

 Springer

世界著名计算机教材精选

数字通信技术

Christoph Meinel
Harald Sack 著

季松 程峰 等译



**DIGITALE KOMMUNIKATION
VERNETZEN, MULTIMEDIA, SICHERHEIT**

清华大学出版社



世界著名计算机教材精选

数字通信技术

Christoph Meinel Harald Sack 著

季松 程峰 等译



TN914.3
55

清华大学出版社

Translation from German language edition:
Digitale Kommunikation – Vernetzen, Multimedia, Sicherheit
by Christoph Meinel, Harald Sack
Copyright © 2013, Springer Berlin Heidelberg
Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science + Business Media
All Rights Reserved

本书为德文版 *Digitale Kommunikation – Vernetzen, Multimedia, Sicherheit* 的简体中文翻译版, 作者 Christoph Meinel, Harald Sack, 由 Springer 出版社授权清华大学出版社出版发行。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2012-0338

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。
版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字通信技术/(德)米恩尔(Meinel, C.), (德)萨克(Sack, H.)著; 季松等译. --北京: 清华大学出版社, 2015
世界著名计算机教材精选

ISBN 978-7-302-37170-0

I. ①数… II. ①米… ②萨… ③季… III. ①数字通信-教材 IV. ①TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 271753 号

责任编辑: 龙启铭

封面设计: 傅瑞学

责任校对: 焦丽丽

责任印制: 王静怡

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社总机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 20.5

字 数: 515 千字

版 次: 2015 年 1 月第 1 版

印 次: 2015 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 1~2000

定 价: 49.00 元

产品编号: 053827-01

译者序

本书是德国波茨坦大学哈索 - 普拉特纳研究院 (Hasso Plattner Institute at University of Potsdam, Germany) 院长克里斯多夫·迈内尔 (Christoph Meinel) 教授和高级研究员哈阿德·萨克 (Harald Sack) 博士合作完成的现代数字化技术三部曲“数字通信”、“互联网络”和“Web 技术”中的第一部。本书德文版由德国 Springer 出版社出版发行。我们很高兴也很荣幸能够受作者以及清华大学出版社之托将其翻译成简体中文, 呈现给大家。

本书详细回顾了数字通信技术发展的历史进程, 以及各个阶段的突破性技术及其产生的背景、条件和相关的人物事件。在此基础上, 作者全面系统地总结了数字通信技术的基本原理, 列举了各种技术的特点和在现实世界里的典型应用。本书内容丰富, 涵盖了通信技术的基础知识, 数字媒体的多样性, 以及各种数字媒体的特点和编码方式, 同时对在新的数字世界中出现的安全问题也给出了概述。本书的写作方式也非常独特, 多维结构的划分和组织形式, 可以让读者在尽可能全面地获取更多知识和内容的同时, 也有可能根据个人兴趣和需要很方便地选择相关主题进行更深入的了解。在对许多重要的突破性技术的基本描述之外, 作者还补充了大量的技术细节 (补充材料), 援引经典教材和书籍里对该技术的相关表述, 使读者一目了然。每一章之后都附有详细的术语表和可能对读者进一步阅读有帮助的参考文献列表。在本书的最后, 作者更是给出了一个完整的人物索引列表, 对数字技术发展过程中作出过突出贡献或有重要影响和意义的相关人物给出了简短的介绍和客观的评注。书后附录的缩略词汇表总结和罗列了计算机及通信领域的常用及最新出现的缩略词汇, 能够有效消除经常发生的歧义, 以帮助读者更为准确地理解和掌握这些缩略词汇及其概念和含义。

本书内容翔实, 全面系统, 却又简洁明了, 清晰易懂, 既是一本不可多得的教科书, 又可以作为工作学习必备的参考手册。我们相信, 除了高校计算机相关专业的教师、学生和科研人员之外, 信息和通信领域的广大从业人员, 以及有一定基础的非专业人士都能够从本书中获益。虽然书中涉及的有些内容相对比较专业, 但语言通俗易懂, 描述由浅入深, 结构层次清晰, 使用了大量的图表, 丰富的背景故事和众多的实例分析, 不仅能帮助读者理解相关的知识和内容, 更会给读者带来全新的感受与体验。

作者之一的克里斯多夫·迈内尔 (Christoph Meinel) 教授是德国波茨坦大学哈索 - 普拉特纳研究院 (HPI) 院长, 波茨坦大学哈索 - 普拉特纳研究院“互联网技术和系统”讲席教授, 德国国家科学工程院 (acatech) 院士。作为德国计算机科学领域的著名学者, 迈内尔教授在德国大学和科研机构有近四十年的相关教学科研经历, 成果丰富。他现已出版 13 本专著和 3 本专业选集, 参与编著了数本国际学术论文集, 并在国际知名的期刊和会议上发表超过 400 篇学术论文。其专著《计算机科学的数学基础》已再版多次, 成为德国计算机专业的经典教材。本次 Springer 出版社相继出版的这套三部曲, 是作者多年来在互联网方向教学和科研成果的一次系统整理, 本书德文版已经在作者所在的波茨坦大学哈索 - 普拉特纳学院和柏林及勃兰登堡地区许多大学的计算机学院作为信号处理、数据通信和网络安全等课程的教材或参考书使用。与已出版的许多同类书籍相比, 本书更具时效性和系统性, 概念描述更为简洁准确, 更适合作为大中专院校的教材和开发人员的参考手册。

此次呈现给广大读者的这版中文翻译版是我们根据德文原版直接翻译而成的。应该说,

和大家普遍熟悉的英文版技术类书籍的一个最大区别是，德语对技术和工程描述的遣词造句更为复杂，对于非母语的读者来说很难透彻理解。翻译过程中，我们在保证译文顺利流畅的原则下，尽力做到体现原作精髓，术语一致，并符合当前大家所熟知的中文词汇用法。对于书中大量的图表，我们也重新制作了中文的版本。尽管如此，我们意识到，翻译稿距离完全贴切地体现原版的专业内容和含义还有相当距离，错误遗漏之处请广大读者原谅，并欢迎与我们沟通交流。此外，本书英文版也已顺利完成，成书已于 2014 年初与读者见面。读者在使用这本中文翻译版时，可以同时参照德文原版和英文翻译版，会得到更为准确全面的阅读和学习体验。

该书中文版的翻译得到清华大学出版社的大力支持，在此表示衷心的感谢！

程峰 季松

2015 年 1 月，德国波茨坦

前言

那些原本一直被认为是惊叹不已的事物，在今天的日常生活中似乎已经变得习以为常了：旧时，整个人类都梦想着能够拥有一种跨越时间和空间界限的移动性，而这一梦想在最近的 10 年间已经在很大程度上得到了实现，这是人类历史上前所未有的。而且，这种发展并不只是意味着单一的物理定律被打破。人类已经在一种无纸化、虚拟的形式中了解到了许多生活中意想不到的事情。这里的无纸化意味着，将事物本身转换成它们数字化的“影子”，即使用 0 和 1 的形式来描述和编码，这种形式可以通过电磁信号以光的速度被传输，并且能够被任何计算机所接收。计算机和互联网这两种技术的发展实现了如下的功能：计算机提供了平台，在这种平台下事物都是以数字影子的形式存在的，同时这些数字影子能够被重新绘制、加工、链接和存储，而互联网则提供了让这些数字影子几乎可以以光的速度向世界上的任何一个地方传输的可能性，这样这些数字影子就能够在世界另一端的计算机上发挥自己的作用。

事实上，计算机和互联网在人类的历史上只能算是极微小的技术发展，但是却从根本上改变了人类的生活和行为。在经历 19 世纪和 20 世纪的工业革命后，我们身体的活动功能得到了飞速的提高，汽车、飞机、宇宙飞船等工具极大地扩展了人类的活动半径，而计算机和互联网技术作为数字化革命的驱动力又将我们精神上的流动性提高到了一个以前难以想象的程度，将我们心理活动的半径从身体的限制中解放了出来。如果想将一个人从一个大陆送往另一个大陆，那么即使使用最现代化的交通工具，可能也需要花费几个小时的时间，但是借助于互联网，这种距离几乎在瞬间就可以被缩短成零。情绪、想法和指示可以被立即传递，同时远程的接收方也能够在几秒钟内给出愿望和要求，而这种交流的成本相比较与物理流动却是少得多。

到目前为止，互联网才出现四十多年，万维网也才推出了十几年，基于这些技术还非常的年轻，以及计算机和网络技术迅猛发展的势头不减，可以预见，社会、经济和私人领域通过这种数字化革命还将继续发生变化。因此，看看这些技术发展的幕后故事，了解这些技术的基础知识以及理解诸如互联网和万维网究竟是如何工作的将是很有趣的事情。正好，放到你面前的这本书与本作者的另两本书一起，能够为你展现一个易懂的、全面的、可信赖的、内容翔实的和描述详细的指导。

本书主要讲述的是数字通信的基本原理，同时详细回顾了通信的历史和相应的技术支持。本书涵盖了通信的基础知识，描述了数字媒体的多样性，以及各种数字媒体的特点和编码方式，同时对在新的数字世界中出现的安全问题也给出了概述。书中使用多维结构的划分，可以让读者尽可能方便地了解更多内容，同时选择有兴趣以及需要的主题进行更深入的了解。其中，多维结构的划分指的是，补充了大量技术细节（补充材料）、各章的术语表、涉及的索引以及能够提供查找和进一步阅读的参考文献。

在这本书的基础上，稍后还将推出另两本书：《网络技术基础及应用》和《Web 程序设计》，详细介绍互联网和 Web 技术的发展和细节。例如，当前计算机网络技术、互联网结构中的各个不同的层、TCP/IP 协议族、万维网以及不同的 Web 技术，诸如 URL、HTTP、HTML、CSS、XML、Web 编程、搜索引擎、Web 2.0 和语义网，等等。

我们尽了最大的努力,想让读者在阅读本书的时候能够感受到这种新的数字世界中数字的魅力,为那些勤奋努力的学生提供一本有用并且全面的教科书,为那些经验丰富的专业人员提供一个可靠的参考工具,使读者能够在自己的专业领域更轻松地将数字通信这种庞大的环境更安心地分类。

感谢 Springer 出版社的 Hermann Engesser 和 Dorothea Glaunsinger 对于这本书的信任和以实际行动的支持,还有你们, Ivana 和 Anja 给予的耐心和宽容,你们付出了无数的周末和节假日,真心感谢你们。

Christoph Meinel

Harald Sack

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数字产品	1
1.2 数字通信及其基础	6
1.3 数字通信指南	9
1.4 术语表	10
第 2 章 历史回顾	12
2.1 文字的发展	12
补充材料 1: 语言的发展	14
2.2 第一个通信网络	20
2.3 印刷的发展	23
2.4 报业的诞生	28
2.5 电力和电信系统	31
2.5.1 光学电报	31
2.5.2 电子电报	33
2.6 个人通信的推进	35
2.6.1 电话	35
2.6.2 从留声机到唱片机	37
2.6.3 摄影	38
2.7 无线通信——广播和电视	41
2.7.1 无线电电报	41
2.7.2 无线电广播	42
2.7.3 电影和电影院	44
2.7.4 电视	46
2.7.5 模拟和数字录制方法	48
2.8 个人计算机的通信及管理	49
2.9 互联网和万维网之间不可分割的历史	55
2.9.1 阿帕网——一切的起源	55
2.9.2 互联网走进大众生活	58
2.9.3 万维网彻底改变了互联网	59
2.9.4 Web 2.0 和语义网——万维网的未来	63
2.10 术语表	64
第 3 章 计算机网络通信基础知识	67
3.1 基本术语和概念	67
3.1.1 通信和数据传输	67
3.1.2 通信系统分类	70

3.2	计算机网络与分组交换	73
3.2.1	传统点对点连接	74
3.2.2	电路交换网络	74
3.2.3	从电路交换到分组交换	75
3.2.4	分组交换原理	76
3.2.5	分组交换的优点	78
3.2.6	报文头	79
3.2.7	分组交换的缺点	79
3.2.8	无连接网络服务和面向连接的网络服务	81
3.2.9	计算机网络服务范式	81
3.2.10	错误检测与校正	83
	补充材料 2: 错误检测与纠错码	84
3.3	计算机网络性能指标	90
3.3.1	用户性能指标	90
3.3.2	定性的性能准则	90
3.3.3	服务质量	91
	补充材料 3: 分组交换网络中的延迟	94
3.4	通信协议	97
3.4.1	协议族	98
3.4.2	层模型	99
	补充材料 4: ISO/OSI 分层模型	102
3.4.3	互联网和 TCP/IP 分层模型	105
3.4.4	协议功能	109
3.5	术语表	112
第 4 章	多媒体数据及其编码	116
4.1	媒体的多样性和多媒体格式问题	116
4.2	信息和编码	118
4.2.1	信息和熵	118
4.2.2	冗余 —— 带来的是价值还是浪费	120
4.3	文本的数据格式与压缩	121
4.3.1	文字编码	121
	补充材料 5: 统一码标准	126
4.3.2	文本压缩	128
	补充材料 6: 数据压缩的简单算法	130
4.4	图形的数据格式与压缩算法	132
	补充材料 7: 什么是颜色 —— 颜色和颜色系统	135
4.4.1	图形数据行程长度编码的变量	140
4.4.2	LZW-算法	141
4.4.3	GIF-格式	143

补充材料 8: GIF 文件结构	144
4.4.4 PNG 格式	147
4.4.5 JPEG 格式	148
补充材料 9: JPEG 压缩和 JPEG 文件格式	150
4.5 音频的数据格式与压缩方法	159
4.5.1 模拟-数字转换	161
4.5.2 无损压缩的音频数据格式	164
4.5.3 音频压缩	166
4.5.4 MPEG 音频编码	171
补充材料 10: MPEG-1 音频编码	173
补充材料 11: MP3 文件结构	177
4.5.5 其他音频压缩方法	183
4.5.6 流媒体技术	185
4.6 视频和动画: 数据格式及压缩	185
4.6.1 数字化视频编码	186
4.6.2 视频信号的压缩	190
4.6.3 运动补偿和运动预测	193
4.6.4 MPEG 压缩: 关键问题	194
4.6.5 MPEG 压缩: 基本步骤	195
4.6.6 MPEG-2 标准	200
补充材料 12: MPEG 数据格式	203
4.6.7 MPEG-4 标准	208
4.6.8 MPEG-7 标准	215
4.6.9 MPEG-21 标准	219
补充材料 13: 其他视频格式和压缩方法	220
4.7 术语表	223
第 5 章 数字安全	229
5.1 计算机网络安全基础	229
5.1.1 安全目标	230
5.1.2 加密原理	233
5.2 保密性和加密	236
5.2.1 对称加密算法	236
补充材料 14: 历史上简单的加密算法	236
补充材料 15: 数据加密标准 (DES) 和高级加密标准 (AES)	241
5.2.2 非对称加密算法	244
补充材料 16: RSA 公钥加密算法	246
5.2.3 身份验证	248
5.3 数字签名	252
5.3.1 数据完整性和真实性	252

5.3.2 信息摘要	253
补充材料 17: 密码学中的 Hash 函数	255
5.4 公共密钥基础设施和证书	260
5.4.1 密钥分发中心	260
5.4.2 数字证书认证机构	262
5.4.3 信托模式	264
5.5 术语表	265
第 6 章 后记	270
附录 A 人物索引	277
附录 B 缩略语	295
表格索引	301
插图索引	302
参考文献	306

第1章 绪 论

“头脑创造出来的东西要比一般的物质存在的更长久”

— Charles Baudelaire (1821—1867)

人类历史的第三个千年已经到来了。新的传播形式，例如互联网已经在很短的时间内成为了人们日常生活、文化和现代社会基础设施中不可或缺的一部分。如今，经常会与互联网概念混淆的万维网(World Wide Web, WWW)为我们提供了各种各样的信息和服务。最新的消息、最实时的股市报告、最重要的旅游信息和机票预订，所有能够想到的领域只需要鼠标轻轻地一击即可达到。今天，任何人都可以面向全世界发布自己的博客，各种各样的服务都能通过互联网来获得，不同兴趣的人们可以在论坛上讨论他们的共同话题并分享信息。各个学科领域的科学家正在推动电子通信手段的研究，使人们能够通过互联网完成许多日常生活中不可能实现的工作。本章勾画出一个社会各界通过新的数字通信手段，从根本上推进无纸化的数字商品的简短素描。没有这个过程，我们的现代文明将会是无法想象的。

1.1 数字产品

没有电脑、手机、互联网和万维网的现代文明是无法想象的。用人类难以想象的速度进行信息处理的新机器、信息和数据交换的新途径，这些都为人类社会的进步和发展开辟了新的前景。新技术使人们有可能在一定程度上克服空间和时间的界限，这在以前是根本无法实现的。它并不是指某些物理定律被推翻，而是人们已经学会了处理生活中很多无纸化数字商品的事情。无纸化的意义在于，事物是以数字描述的形式，而不是事物本身的形式被处理的。事物的编码信息以电磁信号的形式存在，从而能被光速传输和处理。我们的下一代是在一个有着电脑游戏、短信、电子邮件等现代通信技术的新的环境中成长起来的，他们对于这种数字世界的好处有着不言而喻的基本信任。年长者却常常对这种看似高度复杂的技术保持批判的距离，甚至拥有不断增长的怀疑。

第一台计算机在20世纪中叶被首次运用到简单的数学运算上，当时整台机器占据了一个健身房的空间，运算通常需要几个小时的时间，而成本则高达百万美元。当今的计算能力则要感谢运算性能的指数级增长和硬件成本几乎近趋于零的低廉。信息技术(Information Technology, IT)系统在今天已经是无孔不入，成为我们生存环境中基本的组成部分。汽车、飞机、电视和家用电器都是计算机软件驱动的，植入“智能”计算机控制模块的传统纯(电子)机械的发展速度更是令人叹为观止。

文本、图片、视频、旅游门票、新闻订阅、金融交易和其他信息被以无质量损失地高速生成、显示、编辑、复制、传输和执行。这种信息和商品的交叉数字化是新的数字世界以及其中的贸易和业务流程的基础，即所谓的互联网经济(或者网络经济)。而且，如今在很多传统的商品经济领域中的业务流程也已经在数字世界中开始了无纸化的进程：电子业务(E-Business)、电子商务(E-Commerce)和电子采购(E-Procurement)在过去的二十年间一直被关注，现在处于一种“淘金潮”状态。这种状态随着在千年交替后的短暂时间内出现的所谓的互联网泡沫的破灭所冲淡，而且这种金融危机即使在今天也还存在着(参见图1.1)。毫无疑问，电子商

务,确切地说是数字化业务环境拥有一个未知的潜力。在从初始供应链的优化,经历降低企业成本,新市场的开拓,新产品的设计方式一直到市场的个性化的整体过程中,这种新的数字经济都能提供保证。

名词解释

电子业务: 电子业务是指一个企业本身进行的业务流程以及处理和业务合作伙伴(企业对企业, B2B)或者对员工和客户(企业对客户, B2C)的关系所进行的所有行为都是在数字媒体的帮助下完成的。

电子商务: 电子商务作为电子业务的一部分,它所包含的企业对企业(B2B),企业对消费者(B2C)和消费者对消费者(C2C)的商业交易是建立在具有法律约束的协议和执行的基础上的。电子商务通常包括三个阶段的交易:信息、协议和结算。

电子采购: 电子采购涉及的所有行为都是在一种即时环境中,并且和支持采购流程的商业合作伙伴后者供应商(B2B)之间进行的。

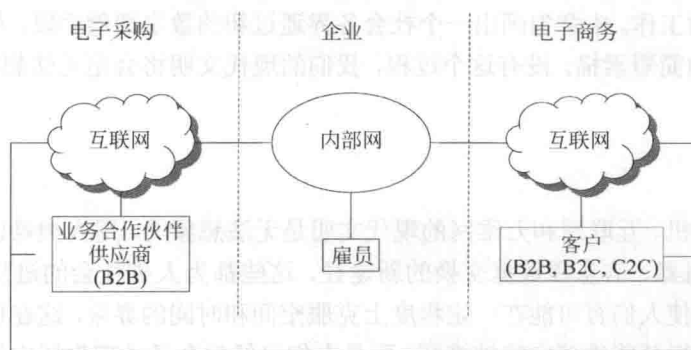


图 1.1 电子业务：业务流程和关系

无孔不入的数字化进程已经加快了脚步。首先,运输和电气通信媒体这些在 19 世纪工业革命时期曾经极大地推进了我们社会进步的技术已经趋于成熟。随之而来更为迫切的需求是缩短时间和空间的距离。今天的数字化技术可以为位于世界各地的人们提供几乎无失真的交流,而这无疑为推进全球化和全球的电子商务安装了一枚心脏起搏器。事实上,在电子交易中货币被以各种方式应用着:一方面支持传统的部门销售(成品销售),通过企业和客户间建立在电子途径上的关系来启动(离线交易)。另一方面在商品数字化显著的部分(产品和信息的销售)已经开始通过网上进行交易(在线交易),从而增加了整体的收入。因此,无形资产日益成为人们关注的焦点。典型的例子是开发搜索引擎的谷歌¹,一个在全球经营网络经济的大公司,其收入直接来自其对无形资产的市场营销。

一般来说,电子交易使企业获得了多方面的成本优势:交易成本,即与商业交易有关的成本可以成数量级地减少,因为电子营销可以确保储蓄和高的市场效率。甚至在商业交易起始时引发的交易始发成本都能通过在万维网上获取到可能相关的一个重要信息而大幅下降。商业交易成本也可以在线提供用户的支持(客户支持)或者产品信息,还有数字多媒体的使用来降低。除了降低成本,由于各个业务流程的加速还可以带动巨大的时间节省。

¹<http://www.google.com/>

信息技术的不断发展和与之相关的信息产业重要性的日益增长导致了社会结构的不断变化。信息时代和与其相关的信息经济引领我们进入了**信息社会**，一个特殊的术语“**虚拟概念**”在这个信息社会中占据着特殊的地位。“**虚拟的**”，相对于“**客观的**”，表现为不是实际存在的东西，只是一些形式上的东西。在布罗克豪斯百科全书中“**虚拟的**”被定义为“**物体是作为一种可能性而存在的，虽然那不是真实的，但是可以真实的显现**”。相对于真实平台中以物理形式存在的产品和服务，数字平台产生的是一种虚拟的交易关系和产品，这些产品完全是由数字化的信息内容组成的，即所谓的**数字化商品**。在数字化商品概念背后隐藏的含义是“**非物质化的资源对于需求的满意度可以在信息系统的帮助下得以发展、传播和应用**”。数字产品能够在电子媒介的帮助下（例如，互联网和移动网络）被传输，借助于信息系统而被描述和使用”。数字化商品，包括早期的（已存在历史上的）软件和数字媒体的所有形式，比如说，音乐、电影、图书、报纸等，现如今也包括了机票预订单、现金卡、信用卡、股票、表格、提案、合同、信函、档案、短信或电话。

人们把网络经济的市场模式（其中数字化商品发挥着至关重要的作用）和传统的市场模式相比较，会很快地发现其中的显著性差异。可以重复和复制的数字化商品被以相对于实物商品的几乎可以忽略不计的低成本使用着。数字化拷贝通过数字化信息渠道的发布产生的成本几乎是零。随着时间的推移，传统的实物商品在使用中会失去使用价值，然而数字化商品却不受磨损，甚至在使用中可以赢得新的价值。一种物资商品，当人们分享使用的时候，它的使用价值会流失。而一种数字化商品在被分享使用的时候（重复利用或者向第三方转让）却不会损失任何价值。相反地，数字化商品随着更多用户的共享，其个人用户的价值会增加。一个典型的（历史的）例子就是，买家购买第一台传真机或者电子邮件系统，如果没有人和他分享这种技术，那么他仅能从中得到很小的附加值。当共享的用户和参与到传真和邮件服务的用户越多，这种技术就越会为用户增加更大的价值。简单地讲，就是表现在潜在通信伙伴数量上的增加，这种效应也称为**网络效应**。使用软件系统的用户越多，信息和经验交流的可能性就越大，整体的成本就会下降。而各种软件系统从中赢得更大的吸引力，吸引越来越多的使用者。

数字化商品是一种非物质化商品。今天，数字化的物流配送使得大多数的电子信息渠道几乎可以免费地被使用。相反，物质商品都需要一个特定的，往往是很昂贵的配送基础设施。人们在关注一种商品所代表的价值时，可以很容易地确定一个价格而不需要考虑货物的生产过程。而非物质的数字化商品的价格必须建立在生产过程中的费用上进行评估。现在来关注数字化商品对所有可能获得的利益问题。人们可以看到，对于商品的复制和分发是没有成本的，随着分配的增加，数字化商品的价格会稳步下降（参见表 1.1）。

对于数字化商品来说开发成本（固定的）和复制成本（变化的）之间的差异是巨大的。在传统的物质商品生产计划中测定出的计件成本通常是一个抛物线：随着产品数量的增加，单件价格会减低到一个最低值。此后，随着产品数量的继续增加单件商品价格会再次上涨。因此，必须控制产品的生产规模。与之相反，数字化商品的计件成本却会随着产品数量的增加（复制）而逐步降低（参见图 1.2）。

这种几乎免费和即时的复制使得数字化商品可以做成**大宗商品**。因此，对于“目前复制保护机制的投资在数字化商品生产成本上的一个重要部分”就显得并非毫无道理了。“**数字版权管理**”存在着不同的版本。为了防止非法传播和复制，数字化商品应该和单个用户或者

表 1.1 物质化商品和数字化商品的属性比较

物质化产品	数字化商品
高的复制成本	低的复制成本
经过使用后贬值	经过使用升值
个人所有权	所有权可能倍增
由于分割而贬值	由于分割而增值
有可能被识别和保护	存在数据保护和数据安全的问题
分发困难 (物流和配送)	传播简单
价值/价格容易被确定	价值/价格往往只能被主观决定
成本容易被确定	成本难以被确定
定价机制已知	定价机制在很大程度上是未知的
可以对库存估值	对库存估值有问题
经济理论和模型可被引进和利用	理论和模型几乎不存在

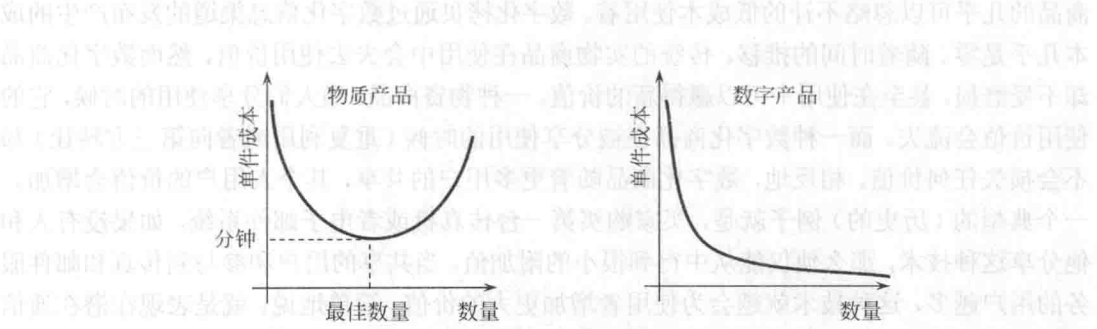


图 1.2 物质产品和数字产品关于生产成本的比较

一个特定的数字设备捆绑在一起。这就产生了业界和“黑客”(Cracker)间不间断的斗争：业界想开发出一种尽可能安全的复制保护措施，黑客们则尝试着绕开当前的安全措施来获取复制的商品。一旦复制保护措施被打破，以前被保护的数字化商品就会经历一个巨大且快速的非法传播过程。一个典型的例子就是音乐行业，这种现象可以为它们近几年收入损失负责。自从30年前出现了光盘(CD)时起，音乐就几乎完全被以数字化形式销售。从20世纪90年代出现第一台价格可以被普通家庭用户承受得起的录音设备开始，音乐就以持续波的势头被非法复制和传播。随着先进的音频压缩技术和更快互联网链接的来临，这种像病毒似的传播就更猛烈了。

数字化商品存储和保存都是借助于数字存储介质或者互联网的。如果要进一步处理和显示，电子设备就是必需的了。其核心一般是一台计算机，但是这一说法即使在今天也并不是总被认可的。让我们首先考虑一种重要的数字化商品：软件。软件在某种意义上来说只有在被安装在计算机上，并且能够被执行的时候才有意义。应用程序可以使计算机执行预定义的功能，从作为每台计算机的基础软件的操作系统延伸到电脑游戏、文字处理系统或者邮件系统。如今，软件常常把“唯一的”纯的信息集合作为应用程序输入。在导航设备上的路线规划使用的是地理数据和道路网络来计算预先规定的终点之间的最短路径。由于道路路径的不断变化，为了随时确保航行目标的准确，必须定期更新道路数据。

数字文本在相当长一段时间内就已经开始在我们的日常生活中占据一席之地了。虽然它作为“互联网”的新媒体没有完全取代传统的印刷媒体,但它获得了出版和报业在数字市场上的份额。每种有名气的报纸都或多或少地为其印刷版本提供了相应的即时消息的数字化版本。电子邮件、短信和博客已经成为我们在基于文本的、电子的通信渠道中不可分割的一部分。在我们每天遇到的数字文本的洪流面前,对于早前传统形式信息发布转换量的顾虑早已被淹没。甚至于今天通俗的文学可以轻松地在电子文本的形式在一种和图书外形很像的电子设备,即所谓的“电子书”上来阅读。这种创新的、易于阅读的显示屏技术的袖珍格式使得阅读无处不在,不受时间和地点的限制。

数字音乐录音技术和复制技术已经取代了20世纪80年代初以(乙烯)黑胶唱片和磁带为代表的主流媒体。新型编码和压缩技术可以将数字音频数据量压缩到一个比较低的水平,从而使这些数字化数据在互联网上传输成为可能,并且得到相应的盈余。普遍的大量的复制和(最初是非法的)文件共享(或自用)已经使得音乐产业受到了严重的威胁。播放压缩数字音频的设备已经小到足够在日常生活中,甚至在运动中成为人们的永恒伴侣。一种正在形成的新的广播模式,即互联网收音机,以其更为个性化的节目流程,对传统的无线电广播构成了巨大的冲击。

数字化和压缩技术也广泛应用于电影和电视产业。没有经过压缩的、数字化的视频数据需要巨大的存储空间,这样可以初步避免受版权保护的材料以电子的形式泄漏出去。然而先进的视频压缩技术可以使移动影像以无失真的、可盈利的模式通过互联网的媒介交流传播。视频的压缩流程需要大量的计算能力,而这只有在计算机硬件不断发展的基础上才可能实现。数字电视、网络电视和视频点播导致了电子数据传播的日益普及。传统的模拟录音、录像以及传播方式已经日益被现代化的、数字化的媒体数据和电子通信媒体所取代。

计算机硬件在价格显著下降的同时,性能却得到了提升。一台30年前在大学或大公司才能拥有的计算机存储容量和处理能力在今天已经被简单的移动电话远远超越了,并且这种趋势还在向着更为微型化的方向继续发展。从前昂贵的被作为是科学仪器的“计算机”如今已经成为一种廉价的大众产品。信息处理在今天比以往任何时候都更受欢迎。即使在今天,以Gordon Moore的名字命名的摩尔定律(Moore's Law)依然表现出惊人的精确度,该定律指出:在一个芯片上集成的电子开关元件的数量在18至24个月后将增加一倍。通俗地说就是,微处理器的性能每隔18个月会提升一倍,同时体积缩小并且价格下降。这一规律从差不多40年前就开始了。虽然,现在这种趋势似乎有所减缓,但是可以肯定的是它还将持续10到15年。

数字化商品今天能在我们这个现代化世界被广泛传播,其原因在于其非物质化的形式和那种几乎可以被无限制地、免费地和无延迟地复制的可能性。但是,如果没有一个合适的电子传输介质,让这些商品在除了计算机之外的物理存在中释放,那么快速传播也许就不会实现了。因特网和万维网因此被认为是现代数字通信技术的一个缩影。几乎所有传统的、模拟的媒体,例如邮政、电话、报纸、电台或者电视台,在它们的数字化发展进程中都碰到了现代化的版本(电子邮件、IP电话、网络电台、网络电视等)。多年以来,数字通信技术已经取得了巨大进步,随之也出现了稳步增长的数据传输率和数据传输量。尤其重要的是,个人可以直接进入使用无线通信的数字化信息已成为可能。第三代移动通信网络和无线网络在今天已经被视为标准的新技术,例如,超宽带(Ultra-wideband, UWB)和无线低速短距离传

输 (ZigBee) 技术已经站到了起跑线上, 以保证在对必需的终端设备逐步微型化的同时, 提供更高的数据传输率。

1.2 数字通信及其基础

我们见证了一个数字化商品占据核心地位, 并被赋予经济、科学和社会意义的新时代的开始。任何一种可以想象出来的表达形式, 无论是文字、图片或者声音, 被描述的信息在今天都可以随时随地地不依赖于时间和空间地通过数字分销渠道获得。因特网和万维网在其中发挥了核心的作用。如果没有它们, 数字化商品将无法发挥其无所不能的作用。因此, 数字通信在这个新时代的道路上担负着一个经典的双重作用。一方面, 它是我们正在经历的和即将面临的许多变化的动力和催化剂。另一方面, 它可以帮助我们在这个拥有极端加速度、灵活性和动态性的新时代里精确定位, 使之成为我们了解和使用它们的良好契机。

不同的计算机网络、企业网络、科学网络、军事网络、地区网络或者区域运营商组成的世界联盟可以建立在不同的媒体介质上, 例如铜电缆、光纤或者无线电波和网络技术, 它们的整体就组成了我们今天所说的“互联网”, 构成了虚拟网络世界的基础设施。互联网在 30 年的发展历程中, 从一个只拥有 4 台计算机组成的试验网发展到在 1969 年登陆人类月球时使用的不同网络和计算机组成的数以百万计的计算网络节点, 这样天翻地覆的变化归功于隐藏在一个全球网络背后的互联网技术的出现。众所周知, 互联网技术能够使用一套固定的通信协议的规则, 即互联网协议, 让大量不同的、互不兼容的网络之间实现跨越全球的数字通信。互联网技术完全隐藏了物理网络硬件的详细信息, 使相互连接的计算机可以相互交流而不依赖于各个物理链路。

导致互联网巨大增长的原因之一就是其开放的系统架构。这种开放是指, 与某些特定公司提供的专用网络相比, 所有必要的互联网规范都是公开发布并可以被使用的。互联网通信协议的整体设计被阐释为, 各种计算机和网络能够被相互链接, 即使它们使用的是不同的操作系统和应用程序。

为了能够探索数字通信的可能性, 人们必须要了解它们的基础性能。在进入数字形式之前, 我们首先研究交流及其相关的沟通过程。沟通是两个或两个以上的通信伙伴之间信息相互交流的过程。参与通信的伙伴可以是人, 也可以是技术系统。通信伙伴用信息的形式编码要传递的消息。在人们的日常交流中, 有人制订了必须遵守的共同的语法和语义规则 (例如, 从口语中获得的灵感), 这样通信伙伴间就可以理解被传递的“消息”, 从而通过获取的声波信号重建思想内容。

我们对数字通信的思考覆盖了广阔的范围。从信息的 (数字化) 编码到 (数字化) 信息渠道的技术水平。不同的学科都做出了相应的贡献: 在这些过程中所传递的信息实际上大多数是以模拟形式出现的。因此, 首先要进行一次信息的模拟 - 数字转换 (A-D 转换)。在这一过程中要使用到物理、数学和计算机科学的方法。然后, 要涉及到是数字信号的有效编码, 这要符合媒体数据的特点和沟通渠道的性质。要发送的信息都必须遵循一种固定的语法格式, 这种格式都在各自的通信协议中实现。每种语言的语法都可以使人们了解其相应的规则, 从而判断一串字符是否构成了正确的单词和句子。这种语法要么详细列举了所有有效的单词和词组或者如何生成这些单词、词组和句子的规则, 即所谓的语法, 要么就是以这两种混合形式存在 [40]。然后基于语法的语义学 (重要的教学内容) 在语法的帮助下规定被正确构造