超级信道。这个超级信道作为一个整体被传输和交换、控制光子载波的数量和单个光子载波承载的速率,可以实现太比特每秒的超高速传输。

和传统波分复用系统相同的是:这种超级信道的思想本质上来源于频分复用的技术。不同之处在于,光子载波更加密集,其频率间距满足正交频分复用(OFDM)技术对正交性的要求。采用奈奎斯特滤波控制光子

基金项目: 国家自然科学基金(61077053、60932004、60877045)

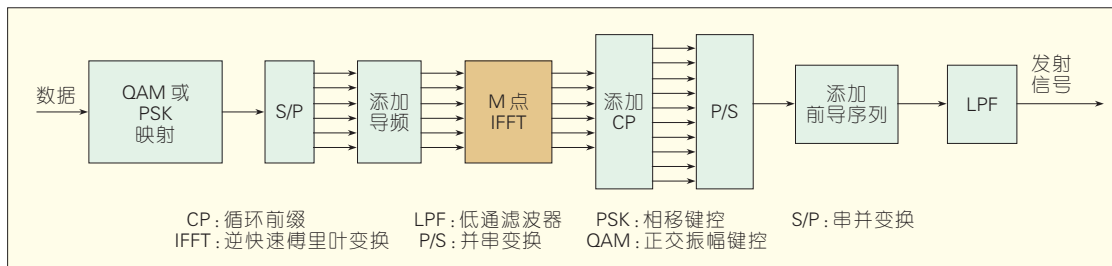


图1 OFDM基带信号的产生

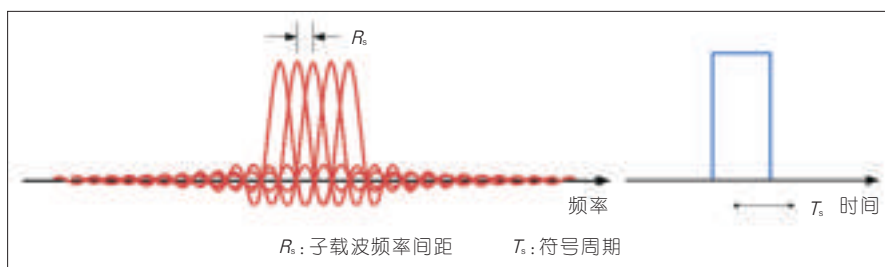


图2 OFDM信号频域特性和时域波形

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,可以用同相/正交(IQ)调制器转换到一个光载波上。OFDM基带信号的产生过程如图1所示。

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,避免符号间干扰(ISI)和载波间干扰(ICI)。利用偏振复用和多人多出技术可以提高频谱效率,并克服偏振串扰和偏振模色散的影响。

OFDM信号频域特性和时域波形如图2所示。在图2中, T_s 为OFDM符号周期,OFDM子载波频率的间距 $R_s=1/T_s$ 。

T比特超级信道光发射接收机首先需要产生具有固定频率间隔的正交光子载波组成的光频率梳。每个光子载波可承载不同速率和调制格式的信号,用户所需带宽由多个光子载波组成的波带保证。

利用射频信号驱动光调制器是一种常用的产生光频率梳的方法,如图3所示。不同频率的射频信号去调制级联的马赫曾德尔(MZM)强度调制器,或者不同频率的射频信号合波后去驱动光调制器。当射频信号的频率和幅度以及光调制器的偏置点

选取合适时,可以得到所需要间隔和数目的光载波频率梳。

文献[1]实现了一个1.2 Tbit/s的CO-OFDM系统实验,就是利用多个光源加上光调制器的方式来产生多子载波。在此实验中,用了10个间隔34 GHz的光源,每个利用一个强度调制来产生间隔6.8 GHz的5个光载波,一共可以产生50个光子载波;然后将这50个光子载波进行奇偶分路并且分别进行OFDM信号的调制;最后耦合起来再进行偏振复用处理,最终可以得到速率为1.2 Tbit/s的信

号。信号在标准单模光纤上传输了400 km。

文献[2]所采用的是另一种产生光频率梳超级通道的方法。其本质为利用一个光IQ调制器来产生一个抑制载波的单边带调制,借此来实现一个频谱上的搬移。然后经过环路与原信号进行耦合后反复进行搬移来获取多个光子载波。光子载波的数目由环路中的带通滤波器的宽度来决定。

在此实验中,在循环移频之前先进行OFDM信号的调制,然后再完成波带的搬移,最后实现了1 Tbit/s的光OFDM信号,并且信号在标准单模光纤上传输了600 km。

2 OFDM信号的变种——SCFDM信号

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不平衡的敏感问题。在无线OFDM

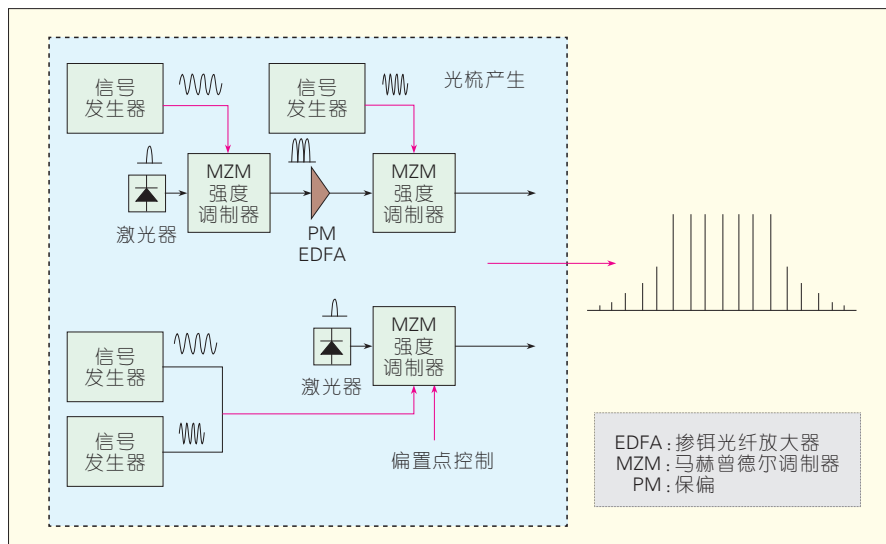


图3 由光调制器产生光频率梳原理

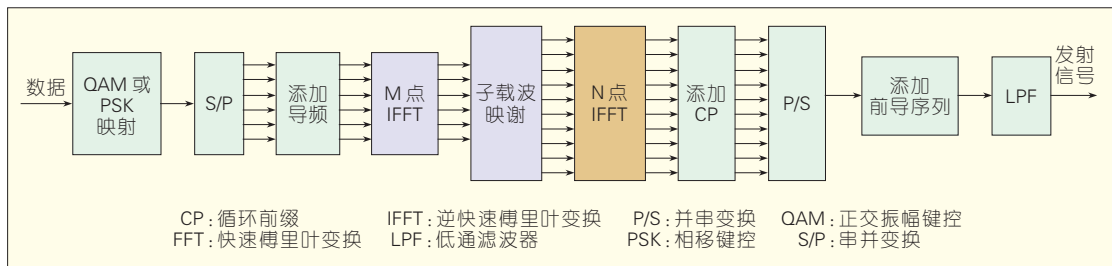


图4
SCFDM基带信号产生

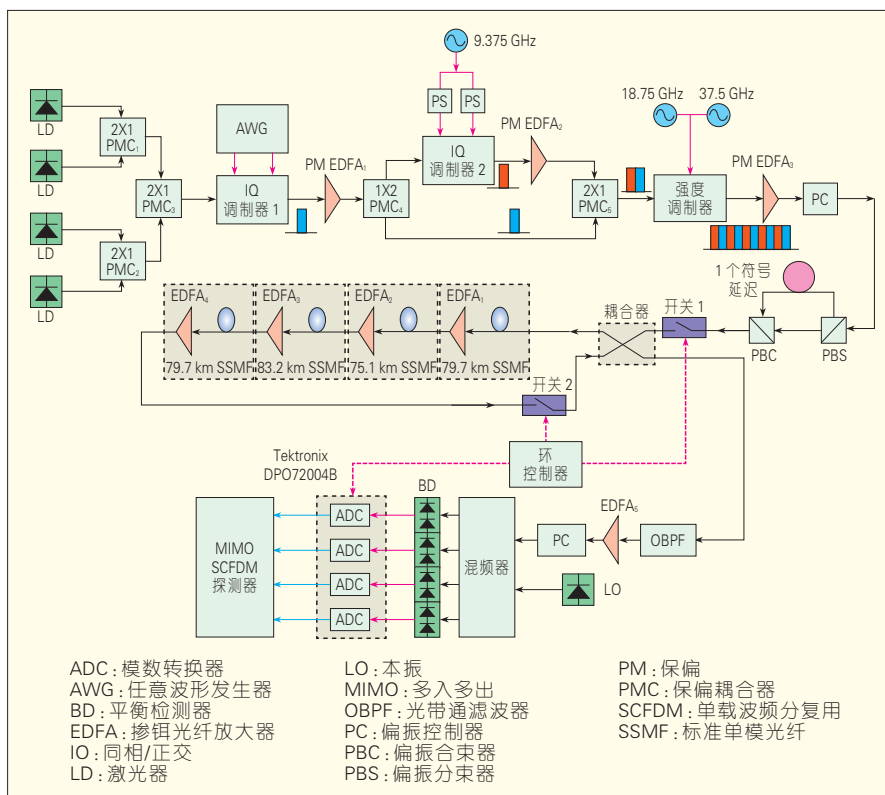


图5 1.08 Tbit/s SCFDM实验框图

系统,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。可以采用OFDM的一种变形结构单载波频分复用(SCFDM),有时又称为DFT-spread OFDM来降低峰均比。SCFDM原是移动通信LTE中的上行传输标准,因为属于单载波调制,峰均比较低。图4所示为SCFDM基带信号产生流程图。北京大学光通信实验室实现了1.08 Tb/s超级通道信号在单模光纤上传输1585 km。

图5给出了系统实验框图。我们利用光调制器产生了间隔9.375 GHz

的40个光子载波,经过317 km环路传输5圈后,所有光子载波信号最差

误码率优于 3.8×10^{-3} 。图6所示为40个光子载波组成一个超级信道。

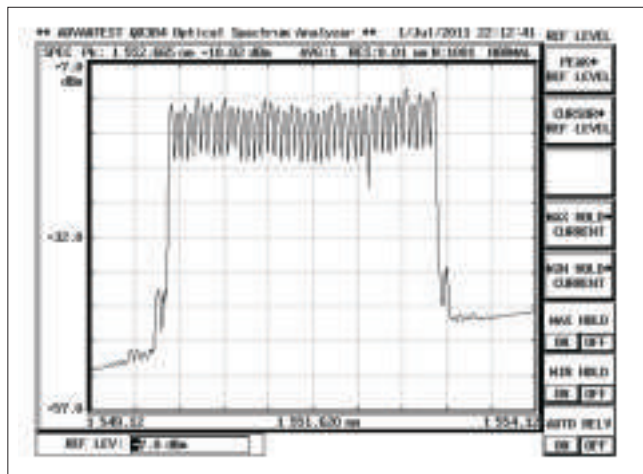
3 奈奎斯特波分复用技术

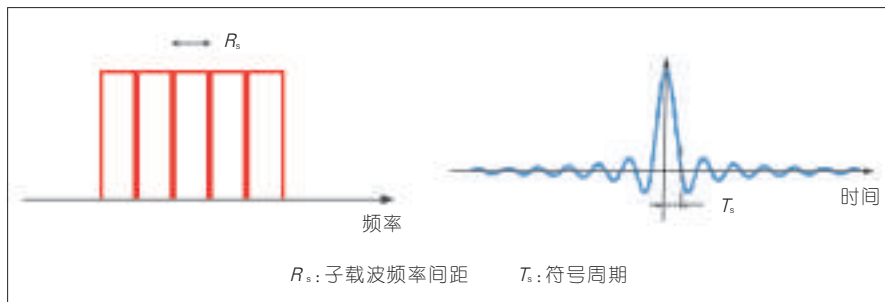
奈奎斯特波分复用技术(Nyquist-WDM)是另一种用于产生超级信道的技术。相对于OFDM信号的多载波调制来说,通常的单载波调制信号想要实现密集频谱的超级信道,需要在每个光子载波产生后,利用一个奈奎斯特滤波器来对频谱进行整形。整形后的子带频谱接近一个矩形,能够极大地减小带外的能量泄露从而减小子波带之间的串扰,其频谱带宽等于光子载波信号传输波特率。采用了奈奎斯特波分复用技术的信号光谱与时域波形如图7所示。

Nyquist-WDM技术适用于时域信号,与均衡技术无关。因此在接收端可以采用传统的时域均衡方法,也可以采用频域均衡的方法来实现超级通道传输。

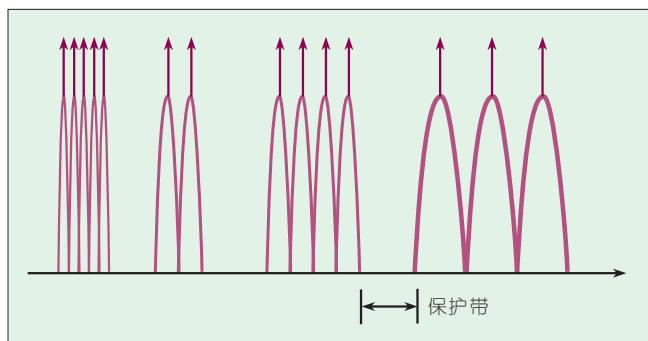
有文献对于传统的OFDM超级通道和基于Nyquist-WDM技术单载波

图6
40个光子载波组成超级信道





▲图7 Nyquist-WDM 光谱与时域波形



▲图8
多速率混合传输光
网络频谱分配示意图

超级通道的传输性能进行了仿真比较^[3]。仿真结果表明, OFDM 信号需要更宽的接收机带宽, 也就是说意味着需要更快的模数(A/D)转换。而且 Nyquist-WDM 信号在超长距离非线性损伤明显的传输情况下, 性能要优于 OFDM。由于光的奈奎斯特滤波器较难于实现, 因此用传统的阵列波导光栅(AWG)或交织滤波器(Interleaver)也可以实现近似的功能。

文献[4]实现的仿真结果表明在应用 1.1 倍波特率带宽的 2 阶超高斯滤波器的情况下, 实现通道传输的代价十分小。

文献[5]利用 Nyquist-WDM 技术实现了太比特 PM-QPSK 传输实验。在产生 25 GBaud/s 调制信号之后, 用一个 Waveshaper 来对信号的频谱进行整形, 借此实现了 1 Tbit/s 的超级通道。在 1.1 倍波特率的滤波情况下, 信号在标准单模光纤上成功传输了 2 200 km。

4 带宽可变的光传输与光交换

图 8 表示了多种速率的信号混合

传输的频谱分配。正如前文所提到的, 未来的光网络要具备适应不同需求的动态带宽分配能力, 也就是在网络中存在不同速率的信号进行混合传输。这就要打破以往 WDM 栅格的概念, 根据实际需求来进行动态调整。每种速率的信号本身就可能是由许多的子波带合成的超级通道, 而每个超级通道的子波带带宽也可能各不相同。在网络中进行传输交换的时候是按照一个超级通道作为一个整体来进行处理的, 只需各个超级通道之间保留一定的保护间隔即可。

5 结束语

T 比特频分复用相干光传输技术主要分为 OFDM/SCFDM 技术以及 Nyquist-WDM 技术两类。不论哪种技术, 都突破了传统的 WDM 栅格的限制, 因此可以支持带宽灵活可变的光传输和交换。

多种速率混合传输的光网路是未来发展的趋势, 此方面的研究逐渐成为光通信的热点之一。子波长颗粒度与频率间距; 调制格式与复用方

式; 单载波与多载波; 保护带宽选择等涉及到下一代光通信体制标准的问题需要进一步研究。

6 参考文献

- [1] 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 SSF [C]//Proceedings of the Optical Fiber Communication Conference (OFC'09), Mar 22-26, 2009, San Diego, CA, USA. 2009: PDPC2.
- [2] MA Y, YANG Q, TANG Y, et al. 1-Tb/s per channel coherent optical OFDM transmission with subwavelength bandwidth access [C]//Proceedings of the Optical Fiber Communication Conference (OFC'09), Mar 22-26, 2009, San Diego, CA, USA. 2009: PDPC1.
- [3] BOSCO G, CARENA A, CURRI V, et al. Performance limits of Nyquist-WDM and CO-OFDM in high-speed PM-QPSK systems [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2010, 22 (15): 1129-1131.
- [4] BOSCO G, CARENA A, CURRI V, et al. Investigation on the robustness of a Nyquist-WDM terabit superchannel to transmitter and receiver non-idealities [C]//Proceedings of the 36th European Conference on Optical Communication (ECOC'10), Sep 19-23, 2010, Turin, Italy. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: Tu.3.A.4.
- [5] GAVIOLI G, TORRENTO E, BOSCO G, et al. Investigation of the impact of ultra-narrow carrier spacing on the transmission of a 10-carrier 1Tb/s superchannel [C]//Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'10), Mar 21-25, 2010, San Diego, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: OThD3.

收稿日期: 2011-10-08

作者简介



张帆, 北京邮电大学电磁场与微波技术专业工学博士毕业; 北京大学副教授, 洪堡学者, IEEE 高级会员; 主要从事高速光纤通信系统、相干光通信、数字信号处理与电均衡技术等方面的研究; 已发表学术论文 70 余篇、国际会议邀请报告 6 篇。



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。

P比特光网络多故障定位的 NP-complete 问题研究

NP-Complete Problem in Multiple Fault Localization in Pbit/s Optical Networks

中图分类号: TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 06-0028-04

摘要: 解决多故障定位的非多项式完全问题(NP-complete)在 P比特光网络中变的更加困难。计算复杂度、计算时间与网络的输入规模成指数增长关系。文章阐述已有的多故障定位算法以及协议,包括透明的故障定位算法、推理算法、深度探测算法、启发式生成树算法以及有限区域向量匹配协议(LVM)等,深入分析了 P比特光网络中多故障定位 NP-complete 问题的难点所在,同时提出一种基于蚁群优化进行告警的遍历和包含故障元素最少的故障集合的寻找方法。

关键词: P比特光网络;多故障定位;蚁群优化

Abstract: NP-complete in multiple fault localization in Pbit/s optical networks has become more difficult to solve. Computational complexity and computing time grow exponentially with the size of the network. This paper introduces fault localization mechanisms, including transparent fault location algorithm, inference algorithm, run-length probing algorithm, heuristic spanning tree with m-cycle, and limited-perimeter vector matching (LVM) fault-localization protocol. Difficulties in NP-complete of multiple fault localization in a Pbit/s optical network are analyzed, and an ant colony optimization algorithm is proposed to determine the minimum number of failures.

Keywords: Pbit/s optical network; multiple fault localization; ant colony optimization

李新/LI Xin

顾婉仪/GU Wanyi

(北京邮电大学 信息光子学与光通信国家重点实验室, 北京 100876)
(State Key Laboratory of Information Photonics and Optical Communications, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

内根据观测到的告警集合推断出故障的集合。

网络拓扑复杂化和承载业务的多样性是 P比特光网络两个基本的特点,而多故障定位 NP-complete 问题的困难与网络拓扑和网络承载的业务相关。在 P比特光网络里多故障定位的 NP-complete 属性:更难寻找包含故障元素最少的故障集合和寻找包含故障元素最少的故障集合的时间与网络拓扑的输入规模成指数增长关系。由于多故障定位属于 NP-complete 问题,很难得到故障的准确的数目和位置。默认的约定是:在保证推断出的故障集合一定能产生故障管理中心收到的告警情况下认为故障集合中的元素越少越是最有可能发生。已有的故障定位机制最后给出的故障集合都是在这种约束下给出的,但在这种约束条件下得到的故障集合并不一定是网络真实发生的故障,而且在这种约束下网络存在一些故障情况使得任何故障定位算法都无法处理。

1 多故障定位算法

多故障定位机制主要分为集中

随着超大容量(P比特级)光网络规模的扩大和传输速率的提高,使得网络遭受自然灾害破坏、人工操作失误和软件配置错误等多重故障的概率增加,将降低光网络带宽提供的可靠性,增加保护恢复资源配置冗余和调度的复杂性。超大容量(P比特级)光网络采用基于时空标记的分类服务方法,从时空角度对网络资源(包括路由、波长、链路、节点等)进行整合与优化。多业务端到端服务质量(QoS)需求与光网络时空多重故障

生存性之间存在复杂的关系。由于光网络元素(节点、链路)的故障能够向业务流的下游节点进行传播,而使时空多重故障情况下故障管理中心收到大量的告警包,其中包含大量的冗余告警包,造成故障管理中心告警包数目急剧增多。理论已经证明,依据收到的告警包进行多故障的甄别属于非多项式完全问题(NP-complete)问题:通常情况下得不出准确的故障发生的数目和故障发生的位置^[1]。光网络多故障定位困难可以描述为:可以在多项式时间内判定一个故障的集合是不是观测到的检测设备发出告警的原因,但是无法在多项式时间

基金项目: 国家重点基础研究发展(“973”)规划(2010CB328202、2010CB328204); 国家自然科学基金(60702005)

▼表1 已有的多故障定位算法与协议

多故障定位算法	定位原理
透明的故障定位算法 ^[4]	对网络元素的特点进行建模,使用告警过滤
推理算法 ^[5]	对物理拓扑进行建模
运行深度探测算法 ^[6]	故障概率模型
启发式生成树 M-cycle 算法 ^[7]	监视圈
链路管理协议 ^[8]	通知数据通路的状态信息
端到端故障检测和定位协议 ^[9]	互发生存性数据包
LVM 协议 ^[10]	受影响的链路向量匹配

式和分布式,应用的光网络类型为非全光网和全光网^[3]。在非全光网中光路的中间节点对光信号进行光电转化,能够检测到故障并且可以屏蔽某些类型的故障向下游的传播。全光网中只有光路的宿节点或者所经过域的边界节点才对信号进行光电转换,才能检测到故障。一般情况下,集中式方法需要详细的网络元素模型用于故障定位,分布式机制依靠持久连接(Keep-alive)或通知消息甄别出故障的根源^[3]。

表1列出了已有的故障定位机制,透明的故障定位算法(层1)、推理算法(层1)、运行长度探测算法(层1)、启发式生成树 M-cycle 算法(层1、2、3)属于集中式的故障定位算法,链路管理协议(层3)、端到端故障检测和定位协议(层3)、有限区域向量匹配协议(LVM)协议属于分布式故障定位协议。

文献[4]研究透明光网络中故障管理的常规问题,对网络中的设备进行建模,得到每个设备可能检测到的故障和可能屏蔽的故障,然后根据得到的告警包去遍历一个告警的二叉树,最后得到可能的故障元素。该算法可应付4种故障:功率下降、波长错误部署、带内干扰、带外干扰。

文献[5]研究真实环境中的多故障定位(观察到的告警可以是不可靠的)。核心问题为离散优化问题。目标是要找到故障集合和告警集合,最小化成本函数。文献[5]提出了启发式算法的解决方案。该算法的复杂度集中在一个预先计算阶段,需要遍历一个二叉树。

文献[8]链路管理协议(LMP)是通过多协议标记交换(GMPLS)协议栈的重要组成部分,通过在一对节点之间交换活动状态通道(Channel Active)和失效状态通道(Channel Fail)消息来实现不透明或透明网络中的故障定位,而不必关心编码格式。LMP协议并不单一运行在一个平面,涉及到控制平面和数据平面的协同工作。

文献[10]LVM协议的核心是如果两条光路同时经过一段链路,若这两个业务的目的节点都检测到故障,就认为这个故障的链路就是这个共享风险的链路。这个协议为单故障定位设计。扩展的LVM协议支持多故障定位。

2 多故障定位问题描述

对于超大容量(P比特级)光网络,影响到故障定位复杂度的因素主要包括:多故障时空随机出现、网络复杂度(无标度网络、随机网络)、承载业务的多样性(业务种类、业务级别、QoS)。通常情况下多故障定位的目标是根据得到的告警指示,找出可能

的故障集合,并且认为得到的集合中的故障数目越少越好。下面描述一般意义下故障定位的困难,然后阐述解决 NP-complete 在 P 比特级光网络中变得更加困难,且随着网络规模的增大定位的计算复杂度和计算时间与网络的输入规模成指数增长关系。

多故障定位的线性规划形式:

t 时刻可能出现的故障集合 $F(t)$:

$F_1, F_2, F_3, F_4, \dots$

t 时刻故障管理中心收到的告警集合 $A(t)$: $a, b, c, d, e, f, g, h, \dots$

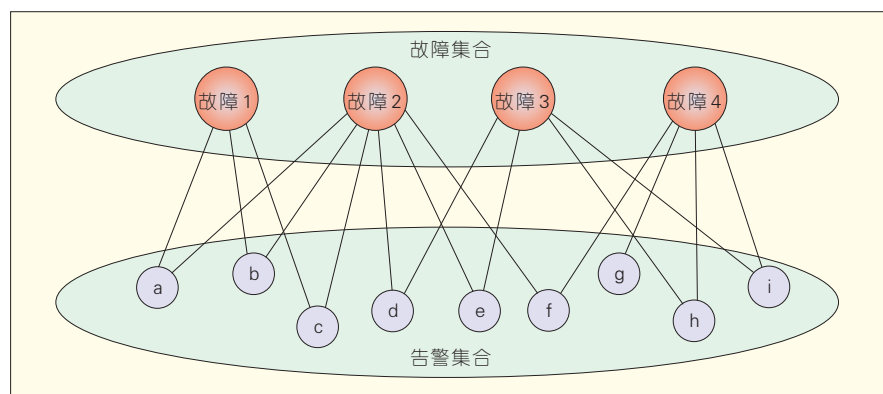
约束条件: $A(F_1) + A(F_2) + A(F_3) + A(F_4) + \dots = A(t)$ 。其中函数 $A(F)$ 表示仅仅故障 F 触发的告警的集合。

目标函数: $\min(C^T F)$, $C=(1, 0, 1, \dots)$ 。 C 中元素为1或者0的列向量,目的是寻找一个包含故障数目最少的集合。

根据光网络拓扑和网络中的业务分布,我们得到如图1所示故障和告警关系的二部图。图的下面是故障管理中心收到的告警的集合,上面是可能的故障元素。故障定位的任务是根据关系图,找到一个故障的集合,使得故障集合中的故障数目最少。多故障定位可分两阶段完成:

(1) 获得故障和告警的关系图。这个关系图有两个约束:光网络拓扑的约束和承载业务的分布约束。

(2) 根据得到的关系图,运用有效的算法得到包含故障数最少的故障集合,其中第二阶段中寻找最少数目的故障集合属于 NP-complete 问题。



▲图1 故障和告警的关系图

多故障定位的目标是寻找包含故障数目最少的故障集合。即使能够寻找到计算性能优良的启发式算法解决了 NP-complete 的困难,但是最少数目的故障集合可能不止一个,如何选择和处理这些集合仍困难。况且最少数目的故障集合并不一定是真实网络中一定发生的故障,网络管理者只是认为最少数目的故障集合更有理由发生。

多故障时空随机出现、网络复杂化(无标度网络、随机网络)、承载业务的多样性是 P 比特级光网络的显著特征。其中网络复杂化(无标度网络、随机网络)、承载业务的多样性增加了多故障定位第一个阶段的复杂度,使得获得的故障和告警的关系图更加复杂、耗时,而且得到的关系图不再是静态而是动态变化的。多故障时空随机出现增加了多故障定位的第二个阶段的复杂度,因为收到的告警包是随机达到故障管理中心的,不同的告警集合及故障集合有着明显的区别,如何处理告警包的随机性,成为研究的关键。

3 模糊故障定位和蚁群优化

为了解决 P 比特级光网络对多故障定位两阶段带来的影响,本文针对每个阶段提出了各自的优化策略:故障和告警关系的模糊化(第一阶段)、蚁群优化算法(第二阶段)。

由于承载业务的多样性使得获得的故障和告警的关系图更加复杂并且是动态变化的,此时故障和告警的关系不再是确定性的必然事件。我们用模糊数学的隶属关系来描述故障和告警,告警是在一定程度上隶属于触发它的故障,得出这样的结论的依据是:

(1)承载业务的多样性、业务动态的拆建使得故障管理中心无法实时地得到下游的节点告警,告警和故障的关系不再是确定性关系。而根据业务到达的分布,可以得到告警和故障的隶属度。

(2)网络复杂化(无标度网络、随机网络)使得业务的路由多样化。相同源和宿业务的路由在不同时刻有着不同的路由,使得故障和告警的关系图动态变化。基于路由的多样性,可以得到告警和故障的隶属度。

(3)随着网络的运行时间的增长,伴随着故障定位问题的成功和失败,可以根据以往成功的经验建立专家系统。这个专家系统需要能够很好地描述网络故障和告警的关系。

隶属函数是模糊故障定位的基石,已有隶属函数的确定方法^[11]:

(1)模糊统计法

模糊统计法的基本思想是对论域上的一个确定元素是否属于论域上的一个可变动的清晰集合做出清晰的判断。

(2)例证法

例证法的主要思想是从已知有限个 μA 的值,来估计论域 μ 上的模糊子集 A 的隶属函数。

(3)专家经验法

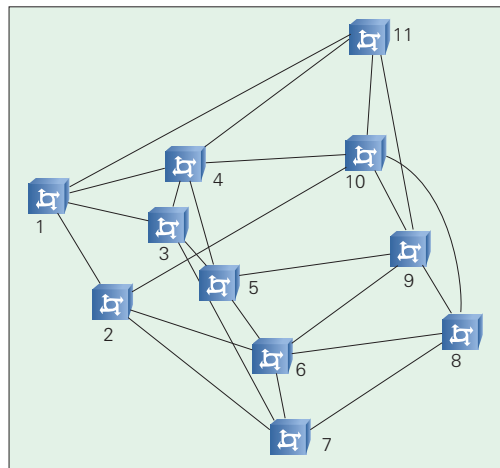
专家经验法是根据专家的实际经验给出模糊信息的处理算式或相应权系数值来确定隶属函数的一种方法。在许多情况下,经常是初步确定粗略的隶属函数,然后再通过学习和实践检验逐步修改和完善,而实际效果正是检验和调整隶属函数的依据。

这样在得到的故障和告警的关系图中,故障和告警之间不再是确定的关系,每条故障和告警之间的连接都将赋予一个隶属度(0~1),这个隶属度反映网络拓扑和业务分布在一段时间内对告警和故障关系的影响。我们采用例证法来进行隶属度的计算。蚁群算法(ACO)是一种基于种遍历所有告警群的启发式仿生进化算法^[12]。ACO 已经成功用于解决许多组合优化问题,最早的应用就是解决旅行推销员、货郎问题(TSP)问题。蚁群算法是对自然界蚂蚁的觅食寻路方式

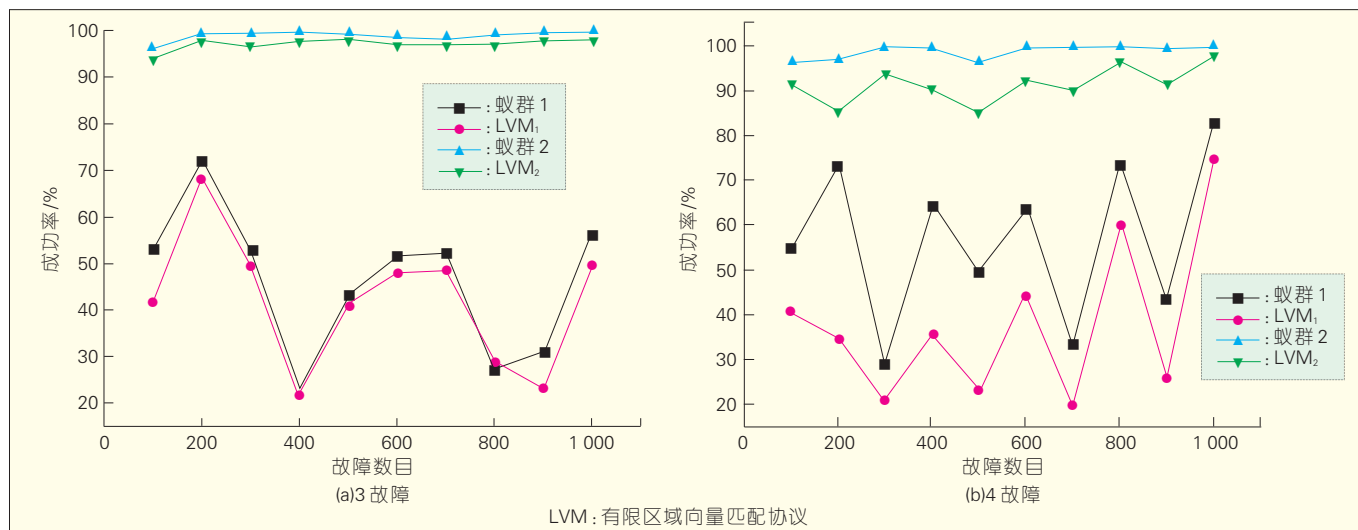
进行模拟而得出的一种仿生算法,充分利用了选择、更新和协调的优化机制。即通过个体之间的信息交流与相互协作最终找到最优解,使它具有很强的发现较优解的能力。假如将告警作为图的节点,而故障作为经过的链路,多故障定位很容易转化为旅行售货商问题。蚂蚁经过一个告警并为这个告警选择相应的产生此告警的故障。当所有蚂蚁遍历所有的告警后,就得到故障的一个集合。蚂蚁释放的信息素与故障集合的元素的个数成反比,故障元素的数目越少。释放的信息素越多。启发式信息与每个故障节点的度成正比。

4 仿真验证

本文在波长交换光网络(WSON)仿真平台上实现模糊隶属关系和蚁群优化算法的多故障定位。平台基本功能采用了 IETF 的 GMPLS 协议。COST239 仿真拓扑如图 2 所示。有 11 个物理链路节点和 25 条物理链路。网络类型为全光网(只有每条光路的宿节点或者域的边界节点可以检测到故障)。仿真仅仅考虑链路故障。1~25 条物理链路上随机的 3 条链路出现故障。产生故障的光路的宿节点都能够检测到故障。物理拓扑上任意两个节点承载的业务采用泊松分布。业务的路由采用 D 算法实现,不考虑资源约束。方案旨在验证多



▲图2 COST239 仿真拓扑



▲图3 多故障定位成功率

故障定位方案。仿真结果如图3所示,分别进行了蚁群多故障和扩展的LVM协议多故障定位。红黑曲线计算多故障定位成功率的方式为故障数目和定位的故障与预先设置的故障数目和故障完全一致则认为多故障定位成功,否则失败。蓝绿曲线计算多故障定位成功率的方式为成功的故障数目除以得到的故障集合的故障数目。左边的仿真结果图3故障,右边的仿真结果图4故障,从成功率对比可以看出,随着故障数目的增加,蚁群要逐渐优于扩展的LVM协议,在大规模和多故障情况下,蚁群算法能取得更优的性能。

5 结束语

本文主要研究网络出现多重故障下快速的故障定位机制,为后续的受损业务的恢复以及故障的维修提供可靠的时间保证。模糊数学以不确定性的事物为其研究对象。模糊集合的出现是适应描述复杂事物的需要。依据模糊集合的理论找到解决模糊性对象加以确切化,从而使研究确定性对象的数学与不确定性对象的数学沟通起来。蚁群算法是一种源于自然界中生物的仿生类模拟进化算法,对求解复杂组合优化问题有如下的优势:较强的鲁棒性、具有

并行性。基于P比特级光网络的多故障时空随机出现、网络复杂化、承载业务多样性的特点,本文将模糊数学和蚁群算法相结合提出了多故障定位的两个阶段的优化策略,分别为模糊的告警故障隶属度关系和蚁群优化多故障定位算法。仿真验证给出了在两种策略下P比特级光网络寻找最优故障集合解过程的成功率。

6 参考文献

- [1] RAO N S V. Computational complexity issues in operative diagnosis of graph-based systems [J]. IEEE Transactions on Computers, 1993, 42(4): 447-457.
- [2] KOBAYASHI Y, TADA Y, MATSUOKA S, et al. Supervisory systems for all-optical network transmission systems [C]//Proceedings of the Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'96), Vol 2, Nov 18-22, 1996, London, UK. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 1996: 933-937.
- [3] PINART C. A multilayer fault localization framework for IP over all-optical multilayer networks [J]. IEEE Network, 2009, 23(3): 4-9.
- [4] MAS C, TOMKOS I, TONGUZ O K. Failure location algorithm for transparent optical networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(8): 1508-1519.
- [5] BOULOUTAS A T, CALO S, FINKEL A. Alarm correlation and fault identification in communication networks [J]. IEEE Transactions on Communications, 1994, 42(2/3/4): 523-533.
- [6] WEN Y, CHAN V W S, ZHENG L. Efficient fault-diagnosis algorithms for all-optical WDM networks with probabilistic link failures [J]. Journal of Lightwave Technology, 2005, 23(10): 3358-3371.
- [7] ZENG H, HUANG C, VUKOVIC A. A novel fault detection and localization scheme for

- mesh all-optical networks based on monitoring cycles [J]. Photonic Network Communications, 2006, 11(3): 277-286.
- [8] RFC 4204. Link management protocol (LMP) [S]. IETF, 2005.
- [9] ZENG H, VUKOVIC A, HUANG C. A novel end-to-end fault detection and localization protocol for wavelength-routed WDM networks [C]//Proceedings of the Conference on Photonics North, Sep 12, 2005, Toronto, Canada. SPIE 5970. Bellingham, WA, USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2005: 719-726.
- [10] SICHANI A V, MOUFTAH H T. Limited-perimeter vector matching fault-localization protocol for transparent all-optical communication networks [J]. IET Communications, 2007, 1(3): 472-478.
- [11] ZADEH L A. Fuzzy sets [J]. Information and Control, 1965, 8(3): 338-353.
- [12] DORIGO M, STUTZLE T. 蚁群优化 [J]. 张军, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2007.

收稿日期: 2011-09-15

作者简介



李新, 北京邮电大学信息光子学和光通信国家重点实验室在读博士; 研究方向为大容量光网络的生存性; 已发表学术论文2篇。



顾婉仪, 北京邮电大学教授、博士生导师; 长期从事光纤通信领域的教学和科研工作; 主要研究方向是高速超长光纤通信系统和智能光网络等; 获得2次国家级科技进步奖、8次省部级科技进步奖, 已发表学术论文200余篇。

超高速全光信息处理

Ultra-High-Speed All-Optical Signal Processing

中图分类号: TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 06-0032-06

摘要: P比特级光交换网络的发展,要求网络在传输、复用和交换方式上具有灵活性、多样性和高效性,因此基于超高速全光信息处理的网络功能存在较大价值。利用不同光子材料非线性效应(SPM/XPM/FWM等)已成功实现了组播、码型变换、逻辑门等不同的全光信息处理单元技术,其中高非线性光纤以其易与现有光纤网络相融合和成本相对较低等特点而具有较大潜力。在总结光信息处理的相关研究进展的基础上,文章重点介绍了偏振复用(PDM)系统中的高速全光信息处理技术,包括基于自相位调制效应(SPM)的全光再生和基于交叉相位调制效应(XPM)的波长转换实现。

关键词: 光信息处理; 偏振复用; 全光再生; 波长变换; 高非线性光纤

Abstract: Flexible, diverse, and efficient methods of data transmission, multiplexing and exchange are necessary for all-optical networks. All-optical signal processing is highly valuable for network functionality. Multicasting, format conversion, and optical logics can be performed by various nonlinear techniques, including self phase modulation (SPM), cross-phase modulation (XPM), and four-wave mixing (FWM) in different kinds of photonic materials. Highly nonlinear optical fiber has great potential because it is easy to integrate with existing fiber networks and is relatively cheap. This paper reviews current research and highlights all-optical signal processing techniques in polarization division multiplexed (PDM) systems. These techniques include SPM-based all-optical signal regeneration and XPM-based wavelength conversion.

Keywords: optical signal processing; polarization division multiplexing; all-optical regeneration; wavelength conversion; highly nonlinear optical fiber

闫连山/YAN Lianshan

陈智宇/CHEN Zhiyu

姜恒云/JIANG Hengyun

(西南交通大学信息光子与通信研究中心,
四川 成都 610031)

(Center for Information Photonics &
Communications, Southwest Jiaotong
University, Chengdu 610031, China)

全光信号处理的非线性介质,包括高非线性光纤(HNLF)、周期极化反转铌酸锂(PPLN)波导、硅波导等。其中,基于光纤的解决方案可以方便地与现有光纤网络直接互联与融合,而且成本相对较低。尽管很多新型光纤如光子晶体光纤(PCF)、掺氧化铋高非线性光纤(Bi-HNLF)等在光信息处理中都显示出较大的潜力,但实际上最常用的还是基于硅结构的HNLF。在集成光子器件方面,集成波导器件在实验室中已经实现了1.28 Tbit/s的信号处理速度。

在过去的10年中,人们利用这些非线性介质中的各种非线性效应,在越来越快的传输速度下,成功实现了波长转换、信号再生、多点传送、复用以及波长交换等网络功能。这些效应包括:PPLN中的级联二次谐波,级联倍频与差频(cSHG/DFG),级联和频与差频(cSFG/DFG);光纤、波导中的自相位调制(SPM),交叉相位调制(XPM),交叉增益调制(XGM)以及四波混频(FWM)等。

为了让大家更清楚了解光信息处理的重要性及挑战,本文首先介绍产生超高速信号的几种常用复用技术;然后总结近年来超高速光信息处

为了满足P比特级光交换网络的需求(包括高传输容量、可变传输比特率、不同调制方法、不同复用和解复用形式等),同时保障数据的安全可靠、高速多维(包括多波长-信道、多偏振态),光信息处理无疑是关键技术之一。目前的光信息处理方式分为电信息处理和光信息处理两种。电信息处理主要应用于基于数字信号处理(DSP)技术的均衡和补偿等方面。由于电子“瓶颈”和光电光(OEO)转换效率的限制,基于电子的

信息处理方式在未来较长时间内还无法满足P比特级光网络的(超)高速需求;另一方面,由于光子技术具有超宽带和超高速响应(飞秒量级)的特点,全光信息处理在P比特级的交换光网络中占据重要的地位。一般来讲,由于光子技术中不需要对每个比特进行特殊控制或者操作,因此光子元件或功能单元对信息的处理可以与速率和调制格式无关,这种在时域和频域的全透明特性随着人们对信号传输速度的要求越来越高而成为一个重要的研究方向^[1-2]。

目前许多光子材料都可以作为

基金项目:教育新世纪优秀人才项目
(NCET-08-0821)

理技术在实现各种网络功能中的应用,包括信号再生、波长转换、码型变换、逻辑门以及组播等;最后针对目前广泛采用但极具挑战性(对光信息处理而言)的偏振复用系统,本文介绍相关工作进展(以全光再生和波长转换为例)。

1 T比特级大容量信道传输技术

光纤最重要的一个特点是容量大,可以传输超高速率的数字信号。P比特级光网络作为下一代网络发展的趋势,要求网络中单信道传输速率达到T比特以上。但是随着单信道传输速率的提升,光纤本身的损耗、非线性、色散等因素,使光信号在传输过程中发生畸变,制约了系统性能,因此通过调制直接到达T比特非常困难。经过研究人员的不懈努力,直接调制的单信道传输速率从20世纪90年代的2.5 Gbit/s调到40 Gbit/s甚至更高。更为重要的是,通过不同的复用技术实现了单信道T比特级的传输容量。

所谓复用技术,是指在发送端将多路信号按照某一方式合成,然后送入信道中传输,接收端采用某些处理方法将接收到的混合信号还原成多路源信号,从而避免了网络的重复建设。复用方式包括频分复用(FDM)、波分复用(WDM)、时分复用(TDM)、码分复用(CDM)以及偏振复用(PDM)等。在光正交频分复用(OFDM)技术和传统的光时分复用(OTDM)技术的推动下,目前光纤中单信道的信息传输速率已经超过1 Tbit/s^[3-5]。

1.1 正交频分复用

正交频分复用(OFDM)是一种特殊的多载波传输方案,也可以看成是一种信号调制技术,特点是各个子载波正交,频谱可以相互重叠,这样不但减小了载波间干扰,还大大提高了频谱利用率^[6],能够很好地对抗频率选择性衰落和窄带干扰,且可以有效

地消除信号由于多径传输所带来的码间干扰(ISI),是许多典型接入系统的物理层核心技术。

鉴于OFDM的技术优势,将其引入到光纤通信系统中是近年来的一个研究热点。实验表明在不采取任何补偿的情况下采用OFDM技术的单模光纤通信系统可以将10 Gbit/s信号传输1 000 km以上。采用光OFDM直接调制的300 m多模光纤的链路在高速通信中也表现出了良好工作性能。在光纤通信系统中引入OFDM技术可以很明显地改善系统性能,所以研究基于OFDM的多模(多芯)光纤通信系统对短距离高速大容量信息通信有着重要的现实意义^[7]。具体的内容可以见文献[5,8-9]。

1.2 光时分复用

光时分复用(OTDM)技术克服了放大器级联产生的增益不平坦和光纤非线性的限制,被认为是一种影响较为长远的网络技术。未来网络如果采用全光交换和全光路由,则OTDM的一些特点使它作为全光网络关键技术之一更具吸引力,例如上下话路方便,可适用于本地网和主干网。目前基于OTDM的传输速率已经可以高达数太比特每秒。另一方面,由于OTDM必须采用归零码超短脉冲,占用带宽宽,而且色散和色散斜率影响较为显著。

OTDM传输系统的关键技术包括超短光脉冲发生技术、全光时分复用/解复用技术和超高速定时提取技术等。例如,对于超短光脉冲发生技术,从时域看,要求超短光脉冲的-20 dB脉宽小于单位比特时长;而从频域看,由于信号脉冲的谱宽是传输距离的限制因素,频谱越宽信号的色散损伤就越严重,因而希望信号谱宽要尽可能小。对于时分复用与解复用技术,使用电子电路的最高速率目前只能达到几十吉比特每秒,因而人们正在研制全光控制的各种超高速逻辑单元,包括速度在皮秒(ps)量

级的超高速全光开关,尤其是基于非线性效应的全光开关,如光学克尔开关、四波混频(FWM)开关、交叉相位调制(XPM)开关及非线性光学环路镜(NOLM)等结构。

1.3 偏振复用

从近些年来国际光纤通信系统传输容量不断突破的技术途径来看,偏振复用(PDM)技术无疑是最为常用的提高信道速率的复用技术^[10]。它利用光在单模光纤中传输的偏振特性,将传输波长的两个独立且相互正交的偏振态作为独立信道分别传输两路信号,成倍提高了系统容量和频谱利用率。该技术可在已铺设光纤网络的基础上极大地提升系统容量,实现快速、低成本的系统升级。

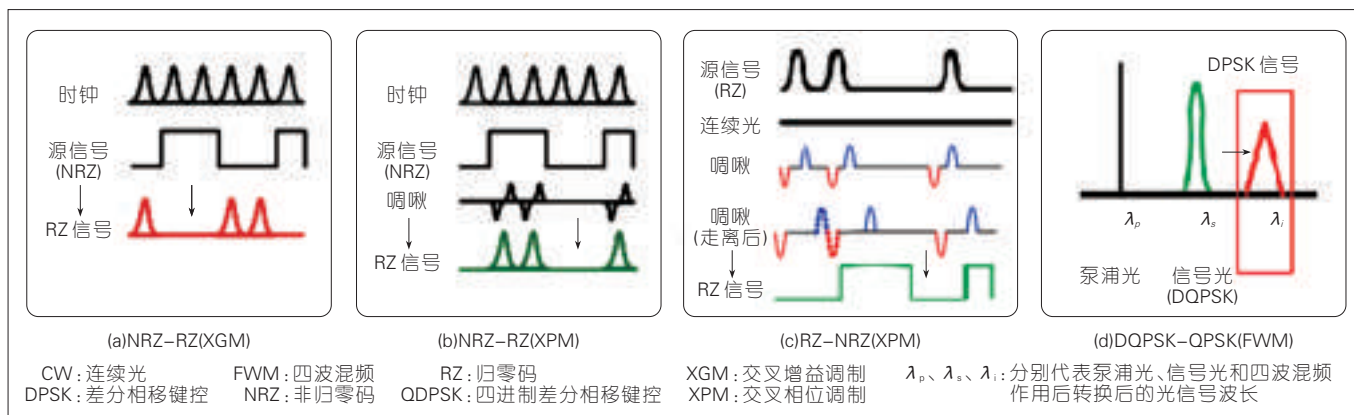
偏振复用技术所面临的关键挑战之一是在于如何进行信号的解复用,这是一直困扰和阻碍偏振复用技术进入实际应用的难题。由于两束光信号偏振复用合并后,经过长距离的光纤传输,受到光纤应力、偏振模色散(PMD)、偏振相关损耗(PDL)等因素的影响,偏振状态会发生变化并有可能形成相互之间的串扰,使得光信号在到达接收端的时候信号的偏振态(SOP)随时间可能快速变化。这就要求解复用端能够自动调整,使两个正交偏振通道实现分离。目前常用的解复用技术包括:基于电域数字信号处理(DSP)技术实现(尤其是与相干接收系统结合)^[11]解复用、基于光域信号特征监控(如功率均衡情况、偏振串扰大小等)与反馈进行自动偏振控制实现解复用。

2 网络功能实现

基于各种光信息处理技术可以实现不同的网络功能,下面介绍相关进展。

2.1 码型变换

P比特级网络传输系统中,由于链路状况的不同,并不是所有的光脉



▲图1 不同非线性效应下的全光码型变换原理

冲波型都适合在太比特每秒的大容量信道中传输,同时也存在不同的业务需求,因此我们需要进行全光码型变换来实现更高效的网络传输。目前主要的传输码型有归零码(RZ)、非归零码(NRZ)等。基于不同的调制方式如开关键控(OOK)、二进制相移键控(BPSK)、差分相移键控(DPSK)等来实现RZ与NRZ的码型之间以及不同调制信号的相互转换技术是非常重要的,其中对基于OOK调制方式的幅值码型变换的研究已经相当普遍。随着P比特级交换网络的发展,BPSK、DPSK、QAM、OFDM、PolSK等新型调制方式的出现,为了进一步提高频谱利用率和传输性能,码型变换也由之前的单一的幅值码型变换发展为幅值、相位联合的码型变换,甚至是幅值、相位、偏振态混合的码型变换。相位敏感型码型变换技术、偏振不敏感型码型变换技术相继出现。同时由于密集波分复用(DWDM)和PDM等复用系统的发展,已提出了对多信道或多偏振态的全光码型变换的研究^[12]。

图1为几种常见的全光码型变换原理,图1(a)通过时钟信号和原NRZ信号发生XGM效应,根据“1”和“0”比特时对应的增益不同实现NRZ-RZ的码型变换,但产生变换后的信号与原信号的极性相反;图1(b)表示了XPM效应作用下NRZ-RZ的码型变换;图1(c)是XPM效应作用下

RZ-NRZ的码型变换;图1(d)则是FWM作用下DQPSK-DPSK的码型变换。图1(d)是相位调制信号的码型转换(主要基于四波混频的原理),若使用波形图(时域)表示则无法清楚表示四波混频的过程,为了便于理解我们采用频域表示方法。

2.2 光逻辑

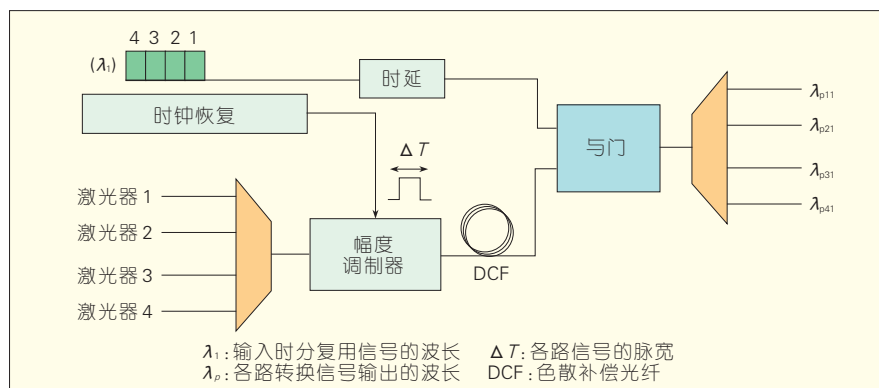
光逻辑门是采用光控制的方式来实现布尔运算,如与、或、异或等。P比特级交换网络中采用OTDM、DWDM等系统,光逻辑不仅可应用在再生、波长转换、全光解/复用等功能实现中,而且可用在光数据包交换中,如包头识别、全光路由、标记交换、数据编码/解码、检错/纠错等^[13]。在光插分复用(OADM)和光分插复用(OXC)中也需要光逻辑运算,如设计“与”逻辑门工作在1比特时可以用来实现包头的识别和数据的检错/纠

错中。如图2中用“与”门实现时间到波长转换的网络功能(TDM到WDM),将时分复用信号转换到4个其他波长上^[14]。

光逻辑门的实现主要利用各种非线性器件中的四波混频(FWM)效应以及半导体放大器(SOA)的组合干涉结构等,目前已经通过简并四波混频效应实现OOK信号多种逻辑门,通过非简并四波混频效应实现两路DPSK信号的逻辑门^[15]。随着P比特级交换光网络的发展,节能、高度集成的特性越来越突出,迫切需求多种逻辑门功能综合和适合多种调制方式的光子集成逻辑器件。

2.3 组播

组播是指一个信号输入后在输出端输出多路相同的信号。它在增大网络流量方面有着重要的作用,特别是高速视频信号流,因此也是光网



▲图2 “与”逻辑门实现TDM到WDM网络功能

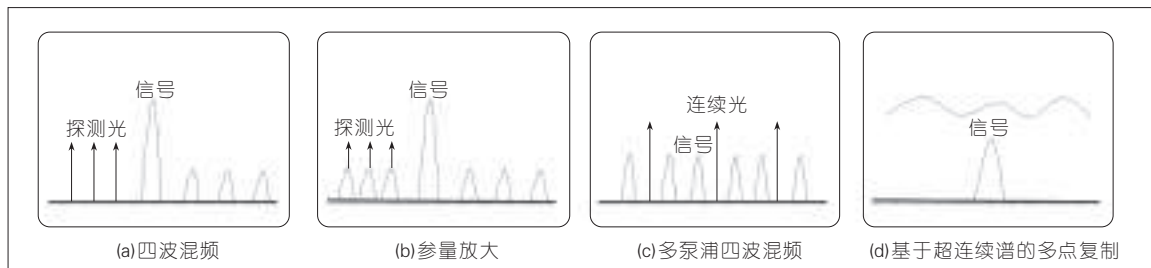


图3
组播的原理

络中必不可少的一种功能。在光网络中,根据泵浦光数量的不同,产生波长多点复制的原理也有所不同,如图3所示。

(1)最直接的方法如图3(a)所示。在简并四波混频中,输入信号作为泵浦光,信号光与探测光混合从而产生了一路闲频光,这样 N 个探测光输入便有 N 个信号光输出。

(2)利用低色散、高非线性材料作为非线性介质,信号光仍然作为泵浦,当泵浦功率足够大时,可以产生参量放大效应。这种放大效应使探测光受到调制,同时携带上要求的信息,这样只需要 $N/2$ 个探测光即可得到 N 个通道的信号输出,如图3(b)。

(3)利用非简并四波混频效应,连续波作为泵浦,来产生多路闲频光。这种方法可以实现PSK信号的多点复制。如图3(c)所示, $N/2$ 个泵浦光可以实现 $N-1$ 个信号光的复制。

(4)利用非线性介质中超连续谱的产生以及周期性滤波器来实现多点复制。这种方法在较低输入功率情况下,同样能够适用于PSK信号。

到目前为止, Bill P. P. Kuo 等人在

实验室中,利用双泵浦已经成功实现了1到60个波长信道的多点传输^[16];我们则利用单泵浦实现了1到11的多点复制^[17]。图4描述了实验装置图以及主要的信道误码率(BER)。经过FWM后,得到了16个信道中的11个信道BER在 10^{-9} 以下(图4b),可以认为是无误码信道。图4(b)中1540.79、1542.50等数字表示不同波长。

3 偏振复用系统中的高速光信息处理

如前所述,鉴于偏振复用系统的广泛采用,研究在偏振复用系统中的光信息处理技术就变得非常热门。可以通过偏振解复用后对每个信道单独进行处理,然后再复用后传输。然而,这样的方式既复杂,又不可靠,因此,在偏振复用系统中,基于单一信息处理单元技术实现两个偏振态信号的同时处理就变得非常重要,也极具挑战性。

3.1 全光波长再生

随着P比特级光通信网络的发展,在偏振复用系统中由于光纤及光

器件的群速度色散(GVD)、偏振模色散(PMD)、放大器的自发辐射噪声、光纤非线性效应以及信道内和信道间串扰等各种因素影响,将导致光信号经传输后产生恶化,例如PMD效应对偏振复用系统的影响是单偏振态系统的5倍以上^[18]。目前已经提出多种提高信号质量的方法:

(1)简单的电信号处理(均衡)。

(2)DSP辅助相干探测。

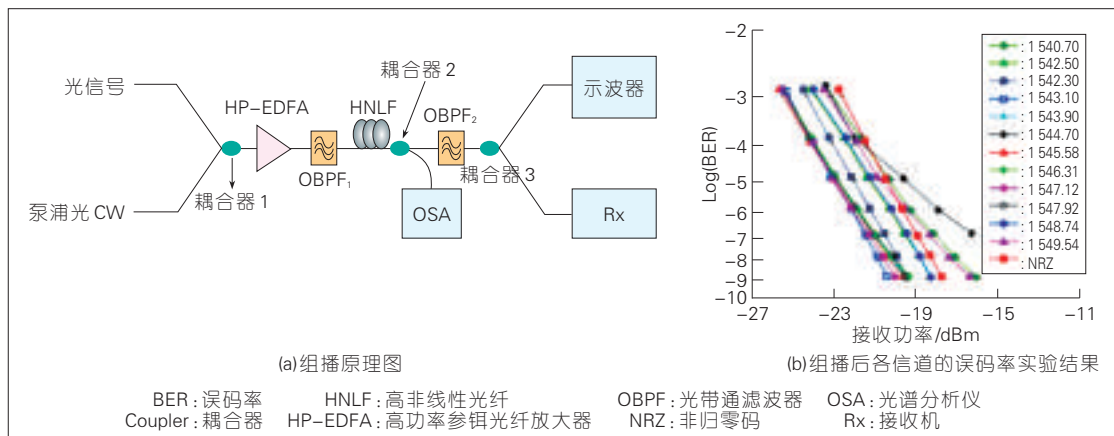
(3)新的调制编码方式,如正交频分复用。

(4)全光再生技术。自相位调制加偏移滤波实现全光再生的原理如图5(a)所示。

前4种是在电域中处理,不适合超高速光网络中的应用,后一种则是利用非线性效应的全光信号处理方式实现,成功克服了电域中速率“瓶颈”的限制。

全光信号再生实验装置如图5(b)所示^[19]。恶化的PDM信号首先经过掺铒光放大器(EDFA),再由低通滤波器滤除放大产生的自发辐射噪声。通过偏振控制器、环形器到达偏振分束器(PBS),从而分为两个不同偏振态

图4
全光实现1×11的组播



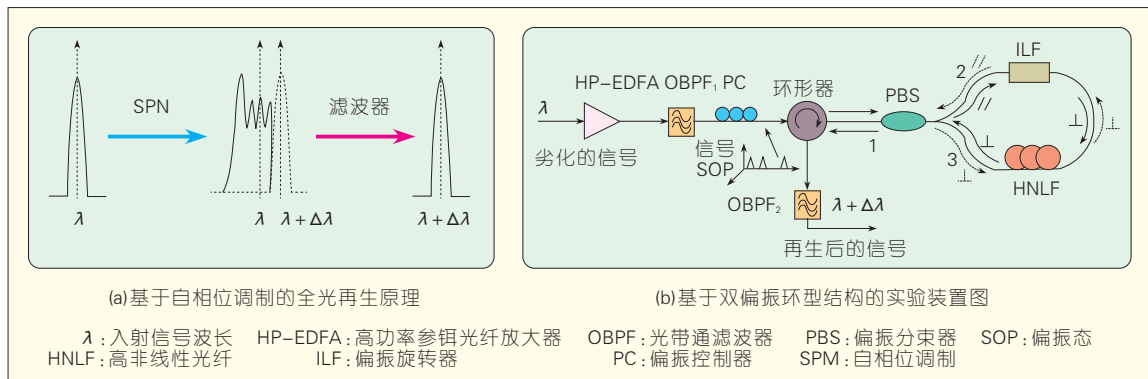


图5
偏振复用系统中
全光再生

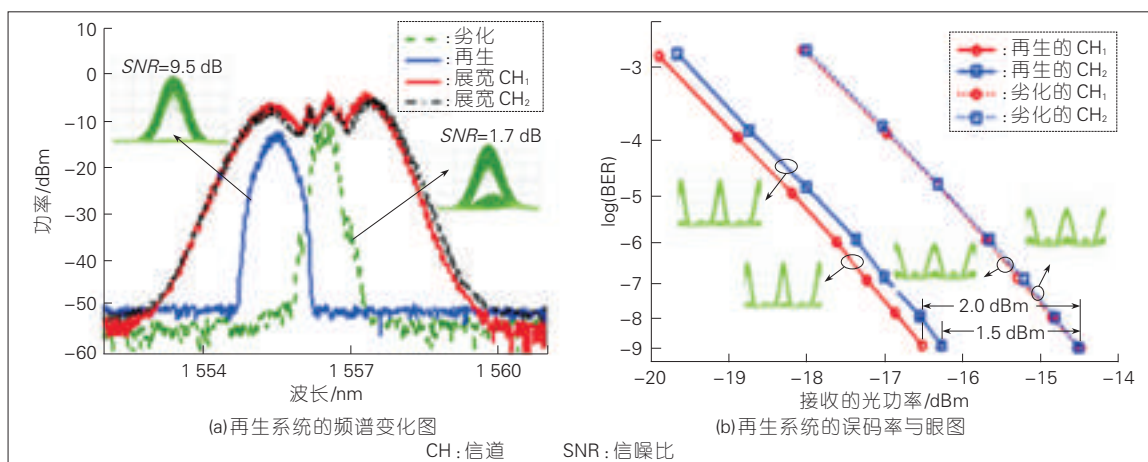


图6
PDM再生系统的
实验分析

的光:垂直偏振态和水平偏振态。不同偏振态的光以相对的方向一段高非线性光纤(HNLFF)和一个偏振旋转器(ILF)。由于光纤中的SPM效应分别使得不同偏振态的光频谱展宽,并在PBS处重新合成偏振复用信号,最后经过一个偏移滤波器后可以得到再生后的PDM信号。相互垂直的偏振态的光在HNLFF中传输的相互作用时间短,相互影响较小,且可以忽略

XPM效应、FWM效应和后向散射的SBS噪声等。

图6(a)、图6(b)给出了再生系统的工作性能。PDM信号经过SPM后频谱展宽基本一致,这样我们只需要一个偏移滤波器就可以实现两个信号的再生。

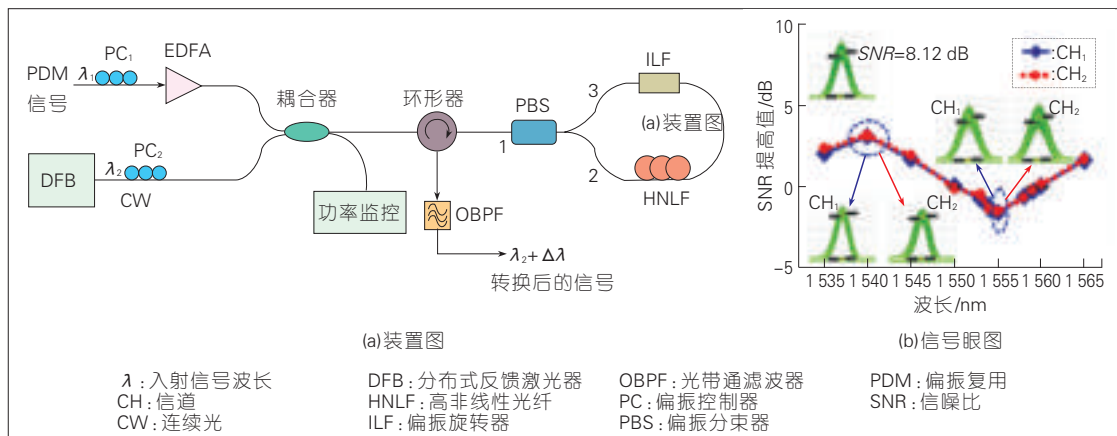
3.2 全光波长转换

波长变换也是光网络中的关键

技术之一,可以实现信号质量的优化(类似于再生),也可以实现信号的交换。在PDM系统中,基于类似再生技术的原理,我们也实现了波长转换功能。

图7(a)为PDM信号的波长转换原理图,波长为 λ_1 的PDM信号经过EDFA放大后与波长为 λ_2 的连续泵浦光共同注入到双偏振环中,由于泵浦光的注入使得不同偏振态的光在

图7
全光波长转换装置



HNLf中各自发生XPM效应,波长为 λ_1 的PDM信号对波长为 λ_2 的泵浦光进行相位调制,使得其频谱展宽。展宽后的两个不同偏振态的光在PBS处复用、滤波,然后再经过一个中心波长为 $\lambda_2 + \Delta\lambda$ 的低通滤波器可得到波长转换后的光信号。

图7(b)为不同转换波长信号的信噪比提高情况以及两个不同偏振态的信号眼图。实验中转换器实现了从1535 nm到1565 nm的PDM信号波长转换^[20]。

4 结束语

为了实现P比特级的超高速网络,必须实现单信道在T比特级容量以上的传输链路。在实现T比特级大容量传输系统中,复用技术是一套行之有效的办法,尤其是偏振复用技术;另一方面,调制方式也从传统的OOK方式向多电平、相位调制方式发展。在这些技术的共同推动下,全光信息处理技术得到了快速发展,不仅可以摆脱电域中的速率“瓶颈”问题,也使得T比特级大容量传输和P比特级网络成为可能。未来的超高速光信息处理技术必然朝着多维(多信道、偏振复用)、集成(功能与器件)的方向发展。

5 参考文献

- [1] WILLNER A E, YILMAZ O F, WANG J, et al. Optically efficient nonlinear signal processing [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2011, 17(2):320–332.
- [2] VO T D, PELUSI M D, SCHRODER J, et al. Simultaneous multi-impairment monitoring of 640 Gbit/s signals using photonic chip based RF spectrum analyzer [J]. Optics Express, 2010, 18(4): 3938–3945.
- [3] VO T D, HU H, GALILI M, et al. Photonic chip based 1.28 Tbaud transmitter optimization and receiver OTDM demultiplexing [C]// Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC '10), Mar 21–25, 2010, San Diego, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: PDP5.
- [4] MULVAD H C H, GALILI M, OXENLOWE L K, et al. Demonstration of 5.1 Tbit/s data capacity on a single-wavelength channel [J]. Optics Express, 2010, 18(2): 1438–1443.
- [5] MA Y, YANG Q, TANG Y, et al. 1–Tb/s single-channel coherent optical OFDM transmission with orthogonal-band multiplexing and subwavelength bandwidth access [J]. Journal of Lightwave Technology, 2010, 28(4):308–315.
- [6] YAN L S, LIU X, ASHIEH W. Towards Shannon limits of spectral efficiency [J]. IEEE Photonics Journal, 2011, 3(2):325–330.
- [7] LI A, AMIN A, CHEN X, et al. Reception of mode and polarization multiplexed 107–Gb/s CO-OFDM signals over a two-mode fiber [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: PDPB8.
- [8] LIU X, CHANDRASEKHAR S. 728–Gb/s CO-OFDM transmission over 800–km ULAF using 64–QAM subcarrier modulation and single-step coherent detection with 4x80–Gsamples/s ADCs [C]//Proceedings of the 2010 Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP'10), Dec 8–12, 2010, Shanghai, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: PD2.
- [9] SHIEH W, BAO H, TANG Y. Coherent optical OFDM: Theory and design [J]. Optics Express, 2008, 16(2):841–859.
- [10] GNAUCK H, WINZER P J, CHANDRASEKHAR S, et al. 10 × 224–Gb/s WDM transmission of 28–Gbaud PDM 16–QAM on a 50–GHz grid over 1200 km of fiber [C]//Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC '10), Mar 21–25, 2010, San Diego, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: PDPB8.
- [11] LIU X, CHANDRASEKHAR S. Direct detection of 107–Gb/s polarization-multiplexed DQPSK with electronic polarization demultiplexing [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: OTuG4.
- [12] LU G W, MIYAZAKI T. Optical phase erasure based on FWM in HNLf enabling format conversion from 320–Gb/s RZD-QPSK to 160–Gb/s RZ-DPSK [J]. Optics Express, 2009, 17(16): 13346–13353.
- [13] TEIMOORI H, TOPOMONDZO J D, WARE C, et al. Optical packet header processing using time-to-wavelength mapping in semiconductor optical amplifier [J]. Journal of Lightwave Technology, 2007, 25(8): 2149–2158.
- [14] TEIMOORI H, APOSTOLOPOULOS D, VLACHOS K G, et al. Optical-logic-gate aided packet-switching in transparent optical networks [J]. Journal of Lightwave Technology, 2008, 26(16): 2848–2856.
- [15] CHEN X B, YU Y, ZHANG X L. All-optical logic minterms for three-input demodulated differential phase-shift keying signals at 40 Gbit/s [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2011, 23(2): 118–120.
- [16] KUO B P P, MYSLIVETS E, ALIC N, et al. Self-seeded 1-to-60 multicasting in a two-pump parametric mixer [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: OWL4.
- [17] YI A L, YAN L S, LUO B, et al. One-to-eleven (11x10–Gb/s) all-optical NRZ-to-RZ format conversion and wavelength multicasting using a single pump in a highly nonlinear fiber [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: OThE54.
- [18] YAN L S, YAO X, HAUER M C, et al. Practical solutions to polarization-mode-dispersion emulation and compensation [J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(11):3992–4005.
- [19] YI A L, YAN L S, LUO B, et al. All-optical signal regeneration in polarization-division-multiplexing systems [J]. IEEE Photonic Journal, 2011, 3(4):703–712.
- [20] YI A L, YAN L S, LUO B, et al. Wavelength conversion of RZ-OOK PDM signals based on XPM in highly nonlinear fiber [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2011, 23(6): 341–343.

收稿日期: 2011–09–19

作者简介



闫连山, 浙江大学学士毕业, 美国南加州大学博士毕业; 西南交通大学特聘教授、博导, 信息光子与通信研究中心主任, 教育部新世纪优秀人才, IEEE 高级会员, IEEE Photonics Journal 副编辑, 20余种SCI杂志审稿专家, 2005–2007年曾在美国通用光电公司担任首席科学家; 已发表学术论文200余篇, 其中SCI收录100余篇。2011年获得IEEE Photonics Society Distinguished Lecturer Award。



陈智宇, 西南交通大学信息与通信工程在读博士; 主要研究方向是微波光子学和光信息处理; 已发表SCI论文2篇。



姜恒云, 西南交通大学信息与通信工程在读博士; 主要研究方向是微波光子学与非线性光学; 已发表SCI论文2篇。

中国云数据中心的优化布局 与科学发展

Layout Optimization and Scientific Development of China's Cloud Data Center

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 06-0038-05

摘要: 云数据中心是下一代数据中心的主要代表形态, 它对中国社会信息化水平的提高起到重要的作用, 因此其科学规划与可持续发展也是中国信息产业“十二五”规划的重点之一。中国云数据中心的优化布局要统筹兼顾能源、气候、网络、政策等关键因素, 采取政策引导与市场驱动相结合、政策扶持与市场监管相结合的发展指导原则。文章指出, 中国云计算产业在符合国家能源战略和信息化战略的基础之上才能实现可持续发展。

关键词: 云计算; 互联网数据中心; 物联网; 能源利用率

Abstract: A cloud data center is the main type of next-generation data center. China's cloud data center will play an important role in transforming China into an information-based society. Therefore, scientific planning and sustainable development of the cloud data center are key aspects of the 12th Five-Year Plan. To optimize the layout of China's cloud data center, some key factors need to be taken into consideration, including energy consumption, climate, network, policy, and guidelines that bring policy and market together. This paper suggests that cloud computing in China can be continuously developed without adversely affecting China's power strategy and information strategy.

Key words: cloud computing; IDC; Internet of things; power usage effectiveness

徐志发/XU Zhifa

(工业和信息化部电信研究院, 北京 100191)
(China Academy of Telecommunication
Research of MIIT, Beijing 100191, China)

- 云数据中心是下一代数据中心的主要代表形态
- 中国目前在营、在建的数据中心的空间分布不均衡
- 中国云数据中心的布局要以能源、气候、政策为主要考虑依据

数据中心通常是指在一个物理空间内实现信息的集中处理、存储、传输、交换以及管理, 而计算机设备、存储设备、网络设备等又是数据中心机房的关键设备。云计算是一种基于互联网或者专网的分布式计算, 在虚拟的网络数据中心里, 成千上万台电脑和服务器连接成一片电脑云, 形成超级强大的运算服务能力。用户通过电脑、笔记本、手机等终端设备接入数据中心, 按自己的需求共享这种超级运算。数据中心是云计算的核心载体, 云计算时代的数据中心可统称为云数据中心, 或者云IDC。云数据中心是业内所谓的下一

代数据中心的主要代表形态。

从中国社会信息化发展水平实际出发, 发展资源利用率高、运营成本低廉、业务可灵活扩展的云数据中心有利于进一步提高中国社会信息化水平, 推动IT产业的整体升级, 达到节能减排的总体目标, 也有利于保障中国的信息安全。国家层面对云数据中心产业进行战略布局、统筹规划及科学发展有着重大的意义。

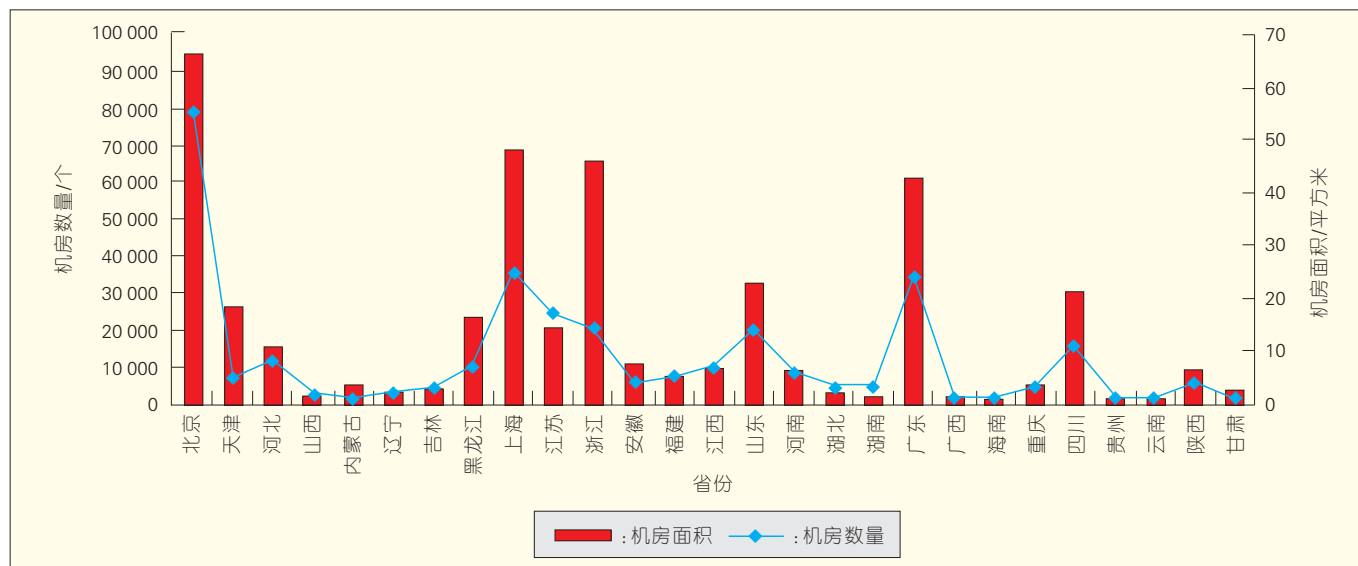
1 中国数据中心空间分布

随着互联网的发展, 电子政务、电子商务和企业信息化应用的不断深入, 以及“两化融合”、十一大产业

振兴规划、三网融合等政策措施的推进, 电信、金融、政府、能源等重点行业的旺盛需求, 都对数据中心市场的增长不断注入活力, 因此近几年来中国数据中心市场一直在快速增长。赛迪顾问调查显示: 2010年中国数据中心IT市场规模达到839亿元人民币, 同比增长17.8%。

如图1所示, 中国目前数据中心空间布局不合理, 东、中、西部尚未形成优势互补的产业格局。根据对具有一定规模的两百多家IDC机房的统计调查结果, IDC机房主要分布在北京、上海、浙江、广东等地区。

中国数据中心的现有布局存在



▲图1 中国互联网数据中心区域分布现状

诸多问题。首先是安全隐患问题突出,一旦沿海中心城市和地区发生重大灾难,将造成国家和行业的重大损失;其次是东部地区气候条件、能源条件、土地成本不具备优势,数据中心运营成本居高不下,能源和成本也成为制约这些地区发展云数据中心的重要瓶颈。

目前,伴随着云计算和物联网等新兴产业发展的升温,各地云数据中心的建设存在着投资过热的情况。这些数据中心往往没有明确的目标客户群,有的是由跨国IT巨头规划承建,没有紧密结合各地不同区域的经济结构,精确定位区域云计算中心的主要服务模式、商业模式和服务对象。这会导致云数据中心产业发展的资源浪费,特别是东南部地区云数据中心的快速发展会将进一步加重现有布局失衡的问题。

2 云数据中心优化布局的影响因素

依据国家信息产业和互联网“十二五”规划的发展要求,国家统筹规划、协调发展,建设节约能耗、提高能源利用效率(PUE)、降低成本、满足业务需要的绿色高效云数据中心是当务之急。

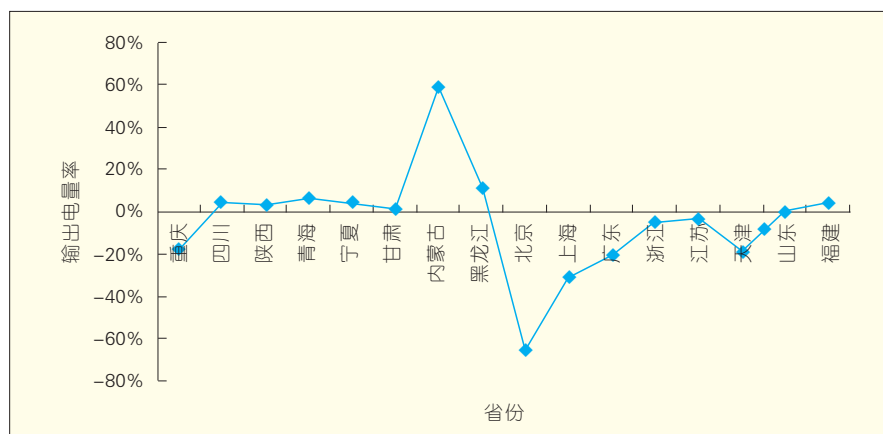
中国地域广阔,经济发展不平衡,能源、气候、地质、经济等方面区域性差异也非常大,云数据中心的优化布局难度很高。一般来讲,电力供应、气候、土地价格、人力成本、业务市场、信息化水平、政策环境等都是影响和制约云数据中心发展的重要因素。结合中国国情和云数据中心的特殊性,文章在本章节将重点分析能源供应、气候条件、网络水平和政策环境四大关键因素对云数据中心优化布局的影响。

2.1 能源影响因素

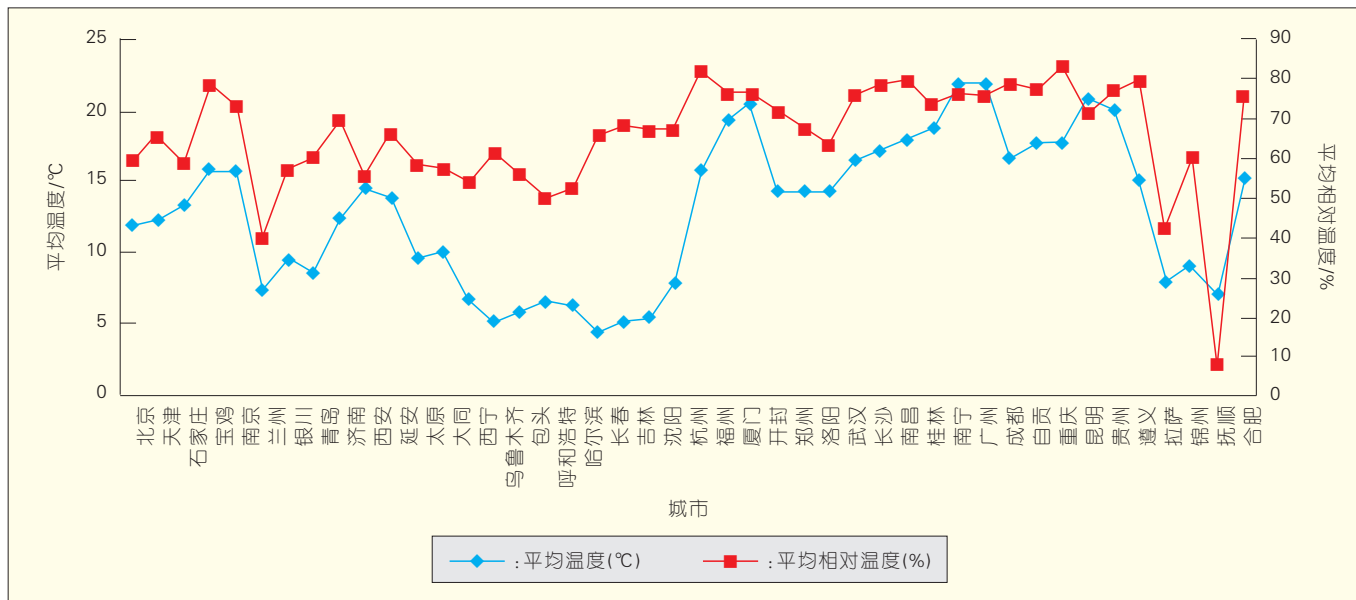
据 Gartner 预测,到 2011 年,全球数据中心三分之一以上的预算将是

环境成本。数据中心约 60% 的资产支出和 50% 的运营成本都与能源有关。在确保高性能的同时,将冷却散热降至最低是云数据中心实现“绿色”所必须要做的,这就要求更科学、更合理的供电方式和制冷系统的配置。现在全球很多大型的数据中心开始考虑把数据中心建在具有特殊资源的地区以节约散热成本,如水资源丰富,气候寒冷或者清洁能源丰富且价格低廉的地方。

中国因地理条件的差异和经济发展的不平衡导致目前电力资源分布的极不平衡。图 2 显示了中国部分地区电力供需情况。互联网业务和数据中心最为集中的北京、上海、



▲图2 中国部分地区电力供需情况



▲图3 中国主要城市全年平均温湿度

广东、浙江等东部地区,电力资源非常紧缺,需要大量外购。云数据中心(包括普通数据中心)需要安全可靠不间断的电力供应保障。目前东部地区经常迫于供电压力采取拉闸限电的做法,对数据中心的供电安全带来极大的威胁。相反西北部的几个省份,电力资源都比较富裕,特别是内蒙古、黑龙江、青海等省电力富裕度最高。如果云数据中心重点向电力丰富的西部、北部省份布局,不但能够缓解东部电网供电压力,且能减少西电东送的输配损失。

2.2 气候影响因素

虽然气温、台风、洪水、干旱等自然气候因素都是云数据中心布局的影响因素,但温度条件是需要重点考虑的气候因素。所在地的常年平均气温是影响云数据中心能耗的决定性因素之一,甚至是决定PUE高低的重要因素。

图3是中国各主要城市全年的平均温湿度统计。在温度方面,深圳、上海、杭州等南部城市的平均温度最高,都在15℃以上;而西部城市西宁、银川、兰州和东部的哈尔滨的年平均气温在10℃以下。湿度方面,南

部和东部的城市湿度都很大,一般在70%以上,对应的空调除湿负荷就比较大。西部、东部、北方的城市湿度较小,空调除湿的负荷就较小。

另一方面,温度如果较低,云数据中心利用自然冷源自然冷却的时长占比就比较高,机房的能耗就低。因此西北部、东北部地区云数据中心节能潜力相对巨大。

2.3 网络影响因素

虽然近几年中国互联网的发展取得了举世瞩目的成就,但是它的发展极不平衡:东部沿海地区最优,华中和东北地区次之,东西部差距较

大。由图4所示,从网络流量的集中系数(各省流量处以全国平均值)来看,东部沿海地区各省的流量平均集中系数超过全国平均值的1倍以上,是华中和东北省份的2~5倍,是西部10省的平均集中系数的10倍。

这种网络流量分布的不均衡与中国各地区互联网业务发展水平也是相关的,目前数据中心的分布也基本符合东密西疏的规律。在云数据中心的发展需求方面,东部地区的建设需求远高于西部地区,但是国家利用产业优化布局的手段,有机会改变这一局面。这种改变符合云计算技术的内在规律,也符合国家的产业政

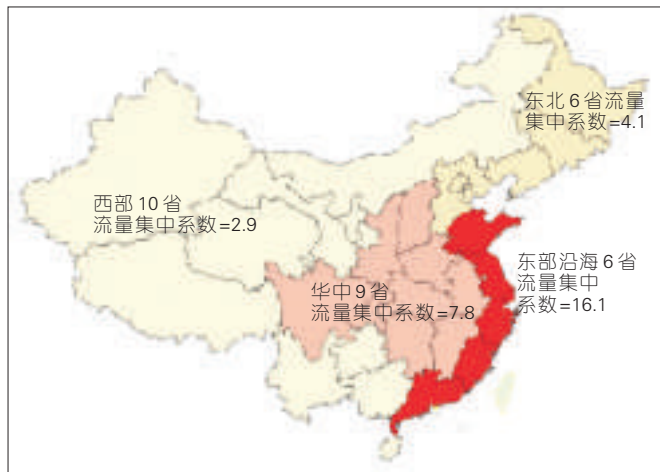


图4
中国各地区互联网流量集中度分布



- 有利于降低云数据中心的运

行成本;

- 有利于优化西部和东北地区的产业结构,促进经济发展。

因此,从能源供应、气候条件和国家的发展战略看内蒙古、青海、黑龙江、甘肃等地区适宜重点发展云数据中心产业,将来形成“西云东用”、“北云南用”、全国互联网业务量进一步均衡的发展局面。

(2) 政策引导与市场驱动相结合

云数据中心是数据中心的发展方向,根据用户对象的不同,云数据中心可以分为面向公众提供服务的商业化云数据中心,以及面向政府电子政务应用的“政务云”。政府并非商业机构,并不善于进行市场化的需求分析与运作,因此由政府主导的商业云数据中心往往面临着市场定位不清、用户需求不明、盲目投资、入不敷出的状态。

一般来讲,商业化云数据中心布局应该尊重市场的选择,政府加以政策引导。如在有条件的地区(如西部能源富集地区,北方寒冷地区等)利用财政、税收等政策吸引相关企业落地,不仅有利于云计算中心的发展,也有利于当地经济的繁荣。另外,政府可以通过对数据中心资质、等级、服务质量、信息安全等方面的监管,加强对数据中心行业整体发展的把握和控制,弥补市场机制的不足。

目前世纪互联在与地质部门合作,在北方寒冷地区选址;阿里巴巴在青海、甘肃等地考察选址;联通正在与电力部门合作,在靠近电厂的地

区建立数据中心。这些符合国家能源战略和西部战略的市场行为政府应予以政策扶持和鼓励。

对于政务云数据中心的建设,政府则应该以身作则,在布局方面发挥直接的作用。

(3) 政策扶持与市场监管相结合

云数据中心作为新兴产业形态,国家应该有明确的扶持政策,同时云数据中心作为电信基础设施,需纳入电信监管体制之下。

国家应建立财政专项保证资金,支持能源、气候、地质条件适宜地区发展数据中心产业。在投资审批上,严格把关大中型数据中心建设审批,特别是不符合国家能源战略的投资要慎重审批。在新技术新业务试点地区选择上,应优先考虑在西部和北部试点,支持绿色数据中心关键技术的国产化和自主化,在财政上给予重点倾斜,并在试点上给予政策上的优惠。尽快出台与完善产业重点领域的税收支持政策,在符合国家能源布局的数据中心建设方面给予税收优惠政策,在固定资产折旧、人员培训、高级技术人才收入等方面制订出台符合产业经济特点的税收优惠措施。

云数据中心产业监管体系需要进一步完善并得到强化。以法律法规作为监管依据和基础,以事前的准入许可、事中的可管可控、事后的追根溯源作为监管指导方针。将云数据中心准入许可机制作为国家重要的引导手段,与扶持政策相配合,引导云数据中心在西部、北部、东北部

符合条件的地区优先发展。

4 结束语

云计算是当前社会普遍关注的焦点和热点,它被看作是新一代信息技术变革和业务应用模式变革的核心。云数据中心是云计算的关键基础设施,是中国提升重要信息资源掌控力的重要载体。中国传统数据中心数量较多、规模普遍偏小,能源利用率偏低,难以满足云计算的发展需求,而部分新建和在建的云数据中心缺乏统筹规划,空间布局不尽合理。要改变这一不利局面,中国相关部门必须加大重视力度并采取有效措施,在满足社会业务需要和地方信息化发展需求的前提下,统筹兼顾能源、气候、网络、政策等关键因素,以政策引导与市场驱动相结合、政策扶持与市场监管相结合为指导原则,抓住云计算这一机遇,逐步优化云数据中心的布局。这样才能推动中国信息通信技术(ICT)产业的整体升级,提升云计算产业的国际竞争力。

收稿日期:2011-10-22

作者简介



徐志发,北京理工大学毕业;工业与信息化部电信研究院规划所电信运营研究部主任、高级工程师;从事互联网数据中心、网络与信息安全、安全生产、电信运营支撑系统等领域的研究工作;发表论文20余篇。

综合信息

中兴通讯 iOTN 解决方案荣获 BBWF 2011 Infovision 大奖

【本刊讯】2011年9月27日晚,2011中兴通讯 iOTN 解决方案,即端到端 OTN 解决方案,荣获2011年欧洲宽带论坛“核心&城域网创新及提升”类大奖。

此次获奖的“iOTN 端到端无缝解决方案”创新地将光层交叉、OTN 电层交叉、L2 交换、ROADM 等多种技术

融合在一个统一平台中,系统设计充分满足运营商建设从网络边缘层到核心层无缝 OTN 平台的需要,最终能帮助客户降低网络与运维成本。

中兴通讯高级副总裁陈杰指出,多年来中兴通讯保持始终如一的创新,跟踪业内技术与市场的发展,为客户带来了很高价值的产品和服务。

分组网络中同步标准的进展及分析

Analysis of Synchronization Standards for Packet Switched Networks

摘要:如何解决同步信号地面链路传递问题,是目前分组传送网络中研究的一个重要课题。传统同步体系中的标准仅适用基于电路交叉技术的网络,并不适用于指导分组传送网络中面临的问题。目前虽已有运营商应用 1588v2,满足移动回传网络中的时间同步需求,但随着网络复杂性的逐步增强,以及对设备时间(时钟)能力要求的不断提高,亟待相关标准的出台及完善。文章对分组网络中的同步标准进行了讨论,并就当前包交换技术实现频率和时间同步的热点应用给出了建议。

关键词: 分组包网络;时分复用技术;同步以太网;时间同步

Abstract: Synchronizing signals for ground link transmission is an important issue in packet-switched networks. Traditional synchronization methods, which are mature in circuit-switched networks, are not applicable to packet-switched networks. Although 1588v2 is used to solve the synchronization problem in mobile backhaul networks, more standards need to be considered in light of increased network complexity and rising requirements of equipment clocks. This paper discusses current synchronization methods and gives some views on the application of packet synchronization.

Keywords: packet switched network; time division multiplexing; synchronous Ethernet; time synchronization

中图分类号: TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 06-0043-03

郑滢雷/ZHENG Yanlei

张林/ZHANG Lin

张贺/ZHANG He

(中讯邮电咨询设计院有限公司, 北京
100048)
(CITC Corporation, Beijing 100048, China)

息以替代全球定位系统(GPS)方式。目前,该技术已在中国多个本地网中开展了广泛的应用。

1 分组网络同步标准的讨论

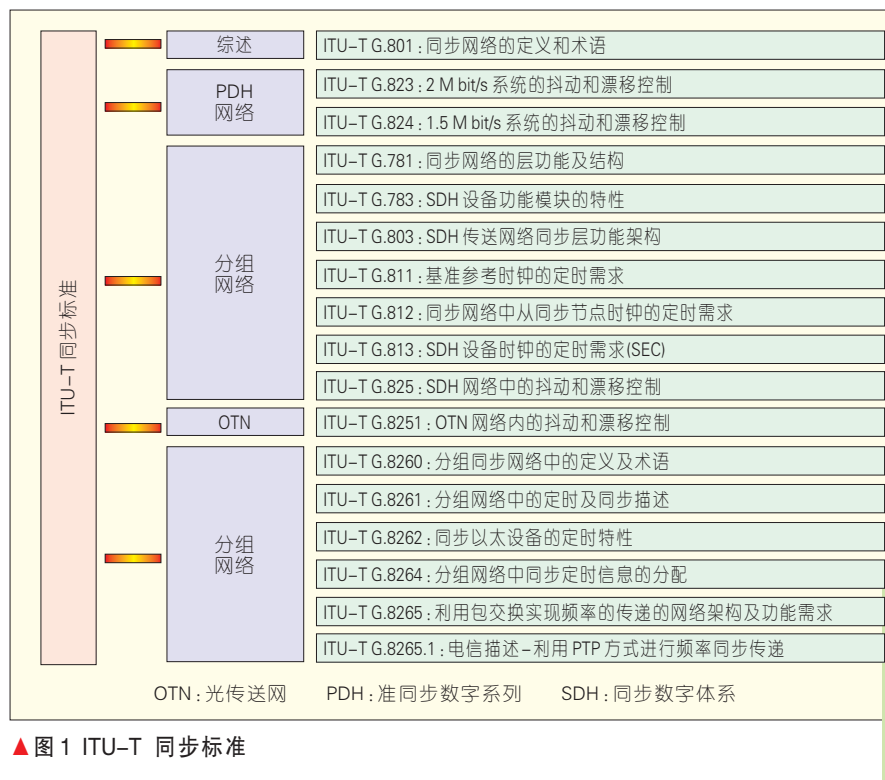
ITU-T Q13/15 主要研究网络同步、定时以及相关设备时钟性能参比方法等,并且它制订了大量的网络同步标准。早先的同步标准主要面向时分复用模式(TDM)网络,并且针对SDH系统传送时钟同步信号的标准已经得到了大量的应用。近两年来,随着分组设备在传输网络中所占比重的不断加大,需要考虑在分组环境中如何实现同步信号的传递。另外,除了满足时钟同步需求外,更要思考解决时间同步的方法。比如,目前一些时分同步码分多址(TD-SCDMA)的基站仍然采用安装GPS天线接收机的方式,以解决基站之间时间同步关系的难题,但GPS提供时间同步存在施工难、维护重、成本高和安全度低等弊端。目前各大运营企业及通信设备制造商都积极投身于时间(时钟)同步地面链路传递的研究中。

国际标准化组织,如国际电信联盟远程通信技术标准化组织(ITU-T),正在抓紧制订在分组环境下时间(时钟)同步的相关建议及规范。本章对

同步网是辅助电信网络业务正常运转的三大支撑网络系统之一。早先的同步网采用的是准同步数字系列(PDH)传输技术,它可以利用 $N \times 2$ Mbit/s 系统的 PDH 链路对 N 个网元进行独立授时。与 PDH 不同,同步数字体系(SDH)自身需要时钟同步技术的保障,同时又可以对同步网中的定时信号起到传送作用。SDH 系统中的各个网元,均可以从该系统中获得同步信息并为自身传送业务服务。也就是说,SDH 网络既是同步网的使用者,又是同步网的承载者。正是在 SDH 系统中传定时不需要占用额外的负载空间,而且经过时钟规划,能够满足线路系统中所有网元的时钟同步需求。因此该时钟同步方式仍广泛使用,并逐渐满足传送

网络中的时钟同步要求。

随着 3G 技术应用服务的普遍开展以及长期演进(LTE)时代的逐渐到来,分组设备越来越多地被引入到传输网络中。目前,分组传送网(PTN)被首先引入到本地网络的建设范围中,承担 3G 移动信号回传的重要任务,将来还会有更多的分组设备引入到干线网络中。由此可见,分组设备在传送网络中所占的比重越来越多。现在我们面临的问题是如何在分组网络环境中实现同步信号(时钟和时间)的地面链路传递。一些 3G 移动通信技术需要保证在基站空口之间维持严格的时间同步关系,这在原有 SDH 系统中是无法实现的。业界倾向于采用 IEEE 1588v2 的技术来实现在分组传送网络中传送同步信



▲ 图1 ITU-T 同步标准

于已出台的分组网络同步的标准进行解读,对于早先的TDM环境下的标准将不再赘述。图1列举了目前由ITU-T主导的同步标准。

1.1 分组网络中同步的相关术语

和定义

ITU-T G.810 为同步(时钟)协议族提供了技术术语解释及定义。G.8260 则是对分组网络的频率及时间同步规范中使用到的术语、缩略语进行了定义^[1]。该建议分两大部分:一是用数学方法对分组网络中同步的稳定性及时钟质量进行了度量;二是针对分组网络中采用包交换取定时的方式进行描述,并就包网络中定时损伤的产生及影响进行了说明。另外在附录中对于包的分组延迟测量也进行了补充陈述。

1.2 分组网络中的频率定时技术要求

G.8261 是ITU-T 第一个讨论分组网络同步的建议,它规定了分组网的网络定时和同步概貌,讨论了分组网络的同步需求和同步方法^[2]。G.8262

则是定义了如何通过以太网的物理层实现整个网络同步信息的传送^[3]。

1.2.1 分组网络实现时钟同步的总体需求及框架

ITU-T G.8261 规定了分组网络内同步结构的整体概貌。分组网络同步的一个很重要的目的是要在分组网络上支持TDM业务,因此该建议还规定了抖动和漂移的最大网络限值及包交换的边界TDM接口上必须具备的最小设备容限。

仿照G.823中的TDM网络同步定时信息的分配方法,G.8261对参考定时信号在分组网络内的分配进行了说明,并且针对同步以太和基于信息包的方式给出了整体上的需求建议。

另外,G.8261还对于分组网络内从固定比特率业务中获得定时同步信息的方法进行了规定。在补充建议中新增了部分以太网接口的工程规范。

1.2.2 同步以太网设备时钟性能规范

2007年6月ITU-T通过了“G.8262

同步以太网设备从时钟(EEC)的定时特性”建议。该建议定义了同步以太网设备时钟的性能参数,如同步以太网设备从时钟上的频率准确度、保持范围、牵引入(出)范围、锁定状态下的漂移限值及抖动容限等。

同步以太技术与SDH系统对时钟进行恢复的原理相同,并且由于与网络中所承载的业务无关、时钟恢复性能好、技术成熟,因此被运营商普遍看好。虽然G.8262是作为分组网络同步系列的建议,但它提出的很多性能指标均与传统网络设备有相似的要求。如前所述,EEC的部分参考指标及计量方式与ITU-T G.813 相关部分对应,仅是对网络进行了优化。所以传统TDM网络同步规划方法基本可以应用到分组网络中。

该建议的最后描述了当在分组网内进行定时分配和业务时钟恢复时,网络报文的损伤给同步定时信号的恢复所造成的影响。

1.3 同步以太网的实现机制

ITU-T G.8261 规范了采用同步以太方式进行定时恢复的相关要求,而G.8264 则详细规定了分组网络中采用同步以太的方式是如何传送定时同步信息的^[4]。

ITU-T G.8264 详细描述了在以太网环境中,同步状态信息(SSM)报文的格式、时钟等级分类、采用同步以太传送时钟频率信息的定时分配原则、同步以太设备时钟优选原则等。SSM算法源于SDH的时钟同步控制,使用规则和时钟选择算法符合ITU-T G.781 的规范。同步以太网的SSM控制继承了SDH网络特性,在传统时钟同步网的基础上通过增加以太网同步消息信道(ESMC)丰富了对同步以太网的支持。

1.4 基于分组的时钟同步网络规范

目前主要有两种方式可以实现时钟同步信号的地面传递,分别为物理层定时信息方式和分组报文传递

方式。前述的同步以太方式就属于物理层同步定时的方法。分组报文传递方式是将本地时间信息以时间戳的形式被报文所携带,当报文到客户端后通过算法恢复本地时钟,从而达到同步定时。ITU-T G.8265 就是用于规范利用包进行的时钟同步。该建议对分组报文用于解决网络时钟定时传递问题的总体框架、功能需求结构以及相关的技术进行了描述,同时对目前常用的解决方法——IEEE 1588v2 中的技术进行了分析^[5]。

ITU-T G.8265.1 则是在 IEEE 1588 技术的基础上,提出了采用单播的通信方式在分组网络环境中实现时钟传递^[6]。该建议中对使用精确时间传输协议(PTP)实现时钟定时信号的传递中遇到的问题进行了说明,包括 IEEE 1588 协议使用原则(PTP 的通信模式、封装格式及报文频率等)和最佳主时钟选择算法。在该建议的附录 I 中,针对在 PTP 报文交互中采用单播还是组播的问题,分析了两种方式的利弊,并给出了在具体工程应用实施中的相关建议。

2 分组网络同步标准的展望

ITU-T 组织为早先 TDM 网络的同步架构及性能指标,制订了详细的规范和分配定义。ITU-T SG15 WP3 中的 Q13 课题组在同步标准的制订上,做了大量的工作和努力,输出了不少标准建议。尤其是在近几年,传统传输设备(尤其是以 SDH、MSTP 为代表的传统意义上的传输设备)受到来自向 IP 化转型传输设备的挑战,分组包交换环境将是今后同步领域研究的重要平台。目前 Q13 已经完成了分组网络环境中解决时钟同步(即:频率同步)的绝大多数标准议题,在完善时钟同步体系标准的同时,也在积极开展对时间/相位同步标准的研究工作。

2.1 Q13/15 标准

从近几次 Q13 会议上的白色文

稿讨论来看,目前标准组成员主要关注 3 方面内容。

(1) 分组设备时钟特性

和 G.81x 系列相比,ITU-T G.826x 体系缺少一项重要的标准,即分组网元设备的时钟质量评定方法。G.8262 对 EEC 的时钟特性进行了定义和规范,如何考量一个采用包交换的方式进行时钟信号恢复的时钟质量就成为需要关注的问题之一。

(2) 利用包交换解决时间同步

● 概貌和功能框架

2010 年 Q13 深圳会议上,多个议题集中在了时间同步的需求及定位上。关于时间/相位同步的需求基本上已经达成一致。但目前利用 1588v2 技术,能否在大范围区域内建立多级时间同步网,还存在比较大的争议。

● 时间同步网的技术规范

目前,时间同步地面传递的解决方案更多是倾向于采用 IEEE 1588v2 技术,但 ITU-T 并未明确指定将其作为唯一解决时间同步信号传递的技术。从时间同步网建设发展来看,同步标准族中缺少采用 PTP 进行组网的系列指导意见。尽管 IEEE 1588v2 设计的初衷就是为满足电信网络应用的需要,但是站在 ITU 的角度,仅依靠 IEEE 的现有规范,仍然无法直接指导日益发展的时间同步网,时间同步系列的标准是目前 Q13 组织研究的中心内容之一^[7]。

● 采用包交换的传输节点时钟

传统 SDH 网元设备时钟(SEC)的设备结构,如果引入时间同步需求,则内部的时钟处理单元和时间处理单元的协调工作就需要重点考虑。另外针对 1588v2 技术引入电信同步网络后,新出现的主用基准时钟(PRTC)、边界时钟(BC)、透明时钟(TC)和普通时钟(OC)等设备的时钟特性也需要进一步规范。

(3) 实际应用中的问题

目前从中国电信运营商采用 1588v2 的应用领域来看,主要还是集

中于本地网络无线信号回传中基站间的同步问题。但如网络范围较大,城域核心层则多采用光传送网(OTN)设备,同时出于多种因素的考虑,有必要把 1588 服务器移至核心节点位置上。另外 OTN 设备也需要采取适当措施保证各类同步信息的精准传输,并与下游分组网络构建端到端的统一同步网。如此一来,同步信息就有可能要穿越核心层的 OTN 网络到达汇聚层的 PTN 设备。中国移动等单位已就在 OTN 上传 1588 报文并进行了前沿性的技术分析及外场测试,积累了大量第一手的数据,为推动 ITU-T 在该项技术上制订相关的标准,提供了详实可用的素材。ITU-T G.8251 对 OTN 接口上的时钟特性(抖动和漂移)进行了规范,但如何考虑在 OTN 上进一步承载 PTP 信号,以及对应 OTN 设备时钟的进一步改造,需要进一步讨论。

另外,随着宽带接入网的发展,无源光网络(PON)以其能很好的承载移动网络回传信号,推动了网络大融合的进一步拓展,因此接入网的移动业务就需要同步做以支撑。针对使用 IEEE 1588 协议来同步的端到端网络,需要实现 PON 系统上的时间传递。但由于 PON 的结构特殊性,导致光缆终端设备(OLT)和光节点(ONU)之间的上下行时延差距很大,影响了 1588 算法的实施。ITU-T Q2/15 正在研究通过 GPON 本身的管理通道来解决延时信息和 OLT 精确时间信息的传递问题,如何能够保证精度和实现的可操作性,都需要标准组织仔细考虑。另外,Q13/15 也需把 OLT 的时钟特性列为近期输出的建议之一。

2.2 IETF 的相关研究

早先的互联网及以太网技术不考虑设备之间的定时同步的问题,其技术自身的开发、维护是靠 IEEE 来支持。但互联网工程任务组(IETF)看到了数据互联网中提供同步定时信

→下转第 50 页

空中圈存系统平台研究

Loading-in-Air System Platform

王丽君/WANG Lijun

(中国联通产品创新部, 北京 100033)
(Product Innovation Department, China Unicom, Beijing 100033)

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 06-0046-05

摘要: 随着移动支付业务快速发展的实际需要, 传统的基于固定地点的圈存方式已经无法适应其快速发展, 因此文章提出了一种公共的、架构开放的空中圈存系统平台设计方案。该方案不仅可以为公交应用、金融应用以及运营商自有应用等多种形式的的应用提供公共、开放的圈存功能和便捷的圈存流程, 而且还兼容了电子钱包和电子现金两大类应用。文章指出该系统平台能够满足目前重要性和紧迫度不断提升的、随时随地的圈存需求, 具有较高的可行性。

关键词: 圈存; 空中圈存; 移动支付; 系统平台; 工作流程

Abstract: With the rapid development of mobile payment, traditional location-based loading technology is unable to meet mobile payment requirements. This paper proposes a loading-in-air system platform with an open architecture. This platform has an open and convenient loading function and process for public transport, financial, individual operator applications. It also combines electronic wallet and electronic cash. The loading-in-air system platform satisfies the requirements of mobile payment anytime and anywhere.

Key words: loading; loading in air; mobile payment; system platform; working procedure

圈存, 是指将账户资金划入电子钱包的过程, 即将平时从银行账户头中提现现金放在口袋里进行消费付款的方式转变成将银行账户头中的钱直接圈存(存入)IC 晶片上^[1]。通过圈存的方式, 使消费者免除诸多麻烦和风险, 如找零、遗失、伪钞、被抢等。根据传统的圈存方式, 用户必须得去银行的营业厅或者业务受理专用终端以联机的方式从而进行圈存充值。

这种方式既需要业务提供方投入较大的成本, 也需要用户投入较大的时间成本, 从而降低了业务的便利性。随着目前移动支付业务量的不断增大, 固定地点进行圈存的方式越

来越无法满足使用者日渐增长的圈存需求。

移动支付, 也称为手机支付^[2-3], 是指用户使用其移动终端(通常是手机)对所消费商品或服务进行账务支付的一种服务方式。移动支付作为一种新兴的应用方式, 正在受到产业各界和用户越来越多的重视。据市场研究公司 Juniper Research 的调查数字显示, 2011 年全球手机用户创造的移动支付市场规模将可能会达到 220 亿美元。

同传统的固定圈存方式相比, 移动支付对使用者有着天然的便利性。因此, 移动支付能够成为圈存技术由固定地点向空中发展的重要前

提和基础。

文章首先对目前基于固定地点的两种圈存技术进行了深入分析, 并在此基础上, 从用户体验、系统实现、应用开发、交易流程等方面提出了空中圈存系统平台设计的基本原则; 基于该原则, 文章又给出了实现空中圈存系统平台的详细方案及其业务流程; 最后, 文章对空中圈存系统平台的相关应用价值及可行性进行了总结分析。

1 圈存技术现状分析

目前, 基于固定地点的圈存技术方案主要包括两类:

- 基于电子钱包的圈存方案: 基本遵循《中国金融集成电路(IC)卡电子钱包/电子存折规范第2部分: 应用规范》, 目前非金融行业领域主要采取该技术方案^[4];

- 基于电子现金的圈存方案: 基本遵循《中国金融集成电路(IC)卡规范第13部分: 基于借记/贷记应用的小额支付规范》, 目前金融领域主要采取该技术方案^[5]。

从实现功能的角度来说, 电子现金和电子钱包没有区别, 二者均可实现圈存、消费、查询余额3项基本功能。但是电子现金解决方案是完全兼容借记/贷记应用的支付产品组件, 并具有标准借记/贷记应用的高级风险管理特性。

而电子钱包本身是独立于借贷记的一种应用, 其交易流程与借贷记应用有很大的差别, 是人民银行专门为小额支付推广制订的一个应用, 其优点在于和电子现金相比其交易流程较为简单, 缺点在于安全性和电子现金相比存在差距。

从用户使用圈存技术的角度来看,电子现金和电子钱包的这两种圈存方式,都是基于固定地点来实施的圈存方式,除具体圈存技术内部实现技术上的区别外,对广大的实际用户来说,都需要去一个固定场所办理圈存的相关业务。

因此,从这一点来说,电子现金和电子钱包这两种传统的圈存方式,已经无法很好地适应目前移动支付蓬勃发展的新形势。

从单纯的圈存技术角度来看,目前这两种传统的圈存方式彼此之间是分离的,是基于不同的技术原理和相关标准规范来设计并最终建立起来的。

从实现技术和最终的业务提供平台来讲,这两种圈存方式彼此之间是完全分离的。不同的技术方式提供相同的业务和应用,可能会出现基础设施重复建设和资源浪费的一些情况。

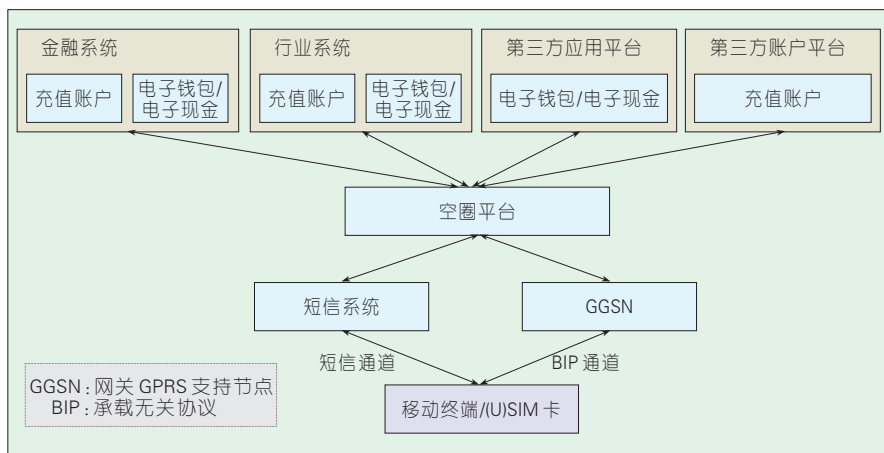
正是由于传统的基于固定地点的圈存方式存在诸多问题,现已无法满足和适应蓬勃发展的移动支付的广泛需求。

文章在经过大量研究和分析的基础上提出了基于移动支付技术的空中圈存系统平台,并对其优缺点进行了深入的分析。

2 空中圈存系统平台研究和设计

空中圈存,即以手机支付的方式进行圈存,如通过手机打电话、短信、空中下载技术(OTA)、菜单等方式即时将银行卡账户金额划转到手机卡钱包。相对固定地点的传统圈存方式,移动支付大大提高了用户使用的便捷性,使用户在具备移动信号覆盖的区域能够时时处处实现随心所欲的圈存操作。

空中圈存是实现圈存的一种新的形式,与原有的固定方式的圈存应相辅相成,共同为用户提供不同的业务使用途径。



▲ 图1 空中圈存系统平台的基本架构

基于对圈存技术的分析以及对移动支付技术和发展的研究,文章提出了新的空中圈存系统平台,包括空中圈存系统平台的设计原则、系统架构、基本的圈存流程以及关键结技术机制和异常处理等。

2.1 设计原则

根据对传统固定地点圈存技术的分析和研究,目前空中圈存技术方案的制订过程中需要遵循一些重要的原则:

- 用户体验的友好性

提供方便、快捷的圈存业务办理,易于用户使用,为用户提供良好的业务体验;提供与现有固定方式圈存相同的服务功能,确保用户体验的一致性。

- 平台的开放性与公共性

构建开放、公共的圈存平台,实现跨平台、多应用的圈存能力。

- 后台系统的兼容性

与各金融账户系统、第三方支付机构的账户系统、电子钱包等应用平台系统有良好的技术兼容性,方便与各系统进行对接。

- 应用开发的便捷性

简化应用开发难度,实现便捷的应用开发,方便各种定制化、个性化的应用实现,并且还具有良好的可扩展性。

- 交易流程的简洁性

从用户需求角度出发,尽可能的简化交易流程,降低系统实现的复杂性和圈存处理效率。

2.2 基本架构及主要功能

根据对传统圈存技术的研究以及上述设计原则,文章经过研究提出一种新的基于空中圈存方式的系统平台,其基本架构如图1所示。

该空中圈存系统平台所涉及主要模块有6大功能。

(1) 空圈平台

承担空中传输的角色,并负责空中报文的安全传输和圈存接入服务,将用户和金融系统、行业系统安全连接起来。其主要功能包括:

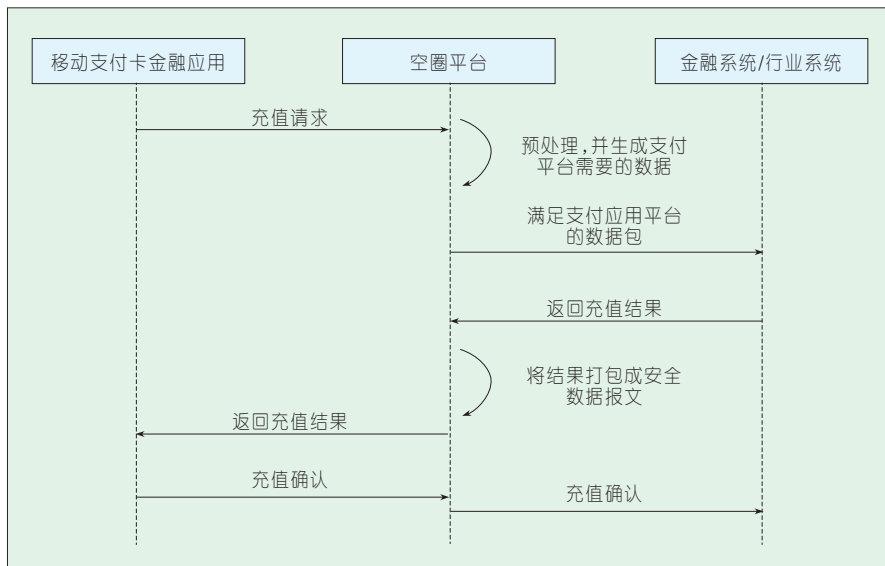
- 负责向金融系统/行业系统提供空中圈存的数据短信通道;
- 负责重复报文过滤;
- 负责短信报文的组装和安全处理;
- 负责分析数据短信,并且根据短信类型向相应的应用平台和账户系统转发圈存请求,并记录圈存手机号码。

(2) 账户平台

负责充值主账户的管理,以及充值、转账等账户相关操作的逻辑控制。在圈存业务中,账户平台主要负责主账户的资金划转。

(3) 应用平台

主要指电子钱包/电子现金应用



▲图2 由用户主动发起的空中圈存的基本流程

平台,该平台负责应用逻辑的控制和钱包/现金账户的管理。在空中圈存业务中,应用平台主要负责圈存处理、冲正处理等。

(4) 金融系统/行业系统

包括账户平台和第三方应用平台,可实现充值主账户管理、应用逻辑控制和电子现金/电子钱包账户管理两方面的功能。典型的金融系统如银行系统,典型的行业系统如公交一卡通系统。在空圈业务中,金融系统/行业系统是主要的业务处理点,它利用空圈平台提供的数据短信通道和空中圈存服务,实现空中圈存业务,包括圈存安全处理、绑定圈存账户管理、冲正限额管理、圈存处理、冲正处理等。

(5) 短信系统

实现短信接入的能力部件,移动支付空圈功能的短信通道,主要负责转发上行短信到空圈平台系统进行处理,并向用户发送下行短信通知业务处理结果。

(6) GGSN

实现承载无关协议(BIP)接入的能力部件。

2.3 空中圈存业务流程

空中方式的业务处理流程与销

售点终端(POS)方式的业务处理流程一致,区别只是在于通道方式不同。对于各类金融应用,存在一个通用的空中圈存流程,但每个流程的细节会根据具体应用的不同而存在细微的区别。基于以上考虑,在文章所提出的空中圈存系统平台中,由用户主动发起的空中圈存的基本流程如图2所示。

(1) 用户进入 STK 菜单发起圈存请求,菜单 Applet 则会根据应用需求组装好圈存所需要的具体数据元,按照报文格式生成数据短信上发给空圈平台;

(2) 空圈平台收到卡上发的数据报文后,进行完整性校验,根据不同的目标应用索引将报文域发送给对应的支付应用平台;

(3) 金融系统处理报文域数据,将圈存结果返回给空圈平台;

(4) 空圈平台按照报文格式对圈存结果进行组装,生成下行圈存结果报文发送给卡;

(5) 卡片收到圈存结果下行报文后,将圈存结果写入金融应用,同时给出成功与否的圈存确认;

(6) 空圈平台收到卡上发的圈存确认报文后,进行完整性校验,根据不同的目标应用索引将报文域发送

给对应的支付应用平台,从而完成圈存流程。

2.4 关键技术机制

在空中圈存平台系统中,除了具备主要的系统架构和功能模块以及基本的圈存流程外,还主要涉及到同步计数器、安全认证保护和异常处理等主要的关键技术机制。

2.4.1 同步计数器机制

空中圈存系统平台,在(U)SIM卡与空圈平台之间采用同步计数器机制,来保持支付(U)SIM卡与空圈平台间的同步状态,并且还可以通过保持支付(U)SIM卡与空圈平台间的同步来防止重传攻击对空圈平台所造成的损害。

在本空圈系统平台中,需要同时维护和管理多个同步计数器。(U)SIM卡中所涉及到多个支付应用,每个支付应用需要维护属于该应用自己的A、B两个计数器,并且同时与空中圈存系统平台中的同步计数器一一相对应。

在本空中圈存系统平台中,(U)SIM卡与空圈平台之间的同步机制分为3个基本阶段:同步计算器的初始化、运行及复位。

(1) 同步计算器的初始化

- 支付(U)SIM卡端的同步计数器A和同步计数器B的初始值都为0;

- 空中圈存系统平台端的同步计数器A初始值为0,同步计数器B初始值为1。

(2) 同步计数器的运行

按照“下行短信是对支付(U)SIM卡的一个响应还是空圈平台主动下发行为”的基本设计思路,平台所采用的两个同步计数器的运行流程分为两种情况。

- 同步计数器A对应于“下行短信是对支付(U)SIM卡的一个响应”,该情况包括圈存请求命令、圈存确认命令、圈存结果命令、冲正交易请求命令、冲正结果。在这种情况下使用

的同步计数器机制有两类。

(a) 支付(U)SIM卡产生上行数据时,应以当前本地同步计数器A的值填充上行数据中的同步计数器值;在收到圈存结果命令下行数据时,若下行数据中同步计数器值与当前本地同步计数器A的值相等或下行数据中同步计数器值比当前本地同步计数器A的值大1,则需要在完成该次圈存过程后将本地同步计数器A的值加1。

(b) 空圈平台收到上行数据时,若该上行数据需要响应,当上行数据中同步计数器值与当前本地同步计数器A的值相等,则应以当前本地同步计数器A的值填充下行数据中的同步计数器值,并将下行数据发送给支付(U)SIM卡,在发送完该次圈存结果命令下行数据后,空圈平台应将当前本地同步计数器A的值加1;当上行数据中同步计数器值比当前本地同步计数器A的值小1时,应以当前本地同步计数器A的值填充下行数据中的同步计数器值,并将下行数据发送给支付(U)SIM卡,在发送完该次圈存结果命令下行数据后,空圈平台则应保持当前本地同步计数器A的值不变。

• 同步计数器B对应于“下行短信是空圈平台主动下发的行为”,该情况包括修改卡内参数命令,及后续扩展的平台下发的主动命令。在该情况下,服务器在发送完该次修改卡内参数下行数据后,才将本地同步计数器B的值加1。下行短信中的计数器必须大于支付(U)SIM卡中的计数器B,该短消息才可以被支付(U)SIM卡接受,支付(U)SIM卡在收到该次修改卡内参数下行数据后,用下行短信中计数器的值更新本地计数器B的值。如果下行短信中的计数器小于等于支付(U)SIM卡中的计数器B,则该短信会被认为是不合法的,并将会被禁止使用。

(3) 同步计数器的复位

若支付(U)SIM卡或空圈平台中维

护和管理的本地同步计数器到达最大值,应将同步计数器复位为初始值。支付(U)SIM卡或空圈平台应能检测出支付(U)SIM卡或空圈平台因到达最大值而将同步计数器复位的情况。

2.4.2 安全认证保护机制

在空中圈存系统平台中,为保证(U)SIM卡与空圈平台之间数据传输的安全性和完整性,在支付(U)SIM卡现有的短消息传输机制中,需要对在物理信道上所传输的数据采用健全的双向安全认证保护机制。所谓健全的双向安全认证保护机制,是指由空圈平台对支付(U)SIM卡的认证(上行认证)以确保只有合法用户发出的请求被响应,由支付(U)SIM卡对空圈平台的认证(下行认证)以确保进入支付(U)SIM卡的下行数据的合法性,有效避免恶意代码对用户支付(U)SIM卡的入侵。

双向安全认证保护机制的基本工作流程如下:

• 空圈平台收到上行数据后,计算该上行数据的报文认证码(MAC),并与上行数据中的MAC码进行比较。若两者相同,证明该上行数据的发送者是合法用户,且数据在传送过程中未被修改、删除或重组,该上行数据有效;否则,则可能会丢弃该上行数据。

• 支付(U)SIM卡收到下行数据后,计算该下行数据的MAC码,并与下行数据中的MAC码进行比较。若两者相同,证明该下行数据来自合法的空圈平台,且数据在传送过程中未被修改、删除或者重组,该下行数据被认为是有效的;否则,丢弃该下行数据。

2.4.3 异常处理机制

在本圈存系统平台中,主要的异常处理机制包括空圈平台圈存异常处理、卡片圈存异常处理、空圈平台冲正异常处理、卡片冲正异常处理和

同步计数器异常处理等。

(1) 空圈平台圈存异常处理

• 缺省情况下,平台无需收到卡片圈存结果请求,也认可圈存成功;

• 平台收到重复的圈存请求报文,需要按第一次处理结果再次下发圈存请求响应报文;

• 平台收到重复的圈存结果请求报文,则直接丢弃该报文。

(2) 卡片圈存异常处理

• 卡片在没有完成一个圈存流程时,不能再次发起新的圈存请求;

• 卡片在收到圈存请求应答后,如果应答失败,则提示用户圈存失败,交易结束;否则,执行圈存操作;

• 卡片在执行圈存操作后,如操作成功,则提示客户圈存成功,交易结束,并立即发送圈存结果请求;

• 卡片在执行圈存操作后,如圈存是操作失败的,卡片立即发起冲正交易;

• SIM发起冲正交易后,如再收到该圈存请求的应答,则直接丢弃;

• 卡片收到重复圈存应答时,直接丢弃重复的应答。

(3) 空圈平台冲正异常处理

• 如平台在未收到圈存请求时,收到圈存冲正,则发送冲正请求给金融系统;如此后再次收到圈存请求,则只做记录,不做圈存处理及应答。

• 如平台收到多次冲正请求,如前面的冲正处理成功,则直接返回第一次发送的报文;如前面的冲正处理失败,那么则再次进行冲正,并发送冲正应答报文。

(4) 卡片冲正异常处理

• 卡片发起冲正交易后,没有收到平台冲正的应答,则STK应显示“上次冲正异常,请按确认键取消冲正”;如重发3次冲正请求后,均未收到冲正成功应答,则STK菜单应显示“空中圈存功能被锁定,请致电XXX号或前往营业厅办理”,其他菜单则显示为正常;

• 卡片发起冲正交易后,收到冲正失败交易应答,卡片需再次发起冲

正交易;

- 卡片发送冲正交易后,如仍接收到平台的圈存应答,则卡片应丢弃该应答。

(5) 同步计数器异常处理

- 若上/下行数据中的同步计数器出现与描述的同步计数器管理情况不符,则应视为系统遭到恶意的重传攻击或出现异常情况,支付(U)SIM卡/空圈平台应对该上/下行数据做丢弃处理。

3 结束语

文章分析了传统固定方式的圈存业务发展现状,并结合移动支付业务快速发展的需求,指出了单一固定方式带来的缺陷与不足。文章在对两种传统圈存技术进行分析比较的基础上,总结出了设计空中圈存系统平台应遵循的原则,并基于该原则提出了一种公共而又开放的空中圈存系统平台方案。

该系统平台方案具有如下的一些显著特点:

- 可实现多应用跨平台圈存的公共空中圈存平台,为公交应用、金融应用、运营商自有应用等多种形式的圈存提供公共的圈存功能;

- 同时兼容电子钱包和电子现金两大类应用,符合移动支付业务的圈存需求;

- 将通用的圈存功能抽取出来,避免针对每个应用单独建设一套圈存平台,也避免各个应用平台均需建设圈存模块,减少重复建设,降低投资,节省资源;

- 对移动通信系统而言,短信网关和GGSN等能力部件只需要和一套平台对接,降低对短信网关和GGSN系统的压力;

- 在保障安全性的前提下,实现流程最简单化的处理,以此来提高用户体验。

综上所述,文中提出的空中圈存系统平台方案,可以实现公共、开放的圈存功能和便捷的圈存流程,满足了目前重要性和紧迫度不断提升的随时随地圈存的需求,具有较高的可

行性。

4 参考文献

- [1] 张安勤.移动支付技术综述[J].上海电力学院学报,2006,22(2):152-157.
- [2] 李萍,闫长乐,童以祥.手机支付商业模式浅析[J].北京邮电大学学报:社会科学版,2008,10(4):20-25.
- [3] 石丹,吕廷杰,杜惠英.手机支付在公共交通领域的应用研究[J].北京邮电大学学报:社会科学版,2009,11(5):49-53.
- [4] 中国金融集成电路(IC)卡电子钱包/电子存折规范,第2部分:应用规范[S].北京:中国人民银行,2004.
- [5] 中国金融集成电路(IC)卡规范,第13部分:基于借记/贷记应用的小额支付规范[S].北京:中国人民银行,2009.

收稿日期:2011-09-30

作者简介



王丽君,北京邮电大学硕士毕业;中国联通总部产品创新部业务经营与规划处经理;现从事创新产品规划、产品研发管理及业务经营管理等工作;主要研究方向为互联网及移动互联网;近期发表论文1篇。

←上接第45页

号的必要性。TICTOC标准工作组,成立于2008年3月,隶属IETF组织中的网际互联研究领域。一方面网络时间协议(NTP)工作组的任务定位已无法满足目前高精度时间同步的严格需求;另一方面,IETF专家认为未来的定时信息将统一采用IP/多协议标签交换(MPLS)封装的形式予以传递。该工作组目前的研究重点在于把同步定时信息,如NTP或是PTP包,封装到MPLS帧中,实现在IP/MPLS网络中端到端1588v2时间传递方式。在这一研究过程中也产生了多篇很有价值的文稿,其内容包括报文的封装格式、定时信息链路的保护倒换及安全性等方面。但现阶段,ITU-T则认为把PTP报文封装进业务里,形式复杂,而且其性能恢复指标还有待进一步验证。因此ITU-T希望PTP报文的封装和转发与业务转

发能分开考虑。

3 结束语

中国电信运营商对于在分组网络上传送同步定时信号的需求强劲,尤其是对于采用TD-WCDMA技术的基站来讲,更需要在空口上具备严格的时间同步条件。近些年来,中国通信科研人员在该领域向国际标准组织输出了大量的文稿,为推动分组网络中同步标准的完善贡献了力量。

4 参考文献

- [1] ITU-T G.8260. Definitions and Terminology for Synchronization in Packet Networks [S].2010.
- [2] ITU-T G.8261. Timing and Synchronization Aspects in Packet Networks[S].2006.
- [3] ITU-T G.8262. Timing Characteristics of Synchronous Ethernet Equipment Slave Clock (EEC) [S].2007.
- [4] ITU-T G.8264. Distribution of Timing Through Packet Networks[S].2008.

收稿日期:2011-07-14

作者简介



郑洪雷,中讯邮电咨询设计院有限公司技术研究部工程师,中国通信学会会员;主要研究方向IP化传送网络的新测试及标准跟踪。



张林,中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司有线传输设计部工程师;长期从事光纤通信网的规划设计等相关工作。



张贺,中讯邮电咨询设计院有限公司传输与无线部高级工程师、主任工程师;长期从事部级电信运营商光纤通信网的咨询、规划和设计等相关工作。

无线通信系统小区间干扰控制技术

Inter-Cell Interference Control in Wireless Communication System

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 06-0051-05

摘要: 小区间干扰是蜂窝移动通信系统的一个固有问题, 严重影响到系统的覆盖能力及系统容量。特别是对于小区边缘用户, 将会直接导致他们出现频繁掉网或无法接入网络的情况。从现有的研究成果和各种标准化组织(LTE、IEEE 802.16m、UMB)对小区间干扰控制的方案来看, 小区间干扰控制主要包括包括干扰随机化、干扰抵消以及干扰协调3类方法。文章中主要分析了干扰协调中的3种典型技术——部分频率复用、多基站多输入输出(MIMO)和功率控制, 并且介绍了这3种技术在各种标准化组织中的具体实现方案。

关键词: 小区间干扰控制; 部分频率复用; 多基站多输入输出; 功率控制

Abstract: Inter-cell interference is an inherent problem in cellular mobile communication systems and seriously impacts coverage and capability of a system. For cell edge users, inter-cell interference results in frequent dropping from the network or denial of access to the network. Most standards organizations have conducted research into inter-cell interference control for LTE, IEEE 802.16m, and UMB. As a result, different methods have been devised to deal with the problem, including inter-cell interference randomization, inter-cell interference cancellation, and inter-cell interference coordination. This paper introduces three kinds of effective inter-cell interference coordination technologies: fractional frequency reuse, multi-BS multiple-input multiple-output (MIMO), and power control. This paper also introduces the schemes implemented by standards organizations.

Key words: Inter-cell interference control; fractional frequency reuse; Multi-BS MIMO; power control

刘锐/LIU Kun
鲁照华/LU Zhaohua
胡留军/HU LiuJun

(中兴通讯股份有限公司 无线预研部,
广东 深圳 518057)
(Wireless Technology Preresearch
Department, ZTE Corporation, Shenzhen
518057, China)

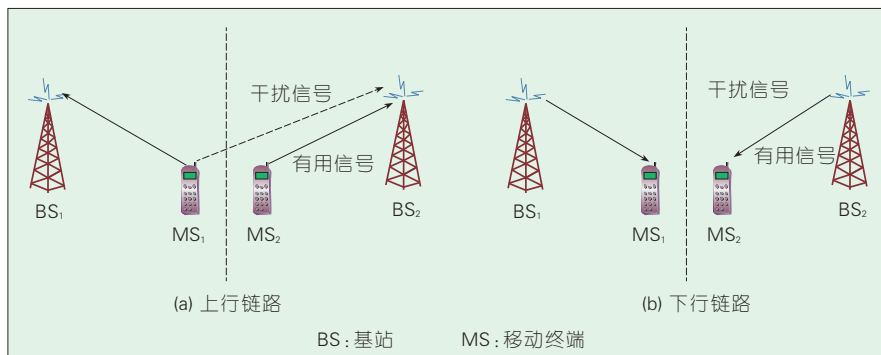
MS₁发送的无线信号。对于MS₂和BS₂来说, 这些来自MS₁的信号就是干扰。图1(b)为下行链路, 也会遇到和上行链路类似的干扰问题。如果小区间干扰严重, 将会直接影响到系统的覆盖能力及系统容量, 特别是小区边缘用户, 将会直接导致他们出现频繁掉网或者无法接入网络的情况。

降低小区间干扰是蜂窝系统设计的一个重要目标, 从现有的研究成果和各种标准化组织的研究项目, 如3GPP的长期演进(LTE)、IEEE的802.16 m、3GPP2的增强型移动宽带(UMB)中对小区间干扰控制的处理方式来看, 小区间干扰控制的技术包括3类。

1 干扰控制技术概况

小区间干扰^[1]是蜂窝移动通信系统的一个固有问题, 严重影响了系统性能, 其形成原因是各个小区中使用相同频率资源的用户会相互干扰。图1(a)为上行链路的小区间干扰情况, 基站(BS₁)和BS₂分别为移动终端(MS₁)和MS₂的服务基站, 假设BS₁分配给MS₁用于上行传输的子载波集合为SC₁, BS₂分配给MS₂用于上行传输的子载波集合为SC₂, SC₁和SC₂的

交集为SC。如果SC不是空集, 则BS₂在接收到MS₂发送的上行信号时, 在集合SC内的子载波将会同时收到



▲ 图1 小区间干扰示意图

基金项目: 国家科技重大专项
(2010ZX03003-002-02)

• 干扰随机化技术

干扰随机化是一种常用的技术,通过将相邻小区干扰白化的方法降低小区间干扰。其主要优点在于:不会影响接收端调度和接收处理的复杂度,但当系统满载时,干扰随机化技术对系统性能的提升有限。干扰随机化的代表技术为基于基站的扰码和各种跳频技术。

• 干扰协调技术

干扰协调技术主要是在多个小区内对空间、时间和频域的信道资源及其功率进行有效协调,从而降低相邻小区间的干扰。其主要技术包括了部分频率重用 (FFR)、多基站多输入多输出(MIMO)以及功率控制技术等。

• 干扰抵消技术

干扰抵消技术是将干扰小区的信号解码、复制,然后在接收到的信号中减去来自该小区的干扰信号。干扰抵消技术的优势在于:对小区频率资源的使用没有限制;但其局限是在于:目标小区还必须知道干扰小区的导频结构,以便对干扰源进行信道估计。因此,干扰抵消技术的信令开销和实现复杂度都比较高。

由此可知,干扰随机化技术对于小区间干扰抑制的增益有限,干扰抵消技术的开销和实现复杂度较高,所以小区间干扰抑制的实现方法主要是干扰协调技术。下文将具体介绍几种典型的干扰协调技术在标准化组织中的实现方式。

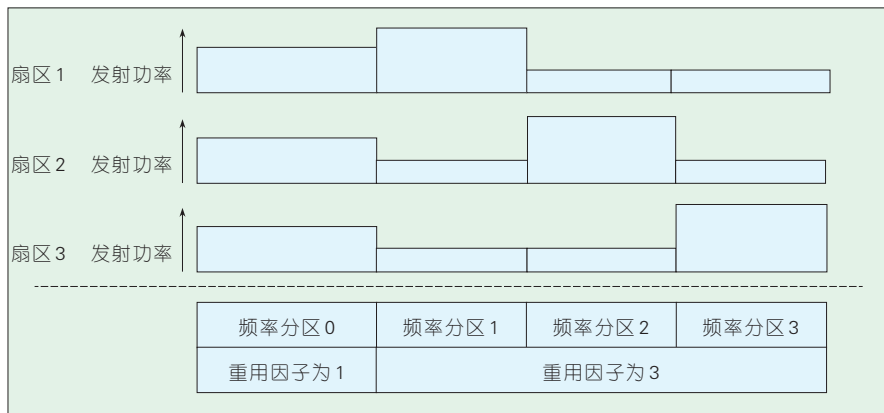
2 干扰协调技术

2.1 FFR

FFR^[2]技术主要通过对各小区上下行信道使用的时频域资源及其功率配置做出一定的限制来达到抑制小区间干扰的目的。

2.1.1 总体策略

FFR通常将频率资源分为若干个频率复用集,小区中心区域的用户可以采用较低的功率发射和接收,相邻



▲ 图2 频带划分示意图

小区的边缘区域用户即使占用相同的频率也不会造成较强的小区间干扰,因此小区中心区域用户被分配在复用因子为1的频率复用集;而小区边缘区域的玩家需要采用较高的功率发送和接收信号,有可能造成较强的小区间干扰,因此小区边缘区域用户被分配在频率复用因子为 N 的频率复用集,以减小相邻小区边缘区域使用的资源在时间和频率上的冲突,降低干扰数量级,提高信号的接收信噪比,从而提高系统小区边缘甚至整个系统的服务质量。

FFR技术可以分为静态FFR、半静态FFR和动态FFR。静态FFR主要是在小区规划时确定,资源协调周期一般是以月或天为单位,实现简单,但对实际环境的适应性较差,系统整体效率不高;动态FFR资源协调周期是以秒为单位,需要大量的测量信息上报,并且需要在多个小区间频繁进行实时通信,系统信令开销很大,所以在实际系统中采用率低;半静态FFR是介于静态FFR和动态FFR之间,既能较好地反映实际环境的变化又不显著增加系统开销。目前各种标准化组织中的FFR算法都是基于静态FFR和半静态FFR来设计的。

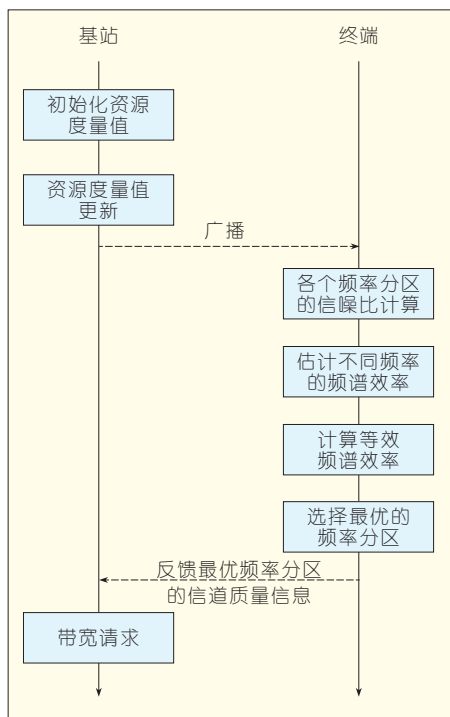
2.1.2 标准化方案

(1) 802.16m 标准方案

图2所示为IEEE 802.16m标准中

的下行FFR方案^[3-4]。该方法将整个频率资源划分为4个频率分区。其中,频率分区0的频率重用因子为1,频率分区1、频率分区2和频率分区3的频率重用因子为3,并且每个频率分区都配置了不同的发射功率级别。存在一种简单的基站主导的FFR实现方法,例如,对于扇区1而言,频率分区1的子载波的发射功率很高,相邻扇区2和相邻扇区3在频率分区1的子载波的发射功率相应偏低,这样对于扇区1中分配了频率分区1资源的终端来说,受到的小区同频干扰的强度就会降低,所以这部分资源适用于边缘用户使用;频率分区0、频率分区2和频率分区3的子载波的发射功率相对较低,并且受到的相邻扇区2和相邻扇区3的小区同频干扰强度较大,不适合边缘用户使用,并且考虑到中心用户靠近扇区中心,传播损耗较小,受到来自相邻扇区2和相邻扇区3的同频干扰较小,即使子载波的发射功率相对较低也不会对于中心用户的数据传输造成明显影响,所以可以将频率分区0、频率分区2和频率分区3分配给中心用户使用。

图3所示为在802.16m标准中定义的一种终端主导的下行FFR算法。基站为每个频率分区设定资源度量值,并通过广播信道将这些值发送给终端;终端按照式(1)计算各个频率分区的等效频谱效率(SE),确定需



▲ 图3 终端主导的FFR算法流程图

要反馈SE最大的频率分区对应的信道质量信息(CQI);基站再根据CQI反馈情况进一步调整各个频率分区的资源度量值。简单准则就是某一个频率分区上反馈的CQI数目越多,该频率分区对应的资源度量值就会越大。

$$Normalized_SE = \frac{Data_Rate \times (1 - PER)}{BW \times Resource_Metric} \quad (1)$$

802.16m 标准中定义了这两种下行 FFR 算法所需终端和基站之间交互的必要信令及操作流程,具体算法各家公司可以灵活实现。

(2) LTE、UMB 标准方案

LTE、UMB 仅定义了一种基站主导的 FFR 算法,为各家公司实现留下接口,没有定义具体的实现方法。

2.2 多基站 MIMO

多基站 MIMO 技术是单用户 MIMO (SU-MIMO) 和多用户 MIMO (MU-MIMO) 的辅助和补充。它主要利用的是多个基站联合协作与一个或多个终端进行通信,通过基站之间信号的协调来改善覆盖、增加系统流

量并抑制小区间干扰强度。

2.2.1 总体策略

如图 4 所示,当不使用多基站 MIMO 时,位于 Cell A 边缘用户 MS_{edge} 的服务基站是 BS₁,MS_{edge} 同时受到 Cell B 和 Cell C 的同频干扰,严重影响 MS_{edge} 的通信质量,如图 4(a) 所示;当使用多基站 MIMO 时,BS₁、BS₂ 和 BS₃ 通过骨干网进行数据交互,并且使用相同的资源为 MS_{edge} 发送数据,Cell B 和 Cell C 不再对 MS_{edge} 造成同频干扰,而是发送有用的数据,大大降低了 MS_{edge} 受到的同频干扰强度,提升通信质量,如图 4(b) 中所示。

多基站 MIMO 是 802.16m 和 LTE-A 的一项干扰抑制和增强覆盖的技术,对增强用户的体验有重要的作用。

2.2.2 标准化方案

(1) 802.16m 标准方案

802.16m 中的多基站 MIMO^[3-4] 可以分为 4 类:单基站发送数据、多基站发送数据、单基站接收数据、多基站接收数据。

• 单基站发送数据

同一时刻只有一个基站为终端提供服务,这种情况主要采用预编码矩阵索引(PMI)协调算法^[5],它有两种实现方式。

(a) PMI 限制

在终端进行信道测量的过程中,

终端可以找出目标时频资源中对相邻小区干扰最大的 PMI,并将其发送给服务基站。应避免该终端使用这些 PMI。

(b) PMI 推荐

在终端进行信道测量的过程中,终端可以找出目标时频资源中对相邻小区干扰最小的 PMI,并将其发送给服务基站。建议为该终端分配这些 PMI。

PMI 协调算法原理如图 5 所示,MS_{edge} 是位于 cell A 边缘的用户,它同时受到相邻基站 cell B 和 cell C 的影响。MS_{edge} 根据信道测量的结果,按照 PMI 协调算法得到 PMI 限制集合或 PMI 推荐集合,并将其反馈给自己的服务基站 BS₁,服务基站 BS₁ 将收到的反馈信息(PMI 限制集合或 PMI 推荐集合,同时时频资源索引(Band_Idx))通过骨干网传输给干扰基站 BS₂ 和 BS₃,BS₂ 和 BS₃ 在接收到 BS₁ 发送的信息后,结合本小区用户的反馈信息,最终确定本小区可以使用的 PMI 集合。

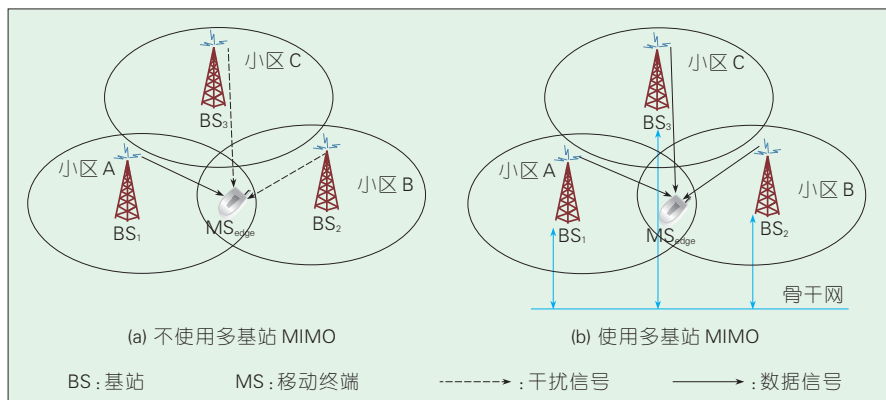
• 多基站发送数据

终端所有反馈均是只发送给服务基站,多基站发送数据分两种^[6]。

(a) 闭环宏分集(CL-MD)

若干协同的基站为单一用户发送数据,即多基站下的 SU-MIMO,其中每个基站都对终端采用单用户自适应预编码,并且多个基站发送相同的信息给终端,如图 6 所示。

(b) 协作 MIMO (Co-MIMO)



▲ 图4 多基站 MIMO 的干扰协调技术

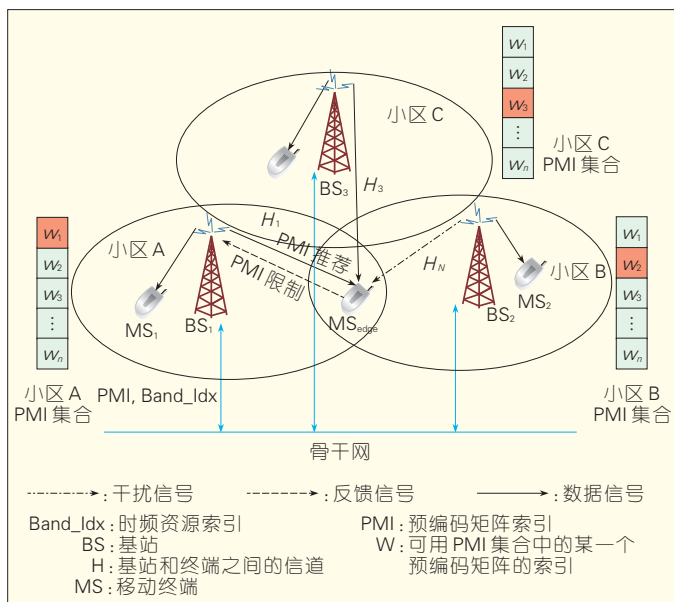


图5
PMI协调技术原理示意图

若干协同的基站为多个用户在同一资源发送数据,即多基站下的MU-MIMO,每个终端的流数为1,如图7所示。在Co-MIMO的模式下,MU-MIMO的预编码可以基于探测参考信号(SRS)或码本获得。基于SRS的预编码适用于时分双工(TDD)系统,多个基站通过SRS信号来估计它们到多个终端的信道状态信息和预编码矩阵。基于码本的预编码可以用于TDD或频分双工(FDD)系统,终端选择了每个基站的预编码后,将其报告给服务基站,然后服务基站通过网络接口通知各个相关的基站。

• 单基站接收数据

如果服务基站和邻近基站均使用闭环MIMO,某基站下的用户可以通过对两个PMI采用PMI合并的方式发送数据,以减低扇区间的干扰(ICI)。其中一个PMI用于最大化到服务基站的发送功率,另一个PMI用于抑制邻近扇区产生的干扰。

PMI合并的过程如下:

(a) 基站通过回程发送PMI_{min}给邻近基站;

(b) 服务基站通过接收邻近基站发送的PMI_{min}信息,并且根据本基站通过计算得到的PMI、PCR(PMI合并的比例系数)信息,按照式(2)计算终

端可用的预编码矩阵W。

$$W = \frac{PCR \times W_{PMI} + (1-PCR)W_{PMI_{min}}}{\|PCR \times W_{PMI} + (1-PCR)W_{PMI_{min}}\|}, \quad 0 \leq PCR \leq 1 \quad (2)$$

• 多基站接收数据

由于缺少类似LTE/LTE-A中的X2接口,多基站接收时的数据交换仍然存在问题,尚未标准化。

(2) LTE、UMB标准方案

LTE中对多基站MIMO部分具体实现细节尚未标准化;UMB标准中并不支持多基站MIMO。

2.3 功率控制

当邻区受到干扰时,功率控制技术也可以看作是一种干扰协调方案。它需要从全网的角度考虑功率

控制的最优化方案,既要关注本小区内负载的变化,又要尽量降低对于相邻小区的干扰强度。

2.3.1 802.16m标准方案

802.16m标准的功率控制方案^[3]是建立在维持整网SE最优的前提下,既要考虑到发射功率的提升对自身带来的增益又要考虑对其他用户干扰强度的增加。综合两方面,得到式(3):

$$P(\text{dBm}) = L + SINR_{\text{Target}} + NI + Offset \quad (3)$$

其中,L为路径损耗值,包括终端的发射天线增益;NI为上行平均干扰和噪声值,由基站广播;Offset为基站发送的终端发射功率调整参考值;SINR_{Target}按照式(4)确定,为基站接收的目标信噪比。

$$SINR_{\text{Target}} = 10 \log_{10} \left\{ \max \left[10 \left(\frac{SINR_{\text{min}}(\text{dB})}{10} \right), \gamma_{IoT} \times SIR_{DL} - \alpha \right] \right\} - \beta \times 10 \log_{10} TNS \quad (4)$$

其中SINR_{min}(dB)为上行接收允许的最小信噪比阈值; γ_{IoT} 为一个干扰相对噪声比(IOT)控制因子,标准中给出的取值范围(0~1.5),力度为0.1,每一个 γ_{IoT} 对应一个IOT等级,但是无法事先知道 γ_{IoT} 与IOT的对应关系,只能通过仿真或后续调整 γ_{IoT} 来获得一个期望的IOT等级; α 为基站侧接收天线数的修正因子,可以取值为(1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 0),取值为“0”代表不考虑接收天线数量对于终端发射功率的影响; SIR_{DL} 为终端的下

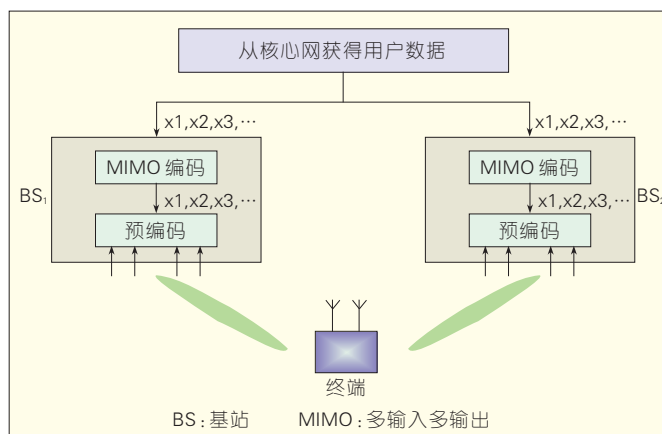
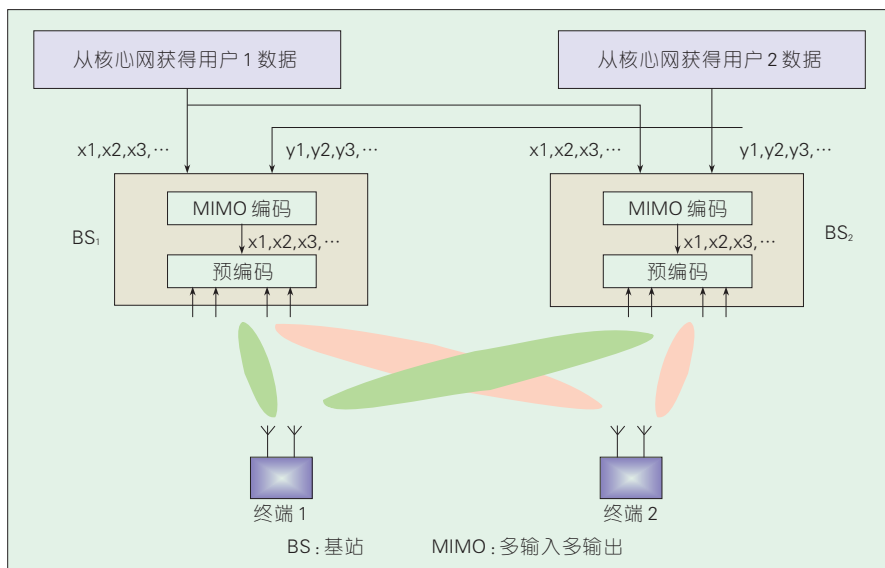
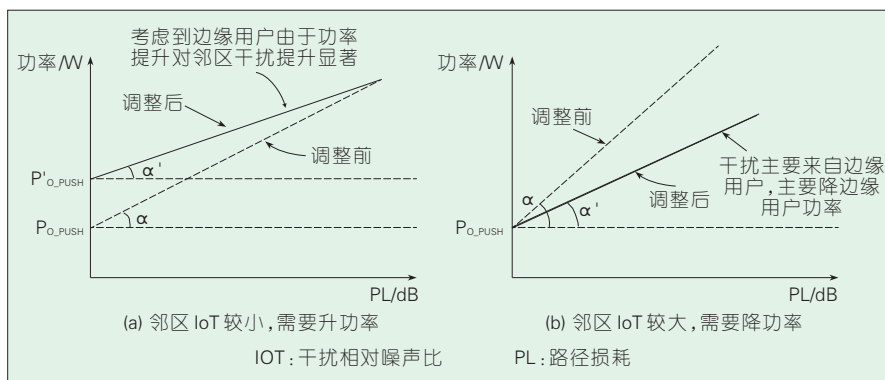


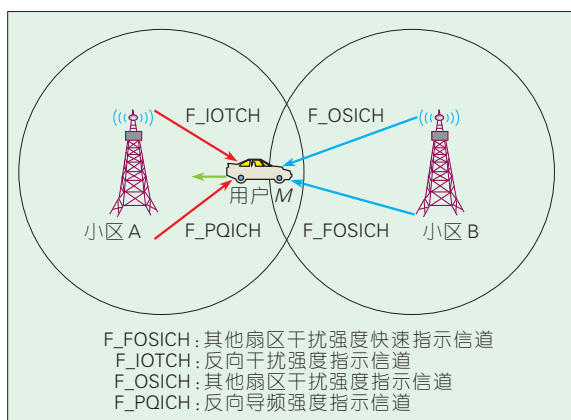
图6
CL-MD的示意图



▲ 图7 Co-MIMO的示意图



▲ 图8 LTE开环功率控制原理



▲ 图9 UMB功率控制示意图

行信号与干扰强度比； TNS 为当前传输所支持的流的数量； β 为 TNS 使能的开关，当 $\beta=1$ 时，表示考虑流数对于 $SINR_{Target}$ 的影响；当 $\beta=0$ 时，表示不

考虑流数对于 $SINR_{Target}$ 的影响。

当闭环功控（CLPC）调整周期不断扩大时，终端的发射功率抖动非常大，在高速信道环境下，CLPC的性能还不如开环功控（OLPC）。考虑到CLPC的周期一般会比较长，所以在TDD系统中没有实现CLPC，并且在FDD的系统中也没有它的相关标准^[7]。

2.3.2 LTE标准方案

LTE功率控制方案主要采用部分路损补偿的方法抑制小区间干扰，上行数据信道（PUSCH）的功率控制包括

开环和闭环两部分，如式(5)所示：

$$P_{PUSCH} = \min\{P_{CMAX}, 10\log_{10}(M_{PUSCH}) + P_{O_{PUSCH}} + \alpha \times PL + \Delta_{TF} + f\} \quad (5)$$

(1) 开环功率控制

基站根据邻区的IoT变化情况改变目标接收功率值 $P_{O_{PUSCH}}$ 及路损补偿因子 α （当 $0 < \alpha < 1$ 时，表示部分路损补偿），终端通过计算 $P_{O_{PUSCH}} + \alpha \times PL$ 确定适合的上行发射功率，具体实现方法如图8所示。

(2) 闭环功率控制：

$f(i)$ 是小区内闭环功控和小区内功控的综合结果，基站根据收到的PUSCH的 $SINR$ 和期望的目标 $SINR$ 比较，决定使用闭环功率控，并且根据小区间干扰强度指示，得到一个综合的信息来调整 $f(i)$ ，并结合开环功率控制按式(5)调整终端发射功率。

2.3.3 UMB标准方案

UMB标准中的上行功率控制方案同样考虑了小区间干扰的问题，如图9所示，具体实现步骤如下。

(1) 小区A发送功率控制的相关信息给用户M；

(2) 小区B测量自己目前受到的整个带宽上的反向干扰情况，通过3种级别表示自己目前受到反向干扰的程度，分别为0, 1, 2。其中0表示小区B目前受到的反向干扰很弱，1表示小区B受到了中等程度的反向干扰，2表示小区B受到了较严重的反向干扰；

(3) 小区B通过其他扇区干扰强度指示信道（F-OSICH）将干扰级别指示信息广播发送给邻区A中的用户；

(4) 靠近小区A边缘的用户M（其服务小区为小区A）成功接收到小区B发送的F-OSICH信道的内容后，根据反向干扰指示级别按照计算得到 Δ_{slow} （可理解为用户M数据信道发射功率与其CDMA导频信道发射功率的差值）；

(5) 小区A则通过用户M上报的 Δ_{slow} 值来确定用户M的MCS、资源分

→下转第61页

光正交频分复用技术及其应用

3

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 期讲述基于光正交频分复用的高速光接入; 本期讲述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) 06-0056-06

7 基于 OFDM 的可变带宽光交换技术

近年来随着移动办公、三维视频、云计算、远程医疗等多种新型业务的发展, 其带宽需求也变得灵活多样, 迫切需要增强光网络的动态带宽管理功能。高速的 100 Gbit/s 端到端的信号传输要求网络能够提供更大的、非标准的带宽支持^[1]。

波长路由光网络基于波分复用(WDM)互联实现端到端的全光连接, 波长通道是信号传输与带宽调度的基本单位。这种波分复用网络在带宽分配与性能管理上采用“一刀切”的模式, 即通道间隔、信号速率与格式等参数都是固定不变的。这一模式导致网络灵活性不高、带宽浪费严重、功耗效率低下, 已不能适应未来大容量、高速率、可扩展的光层传送要求。具体表现如下。

(1) 建立波长通道时, 不能灵活地根据用户容量的实际要求分配可用带宽资源, 造成波长整体利用率下降。按照 WDM 标准只有位于规定栅格位置的波长可以分配给用户, 而均匀的波长间隔则直接决定了通道可

用带宽大小, 与用户容量和数据速率无关。

目前的波长路由全光网在建立波长通道时已分配了固定的光路带宽, 必然存在超量配置现象, 如果节点之间的流量低于波长可用容量将可能会导致带宽浪费。例如: 10 Gbit/s 和 40 Gbit/s 的不同数据速率同样采用 50 GHz 的标准通道间隔, 显然传输 10 Gbit/s 信号时通道的带宽没有得到充分利用。

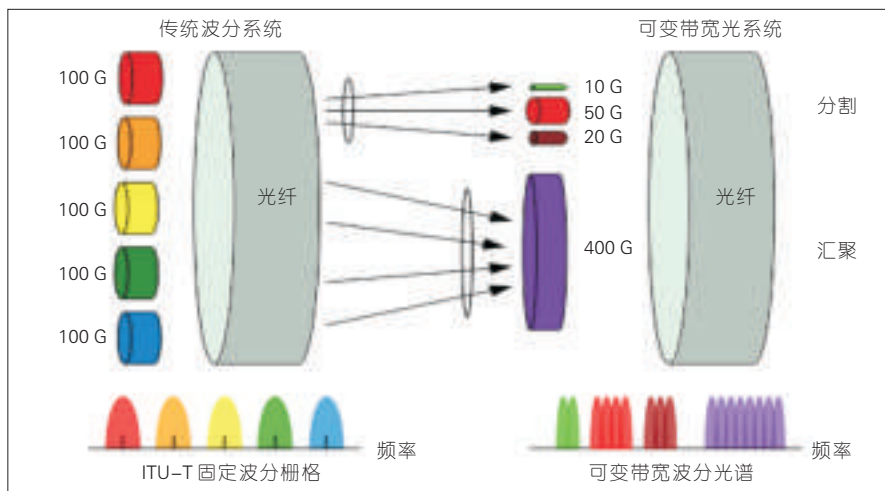
(2) 波长通道一旦建立, 其光层可用带宽是不能动态调整的, 因此难以适应业务和网络性能灵活变化的需要。由于当前波长通道光发射/接收机的工作速率以及中间转发节点的交叉带宽间隔都是固定的, 不能及时响应用户数量的变化, 按需增加或减少波长通道占据的带宽, 提高光纤利用率。

同时, 固定通道带宽限制对全光组网的生存性也会带来不利影响, 一条失效光路只有在迂回路由带宽相等或超出原始带宽的条件下才能得到恢复。

(3) 由于光纤损伤影响, 不同速率、格式的全光信号具有不同传输性

能, 物理属性固定配置的波长通道无法满足光路重构引起的传输质量动态可变要求。例如: 全光交换造成端到端波长通道的路径变化, 使得交换前后传输距离增加或缩短, 接收端的信号质量也会相应发生改变。传统的波长通道由于光层物理属性固定配置, 无法自动适应这一变化, 需要引入针对信号速率、格式等的动态调整能力, 以最大程度地匹配光路传输条件, 优化通道性能。

(4) 随着光传输技术和新型的光交换器件的发展, 基于正交频分复用(OFDM)的可变带宽光交换技术得到了越来越广泛的关注。与传统的采用固定栅格的、以波长为最小交换粒度的 WDM 系统相比, 可变带宽光交换技术中引入了子载波的概念, 实现了更小颗粒度的交换, 同时对于大数据容量的链路, 多个子波带能够通过汇聚的方式实现超级通道, 实现大容量高速数据的传输和交换。由于各个子载波的正交性, 相邻两个 OFDM 链路通道只需要很小的甚至不需要保护带宽就能够将两个链路通道分开进行相干解调, 因此基于 OFDM 的弹性光网络可以实现无栅格的、灵活



▲ 图1 频谱分配情况

的光谱分配。通过组网的方法,能够实现高效的频谱利用率、较为灵活的带宽分配机制,并且可以降低链路阻塞率。

7.1 交换基本原理

OFDM 可变带宽交换的基本原理是利用 OFDM 多载波传输技术和波长选择性开关(WSS)技术实现可变带宽交换^[2]。OFDM 是一种多载波数字调制技术,数据经编码后调制在很多正交的子载波上,正交子载波同时传送多路高速信号。如图1所示,传统的频分复用(FDM)理论上将通信带宽分成几个子信道,各个信道之间有很大的保护频以降低干扰;而 OFDM 则利用正交频带复用(OBM)机制,它的各个通道之间只需要很小甚至不需要保护间隔就能在接收端将各个通道分开,从而有效利用带宽,大大提高了频谱效率。另外,OFDM 技术可以通过改变调制格式和子载波,动态地分配在子信道上的数据,并可根据客户的需要来实现动态的带宽分配,从而实现最大的数据吞吐量。OFDM 可变带宽交换中应用的一个关键器件是 WSS。WSS 器件采用了硅基液晶(LCoS)技术^[3],可以对波长进行动态配置,对输入的宽带信号频谱进行任意切割,并分别送到各个不同的输出端口中。

利用 OFDM 和 WSS 技术,我们能够对高速数据进行带宽分割,分成多个低速数据通道;反过来,我们也可以将多个低速信号汇聚成高速的超级通道,以此可以实现大容量数据的传输。

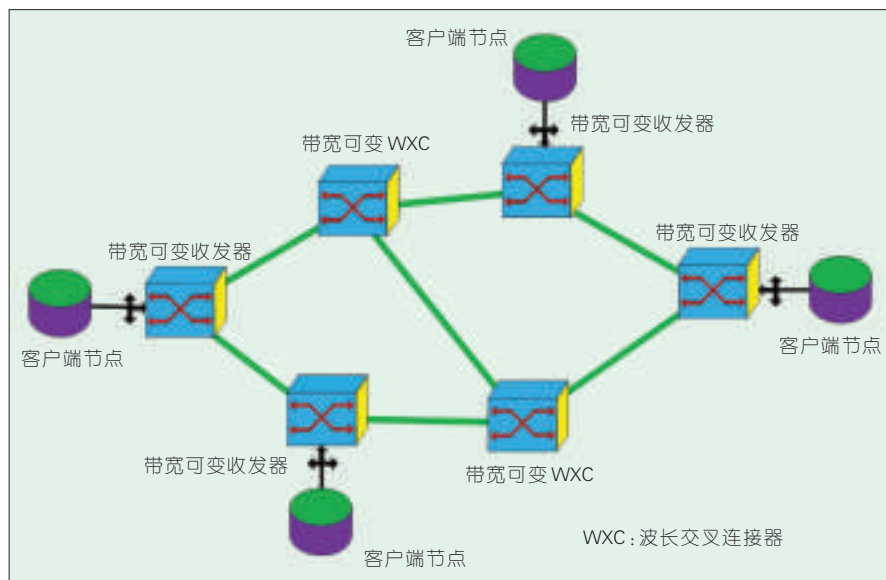
7.2 网络结构和节点模型

可变带宽光交换中网络结构如图2所示,边缘节点由带宽可变的收发器构成,中心节点是带宽可变的波长交叉连接器(WXC)。为了能够获得高的频谱效率,发射机根据客户要求产生合适大小的信号带宽,并最小

化相邻各个信道之间的保护间隔,同时网络中的每个 WXC 为各个光路提供合适带宽的端到端光路由,因此整个系统的频谱利用率很高。利用 OFDM 的高频谱效率特点和 WSS 器件的可编程调节带宽和中心波长的特点,相较于传统的固定带宽的 WDM 网络,基于 OFDM 的可变带宽网络的频谱效率更高。

在可变带宽交换中,节点完成将各个输入信号路由到各个指定输出端口的功能。可变带宽交换中网络节点模型如图3(a)所示,从各个方向来的、频谱连续的输入信号经过带宽可变的 WSS,然后 WSS 实现对连续频谱信号的任意切割;通过配置 WSS,各个输出端口输出不同频段的信号频谱;不同方向来的各个输出频谱通过耦合器合束,再发射出去,传输到下一个交换节点。

在节点结构中,本地的客户端信号通过本地的带宽可变收发器生成,经过带宽可变的 WSS 进行上路;同理,下路的信号也可以通过带宽可变的 WSS 进行下路,从而完成本地节点的上下路功能。与传统的固定栅格的 WDM 节点结构不一样,在可变带宽交换节点结构中,信号的频谱可以是连续的也可以是非连续的,在节点



▲ 图2 可变带宽光交换网络模型

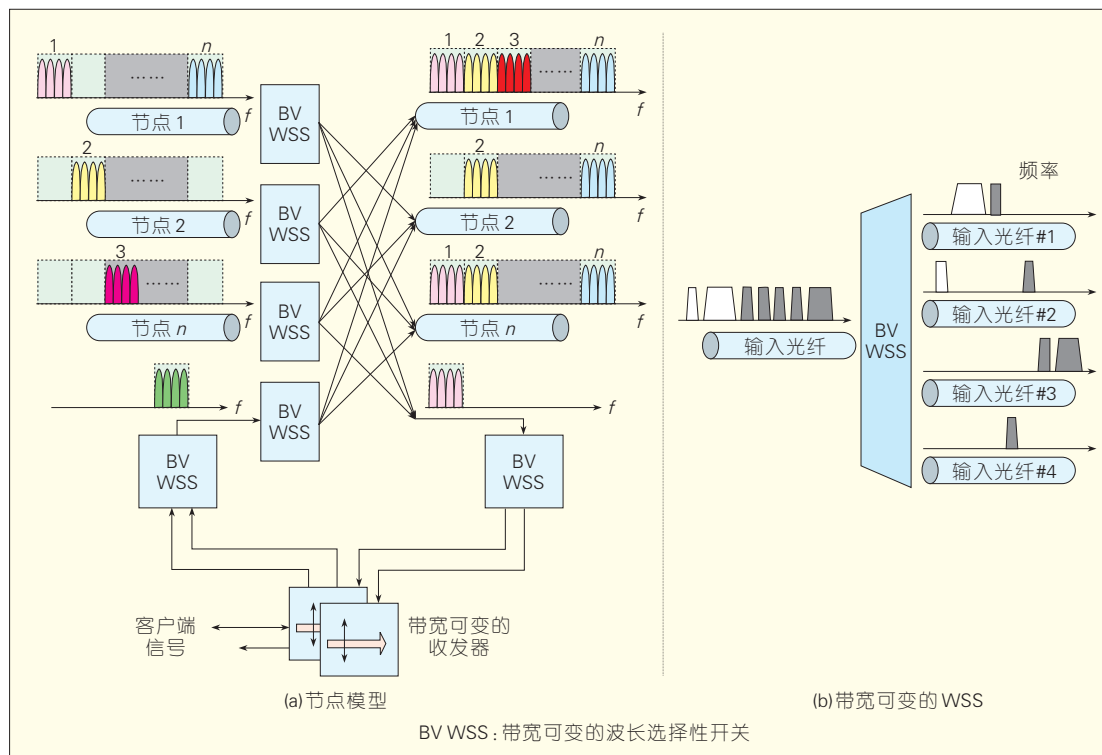


图3
可变带宽交换

中不需要将各个信号波长分开,再进行各个信号波长的合路,从而大大简化了节点结构。在这种节点结构中,WSS完成了信号的解复用功能,耦合器完成信号复用功能。节点结构中WSS实现的功能如图3(b)所示,输入连续或非连续谱的信号,通过配置WSS,可以将输入的信号进行任意的频谱裁剪,并路由到各个输出端口中,从而实现带宽可变的交换。

7.3 关键器件

WSS是可变带宽交换中应用的关键器件,现在主流的技术是微机电系统(MEMS)技术和LCoS技术。MEMS技术主要是通过将输入信号光谱进行空间分离,从而可以利用大规模的微镜片反射矩阵来实现光谱的交换功能。

LCoS技术主要是基于空间相位调制技术,通过调节各液晶像素的控制电压,实现对输入光谱的波前调节,从而控制液晶上各个像素点反射光的输出端口,实现带宽可变交换的功能。

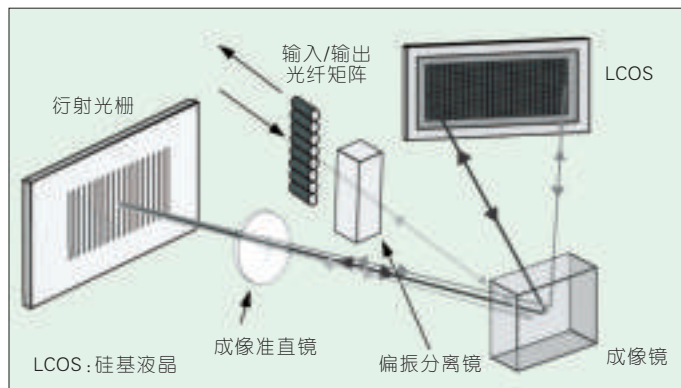
基于LCoS的WSS基本实现原理如图4所示。首先信号光从输入光纤端口输入,通过偏振分离镜,物理上将输入信号光调节成S偏振态以提高衍射效率;经过反射镜后,信号光输入到普通的衍射光栅中,衍射光栅将各个信号光谱分开;再通过成像准直镜,经过成像镜后到达硅基液晶,再经过衍射的光谱分散到各个液晶像素点上;然后通过调节每个像素点的电压,控制每个液晶点的波前,从而控制各个像素点反射光的输出端口。同时通过控制液晶的折射率,我们可以进行各个波长的反射率控制,从而能够实现对连续信号光谱的功率均衡。

制,从而能够实现对连续信号光谱的功率均衡。

7.4 研究现状

美国贝尔实验室尝试过在OFDM超级通道上实现的可重构光分插复用设备(ROADM)功能的实验^[4]。如图5所示,ROADM基本原理是通过带通和带阻子波带的形式在OFDM超级通道上对子波带进行上下路。连续的正交波带的OFDM超级通道上,子波带数为30,波带间距为7 GHz,并采用8 QAM调制格式。进行上路功能演示时,首先用一个35 GHz的带阻

图4
WSS技术基本原理



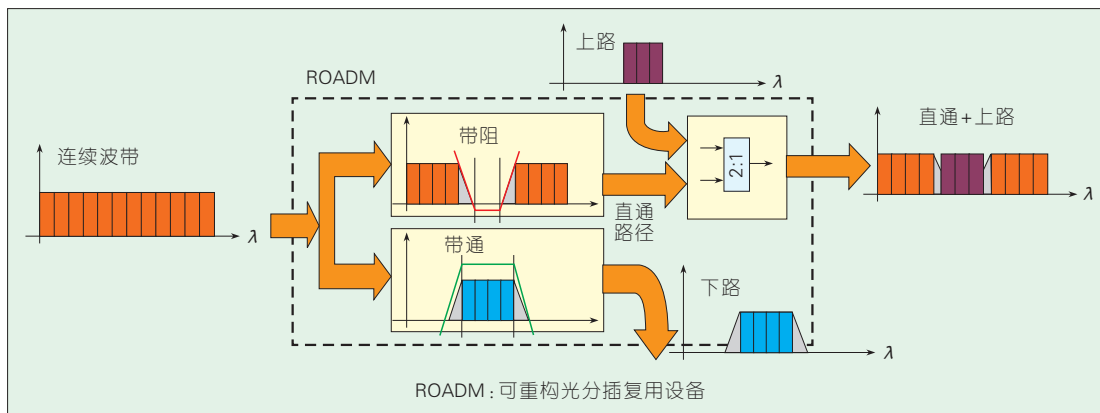


图5
可重构光分插复用设备
(ROADM) 功能验证

滤波器将直通信号进行带阻滤波,从而产生 21 GHz 的空隙带宽,然后通过耦合器,将需要上路的带宽为 21 GHz 的 3 个子波带 OFDM 信号耦合上路,实现上路功能;在进行下路的时候,只需要用一个带通滤波器将需要下路的波带带通滤波即可,从而实现下路操作。

日本 NTT 公司是可变带宽全光交换技术研究的代表性单位。NTT 曾提出验证一种高频谱效率的弹性光网络结构,其单通道速率可以从 40 Gbit/s 转变到 400 Gbit/s^[5]。图 6 是其实验方案,主要由带宽可变的收发器和带宽可变的 WXC 构成。首先是连续波带的 OFDM 信号产生:其中子波带数为 44,子波带间距为 10 GHz,采用差分相移键控(DPSK)调制;每个子波带速率为 10 Gbit/s,并通过 WSS 将信号分配到 WXC 各个输入端口,模拟从不同方向来的信号;WXC 主要由分束器和 WSS 构成,信号通过 WXC 交换后进行 50 km 传输到达下一个 WXC,进行数据交换后,再进行接收。通过配置 WXC 的相关交换节点,实验验证了链路 d 中单通道速率从 40 Gbit/s 达到 400 Gbit/s 的一系列变化。

NTT 还曾通过实验验证了在可变带宽交换网络中的光路汇聚功能,通过光路汇聚,多个低速率的 OFDM 光路汇聚成频谱连续的 1 Tbit/s 超级波长通道^[6];2009 年,NTT 验证了一种带宽可变的全光的 OFDM 收发器结构,

如图 7 所示^[7]。

在该实验中,我们可以通过调节 10 GHz 和 5 GHz 两个射频信号源的幅度并调节马赫-曾德尔调制器(MZM)的偏置电压控制多载波信号的产生;通过调节偏置电压和射频源幅度分别产生 1 个,2 个,3 个和 5 个光载波;并通过控制四相相对相移键控(DQPSK)/DPSK 发射机的输入信号端口实现 DQPSK/DPSK 信号的变化调制,实现带宽可变 OFDM 发射机。该发射机实现 107 Gbit/s (5×21.4 Gbit/s DQPSK)、42.8 Gbit/s (2×21.4 Gbit/s DQPSK)、32.1 Gbit/s (21.4 Gbit/s DQPSK

和 10.7 Gbit/s DPSK) 和 10.7 Gbit/s 的可变速率发送。

7.5 挑战和展望

可变带宽交换有很多的优点,主要体现在其可扩展性和可压缩性上。它能够提供更短、超级波长和复合速率数据传输,通过时间上动态的带宽分配、高效节能的网络操作以及高生存性的恢复机制,为客户提供高效的服务。

时间上的动态带宽分配主要体现在:在网络中可以根据不同时间段及不同链路的带宽需求实现动态带

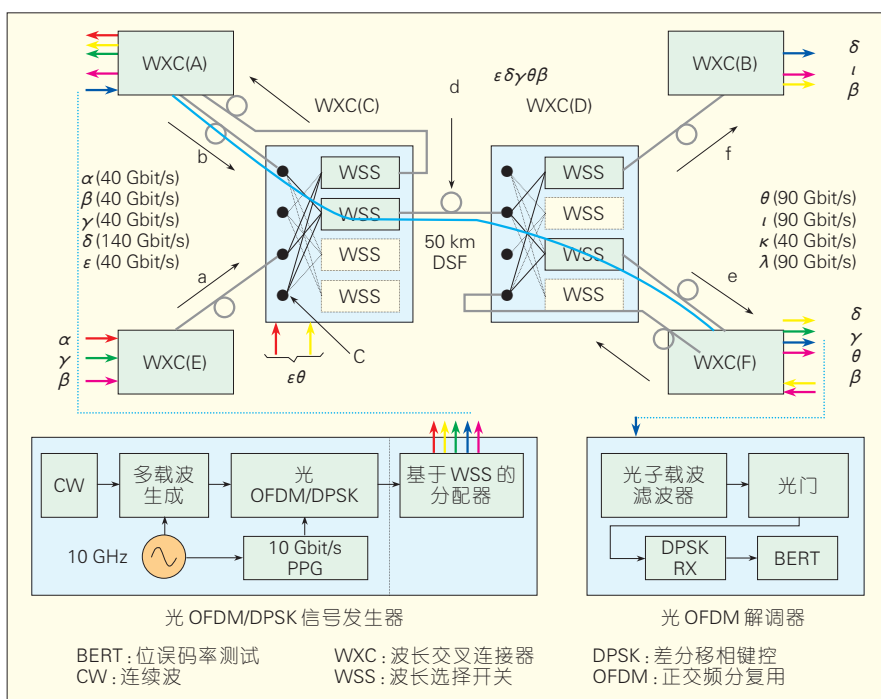
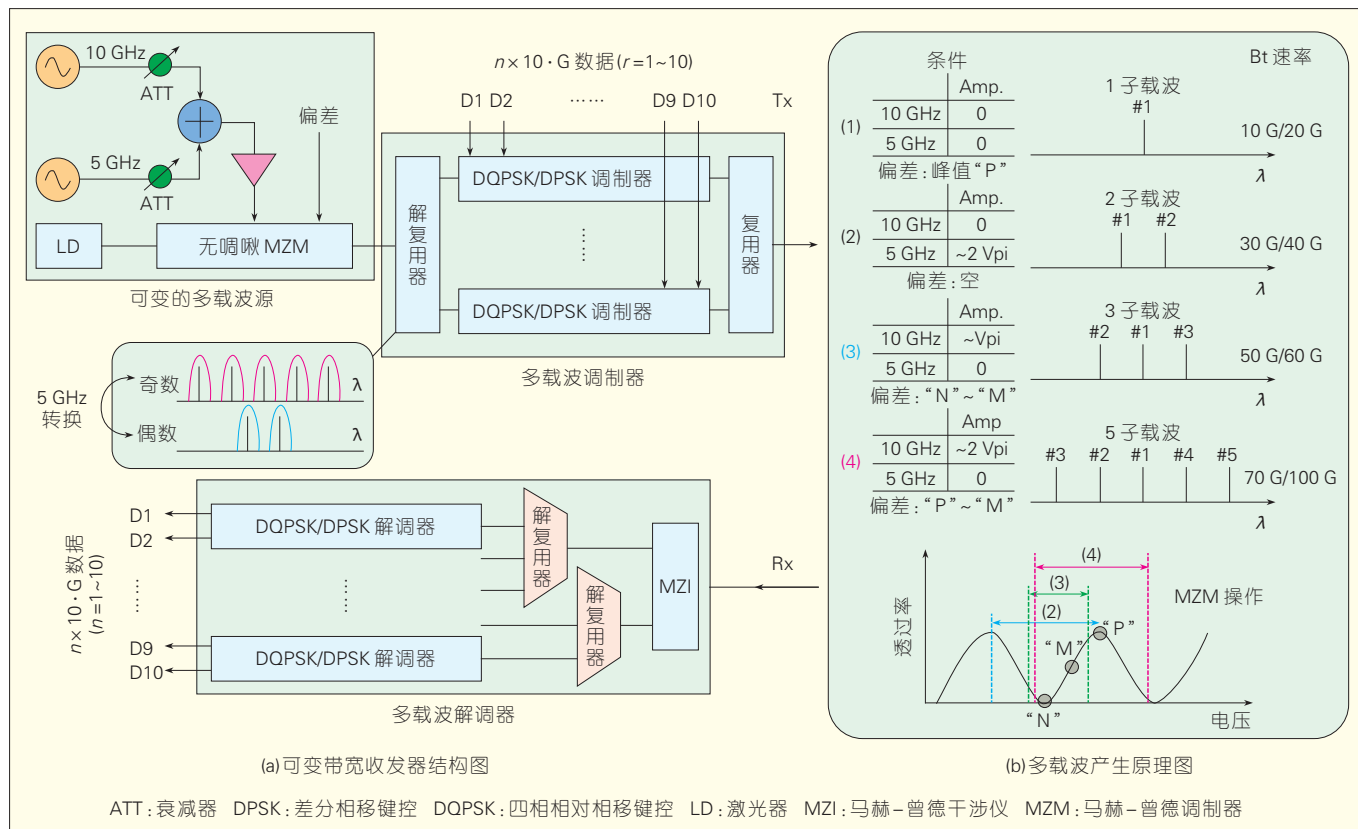


图6 弹性光网络结构实验框图



▲ 图7 可变速率发射机原理验证

宽分配;高效节能的网络操作体现在:可以根据业务数据流量关闭某些数据通道,降低发射机带宽,与此同时放大器的消耗功率也会下降;高生存性的恢复机制体现在:在链路中可以采用带宽压缩的机制进行网络保护功能,比如当某些光纤链路失效时,可以采用高阶调制格式进行带宽压缩,“挤出”空闲频段对光路进行重路由,利用这种方法来恢复已经失效的链路。

在可变带宽交换中,为了实现灵活的无栅格带宽分配,弹性光网络的实现需要一些关键的光器件,其中包括精确可调的激光器以及中心波长和带宽都可调的波长选择开关。但是在实际系统中,波长选择开关有固定的最小带宽和步进中心波长,不能完全做到无栅格,同时精确快速可调谐的窄线宽激光器价格昂贵,大大增加了网络成本。

相较于传统的 WDM 网络,基于

子载波的弹性光网络的频谱分配和路由算法难度大大增加,增加了网络控管复杂度。同时基于子载波的 OFDM 系统不易与现有的系统兼容,很难做到平滑升级。

目前,弹性光网络与全光交换在拥有很多优势的同时也面临着诸多技术挑战,例如:

(1)网络级:需要发展灵活的频谱分配算法与网络控制和管理机制。弹性光网络中带宽需要以频隙为单位进行分配,另外路由与波长分配(RWA)问题也增加了频谱的连续性限制。

(2)节点级:新型的光交换和滤波器件,适用于带宽可变的、具有较高光纤非线性容忍度的调制格式,以及频率间隔和梳齿数量均可调的光梳产生技术。

8 结束语

光正交频分复用在大容量光纤

传输、高速接入和可变带宽交换等方面都已表现出很好的潜力。OFDM 的基本原理虽然在几十年前就已创立,但在近十几年才得以应用到光纤通信中。

OFDM 在光纤传输方面的价值主要体现在其良好的抗色散和偏振模色散能力以及高谱效率。OFDM 结合相干光检测和先进多进制调制等技术,可以实现超大容量长距离光纤传输。在光纤接入方面,OFDM 与 PON 技术结合,较易实现 40 Gbit/s 及其以上的接入带宽;OFDM 多子载波调制的特点可实现正交频分多址接入,还可以对系统带宽进行动态分配;利用循环前缀技术,OFDM-PON 能够很好地抵抗光纤色散、偏振模色散、符号间串扰,同时也可以降低系统对包延迟的敏感性;更为重要的是,OFDM 信号的产生与解调可由强大的数字信号处理(DSP)技术来实现,有望极大地降低接入成本。在光网络方面,

基于 OFDM 技术,可以实现带宽可变(从亚波长到超级波长)的弹性光网络,更加灵活地适应不同业务的需求。当然,光 OFDM 的未来应用有赖于高速 DSP 芯片技术的日趋完善和成熟。(续完)

9 参考文献

- [1] Cisco visual networking index forecast and methodology[R]. Cisco, 2007.
- [2] BAXTER G, FRISKEN S, ABAKOUMOV D, et al. Highly Programmable Wavelength Selective Switch Based on Liquid Crystal on Silicon Switching Elements[C]//Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'06), Mar 5-10, 2006, Anaheim, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006: OTuF2.
- [3] DISCHLER R, BUCHALI F, KLEKAMP A. Demonstration of Bit Rate Variable ROADM Functionality on an Optical OFDM Superchannel[C]//Proceedings of the Optical Fiber Communication/ National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'10), Mar 21-25, 2010, San Diego, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: OTuM7.
- [4] JINNO M, TAKARA H, KOZICKI B, et al. Demonstration of Novel Spectrum-Efficient

- Elastic Optical Path Network with Per-Channel Variable Capacity of 40 Gb/s to over 400 Gb/s[C]// Proceedings of the 34th European Conference on Optical Communication(ECOC'08), Sep 21-25, 2008, Brussels, Belgium. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: Th.3.F.6.
- [5] KOZICKI B, TAKARA H, TSUKISHIMA Y, et al., Optical Path Aggregation for 1 Tb/s Transmission in Spectrum-Sliced Elastic Optical Path Network[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2010, 22(17): 1315-1317.
- [6] YONENAGA K, INUZUKA F, YAMAMOTO S, et al. Bit-Rate-Flexible All-Optical OFDM Transceiver Using Variable Multi-Carrier Source and DQPSK/DPSK Mixed Multiplexing [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: OWM1.
- [7] Yonenaga k, Inuzuka F, Yamamoto S, et al, Bit-Rate-Flexible All-Optical OFDM Transceiver Using Variable Multi-Carrier Source and DQPSK/ DPSK Mixed Multiplexing[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: OWM1.

收稿日期: 2011-10-15

←上接第 55 页

配的情况;

(6) 用户 M 根据接收到小区 B 发送的其他扇区干扰强度快速指示信道(F-FOSICH)中各子带上的干扰强度指示 OSI 值的情况,调整 Δ_{is} ;

(7) 用户 M 按照式(6)设定上行数据信道的发射功率;

$$P = P_{PICH} + \Delta_{is} + AttemptBoost \quad (6)$$

其中, P_{PICH} 为终端 CDMA 导频信道上的发射功率, $AttemptBoost$ 取值依赖于重传次数,一般情况下,数据包重传次数越多, $AttemptBoost$ 取值越大,以此提高该数据包的成功接收概率。

3 结束语

对 OFDM 技术的无线通信系统来说,干扰随机化技术、干扰抵消技术以及干扰协调技术都可以单独使用,从而实现小区间的干扰控制。这 3 种技术之间是一个相互补充及协作的关系,为了进一步提升小区间干扰控制的效果,需要根据实际组网环

境,采用适合的方案将 3 种技术融合在一起,以统一协调各种干扰控制技术的使用,极大改善无线通信系统的性能。

4 参考文献

- [1] Ericsson. Inter-Cell Interference Handling for E-UTRA[C]// 3GPP TSG RAN WG1 #42 Meeting, Aug 29-Sep 2, 2005, London, UK. 2005: R1-050764.
- [2] Huawei. Further Analysis of Soft Frequency Reuse Scheme[C]// 3GPP TSG RAN WG1 #42 Meeting, Aug 29-Sep 2, 2005, London, UK. 2005: R1-050841.
- [3] IEEE P802.16m/D5. Draft Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Network: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems [S]. 2010.
- [4] CHEN H S C. Adaptive Frequency Reuse in IEEE 802.16m[R]. IEEE C802.16m-08/702. 2008.
- [5] XU Jian, LEE Wookbong, LIM Dongguk, et al. IEEE 802.16m Amendment Text Proposal for Interference Mitigation Using Advanced Antenna Technologies[R]. IEEE C802.16m-09/0939.2009.
- [6] WU Keying, LI Dong, YANG Hongwei, et al. Downlink Multi-BS MIMO PHY Amendments -Closed-Loop Macro Diversity and Collaborative Precoding[R]. IEEE C802.16m-09/1101.2009.
- [7] YANG Rongzhen. Uplink Open Loop Power Control Recommendations for IEEE 802.16m Amendment[R].

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。

IEEE C802.16m-09/0703. 2009.

收稿日期: 2010-07-18

作者简介



刘锐, 吉林大学硕士毕业; 中兴通讯股份有限公司高级工程师; 从事 LTE/WiMAX 产品预研工作, 主要负责小区间干扰控制技术; 已申请国家发明专利 17 项。



鲁照华, 天津大学博士毕业; 中兴通讯股份有限公司三级主任工程师; 从事 LTE/WiMAX 产品预研工作, 主要负责干扰控制、帧结构、资源分配、femto 基站等技术研究; 向 3GPP LTE、IEEE 802.16m 等标准组织提交提案三十多篇, 申请发明专利一百多项, 在国内外期刊上发表论文十余篇。



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

2012年第4—6期专题征文

第4期

数据中心网络关键技术

专题策划人

西安电子科技大学 杜军朝 副教授
国防科技大学 郭得科 副教授

日益增长的大规模在线应用和企业级基础服务的需求促使了十万级甚至百万级服务器数据中心的产生,如何高效地联结百万台服务器是一个极为重要的问题。现有的数据中心多采用树型结构互联,但是这种结构越来越难满足数据中心所追求的渐进可扩展、容错性好、高聚集带宽的要求。同时,大规模数据中心网络在高效路由、资源管理、容错机制、低能耗等领域也遇到了很多理论和技术难题。本专题拟就数据中心网络的最新研究成果和发展趋势,为业界人士提供交流与探讨的园地。

专题征文范围包括:

- 数据中心网络的新型体系架构
- 数据中心网络路由协议
- 数据中心网络流量控制和优化方法
- 数据中心网络容错技术
- 数据中心网络与虚拟化技术

第5期

光与无线融合接入技术

专题策划人

上海交通大学 陈建平 教授

光纤可以为用户带来较大的带宽,而无线通信则可以让用户随时随地接入。将两者有机融合形成的带宽、灵活、环保的接入方案,在近几年倍受业界的广泛关注。为了推动这一技术走向应用,在光与无线融合接入网架构和协议、技术规范 and 标准、提高性能和实用性、降低成本等方面,还

有许多课题需要研究。本专题的目的是对光与无线融合接入技术进行深入探讨,欢迎专家学者们踊跃参与。

专题征文范围包括:

- 光与无线融合接入的网络架构与优化设计
- 光与无线融合接入的媒体接入控制(MAC)协议及其实现
- 光与无线融合接入的路由与组播技术
- 光与无线融合接入的统一认证、统一资源管理、无缝接入等
- 光与无线融合接入的公平性、安全性和生存性问题
- 光与无线融合接入支撑技术(RoF信号产生、调制、处理与传输,低成本光电混合集成器件等)

第6期

云存储与云灾备

专题策划人

北京邮电大学 杨义先 教授

云计算概念自提出后,因其有效而清晰的商业模式受到业界的广泛关注,并逐步得到工业界和学术界的认可,成为近几年来最受关注的IT技术之一。云计算是一种IT资源的交付和使用模式,可以将各种互联的计算能力、存储、数据、应用等资源进行有效整合,根据需要,以可扩展的方式向用户提供所需的硬件、平台、软件服务等资源。本专题将探讨这一热点话题,重点围绕云存储、云灾备与云安全,欢迎技术专家们踊跃参与。

专题征文范围包括:

- 云计算虚拟化技术
- 云计算存储技术研究
- 云计算数据中心建设
- 云计算体系结构
- 云计算理论研究
- 云计算应用

2012年第1—6期专题计划

期次	专题名称	专题策划人
1	智能管道及其运营	工业和信息化部电信研究院通信标准所 续合元 总工
2	物联网与行业信息化	中国联通国家工程实验室 唐雄燕 副总工
3	智能终端技术与应用	南京邮电大学 糜正琨 教授
4	数据中心网络关键技术	西安电子科技大学 杜军朝 副教授 国防科技大学 郭得科 副教授
5	光与无线融合接入技术	上海交通大学 陈建平 教授
6	云存储与云灾备	北京邮电大学 杨义先 教授

《中兴通讯技术》第17卷总目次

卷·期·页

卷·期·页

一、卷首特稿

中国三网融合的特点与挑战 邬贺铨 17-1-01

二、专题

专题:物联网技术及其应用

从云计算到海计算,论物联网的
体系结构……………孙利民,沈杰,朱红松 17-1-03
物联网技术架构……………沈苏彬 17-1-08
IoT/CPS的安全体系结构
及关键技术……………丁超,杨立君,吴蒙 17-1-11
基于物联网的网络信息
安全体系……………刘宴兵,胡文平,杜江 17-1-17
移动网络安全防护技术……………胡爱群,李涛,薛明富 17-1-21
物联网技术及其标准……………诸瑾文 17-1-27
车载物联网技术探讨……………俞波,须成忠,过敏意 17-1-32
IoT的数据管理与智能处理……………李玲娟 17-1-38

专题:未来网络

一体化标识网络体系及关键技术…苏伟,刘琪,张宏科 17-2-01
内容定位分组技术……………李幼平 17-2-05
内容感知网络架构……………林涛,唐晖,侯自强 17-2-07
下一代互联网体系结构研究现状
和发展趋势……………吴建平,李星,刘莹 17-2-10
未来网络虚拟化关键技术研究…韩言妮,覃毅芳,慈松 17-2-15
支持未来网络创新的可编程虚拟化
路由器技术……………贺鹏,关洪涛,谢高岗 17-2-20
一种基于位置和标识分离的
移动性管理解决方案……………李玉宏,侯云静,程时端 17-2-25
下一代互联网的网络安全……………张智江,张尼 17-2-30

专题:车辆自组织网络

车辆无线通信网络及其应用……………罗涛,王昊 17-3-01
车载自组织网络的体系结构
和通信协议研究……………杨琼,沈连丰 17-3-08
一个基于IEEE802.11p标准的
WAVE模型样机……………向卫东 17-3-12
车联网网络架构与媒质接入
机制研究……………须超,王新红,刘富强 17-3-16
车载自组网中的网络与信息安全……………高永康,郝建军 17-3-21
车载自组织网络中基于贪婪算法的
地理位置路由……………胡淼,李剑峰 17-3-24
基于车载自组网的动态交通信息的挖掘
和利用……………向勇 17-3-29
基于车载自组织网络的智能交通管理及应用……………魏星 17-3-35
基于车载自组织网络的消息发送

时机研究……………王琳,徐俊,江昊 17-3-40

专题:三网融合演进技术

三网融合的发展历程与目标……………邬江兴 17-4-01
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 17-4-04
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 17-4-07
面向三网融合的光传送网
技术进展……………张海懿,金耀辉,张杰 17-4-10
下一代广播电视网无线系统……………封松林,解伟 17-4-14
三网融合下的集成播控平台
与技术……………张世乐,陆伟,卢宝丰 17-4-19
面向三网融合的统一安全
管控技术……………李玉峰,兰巨龙,薛向阳 17-4-23
三网融合与基于协作的无线技术……………许玲,方惠英 17-4-29

专题:新一代宽带移动通信创新技术

IMT-Advanced系统中的
自组织网络技术……………张军,张平,田辉 17-5-01
IMT-Advanced协作多点传输技术
——信道互异性校准……………顾浙骥,张忠培 17-5-05
IMT-Advanced协作中继的
网络编码技术……………李颖,孙岳,白宝明 17-5-11
LTE-Advanced系统中继技术进展……………曾媛,徐景,杨馨 17-5-15
IMT-Advanced跨层优化技术……………王德胜,朱光喜 17-5-20
IMT-Advanced增强多媒体
多播技术……………关娜,周一青,石晶林 17-5-24
LTE-Advanced中的载波聚合
技术研究……………夏树强,戴博,梁春丽 17-5-29
LTE多媒体广播多播业务
关键技术研究……………马子江,许辉,王斌 17-5-34
分布式多天线技术研究……………李子荣,朱登魁,鲁照华 17-5-39

专题:P比特级光交换网络

P比特光交换节点
研究……………陈远祥,何永琪,李巨浩,陈章渊,徐安士 17-6-01
大容量光网络异构互联及控管研究……………华楠,郑小平 17-6-05
支持灵活谱利用的超大容量全光网
体系结构研究……………张杰 17-6-10
可变带宽光网络路由
与资源分配研究……………罗莹,强思维,金耀辉 17-6-14
大容量光电交换技术研究……………张海懿,赵文玉,汤瑞 17-6-20
T比特频分复用相干光传输技术……………张帆,陈章渊 17-6-24
P比特光网络多故障定位的
NP-complete问题研究……………李新,顾婉仪 17-6-28
超高速全光信息处理……………闫连山,陈智宇,姜恒云 17-6-32

三、研究论文

- 基于业务感知的认知网络 QoS
自适应控制技术 顾成杰, 张顺颐, 孙雁飞 17-1-49
云计算的开放架构设计 钱煜明, 陆平, 赵培 17-2-43
移动 Widget 主流标准和平台的
差异性研究 贾霞, 王蔚, 易宁 17-2-49
TD-LTE 系统切换技术的研究 陈俊, 彭木根, 王文博 17-3-54
LTE-Advanced 中的 QoS 参数映射
的研究 孔祥祎, 赵季红 17-4-43
基于奇异值分解的 TD-HSPA+ 系统
赋形算法研究 陈明佳, 张翔, 彭木根 17-5-51
空中圈存系统平台研究 王丽君 17-6-46

四、运营应用

- 分布式智能开放运营架构
及关键技术 童晓渝, 张云勇, 房秉毅 17-1-45
电信运营商宽带提速的部署策略分析 李家京 17-2-37
IP 网络承载物联网业务能力研究 何晓明, 刘志华 17-3-49
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 17-4-37
广西北部湾 CDMA 海面覆盖研究 谭钰山 17-5-46
分组网络中同步标准的
进展及分析 郑滢雷, 张林, 张贺 17-6-43

五、开发园地

- LTE 网络覆盖规划技术研究 顾军, 盛初 17-1-53
自适应多天线技术 肖华华, 朱登魁, 胡留军 17-2-52
PBB-TE 分段保护的关键技术 吴少勇, 魏月华, 邵宏 17-3-59

- 宽带无线网络的新选择——Wi-Fi 分流 魏元 17-4-48
1588v2 在电信网应用的
标准化进程 宿飞, 何力, 李争齐 17-4-52
具备云计算特性的业务交付平台
及其关键技术研究 杨勇, 董振江, 陆平 17-5-55
无线通信系统小区间
干扰控制技术 刘琨, 鲁照华, 胡留军 17-6-51

六、系列讲座

- 分组通信网的同步
与定时技术(1) 王文黧, 王斌, 糜正琨 17-1-57
分组通信网的同步
与定时技术(2) 王文黧, 王斌, 糜正琨 17-2-56
分组通信网的同步
与定时技术(3) 王文黧, 王斌, 糜正琨 17-3-62
光正交频分复用技术
及其应用(1) 陈章渊, 李巨浩, 杨川川 17-4-58
光正交频分复用技术
及其应用(2) 陈章渊, 李巨浩, 杨川川 17-5-58
光正交频分复用技术
及其应用(3) 陈章渊, 李巨浩, 杨川川 17-6-56

七、专家视点

- 向未来互联网演进 何宝宏 17-1-42
电信运营商的云计算与物联网发展策略 唐雄燕 17-2-33
100G 光传送技术渐入佳境 张海懿, 赵文玉 17-3-44
三网融合业务形态与未来发展策略 周旗 17-4-33
LTE 商用策略与挑战 李珊 17-5-42
中国云数据中心的优化布局与科学发展 徐志发 17-6-38

综合信息

中兴通讯携手 CSL 成功展示 CS Fallback 业务 领跑 LTE 语音之路

【本刊讯】2011 年 11 月 16-17 日, Mobile Asia Congress 在香港举行。在本次大会上, 中兴通讯携手 CSL 联合展示了基于 Uni-Core 解决方案的 CS Fallback 语音业务。

随着 LTE 商用网络部署进程的加速和智能手机浪潮的推动, 未来将出现越来越多支持 LTE 网络的智能手机, 如何推动已有 3G 网络语音和数据业务向 LTE 网络的平滑过渡成为运营商关注的焦点。作为 3GPP 定义的标准, CS Fallback 是业界公认的 LTE/EPC 部署初期优选的语音解决方案。

中兴通讯 Uni-Core 解决方案, 支持从 3G 向 LTE/EPC

架构的平滑演进。完善的 CS Fallback 方案无需对现网进行升级改动, 充分有效地利用原有 CS 网络, 保护运营商的现有投资, 使用户在体验 LTE 高速数据业务的同时, 能够使用高质量的 CS 语音业务。

中兴通讯一直致力于推动 LTE/EPC 网络的商用技术成熟, 期望通过创新的网络解决方案来消除数字的鸿沟。

2010 年 11 月, 中兴通讯携手 CSL 在业界率先打通首个 LTE 网络与 2G/3G 现网互通 IMS 语音电话, 引领 VoLTE 应用; 2011 年 10 月, 中兴通讯在德国率先完成由多业务论坛(MSF)主办, GSM 协会(GSMA)协办的业界首个 VoLTE 互通性测试, 推动 VoLTE 的商用部署进程。