



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

ISSN 1009-6868  
CN 34-1228/TN

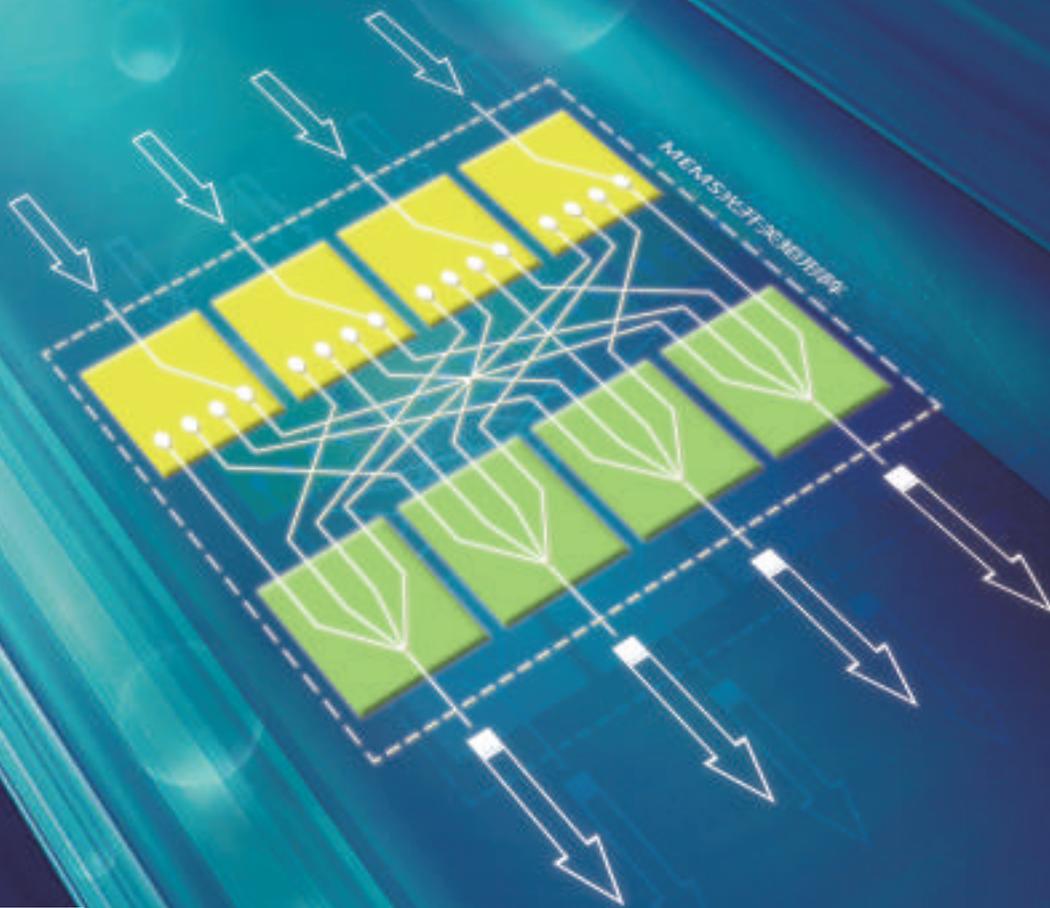
# 中兴通讯技术

## ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

[www.zte.com.cn/magazine](http://www.zte.com.cn/magazine)

2012年10月 • 第5期

专题：光与无线融合接入技术



ISSN 1009-6868



9 771009 686007

10>

专题：光与无线融合接入技术

## 专 | 题 | 导 | 读

随着技术和需求的发展,无线通信已由传统的单一语音业务向多业务发展。智能手机等用户终端性能的不断改进和提高,各种新颖、便捷、廉价的移动应用的不断推出,都进一步催发了用户在任何时候、任何地点获取任何媒体信息的渴望。可以预见,无线通信业务将继续保持高速增长的趋势。因而在如何提供更大的带宽、更长的接入距离、更好的互操作性等方面,业界面临巨大的机遇和挑战。

众所周知,光纤作为一种近乎理想的传输介质,已广泛用于骨干网。对处于核心网与移动终端之间的接入网,光纤同样可以发挥其大带宽、低损耗、成本低、不受电磁干扰等优点。光接入网已成为接入网的主流技术。光纤接入的优势不仅在于宽带大、抗干扰能力强,还在于它可利用微波光子学技术来实现无线载波信号(尤其是微波甚至毫米波)的产生、传输、处理和控制在,从而充分发挥无线灵活接入和光纤宽带传输的优势。光与无线融合接入技术具有单纯无线接入技术或光纤接入技术无法实现的信息处理与传输组网功能。对于用户来说,该技术能够不受时间、地点等的限制,满足不断增长的带宽需求;对于运营商来说,它能够提供一个全业务承载、计费及管理。目前,光与无线融合接入技术是国际上研究与开发的热点之一。

虽然无线通信和光纤通信在各自领域已经得到很好的发展,但要在这两种技术有效融合,实现优势互补,真正为用户提供快捷、方便、廉价的高性能宽带接入,还有很多技术问题需要研究和解决,包括光与无线融合接入网架构和协议、技术规范 and 标准、运营模式、光与无线融合接入的支撑技术(高性能 RoF 信号产生、调制、处理与传输,低成本光电混合集成器件等)以及光与无线融合接入的安全性和生存性等问题。本专题旨在从技术层面上对光与无线融合接入相关技术进行探讨,专题中的论文凝聚了作者的研究成果和工作经验积累,希望能给读者提供有益的启示与参考。在此,也对各位作者的积极支持和辛勤工作表示衷心的感谢。

陈建平

本期专题策划人



陈建平

上海交通大学教授、博士生导师,担任上海交通大学 211/985 办公室主任、区域光纤通信网与新型通信系统国家重点实验室副主任、上海市电子学会秘书长、《IEEE Journal on Selected Areas in Communications》专辑《Fiber and Wireless Integration》编委等职;主要从事光纤通信、光子信息处理器件与技术的研究工作;作为首席科学家曾主持国家“973”计划项目“超高速低功耗光子信息处理集成芯片与技术基础研究”,完成或正在承担国家“863”计划、国家自然科学基金等项目多项;获得国家教学成果二等奖、教育部科技进步三等奖和上海市自然科学二等奖各 1 项。

### 2012 年第 1—6 期专题计划

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



# 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106期  
2012年10月 第18卷第5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：赵今明  
常务副总编：黄新明  
责任编辑：杨勤义  
编辑：徐焯，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：230061  
网址：www.zte.com.cn/magazine  
投稿平台：www.zte.com.cn/paper  
电子信箱：magazine@zte.com.cn  
电话：(0551)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：2012年10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：光与无线融合接入技术

- 01 动态可重构的智能光载无线接入技术…………… 田慧平,徐坤,纪越峰
- 07 光载无线系统中的线性化技术…………… 张国强,李尚远,郑小平
- 11 光无线混合宽带接入网的路由技术研究…………… 王新兵,刘伟杰
- 16 面向2G/3G/4G/WLAN融合接入应用的  
光载无线分布式天线系统…………… 徐坤,纪越峰,戴一堂
- 22 基于光纤无线融合的射频无源光网络…………… 刘德明,邓磊
- 27 智能管道技术及其在固网移动融合中的应用…………… 王领强
- 31 无源光网络与无线回传的融合技术…………… 何浩,董毅,胡卫生
- 33 基于认知无线电的ROF-PON光无线接入技术…………… 王中鹏

### 专家视点

- 36 在融合和优化中演进的统一承载网…………… 陈杰,马恒

### 运营应用

- 42 无线串口在智能终端上的应用…………… 钮若丹,范成涛
- 45 中国联通GSM网频率资源需求研究…………… 陈森,耿玉波,孙建兴

### 研究论文

- 48 基于TD-SCDMA的R4与HSDPA混合组网系统级性能研究…………… 王建

### 开发园地

- 52 业务网络在智能管道建设中的演进…………… 叶云

### 系列讲座

- 56 可信计算(2)…………… 姚文斌

### 综合信息

中兴通讯无线通信模块产品进军美国市场(30) 中兴通讯获Nagravision CA授权布局欧洲数字电视市场(41) 中兴通讯推出业界首款Zi-Fi产品在广州首获现网应用(41) 广告索引(44)

# Contents

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol.18 No.5 Oct. 2012

## Special Topic: Converged Optical/Wireless Access Technology

- 01 Dynamic Reconfigurable Intelligent Radio-Over-Fiber  
Access Techniques ..... TIAN HuiPing, XU Kun, JI Yuefeng
- 07 Linearization Techniques in  
Radio-Over-Fiber Systems ..... ZHAN Guoqiang, LI Shangyuan, ZHENG Xiaoping
- 11 Routing Technology in Hybrid Optical-Wireless Broadband  
Access Networks ..... WANG Xinbing, LIU Weijie
- 16 A Radio-Over-Fiber-Based Distributed Antenna System for 2G, 3G, 4G  
and WLAN Converged-Access Applications ..... XU Kun, JI Yuefeng, DAI Yitang
- 22 Converged Fiber-Wireless Radio Passive Optical  
Network Technologies ..... LIU Deming, DENG Lei
- 27 Smart Pipes in Fixed-Mobile Converged Networks ..... WANG Lingqiang
- 31 Converging Technologies for Passive Optical Network  
and Mobile Backhaul ..... HE Hao, DONG Yi, HU Weisheng
- 33 Hybrid Optical-Wireless Access Technology  
for Cognitive Radio Over ROF-PON ..... WANG Zhongpeng

## Expert View

- 36 Unified Bearer Network Evolving Towards Convergence  
and Optimization ..... CHEN Jie, MA Heng

## Operational Application

- 42 Wireless Serial in Smart Terminals ..... NIU Ruodan, FAN Chengtao
- 45 Demand on China Unicom's GSM Network  
Frequency Resources ..... CHEN Sen, GENG Yubo, SUN Jianxing

## Research Paper

- 48 Planning Hybrid R4/HSDPA Networks in TD-SCDMA Systems ..... WANG Jian

## Development Field

- 52 Service Network Evolution in the Construction of Intelligent Telecom Pipes ..... YE Yun

## Lecture Series

- 56 Dependable Computing (2) ..... YAO Wenbin

## 《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 陈建平 陈杰  
陈锡生 程时端 高文 葛建华  
顾晓仪 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 孙知信 谈振辉  
田文果 童晓渝 王文东 王晓明  
王育民 韦乐平 卫国 邬贺铨  
吴克利 谢大雄 徐安士 须成忠  
续合元 杨义先 杨震 尤肖虎  
乐光新 张宏科 张平 张同须  
张智江 赵厚麟 赵慧玲 赵先明  
钟义信 朱近康

## 敬告读者

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

未经本刊许可,不得以任何形式全文转载本刊内容;如部分引用本刊内容,请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。



数通产品

## 与您携手 共筑新高度

中兴通讯数通产品与全球 200 家合作伙伴共成长。

中兴通讯多年来致力于数通产品的研发,不断推出更新的产品和服务,全面提供领先的数据通讯网络解决方案。目前已与全球 56 个国家 200 多家运营商及八大主流行业紧密合作,全球销量超过 200 万台。

全线成长的创新技术提供全方位解决方案,覆盖路由器、以太网交换机、宽带接入服务器、宽带多业务路由交换机、宽带增值业务平台、综合数据网管平台等全系列数通产品。产品通过国际权威机构严格测试,拥有 300 多项该领域专利和标准,技术达到国际领先水平。

中兴通讯数通产品充分考虑技术演进,满足全业务承载网未来的发展需求。

[www.zte.com.cn](http://www.zte.com.cn)

**ZTE中兴**

# 动态可重构的智能光载无线接入技术

## Dynamic Reconfigurable Intelligent Radio-Over-Fiber Access Techniques

中图分类号: TN92; TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2012) 05-0001-006

**摘要:** 文章认为动态可重构的智能光载无线网络可以融合光纤和无线接入系统, 通过引入新的网络架构、媒体访问控制(MAC)协议、系统链路以及关键器件等系列新技术, 满足通信网对高效、宽带以及灵活等特性的需求。基于动态可重构的智能光载无线技术, 文章在网络层提出适合智能光载无线技术的网络架构; 在 MAC 层提出使光载无线 MAC 层的性能得到提升、保障联合资源的动态可管控的专用设计; 在系统层提出在光域对射频信号进行处理、传输与控制的相关技术。文章还在器件方面提出利用特殊结构改善滤波、天线等性能的新技术。

**关键词:** 光载无线技术; 宽带; 动态可重构; 光纤无线融合

**Abstract:** A dynamic, reconfigurable, intelligent radio-over-fiber (I-RoF) system can integrate fiber and wireless access systems. It can provide efficiency, flexibility, and broadband capability by using new network architecture, MAC layer protocols, system link, and key components. In this paper, we describe the network architecture for I-RoF technology in the network layer. We describe the specific design that can improve the performance of I-RoF and ensure the dynamic control of joint resources in the MAC layer. We also describe the technologies that deal with RF processing, transmission, and control in the optical domain in the system layer. Finally, introduces new technologies and special structures that can improve the performance of the filter and antenna.

**Key words:** radio-over-fiber; broadband; dynamic reconfigurable mechanism; optical wireless convergence

田慧平/TIAN Huiping

徐坤/XU Kun

纪越峰/JI Yuefeng

(北京邮电大学, 北京 100876)

(Beijing University of Posts and

Telecommunications, Beijing 100876, China)

基于光载 Wi-Fi 的 ROF 链路结构如图 3 所示, 我们运用基于粗波分复用(CWDM)方式的模拟直调 ROF 网络架构, 经过模拟直调后, 不同波长的光经过 CWDM 器件复用到一根光纤中传输, 光纤另一端由另一个 CWDM 进行解复用, 光信号被分配到各个远端天线单元(RAU)中, 由光电探测器恢复出射频信号, 经放大后由天线发射出去实现无线覆盖。通过双向的 CWDM-ROF 链路完成可以满足宽带无线接入的应用需求。该透明结构易于升级, 在少量硬件改造的情况下就可以满足 3G 等其他无线标准信号的传输<sup>[1]</sup>。

## 1 新型网络体系结构

**要** 实现智能化的光载无线网络, 设计一个好的网络体系结构是首先需要考虑的问题。结合目前世界范围内主流网络架构的优点并规避其不足, 我们提出了如图 1 所示的光纤无线电(RoF)网络架构。

该架构分为 3 层, 由下往上依次为分布式无线接入层、光交换层和集总基站池。

**基金项目:** 国家重点基础研究发展 (“973”) 规划(2012CB315705); 国家高技术研究发展 (“863”) 计划(2011AA010306)

针对大范围低成本 Wi-Fi 覆盖的应用需求, 以及智能家庭中吉比特高清视频等高数据业务的接入需求, 我们将上述的通用型智能光载无线网络体系架构具体化, 提出了两种具有特定适用范围的网络架构

### 1.1 面向宽带接入与泛在感知应用的分布式光载 Wi-Fi 网络架构设计及链路实现

物联网的典型结构包括 3 层, 即感知层、传送层和应用层<sup>[2]</sup>。本文提出一种基于光载 Wi-Fi 异构结构的传送层网络, 其网络架构如图 2 所示。

### 1.2 面向楼内多业务融合接入的多频段动态可控 ROF 网络架构设计及链路实现

图 4 是 2.4 GHz 频段和 60 GHz 频段楼内多业务融合接入的 ROF 网络架构图。在以太网无源光网络(EPON)的光网络单元(ONU)处, 一个额外的智能驻地网关(IGR)被用来实现基带信号到 2.4 GHz 和 60 GHz 的上变频, 以及射频资源的管控和调度, 并利用室内光纤网络传输。为了解决上行过程中的成本和技术难题, 又考虑到上行业务如视频点播(VOD)一

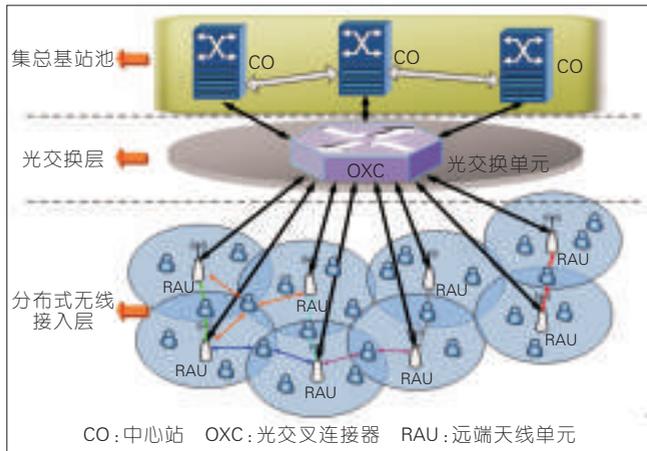


图1 智能光载无线网络体系架构



图2 面向物联网应用的光载Wi-Fi异构网络架构

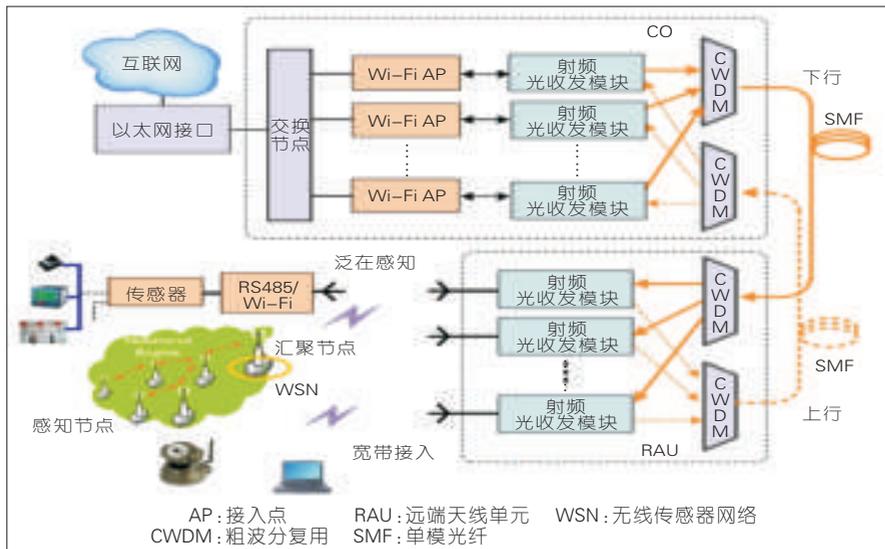


图3 基于光载Wi-Fi的ROF链路结构

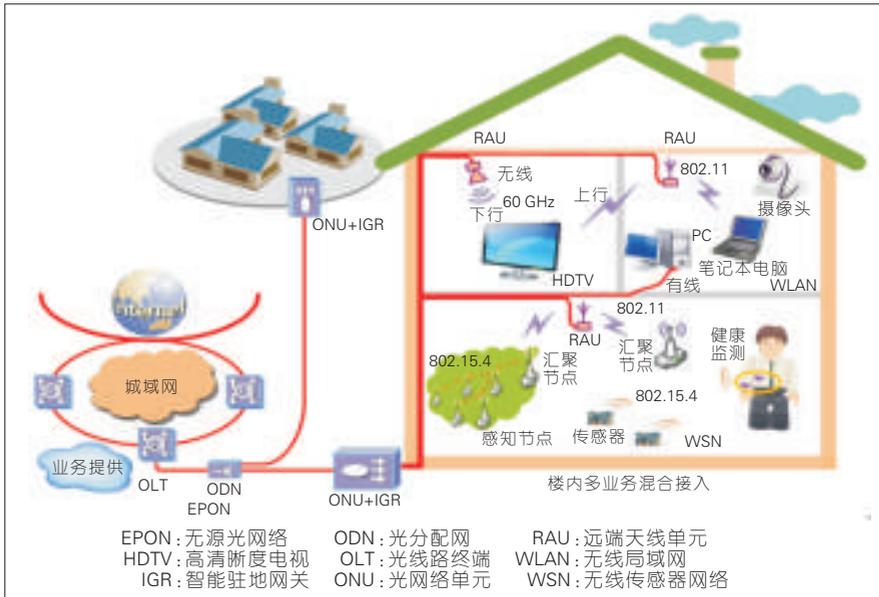
般并不需要特别高速的传输速率,这里通过终端设计和网关处理功能,利用相邻房间的已有Wi-Fi信号覆盖来进行吉比特下行业务的上行需求。这样通过Wi-Fi分布式天线系统的构建和60GHz频段吉比特无线通信链路的建立,就可以为楼内各房间用户提供吉比特无压缩高清晰度电视(HDTV)及其点播业务,Wi-Fi信号的宽带接入和健康监测、视频监控和环境监测等物联网业务,从而实现智能泛在家庭网络的构建。

图5是楼内多业务融合的动态可控ROF网络的传输链路。在ONU和智能驻地网关(IRG)内部,Internet里的吉比特HDTV业务源经过EPON的ONU以有线方式提供给楼内用户,为了支持无线接入方式,利用变换接口将以太网并行数据以串行不归零码(NRZ)的方式调制到直调激光器(DML)发出的连续光载波上,然后利用马赫-曾得尔调制器(MZM)产生毫米波并通过毫米波天线发射出去。在接收端利用接收天线将毫米波信号接收下来并进行功率放大,利用自混频的方式进行下变频,最后利用低通滤波器滤波就可以得到基带信号。

为了实现资源的配置,我们提出了基于微电子机械系统(MEMS)光开关矩阵的射频切换技术来实现动态可控ROF网络的构建。图5中,在IRG内部,利用中心控制单元发出的指令控制MEMS光开关选路。这样,利用60GHz频段和2.4GHz频段的ROF网络,以及光开关矩阵,就能够实现楼内多频段多业务的无线智能覆盖,极大增加了频谱效率并有效降低整体能耗。

## 2 智能光载无线网络的媒体访问控制层技术

在构建有效网络的基础上,还需要考虑怎样实现网络内部公平有效的资源共享,这就需要为网络架构配备合理的资源分配机制——媒体访问控制(MAC)层协议。



▲图4 楼内多业务融合接入的网络架构图

智能 RoF 网络 MAC 层协议目前尚没有统一的标准<sup>[4]</sup>, 国际研究主要集中在对传统的无线通信标准如 Wi-Fi、WiMAX 的 MAC 协议改进其响应时间等相关参数以抵消光纤引入的时延从而使其适用于光纤无线电系统。然而在实际的 RoF 系统中, 由于信号的衰减使得传统的分布式的载波侦听多点接入/冲突避免(CSMA/CA)的协议丧失有效性。因此, 提出专为 RoF 系统设计的 MAC 层协议势在必行。

我们提出基于光载无线网络动态可重构属性的 MAC 层协议的新模型<sup>[5]</sup>。主要包括设计采用了频率和时间双重属性因子的混合 MAC 层协议, 将光纤引入的额外时延考虑进 MAC 层协议设计中, 利用时间同步补偿技术, 实现各远端天线单元的逻辑准同步, 从而通过加入频率标识, 支持光载无线网络动态可重构属性。

在上述混合 MAC 帧结构基础上, 我们进一步提出了低功耗动态可控 MAC 帧结构<sup>[6]</sup>, 图 6 所示为 MAC 帧结构, 图 6(a)和(b)分别是下行 MAC 帧结构和上行 MAC 帧结构。通过在 MAC 帧结构中设计天线控制域

(“on-off”域)实现对子天线工作/非工作状态的集中管控, 进而降低能耗。通过将光纤引入的额外时延考虑进 MAC 层协议设计中, 利用时间同步补偿技术, 实现各 RAU 的逻辑准同步。上述动态可控 MAC 层协议模型解决了微波和光波协同作用下分布式 ROF 网络中多小区、多用户、宽带化泛在化接入问题, 降低了 ROF 网络

的能耗。

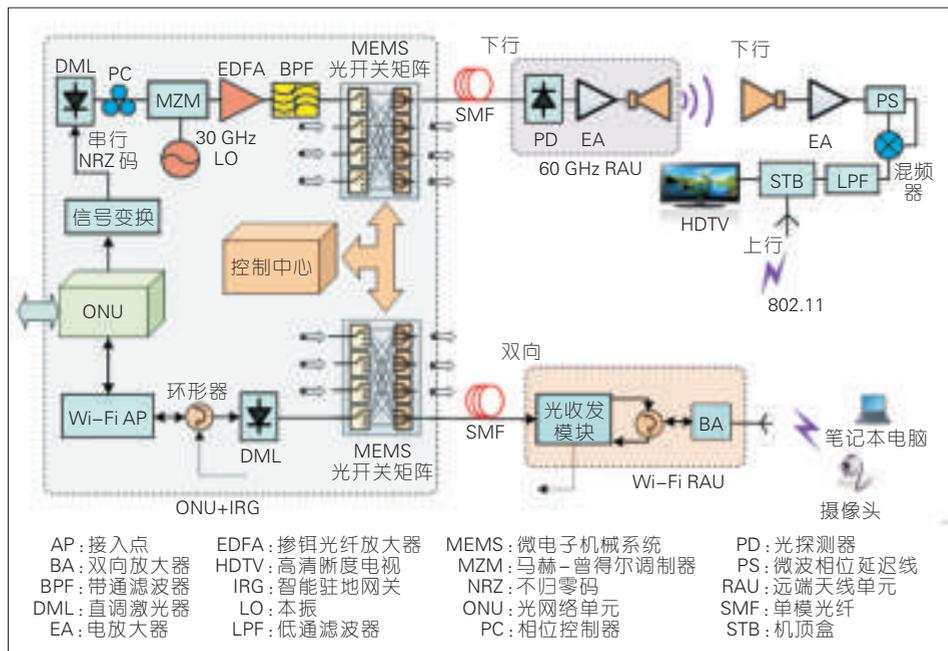
### 3 动态可重构智能光载无线系统

RoF 最主要的功能是实现光纤与无线的相互融合, 从而实现宽带、高速和无线化的信息传递。这就需要搭建高效经济的 RoF 系统将射频信号加载到光载波上, 并经远距离传输, 在基站通过宽带天线实现点对点多业务无线信号的传送。

#### 3.1 认知、协同与低能耗的智能 RoF 系统

RoF 系统与生俱来的中心处理机制, 使多信道无线信号的联合处理以及分布式动态可重构光载无线接入成为可能。通过最大程度的利用有限的频谱资源、时隙资源以及功率资源, 可实现灵活、高效、低能耗的无线通信接入。

我们基于 RoF 系统的中心处理机制, 提出并搭建了具有认知、协同及低能耗的分布式动态可重构光载无线接入系统。系统在中心站同时控制多小区、多信道的频谱与时隙资源, 利用远端天线收集各个小区和信



▲图5 2.4 GHz和60 GHz频段动态可控ROF系统链路结构图

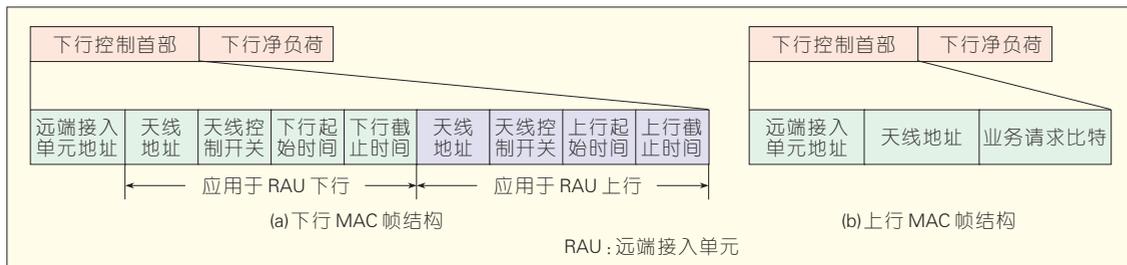


图6  
MAC帧结构

道的使用状况,将资源合理搭配,实现动态可重构属性,使资源得到最大程度的利用。

所提分布式系统具有认知、协同与低能耗3个特点。其中认知指的是中心站通过远程天线单元了解天线所在小区的无线信道使用状况,并以此计算分配资源方案;协同则是指在计算出最优化资源分配方式后,中心处理器将调度命令发送至系统设备,通过对微波和光波资源的控制实现资源的调度和网络的动态可重构属性;低能耗则是指由于中心站的资源由多个小区共同分享,因而减小了每个小区的设施,同时可在整个系统业务需求小时,关闭部分冗余设备和资源的功能,以节约能源。

### 3.2 有线无线资源联合调度的智能RoF系统

RoF中有线无线资源的联合调度是指同时考虑有线网络和无线网络的资源调度,从而最大化RoF网络的资源利用率,主要内容包括两部分:算法部分和协议部分。

算法部分主要针对智能RoF网络的路由算法进行资源调度。我们提出了联合路由算法来实现RoF网络中有线无线资源的联合调度,从而实现端到端的全局最优路径。联合路由算法的主要思想为:把光网络和无线网络分为两个域,在中心站(CO)中构建出3个路径计算单元(PCE),其中两个子PCE分别负责光网络域和无线网络域的算路,父PCE负责协调两个域的路径计算,当业务到来时,通过子PCE和父PCE之间的信息交互,可以实现分布式环境下RoF网络中

的全局最优路径。

协议部分主要针对智能RoF网络的MAC协议进行资源调度。当无线网络接入一个新的连接请求时,除了考虑无线侧的资源分配外,还需要考虑排队时间和注册时间的的影响,从而实现为业务分配合适的光波资源,达到微波光波资源的联合调度。该方法仅仅从时延造成的影响方面研究了微波光波资源的联合调度,实际上,当多个用户竞争资源时,吞吐量和公平性问题也需要加以考虑以达到更高的网络资源利用率,从而实现微波光波资源的联合调度。

## 4 智能RoF关键单元器件技术

在传统的无线通信系统中,大部分微波信号处理功能是在基站中通过电信号处理器来完成,从而受到诸多成本和带宽的限制。光载无线系统中功能集中化的配置和光电域的转换使得在中心局可以完成一些全光微波信号的处理功能。这就需要为RoF系统配备相应的组成器件,从而适应RoF系统信号处理频域提升和业务集中的特点。

### 4.1 光载宽带无线信号的频谱感知

探测泛在环境下微波信号的载频大小,进行信息的获取、处理和分析,是实现宽带接入与泛在感知的关键。微波光子频谱分析与感知正是基于此发展起来的一项关键技术,它利用微波光子技术瞬时宽带处理能力强、质量轻、损耗小、抗电磁干扰能力强等一系列优点,实现了宽带微波的瞬时处理与测量,给微波信号的频

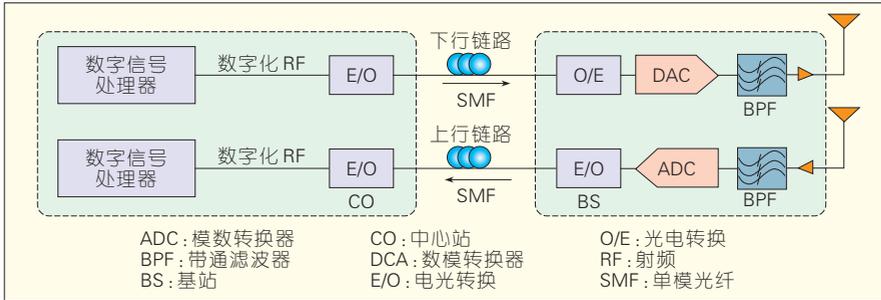
谱分析与感知开辟了一条新的研究思路。通过基于相干信道化及基于光子压缩采样的瞬时频率测量,实现了多频点、宽带的频谱感知与分析。

基于相干信道化瞬时多频点频谱分析与感知方法:我们提出了通过在光域实现一级滤波,在微波域实现二级滤波,最后通过数字信号处理的方式对大带宽、多频点和高精度的信号进行感知处理的技术。基于光子压缩采样的瞬时多频点频谱分析与感知方法:我们采用压缩采样理论这一新颖的信号处理手段,利用微波信号在频谱上高度稀疏的特性,通过低速ADC采样实现了对宽带微波信号频率测量。

### 4.2 全光模数转换器

模数转换器(ADC)是一种将模拟信号转换为数字信号的重要器件,是实现信号在高速通信网络中传输,以及实现信号储存、处理的前端器件。如图7所示为应用ADC的数字ROF系统。和传统的ROF系统相比,数字ROF系统在CO不需要混频以及本振源,并且对光链路的线性度以及链路增益要求不高,从而可以利用现有光接入网来实现传递射频(RF)信号。

为了克服传统电域ADC的内在的局限性,Henry F.Taylor于1979年提出了全光模数转换器(AOADC)的概念。全光ADC,其抽样、量化和编码都在光域进行,近年来备受各国科学家的重视。目前全球相关研究大都基于光纤实现数模转换,然而为了获得更高分辨率的模数转换,要求光脉冲有很大的光功率,从而能耗较高,不符合光器件向“绿色节能”的方向



▲图7 应用ADC的数字RoF系统

发展;另一方面,由于是基于光纤的,以上的量化编码方案不利于集成,不符合光器件向集成化的方向发展。

为了使全光量化编码器向低能耗、光子集成、高速率以及高分辨率的方向发展,我们提出了一种利用半导体光放大器(SOA)中的非线性偏振旋转(NPR)效应来实现全光ADC的方法<sup>[7]</sup>,其原理结构如图8所示。模拟信号被抽样信号抽样之后变成抽样光脉冲,随后被分成 $N$ 份,输入到由 $N$ 个基于NPR效应的量化编码单元组成的量化编码矩阵。每一个基于NPR效应的量化编码单元由两个级联的偏振开关(PSW)组成,如图8(d)所示。其中 $PSW_1$ 实现预量化编码,由于随着抽样光脉冲强度的增强, $PSW_1$ 的SOA中更多载流子被消耗,因而造成其输出光功率下降,为了保持强度不同的抽样光脉冲在量化编码单元中所获得的增益一致, $PSW_1$ 之后级联另外一个偏振开关 $PSW_2$ ,其作用是实现增益的动态补偿。图8(b)所示为量化编码单元的传输函数,图8(c)所示为相应的编码输出,预量化编码和增益动态补偿相结合的方式可以很好地实现量化编码。由于SOA的增益恢复时间在皮秒级别,因而基于NPR效应的全光

ADC,其转换速率可以达到几百Gs/s (Giga-Samples Per Second)。

### 4.3 微波光子滤波技术

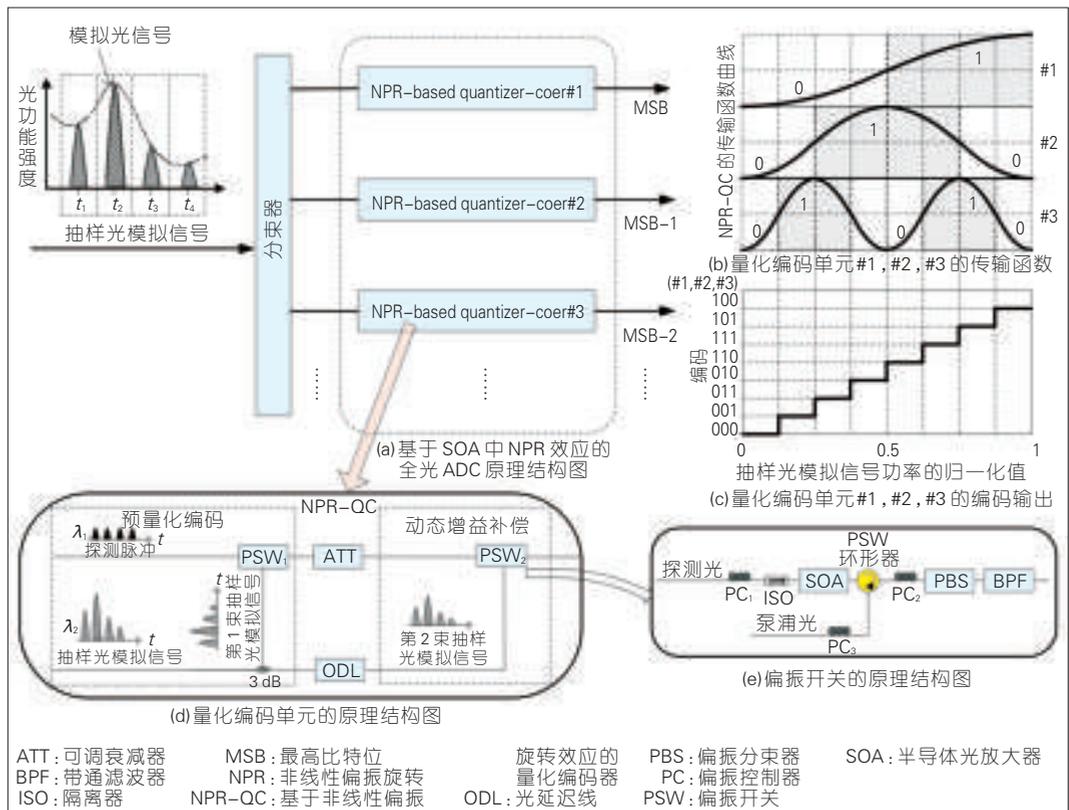
微波光子滤波器(MPF)是在光域内实现对微波/射频信号进行滤波的器件。由于微波光子滤波器在射频系统中具有带宽大、快速可调谐、可重构、无电磁干扰(EMI)、低损耗和重量轻等优点,因而这一类器件已经引起了人们的兴趣。如果在中心站光电变换之前加入微波光子滤波器,就可以大大减小对基带信号处理模块

的性能和复杂度要求,避免了电子器件在处理高频信号上带来的“瓶颈”问题,并降低了器件成本。

相对于有限冲激响应(FIR)滤波器来说,把耦合器的一个输出端和输入端相连即构成了光纤环延迟线。光信号每经过一次环形器就产生 $T$ 延迟,理论上,光信号会无限次经过光纤环形器,所以采样数接近无限。如图9所示,可以利用光子晶体取代光纤环制作微波光子滤波器,利用光子晶体波导分束器作为耦合单元,利用慢光波导作为延迟单元。相对于光纤环,光子晶体具有更好的慢光特性,可以显著减小器件尺寸。

### 4.4 智能天线技术

智能天线的基本原理是通过改变各天线单元的权重在空间形成方向性波束,主波束对期望用户的信号进行跟踪,在干扰用户的方向形成零陷<sup>[8]</sup>。因此,波束赋形是智能天线中的关键技术。而电磁带隙结构(EBG)



▲图8 一种利用SOA中的NPR效应实现全光ADC的方法

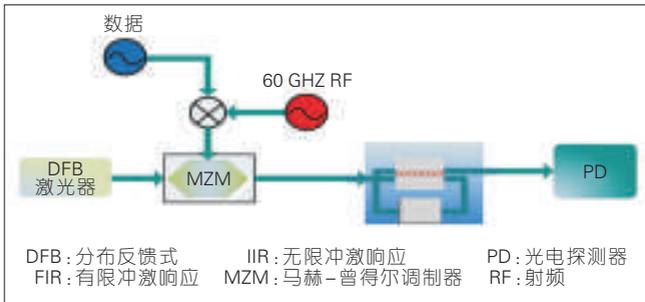


图9  
IIR微波光子滤波器  
结构示意图

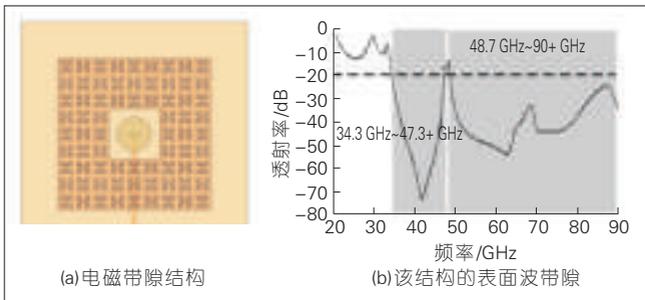


图10  
EBG在天线的应用

是周期排列的结构,具有两个重要特性,表面波带隙和反射相位带隙<sup>[9]</sup>,利用两个特性有利于提高波束的定向性,从而实现波束赋形。

共面紧凑型电磁带隙(UC-EBG)结构由于不需要过孔,相对其他类型EBG结构更易于加工制造。印刷的EBG结构表面很高的表面阻抗,截断了电流的传播,同时对于入射的平面电磁波具有同相反射特性,将此种性能的结构应用于系统相当于引入一个人工磁壁。通过合理设计,EBG结构还可以多频工作,如利用分形结构的自相似特性,在共面型EBG结构中引入分形,可得到多个带隙<sup>[10]</sup>,该结构可对天线的多个工作频段性能同时进行改善。图10(a)为UC-EBG结构,该结构引入了一级分形,通过对该结构进行交叉排列,得到图10(b)所示的禁带。由图10(b)可知,电磁波在介质基板中不能有效传播,这一方面使能量更加集中地从天线辐射出去,提高了天线的定向性;另一方面,由于表面波被抑制,天线方向图的波纹减小了,这两者都有助于波束赋形。

## 5 结束语

由于同时具备无线化和宽带化,

光载无线技术深受业内重视并已经在国际上得到了应用。其中作为一种改善光载无线系统传输容量和资源调配能力的解决方案,动态可重构的智能光载无线接入网络应运而生。其产品能够改善多波长纤链路中微波光波协同问题,具有高速传输和资源动态调配能力,为实现宽带化、泛在化、低功耗动态可重构微波光波融合网络提供坚实的理论基础与技术支撑。

## 6 参考文献

- [1] SHARMA V, SINGH A, SHARMA A K. Challenges to radio over fiber (RoF) technology and its mitigation schemes -- A review [J]. *Optik -- International Journal for Light and Electron Optics*, 2012,123(4): 338-342.
- [2] ZHANG Chongfu, WANG Leyang, QIU Kun. Proposal for all-optical generation of multiple-frequency millimeter-wave signals for ROF system with multiple base stations using FWM in SOA [J]. *Optics Express*, 2011, 19(15):13957-13962.
- [3] 徐坤, 李建强. 面向宽带无线接入的光载无线系统 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [4] CAPMANY J, ORTEGA B, PASTOR D. A tutorial on microwave photonic filters [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2006,24(1): 201-209.
- [5] SHEN Xi, XU Kun, SUN Xiaoqiang, et al. Optimized indoor wireless propagation model in Wi-Fi-RoF network architecture for RSS-Based localization in the Internet of things [C]//Proceedings of the 2011 International Topical Meeting on Microwave

Photonics & 2011 Asia-Pacific Microwave Photonics Conference(MWP/APMP' 11), Oct 18-21, 2011, Singapore. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: 274-277.

- [6] SHEN Xi, XU Kun, SUN Xiaoqiang, et al. Dynamically reconfigurable radio-over-fiber network with medium access control protocol to provide access to train passengers [J]. *Science China: Information Sciences*, to be published.
- [7] WEN Huashun, WANG Hongxiang, JI Yuefeng. All-optical quantization and coding scheme for ultrafast analog-to-digital conversion exploiting polarization switches based on nonlinear polarization rotation in semiconductor optical amplifiers [J]. *Optics Communications*, 2012,285(18):3877-3885.
- [8] SHEN Xi, XU Kun, WU Jian, et al. Enabling technologies for Green radio-over-fiber distributed antenna system based wireless sensor network [J]. *China Communication*, 2011, 8(8): 56-63.
- [9] KOVACS P, URBANEC T. Electromagnetic band gap structures: Practical tips and advice for antenna engineers [J]. *Radioengineering*, 2012,21(1):414-421.
- [10] IERA A, FLOERKEMEIER C, MITSUGI J, et al. The Internet of things [Guest Editorial] [J]. *IEEE Wireless Communications*, 2010,17(6): 8-9.

收稿日期: 2012-07-08

## 作者简介



**田慧平**, 北京邮电大学信息与通信工程学院副教授、博士生导师, 2007年入选教育部新世纪优秀人才支持计划; 研究方向为光通信与微纳光子器件; 已主持完成基金项目3项; 已发表论文70余篇, 其中SCI检索刊40余篇。



**徐坤**, 清华大学电子工程系获物理电子学工学博士学位, 北京邮电大学教授、博士生导师, 信息光子学与光通信国家重点实验室副主任, IEEE 光纤无线融合技术分委员会、亚太微波光子学会技术委员会委员; 研究方向为微波光子信号处理技术及其应用以及基于光载无线系统的分布式天线网络; 已完成基金项目15项, 其中主持6项。



**纪越峰**, 北京邮电大学教授、博士生导师, 国家“973”计划项目首席科学家, 国家“863”计划项目首席专家, 北京邮电大学信息光子学与光通信研究院执行院长, 国家重点实验室常务副主任, 电子信息国家级实验教学示范中心(建设单位)主任, 国务院学位委员会学科评议组成员, 中国通信学会会士; 研究方向为宽带网络与光波通信; 研究成果先后获得国家技术发明奖二等奖、国家科技进步奖二等奖、国家级教学成果奖二等奖。

# 光载无线系统中的线性化技术

## Linearization Techniques in Radio-Over-Fiber Systems

中图分类号: TN92; TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2012) 05-0007-004

**摘要:** 文章认为在常规的光载无线系统中电光调制器的固有非线性特性一直是限制该类系统动态范围的重要因素之一,为了实现更高的动态范围,以满足系统对于线性度的需求,需要抑制电光调制器的非线性所带来的交调失真。文章对光载无线系统的非线性过程进行了深入研究,从调制器的结构以及与调制器独立的后补偿两个方面提出光载波相位偏移技术和光边带处理技术,灵活有效地提高了微波光载无线系统甚至毫米波段光载无线系统的无杂散动态范围 20 dB 以上。

**关键词:** 光载无线系统; 马赫-曾德尔调制器; 双平行调制器; 非线性补偿

**Abstract:** In a traditional radio-over-fiber (ROF) system, the nonlinear transfer function of a Mach-Zehnder modulator limits the spurious-free dynamic range (SFDR). For improved dynamic range, intermodulation distortion that is generated by the nonlinearity of the modulator must be eliminated. In this paper, we theoretically and experimentally investigate nonlinearity in the ROF system. With optical carrier phase shift and optical sideband processing, the SFDR of the microwave/millimeter-wave radio-over-fiber system can be improved more than 20 dB.

**Keywords:** radio-over-fiber; Mach-Zehnder modulator; dual-parallel modulator; nonlinearity compensation

张国强/ZHANG Guoqiang  
李尚远/LI Shangyuan  
郑小平/ZHENG Xiaoping  
(清华大学, 北京 100084)  
(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

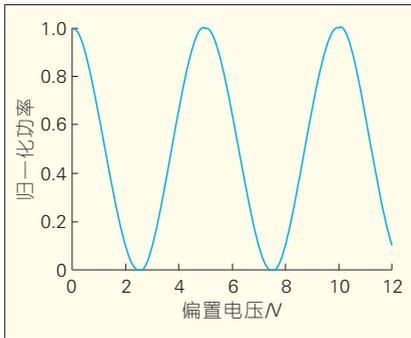
对于信号而言,非线性所带来的直接影响,在频谱上表现为由原来的频率分量产生出新的频率分量,这些新生的频率分量分别是原来各个频率及其倍频项之间的差与和的组合,包括谐波频率失真(倍频项)以及交叉调制失真(差项与和项)。而在这诸多失真频率中,以 2 阶交调失真(IMD2)和 3 阶交调失真(IMD3)对非线性的贡献最大。在微波、毫米波系统中,通常信号的带宽远小于载波频率,此时 IMD2 通常在倍频程以外,可直接使用带通滤波器滤除,从而 IMD3 的大小成为影响信号质量的决定性因素。非线性的补偿策略则以抑制系统的 IMD3 为主。

近十几年来,许多单位和组织一直在关注如何抑制电光调制器的 IMD3 以提高光载无线系统的动态范围,已经发表了许多研究成果。例如文献[5]中采用双平行的马赫-曾德尔调制器(DPMZM);文献[6]中采用双电极的 MZM,通过抑制部分非线性光频率来减轻探测到的电信号的 IMD3。但这两种方法只消除了部分 IMD3,对线性度的改善能力有限。文献[7]中采用了偏振独立的 MZM;文献[8]中使用带偏振控制的混合偏振的双电极 MZM,通过在两个偏振态下产生

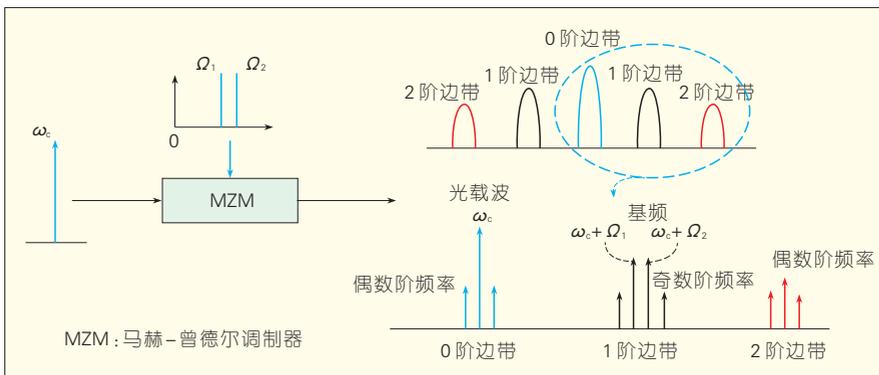
随着无线信号载波频率向微波频率甚至毫米波频率扩展,信号带宽向数吉赫兹甚至更高频率发展,无线信号所能覆盖的范围进一步缩小,对系统的宽带性能也提出了更高的挑战<sup>[1]</sup>。光载无线技术因其高达太赫兹量级的带宽能力,以及极低的光传输损耗,近十年来被广泛地研究用于微波以及毫米波段高频宽带信号的传输与处理。此外,微波与毫米波信号的光子学产生、调制、传输以及探测技术不仅被研究用于无线通信领域,还包括其他诸如仪器、雷达、传感、深空探测等领域<sup>[2]</sup>。

在常见的光载无线系统中,马赫-曾德尔调制器(MZM)被广泛地用于将微波、毫米波信号调制到光载波上,承载了无线信号的光波在光纤中进行分配传输,接收端采用直接强度探测的方式探测光强从而获得微波、毫米波电信号<sup>[3]</sup>。然而由于调制器固有的非线性特性,在电光调制的过程中对微波、毫米波信号产生了非线性失真,这将影响到整个光载无线(ROF)系统的无杂散动态范围(SFDR)。随着无线信号调制格式的复杂化和信号带宽的增加,对系统线性度的要求越来越高。对于 ROF 应用而言,其无杂散动态范围至少需要大约 95 dB·Hz<sup>2/3</sup> 甚至更高<sup>[4]</sup>。随着频率的升高,需要采用合适的高线性化 ROF 系统。

**基金项目:** 国家自然科学基金(60736003、61025004、61032005); 国家重点基础研究发展(“973”)规划(2012CB315603、2012CB315604)



▲图1 典型MZM的调制曲线



▲图2 光电调制中的频谱演化

的非线性分量在光强探测时互相抵消来达到抑制非线性的效果。

本文基于光载无线系统的非线性特征,在光谱中构造IMD3的两个不同源,采用光载波相位偏移技术<sup>[9]</sup>以及光边带处理技术<sup>[10]</sup>来提高光载无线系统的动态范围。

## 1 光载无线系统的非线性特征

在采用强度调制-直接探测的光载无线系统中,光电调制以及光强检测都属于非线性过程。两者的非线性对信号波形的影响均有着自有的特征。

典型的MZM调制器如图1所示。随着调制器偏置电压的增加,调制器输出光信号的功率具有正弦曲线的变化规律,然而这一规律曲线实际上同时统合了光电调制以及光强检测两个过程。在不考虑光电探测器响应度非线性的情况下,要在光链路中对系统非线性采用模拟的办法

进行处理,就需要把电光与光电两个过程对非线性的影响剥离研究,本文将分别介绍这两个过程的频谱演化特征。

### 1.1 电光调制中的频谱演化

把一个微波、毫米波信号看作一个具有某种确定关系的频率集合。在电光调制的过程中,由于非线性的影响,这个集合中的频率将和光载波

含偶数阶交调失真分量。

新产生的非线性失真频率与信号基频的幅度与相位之间,除了满足微波毫米波信号自身的频率关系以外,同时也满足三角函数的贝塞尔展开,各频率的相对相位与幅度之间具有确定的相对关系。

在众多的基频以及交调失真频率分量中,对信号质量起主要作用的,是0阶边带中的光载波和2阶交调失真,1阶边带中的基频和3阶交调失真,以及2阶边带中的2阶交调失真。

### 1.2 光强检测中的频谱演化

由于光电探测器为强度探测,满足平方律检波的关系,这种非线性过程将对上述畸变信号的光谱进一步产生作用,所有的光谱频率在光电探测中发生第二次重组,各频率间互相差拍,进行重新的排列组合,产生出包括信号频率在内的新频率,其频谱演化(如图3所示)具有如下特征:

(1)光谱中各个频率做差拍,产生出以微波、毫米波为中心频率的信号频带。

(2)原光谱中的0阶边带与1阶边带差拍,产生出一份以微波、毫米波为中心频率的信号带(如图3中蓝色虚线标示),带中包含基频分量和高阶交调分量,其中2阶交调失真分布在带外,一般不重点考虑,本文只考虑3阶交调失真。

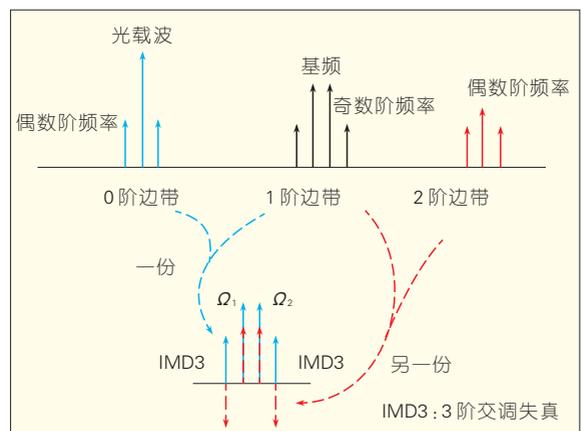
频率相互排列组合,产生出新的频率。以一个具有很小频率间隔的双音信号(角频率分别为 $\Omega_1$ 和 $\Omega_2$ )为例,输入光载波角频率为 $\omega_c$ ,对MZM调制器的研究表明,其非线性所产生的频谱(光谱)演化(如图2所示)具有如下特征:

(1)微波、毫米波频率将被搬移至以光载波为中心频率的频率带。

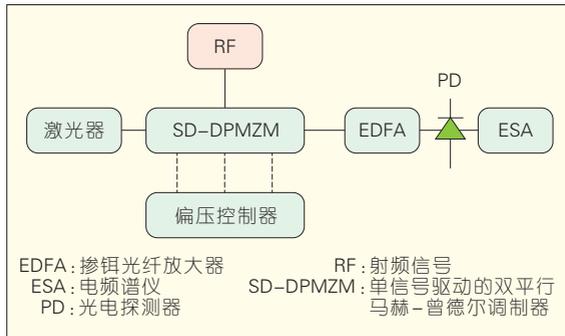
(2)调制器产生5个较为显著的光

谱边带,并以光载波为中心对称分布。分别为一个0阶边带,两个1阶边带和两个2阶边带。通常研究中所用的电光调制只考虑了中间的3个边带:0阶边带和两个1阶边带。

(3)每个边带中都包含非线性频率分量。其中0阶边带包含光载波,偶数阶交调失真分量;1阶边带包含信号基频以及奇数阶交调失真分量;2阶边带包



▲图3 光电探测中的频谱演化



▲图4 载波相位偏移技术装置

(3)原光谱中的1阶边带与2阶边带差拍,产生出另一份以微波、毫米波为中心频率的信号带(如图3中红色虚线标示),其所包含的频率与特征(2)中产生的频率相同,但是在相对相位与幅度上有所不同。总体上这一份信号比特征(2)中产生的信号功率要低。

(4)两份信号相加成为最终所探测到的电信号。

综合以上特征,由于经过光载无线系统的电信号的非线性频率来源于光谱中的多个频率之间的相互差拍,寻找出合适的两对差拍源,并分别进行控制,就可实现IMD3的抑制。在只考虑0阶边带和1阶边带的情况下,采用载波相位偏移技术可方便的实现光载无线系统的IMD3抑制,实现其高线性化。而在频带宽裕的情况下,综合考虑上述5个边带,采用可编程的光边带处理技术,可实现多通道、可编程控制的高线性化光载无线系统。

## 2 光载波相位偏移技术

### 2.1 载波相位偏移机制

在以上分析中,当不考虑2阶光谱边带,只考虑0阶边带和1阶边带时,光强检测过程中的特征(3)和特征(4)将不再具备。在此情况下,只有0阶边带和对称的两个1阶边带,重新考量光电探测过程的光谱演化,可找到IMD3的两个不同来源,其具备新的特点:

(1)0阶边带的光载波频率与1阶边带的3阶频率分量差拍产生一份IMD3。

(2)0阶边带的2阶频率分量与1阶边带的基频分量差拍产生另一份IMD3。

(3)这两份IMD3相加,构成了最终探测到的IMD3。

通过控制此特征(1)和特征(2)两份IMD3的相对相位,可以实现这两份IMD3相互抵消,从而实现高线性化的光载无线系统。从特征(1)可知,改变0阶边带的光载波频率的相位,即可实现其中一份IMD3的相位改变,当光载波相位偏移至使IMD3反相时,两份IMD3相互抵消。

### 2.2 采用光载波相位偏移技术的系统

载波相位偏移技术装置如图4所示。采用单信号驱动的双平行马赫-曾德尔调制器(SD-DPMZM)可实现载波相位偏移技术。通过三维偏置点调节,可在0到360度范围内旋转光载波频率的相位。优化其相位偏移参数,使得IMD3最小,可达到消除非

线性的目的。

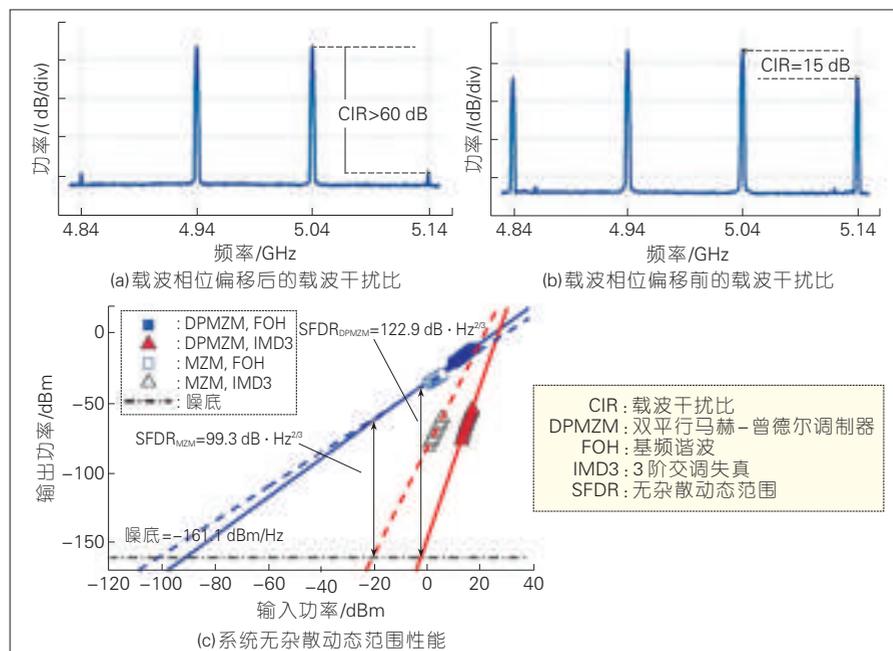
图5(a)、图5(b)所示为系统的载波干扰比(CIR)性能。采用载波相位偏移技术,调制器半波电压为5V,输入微波信号功率为15dBm,系统的载波干扰比从15dBc提高至60dBc,获得了35dB的非线性抑制。图5(c)所示为实际测量的系统无杂散动态范围(SFDR)性能。在-161dBm/Hz的理论噪声底下,光载无线系统的无杂散动态范围从原来的 $99.3\text{ dB} \cdot \text{Hz}^{2/3}$ 提高至补偿后的 $122.9\text{ dB} \cdot \text{Hz}^{2/3}$ ,获得了超过23dB的动态范围增益。

## 3 光边带处理技术

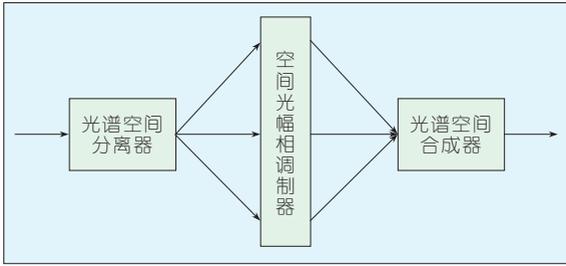
光载波相位偏移技术采用了一种新型结构的调制器来实现光载无线系统的高线性化,其分析模型简化了频谱构成,实现结构简单。在该模型的基础上,本文进一步研究整个频谱,同时提出了另一种独立于调制器的非线性补偿技术——光边带处理技术。

### 3.1 光边带处理机制

前面介绍的电光-光电变换过程中的频谱演化机制,在光电检测过程



▲图5 采用光载波相位偏移技术系统的载波干扰比性能和实际测量的系统SFDR性能



▲图6 光边带处理器框图

从而通过独立处理0阶边带和2阶边带,可实现两份信号的分别控制。因此,无论这两份信号的相对关系如何,只要能确定其关系,便总存在一种控制方法,使得这两份信号中的IMD3分量大小相等,符号相反,从而在相加的过程中相互抵消。通过独立控制0阶边带的幅度,以及2阶边带的相位,可以实现所需要的非线性补偿功能。

图6所示为光边带处理器的结构框图。光边带处理包括3个部分:光谱空间分离器,空间光幅相调制器,光谱空间合成器。由光谱空间分离器将光信号光谱在空间上进行分离,不同的波长辐射到不同的空间分布

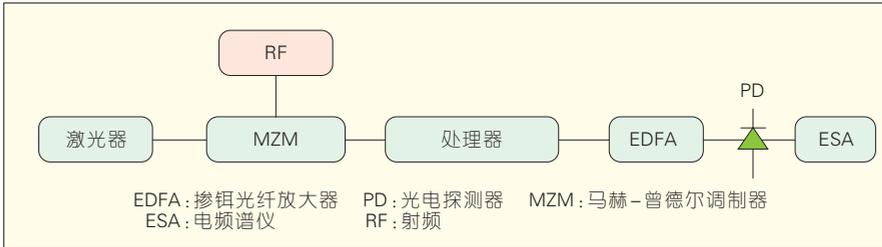
中,产生了两份信号,最终相加成为实际探测信号。每一份信号都同时包含了基频率分量和高阶交调失真分量(文中只考虑IMD3)。这两份信号分别由0阶边带和1阶边带,1阶边带和2阶边带产生。且这两份信号的功率存在差异:0阶边带与1阶边带产生的信号功率大于1阶边带与2阶边带产生的信号功率。其中1阶边带为两份信号的公共来源,

不同的波长辐射到不同的空间分布

位置;空间光幅相调制器对空间中不同位置的光进行独立的幅度和相位改变,实现对信号频谱的处理;经过处理的空间光信号经由光谱空间合成器合成为光信号并经由光纤传输。

### 3.2 采用光边带处理技术的系统

采用光边带处理技术的系统结构如图7所示。光边带处理器放置在普通MZM调制器后端实现后补偿。该技术具有多通道、可编程控制能力,同时对原始光路不造成破坏。图8所示为系统的CIR和SFDR性能。调制器半波电压为5V,在8 dBm的输入微波功率下,载波干扰比从原来的39 dBc提高至75 dBc,从而获得36 dB的非线性抑制;在-161 dBm/Hz的理论噪底下,系统的无杂散动态范围从原来的99.8 dB·Hz<sup>2/3</sup>提高至124.8 dB·Hz<sup>2/3</sup>,获得了超过25 dB的动态范围增益,与光载波相位偏移技术获得同等的非线性补偿效果。

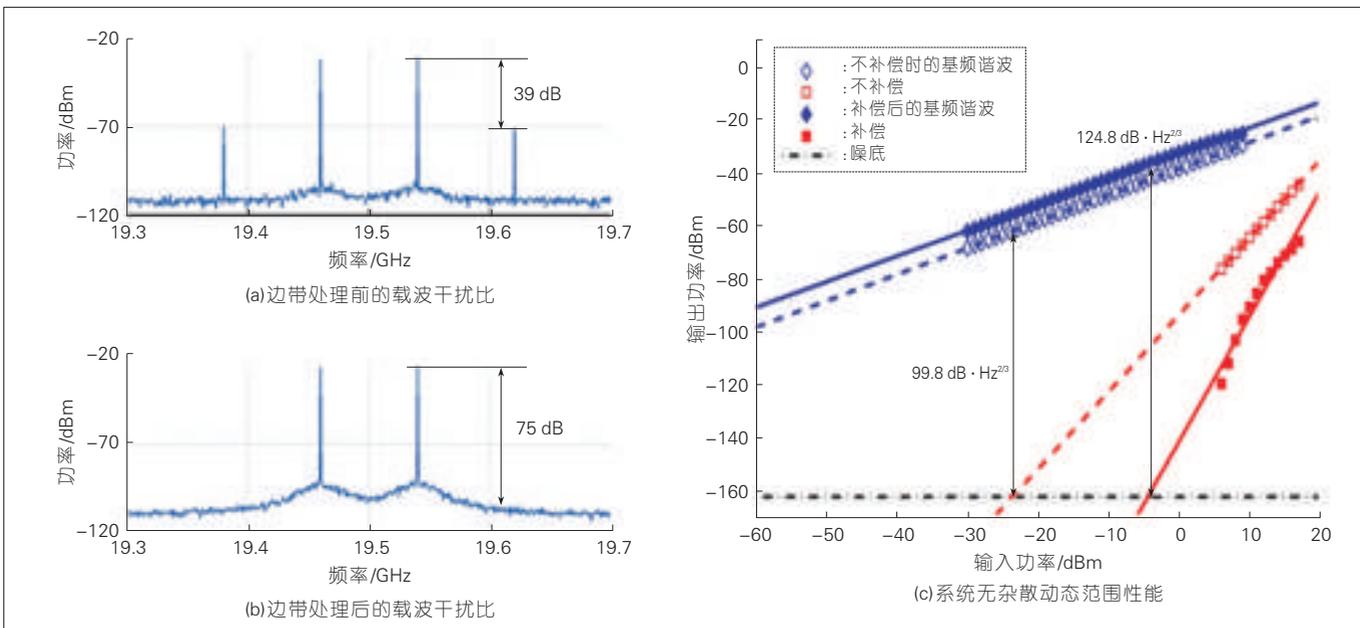


▲图7 光边带处理技术装置图

## 4 结束语

光载无线技术已作为一种微波、毫米波信号远端传输和处理的技术

➔下转第26页



▲图8 采用光边带处理技术系统的载波干扰比性能和SFDR性能

# 光无线混合宽带接入网的路由技术研究

## Routing Technology in Hybrid Optical-Wireless Broadband Access Networks

中图分类号: TN92; TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2012) 05-0011-005

**摘要:** 文章研究了光无线混合宽带接入网(HOWBAN)后端无源光网络(PON)采用的多点控制协议以及前端无线网状网(WMN)中的各种路由机制,重点研究了几种适用于HOWBAN前端WMN的路由算法:最小跳路由算法、最短路径路由算法、风险和时延感知的路由算法、感知时延路由算法、预测吞吐量路由算法、容量和时延感知的路由算法、能量感知的路由算法、流量限制路由算法、时延区分路由算法。对HOWBAN中的传输协议,文章指出保持服务公平性、保证健壮性、提高服务质量(QoS)、节约能源、保障安全性、适应多频道网络等问题值得深入研究。

**关键词:** 光无线混合; 宽带接入网; 路由

**Abstract:** In this paper we discuss multipoint control protocol (MPCP) in a passive optical network (PON) that is part of a of hybrid optical-wireless broadband access networks (HOWBAN). We discuss several promising routing mechanisms for a wireless mesh network (WMN) in a HOWBAN. We focus on several routing algorithms in a WMN (the front part of a HOWBAN). These algorithms include minimum-hop routing algorithm (MHRA), shortest path routing algorithm (SPRA), risk-and-delay aware algorithm (RADAR), delay-aware algorithm (DARA), predictive-throughput routing algorithm (PRTA), capacity- and delay-aware routing (CaDAR), energy-aware routing algorithm (EARA), flow-limited routing algorithm (FLRA), and delay-differentiated routing algorithm (DDRA). Future work on HOWBAN transmission protocols must be focused on fairness, robustness, improving QoS, saving energy, security, and adjusting to multichannel networks.

**Key words:** hybrid optical-wireless; broadband access networks; routing

王新兵/WANG Xinbing

刘伟杰/LIU Weijie

(上海交通大学, 上海 200240)

(Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

展的关键。光纤接入与无线接入是目前较为有效的接入方案。

光无线混合宽带接入网(HOWBAN)将宽带无线通信的移动性、点对点等优点与光纤通信带宽巨大、可靠性高的优点有机地结合起来,为解决长距离、低成本、大容量的无线信号的传输以及超宽带无线接入提供了理想的方案。

## 2 光无线混合宽带接入网

HOWBAN 主要由前端的无线接入网与后端的光接入网组成<sup>[1]</sup>。其中,无线接入技术包括:蜂窝网络、Wi-Fi、WiMAX等。Wi-Fi是基于IEEE 802.11 a/b/g/n标准的一种较为通用的无线技术,一般使用2.4 GHz或5 GHz频段,广泛应用于无线局域网。WiMAX基于IEEE 802.16标准,具有相对Wi-Fi技术更高的传输速率和更广的覆盖范围,具有服务质量(QoS)保障、传输速率高、业务丰富多样等优点,与3G技术的融合趋势越来越强,在城域网的搭建中具有价值。而当前的光接入技术主要为无源光网络(PON)。PON不包含任何有源电子器件,全部由光合路器、光分路器、光耦合器等无源器件构成,是一种节能、健壮、易于维护的点对点(P2MP)的网络。PON又可分为以

## 1 光与无线融合的发展趋势

随着Internet业务、网络电视(IPTV)和点播等交互式多媒体业务的高速发展,无线通信系统已经由传统的单一语音业务阶段发展为多业务阶段<sup>[1]</sup>。在业务的高速增长的趋势下,核心网积极引进先进的技术,包括IP over ATM、IP over WDM、400 Gb/s波分系统等,呈现智能化、宽带化和

光纤化的发展趋势;另一方面,用户终端性能的发展也十分迅猛,智能手机等终端迅速普及,各种便捷、新颖、廉价的移动应用层出不穷。用户迫切需要在任何时候、任何地点能够获取任何媒体的简单、可靠而又相对低廉的无线通信服务。同时,用户驻地网的带宽和支持能力也大大提高。核心网和移动终端的迅速发展趋势,对处于两者中间的接入网提出了较高的要求。能否利用有效的方案搭建高速、便捷、多业务的“最后一公里”接入网,是今后移动通信技术发

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(60832005); 国家科技重大专项(2012ZX03001009)

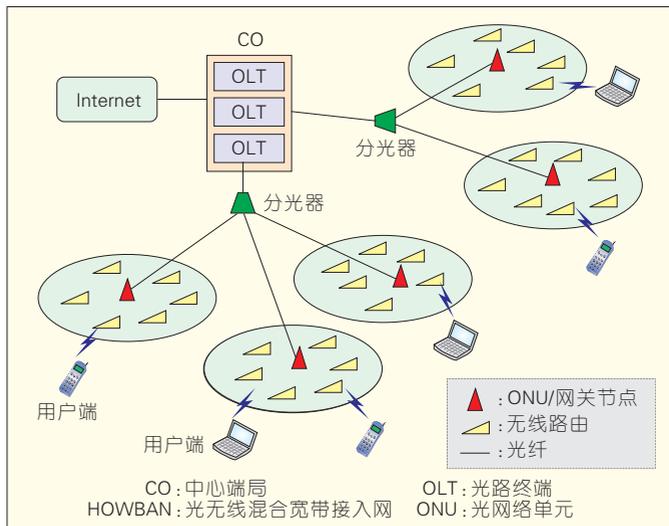


图1 HOWBAN典型的网络结构

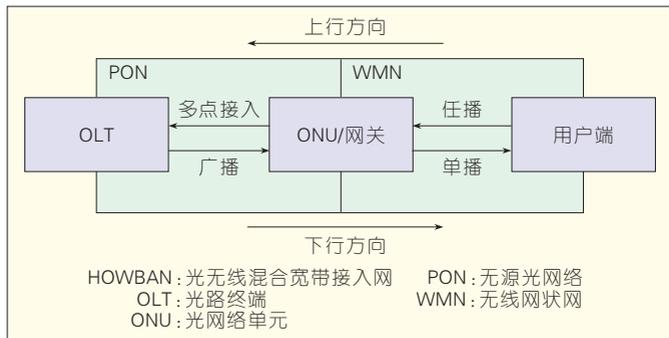


图2 HOWBAN上行/下行传输方式

以太网无源光网络(EPON)、千兆比无源光网络(GPON)、宽带无源光网络(BPON)等<sup>[3]</sup>。

### 2.1 典型网络结构

HOWBAN的一种典型的网络结构<sup>[4]</sup>如图1所示。光网络采用标准的PON结构,可采用TDM-PON、WDM-PON或WDM/TDM-PON技术。在PON中,中心端局(CO)中设置有多个光路终端(OLT)。各个OLT通过光纤和光分路器与多个光网络单元(ONU)相连。在无线网络部分,每个ONU与多个无线路由器连接,其中与ONU直接相连的无线路由器成为网关。因此,HOWBAN前端无线网络部分实质上为由多个无线路由器和少数网关组成的无线网状网(WMN)。该WMN采用标准化的技术。此外,由于ONU与中心局距离较远,能够在较小范围内进行频谱再利用,支持

大量用户高带宽的需求<sup>[5]</sup>。

### 2.2 上行/下行传输

用户使用无线设备,发送数据到某个无线路由器。该路由器将数据

注入WMN中,然后通过多跳传输到达网关节点,再通过光纤到达OLT/CO,最终进入互联网。该结构的上行/下行传输方式如图2所示。在HOWBAN前端无线网络的上行方向,即从用户端到ONU/网关方向,用户能够提供它的数据到任意一个网关,属于任播(Anycast)的方式;其下行方向,即从ONU/网关到用户方向,采用单播(Unicast)方式。而在HOWBAN后端的光网路部分的上行方向,即从ONU到OLT使用多点控制协议,共享上行资源,避免冲突;下行方向,即从OLT到ONU的方向,采用广播的方式,发送一特定的分组会到达全部的ONU,但仅仅是目的ONU接受此数据,其余的ONU将丢弃此数据。

### 2.3 GROW-Net 网络结构

除了上述典型的结构,一种称为GROW-Net<sup>[6]</sup>的网络结构越来越受到学术界的关注,如图3所示。该网络结构的无线网络部分依然采用多个无线路由器和网关构成的无线网状网结构;后端光网络则由一个光纤环路和多个树形结构组成。树形网络的根节点OLT组成一个环状网络,叶节点ONU/网关与无线路由器组成前端无线网络。上行方向,用户数据经过多跳传输到达ONU/网关节点,再经

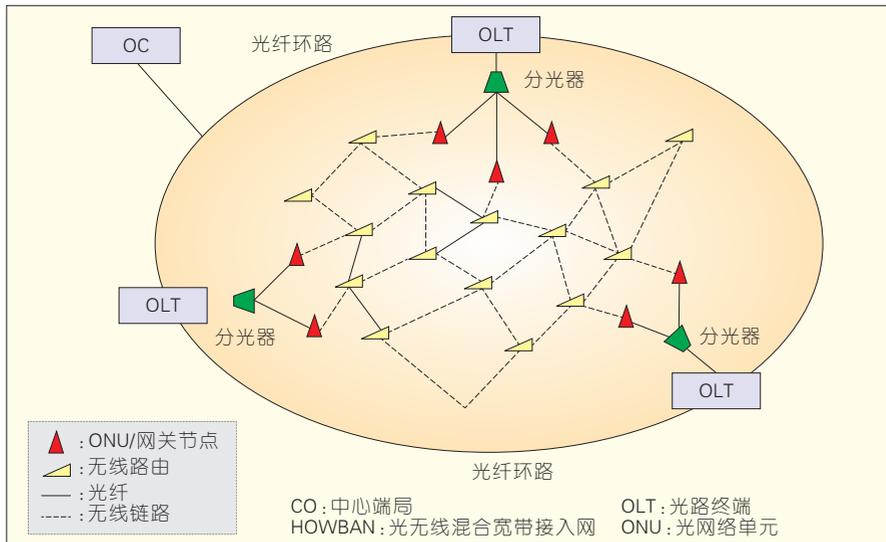


图3 HOWBAN的GROW-Net结构

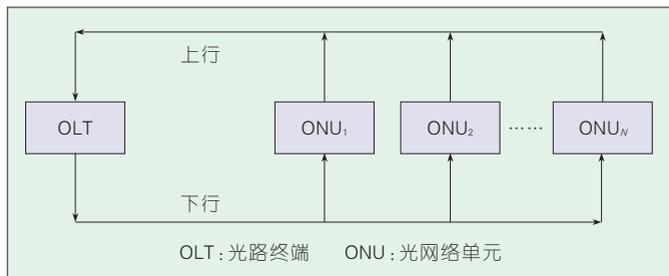


图4 MPCP的实现架构

过树形光网络到达 OLT,接着通过环形光纤到达 CO,再进入互联网。下行方向,数据经过环路到达相应 OLT,再传输至 ONU/网关节点,然后经过无线路由器到达用户端。值得注意的是,该网络的传输路径将随网络链路状态的更新而更新,具有良好的自愈能力。

### 3 光无线混合宽带接入网的传输协议

HOWBAN 建立以后,为了保证高效的数据传输,减少数据的传输时延,需要制订有效的传输协议。由于 HOWBAN 前端和后端网络差异较大,需要分别针对前端和后端网络的特性制订有效的协议。

#### 3.1 无源光网络的多点控制协议

作为 HOWBAN 后端的无源光网络,数据从 ONU 到 OLT 的上行方向采用多点控制协议(MPCP)。MPCP 是 IEEE 802.3 的第一英里以太网(EFM)组开发的媒体访问控制(MAC)层控制协议,适用于点对多点(P2MP)网络的通信。在 PON 中,拓扑结构中的根结点被认为是主单元,即 OLT;位于边缘部分的多个节点被认为是从单元,即 ONU。采用 MPCP,可以在 PON 中实现可控制的网络配置,如 ONU 的自动发现、终端站点的带宽分配以及查询、监控等等。

在系统运行过程中,上行方向在一个时刻只允许一个 ONU 发送,位于 OLT 的高层负责处理发送的定时、不同 ONU 的拥塞报告、以便优化 PON 系统内部的带宽分配等。EPON 系统通过多点控制协议数据单元

(MPCPDU)来实现 OLT 与 ONU 之间的带宽请求、带宽授权、测距等。MPCP 涉及的内容包括 ONU 发送时隙的分配,ONU 的自动发现和加入,向高层报告拥塞情况以便动态分配带宽。MPCP 多点控制协议属于 MAC 控制子层。MAC 控制向 MAC 子层的操作提供实时的控制和处理,如图 4 所示。图 4 为 MPCP 的实现架构<sup>[7]</sup>。

#### 3.2 前端无线网状网的路由机制

HOWBAN 的无线前端为由少数数的网关和大量无线路由器组成的无线网状网(WMN)。前端 WMN 由于时延和吞吐量的限制,成为了 HOWBAN 技术的“瓶颈”,研究前端 WMN 的路由机制具有重大意义。值得注意的是,该 WMN 与传统的 WMN 有所不同。传统的 WMN 移动性较强,网络拓扑结构动态变化较大;HOWBAN 中的前端无线网络的用户的移动性比传统的 WMN 小,用户主要为住宅用户和商业建筑内的用户,因此,网络拓扑结构能够预确立。此外,WMN 中的数据包可以通过任一网关进入 PON,然后达到 OLT,最终进入互联网。设计路由机制时,应考虑这种任播的路由特性。本文研究了 8 种适用于 HOWBAN 前端无线网络的路由算法:

(1)最小跳路由算法和最短路径路由算法

最小跳路由算法(MHRA)和最短路径路由算法(SPRA)的基本原理都是寻找最短路径,即给定源节点和目的节点后,寻找一条使目的函数最小的路径。该目的函数的自变量可以为跳数、物理距离、带宽、流量、传输

时延等因素中的一个或者多个。MHRA 可以看作是 SPRA 中的链路权值为 1 时的特例。这两种路由算法的优点是原理简单,因此广泛用于 HOWBAN 的无线部分。然而,使用 MHRA 或 SPRA 能可能忽略链路其他的因素,会产生时延增加、负载平衡性差、高拥塞率等不良后果。

(2)预测吞吐量路由算法

预测吞吐量路由算法(PTRA)<sup>[8]</sup>是基于链路状态的路由算法,选择满足总的吞吐量要求的路径。PTRA 周期性地对无线链路的速率进行采样,动态估计每条可用路径的吞吐量。当给定源节点与对应网关节点后,PTRA 估计可用的路径,然后从可用路径中选择一条预计吞吐量最大的路径。由于 PTRA 不考虑分组延时,分组可能取较长的路由以满足吞吐量的要求,所以分组在 WMN 内传输的最终时间可能超过预期。因此,PTRA 不适合时延敏感的业务。

(3)感知时延路由算法(DARA)

在 HOWBAN 无线前端的 WMN 中,无论是上行方向或是下行方向,分组都可能经过 WMN 中多个路由器,导致较高的时延,因此分组时延是 HOWBAN 无线部分路由机制中一个极其重要的指标。感知时延路由算法(DARA)是一个预激活的路由方法<sup>[9]</sup>,重点考虑了 HOWBAN 无线部分的分组时延。

在 DARA 模型中,无线路由器近似为标准的 M/M/1 队列,周期性地广播链路状态(LSA),并且进行预测链路状态(LSP)。根据 LSP,DARA 给无线链路分配权重,具有较高的预测时延的链路分配较高的权重。接着,计算从源路由到目的网关(或者相反方向)的路径权值,把这些满足数据包时延要求的路径称为可行路径集合,记为  $F$ 。然后从集合  $F$  中选路。只有时延要求大于  $F$  中的最小时延的数据包才会被允许进入网络;否则,DARA 将不允许数据包进入网络。

时延最优是 DARA 的重要原则。

但是,如果每个数据包都选择最小时延路径,网络中部分链路将由于过载而拥塞,可能会导致大量的数据包被丢弃。因此,DARA是计算 $K$ 条最小权值路径,并不是只选择一条最小权值路径。这种 $K$ -DARA的选路方式可以较好地到达负载平衡,并能缓解网络阻塞情况。

#### (4)风险和时延感知的路由算法

HOWBAN具有多域混合的网络结构,相应地,也具有多种类别的故障情形,包括网关损坏、ONU损坏、OLT损坏以及光纤损坏。故障情形,或者说是风险,是HOWBAN路由考虑的重要因素之一。及时检测出链路故障,并选择正常链路进行传输,是HOWBAN风险感知路由的原则。

风险和时延感知的路由算法(RADAR)<sup>[10]</sup>实质上是DARA算法的拓展,它考虑了HOWBAN网络的故障情形。RADAR仍然采用周期性广播LSA,据此来分配链路权值。与DARA不同的是,RADAR中每个路由器有一个风险表(RL)。表中包含6项,分别是路径号码(PN)、主网关组(PGG)、次网关组(SGG)、第三网关组(TGG)、路径状态(PS)以及路径延迟(PD)。正常情况下,所有路径被标记为“有效(live)”;一旦发生故障,把相应的故障路径标记为“失效(stale)”。仅使用标记为“live”的路径传输数据。研究表明,RADAR能减少HOWBAN的前端无线网络中分组的平均时延,并且能减少出现故障情况下的丢包率。

#### (5)容量和时延感知的路由算法

容量和时延感知的路由算法(CaDAR)<sup>[11]</sup>是一种性能较为优异的路由算法,根据链路容量的分配和链路权值进行时延的最小化。类似于DARA,节点根据周期的LSA信息获取链路信息,并根据LSA进行链路容量分配和时延估计。CaDAR的链路容量分配是基于TDMA机制的,通过分配不同的时隙给各个链路以实现不同链路的容量分配。当数据包到

达HOWBAN的无线前端部分时,CaDAR计算该数据包的路径时延,如果能满足该数据包的时延要求,允许该数据包进入网络;否则,丢弃该数据包。因此,CaDAR能较好地节省无线链路的带宽。CaDAR融合了无线部分和光网络部分的时延感知,寻找最小时延的路径。

#### (6)能量感知的路由算法

随着无线通信业务的增加,绿色、环保、节能的通信技术越来越受到人们的重视。在HOWBAN中,节能也是一个重要的环节。针对低负载时,设备使用不充分的情况,能量感知的路由算法能量感知的路由算法(EARA)<sup>[12]</sup>被提出。EARA是一种基于链路状态的路由算法,能使未充分利用的ONU进入休眠状态,以减少网络耗能。

具体地,在选择路径的机制上,EARA以剩余容量为链路的权值。当数据通过某一链路后,该链路的权值为初始权值减去上一次消耗的容量。EARA优先选择剩余容量最小的路径传输。此外,为了兼顾时延因素,EARA引入了跳数补偿的机制,即实际的剩余容量会加上与链路跳数成正比的补偿项。值得注意的是,ONU从休眠状态转换为工作状态时需要额外的能量,因此频繁的状态转换可能使网络耗能增加。因此,保证足够的休眠时间和较低的状态转换率是EARA发挥节能作用的关键。

#### (7)流量限制路由算法

CaDAR同时考虑了链路容量和时延,具有较好的减少时延的性能。但是,可能出现某个链路被过分使用,其他链路闲置的情况。为了克服这个问题,文献[13]提出了适用于HOWBAN的流量限制的路由算法。该算法也具有链路状态广播LSA和以链路容量分配链路权值(LWA)的步骤,然后计算链路的流量限制。接着根据分配给路径的权值,计算较优的3条路径,选择最优的路径作为路由首要选择;如果最优路径流量超过了

流量限制,则选择备选路径。

由于流量限制的约束,流量限制路由算法(FLRA)能较好地平衡链路的负载,比CaDAR更充分地利用了带宽。但是文献[13]仅对单一频道节点的无线网络进行了研究,把FLRA拓展到拥有多频道节点的无线网络是极具价值的研究方向。

#### (8)时延区分路由算法

前文所述的路由算法都是以相同的方式处理各类业务的数据包,文献[14]提出了一种区分不同数据包的时延区分路由算法。主要思想是对传输时延要求的高低把数据包分为时延敏感(DTS-sensitive)和时延不敏感(DTS-insensitive)两大类,同时在网关路由处设置外部缓存器。对于时延敏感的数据包,如IPTV、VoIP等业务的数据,时延区分路由算法(DDRA)直接计算从源节点到网关的路径;对于时延不敏感的数据包,如邮件、文件上传等业务,DDRA先把数据包传输至缓存器,然后根据链路状态选择合适的时刻把数据传输至网关,进而通过PON到达互联网。

显然,这种增加外部缓存器的机制能够较好地减少时延敏感数据的时延,提高系统的QoS;但是增加了设备成本。此外,放置多少在何处放置缓存器是值得探讨的问题。

## 4 结束语

光无线混合宽带接入网(HOWBAN)是极具潜力的接入网方案,融合了光网络带宽宽、损耗低、抗电磁干扰与无线网络灵活、移动性强、便捷的优势,是下一代接入网的最佳结构之一。HOWBAN的后端PON部分,能够以较高的性价比提供长距离、宽带宽、健壮的传输服务;前端的WMN部分,使用户接入十分便捷,能节约光纤到户(FTTP)的成本。

随着信息技术和智能终端的高速发展,HOWBAN将面向多业务、多用户,具有较大的网络规模。因此,研究适于HOWBAN的高效、节能、可

靠的网络传输协议十分重要。目前, HOWBAN 后端无源光网络部分普遍采用多点控制协议, 能较好地控制 PON 中点对多点的传输。对于 HOWBAN 前端的无线网状网部分, 基于 WMN 路由机制的研究, 针对 HOWBAN 前端网络的特性, 有大量的路由算法被提出。但是, 针对 HOWBAN 网络传输协议、路由机制的研究还处于初始阶段, 还有许多问题值得深入研究, 下面简单提出几点研究方向:

#### (1) 提高 QoS

随着接入网规模的增大, 宽带业务数据量的增多, 要采取有效的路由机制以保证网络的 QoS。除了区分时延敏感与否的数据包外, 更多与 QoS 有关的指标需要被提出, 根据指标的不同采用不同的传输方式, 或许是提高大规模 HOWBAN 网络 QoS 的正确方向。

#### (2) 健壮性

与传统的接入网不同, HOWBAN 是具有光域和频域的网络。需要研究具有良好健壮性和自愈能力的传输机制, 使某一链路发生故障后, 能否迅速地做出反应, 选择正常的链路进行传输。此外, 随着网络规模的增大, 无线路由之间的距离也会增大, 一旦唯一的与 ONU 连接的链路被破坏, 很有可能该路由就无法连接至 OLT。保证网络传输的健壮性十分必要。

#### (3) 节约能源

当网络负载较少, MAC 层可以采用休眠机制, 使某些节点进入休眠状态, 以减少无线网络的能耗。此外, 制订合适的路由机制, 在满足时延要求和吞吐量的情况下, 尽量避免休眠节点, 使用激活状态的节点, 能够减少节点状态的转换次数, 达到节能的目的。

#### (4) 公平性

有效的传输机制需要协调好各个用户的服务质量, 尽量避免因为地理位置不同而导致不同的 QoS, 例如

距离 ONU/网关节点更近的用户享受比远离 ONU/网关节点的用户更好的服务。良好的服务公平性是 HOWBAN 能得到广大用户接受和支持的基础。

#### (5) 安全性

因为在无线网络中信息以无线电波的形式开放性地传输, 所以安全性一直是无线网络领域的热点问题。在 HOWBAN 中, 除了前端 WMN 需要考虑安全性问题外, 后端的 PON 由于下行方向采用广播的形式, 也需要注意安全性的问题。如何防止信息被窃取等信息安全问题, 极具研究前景。

#### (6) 多频道网络

此前的 HOWBAN 路由研究多集中在单一无线频道的网络。对于多频道的情况, 现有的路由机制能否适应、如何适应, 值得深入研究。此外, 认知无线电(CR)是当今无线通信领域的研究热点, 在 CR 中, 节点能够动态获取合适的频谱进行传输, 这样网络的频道也不再是唯一的了。我们期待在不久的将来 CR 能够和 HOWBAN 有机结合, 推出更高效、灵活的接入网方案。

## 5 参考文献

- [1] KAMINOW I P, LI T Y. Optical fiber telecommunications [M]. New York, NY USA: Academic Press, 2002: 17-56.
- [2] SARKAR S. Design and analysis of wireless-optical broadband access networks (WOBAN) [D]. Davis, CA, USA: University of California Davis, 2008.
- [3] KRAMER G. 基于以太网的无源光网络 [M]. 陈雪, 孙晓, 刘冬, 等译. 北京: 北京邮电大学出版社, 2007.
- [4] 马珊珊, 何荣希. 光无线混合宽带接入网的现状和发展 [J]. 光通信技术, 2010(11): 36-39.
- [5] 吴承治. 混合光无线宽带接入网技术探讨 [J]. 现代传输, 2010(1): 55-66.
- [6] SHAW W T, WONG S W, CHENG N, et al. Hybrid architecture and intergrated routing in a scalable optical-wireless access network [J]. IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, 2007, 25(11): 3443-3451.
- [7] 沈羽伦, 何岩, 杨柳. EPON 中的多点控制协议的研究 [J]. 光通信研究, 2003(6): 5-8.
- [8] SARKAR S, DIXIT S, MUKHERJEE B. Hybrid wireless-optical broadband-access network (WOBAN): A review of relevant challenges [J]. IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, 2007, 25(11): 3329-3340.
- [9] SARKAR S, YEN Hong Hsu, DIXIT S, et al.

DARA: Delay-aware routing algorithm in a hybrid wireless-optical broadband access network(WOBAN) [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC '07), Jun 24-28, 2007, Glasgow, UK. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: 2480-2484.

- [10] SARKAR S, YEN Hong Hsu, DIXIT S, et al. RADAR: Risk-and-delay aware routing algorithm in a hybrid wireless-optical broadband access network (WOBAN) [C]// Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC '07), Mar 25-29, 2007, Anaheim, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: 3p.
- [11] REAZ A, RAMAMURTHI V, SARKAR S, et al. CaDAR: An efficient routing algorithm for wireless-optical broadband access network [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC '08), May 19-23, 2008, Beijing, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 5191-5195.
- [12] CHOWDHURY P, TORNATORE M, SARKAR S, et al. Building a green wireless-optical broadband access network [J]. IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, 2010, 28(16): 2219-2229.
- [13] ZAHEER S A, TANWIR S, RAMZAN M, et al. Increasing the bandwidth utilization of a wireless optical broadband access network through efficient routing [C]//Proceedings of the International Symposium on High-Capacity Optical Networks and Enabling Technologies (HONET '10), Dec 19-21, 2010, Cairo, Egypt. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 269-273.
- [14] CHEN Xiuzhong, REAZ A, SHI L, et al. Delay-differentiated routing algorithm to enhance delay performance of WOBAN [C]// Proceedings of the 9th International Conference on Optical Internet(COIN '10), Jul 11-14, 2010, Jeju, Republic of Korea. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 3p.

收稿日期: 2012-07-02

## 作者简介



王新兵, 上海交通大学教授、博士生导师, 《Elesiver Journal of Computer Networks》、《Wiley Journal of Wireless Communications and Mobile Computing》等杂志编委; 主要从事无线网络容量和认知无线电的研究; 已承担基金项目 20 余项; 已发表论文 80 余篇, 申请专利 20 余项(授权 3 项)。



刘伟杰, 上海交通大学电子信息与电气工程学院信息工程本科在读; 主要研究方向为无线网络容量、认知无线电、无线网络路由机制、智能手机等。

# 面向2G/3G/4G/WLAN融合接入应用的光载无线分布式天线系统

## A Radio-Over-Fiber-Based Distributed Antenna System for 2G, 3G, 4G and WLAN Converged-Access Applications

中图分类号: TN92; TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2012) 05-0016-006

**摘要:** 文章认为满足2G/3G/4G/WLAN四网融合业务的多样性、多业务等级、高品质要求,需要建设能够实现宽带接入的光载无线分布式天线网络。为了实现低成本、高性能、多业务融合接入的光载无线(ROF)分布式天线网络,文章基于商用的千兆以太网光器件,设计了低成本、宽带的光收发模块;利用光损耗和受激布里渊散射(SBS)效应对链路传输性能的影响,基于激光器线宽展宽技术,抑制了受激布里渊散射效应;采用副载波复用技术,实现了点到点的多业务混合传输;采用粗波分复用技术,实现了点到多点的多业务分布式传输。

**关键词:** 四网融合;光载无线;光收发模块;光损耗;受激布里渊散射;副载波复用;粗波分复用

**Abstract:** To provide diversity and high quality for 2G, 3G, 4G and WLAN converged services, we propose radio-over-fiber-based distributed antenna network (ROF-DAS) for broadband access. We design and fabricate low-cost broadband ROF transceivers based on commercial off-the-shelf 10 GbE optical components. These transceivers are designed to provide low-cost, high performance ROF-DAS with converged multiservice access. In this paper, we characterize the effects of optical loss and Stimulated Brillouin Scattering (SBS) on transmission performance. We also describe a way of broadening the laser linewidth to suppress SBS. Subcarrier multiplexing is used to achieve point-to-point multi-service hybrid transmission, and coarse wavelength division multiplexing is used to realize point-to-multipoint multiservice distributed transmission.

**Keywords:** four networks convergence; radio-over-fiber; transceivers; optical loss; stimulated Brillouin scattering; subcarrier multiplexing; coarse wavelength division multiplexing

徐坤/XU Kun  
纪越峰/JI Yuefeng  
戴一堂/DAI Yitang  
(北京邮电大学,北京 100876)  
(Beijing University of Posts and  
Telecommunications, Beijing 100876, China)

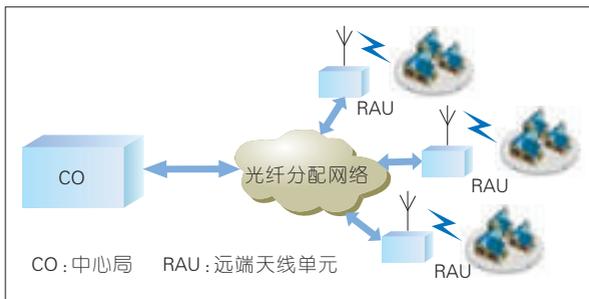
段。但是,WLAN的覆盖范围小,只能提供短距离(100 m左右)的覆盖。为了进一步提高数据的传输速率,实现信号的广域覆盖,提高通信的灵活性,运营商开始将目光转向4G。考虑到多种移动通信系统将长期并存,因此为了提供更具有针对性的服务,中国移动提出了“2G、3G、4G、WLAN”四网协同的发展战略<sup>[1]</sup>。四网业务的融合对接入网的带宽和性能有了更高的要求,传统的接入网已无法满足用户不断提高的带宽和性能需求。

微波光子学充分利用光子学宽带、高速、低功耗等优点来实现微波信号的产生、传输、处理和控制在为基础的微波光波融合系统充分发挥了无线灵活接入和光纤宽带传输的各自优势,可以实现单纯无线技术和光纤技术难以完成甚至无法完成的信息处理与传输组网功能<sup>[2-3]</sup>。由此可见,基于光载无线(ROF)系统的分布式天线网络将在2G/3G/4G/WLAN四网融合的接入中发挥极其

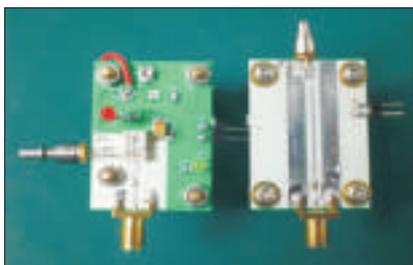
随着话音业务的成熟,对IP和高速数据业务的支持已经成为移动通信系统演进的方向,也成为第3

代移动通信系统的主要业务特征。然而,2G/3G网络对数据业务的支持有广域低速的特征,为了实现高速数据传输,无线移动通信技术与Internet技术相结合产生了无线局域网(WLAN)等无线接入技术,其应用已经成为高速数据业务的重要接入手

**基金项目:** 国家重点基础研究发展(“973”)规划(2012CB315706); 国家高技术研究发展(“863”)计划(2011AA010306); 国家自然科学基金(61120106001)



▲ 图1 光载无线分布式天线网络的一般结构图



▲ 图2 项目研制的收发器模块

重要的作用。

ROF 分布式天线网络的一般结构如图 1 所示。利用模拟直调光模块将射频信号调制到光载波上,经过光纤传输至远端天线单元,然后利用光/电转换和放大器放大后直接由远端天线单元的天线发射进行无线覆盖。该方式具有成本低廉、覆盖广泛以及控制灵活等特点,在矿井、隧道和铁路等工程领域,以及商场、机场和会议中心等公共热点区域都具有广泛的应用市场,一些厂家已开始进行了模块和系统的研制与推广应用。

然而,目前的光载无线分布式天线系统成本较高。成本主要取决于系统中使用的光收发模块。为了降低系统成本,我们基于商用的千兆以太网光组件,经过电路设计和改进实现了低成本、宽带的模拟光收发模块,为光载无线分布式天线网络的推广应用打下了基础。此外,光载无线(ROF)链路中存在很多噪声,光学损耗衰减了射频信号功率同时增加了噪声指数(NF)。为了提高系统的性能,研究光损耗对光载无线分布式天线网络的影响,具有十分重要的意义。同时,链路中的受激布里渊散射

也对传输性能产生不利影响,需要对其进行分析 and 抑制,以提高网络性能。针对点到点的多业务融合接入及分布式传输需求,本文提出了面向 2G/3G/4G/WLAN 四网融合接入应用的副载波复用和波分复用(SCM-WDM)结合技术。

## 1 低成本、宽带的光收发模块研制

随着无线业务不断增加的需求,下一代的 ROF 应用需要支持更高的工作频率和更大的带宽。同时,ROF 系统中,光收发模块成本较高,是大规模应用的主要限制因素<sup>[4]</sup>;另一方面,随着千兆以太网(GbE)技术的发展,商用千兆以太网光器件的调制带宽高达 8 GHz,为低成本 ROF 的传输带来了新的机遇。因此,采取商用千兆以太网光器件来设计低成本、宽带的光收发模块将是一个非常重要的工作。本文提出了一种基于商用千兆以太网光器件的低成本、宽带 ROF 收发模块。

收发模块主要由光学组件,射频放大和偏置控制电路组成。发送端光学子组件(TOSA)是针对 10 Gb/s 应用、波长为 1 310 nm、斜率效率为 0.04 W/A 的分布反馈式(DFB)激光器。接收端光学子组件(ROSA)是针对 10 Gb/s 应用、响应度为 0.85 A/W 的光电探测器(PIN)。为了简化设计,设计使用激光器驱动集成电路来提供偏置电流进行自动功率控制(APC)。为了提高收发器的线性度,移去商用 ROSA 中线性度较差的转阻放大器(TIA),并使用了 100 Ω 的高精度电阻 R<sub>d</sub> 将电流信号转换成电压信号。

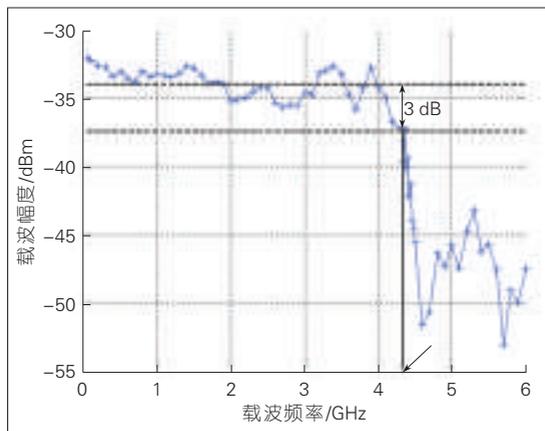
匹配激光器和驱动器是大带宽、低损耗模拟光发送

模块设计中巨大的挑战。为了达到宽带和易于实现的目的,在 TOSA 中采用了 25 Ω 的传输线系统以匹配激光器和驱动器。首先,切比雪夫多节传输线用于在频率 0.3 GHz ~ 4.3 GHz 范围内,将 50 Ω 系统匹配到 25 Ω 子系统。然后串联一个 20 Ω 的电阻作为匹配电阻连接到激光器以吸收反射的能量。以这种方式,能够很容易地实现匹配网络,同时很大程度地提高调制效率。此外,在接收端的光学子组件中,采用 100 Ω 的传输线系统以匹配探测器和放大器。探测之后,将 100 Ω 的子系统匹配到 50 Ω,并使用宽带的低噪放大器(LNA)放大探测的射频信号。项目研制的收发器模块如图 2 所示。

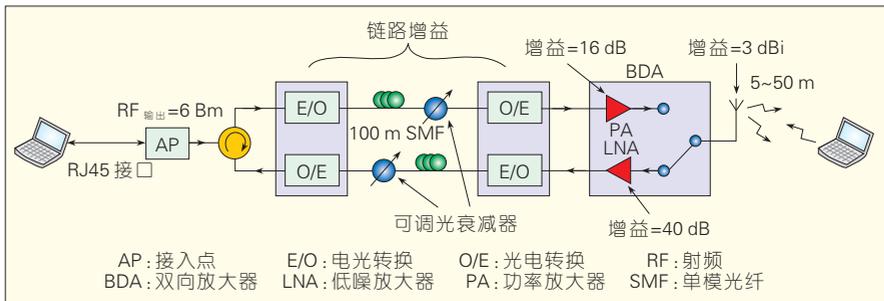
测得光收发模块的频率响应如图 3 所示。端到端的 ROF 链路增益是 -34 dB, 3 dB 带宽是 4.3 GHz,能够满足面向 2G/3G/4G/WLAN 四网融合接入应用的光载无线分布式天线网络需求。

## 2 光损耗对传输性能影响的分析

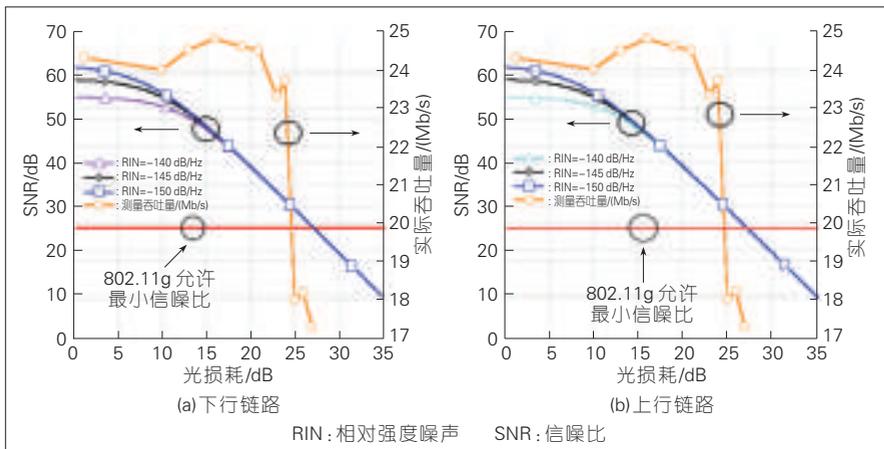
ROF 系统与分布式天线网络(DAS)的结合,可以扩大覆盖面积,提高系统容量,应用于多种场所,如机场、商场、智能楼宇等。这种方法可以大大减少远端天线单元的复杂性,并实现系统的集中式管理。然而,ROF 链路中存在很多噪声,光学损耗



▲ 图3 光收发模块的频率响应



▲图4 研究光损耗对光载Wi-Fi信号影响的系统图



▲图5 仿真信噪比和实际吞吐量与光损耗的关系

衰减了射频信号功率同时增加了噪声指数(NF),使得信号被噪声淹没。

光载无线系统中的光损耗主要来自网络中的光学器件。在使用波分复用(WDM)技术的光载无线分布式天线网络的星型拓扑结构中,阵列波导光栅(AWG)具有很大的插入损耗<sup>[5]</sup>。在其他的总线型或树型结构中,光耦合器和光分插复用器(OADM)也将引入大量的光损耗<sup>[6]</sup>。如果拓扑结构较为复杂,且没有采用光放大器,光纤传输的信号将被衰减到一个较低的水平,被光纤链路中的噪声淹没。因此,研究光损耗对光载无线分布式天线网络传输性能的影响,具有重要的意义。本文研究了光损耗对光载无线分布式天线网络传输的Wi-Fi信号的影响,系统结构如图4所示。

项目使用改造的WLAN接入点(AP)设备作为Wi-Fi信号源。从AP产生的射频信号经光收发模块调制

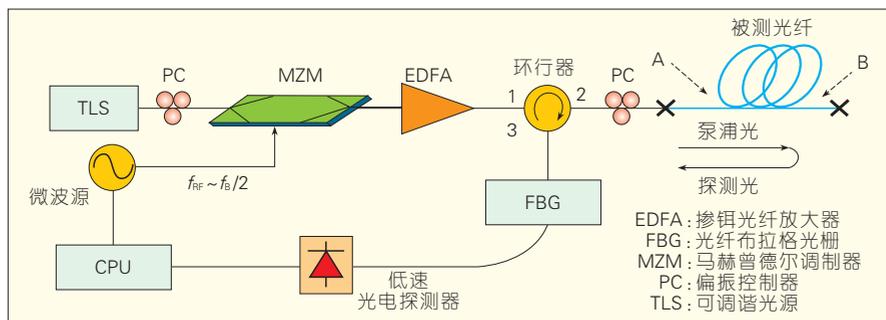
到光载波,在单模光纤(SMF)中传输100 m后,在远端经光收发模块转换为电信号,经功率放大器(PA)放大后,从天线辐射出去。对于上行链路,因为接收信号太弱,先由40 dB增益的低噪声放大器(LNA)放大,然后调制到光载波上并被传送到AP端。为了补偿光电和电光转换的损耗,光收发模块中的功率放大器增益设置为27 dB,从而使得光链路的整体增益为0 dB。基于此系统,项目研究了上、下行链路的光损耗容限。

上行、下行链路中仿真信噪比和实际吞吐量与光损耗的关系如图5所示。测量结果表明,下行链路的光损耗容限可以达到20 dB以上。此外,当光损耗超过23 dB时,测得的吞吐量将迅速下降5 Mb/s,这是由触发开关引起的。因为射频功率太低,无法触发射频开关,所以下行链路的光损耗容限要高于测量结果。此外还测量了上行链路的光损耗容限,当光损耗低于25 dB时,数据的吞吐量保持在24 Mb/s附近,而随着光损耗的增加,吞吐量跳变到18 Mb/s。实验结果符合ROF系统中理论仿真的27 dB光损耗容限。

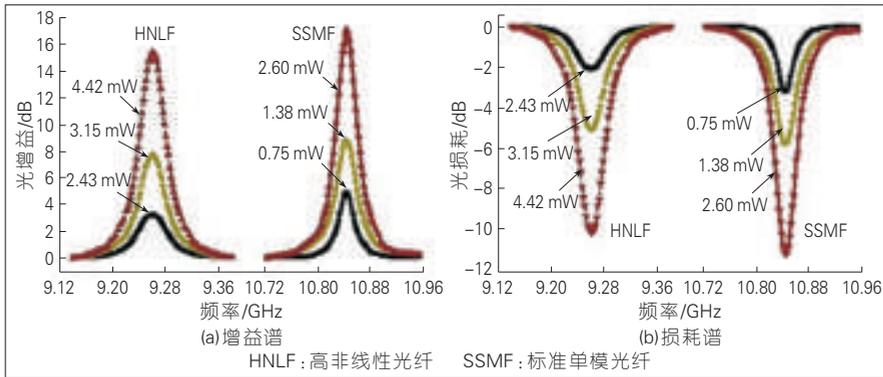
### 3 受激布里渊散射对传输性能影响的分析和抑制

光纤中受激布里渊散射(SBS)效应所带来的负面影响限制了光纤输入端口所能够容忍的最大输入光功率,当输入光功率超过SBS阈值一定程度时,就会产生功率饱和效应,导致接收端口难以获取相应的光功率,并且受激布里渊散射会导致接收信号的噪声急剧增大,导致链路性能的恶化<sup>[7]</sup>。

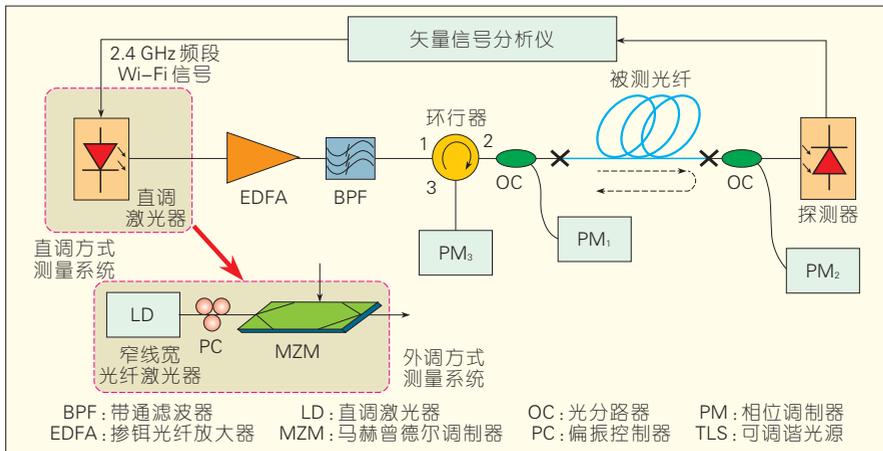
本文提出了一种基于菲涅尔反射和抑制载波调制的SBS增益谱/损耗谱的测量方法<sup>[8]</sup>,具有高精度、单端测量等优点,结构如图6所示。可调谐光源(TLS)产生线宽低于300 kHz的直流光,微波源产生频率可控的微波,并以载波抑制(OCS)的方式调制到光载波上。通过控制微波的频率可以得到频率间隔可调的双边带信



▲图6 基于菲涅尔反射的SBS增益谱/损耗谱测量结构图



▲图7 不同泵浦功率下的20 km SSMF和2.7 km HNLF的增益谱、损耗谱



▲图8 直调和外调方式激光器线宽对于SBS阈值影响的测试结构图

号,经放大后,进入到被测光纤。由于光纤端面会产生菲涅尔反射现象,反射光将背向进入到被测光纤。这两部分光在被测光纤中逆向传输,当双边带的频率间隔正好等于被测光纤的布里渊频移,并且前向泵浦功率高于SBS阈值的时候,就会出现SBS效应。泵浦光的上边带对探测光的下边带有放大作用,而泵浦光的下边带对探测光的上边带有衰减作用。因此只要通过调节微波源频率,并且分别检测上下边带的光功率,就可以很容易的得到SBS的增益谱和损耗谱。

用这种测量方法,分别得到了20 km标准单模光纤(SSMF)和2.7 km高非线性光纤(HNLF)中SBS效应的增益谱和损耗谱,如图7所示。图7(a)给出了TLS波长为1552.84 nm时的SBS增益谱,从谱线形状来看,实验

结果很好的吻合了理论上的洛仑兹线型,并且不同泵浦功率对应的布里渊增益系数峰值也不同。同样,当TLS波长调到1552.71 nm的时候,可以测得如图7(b)所示的SBS损耗谱,并且布里渊损耗系数峰值也会随着泵浦功率的增加而增加。

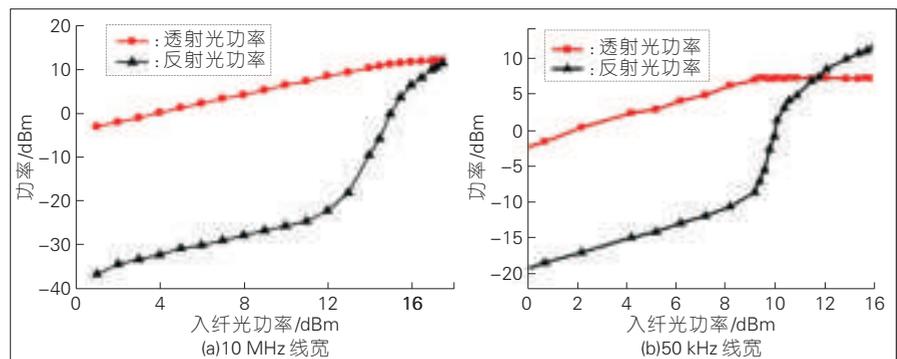
目前抑制SBS效应的方法主要有增加激光器线宽。为了研究激光器

线宽对SBS阈值的影响,实验测试了Wi-Fi信号在链路中传输时链路中光功率的监测情况,测试结构图如图8所示。矢量信号分析仪产生IEEE 802.11g标准信号,调制到光载波上传输,掺铒光纤放大器(EDFA)用来调节入纤光功率。光信号经过环行器和耦合器进入被测光纤中传输,被探测器接收恢复出电信号。实验中直调激光器的线宽约为10 MHz,而窄线宽光纤激光器的线宽约为50 kHz。实验中测试了链路各监测点光功率的变化情况,在环行器后用PM1来监测入纤光功率,经过被测光纤后用PM2监测透射光功率,利用PM3监测光纤背向散射光的光功率。

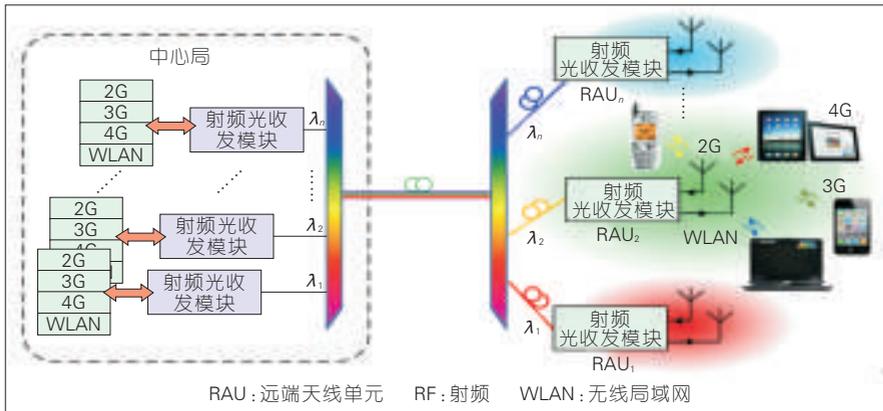
测试结果如图9所示,其中,图9(a)和图9(b)分别对应于激光器线宽为10 MHz的直接调制和50 kHz的外调制。由图9(a)可以看出,当入纤光功率低于13.5 dBm的时候,光纤反射光功率和透射光功率缓慢增加,当入纤光功率高于13.5 dBm的时候,其中反射光功率发生急剧变化,快速增加,并且在17.5 dBm的时候与透射光功率均等,可以看出单模光纤的SBS阈值约为13.5 dBm。由图9(b)可以看出,激光器线宽为50 kHz条件下,SBS阈值在9.5 dBm附近,比10 MHz线宽时降低了4 dB左右。

#### 4 2G/3G/4G/WLAN多业务、分布式传输的SCM-CWDM技术

随着中国移动推出四网协同的



▲图9 透射和反射光功率变化图



▲图10 基于SCM-CWDM技术的多制式无线业务传输的ROF-DAS

发展战略,无线业务应用正趋于多样化。2G网络继续向低端用户提供移动语音业务,3G网络在全球范围内正得到大规模部署,同时能够支持更高无线接入速率的4G网络也在逐渐铺开。此外,WLAN作为低成本高效率的流量承载解决方案,正进入快速发展的时期。通过不同的网络向多个基站配置多制式的无线业务,将导致大量的资本输出(CAPEX)和运营支出(OPEX)。针对这一问题,光载无线分布式天线系统是最有吸引力的解决方案<sup>[9]</sup>。前面已经介绍了实现低成本、高性能的光载无线分布式天线网络的关键技术,为了面向2G/3G/4G/WLAN四网融合接入应用,项目采用副载波复用(SCM)和波分复用(WDM)技术的结合<sup>[10]</sup>,充分利用了光纤的宽带特性。

副载波复用系统,在发送端将各路待传递的信息分别调制在不同的射频(即副载波)上,然后将各个带有信号的副载波合起来,调制一个光载波;在接收端,经光电检测得到全部的副载波,然后用电学的方法将各路副载波分开。

SCM技术非常容易实现宽带传输,它可以同时传输低速、高速数据以及模拟视频信号。SCM光纤通信技术容易实现,价格低廉,可与现有的各种通信网兼容,且容易实现宽带及插入业务方便,是实现多业务融合接入的理想选择。然而,SCM技术仍

然局限于点到点的传输,不能够满足在复杂结构下的低成本组网需求。正因如此,本文提出了一种副载波复用结合粗波分复用方式的多业务、分布式传输系统,系统结构如图10所示。

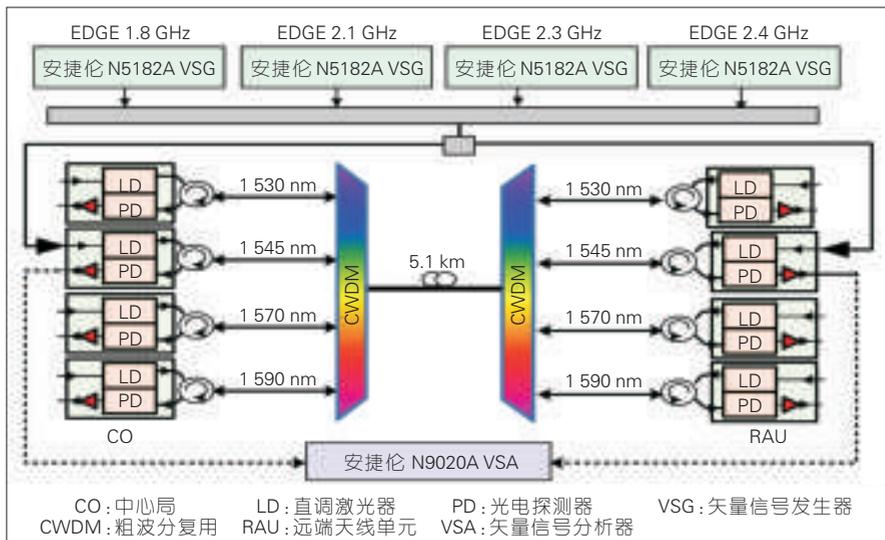
该系统主要由星型网络拓扑结构组成,中心局(CO)通过WDM设备连接到多个远端天线单元(RAU)。对于一个远端天线单元,使用SCM技术,每个波长承载多制式的无线业务,如2G/3G/4G/WLAN。在中心局,多制式的无线业务通过低成本直调的光收发模块调制到光载波上,然后粗波分复用器(CWDM)将各路信号复用到一根标准单模光纤(SMF)中传输。在远端天线单元(RAU),多路信

号经解复用器后分配到光收发模块转换成射频信号,再经过电放大器放大后由天线发射。同样,上行信号被天线接收后注入到光收发模块,并由粗波分复用(CWDM)进入光纤,回传到中心控制局,控制局内光收发模块实现光/电转换,得到射频信号再进行后续处理。

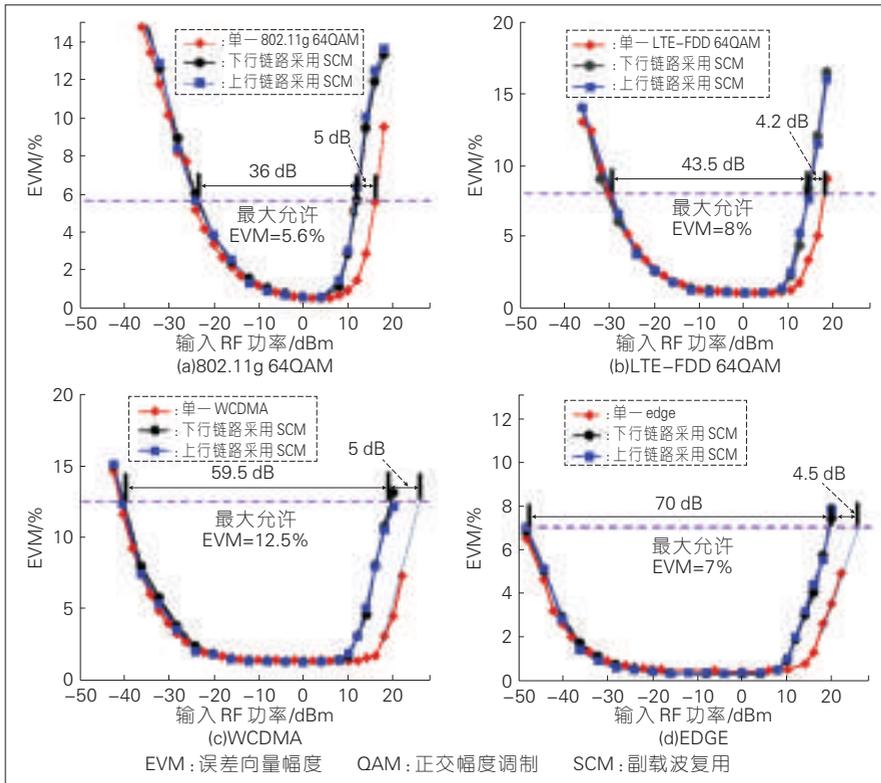
基于SCM-WDM的光载无线分布式天线网络,通过WDM技术,将大量的远端天线单元连接到中心局,增加了网络的覆盖范围,而且很大程度降低了无线接入网的成本。

为了评估SCM-WDM系统的传输性能,项目建立了基于四信道的CWDM结构和四制式的无线业务副载波复用的ROF-DAS系统,系统结构如图11所示。四种信号分别是1.8 GHz的EDGE-8PSK信号、2.1 GHz的WCDMA-QPSK信号、2.3 GHz的LTE-FDD 64QAM信号和2.412 GHz的WLAN 802.11g 64QAM信号。

图12给出了测得的每种业务传输的误差向量幅度(EVM)值,包括使用SCM技术和未使用SCM技术的情况。由图12可以看出,上、下行链路的性能之间没有明显差别,同时四种业务的EVM曲线是相似的。在射频输入功率较低时,随着功率的增加,EVM性能得到提高,当功率增加到一



▲图11 基于SCM-CWDM技术的ROF-DAS性能测试原理图



▲图 12 实验测得的 EVM 值

定值是,由于非线性的引入,EVM性能将会随着功率的增加而恶化。在 4 dBm 的输入功率,802.11g 64QAM、LTE-FDD 64QAM、WCDMA 和 EDGE 实现了最好的 EVM 值,分别是 0.75%、0.9%、1.1%和 0.5%,符合无线标准的相关规定。表明基于 SCM-WDM 技术的光载无线分布式天线网络能够实现多制式无线业务上下行链路的高性能传输。

## 5 结束语

本文主要介绍了低成本、高性能、宽带光载无线系统的几项关键技术:低成本、宽带的光收发模块电路设计与研制,链路中光损耗和受激布里渊散射效应对信号传输性能的分析。针对面向 2G/3G/4G/WLAN 四网融合接入的应用需求,本文提出了副载波复用结合波分复用的技术,实现了多制式无线业务点到多点的分布式混合传输。为光载无线分布式天线系统的广泛应用提供了有力的支

撑和推动。

## 6 参考文献

- [1] 王少波,冯传奋,付宏志,等. GSM/TD 与 WLAN 网络深度融合方案研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2011(2):32-35.
- [2] SEEDS A J, WILLIAMS K J. Microwave Photonics [J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(12): 4628-4641.
- [3] TAVIK G C, HILTERBRICK C L, EVINS J B, et al. The advanced multifunction RF concept [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005,53(3-2): 1009-1020.
- [4] SAUER M, KOBAYAKOV A. Low-cost radio-over-fiber links [C]//Proceedings of the 20th Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-optics Society (LEOS '07), Oct 21-25, 2007, Lake Buena Vista, FL, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007:333-334.
- [5] SUN Xiaoqiang, XU Kun, SHEN Xi, et al. New hierarchical architecture for ubiquitous wireless sensing and access with improved coverage using CWDM-ROF links [J]. IEEE/O SA Journal Optical Communications Networking, 2011,3(10): 790-796.
- [6] ZHANG Xiupu, LIU Baozhu, YAO Jianping, et al. A novel millimeter-wave-band radio-over-fiber system with dense wavelength-division multiplexing bus architecture [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, 54(8): 929-937.
- [7] LE BRAS H, MOIGNARD M, CHARBONNIER B. Brillouin scattering in radio over fiber

transmission [C]//Proceedings of the Optical Fiber Communication Conference & Exposition Optical Fiber Communication Conference (OFC '07), Mar 25-29, 2007, Anaheim, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007:3p.

- [8] SUN Xiaoqiang, XU Kun, PEI Yinqing, et al. Characterization of SBS gain and loss spectra using Fresnel reflections and interaction of two sidebands [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] ATTAR A, LI H, LEUNG V C M. Applications of fiber-connected distributed antenna systems in broadband wireless access [C]// Proceedings of the International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC '12), Jan 30- Feb 2, 2012, Maui, HI, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2012:623-627.
- [10] MORANT M, QUINLAN T, LLORENTE R, et al. Full standard triple-play bi-directional and full-duplex CWDM transmission in passive 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, 2011:3p.

收稿日期:2012-07-05

## 作者简介



徐坤,北京邮电大学教授、博士生导师,信息光子学与光通信国家重点实验室副主任,IEEE 光纤无线融合技术分委员会、亚太微波光子学会技术委员会委员;研究方向为微波光子信号处理技术及其应用以及基于光载无线系统(ROF)的分布式天线网络;已承担或参与基金项目 15 项,其中主持 6 项。



纪越峰,北京邮电大学教授、博士生导师,国家“973”计划项目首席科学家,国家“863”计划项目首席专家,北京邮电大学信息光子学与光通信研究院执行院长,国家重点实验室常务副主任,电子信息国家级实验教学示范中心(建设单位)主任,国务院学位委员会学科评议组成员,中国通信学会会士;研究方向为宽带网络与光波通信;研究成果先后获得国家技术发明奖二等奖、国家科技进步奖二等奖、国家级教学成果奖二等奖。



戴一堂,北京邮电大学副教授、硕士生导师;从事高速光通信和器件、微波光子技术、光信息处理和超快光学等方面的研究;已发表文章、报告 80 余篇。

# 基于光纤无线融合的射频无源光网络

## Converged Fiber-Wireless Radio Passive Optical Network Technologies

中图分类号: TN92; TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2012) 05-0022-005

**摘要:** 文章认为为了实现更大的光接入网容量,并能更好地完成多业务的承载与融合,亟待发展下一代光接入网技术。文章提出了基于光纤无线融合的射频无源光网络(RPON),其不仅具有现有无源光网络系统低成本和易管控的特点,还具备光载射频系统灵活度高和移动性好的优势。该系统通过光生毫米波和波分复用的方式,实现了1 Gb/s多媒体业务的单纤上下行传输,达到了10 km光纤和5 m无线的接入距离,能够满足低成本化推广应用要求。

**关键词:** 光生毫米波;波分复用;多点控制协议;无源光网络

**Abstract:** To increase the capacity of the access network and converge services, next-generation optical access network technologies are highly desirable. In this paper, we propose converged fiber-wireless radio passive optical (RPON) architecture. This incorporates the low-cost and easy-control of PON and the high flexibility, good mobility of radio over fiber. With millimeter-wave optical generator and wavelength division multiplexing, our RPON system is capable of transmitting 1 Gbit/s wireless signals over 10 km single mode fiber and 5 m air distance in both the upstream and downstream. Our proposed system can be applied at low cost.

**Keywords:** millimeter wave optical generator; wavelength division multiplexing; multi-point control protocol; passive optical network

刘德明/LIU Deming  
邓磊/DENG Lei

(华中科技大学,湖北 武汉 430074)  
(Huazhong University of Science and  
Technology, Wuhan 430074, China)

术低成本、易管控和光载射频技术灵活度高、移动性好等优势,创新地提出了适合楼内/室内应用的基于光纤无线融合的射频无源光网络(RPON)。该系统通过光生毫米波和波分复用的方式,通过对多个远端无线终端实行时分复用的动态时隙和带宽分配方式实现了每个光无线单元支持8个远端无线终端的业务并发。该系统能够支持高清电视、交互式多媒体游戏等射频新业务应用,并带有QoS管理、OAM管理和设备管理系统(EMS)功能,能够满足未来“宽带中国”的技术需求。

### 1 基于光纤无线融合的无源光网络架构

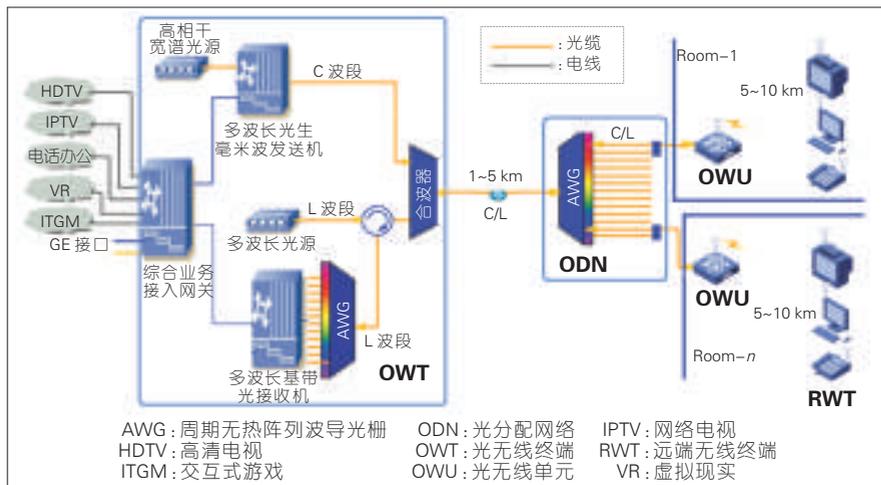
RPON系统旨在利用无源光网络承载毫米波无线通信信号,融合接入宽带移动视频、数据和语音业务。RPON系统网络架构上保留WDM-PON原有拓扑结构作为前段网络,并通过无线接入技术解决最后5~10 m移动接入,其网络架构具备灵活的全业务接入能力。RPON系统总体架构如图1所示,其主要由局端的光无线终端(OWT)、用户端的光无线单元(OWU)和远端无线终端(RWT)以及光分配网络(ODN)组成。RPON系统使用频分的方式实现单向多播数

随着高清电视、立体电视、交互式多媒体游戏、虚拟现实以及远程办公等网络需求的增长,全球网络流量保持着爆炸性的增长速度<sup>[1-2]</sup>。据美国思科公司统计,2009年产生的多媒体网络流量相当于时长约5万年的DVD质量的视频,而2012年这一数据将达到2009年的5倍。这些数据都明确表明,多媒体接入网络扩容已经迫在眉睫。近年来,多媒体接入网络建设在世界各国的发展势头迅猛,美国、欧盟和日韩都已经提出了自己的宽带计划,中国工信部出台了“宽带中国”战略。

现有的多媒体业务接入技术主要分为无源光网络接入网络<sup>[3]</sup>和光载射频接入网络<sup>[4-5]</sup>,其中,无源光网络技术有着较好的服务质量(QoS)性能,但灵活性、移动性较差,无法满足用户端多样化的需求,而且光缆资源十分有限,增大覆盖范围的成本较高;光载射频接入技术虽然有着较好的灵活度和移动性,但其QoS性能较差,缺少成熟的操作、管理和维护(OAM),无法满足“宽带中国”计划对光接入网容量、多业务承载和融合及可信通信的高要求,故亟待发展能够满足宽带多媒体业务接入需求的下一代接入网技术。

本文针对动态灵活的宽带多媒体业务接入需求,融合无源光网络技

基金项目:国家高技术研究发展(“863”)计划(2009AA01A347)



▲ 图1 基于光纤无线融合的射频无源光网络架构

据业务(如数字电视、立体电视等)和双向多媒体数据业务的合并传输。OWT主要由综合业务接入网关和光生毫米波发射机组成,其中,综合业务接入网关采用频分复用的方式将各多播业务的流媒体数据包合并成光生毫米波发射机可接受的数据流;同时接收由RWT发送的上行数据信号并进行解调。而光生毫米波发射机主要负责光载毫米波信号的产生。OWU则负责下行光载毫米波信号的无线发射,同时还将在上行用户数据注入电-光转换模块并经ODN上传到OWT。而RWT负责接收下行毫米波信号并下变频后发送给用户,同时接收用户的上行业务数据并发送至OWU。

RPON系统中无线接入信号下行波载波频率为60 GHz,上行载波频率为2.4 GHz;分别使用C/L波段承载下/上行光波,并利用周期无热阵列波导光栅(AWG)实现双向波分复用。

C波段下行信号的通道间隔为50 GHz,其中奇数通道承载宽带综合业务调制信号,偶数通道为闲频光,作为拍频光生毫米波之用;奇/偶两组波长光利用高相干宽谱光源进行光谱分割得到。

上行信号采用对应C波段奇数通道的L波段通道,间隔100 GHz;上行信号由局端多波长光源供光并在

OWU进行远程光调制后回传,具有“无色”特性。OWU采用低成本低功耗设计方案,其中C波段光纤下行奇/偶通道两两分波由行波光电探测器转换为60 GHz的毫米波信号并由天线发送;天线接收上行2.4 GHz射频信号并调制驱动局端L波段供光产生上行光信号,经由光纤回传。需要强调的是,在上行方向(从RWT到OWT),各OWU通过波分复用方式共享光纤媒质,RWT通过OWU向OWT发送带宽分配请求信令,在得到OWT分配的上行时隙之后,RWT将承载业务的射频信号发送至OWU,OWU将光载射频信号经ODN发送到OWT完成上行传输。在该系统中,局端OWT下行数据速率能达到1 Gb/s,OWU上行数据速率1 Gb/s,能够支持业务类型包括语音、网络电视(IPTV)、高清电视、立体电视、交互式多媒体游戏、虚拟现实以及远程办公等等,接入业务并发数大于8个,并具备可扩展性,同时OWT还支持GE接口,并支持

OAM和EMS,故整个RPON网络可管可控。

## 2 RPON系统关键技术

### 2.1 光生毫米波技术

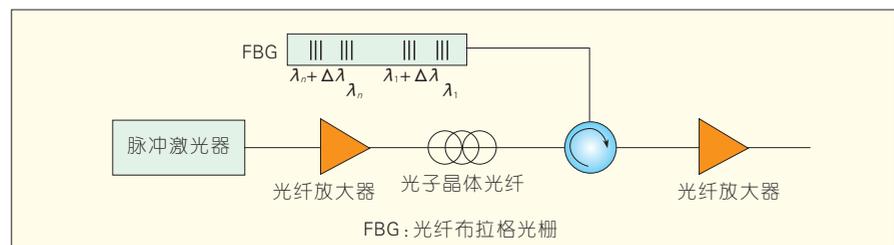
现有的光生毫米波技术有如下几种方案<sup>[6-10]</sup>:利用光纤或器件的非线性效应实现光生毫米波,采用激光器直接调制方式实现光生毫米波,双波长光外差方式实现光生毫米波,基于外部调制器实现光生毫米波。但这些方案中数据和高频率载波混频的效率都很低。

为了解决这些问题并结合本系统的特点,本文提出并实现了两种光生毫米波技术:

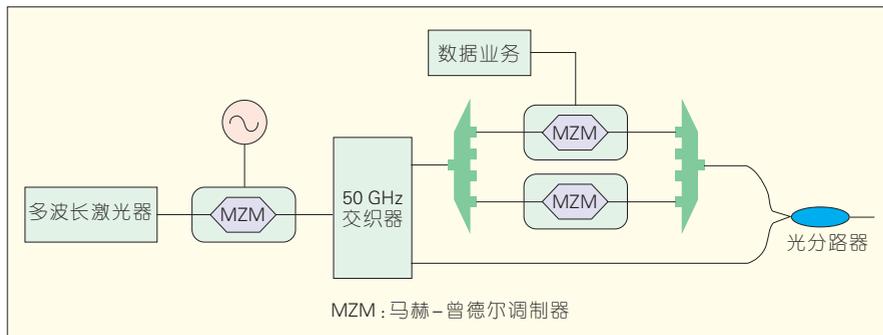
#### 2.1.1 基于多波长高相干光源的光生毫米波技术

如图2所示,此方案采用10 GHz脉冲激光做种子光源,利用高非线性光子晶体光纤的非线性效应产生超连续谱激光,使用 $N$ 对中心波长分别为 $\{\lambda_i, \lambda_i + \Delta\lambda\}$ 的光纤布拉格光栅(FBG)做光谱分割,得到 $N$ 对间隔为 $\Delta\lambda$ 的光边带序列。选出的光毫米波双边带序列通过解复用器分成 $N$ 个信道,可分别加载各个通道所承载的多媒体业务。其中,间隔为100 GHz的奇数波长经阵列波导光栅分离后,加载业务;而偶数波长光源作为闲频光,与加载了信息的奇数波长耦合后入纤传输。此方案主要有以下几个特点:

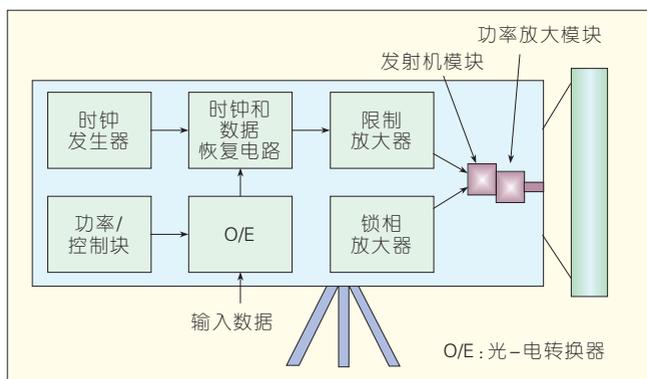
(1)超连续谱的宽度横跨C与L波段,且在带宽达到标准时,光谱的平坦度仍能保持。虽然产生的超连续



▲ 图2 基于多波长高相干光源的光生毫米波技术



▲图3 基于OCS的光生毫米波技术



▲图4 毫米波宽带发射机的结构图

谱信号功率较低,但本方案使用了大功率的C+L波段掺饵光纤放大器,放大后仍可以保持良好的相干性。

(2)本方案采用L波段光源作为上行载波,从而避免了光纤端面反射以及受激布里渊散射的影响。

(3)由于本方案采用高相干性双载波承载毫米波,可最大限度的抑制链路中色散以及非线性效应的影响。此外,本方案采用偏振控制技术保持了双载波间的相干性,从而减小了拍频后所产生的相位噪声。

### 2.1.2 基于光载波抑制的光生毫米波技术

此方案中光源采用 $N$ 路100 GHz间隔多波长激光器,利用30 GHz射频源驱动处于半波电压偏置点的马赫-曾德尔调制器(MZM)产生60 GHz间隔的载波抑制信号,并采用交织器进行奇、偶边带分离,同时进一步抑制光载波。然后在偶边带上调制各个波长所承载的多媒体业务。基于光载波抑制(OCS)的光生毫米波技术示意

图如图3所示。

与基于多波长高相干光源的光生毫米波技术的方案相比,本方案技术更为成熟,系统稳定性高。但还是存在一些缺点:

(1)此方案采用多波长激光器作光源,成本较高。

(2)通过一个调制器的光载波抑制效应实现毫米波的产生,相对于多个法布里-珀罗(FP)腔滤波器,方法更为简单,技术更为成熟,性能更为稳定。但此方案使用了25 GHz的射频源,而且成本较高,体积偏大,不利于集成。

(3)采用的光载波抑制技术,在获得正负一阶边带的同时,必然激发出2阶以及高阶边带,这会使得毫米波间有一定互扰。

## 2.2 光纤远端射频光收发技术

### 2.2.1 毫米波无线链路-发射机系统

OWT内的无线链路发射机由射频块、基带块、功率/控制块和天线构

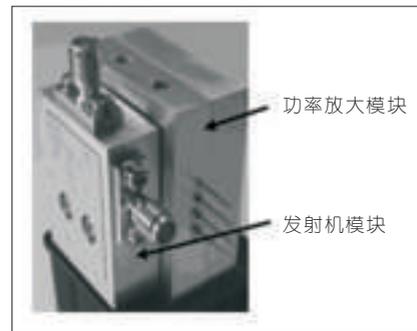
成。其中射频块由发射机模块、功率放大器模块和锁相振荡器(PLO)构成。结构如图4和图5所示。发射机模块使用了 $0.1\ \mu\text{m}$ 门电路磷化铟(InP)单片微波集成电路(MMIC),它包括倍频器、振幅偏移键控模块和放大器。由PLO产生的15.625 GHz信号在MMIC中经3级倍频得到125 GHz。我们利用功率放大(PA)模块将发射机的输出功率增加到10 mw。PA MMIC在125 GHz处具有10 dB左右的增益。两个MMIC都被集成到波导模块包上。

基带块由光-电转换器(O/E)、时钟和数据恢复(CDR)电路、时钟发生器和限制放大器构成。从光纤进入的数据通过O/E转换器被转化成电信号,然后进入CDR电路和限制放大器。时钟发生器产生4种频率作为CDR电路的参考时钟。在发射机和接收机中,功率/控制块将外部直流电转化为可用于元件的电压,同时它可以监控系统参数,例如电压、电流、温度和湿度。

### 2.2.2 毫米波无线链路-接收机系统

OWT内低成本接收机结构如图6所示,接收机中,射频块由MMIC接收机模块构成,接收机模块包括低噪声放大器(LNA)和解调器。接收机MMIC集成到一个波导模块包上。经过受限放大器的解调信号进入CDR电路和电-光转换器(E/O),最后输出到外部光纤中。

自动增益控制(AGC)电路用于监控解调信号和控制低噪声放大器的



▲图5 毫米波宽带波导发射模块

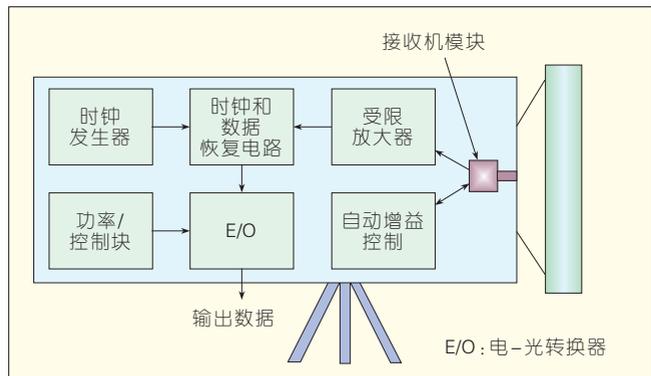


图6 60 GHz 带宽接收机的结构图

门电压,这样额外的功率就无法进入放大器从而避免了超载。

### 3 RPON 系统的网络控制与管理维护

RPON 系统的协议分层以及与 ISO/IEC OSI 参考模型之间的关系如图 7 所示。RPON 系统中的 OWU 不具备网络层处理功能,其只需在物理层完成光-电-光的转换与传送,这也使得 RPON 的协议控制更加灵活与便捷。在 RPON 系统中 OWT 和 OWU 为波分复用方式的点到点连接,故每个波长对应一个 OWU,同时每个 OWU 可以通过无线连接多个 RWT。具体的控制方式与 EPON 的多点控制协议 (MPCP) 类似<sup>[11]</sup>,即 OWT 内部运行着多个 MAC 客户端及多点 MAC 控制程序,系统中每个 RWT 通过 OWU 向 OWT 发送带宽分配请求信令,在得到 OWT 分配的上行时隙之后,RWT 将承载业务的射频信号发送至 OWU,这样就能够实现每个 OWU 支持多达 8 个 RWT 的业务并发,并能对所有 RWT 实行时分复用的动态带宽分配策略,根据 RWT 的流量配置合理分配上行时隙和带宽。

本文所提出的 RPON 系统能够承载网络电视 (IPTV) 直播、视频点播 (VoD) 交互、宽带上网等各项业务。IPTV 直播业务是对原来有线网络广播业务的替换,首先要保证该业务的优先级;VoD 等流媒体业务实时性要求较高,因此该类业务具有较高的优先级;宽带上网等非实时性业务的优先级最低。各类业务 QoS 优先级顺序如下: IPTV 组播 > VoD 单播 > 宽带上网。本 RPON 系统还支持标准的 802.1p 以及服务类型 (ToS) 方式的 QoS 技术。

此外,该系统还采用了专用 IPTV 组播通道技术、组播虚拟局域网

(VLAN) 技术、基于业务类型感知的优先级映射技术和 VoD 带宽预警技术以保证各项业务对应的 QoS 需求。同时,该系统支持符合 IEEE802.3-2005 中 Clause57 规定的 OAM 功能,并支持 IEEE802.3-2005 中 Clause30 规定的管理对象、属性和操作。根据运维网管的需求而言,此 RPON 系统需要进行统一网管。对该系统的管理需要在 OWT 上实现简单网络管理协议 (SNMP) 代理,OWT 的 SNMP 代理管理 RWT。因为综合接入点网关上可以配置 IP 地址,可以在综合接入点网关上实现 SNMP 代理,后台网管可以直接跟综合接入点网关的 SNMP 代理进行消息交互来配置管理整个系统。

### 4 结束语

目前通信系统的发展趋势必然是宽带化、光纤化和无线化,针对这些需求,本文提出了一种能够有效利用成本、切实可行的方法,即融合无源光网络系统和光载无线系统的技术优势,并利用光生毫米波和波分复用的方式,实现 1 Gb/s 多媒体业务的

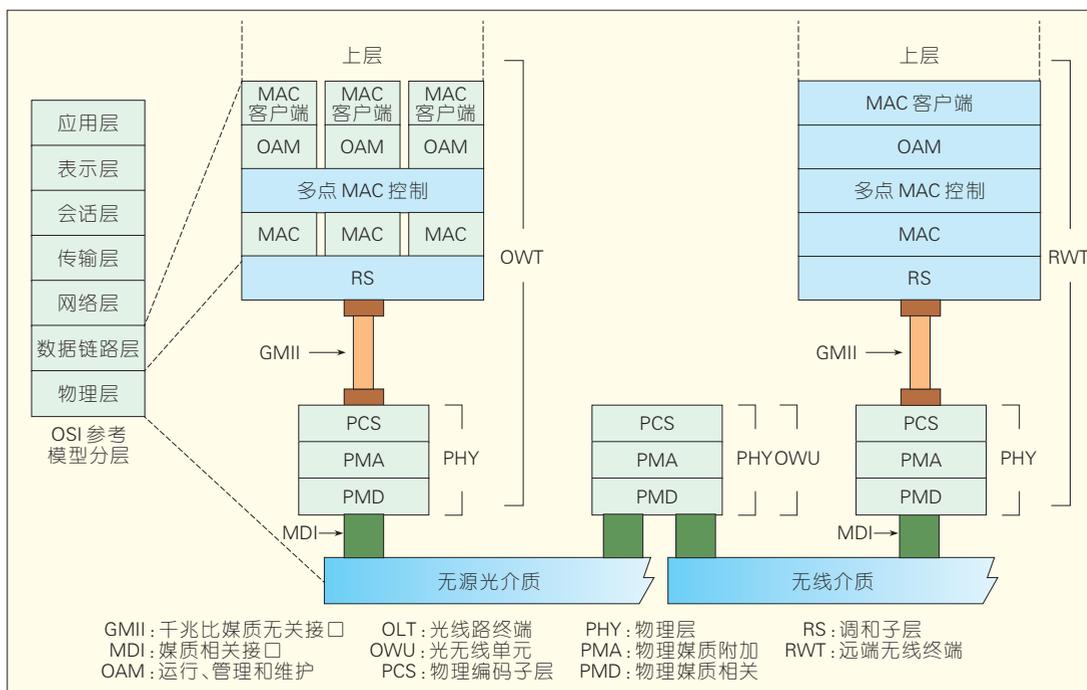


图7 RPON 协议分层和 OSI 参考模型之间的关系

单纤上行传输,达到了 10 km 光纤和 5 m 无线的接入距离,并支持多个远端天线终端的业务并发与带宽调控,其还带有 QoS 管理、OAM 管理和 EMS 网管功能。因此,本 RPON 系统十分适合应用在以多业务集成和宽带通信为技术特征的下一代通信中。

## 5 参考文献

- [1] WELLS J. Faster than fiber: The future of multi-Gb/s wireless [J]. IEEE Microwave Magazine, 2009, 10(3): 104-112.
- [2] 邓磊, 张敬明, 刘德明, 等. 基于 OFDMA 的 TDM-PON ONU 互通系统 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2007, 38(9): 5-9.
- [3] SHERIF S R, HADJANTONIS A, ELLINAS G, et al. A novel decentralized Ethernet-based PON access architecture for provisioning differentiated QoS [J]. Journal of Lightwave Technology, 2004, 22(11): 2483-2497.
- [4] SAUER M, KOPYAKOV A, GEORGE J. Radio over fiber for picocellular network architectures [J]. Journal of Lightwave Technology, 2007, 25(11): 3301-3320.
- [5] DENG L, PANG X D, ZHAO Y, et al. 2x2 MIMO-OFDM Gigabit fiber-wireless access

- system based on polarization division multiplexed WDM-PON [J]. Optics Express, 2012, 20(4): 4369-4375.
- [6] BELTRAN M, JENSEN J B, YU X B, et al. Performance of a 60-GHz DCM-OFDM and BPSK-Impulse Ultra-Wideband System with Radio-over-Fiber and Wireless Transmission Employing a Directly-Modulated VCSEL [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2011, 29(6): 1295-1303.
  - [7] DENG L, BELTRAN M, PANG X D, et al. Fiber wireless transmission of 8.3-Gb/s/ch QPSK-OFDM signals in 75-110-GHz band [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2012, 24(5): 383-385.
  - [8] KANNO A, INAGAKI K, MOROHASHI I, et al. 20-Gb/s QPSK W-band (75-110GHz) wireless link in free space using radio-over-fiber technique [J]. IEICE Electronics Express, 2011, 8(8): 612-617.
  - [9] DENG L, LIU D M, PANG X D, et al. 42.13 Gbit/s 16QAM-OFDM Photonics-wireless transmission in 75-110 GHz band [J]. Electromagnetic Waves (Progress in Electromagnetics Research), 2012, 126: 449-461.
  - [10] LIN C T, CHEN J, SHIH P T, et al. Ultra-high data-rate 60 GHz radio-over-fiber systems employing optical frequency multiplication and OFDM formats [J]. Journal of Lightwave Technology, 2010, 28(16): 2296-2306.

- [11] LUO Y Q, ANSARI N. Bandwidth allocation for multiservice access on EPONs [J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(2): 16-21.

收稿日期: 2012-07-07

## 作者简介



**刘德明**, 华中科技大学光电科学与工程学院教授; 研究方向包括光通信器件与系统、光纤传感以及光网络等领域; 已主持和承担 50 余项基金项目; 已获国家技术发明二等奖 1 项、国家发明三等奖 1 项、专利 40 余项; 已发表学术论文 100 余篇。



**邓磊**, 华中科技大学博士毕业; 华中科技大学光学与电子信息学院讲师; 主要从事下一代无源光接入网技术、光纤无线融合接入技术、微波光子学技术、高阶调制格式及相干光通信数字信号处理技术研究; 已参与 3 项基金项目; 已发表学术论文 38 篇, 其中 SCI 期刊文章

15 篇。

Mach-Zehnder modulator in radio-over-fiber system based on second-order optical sideband processing [J]. Optics Letters, 2012, 37(5): 806-808.

收稿日期: 2012-07-05

## 作者简介



**张国强**, 清华大学电子工程系在读博士研究生; 主要研究领域为光载微波毫米波信号的光谱处理技术; 先后参与基金项目 3 项; 已发表被 SCI/EI 检索论文 3 篇。



**李尚远**, 清华大学电子工程系博士后; 主要研究领域为光载无线系统的关键技术研究; 先后参与基金项目等 8 项; 已发表被 SCI/EI 检索论文 10 余篇。



**郑小平**, 清华大学电子工程系教授、博士生导师; 长期致力全光通信网络与微波光子学的研究, 先后负责、参与基金项目 20 余项; 获省部级科技进步二等奖 2 项, 三等奖 2 项, 获国家发明专利 16 项; 已发表论文 100 余篇。

## ←上接第 10 页

得到了广泛的研究。在无线和光纤技术的双驱动下,光载无线技术已成为未来融合两者优势的非常有潜力的技术之一。光载无线系统的重要考虑指标之一为其动态范围,提高光载无线系统线性度的技术应运而生。我们对光载无线系统的非线性过程进行了深入研究,从调制器的结构以及与调制器独立的后补偿两个方面提出光载波相位偏移技术和光边带处理技术,两种技术均可大幅提高现有光载无线系统的动态范围,减小非线性失真对系统性能的影响。

## 5 参考文献

- [1] STOHR A, AKROUT A, BUB R, et al. 60 GHz radio-over-fiber technologies for broadband wireless services [J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2009, 8(5): 471-487.
- [2] THACKER D L, SHILLUE B. Atacama large millimeter array local oscillator: How photonics is enabling millimeter-wave astronomy [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: 3p.
- [3] HIRATA A, HARADA M, NAGATSUMA T. 120-GHz wireless link using photonic

- techniques for generation, modulation, and emission of millimeter-wave signals [J]. Journal of Lightwave Technology, 2003, 21(10): 2145-2153.
- [4] WAKE D, WEBSTER M, WIMPENNY G, et al. Radio over fiber for mobile communications [C]//Proceedings of the 2004 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP'04), Oct 4-6, 2004, Ogunquit, ME, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004: 157-160.
  - [5] KOROTKY S K, DE RIDDER R M. Dual parallel modulation schemes for low-distortion analog optical transmission [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1990, 8(7): 1377-1381.
  - [6] LIM C, NIRMALATHAS A, LEE K L, et al. Intermodulation distortion improvement for fiber-radio applications incorporating OSSB+C modulation in an optical integrated-access environment [J]. Journal of Lightwave Technology, 2007, 25(6): 1602-1612.
  - [7] JOHNSON L M, ROUSSELL H V. Reduction of intermodulation distortion in interferometric optical modulators [J]. Optics Letters, 1998, 13(10): 928-930.
  - [8] MASELLA B, HRAIMEL B, ZHANG X. Enhanced spurious-free dynamic range using mixed polarization in optical sideband Mach-Zehnder modulator [J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27(15): 3034-3041.
  - [9] LI Shangyuan, ZHENG Xiaoping, ZHANG Hanyi, et al. Highly linear radio-over-fiber system incorporating a single-drive dual-parallel Mach-Zehnder modulator [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2010, 22(24): 1775-1777.
  - [10] ZHANG G, ZHENG X, LI S, et al. Postcompensation for nonlinearity of

# 智能管道技术及其在固网移动融合中的应用

## Smart Pipes in Fixed-Mobile Converged Networks

中图分类号: TN915 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2012) 05-0027-004

**摘要:** 文章认为智能管道应具备3种核心能力:统一的业务平台、全面的感知能力、端到端的业务承载能力。文章以无线分流方案为例,介绍了智能管道的应用。该方案包括3部分工作:开源(主要为通过Wi-Fi分流)、节流(对无线数据流量进行精细化处理)、打造统一的业务平台(完成系统联动,实现不同用户差异化的上网体验)。该方案根据不同用户、不同业务的需要,充分发挥2G/3G、Wi-Fi及有线网等不同模式网络资源的优势,综合用户位置、该位置的可用网络及用户当前使用的业务等信息,选择最优的承载网络,实现数据流量在移动、固定两类网络上的调度和承载,最终满足用户差异化的无线上网需求。

**关键词:** 智能管道;用户体验;固网移动融合;融合策略管理平台

**Abstract:** In this paper, we suggest that smart pipes should have unified business platform, comprehensive awareness, and end-to-end service capacity. We introduce the application of smart pipes, taking a wireless traffic offload solution as an example. This solution involves increasing bandwidth resources, reducing expenditure, and creating a unified business platform. This solution involves scheduling data traffic between the mobile and fixed network, and making full use of 2G, 3G, Wi-Fi, and cable networks. It also involves collecting information about the user's location, determining the available network for this location, determining the business of the user, and meet the requirements of different users of wireless Internet.

**Keywords:** smart pipes; user experience; fixed-mobile convergence; convergence strategy; management platform

王领强/WANG Lingqiang  
(中兴通讯股份有限公司,广东深圳 518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

道的价值。传统管道向智能管道演进最终将实现用户和运营商的共赢。

### 1 智能管道的概念

与传统管道相比,智能管道以差异化“用户体验”为核心,分阶段演进一个系统。在智能管道的概念中,有3个关键点:

(1)以差异化用户体验为核心

构建智能管道不是为了收费而收费,智能管道是通过挖掘用户体验的差异化,细分这种差异化,并通过满足用户需求的差异化,最终提升传统管道的价值。所以如何满足差异化的用户体验是构建整个智能管道的核心问题。

(2)智能管道是一个系统

与传统网络相比,智能管道不仅关注单一网元的指标提升,更关注端到端系统的联动与优化。通过端到端系统的联动,智能管道实现业务的差异化承载。

(3)智能管道需要分阶段演进

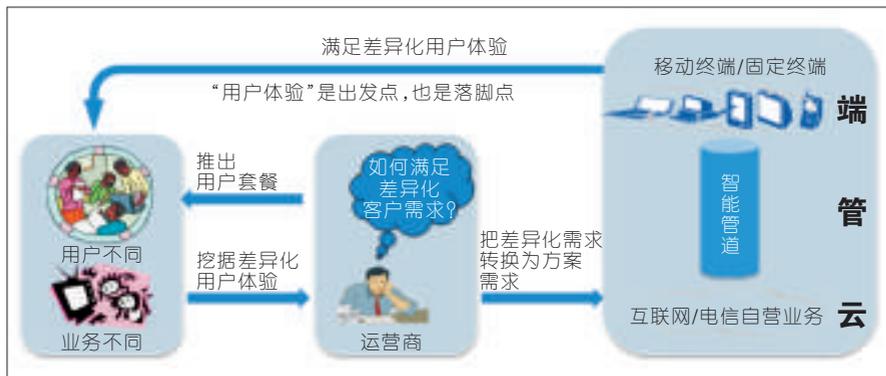
传统管道和智能管道的建设不是互斥的,提出智能管道,并不意味着传统管道是过时的、落后的。随着互联网业务发展,智能管道是传统管道发展到一定阶段的产物。同时

互联网和移动互联网丰富多彩的应用、云计算和物联网技术的兴起以及智能终端的迅速普及和成功应用……当今的信息技术和服务可谓精彩纷呈。但与此同时,日益庞大的网络用户和不断丰富的网络业务导致用户对网络的需求开始分化,传统网络该如何挖掘并适应这种用户差异化的需求被提上日程。此外,

3G等智能终端的逐步普及,带来了数据流量的快速增长。流量的增长不仅给网络承载带来了巨大压力,同时又形成流量增长与运营收入的“剪刀差”现象。传统网络该如何建设,使其拥有者——运营商能应对挑战也是需要迫切解决的课题。

传统管道向智能管道演进是大势所趋。对用户来说,智能管道满足了自身潜在的差异化服务需求;对运营商来说,智能管道通过挖掘并满足用户的差异化需求而提升了传统管

基金项目:国家科技支撑计划  
(2011BAH19B02)



▲图1 智能管道设计原则

智能管道的建设也是长期的过程,需要根据用户需求和业务的变化不断进行改进,满足用户的差异化需求。

在智能管道设计上,需要认真贯彻“从用户中来,到用户中去”的设计原则。

智能管道设计原则如图1所示。首先由于用户不同,使用业务不同,导致不同用户群体对网络存在差异化需求。对运营商和设备提供商而言,需要基于网络充分挖掘用户的差异化需求,根据这些需求,形成不同的服务套餐供用户选择。同时把这些需求转换,转化为对端-管-云整体系统的评估指标,并逐步细化到各个网元,形成对不同网元的需求。最终依靠端-管-云三者的联动,满足用户的差异化体验。用户在享受自身差异化服务的同时,运营商获得传统管道的价值增值。在这个闭环活动中,智能管道能够实现用户和运营商的双赢。

## 2 智能管道架构及演进阶段探讨

智能管道涉及整个端-管-云系统,其总体架构如图2所示。总体架构包括终端层、网络承载层、业务承载层、运营层及内容层等。

从架构上看,智能管道至少具备3种核心能力:

(1)统一的业务平台是前提

前面已经描述了,智能管道以实现差异化的用户体验为核心,并且这

种体验是依靠端管云系统的联动来实现的。现在大多数运营商已经成为全业务运营商,运营商自身多种网络共存(不仅有庞大的有线网络,也建有大规模的2G、3G网络,已经或即将建设LTE网络,还有近些年来大规模部署的Wi-Fi热点)。如何根据不同网络的特点,灵活调配资源,实现多种业务在不同网络上承载,这就需要运营商首先构建统一的业务平台。该业务平台对内实现对用户的统一认证,不同网络资源的统一调度和管理;对外屏蔽管道细节,向用户提供的统一的服务,包括不同业务套

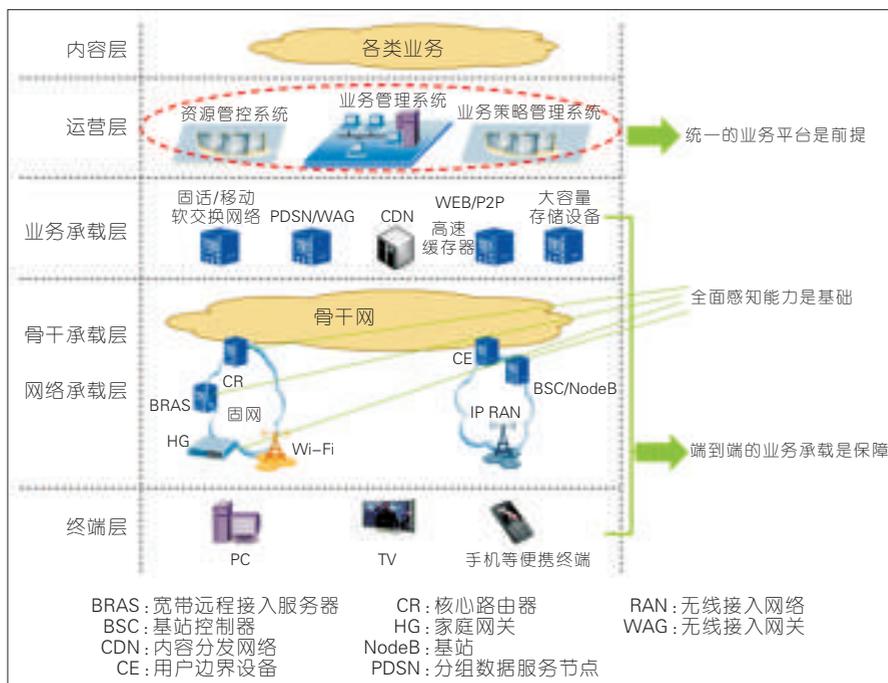
餐的订购服务,统一的账单服务,新业务的精确推送服务等。确保无论用户在哪里,使用什么样的终端,都会享受到同一的服务。所以,统一的业务平台是成功构建智能管道的前提条件。

(2)全面感知能力是基础

要实现用户体验的细分,智能管道需要提升自身的“嗅觉”。不仅要感知物理端口、无线局域网(WLAN)、媒体访问控制(MAC)、五元组等信息,还能够感知应用层报文内容、用户信息、终端类型、网络环境等多种信息。通过组合这些信息,智能管道才能够知道用户在哪里;正在使用何种业务;现在同时存在几个网络能为其提供服务;各个网络的流量如何;由哪个网络承载该用户的业务最优;如果存在这样的网络,智能管道如何把该业务平滑切换到最优的网络上承载。所以全面的感知能力是实现智能管道基础。

(3)端到端的业务承载是保障

传统管道主要强调单一设备功能,智能管道则更关注端到端的联动,通过联动实现业务承载能力的提



▲图2 智能管道总体架构

升。包括端到端网管、端到端业务测量、端到端业务质量监控等。

智能管道是一个逐步演进的系统,从目前看,大体可分为3个阶段:

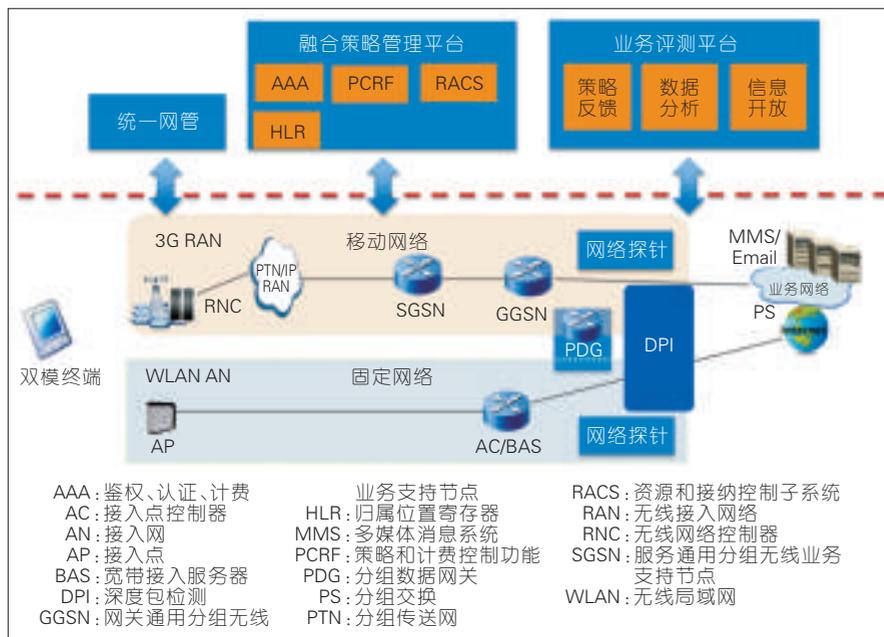
(1)现在是“建高速、划车道”阶段。现在10G以太网无源光网络(EPON)的部署,100G路由器的商用,40G/100G波分复用(WDM)设备、超大融合光传送网(OTN)交叉设备的部署等带来了宽带的大幅提高。智能管道必须建立在宽带的基础上,带宽越高,网上的业务也就越丰富,对智能管道要求越迫切。该阶段的特点是:构建高速管道,满足当前宽带提速和大流量业务运营需求。

(2)下个阶段的特点将是“加智能”。该阶段构建初步的统一业务平台,开始提供差异化服务和端到端业务保障。这中间的工作包括账单统一、计费统一、网络管理统一,引入层次化服务质量(QoS),提供灵活的流量和性能监控手段等。该阶段的特点是:不同网间服务的账单和计费开始统一,并提供差异化服务和端到端业务保障。

(3)中远期将打造统一业务平台。该阶段实现业务无缝切换,全面实现管道智能化,使网络具备精细化运营的基础。这中间的工作包括引入报文应用层检测技术和融合资源管控系统等,实现业务的精细区分、不同网间的策略控制和资源联动,确保业务在不同网间的灵活切换。该阶段的主要特点是:业务能够在不同网间灵活切换,网络资源智能适配不同业务的体验质量(QOE)要求,实现精细化运营。

### 3 智能管道在固网移动融合方面的应用

2009年1月7日,工业和信息化部发放3G牌照,此举标志着中国正式进入3G时代。随着中国智能手机、平板电脑等各种智能终端的日渐普及,移动互联网流量呈现爆发式增长。以中国某运营商为例,2010年6



▲图3 Wi-Fi分流中智能管道的应用

月与2009年6月相比,数据业务的等效话务量增长136%,与此同时,其移动网络载频所能承载的语言、数据话务总量(设计话务量)仅增长21%,网络承载能力难以满足数据业务的爆发式增长。

对运营商而言,如何有效解决这个问题?解决之道就是依靠智能管道。该方案的设计目标是:根据不同用户、不同业务的需要,充分发挥2G/3G、Wi-Fi及有线网等不同模式网络资源的优势,综合用户位置、该位置的可用网络及用户当前使用业务等信息,选择最优的承载网络,实现数据流量在移动、固定两类网络上调度和承载,最终满足用户差异化的无线上网需求<sup>[1-9]</sup>。图3简要描述了Wi-Fi分流中智能管道的应用(图3中蓝色部分是新增或需要改造的网元)。

在这个方案中,融合策略管理平台主要负责:融合用户签约管理,执行统一的策略配置;融合多种策略控制功能,接口兼容策略和计费控制/资源和接纳控制子系统(PCC/RACS)标准,实现固网移动融合(FMC)情况下各网元的统一控制。业务评测平台主要负责:网络数据的搜集和分析

并向融合策略管理平台进行反馈,同时该平台可以向第三方机构开放。分组数据网关(PDG)的功能类似于核心网分组交换(PS)域中的网关通用分组无线业务支持节点(GGSN),作为WLAN的出口网关,并给访问PS域的用户认证和计费。另外在关键网元上加装深度包检测(DPI)功能,综合SPI/DPI/HPI/HSI等多种技术,对报文应用层分析,识别用户的应用。

该方案主要包含三大块工作:

- (1)开源,主要为通过Wi-Fi分流。
- (2)节流,对无线数据流量进行精细化处理。
- (3)打造统一的业务平台,完成系统联动,实现不同用户差异化的上网体验。

首先是Wi-Fi分流。双模移动终端用户既可以通过3G网络上,同时在Wi-Fi热点覆盖区域,也可以选择Wi-Fi并通过固网上网。这样可以充分利用有线网络相对大带宽、低成本的优势,降低单位无线数据流量成本,提升用户体验。

其次是对无线数据流量进行精细化处理。一方面,不同应用对带宽占用差异很大;另一方面,受频谱资

源、无线调制技术等方面限制,无线网接入带宽大大小于有线网络。当无线带宽不足的时候,我们就需要根据用户类型、业务类型等多个维度分析流量,确保用户在无线带宽不足的时候差异化的用户体验。在图3中,我们在关键网元,比如宽带远程接入服务器(BRAS)或网关GPRS支持节点(GGSN)等上,部署深度包检测(DPI)模块,分析用户应用层数据,获取当前用户使用业务的信息,结合鉴权、认证、计费(AAA)系统中保存的用户属性信息,通过融合策略管理平台,对不同用户的上网行为施加不同的策略控制,实现在网络拥塞的情况下,不同用户差异化的上网体验。

最后也是最关键的就是要打造统一业务平台,为客户提供统一的服务。其实无论Wi-Fi分流也好,流量精细化处理也好,这些都是技术手段。由此导致体验不好,用户舍弃不用,那么部署效果就会大打折扣。同时这两块工作也涉及数据流量在有线/无线网络之间的切换问题,这就需要我们打造一个融合的业务平台,统一管理用户信息和策略信息,实现数据流量在移动、固定两类网络上调度和承载。这个平台可分步实施:

(1)阶段一:3G/Wi-Fi数据业务的统一计费 and 账单服务。这个工作比较好解决,WLAN网络和3G网络可共用IT系统,在营帐系统实现用户统一话单,统一开户。通过WLAN网络中

的AC/BRAS统计流量时长等信息,BRAS把这些信息通过远程拨号用户认证(RADIUS)协议发送给AAA系统计费。

(2)阶段二:业务的统一认证和接入。首先打造融合AAA,实现3G及WLAN用户的统一认证;同时部署PDG系统并引入SIM-EAP/AKA的认证方式(需要终端设备的支持)。该方式基于SIM卡信息进行认证,一方面比较安全,另外还可以通过终端、AAA、PDG系统的互动实现自动连接认证,用户体验较好。

(3)阶段三:无线上网业务灵活切换,这个比较复杂,目前可通过多种接入绑定(MAB)方案来实现。MAB方案通过终端和软件的配合,用户使用单一的IP地址和业务会话就可以实现如下功能:多种无线接入的统一鉴权和认证;在多种网络间的负载分担和区分业务的分流;并能够实现单一业务在不同网络间的无缝切换。该方案能够充分利用不同网络资源并提升用户体验。

#### 4 结束语

传统管道向智能管道演进是大势所趋。构建智能管道不是为了收费而收费,智能管道是通过挖掘用户体验的差异化,细分这种差异化,并通过满足用户需求的差异化,最终提升管道的价值。在智能终端和移动互联网蓬勃发展的年代,3G网络面

临巨大数据流量压力。如何部署Wi-Fi分流,使Wi-Fi上网好用,易用,用户喜欢用,我们需要借助部署智能管道来实现。

#### 5 参考文献

- [1] 3GPP TS23.203 v10.3.0. Policy and charging control architecture [S]. 2011.
- [2] BBF WT-203 R08. Interworking between next generation fixed and 3GPP wireless access [S]. 2009.
- [3] 彭湖,黄俊,谭钦红. 三网融合中家庭网络双向化方案[J]. 数字通信,2011,(1):22-24
- [4] 3GPP TS23.234.v.9.0.0. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking; System description (Release 9) [S]. 2010.
- [5] 柴蓉,冉丽丽,陈前斌. 物联网移动性管理关键技术[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版),2011,23(6):647-653.
- [6] ETSI ES 282 003 V3.4.0 Telecommunications and Internet Converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN), Resource and Admission Control Subsystem (RACS) functional architecture [S]. 2009.
- [7] 蒋林涛. 未来互联网的承载网络[J]. 中兴通讯技术,2010,16(2):10-12.
- [8] 万方,丁建江. 对运动目标的单站无源定位技术研究[J]. 雷达科学与技术,2011,9(1):8-12.
- [9] YD/T 1899-2009. 深度包检测设备技术要求 [S]. 2009.

收稿日期:2012-08-10

#### 作者简介



王领强,中兴通讯有线规划部架构师,从事IP方向的技术规划和预研工作;研究方向为智能管道、下一代宽带技术和可编程网络等。

### 综合信息

#### 中兴通讯无线通信模块产品进军美国市场

【本刊讯】2012年9月29日消息,中兴通讯宣布与美国Power Insights公司合作,在美国主流运营商Sprint的网络下,利用中兴通讯无线通信模块产品MC2261 CDMA 1xRTT,实现与远端地区的实时通信。

中兴通讯的无线通信模块产品MC2261 CDMA 1xRTT能与终端设施融合并实现2G移动通信连接。该模块采用高通QSC1110芯片,能为CDMA 1xRTT频段900/1900用户提供高效能保障。

Power Insight公司是一家提供经济型住宅及商用建筑自动化网络平台的美国本土服务商。此次与Sprint网络的融合正是通过中兴通讯无线通信模块产品MC2261 CDMA 1xRTT来实现的,这使Power Insight能够以优惠的价格为客户实现与远端地区传感器和控制器的实时通信。中兴通讯美国子公司CEO程立新表示:“美国物联网市场相对成熟,通过与Power Insight的合作有利于提升我们在物联网市场的综合实力,这也为发展中国物联网市场提供了解决方案。”

# 无源光网络与无线回传的融合技术

## Converging Technologies for Passive Optical Network and Mobile Backhaul

中图分类号: TN92; TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2012) 05-0031-002

**摘要:** 文章认为新一代无线回传承载网将需要提供更高的传输带宽、更多的用户数量以及更好的服务质量才能满足 3G 技术的需求, 无源光网络具有带宽大、部署灵活、多业务承载能力强等特点, 适合建设新一代无线回传承载网。文章给出了一种基于无源光网络(PON)的无线回传网络结构。在该网络中, 光线路终端(OLT)放置在中心局, 与无线核心网络连接; 光网络单元(ONU)放置在移动基站处。无源光分路器和光缆构成 OLT 和 ONU 之间的无源光纤传输网络。

**关键词:** 无源光网络; 无线回传; 分组化; 时钟同步; 服务质量

**Abstract:** To meet the demands created by 3G technology, next-generation wireless backhaul networks require higher bandwidth, more users, and better service quality. Passive optical networks (PONs) have large bandwidth; they can be flexibly deployed; and they are able to carry multiple services. In this paper, we discuss the architecture of a wireless backhaul based on PON. In such a network, the optical line terminal is placed in a central office and connects with the wireless core network. The optical network unit is placed in the mobile station. A passive optical splitter and fiber optic cable constitute a PON between the OLT and ONU.

**Keywords:** passive optical network; wireless backhaul; packetization; time synchronize; QoS

何浩/HE Hao

董毅/DONG Yi

胡卫生/HU Weisheng

(上海交通大学, 上海 200240)

(Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

无线回传网络是连接基站(BS)和基站控制器(BSC)的信号传输网络, 主要承担基站和无线核心网设备之间的通信任务。在第二代无线通信(2G)时代, 语音业务是无线回传网的主要业务, 它的速率恒定, 带宽需求小, 动态性要求低。无线回传承载网络主要采用同步数字体系(SDH)传输技术完成。第三代无线通信(3G)技术是 2G 技术的后续发展技术, 目前正在被广泛使用, 截止到 2012 年 5 月份, 中国移动电话用户中 3G 用户已达到 1.6 亿户, 3G 渗透率达 16%<sup>[1]</sup>。3G 网络的迅速发展, 使得实时视频、移动互联网等 3G IP 业务在无线回传

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(61027007、60825103)

网络中的比重稳步增加, 传统的 SDH 无线承载网络已无法满足 3G 业务对延时、服务质量等的需求。新一代无线回传承载网必然会向 IP 方式演进, 并提供更高的传输带宽、更多的用户数量以及更好的服务质量。以以太网无源光网络/千兆比无源光网络(EPON/GPON)为代表的无源光网络具有带宽大、部署灵活、多业务承载能力强等特点, 有望在新一代无线回传承载网的建设中发挥更大的作用。

### 1 无线回传技术发展趋势

以中国电信 CDMA2000、中国联通 WCDMA、中国移动 TD-SCDMA 为代表的第 3 代移动通信(3G)技术能够为用户提供实时视频、高速多媒体和

移动 Internet 访问业务。具体来说, 用户可以通过 3G 手机进行网页浏览、电话会议、电子商务等多种信息服务, 为手机融入多媒体元素提供强大的支持。但为了提供这种服务, 无线回传承载网不仅需要同时支持不同的数据接入传输速度, 也需要在传输带宽、业务承载能力及时钟同步等方面提供更好的性能:

#### (1) 更高的数据传输带宽

3G 网络的空中接口技术, 如高速下行数据分组接入(HSDPA)等, 会大幅度提高每用户数据速率, 相应地无线回传承载网的带宽需求也就大大增加。

#### (2) 更多的用户数目支持

3G 基站的用户传输速率增加导致覆盖范围减小, 同样的区域需要更多的基站才能覆盖, 使得无线回传网络需要支持更多的用户数目。

#### (3) 多业务承载与多颗粒调度能力

3G 本地接入网应提供多种易用的标准接口来承载不同的业务, 如时分复用(TDM)、以太网和异步传输模式(ATM)等。此外, 需要具有 IP 数据包层面和 TDM VC12/VC3/VC4 等不同层面、不同颗粒的业务调度、交换/交叉连接能力。

#### (4) 时钟与时间同步要求

▼表1 不同无线技术下的时钟同步要求

序号	无线技术	时钟频率精度要求	时钟相位同步要求
1	CDMA2000	50 ppb	$\pm 1.5 \mu s$
2	WCDMA	50 ppb	无要求
3	TD-SCDMA	50 ppb	$\pm 1.5 \mu s$
4	LTE	50 ppb	以后可能需要

3G 技术中对时钟频率以及相位同步的要求非常很高,具体指标如表 1 所示<sup>[2-4]</sup>。新一代无线回传网络需要满足多种 3G 制式在同步方面的要求,如时分同步码分多址(TD-SCDMA)基站的时间同步要求,宽带码分多址(WCDMA)和 CDMA 1X 建设初期和成熟阶段的频率同步要求以及未来在 LTE 阶段可能需要满足业务的时间同步要求等。

在数据业务的运维方面,无线回传网络要能够达到与 SDH 网络类似的业务运维能力,能够提供图形化网管、端到端的业务配置、快速故障定位、自动保护倒换以及告警和性能的实时准确监控。满足端到网管需求。

3G 回传网络应当能够识别分组域数据业务的不同等级和分类,当网络拥塞时根据业务优先级和服务质量性能要求提供差异化服务,从而实现基于优先级的网络流差异化服务。

## 2 无源光网络和无线回传的技术融合

目前无线回传网络采用的通信方式有 3 种:一是传统的电缆传输方式,即租用 E1 线路或者自行铺设;二是光缆传输,需铺设专门的光缆传输

从 BTS 到 BSC 的数据,且需配置光端机;三是无线传输,通常采用微波技术来实现。近年来,随着中国“三网融合”政策的确立,光纤宽带(FTTX)网络开始大规模建设,以 EPON/GPON 为代表的无源光纤网在中国进行了大量的部署,覆盖范围日益广泛。无源光网络具有带宽大、部署灵活、多业务承载能力强等特点,可以有效地降低运营商的建网成本,完成可以作为无线回传的承载网。

图 1 所示为基于无源光网络(PON)的无线回传网络结构示意图。在该网络中,光线路终端(OLT)放置在中心局,与无线核心网络连接;光网络单元(ONU)放置在移动基站处。无源光分路器和光缆构成光线路终端和光网络单元之间的无源光纤传输网络。通常 PON 网络的光纤传输距离可以达到 20 km,以 PON 为基础的无线回传网可以覆盖直径 40 km 的范围。

利用 PON 网络承载无线回传网络的关键技术主要包括:

(1)高速数据传输和超多用户支持能力

3G 网络在大幅度提高了单用户的数据接入速率,也使得 3G 基站的

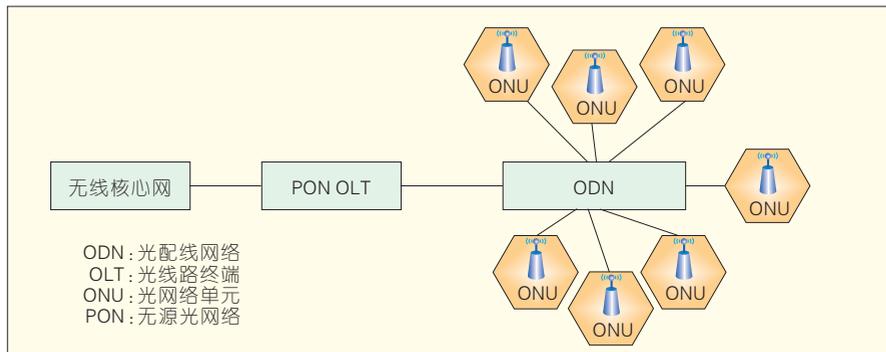
覆盖范围减小,无线回传承载网单网用户支持数目急剧增加,远远超过目前 PON 网络规定的 32 个用户数量,对 PON 网络的功率预算是一个巨大的挑战。Neda Cvijetic<sup>[5]</sup>提出了一种软件定制的无线回传网络异质结构。该结构可以通过软件动态配置,适用于不同的无线回传网络场景,最多可以支持 1 000 个以上的用户,为下一代无线回传网络的发展提供了一种全新的思路。

(2)高精度时钟频率和时间同步技术

如表 1 所示,3G 网络对时钟频率和相位同步的要求很高。3G 毫微微(Femto)基站覆盖范围小,成本压力大,无法配备全球定位系统(GPS)作为频率和时钟同步装置。使用 PON 作为 3G Femto 基站回传承载网时,必须支持频率和时钟同步功能。业界针对这一问题提出了很多解决方案,隋猛等<sup>[6]</sup>针对 PON 网络中串并转换模块(SerDes)、ONU 响应时间带来的误差提出基于 10G GPON 和 10G EPON 的时间同步标准技术方案,同步精度分别可以达到  $\pm 25 ns$  和  $\pm 130 ns$ ,现已被国际标准组织认可并作为正式标准。

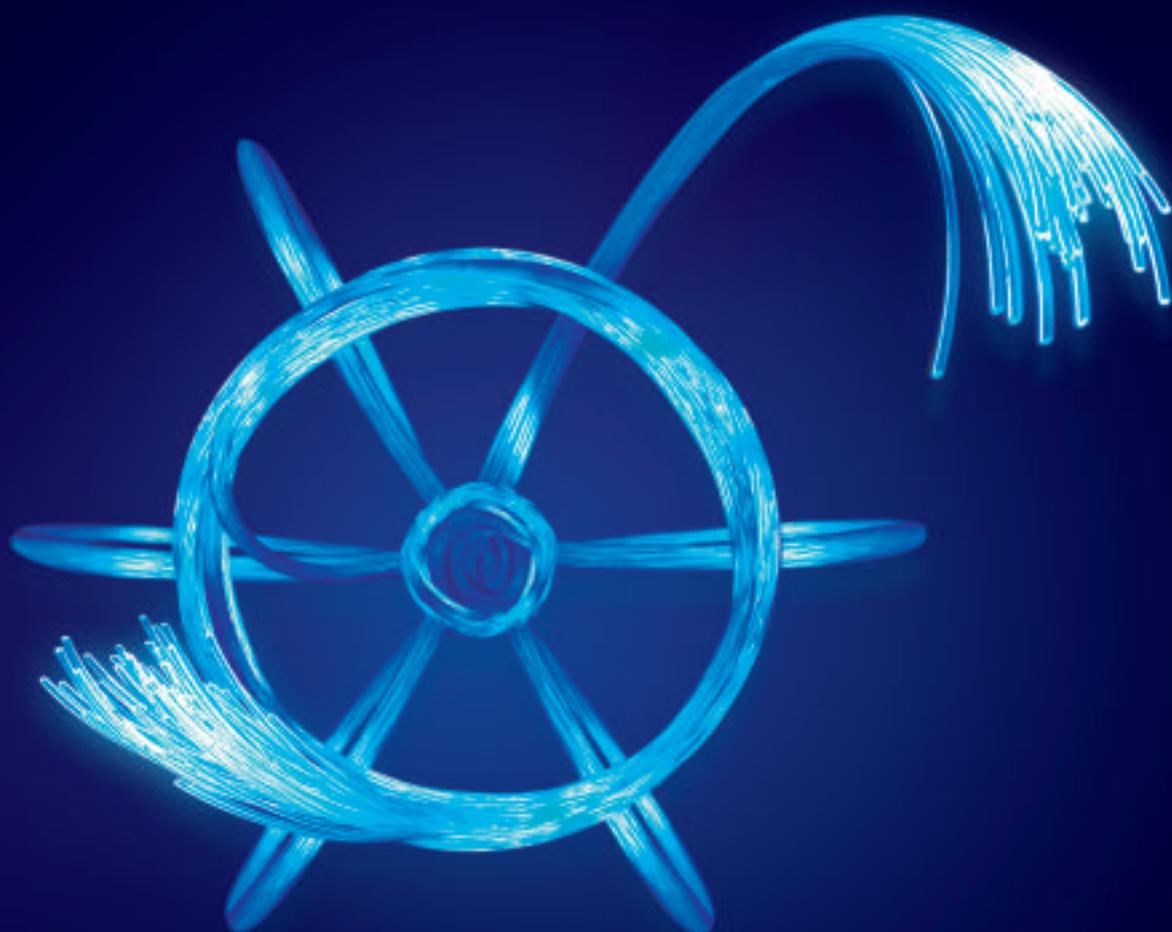
(3)支持 QoS 的差异化服务

QoS 是指数据流通过网络时获得的端到端的服务质量保证。完善的 QoS 机制能够合理地分配与监控有限的网络资源。不同的 QoS 等级对延迟、抖动、带宽的需求各不相同,全球很多研究机构在这方面展开了深入的研究。NEC 公司的 Neda Cvijetic<sup>[7]</sup>利用新型的 OFDMA/TDMA-PON 的网络结构实现了 200 个单元的 100 Mb/s 传输,传输距离超过 1.6 km,传输延迟小于 1 ms。Kun Yang 等人<sup>[8]</sup>则研究了无源光网络和无线网络融合下具有 QoS 等级的动态带宽分配方法(WE-DBA)。文献[8]仿真结果表明该算法能够有效地提高网络吞吐率、平均/最大时延、资源利用和差异化服



▲图 1 PON 无线回传网结构

➡下转第 55 页



FTTx

## 唯有持续领先 方能掌舵未来

### 中兴通讯FTTx解决方案

只有始终掌握成熟技术，引领行业发展方向的企业，才能为客户提供值得信赖而优质的服务。

中兴通讯作为最早投入 FTTx 技术研究的企业之一，多年来积累了丰富的行业经验，不仅是 PON 技术领域的领先者，更是下一代 PON 技术的领导者。我们深刻理解客户所需，不断为客户提供适应未来的尖端技术，协助客户掌舵未来！

中兴通讯在中国 xPON 市场占有率超过 45%，与全球 TOP10 运营商进行了深入合作，产品广泛应用于意大利、荷兰、沙特、中国香港等发达国家和地区。中兴通讯在全球率先发布了对称 10G EPON 设备样机。

2007 年欧洲宽带论坛，中兴通讯“ZXAN C220+ZXDSL 9806H 综合技术方案”荣获 IEC 颁发的“InfoVision Award”，2008 年在英国伦敦，由 IEC 组织的 SOFNET 高峰论坛上，中兴通讯宽带接入产品 ZXDSL 9806H 荣膺“Best Green Innovation”殊荣。

**ZTE中兴**

A2



# 真沟通, 面对面

中兴通讯TrueSee“幻真”远程呈现系统

TrueSee

## 世界各地团队 时刻在您身边

我们深知,您分布在全球各地的公司分支,造成了信息沟通的鸿沟。中兴通讯 TrueSee“幻真”远程呈现系统,为您解决远距离信息沟通问题。采用 1:1 真人呈像技术,令镜头中的每个人如真正在您身边一般,让您时刻置身于真实的会议氛围中。

- 1:1 真人呈像技术
- 文档共享协同
- 1080P 高清分辨率
- 触摸式会控
- 眼神交流、立体音效
- 环境定制设计

**ZTE中兴**



**中兴通讯推出首个商用  
空中宽带网络，  
接下来您还需要些什么？**

- 2007年中兴通讯与Aircel签订合同，  
为美国Aircel公司定制化开发和提供地面向高空覆盖的CDMA EV-DO系统。
- 2008年中兴通讯与Aircel合作的ATG EV-DO网络建设项目，  
荣获CDG颁发的3G CDMA行业成就奖。双方完美的合作铸就了此项新技术的成功商用。
- 目前，Aircel已经和多家航空公司签署合同，  
在其美国国内航班上部署网络，开通运营。

[www.zte.com.cn](http://www.zte.com.cn)



Wireless

**其他无线解决方案  
帮您与时代同步，  
而我们则让您领先于时代！**

基于面向未来的低成本无线解决方案，中兴通讯将帮助您的业绩实现飞跃；我们不仅提供所有的无线接入技术，更为您呈现绿色端到端Uni-RAN和Uni-Core解决方案；而卓越的售后服务支持，完善的维护和咨询服务更将确保您的网络始终处于完美状态，领先时代！

您的无限安心，来自我们的无限贴心！

[www.zte.com.cn](http://www.zte.com.cn)

**ZTE中兴**

# 基于认知无线电的 ROF-PON 光无线接入技术

## Hybrid Optical-Wireless Access Technology for Cognitive Radio Over ROF-PON

中图分类号: TN92; TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2012) 05-0033-003

**摘要:** 文章提出了基于认知无线电的光纤无线通信系统-无源光网络(ROF-PON)光无线接入网络系统结构。该方案光纤中直接传输射频信号。光层可采用波分复用-无源光网络(WDM-PON)技术(也可以是一个定制的光接入层)。远端的光网络单元(ONU)将得到的传感信息回传到中心局(CO),应用认知无线电技术进行处理。频谱感知和信道接入等都在 CO 处理,降低了整个系统的复杂度,发挥了光纤无线通信系统(ROF)的优势,也发挥了认知无线电在管理频谱方面的特长。

**关键词:** 接入网; 认知无线电; 无源光网络; 光纤无线通信

**Abstract:** In this paper, we describe radio-on-fiber passive optical network (ROF-PON). This is an optical wireless access networks that has a cognitive radio system architecture. In this network, the fiber directly transmits the radio frequency signal. The optical layer uses wave-division multiplexing passive optical network (WDM-PON) technology. The sensing information is transmitted to the central office (CO) by the remote end of the optical network unit and is then processed by the cognitive radio. Spectrum sensing and channel access technology are processed in the CO, so the complexity of system is reduced. This proposed system architecture makes full use of radio frequency over fiber and cognitive radio in the spectrum management.

**Keywords:** access network; cognitive radio; passive optical network; radio on fiber

王中鹏/WANG Zhongpeng  
(浙江科技学院, 信息与电子工程学院  
浙江 杭州 310023)  
(Zhejiang University of Science and  
Technology, Hangzhou 310023, China)

混合传输<sup>[1]</sup>。基于认知无线电的混合传输有线和无线信号的光纤无线通信网络是未来通信网络的发展趋势。基于认知无线电技术的混合传输 ROF 系统面临许多新的挑战,例如网络架构设计、各层协议设计、基于多种业务的有线和无线调制信号的产生、网络的管理和调制信号的识别等等。

### 1 认知无线电技术

认知无线电是解决频谱缺乏和频谱未充分利用的有效途径,认知无线电是智能的无线通信系统,它通过感知周围环境的频谱利用情况,并通过学习自适应地调整自己的参数,达到有效利用频谱资源和可靠通信。应用认知无线电是实现频谱资源从固定分配到动态分配的关键技术。在认知无线电系统中,为了保护授权用户(或成为主用户)不受从用户(或 CR 用户)的干扰,频谱感知的功能是感知授权用户是否存在。认知无线电用户当监视到授权用户使用的频带未被使用时可以暂时使用。当监视到授权用户的频带在使用时,CR

随着通信网络朝着宽带化、移动化方向的发展,光纤无线通信系统(ROF)将光纤通信和无线通信融合到一起,发挥了光纤线路的宽带化、抗干扰的优点,同时发挥了无线通信方便灵活的特点,满足了人们对宽带的需求。早期的 ROF 技术主要是致力于提供高频无线传输服务,如毫米波光纤传输等。随着 ROF 技术的发展与成熟,人们开始研究混合有线和无线传输网络,即可同时提供有线和无线服务的光纤无线通信(ROF)

**基金项目:** 东南大学毫米波国家重点实验室开放基金(K201214)

系统。

随着无线电通信的飞速发展,频谱资源紧张的状况日渐突出,如何在有限的无线资源条件下提高频谱利用率以缓解频谱资源的供需矛盾,已成为通信领域要解决的问题。认知无线电(CR)是智能频谱共享技术,它通过对授权频谱进行“二次利用”,能有效提高频谱资源利用率,已成为通信领域的研究热点。在 802.11 无线局域网<sup>[1]</sup>、802.16 城域网<sup>[2]</sup>和 3G 移动通信网络<sup>[3]</sup>已开始研究应用认知无线电技术提高系统的容量,并开始研究应用 ROF 技术实现不同业务信号的

用户释放该信道给授权用户,这样保证 CR 用户不对授权用户产生干扰。因此认知无线通信网络有如下显著特点:

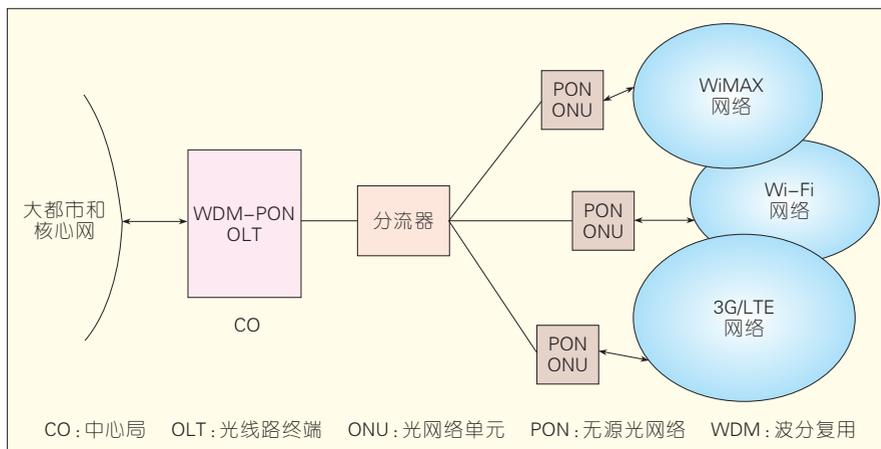
(1)主用户具有接入信道的绝对优先权。一方面,当授权用户没有占用信道时,从用户机会接入空闲信道;当主用户再次出现时,从用户要及时退出正在使用的信道,将信道还给主用户使用。另一方面,当主用户占用信道时,从用户可以在不影响主用户服务质量的条件下接入信道。

(2)CR 通信终端具有感知、管理和调整功能。首先 CR 通信终端能够感知所处工作环境中的频谱和信道环境,并根据探测结果按照一定的规则确定对频谱资源的共享和分配;另一方面 CR 通信终端具有在线调整工作参数的能力,如改变载频、调制方式等传输参数来适应环境的变化。

在认知无线通信网络中,频谱感知是关键技术。常用的频谱感知算法有能量检测、匹配滤波检测、循环平稳特征检测方法等,这些方法有各自的优缺点,这些算法的性能取决于获得的先验信息。已有的频谱感知算法有:匹配滤波器、能量检测器和特征检测器方法。

匹配滤波器只能应用到主信号是已知的条件下。能量检测器能够应用到主信号未知的情况下,但当采用短的感知时间时性能变差。由于特征检测器的主要思想是利用信号的循环平稳性,通过谱相关函数进行检测。噪声是宽平稳信号且不具相关性,而调制信号是具有相关性且循环平稳的。因此谱相关函数能够区分噪声能量和已调信号的能量。在噪声不确定的环境下,特征检测器的性能要好于能量检测器。特征检测器在低信噪比下的性能受到限制,有高的计算复杂度,同时要求长的观测时间。这样就减小了 CR 系统的数据吞吐量。

随着无线通信技术的发展,频谱资源越来越紧张。由于 CR 技术可以



▲图1 WDM-PON和无线网络融合的系统架构

缓解这个问题,CR技术在无线通信网络中得到重视,有许多关于无线通信网络标准都引入认知无线电技术。如IEEE 802.11、IEEE 802.22和IEEE 802.16h。在802.16h协议中,有一个重要内容就是动态频谱选择,以利于WiMAX使用广电频段,它的基础就是频谱感知技术。在无线局域网IEEE 802.11h国际标准中,引入了两个重要概念:动态频谱选择(DFS)和发射功率控制(TPC),开始将认知无线电应用到无线局域网中。在802.11y标准中利用正交频分复用(OFDM)技术提供了多种带宽的选择,可以实现带宽的快速切换,WLAN(无线局域网)系统可以利用OFDM的特点通过调整带宽和发射功率参数避免与工作在该频段的其他用户相互干扰。由于光纤无线系统具有光纤通信带宽的优点和无线通信灵活的特点得到了广泛应用,近几年光纤中传输射频认知WLAN信号得到了关注,文献[5-6]的作者提出了在ROF系统架构下传输认知无线电信号,仿真实验表明网络性能得到了提高。

## 2 基于ROF的混合光纤无线传输系统架构

为了满足传输视频传输的多媒体业务,新兴的光纤到户(FFTH)将成为最终的宽带接入技术,而无源光网络(PON)一经问世就成为人们关注的

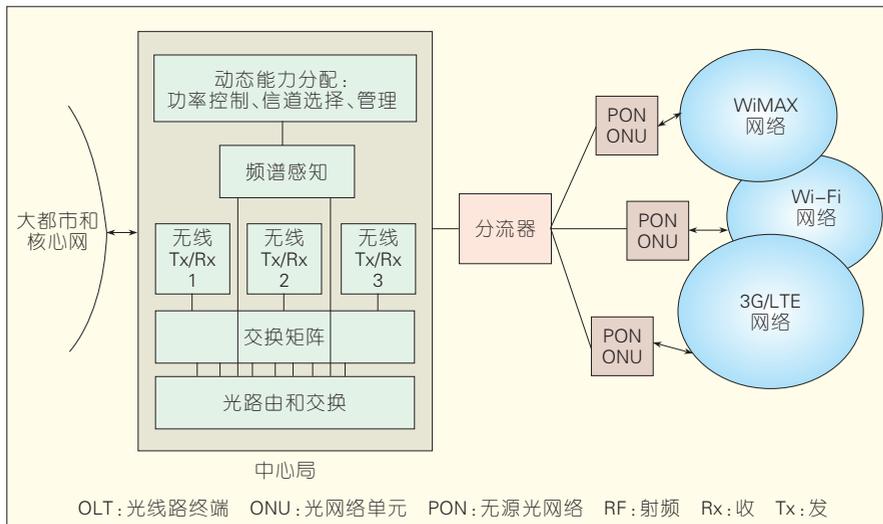
焦点。由于PON网络中所用的器件均为无源器件,无需供电,可以免疫外界的电磁干扰和雷电影响,能够实现业务的透明传输,系统可靠性高。PON网络主要时分复用无源光网络(TDM-PON)和波分复用无源光网络(WDM-PON)。

WDM-PON同TDM-PON相比,具有用户独享带宽和安全性高等特点,成为未来最有潜力的光接入网,图1所示是WDM-PON系统框图。

在图1中,OLT是光线路终端,ONU是光网络单元。无线接入网WLAN、WiMAX和移动通信网络有各自的特点和适用场合,因此是共存的。在实际工作环境中还有其他各种网络存在,但主干网络都应以光网络为主,我们采用基于WDM-PON的体系结构。在图1中,只画了3个典型的无线接入网络,其他有线网络也可以通过PON-ONU接入WDM-PON系统中。图1所示的系统架构中,无线网络和PON的接入单元具有光/电(O/E)和电/光(E/O)的功能,不需要调制解调功能,在WDM-PON中直接传输无线射频信号。

## 3 基于认知无线电的ROF-PON光无线接入网络系统结构

随着网络技术的发展,光网络也朝着智能方向发展,认知无线电开始



▲图2 基于认知无线电的光无线接入系统架构

应用到光网络中。由于在光网络中提供不同的业务,而不同的业务有不同的服务质量(QoS)要求,这样给网络的管理带来新的挑战。认知网络可以提供跨层设计和跨层优化,因此可以有效地监测和优化光网络。此外,认知技术在光网络中的使用可以提供电信运营商更大的灵活性,根据应用和服务要求调整各种物理层部件的特性(如调制格式、前向纠错和波长容量等)和网络层参数(带宽、同时传输的光路数和QoS等)。图2是基于认知无线电的光纤无线接入网络系统架构,光纤中直接传输射频信号。本文光层可采用WDM-PON技术(也可以是一个定制的光接入层)。远端的ONU得到的传感信息回传到中心局(CO),应用认知无线电技术进行处理。频谱感知和信道接入等都在CO处理,因此降低了整个系统的复杂度,发挥了ROF的优势,也发挥了认知无线电在管理频谱方面的特长。

这种系统结构的主要特点是:

(1)接入点(AP)节点成本降低,中心基站成本提高。在常规的WLAN网络中,AP具有调制解调并具有信号处理功能,在本方案中AP只完成光变成电(O/E)或电变成光(E/O)的功能,AP的调制解调功能和管理功能都转移到中心基站,降低了无线接入

节点的成本,但却增加了中心基站的成本。

(2)可以利用分集技术提高系统的链路性能。由于采用ROF系统,不同光纤链路接收同一个用户信号可以在中心基站实现宏分集处理,而在无线网络内部可以采用协同分集技术提高链路性能。

(3)信道接入和频谱感知处理由中心基站完成,网络前端AP提供射频采集的数据。

这种认知网络架构虽然可以增加系统容量,但它也增加了网络管理方面的复杂度,也面临许多挑战<sup>[7]</sup>。最大的挑战是媒体访问控制(MAC)层接入控制机制设计。即如何根据PON网络的MAC层和无线接入网络的MAC层的各自特点提出MAC层性能更优化的MAC层协议。在网络中光层和射频层是相互依存的,而在这种情况下多个媒体访问控制机制的相互作用将带来设计上的问题。比如射频(RF)层的频谱感知功能移动到光层去处理,当这个功能被打开时不应干扰射频层感知信道的能力。认知无线网络下,MAC协议的功能是确定CR用户采取什么样的信道接入策略,是实现整个认知网络频谱共享的基本前提。MAC设计的目标是降低节点传输冲突比例,提高频谱资

源利用率。

## 4 结束语

随着通信网络朝着宽带化、移动化方向的发展,光纤无线通信系统将光纤通信和无线通信融合到一起,发挥了光纤线路的宽带化、抗干扰的优点,同时发挥了无线通信方便灵活的特点,满足了人们对宽带的需求。认知无线电不仅可动态接入授权频谱,还可以接入其他非授权频谱,因此认知无线电和ROF结合可以提高系统的容量,提高系统的性能。

## 5 参考文献

- [1] 陈东,李建东,李维英. 认知无线电与WLAN的融合技术[J]. 中兴通讯技术, 2007, 13(3): 15-18.
- [2] 唐红,鲁玉芳,黄秋宴. 基于认知无线电的WiMAX系统共存方案研究[J]. 电视技术, 2011, 35(3):81-84.
- [3] 史琳. 认知无线电技术对未来移动通信产业的影响[J]. 现代电信科技, 2009(12):26-30.
- [4] WU Yanzhi, YE Tong, ZHANG Liang, et al. A cost-effective WDM-PON architecture simultaneously supporting wired, wireless and optical VPN services[J]. Optics Communications, 2011,284(5):1139-1145.
- [5] LI H, ATTAR A, PANG Q, et al. Collision avoidance and mitigation in cognitive wireless local area network over fibre[C]. Proceedings of the 1st International Conference on Evolving Internet (INTERNET'09), Aug 23-29,2009, Cannes, France. Piscataway, NJ,USA: IEEE, 2009:133-138.
- [6] GE Wendong, JI Hong, SI Pengbo, et al. Optimal power allocation for multi-user OFDM and distributed antenna cognitive radio with RoF[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2010,17(6):41-46.
- [7] SUMAN S. Hybrid wireless-optical broadband-access network (WOBAN):A review of relevant challenges[J]. Journal of Lightwave Technology, 2007,25(11): 3329-3339.

收稿日期:2012-07-10

## 作者简介



王中鹏,浙江科技学院信息与电子工程学院副教授;研究方向为光纤无线融合技术、通信信号处理;已参与和主持基金项目3项;已发表学术论文20余篇。

# 在融合和优化中演进的统一承载网

## Unified Bearer Network Evolving Towards Convergence and Optimization

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2012) 05-0036-06

**摘要:** 文章主要讨论了承载网融合过程中网络和设备的架构与功能以及智能软件在流量优化中的关键技术。文章认为网络、设备的融合和多层多域网络的联合优化调度,可以减轻 IP 网络流量压力,提高承载网运营效率并降低运营商的资本投资和运维成本,是电信网络发展的长期趋势。

**关键词:** IP; 光网络; 路径计算单元(PCE); P-OTN

**Abstract:** In this paper, we discuss the network architecture and equipment functions in a converged bearer network. We also discuss the key technology for optimizing the flow of intelligent software. We suggest that network convergence, equipment convergence, and the joint optimal scheduling of the multilayer, multidomain network can reduce the pressure on IP network traffic. It can also improve operational efficiency of the bearer network and reduce capital expenditure (capex) and operation administration and maintenance (OAM) costs. This is a long-term trend in the development of telecommunication networks.

**Key words:** IP; optical network; path computation element (PCE); P-OTN

陈杰/CHEN Jie  
马恒/MA Heng

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

- 市场和管制的变化要求运营商降低承载网的综合成本
- 将中转 IP 流量旁路核心路由器可以有效降低 IP 网络的投入
- 统一控制模型的选择, 决定了统一调度的基本框架和模式, 是统一调度方案的核心问题

21 世纪的前 10 年, 电信市场格局发生了巨大变化: 随着市场竞争的日益激烈, 电信管制政策的变化, 电信市场上出现了提供固定业务和移动业务的综合大型电信运营商; 运营商业务范围也日益扩大, 逐渐覆盖了数据、语音和视频等多种基本业务。这些均给运营商的网络建设和网络运维带来了极大的压力和挑战。

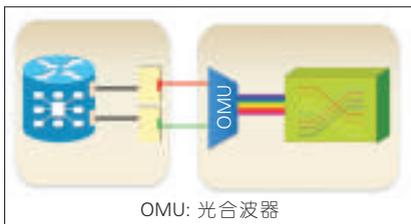
在网络的发展过程中, IP 方式承载和以太网业务逐渐成为整个网络承载的主流方式, IP 数据流量已经占到承载网流量的绝大部分。据一些咨询机构提供的数据表明: IP 业务平均每年都以 40~50% 速度不断递增。这些流量给网络来了巨大的压力, 主要表现在: 路由器扩容压力越来越大, 并且 IP 网络运营面临增量不增收的尴尬处境。

一些大型运营商和服务商研究发现: 经过核心路由器的 IP 流量中, 大约 60~70% 流量只需要路由器流量中转而无需 IP 层处理, 逐跳转发将浪费大量路由器资源。因此, 将中转 IP 流量旁路核心路由器可以有效降低 IP 网络的投入。与传输设备和以太网交换设备相比, 路由器的端口十分昂贵。解决该问题的一个思路是通过流量下沉, 将中转流量移交给光传输网络, 减少昂贵端口的消耗, 同时节省传输中的单位比特能耗; 另外通过融合设备加强二层处理功能, 支持处理不需经过 IP 转发的流量, 这样也能实现降低设备成本和节能减排的作用。从长远的需求角度看, 当进行网络实施流量工程提升网络性能之际, 软件厂商提供更加全面和优化的算法, 进行业务流量规划和分布,

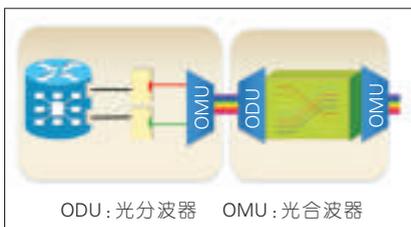
寻找业务连接的全局最优路径, 可以使得网络运行在一个高效和合理的状态。

由于当前数据网络和光网络规划和运营分别隶属于不同部门, 流量优化一般采用单独的规划和调度, 部门之间通过静态的工单进行联系和沟通。数据网络是负责数据分组的转发和调度, 而光传输网络负责大容量数据传输; 一般是 IP/多协议标签交换(MPLS)网络规划流量和路径后, 下工单要求传输部门建立光通道来连接各路由器, 光网络通过静态配置或者动态连接操作提供物理链路资源。但这样分层运营和独立优化的方法很难获得全局优化的效果。

因此, 要想获得较好的优化效果, 运营商需要整合其部门管理职能、优化业务流程并使用先进的优化



▲图1 路由器出彩光口



▲图2 路由器集成合分波

技术。如果使用光网络来旁路数据网络的中转流量,那么需要通过数据网络和光网络的统一调度,并在合适位置将分组流量引导到相应的光通道上,之后直接传输到对端的路由器,从而节省中间网络路由器的端口,减轻传输压力。对于一些纯交换的以太网业务,则可以通过边缘的增强传输设备直接接入,无需通过IP路由器逐跳转发,光网络直接将流量导向目的地。为了协助运营商实现运营效率提升,设备和软件提供商需要进行一系列的技术创新和改进,文章从融合和优化两个角度提出了对运营商分组和光传输网络的改进方法。

## 1 网络和设备的融合

### 1.1 组网方式的融合

#### 1.1.1 数据网络的融合与黑链路

随着IP承载多业务时代的到来,路由器在数据网络中的地位日益突出,相应的网络边缘设备能力不断提升,路由器与光网络的边界和接口也出现了新的界定和融合。路由器设备发展集成了光收发模块,减少了相关光传输设备收发模块的数量。同时,路由器光模块具备G.709的成帧能力和前向纠错编码(FEC)能力,通

过加强运维、管理和维护(OAM)能力和编码增益,降低了光传输再生时候的光电光(OEO)转化和电交叉的成本。如图1所示,路由器通过收发模块发送或者接收光传输设备的彩光,即连接链路是满足G.698.2规范要求的黑链路。数据网络边界的接口从而把传统的光传输部分功能纳入进来,优化设备配置。根据集成程度不同,还出现另一种技术,如图2所示,路由器进一步集成合分波器,网络的边界成为合波后的多通道波复用链路。

黑链路接口方式可以给网络融合带来很多益处,在一定范围内对投资成本(CAPEX)的优化带来了明显效果,如减少OEO转化次数、节省光层发射模块、减少网元数量和电层交叉处理成本。在运营成本(OPEX)方面,通过集成的模块,将光层OAM信息自然带到数据层,从而实现信息互通,便于端到端的管理。但是这种应用是有局限性的,例如在大型和长距离光传输中,由于没有电层再生能力,一些色散、非线性效应难以补偿,对于40G/100G传输系统码型、色散容限等参数多厂商难以统一等。此外,当多种类型的数据网络承载到统一的光网络上,光网络的运维能力也会显得不足。所以在范围不大的区域进行传输时,如在城域网或者互联网数据中心(IDC)中心之间流量旁路,这种组网方式更有发展前途。而对于传统大型运营商,还会寻求其他更为有效的网络方式组网。

#### 1.1.2 光网络的融合与传统GE接口发展

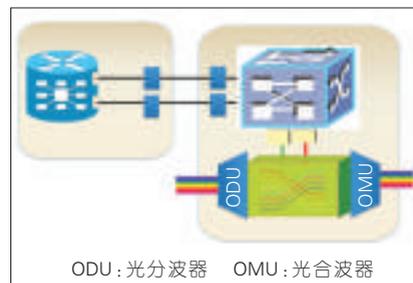
网络融合另外一个发展趋势是把重点改造放在光传输网络上,而使数据网络保持最小改动。数据设备仍保留千兆以太网(GE)/同步数字体系(SDH)承载分组(POS)接口,并通过电路或者灰光接口连接到传输设备上。光传输设备在电交叉处理能力上集成分组处理功能,并首先在传输

业务处理线卡上增加基于虚拟局域网(VLAN)封装和交换功能,再进行单板级别的数据流量汇聚和疏导;然后进一步发展设备增强业务处理单板和背板能力,实现设备级别的流量汇聚和交换;最后设备集成MPLS或者MPLS-TP的标签交换路径(LSP)功能,进行更加细致的通道调度和交换。如图3所示,光传输设备不仅保留了电层处理功能,还融合了大量的二层甚至部分三层处理功能。

通过保持原有网络接口形式的一致,可以实现在光传输设备的升级改造,这符合运营商兼容已有网络、逐渐演进的发展思路。光传输设备通过增加不太复杂的二层汇聚和交换功能,提升传输网络流量、调度灵活性的同时,仍然保持了传统的传输网络传输可靠、OAM&P能力强、运维水平高的特点。同时,网络仍然可以把IP的中转流量下沉到光传输设备中并实现传输,此时传输设备具备从ODU0到ODU3粒度以及ODUflex的调度能力,多厂商之间互连互通不存在任何障碍,产业化推动比较容易。但是,从功能简化和设备层级减少的出发点考虑,该方案的成果不明显。

#### 1.1.3 两层改造和通道化OTN接口

运营商还曾考虑过数据设备和光传输设备都保留光传送网(OTN)接口能力的方案,这样以来光传输可以为分组承载建立通道化的OTN接口,并可以将IP流量下沉到传输设备进行旁路。但是该方案和设备在业界影响较小,因为无论从设备简化还是网络兼容性角度,优势都不明显。如



▲图3 传输设备集成分组处理功能

果光网络侧要保留 ODU0 调度能力,网络两侧设备都需要具有光通道数据单元(ODUk)的封装和解封装处理能力,综合来看该方案反而增加了设备成本。

## 1.2 设备功能的融合

业务的融合客观要求网络构成的融合以及组织的融合,而网络的融合又以设备的融合为基础。在数据网络和光传输网络融合的过程中,二者相互渗透、学习,并相互兼容。承载网在融合过程中出现了具备分组、时隙和波长综合交换能力的设备—P-OTN。设备融合的一种方案是从网络上层向下层集成和融合,并在以分组为交换内核的统一架构下,单平面具备 IP/MPLS, VLAN, 虚容器(VC), ODUk,  $\lambda$  接口能力,并支持多种交换粒度的调度架构;另一种方案是从网络下层传输向上层交换能力集成和融合,存在分组和时隙交叉综合交换架构,并且不同交换矩阵之间通道电路连接,双平面同样具备 IP/MPLS, VLAN, VC, ODUk,  $\lambda$  接口能力。如表 1 所示,各个交换平面架构都有各自的优缺点。根据网络承载的业务特点,这些融合的程度和具备的能力可以是一个逐步演进的过程。

当这种具备多种能力的强大设备成熟之际,网络的组网和应用方式将会出现改变,它既可以充当数据设备,进行部分的分组业务的调度和疏导,也可以作为光网络的发起点,创建底层的光传输通道,完成端到端的连接管理和维护。作为一个跨越两张网络的边缘节点,统一流量调度工作大部分在该设备完成,其承担的处理能力和管理控制能力要求非常高。由于需要具备多种层次的交换能力和接口能力,这种设备的技术复杂度和设备体积也是一个挑战。随着芯片处理能力、光电集成度、控制传送高速协同、光缓存技术的发展和成熟,光突发交换(OBS)甚至光分组交换(OPS)的融合交换将是更长远的

▼表 1 不同交换架构比较

	优势	缺陷
单平面	可扩展性和灵活性; 分组和时分之间灵活的带宽分配。	满足 TDM 的性能要求困难; 交换成本较高。
双平面	与传统 TDM 性能一致, 易于理解;逐步增加分组交换能力,平滑演进; 支撑交换容量巨大。	背板比较复杂; 双平面之间容量限制; 可扩展性和灵活性限制。

演进目标和解决技术。

## 2 网络优化调度的关键技术

### 2.1 网络优化与统一调度的概念

网络优化通常是指通过各种硬件或软件统计、分析、约束求解技术的调整,使网络性能达到既定目标的最佳平衡点。硬件方面是指在合理分析系统需要后,在性能和价格方面做出最优解;软件方面指通过对软件参数的设置以期取得在软件承受范围内达到最高性能负载。

在电信承载网中的网络优化是指给定网络拓扑、节点资源、链路资源、交换能力、物理通道参数等基本参数条件下,根据用户制订流量均衡、端口消耗、最短路径、能耗合理等优化目标,进行业务流量的多层多域网络优化求解,完成通道路径分配、拼接、匹配,从而获得整个网络业务流量端到端分配的优化路径。在分组和光传输融合的承载网中,统一调度就是完成 IP 网络的 LSP、虚拟以太网连接和光网络的光通道统一匹配,流量路径优化。这对分组网络有一个要求,即 IP 流量的通道化传输。IP 网采用 MPLS-TE,流量通过 LSP 传输,以太网流量也采用类似的以太网虚拟连接通道进行流量传输。

### 2.2 网络优化和统一调度的要求

为了实现 IP 网络和光网络的统一调度和全局优化,需要解决以下几个关键技术问题:

(1) 多层多域的组网方式和计算架构

网络信息的管理和控制模型决定了网络的组织方式,采用合理的组

织模型有利于保证网络的可管可控,既能满足优化所需的信息,又能符合信息的管理要求。在一定组网条件下,利用分布和集中相配合的协同计算组件,是优化和调度的基础。

(2) 大规模组网 LSPs 规划和计算

多层多域网络的路径计算和 LSP 分配是一个基于图论的多约束问题,如何在时间、空间效率和最优效果之间获得平衡,需要在算法上改进以获得一个理想的优化计算结果。

(3) IP 网络和光网络的控制面信令互通

在网络完成优化之后,需要有合适的智能软件完成 LSP 自动连接以及各种连接的拼接、嵌套,这需要有合适的协议满足异构网络自动连接,以完成配合统一调度和全局优化。

(4) 多层多域和多自治域的路由互通

优化计算需要自动获取网络拓扑、节点资源、链路资源、交换能力、物理通道参数等基本参数条件,这些扩展的链路信息需要跨越多个层面和区域,并在不同自治域之间自动扩散,从而使得计算节点动态准备获得信息。

(5) 异构网络链路自动发现

不同类型的网络设备之间通过协议和接口不断改进,从而可以获取对端的端口速率、接口类型和链路连通性,异构网络的信令通道的通信建立。

#### 2.2.1 统一控制面的关键技术

分组网络和光网络的控制信息互通需要协议支持,目前业界一致看好的协议是 IETF 主导的通用多协议标记交换(GMPLS)<sup>[1]</sup>。GMPLS 是基于

MPLS-TE的扩展,首先应用在SDH/同步光纤网络(SONET)产品的自动交换光网络(ASON)控制面上,后来发展成为可以用在各种网络上的通用控制面技术。

当前GMPLS技术可以支持的通用标签交换方式包括光纤/端口交换、波长交换(WSON)、时隙交换(SDH/SONET, OTN)、二层交换(Ethernet, ATM, Frame Relay, PBB-TE)和分组交换(MPLS, MPLS-TP)等。

GMPLS的主要协议包括用于路由扩散和管理的基于流量工程的中间系统到中间系统协议基于流量工程的中间系统到中间系统协议(ISIS-TE)<sup>[2]</sup>、基于流量工程的开发最短路径优先协议(OSPF-TE)<sup>[3]</sup>、用于信令连接的基于流量工程的资源预留协议(RSVP-TE)<sup>[4]</sup>和链路管理的链路管理协议(LMP)<sup>[5]</sup>。这些协议是对原有MPLS协议的扩展,除了保留流量工程特性以外,主要是能够针对多种交换粒度的节点能力和链路能力进行扩展。

GMPLS对MPLS-TE的一个很重要的改进是支持控制通道和数据通道分离。光网络一般都是控制通道和数据通道分离的,而IP数据网络是控制通道和数据通道合一的,此外它还支持呼叫与连接过程的分别建立。在协议发展过程的信令协议基于路由受限标签分发协议(CR-LDP)和专用网网间接口(PNNI)逐渐边缘化,支持厂商不多。

需要指出的是,GMPLS协议可以辅助提升多层优化和统一调度的能力,并非优化必须的前提条件。在网管配合下,核心的优化组件和算法组件计算是可以获得优化路径,并且通过手工配置得以实现。有了GMPLS协议和相应的智能控制技术,将提升网络规划和优化能力和实现速度。

### 2.2.2 统一控制平面的网络模型

为了实现多层融合的统一控制和调度,可以采用3种网络组成控制

模型:重叠模型、对等模型和边界对等模型。

#### (1) 重叠模型

重叠模型把分组网作为客户域,把光传送网作为服务域,两个网络的拓扑信息不相互扩散,只通过光互连论坛(OIF)用户节点接口(UNI)<sup>[6]</sup>或者GMPLS UNI<sup>[7]</sup>交互业务请求、资源发现等信息,各自的网络控制和传输技术独立发展。

重叠模型保持了现网层次架构和网络管理运营模式,用户可以在较少的改动条件实现网络优化。传统的源路由计算方式不能获得全局优化的路径和流量控制,需要其他方式如路径计算单元(PCE)、网管等增强计算进行优化。

#### (2) 对等模型

在对等模型中,所有分组网络设备和光网络设备都在一个控制域中并互换拓扑信息和TE链路信息、节点能力信息。这和现有网络架构不一样。对等模型需要对光网络和分组网络统一管理。对控制平面要求比较高,控制管理信息比较复杂,任何一个节点都可以进行优化计算。目前只是在光网络的时隙和波长交换两个网络域中实现了对等模型。对于多层多域控制技术而言,这是一个长远的发展目标。

#### (3) 边界对等模型

边界对等模型是一个介于重叠模式和对等模式之间的统一控制模型,边界路由器或者P-OTN既是分组网络节点,也是光网络节点。拓扑信息和TE链路信息、节点能力信息只是在边界节点进行交换,其他节点只知道本域信息。在该模型中,IP网络和光网络的统一网络管理好于分别管理,这也意味着想要改变现有的承载网管理模式。

统一控制模型的选择,决定了统一调度的基本框架和模式,是统一调度方案的核心问题。光网络融合数据能力比较适合使用重叠模型,这也是当前运营商的承载网运营模式。

数据网络扩展光传输能力一般采用边界对等或者对等模型。

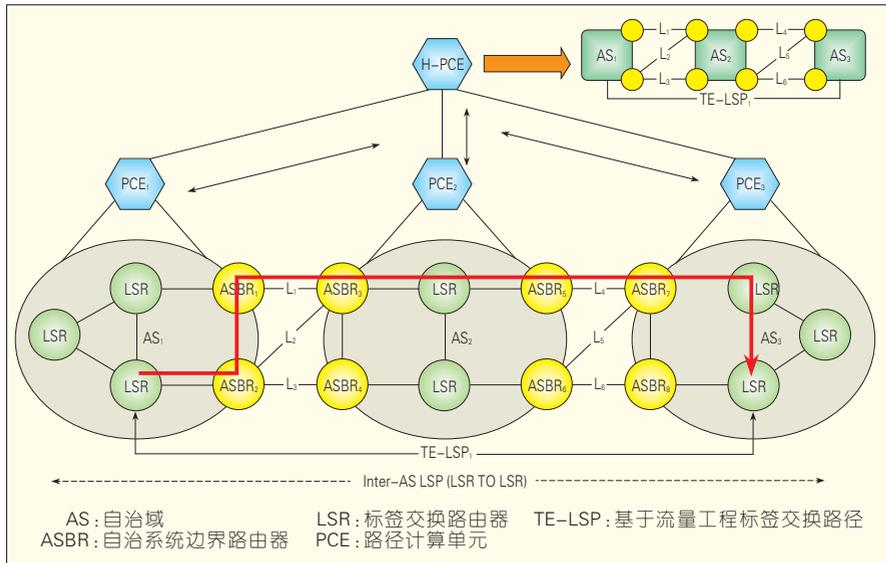
### 2.2.3 统一优化调度的关键技术

随着网络规模的不断扩大,目前嵌入式单元源路由计算能力已经难以满足统一调度和全局优化的路径计算能力。多层多域网络采用重叠模型后,路由信息的隔离也使得全局优化的难以实现。因此,PCE<sup>[8]</sup>应运而生,其主要功能是基于网络拓扑、流量工程数据库(TED),按带宽和其他约束条件,计算出LSP路径。PCE的分布可以是内置、外置或者与网管结合,目前最多应用的PCE是作为外置式布置的一个计算单元,灵活地避免各个控制域信息隔离的缺陷,在第三方(或者运营商定制)开发的PCE单元同步各个域的TED,并通过在不同域中都布置PCE协同完成跨越多个域的路径计算。PCE使用逐域计算、反向递归算法(BRPC)等算法完成端到端优化计算。

尤其是在多层多域和多自治域的大型网络优化中,PCE的优点更加突出,可以在每个域配置一个强大的外置PCE单元,通过多PCE分工协作,共同完成一个端到端的最优路径计算。甚至可以引入等级PCE,在多个域之上设置一个父PCE(H-PCE),由父PCE完成域序列的选择,子PCE进行各个域的优化路径计算。例如在图4中通过协同计算完成一条基于流量工程标签交换路径(TE-LSP)穿越多个自治域(AS),域内经过的标签交换路由器(LSR)由子PCE计算,域选择和自治域边界路由器ASBR选择则由父PCE负责。

### 2.2.4 全局优化的计算技术

在全局优化和统一调度中,最具有挑战的是多层多域网络的优化算法。当网络叠加多个层次和多个约束条件后,其计算复杂程度成平方级别的增加。单纯的在一个网络增加多层多域网络的多个约束条件,进行



▲图4 层次PCE协同完成路径计算

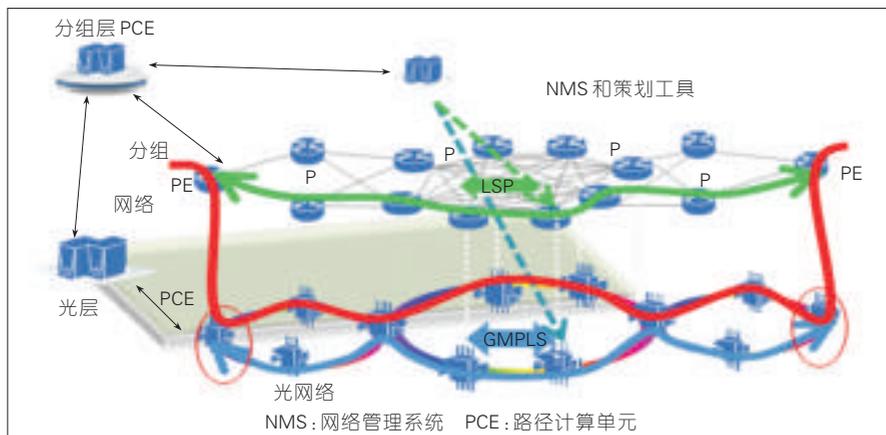
多目标的联合优化往往会因为计算的复杂度难以在规定的时间内求解出满意的结果。联合优化较于单层优化具有显著优势,但是由于多层优化规划运算较为复杂,而且多层联合优化层间协调的内容尚未存在标准,因而多层联合规划与优化一直是个较为棘手的问题。而整数线性规划(ILP)作为规划与优化问题的一种解决方案已经被充分研究,由于对计算机要求过高,ILP一般仅限制于理论研究。

合适的IP、光层网络统一调度能提供不同层次的网络业务路由优化以及IP层和光层资源的合理分配。进行网络优化和调度时候时,运营商通常将IP层和其他网络层次分离开,上下层网络间构成客户/服务关系。服务层根据连通性为客户层构建虚拟网络拓扑(VNT),通过虚TE链路(例如服务层使用FA-LSP为客户层建立的链路)进行连接。根据服务层的跳数、节点能力、保护特性、传输距离等因素,映射为不同连接权重。规划IP层网络根据业务需求矩阵,包括节点需求、接口带宽等考虑本层链路权重,并应用基于约束的Dijkstra算法确定本层传输路径。服务层的路径计算则依靠本次的计算结果进行

类似计算(类似递归方法),在每个层次进行不断优化,最终获得端到端的优化路径。通常的最短路径优先计算方法,在IP层所有业务都要经过中间节点,无法解决Router Bypass问题。IP层是统计复用的,而底层传输是空间分割的,计算结果IP层流量将占用大量的带宽和端口。可以使用统一调度的方法对底层传输空间进行网络化,通过不同约束条件和优化目标找到特定条件服务层捷径,从而实现路径优化的一个特例—流量Bypass。

### 2.2.5 统一调度的应用

假设某运营商的承载网络由IP



▲图5 旁路IP流量和光层接入以太网业务

数据、以太网交换机和光传输网络组成。传统的业务都通过IP边缘路由器接入,然后经过中间路由器逐跳转发。但大部分互联网业务流量只是在两个特定的边缘路由器上下路,逐跳转发会浪费大量而昂贵的路由器端口。通过全局优化,制订边缘路由器为流量汇聚点,光层生成新的虚拟直连链路,直接将流量旁路,如图5中的红色路径。对于以太网交换机业务,如果无需IP转发或者承载,直接通过光层具备以太网业务能力的融合设备,并直接将流量导向对等服务器,则可以减少不必要的IP转发,如图5中的蓝色路径。

### 3 结束语

网络、设备的融合和多层多域网络的联合优化调度,可以减轻IP网络流量压力和提高承载网运营效率,减少的运营商的资本投资和运维成本,是电信网络发展的长期趋势。传输网和IP网的管理、运营融合有多种方式和演进技术,无论是从光层向数据融合还是数据层向光层演化,都需要抓住运营商的业务特点,并从网络既有格局和保护投资角度,按照不同应用场景和发展目标灵活运用,最终实现平滑演进。

在网络和设备融合、创新的基础上,要积极发展网络优化和统一调度,充分挖掘网络运行的潜力。通过多层多域联合优化软件的优化算法

和智能控制软件,实现流量的优化分布和最小代价传输。

统一调度和管理架构也是非常重要的,构架合适的网络模型,利用PCE强大计算能力是关键,这需要运营商的对已有网络架构和运维管理体系进行调整和革新。在协议方面已有的GMPLS协议和OIF测试已经比较成熟,而新的全局优化算法也在不断发展。在未来承载网演进的过程中,融合发展的网络和层出不穷的优化技术必将会推动承载网络不断前进。

#### 4 参考文献

- [1] Mannie e. Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture[S]. IETF. RFC 3945.2004.  
[2] Kompella k,Rekhter y. IS-IS Extensions in

- Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) [S]. IETF. RFC 5307.2008.  
[3] Kompella k,Rekhter y. OSPF Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) [S]. IETF. RFC 4203.2005.  
[4] Berger I.Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions [S]. IETF. RFC 3473.2003.  
[5] Lang j. Link Management Protocol (LMP) [S]. IETF. RFC 4204.2005.  
[6] User Network Interface (UNI) 2.0 Signaling Specification: Common part[R]. OIF-UNI-02.0-Common.Fremont, CA,USA: Optical Internetworking Forum.2008.  
[7] Swallow g,Drake j,Ishimatsu h,et al. Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) User-Network Interface (UNI): Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Support for the Overlay Model [S]. IETF. RFC 4208. 2005.  
[8] Farrel a,Vasseur j p,Ash j. A Path Computation Element (PCE)-Based Architecture [S]. IETF. RFC 4655.2006.

收稿日期:2012-08-15

#### 作者简介



陈杰,南京邮电大学通信专业、纽约大学计算机专业双硕士学位毕业;曾任中兴半导体有限公司开发部主任、AT&T公司贝尔实验室高级研究员与研究部主任、中兴通讯美国分公司总裁、中兴通讯网络事业部总经理,自2003年以来,任中兴软创董事长、中兴通讯高级副总裁;1992年获得国家科学技术进步奖一等奖,2007、2008年分别获得国家科学技术进步奖二等奖,2012年获得深圳市高层次专业领军人才称号。



马恒,中兴通讯工程师;长期从事有线通信设备和智能软件的研发和技术规划工作;已申请和获取国内外专利共20余项,并发表文章6篇。

## 综合信息

### 中兴通讯获 Nagravision CA 授权 布局欧洲数字电视市场

【本刊讯】2012年10月8日消息,中兴通讯宣布获得全球知名条件接受系统(CAS)厂商 Nagravision 的 CA 授权,并在数字电视领域展开合作。

根据协议,中兴通讯将取得 Nagravision 的授权,可以跟 Nagra 的数字电视系统互通。因此,中兴通讯将可以在全球范围内与 Nagravision 的客户系统实现对接,在其市场范围内提供数字电视机顶盒。

Nagravision 是全球最大的 CA 系统设备提供商,总部位于瑞士。统计数据显示,Nagravision 为全球超过 120 家电视运营商提供条件 CAS,占据全球有线付费电视 18% 份额、欧洲区域 70% 市场份额。其方案的高可靠性以及高安全性得到全球客户认可,并在欧洲、南美、非洲、亚洲得到广泛运用,其用户包括法国电信、德国电信、沃达丰等跨国运营商。

近期,中兴通讯除了推出具有通常高清解码功能的产品外,还将推出采用 Android 操作系统,具有 3D 体感游戏、可视通信等多种功能,并支持 HTML5 的智能机顶盒,给客户带来创新体验和感受,帮助运营商快速提升终端用户的关注度和粘性。目前,在数字电视方面,中兴通讯凭借先进的技术水平、端到端的解决方案能力、稳定成熟的产品,在全球多个国家实现规模商用。

### 中兴通讯推出业界首款 Zi-Fi 产品 在广州首获现网应用

【本刊讯】2012年9月20日消息,中兴通讯在广州 381 路公交车成功实现了 Zi-Fi 产品在现网中的首次应用,推动了 TD-LTE 技术在实际应用上的发展,并拓宽了 TD-LTE 的发展道路。

安装在 381 路公交车上的 Zi-Fi 终端可以将 TD-LTE 信号转成 Wi-Fi 信号,乘坐 381 路公交车的公众则可以通过有 Wi-Fi 功能的平板电脑、智能手机、笔记本电脑等终端接入高速无线网络,实现在线高清视频点播、在线游戏、高速下载等业务。

中兴通讯副总裁王守臣表示:“作为全球领先的 TD-LTE 供应商,中兴通讯有能力为运营商提供成熟稳定的 Zi-Fi 解决方案。Zi-Fi 解决方案在广州 381 路公交车上的成功应用是个良好的开端,后期我们将继续和中国移动通力合作,将 Zi-Fi 解决方案应用到楼宇,并将结合智能楼宇的建设,进一步扩展 Zi-Fi 的应用空间。”

基于用户体验的价值创新,中兴通讯提供从芯片到产品,再到解决方案的全面 TD-LTE 终端与融合服务解决方案。目前,中兴为全球近 10 家运营商定制开发 TD-LTE 终端产品。2012年3月,中兴通讯正式推出全球第一个 TD-L/TD-S/FDD/EDGE 多模单芯片数据卡,截至目前,中兴通讯已能提供数据卡、CPE、Mi-Fi、模块、Zi-Fi 等多种形态的 TD-LTE 终端产品。

# 无线串口在智能终端上的应用

## Wireless Serial in Smart Terminals

**摘要:** 文章介绍了由 Silicon Labs 的无线收发芯片 Si4432 以及低功耗单片机 C8051F930 构成的无线串口收发系统的硬件实现原理以及数据收发流程。在无线透明串口数据收发的基础上,文章提出在无需拆卸智能终端以及开盖操作的前提下,通过无线串口实现对智能终端的嵌入式操作系统、应用软件、播放文件、广告等文件的实时更新的方法。该方法保证了系统长期工作的稳定性,并大大提高了工作效率。

**关键词:** 无线串口; 系统更新; Si4432; C8051F930

**Abstract:** In this paper, we introduce the implementation principle and data transmission process of a wireless serial transceiver system that consists of an Si4432 wireless transceiver chip and low-power C8051F930 microcontroller, both from Silicon Labs. We propose a new way of efficiently updating a) a batch of embedded OSs and b) software of the intelligent terminal at the same time. This updating can be done without having to remove or open the intelligent terminal. It also ensures the stability of the system and greatly improves efficiency.

**Keywords:** wireless serial; system update; Si4432; C8051F930

中图分类号: TN915.1 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 [2012] 05-0042-03

具有视频、音频或数据处理能力的智能终端在日常生活中越来越占据重要的地位,移动智能终端、车载智能终端、家用智能终端也在不断地改变人们的生活。但是当车载终端、家用智能终端需要对系统进行更新时则需要将机器从安装的系统环境中拆下,并通过 USB 或 JTAG 方式的数据通道进行系统更新,这样则给大批量产品的系统更新带来了很大的麻烦。文章提出了一种通过无线串口实现系统更新的方法,并着重介绍了无线串口的构成、实现以及通过无线串口更新智能终端的流程。

### 1 无线串口的原理和组成

无线串口主要由两部分组成:一部分是数据的处理;另一部分是数据的无线发送和接收。发送模块主要将需要发送的串口数据经过微控制单元(MCU)处理后,通过无线发射芯

片发送出去;而在接收模块中,无线发送的数据通过相应的无线接收芯片将数据正确接收,并通过 MCU 对接收的数据进行解析处理,然后 MCU 对解析出的数据进行显示或者执行相应的预先定义的操作,无线串口通过这种方式实现短距离的无线通信。

在本设计中,无线收发芯片选择了 Silicon Labs 的 Si4432, MCU 选择了 Silicon Labs 的 C8051F930 单片机。Si4432 芯片是一款高集成度、高灵敏度、低功耗、多频段无线收发芯片,它的内部集成分集式天线、功率放大器、唤醒定时器、数字调制解调器等,在使用时只需极少的元件就能组成一个高可靠性的收发系统。Si4432 芯片接收灵敏度达到 -117 dB,可提供极佳的链路质量;最小滤波带宽达 8 kHz,具有极佳的频道选择性;最大输出功率就可达 +20 dBm,具有较大的覆盖区域,芯片可以工作在 315、

钮若丹/NIU Ruodan<sup>1</sup>  
范成涛/FAN Chengtao<sup>2</sup>

(1. 苏州大学 计算机科学与技术学院, 江苏 苏州 215000;

2. 上海文广科技(集团)有限公司, 上海 200072)

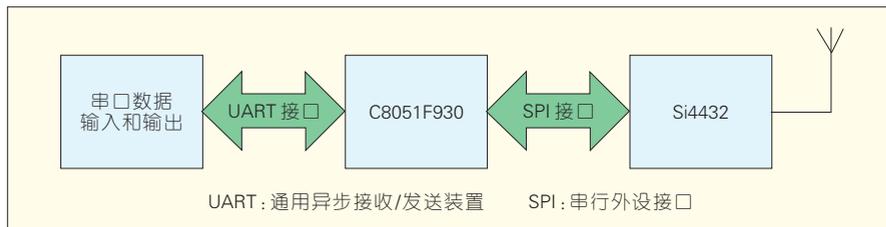
(1. School of Computer Science and Technology, Suzhou University, Suzhou 215000, China; 2. Shanghai Media&Entertainment Technology Group Co., Ltd., Shanghai 200072, China)

433、868、915 MHz 4 个频段。C8051F930 是最近推出的具有超低功耗的 MCU,片内具有 4 kB 的 RAM 和 64 kB 的 Flash,片上集成了串口、串行外设接口(SPI)等外围接口模块。芯片内置的增强型 SPI 接口可以实现对 Si4432 芯片的配置以及接收和发送数据的交互。芯片内置的通用异步接收/发送装置(UART)接口可以实现与外围系统的串口数据的交互,包括与 PC 机相互连接进行的通信,及与智能终端内置 UART 接口连接的通信。同时 C8051F930 和 Si4432 都是各自产品线中低功耗的典型代表,无线串口具有低功耗、小体积、高灵敏度以及高质量无线数据传输的特点,使用以上方案设计的无线串口在手持设备上工作也有较大的优势<sup>[1-2]</sup>。无线串口的系统框架如图 1 所示。

### 2 无线串口数据收发的实现

#### 2.1 无线串口的初始化

无线串口数据的发送和接收是在 C8051F930 的控制下进行的。通过 C8051F930 内置的 SPI 接口可以对 Si4432 相应的寄存器进行配置,待配置完成后可以通过 SPI 接口对 Si4432



▲图1 无线串口系统框图

▼表1 数据包组成

组成	前导字	同步字	发送字	包长	数据	校验值
占用字节/Bytes	1 ~ 255	1 ~ 4	0 ~ 4	0/1	不固定	0/2
描述	连续的一串01	自定义收发配对	根据不同应用设定	数据载荷长度	有效数据载荷	保证传输正确

的输入数据的先入先出存储器(RX FIFO)、输出数据的先入先出存储器(TX FIFO)进行读、写操作,从而实现数据的收发。系统开始上电后,C8051F930首先需要对自身的通用输入/输出(GPIO)端口、SPI接口、UART接口进行初始化操作,之后可以通过SPI接口并根据无线串口接收和发送之间的协议实现对Si4432的初始化操作。通过对Si4432的0x1c, 0x1d等寄存器的设置可以配置相应的初始化射频(RF)控制字(包括频率、传输速度、传输方式等)。Si4432模块之间的通信是以数据包的形式发送的,数据包的格式需求如表1所示。由于Si4432内部集成有调制/解调、编码/解码等功能,从而前导字、同步字、包长信息和循环冗余校验码(CRC)校验值都是硬件添加的,用户只需根据不同的应用选择不同的数据包结构并通过对33h、34h等寄存器的设置来配置包的结构、前导码长度、同步字的具体内容等<sup>[3-4]</sup>。

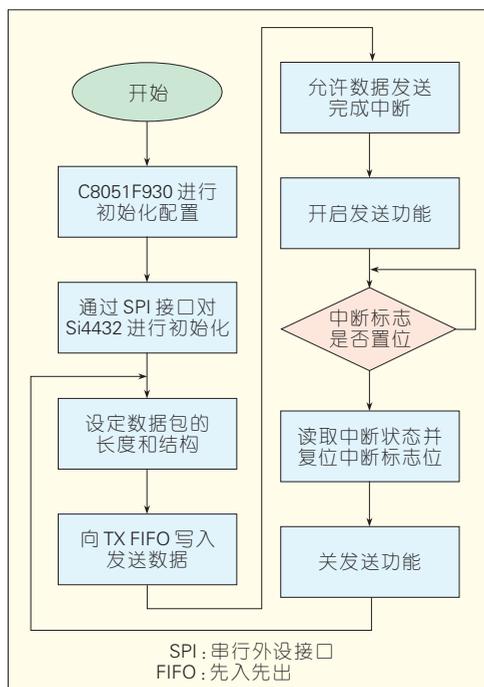
2.2 无线串口的发送及接收流程

在无线串口数据通信中使用了Si4432的同步传输模式。无线串口每次开始发送数据时,需要先发送一串01组成的前导字,然后发送同步字0x5A5A,传输完同步字后才开始传输有效数据数据载

荷,此时系统硬件将自动计算发送数据的CRC,并将计算获得的CRC校验值添加到发送数据的尾部并和有效数据一起发送。在接收端,无线串口接收器在检测到同步字后开始接收数据,系统硬件对接收的数据进行CRC校验,校验正确则认为完成一次数据接收。

2.2.1 无线发送程序

无线发送程序流程如图2所示。系统上电后则完成对C8051F930以及

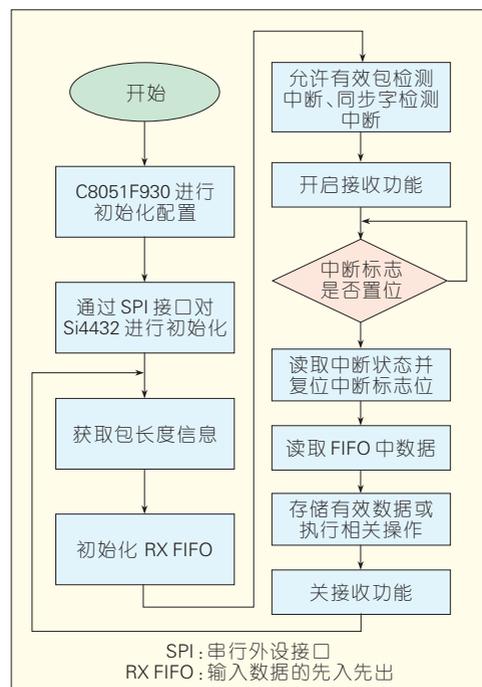


▲图2 无线发送流程

Si4432初始化操作,操作完成后C8051F930通过SPI接口设置需要发送包的长度并向TX FIFO写入需要发送的数据,C8051F930配置Si4432允许“数据完成中断”,并开启Si4432的自动发送的功能。当数据包发送完成后,Si4432会产生中断,C8051F930则通过读取中断状态获取数据包已发送完毕信息。C8051F930在收到数据包完成的信息后,恢复相应的中断标志位,并通过SPI接口向TX FIFO写入需要发送的数据,开始进入下一次数据循环发送状态。

2.2.2 无线接收程序

无线发送程序的流程如图3所示。完成对C8051F930以及Si4432的初始化后,Si4432首先读取寄存器4B的信息,获取包长度的信息,并清空RX FIFO以准备接收数据。然后,Si4432打开“有效包中断”和“同步字检测中断”,并将其他中断都禁止。当Si4432接收到有效包后,则产生中断,C8051F930通过读取中断状态获取有效包被检测到的信息,而C8051F930单片机则通过SPI接口读



▲图3 无线接收流程

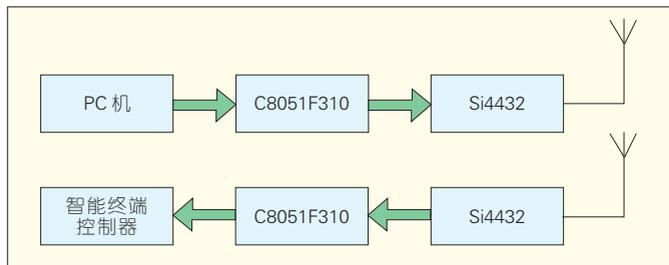


图4  
无线串口系统更新框图

取RX FIFO中的数据并开始检测这个同步字,当接收模块检测到0x5A5A同步字后,则开始接收有效数据并将数据存储到指定的数组中或执行指定的操作。在接收数据过程中,通过比较包长信息来确定数据接收是否完成。数据接收完成后复位相应的中断标志位,以准备下一次检测到有效包后的中断触发。

### 3 无线串口在智能终端系统更新中的应用

智能终端系统的更新主要包括两部分:一是连接了无线串口发送模块的PC机发送程序的更新,包括确定需要被更新的智能终端的编号以及需要更新的系统文件数据;另一部分是安装了无线串口接收模块的智能终端的系统文件、应用程序等的更新。智能终端中的程序分为两部分,一部分是系统更新服务程序对无线串口接收到的数据进行相应的分析和处理;另一部分是需要被更新的嵌入式系统的系统文件、应用程序等。硬件系统框架如图4所示。

PC机通过无线串口发送模块发送指令,智能终端更新服务程序对无线串口接收模块接收的数据进行分

析并确定是否为本机需要的更新系统,如果是本机需要的更新则系统需要调用更新服务程序,并且接收、存储待更新的系统文件数据,如果不是发送给本节点则不做处理。

对于PC机发送的数据,需要对其进行CRC校验,以确保在数据发送过程中即便出错也能实现数据重发。首先PC机每次对需要发送的数据进行CRC校验,并将数据段的校验发送给智能终端。智能终端更新服务程序同样对有效数据段进行CRC校验,并与接收到的CRC校验值进行比较,以确定接收到的数据是否正确。如果CRC校验不正确,那么智能终端将请求PC端对数据段进行重发;如果CRC校验正确,那么数据将存入对应的数组中。智能终端系统升级服务程序开启相应的中断,并将数据复制到同步动态随机存储器(SDRAM)中,调用Flash烧写程序,并根据升级文件属性将数据分别写入Flash中相应的block。对于在该程序中比较大的智能终端的更新,可以将需要发送的数据先进行分段处理,然后再分别进行发送或烧写,等程序全部完成后,系统将进行复位操作,并跳转到系统应用程序入口,执行应用

程序的操作。

### 4 结束语

目前智能终端已在人们的生活中大规模使用,它可以根据客户或者环境的不同对应用程序进行更新。对于已经完成安装的系统,开盖更新中则会遇到很大问题,因此通过无线串口更新智能终端,将大大提高大批量系统更新的效率。

### 5 参考文献

- [1] Si4432 datasheet[M].深圳:深圳芯科科技有限公司(Silicon Laboratories).
- [2] C8051F930 datasheet[M].深圳:深圳芯科科技有限公司(Silicon Laboratories).
- [3] 刘辉,王金荣,齐明空.无线串口通讯及在热网遥测系统中的应用[J].计算机测量与控制,2002,10(9):581-583.
- [4] 金鑫,史浩山,谢福平.通过无线串口实现TMS320F2812程序更新[J].微型电脑应用,2011,27(11):44-46.

收稿日期:2012-06-08

### 作者简介



钮若丹,苏州大学工程硕士在读;苏州三星液晶显示器有限公司工程师。



范成涛,上海交通大学工程硕士毕业;上海文广科技(集团)有限公司研究院工程师;主要从事嵌入式硬件开发工作;已发表论文3篇,申请专利5项。

## 广告索引

A1—A5、封四:中兴通讯股份有限公司



# 中国联通 GSM 网频率资源需求研究

## Demand on China Unicom's GSM Network Frequency Resources

**摘要:**随着 3G 网络建设的全面展开,移动数据业务得到了迅速发展。文章分析了联通 2G 网络业务量的发展情况,并通过对联通 GSM 网络频率资源和复用方式的介绍,分析了目前联通 GSM 网的承载能力。文章指出数据业务逐渐成为网络业务量的主导,只有采用新技术并增加新的频谱资源,联通 GSM 网才能满足目前业务增长需求。

**关键词:**话务密度;增强型数据速率 GSM 演进技术(EDGE);频率复用

**Abstract:** With the construction of 3G networks, mobile data services have been expanding rapidly. In this paper, we discuss the development of China Unicom's 2G network. We review China Unicom's GSM frequency resource and reuse methods and analyze the capacity of the GSM network. Data services have gradually come to be the dominant services in the network. Only by adopting new technologies and increasing the number of frequency resources can China Unicom meet the adequately develop their services.

**Key words:** density of traffic; EDGE; frequency reuse

中图分类号:TN929.5 文献标志码:A 文章编号:1009-6868(2012)05-0045-03

陈森/CHEN Sen<sup>1</sup>  
耿玉波/GENG Yubo<sup>2</sup>  
孙建兴/SUN Jianxing<sup>2</sup>

(1. 中国联合网络通信股份有限公司北京分公司,北京 100038;

2. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048)

(1. China United Network Communications Limited Beijing Branch, Beijing 100038, China;  
2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd, Beijing 100048, China)

## 1 移动互联网的发展

移动互联网的概念在 20 世纪末就已提出,当时各个研究组织都在 2G 移动通信标准基础上推出支持分组数据业务的技术规范,比较突出的是基于全球移动通讯系统(GSM)的通用分组无线服务(GPRS)技术和基于窄带码分多址(CDMA)的 CDMA 1x 技术。由于提供的分组接入速率较低、终端交互能力差等多种因素,移动互联网并未能够发展壮大起来。

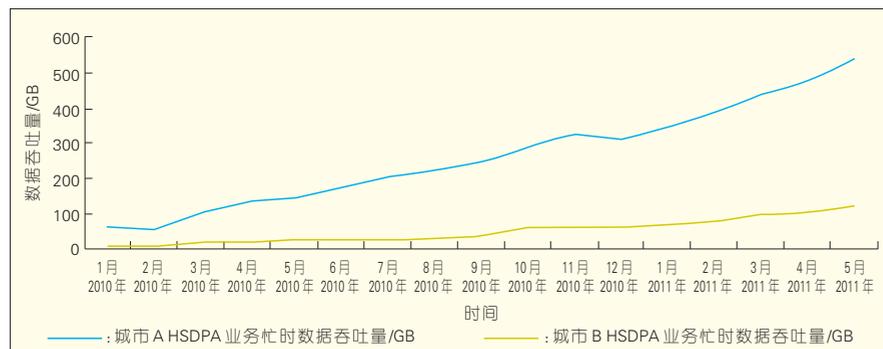
2009 年,中国开始了大规模建设 3G 移动通信网络,无线接入速率提升到 Mbit/s 级;移动网络宽带化的建设,为移动数据业务的发展奠定了基础;同时伴随着智能手机的迅速普及,移动数据业务迎来了蓬勃发展的春天。以中国联通 3G 网络统计数据

分析,从 2009 年 9 月至 2010 年 12 月,数据业务量增长了约 400%,接近了 3G 网络数据业务的增幅,如图 2 所示。

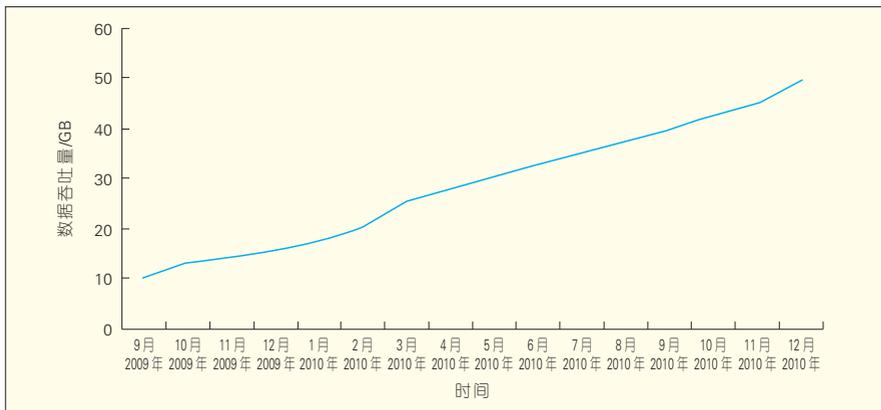
从移动数据业务的内容来看,除了传统固网已开展的 web 浏览、邮件、FTP、视频等之外,还大量兴起了以微博为代表的微文化业务(如微博、微电影、微小说等)和以手机支付为代表的移动电子商务业务(如手机支付、阿里巴巴等)。这些业务是以便于移动终端的应用和移动无线网络传输为目的而产生的,它极大地满足了用户移动中对数据业务的需求,

极大的增长,增幅超过以往。以城市 C GSM 网络统计数据

分析,从 2009 年 9 月至 2010 年 12 月,数据业务量增长了约 400%,接近了 3G 网络数据业务的增幅,如图 2 所示。



▲ 图 1 两城市联通 HSDPA 数据业务发展情况统计图



▲图2 城市C联通GPRS数据业务发展情况统计图

同时也给传统的电信运营商提供了新的业务、收入增长点,因此它成为移动通信产业链上多方共同的目标。

## 2 联通 GSM 网频率资源承载能力的分析

GSM 网络作为宽带码分多址(WCDMA)的广覆盖支撑网络,不仅担负着全面提供无线覆盖的作用,还要承担回落到2G网络的3G用户和2G用户的大量数据业务需求。GPRS数据业务速率与WCDMA相差甚远,对移动用户的数据业务感知有较大影响,开通增强型数据速率GSM演进技术(EDGE)功能可在较大程度上减少用户感知的下降,并且成为3G网络的有效补充。GSM网络承载数据业务的能力大小,与可使用的频率资源有着密切关系。

### 2.1 联通 GSM 频率资源

1994年国家无线电管理局颁发了国无管(1994)19号《关于公众数字蜂窝移动通信系统使用频段的通知》文件,从此拉开了GSM在中国的大幕。联通获得了当时 $2 \times 10$  MHz带宽中的 $2 \times 6$  MHz频谱,并且还采用了频分双工方式:上行909~915 MHz,下行954~960 MHz。经过几年时间,网络建设到中国所有地级市,用户发展了上百万,频率资源渐渐成为制约公司进一步发展的瓶颈。

2001年中国信产部的相关部门

批复了联通关于在一些重点城市启用1800 MHz频率的申请,联通获得了1800 MHz频段的 $2 \times 10$  MHz带宽:上行1745~1755 MHz,下行1840~1850 MHz,从此开始了900/1800 MHz双频网的建设时代。

随着用户数的增多和数据业务的广泛开展,频率短缺问题的爆发周期越来越短。信产部于2007年,工信部于2008年,均批给联通1800 MHz频段各 $2 \times 5$  MHz的带宽,此时联通1800 MHz频段带宽则可以达到 $2 \times 20$  MHz,为:上行1735~1755 MHz,下行1830~1850 MHz。至此,联通已经拥有 $2 \times 26$  MHz GSM频率。

### 2.2 GSM 频率复用方式

基于不同时期网络建设的目的以及可使用频率资源量,联通GSM网的频率复用方式经历了多种形式。建网初期,为了获得较好的网络通信质量,同时结合当时的技术能力,

GSM网大多采用了标准的 $4 \times 3$ 复用方式。随着网络容量的迅速增加,如何利用有限的频谱资源(当时仅有900 MHz的 $2 \times 6$  MHz带宽)提供更多的无线容量,成为研究的焦点。一时之间,同心圆、多重频率复用(MRP)、 $3 \times 3$ 、 $1 \times 3$ 等多种频率复用技术大量涌现,掀起了一个发展高潮。数据业务对无线电波高C/I的要求,使得联通决定对广播控制信道(BCCH)和数据业务载频采用宽松的频率复用的方式。

### 2.3 频率资源与承载容量

GSM信道数与可承载的容量间符合泊松分布,随着可用信道的增多,可承载的容量增加的幅度会更大。以 $4 \times 3$ 复用方式为例,表1给出了不同带宽条件下,单载频可承载容量计算。

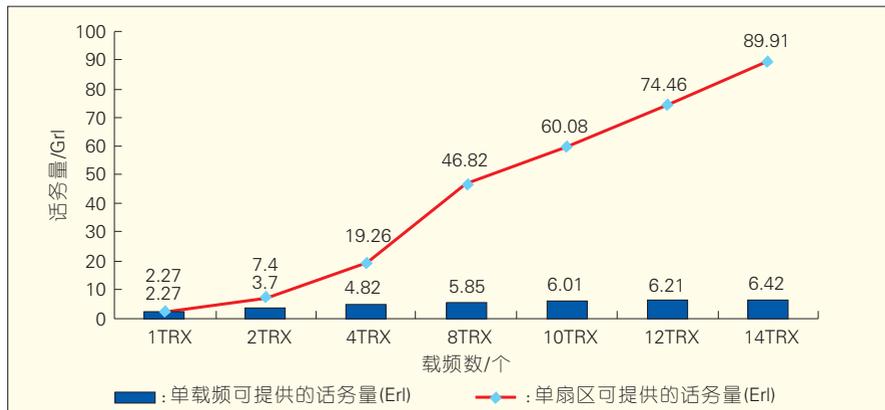
如图3所示,网络容量和频率资源的关系是非线性的,频率资源的稍许增多会带来网络容量的大幅增长。5 MHz带宽和20 MHz带宽1:4的频率资源,组建的网络容量比为1:6。

### 2.4 联通 GSM 网承载能力

联通GSM现网BCCH和开通数据业务的载频采用 $5 \times 3$ 、 $6 \times 3$ ,其他业务信道(TCH)载频采用 $4 \times 3$ 的频率复用方式。此时,联通共拥有900 MHz和1800 MHz两个频段的频点,其中900 MHz频段有6 MHz带宽,单小区可配置载频2个,单基站(三扇区)可承载容量17.5 erl; 1800 MHz频段有

▼表1 不同频率带宽条件下单载扇容量计算

频率资源	单扇区可配置的载频数/个	单扇区可提供的业务量/Erl	单载频可提供的业务量/Erl
2.5 MHz	1TRX	2.27	2.27
5 MHz	2TRX	7.4	3.70
10 MHz	4TRX	19.26	4.82
20 MHz	8TRX	46.82	5.85
25 MHz	10TRX	60.08	6.01
30 MHz	12TRX	74.46	6.21
35 MHz	14TRX	89.91	6.42



▲ 图3 不同频率带宽条件下单载频容量计算

▼ 表2 2012-2015年联通大城市热点地区 GSM 业务量密度预测

时间/年	业务量密度/(erl/km <sup>2</sup> )
2012	450
2013	540
2014	600
2015	650

20 MHz 带宽,单小区可配置载频 6 个(考虑预留微蜂窝频点),单基站(三扇区)可承载容量 90.2 erl。对于双频网基站,现网配置理论可承载的业务量为 107.7 erl。结合现有基站分布,可承载的业务量密度约为 350 erl/km<sup>2</sup>。近期网上统计数据显示,北京四环内业务量密度约为 320 erl/km<sup>2</sup>,上海内环内为 410 erl/km<sup>2</sup>,广州核心区为 310 erl/km<sup>2</sup>。核心区域的话务密度已整体接近或超过网络所能承载的理论值;局部热点地区现有频率资源已经远远不能满足业务需求。因此需要迫切找到提高联通 GSM 网络承载能力的办法。

### 3 联通 GSM 网承载能力的提高

#### 3.1 新技术的采用

GPRS 技术的采用,开启了 GSM 网的数据承载。但随着数据业务的增多,GPRS 技术暴露出频谱效率低、接入速率慢的弱点,为此研究人员又开发出 EDGE 和 EDGE+ 技术。EDGE

技术是介于 2.5G 网络与 3G WCDMA 网络之间的过渡型网络,它在空中接口引入 8 PSK 调制方式,采用 MCS-1 到 9 的编码方式,理论最高传输速率达到 384 kbit/s。3G 技术的大量应用,也促使 EDGE 技术的演进,产生了 EDGE+。EDGE+ 采用了高阶调制技术 32 QAM、1.2 倍符号速率,单用户速率理论可以达到 1.18 Mbit/s,单时隙速率比 EDGE 提高 1 倍。新技术的使用,提高了频谱效率,但对 C/I 的要求也显著提升。为了达到较好的接入速率,无论 EDGE+,还是 EDGE 都要求 C/I 在 20 dB 以上,这对复杂多变的移动无线网络而言是非常困难的,只有在局部地区(如相对封闭的室内环境)才能实现。因此,采用新技术只能解决个别问题,而不能大规模提高网络承载能力。

#### 3.2 更多可用频谱资源的申请

频谱资源的增多,对解决容量问题有着较大帮助。根据近几年联通 GSM 网业务发展情况预测,未来中短期内,业务量仍将有较大规模的增长。据测算,到 2015 年,在大城市热点地区,业务密度将超过 650 erl/km<sup>2</sup>,如表 2 所示。

结合现有频率资源分析,在市场业务需求与网络承载能力之间,存在着较大差距,必须增加频谱资源。目前,中国 GSM 核心频段已经划分完毕,但在 1 800 MHz 还有 30 MHz 频分

双工(FDD)的补充频段未分配。因此,联通需要积极争取这部分频率资源,来满足网络发展需要。

### 4 结束语

随着 3G 时代的全面到来,在话音业务需求仍然非常大的基础上,数据业务逐渐成为网络业务量的主导,用户对移动数据业务需求逐渐增大,呈现爆发式增长;2G 用户的数据业务使用习惯也在逐渐形成,在 2G 用户长期大量存在的背景下,为满足 2G 网络长期持续稳定发展,申请足够的频率做为重要的保障资源,意义非常重大。

### 5 参考文献

- [1] 韩斌杰.GSM 原理及其网络规划[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [2] 韩斌杰.GPRS 原理及其网络规划[M].北京:机械工业出版社,2003.

收稿日期:2012-08-10

#### 作者简介



陈森,北京理工大学硕士毕业;目前就职于中国联通北京分公司移动维护中心任工程师;现从事移动通信网络维护工作。



耿玉波,华中理工大学毕业;目前就职于中讯邮电咨询设计院有限公司综合通信设计部任高级工程师;现从事移动通信无线网络咨询、规划和设计工作。



孙建兴,南京邮电大学毕业;目前就职于中讯邮电咨询设计院有限公司综合通信设计部任工程师;现从事移动通信无线网络咨询、规划和设计工作。

# 基于 TD-SCDMA 的 R4 与 HSDPA 混合组网系统级性能研究

## Planning Hybrid R4/HSDPA Networks in TD-SCDMA Systems

王建/WANG Jian

(中兴通讯股份有限公司 上海研发中心, 上海 201203)  
(Shanghai R&D Center of ZTE Corporation, Shanghai 201203, China)

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2012) 05-0048-04

**摘要:** 文章认为 R4 和高速下行数据接入 (HSDPA) 的混合组网方式是目前比较合理的组网方式, 可以减少建设成本, 并降低管理维护和优化的复杂度, 是主流运营商倾向的组网方式。文章提出通过理论计算结合系统级仿真手段可以对基于 TD-SCDMA 的 R4 与 HSDPA 业务混合组网前后系统性能进行对比研究, 并提出通过优化 HSDPA 业务信道发射功率、调度算法、无线资源管理 (RRM) 算法等多种手段可以提升混合组网后系统性能。

**关键词:** TD-SCDMA; HSDPA; R4; 混合组网; 系统级仿真; 干扰分析

**Abstract:** In this paper, we describe a hybrid networking comprising TD-SCDMA R4 and high-speed downlink packet access (HSDPA). Such a network can reduce network construction cost, and optimize OAM. This is the most reasonable mode of networking and has become the trend with operators. System performance before and after TD-SCDMA R4/HSDPA hybrid networking can be theoretically determined and confirmed by system-level simulations. By optimizing the HSDPA traffic channel transmit power, scheduling algorithm, radio resource management (RRM) algorithm, performance of the hybrid network can be improved.

**Key words:** TD-SCDMA; HSDPA; R4; hybrid network; system-level simulation; interference analysis

高速下行数据接入 (HSDPA) 是 TD-SCDMA 的无线增强型技术, 简称 TD-HSDPA。随着时分同步码分多址 (TD-SCDMA) 通信系统建网过程中 HSDPA 的引入, 网络中高速不对称数据服务可以被支持, 这样以来网络容量大幅度增加, 运营商投入成本也不断降低, 最终为 TD-SCDMA 向更高数据传输速率和更高容量提供了

**基金项目:** 国家自然科学基金 (60973140); 江苏省自然科学基金 (BK2009425); 江苏省高校自然科学基金 (08KJB520005)

一条平稳的演进途径。目前 R4 和 HSDPA 的混合组网方式是比较合理的组网方式, 不仅可以减少建设成本, 而且降低了管理维护和优化的复杂度。

为了提升 HSDPA 业务速率, 系统对 HSDPA 业务的业务信道—高速物理下行链路共享信道 (HS-PDSCH) 通常会配置比较高的固定发射功率, 而业务信道缺乏快速功率控制的处理机制, 同时小区内用户动态调度又会带来干扰环境波动性, 因此承载

HSDPA 业务的这些用户可能会对周边承载语音业务 (R4 业务) 的用户存在较大的干扰, 引发语音用户小区发射功率迅速攀升, 从而直接导致高速下行数据接入业务和语音业务联合组网整体性能的急剧恶化。文章通过优化 HSDPA 单载波发射功率进行细致的系统级仿真研究, 并提出相应的 R4 与 HSDPA 业务混合组网的解决方案<sup>[1-2]</sup>。

### 1 TD-SCDMA 系统单时隙速率的理论计算

要计算 TD-SCDMA 系统单时隙速率, 首先需要计算 TD-SCDMA 的 1 个下行时隙所能承载的理论最高数据速率。根据第三代合作伙伴计划 (3GPP) 协议 TS25.224, 1 个时隙的数据块大小是 704 个码片 (chips), 承载数据的高速物理下行共享信道 HS-PDSCH 扩频因子 (SF)=1 或 16, 文章按 SF=1 计算 (SF=16 结果一样), 则有:

$$\frac{704 \text{ chips} \times 4(16 \text{ QAM 调制}) \times 1 \text{ 时隙}}{5 \text{ ms (1 个 TTI)}} = 563.2 \text{ kbit/s} \quad (1)$$

由式 (1) 得到单个时隙的理论最高速率为 563.2 kbit/s。如果最多用 5 个下行时隙 (除广播信道 TS0 外, 还必须留有 1 个下行时隙承载下行信令和控制信息, 如 HS-SCCH) 来承载 HSDPA, 那么单载波的理论速率将达到 563.2 kbit/s × 5 = 2.8 Mbit/s。如果在 TD-SCDMA 引入 N 频点组网技术后, 还可以实现多载波捆绑 HSDPA, 用户终端 (UE) 可以同时接收多个载波的数据, 数据速率将得到成倍提高

▼表1 HSDPA业务仿真参数设置

参数名称	取值
站点类型	定向站
频点类型	同频
站间距/m	600
传播模型	133.67+33.59*log(d)(d单位为km)
小区拓扑	19个基站组成1簇,共57个扇区
HSDPA单载波发射功率/dBm	27/30/34
终端天线增益/dBi	0
终端天线高度/m	1.5
智能天线模型	8天线线阵、三维
下倾角	上3dB对准小区边缘
接收机噪声系数/dB	8
接收机噪声/dBm	-104.9
单天线增益、定向/dBi	15
波达方向(DOA)估计误差	0度
线路损耗/dB	2
在线用户数	8
时隙配置	2:4

( $N \times 2.8$  Mbit/s)。

R4和HSDPA混合组网系统级仿真研究及外场实际测试中空口承载能力(即小区平均吞吐量)和UE所处位置的无线环境、单一小区同时在线UE个数、小区覆盖半径等有较大关系,即按上下行时隙配置比1:5计算出的单载波理论速率2.8 Mbit/s,是系统级仿真性能研究和外场实际性能测试的理论值上限。对于实际建网系统而言,当通过预留配置1个下行时隙去承载下行控制信道(HS-SCCH)以及下行伴随信道(ADPCH)规避对小区(CS)业务的干扰及交叉时隙的干扰时,R4和HSDPA混合组网系统级仿真研究和实际建网的上下行时隙配置比则为2:4<sup>[9]</sup>。

## 2 TD-SCDMA系统级仿真原理

实际的HSDPA系统通过自适应调制和编码调整数据速率以满足信道质量,而信道质量反应在UE接收载干比(C/I)上,C/I的计算公式为:

$$C/I = \frac{P_i}{\alpha \times I_{own} + I_{other} + N_0} \quad (2)$$

$P_i$ 为用户单码道 $i$ 的接收功率; $\alpha$ 为本小区干扰抑制因子, $\alpha =$ 联合检测因子 $\times$ 非正交因子; $I_{own}$ 为本小区干扰功率; $I_{other}$ 为来自其他小区的干扰功率; $N_0$ 为下行热噪声功率。文章中R4和HSDPA混合组网系统级仿真研究中需要分析本小区目标用户受到本小区其他用户及相邻其他小区用户承载不同业务带来的干扰情况。

UE通过测量当前接收的C/I来判断信道质量的好坏,根据当前的信道质量在协议规定的传输格式及资源组合(TFRC)表中选择合适的数据块大小(TBS)以及调制编码方式,同时UE还将对当前传输时间间隔(TTI)接收到的数据块进行解码,最后将确认的响应/否认应答(ACK/NAK)信息以及TFRC信息一起作为信道质量指示(CQI),通过上行专用物理信道(HS-SICH)信道上报给节点B,节点B根据收到的CQI信息在下一个TTI内发送合适的数据块。当多UE在线时,还要考虑到使用的调度算法,使用最多的是以下3种基本调度算法:

- 基于最大载干比的MAX-C/I调度算法
- 对用户轮询调度的Round Robin算法
- 兼顾时间与资源的比例公平调度PF算法

文章中R4和HSDPA混合组网系统级仿真研究中需要兼顾无线信道质量和用户调度的公平性,因此选取比例公平调度算法作为基本调度算法。因此采用选取部分

公平调度算法作为基本调度算法,分析不同发射功率下引入HSDPA业务前后R4业务所有小区下行平均发射功率变化及引入R4业务前后全网HSDPA小区平均吞吐量变化<sup>[4]</sup>。

## 3 TD-SCDMA系统级仿真场景设置

根据表1和表2的仿真条件,一方面可以对比出不同发射功率下引入HSDPA业务前后R4业务所有小区下行平均发射功率变化;另一方面可以对比引入R4业务前后全网HSDPA小区平均吞吐量变化。

图1(a)为TD-HSDPA独立载波组网,即同一扇区内、在该网内HSDPA独享一个载波,只提供HSDPA业务。基础性能仿真数据见表3中的引入R4业务前TD-HSDPA小区平均吞吐量(三时隙)。

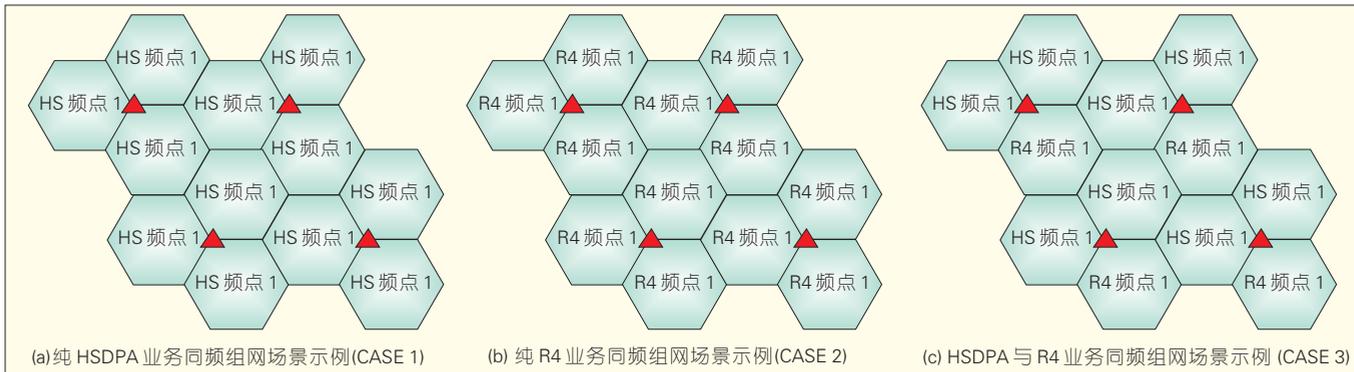
## 4 TD-SCDMA系统级仿真结果

### 4.1 引入R4业务后HSDPA基础性能

引入R4业务后HSDPA系统级仿

▼表2 R4业务仿真参数设置

参数名称	下行
站点类型	定向站
频点设置	同频
站间距/m	600
传播模型	133.67+33.59*log(d)(d单位为km)
小区拓扑	19个基站组成1簇,共57个扇区
每小区UE数	8
小区发射功率/dBm	34
功率系数	0.25
智能天线模型	8天线线阵、三维
下倾角	上3dB对准小区边缘
人体损耗/dB	3
接收机噪声/dBm	-104.9
单天线增益、定向/dBi	15
线路损耗/dB	1
功控余量/dB	1
阴影衰落标准差/dB	7
业务激活因子	0.6



▲图1 HSDPA与R4业务混合前后仿真场景示例

▼表3引入R4业务前后HSDPA小区平均吞吐量变化

HSDPA单载波发射功率/dBm	引入R4业务前/(kbit/s)	引入R4业务后/(kbit/s)	变化比例%
27	869	808	-7.1
34	920	952	+3.6

真结果分析如下:

(1) 引入R4业务(加入快衰落)后且当HSDPA业务单载波为27 dBm时, CASE 3(图1(c))下的HSDPA小区平均吞吐量比在CASE 1(图1(a))下的HSDPA小区平均吞吐量低7.1%。

(2) 引入R4业务(加入快衰落)后且当HSDPA业务单载波为34 dBm时, CASE 3(图1(c))下的HSDPA小区平均吞吐量比CASE 1(图1(a))下的HSDPA小区平均吞吐量升高了3.6%。

(3) 从图2中可以看出在R4和HSDPA混合组网这种配置下,引入R4业务(加入快衰落)后且HSDPA业务单载波为27 dBm时, CASE 3(图1(c))下高速下行数据接入业务(HS业务)受到邻小区的干扰比CASE 1(图1(a))下HS业务受到邻小区的干扰大。

(4) 实际组网配置中建议使用优化HSDPA业务时隙的发射功率的技术手段。通过采用灵活的HSDPA的功率配置方案,并且经过系统仿真和外场测试的,发现:当HSDPA业务时隙功率配置为较低值27 dBm时,小区平均吞吐量只降低7%左右,而对相邻小区的R4用户干扰仍然处于可控范围。

(5) 实际组网配置中建议引入多

载波、多波束的调度算法来规避HSDPA用户对R4用户的干扰。

#### 4.2 引入HSDPA业务后R4基础性能

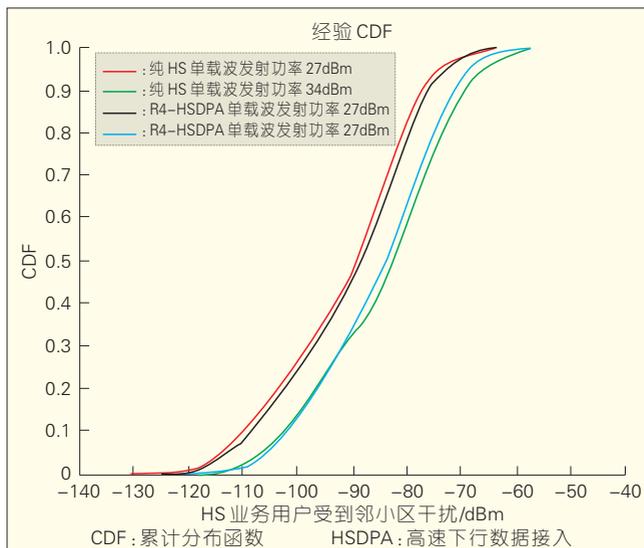
纯R4业务(加入快衰落)下扇区发射功率平均值为31.845 dBm;引入HSDPA业务且单载波为27 dBm时, R4业务(加入快衰落)扇区发射功率平均值为30.693 dBm;引入HSDPA业务且单载波为34 dBm时, R4业务(加入快衰落)扇区发射功率平均值为32.396 dBm。

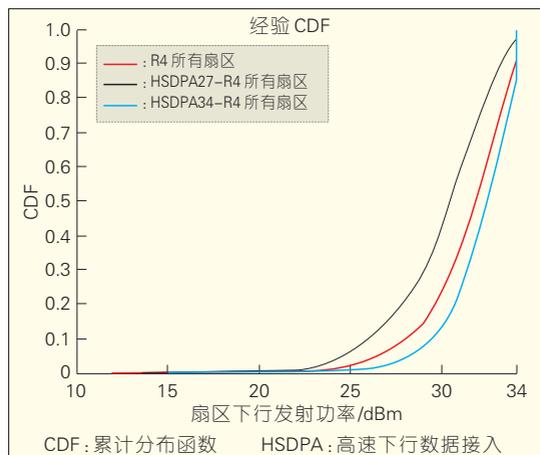
引入HSDPA业务后R4系统级仿真结果分析如下:

(1) 引入HSDPA业务且单载波为27 dBm时,图3中黑色曲线仿真数据和红色曲线仿真数据的经验累积分布函数数据的对比情况如同CASE 3(图1(c))和CASE 2(图1(b))的对比,前者的平均值大约降低了1.2 dB,即R4业务扇区发射功率平均值大约降低了1.2 dB。从仿真曲线对比数据中可以看出这种配置情况下, CASE 3(图1(c))下R4受到的干扰比CASE 2(图1(b))下R4受到的干扰小。

(2) 引入HSDPA业务且单载波为34 dBm时,图3中蓝色曲线仿真数据和红色曲线仿真数据的经验累积分布函数平均值数据的对比情况如同CASE 3(图1(c))和CASE 2(图1(b))的对比,前者大约升高了0.5 dB,即R4业务扇区发射功率平均值大约升高了0.5 dB。从仿真曲线对比数据中

图2 引入R4业务前后HS业务受到邻小区干扰对比





▲图3 引入HSDPA业务前后R4业务扇区下行发射功率对比

可以看出这种配置情况下, CASE 3 (图1(c))下R4受到的干扰比CASE 2 (图1(b))下R4受到的干扰大。

(3) 实际组网配置中建议使用优化基于资源、载荷、干扰平衡的系统无线资源管理(RRM)算法技术手段, 并使用采用全新的动态信道分配算法(DCA)。对此, 存在两种处理办法: 通过智能天线和RRM算法, 控制相邻小区R4和HSDPA时隙间干扰; HSDPA用户到了小区边缘由HSDPA信道切换到R4信道, 只在小区近端提供HSDPA业务<sup>[5]</sup>。

(4) 对于中国的主流运营商来说, 采用R4与HSDPA混合组网, 需要充分考虑到HSDPA对R4带来的干扰。在网络发展的中后期, 数据业务需求量增大时, 用户会有R4和HSDPA并发业务的需求, 运营商可以考虑HSDPA与R4的公用载波以支持并发业务, 语音业务和HSDPA资源可在载频间以及载频内灵活分配。

## 5 基于TD-SCDMA的R4与HSDPA混合组网建议

目前TD-HSDPA单独组网暂时不考虑承载CS域业务, TD-SCDMA R4与HSDPA混合组网的载波配置方案有独立载波、独立时隙和混合时隙3种方式, 中国主流运营商倾向于混合组网方式。基于TD-SCDMA的R4与

HSDPA混合组网方式具体建议如下:

(1) 在HSDPA建网初期, 能够支持HSDPA的终端比较少, 可以通过R4和HSDPA分载波的方式, 在保证R4业务的同时, 满足数据卡用户的高速数据业务需求。独立载波虽然避免了R4和HSDPA之间的干扰, 但是一个小区内的时隙切换点必须相同, 在上下行3:3时隙配置下, 单独配置HSDPA业务会浪费上行容量资源, 该方式目前组网配置支持但不推荐。

(2) 混合时隙指在一个载波的同一时隙内, 按码道划分HSDPA与R4资源。混合时隙既能提供HSDPA服务又可提供R4服务, 且两者皆处于同一时隙, 可根据数据与语音业务的需要, 把资源配置比例精确粒度到码道级。当R4和HSDPA处在同一个时隙, 除了时隙间干扰之外, 还存在本小区时隙内不同码道之间的干扰, 由于时隙内功率分配和码资源规划复杂, 小区内R4和HSDPA间目前没有有效的干扰消除方法。考虑到TD-SCDMA单时隙业务量有限, 因此建议HSDPA与R4业务按不同时隙配置, 在一个时隙之内不再细分HSDPA与R4信道。该方式目前组网配置支持但不推荐。

(3) 独立时隙指在同一个载波内, 按时隙划分HSDPA与R4资源。单个载波既能提供HSDPA服务又可以提供R4服务。一方面, 独立时隙方案可以根据不同的上下行业务需求, 分别为R4和HSDPA分配时隙个数; 另一方面, 易于支持R4和HSDPA的并发业务。R4和HSDPA处于同一载波, 可根据数据与语音业务的需要, 设置R4和HSDPA的时隙比例。需要注意的是当激活HSDPA用户处在小区边缘时, 会对邻区的R4时隙带来一定干扰。推荐该方式来组网配置。

另外采用异频组网方式时, 对于

采用S3/3/3站型进行网络规划建设的地区, 可以按照HSDPA和R4业务分载波进行配置, 总体上下行时隙配置均为3:3。随着网络建设的发展, 用户的数据业务需求逐渐增大, 可以采用的分配方式为R4业务占用1个载波, HSDPA业务占用2个载波。异频组网由于R4和HSDPA分别占用不同载波, 避免了同载波上语音业务和数据业务的不同服务质量(QoS)问题、同一载波上语音业务和高速下行链路共享信道(HS-DSCH)承载的数据业务不同覆盖的问题以及语音业务优先接入、资源预留和功率预留的问题, 极大地简化了无线资源管理和移动性管理。但是终端需要在不同载频上同时工作, 数据业务为主的HSDPA也需要配置和对称的上下行切换点, 造成了上行资源的浪费。

## 6 参考文献

- [1] UMTS 30.03 version 3.2.0. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS (UMTS 30.03 Version 3.2.0) [S]. 1998.
- [2] 3GPP TR 25.942 v6.4.0. 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Networks, Radio Frequency (RF) System Scenarios (Release 6) [S]. 2005.
- [3] 3GPP TS 25.102 V7.12.0. 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Networks, User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception TDD (Release 7) [S]. 2012.
- [4] 3GPP TS 25.105 V6.17.0. 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Networks, Base Station (BS) Radio Transmission and Reception (TDD) (Release 6) [S]. 2008.
- [5] YD/T5182—2009. 第三代移动通信基站设计暂行规定 [S]. 2009.

收稿日期: 2012-08-05

## 作者简介



王建, 重庆邮电大学研究生毕业; 现就职于中兴通讯股份有限公司担任仿真系统工程师, 主要从事无线通信网络性能与关键技术系统级仿真研究; 已发表学术论文5篇, 申请专利5项。

# 业务网络在智能管道建设中的演进

## Service Network Evolution in the Construction of Intelligent Telecom Pipes

中图分类号: TN915.1 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2012) 05-0052-04

**摘要:**文章从智能管道建设需求出发,对基于深度数据包检测(DPI)的精细化运营、内容分发网络(CDN)建设、长连接在线应用支撑、物联网智能管道等智能管道建设热点中业务网络的作用进行了分析和讨论。文章指出业务网络在智能管道建设中的发展方向是上层业务的基础支撑和管控能力下沉并延伸,并以多种智能管道服务的方式向最终客户提供。

**关键词:**智能管道;业务网络;DPI;CDN;永远在线;物联网

**Abstract:** In this paper, we discuss the role of a service network in an intelligent telecom pipe. We analyze hotspot problems such as refined operation based on deep packet inspection (DPI), content delivery network (CDN) network construction, long-connection online application support, and IOT smart pipe. We suggest that sinking and extending basic business support and management and control is the development direction of the service network in an intelligent pipe. Service will be provided to end users via multiple intelligent pipes.

**Key words:** intelligent pipe; service network; DPI; CDN; always online; Internet of things

叶云/YE Yun  
(中兴通讯股份有限公司,广东深圳  
518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

伴随通信网络的IP化和宽带化,业务与承载分离趋势愈加明显,基础网络和业务网络两层的通信网络整体架构正在形成。一方面,原有运营商业务网络上层应用云化,并与互联网应用激烈融合与竞争,一张占有市场优势的业务网络可以通过多张基础网络将业务提供给最终用户,如Google、Apple、I-mode等均如此;另一方面,运营商基础网络除了承载本身的业务应用之外,越来越多地将自身的基础网络资源直接提供给公众及其他的业务网络运营商使用,基础网络管道化的趋势加速。

单纯以比特流传输服务为内容的基本管道运营,由于面临激烈的市

场竞争,必然处于高投入低收益的状态。精细化的管道运营是运营商努力的目标,智能管道建设成为运营商关注的重点之一,并对其自身业务网络架构的发展产生越来越大的影响。

### 1 业务网络架构的演进

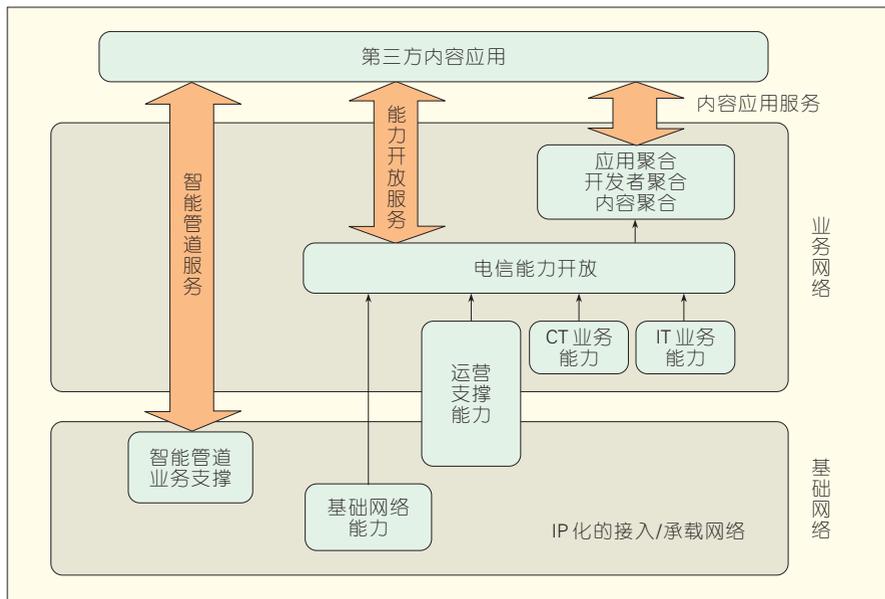
在上层应用云化和智能管道建设的过程中,运营商业务网络架构出现了新的演进趋势,如图1所示。

作为运营商业务网络架构的关键,业务交付平台(SDP)建设以“开放、聚合”为基本特征持续深入。一方面,以电信能力开放为基础,实现运营商CT/IT业务能力的开放,并以提升能力易用性和降低开发门槛为

目标,日益向互联网应用应用程序编程接口(API)方向发展;另一方面,以前店(应用商店)后厂(应用工厂、开发者社区)建设为核心,实现应用聚合、开发者聚合、内容聚合和云化的IT基础资源提供,并参与互联网内容及应用价值链竞争。

同时,部分业务网络中的基础业务支撑和管控能力下沉并延伸,与基础网络数字内容管控、数字内容分发存储、长连接应用支撑、物联网应用支撑等关键建设方向紧密结合,成为运营商智能管道建设的重要内容,并以多种智能管道服务的方式向最终客户提供。

目前在业务网络的发展规划中,对于SDP建设已经开展了大量的工作,中兴通讯结合自身经验,提出了聚合业务网(CSN)的发展思路。但对于业务网络在智能管道建设中的地位和作用,尚处于初步探索阶段。文章从智能管道客观建设需求出发,对基于深度数据包检测(DPI)的精细化运营、内容分发网络(CDN)建设、长连接在线应用支撑、物联网智能管道等智能管道建设热点中业务网络的作用进行逐点的分析和讨论,在此基础



▲图1 运营商业务网络架构的演进

上提出了业务网络在智能管道建设中的发展演进思路<sup>[1-2]</sup>。

## 2 基于DPI的精细化运营

透明的基础IP网络不具备对其承载内容的有效感知和管控手段,基础网络数字内容管控成为智能管道建设的显著需求。基础网络由于无法识别不同业务的数据包,因此对关键服务无法保证更高的网络优先级和服务质量(QoS),也使运营商缺乏在感知基础上的计费能力。这也令管理者无法有效应对违法信息对于国家安全的潜在威胁,同时难以控制大量黄色/暴力等内容通过通信管道的泛滥。这些问题使得通过DPI技术引入实现精细化运营成为智能管道建设的最大热点。

从业务网络的建设来说,目前全网已经大规模开展了WAP网关、以及WEB网关升级的建设,该平台已经具备协议转换适配、内容优化加速、用户信息前转、内容计费等功能。在此基础上,进一步以此业务平台为基础引入DPI能力,提供业务识别、带宽控制、访问控制、灵活计费等功能,是一个合理的发展演进思路<sup>[3]</sup>。

由中兴通讯与法国电信深入合

作形成的智能业务网关(ISG),就是这一演进思路的体现。它提供如下3个基本的功能组合:

(1) 网络可视。ISG实现流量可见,动态监视网络流量的组成和对应的带宽占用;实现用户可见,可以实时监测用户状态、在线用户类型分布;实现资源可见,随时掌握IP地址分配情况、忙闲小区。

(2) 业务控制。ISG实现带宽控制和优化,依据用户类型/时间/位置控制不同业务的带宽;同时提供路由控制和优化,依据用户类型/时间/位置控制不同业务的路由;并在此基础上实现计费控制和优化,同时完成内容计费。

(3) 用户管理。ISG实现服务质量差异化,区分用户提供不同QoS保障;实现计费策略差异化,区分用户采用不同计费策略;还可以实现接入策略差异化,区分用户实现接入优先级控制。

通过ISG实现DPI能力建设,本质上是一种独立DPI网关的建设方式,与核心网或承载网网元嵌入DPI功能建设的方式相比,它具有如下的优势:

(1) 现网的核心网或承载网网元

无须进行整网升级改动,网络影响小,建设投资小。

(2) 以业务平台方式建设,部署快,DPI软件升级更加灵活快捷,硬件平台扩容灵活且可迁移至云计算基础资源池。

(3) 更加开放,同时支持移动/固网资源控制协议,更加符合固定移动融合(FMC)智能管道演进需要。

(4) 支持与第三方策略管理网元对接,易于集成。

同时,ISG在实际DPI精细化运营建设过程中,可以分阶段与核心网、承载网进行混合组网。初期以独立DPI网关建设为主,随着核心网和承载网的改造,再逐步引入其他网元的DPI能力<sup>[4]</sup>。

## 3 CDN网络建设

数字内容分发存储是智能管道建设中的另一个热点。随着网络带宽的增加,互联网内容的访问量激增,同时多媒体业务所占的比例增大。在缺乏管道服务的有力支撑下,互联网海量信息访问速度慢,多媒体业务应用体验差。如何提升最终用户访问内容体验,同时优化内容数据流量成为重要问题。中小互联网服务提供商迫切需要内容存储、缓存、分发增值服务。近年来,逐步形成了互联网CDN服务商的发展势头,国际以Akamai、CDNetworks为代表,中国以ChinaCache为代表。

同时,电信运营商自营的视频增值业务近几年仍在发展过程中,原来烟囱式垂直建设的CDN存在强烈的融合需求。以中国电信为例,2005年开始互联星空CDN建设,后续随着不同业务系统建设了多个附属的CDN,均采用私有标准。各系统CDN和业务系统高度耦合,扩展能力差,成本高,收益差。同时骨干和省独立建网,难以提供全国统一分发,不适应后续各种基地的内容分发。这些CDN仅支持自有内容分发,无法形成统一网络服务能力,也无法向第三方

提供租用服务。国际范围内,法国电信、西班牙电信等运营商也出现类似的情况。

在这一背景下,运营商的CDN建设逐步从单一业务的CDN建设向融合CDN方向发展,主要应对2009年开始的视频流量爆炸式增长。即通过一张统一的CDN网络,实现多种媒体格式存储和播放、快速的内容分发和调度、快速集成新媒体格式能力。从目前阶段看,电信运营商CDN目前仍然以承载自有业务为主,未来向能力共享和出租方向演进<sup>[5]</sup>。

从融合CDN的建设路径上,可以分为如下3种路线:

(1) 在数据承载网络基础上叠加建设CDN的方案,以CISCO为代表。

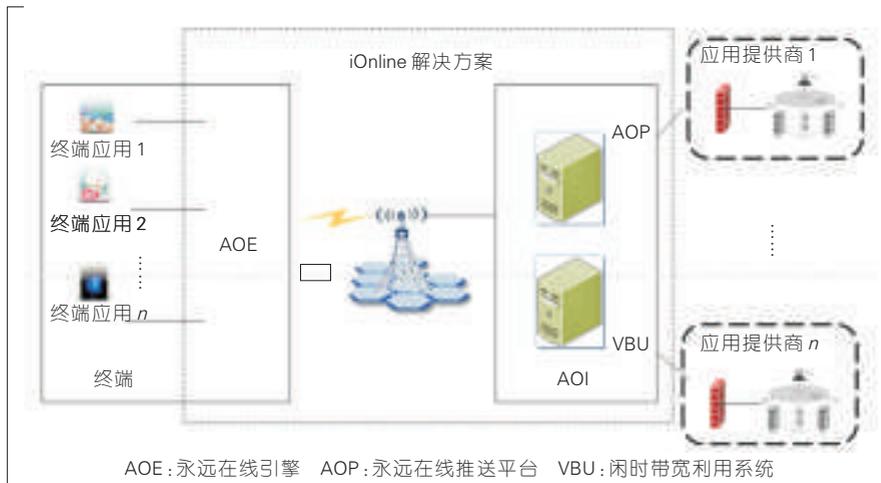
(2) 在核心网基础上智能管道汇聚层内嵌CDN建设的方案,以通信设备制造商为代表。

(3) 从现在各单一业务发展最好的CDN入手,与具体业务系统实现解耦,逐步建设一张独立的CDN网络。此种建设方案与互联网出现的独立CDN运营商建设思路类似,是从业务网络发展演进角度提出的方案。此方案也是目前运营商融合CDN建设的主要思路。

从目前来看,实现“内容分发层、管道智能汇聚层、承载层三者合一”,应该是一个非常遥远的发展愿景,相对独立的CDN网络建设是近期市场主流。将智能管道汇聚层、承载层网元内嵌的CDN功能,作为内容分发层CDN网络的第三或第四级节点,并规划互联互通,是一个更加现实的规划思路。

#### 4 长连接在线应用支撑

随着移动互联网和智能手机的发展,出现了越来越丰富的移动在线应用,包括统一通信、社会性网络服务(SNS)、微博、在线游戏、在线阅读等。其他的大量智能手机应用由于内嵌的监控、广告推送等业务特性,也长时间保持在线。大量的在线应



▲图2 永远在线 iOnline 解决方案架构

用产生大量维持在线所产生的信令流量,给移动网络带来了巨大的负荷压力。近期随着智能手机的普及,这一问题正在变得日益严重,从而引起通信产业的广泛关注,使之成为智能管道发展的另一热点。

对于电信运营商而言,首先面临移动互联网长连接资源占用问题,需要支撑频繁的、未经优化的无线消息交换。同时,缺乏终端和应用之间数据传输的控制,移动网络缺乏对各种应用/内容的监管手段。此外,移动网络仅仅作为传输通道,缺乏增值手段,难以给用户引入新的服务并向用户宣传。

为解决长连接在线应用支撑问题,中兴通讯与运营商合作,形成了永远在线 iOnline 解决方案,如图2所示。其在智能推送技术的基础上,形成了从永远在线推送平台(AOP),到终端侧永远在线引擎(AOE)的智能推送管道,汇聚在线应用流量,实现集中推送和在线保持。同时利用闲时带宽利用系统(VBU)侦测网络忙闲状态,进行在线流量的智能控制,削峰填谷。在保证业务体验的同时,提高网络资源利用率。该方案同时通过推送管道提供了广告、特定信息推送等增值服务能力。

相对于从通信网络接入网和核心网层面解决永远在线应用的问题,

从业务网络层面解决问题更加灵活快捷,对现网的影响更小,并提供丰富的增值服务能力。

#### 5 物联网智能管道

物联网应用支撑是智能管道建设的新热点。物联网的发展潮流代表了社会信息化的发展方向,存在着客观的发展需求。长期以来,通信产业的发展目标一直是实现人与人之间无缝的联系和沟通,这一目标已经较好实现,未来发展空间有限。从2009年以来,以“物联网”、“智慧地球”为代表的信息化发展理念在全球范围内出现,标志着社会信息化逐步从人与人向人与物、物与物方向发展,从而为通信产业未来的发展指明了方向。

在全球范围内,运营商成为物联网发展的重要推动者,期望在物联网的发展中获得巨大的利益,同时带领整个通信产业迈向更加广阔的空间。这一方面是由于传统通信业务的饱和,运营商迫切需要寻找新的蓝海;另一方面也期望通过物联网业务进一步拓展粘滞度高的行业用户,获得持续稳定收入来源。在物联网发展的过程中,运营商除了为物联网提供基础承载网络之外,还希望借助物联网深入行业提供物联网专业服务,扩大自身生存空间。

运营商物联网发展战略中,强化物联网应用支撑,建设物联网智能管道成为重要内容,也是其在产业链中谋求的重要竞争优势。通过开放运营商在网络层拥有的网络感知控制能力、终端感知控制能力、基础业务能力、运营支撑能力,能够有效提升物联网应用的安全性和可靠性。特别是对于关键的物联网应用,具有更加重要的意义<sup>[9]</sup>。

运营商物联网智能管道能力的开放,以业务网络建设的物联网业务支撑平台为核心,通过与网管和核心网的接口,系统搜集物联网应用所需要的智能管道能力,并通过 Radius 接口传递给物联网支撑平台,由支撑平台通过开放的接口提供给物联网应用层。

同时,物联网智能管道还可以结合策略和计费控制(PCC)架构实现对物联网用户的精细化运营,由策略和

计费规则功能(PCRF)从物联网支撑平台获取到物联网用户的签约信息并与策略和计费执行功能(PCEF)交互,实现对物联网用户的策略管控。

## 6 结束语

运营商业务网络在智能管道建设中,围绕解决业务管控能力缺乏、增值服务能力薄弱两个方面的问题,在多个智能管道建设热点中,形成了自身的规划方向和解决方案。

这些解决方案与从基础网络各层面提出的方案相比,普遍具有功能强大、更加灵活、对现网影响小、投资更少等优势,为从业务网络演进出发,推进智能管道建设提供了广阔的空间。

智能管道的发展演进,成为运营商业务网络规划建设的重要推动力。其发展方向是基础业务支撑和管控能力下沉并延伸,并以多种智能

管道服务的方式向最终客户提供。

## 7 参考文献

- [1] 3GPP TS 23.203. Policy and Charging Control Architecture(release 7) [S].2008.
- [2] ETSI ES 282 003. Resource and Admission Control Sub-Subsystem(RACS);Functional Architecture;(release 2) [S].2008.
- [3] 赵慧玲,徐向辉,陈运清等,智能管道构建思路探讨[J].电信科学,2011(3):7-11.
- [4] 张继东. 智能管道的内涵及实施思路探讨[J]. 电信技术,2011(6):15-17.
- [5] 蒋林涛. 对智能管道若干问题的思考[J]. 电信网络技术,2011(10):38.
- [6] 徐建锋. 智能管道是未来的基础设施云[J]. 办公自动化,2012(3):21-22.

收稿日期:2012-08-16

### 作者简介



叶云,中兴通讯股份有限公司运营部方案总工、高级工程师;长期从事业务软件产品的技术预研、产品方案规划及标准化工作,先后主持和参加中兴通讯 IMS、云计算、物联网、智能管道等多个重点综合方案;已累计公开发表论文近 50 篇。

←上接第 32 页

业务等指标。

## 3 结束语

无线网络从 2G 向 3G/LTE 的发展和演进是一个长期过程,大部分运营商会同时面临多种制式网络长期共存的问题。无线回传网采用何种技术,如何建网将会成为业界的讨论热点。可以肯定的是,无源光网络作为一种接入汇聚技术,具有高带宽、低成本、多种业务支持等特点,适用作为无线回传的承载网。无源光网络通过在大用户数目支持、时钟同步、QoS 保障等方面进行优化设计,从而为无线回传网提供分组化业务质量保证(如端到端时延,抖动,运行、管理和维护),是一种非常具有应用前景的无线回传网络承载方案。

## 4 参考文献

- [1] 工信部. 2012 年 5 月通信业主要指标完成情况 [EB/OL]. [2012-06-12]. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n11294132/n12858447/14680057.html>.

- [2] 3GPP2 C. S0010-B Version 2.0. Recommended minimum performance standards for CDMA2000 spread spectrum base stations [S]. 2004.
- [3] ETSI-TS 125 104. Universal mobile telecommunications system (UMTS); base station (BS) radio transmission and reception (FDD) (3GPP TS 25.104 version 8.6.0 Release 8) [S]. 2009.
- [4] ETSI-TS 125 402. Universal mobile telecommunications system (UMTS); synchronization in UTRAN stage 2 (3GPP TS 25.402 version 8.0.0 Release 8) [S]. 2009.
- [5] CVIJETIC N, TANAKA A, KANONAKIS K, et al. Software-defined heterogeneous 100 Gb/s mobile backhaul with 1000+ per-fiber cell counts [C]//Proceedings of the IEEE OptoElectronics and Communications Conference (OECC' 12), Jul 2-6, 2012, Busan, Republic of Korea. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2012: 5-6.
- [6] 隋猛, 罗远秋. 基于 PON 的时间同步技术 [J]. 电信网络技术, 2010(8):29-32.
- [7] CVIJETIC N, TANAKA A, HUANG Y K, et al. 4+G mobile backhaul over OFDMA/TDMA-PON to 200 cell sites per fiber with 10 Gb/s upstream burst-mode operation enabling <1 ms transmission latency [C]//Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC' 12), Mar 4-8, 2012, Los Angeles, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: 3p.
- [8] YANG K, OU S, GUILD K, et al. Convergence of Ethernet PON and IEEE 802.16 broadband access networks and its QoS - Aware dynamic bandwidth allocation scheme [J].

IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2009, 27(2):101-116.

收稿日期:2012-07-23

### 作者简介



何浩,上海交通大学助理研究员,在职博士;主要研究领域为新型光通信系统与宽带光接入技术;已参与基金项目 10 项;已发表论文 20 余篇,其中被 SCI/EI 检索 10 余篇。



董毅,北京理工大学博士毕业;上海交通大学教授;主要从事高速光纤传输和光信息处理方面的研究;已发表论文 200 余篇。



胡卫生,南京大学博士毕业;上海交通大学特聘教授, Journal of Lightwave Technology, Chinese Optics Letters, China Communication 等期刊编委;主要从事智能光交换和宽带光接入方面的研究;已发表论文 200 余篇,申请专利 40 余项。

## 可信计算

2

姚文斌/YAO Wenbin

(北京邮电大学计算机学院 可信分布式计算与服务教育部重点实验室, 北京 100876)

[编者按]随着信息技术的发展和网络应用拓展,可信计算已经成为当前学术界和工业界的研究热点。本讲座将分3期对可信计算的内涵、关键技术和未来进行讨论:第1讲从可信计算的演进过程简单叙述可信计算技术发展历程、可信计算的定义和范畴、相关研究领域;第2讲从技术的角度探讨可信计算研究的系统架构、主要关键技术及其当前研究的热点问题;第3讲介绍可信计算的应用模式和未来。

中图分类号: TN91 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2012) 05-0056-04

## 4 可信的信息系统架构

任何一个信息系统都不是一个孤立的、自治的系统,除了包括信息系统本身的硬件平台、网络平台和软件系统外,还应包括信息系统的用户(授权的用户和管理员以及非授权用户等)、应用环境等相关环境的综合,因此可信的信息系统框架包含了硬件系统(包括可信的硬件组件)、软件系统(包括可信的软件开发过程和软件产品)、可信的网络系统(包括固定和动态变化的可信网络系统)、可信的管理框架(包括软/硬件管理、人员管理规范等)、可信的评价方法(平台可信性的动态测评、服务可信性的评价)等。图4给出了一个可信的信息系统架构简图。

## 5 可信计算的关键技术

由于可信计算涉及范围较广、研究领域较为宽泛、没有形成一个较为稳定而集中的学术圈,因此之前的研究往往集中于各个学术领域独立研究上;但是近年来开始有逐步融合的趋势。目前的研究主要集中于以信任模型方法为核心,并围绕可信计算

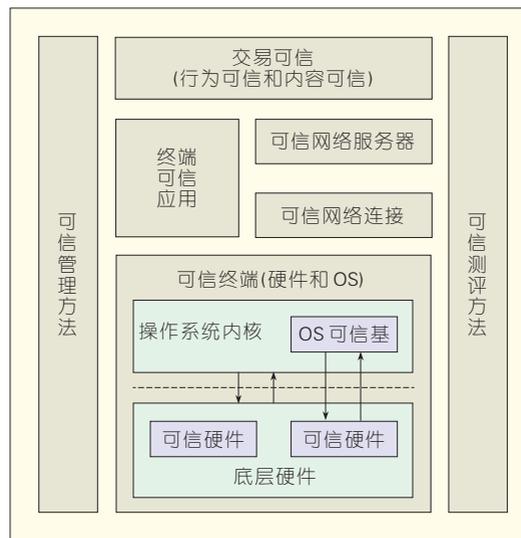
平台和可信软件系统等方面的关键技术。

## 5.1 信任模型方法研究

信任模型可以分为信息系统的故障和威胁模型、系统设计模型、信任度量和评价模型等。其中,故障和威胁模型用于模型化可信计算系统中不可信因素,研究不可信因素的根源、传播机理和影响态势;系统设计模型则针对上述不可信因素,在软/硬件设计过程中通过相应的模型规范和引导,尽可能降低设计缺陷或不足导致的系统脆弱性;信任度量和评价模型则通过静态和动态的方式评估信息系统的可信性,用以改进系统的可信性。目前已经提出的信任模型主要包括基于二元评价的算逻辑模型、基于贝叶斯网络的信任计算模型、基于离散逻辑的信任度模型、基于模糊逻辑的信任模型、基于链式迭代的信任模型以及基于证据评价的信任模型等等。

具体的技术实现方面,通

常采用基于信誉的信任模型作为判断节点是否可信的方法,通过记录节点历史行为的信誉值来预测其将来行为是否值得信任。然而,信任同时也是一个动态的概念,就如同人在不同的环境条件下会表现出不同的可信性一样,是会动态变化的。除了平台以外,平台操作人员也有可能发生信任危机,这类身份可变信誉系统容易受到刷白攻击、女巫攻击等形式的攻击。其中,刷白攻击是指恶意节点



▲图4 可信的信息系统架构简图

通过丢弃低信誉值的身份并创建一个新身份来清除自己的不良历史;女巫攻击是指通过创建多个身份彼此合作来提高这些身份的信誉值。为此,需要针对不同的攻击模式采用相应的信任模型方法进行信任评价,并以此作为提高系统整体可信性的相关依据。

## 5.2 可信计算平台

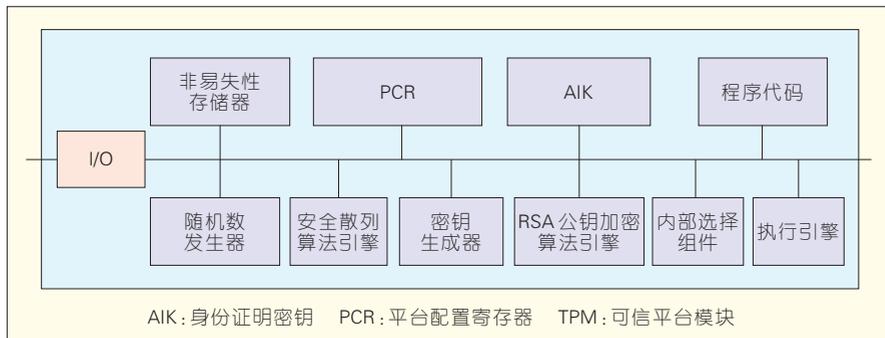
可信计算平台是可信计算的主体,也是当前可信研究中的热点内容。在文章中,我们所指的可信计算平台可以是一台提供业务服务的计算机(或者任何形态具有服务提供能力的节点,例如手机、平板电脑等),也可以是网络系统平台(包含多台计算节点乃至多个计算网络的复杂运算平台)。一般说来,可信计算平台应具备3个基本特征。

- **保护能力:**通过在现有计算机体系结构中敏感信息的隔离保护区(包括可信计算平台的身份标识和系统状态等)的设置,使得受保护的主体仅能通过一组预定义的接口被访问。实施保护能力的设施是可信平台模块(TPM)。

- **证明能力:**可信计算平台必须提供足够的证明能力用以证明平台信息的正确性与合法性。需证明能力包括:TPM可信性证明、平台身份证明、平台状态证明和平台身份验证等。

- **完整性度量、日志和报告:**可信计算平台必须具备完整性度量的能力,如实、准确地记录可信计算平台的各种状态,完整性度量结果必须安全存储在可信计算平台的隔离保护区,必要时向外部实体报告平台当前状态。

事实上,从用户角度出发,在更高的层次上,可信平台还应具有自我恢复能力,即当系统中功能组件(组建可以是硬件模块、软件模块或者扩展至网络平台中的自治计算机)受到攻击或者其他故障(软/硬件故障等)



▲图5 TPM系统架构

而导致系统功能受损时,系统应能提供业务连续性工作的能力(在实现上,可以是系统自动切除受损模块、受损模块能够具备自我修复并重新加入系统等功能的综合)。

在具体实现上,可信平台的核心是可信平台模块TPM。可信平台模块TPM是一片嵌入在可信计算平台上的安全芯片,它作为可信计算平台的信任根,是一个可以被完全信任的黑匣子,具备抵抗各种伪造、篡改、非法读取等攻击的能力以及平台敏感信息的保护能力。2007年9月可信计算组织(TCG)发布了《TPM Main Specification Version 1.2 Level 2 Revision 103》<sup>[9]</sup>,提出了TPM 1.2技术规范标准体系,内容包括:

- (1) 基础框架规范,主旨在于提高TCG相关技术的互操作性,侧重于可信系统的开发、配置、互操作性方面。

- (2) 可信平台模块规范,描述了TPM体系结构、各个部件功能和设计规范、TPM内部通信的数据结构、TPM底层执行的命令规范。

- (3) TPM软件栈规范,描述了支持TPM的软件服务层结构,定义了各层之间的接口,规范了各个角色对于可信计算软件栈(TSS)的操作权限。

- (4) 可信网络连接规范,描述了网络连接抽象模型,定义了安全通讯的层次,规定可信网络连接(TNC)服务器、TNC客户端需遵循的操作接口。

- (5) 个人计算机客户端规范。

- (6) 服务器规范。

TCG给出的设计与实施安全芯

片TPM的一般性架构如图5所示。

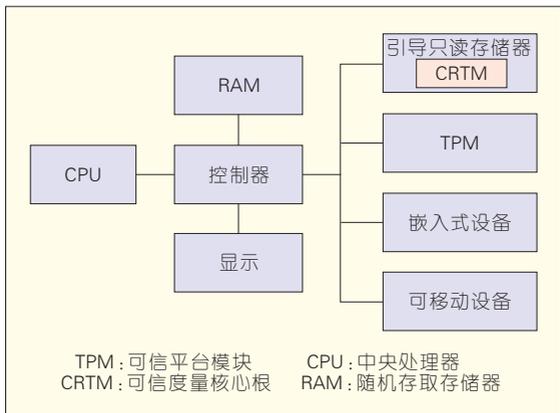
在TPM架构中,平台配置寄存器(PCR)用于保存可信计算平台的配置信息,TPM至少提供16个160位的寄存器作为PCR。PCR是TPM内部独立的存储空间,为了保证可信计算平台的完整性和机密性,PCR仅能由TPM内部的可执行组件访问。

TPM为可信计算平台提供3个信任根:度量信任根(RTM)、存储信任根(RTS)和报告信任根(RTR)。其中,RTM负责度量可信计算平台上各组件(如BIOS、OS、进程等)的完整性,并由可信度量核心根(CRTM)实现。CRTM是在计算平台上新增加的固件(如图6所示),用以存储可信计算平台初始化代码,同时它还是可信计算平台执行代码的起点。RTS负责存储TPM所信任的数据,如TPM密钥、证书等;RTR负责报告可信计算平台当前的平台状态。RTS和RTR在TPM内部实现。

在TPM基础上,可以构造出完整的可信计算机的相关系统,其结构如图6所示<sup>[4]</sup>。

TCG将可信计算平台的这种信任传递描述为传递性信任,在信任的每一级传递之前,需要度量下一级的完整性,并将完整性度量结果通过RTS存储在TPM内部,再由RTR向平台状态验证者报告可信计算平台的当前平台状态。可信计算平台在启动引导过程的信任传递如图7所示。

在TCG定义信任模型中,可信计算平台的信任起源于可信根,在可



▲图6 可信计算机系统

信计算平台的运行过程中,依次将信任传递到基本输入输出系统(BIOS)、操作系统(OS)、应用程序直至计算机网络等应用平台环境,其逻辑关系如图8所示。

### 5.3 可信软件系统

对于可信软件系统的研究,主要围绕着软件高可信开发技术(以避错技术为主)、软件高可信运行技术(以容错和安全技术)和软件高可信自我修复技术(以纠错技术为主)等3方面内容。

#### 5.3.1 软件高可信开发技术

软件高可信开发是指人们将工程化大系统开发的方法应用于软件开发过程中,通过在软件开发的各个阶段引入可靠性和安全性的控制方法,提高软件系统的可信性。在学术界,可信性学者在软件工程的基础上,基于软件生命过程控制,先后提出了软件可靠性工程和软件可信性工程,用以指导可信软件的开发。该方向研究主要包括软件可信性度量、可信性程序设计方法学、可信软件开发方法学等,其研究群体以容错计算领域为主,目标是研制高可信软件(软件具有高可用性、安全性、鲁棒性和可生存性等系统属性)。

#### 5.3.2 软件高可信运行技术

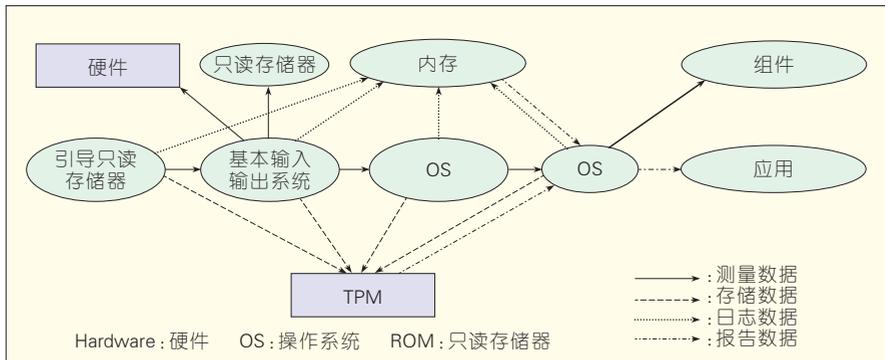
软件高可信运行是指在软件设

计和运行时存在缺陷或者考虑不周的情况下,系统仍然能提供可信服务的能力。基于图灵理论的思想,计算就是状态的转换过程。然而,由于大型软件状态关系的复杂性已经远远超出了人类思维控制的能力,这使得我们设计的软件之中不可避免地产生错误或者考虑不周,即“随着软件规模的扩大,软件之中不可避免潜伏着软件疏漏和错误”。对于大型复杂软件,尽管我们可以通过软件开发过程的优化和

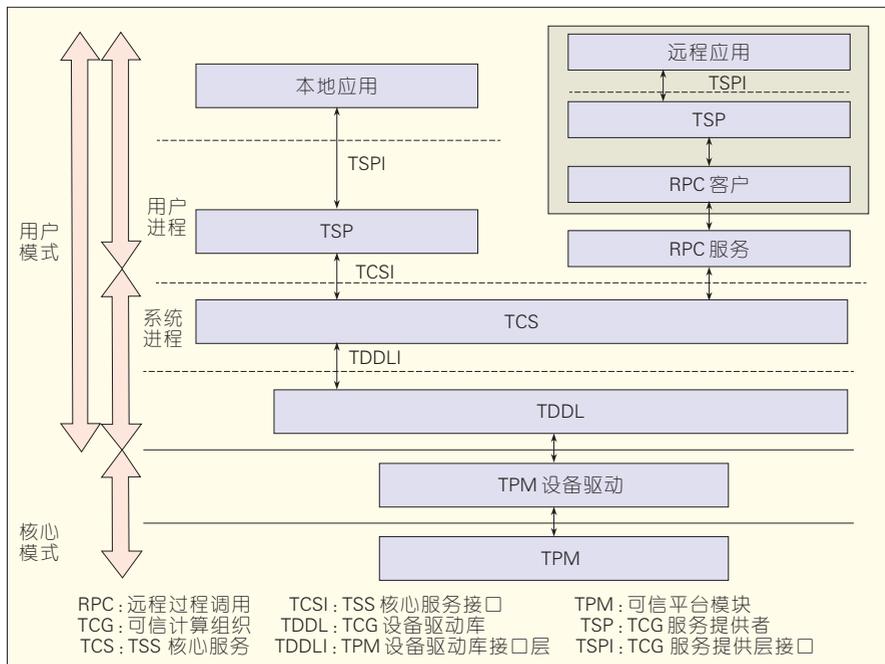
控制来提高软件系统的可靠性和安全性,但是仍然不可能生产出一个永远不会出错的“完美系统”,为此,就对软件提出了可信性运行的要求。

通常,软件系统可以分为系统软件和应用软件两类。其中,系统软件主要是指操作系统、编译器、数据库等基础性软件。由于应用软件的可信性提高涉及到应用的功能和特性,难以做到通用化,因此,当前对于软件可信运行研究主要是集中于系统软件的研究。

对于可信操作系统研究源自于自20世纪60年代开始的安全操作系统的研究,其思想是通过在内部构建



▲图7 可信平台启动过程的信任传递关系



▲图8 可信网络模式

一个可信计算基(TCB)以对系统进行保护。随着TPM的引入,安全操作系统和可信硬件组件结合,不仅能够通过可信芯片为TCB提供硬件级安全支撑,同时也能为可信硬件提供更好的计算能力。研究的主要内容包括用户表示和身份鉴别、自主/强制访问控制、安全审计、安全域隔离等,关键内容在于访问控制。

通用的可信操作系统研究一直是这一方向的重点。然而,随着计算机系统日益深入社会生活,可信嵌入式操作系统研究越来越得到人们的重视。

一般说来,嵌入式操作系统所面临的安全问题则更为严重,这主要是因为:

(1) 由于嵌入式系统本身运算能力弱、存储空间有限、应用功能相对固定的限制,嵌入式操作系统往往专注于功能和性能,造成了其安全性等系统属性要比通用操作系统更差。

(2) 传统的嵌入式操作系统对于网络攻击等属性防范设计不足,安全威胁易于扩散和传播,尤其是随着移动网络和物联网应用的快速发展,上述缺陷所导致威胁将进一步显现。

(3) 由于嵌入式系统专用性强、实时性要求高、具有一定移动性、系统配置和操作相对复杂,人为操作安全隐患威胁大,特别是内部人员的恶意破坏操作难以预防。

嵌入式安全操作系统研究主要内容是在嵌入式操作系统中实现安全可信的模型方法及体系结构、策略、访问控制技术等,研究如何保障系统的实时性、防危性、可靠性等特性,确保保证操作系统中所有主体、客体行为的可信性,以及主体行为的可预测性和可控性、客体的真实性以及自身的可信性和完整性等。由于嵌入式操作系统的内核小、源代码易于获得、改造成本低等特性,相对于通用操作系统来说,高可信嵌入式操作系统的研究反而最有可能首先获得较大突破的方向。

编译器是计算机系统不可或缺的系统软件之一,是实现语义等价转换的工具,因此可信编译的目标就是使得语义等价转换过程和结果都是可信的,这在实现上包含了两方面的要求<sup>[3]</sup>:一方面,必须保证编译器自身是可信的,即确保编译过程是可信的,这就要求编译器功能正确(即源代码与编译后的代码在行为上具有等价性)和编译过程正确(即保证编译器在编译过程中不会给计算机系统带来任何安全性问题,防止恶意攻击者通过修改编译器,在编译过程中执行恶意代码);另一方面,必须保证编译器编译后的目标代码是可信的(即通过编译器提供的可信性保证机制,必须保证凡是其编译、检测及验证并成功生成的程序代码,在系统平台上运行是安全、可靠的,至少是满足预定可信要求的)。可信编译器的研究内容都是围绕着这两方面的内容展开的,采用的技术从最初的编译器测试、形式语义理论到现在的形式化证明。由于编译器自身的复杂性高、结构庞杂,可信编译器研究还存在范围不全面(主要集中于优化、代码生成等阶段正确性验证)、可信层次较低(主要针对指针安全、内存安全或者函数调用等安全问题)、自动化程度不高(主要是自动代码分析技术不够精确、自动定理证明器仍然无法完成较复杂的逻辑命题)等问题,在实践中广泛使用仍面临许多挑战。

对于可信数据库系统,目前还没有一个公认的一致性定义,我们认为可信数据库系统是安全数据库系统和隐私数据库系统的综合,即可信数据库应具备自主访问控制、强制访问控制、数据加密和隐私保护机制等多安全属性特征:通过访问控制机制来阻止外部的非授权访问,改进了存取敏感信息过程的可控性;通过提供密文存储和查询机制来提高信息机密性,提高了抵御外部攻击的安全强度、增强了抵御内部的恶意访问和窃取的能力;通过建立隐私保护机制来

避免敏感信息的推理式间接泄露,阻断违背数据提供者意愿的数据访问。可信数据库研究内容主要包括可信数据模型、可信隐私保护语言、密文存储与访问控制机制等方面。

### 5.3.3 软件高可信自我修复技术

软件高可信自我修复是指软件本身具有自我修复的能力,其核心是基于容错的“用不完善系统构造完美系统”的思想,强调的是信息系统的可生存性。

在实现上,软件高可信自我修复技术往往和自适应软件系统相联系。软件高可信自我修复要求软件系统具有自主性、协同性、反应性、演化性和多态性等特点,可以通过对自身进行重配置以不断适应变化的用户需求、系统缺陷、变化的运行环境和资源可用性。

软件高可信自我修复技术研究主要内容包括面向应用目标的需求建模、可重构的软件系统结构演化方法、运行时动态监控和评价体系、基于任务的软件自适应响应机制、基于反馈响应的可重构方法等。(待续)

## 6 参考文献

- [3] Trusted Computing Group.TPM main specification[EB/OL]. [http://www.trustedcomputinggroup.org/resources/tpm\\_main\\_specification](http://www.trustedcomputinggroup.org/resources/tpm_main_specification)
- [4] Trusted Computing Group.TCG architecture overview version[EB/OL]. [http://www.trustedcomputinggroup.org/files/resource\\_files/AC652DE1-1D09-3519-ADA026A0C05CFA\\_C2/TCG\\_1\\_4\\_Architecture\\_Overview.pdf](http://www.trustedcomputinggroup.org/files/resource_files/AC652DE1-1D09-3519-ADA026A0C05CFA_C2/TCG_1_4_Architecture_Overview.pdf).
- [5] 何炎祥,吴伟,刘陶等.可信编译理论及其核心实现技术:研究综述[J].计算机科学与探索,2011,5(1):1-25.

收稿日期:2012-08-17

### 作者简介



姚文斌,北京邮电大学计算机学院教授、博士生导师,主要研究方向为可信计算、信息安全、灾备技术等;已发表论文60余篇、申请国家发明专利20项、制订国家标准1项、通信行业标准3项。

## 2013年第1—3期专题征文

第1期

自组织网络技术与应用

专题策划人

重庆邮电大学通信与信息工程学院 陈前斌院长

面向泛在、异构网络现状与趋势,多种制式的网络共存,使得无线网络运营维护的复杂度大大增加,业界提出可以使用自组织网络(SON)技术提升网络建设与维护效率、降低网络运营成本,并优化网络容量、覆盖和服务质量。SON技术研究与标准化进程得到业界大量的关注,SON技术的成熟及广泛应用将会对通信网络的运营与优化带来新的变革。本专题将结合无线网络发展趋势,深入而广泛地探讨自组织网络的相关技术及应用。

专题征文范围主要包括:

- SON的业务管理及运营模式
- LTE/LTE-A/ASON关键技术、标准化进展和发展趋势
- SON的自优化技术与方法
- SON的自愈合技术与方法
- SON架构下的智能感知、自适应方法与算法
- 异构网络资源管理与SON在异构网络中的应用
- 分布式无线网络中的自组织技术等

第2期

下一代互联网与IPv6技术演进

专题策划人

清华大学计算机系网络所 崔勇副所长

随着IPv4地址枯竭,世界各国纷纷将IPv6技术作为下一代互联网建设的重要技术基础。然而IPv4与IPv6协议无法兼容,IPv6的过渡与演进技术成为阻碍下一代互联网发展的难题,得到了国际互联网学术界和业界的广泛关注。本专题将就上述问题展开讨论,希望能为关心下一代互联网

网与IPv6技术演进的专家学者提供一个交流与沟通的平台。

专题征文范围包括:

- 以IPv6为基础的下一代互联网关键技术
- IPv6过渡技术综述与场景分析
- 基于隧道的IPv6演进关键技术
- 基于翻译的IPv6演进关键技术
- 移动网络IPv6演进技术
- ICP与应用业务的IPv6演进

第3期

单波长Tb/s以上超高速光通信系统技术与器件

专题策划人

中国电信股份有限公司北京研究院 张成良副总工程师

随着信息化社会的持续深入发展,网络带宽快速增长趋势在未来若干年内还将持续。对于骨干承载网络,高速度、大带宽光纤传输系统及相关器件是最重要的发展方向之一。目前商用波分复用(WDM)传输系统已经全面进入40 Gb/s时代,并即将进入单波长100 Gb/s时代。从发展上看,单波400 Gb/s及1 Tb/s速率WDM光传输技术已成为学术界研究的最大热点,相关研究成果层出不穷。后单波长1 Tb/s以上速率时代光纤传输技术发展即将面临新的瓶颈,无论是光纤、系统还是器件都需要革命性的进步,本专题将深入探讨1 Tb/s以上超高速光纤传输及网络系统和相关器件的关键技术和应用发展趋势。

专题征文范围主要包括:

- 用于未来超大容量、超长距离传输的新型光纤光缆技术
- 新型大容量光交换技术的需求、发展和应用
- 超高速光传输核心光电器件的需求、发展和应用
- 超高速光传输系统关键芯片的需求、发展和应用
- 逼近香农极限的新型光调制技术和关键使能技术的发展和趋势

### 2013年第1—6期专题计划

期次	专题名称	专题策划人
1	自组织网络技术与应用	重庆邮电大学通信与信息工程学院 陈前斌 院长
2	下一代互联网与IPv6技术演进	清华大学计算机系网络所 崔勇 副所长
3	单波长Tb/s以上超高速光通信系统技术与器件	中国电信北京研究院 张成良 副总工
4	大数据技术与应用	解放军理工大学 刘鹏 教授
5	软件定义网络	北京邮电大学网络技术研究院 王文东 副院长
6	移动互联网的发展趋势和技术方向	工信部电信研究院科技委 蒋林涛 主任