

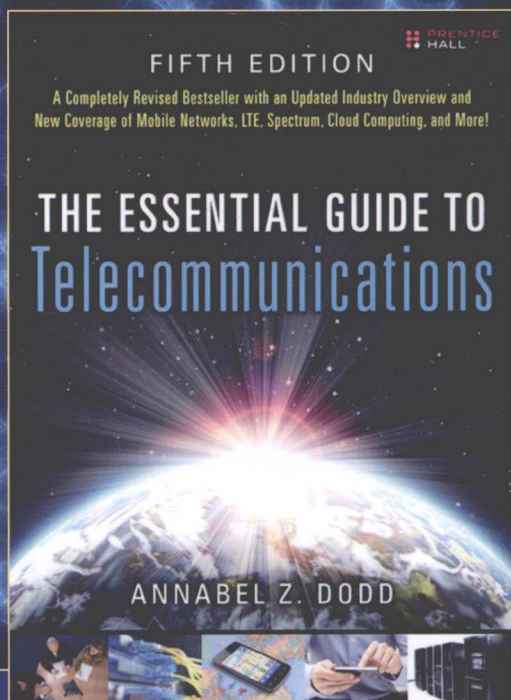
# 通信技术导论

(原书第5版)

[美] 安娜贝尔 Z. 多德 (Annabel Z. Dodd) 著

唐艳华 张选涛 译 赵志 审校

*The Essential  
Guide to  
Telecommunications  
Fifth Edition*



机械工业出版社  
China Machine Press

# 通信技术导论

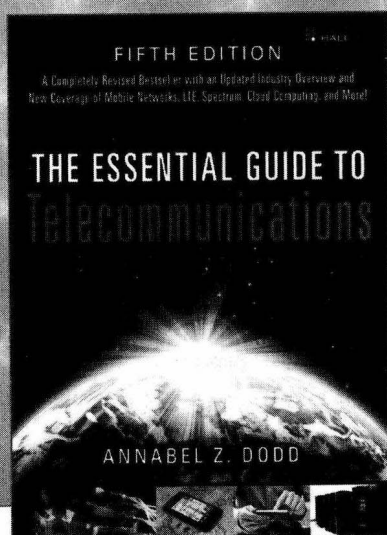
(原书第5版)

[美] 安娜贝尔 Z. 多德 (Annabel Z. Dodd) 著

唐艳华 张选涛 译 赵志 审校



*The Essential  
Guide to  
Telecommunications  
Fifth Edition*



## 图书在版编目 (CIP) 数据

通信技术导论 (原书第 5 版) / (美) 安娜贝尔 Z. 多德 (Annabel Z. Dodd) 著; 唐艳华, 张选涛译. —北京: 机械工业出版社, 2016.10

(国外电子与电气工程技术丛书)

书名原文: The Essential Guide to Telecommunications, Fifth Edition

ISBN 978-7-111-55035-8

I. 通… II. ①安… ②唐… ③张… III. 通信技术 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 239236 号

本书版权登记号: 图字: 01-2012-8342

Authorized translation from the English language edition, entitled The Essential Guide to Telecommunications, Fifth Edition, 9780137058914 by Annabel Z. Dodd, published by Pearson Education, Inc., Copyright © 2012.

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 China Machine Press Copyright © 2016.

本书中文简体字版由 Pearson Education (培生教育出版集团) 授权机械工业出版社在中华人民共和国境内 (不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区) 独家出版发行。未经出版者书面许可, 不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

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

## 通信技术导论 (原书第 5 版)

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 谢晓芳

责任校对: 董纪丽

印刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版次: 2016 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm × 260mm 1/16

印张: 16.75

书号: ISBN 978-7-111-55035-8

定价: 59.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

## 出版者的话

文艺复兴以来，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的传统，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，信息学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅擘划了研究的范畴，还揭示了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的信息产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对我国教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短的现状下，美国等发达国家在其信息科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀教材将对我国教育事业的发展起到积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，我们就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力，我们与Pearson、McGraw-Hill、Elsevier、John Wiley & Sons、CRC、Springer等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从他们现有的数百种教材中甄选出Thomas L. Floyd、Charles K. Alexander、Behzad Razavi、John G. Proakis、Stephen Brown、Allan R. Hambley、Albert Malvino、Mark I. Montrose、David A. Johns、Peter Wilson、H. Vincent Poor、Dikshitulu K. Kalluri、Bhag Singh Guru、Stephane Mallat等大师名家的经典教材，以“国外电子与电气工程技术丛书”为总称出版，供读者学习、研究及珍藏。这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也越来越多被实施双语教学的学校所采用。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑，这些因素使我们的图书有了质量的保证。随着电气与电子信息学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外电子与电气工程教材的需求和应用都将步入一个新的阶段，我们的目标是尽善尽美，而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方式如下：

华章网站：[www.hzbook.com](http://www.hzbook.com)  
电子邮件：[hzit@hzbook.com](mailto:hzit@hzbook.com)  
联系电话：(010) 88379604  
联系地址：北京市西城区百万庄南街1号  
邮政编码：100037



华章科技图书出版中心

## 本书赞誉

“安娜贝尔的这本书提供的历史和背景，使现代企业的根本性支撑技术更容易获得技术专家和企业家的一致认同。在通信领域的不断发展中本书是一本重要的入门指南。”

——汤姆·霍普克洛夫特，Mass Technology Leadership Council 总裁和首席执行官

“安娜贝尔的书从宏观角度清晰地概述了相关行业和技术的现状。这本指南有助于读者熟悉重要的创新和关键的技术。这确实是一本关于移动、互联网和网络服务的行业圣经。”

——海华沙·布雷，《波士顿环球报》科技记者

“本书提供了重要的资源。所有的版本都以这种形式撰写，使得非技术人员和工程师都从中受益。本书揭示了电信（技术和监管）行业的正在发生的所有变化。当我走过电信办公室时，我总是在书架上看到她的各种版本的书。如果你想要一本关于电信的简明大全，非本书莫属！”

——罗尼·帕吉特，美国国家电信协会西南地区董事

“在信息和电信系统的学位课程中，有段时间我使用了本书以前的版本作为入门课程。因为这是一门独立的 IT 学位课程，所以我们需要一本在技术、管理和监管 / 政策主题方面覆盖面广的教科书。本书提供了大量易懂和准确的方法。这是在我的课程中少数使用效果较好的必修教材。”

——汉斯·克鲁斯，俄亥俄大学信息和电信系统教授

“安娜贝尔在阐明甚至最复杂的电信政策方面是一名艺术大师。在第 5 版中，她分享了在电信领域中如何学习、共享信息、开展业务和休闲娱乐的一系列问题。其具有启发性和易懂性，是对通信政策感兴趣读者的必备启蒙书。”

——国会议员爱德华·马基，美国贸易和消费者保护组织电信小组委员会委员

“在当今到处充斥着‘高科技’、‘强买强卖’、‘立即购买’等词语的社会中，‘基本’这个词语已经被滥用了。然而，对安娜贝尔的这本书来说，无法用语言准确地表达其影响力和重要性。对于从 IT 门外汉和新技术人员变成经验丰富的网络和电信工程师的每个人来说，本书是必备的，也是必不可少的。”

——鲍勃·沃伦，帕森斯设计学院 IT 基础设施分析师

“本书堪称电信类书籍中最有用的和写得很好的一本书。安娜贝尔做了重要的工作，概述了当前电信行业的状况。即使是那些零基础的读者也应该能够理解本书。如果销售人员想深入了解他们售出的产品和服务，如果电信类技术人员想实时了解最新的电信技术，建议阅读这本完美的书。”

——威廉·范·海夫纳，Vantek 通信公司总裁

“对人们来说，本书是电信领域一本易懂的、有用的优秀指南。作为一本领域指南，作为参考书，以及作为电信历史和策略的评论，它绝对是一流的。”

——安德鲁·艾伦塔克，多伦多《金融邮报》专栏作家

“安娜贝尔女士为电信行业提供了一本优秀的、全面的书籍。与以前的版本一样，她兼顾了技术信息和感兴趣的人能轻松理解的商务信息的平衡，这是当今商业环境中的关键因素。在新版本中，她捕捉到了那些在未来几年影响每个公司的动态变化。我强烈推荐本书给那些想要更好地了解电信的人”。

——乔麦·克格拉斯，Sunovion 制药公司信息技术部门高级副总裁

“对我的 MBA 学生来说，在过去研究复杂的技术问题并把它们转化为可操作的商业项目时，安娜贝尔的书一直非常有帮助。她的书不掩饰细节，但也解释了在 21 世纪的信息时代什么是重要的。”

——安德鲁 (Andrew Urbaczewski) 博士，密歇根大学迪尔伯分人校  
管理学系系主任、副教授

## 前 言

移动网和因特网的创新消除了地理上的距离造成的沟通障碍。处于不同国家的人们可以通过移动终端、电脑和固定电话方便地进行交流和通信。出国留学的学生和因工作移居海外的人们通过 Facebook 和百度等社交媒体，以及 Skype 等互联网呼叫服务与朋友和家人进行联系。

无线和有线互联网接入的广泛普及是新的创新型公司成立的一个重要因素。在过去的 20 年中，住宅宽带和商用电脑得到了广泛普及，这催生了利用互联网低成本的优势进行分销服务的新业务。这些企业都有一个共同点：领导者不仅高瞻远瞩而且渴望成功。例如亚马逊的创始人杰夫·贝佐斯，他为消费者阅读评论书籍和产品开发了创新的方式，并简化了采购流程。史蒂夫·乔布斯对苹果公司的愿景是研发出高质量、创新且易于使用的电脑、便携式音乐播放器和平板电脑。基于互联网的公司也已改变了零售和企业对企业（B2B）的商业模式。图书的出版、销售，以及音乐、电视节目和电影的出品，都只是整个经历巨大转变的行业中的冰山一角。

全球范围内可支付的移动服务极大地促进了通信的发展。但在移动网络实现全球普及前，很多人甚至从未使用过基本的电话服务。拉丁美洲、亚洲部分国家和非洲的通信是昂贵和繁琐的。

通过促进总部和远程办公人员之间的通信，移动网络使企业在全全球开展业务变得更加容易。然而，在许多新兴经济中时常因基础设施差（例如电气特性不一致、道路无法通行）给企业发展造成了阻碍。此外，拉丁美洲部分地区、亚洲某些国家和非洲的高贫困率则意味着大多数人只能购买价格低廉的移动服务。这些都在一定程度上限制了运营商的收益，并且打击了网络发展的积极性。

移动服务在新兴市场的拓展为来自欧洲、中东和亚洲某些国家的老牌运营商创造了发展机遇。西班牙电信 Telefónica 如今是拉丁美洲的第二大运营商。在那里，它经历了高速增长，因为在过去的 10 年里大多数人都首次订阅了移动服务。相反，它在欧洲的业务只有较低的收益和增长。

移动网络对那些有线宽带资源非常匮乏的国家有着特别显著的影响。在这些国家中，人们往往将移动电话作为首选的电子通信方式。低成本移动设备的普及也在积极影响着发展中国家的经济和居民生活。例如，手机银行使人们足不出户便可以利用智能手机实现入账和账单支付。

移动数据网络和语音网络的发展使网络容量变得紧张。面对这样的形势，移动运营商正将网络升级到 4G（第四代）协议，如 LTE（长期演进）和 WiMAX2（微波接入全球互操作性 2）。这些升级将首次为许多新兴国家和农村地区的小企业与消费者提供高速的互联网接入。

然而，网络升级成本很高昂。出于这个原因，许多运营商选择了一种折中方案，这种升级方案可以提高速度，但不能像 LTE 和 WiMAX 一样提供尽可能多的容量。从长远来看，随着制造成本的降低，大多数运营商将升级到第四代网络。

但是，互联网性能的改善有其不利的一面：隐私的暴露和政府的监控。

然而，互联网监控行为是一个重要工具，可用于挫败那些对业务发展、国家安全、关键网络稳定性、供水系统和电网等产生威胁的网络安全攻击。对战略资源的一次严重攻击有可能导致国

家陷入瘫痪并造成大范围的损害。

在线监控行为的另一个案例是企业追踪个人的浏览活动。例如，当消费者下载应用程序、浏览互联网或填写调查表时，企业常常收集一些信息，如年龄、住址、教育程度和性别。互联网公司往往在没有得到消费者同意的情况下，向那些营销公司销售这些数据，旨在利用这些信息来制定针对特定人群的广告策略，从而导致消费者对个人信息的使用失去了控制。

互联网和无线服务已经改变了消费者和企业访问、存储程序和文件的方式。为了节省人员配置和运营成本，企业正在使用云计算。在云计算环境中，电子邮件、人力资源、销售自动化和应收账款都通过互联网在提供商的数据中心进行管理。家庭用户也接受了云计算，并用它来存储和播放音乐、创建文件和存储备份文件。

那些不愿意将关键应用交给外部提供商控制的公司，正利用新的技术来支持集中式应用，因为这样只需要更少的空间和能源，并且只需要更少的全职员工来维护。

通过采取集中式服务和削减分支机构以减少所需人员的方式，可使数据中心的操作更加高效。有些公司也引入了服务器虚拟化，即将多个应用程序和操作系统安装在一台服务器中。这减少了所需服务器的数量，节省了空间和能耗。

更高速率、更加可靠的网络是实现这些性能的重要因素。由于各种基于网络的服务不断膨胀，网络的临界值也随之增加，如对更高速度和更大容量的需求。消费者和商业机构理所当然地使用优质的网络。然而，运营商需要投入巨资升级有线网络来满足容量和连通性需求。

移动和固网运营商整合的趋势正在全世界蔓延，同时许多提供商也在全球和全国开展业务。部分国家通常由两个或三个提供商掌控大多数的网络运营。这种低水平的竞争不仅导致了高昂的互联网接入价格，还降低了网络创新的动力。相反，在印度这样拥有大量移动运营商的国家，竞争带来了低价格的移动服务。然而，低价格也导致了低利润率。

移动服务的廉价性和互联网人口比例的不断增长带来了难以解决的问题。例如，在具有强大网络的国家中，商业组织希望总是可以通过电子邮件和短信与员工保持联系。这使人们难以对工作“置之不理”，也就很难有一个真正的假期。

同时存在一个具有挑战性的问题：如何既保护国家安全和防止黑客侵犯个人财务数据又在政府的监控下保护居民个人隐私权。此外，对于如何在保护消费者隐私权的同时承认企业需要监控消费者的浏览行为来了解市场，也存在挑战。这些棘手的问题是无法单靠技术得以解决的。



## 致 谢

感谢那些花费时间与我交谈并分享他们在电信行业多年工作经验的人。以下就是给予我帮助的人：Alcatel-Lucent 公司产品营销经理 Bhavani M. Rao 和高级产品销售总监 Steve Kemp；ARM 公司北美市场营销经理 Ken Havens；Avalya 通信公司分析师 Rachel Winett Lamont；BJ 批发俱乐部的电信经理 Lori Geoffroy；BroadSoft 公司联合创始人兼首席技术官 Scott Hoffpauir；切斯特菲尔德县学区技术总监 Adam L. Seldow 教育博士；Ciena 公司市场部总监 Dave Parks；思科公司云计算市场策略员 James Urquhart；Cloudswitch 公司（现为 Verizon 公司的一部分）创始人兼首席技术官 John Considine；Farpoint Group 公司负责人 Craig Mathias；谷歌 WebM 项目经理 John Luther；Harteras 网络公司营销和产品线管理副总裁 M. Vijay Raman；Interactive Video Technologies 公司总裁兼首席营运官 Chris O'Brien；ip.access 公司产品管理和营销高级副总裁 Andy Tiller 博士；Juniper 网络公司技术副总裁 Wendy Cartee；Level-3 通信有限责任公司产品副总裁 Paul Savill 和首席法律官 John M. Ryan；麦迪逊商业房地产服务公司国内商务总监 Carlos Alvarez；Market Recognition 公司总裁兼首席执行官 Gareth Taube 和副总裁 David Gitner；微软业务开发经理 Bill Sherry；MoreMagic Solutions 公司营销副总裁 Nimit Sawhney；NVIDIA 公司战略和 DXP 技术副总裁 Simon Knowles；Point Topic 有限公司首席执行官 Oliver Johnson；Sandvine 公司市场和销售执行副总裁 Tom Donnelly；Shared Spectrum 公司首席执行官 Thomas Stroup；Shore Tel 公司高级产品营销总监 Bernard Gutnick；SNL Kagan 公司研发经理 Chris Forth；Sonian 公司创始人兼首席技术官 Greg Arnett；TeleGeography 公司副总裁 Stephan Beckert；Trace Media Marketing 创始人兼首席执行官 Chris Dawkins；UTOPIA 执行董事 Todd Marriott。

同时也感谢以下提供的个人宝贵见解：爱德华·马基议员办公室总参谋长 Mark Baye 帮助整理了监管问题；美国国家民主学会研究顾问 Andrea Levy 帮助了解了肯尼亚的情况；Wayin 客户总监 Bobby Markowitz 帮助了解了网上游戏；Frambors 邮件列表技术的拥有者 Steve W. Orr 帮助了解了区邮件列表信息；以及 Elliot Gerberg 提供的数据中心和网络知识；还要感谢 Pearson 的编辑 Christopher Guzikowski。

感谢以下专家提供的信息：波士顿的巴西领事馆总领事 Fernando Mello Barreto；GSMA 的高级技术总监 Dan Warren；NECA 公司的政府事务部副总裁 Joe A. Douglas 以及负责关税、速率、成本、平均进度、技术等技术规划和实施的主管 Sal Talluto；博物馆和图书馆服务研究所负责政策、规划、研究和传播的副主任 Mamie Bittner。

谢谢我的女儿，Nancy Dodd 研究所负责人 Nancy Dodd；Information Technologies 公司高级副总裁 Joe McGrath；Sunovion 制药公司网络和电信高级总监 Susan Truesdale。

我在美国东北大学的研究生贡献了大量的第一手资料。来自不同国家（如中国、印度、塞内加尔和秘鲁的国际生贡献了他们国家的网络状态和技术等信息。美国学生提供他们如何使用技术的例子。学生们提供了因特网和移动网络如何影响他们日常生活的宝贵意见。没有这些人的帮助和支持，我是无法完成这本书的。

特别感谢我的丈夫 Bob 提出敏锐的意见。他反复阅读了每一章。在提供前四个版本意见的基础上，我期待他能提出更敏锐的意见和尖锐的问题。



出版者的话  
 本书赞誉  
 前言  
 致谢

2.8 增值电话应用系统.....49  
 2.9 总结.....56  
 2.10 附录.....57

## 第一部分 应用技术、数据中心和 VoIP PBX

## 第二部分 行业概述

### 第 1 章 计算机和应用技术.....2

### 第 3 章 竞争、产业结构和规则.....60

1.1 主要的基础技术.....3  
 1.2 数据包发送.....4  
 1.3 深度包检测：流量控制和管理.....5  
 1.4 压缩.....8  
 1.5 通过多路复用增加网络容量.....10  
 1.6 广域网加速和优化.....11  
 1.7 利用协议建立一套通用规则.....13  
 1.8 协议和分层.....13  
 1.9 云计算.....14  
 1.10 单个服务器通过虚拟化技术执行  
       多个服务器功能.....20  
 1.11 网络布线.....22  
 1.12 总结.....25  
 1.13 附录.....26

3.1 引言.....60  
 3.2 1984 年 AT&T 解体.....61  
 3.3 监管问题.....65  
 3.4 行业状况.....74  
 3.5 非传统运营商的竞争对手：亚马逊、  
       苹果、谷歌、微软和 Netflix.....84  
 3.6 附录.....91

## 第三部分 广域网和因特网

### 第 2 章 数据中心和 IP 专用小交换机.....28

### 第 4 章 运营商网络.....94


2.1 引言.....28  
 2.2 下一代数据中心：虚拟化和千兆  
       比特速率.....29  
 2.3 虚拟化管理.....36  
 2.4 骨干网和单个局域网结构.....38  
 2.5 内部使用的 IP 专用交换系统.....40  
 2.6 IP 电话背后的技术.....41  
 2.7 IP 用户小交换机的结构.....43

4.1 公共网络.....94  
 4.2 长途网络：核心网.....95  
 4.3 运营商网络中使用的技术.....97  
 4.4 核心网和城域网汇聚.....99  
 4.5 在核心网中传输电影和电视.....106  
 4.6 中间一英里网络.....107  
 4.7 最后一英里接入网络.....110  
 4.8 有线运营商的接入网络.....116  
 4.9 美国紧急情况下的电信服务.....118  
 4.10 信令.....120  
 4.11 总结.....122  
 4.12 附录.....123

### 第 5 章 宽带和广域网业务.....125

5.1 引言.....125  
 5.2 宽带的定义.....126

5.3 宽带上的 VoIP 呼叫业务 .....	127	<b>第四部分 移动网络和全球移动业务</b>	
5.4 使用多协议标签交换进行内部 连接 .....	129	<b>第 7 章 移动和 Wi-Fi 网络</b> .....	176
5.5 基于互联网协议的虚拟专用 网络 .....	133	7.1 引言 .....	176
5.6 通过互联网的安全传输 .....	134	7.2 第一代模拟技术 .....	177
5.7 托管服务 .....	137	7.3 无线网络的有限频谱 .....	178
5.8 使用数字用户线接入互联网 .....	139	7.4 第二代、第三代和第四代数字 通信网络 .....	185
5.9 运营商级千兆以太网实现 高速率接入 .....	141	7.5 第四代高级移动业务 .....	192
5.10 T1/T3: 企业的第一个宽带 服务 .....	143	7.6 LTE 架构简化了基础设施 .....	199
5.11 专用线路和网络拓扑 .....	145	7.7 微微蜂窝和毫微微蜂窝的 蜂窝技术 .....	204
5.12 附录 .....	148	7.8 手持设备和平板电脑 .....	206
<b>第 6 章 因特网</b> .....	150	7.9 应用程序和服务 .....	210
6.1 引言 .....	150	7.10 蜂窝通信网络中的 Wi-Fi 标准、 体系结构和使用 .....	214
6.2 因特网的发展 .....	151	7.11 卫星 .....	221
6.3 互联网结构 .....	153	7.12 总结 .....	221
6.4 来自互联网内部、外部的安全 威胁 .....	158	7.13 附录 .....	222
6.5 隐私权 .....	160	<b>第 8 章 全球移动运营商</b> .....	226
6.6 互联网视频走向前台 .....	161	8.1 引言 .....	226
6.7 电子商务 .....	165	8.2 全球最大的移动运营商 .....	227
6.8 在线社区论坛 .....	167	8.3 亚洲市场 .....	228
6.9 网络中立性 .....	168	8.4 拉丁美洲 .....	231
6.10 数字鸿沟: 带宽、使用技巧和 计算机 .....	171	8.5 撒哈拉以南的非洲 .....	233
6.11 内部网和外联网 .....	172	8.6 欧洲 .....	237
6.12 总结 .....	173	8.7 总结 .....	242
		<b>术语表</b> .....	243



第一部分

# 应用技术、数据中心和 VoIP PBX

## 第 1 章

# 计算机和应用技术

现今技术进步的步伐比以往更加快速。从 20 世纪 80 年代后期开始，网络变化的步伐开始加快，到了 20 世纪 90 年代后期，随着企业和居民家中个人电脑的增加、移动手机的使用以及网络和多媒体业务总量的增长而进一步加快。与上世纪初的早期革新不同的是，这些新变化直接影响人们的社交方式和日常生活。

最初在 20 世纪 80 年代，虽然公司中个人电脑的数量在不断增长，但工作人员之间的电子通信仅限于在同一建筑内。渐渐地随着内网速度的增加和建筑间低成本光纤的到来使位于不同地点的公司间通信变成可能。再后来，强大微处理器和规模化生产的出现使电脑进入普通居民的日常消费行列中。为消费者以及商业客户提供经济、高速的互联网接入带来海啸般快速的变化。

这种变化取得成功在很大程度上依赖于光纤的引入、各种类型的网络设备上多处理计算机芯片的集成和大容量电脑存储器价格的降低。随着元器件尺寸的减小则进一步引起了移动网络、移动设备、有线网络和消费电子产品的巨大改进。在 21 世纪出生的孩子很难想象一个没有电子邮件和手机的世界是什么样子。这些创新将导致未来革新的速度更快。

计算机正随着虚拟化的引入而发生着显著的变化，而虚拟化则是由于更强大的网络和计算机出现而产生。服务器虚拟化是指多服务存储能力、运行多个操作系统和每个操作系统运行多个应用程序。服务器是运行如电子邮件和网站等应用程序的专用电脑，也可以是运行如记账和销售自动化软件包等应用程序。大量服务器虚拟化的整合使数据中心占用更少的空间、电力和管理工作。这也降低了第三方提供商管理快速增长的数据中心的成本。

虚拟化和强大的网络是云计算实现的关键因素。云计算是指消费者、小企业和大型组织将部分或全部的计算需求交给拥有大型数据中心第三方提供商。客户通常通过互联网访问那些位于数据中心的应用程序和数据。

因为云计算是较新的应用，所以大部分大型商业客户只将重要的应用使用云计算，但不会将核心产品应用到云计算中。这些重要应用包括人力资源系统诸如费用计算和假期报告等。虽然机构对云计算有着高度的兴趣，但是依然存在对安全性、公司数据的控制权、提供商存储器和服务器的容量以及云提供商的稳定性的担忧。

除了上述技术之外，WAN（广域网）提速、优化、压缩和多路复用技术提高了网络的能力。WAN 提速缩短了员工从公司网络中心访问应用程序和下载文件的响应时间。没有 WAN 提速和优化，即使在高速网络上，访问和传输这些应用程序也会产生无法接受的延迟。

移动网络扩宽的另一个主要因素是使用了压缩技术。压缩技术是指使用复杂的数学公式（算法）以减少在网络上传送语音、数据和视频的数据量。在发送时缩减了数据总量，在接收端再还原到几乎同等质量的数据。特别是它能使视频和音乐在不占用移动网络更多带宽的条件下进行高效的传输。这就是智能手机下载应用程序和访问互联网服务的一个基本要素。

最后，多路复用技术大大提高了光纤网络的承载能力。采用多核微芯片的高速多路复用器是通过创建多个数据流、同时传输多路光信号流而非一个流，以提高单对光纤容量的电子

设备。如果没有复用技术，那么互联网的容量将会大大降低。因为需要更多的光缆为各州之间、客户到网络之间和城市间进行连接，所以网络的建设成本会非常昂贵。

## 1.1 主要的基础技术

本节将讨论三种技术——光缆、多芯处理器和存储，它们是现代网络的组成部分。它们能使网络传输更多信息并且速度会更快。存储成本的降低带来了经济型个人电脑和低成本访问光纤网络中海量信息的能力。

### 1.1.1 光缆：高速网络的基础

如果没有光缆，那么互联网不可能达到链接全球人口所需的容量和速度。在1983年MCI（现威瑞森通信公司一部分）引入光纤布线之前，网络的建设和维护属于劳力密集型产业。铜缆较重，然而承载能力比光纤要小，并且铜线网络需要更多的设备部署与维护。

在铜缆上用于传输语音和数据的电子信号，在传输一段距离后，幅度将衰减。因此在铜线网络上，每隔一英里半则需要安装放大器将电信号进行放大。这需要很多的技术人员安装和维护这些放大器。

相反，光缆上的数据是以非电子的光脉冲形式传输。这些非电子信号在再生之前甚至可以传送80英里<sup>①</sup>。这就节省了大量的劳动力，并且使新的公司可以在城市之间敷设光缆，增加本地的竞争力，在世界范围内建立电话公司。

光缆与电缆和移动通信相比最大的优势在于其有更大的容量。光缆中光信号高速的开关使它们比其他介质能承载更大量的信息。

一旦光纤布线到位，安装波分复用的电子器件进一步扩大光纤的容量。这些多路复用器实质是将单根光纤划分成许多个信道，每个信道传送光脉冲的高速流，如图1-1所示。当今多路复用器能够传送多达88个信道的信息，每个信道的传输速率达到100Gbit/s。

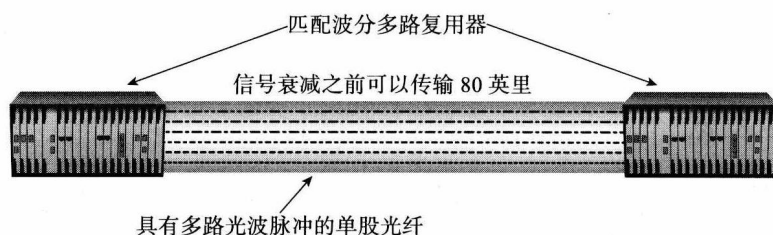


图 1-1 单链光纤和密集波分 (DWDM) 复用设备的连接

光纤及其相关电子设备已经被谷歌、日本 KDDI、新加坡电讯和印度 Reliance Globalcom 等企业财团修建一条容量达到 17Tb/s 的 12 芯海底电缆重点使用。(1 Tb=1000Gb) 它的速度相当于每秒能传送大英图书馆所有藏书 20 次。

海底电缆将从新加坡到日本，并延伸到印度尼西亚、菲律宾、泰国和关岛。对于旧网络，一旦将优质光缆布放到壕沟后，可以通过附加电子设备来提高其处理日益增长的包括高清视频流量的能力。挖沟和铺设光缆的成本是光缆升级成本的数倍。这就是铺设新光缆时要考虑预留空闲光纤的原因。

① 1 英里 = 1609.344 米。

### 1.1.2 高速、廉价处理器：降低存储的成本

更快的多核处理器比如英特尔制造的，是光纤链路中使用的高速电子设备的一个组成部分。它们使网络能同时处理多个光信号数据流。它们也存在于网络交换机的核心中，并以更高速率传输不断增加的数据。此外，该处理器还提高了个人计算机通过互联网传送的图像和视频的能力。

许多消费类电子产品和手机使用的处理器是基于 ARM Holding, Plc 公司设计的架构。这种架构采用 32 位处理（处理数据 32 位块的能力），这意味着它们处理数据更快。此外，这些处理器体积小、价格廉及功耗低。图 1-2 所示的是一个电路板上的 ARM 芯片原型。低功耗可以延长移动设备的电池寿命。ARM 芯片是由 ARM Holding, Plc 半导体公司设计的，由已经为芯片设计支付了许可费加版税的电子制造商制造。根据其网站统计，世界各地出售的约 95% 移动设备安装了 ARM 芯片。

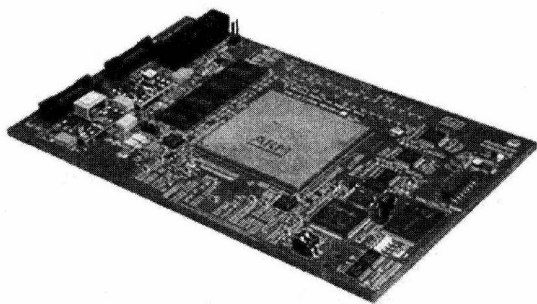


图 1-2 ARM 芯片大小 12 毫米 × 12 毫米。（12=48 英寸）。新的移动设备甚至安装了 2 块芯片以上（图片由 ARM Holding, Plc 公司提供）

存储成本的降低使其嵌入在低成本消费类电子产品和智能手机中变得可行。这也使企业与云提供商可以购买大量的硬盘做备份。例如位于波士顿的 Carbonite 公司购买足够的存储硬件，并向消费者提供每年低于 30 美元的普通家用电脑完整冗余备份的服务。

## 1.2 数据包发送

所有的互联网流量和大部分的高速数据网流量都是通过包的形式发送的。将数据分拆成多个数据包类似于将数据装进多个信封中。分组交换由兰德公司在 1962 年为美国空军开发，并于 1969 年在国防部的阿帕网（ARPANET）中使用。ARPANET 是当今互联网的前身。国防部想要一个具有路径多样化能力的可靠的网络。开发者设想基于分组交换的 ARPANET 具有更高的可靠性，在那里可以完成彼此之间的互达。

分组网络——包括互联网——往往更可靠，并且比传统网络能更好地处理高峰期流量，因为同一个信息的数据包可以根据传输路径的可用性和拥塞情况通过不同的路径进行发送。在国家紧急状态时，如 2011 年 9 月 11 日的“9·11”恐怖袭击事件，当大部分公共语音和蜂窝网络因流量退出服务或不堪重负，人们无法拨打电话时，互联网仍然在运行。

如果一个分组网络上的一条路由不可用，那么流量就会重新选择到其他路由上。此外，与旧的语音网络不同的是，互联网不依赖于少数大型交换机传送流量。相反，如果一台路由器故障，那么另一台路由器就会代替它传送流量。

### 1.2.1 路由效率

因为路由间流量均衡技术，所以分组网络比旧型网络能更好地处理拥塞。这种技术确保存在空闲路由时其他路由不会发生超载现象。因为均衡技术，多台计算机向不同的路由器上发送数据，从而能更有效地利用资源。因此如果一条路由拥塞，那么数据包将会通过其他空闲的路由传送。

### 1.2.2 数据包内容：用户数据与开销

每个数据包包含用户数据、有效数据位数、数字化语音或视频和专门的报头信息，如寻址、计费、发送者信息和差错校验位。如果接收端准备开始新的接收或数据包已经被收到时，差错校正位将检测数据包是否损坏。数据包末端包含终止位是通知网络数据包的最后一位已收到。头部、尾部数据和其他信令数据认为是开销。用户数据（也称为净荷）是电子邮件消息或语音通话的实际内容。

### 1.2.3 吞吐量

吞吐量指用户信息传输的数量，并不是实际的在线速率。频繁的错误信息和其他相关协议位的开销经常消耗大量的带宽。吞吐量只能测量在固定周期内实际传送的用户数据。带有较多差错控制消息位的协议和其他类型的开销是造成较低吞吐量的原因。广域网优化技术就是用来减少这些与延迟有关协议的影响。（如需了解更多信息，请参阅 1.6 节。）

#### 那么什么是电信运营商、ISP 和 WISP

从前，“运营商”是指当地为消费者和商业机构传输语音和数据流量的电话公司，如威瑞森通信公司。1996 年以前，有线电视公司例如 Comcast，就是严格意义上的有线电视运营商。现在所有提供外部电缆或移动基础设施和经营网络的公司都通常称为运营商。它包括有线电视运营商、移动电话公司、长途线路提供商和传统的本地电话公司。有线电视运营商、移动运营商和传统的本地电话公司传输声音、数据和电视信号以及提供互联网接入。问题更加复杂是经营商和供应商也统称为运营商。

ISP（互联网服务提供商），如 AOL（美国在线），主要是利用运营商的线路提供互联网接入和信息服务，有时也提供交换基础设施。ISP 也提供无线服务、电子邮件托管和其他利用运营商基础设施的增值服务。WISP（无线互联网服务提供商）提供各种无线服务，如在没有有线宽带的区域提供互联网接入。关于更多 WISP 的信息，参见第 7 章。

## 1.3 深度包检测：流量控制和管理

深度包检测（DPI）是一个网络运营商用来管理和了解网络流量的工具。它通过分析运营商有线和移动网络上所传数据包内容实现检测。在大多数情况下，DPI 只检查数据包的包头而不是用户数据。它检查和寻找包头信息，如差错校验位、服务类型和结束信息位，而不是电子邮件消息本身。

DPI 是一个可以被运营商潜在的用来排挤竞争对手流量的应用程序。例如，运营商可以使用 DPI 降低和阻塞竞争对手服务器的流量。详见第 6 章中关于网络中立性的相关信息。网络中立性是指以平等的方式处理自己和竞争对手的流量。



政府也可以使用 DPI 监测和审查他们认为可能是有害的电子邮件信息。DPI 的使用可能是一把双刃剑，例如追踪恐怖分子或批评政府官员。

DPI 帮助运营商、互联网服务提供商、各大高校和企业了解以及管理他们的流量。

提供商可以用它做如下工作：

- 流量分级
- 保留私有信息的控制权
- 保护网络，防止黑客攻击
- 阻止某些网站的流量
- 规划网络容量的需求

大型、现代分组网络通常混合传送丰富的媒体流量，包括电视、电影、游戏、声音和音乐等数据。（以前分组网络只传输数据，占用较少的容量并无需特殊处理。）更快速的处理器和成本更低的存储导致了 DPI 转变为运营商、大学和企业以在不同的移动和固定网络上实时管理拥塞以及提供新的服务。此外，机构还可以用它来阻止访问非业务相关的网站如脸谱网（社交网站），切断不必要的网络流量和提高员工生产力。

在这篇“扁平化的网络，创新的定价带来更大的 DPI”文中引用 Sandvine 股份有限公司首席技术官 Don Bowman 的观点（Karpinski Rich，网络电话，2009 年 9 月 9 日）。他声称，发达国家中经常用 DPI 管理网络，相比之下发展中国家更重视建设新的高速的网络。DPI 还可以用来管理下列环节下的流量：

- 特定运营商的互联网
- 住宅客户和运营商之间
- 移动网络
- 企业之间
- 企业到互联网的连接
- 企业的内部网络

为移动运营商的数据包提供更灵活的价格套餐可以进一步促使电话公司对实时流量进行分级。这是一个重要的竞争优势，特别是在一个国家内，在数据包价格和灵活性上相互竞争的两个以上移动运营商。

DPI 系统可以与运营商的计费系统交换信息，以支持提供包括电子邮件、歌曲、游戏、视频和网页浏览等专业的数据分析。移动运营商可以提供一个允许客户以固定价格使用 300 MB 的数据流量，而超过 300 MB 按计量定价的缴付方案。

计量定价法是指一种根据用户使用的分钟数或数据量来计费而不是一个固定的价格的计费业务。绑定在运营商网络中的 DPI 交换机可以配置为当用户使用超出了计划分配的分钟数或流量时为用户发送通知，通知他将为任何额外的通话或数据传输付费。

### 1.3.1 深度包检测如何工作

DPI 能够提供关于网络状态的信息，因为它不仅仅查看“传送”地址，还能检测数据包中的更多内容。识别数据包的地址类似于寻找一个信封地址。通过检查数据包内部结构，DPI 具有确定数据包属于哪个应用程序的能力。它能从数据、游戏和视频流量中区分出互联网语音协议（VoIP）流量，因此运营商网络上的视频或游戏流量可以保持最佳效果。

DPI 软件开发了一个数据库模式，即签名。每一个签名或模式与一个特定的应用程序，如点对点音乐共享或 VoIP 协议联系起来。它也可以与来自某些黑客甚至恐怖分子试图发动