

计算机系列教材

# 数据通信与 计算机网络教程

(第2版)

杨心强 编著

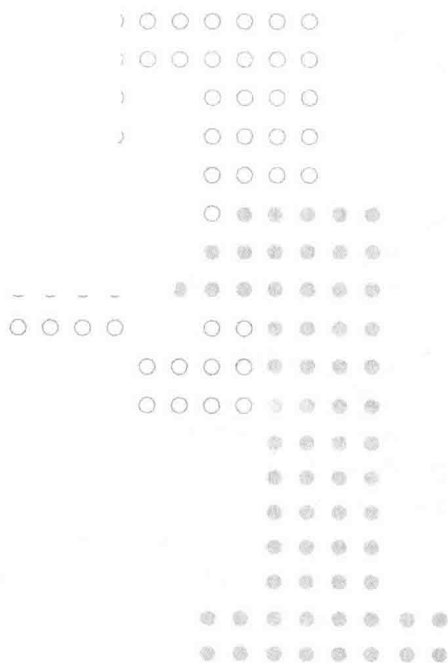
清华大学出版社



计算机系列教材

杨心强 编著

# 数据通信与 计算机网络教程 (第2版)



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是清华大学出版社“计算机系列教材”之一。

全书共分 11 章。第 1 章是全书的概述。第 2、3 章较全面地介绍数据通信基础知识和数据传输技术。第 4~8 章重点介绍计算机网络的物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层。第 9 章介绍因特网的多媒体应用服务。第 10 章介绍无线网络。第 11 章是计算机网络的和管理和安全。各章均附有小结和习题。附录 A 是部分习题参考答案,附录 B 是英文缩写词。最后是参考文献。为了便于教学,本书还提供可修改的电子教案。

本书的特点是概念清楚、论述严谨、内容充实、图文并茂。全书将数据通信和计算机网络两门课程融为一体,用通俗的语言阐述了数据通信与计算机网络的基本概念和基本原理,同时也力求反映最新进展。

本教材可作为高等学校计算机或通信,以及其他有关专业的本科生教材,也可作为职业教育相关专业的参考教材,对从事数据通信和计算机网络工作的工程技术人员也有学习参考价值。

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

数据通信与计算机网络教程/杨心强编著. —2 版. —北京:清华大学出版社,2016

计算机系列教材

ISBN 978-7-302-42949-4

I. ①数… II. ①杨… III. ①数据通信—高等学校—教材 ②计算机网络—高等学校—教材  
IV. ①TN919 ②TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 030556 号

责任编辑:白立军

封面设计:常雪影

责任校对:梁毅

责任印制:李红英

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:29.75 字 数:741 千字

版 次:2013 年 11 月第 1 版 2016 年 6 月第 2 版 印 次:2016 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.50 元

产品编号:066788-01

本教材是清华大学出版社“计算机系列教材”之一。

本教材所讲授的知识是数据通信与计算机网络的基本原理和有关技术。这些内容较为成熟,对于这些较成熟的内容在改版时基本上未做很大的修改。但是,考虑到数据通信与计算机网络技术发展很快,新版教材必须反映新的知识点,以适应本课程教学的要求。

在第2版的教材中,每一章开始都指出本章的重要内容,章末又归纳了本章最重要的概念。这对使用本教材的学生掌握应该学到的知识点是很有帮助的。

全书分为11章。第1章是概述,着重介绍因特网的发展过程,增加了因特网交换点IXP的概念,并在介绍云计算时增写了大数据。第2章是数据通信基础知识,增写了散射通信一节。第3章是数据传输技术,将脉冲编码调制技术一节改写成模拟信号数字化的传输技术。第4~8章是按照计算机网络五层体系结构进行介绍的。第4章物理层基本上未做改动。第5章数据链路层增写了PPPoE协议和网络适配器,简化了在物理层扩展以太网的内容。第6章网络层增写了多协议标记交换MPLS一节。第7章传输层增写了随机早期检测RED的内容。第8章应用层增写了微信,取消了文件传送和远程登录协议TELNET,把原多媒体应用服务一节单独成第9章。第9章中还增写了服务质量的改进一节。第10章无线网络基本上未做较大的更改。第11章计算机网络管理和安全改写了两种密码体制的密钥分配和防火墙的主要类型。

各章末均附有小结和习题。书后还有两个附录,附录A是部分习题参考答案,附录B是英文缩写词。最后是参考文献。为了便于教学,本书提供了可修改的电子教案。

本教材的参考学时为60~70学时。在课程学时数较少的情况下,可选用最基本的内容(在目录的相应章节前附有\*号)。

本教材的特点是概念清楚、论述严谨、内容充实、图文并茂。此书将数据通信和计算机网络两门课程融为一体,用通俗的语言,阐述了数据通信与计算机网络的基本概念和基本原理,同时也力求反映一些最新进展。本教材可作为高等学校(含军事院校)计算机或通信,以及其他有关专业的本科生教材,也可作为职业教育相关专业的参考教材,对从事数据通信和计算机网络工作的工程技术人员也有学习参考价值。

在本教材修改过程中,解放军理工大学指挥信息系统学院陈国友副教授,解放军理工大学通信工程学院经文浩、王传风高工,南京第14研究所杨玮、朱晔提出了许多宝贵的意见和

## 前言 《数据通信与计算机网络教程(第2版)》

建议;解放军理工大学指挥信息系统学院谢希仁教授提供了宝贵的资料。王丽辛高工为本书图稿的绘制给予了积极的支持和指导。对此,作者表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,恳请专家和广大读者批评指正。

作者的电子邮件地址:yang\_xinqiang@163.com(来信时务请注明真实姓名、单位、职务、联系电话和通信地址、邮编)。

作者 2016年3月于  
解放军理工大学指挥信息系统学院,南京

F O R E W O R D

<b>第1章 概述</b>	<b>/1</b>
1.1 数据通信概述	/1
1.1.1 模拟通信、数字通信和数据通信	/1
*1.1.2 数据通信系统的模型	/2
1.2 数据通信系统	/3
1.2.1 数据通信系统的组成	/3
1.2.2 数据通信系统的分类	/4
*1.2.3 数据通信系统的主要性能指标	/5
1.3 数据通信网络	/6
1.4 计算机网络概述	/7
*1.4.1 计算机网络的发展过程	/7
*1.4.2 因特网的组成	/11
1.4.3 计算机网络的定义及类别	/14
1.4.4 计算机网络的功能及应用	/15
*1.4.5 计算机网络的性能指标	/16
*1.5 计算机网络的体系结构和模型	/19
1.5.1 层次型的体系结构	/19
1.5.2 计算机网络的模型	/20
1.5.3 若干重要概念	/24
1.6 标准及其制定机构	/28
1.6.1 标准	/28
1.6.2 标准化组织	/28
*1.7 发展趋势	/30
1.7.1 泛在网络和泛在计算	/30
1.7.2 新信息服务	/32
1.7.3 云计算和大数据	/33
1.7.4 下一代网络	/34
1.7.5 网络融合	/36
1.8 小结	/37
1.9 习题	/38

第2章	数据通信基础知识	/40
2.1	消息、信息、数据和信号	/40
2.1.1	消息和信息	/40
2.1.2	数据	/41
2.1.3	信号	/42
* 2.2	传输方式和传输速率	/44
2.2.1	传输方式	/44
2.2.2	传输速率	/46
2.2.3	频带利用率	/48
* 2.3	传输损伤和传输质量	/48
2.3.1	传输损伤	/48
2.3.2	传输质量	/49
2.4	通信编码	/53
* 2.5	传输信道	/54
2.5.1	信道概述	/54
2.5.2	信道容量的计算	/55
* 2.6	传输介质	/57
2.6.1	导引型传输介质	/58
2.6.2	非导引型传输介质	/63
2.7	小结	/70
2.8	习题	/71
第3章	数据传输技术	/74
3.1	模拟信号数字化传输技术	/74
* 3.1.1	模拟信号的抽样	/74
* 3.1.2	抽样模拟信号的量化	/76
* 3.1.3	脉冲编码调制(PCM)	/77
3.1.4	差分脉冲编码调制(DPCM)	/79
3.1.5	自适应差分脉冲编码调制	/79
3.2	数字基带传输技术	/80
3.2.1	基带传输对信号的要求	/80
* 3.2.2	基带信号的波形及其传输码型	/81
3.3	数字频带传输技术	/85

* 3.3.1	基本数字调制技术	/86
3.3.2	正交幅度调制	/94
* 3.3.3	幅相混合调制	/95
3.3.4	正交频分复用调制	/97
3.4	信道访问技术	/97
3.4.1	轮询访问技术	/98
* 3.4.2	争用访问技术	/99
* 3.5	信道复用技术	/103
3.5.1	频分复用	/104
3.5.2	波分复用	/105
3.5.3	时分复用	/107
3.5.4	码分复用	/109
3.6	同步控制技术	/111
3.6.1	载波同步	/111
* 3.6.2	位同步	/112
3.6.3	群同步	/113
3.6.4	网同步	/115
3.7	数据交换技术	/117
3.7.1	电路交换	/118
3.7.2	报文交换	/118
* 3.7.3	分组交换	/119
* 3.8	差错控制技术	/120
3.8.1	差错控制概述	/120
3.8.2	差错检测	/122
3.8.3	差错纠正	/126
3.9	小结	/128
3.10	习题	/130
<b>第4章</b>	<b>物理层</b>	<b>/132</b>
* 4.1	物理层概述	/132
* 4.2	物理层接口特性	/132
4.2.1	机械特性	/133
4.2.2	电气特性	/133



- 4.2.3 功能特性 /135
- 4.2.4 规程特性 /136
- 4.3 物理层的常用标准 /137
  - 4.3.1 EIA RS-232 /137
  - 4.3.2 EIA RS-449 /140
  - 4.3.3 RJ-45 /141
- \* 4.4 数字传输系统 /143
- \* 4.5 宽带接入技术 /145
  - 4.5.1 基于五类线的以太网接入技术 /145
  - 4.5.2 基于铜线的 xDSL 技术 /146
  - 4.5.3 基于混合光纤/同轴电缆的接入技术 /148
  - 4.5.4 光纤接入技术 /149
- 4.6 小结 /150
- 4.7 习题 /151

## 第5章 数据链路层 /152

- \* 5.1 数据链路层概述 /152
- \* 5.2 数据链路层的3个基本问题 /153
  - 5.2.1 帧定界 /153
  - 5.2.2 透明传输 /155
  - 5.2.3 差错检测 /156
- \* 5.3 点对点信道的数据链路层协议 /156
  - 5.3.1 数据链路层协议概述 /156
  - 5.3.2 PPP 和 PPPoE 协议 /157
  - 5.3.3 PPP 和 PPPoE 协议的帧格式 /158
  - 5.3.4 PPP 协议的状态图 /159
- 5.4 广播信道的数据链路层 /160
  - \* 5.4.1 局域网概述 /160
  - \* 5.4.2 局域网体系结构 /162
  - 5.4.3 IEEE 802 标准 /163
- \* 5.5 使用广播信道的以太网 /163
  - 5.5.1 以太网概述 /163

- 5.5.2 以太网的 MAC 子层 /164
- 5.5.3 CSMA/CD 协议 /167
- 5.5.4 以太网的信道利用率 /169
- \* 5.6 扩展的以太网 /170
  - 5.6.1 在物理层扩展以太网 /170
  - 5.6.2 在数据链路层扩展以太网 /171
- \* 5.7 高速以太网 /177
  - 5.7.1 100BASE-T 以太网 /177
  - 5.7.2 吉比特以太网 /178
  - 5.7.3 10 吉比特以太网 /179
  - 5.7.4 40/100 吉比特以太网 /179
- 5.8 小结 /180
- 5.9 习题 /182

## 第 6 章 网络层 /184

- \* 6.1 网络层概述 /184
  - 6.1.1 虚拟互连网络 /184
  - 6.1.2 网络层提供的两种服务 /185
- \* 6.2 网际协议 IPv4 /187
  - 6.2.1 分类的 IP 地址 /188
  - 6.2.2 划分子网 /190
  - 6.2.3 无分类编址 /194
  - 6.2.4 地址解释和地址转换 /196
  - 6.2.5 IP 数据报的格式 /200
  - 6.2.6 IP 层分组转发机制 /204
- \* 6.3 因特网路由选择协议 /208
  - 6.3.1 路由选择协议概述 /208
  - 6.3.2 内部网关协议 /210
  - 6.3.3 外部网关协议 /217
  - 6.3.4 路由选择的关键部件——路由器 /218
- \* 6.4 网际控制报文协议 ICMPv4 /220
- 6.5 多协议标记交换 MPLS /222
  - 6.5.1 MPLS 概述 /222

6.5.2	MPLS 的基本原理	/223
6.5.3	MPLS 的首部和格式	/227
6.6	IP 多播及其协议	/228
6.6.1	IP 多播概述	/228
6.6.2	局域网 IP 多播	/229
6.6.3	因特网 IP 多播	/230
* 6.7	移动 IP 及其协议	/232
6.7.1	移动 IP 概述	/232
6.7.2	移动 IP 的基本原理	/233
6.7.3	移动 IP 必须考虑的几个问题	/236
* 6.8	下一代因特网的网络层协议	/237
6.8.1	网际协议 IPv6	/237
6.8.2	网际控制报文协议 ICMPv6	/246
6.8.3	移动 IPv6	/247
6.9	小结	/248
6.10	习题	/250
<b>第 7 章</b>	<b>传输层</b>	<b>/256</b>
* 7.1	传输层概述	/256
7.1.1	传输层的基本功能	/256
7.1.2	传输层的协议	/257
7.1.3	传输层的服务	/258
7.1.4	传输层的端口	/259
* 7.2	用户数据报协议 UDP	/260
7.2.1	UDP 概述	/260
7.2.2	UDP 报文的格式	/261
* 7.3	传输控制协议 TCP	/262
7.3.1	TCP 概述	/262
7.3.2	TCP 报文段的格式	/264
7.3.3	TCP 传输控制	/266
7.3.4	TCP 拥塞控制	/276
7.3.5	TCP 连接管理	/283
7.4	小结	/288

- 7.5 习题 /290
- 第8章 应用层 /294**
  - 8.1 应用层概述 /294
  - \* 8.2 域名系统 /295
    - 8.2.1 概述 /295
    - 8.2.2 因特网的域名结构 /296
    - 8.2.3 域名服务器 /298
    - 8.2.4 域名解析 /300
  - \* 8.3 万维网 /301
    - 8.3.1 概述 /301
    - 8.3.2 统一资源定位符 URL /303
    - 8.3.3 超文本传送协议 HTTP /303
    - 8.3.4 超文本标记语言 HTML /308
    - 8.3.5 万维网的文档 /310
    - 8.3.6 万维网的信息检索 /313
    - 8.3.7 博客、微博、轻博和微信 /314
  - \* 8.4 电子邮件 /316
    - 8.4.1 概述 /316
    - 8.4.2 电子邮件的格式 /318
    - 8.4.3 简单邮件传送协议 SMTP /318
    - 8.4.4 邮件读取协议 POP3 和 IMAP4 /320
    - 8.4.5 通用因特网邮件扩充协议 MIME /321
    - 8.4.6 基于万维网的电子邮件 /323
  - \* 8.5 动态主机配置协议 DHCP /324
  - 8.6 应用进程间的通信 /326
    - 8.6.1 系统调用 /326
    - 8.6.2 应用编程接口 /326
  - 8.7 小结 /328
  - 8.8 习题 /329
- 第9章 因特网的多媒体应用服务 /332**
  - \* 9.1 多媒体应用服务概述 /332

9.1.1	多媒体信息的传输特性	/332
9.1.2	音频/视频服务的分类	/334
9.1.3	音频/视频信号的数字化和压缩	/335
9.2	流式存储音频/视频	/336
9.2.1	具有元文件的万维网服务器	/337
9.2.2	媒体服务器	/337
9.2.3	实时流式协议 RTSP	/338
* 9.3	实时交互音频/视频	/339
9.3.1	IP 电话的基本原理	/339
9.3.2	IP 电话的关键技术	/340
9.3.3	IP 电话的信令标准	/341
9.3.4	实时传输协议 RTP	/345
9.3.5	实时传输控制协议 RTCP	/347
9.4	服务质量的改进	/348
9.4.1	服务质量概述	/348
9.4.2	改进服务质量的几种机制	/349
9.4.3	综合服务	/352
9.4.4	区分服务	/354
9.5	小结	/356
9.6	习题	/358

## 第 10 章 无线网络 /359

10.1	无线局域网	/359
* 10.1.1	无线局域网概述	/359
10.1.2	IEEE 802.11 标准	/362
* 10.1.3	802.11 局域网的 MAC 层协议	/364
* 10.1.4	802.11 局域网的 MAC 帧	/369
10.1.5	802.11 提供的服务	/370
10.2	无线个域网	/370
10.2.1	蓝牙技术	/371
10.2.2	低速无线个域网	/372
10.2.3	高速无线个域网	/376
10.3	无线城域网	/377

- 10.3.1 无线城域网概述 /377
  - 10.3.2 IEEE 802.16 标准 /378
  - 10.4 其他无线网络 /381
    - 10.4.1 无线传感器网 /381
    - 10.4.2 无线网格网 /383
  - \* 10.5 蜂窝移动通信网 /385
    - 10.5.1 蜂窝移动通信概述 /385
    - 10.5.2 蜂窝移动通信系统 /387
    - 10.5.3 蜂窝移动通信中的抗干扰 /389
    - 10.5.4 无线应用协议 WAP /390
  - 10.6 小结 /393
  - 10.7 习题 /394
- 第 11 章 计算机网络的管理和安全 /396**
- \* 11.1 计算机网络的管理 /396
    - 11.1.1 网络管理概述 /396
    - 11.1.2 网络管理的一般模型 /397
    - 11.1.3 网络管理的体系结构 /398
    - 11.1.4 ISO 的网络管理功能 /398
  - 11.2 简单网络管理协议 SNMP /400
    - 11.2.1 管理信息结构 /400
    - 11.2.2 管理信息库 /403
    - 11.2.3 SNMP 报文和协议数据单元 /404
  - \* 11.3 计算机网络的安全 /406
    - 11.3.1 计算机网络面临的安全威胁 /406
    - 11.3.2 计算机网络的安全性需求 /408
  - \* 11.4 数据加密技术 /408
    - 11.4.1 数据加密通信的模型 /408
    - 11.4.2 对称密钥密码体制 /409
    - 11.4.3 公开密钥密码体制 /411
  - \* 11.5 网络安全策略 /414
    - 11.5.1 加密策略 /414
    - 11.5.2 密钥分配 /416

11.5.3	鉴别	/417
11.5.4	防火墙与入侵检测	/420
11.6	虚拟专用网	/422
*11.7	因特网的安全协议	/424
11.7.1	网络层安全协议	/425
11.7.2	传输层安全协议	/427
11.7.3	应用层安全协议	/429
11.8	小结	/431
11.9	习题	/433
附录 A	部分习题参考答案	/435
附录 B	英文缩写词	/450
参考文献		/459

# 第 1 章 概 述

本章是全书的概要,分为两个部分。第一部分是数据通信,介绍数据通信的基本概念及模型,数据通信系统的组成、主要性能指标和数据通信网络。第二部分是计算机网络,介绍计算机网络的发展过程,因特网的组成,计算机网络的定义、类别、功能和性能指标。接着论述这部分各章都要用到的重要概念——计算机网络的体系结构和模型。最后是发展趋势。

必须指出,本章中计算机网络体系结构的内容较为抽象。在未了解具体的计算机网络之前,可能难以完全理解这些知识。但是这些知识将是学习后续章节的基础,如果能在学习后续章节的同时,经常重温这些知识,将对掌握计算机网络的概念起到事半功倍的作用。

## 1.1 数据通信概述

### 1.1.1 模拟通信、数字通信和数据通信

通信(Communication)是指人与人或人与自然之间通过某种行为或媒体进行的信息交流与传递。由于不同的环境对通信有不同的解释,在出现电波传递信息后,通信被单一解释为信息的传递,是指由一地向另一地进行信息的传输与交换的传递过程,其目的是传递消息。在各种各样的通信方式中,利用“电”来传递消息的通信方法称为电信(Telecommunication),它具有迅速、准确、可靠等特点,几乎不受时间、地点、空间、距离的限制,因而得到了飞速发展和广泛应用。

通信传递的消息有多种形式,如符号、文字、数据、语音、图形、图像等。它们大致可归纳成两种类型:连续消息和离散消息。连续消息指消息的状态是随时间连续变化的,如强弱连续变化的语音。离散消息指消息的状态是可数的或离散的,如符号、文字和数据等。通常,我们把连续消息和离散消息分别称为模拟消息和数字消息。

这两种消息可以用不同的信号来传输。这里所说的信号就是通信系统在传输介质中传输的信号  $s(t)$ ,它有两种基本形式。

一种是模拟信号,其信号的波形可以表示为时间的连续函数,如图 1-1(a)所示。这里,“模拟”的含义是指用电参量(如电压、电流)的变化来模拟源点发送的消息。如电话信号就是语音声波的电模拟,它是利用送话器的声/电变换功能,把语音声波压力的强弱变化转变成语音电流的大小变化。以模拟信号为传输对象的传输方式称为模拟传输,以模拟信号来传送消息的通信方式称为模拟通信,而传输模拟信号的通信系统称为模拟通信系统。

另一种是数字信号,其特征是幅度不随时间连续变化,只能取有限个离散值。通常以两个离散值(0 和 1)来表示二进制数字信号,如图 1-1(b)所示。以数字信号为传输对象的传输方式称为数字传输,以数字信号来传送消息的通信方式称为数字通信,而传输数字信号的通信系统称为数字通信系统。



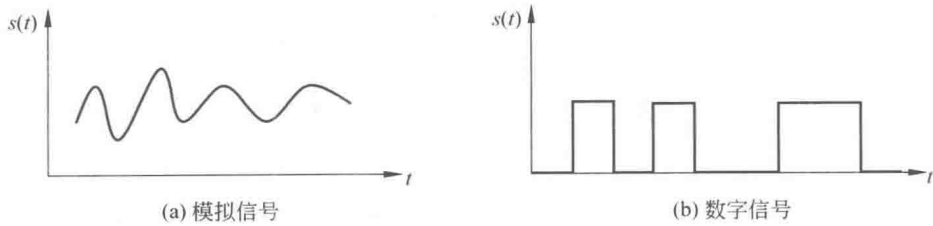


图 1-1 模拟信号与数字信号

必须指出,模拟信号和数字信号虽是两种不同形式的信号,但它们在传输过程中是可以相互变换的。模拟信号可以采用模/数转换技术变换为离散的数字信号,而数字信号也可以通过数/模转换技术变换为连续的模拟信号。

与模拟通信相比,数字通信具有以下优点:抗干扰性强、保密性好、设备易于集成化和便于使用计算技术对其进行处理等。它的主要缺点是占用的信道频带比模拟通信宽得多,降低了信道的利用率。但随着信道性能的改善,这一问题将会得到解决。

数据通信是通信技术和计算机技术相结合而产生的一种新的通信方式。从某种意义上来说,数据通信可看成是数字通信的特例,具有数字通信的一切优点。数据通信主要是“人(通过终端)-机(计算机)”通信或“机-机”通信,它以数据传输为基础,包括数据传输和数据交换,以及在传输前后的数据处理过程。由于数据通信离不开计算机,因此人们常把数据通信与计算机通信这两个名词混用。目前,计算机在各个领域都得到了广泛的应用,因而数据通信有着广阔的应用领域和发展前景。

### \* 1.1.2 数据通信系统的模型

下面以两台 PC 通过电话线,再经公用电话网进行通信的简单例子,来说明任何一个通信系统都可用一个简单的通信模型来抽象地描述其内在含义。数据通信系统的模型如图 1-2 所示。

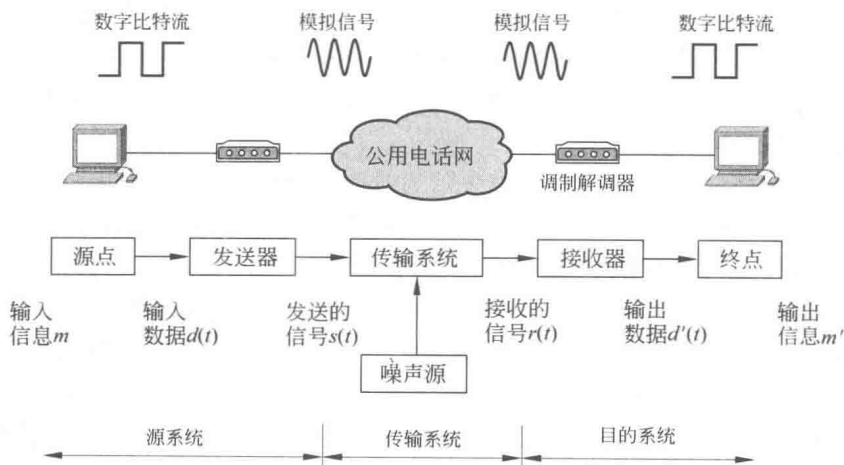


图 1-2 数据通信系统的模型