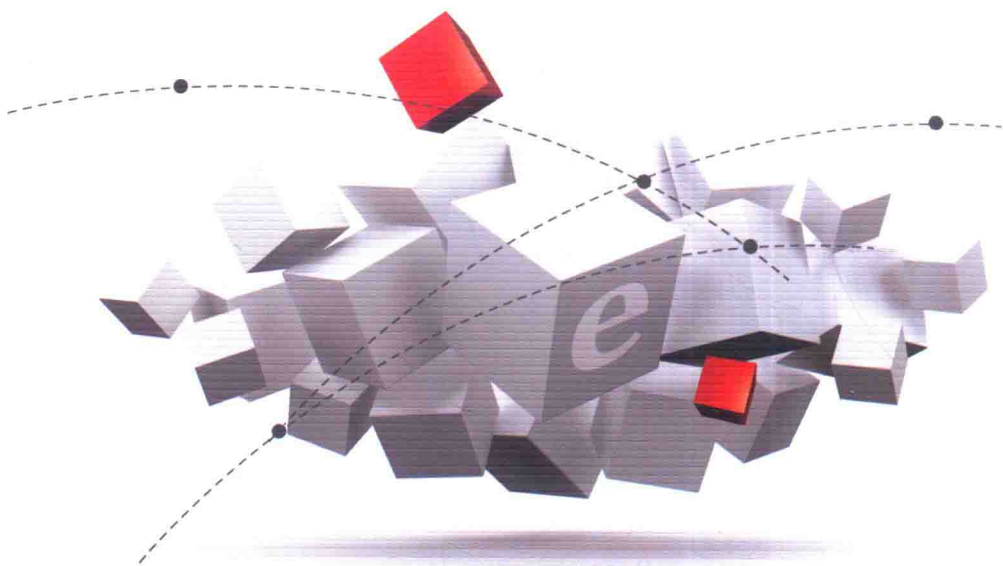




宽带中国出版工程 

面向云服务的 新型宽带网络体系

★ 唐雄燕 等编著 ★



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



宽带中国出版工程

工业和信息化部科技与教育专著出版资金资助出版

面向云服务的 新型宽带网络体系

唐雄燕 迟永生 孔 力 杨剑键 赫 罡
华一强 郑 毅 曹大伟 王 瑾 高功应
郭爱鹏 张 帅 李沸东 李洪峰 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

进入新世纪以来,以移动互联网和云服务为代表的新兴通信服务模式席卷全球,网络规模和流量快速激增,网络和信息服务形态更加多元,实体经济与互联网加速融合。可以说,一个全新的网络时代已经到来。信息通信新时代下的关键性宽带网络技术有哪些?这些技术又是怎样推进网络演进与变革的?本书从电信运营商的角度对上述问题做了较全面的介绍。

本书第1章对我国宽带网络的发展历史、现状和演进方向进行了概述,随后的第2章引入云服务,对其基本概念和发展趋势做了概要介绍,第3章剖析了云服务对网络提出的要求和挑战,提出了面向云服务的新型宽带网络架构。在随后的几章里,分别从不同角度对相应的新技术进行了介绍和讨论,涵盖了数据中心联网技术、内容分发网络(CDN)技术、超宽带接入技术、超高速承载技术等。最后,本书对软件定义网络SDN技术做了详细介绍,并给出了SDN在云服务网络中的应用案例。

本书可供从事宽带及新一代网络建设与运营的工程技术人员和相关管理人员阅读,还可供网络技术科研人员 and 高等院校通信与计算机相关专业的师生参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

面向云服务的新型宽带网络体系 / 唐雄燕等编著. —北京:电子工业出版社, 2017.9

宽带中国出版工程

ISBN 978-7-121-32652-3

I. ①面… II. ①唐… III. ①宽带通信网络 IV. ①TN914.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第218388号

策划编辑:宋 梅

责任编辑:谭丽莎

印 刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:720×1000 1/16 印张:18.5 字数:394千字

版 次:2017年9月第1版

印 次:2017年9月第1次印刷

定 价:66.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: mariams@phei.com.cn。



宽带中国出版工程

指导委员会

主任委员

尚冰：中国移动通信集团公司董事长、党组书记

副主任委员

曹淑敏：江西省鹰潭市委书记

委员

邸贺铨：中国工程院院士、工业和信息化部通信科学技术委员会主任

韦乐平：工业和信息化部通信科学技术委员会常务副主任

綦成元：国家发展和改革委员会高技术产业司司长

张峰：工业和信息化部通信发展司司长

敖然：电子工业出版社原社长

编审委员会

主任

刘多：中国信息通信研究院院长

副主任

蒋林涛：中国信息通信研究院科技委员会主任

余晓晖：中国信息通信研究院总工程师

委员（以下按姓氏拼音排列）

敖立 曹蓟光 冯明 高巍 何宝宏 李婷 刘九如 罗振东
唐雄燕 王爱华 王传臣 魏亮 续合元 许志远 赵丽松 张海懿

编委召集人

王雪飞 武莹

策划编辑

宋梅

总序 1

宽带网络是新时期我国经济社会发展的战略性公共基础设施，是推进国家治理能力现代化和公共服务均等化的重要手段，是推动工业强国建设、促进农村经济发展和新型城镇化建设的重要途径。发展宽带网络对于促进信息消费、推动经济发展方式转变、全面建成小康社会具有重要支撑作用。加快宽带网络建设、增强技术创新能力、丰富信息服务应用、繁荣网络文化发展、保障网络安全，利在当前，惠及长远。

当前，我国已建成覆盖全国、连接世界、技术先进、全球最大的宽带网络，网民数量、移动智能手机用户规模全球领先，相关产业能力持续提升，已经成为名副其实的网络大国。但同时，我国宽带领域的自主创新能力相对落后，区域和城乡普及差异比较明显，平均带宽与国际先进水平差距较大，网络安全形势日益严峻，总体上看国内宽带网络发展仍存在诸多瓶颈。在全球各国加强宽带战略部署、ICT 产业变革发展日新月异的形势下，要实现工业化、信息化、城镇化、农业现代化四化同步发展，建成网络强国仍然任重道远。

党中央、国务院高度重视宽带网络发展和管理，2013 年国务院先后出台了《“宽带中国”战略及实施方案》和《关于促进信息消费扩大内需的若干意见》。2013 年年底，中央网络安全和信息化领导小组成立，习近平总书记亲自担任组长，提出努力把我国建设成为网络强国，战略部署要与“两个一百年”奋斗目标同步推进，向着网络基础设施基本普及、自主创新能力显著增强、信息经济全面发展、网络安全保障有力的目标不断前进。这是党中央在新时期对我宽带网络发展提出的新目标和新要求，需要我们以改革创新精神，通过政策推动、技术驱动、产业带动、应用拉动促发展保安全；需要我们着眼长远、统筹谋划，积跬步、行千里，不断推动网络大国向网络强国迈进。

工业和信息化部电信研究院（即中国信息通信研究院）是我国在 ICT 领域权威的研究机构，多年来在重大决策支撑、行业发展规划、技术标准引领、产业创新推动和监管支撑服务中发挥着重要作用。“宽带中国出版工程”系列丛书，是该院及业界多位专家学者知识和智慧的结晶，是多专业科研成果的集中展现，更是多年理论与实践经验的综合集成，该系列丛书的出版有助于读者系统学习宽带网络最新技术，准确把握宽带应用和相关产业的最新趋势，从而提升对宽带网络的研究、规划、管理、运营水平。希望我国政产学研用界齐心协力，共同为宽带中国发展、网络强国建设事业贡献力量！

中国移动通信集团公司董事长、党组书记

总 序 2

市场牵引是通信发展的动力,通信业务从语音为主到数据和视频为主,对带宽的需求与日俱增。思科公司 2014 年 6 月发布的报告指出,2013 年全球互联网忙时流量是平均值的 2.66 倍,与 2012 年相比,平均流量和忙时流量分别增长了 25%和 32%。思科公司还预测,从 2013 年到 2018 年,全球互联网流量忙时是平均值的 3.22 倍,平均流量和忙时流量分别增长了 23%和 28%。在互联网流量中视频已成主流,全球互联网视频流量占总量之比从 2013 年的 57%将增长到 2018 年的 75%。全球移动数据流量增长更快,2013 年一年就增加了 81%,到 2018 年还将保持平均年增长 61%的速度,届时,移动数据流量将占全部 IP 流量的 12%。美国 Telegeography 公司的数据表明国际互联网干线流量 2009—2013 年平均年增长 45%,2013 年相比 2012 年增长 38%。我国国际互联网干线带宽从 2009 年到 2013 年平均年增长 39.6%,2013 年相对 2012 年增长 79%,增长的后劲更明显。

通信业务与技术的发展总是市场牵引与技术驱动相辅相成,市场催生了技术,技术支撑了市场。集成电路继续遵循摩尔定律,单位面积的晶体管数年增长 40%,强大的计算和处理能力改进了频谱效率与信噪比,提升了通信流量,较好地适应了互联网流量的增长。光器件的技术进步加上电域的信号处理,使光纤通信干线商用容量水平基本按照十年千倍提升。2009 年起,我国移动通信从 2G 经 3G 跨越到 4G,借助先进的多址复用技术和频谱的扩展技术等,峰值速率增加了数百倍。

近年通信技术与业务发展一个值得注意的趋势是从消费者的应用向企事业应用扩展,2013 年全球企事业单位互联网流量较 2012 年增长了 21%,到 2018 年将达到 2013 年的 2.6 倍,将占全球互联网流量的 14%,而且全球企事业单位互联网流量中 14%将是移动流量。随着物联网发展及信息化与工业化的深度融合,企事业单位的互联网应用还将有更大的发展。

互联网的渗透促进了经济的复兴,2013 年发布的《OECD 互联网经济展望 2012》分析了互联网对所有行业经济的影响,得出如果宽带普及率增长 1%,则 GDP 将增长 0.025%,并且通过模拟得出互联网的贡献占 2010 年美国 GDP 的 4.65%~7.21%,占企业增加值的 3%~13%。波士顿咨询公司 2012 年发表的《连接世界》报告分析 2010—2016 年互联网经济对 GDP 的贡献,中国仅次于英国和韩国为第三位,占 GDP 的比例从 2010 年的 5.5%增加到 2016 年的 6.9%。IDC 公司提出信息技术已从计算机和互联网这两个平台发展到移动宽带、云服务、社交应用和大数据为标志的第三平台,即宽带化平台,并预测到 2020 年信息产业收入的 40%和增长的 98%将由第三平台的技术所驱动。世界银行的研究报告表明,对制造业的海外销售额和服务业的销售来说,使用宽带的企业与其他企业相比分别高出 6%和 7.5%~10%,中低收入

国家的宽带普及率每增加 10 个百分点，GDP 就会增长 1.38 个百分点。美国认为宽带的发展对上下游产业就业的拉动作用是传统产业的 1.7 倍。GSM 协会和德勤咨询机构 2012 年发表的研究报告指出，3G 移动数据应用增加 100%，人均 GDP 增速提升 1.4 个百分点。

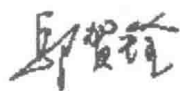
为了抢占信息技术新的制高点并获得宽带化的红利，一些国家纷纷出台国家宽带战略，最近两三年来美国出台了《国家宽带计划》和《大数据研究和发展倡议》等，全球有 146 个国家都制定了加速发展宽带的国家战略或规划，不少国家建立了宽带普遍服务基金。

我国网民数量世界第一，但网民平均的国际互联网干线带宽、固网平均接入速率和移动互联网下载速率仍低于世界平均水平，这几年有了显著改进，但与互联网高速发展和社会大众的期望相比总是恨铁不成钢。国务院在 2013 年 8 月发布了《“宽带中国”战略及实施方案》，提出到 2015 年要初步建成宽带、融合、安全、泛在的下一代国家信息基础设施，到 2020 年我国下一代信息基础设施基本接近发达国家水平，技术创新和产业竞争力达到国际先进水平。该方案对宽带网络覆盖、网络能力、应用水平、产业链发展和网络信息安全保障五方面提出了具体发展目标、重大任务和保障举措等。可以预期“宽带中国”战略的实施，必将为我国经济和社会的发展奠定坚实的网络基础，并惠及大众。

工业和信息化部电信研究院作为“宽带中国”战略的起草支撑单位之一，为“宽带中国”战略的制定做了深入的调查研究，现在与电子工业出版社联袂推出“宽带中国出版工程”系列丛书。该丛书串起终端、接入、传送、网络和云端各环节，涉及研究、制造、运营与服务各方面，涵盖宽带化技术、业务、应用、安全与管理各领域，解读“宽带中国”战略制定的背景，分析宽带化的解决方案，展望宽带化发展的前景。本套丛书内容全面，系统性强，既反映了宽带网最新的技术及国际标准化进展，又有国内实践经验的总结，兼具前瞻性与实用性。在此，衷心感谢工业和信息化部电信研究院和电子工业出版社及众多作者所付出的辛勤劳动，希望本套丛书能够有助于业内外人士加深对宽带化的意义和内涵及难度的理解，相信本套丛书能够对行业发展和政府决策起到积极作用，为“宽带中国”战略的实施贡献正能量。

工业和信息化部通信科学技术委员会主任

中国互联网协会理事长



前 言

宽带网络与互联网应用的发展相辅相成，“网络”是支撑和服务业务应用，需要随业务需求的变革而不断演进。今天信息通信与互联网业务的发展有三大基本趋势：一是用户端的移动化，即移动智能终端日益普及，成为人们使用业务的主要工具，并驱动移动互联网与物联网的飞速发展；二是服务端的云化，即信息通信与互联网业务全面转向云服务模式，并驱动网络流量模型与体系架构的变革；三是应用的多元化，一方面以个人娱乐和信息消费应用为主的消费互联网继续繁荣发展，4K/8K、VR/AR 等宽带视频应用兴起，另一方面互联网与实体经济深度融合，万物互联成为趋势，云计算、物联网、智慧城市等新兴业态迅速成长。这一切对网络基础设施提出了新的更高要求：一是网络的规模和流量快速增长，未来 10 年，将有海量的设备联入网络，连接将变得无处不在，宽带从连接 50 亿人增加到连接 500 亿物，同时宽带流量将有数十倍的增长；二是面向产业和政企的许多业务应用对网络的可靠性、时延、安全性等有着更为苛刻的要求；三是传统网络设施和服务体系无法满足“互联网+”业务创新对网络服务的灵活性、扩展性、实时性和智能化的要求；四是云服务正在成为信息服务的新模式，数据中心成为主要流量生产和分发中心，但传统网络架构与新兴云服务流量模式不匹配，难以有效支撑云服务发展。为此需要构建新一代网络基础设施为各类行业和政务应用提供更加智能灵活、安全可靠的精品网络服务，促进“互联网+”的健康发展，并为“中国制造 2025”奠定更加坚实的网络基础。

软件定义网络（SDN）、网络功能虚拟化（NFV）、超宽带网络、云计算、大数据、人工智能等新兴技术不断涌现，驱动网络基础设施开始新一轮的大变革。新一代宽带网络基础设施具有如下重要特征：

1. 泛在超宽带

泛在宽带是固定与移动宽带协同的结果，一方面以 3G/4G 为代表的移动宽带的迅猛发展极大促进了宽带的泛在化，并将随着 5G 的发展进一步提升接入速率；另一方面全光接入的发展奠定了超高速宽带接入的坚实基础，未来家庭千兆及个人百兆接入将成为普遍服务。将无线宽带的便捷性、广覆盖与光纤宽带的高带宽、可靠性有机结合，将实现泛在的互联网宽带接入。以“高速”为特征的超宽带是网络发展的基本追求，也是微电子、光电子等基础技术进步的自然结果，无论是接入、传送还是路由交换都在向着超宽带的方向发展。

2. 面向云服务

云计算迅猛发展，云服务正在成为互联网服务的主体，为云服务提供更好的支撑是互联网基础设施的新使命。对于云服务，网络的灵活性、动态性、开放性和资源的快速提供尤为重要，网络建设理念也需要实现由“云随网动”到“网随云动”

的转型。在云服务时代，新的云数据中心选址更多考虑土地、能源、气候等因素，数据中心的布局选择从“网络最优”转变为“能效最优”，这将导致“用户中心”（信息的产生和使用）与“数据中心”（信息的存储和处理者）的解耦，逐步形成“用户”与“数据”双中心格局，网络将更多服务于“用户”与“数据”（应用）间的互通交换及“数据”本身的分发处理。未来网络的构建将要面向“端”和“云”两个中心，形成云端双中心的网络格局，网络将由纯粹的连接型哑管道转型为具备更强智能和一定计算/存储能力的新一代互联网基础设施。

3. 软件定义网络

今天的网络设施是一个“刚性”管道，网络调整、资源配置、业务响应都很不灵活。而云服务的特征是资源的高度共享和动态占用，因此必然需要一个更富弹性的网络，而弹性网络的实现有赖于资源虚拟化和软件定义。软件定义网络（SDN）与网络功能虚拟化（NFV）是近年信息通信网络的最大技术热点，也是构建新一代网络基础设施最重要的技术手段。SDN 是一种新型的网络架构，其设计理念是将网络的控制平面与数据转发平面进行分离，并实现可编程化控制。NFV 的特点是软硬件解耦、硬件通用化和设备功能软件化。SDN 与 NFV 是紧密关联的概念，分别着重于网络级和设备级，SDN/NFV 的价值主要体现在提升网络灵活性和开放性、降低网络建设和运营成本。基于 SDN/NFV 和云实现互联网架构重构和技术变革的大潮正在到来，全球各大电信运营商也都加快了向 SDN/NFV 网络转型的步伐。

新挑战催生新架构、新技术和新方案，本书围绕着面向云服务的新型宽带网络架构这一主线展开，详细介绍了新一代宽带网络架构的设计原则、组成部分、技术路线及相关关键技术，并通过大量的案例加以阐述，内容丰富，重点突出，可供广大网络工程师、网络科研人员、网络运营管理人员及网络相关专业在校师生等学习和参考。

本书由中国联通网络技术研究院新一代网络研究团队编写，本书的出版受国家 863 课题 No.2015AA016105 资助，在此表示感谢！在此还要感谢电子工业出版社宋梅编审为本书出版所做的大量耐心细致的工作，并感谢本书中所参考和引用的诸多资料的有关机构和作者。由于编者水平和视野所限，以及编写时间仓促，加上网络技术发展日新月异，书中一定存在不少谬误和不足之处，敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 宽带网络发展概述	1
1.1 我国宽带业务发展现状	2
1.1.1 中国宽带发展历程	2
1.1.2 中国宽带网络现状	2
1.1.3 宽带中国战略要点	3
1.2 宽带网络的演进方向	4
1.2.1 宽带网络的超高速趋势	4
1.2.2 宽带网络的泛在化趋势	4
1.2.3 宽带网络的智能化趋势	4
1.2.4 宽带网络的弹性化趋势	5
1.3 信息通信网络的发展驱动力	5
1.4 ICT 产业的融合与变革	8
参考文献	15
第 2 章 云服务基本概念及发展趋势	17
2.1 云计算与云服务的基本概念	18
2.1.1 云计算背景与概念	18
2.1.2 云服务概念及分类	19
2.2 云服务的发展现状	20
2.2.1 国外云服务产业概况	20
2.2.2 国内云服务产业现状	21
2.3 信息通信服务模式向云服务的演进	23
2.3.1 新型信息通信服务模式	23
2.3.2 传统互联网时代的 C/S、B/S 模式	23
2.3.3 互联网 P2P 模式	25
2.3.4 云服务模式与 C/S、B/S 及 P2P 模式的比较	29
2.4 大数据及其与云服务的关系	30
2.4.1 大数据兴起的背景及趋势	30
2.4.2 云服务促进大数据的发展	35
参考文献	36



第3章 云服务对承载网的技术需求	37
3.1 云服务的体系架构	38
3.1.1 云计算基础架构	38
3.1.2 云服务体系	39
3.2 云计算数据中心的特点及其布局	43
3.2.1 数据中心现状及发展趋势	43
3.2.2 云计算数据中心的特点	46
3.2.3 云计算数据中心的选址原则	50
3.3 云服务对承载网的需求分析	51
3.3.1 云服务对承载网的基本要求	51
3.3.2 支撑云服务的承载网特点	54
3.4 现有网络体系面临的主要挑战	55
3.4.1 传统网络体系的主要缺陷	55
3.4.2 网络运营商面临的挑战	57
参考文献	59
第4章 面向云服务的新型宽带网络架构	61
4.1 云承载网的设计原则	62
4.2 面向云服务的新型宽带网络架构	63
4.2.1 新型宽带网络基础架构	63
4.2.2 新型宽带网络架构解释	70
4.2.3 新型宽带网络关键特征	72
4.3 解耦型网络技术路线	77
4.3.1 转发与控制的解耦	77
4.3.2 用户与数据的解耦	79
4.3.3 接入与核心的解耦	80
4.4 集约化网络技术路线	82
4.4.1 控制平面的集约	82
4.4.2 数据中心的集约	83
4.4.3 用户管理的集约	83
4.4.4 网络节点的集约	84
4.5 新型寻址技术与移动性管理	85
4.5.1 虚拟机的移动性管理需求	85
4.5.2 基于 IPv6 的移动性管理	85
4.5.3 身份位置分离技术	87
参考文献	89



第 5 章 数据中心联网技术	91
5.1 数据中心的联网需求	92
5.2 数据中心内部的联网技术	94
5.2.1 虚拟机本地互访网络技术	94
5.2.2 机房内虚拟机互联技术	105
5.2.3 存储网络技术	118
5.3 数据中心之间的联网技术	134
5.3.1 光纤直连与 OTN	134
5.3.2 二层 VPN 技术 VPLS	137
5.3.3 三层 VPN 技术 BGP MPLS IP VPN	139
5.3.4 VXLAN 技术	142
5.3.5 数据中心互联技术总结	144
参考文献	145
第 6 章 内容分发网络 (CDN) 技术	147
6.1 CDN 与云服务	148
6.1.1 CDN 的背景与概念	148
6.1.2 云服务对于 CDN 的价值	148
6.2 CDN 的技术特点和网络架构	149
6.2.1 CDN 的技术特点	149
6.2.2 CDN 的网络架构	152
6.3 面向云服务的 CDN 技术	154
6.3.1 传统 CDN 技术	154
6.3.2 基于 P2P 的 CDN 技术	159
6.3.3 以内容为中心的网络体系	162
6.3.4 CDN 与云计算	163
6.4 云计算技术在 CDN 中的应用	164
6.4.1 服务器虚拟化在 CDN 中的应用	164
6.4.2 云存储在 CDN 中的应用	165
参考文献	167
第 7 章 超宽带接入技术	169
7.1 超宽带光纤接入技术	170
7.1.1 光纤接入技术概况	170
7.1.2 10G PON 技术	171
7.1.3 下一代 PON 技术: 超高速、超长距	173



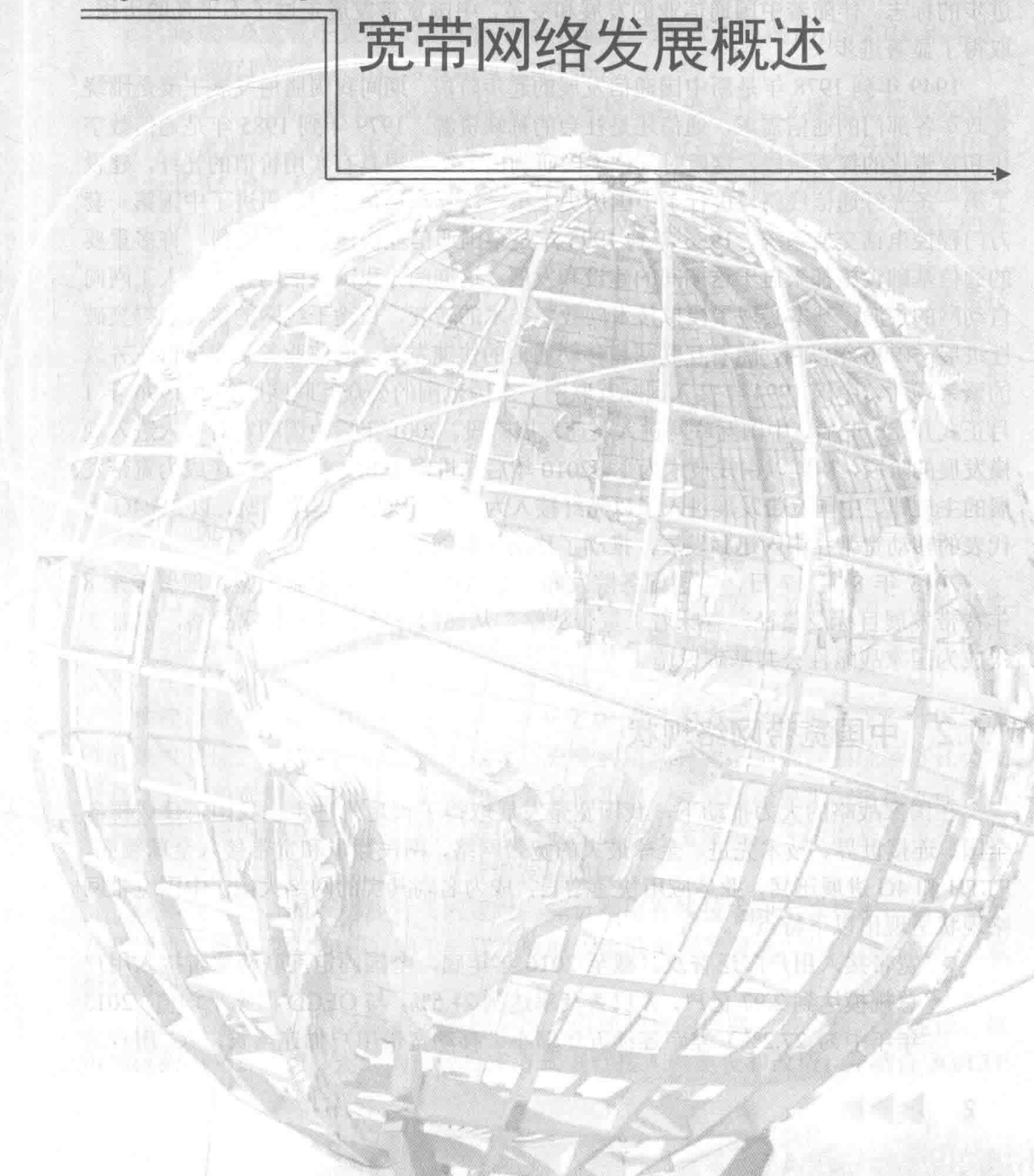
7.2	超宽带无线接入技术	175
7.2.1	4G 与 5G 移动宽带技术概述	175
7.2.2	超高速 WLAN	183
7.2.3	超高速短距无线通信	185
7.3	宽带接入智能控制技术	186
7.3.1	宽带接入控制技术现状	186
7.3.2	云服务对接入控制的要求	187
7.3.3	宽带接入智能控制技术的管理	188
	参考文献	191
第 8 章	超高速承载技术	193
8.1	传送承载网的宽带化趋势	194
8.2	100G 及超 100G 光纤传输技术	195
8.2.1	100G 接口技术及在数据中心中的应用	196
8.2.2	100G 传输网技术及发展现状	197
8.2.3	400G 及 IT 传输技术	197
8.3	弹性光网络	198
8.3.1	云服务对光网络的灵活性需求	198
8.3.2	弹性光网络的基本思想	199
8.3.3	灵活栅格技术	200
8.4	Tbps 路由交换技术	201
8.4.1	超大容量核心路由器	201
8.4.2	集群路由器	203
8.4.3	数据中心网络中的高速交换机	205
8.5	光与 IP 的协同技术	207
8.5.1	运营商骨干网架构和面临的问题	208
8.5.2	光与 IP 协同的主要需求	210
8.5.3	光与 IP 协同策略	210
8.5.4	联合组网策略	211
8.5.5	联合生存性策略	213
8.5.6	流量旁路策略	215
	参考文献	217
第 9 章	软件定义网络 SDN	219
9.1	SDN 的产生背景	220
9.1.1	SDN 的产生背景与发展历程	220
9.1.2	SDN 的技术理念与基本概念	221



9.2 SDN 的技术特点和标准化状况	222
9.2.1 SDN 的技术特点	222
9.2.2 SDN 的标准化状况	223
9.3 典型 SDN 技术——OpenFlow	231
9.3.1 OpenFlow 架构	231
9.3.2 OpenFlow 关键协议	237
9.3.3 OpenFlow 应用状况	240
9.4 SDN 的发展趋势	242
9.4.1 SDN 的产业趋势	242
9.4.2 SDN 的应用前景	243
参考文献	243
第 10 章 SDN 在云服务网络中的应用	245
10.1 SDN 在数据中心内部的应用	246
10.1.1 SDN 在数据中心内部的应用价值	246
10.1.2 数据中心中的 SDN 交换机	247
10.1.3 SDN 在数据中心内部的应用案例	248
10.2 SDN 在数据中心之间联网的应用	251
10.2.1 SDN 在数据中心之间联网的应用价值	251
10.2.2 SDN 在数据中心之间互联 (DCI) 的应用场景	252
10.2.3 基于 SDN 的数据中心互联系统架构	254
10.2.4 基于 SDN 的数据中心互联业务示例	255
10.3 基于 SDN 的 IP 城域网	259
10.3.1 IP 城域网中引入 SDN 的价值	259
10.3.2 IP 城域网中引入 SDN 的方案	261
10.3.3 IP 城域网中 SDN 的未来演进方向	262
10.4 基于 SDN 的宽带传送网	264
10.4.1 宽带传送网中引入 SDN 的意义	264
10.4.2 基于 SDN 的宽带传送网架构	267
10.4.3 基于 SDN 的宽带传送网关键技术	270
10.4.4 案例: 基于 SDN 的城域分组传送网	274
10.5 基于 SDN 的宽带接入网	275
10.5.1 宽带接入网中引入 SDN 的意义	275
10.5.2 宽带接入网 SDN 化方案及影响	275
10.5.3 案例: 基于 SDN 的接入专线产品	277
参考文献	278

第 1 章

宽带网络发展概述



1.1 我国宽带业务发展现状

1.1.1 中国宽带发展历程

中国宽带发展是中国通信业和互联网发展的重要组成部分，也是中国信息通信进步的标志。伴随着中国通信业的发展和变革，中国宽带发展走过了不平凡的历程，取得了显著进步^[1]。

1949 年到 1978 年是新中国通信发展的起步阶段，期间我国通信发展主要是围绕党政军各部门的通信需求，通信还是社会的稀缺资源。1979 年到 1985 年是通信数字化和宽带化的探索阶段，这段时间，中国研制出了第一根具有实用价值的光纤，建设了第一条光纤通信线路，进行了中国历史上第一次移动通信实验，引进了中国第一套万门程控电话交换系统。1986 年到 1995 年是中国通信业快速发展的阶段，许多重要的通信基础设施都来自于这期间的建设和发展。这期间，我国电信网完成了人工网向自动网的过渡，基本实现了模拟技术向数字技术的转变，长途干线网的建设取得突破性进展。1996 年以后，随着互联网和移动通信的快速发展，通信业务呈现出百花齐放的繁荣场面。中国 1994 年接入国际互联网，全国范围的公众互联网服务于 1996 年 1 月正式开始。此后，中国互联网进入飞速发展阶段。2001 年后中国的宽带接入进入规模发展的阶段，初期以铜线技术为主，2010 年后光进铜退和宽带升级提速成为宽带发展的主旋律，中国宽带发展进入了以光纤接入为主的新阶段。与此同时，以 3G/4G 为代表的移动宽带在中国迅猛发展，推动了移动互联网的大繁荣。

2013 年 8 月 17 日，中国国务院发布“宽带中国”战略实施方案，部署未来 8 年宽带发展目标及路径，意味着“宽带战略”从部门行动上升为国家战略，宽带首次成为国家战略性公共基础设施。

1.1.2 中国宽带网络现状

在国家战略的大力推动下，我国宽带发展取得了长足的进步。我国已建成覆盖全国、连接世界、技术先进、全球最大的宽带网络，网民数量和宽带接入全球领先，FTTH 和 4G 进展迅猛，业务应用快速增长，成为名副其实的网络大国。中国宽带网络现状呈现出以下特点^[2]。

- 宽带接入用户广泛普及。截至 2016 年年底，全国固定互联网宽带接入用户总规模达到 2.97 亿户，人口普及率达到 21.5%，与 OECD 国家平均值（2013 年年中为 27.2%）差距连续五年缩小。移动宽带用户加速增长，4G 用户达



到 7.7 亿，在移动用户中的渗透率达到 58.2%，人口普及率超过 55.8%。

- 网络能力和覆盖水平稳步提升。截至 2016 年年底，全国固定宽带接入端口达到 6.9 亿个，宽带网络已延伸覆盖到全国所有的城镇和行政村。光纤宽带网络建设步伐加快，光纤端口在全部互联网宽带接入端口的占比达到 75.6%，FTTH 端口数达到 5.22 亿户，20MB 以上宽带接入用户占比达到 77.8%。4G 网络加快部署，2016 年年底基站数量达到 263 万个。
- 宽带网络架构持续优化。目前我国拥有覆盖全国的多张骨干互联网，网间以直联为主、国家级交换中心为辅的方式互联互通，2013 年新增 7 个直联点，形成 10 大骨干直联点全国性布局。国际出口带宽不断增长，到 2016 年年底，我国互联网国际出口带宽超过 6640Gbps。
- 宽带应用高速增长。宽带网络基础设施性能稳步提升，支撑起宽带业务应用高速增长，2016 年全年固定互联网宽带接入时长达 57.5 万亿分钟，同比增长 15.0%，移动互联网流量达到 93.6 亿 GB，同比增长 124.1%；月户均移动互联网接入流量达到 772MB，同比增长 98.3%，成为带动行业收入增长的关键动力。

近年来，我国宽带网络覆盖范围不断扩大，传输和接入能力不断增强，宽带技术创新取得显著进展，完整产业链初步形成，应用服务水平不断提升，电子商务、网络视频、云计算和物联网等新兴业态蓬勃发展，网络信息安全保障逐步加强，但我国宽带网络仍然存在公共基础设施定位不明确、区域和城乡发展不平衡、应用服务不够丰富、技术原创能力不足、发展环境不完善等问题，亟须得到解决。

1.1.3 宽带中国战略要点

2013 年 8 月 17 日，中国国务院发布《国务院关于印发“宽带中国”战略及实施方案的通知》^[3]，以加强战略引导和系统部署，推动我国宽带基础设施快速健康发展，至此“宽带中国”正式上升为国家战略。

构建以宽带网络为中心，以“全业务+全 IP 化”为方向的大网是下一代网络演进的最终目标。遵循宽带技术演进规律，充分利用现有网络基础，围绕经济社会发展总体要求和宽带发展目标，加强和完善总体布局，系统解决宽带网络接入速度、覆盖范围、应用普及等关键问题，强化产业发展和安全保障，不断提高宽带发展整体水平，全面提升支撑经济社会可持续发展的能力。

统筹接入网、城域网和骨干网建设，综合利用有线技术和无线技术，结合基于互联网协议第 6 版（IPv6）的下一代互联网规模商用部署要求，分阶段系统推进宽带网络发展。

按照高速接入、广泛覆盖、多种手段、因地制宜的思路，推进接入网建设。城市地区利用光纤到户、光纤到楼等技术方式进行接入网建设和改造，并结合 3G/LTE