

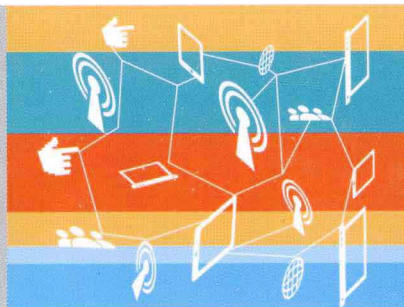


宽带中国系列

未来宽带网络的关键支撑技术

Key Support Techniques for
Future Broadband Networks

王宝生 吕绍和 陈琳 陈晓梅 廖海宁 彭伟 著



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



宽带中国系列

未来宽带网络的关键支撑技术

Key Support Techniques for
Future Broadband Networks

王宝生 吕绍和 陈琳 陈晓梅 廖海宁 彭伟 著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

未来宽带网络的关键支撑技术 / 王宝生等著. -- 北京: 人民邮电出版社, 2014. 2
(宽带中国系列)
ISBN 978-7-115-33751-1

I. ①未… II. ①王… III. ①宽带通信系统—计算机网络 IV. ①TN915.142

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第276879号

内 容 提 要

本书主要介绍未来宽带网络的关键支撑技术,这些技术将从不同角度研究和解决宽带网络在泛在、高速与安全等方面的挑战。从层次上看,这些支撑技术涵盖系统级、平台级与应用级的不同层次的需求;从视角上看,也分别从开发者、管理者与用户等不同角度考察网络的支撑技术。全书的组织如下:第1章概述网络技术的历史与基本概念,第2章介绍物联网的支撑技术,第3章介绍云计算的支撑技术,第4章讨论支持移动性的相关技术,第5章介绍网络测试与测量的技术,第6章讨论网络性能的优化技术,第7、8章分别介绍网络态势感知与安全技术。

本书可用于计算机、电子工程、通信、自动化与软件工程等相关专业的研究生与本科生教学,也可供相关领域的工程技术人员参考使用。

-
- ◆ 著 王宝生 吕绍和 陈琳 陈晓梅 廖海宁 彭伟
责任编辑 代晓丽
责任印制 焦志炜
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 18 2014年2月第1版
字数: 426千字 2014年2月北京第1次印刷
-

定价: 88.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315



前 言

人类社会正在经历一场广泛深刻的信息革命。互联网、智能移动设备等新兴技术不断改变着人们的生产、生活方式。关于这场信息革命的发展方向和发展动力，目前仍然众说纷纭。或许历史能给我们一些启示。以蒸汽机为标志的机械革命与以电力为标志的电气革命，两者在许多特点上惊人的一致。两者都持续了将近一个半世纪，进步的动力源于技术与应用两方面，在发展的不同阶段，侧重有所不同，前半段的驱动力主要来自于技术进步，后半段的驱动力则主要源于应用。

自 1936 年英国数学家阿兰图灵发明图灵机及 1945 年现代计算机之父冯·诺依曼提出存储程序计算机开始，计算机日益成为人们生产和生活不可或缺的重要组成部分。这场信息革命迄今已有 70 余年，在技术进步方面具有指挥棒作用的摩尔定律逐渐走到尽头。信息革命是否从技术驱动的第一阶段进入应用驱动的第二阶段，我们拭目以待。

2005 年 2 月 16 日，国际计算机协会（Association of Computing Machinery, ACM）将图灵奖授予 Vinton G Cerf 和 Robert E Kahn，以表彰他们发明了 TCP/IP 及在其他网络领域的重要贡献。这项图灵奖也表明了计算机网络技术在信息技术领域的重要地位。可以说，计算机网络彻底改变了人类的知识获取方式和思维方式，使人类摆脱了信息交流的地域限制。

网络既是一种重要的技术进步力量，同时又直接面向应用。计算机网络，特别是互联网，已经成为现代社会不可或缺的重要基础设施。在我国的新兴产业布局中，网络也被提到了战略的高度。一方面，网络是现代商业、人们日常生活的重要支撑。特别是移动互联网的兴起，突破了传统计算机的地域限制，使得人们可以真正做到随时在线，同时也使得网络逐步渗透到生活的各个方面。另一方面，网络技术也是现代产业的倍增器与加速器。网络技术是云计算、大数据等未来产业的重要支撑，网络的出现衍生出了这些新产业，同时网络的进一步发展也将促进它们的成熟与应用。从这个角度来看，网络技术有可能作为推动应用的一支力量，在继续推进信息技术革命中发挥重要作用。

网络的技术发展与应用仍然存在许多挑战。从泛在的角度看，可穿戴设备、传感器与 RFID 等将打破物理世界与信息世界的隔阂，但在设备的微型化、智能化与持久使用等方面仍有许多技术难题；从网络速度的角度看，目前的网络接入速度尚不能很好地支持在线、高清、可视的信息获取，更不用说满足物联网等带来的更大规模的联网需求；从安全的角度看，越来越多的关键性的应用、数据与控制都交由网络完成，保障网络环



境的安全变得极其重要。最后，随着网络与人们生活的日益密切，通过网络虚拟世界来分析人类生活的规律，捕获传统手段难以察觉的敏感信息与事件，正成为政府、企业与学术界共同关注的热点。

本书主要介绍未来宽带网络的关键支撑技术，这些技术将从不同角度研究和解决网络在泛在、高速与安全等方面的挑战。从层次上看，这些支撑技术涵盖系统级、平台级与应用级的不同层次的需求；从视角上看，我们也分别从开发者、管理者与用户等不同角度考察网络的支撑技术。全书的组织为：第1章概述网络技术的历史与基本概念，第2章介绍物联网的支撑技术，第3章介绍云计算的支撑技术，第4章讨论支持移动性的相关技术，第5章介绍网络测试与测量的技术，第6章讨论网络性能的优化技术，第7、8章分别介绍网络态势感知与安全技术。本书的第1、2、4章由吕绍和博士负责，第3章由廖海宁博士负责，第5章由陈晓梅博士负责，第6章由陈琳博士负责，第7、8章由彭伟研究员负责，全书由王宝生教授统筹与统稿。在本书的撰写过程中，得到了国防科技大学计算机学院网络与信息安全研究所的大力支持。本书可用于计算机、电子工程、通信、自动化与软件工程等相关专业的研究生与本科生教学，也可供相关领域的工程技术人员参考使用。

本书的内容，既包括我们最近的研究成果，也大量参考了国内外同行的研究成果，在此一并表示感谢。感谢国家基础研究发展计划（“973”计划）和国家自然科学基金（No. 61202484）等项目对相关研究工作的支持。最后，文案工作非经历不知难，撰写中占用了大量的休息时间，没有家人的理解与支持，本书也是难以与读者见面的。由于作者的研究水平与知识局限性，书中难免存在错误与不当之处，欢迎同行的批评与指正。

作者

2013年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 宽带互联网	1
1.1.1 互联网的历史沿革	1
1.1.2 互联网的发展现状	2
1.1.3 未来的宽带互连网络	5
1.2 互联网基础技术	7
1.2.1 OSI 与 TCP/IP	7
1.2.2 IPv4	9
1.2.3 IPv6	11
1.3 宽带网络	12
1.3.1 基本含义	12
1.3.2 网络体系结构	13
1.4 宽带网络的支撑技术	14
1.4.1 支撑技术总览	15
1.4.2 功能支撑技术	16
1.4.3 平台支撑技术	16
1.4.4 应用支撑技术	16
1.5 本书的组织	17
参考文献	17
第 2 章 物联网技术	19
2.1 引言	19
2.2 物联网的基本概念	20
2.2.1 物联网的内涵	20
2.2.2 物联网与其他网络的关系	21



2.3 物联网的基本架构	22
2.3.1 物联网的结构组成	22
2.3.2 感知层	23
2.3.3 网络层	24
2.3.4 应用层	24
2.4 射频识别	25
2.4.1 概述	25
2.4.2 RFID 系统的工作原理	26
2.4.3 访问控制与防碰撞	27
2.4.4 EPC Gen-2 标准简介	30
2.5 无线传感器网络	31
2.5.1 概述	32
2.5.2 传感器	33
2.5.3 媒体访问控制 (MAC)	34
2.5.4 数据聚合	36
2.5.5 能量有效的通信与感知	40
2.6 物联网的未来	43
2.7 小结	44
参考文献	44
第 3 章 云计算的网络支撑技术	47
3.1 云计算简介	47
3.1.1 云计算的概念	47
3.1.2 云计算的特点	48
3.1.3 云计算服务模型	49
3.1.4 云计算核心技术	49
3.2 网络虚拟化	51
3.2.1 网络节点虚拟化	51
3.2.2 网络平台虚拟化	52
3.3 网络设备虚拟化	53
3.4 链路虚拟化	54

3.4.1	链路虚拟化体系结构	55
3.4.2	虚拟接口切分技术	56
3.4.3	多跳链路虚拟化技术	57
3.4.4	链路虚拟化关键技术	58
3.4.5	支持链路虚拟化的路由器转发平面结构	59
3.5	统一交换	63
3.5.1	Fibre Channel 协议	63
3.5.2	InfiniBand	63
3.5.3	多协议存储网络系统	65
3.5.4	数据中心以太网	68
3.6	软件定义网络 (SDN)	68
3.6.1	SDN 的架构	69
3.6.2	SDN 的特点	70
3.6.3	SDN 的部署和应用	71
3.7	小结	71
	参考文献	71
第 4 章	移动性的支撑技术	74
4.1	引言	74
4.2	移动性管理	75
4.2.1	移动性的定义	75
4.2.2	位置登记	77
4.2.3	越区切换	77
4.3	移动 IP	81
4.3.1	基本概念	81
4.3.2	基本架构与过程	84
4.3.3	关键技术	85
4.3.4	移动 IPv6	88
4.4	无缝切换	88
4.4.1	切换的基本分类	89
4.4.2	移动 IP 中的无缝切换	90

5.3.3	网络测量体系结构的研究趋势	145
5.3.4	网络拓扑测量的研究趋势	145
	参考文献	146
第 6 章	资源管理和优化技术	149
6.1	引言	149
6.2	QoS 技术	149
6.2.1	QoS 体系结构	151
6.2.2	主要的 QoS 控制机制	155
6.2.3	QoS 的研究热点	159
6.2.4	QoS 的发展趋势	161
6.3	广域网优化	162
6.3.1	传输优化技术	162
6.3.2	多路径路由	164
6.3.3	负载均衡	166
6.4	流量工程	170
6.4.1	流量工程研究热点	171
6.4.2	流量工程的支撑技术	172
6.5	应用层优化技术	177
6.5.1	应用层优化技术产生背景	177
6.5.2	应用层优化技术的本质	179
6.5.3	应用层优化的支撑技术	180
6.6	小结	187
	参考文献	188
第 7 章	互联网态势感知	191
7.1	概述	191
7.1.1	网络态势感知概述	191
7.1.2	网络态势感知模型	193
7.1.3	网络态势知识表示	196
7.1.4	网络态势评估方法	197



7.2 网络态势感知模型	201
7.2.1 模型概述	201
7.2.2 网络态势指标体系	206
7.2.3 态势因子选择方法	207
7.3 传输态势感知技术	208
7.3.1 概述	208
7.3.2 大象流识别方法	213
7.4 网络态势评估与预测	216
7.4.1 基于粗集的态势评估技术	216
7.4.2 基于神经网络的态势预测方法	222
参考文献	224
第8章 安全技术	227
8.1 网络安全概述	227
8.1.1 安全的基本概念	227
8.1.2 网络安全威胁	228
8.1.3 网络安全防护	235
8.2 密码技术	237
8.2.1 密码技术概述	237
8.2.2 身份基加密	240
8.2.3 属性基加密	241
8.2.4 同态加密	244
8.3 认证技术	245
8.3.1 网络认证技术	245
8.3.2 生物认证技术	249
8.3.3 证书认证协商中的敏感信息保护	251
8.4 信任管理技术	252
8.4.1 信任管理概述	252
8.4.2 基于身份策略的信任	254
8.4.3 基于行为信誉的信任	255
8.5 其他安全技术	256

第1章 绪 论

人类社会正经历一场前所未有的信息技术革命。通信网络在这场革命中扮演着基础性的角色。发端于20世纪70年代的互联网正在深刻改变着人们的交流、生活、消费及工作模式，网络已成为人类社会的重要基础设施。计算机网络作为整个社会结构的一个基本组成部分，广泛应用于社会政治、经济、军事和科学技术等方面，包括电子商务、电子政务、教育信息化与信息服务等。

21世纪是计算机与网络的时代。在这个时代，信息的交流、获取与利用将成为个人发展、社会进步与经济增长的基本要素。可以预见，随着超高速光通信技术、高速无线网络通信技术、云计算等技术的发展，网络与通信技术将朝着“更大、更快、更及时、更方便、更安全和更有效”的新一代互联网发展方向产生新的飞跃。

此时，国家启动“宽带中国”战略，提升我国互联网的基础设施水平、研发水平和应用水平，可谓恰逢其时。作为“宽带中国”系列丛书的一部分，本书将瞄准宽带网络的发展趋势与需求，从物联网、云计算等多个不同角度阐释未来宽带网络的关键支撑技术。

1.1 宽带互联网

20世纪，通信技术对人类社会所产生的巨大影响之一，就是利用通信技术把许多计算机联系在一起形成 Internet、互联网。互联网的出现完全改变了我们的生活空间。互联网是继电报、电话、无线电、计算机之后的又一个伟大发明，全世界的计算机能够通过互联网联系起来，进行通信或信息资源分享。无线电话加上互联网，是整个地球的主要通信工具。互联网是世界上最大的电子计算机网络。它的形成使计算机不但能处理信息，而且能获得信息和传递信息，其迅速发展对全球政治、经济、文化等领域具有深远的影响。

1.1.1 互联网的历史沿革

Internet 起源于美国国防部高级研究计划署（Defence Advanced Research Projects Agency, DARPA）的 ARPAnet。1969年，美国国防部授权 ARPAnet 进行 Internet 的试验。1969年10月29日，斯坦福大学和加州大学洛杉矶分校（UCLA）的计算机首次连接了起来，随后建立了4个主 Internet 节点：UCLA（洛杉矶）、斯坦福研究所、UCSB（圣巴巴拉）和 USU（犹他州）。

1974年，TCP/IP 诞生，将 Internet 定义为使用 TCP/IP 互联的一个网络集合。1983



年, ARPAnet 的全部计算机完成了向 TCP/IP 的转换, 并在 UNIX (BSD4.1) 上实现了 TCP/IP。

1984 年, 开发出域名服务系统 (DNS)。DNS 的重要意义在于它满足了大量网络节点的需要, 避免了各种难以记忆的地址, 网络地址可采用人们习惯中易于记忆的名称。同年, 美国国家科学基金会 (NSF) 规划建立了 13 个国家超级计算中心及国家教育科技网。随后 DNS 替代了 ARPAnet 的骨干地位。1988 年, Internet 开始对外开放。

1991 年, Tim Berners Lee 在 CERN 发布了他的万维网 WWW 浏览器。这个工具最初被用于提供分布多媒体服务, 方便用户更快捷地访问世界各地的信息。WWW 浏览器加速了互联网的应用发展, 并使得我们的生活方式和通信方式发生了变化。

1987 年, 我国第一封“跨越长城, 走向世界”的电子邮件发出。1994 年 4 月 20 日, 我国正式接入国际互联网, 使用了由 Sprint 公司提供的一条 64 kbit/s 的数据线。

1995 年通常被认为是网络商业化的第一年。从 1995 年 5 月开始, 多年资助 Internet 研究开发的美国科学基金会 (NSF) 退出 Internet, 把 NFSnet 的经营权转交给美国 3 家最大的私营电信公司 (即 Sprint、MCI 和 ANS)。这一年, 安全套接层 (Secure Sockets Layer, SSL) 由网景公司开发出来, 使得在线进行金融交易 (如信用卡付款) 更加安全。此外, 两个主要的网上企业在同一年开始运营。1995 年“Echo Bay”进行了第一次交易, “Echo Bay”后来变成了“eBay”; Amazon.com 也在同年开始运营, 虽然它直到 2001 年才开始盈利。

Facebook 于 2004 年推出, 当时只是对大学生开放并叫做“The Facebook”, 后来, “The”被从名字中去掉了, 而“<http://www.thefacebook.com>”仍存在。Twitter 于 2006 年推出, 它最初的名字是“twittr”。

2007 年最大的创新非 iPhone 莫属, 在移动网络的应用和设计上, 它几乎负责了全部。iPhone 及大量智能移动设备的出现也使得移动互联网逐渐成为投资的热点。

2008 年的选举将政治和竞争移到了网上, 且这一趋势在将来没有任何改变的迹象。希拉里·克林顿的视频在 Youtube 早早地就出现了。几乎每一个候选人都有 Facebook 页面或 Twitter 账户, 甚至两者都有。

从 2009 年开始, 移动互联网成为新一轮的热点。争夺移动互联网的门票成为各大互联网公司的重要战略。人们也逐渐从能够上网步入随时随地上网的时代。

1.1.2 互联网的发展现状

从全球范围看, 互联网已成为人类社会最重要的基础设施。目前, 全球每天有超过 20 亿的人口在线。据权威经济数据统计显示, 如图 1-1 所示, 基于互联网的新媒体, 如门户网站、在线电视、社交网络等, 其市场价值已经超过 1.1 万亿美元, 是传统媒体 (如报纸、电视等) 市值总和的 3 倍^[1]。这当然与华尔街资本对新媒体的追捧密切相关, 然而, 这种追捧本身也说明了新媒体所代表的发展趋势。在互联网大潮面前, 包括纽约时报、华盛顿邮报在内的大量报纸媒介, 不仅新业务难以拓展, 原有的销售量都无法保持, 向互联网转型成为它们不约而同的新选择。

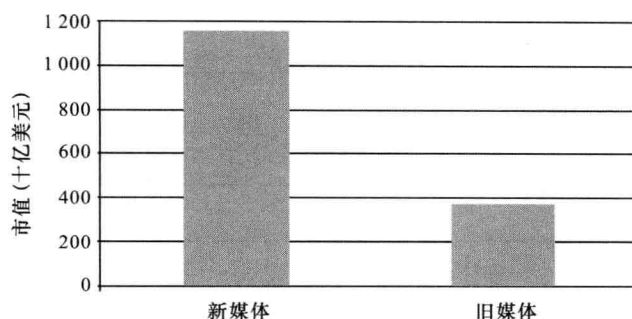


图 1-1 互联网新媒体与传统旧媒体的市值对比 (2011 年底)

市场上的广告投入或许更能说明问题。从图 1-2 可知，尽管电视 (TV) 的广告投入总额仍然占据最大的份额，但它的增长速度非常缓慢。考虑到全球范围内，特别是大量欠发达的国家中，电视依然是中老年人接收信息的主要媒介，这部分国家与地区在电视广告上的投入要远远超过其他方式。那么，在欧美发达国家及新兴市场国家中，在线广告投入的比例会更高。

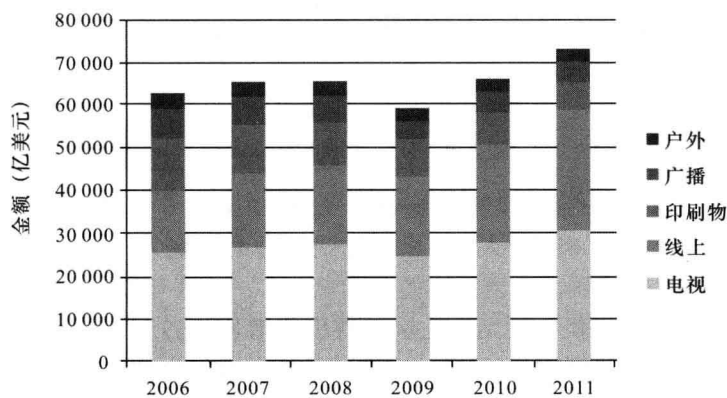


图 1-2 全球不同广告投放方式的市场投入对比

社交网络媒体提供了一种便捷、随时可达的交流方式，在很大程度上改变了人们传统的生活方式。因此，社交网络媒体具有很强的用户粘性。图 1-3 给出了社交网络媒体与门户网站上每日每人的访问时间，相关数据主要根据美国用户的使用习惯统计得出。可以发现，整个 2011 年，社交网络媒体对用户的吸引力均超过了门户网站，在门户网站的访问保持稳定时，社交网络媒体的平均访问时间展示出稳定增长的趋势。这也能很好地解释为何 Facebook、Twitter 等受到投资者追捧，而 Yahoo 等门户网站的市值却大幅跳水。

从国内看，互联网仍处于快速发展的阶段。表 1-1 给出了我国互联网地址、带宽等资源的基础数据^[2]。可以看到：首先，我国网站与域名的数量增长非常迅速；其次，国际出口带宽的增幅超过 30%；最后，我国的 IPv6 地址数量增长迅速。这都反映出互联网对中国人民的生活、生产影响不断加深。

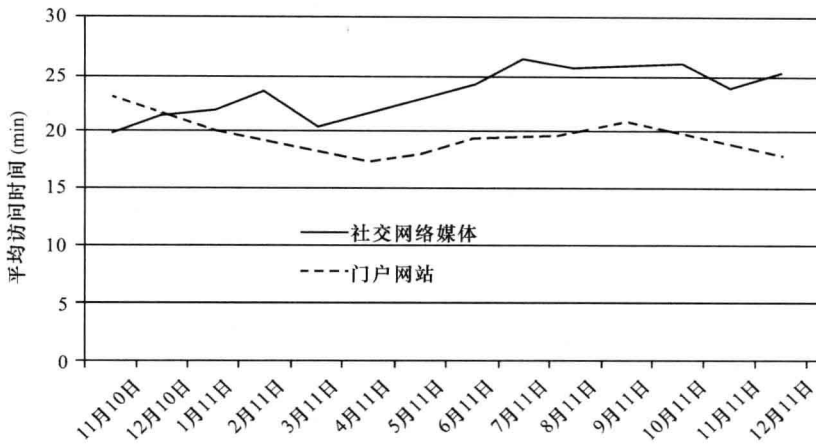


图 1-3 社交媒体与门户网站的每日每人平均访问时间

表 1-1 我国互联网的地址、带宽等资源^[2]

	2011 年 12 月	2012 年 12 月	年增长量	年增长率
IPv4 (个)	330 439 936	330 534 912	94 976	0.0%
IPv6 (块/32)	9 398	12 535	3 137	33.4%
域名 (个)	7 748 459	13 412 079	5 663 620	73.1%
网站 (个)	2 295 562	2 680 702	385 140	16.8%
国际出口带宽 (Mbit/s)	1 389 529	1 899 792	510 263	36.7%

根据 2013 年发布的中国互联网发展报告,截至 2013 年 6 月底,我国网民规模达 5.91 亿人,较 2012 年底增加 2 656 万人。手机网民规模达 4.64 亿人,较 2012 年底增加 4 379 万人,网民中使用手机上网的人群占比提升至 78.5%。2013 年 6 月,我国台式计算机上网网民比例继续下降,手机上网网民比例保持快速增长。69.5%的网民通过台式计算机上网,相比 2012 年底下降了 1.1 个百分点;通过手机上网的网民比例为 78.5%,相比 2012 年底上升了 4 个百分点。我国域名总数为 1 470 万个,网站总数升至 294 万个。此外,受访中小企业中,使用计算机办公的比例为 91.3%,使用互联网的比例为 78.5%,固定宽带普及率为 71.0%,开展在线销售、在线采购的比例分别为 25.3%和 26.5%,利用互联网开展营销推广活动的比例为 23.0%。

截至 2012 年 12 月底,我国微博用户规模为 3.09 亿人,较 2011 年底增长了 5 873 万人,网民中的微博用户比例较上年底提升了 6 个百分点,达到 54.7%。相当一部分用户访问和发送微博的行为发生在手机终端上,截至 2012 年底,手机微博用户规模达到 2.02 亿,即高达 65.6%的微博用户使用手机终端访问微博。

截至 2012 年 12 月底,我国网络购物用户规模达到 2.42 亿人,网络购物使用率提升至 42.9%。与 2011 年相比,网购用户增长 4 807 万人,增长率为 24.8%。在网民增长速度逐步放缓的背景下,网络购物应用依然呈现迅猛的增长势头,2012 全年用户绝对增长量超出 2011 年,增长率高出 2011 年同期 4 个百分点。

2012 年,我国的宽带建设已经进入全面提速阶段,其中包括加快发展光纤宽带网络、无线移动宽带网络等多方面内容。在工业和信息化部“十二五”规划纲要落

实指导意见中,特别提出要推动我国宽带基础设施水平的提升,促进宽带应用的普及和推广,更好地发挥宽带在支撑国家信息化水平全面提升和经济社会发展中的关键作用。

1.1.3 未来的宽带互联网络

宽带网络未来向何处走,目前在学术界还没有统一的看法,美国 NSF 也支持了 GINI、FIND 等多个重大课题,探索新型网络技术。从泛在网络、新一代网络、网络融合与社交媒体等几个方面阐述网络技术的可能发展趋势。

1. 泛在网络

随着芯片制造、无线宽带、射频识别、信息传感与网络业务等信息通信技术 (Information and Communication Technology, ICT) 的发展,通信网络将会更加全面深入地融合人与人、人与物、物与物之间的现实物理空间与抽象信息空间,并向无处不在的泛在网络方向演进。信息社会的理想正在逐步走向现实,强调网络与应用的无所不在的泛在通信理念将成为信息社会的重要特征,泛在网络也将成为未来信息社会服务的重要载体和服务社会公众的信息化基础设施。目前,泛在网络已经得到国际上的普遍重视,许多国家将它提升到国家信息化建设的战略高度。

泛在网络通过对物理世界的准确感知,构建无所不在的连接,提供无所不在的个人智能服务,并扩展对环保、城建、物流、医疗看护、能源管理等重点行业的支撑。随着信息技术的演进和发展,泛在化的信息服务将渗透到人们日常生活的各方面,即整个社会变成一个泛在网络的

泛在网与传感网、物联网 (Internet of Things, IoT) 存在密切的联系。传统的互联网是以人为基础的互联,而物联网则是以目标对象更广的物为基础互联的网络。传感网是物联网信息感知的重要组成,而物联网可视为泛在网络的初级节点。最终,泛在网络将实现通信网、互联网、物联网的融合,达到跨网络、跨行业、跨应用、异构多技术的融合与协同。本书第 2 章将阐述物联网的基本技术。

2. 新一代网络

目前,对于“新一代”主要有两种说法:一种是下一代 Internet (Next Generation Internet, NGI);另一种是下一代网络 (Next Generation Network, NGN)。无论是 NGI 还是 NGN,至今都没有统一的精确定义。

NGI 的概念源于计算机界的 IETF 等组织,他们认为 NGI 就是下一代 Internet, NGN 只是未来互联网的一个组成部分,还认为 NGI 是一个高可信网络 (Highly Trusted Network, HTN)。

NGN 的概念源于电信界的 ITU (国际电信联盟) 等组织。他们认为 NGN 是下一代网络或新一代网络,而 NGI 只是 NGN 的重要组成部分,但电信界并不认为 NGI 是电信网的最终发展目标。NGN 以当前网络为基础,能够提供包括话音、数据、视频和多媒体业务的基于分组技术综合开放的网络架构,代表了通信网络发展的方向。NGN 具有以下特征:分组传送,控制功能从承载、呼叫/会话、应用/业务中分离,业务提供与网络分离,提供开放接口,利用各基本业务模块提供广泛的业务和应用,端到端 QoS 和透明的传输能力,通过开放的接口规范与传统网络实现互通,通用移动性,允许用户自由地接