

对我国通信高技术研究的世纪开局的述评

邬贺铨

(中国工程院,北京 100038)

摘 要: 本文从分析通信业务模式的新变化入手,说明我国通信高技术研究计划在世纪之初面临的环境和要求。然后,着重在新一代信息网、大容量光传送网和第三代移动通信系统这三方面介绍通信 863 主题在“十五”期间的战略部署,概述了所取得的阶段进展和有创意的研究成果。

关键词: 通信;网际协议(IP);自动交换光网络(ASON);B3G

中图分类号: TN91, TN92 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 12A-001-05

Review on Telecom High Technology R&D Progress of China at Beginning of New Century

WU He-quan

(Chinese Academy of Engineering, Beijing 100038, China)

Abstract: A change of telecom service mode is analyzed and the environment and requirements that faced telecom high technology R&D (863) Program of China at beginning of new century is presented in this paper. The strategic deployment of Telecom Subject of 863 Program during 10th Five Year Plan is introduced. The progress and innovative research achievements on new generation information network, large capacity optic fiber transport network and beyond 3G mobile communications system are mostly summarized.

Key words: communication; internet protocol; automatic switch optical network (ASON); beyond 3G

1 引言

互联网和移动通信在 90 年代中后期的高速发展和普及可以称得上是百年电信史上最辉煌的事件,它们在 21 世纪初仍保持着强劲的增长趋势,并深刻地影响着电信业务和技术的走向。一个电信业务和环境的新格局在世纪之初已显现。主要表现为 IP 化、宽带化、移动性和泛在性。很多国家的干线流量中 IP 业务已成主导,我国 2003 年底省际干线中数据业务所占带宽已是话音业务的 4.3 倍,而且三年平均年增 260% 远高于话音业务量的增长率(约 30%),可以预计到 2005 年底,干线中数据业务带宽将百倍于话音业务。IP 化的另一个表现是在长途(包括国际)通话累计时长方面,VOIP 已远超于传统的电路交换的话音。宽带化的特征从 CNNIC 在 2004 年 7 月发表的我国用户上网方式的统计中可见,使用 ADSL 和 LAN 上网的用户分别占 35.7% 和 33%,使用拨号上网的用户仅占 31.3%,而且 2003 年注册的拨号用户只增加 1.67%,上网宽带化已成定局。我国宽带用户的比例和接入速率目前都还是低水平的,在这方面日、韩是领先的,韩国 70% 的家庭实现宽带接入,从 2004 年起,接入速率从 6Mb/s ADSL 向 26Mb/s VDSL 过渡,计划 2010 年达到 100Mb/s,美国也加快了其宽带化的进程,美国规划到 2010 年全美的所有家庭均可 100Mb/s 上网。全

球有近百个国家其移动电话用户数超过了固定电话用户数,而且移动用户的增长率高于固定用户的增长率,不仅是电话,移动终端上网的趋势渐显,在日本具有接入 Web 能力的手机已占移动用户数 90%,我国也达到 30%,移动性可见一斑。随着 RFID 的发展和传感器的大量使用,机器(或物件)之间(M2M)和机器与人(M2P 和 P2M)之间的通信逐渐出现,日本 NTT DoCoMo 公司估计到 2010 年其移动通信的连接将有 2/3 来自 M2M 和 M2P 或 P2M。遍布各地的由可连网的机器和物件构成的网络形成了泛在(Ubiquitous)网络的概念,即人们可以在任何时间任何地点安全使用但并不感觉其存在的信息通信网络。在注意到上述电信业务格局变化的同时,不能忽视网络运营状况的变化,通信技术和业务的发展刺激了运营商对网络的投资,但对设施建设的过渡投入和应用开发的滞后使电信运营商增量不增收,在世纪之交引发了网络泡沫,虽然电信业现在已开始复苏,这一事件对网络发展包括对通信技术研究的影响将可能持续十年甚至更长,与过去相比,运营商更为关注网络的可操作性、可持续发展能力以及可赢利模式。

面对上述形势的变化,“十五”863 计划通信技术主题认真研究发展战略,围绕新一代信息网、自动交换光网络(ASON)和 Beyond 3G(第三代移动通信)部署课题,经过几年的研究开发工作,取得了一批有影响的成果,支持了我国通信产

业和网络建设,在创新能力和人才培养方面为今后更大的发展打下了基础。

2 新一代信息网

在新一代信息网方面,围绕下一代网络(NGN/NGI)的发展需求,部署了一批重大课题。研制成功高端 IPv6/IPv4 双协议栈路由器,交换机构容量可达 320G,还开发了 IPv6 协议测试软件及测试仪表。目前所研制的高性能 IPv6 路由器已通过了第三方的入网测试,同时正在进行面向工程化的开发工作。所研发的高性能 IPv6 协议栈软件具有自主知识产权和良好移植性,能在多种主流实时操作系统之上运行,可作为独立的软件产品。

为了解决核心路由器高速无阻塞光总线交换网络体系结构中的高速大容量分组缓冲这一关键技术难题,通信 863 主题安排了相关课题,研究提出了结合 SRAM 和 DRAM 技术特点的输出排队分组两级缓冲结构及相关 LBF-MMA 存储器管理算法,经仿真分析表明,较好地解决了光总线交换网络中分组缓冲高速度与大容量之间的矛盾^[1]。

关于软交换系统的研究,研究重点已从话音业务扩展到支持多媒体和移动业务(包括 3G),具备 300 万 BHCA(对多媒体业务)和 150 万 BHCA(对移动业务)的处理能力,支持开放的 API 接口,支持第三方业务的生成和提供,所开发的成果已在网上应用得到检验。通信 863 主题还完成了支持多媒体和移动业务的软交换系统测试方法的研究。除了开发软交换设备外,课题组还研究了基于软交换的下一代网络的高可用性问题,从设备及设备间连接的可用性两方面提出了高可用性软交换的设计方案^[2]。在软交换中呼叫信令将经过多个控制域,而业务流将经过多个传送域,不同的域可能采用不同的协议和策略,针对在这一体系中如何保证端到端的 QoS 问题,研究提出了引入业务管理器和带宽管理器分别管理控制层和传送层的资源的方案^[3]。

与新一代信息网有关的关键技术研究也取得了很好的进展。例如关于带宽测量方面,课题研究改进了利用两个或多个背对背发送的测量包(Packet Pair)所经历的散布间隔估计瓶颈带宽的方法,提出了一种基于信号模式的滤波算法^[4]。在 IP QoS 关键技术的研究方面,提出了一种多元超立方体交换体系结构和新型 Crossbar 调度算法,通过仿真表明,该调度算法控制简单、可扩展性好和易于硬件实现。同时提出的保证链路尽职工作的保序交换调度控制策略,较好地解决了并行交换系统尽职工作与保序交换的矛盾^[5]。此外,通信 863 主题还完成了新一代信息网管接口定义方法与测试模型研究,实现了基于 CORBA/IDL、SNMP/SMI 和 XML 的 3 个网络管理接口测试原型系统,根据课题成果,形成了 ITU-T 建议 X.781 并据此起草建议 M.3031^[6]。

3 大容量光网络

运营商前几年较大规模的光网络建设,至今仍有比较富裕的光纤资源,在 DWDM 技术的发展解决了容量扩展问题之后,运用的灵活性和可生存性相对于传输链路的带宽成为光

传送网发展的主要矛盾,以 IP 数据为支配业务的流量突发性更要求光传送网能够迅速响应动态配置。自动交换光网络(ASON)概念应运而生并被作为通信 863 主题的研究重点,目标是研制具有 T 比特交换容量、多种类型业务接入、动态资源分配、自动连接控制和网络保护恢复等功能的 ASON 节点设备,并组成高性能 ASON 试验系统,完成控制协议和网络性能的试验与验证;同时建立 ASON 分层路由研究平台与大规模试验环境,开发相关的层次路由技术。目前已完成关键技术研究,自主设计了一套较完整的控制平面协议软件,建成了我国第一个由 5 个光节点构成的格状型 ASON 光网络试验平台并建立了多个仿真平台,可进行多粒度光交换功能、跨域层次化网管功能以及生存性功能的验证。预计 2004 年底完成 ASON 节点研制,2005 年进行网络试验(包括在 3Tnet 项目中的试验)和应用示范。围绕 ASON 及其所基于的 DWDM 光传送路由技术,通信 863 主题安排了一批课题,提出了信令协议和多种路由优化算法^[7~11]。

WDM 超长距离光传输技术的研究与实现也是通信 863 的重点课题,课题组采用环路实验平台,完成了 DWDM 超长距离光传输试验系统,该系统具有 1.6Tb/s(160x10Gb/s,C+L 波段)的传输容量,采用 CS-RZ 码,系统无电中继光传输距离达到了 5490km,系统误码率优于 10^{-12} 。该课题的研究成果以文稿方式贡献到 ITU-T 关于拉曼放大器建议草案 G.raman。

在大容量光网络研究方面,通信 863 主题还安排了支持 40Gb/s 传输的纠错码研究^[12],安排了 PMD 色散补偿技术的研究^[13,14],最近另一课题组还研制完成 40Gb/s 一阶和二阶 PMD 自适应试验系统,基于 DOP 取样方案,在搜索优化算法上有重大突破,取得了补偿时间小于 100ms 的结果。此外在光突发交换(OBS)技术的研究方面也有一定的进展^[15,16],在基于 SOA+静态 DWDM 膜片实现的可控波长选择光开关模块方面有创新。

除了干线光网络技术研究外,通信 863 主题也关注 GPON(基于千兆以太网的宽带无源光网络)和弹性分組环的研究,得到了一些有意义的结果^[17]。

4 后三代移动通信系统(Beyond 3G)

在 3G 开始小范围应用并继续完善技术和产业化的同时,一些国家已把研究重点转入 B3G 的先期研究,为使无线通信的频谱效率、容量和速率相对 3G 有十倍甚至百倍的提高,从网络体系到实现技术都面临重大挑战,需要引入诸如全 IP 分布式多层的个人通信新体制、多天线和阵列天线技术、多载波并行传输和新型的自适应编码调制技术等。我国大城市人口密集,对移动通信频谱利用率有更高期望。在“九五”成功研究 3G 的基础上,我国及时开展 B3G 的研究并作为通信 863 主题的重大项目(FuTURE)安排,目标是在 2005 年底前,研制出基于 GMC/OFDM 框架的 Beyond 3G 蜂窝移动通信无线网络试验系统,构建能够体现未来移动通信主要技术特征的新型分散式多天线多小区集成试验平台以及 Beyond 3G 特征业务演示平台。在大范围多小区覆盖情况下峰值传输速率为 30~50Mbps,频谱效率达到 1.5~2.5bps/Hz/S;在热点覆盖地

区峰值速率为 40100Mbps、频谱利用率为 2~5bps/Hz/S。该项目同时研制 FDD(上行 GMC,下行 OFDM)和 TDD(上下行均 OFDM)系统。由多个单位联合承担的这一课题目前已基本完成系统链路仿真与验证,并开始进行通用硬件平台的设计开发。为配合上述研发工作,该项目还安排了 Beyond 3G 应用需求、标准化研究与测试环境开发课题、空中接口技术仿真第三方测试与评估平台的开发课题等。除了软硬件系统开发外,项目还力求与国外关于 B3G 的研究同步,在国际标准化方面做出我们的贡献。

FuTURE 的研究虽然还未完成,但已产生很多有创意的研究结果。例如分布无线通信系统(DWCS)体系,它基于分布天线和与之分离的一组可配置的分布处理器,每一处理器处理来自许多天线的信号,各处理器之间又通过高速网络相连保证协同工作,在移动终端可达到的范围内的一组分布天线构成一个虚拟蜂窝。这一方案为解决在蜂窝尺寸缩小的同时出现的干扰增大的矛盾提供了可能^[18]。在与多输入和多输出(MIMO)系统有关的信道编码和自适应调制算法方面也取得了可喜的进展^[19,20],在采用 MEMS 开关技术对天线进行电磁特性重构方面取得了新突破。

在 B3G 的传输体制方面,FuTURE 重点研究 OFDM 技术^[21~24],有关 LAS-CDMA 用于 4G 的研究也在进行^[25]。

在编码和调制技术方面,FuTURE 的研究集中在空时分组编码及 Turbo 码,课题的研究获得了一种基于分块归零处理的并行 Turbo 编译码新方法,能够在基于不增加 Turbo 编译码实现复杂性的同时,降低误码时延;提出了一种基于均匀与非均匀调制星座图映射的不等保护混合自动重传请求方法,提高了系统的吞吐率;提出了一种用于多发射多接收(MIMO)天线阵列系统的空间并行交织方法,可以更有效地对抗无线移动通信道中的突发错误影响;获得了一种基于 CRC 停止准则的低复杂度低时延 Turbo 译码方法,可自适应地降低 Turbo 译码复杂性、处理时延和功耗。还有一些课题从不同的角度也得到改进性能或简化实现的有意义结果^[26~31]。

此外,通信 863 主题对移动自组织网也给予较多的关注,有了一个较好的研究开端^[32~34]。

5 结束语

通信 863 主题还设置了 3Tnet 专项,集成上述多项技术,研制 Tbps 级光传输系统、Tbps 级自动交换传送网络、Tbps 级双协议栈路由器等核心节点设备,研究开发相应的网络应用支撑环境,建设一个实用化的广域高性能宽带信息示范网,试验网络电视和多媒体互动业务,重点研究面向 DTV/HDTV 宽带流媒体业务的应用。目前单元技术已基本掌握,实现了 10Gb/s POS 最小 IPv6 报文线速转发,3Tnet 示范网的建设正在加紧准备。

本文围绕新一代信息网、大容量光传送网和 Beyond 3G 三个方面简述了通信 863 主题部署的部分主要项目和课题的研究目标和阶段进展,虽然一些大系统的研究开发课题按计划要到 2005 年底才完成,但目前已经取得了一些有重要创新的成果,显示了一个好的开局,为今后的研究打下很好的基础。

除了本文介绍的内容以外,通信 863 主题近年又陆续安排一批研究课题,例如新一代互联网 QoS 机制/管理和计费研究、电信级统一 IP QoS 体系架构和实施方案研究、网络生存性的研究^[35]、基于 MPLS 的多业务网络研究、NGN 体系架构研究、宽带 IP 网视频技术、提供虚拟专用网功能的多业务传送平台实现技术、OTDM 和 OCDMA 的关键技术、移动 IPv6 关键技术、新型天线与分集技术、超宽带(UWB)无线传输技术等。这些课题反映了从深层次上探索和解决网络服务质量和管理问题以及及早启动前沿技术研究的战略意图。

感谢国家 863 计划通信主题专家组郭云飞教授和王柏义主任提供有关项目进展的材料。

参考文献:

- [1] 李万林,田畅,郑少仁.光总线交换网络输出排队两级缓冲结构与性能分析[J].电子学报,2003,31(4):589-592.
Li Wanlin,Tian Chang,Zhen Xiaoren. Performance analysis of output-queued two-stage packet buffer structure for optical bus switching network[J]. Acta Electronica Sinica,2003,31(4):589-592.
- [2] 徐鹏,苏森,陈俊亮.基于软交换的下一代网络的高可用性研究[J].高技术通讯,2003,13(12):21-24.
Xu Peng,Su Sen,Chen Junliang. Research on high availability of soft-switch based next generation network[J]. High Technology Letters,2003,13(12):12-16.
- [3] 王三海,杨放春,苏森.基于 QoS 策略的软交换网络体系结构的研究[J].高技术通讯,2004,14(3):21-24.
Wang Sanhai,Yang Fangchun,SuSen. The research on QoS-policy-based soft-switch network architecture[J]. High Technology Letters,2004,14(3):21-24.
- [4] 林宇,邹海涛,程时端,王重钢,金跃辉,王文东.网络瓶颈带宽测量的噪声分析[J].电子学报,2004,32(4):552-556.
Lin Yu,Wu Haitao,Chen Shiduan,Wang Chonggang,Jin Yuehui,Wang Wendong. A noise analysis for measuring network capacity bottleneck[J]. Acta Electronica Sinica,2004,32(4):552-556.
- [5] 李万林,齐望东,田畅,郑少仁.太比特路由器多元超立方体交换结构时延性能分析[J].通信学报,2003,24(4):1-8.
Li Wanlin,Qi Wangdong,Tian Chang,Zheng Shaoren. Latency of multi-ary hypercube switching fabric in the terabit router[J]. Journal of China Institute of Communications,2003,24(4):1-8.
- [6] 魏宏,邱雪松,孟乐明.综合网管体系结构研究及信息模型建立[J].通信学报,2004,24(12):84-90.
Wei Hong,Qiu Xuesong,Meng Luoming. Framework and information model for integrated network management[J]. Journal of China Institute of Communications,2004,24(12):84-90.
- [7] 姚劲,迟彩霞,郑小平,李艳和,张汉一.一种新的动态指配光网络资源的接口信令协议[J].电子学报,2003,31(10):1441-1445.
Yao Jin,Chi Caixia,Zheng Xiaoping,Li Yanhe,Zhang Hanyi. A novel signaling protocol for optical networks user network interface[J]. Acta Electronica Sinica,2003,31(10):1441-1445.
- [8] 司昕,施杜平,罗忠生.基于 GMPLS 的光网络保护和恢复机制[J].高技术通讯,2003,13(9):10-15.
Si Xin,Shi Sheping,Luo Zhongsheng. The GMPLS-based optical net-

- work survivability[J]. High Technology Letters, 2003, 13(9): 10 - 15.
- [9] 霍晓莉, 李艳和, 戴无惧, 张汉一, 何永琪. 一种面向多业务恢复的路由优化算法[J]. 通信学报, 2004, 24(10): 14 - 20.
Huo Xiaoli, Li Yanhe, Dai Wujie, Zhang Hanyi, He Yongqi. An optimal restoration-route algorithm adapt to multi-services[J]. Journal of China Institute of Communications, 2004, 24(10): 14 - 20.
- [10] 赵志勇, 邵子瑜, 李正斌, 王子宇, 徐安士. 波分复用光网中的一种新型波长分配算法[J]. 电子学报, 2003, 31(11): 1721 - 1724.
Zhao Zhiyong, Shao Zhiyu, Li Zhengbin, Wang Zhiyu, Xu Anshi. A new wavelength assignment algorithm for WDM optical network[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(11): 1721 - 1724.
- [11] 王磊, 张汉一, 郑小平, 李艳和. 一种基于 OBGP 协议的光网络域间路由的新型机制[J]. 电子学报, 2004, 32(5): 718 - 722.
Wang Lei, Zhang Hanyi, Zheng Xiaoping, Li Yanhe. An OBGP based mechanism for inter-domain routing in optical networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(5): 718 - 722.
- [12] 杨志勇, 杨铸, 肖定中. 光纤通信中级联码的码型[J]. 通信学报, 2004, 25(2): 82 - 88.
Yang Zhiyong, Yang Zhu, Xiao Dingzhong. The code type of concatenated FEC in optical transmission system[J]. Journal of China Institute of Communications, 2004, 25(2): 82 - 88.
- [13] 刘剑飞, 于晋龙, 王剑, 胡浩, 杨恩泽. 高速光纤通信系统中一阶偏振色散自动补偿技术的研究[J]. 通信学报, 2004, 24(12): 146 - 150.
Liu Jianfei, Yu Jinlong, Wang Jian, Hu Hao, Yang Enze. Study on automatic compensation of first order PMD in high-speed optical fiber communication system[J]. Journal of China Institute of Communications, 2004, 24(12): 146 - 150.
- [14] 夏月辉, 张霞, 刘开贤, 黄永清, 陈雪, 任晓敏. 利用线性啁啾光纤光栅补偿偏振模色散方案的研究[J]. 电子学报, 2003, 31(5): 759 - 761.
Xia Yuehui, Zhang Xia, Liu Kaixian, Huang Yongqing, Chen Xue, Ren Xiaomin. A novel strategy to compensate polarization mode dispersion with linear chirped fiber Bragg gratings[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(5): 759 - 761.
- [15] 黄安鹏, 谢麟振, 李正斌, 徐安士. 解决光突发交换竞争的新模型[J]. 通信学报, 2004, 24(10): 62 - 70.
Huang Anpeng, Xie Linzhen, Li Zhengbin, Xu Anshi. A new scheme for contention resolution in optical burst switching[J]. Journal of China Institute of Communications, 2004, 24(10): 62 - 70.
- [16] 宋浩, 李新碗, 吴龟灵, 叶爱伦, 陈建平. 基于曼哈顿网络光突发交换的模拟分析[J]. 高技术通讯, 2003, 13(6): 9 - 12.
Song Hao, Li Xinwan, Wu Guilin, Ye Ailun, Chen Jianping. A simulation and analysis on optical burst switched network based on Manhattan street network[J]. High Technology Letters, 2003, 13(6): 9 - 12.
- [17] 张治中, 曾庆济, 刘华, 熊江涛, 蒋铭, 赵正福. 弹性分组多环互连网络的设计与实现[J]. 高技术通讯, 2004, 14(8): 5 - 10.
Zhang Zhizhong, Zeng Qingji, Liu Hua, Luo Jiaotao, Jiang Ming, Zhao Zhengfu. Design and implementation of interconnected resilient packet rings[J]. High Technology Letters, 2004, 14(8): 5 - 10.
- [18] Shidong Zhou, Ming Zhao, Xibin Xu, Jing Wang, Yan Yao. Distributed Wireless Communication System: A New Architecture for Future Public Wireless Access[J]. IEEE, Communications Magazine, 2003, 41(3): 108 - 113.
- [19] 王兵, 赵玉萍, 邹黎, 梁庆林. 适用于编码 MIMO 系统的软输出估计算法[J]. 高技术通讯, 2003, 13(11): 5 - 9.
Wang Bing, Zhao Yuping, Zou Li, Liang Qinglin. Soft-output estimation algorithm for coded MIMO system[J]. High Technology Letters, 2003, 13(11): 5 - 9.
- [20] 贺志强, 田宝玉, 吴伟陵. 时变信道下 MIMO 系统自适应调制与功率分配的算法性能分析[J]. 通信学报, 2004, 24(11A): 45 - 52.
He Zhiqiang, Tian Baoyu, Wu Weiling. Performance analysis of power allocation and adaptive modulation for MIMO system over time-varying fading channel[J]. Journal of China Institute of Communications, 2004, 24(11A): 45 - 52.
- [21] 秦升平, 邝育军, 尹长川, 纪红, 岳光新. OFDM 系统中一种频率的盲估计算法[J]. 通信学报, 2004, 24(11A): 184 - 188.
Qin Shengping, Kuang Yujun, Yin Changchuan, Ji Hong, Yue Guangxin. A blind frequency offset estimation algorithm for OFDM[J]. Journal of China Institute of Communications, 2004, 24(11A): 184 - 188.
- [22] 陈继明, 唐友喜, 李少谦. 相干 OFDM 系统中导引符号功率的优化[J]. 通信学报, 2004, 24(12): 42 - 51.
Chen Jiming, Tang Youxi, Li Shaoqian. Pilot power allocation for PSAM OFDM system[J]. Journal of China Institute of Communications, 2004, 24(12): 42 - 51.
- [23] 蒋欣, 罗汉文, 宋文涛. 一种消除 OFDM 子信道干扰的均衡新方法[J]. 电子学报, 2004, 32(4): 536 - 539.
Jiang Xin, Luo Hanwen, Song Wentao. A novel equalization method by canceling inter-channel interference in OFDM system[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(4): 536 - 539.
- [24] 李峰, 李建东. 无线 OFDM 系统频率选择性衰落信道下的 SOVA 译码算法[J]. 电子学报, 2004, 32(4): 544 - 547.
Li Feng, Li Jiandong. SOVA algorithms under frequency-selective fading channels for OFDM wireless system[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(4): 544 - 547.
- [25] Daoben Li. The Perspectives of Large Area Synchronous CDMA Technology for the Fourth Generation Mobile Radio[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(3): 114 - 119.
- [26] 刘勤, 杨家玮, 李建东. 利用空时分组编码技术提高数据传输速率的研究[J]. 通信学报, 2004, 25(6): 50 - 57.
Liu Qin, Yang Jiawei, Li Jiandong. Study on space-time coding anti-interference techniques to improve data data rate of transmission[J]. Journal of China Institute of Communications, 2004, 25(6): 50 - 57.
- [27] 陈钟麟, 朱光喜, 谢代明. 基于互满正交设计的差分空时分组码[J]. 电子学报, 2004, 32(4): 548 - 551.
Chen Zhonglin, Zhu Guangxi, Shen Jing, Qu Daiming. Differential space-time block code based on amicable orthogonal design[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(4): 548 - 551.
- [28] 陶小峰, 俞追专, 秦海燕, 张平. V-BLAST 的并行译码[J]. 电子学报, 2003, 31(7): 990 - 993.
Tao Xiaofeng, Yu Zhuzhuan, Qin Haiyan, Zhang Ping. Parallel detection algorithm of V-BLAST[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(7): 990 - 993.
- [29] 王东明, 高西奇, 赵春明, 尤肖虎. 空时分组码分块传输系统中的 Turbo 检测译码[J]. 通信学报, 2004, 25(6): 1 - 11.
Wang Dongming, Gao Xiqi, Zhao Chunming, You Xiaohu. Turbo detec-

- tion and decoding for space-time block-coded block transmission system [J]. Journal of China Institute of Communications, 2004, 25 (6) : 1 - 11.
- [30] 彭岳星, 王维新, 刘陈, 吴镇扬. 频选快衰落信道的 Turbo 均衡算法[J]. 电子学报, 2003, 31 (4) : 498 - 501.
Peng Yuexing, Wang Weixin, Liu Chen, Wu Zhenyang. Turbo equalization with frequency-selective fast-fading channel tracing[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31 (4) : 498 - 501.
- [31] 王亚峰, 杨鸿文, 杨大成. 采用 Turbo 码的 type HARQ 性能分析[J]. 通信学报, 2004, 25 (6) : 139 - 146.
Wang Yafeng, Yang Hongwen, Yang Dacheng. Performance analysis of type HARQ with Turbo codes[J]. Journal of China Institute of Communications, 2004, 25 (6) : 139 - 146.
- [32] 许力, 郑宝玉. 基于信号处理和移动代理的可编程 ad hoc 网络构架[J]. 通信学报, 2004, 24 (11A) : 166 - 171.
Xu Li, Zheng Baoyu. A framework of signal processing and mobile agent based programmable mobile Ad hoc network [J]. Journal of Institute of Communications, 2004, 24 (11A) : 166 - 171.
- [33] 熊焰, 万睿云, 华蓓, 苗付友, 王行甫. 移动自组网基于动态蜂窝的 QoS 路由协议[J]. 电子学报, 2003, 31 (8) : 1125 - 1129.
Xiong Yan, Wan Ruiyun, Hua Bei, Miao Fuyou, Wang Xingfu. A QoS routing protocol based on dynamic cellular in mobile Ad hoc networks [J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31 (8) : 1125 - 1129.
- [34] 盛敏, 李建东, 史琰. 应用于 ad hoc 网络的时延敏感自适应路由协议[J]. 高技术通讯, 2003, 13 (6) : 1 - 4.
Sheng Min, Li Jiandong, Shi Yan. DSARP: delay sensitive adaptive route protocol for Ad hoc network [J]. High Technology Letters, 2003, 13 (6) : 1 - 4.
- [35] Lei Lei, Aibo Liu, Yuefeng Ji. A Joint Resilience Scheme with Interlayer Backup Resource Sharing in IP over WDM Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42 (1) : 78 - 84.

作者简介:



邬贺铨 男, 1943 年 1 月出生于广东广州, 教授级高工、博士生导师、中国工程院院士, 曾任信息产业部电信科学技术研究院副院长兼总工、国家 863 计划通信主题专家组组长, 现任中国工程院副院长、国家 863 计划监督委员会副主任、国家 973 计划专家顾问委员会委员、中国通信学会副理事长, 长期从事光纤通信传输系统研究开发, 现主要从事下一代通信网络发展战略研究和项目管理. E-mail: wurhq@catt.ac.cn