

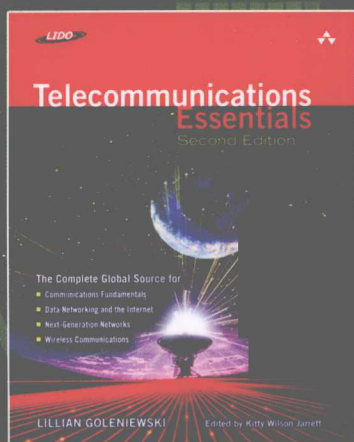
国外电子与通信教材系列

PEARSON

通信概论

(第二版)

Telecommunications Essentials
The Complete Global Source
Second Edition



[美] Lillian Goleniewski 著
Kitty Wilson Jarrett

田 华 方 涛 译
永强 苏 洋
李玉权 审校



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

通信概论

(第二版)

Telecommunications Essentials
The Complete Global Source

田 华 方 涛 王永强 苏 洋 译
李玉权 审校

電子工業出版社.
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书共四个部分。第一部分介绍电信技术基础,主要包括电信技术所涉及的基本概念、传输介质及传统的电话网结构。第二部分介绍数据通信网及因特网,主要包括数据通信的基本概念、局域网、广域网、因特网的结构及演进。第三部分介绍下一代网络(NGN),主要包括基于IP的业务、NGN的结构、下一代光网络和宽带接入网。第四部分讲述无线通信,主要涉及无线通信的基本概念与技术基础、无线广域网、无线城域网、无线局域网、无线个域网、相关的技术标准以及应用领域。无线通信尤其是无线宽带接入是当前通信领域最前沿、最热门的话题,本书在第四部分中对移动通信的发展历程以及3G、4G和5G都有介绍,对宽带无线接入的相关标准及技术也有全面介绍。

本书适合通信工程技术及通信服务领域的从业人员阅读,也可作为高等院校电子信息工程、通信工程等专业“通信概论”类课程的教材或电信行业从业人员的培训教材。

Authorized translation from the English language edition, entitled TELECOMMUNICATIONS ESSENTIALS: THE COMPLETE GLOBAL SOURCE, 2E, 9780321427618 by GOLENIIEWSKI, LILLIAN; JARRETT, KITTY WILSON, published by Pearson Education, Inc, publishing as Addison-Wesley Professional, Copyright © 2007 Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY Copyright © 2010.

本书中文简体字版专有出版权由 Pearson Education (培生教育出版集团)授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书贴有 Pearson Education (培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2009-1497

图书在版编目(CIP)数据

通信概论:第2版/(美)戈乐涅夫斯基(Goleniewski, L.), (美)贾勒特(Jarrett, K. W.)著;田华等译.
北京:电子工业出版社,2010.6

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Telecommunications Essentials: The Complete Global Source, 2/e

ISBN 978-7-121-10794-8

I. ①通… II. ①戈… ②贾… ③田… III. ①通信理论-高等学校-教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第079589号

策划编辑:马 岚

责任编辑:许菊芳

印 刷:北京市海淀区四季青印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

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:787×1092 1/16 印张:30 字数:768千字

印 次:2010年6月第1次印刷

定 价:55.00元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,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。

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

服务热线:(010)88258888。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老教师和专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授

“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

主 任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事、博士生导师
委 员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 国务院学位委员会学科评议组成员
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员 中国电子学会常务理事
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘 彩	中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高工 信息产业部通信科技委副主任
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长

译者序

当今社会正在向信息化快速演进,信息通信技术及其应用无处不在。国内为数众多的学子就读于各类院校的信息与通信工程专业,相关领域提供的就业机会最受社会的追捧。为各类学子提供好的教材、为从业人员及有兴趣者提供好的参考书是本领域专家学者的职责。走进书店,有关信息与通信技术的著作可谓汗牛充栋,却难于找到一本全方位介绍通信技术基础及其最新发展的教科书。Lillian Goleniewski 的 *Telecommunications Essentials* 一书正好弥补了这一缺憾。我们将其翻译成中文,就是要为渴求了解通信技术全貌的各类读者提供一份套餐。

本书内容全面,取材新颖。通信网的宽带化是全书的主线,四个部分几乎都围绕宽带技术及宽带应用展开。第一部分以传统电话为切入点,讲述通信技术基础及通信网的宽带化演进历程;第二部分介绍数据通信及互联网;第三部分讲述下一代网络(NGN)的基本架构以及基于IP的各类通信业务;第四部分讲述无线通信,包括无线广域网、无线局域网、无线个域网以及新的无线宽带应用。全书以定性介绍为主,几乎没有艰深的定量分析,通俗易懂。本书可以作为本、专科生《通信概论》一类课程的教材,特别适合用做通信技术的培训教材,对于通信行业的专业人员也是一本很好的参考书。通过网络学习是当今及未来不可或缺的学习方式,本书提供了大量的可以获取相关知识的网址,为课堂之外的学子提供了方便。

本书涉及面极广,因而篇幅浩大。为减轻读者的负担,在翻译过程中译者略去了部分内容,例如通信技术发展历程中的一些逸事、部分很少应用的标准及制定过程、市场状况等非技术内容。原书出版时间是2006年,而信息通信技术的发展简直让人眼花缭乱,用今天的现实去审视,书中个别数据及评述不够准确就在所难免,译者已在译文中予以改正或删除。书末的专业术语及缩略语也只是有选择地翻译了一部分,对于类似于名词解释的术语则未列入。

参与本书翻译工作的除田华教授、王永强高级工程师、方涛博士、苏洋博士以外,还有解放军理工大学通信工程学院的博士研究生刘颖,硕士研究生王宏博、陈茂聪。全书由李玉权审校。

本书的译稿虽经仔细斟酌、多次修改,但因涉及的知识面太宽,译者学识有限,疏漏乃至错误在所难免,诚望本书的读者指正。

译者

2009年10月于南京

绪论 宽带的发展历程

我热爱电信技术,它有极大影响力,对我们的社会有着重要的意义。它已经展示出改变社会的潜力,而且变革才刚刚开始。随着电话的发明,人们的交流和社会交往发生了永久性的改变:对商业而言,时间和空间的障碍开始消失;你可以与你的爱人一直保持联系;也可以对世界上的重大事件立即做出反应。通过计算机和电信网络,人们能够充分发挥想象力、影响力和创造力,就好比在工业革命时期通过使用庞大的机器来扩展人们的肌肉和身体本身的力量一样。如今,新发明、新开发被作为一种赖以依靠的力量,它们保持电信的平衡发展,继续改变着人们的交流和交往方式,并不断将机器作为成员引入到网络社会。这是一个激进的时代,我们面对众多新的电信技术和应用,它们为我们带来许多难得的机会,特别是在娱乐业、教育、卫生保健、政府、广告业、生活方式以及令人悲痛的战争中更是如此。

虽然信息和通信技术(ICT)行业经历了多年历练,但其间许多新的技术在各个领域的发展并未减缓,它们是各种带宽设备、应用和网络结构继续发展的关键。这些卓越的发展推进着宽带技术的变革,也为下一代网络提供了依据。

X.1 数字领域的度量标准

在数字领域,主要有三种度量标准:

- 处理能力,以晶体管的数量和每秒钟内的运算次数来度量。
- 存储量,以字节数度量。
- 带宽或数据传输速率,以比特每秒来度量。

处理能力

摩尔定律告诉我们,单个芯片上的逻辑门数(即微处理器的处理能力)每18个月会翻倍。Intel 最早的微处理器于1971年诞生,它拥有2300个晶体管。到2001年,顶级计算机的处理器包括大约4200万个晶体管,每秒能执行1000亿次运算。如今,Intel 的高端芯片包含的晶体管数量在17亿以上,到2010年,这个数字有望超过100亿。

遗憾的是,关于摩尔定律也存在一个可怕的事实。如今集成电路中一个晶体管的总体长度大约在微米量级,即意味着几十个晶体管可以被安放在人类的红血球细胞上。这种巨大的成功将芯片制造者带到一个边缘,成为进一步提升性能的障碍,其问题在于将晶体管连成集成电路的极小的金属线。如Intel 公司的Pentium 4 处理器,它大约包括5500万个晶体管,在每平方厘米内使用了长约4.8 km 的金属线进行电路连接。随着90 nm 工艺的引入,微处理器可以在每平方厘米内容纳1.1亿个晶体管,并用将近6.9 km 导线进行电路连接。如今,大多数先进的集成电路每秒可进行100亿次交换,而金属导线互连难以支持相应的水平。

每个新一代的芯片都会使这种情况变得更加严重。当互连时延问题日益突出,而晶体管处理速度越来越快时,更多的信号会由于线路的速度不足而被延缓。额外的不利影响还包括热集结、电流泄漏和相邻传输线之间的串扰。铜,这种传统的互连技术,已达到其速度的极限。好消息是业界在同时致力于寻找多种解决方案。所出现的两种主要方案为:优化设计以改变芯片微小传输线的传输特性,发展硅基光子技术。

研究者正在开发介电常数(k)比现在最为通用的二氧化硅绝缘层更小的介质薄膜。它通过改变绝缘层的材料减小传输线之间的电容。但这种低 k 值的薄膜极难集成到产品中。它们非常柔软、易碎,对硅和金属线的附着力差,容易破裂和脱落。因此下一代要求有更低 k 值的芯片还面临着巨大的挑战。

有关硅基光子技术,最有意义的报道是来自 Intel 最近成功演示首个连续工作的全硅激光器。硅基光子技术具有大大延续摩尔定律寿命的潜力。光连接能够以数千倍于铜的速度传输数据。不过,现有光器件对于个人计算机甚至是本地网来说,都过于昂贵。如果采用硅制作光器件,其制作会更加便宜和容易。最终,硅光子可能会取代片内处理器之间的铜线,并被微处理器用于执行指令的内部时钟,极大地增加时钟速度和计算速度。

从积极的方面来说,也要感谢摩尔定律,它使如今网络端点设备的尺寸小、功能强、价格便宜。对于功能如此强大的端点,在网络核心收缩中需要对其嵌入网络功能。此外,智能终端设备能够比集中网络更好地建立和管理呼叫。实际上,在终端设备中加入语音使之可能合成其他类型的互动功能,如在线游戏、协同工作和共享 Web 冲浪。

最新的处理器也能支持庞大数据集的快速可视化和强大的实时仿真,如数字娱乐、三维游戏、电脑绘画、天文学、生物学和预测建模。这些应用的例子包括人体内血液流动,空间气象模型,抗癌药物的虚拟测试,地球磁层的整体建模,湍流冲击和漩涡的仿真,星系和星系群大规模结构,单个细胞内蛋白质的相互作用模型以及宇宙结构形成的测试模型。大量的这类应用都特别适合于科学与工程领域,但同样也被设计用于教育和娱乐之中。

存储量

如今能够支持可视化和多媒体应用的快速处理器仅仅是要解决的难题之一,第二个因素是存储。目前,存储密度每 12 个月就会翻倍。新兴的解决方案要保证存储密度和容量以惊人的速度增长。

在了解存储技术的发展之前,先看看一些关于存储要求的例子:

- 1.5 KB (大约 12 000 比特),基本上能存储以两倍行距打印的一页文本内容。
- 1 MB,可以存储一篇文本形式的长篇小说,或存储一幅整个页面的黑白图像、一张 3 in $\times$ 5 in^①的彩色照片、2 min 的电话质量的声音、7 s CD 质量的声音或 0.04 s 广播质量的视频。
- 4 GB,能够存储一部普通的正常长度的电影。

新的存储设备能将存储量提升到 1 TB,这样的存储设备可以存储 250 部未删节的电影。

如今可用的存储介质较过去有了极大的改进,但是与将来我们能够看到的介质相比根本不算什么。目前,CD-ROM 能提供 650 MB 的容量,DVD 存储量为 4.6 GB~17 GB,所支持的

① 1 in = 2.54 cm。

传输速率为 600 Kbps~1.3 Mbps。也有一些令人兴奋的新型存储设备正在开发之中，包括细菌蛋白质内存、全息存储系统和磁传感器。

细菌蛋白质内存

在我们的地球上，视紫红质菌（BR）是生命的首要基本成分之一，至少在 23 亿年以前，蛋白质是由盐沼菌生长而来的，它有可能成为未来计算机存储和运算的主流。BR 是一种极小的低级蛋白质，经过数亿年的演变，将光转换为能量已经极为有效。作为一个生物物质，蛋白质也能够使数据以三维形式存储，就像在人的大脑中一样。

BR 记忆棒也称为存储池，是一个尺寸约为 1 cm × 1 cm × 3 cm 的透明介质。每一个 BR 棒所拥有的容量可存储国会图书馆的数据，大约是 10 TB 的信息。对于普通消费者，BR 记忆棒将减小使用成本，增强离线数据存储的便携性。科学家估计一个 10 GB 的存储池成本大约为 10 美元。如果花费 100 美元，就可以存储你需要的所有东西。可以将存储池放在你的口袋里带回家，并插入电脑中使用。科学家也预言了蛋白质在高空卫星成像中的运用，它天生具有不受伽马射线辐射影响的特性，能够保证其所存储数据的安全，可以避免太阳风暴和其他高能辐射的影响。

全息存储系统

为了获得巨大计算机能力的全方位光计算环境，具有快速接入和大容量的存储器是必需的。全息存储设备，是一种面向页面的设备，它是以光的形式来读写数据的。全息技术要求有很高的存储密度和快速接入时间。全息技术记录来自三维目标的信息，采用该方式随时可以构建三维图像。利用全息数据存储，用如今 DVD 碟片大小的空间，就可以存储超过 1 TB 的数据。由于这种系统没有移动部分，并且其页面是并行接入的，因此数据吞吐量估计将达到 1 Gbps 甚至更高。

磁传感器

微小的磁传感器可能帮助提高下一代计算机盘片的存储容量，突破技术障碍。这种传感器是一种在显微镜下才可见的镍晶须，只有几个原子大小的宽度（比可见光的波长还要小），能够检测极其微弱的磁场。太比特的数据能够存储在一个 1 in² 的盘片中。

带宽

除了处理能力和存储量之外，数字世界的第三个关键度量标准是带宽。术语“带宽”来源于电磁场频谱的可视化，其中频谱被分为多个频带。每个频带通道有一个相应的宽度，用赫兹或每秒多少个周期表示。频带越宽，所能承载的信息也就越多。信息传递速率以每秒多少个比特表示。表 1 中列出了描述不同带宽数据速率的常用单位。

表 1 常用的带宽单位

单 位	前缀意义	传输速率
千比特每秒（Kbps）	千 = 10 ³	10 ³ bps
兆比特每秒（Mbps）	兆 = 10 ⁶	10 ⁶ bps
吉比特每秒（Gbps）	吉 = 10 ⁹	10 ⁹ bps
太比特每秒（Tbps）	太 = 10 ¹²	10 ¹² bps
帕比特每秒（Pbps）	帕 = 10 ¹⁵	10 ¹⁵ bps
安比特每秒（Ebps）	安 = 10 ¹⁸	10 ¹⁸ bps

尤其是在过去的 10 年，网络已经开始承载越来越高的数据速率。Gbps 网络如今已常见，Pbps 网络也开始出现，Ebps 网络能期望在 5 年内出现。

带宽和传输速率有什么实际的意义呢？带宽越宽，速度越快，意味着下载时间就越短。来看下面的例子：

文件的类型和大小	下载时间 56 Kbps (窄带)	768 Kbps (宽带，如 DSL)
滑雪出行照片 (1 MB)	4 min	25 s
流行音乐 MP3 (1.5 MB)	6 min	40 s
游戏演示 (2.5 MB)	10 min	60 s
展销会演示文稿 (6 MB)	25 min	2 min

更短的下载时间即意味着更高的效率。20 世纪 90 年代末，大部分经济增长是新通信和 IT 产品所导致的生产力的增长。与那些使用拨号上网的人相比，采用宽带的员工有更高的生产效率。一个国家的生产率越高，经济也就越强。

为了更好地理解带宽对传输时间的影响，这里以下载美国国会图书馆全部的资料为例来说明。表 2 给出了用不同速率进行下载所需使用的时间。

表 2 下载国会图书馆全部的资料所需传输时间

数据速率	传输时间
2400 bps	1900.0 年
56 Kbps	81.5 年
1.5 Mbps	3.0 年
1.7 Gbps	23.5 h
10 Gbps	2.35 h
100 Gbps	14.1 min
1 Tbps	1.41 min
1 Pbps	8.26 s
1 Ebps	0.826 s

我们并不需要下载国会图书馆的全部资料，也许一生中也不需要，但是需要传输大量其他类型的数据。如今，我们正进入一个应用对带宽要求很高的时代，如表 3 中所列出的应用，将要求 Pbps 的网络，最终是 Ebps 的网络。

表 3 不同应用对骨干网带宽要求

应 用	骨干网带宽要求
在线虚拟现实	1000 Tbps 至 10 000 Tbps
3D 全息摄影	30 000 Tbps 至 70 000 Tbps
网格计算	50 000 Tbps 至 200 000 Tbps
Web 代理	50 000 Tbps 至 200 000 Tbps

什么技术能够提供所需要的巨大带宽以实现这类新兴的应用呢？当然，最大的贡献之一来自于光这个舞台。微流体光纤和集成光芯片的发展将我们带入了拥有富裕带宽的全新时代。当接入线的带宽容量达到或超过 100 Mbps 时，将需要扩展核心网的容量。在本书第三部分中，将讨论下一代网络的基础结构，其中将重点讨论光核心和光边缘的新技术。现在，我们来看看摩尔定律在光带宽中的等效模型：单个波长上每秒内所承载的比特数每 12 个月会增加一倍，

单根光纤中波长数每 12 个月也会增加一倍，结果使得传输一个信息比特的成本每 9 个月就会下降 50%。

无线领域中的众多发展让我们受益匪浅，它保证了设备的灵活性和移动性。在第四部分中，将探讨无线领域的相关问题。

X.2 适应新的流量模式

信息共享能够通过多种方式进行，例如通过烟雾信号，通过邮政服务由信件传递，或通过电或光介质传输。在了解产业技术细节之前，重要的是要理解计算与通信背后的驱动力。需要理解这些驱动力对网络流量的影响，进而理解对网络基础结构的影响。

电信革命已经开始蔓延，业务流量及其种类已大大增加，如果将人类的感知加入并作为网络的一部分，则还将看到更多类型的业务。后续的章节会具体讨论处理各种流量类型的网络需求。

业务类型

在当前的数字环境中，业务之间的传统差别不再有实际意义。最终，所有事情就是一系列的 1 和 0。尽管如此，在带宽需求、时延和分组丢失容限等方面还存在着特殊要求，因此仍然要考虑不同业务类型之间的差别。在今天的环境中，电信主要包含四种业务类型，即语音、数据、图像和视频，每一种业务类型在网络容量、时延容限和潜在拥塞容限等方面都有不同的要求。

语音业务

语音业务多年来在发达国家一直占有很大的比重，越来越多的用户线几乎是全时段使用的。然而，世界大约有 30 亿人从未使用过电话，因此仍然存在巨大的市场有待开发。语音通信通常被认为是窄带通信，也即意味着它们不要求有较大网络容量。但是要注意的是，大多时候语音被作为一个单独的范畴列举出来。在数字时代，语音本质上与数据和图像没有什么不同，它们都是在网络上被交换的“1”和“0”比特流。然而，为了使语音易懂，时延必须保持最小，所以在将语音信息从一点传至另一点时，时延因素必须被严格控制，以真正支持实时语音流。数据分组丢失也必须得到控制，因为少量的分组丢失会导致咔嚓声，大量的丢失则会使得会话无法理解。

数据业务

术语“数据通信”是指设备间数字化的文本和文档的交换。数据包括许多不同的信息类型。在过去，我们将视频、语音和视频会议这些不同类型看成是不同的实体，但在将来不会以这种方式区分，因为所有数据都是由 1 和 0 组成的。也许最好是认为传统的数据包括文本和文档。带宽及容量要求可在较大范围变化，具体则取决所要支持的应用。当自然界中越来越多的可视化对象（如图像和视频）被列入数据的范畴，数据通信对容量的要求也日益增长。不同类型的数据应用在时延容忍度上差别较大。基于文本的数据交换通常对时延的容忍度很好。而实时信息数据（比如视频），需要进行比较严格的控制以克服时延。

数据业务比语音业务的增长速度要快得多，在过去的 10 年中，它平均以每年 30%~40% 的速度增长。为了容纳数据通信，网络服务在不断发展，以满足更大的容量、更好的传输设备和更智能的网络管理工具的需求。

图像业务

图像传输有中高等的带宽要求：分辨率要求越高，带宽要求也就越高。例如，许多医学诊断图像要求非常高的分辨率。图像业务可容忍一定程度的时延，不会由于网络中的时延造成假象。

视频业务

视频业务如今已变得越来越流行，同时对带宽的要求也越来越高，它们对时延非常敏感。未来将是可视化的通信，我们需要解决如何在网络上使视频得以应用的问题，并且价格适中。当网络基础结构能够支持实时应用对容量和时延限制的要求时，视频业务将跳跃性地增长。

日益庞大的骨干网和不断增长的带宽

全新的语音、数据和视频业务意味着骨干网流量不断提高。迄今为止我们已经讨论过的许多发展都将要求有巨大的骨干网带宽。另外，宽带接入技术的发展也会驱动骨干网附加容量的应用需求。当 100 Gbps 宽带家庭接入可用时，核心网络所要求的容量将以 Ebps 来计算。这样巨大的骨干网带宽要求，使得光网络和无线宽带对我们的将来非常重要。

处理新型应用

新的业务模式意味着下一代网络将承担一系列新的应用，这些应用不仅仅是简单的语音和文本数据，还包括许多融合各种媒体类型的新应用。

网络中处理数字娱乐应用的能力是至关重要的。在世界上某些地区，比如亚洲，教育可能是首要关注的问题，它将告诉我们哪些是我们期望能够获得更大发展的方向。但很多地区，娱乐是人们愿意花钱去获取的电子商品和服务。日益壮大的数字娱乐领域包括视频剪辑、数字创作、数字成像、三维游戏和虚拟现实应用，所有这些都驱动着网络的变革。它就好比是鸡和蛋的故事：到底是谁先出现呢？网络还是应用？如果没有什么好的东西需要传送，为什么需要光纤宽带连接呢？如果没有方法来分配流量，为什么想要创建一个三维虚拟现实应用呢？底线就是应用和基础结构是交错发展的，从而证明了其好处以及我们为其前景所花费的意义。

另一种越来越重要的应用形式是流媒体。信息的实时传递已作为一个重要的关注点，比如在娱乐、教育、培训、消费者陈述、IPO 商品展览和远程医疗会诊等方面。

电子商务和移动商务在内容管理、事务处理平台和隐私安全工具上引入了新的要求，从而影响信息的类型，这些信息必须被编码成基本数据流，同时也影响着网络对包含在数据分组中信息的处理方式。

X.3 ICT 趋势驱动宽带革命

智能时代和新一代网络有潜力改造 ICT 产业并永久性地改变电信现状。许多重要的 ICT 发展趋势驱动着宽带革命，包括嵌入式设备、智能服装、人机交互、网络计算和实时通信。

嵌入式设备

如今用于互联网通信的设备，包括 PC、管理器、电话和移动设备，存在两个问题：一是对于人类的行为它们是不平等的，二是它们常常是阻碍信息交换和处理的瓶颈。

意识到处理这种现实的需求,世界范围的研究工作都在追求泛在的计算境界,也就是所谓的无处不在的普适计算。这种情形下人们会将计算机从机箱中取出来,放在普通的常用物件之中。嵌入式设备将被集成到较大的系统中,在系统中它们会执行控制功能并和互联网上其他的成员通信。数以亿计的这类微处理器,其中许多是我们所看不到的,将被用于各种情形中。

嵌入式设备将在以下三个方面影响泛在计算。

- **智能标签,特别是射频识别(RFID)**——RFID可用于在几厘米至几十千米的范围内识别目标和人,识别距离取决于所用的频率、标签尺寸和识别器。RFID的应用正在增长,包括传输、消费产品鉴定、药物和血液ID和保存期限信息、患者识别、智能屋和新世代纺织品。
- **智能设备**——包括仪表、设备、汽车、工业产品和医学设备、服装、辅助设备和构件。
- **智能办公**——工作场所的室内用品将保证更高的效率和更好的工作条件。传感技术将支持特殊环境的自动配置或提供研究内容。

下面将讲述一些新出现的嵌入式设备。这些设备可能用得很好,也可能不好,主要取决于确保这些新兴技术能否改善我们的生活,而不是侵犯我们的隐私。在这样一个勇于技术创新和到处都有嵌入式智能设备的年代,我们都肩负着重大的责任,以努力保证新的工具能真正用于促进人们的合作、协同发展和交流。

家用嵌入式设备

如今存在的一些嵌入式设备(比如一台带有LCD面板的冰箱),它允许你浏览电子邮件甚至可能进行视频会议。如果冰箱能与智能标签食品盒交互,则它可以告知你所存放食物的状态、保鲜期以及它们的存放顺序。

另一个例子是智能洗衣机,它能够读取服装或织物中的RFID标签,从而可依据织物的结构和年代确定洗涤周期。

智能相框则允许你的朋友和家人将相片发给你,使得你可以经常从你所爱的人那里获得可以让你放松的信息。智能冲浪板允许冲浪者在等待一个完美的海浪时与同伴即时交互信息。还有智能咖啡壶、防烧焦烘烤机、智能桌布、智能名签、可自动调节的智能螺丝刀以及不需要簸箕就可以收集地面垃圾的智能垃圾箱。

我所喜欢的新兴嵌入式设备之一是装有无无线传感器的智能病床,它能够测量脉搏、呼吸和躁动率,病人只需躺下检查就会发送诊疗信息。这些信息也可用于跟踪受照顾者的活动或被送至中心护士站。这一研究的目的是为了改善病人的家庭护理环境并自动对所提供的护理等级归档。这只是众多项目的范例之一。你可以很容易地发现这类研究的商业应用:当你在夜间睡觉时,病床会进行各种测量,包括体温、心跳和呼吸。当你醒来时,它会告诉你相关信息。它可能会告诉你辗转反侧了10次,并建议你做一些瑜伽运动,同时提供一个可以帮助你完成这些运动的Web代理。

如今沉默不语的浴室将来也可能是智能的。当你刷牙时,牙刷将采集你的血压并查找牙洞;当你照镜子时,一个小型摄像头将会扫描眼睛以检查糖尿病或动脉硬化情况,或者其他能够通过人眼发现的上千种疾病中的任何一种;当你去盥洗室时,它会检查什么东西在里面。如果你忘记带药,盥洗室会知道并提醒你。在不久的将来,智能房间将成为一种医疗救助手段。

嵌入式移动设备

许多移动智能设备已被开发出来，比如智能药丸盒。当你忘记带药时，药盒会发送一条短消息到你的移动设备上或直接呼叫你；如果没有打开药盒取药，它会与你的护理员联系。

另一个智能辅助设备——交互式名签——在大型会议上特别有用。可以将多种信息编程写入名签中，如你的名字、称谓、公司地址和访问号码，以及你的特殊嗜好。当你和另一个配戴有这样的名签的人在会场相遇时，就可自动获知你们是否有需要交谈的共同点。

新型衬衫移动电话是一种以新型表达方式来展示的灵活显示屏：一个人穿着上的个性化图案反映了他或她所处的环境、爱好、情绪等。用户会选择他们想充分展示自己的信息，包括图样、标志符、动画或短语，这些可能是他们自己创作的，也可能源自别人。

汽车工业是嵌入式设备活跃的另一个舞台。如今的汽车越来越多地配备多种通信设备，包括视频监控、导航系统、互联网连接、移动电话和嵌在方向盘中的蓝牙通信设备，当然还包括乘客娱乐面板。汽车不再是一个简单的交通工具，如今它可以是一个办公室或娱乐中心。

有关智能汽车和智能高速公路的一件有趣事情是：网络结构的选择已发生变化。几年前，我们在寻求一种沿公路放置的机架站所组成的高速公路系统，这些站与关注交通管理信息和路线选择的车辆相互通信。如果无线局域网方面取得足够进展，则可将这种基础结构用于智能车辆和公路中，它本质上是将每一辆汽车作为网络上的一个节点。这是802.11x无线局域网的一个非常吸引人的应用，或者是众多新兴无线城域网技术中的一种。在这种情形下，当汽车巡游于城市或乡村之中时，它们可将相关信息中继给其他需要关注道路条件、事故或可能重新选择路线的车辆，以最大程度地提高行车效率。这样，每一辆汽车都变成了一个网络，该网络基于汽车自身以及大型虚拟汽车互联网中的一个子网。

使用 RFID 的智能植入

嵌入式智能终极情形是将智能植入人，而不仅仅是嵌入到设备。如今有数万人通过耳蜗植入能够获悉鸟的歌声或调情耳语。现在已取得许多令人兴奋的发展。例如可用于多种目的的生物植入物，从个人方位（用于人们为保护孩子或确保知道他们在哪）到医疗保健（个人的完整病史都存于芯片上）以及金融信息（使你不再需要钱包或信用卡，而只是需要简单将手臂从扫描器上过一下）。

另一个智能植入的例子是用于糖尿病治疗的RFID生物传感器。一种称为糖尿病药泵的神奇植入物已经上市。在此基础上人们所取得的另外一个更大的突破就是带有生物传感器的植入泵，它可以监控血糖值并持续地提供适量的胰岛素。

RFID和芯片植入技术广泛用于银行、加油站、医院、驾驶证办理部门、学校、军队、汽车、电话和移动电话、电视、计算机系统、监狱、政府、车间、公司、酒吧、旅馆和私人俱乐部，换句话说，它们无处不在。

智能服装

服装的演变真正是一个令人兴奋的新领域。史蒂夫·曼恩，多伦多大学教授，就是可穿戴计算领域的一位倡导者，也是一位颇具争议的奠基人。曼恩已致力于智能服装研究20余年。20世纪80年代早期到90年代中期，他所研制的服装具有相应的功能，但尺寸很大，很笨拙。到90年代末，他的智能服装可被看成是一副太阳镜和一部移动电话。

从分子加工到由考古挖掘物激发的灵感而得到处理方式,研究人员一直在寻找各种新的方法以得到合身的服装,创造未着色的服装和颜色绚丽的智能服装。这些服装可屏蔽污染,帮我们找钥匙,为我们读邮件,释放吸引完美异性的信息素。或帮助我们保护隐私,防止植入身体及以插入个人电子设备的 RFID 芯片被非法接入。

商业人士、普通消费者和世界范围内的年轻人正使用越来越多的便携式电子 ICT 装置,如移动电话、PDA、数码相机、MP3 播放器、游戏平台,等等。电子织物则作为一种用途更多、外形更端庄的选择出现。衬衫、毛衣、鞋子、地毯或墙纸都可能有电子设备嵌入其中。

纳米技术的进展同样也找到了它在流行时尚中的位置。碳纳米管的发现,以及近期在处理其传导特性取得的进展,吸引很多公司竞相开发新一代的智能服装。任何可用的技术都将用于将衣物做得更加完善,以至于不能分辨人们穿的究竟是纺织品还是设备。

未来服装的计划涉及的范围很广,包括灵活的电子计算显示,即一种能改变图案、影像和装饰花样的装置。温度传感纤维能被植入神经组织。军队正筹措资金研究终极伪装:能够响应电子指令而改变颜色和装饰的变色织物。智能将可能由光电纤维激励,将光和热转换成多种功能。

人机交互

人机交互领域覆盖一个很宽的范围,包括情感计算、脑机接口、软件代理、扩充现实、虚拟现实、远程沉浸和成长中的机器人。目前,计算一般只响应键盘输入和鼠标移动。用户必须学习专门的操作来控制机器,而不是依靠其自然交流能力。

ICT 的发展越来越关注创造强大的人机接口。这些新兴的物理接口能够用于控制,不仅包括声音,还包括手势、触和模仿。甚至通过人脑的电波流也可能被利用。人主要有 5 种直接获取信息的渠道:看、听、闻、触和尝;两种输出信息渠道:说和肢体运动。而机器有许多的输入输出通道,但如今它们被人的能力范围所限制。以后将允许直接使用人的交流渠道,包括思想、情感、脑电波和视线追踪。

情感计算

情感计算实质上是给计算机建立情感,它使计算机能够记录人的反应、识别行为模式。穿戴式计算机在服装内嵌入了多个能够存储生物生理参数并能与计算机交互信息的传感器。生物特征识别技术开创了基于个人唯一生理特征的安全应用,这些生理特征包括声音、指纹、手掌几何特征、脸型和眼球虹膜结构。

情感计算的一个目标是建立能够感知用户情感状态的计算机系统。你可以想象一台计算机能够发觉你的沮丧和踌躇心理而帮你解决问题的情形。实现这一目标的一个方法是通过穿戴式情感计算,即在服装内置有尺寸很小的但功能强大的计算机,使用对人体无害的生物传感器感知生理变化,这些生理变化正好反映了情感状态上的变化。

情感珠宝工程是努力创造舒适的、符合审美观念的低成本生物传感器饰品,并且能与现有的各种服装相搭配。皮肤传导率传感器已经被集成到戒指和鞋子中,耳环也被用来做成血压传感器。

情感计算领域里的另一个例子是表情眼镜,它可在人们演讲过程中给予帮助。在演讲中,听众可配戴这样一副眼镜,用于监视其身体状态。演讲者在台上可通过眼镜得知听众的感受,

如是否感到迷惑,是否觉得无趣,是否已经理解或者是否感兴趣和兴奋。演讲者可以实时地调整其表述以满足听众的要求。

脑机接口

脑机接口是另一个前沿研究领域,它允许计算机能够被人的思维能力控制。这种接口类似一顶帽子,帽子里装有100个电极,当用户戴上帽子时,这些电极可测量人脑电波流。然后脑电图信号被放大,噪声脉冲被滤除。接着信号被传到计算机,并由专门开发的学习和信号处理算法在线转换成控制指令。这种设备目前正处于试验阶段。

许多这样的研究开始在医疗保健中应用,用于那些在意外故事中由于撞击或脊髓损伤而受伤或瘫痪的人。实际上,一个微电极阵列能被植入大脑运动皮层以允许一个瘫痪者通过想象让指针移动。这种设备可帮助那些丧失行为能力的人与计算机交互。

以上的发明及技术发展迅速找到其商业用途。有的公司正准备推出第一款脑控电子游戏。作为一名游戏者,只需戴一顶特殊的帽子,就可按照你的想法,移动游戏中的对象。如果希望游戏人物移到左边,则只需要简单想一下,他便会照做。

软件代理

软件代理可执行预定任务和过程。高级代理可按用户的想法来配置,它们可被自动激活并能独立地做出决定。当需要做决定时,代理可通过执行预定任务或提交建议来支持用户。它们能注意到任何变化并对外部事件做出响应。在人性化的代理系统中可运行多种数字助理:

- **智能代理**——智能代理能草拟它们自己的结论并独立做出决定。
- **用户代理**——用户代理能执行命令、指导谈判以及独立与其他代理交流,就像用户的替身一样。
- **协作代理**——协作代理完成联络功能,分析和解释用户任务并判定哪一个功能代理是适当的。
- **功能代理**——功能代理包含执行某个特殊功能的具体知识要求。

语义 Web

新型的、更加智能化的互联网是不同软件代理间相互通信的关键需求。这种新的网络不仅能传输信号,同时也能理解其意义。语义网,或者说语义 Web,是 Tim Berners-Lee 当前正在从事的工程。语义 Web 的目标包括精炼索引和搜索,以及结构信息的增强处理。例如,可以对比科学数据搜索商务文档,或者也可以区分作者与演员的区别。另外,语义 Web 在科学仪器的指挥与控制以及标记数据中起着重要作用,它在数据采集和数据存档上也非常重要。

语义网是一个非常吸引人的开发领域,在这里鼓励大家多去了解它。

软件代理必须能协调工作并具有授权功能。作为一个使用软件代理的例子,电子旅行支持业务正在开发中。该项目的任务是通过结合运输手段和旅行信息来优化旅行。使用一台连接互联网的个人电脑、移动电话或其他移动设备,旅行者可与个人旅行助理(PTA)建立联系。代理可完成各种服务,如获取天气和铁路信息,预订酒店和餐馆,持续提供交通信息。例如,如果用户没有驾驶证,PTA 将自动为你提供一个火车旅行方案,而不是采用租车的方式。对于驾驶员,它能够提提供来自于控制中心的最新交通信息或者识别特殊的停车系统。