

21世纪

通信发展趋势

徐澄圻 编著

372

7N91-F1
474

21 世纪通信发展趋势

徐澄圻 编著



A0962766

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

21 世纪通信发展趋势/徐澄圻编著. —北京:人民邮电出版社, 2002.3

ISBN 7-115-10161-2

I .2... II .徐... III .通信—技术预测 IV .TN91-1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 009528 号

内 容 提 要

本书主要讲述 21 世纪通信发展趋势,全书共分 7 章。第 1 章 21 世纪展望,概要介绍了未来通信发展的目标;第 2 章未来的通信业务,包括多媒体通信业务、基于 IP 的业务、移动数据业务和智能网业务;第 3 章至第 6 章分别讨论了核心网、宽带接入网、光纤网以及移动网的现状和发展趋势;第 7 章讲述了家庭信息化与家庭联网技术。

本书以网络技术为主线,涉及内容跨度较大,适合于 IT 领域对通信有一定基础的工程技术人员和管理人员阅读,也可作为高等院校相关专业高年级学生的教学参考书。

21 世纪通信发展趋势

- ◆ 编 著 徐澄圻
责任编辑 须春美
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67180876
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京朝阳展望印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.75
字数: 351 千字 2002 年 3 月第 1 版
印数: 1-5 000 册 2002 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-10161-2/TP · 2793

定价: 21.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010)67129223

编者的话

信息技术是 21 世纪最具时代特征和最富活力的支柱技术之一。担负信息流通功能的通信,在上一世纪末有着异乎寻常的发展。IP 技术、3G 移动通信技术、宽带接入网技术和基于波分复用的光传送网(WDM-OTN)技术是该阶段具有标志意义的技术。在信息化大潮中受需求的驱动,各种基于因特网和移动网的新业务相继推出,新概念和新技术层出不穷。

网络是国家信息基础设施(NII)的主干,网络功能是各类通信技术的出发点和归宿。传统的通信技术乃至网络对业务的传送能力存在哪些不足?要适应未来信息化社会的需要应采取哪些策略和可能的解决方案?如何处理传统按业务划分的各类网络的关系?传统的网络结构体系是否需要冲破而代之以全新的结构体系?现有网络如何通过演进向更理想的网络平稳过渡?如何考虑未来家庭的信息化?这一连串问题便构成了“21 世纪通信发展趋势”这个命题。

在阅读国内外专家、学者发表或出版的大量论文和著作的基础上,经过较长时间的思考、分析和归纳撰写了本书,试图对上述问题给出粗略的回答。

全书分成 7 章。第 1 章 21 世纪通信展望概要介绍了未来通信发展的目标和赖以实现的基础。第 2 章叙述了未来最令人关注的一些业务:多媒体通信业务、基于 IP 的业务、移动数据业务和智能网业务。从第 3 章到第 6 章分别讨论了核心网、接入网、光纤网以及移动网的现状和发展趋势。对 IP/ATM/SDH/WDM、BAN、WDM-OTN、3G/IMT-2000、网络融合和网络演进给予了较详细的分析,并对下一代网络(NGN)体系结构作了简要介绍。第 7 章给出了关于家庭信息化和家庭联网技术的一些可能的解决方案。

本书以网络技术为主线,涉及内容跨度较大,适合于 IT 领域对通信有一定基础的工程技术和管理人员阅读,也可作为高等院校相关专业高年级学生的教学参考书。

由于通信技术日新月异,书中给出的一些意见或结论往往只有相对的意义,所讨论的有些问题也不见得都有定论,需要通过实践作出回答。所谓的“发展趋势”,实际上也只是能反映当前对未来 5 年或稍长一点时间发展情况的认知。由于本人学识和视野有限,书中难免会出现一些不当和谬误之处,敬请读者不吝指正。

编者
2002 年 1 月

目 录

第 1 章 21 世纪通信展望	1
1.1 信息化与信息基础设施	1
1.2 21 世纪通信发展的目标及其实现	3
1.2.1 21 世纪通信发展的目标	3
1.2.2 实现通信发展目标的相关技术	3
1.3 基础与支撑技术	7
1.3.1 微电子和微光学的发展趋势	8
1.3.2 现代通信中的信号与信息处理和智能技术	11
第 2 章 未来的通信业务	15
2.1 通信业务的发展趋势	15
2.2 多媒体通信业务	17
2.2.1 多媒体通信业务的特点和分类	17
2.2.2 多媒体业务的现状	18
2.2.3 多媒体业务的发展趋势	20
2.3 基于 IP 的业务	21
2.3.1 业务定义和分类	21
2.3.2 IP 电话/传真业务	22
2.3.3 基于因特网的电子商务	24
2.4 移动数据通信业务	28
2.4.1 发展背景和业务应用	28
2.4.2 移动 IP 及其应用	30
2.5 智能网(IN)业务	30
2.5.1 智能网概念和特点	30
2.5.2 智能网进展	32
2.5.3 智能网业务	34
第 3 章 IP 技术、核心网宽带化与下一代网络技术	36
3.1 通信网发展中面临的问题	36
3.2 全球信息基础设施(GII)	38

3.3 电路交换网的发展趋势	42
3.3.1 IP 业务对 PSTN 的冲击	42
3.3.2 电信骨干网的性能	43
3.3.3 网络融合和业务融合	44
3.3.4 IN/Internet 互连	46
3.4 ATM 现状和前景	48
3.4.1 ATM 的优势、问题和进展	48
3.4.2 VOA 技术进展	50
3.5 IP 网络及其发展趋势	51
3.5.1 Internet 现状与存在的问题	52
3.5.2 IP 领域的研究目标及其进展	54
3.5.3 Internet 协议体系和 IPv6	56
3.5.4 IP 路由器技术进展	64
3.5.5 IP 与 ATM 技术的融合	68
3.5.6 IP over SDH 与 IP over WDM	78
3.5.7 IP over DTM(动态同步传送方式)	79
3.5.8 IP over OTP - N(光透明分组网)	80
3.6 核心网向宽带多业务网演进	81
3.6.1 IP 网与电信网的融合	81
3.6.2 网络演进	82
3.7 下一代网络技术	83
3.7.1 分布式面向对象的网络结构(DONA)	83
3.7.2 软交换(Softswitch)技术	84
3.7.3 可编程网络与能动网(Active Network)	88
第 4 章 宽带接入网技术	91
4.1 接入网概述	91
4.1.1 接入网定义、定界和功能结构	91
4.1.2 接入网的接口	93
4.1.3 接入网的管理	94
4.2 IP 接入网	95
4.2.1 IP 接入网的特点、定义和参考模型	95
4.2.2 链路层协议	96
4.2.3 IP 接入方式	96
4.3 宽带综合接入	98
4.3.1 对宽带综合接入的要求	98
4.3.2 综合接入方式	99
4.4 接入网技术及其发展趋势	101
4.4.1 接入网技术分类	101

4.4.2 接入网现状和发展趋势	102
4.4.3 我国的宽带接入网发展趋势	104
4.5 用于双绞铜缆的宽带 XDSL 技术	106
4.5.1 ADSL 和 UDSL	106
4.5.2 VDSL(Very high rate DSL)	109
4.5.3 EDSL	111
4.6 HFC 技术	112
4.6.1 HFC 系统结构	112
4.6.2 HFC 的应用和发展	113
4.7 光纤接入网(OAN)技术	114
4.7.1 OAN 概述	114
4.7.2 基于 ATM 的无源光网络(APON)	117
4.8 本地多点分配业务(LMDS)技术	120
4.8.1 LMDS 概念	120
4.8.2 LMDS 系统结构	121
4.8.3 LMDS 应用前景	122
4.9 直播卫星(DBS)技术	123
4.9.1 DBS 系统结构和特点	123
4.9.2 DBS 系统的业务应用	123
4.10 低轨卫星本地宽带固定接入技术	124
4.10.1 SkyBridge 系统结构	124
4.10.2 SkyBridge 系统的 Ku 波段共享技术	125
4.10.3 SkyBridge 系统的业务应用	126
第 5 章 未来的光纤通信	127
5.1 光纤通信发展趋势	127
5.2 光复用技术及其进展	129
5.2.1 光复用技术分类	129
5.2.2 WDM 技术及其进展	130
5.2.3 光频分复用	131
5.2.4 光时分复用、光码分复用和光副载波复用	132
5.3 光联网及其发展趋势	132
5.3.1 光联网的必要性和优点	132
5.3.2 光联网的演进和未来光网络结构	134
5.3.3 光联网的标准化工作进展	136
5.3.4 光联网试验工作进展	138
5.3.5 光联网的发展趋势	139
5.4 光交换技术进展	141
5.4.1 光交换方式	141

5.4.2 光交换器件	143
5.4.3 光交换技术进展	145
5.5 光孤子通信技术	147
5.5.1 基本原理与系统组成	147
5.5.2 关键技术	148
5.5.3 研究进展与展望	150
第 6 章 第三代移动通信与无线通信技术	151
6.1 第三代移动通信的背景	151
6.2 第三代移动通信系统简介	153
6.2.1 目标和要求	153
6.2.2 频谱需求与划分	154
6.2.3 无线接口(空中接口)	154
6.2.4 IMT-2000 的应用	156
6.3 2G 向 3G 网络的演进	158
6.3.1 网络演进的一般概念	158
6.3.2 功能网络结构和相关协议	159
6.3.3 新业务对 3G 系统能力的要求	161
6.3.4 2G 向 3G 演进的策略	161
6.4 GSM 向 3G UMTS 演进	163
6.4.1 GSM 参考结构	163
6.4.2 GSM phase2+ 与 GPRS 的特点	163
6.4.3 GSM 向 GPRS 演进	164
6.4.4 GPRS 向 UMTS 演进	167
6.5 窄带 CDMA 向 3G 宽带 CDMA 演进	176
6.5.1 演进策略	176
6.5.2 物理层的增强	177
6.5.3 cdma 2000 1X/3X 的演进	181
6.5.4 协议结构和核心网的演进	181
6.6 WAP(无线应用协议)及其应用	183
6.6.1 概述	183
6.6.2 WAP 组成	184
6.6.3 WAP 的应用及其实现	185
6.6.4 WAP 的发展	186
6.7 H.323 移动 IP 网络技术	186
6.8 无线 ATM(WATM)	188
6.8.1 WATM 基本概念	188
6.8.2 WATM 接入层性能的增强	189
6.8.3 移动 ATM(M-ATM)	190

6.8.4 WATM 的应用	192
6.9 无线局域网(WLAN)	193
6.9.1 WLAN 概述	193
6.9.2 WLAN 与蜂窝移动网互通	194
6.9.3 “蓝牙”(Bluetooth - BT)技术	196
6.10 下一代卫星通信	198
6.10.1 下一代卫星通信的发展目标	198
6.10.2 下一代卫星网结构	199
6.10.3 下一代卫星网的实现	202
6.10.4 卫星 ATM 网上传送 TCP/IP	206
6.10.5 第三代移动通信中的卫星通信部分	207
6.11 个人通信	208
6.11.1 个人移动性和通用个人电信(UPT)业务	208
6.11.2 移动和其他无线通信技术对个人通信的支持	209
第 7 章 家庭信息化与家庭联网技术	211
7.1 家庭信息化与家庭网络	211
7.2 家庭网络的组成和联网方式	212
7.2.1 家庭网络的组成	212
7.2.2 家庭联网方式及其协议规范	213
7.3 家庭网络的互操作性研究进展	214
7.4 家庭射频局域网(Home RF LAN)	215
7.5 电力线以太网	217
7.6 电话线家庭网络	219
7.7 基于同轴电缆的家庭网络	221

第 1 章 21 世纪通信展望

1.1 信息化与信息基础设施

现代社会生存和发展的重要支柱是物质资源、能源和信息资源。随着知识经济的到来,知识及其创新的地位已上升为生产力发展的诸要素之首。

信息是事物的运动状态及其变化的反映。知识来源于信息,是人类在对反映客观世界的信息进行采集、加工、存储、流通和利用的过程中,通过不断循环和升华对物质世界客观规律的正确反映。信息资源的重要性愈来愈被人们所认识。

我们通常所说的“人类正在步入信息时代”或“信息化社会”,其实质是指国民经济信息化和社会生活的信息化。信息化社会的主要特点是:

- 信息日益成为社会生存和发展的重要资源和财富;
- 信息技术、信息产业日益成为推动科技、经济和社会发展的主导因素;
- 信息产业的产值和从业者达到相当高的比例;
- 社会、经济以及生活的形态发生根本性的变化。

这就意味着在信息化社会中,信息已成为经济发展的战略资源和社会发展的基本要素,人们对信息重要性的认识从未像今天这样深刻。这是因为过去的经济发展主要靠劳动力数量和资本递增而不是知识创新,过去的科学技术尤其是信息技术还不足以通过信息来很好地描述客观世界(或系统),并通过信息对它的反作用来优化或改造这些系统,即在信息的提取、表示、识别、变换、传递、处理、再生和利用等方面的技术尚未达到今天这样的水平。20 世纪末开始席卷世界的信息化浪潮正以其巨大的整体功能推动全球经济和社会的发展,信息技术和信息化手段业已成为国民经济的“加速器”和社会管理效益的“倍增器”。21 世纪人类正是要实现信息化社会这一宏伟目标。

如果说信息化是 21 世纪的时代特征,那么,蓬勃兴起的因特网(Internet)则是当前信息化进程的一个鲜明标志。

因特网在早先 ARPA 网的基础上经过缓慢和持续的发展终于脱胎换骨,并且全面开放商用。此后,它以人们始料未及的速度演变为覆盖全球的最大的互联网。因特网的飞速发展,不仅得益于其采用的 TCP/IP 协议优势,还因为它是市场和需求驱动的产物。因特网连接了遍布世界的亿万台计算机和数据库,是当今世界最大的资源库;它不仅提供了极为丰富的网络信息资源,也提供了丰富的网络通信资源。

因特网能提供电子信箱、文件传输、远程登录等基本服务以及在基本功能支持下采用某些专用的应用软件或用户接口,以提供众多的扩充服务,如基于电子信箱功能的公告栏、专题讨论组和电子期刊服务;名录服务;利用主题词或关键词的索引服务;基于多层菜单的交互检索和万维网(WWW)服务等。

WWW 是一种基于超文本文件的交互式检索工具,其动态指向链接机制可使用户键入或用鼠标点击全球范围内任意网址的站点,方便地访问该站点并根据授权获取所需的信息。人们常用“冲浪”来形容上网操作,犹如在信息海洋中驰骋。

近年来,因特网业务提供商(ISP)和因特网内容提供商(ICP)猛增,网络公司如雨后春笋。在个别著名 ISP 的搜索引擎中,仅制造业网站数就达到十多万,其他如科教、金融、服务和娱乐等站点更不计其数。

除电子邮件和 Web 浏览以及文件检索外,最热门的要算是电子商务和 IP 电话了。电子商务需要网上结算和商品配送的支持和配合,在有些国家其业务开展得十分好。IP 电话因其收费低(其中包含了政策因素),尽管质量不高,但仍深受用户欢迎,它对传统的长途电话,尤其是国际长途电话业务造成了一定的冲击。

因特网规模的迅速扩展、客户的爆炸性增长和业务应用的广泛渗透,为全球信息化展示了良好的前景,它对全球范围内的经济、IT 产业、商贸、金融、文化、教育、新闻、出版、娱乐、社会管理乃至人们的工作和生活方式都产生并将继续产生巨大的影响。具体表现在以下几个方面。

(1) 因特网对 IT 产业本身的格局和发展方向起着主导作用,已经并将继续涌现出一大批从事 IP 网络设备和软件开发制造、IP 网络运营的厂商以及 ISP、ICP 等生机勃勃的企业。

(2) 因特网对传统的行业划分和行业经营方式都产生了很大的冲击,电信网、计算机和 CATV 网之间技术的融合和业务的相互渗透使行业分工在有些方面变得逐渐模糊;电子商务、电子金融和电子出版等的出现则改变了传统的行业运作方式。在因特网上推出的网上银行、网上股票交易等业务不仅极大地提高了企业经营效能,而且方便了广大客户。

(3) 因特网所提供的实时或非实时信息交流环境,尤其是多媒体信息交流可用于“政府上网”,通过实现“电子政务”不仅提高了政府的办事效率,同时密切了各级政府与民众之间的沟通;可开办“网上大学”、“网上医院”,以实现远程教学和远程医疗;可提供法律咨询、健康咨询和文件检索等各种信息服务以及 WebTV、VOD 等娱乐服务;可开办“电子商务”来更新传统的经营和销售模式。因特网亦为“家庭办公”和企业、部门间的协同工作创造了良好的环境。

(4) 下一代因特网采用 IPv6 协议,网络地址扩充到 128 位,除了可连接更多的计算机和网络外,还可连接其他设备,如掌上型个人数字助理(PDA)和电视机、冰箱、微波炉等各种信息化家用电器,也包括汽车的故障自检系统、家庭照明系统等,以实现家庭信息化。

(5) 移动通信与因特网的结合使因特网“如虎添翼”,移动 IP 技术和业务的发展可为用户提供随时随地上网的服务。

国民经济和社会生活的信息化的关键是国家信息基础设施(NII),即能向广大用户提供多种形式和大量信息的、由通信网、计算机、数据库和日用电子产品组成的完备网络。它以交互和用户驱动的方式运行,主体是大容量、高速率的通信网,目标是能满足用户在任何时间、任何地点向任何其他人通过声音、数据、图像或影像相互传递信息的要求。信息基础设施除了设备外还应包括各种信息源、大量的应用系统和软件、互连兼容的网络标准和传输编码以及参与开发信息基础设施的人。

NII的通俗理解是“信息高速公路”,当然,这并不完整,这只不过是将信息流与物流、车流相联系的一种比喻,从传输信息的观点来看,它具有综合性、广泛性和开放性的特征。

1.2 21世纪通信发展的目标及其实现

1.2.1 21世纪通信发展的目标

在NII中,通信网是主干,NII的目标在很大程度上要依靠通信网去实现。这样的通信网需要具有宽带化、智能化和个人化的特征,同时要具有支持各类窄带和宽带、实时和非实时、恒定速率和可变速率尤其是多媒体业务的能力。这样的网也不可能是单一的某种网,而必然是位于陆地、海洋和天空,固定和移动,有线和无线的各类通信网的最大综合。

实现这样的通信网要涉及各种通信新技术,主要有:IP与宽带核心网技术、宽带接入网技术、先进的光通信技术以及第三代和增强的第三代移动通信技术、新一代的卫星通信技术和其他无线通信技术以及IP网络环境下的智能网技术和信令技术等。

从人类靠筑烽火台来进行最原始的光通信发展到利用光纤进行大容量、超高速和长距离的光传输;从最早出现的电报通信到电话、传真、数据、图像乃至多媒体通信;从波波夫、马可尼发明无线电到如今的卫星和移动通信;从点到点的传送到网络化乃至向“全球一网”演进。今天,通信网的建设已被列为一个国家发展的战略重点,在原有宽带网基础上规划和加速建设以IP技术为基础的、IP/ATM和IP/SDH技术相结合的宽带数据网和以此为平台的公用信息网;建设和开发基于SDH和波分复用(WDM)的大容量超高速光纤传输网,并积极开展在光层上直接组网的光联网(Optical Networking)技术的研究和标准化工作;加快第三代移动通信IMT-2000系统的商用化进程和现有第二代移动通信系统向第三代演进的步伐,并着手开展增强的第三代(即第四代)移动通信技术的研究;积极建设采用各种技术的宽带接入网。

信息化的基础是网络化。原有各类网络(包括电信网、计算机网和有线电视网)通过扩充、改造、升级、叠加、融合以及与下一代新建网络的互通和融合来提供各种通信服务,在21世纪人类可以实现全球信息化的宏伟目标。

必须指出,通信网仅是NII的一部分,因此,它所提供的通信服务(信息的交流和共享)只是信息服务的一部分。信息服务除了涵盖通信服务外,还包括信息的获取、加工处理、再生和利用(如智能辅助决策和控制等)。能够全面支持信息服务乃至智能信息服务的信息网,需要在通信网基础上与人工智能、自动控制和传输测量技术相结合。从这个意义上来说,无缝的、宽带、智能、个人和综合化的通信网并非是终极目标,21世纪的通信网在实现其自身演进的同时,还将继续朝着信息网和智能信息网的目标迈进。

1.2.2 实现通信发展目标的相关技术

构筑宽带化、智能化和个人化的通信网,并实现在任何时间、任何地点与其他任何人进行各种媒体的信息交流,依赖于微电子、光电子、计算机、信号与信息处理等基础技术和应用技术

的支撑以及通信技术尤其是网络技术的发展。以下概要介绍 21 世纪初这些技术的发展趋势, 详细内容可参阅本书各相关章节。

1. 微电子和微光学技术

微电子技术将在原有硅集成电路技术基础上向深亚微米、纳米级(特征尺寸小于 50nm)、分子级以及单电子和量子器件方向发展, 功能复合(包括材料复合、器件复合和系统复合)已成为微电子、微光学领域技术创新的重要标志。微波与光波技术的结合、光电技术在高层次上的融合——光电集成、超导微电子技术以及分子技术(物理、化学、生物学、纳米材料与微电子结合)将为通信发展提供有力的支持。

2. 计算机技术

计算机技术的一个重要标志是运算速度, 1300 太次/秒的超级计算机正在开发中。采用多机并行的并行计算技术、操作系统、数据库(如分散、协调的多媒体数据库和利用代理的信息检索技术)和软件自动生成技术等将继续向更高水平推进。CPU 性能的改进和模一数变换技术的发展加上存储器和 I/O 带宽的改进, 尤其是宽带 A/D 转换器可用于整个无线频段的抽样, 所形成的数据流可直接存储供软件分析; 使用大容量缓存短时期样本流, 可使传统操作系统和网络能弥合 A/D 器件与软件处理模块间的差距。因此, 原先用 ASIC 和 DSP 执行的频率分割和数字处理, 现在完全可依靠在通用处理平台上执行的便携式软件模块来实现。利用这样的软件无线电技术可实现软件调制解调器、基于多媒体 PC 的多功能一体化软件通信终端以及软件 GSM 基站等通信设备。

新一代计算机在向光子计算机、量子计算机、神经网络计算机以及生物计算机等方向开拓发展进程中, 量子计算机被认为是最有发展前景和相对较大工程实现可行性的下一代计算机。

量子计算机的基本要素是量子位, 关于量子位的概念可参阅本书 1.3.1 小节。一个量子位存储器所处的状态对应于它所存储的量子信息, 而状态的读出则被认为是执行某种计算的结果。这种计算可作为一个单位算子加以描述, 如果量子存储寄存器包含 n 个量子位, 则该算子可用数学表示为 $2^n \times 2^n$ 维单位矩阵。

量子计算考虑的是量子信息而不是传统信息的处理, 量子计算机的状态定义为量子位的叠加, 量子计算机的计算是单位矩阵算子 U 对状态 $|\varphi\rangle$ 作用的结果。Deutsch 得出了这样的概念: 这种单位算子可视为执行逻辑运算的门单元, 而更复杂的算子可看作是由多个门单元组成的电路。量子计算可实行并行计算, 再加上量子存储器巨大的存储容量, 因而具有比基于二进制运算的电子计算机高得多的运算速度和处理能力, 适合于需要海量数据存储和处理的应用。

量子计算机依赖于量子计算的算法及其硬件来实现。量子计算最初由 P. Benioff 提出, 但由于当时没有量子算法, 更没有可靠的技术来实现量子计算, 因而量子计算发展滞缓。直至 1994 年, 当 Shor 发现用于整数分解和解决离散对数问题的量子算法后, 情况才有了比较明显的变化。此后, 不断有各种量子算法推出, 如 Deutsch 和 Jozsh 的用于确定一个函数是否是偶函数的算法等。稍后, Cirac 和 Zollerz 又提出了可在俘获离子的激光控制中采用现有技术对量子计算进行硬件实现的方法, 从此, 国际上对量子计算的兴趣大增, 并取得明显进展。例如:

- 已可用俘获离子的方法演示单量子逻辑门;
- 发明了量子纠错方法;
- 提出了一些新的量子算法和实现量子计算的方法, 如用于硬币秤重和二进制搜索问题的超高速量子算法、量子霍尔系统中的量子计算、利用超导电子学进行量子相干计算以及用量子

点进行量子计算等。

1998年2月在美国召开的第一届国际量子计算和量子通信会议(QCQ'98)对量子算法、量子通信、量子密码学、量子信息论、量子纠错、容错量子计算和量子计算机的实现进行了广泛的交流。2000年已报导了利用核磁共振方法实现具有5个量子位的量子计算机实验成功的消息,但要实现Shor的算法用于分解整数需要 10^4 量子位,而实现量子纠错需要 10^6 量子位,可见,离实际应用尚有很大距离。

量子计算的发展为实现“一个原子每比特”(one-atom-per-bit)水平的计算机跨出了一大步,也带动了信息论、通信系统和信号处理等诸多领域在量子计算基础上的创新性发展,形成了量子信息论、量子通信和量子信号处理等新的学科领域和研究方向。

3. 信号与信息处理技术

在支持和实现下一代通信系统的各项功能中,信号与信息处理起着决定性的作用。其中包括:适用于不同环境并利用人的视觉、听觉生理和心理效应的低比特率、低时延、高质量的智能信源编码技术,基于分形和模型的编码,未知统计特性的无失真通用编码,基于内容的可伸缩的编码等;Turbo码、低密度奇偶校验码(LDPC)、基于量子计算的量子纠错等信道编码技术;量子密码、DNA密码和基于混沌理论的新密码体制;高效多载波调制(平行传输)、信道动态比特分配、CDMA中的多用户检测和信道盲均衡;分形、混沌、小波和人工神经网络算法在通信信号处理中的应用等。

4. 核心网宽带化与下一代网络技术

在核心网技术方面,IP网络技术将成为当今发展的战略重点。IP高速路由器和Internet协议体系(包括IP协议)将换代升级,使未来IP网在容量、安全性、支持区分服务乃至QOS保障方面有明显改善。IP/ATM技术融合趋于采用基于ATM的多协议标记交换(MPLS)。采用MPLS技术的高速IP交换路由器将在IP网中与IP over SDH和IP over WDM系统相配合组成未来的宽带IP骨干网。ATM节点将逐步移至网络边缘,充分发挥其多业务接入的优势,MPLS将成为ATM演进的方向。未来基于IP的网络不仅能提供传送全业务信息的能力,还将提供综合的控制和管理能力。从现实的情况来看,IP网络仍然不能脱离电信网环境,未来基于IP的网络很可能是在现有电信网环境的基础上逐渐演进的结果。

现有的电信网包括基于电路交换面向连接的窄带PSTN/ISDM和基于分组(信元)面向连接的宽带ATM网,它将与CATV网和计算机网长期共存,在全球信息基础结构(GII)概念下采用互通、融合的策略,以充分发挥各自的优势。电信网将从网络机制和性能上更好地支持IP业务和应用,基于IP的网络增强支持宽带多媒体业务的能力并完善IP应用扩展到电信网环境所需的功能。电信网、CATV网及计算机网之间技术、业务和网络融合的目标是建立一个包括IP平台和GII平台在内的强有力的开放式、宽带多媒体网络平台。

在构建下一代网络的解决方案中,软交换技术(Softswitch)、能动网(Active Network)和分布式面向对象的网络结构(DONA)是为克服传统网络体系结构固有弱点提出的新思路。其目的是使网络具有更大的灵活性、开放性和经济性以及快速、方便地提供新业务的能力,以适应未来不断变化的需要。

网络安全在未来的信息化社会中显得尤为重要。为确保网络安全,针对各种安全隐患和攻击手段制定的网络安全体制将采用各种新型的加密、认证、侦测和恢复等技术。

5. 移动和卫星通信技术

移动网正处于从第二代(2G)向第三代(3G)IMT-2000 过渡的时期。作为 2G 无线传输主流技术的 GSM,将按照 GSM-GPRS(通用分组无线业务)-EDGE(GSM 演进的数据速率增强)-UMTS(通用移动通信系统)的方案演进;基于 IS-95 的 cdma one 将演进为 cdma 2000。无论是 WCDMA 还是 cdma 2000,码分多址和分组传送是 3G 的公认发展趋势;3G 核心网亦将朝着基于 IP/ATM 技术相结合的方向发展。第三代移动通信将能更好地支持数据和多媒体业务,支持 IP 的移动接入。但由于受技术的限制,3G 在移动终端高速运动的情况下传输速率远小于 2Mbit/s,即使在室内使用也只达到 2Mbit/s,因此,在 3G 商用化之后将会推出增强型的 IMT-2000 或后 IMT-2000 系统(亦有人称为 4G 系统),以支持 2~10Mbit/s 的传输速率。

未来的卫星通信网包括 3G 的卫星通信部分是真正实现全球漫游和终端及个人移动性的关键。它涉及全球移动卫星通信本身的一些技术(如多波束天线、星上处理和交换等)以及地面系统和卫星系统的合成、多模式手持移动终端等技术。固定卫星通信的目标是兆比特级卫星通信系统、卫星(自由空间)光通信系统和下一代 VSAT 系统。

6. 智能网技术

智能网(IN)技术的进展体现在其不断实现更高等级能力集 CS-3 和 CS-4 规定的功能和新业务上。互联网、移动网的发展及其宽带化趋势,要求 IN 与之互通或综合,并通过增强或增加新的能力来支持新的业务,以适应通信技术的发展和市场竞争的需要。

IN 与 Internet 互连推出了相应的 PINT 业务。IN 与 GSM 移动网以及 IN 与 CDMA 移动网互连分别构成 CAMEL 标准和 WIN 标准的移动智能网,均已取得很大成功,并正朝着全面支持 3GIMT-2000 的方向努力。

传统 IN 的体系结构也存在一些固有的弱点。如在开放性和灵活性方面较差;SCP 负担过重,在大业务量情况下易成为瓶颈;基于呼叫状态模型的智能网结构不适应面向无连接的网络和业务。据此,已提出的采用电信信息体系结构(TINA)与 IN 综合以及智能网与 IN 综合的方法作为未来 IN 演进的设想,使未来的 IN 在开放性、灵活性和支持业务客户化、综合性智能业务的实现方面有显著改善。

7. 宽带接入网技术

在核心网向以 IP 为核心的宽带网演进的同时,接入网的宽带化将同步进行。宽带接入技术主要有:用于双绞铜缆的 ADSL(不对称数字用户线)和 VDSL(甚高速率数字用户线);宽带光纤接入网(OAN);HFC(光纤/同轴混合系统)和 SDV(交换式数字视频);宽带无线接入(如无线 ATM、本地多点分配业务 LMDS 等)。

8. 先进的光纤通信技术

在光纤传输技术方面,光波分复用技术仍保持其优势地位,而光频分复用和光时分复用等技术将继续向前推进。WDM 系统容量不断翻番和 OADM(光分插复用器)、OXC(光交叉连接设备)技术的提升形成了直接在光路层上组网的需求并提供了实现的可能。基于光联网技术的光传送网(OTN)可在本地网提供透明的光传送能力,并消除了“电子瓶颈”,为实现未来理想的全光网(AON)迈出切实可行的一步。此外,在克服光纤色散效应方面,光孤子传送技术的实用化已取得很大进展,它是未来实现大容量、长距离无中继光纤传输的很有发展前途的技术。

9. 信令技术

在信令技术方面,由于面向无连接的、以 IP 为核心的分组交换方式已成为主导未来通信

网发展的方向,原先适用于面向连接的电路交换网的7号信令及其为支持ATM、IN和移动网所进行的扩展正面临严重的挑战并亟需进行变革。

新一代的信令体系应能支持现有网络向基于IP的网络演进过程中的网络互通和业务互通;支持IP网络的区分服务乃至综合服务;应使IP网保持简捷、高效的特点;信令系统应具有开放式、可编程和分布式的特征,以有利于业务提供者和用户灵活、方便地使用网络。

新的信令体系主要包括以下几个方面。

(1) IP网络中用于提供通信业务的会话层控制信令。如ITU-T定义的H.323协议簇及其改进,包括快速连接和H.245隧道机制、网守间通信协议、与ISUP和IN的互通以及移动H.323结构等增强功能;因特网工程任务组(IETF)定义的较为简单和易于实现的SIP/SDP(会话启动协议/会话描述协议);在采用分离网关结构的情况下,信令功能从媒体网关(MG)分离并集中于另外设立的媒体网关控制器(MGC)时,MG与MGC间的接口信令协议MGCP。

(2) 用于信令网关(SG)的通用信令传送协议。信令网关为非IP信令与IP信令之间提供中介。通用信令传送协议包括支持IP网与PSTN/ISDN互通的信令公共传送协议(SCTP);用于多连接和无连接环境下的SSCOP(SSCOPMCE);用于多种网络互通的与承载无关的呼叫控制(BICC)信令体系,其中包括能力集CS-1和CS-2,它们分别用于ISDN/B-ISDN互通和电路交换网CSN/IP互通。

(3) 支持IP网络QoS的信令。包括资源预留协议(RSVP)信令和MPLS中支持标记交换器路径(LSP)约束选路(CR)的CR-LSP信令,后者用于在核心标记交换路由器中支持选用不同的调度和排队策略以及MPLS与信务工程的结合。

(4) 适用于IP网络中可编程业务和未来可编程能动网(Active Network)的开放式信令。

关于新的信令体系在核心网宽带化进程中的作用可参阅本书第3章的相关部分。

10. 网络管理技术

在网络管理技术方面面临着网络规模扩大后,如何通过有效管理确保网络运行质量、网络能力和效益的问题。网管系统的可持续发展、通信设备多厂商环境下网管系统的互操作性以及各种网管技术的综合和网管系统的质量是未来网络管理需要解决的关键问题。

已提出的网管技术包括基于网络/业务/应用(NSA)的体系结构、基于电信管理网(TMN)的体系结构和基于公共对象请求代理体系结构(CORBA)的TMN。

NSA体系结构的特点是业务的使用独立于网络。TMN则体现了其作为一种多方位的、统揽全局的网管解决方案,从技术的角度来看它是一种开放的、支持各种技术综合的体系结构。基于CORBA的TMN是在分布式环境下的不同应用系统中,通过对象请求代理实现分布式对象计算和对象之间的透明交互,是对传统TMN集中式管理结构方式的重大改进。未来的网络管理正朝着各种网管技术综合(包括网管接口综合和网管应用综合)的方向发展。

1.3 基础与支撑技术

现代通信依赖于微电子、微光学、计算机以及信号与信息处理技术的发展,没有这些基础技术或支撑技术,也就不会有现代通信的发展。可以预期,21世纪在上述领域的发展前景将

是十分鼓舞人心的,在本节中我们将对此作简单介绍。

1.3.1 微电子和微光学的发展趋势

概括地说,21 世纪微电子将沿着继续提高集成度以及和微电子、微光学、微机械相结合以形成多功能系统的方向发展。提高集成度的近期目标是 $0.18 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 的深亚微米技术,中期目标则是小于 $0.1 \mu\text{m}$ 的纳米硅芯片技术。多功能系统的目标是通过材料、器件和系统的复合来实现微系统,以满足信息与通信、医疗、机器人和自动化以及各类消费电子领域发展的需要。

1. 纳米级硅集成电路技术

自 1958 年研制出第一块集成电路以来,以硅器件为主的微电子技术不断进步,按照 Moore 定律,器件的集成度每 18 个月翻一番。集成度是体现集成电路水平的主要标志,集成度的提高与电路和工艺设计、线宽的缩小以及芯片面积的增大有关。传统的 VLSI 采用硅材料、精密光刻技术和多层铝布线工艺,20 世纪 90 年代末已进入深亚微米时期,1999 年最高生产水平的 IC 芯片,最小线宽(或特征尺寸)为 $0.18 \mu\text{m}$ (即 CMOS 晶体管有效沟道宽度为 $0.1 \sim 0.12 \mu\text{m}$,总宽度为 $0.18 \mu\text{m}$),芯片尺寸为 800mm^2 时的 DRAM 容量可达 1GB。近年计划将线宽进一步缩小至 $0.14 \sim 0.15 \mu\text{m}$,这样的逻辑芯片可集成 2000 多万个逻辑门、数兆字节 SRAM、16 ~ 32MB 的片上 DRAM 和数兆字节的闪存以及其他功能。线宽的缩小有利于减少寄生电阻和寄生电容,提高芯片的运行速度。2000 年,CPU 芯片内部的时钟频率已达到 1.5GHz 和 2GHz。

纳米晶体管是 21 世纪初微电子发展的目标之一。最新的实验室研究成果表明,当前最小的 P 沟道 MOS 晶体管有效沟道宽为 20nm,约为 60 个原子大小,总宽度为 80nm;最小的 N 沟道 MOS 晶体管有效沟道宽度为 30nm,总宽度为 60nm。据此推断,随着 CMOS 工艺的提高,线宽正向小于 10nm 的水平推进,每个芯片上可集成数亿个晶体管。

随着集成度的提高,将含有一个或多个主要功能块(CPU 核心、DSP 核心和其他专门处理功能块)和其他功能块(如 SRAM、ROM、EPROM、闪存存储器、DRAM 以及 Modem、A/D、D/A 等通用或专用 I/O)集成在同一块芯片上,通过在该芯片上集成的可编程逻辑或大量门阵列用户可灵活地进行“剪裁”,使芯片适合各种用途。未来典型的系统芯片可集成 3 ~ 4 个 CPU、多个 DSP 引擎(处理语音和图像等)以及其他一些功能块、存储器和逻辑阵列。

铜布线芯片工艺在集成度提高方面起着重要作用。它采用铜质低阻布线芯片,可缩短芯片中的连线、增加晶体管密度、减小芯片尺寸、提高芯片运行速度以及降低芯片的运行温度。例如,IBM 公司第六代微处理器 S/390G6 采用铜布线技术后,5 英寸(1 英寸 = 2.54cm)见方的陶瓷基片上集成的多片式模块(MCM)含有 14 亿个晶体管,其性能可达每秒处理 16 亿微指令(1600MIPS),处理器主频为 637MHz;而采用铝布线的第五代产品 S/390G5MCM 相应的性能参数为 10 亿个晶体管、1069MIPS 和 500MHz。可见,由于铜布线的采用,其性能提高了 50%。在高密度复杂芯片(如 64 位微处理器和数兆门规模的逻辑电路)中常采用 4 ~ 5 层的金属化层,未来可采用 6 层或更多层,以提供大量的互连能力来适应高集成度的需要。

硅技术集成度的极限究竟是多少?根据目前的理解,集成度要受光速限制、曝光限制、隧道效应和器件电场强度限制以及软失效和功耗的限制,不过,最大的问题还是成本的限制。通常认为,基于硅微电子技术的 MOS 器件,其物理技术极限约为 50nm,片内主频达 1.5GHz 或略高,而实际上这一极限正不断被突破。