

21 世纪工程技术新型教程系列

通信工程学 概论

〔日〕木村磐根 编著

本系列为日本名牌大学面向 21 世纪教育改革成果

科学出版社

OHM社

薄

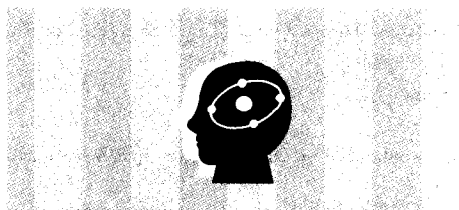
最薄的大学专业系列教材。**易于讲授**

精

内容充实精要，结构紧凑。**易于学习**

新

反映理论与实用技术的最新发展。**易于成才**



21世纪工程技术新型教程系列

通信工程学概论

〔日〕 木村磐根	编著
李树广	王玲玲 译
罗伟雄	校

科学出版社 OHM 社

2001

图字:01-2000-1521 号

Original Japanese edition

Shinsedai Kougaku Shirizu; Tsuushin Kougaku Gairon

Edited by Iwane Kimura

Written by Iwane Kimura, Hideki Ishio, Hiromi Okada, Tooru Sato, Yutaka Satomura,

Yasuo Nomura and Yukiji Yamauchi

Copyright © 1998 by Iwane Kimura

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

Copyright © 2000

All rights reserved.

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

新世代工学シリーズ

通信工学概論

木村磐根 オーム社 1998 第1版 第1刷

图书在版编目(CIP)数据

通信工程学概论/[日]木村磐根编著;李树广、王玲玲译.-北京:科学出版社,2001
(21世纪工程技术新型教程系列)

ISBN 7-03-009195-7

I. 通… II. ①木…②李…③王… III. ①通信工程-概论-教材
IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 05565 号

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

科地五印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2001 年 4 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2001 年 4 月第一次印刷 印张:9 3/4

印数:1—4 000 字数:158 400

定 价:20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

丛 书 序

主编 樱井良文

现在,很多大学正在进行学部、学科的重组,以研究生培养为重点,引入学期制,采用新的课程体系和不断深入的教育计划改革,特别是由于学期制教育的引入,使得原来以分册编写的教材在一个学期的教学中很难消化。因此,各学校对“易教”、“易学”的教材需求越来越迫切。

《21 世纪工程技术新型教程系列》是面向通信、信息,电子、材料,电力、能源,以及系统、控制等多学科领域的新型教程系列。这些教程均由活跃在各学科领域第一线的教授任主编,由年轻有为的学者执笔,内容丰富,有利于对学科基础的理解。版面设计时为学生留出了写笔记的空间,是一种可以兼作笔记,风格别致的教科书。

希望肩负新世纪工程技术领域发展重任的青年读者们,通过本教程系列的学习,建立扎实的学科基础,在实践中充分发挥自己的应用能力。

21世纪工程技术新型教程系列编辑委员会

主 编

樱井良文 大阪工业大学校长
大阪大学名誉教授

副主编

西川 祇一 大阪工业大学信息科学部学部长
京都大学名誉教授

编委(按姓氏笔画顺序)

广濑全孝	广岛大学教授	井口征士	大阪大学教授
木村磐根	大阪工业大学教授 京都大学名誉教授	仁田旦三	东京大学教授
白井良明	大阪大学教授	西原 浩	大阪大学教授
池田克夫	京都大学教授	滨川圭弘	立命馆大学副校长 大阪大学名誉教授

前 言

随着计算机与信息科学的迅速发展,计算机之间的通信已像电话等公众通信一样普及到人们的日常生活之中。在目前的高等教育中,在通信工程专业中所学到的知识与实际计算机技术相比就显得有些陈旧与落后,可以看出通信工程专业的重要性逐渐被人们所忽视。然而,即使计算机技术已经很发达,计算机技术用于通信已经很普遍,但这些成就还是建立在通信工程专业基础上的。因此,通信工程的基础知识对于今后科学技术的发展是非常重要的。

以移动电话、寻呼机等为代表的,以个人用户为对象的移动通信正在普及。大学里也有许多学生利用这些方便的通信工具,在课堂上突然响起呼叫铃声的现象时有发生。这些移动通信系统必须借助无线通信技术传送电波,电波就像空气一样,充斥在我们身边,但其重要性往往却被人们所忽视。

基于这种状况,信息科学等非通信专业的学生也必须掌握一些通信专业的基础知识,以他们为对象尽量通俗易懂地对通信专业的重要性做些介绍是很有必要的。本书从这种观点出发,力图把电波、无线电的基础知识,移动电话、互联网等新型通信技术,包括卫星通信技术等广泛的通信技术内容简明易懂地介绍给读者。希望能通过这本教科书对信息时代的基础学科——通信技术科学的介绍,能引起读者对通信工程的广泛重视。

在本书中,虚数单位用 j (第2、4章)表示;反比例记作逆比例(第3、4章);有关注释均编入各章中。各章的练习题,尽量给出详细解答,在有助于理解本书内容上做了努力。为了使内容容易理解,尽可能地不使用数学公式进行说明。但是,由于必须对通信工程进行最低限度的理论阐述,在不得已的情况下,第2、4、5、6章仍使用了一些数学公式。

本书的编著者主要是由教学经验丰富的私立大学的教师分担。具体分工为:第2、8、11章由佐藤 亨,第5、6章由里村裕,第7章由野村康雄、木村磐根,第9章由山内雪路,第10章由冈田博美,第1、4、12章由木村磐根执笔编写。

木村磐根

编者、著者简历

木村 磐根

1955年 东京大学部电气工学
专业毕业
1961年 工学博士
现在 大阪工业大学信息学
部信息系统专业教授
京都大学名誉教授

石尾 秀树

1966年 京都大学工学部电气
工学专业毕业
1980年 工学博士
现在 大阪工业信息学部信
息处理专业教授

冈田 博美

1970年 大阪大学工学部通信
工学专业毕业
1975年 工学博士
现在 关西大学工学部电子
工学专业教授

佐藤 享

1976年 京都大学工学部电气
工学第二学科毕业
1982年 工学博士
现在 京都大学研究生院工

学研究科通信信息系
统专业教授

里村 裕

1976年 大阪大学研究生院工
学研究科通信工学专
业博士毕业
1976年 工学博士
现在 大阪工业大学工学部
电气工学专业教授

野村 康雄

1963年 大阪大学研究生院工
学研究专业通信工学
硕士毕业
1974年 工学博士
现在 关西大学工学部电子
工学专业教授

山内 雪路

1986年 大阪大学研究生院工
学研究科通信工学专
业博士毕业
1986年 工学博士
现在 大阪工业大学信息学
部信息系统专业副教
授

译者简历

李树广

1978年 毕业于郑州自动化研
究所
1986年 获日本国立千葉大学
工学博士
现在 上海交通大学电力学
院信息工程系教授

王玲玲

1980年 毕业于郑州铁路机械
学院
1987年 毕业于河南教育学院
现在 上海交通大学电力学
院教师

本书著作权和专有出版权受到《中华人民共和国著作权法》的保护。凡对本书的一部分或全部进行转载、或用复印机进行复制或在其场合引用、以及录入电子设备等行为,均属侵害著作权,构成违法。

本书如需复制、引用、转载、改编时,必须得到版权所有者的许可。

如有任何疑问请与以下部门联系。联系时请尽量使用信函或传真形式。

科学出版社总编合作部 电话:010-64010643 传真:010-64019810

邮政编码:100717 地址:北京市东黄城根北街16号

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 电话:010-82087401 传真:010-62072304

邮政编码:100029 地址:北京市朝阳区华严北里11号楼2层

目 录

第 1 章 通信技术的历史回顾	1
第 2 章 信号与频谱	7
2.1 信号的种类和性质	7
2.2 频 谱	8
2.3 傅里叶级数与傅里叶变换	9
2.4 傅里叶变换的性质	13
2.4.1 线 性	13
2.4.2 对称性	13
2.4.3 相似性	13
2.4.4 频率位移	13
2.4.5 时间位移	14
2.4.6 时间微分与时间积分	14
2.4.7 卷积性质	14
2.5 频谱与信号处理	15
2.5.1 传递函数与脉冲响应	15
2.5.2 理想滤波器	17
2.5.3 窗函数	17
练习题	19
第 3 章 有线传送系统的特性	21
3.1 各种有线传送线路及其使用方法	21
3.2 金属电缆的构造及传送特性	23
3.3 光纤的原理与构造	24
3.3.1 全反射与临界角	25
3.3.2 光纤的构造	25
3.3.3 光纤的种类与传播波形	27
3.4 决定光纤特性的因素——损耗与传输频带	28
3.4.1 决定光纤特性的重要因素	28
3.4.2 决定光纤传送频带的要素	29
练习题	32

第 4 章 无线通信系统的特性	33
4.1 高效率电波发射天线	33
4.1.1 天线的发射特性	33
4.1.2 各种天线	37
4.2 自由空间传播与折射效应	40
4.2.1 自由空间传播	40
4.2.2 大地反射、壁面反射	41
4.2.3 折射现象	42
4.2.4 移动通信的电波环境	43
4.3 利用电离层反射的传播	44
4.4 宇宙通信的电波窗	45
练习题	46
第 5 章 振幅调制解调方式——调幅信息载波	47
5.1 振幅调制(调幅)方式	47
5.2 单边带调制方式与残留边带调制方式	50
5.3 调制与解调	51
5.4 频分多址方式	55
练习题	56
第 6 章 角度调制及解调方式——利用相位、频率载波	57
6.1 角度调制方式	57
6.2 FM 波的频谱	59
6.3 调制与解调	63
6.4 AM 波、FM 波的各种特征	65
练习题	68
第 7 章 从模拟信号到数字信号	69
7.1 信号采样	69
7.1.1 采样定理	69
7.1.2 混摻(aliasing)	71
7.2 模拟脉冲调制方式	71
7.3 采样电平量化	72
7.4 PCM 方式与 AD-DA 变换	74
7.4.1 PCM	74
7.4.2 AD 变换器	74
7.4.3 DA 变换器	76

7.5 其他方法的数字化方式	77
7.5.1 DPCM 方式	77
7.5.2 三角型调制方式	78
练习题	78
 第 8 章 信息社会的支柱——数字调制方式	79
8.1 数字信号的无线载波	79
8.2 数字信号的有效传输	81
8.3 数字信号的错误纠正	84
8.4 信号的多重化	87
练习题	89
 第 9 章 移动通信概况	91
9.1 移动通信需要解决什么问题	91
9.1.1 提高频率利用效率	91
9.1.2 多径效应	91
9.2 蜂窝方式的特征及优点	94
9.2.1 蜂窝方式	94
9.2.2 无线频道的分配	95
9.2.3 多重化	96
9.3 移动电话与 PHS 的区别	96
9.4 传呼机及其结构	97
9.5 今后的移动通信	99
练习题	99
 第 10 章 公共通信网络的构成——传输与交换	101
10.1 通信网络的构成	101
10.2 电话与数字通信——线路交换与分组交换	103
10.3 计算机通信与多媒体通信——ISDN 与网络	109
10.3.1 多媒体通信与 ISDN	109
10.3.2 计算机网络与接口	110
10.3.3 LAN	112
10.4 ATM 方式与超高速通信因特网——21 世纪的 方式	114
练习题	117

第 11 章 声音·电视广播	119
11.1 AM、FM 传送与立体声	119
11.2 标准方式的彩色电视	120
11.3 数据广播	124
练习题	126
第 12 章 通信广播卫星	127
12.1 静止轨道卫星与低轨道卫星	127
12.2 卫星通信	128
12.2.1 电话的多址方式	129
12.2.2 多元耦合方式	129
12.2.3 语音信号的传送速率	131
12.2.4 移动卫星通信	131
12.3 广播卫星	132
12.3.1 日本的 BS 广播卫星	133
12.3.2 日本的 CS 广播	135
练习题	136
练习题简答	137
参考文献	143

第 1 章

通信技术的历史回顾

信息的传送方法是通信。从人类社会产生就开始利用各种方法进行信息传递。最早有文字记载的通信历史可追溯到 3200 年前。本章概述了从最早有文字记载的通信历史开始,到现代的逐步发展演变过程。与本章相关的内容请见参考文献[1~5]。

在学习通信工程学之前,了解一下通信技术的发展历史是非常有意义的。根据通信历史中所记载的主要事项,以年代顺序整理为表 1.1。

通信历史上,据说最古老的通信手段是用火炬。最早留有记载的是在公元前 1184 年,特洛伊失陷时,希腊军队使用火炬通过 8 个哨所中转折传送过爱琴海,记载离迈锡尼宫殿 555km 的距离不足一日便把情报传送到记录。据说,在公元前 100 年以前,希腊用火炬做成了信号台,如图 1.1 所示利用 2 组能同时放 5 个火炬的火炬台,从各台燃着的火炬数有 5 种不同选择,2 组就可以传送 $5 \times 5 = 25$ 种的信号。实际上希腊文字仅有 24 个字母,用这种方法便可进行文字通信了。

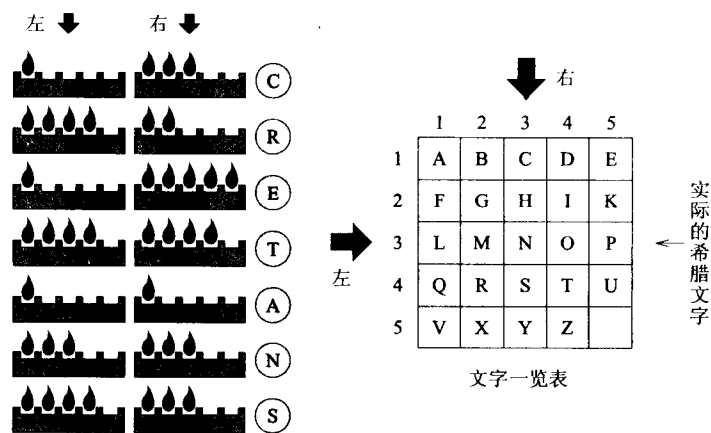


图 1.1 用火炬制作成的通信装置

表 1.1 通信技术发展的历史

古代的通信方法

[光-视觉]	火炬:古希腊(公元前12世纪),中国(公元前2~1世纪) [武田信玄(1560前后)]
[声波]	鼓:非洲的铜锣等

18世纪以来

[光-视觉]	旋转臂方式, Claude Chappe(法), (~1793) 用556处的木臂信号机(semaphore)建立4800km的通信网
[静电]	(欧)木制小球方式、火花方式等(1750~1810)
[电化学]	电池的发明, Volta(意)(1800) 水的电解, 石蕊色素纸的变色(1800~1845)
[电磁式]	电流的磁性作用, Oersted(丹麦)(1820) 莫尔斯式电信机, Morse and Vail(美)(1835)
[印刷电信]	纽约到费城间(美)(1849)
[海底电缆]	绝缘材料(1847) 大西洋海底电缆3240km(1858)
[电话]	电话语言, Huth(加拿大)(1796) 电话机的专利, Bell(美)(1876.2.14), Gray(美)(1876.2.14) 电话传入日本(1877, 明治10) 自动交换机, Strowger(1889)
[无线通信·传播]	电磁波理论, Maxwell(英)(1864) 赫兹接收机, Hertz(德)(1887) Branly检波器, Branly(法)(1892) 超大天线的大西洋跨海通信, Marconi(意)(1901) 电离层存在的推断, Kennely(美), Heaviside(英)(1902) 电离层高度的测量, Appleton和Barnett(英)(1924) 匹兹堡播送(美)(1920) 东京广播电台(1925) 电视的发明, Baird(英), 黑白(1925), 彩色(1928) 日本的全电子式电视, 高柳健次郎(1928)
[卫星通信·播送]	人造卫星Sputnik发射成功(前苏联)(1957) 从动卫星Echo 1(美)(1960) 能动卫星Telstar 1(美)(1962), Relay 1 静止卫星Syncom 2(1963), Syncom 3(转播东京奥运会; 1964)
[光通信]	激光(laser)的发明, Maiman(美)(1960) 半导体激光室温连续振荡, Bell Lab. (1970) 室温长寿命(100年), NTT(1977) 低损耗光纤的发明 1.55 μm , 1.2dB/km, NTT(1979) 由铒光纤增幅 光电缆通信 20bit, 13000km, AT&T(美)1993
[移动通信]	运用蜂窝状方式等转播、交换技术(美)(1977) PHS(1995), 低轨道移动通信卫星, IRIDIUM(1998)

中国在敦煌周边的沙漠地带,也发现了公元前 2~1 世纪为了传送信号的 44 座烽火台^[1]。此外,也曾有用鼓传送声音信息的,但声波易随风衰减,故比光达到的距离要短得多。

由此,便开始了主要以光作为远距离通信手段的历史,也有人认为这对数字通信具有重大的意义。过去,通信手段主要是用来速报敌情,这是关系到生命安危必须进行的信息传递,因而有“战争促进了通信技术发展”之说。

现代的通信技术起源于远距离通信方式,是从距今大概 200 年前开始的。一种是从法国开始普及到欧洲的木臂信号机方式^[2],其中一例是由 C. Chappe 研制出的,如图 1.2 所示^[3]。把三根木臂相连接,根据木臂弯曲的形状表示文字,从远方用望远镜很容易就可以望见。据说通过 556 个中转站,总通信距离超过 4800km。

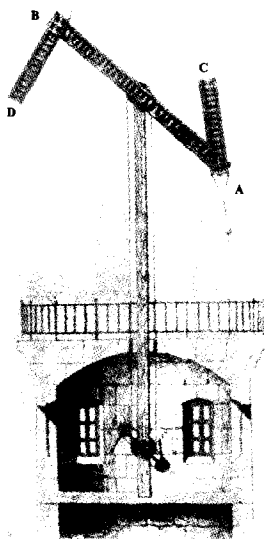


图 1.2 C. Chappe 木臂信号机

另外,用电进行通信的尝试是 18 世纪后半时期开始的,首先静电应用于通信,从伏特(A. Volta)发明电池(1800 年)以来,利用电磁铁使电流在线圈内流动,通信技术开始急速的发展。莫尔斯(S. F. Morse)等人在 1835 年发明了电报机,所谓莫尔斯电码是由短点、长点和间隔组合成的电码。参考印刷厂使用活字的数目,出现的机率高的字母对应地使用短码,这样依次进行指定(图 1.3)。这种电码令人惊叹,起到了现代信息理论的先锋作用。以这种方式作为通信手段一直到 20 世纪后半期,使用了 150 年之久。

E	—	1 2 0 0 0
T	——	9 0 0 0
A	— — —	8 0 0 0
I	— —	8 0 0 0
N	—— —	8 0 0 0
O	— — —	8 0 0 0
S	— — —	8 0 0 0
H	— — — —	6 4 0 0
R	— — — —	6 2 0 0
D	—— — —	4 4 0 0
L	—— — —	4 0 0 0
U	—— — — —	3 4 0 0
C	— — — —	3 0 0 0
M	—— — — —	3 0 0 0
F	— — — — —	2 5 0 0
W	—— — — — —	2 0 0 0
Y	— — — — —	2 0 0 0
G	—— — — — —	1 7 0 0
P	—— — — — —	1 7 0 0
B	—— — — — —	1 6 0 0
V	— — — — —	1 2 0 0
K	—— — — — —	8 0 0
Q	—— — — — —	5 0 0
J	— — — — —	4 0 0
X	—— — — — —	4 0 0
Z	— — — — —	2 0 0

图 1.3 最初的莫尔斯信号与印刷厂统计的活字数

这些通信方式都是一个字一个字地传送文字的方法,到1876年电话的发明(A. G. Bell),模拟方式的出现,开始进入模拟通信时代。声音通过送话器变为交流电流传出,经过金属线传送线路传入对方的受话器,再转换成声音,这种方式人用耳朵可以直接听到。直到现在这种通信技术也一脉相承地继续发展着。

电波是由 J. C. Maxwell 首先在理论上预言到它的存在, H. R. Hertz 根据实验得到验证, G. Marconi 把它运用到通信中达到实用化,距现在已有 100 多年了。莫尔斯把电讯信号用电波作载波进行传送,发明了无线电报。尤其在泰坦尼克号遇难以来,无线电报成了海上船舶间非常重要的通信手段。

1920 年,使用电波模拟的方法,在美国匹兹堡开始利用声音波形调幅方式进行广播,5 年后东京广播电台创建。大概从那时起长距离国际无线电话也开始使用了。接着,1925 年产生了可以传送图像的黑白电视机,3 年后发明了彩色电视机,奠定了现代彩色电视播送的基础。

1957 年,苏联同伴者号(Sputnik)卫星发射成功,引发了世界性的宇宙开发竞争。同伴者号发射后仅隔 3 年,即 1960 年美国最早开始使用卫星进行远距离中转通信。当初是利用贴有铝箔的气球卫星,先把地面发

射的通信电波进行反射,再把反射波传送到远距离的接收点,这是一种被动的传送方式。2年后,便发展成为像现在通信卫星使用的能动转播方式,即向收发信号天线与转播器搭载方式发展,现在的通信卫星都采用了这种方式。

如前所述,最早的通信中就有了数字通信方式,而现代的数字通信是以 H. Nyquist(1928 年)^[4]发表的采样定理,A. H. Reeves(1937 年)^[5]发明的脉冲编码调制方式(pulse code modulation,PCM)为基础。但是,当初因为杂音大不具有良好的使用特性,收发设备复杂,直到 1962 年前后才达到实用化。此后随着半导体技术的发展,复杂的电路也能小型化,因此能够进行低成本的批量生产,最近发展特别迅速。这种方式也被用于通信以外的领域(例如:CD(compact disc)等),得到了广泛的利用。

如最初所述,火炬传递信息,用的是光信号,光源是包含波长范围很广的热辐射,传送途径是空气,接受光的装置是人的眼睛。现代的光通信技术是依存于激光技术的发明和低损耗光纤的发明。激光是 1960 年由 G. Maiman 发明,最初为红宝石激光器,当时把它用于通信是根本不适用的。尔后,1970 年发明了室温下连续振荡的半导体激光,它的使用寿命长(1977),因此能够生产出比同轴电缆等价格低的超低损耗光纤。在这两者的支持下,光通信方式得到快速的普及和发展。

一方面就计算机来说,1642 年 Pascal 制作了机械计算机以来,发展得比较缓慢。1946 年真空管计算机 ENIAC 问世后不久,由于半导体技术的进步,很快地被晶体管所代替,发展为大规模集成电路,由此制作出微型处理器(鸠正利等,1971),并向个人计算机发展。

计算机本来是用于数值计算,后来增加了具有文字信息处理的功能,现在又连接成网络,作为信息通信的终端装置起着非常重要的作用。无疑目前的公共通信的线路交换工作大部分都是由计算机进行控制,对移动电话等新的通信方式,交换与控制也是如此,都要借助大型存储器的工作,每时每刻记忆着用户的所在。现代的通信业务,如果没有计算机是不能完成的。

如上所述,从通信技术发展的历史回顾可看出,发明伏特电池以来,随着电磁铁、真空三极管(L. De Forest 1906)、晶体管(W. B. Shockley、W. H. Brattain、J. Bardeen 1948)、大规模集成电路(LSI)、激光、光纤和计算机的发明,使通信技术产生了飞跃发展。卫星技术的产生,使通信方法进入全新设想阶段而引人注目。

总之,正像广告词所说的那样“任何时候,任何地方,任何人都要进行通信”,船舶通信、列车电话、汽车电话等移动通信方法都产生了进一步的飞跃。个人已拥有了移动信息通信终端,移动电话、PHS 在社会上已经普及。就像多媒体那样,不仅是声音,包括图像、数据等也能自由地应用在移动通信设备的终端,通信技术正朝着面向个人、多种业务的方向发展。

