



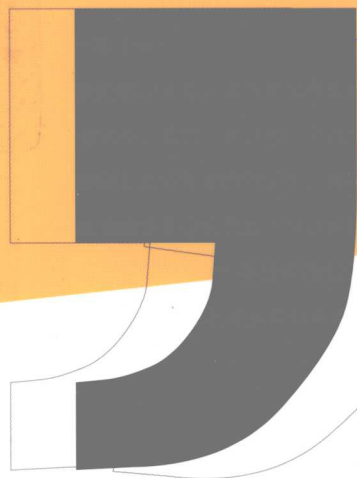
# 对

# 话

# 通信原理



中国通信学会 组编  
通信新技术普及丛书



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

# 对话

## 通信原理

中国通信学会 组编  
通信新技术普及丛书

人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

对话通信原理 / 中国通信学会组编 ; 中兴通讯学院  
编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2010. 7  
(通信新技术普及丛书)  
ISBN 978-7-115-22125-4

I. ①对… II. ①中… ②中… III. ①通信理论 IV  
①TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第241859号

## 内 容 提 要

本书用通俗易懂的语言、轻松的人物对话形式,深入浅出地介绍了通信的基本概念、理论和分析方法,包括通信系统、信息、信号、信道、信源编码、基带传输、信道编码、调制、同步、接收、交换和路由、通信网等内容。全书知识系统、重点突出、内容实用,以趣味性的写法介绍晦涩、枯燥的专业技术,并配有多媒体光盘,为通信技术的初学者轻松打开学习之门。

本书以通信行业相关从业人员为主要读者对象,可作为初涉通信领域人员的学习入门书,也可作为大中专院校的通信、电子、无线电等相关专业的学生学习参考书。

通信新技术普及丛书

### 对话通信原理

- 
- ◆ 组 编 中国通信学会  
编 著 中兴通讯学院  
责任编辑 青晓琴
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京铭成印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 800×1000 1/16  
印张: 15.75 2010年7月第1版  
字数: 339千字 2010年7月北京第1次印刷

---

ISBN 978-7-115-22125-4

定价: 48.00 元 (附光盘)

读者服务热线: (010)67119329 印装质量热线: (010)67129223  
反盗版热线: (010)67171154

# 编委会

## 主任

周德强

## 副主任

冷荣泉	左迅生	沙跃家
赵梅庄	季仲华	

## 委员 (按拼音排序)

陈健洲	高颂革	阚兆江
李长海	李默芳	梁志平
刘岩	钱航	钱晋群
王涛	王晓丹	韦乐平
易东山	张英海	张志峰
张智江	赵晓晖	周建明
朱峰	朱洪波	

## 策划

李仲华	苏容	邱泉
张勇	王建军	

## 丛书序

随着信息通信技术与互联网的发展与融合，现代通信网发生了巨大的变化，同时也促进了通信新技术的发展和新业务的丰富。尤其是 2009 年以来，我国迈入了 3G 时代，通信新技术、新概念层出不穷，新业务不断涌现，让人目不暇接。面对这种新的形势，及时补充和更新通信技术和业务知识，成为信息通信行业的管理人员、市场营销人员、技术人员的迫切需求。与此同时，社会上关注和想了解信息通信的人也越来越多。

目前，关于信息通信技术的论著很多，其中绝大多数论著的学术气息比较浓厚，语言表达通常严谨而深奥，对一般读者来说学习和理解还有难度。鉴于这种状况，中国通信学会结合当前科普与教育工作的实际需求，经过充分的调研分析，决定组织出版这套《通信新技术普及丛书》，以满足部分读者快速掌握通信知识、提高技术水平、提升专业素养的需求。

《通信新技术普及丛书》包括《对话通信原理》、《对话第三代移动通信》、《对话移动互联网》、《对话多媒体通信》、《对话下一代网络》、《对话宽带接入》、《对话网络融合》和《对话光通信》8 本书。丛书不但采用了趣味的人物对话编写方式，还借助现代多媒体技术将一些抽象的概念做了形象的演示，希望以此帮助行业管理人员、市场营销人员、技术人员能够快速地向专业的知识迈进，更深刻地理解通信技术和设备的原理，无障碍地阅读技术资料，以达到高效辅助工作的目的；同时也希望让想了解信息通信的读者能够有深度地了解电信新技术和新业务。

努力在教育领域继续做出高水平、高规格、高质量的科普培训样本，是中国通信学会落实科学发展观的一项具体措施，也是科普教育工作的一个长期任务。《通信新技术普及丛书》的出版，对落实科学发展观，繁荣通信科普创作，广泛普及通信新技术和新业务知识，提高从业人员和用户的科学文化

素质，促进通信事业发展具有积极的意义。

这里，谨以本丛书的付梓出版，向参与写作和编辑的各方人员致以由衷的感谢和祝贺！

A handwritten signature in black ink, reading '周镇元' (Zhou Zhenyuan). The characters are written in a fluid, cursive style.

中国通信学会理事长

# 编者序

科学技术的进步导致人民生活水平的提高和通信行业日新月异的发展；同时，科学技术的不断创新和持续发展也离不开科学文化的普及和科学发展观的落实。国际上的竞争愈来愈演变为高科技领域的竞争，因此，新技术、新知识的快速普及和传播也显得更加迫切和重要，这也是每一个知识工作者应尽的义务和崇高的使命。

对于中兴通讯学院来说，学院的社会责任就是培训和知识传递。知识就是生产力，国家提倡科教兴国，科学教育的核心就是知识，教育的目的是培养人，知识的核心价值体现在人上面。而这个过程是动态的，动态的过程就是传播，是培训。知识的传播既是竞争的需要也是社会责任的体现。

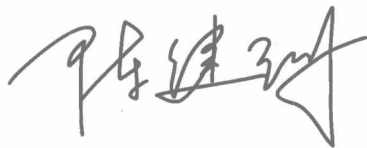
在中国通信学会周德强理事长的倡导下，在通信业界的一些专家和学者的支持下，人民邮电出版社从2009年起组织出版一套通信新技术和新知识普及丛书。在网络经济改变人民生活 and 通信行业经历巨大变革的大环境下，这是一件非常有意义的事情。中兴通讯学院恰逢这样的机会，参与到《通信新技术普及丛书》项目共襄盛举。《通信新技术普及丛书》实现了专家、出版社与企业的联动，在知识传递的模式上也有所创新。中兴通讯作为知识型企业，将多年积淀的知识回馈给社会，也体现了企业的社会价值和社会责任。

中兴通讯学院整合公司各部门的技术专家资源、学院的讲师、知识产品架构师、知识产品开发工程师、多媒体开发工程师，参与到《通信新技术普及丛书》的编写工作中。根据最初的策划，完成了《对话通信原理》、《对话第三代移动通信》、《对话移动互联网》、《对话多媒体通信》、《对话下一代网络》、《对话宽带接入》、《对话网络融合》、《对话光通信》共8本书的编写。本套丛书在行文风格上力求通俗易懂，在编写上力求采用民众喜闻乐见的方式，并且引进了“科普动漫”来演示抽象的概念和理论。这些努力都是一些有益的尝试，希望有助于知识的传

播和普及。

在科普领域，记得郁达夫曾赞扬亨德里克·威廉·房龙的笔，有“一种魔力”，“干燥无味的科学常识，经他那么的一写，无论大人、小孩，读他书的人，都觉得娓娓忘倦了！”《通信新技术普及丛书》也是向这个方向努力，力图使读者朋友能够轻松、愉快地阅读。另外，本丛书还提供多媒体光盘，可以让读者反复观摩和学习。

再次感谢中国通信学会的各位专家和学者，感谢人民邮电出版社，同时也感谢参与写作和编辑的各方人员。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '陈建俊' (Chen Jianjun), written in a cursive style.

中兴通讯学院院长



# 前 言

通信领域的新技术、新概念层出不穷，仿佛昨日还在说着 ATM 的故事，今日转瞬又津津乐道全 IP；这边 WiMAX 刚吆喝完，那边 LTE 又已搭台唱戏。然而技术和概念虽然变化得快，但大都谈不上划时代，多是在现有的基础上进行的一些创新。因此，对于有通信基础的人来说，理解这些概念并非难事；不过对于没有通信基础的人，也许是应接不暇的。

无论是怎样的通信技术，不管是有线的还是无线的，它总要解决一个基本的问题，那就是如何在一点精确或近似地再生另一点的信息。这其实就是通信原理所要回答的问题。所以我们认为，通信原理是通信基础中的基础。

然而专业的通信原理教材，因运用了大量的高等数学知识，从而让人在望而却步之时，也觉得除非去做研究，否则并不实用。这不能不说是通信原理的最大误解。其实了解通信原理，不仅有益于从事通信研究，也有助于了解通信技术的发展趋势以及对通信市场的分析，因此通信原理对于通信从业人员来说是必备的基础知识。

本书试图通过趣味的语言，避免深奥的专业理论，并借助现代多媒体技术，演示一些抽象的概念，以期在业余和专业之间，高效、快速地搭起一座准专业的桥梁，既方便读者向更专业的知识迈进，也方便读者更深入地分析通信行业的技术和市场。

本书共分 12 章，以人物对话的方式编排。卓永刚负责全书的统稿及第 1~4 章以及第 10~12 章的编写工作，张晓慧负责第 5~9 章的编写工作。

与本书配套的多媒体光盘，由卓永刚负责总体编导，并负责主要的脚本编写工作，张晓慧负责部分章节的脚本编写工作。多媒体动画的设计和制作由徐恒、裴泽芳、秦红娟、林春燕、周厚桥、张刚勤、覃开政、邵文娟等人担当。此套多媒体光盘的内容与本书不完全重复，因此既可单独使用，亦可与本书配套使用。

由于编者水平有限，书中错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2010 年 4 月于中兴通讯

# 目 录

第 1 章 通信中的流水线——通信系统	1
1.1 通信的发展	2
1.2 团结协作——通信系统	3
1.3 我不需要编码——模拟通信系统	6
1.4 编码其实挺好——数字通信系统	7
1.5 你好在哪里——系统指标	8
1.6 小结	9
1.7 习题	11
第 2 章 想不到的价值——信息	13
2.1 想知道什么——信息	14
2.2 废话有多少信息量	15
2.3 小结	17
2.4 习题	18
第 3 章 信息的坐骑——信号	19
3.1 信号的“相貌”特征	20
3.2 信号的“个性”——频谱	21
3.3 信号的“游戏”——卷积	27
3.4 玉不琢不成器——信号的处理	32
3.5 我也耗电——信号的能量和功率	38
3.6 我们长得像吗——信号的相关特性	40
3.7 小结	42
3.8 习题	43
第 4 章 信号的通道——信道	45
4.1 初识信道	46
4.2 “温顺”的有线信道	47
4.3 “乖张”的无线信道	50
4.4 有害的信道噪声	55
4.5 信道容量	59
4.6 小结	62
4.7 习题	64

第5章	数字通信第一步——信源编码	65
5.1	数字瘦身——信源编码的意义	66
5.2	但闻人语响——语音编码	67
5.3	经典之作——PCM编码	67
5.4	变身不变样——抽样定理	72
5.5	时间是挤出来的——时分复用	75
5.6	海纳百川——数字复接	77
5.7	小结	83
5.8	习题	85
第6章	神行太保——基带传输	86
6.1	徒步跋涉——基带传输概念	87
6.2	入乡随俗——码型编码	87
6.3	基带信号频谱	89
6.4	为什么失真——码间干扰	90
6.5	完好无缺——无失真传输条件	91
6.6	理想的无失真传输——奈奎斯特准则	93
6.7	损失补偿——均衡	94
6.8	小结	98
6.9	习题	99
第7章	运输保障——信道编码	100
7.1	给信号穿上防护服——信道编码的作用	101
7.2	差错控制方式	101
7.3	编码北斗星——理论依据	103
7.4	差错控制原理	104
7.5	信道编码大观园	108
7.5.1	奇偶校验法	108
7.5.2	线性分组码	108
7.5.3	卷积编码	110
7.5.4	交织	114
7.5.5	级联码	118
7.5.6	Turbo码	118
7.5.7	LDPC码	119
7.5.8	网格编码	119
7.6	小结	125
7.7	习题	127

第 8 章 换乘交通工具——调制	128
8.1 为什么要调制	129
8.2 调制的分类	130
8.3 幅度调制	131
8.4 移形换位——调频和调相	133
8.5 齐头并进——频分复用	133
8.6 用开关控制——数字调制	135
8.7 节约资源——正交频分复用	139
8.8 小结	143
8.9 习题	144
第 9 章 齐步走——同步	145
9.1 载波同步	147
9.2 位同步	150
9.3 帧同步	152
9.4 网同步	153
9.5 PDH&SDH	156
9.6 小结	161
9.7 习题	163
第 10 章 到站下车——接收	164
10.1 接收原理	165
10.2 谁的错误概率最小——相关接收	167
10.3 谁的输出信噪比最大——匹配滤波接收	169
10.4 2PSK 的最佳接收	171
10.5 小结	172
10.6 习题	173
第 11 章 分岔路口的故事——交换和路由	174
11.1 语音直通车——电路交换	175
11.2 排队转发——分组交换	181
11.3 网络红人——IP 路由	185
11.4 八面玲珑——软交换	194
11.5 小结	195
11.6 习题	197
第 12 章 编织更广阔的通信——通信网	198
12.1 电话网	199
12.2 数据网	203

12.3 移动通信网.....	210
12.4 下一代网络 (NGN) .....	219
12.5 小结.....	220
12.6 习题.....	222
习题答案.....	223
缩略语.....	234
参考文献.....	239

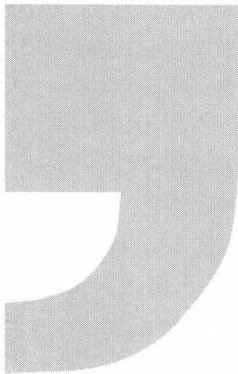
通信中的流水线——

通信系统

**1**

第

章



：嗨，大家好！我叫鸚鵡，长得像鸚鵡，名字也叫鸚鵡，来自遥远的火星。星空虽然遥远，但通信可以拉近你我的距离。我现在是通信学会资深会员老秦的教学助理。日前遇到这么一位学生，自诩“问题青年”。正好，我们老秦（有时我们也尊称他为“秦老”）的外号叫“百问不倒翁”——天哪，当百问不倒翁遇到问题青年，那会怎样？看看便知。

## 1.1 通信的发展



：大家好！很高兴能够和大家聊一聊通信原理。今天咱们的话题是通信系统。


有人说通信最早可以追溯到公元前 800 年的烽火戏诸侯。我的理解是只要能进行思想交流，那就是通信。从这个意义上来看，通信还要往前追溯到更久远的年代。一开始我们离得很近，可以用声音来通信。后来距离远了，超出了声音的传播距离，就想到通过书信、烽火、金鼓、旌旗等来进行远距离通信。到了近代，借助于电的发明，人们发明了电通信，也就是电信。要说电信有多重要，我们可以想象一下，在那个没有电信的年代，人们是怎么克服思念之苦的。


“烽火连三月，家书抵万金”。这是杜甫的诗句，这两句诗包含了古代两种通信方式：烽火和书信。当然杜甫在这里是借烽火指战乱，因为古时候是通过烽火来传递有无“敌情”的，烽火一来，战事就起。烽火可以说是一种简单的、利用光来传递信息的方式。在战乱的岁月，能收到家人的一封信，那真的是赶得上万两黄金了。由此可见人们对于通信的渴望。


可是邮递通信，既不及时，也不可靠，成本也高。遇上个天灾人祸，通信基本就中断了。要是偶尔遇上那些动机不良、有偷窥癖的，想要保密基本是不可能的了。而我们现代的通信，随时随地，无论远近，拿起电话就可以说，甚至可以通过视频即时面对面交流，这都得益于电通信的发展。饮水思源，下面我们就简单地来了解一下电通信的发展过程。


真正有实用意义的电通信出现在 1838 年前后。从莫尔斯发明的电磁式电报机开始，有了有线电报。1864 年，麦克斯韦尔提出电磁辐射方程，预言了电磁波的存在，该预言在 1887 年为赫兹所证实。1876 年，贝尔发明了电话，这是模拟通信的开始。由于电话通信具有实时、交互的特点，因而电话比电报通信得到了更为迅速和广泛的发展。1896

年，马可尼发明了无线电报。在无线通信领域，电报再一次先于电话诞生。1906年，真空管问世，开启了无线电通信的时代，此后相继出现了调幅无线电广播和调频无线电广播。1937年提出了脉冲编码调制原理，1938年开播电视广播。此后的第二次世界大战刺激了雷达和微波通信的发展。1948年发明了晶体管，同年香农提出了重要的《信息论》。1950年，时分多路通信开始应用于电话。1954年第一台电子计算机诞生。1958年第一颗通信卫星上天。1961年发明了集成电路，紧接着在1962年发射了第一颗同步通信卫星，同时脉冲编码调制进入实用阶段。1960—1970年是数字传输理论和技术发展的迅猛期。1970—1980年是大规模集成电路、卫星通信、光纤通信、程控数字交换机和微处理机等技术的快速发展期。1980年之后，超大规模集成电路、多媒体技术、计算机网络及移动通信等迅速崛起。

：看起来，通信的发展和电子技术的发展好像挺紧密的，从真空管、晶体管到集成电路、大规模集成电路以及超大规模集成电路，从模拟电路到数字电路，电子技术的发展，都是如此。


：这个自然。电通信嘛，当然是和电子技术的发展分不开的，但不同的是，通信技术经历的是从数字到模拟，再从模拟到数字的过程。最早出现的电报是一种简单的数字通信。随着真空管的出现，模拟通信得到了发展，作为数字通信雏形的电报，几乎被遗忘在了角落里。此后，由于脉冲编码理论和信息论的提出，再加上计算机、大规模集成电路和光纤通信技术的出现和成熟，才使数字通信又焕发出了新的生命力，得到了全面的发展。现在基本上是数字通信的天下了。

：那我们是不是可以不用再学习模拟通信了？


：应该说我们可以不用重点地去关注模拟通信，但要想更好地理解数字通信，我认为还不能完全撇开模拟通信。比较是一种很好的认知方法，将模拟通信和数字通信进行对比，对数字通信内涵的理解也许会更清晰。此外，即使在数字通信系统中，也仍然存在模拟信号，比如我们的声音以及无线通信中使用的载波等，都还是模拟信号。

## 1.2 团结协作——通信系统

：说起系统——小青，你认为系统的定义应该是什么？

：嗯……记得在信号与系统课程中，系统是有输入、有输出、还有很多相互联系的处理过程的，不过，这不能算是定义吧？



：这也算是一种定义吧。从不同的角度研究系统，就有不同的系统定义，所以系统的定义其实是很多的。但无论从哪个角度来看，系统都应该包含 3 个基本的特点：一是系统是由若干个元素组成的；二是这些元素是相互联系、相互作用的；三是由这些元素组成的整体具有某种特定的功能。通俗地说，系统是由一些元素为某一目标而组成的一个整体。在通信中，传输信息所需要的一系列的设备和媒质统称为通信系统。

一个简单的通信系统首先是由发送和接收两部分组成的。从硬件上看，通信系统主要由信源、信宿、传输介质、接收和发送 5 部分组成，如图 1-1 所示。

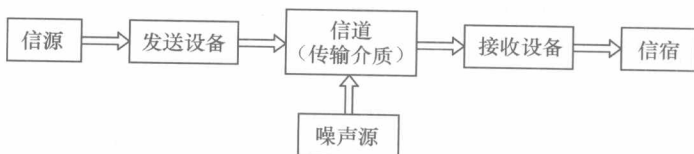


图 1-1 通信系统的基本模型

信源是将消息转换为电信号的设备，例如电话机、摄像机、扫描仪、计算机等。


发送设备的作用是将信源产生的信号转换为适合在信道中传输的信号。在通信中，信道具有特定的频率范围，超过这个范围的信号将无法传输。而信源产生的信号未必就恰巧在这个频率范围之内，这就要靠发送设备的转换了。而最典型的信号转换就是调制。调制的作用是将信源发出信号的频率调到信道允许的频率范围之内，这样才可以被信道所传输。


信道是传输媒质，它的种类很多，概括起来有有线和无线两种。无论哪一种信道，都有一定的频率要求，如同轴电缆的频率要求在 60 kHz~60 MHz，电话线要求在 12~252kHz，而无线信道中使用的电磁波，其频率范围低的可低至 3Hz，高的则高达 300GHz。

噪声是通信系统中有害但又不可避免的信号，它来自系统设备和传输媒介等。图 1-1 中将这此噪声归纳为噪声源，由信道引入，便于分析问题。

接收设备完成发送设备的反变换，将调制信号解调为信息信号，再经过信宿将信息信号还原成消息。

：这就是传说中的通信系统吗？我印象中通信系统是好复杂的，这么看来也只是两点之间的通信而已嘛？

：这才是通信的实质。香农在他的经典论文《通信的数学理论》（即《信息论》）中说过：“通信中的基本问题就是在一点精确或近似地再生另一点的信息”。

：可是秦老，实际中我们接触的有线通信系统或移动通信系统，它们的结构图和这个有些对不上啊？要复杂得多！比如说移动通信系统（如图 1-2 所示）。从手机到基站、