通信与网络技术概论

[redacted]

[redacted]

（京）新登字 063 号

内 容 简 介

本书较为全面和系统地概述了现代通信和网络的基本原理、系统构成及主要技术问题，内容丰富，覆盖面广，全书共有 15 章。在介绍通信和网络的基本概念和原理的基础上，又分别沿着通信与网络两条主线介绍了更深入的知识，主要内容涉及数字通信、程控交换、数据通信、光纤通信、数字微波通信、移动通信、卫星通信和图像通信等各类通信系统以及综合业务数字网、电话网、分组网、帧中继网、数字数据网、国际互联网(Internet)、接入网、智能网等各类网络，同时还对网管进行了介绍。

全书内容新颖、条理清晰，连贯性好，实用性强，各章内容既相对独立，又可贯穿起来，形成对通信与网络的完整体系。

本书既可以作为普通高等院校通信和电子信息专业以及计算机专业的教材或参考书，又适用于对各类在职人员进行培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

通信与网络技术概论/刘云主编．—北京：中国铁道出版社，2000.1
ISBN 7-113-03512-4

Ⅰ.通… Ⅱ.刘… Ⅲ.①通信技术②计算机通信网 Ⅳ.TP91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 61188 号

书　　名：通信与网络技术概论
作　　者：刘　云　主编
出版发行：中国铁道出版社(100054，北京市宣武区右安门西街 8 号)
策划编辑：任　军
责任编辑：任　军
封面设计：马　利
印　　刷：北京市彩桥印刷厂
开　　本：787×1092　1/16　印张：24.75　字数：613 千
版　　本：2000 年 1 月第 1 版　　2001 年 11 月第 2 次印刷
印　　数：2501～4000 册
书　　号：ISBN 7-113-03512-4/TN・119
定　　价：39.00 元

版权所有　盗印必究

凡购买铁道版的图书，如有缺页、倒页、脱页者，请与本社发行部调换。

前　言

人类社会已经进入了信息时代，在这个时代中，通信与网络作为两大技术支撑，为人类社会的明天勾划了美好的生活前景。

近两年来，在信息技术(IT)界诞生了一个新的科技名词：数字地球(Digital Earth)或地球村(Earth Village)。所谓数字地球就是指在全球范围内要建立的一个以空间位置为主线，将各类信息组织起来的一个复杂系统，也是按照地理坐标整理并构造的一个全球信息模型，它将所描述的地球上每一点的全部信息按地理位置组织、存储起来，并提供有效、方便和直观的检索与显示手段，使每一个人都可以快速、准确、充分、完整地了解及利用地球上的各方面信息，以使全世界的人就像生活在一个村里那样方便地从一点对另一点进行实时通信。可以看出，数字地球是一个新概念，它可以戏剧性地改变我们人类的社会、经济、生活及工作。然而，可以达到这一概念的技术实现正是通信及网络技术。

通信是人类社会传递信息、交流思想和传播文化的一种必不可少的手段。近几十年来，随着微电子、光电子、计算机应用科学的迅速发展，特别是通信与计算机系统的密切结合，使通信技术也产生了日新月异的变化。数字通信技术、光纤通信技术、微波通信技术和卫星通信技术等不断涌现，为人类社会提供了基本通信手段。

综观当今社会电信技术的发展，未来电信网络正在朝着数字化、智能化、综合化、宽带化和个人化的方向发展，这就需要构造一个将计算机与通信融合为一体的一个高速信息网络，也就是1993年9月美国克林顿政府提出的国家信息基础设施(NII--National Information Infrastructure)的行动计划，又称为信息高速公路。信息高速公路是由光缆作为传输介质的巨大的信息通信网，它囊括了当今信息通信和各种新技术，利用它可以传递图像、语音和文件等，也即不论是电影、电视、电话、传真，还是计算机、数据库系统等均可通过一条信息高速公路来传送，这样，就能使所有的人应用信息，并在任何时间和地点通过声音、数据、图像或影像相互传递信息。可以预见，信息高速公路的建成，必将对整个产业社会和人类社会的发展产生根本性的变革。因此，从实质上说，信息高速公路就是一条很宽的信息通道，可以大量地、并行地、高速地传输信息，而信息高速公路的提法，只不过是一个形象化了的概念而已。

信息网络是信息社会的主要支撑。虽然以电信号为媒体的通信网络产生的历史才不过只有百余年，但却大大地改变并将进一步改变人类的工作与生活方式，同时也促进了许多行业的发展，众所周知，传统的通信方式是将话音、数据、视频和图像等信号分开传输，因此，在相当长时间内它们相互独立发展，从而产生了各种通信网络，如公共电话交换网(PSTN)、分组交换网(PSDN)、数字数据网(DDN)、会议电视网以及闭路电视网(CATV)等。从70年代后期，人们希望建立一个统一的传输平台，用电话交换网络提供话音和非话业务，这就产生了ISDN的概念。ISDN是在对数字通信技术充分发展的前提下以综合数字网为基础演变而成的一种通信网，它能提供端到端的数字连接，用来支持包括话音和非话在内的多种电路业务，如传真、电话、电报、计算机终端等。它是靠提供了一组标准化的多用途用户—网络接口(UNI)将上述业务接入网内而实现的。实际上，随着人们对通信的业务需求，特别是视频业务越来越多，80年代所产生的这种ISDN只能算是窄带的ISDN(N-ISDN)，其所带来的商业结果并不令人感

到满意。为了满足人们对视频业务的需求和使网络产品在交换、传输、管理方面彻底综合，人们又提出了宽带 ISDN 的概念，即 B-ISDN。B-ISDN 是以光纤作为传输媒介的，它可以提供多种高质量的视觉信息，如增强型可视电话、高清晰度电视等，同时还可以使电信与广播电视合为一体，即将广播电视业务也纳入到电信业务之中。目前，随着通信与网络技术的发展，通信体制正在发生着深刻的变革，以传统的话音业务为主的现代通信体制正在动摇，特别是随着宽带 IP 技术的发展，在 IP 网上传输话音、视频等实时业务已成为可能，出现了所谓"Everything on IP"的概念，这使得 B-ISDN 的概念有些过时，取而代之的可能将是宽带 IP 网，并将通信、广播和计算机三网融合汇聚到宽带 IP 网上。

本书作者们在多年教学和工作经验的基础上，不断追踪国内外通信及网络技术的发展，为了满足广大通信及网络爱好者的需求，特编写此书。

本书从通信和网络两条主线出发，较为全面系统地概述了现代通信和网络的基本原理、系统构成及主要技术问题，内容丰富、覆盖面广。全书内容新颖、条理清楚、连贯性好、应用性强。各章内容即相对独立，又可贯穿起来形成对通信与网络的一完整体系。本书在编写过程中力求深入浅出、论述简明、通俗易懂。书中避免过深过繁的理论推导及过细的技术分析和过抽象的协议描述，而侧重于概念的说明和整个系统的形成，可读性好。

全书共分为 15 章。第 1 章简要概述了通信的基本理论，并对通信系统、通信网络及一些标准化工作进行了简要介绍，为以后各章的学习打下了基础。第 2 章至第 9 章分别介绍了数字通信、程控交换、数据通信、光纤通信、数字微波通信、移动通信、卫星通信、图像通信等通信技术，其中基本按照各类通信特点、主要技术和系统的概念进行论述及分析。第 10 章介绍了综合业务数字网络，其中包括窄带 ISDN、宽带 ISDN 以及宽带网的核心技术——ATM 技术。第 11 章和第 12 章论述了电信网和数据网。其中，电信网包括了电话网和 ISDN 网；数据网则重点介绍了 X.25 分组网、帧中继网及数字数据网。第 13 章对国际互联网作了简单介绍。第 14 章对当今流行的接入网技术进行了探讨。最后，在第 15 章给出了智能网的概念、一般模型及所支持的新业务。

各章在编写中尽量避免技术上的重复，又注意保持相对的独立性。对于在各章中有可能遇到的基本理论及技术实现，均在第 1 章中进行了重点归纳及分析。全书体现了通信及网络发展的新技术及新方向。

本书不仅可以作为通信电子信息类大学本科及专科学生的教材或参考书，又可以作为相关专业中专和各类成人高教学校的教学用书，或供各类在职人员进行培训和参考。

本书第 1、3、4、9、10、11、12、15 章由刘云编写，其中，郝俊参与了第 9 章与第 15 章中的部分编写工作；第 2、5 章由崔健双编写；第 6、7、8 章由李珩淳编写；第 13、14 章由周春月编写。全书的主编和审校工作由刘云承担。在本书的编写过程中，曾得到了许多同行的关心与帮助，张振江、温榕和余铁原承担了书中图表的绘制与校对。马冰星、刘平等整理了书稿，为本书的出版付出了辛勤的劳动。对他们的大力支持和无私帮助，在此表示衷心的感谢。

编者

1999 年 12 月

目　录

第 1 章　通信的基本理论 …… 1

1.1　基本概念 …… 1
1.1.1　通信的发展历史 …… 1
1.1.2　各类通信及所使用的频段 …… 2
1.1.3　通信系统的模型 …… 3
1.1.4　通信系统的分类 …… 4
1.1.5　通信系统的质量要求 …… 6
1.1.6　标准化组织 …… 7
1.2　通信网 …… 9
1.2.1　通信网的组成 …… 9
1.2.2　通信网的分类 …… 10
1.2.3　通信网的拓扑结构 …… 13
1.2.4　通信网络的发展历史及动向 …… 14
1.3　通信信号 …… 16
1.3.1　模拟信号 …… 17
1.3.2　数字信号 …… 17
1.3.3　数字信号的基本形式 …… 18
1.3.4　数字信号的码型 …… 20
1.3.5　数字信号的传输 …… 25
1.3.6　字符代码 …… 27
1.4　通信线路 …… 30
1.4.1　通信媒体 …… 31
1.4.2　电路类型 …… 33
1.5　信息的传输方式 …… 34
1.5.1　通信方式 …… 34
1.5.2　传输方式 …… 36
1.5.3　同步方式 …… 36
1.5.4　复用方式 …… 38
1.6　开放系统互连 …… 39
1.6.1　OSI 的引入背景 …… 40
1.6.2　协议与接口 …… 40
1.6.3　开放系统互连参考模型 …… 41

第 2 章　数字通信 …… 45

2.1　基本概念 …… 45
2.1.1　数字通信系统 …… 45
2.1.2　数字通信的特点 …… 45
2.2　数字通信的终端处理技术 …… 46
2.2.1　脉冲编码调制(PCM)技术 …… 46
2.2.2　时分多路复用与同步技术 …… 51
2.2.3　PCM 30/32 路系统的帧结构 …… 53
2.2.4　定时技术 …… 54
2.2.5　PCM 30/32 路系统介绍 …… 56
2.3　数字传输与再生技术 …… 57
2.3.1　数字信号传输基本理论 …… 57
2.3.2　数字信号再生中继 …… 60
2.4　数字复接技术 …… 63
2.4.1　数字信号复接的概念 …… 63
2.4.2　同步复接与异步复接 …… 65

第 3 章　程控交换 …… 71

3.1　基本概念 …… 71
3.1.1　电话交换技术的发展 …… 71
3.1.2　程控交换机特点及技术动向 …… 72
3.1.3　程控交换机的服务性能 …… 73
3.2　程控数字交换基本原理 …… 74
3.2.1　语音数字化方法 …… 74
3.2.2　数字交换概念 …… 75
3.2.3　接线器 …… 76
3.2.4　数字交换网络 …… 78
3.2.5　信令系统 …… 81
3.3　程控数字交换机的组成 …… 88
3.3.1　程控数字交换机的硬件结构 …… 88
3.3.2　程控数字交换机的软件组成 …… 94
3.4　呼叫接续过程分析及控制原理 …… 95
3.4.1　呼叫接续的一般过程 …… 95
3.4.2　呼叫接续过程中的状态迁移 …… 96
3.4.3　呼叫接续程序的结构与特点 …… 97
3.4.4　呼叫接续程序的控制原理 …… 98

第 4 章　数据通信 …… 102

4.1　基本概念 …… 102

4.1.1 数据通信的定义及特点 …… 102
4.1.2 数据通信系统的模型 …… 103
4.1.3 数据电路及数据信号的传输 …… 105
4.1.4 资源分配与共享 …… 107
4.2 差错控制 …… 108
4.2.1 差错控制的基本方式 …… 108
4.2.2 检错及纠错原理 …… 109
4.2.3 常用的检纠错码 …… 112
4.3 数据交换方式 …… 113
4.3.1 电路交换 …… 114
4.3.2 报文交换 …… 115
4.3.3 分组交换 …… 116
4.3.4 快速交换 …… 117
4.3.5 几种典型交换方式的比较 …… 118
4.4 物理层接口 …… 119
4.4.1 物理层功能 …… 119
4.4.2 物理层接口基本特性分析 …… 120
4.4.3 几种常用的物理层接口简介 …… 123
4.5 数据链路层协议 …… 128
4.5.1 数据链路层功能及规程 …… 128
4.5.2 数据链路控制规程分析 …… 129
4.6 数据保密 …… 138
4.6.1 信息保密通信的模型 …… 138
4.6.2 密码体制 …… 139
4.6.3 数据加密标准(DES) …… 139
4.6.4 公钥密码体制 …… 142

第 5 章 光纤通信 …… 144

5.1 概述 …… 144
5.1.1 光纤通信的发展历史 …… 144
5.1.2 光纤通信的特点 …… 144
5.1.3 光纤通信系统的基本组成 …… 145
5.2 光纤和光缆 …… 146
5.2.1 光纤心线的结构和折射率 …… 146
5.2.2 光缆的结构和分类 …… 147
5.2.3 光在光纤中的传输 …… 149
5.3 光发送机和光接收机 …… 150
5.3.1 光发送机 …… 151
5.3.2 光接收机 …… 152
5.4 光纤通信系统 …… 154

5.4.1 强度调制—直接检波光纤通信系统 …… 155
5.4.2 光纤通信系统中的码型 …… 156
5.4.3 光纤及光纤通信系统的测量 …… 157
5.4.4 光纤通信系统展望 …… 159
5.5 同步数字体系(SDH) …… 159
5.5.1 准同步数字体系的缺陷 …… 159
5.5.2 SDH 的特点 …… 160
5.5.3 SDH 的帧结构(G.709 建议) …… 161
5.5.4 SDH 的网络结构 …… 163
5.5.5 SDH 的复用原理 …… 164

第 6 章 数字微波通信 …… 166

6.1 基本概念 …… 166
6.1.1 微波通信的特点 …… 166
6.1.2 微波通信的分类 …… 166
6.1.3 数字微波通信的发展 …… 168
6.2 数字微波通信系统的组成 …… 168
6.2.1 系统组成 …… 168
6.2.2 复用设备 …… 169
6.2.3 收信设备 …… 169
6.2.4 发信设备 …… 171
6.3 数字微波中继通信 …… 171
6.3.1 中继方式 …… 171
6.3.2 多路复用方式 …… 173
6.3.3 调制与解调 …… 173
6.3.4 数字微波中继通信系统的组成 …… 175
6.3.5 微波信号的视距传输特性 …… 177
6.3.6 数字微波传输质量指标 …… 181
6.3.7 数字微波通信中的频率配置 …… 183

第 7 章 移动通信 …… 185

7.1 基本概念 …… 185
7.1.1 移动通信的特点 …… 185
7.1.2 移动通信的工作方式 …… 186
7.2 移动通信系统 …… 187
7.2.1 移动通信系统的分类 …… 187
7.2.2 移动通信系统的组成 …… 190
7.2.3 移动通信系统的频率使用和配置 …… 190
7.3 移动通信网 …… 191
7.3.1 网络基本结构 …… 191

7.3.2 信道分配 …… 192
7.3.3 信令方式 …… 193
7.3.4 交换技术 …… 194
7.3.5 GSM 系统简介 …… 198
7.3.6 移动通信系统的发展趋势 …… 199

第 8 章 卫星通信 …… 201

8.1 基本概念 …… 201
8.1.1 卫星通信系统的定义 …… 201
8.1.2 卫星通信的特点 …… 202
8.1.3 卫星通信的发展概况 …… 203
8.2 卫星通信系统的组成 …… 204
8.2.1 系统的组成及基本原理 …… 204
8.2.2 通信卫星 …… 205
8.2.3 地面站 …… 208
8.3 卫星通信的技术分析 …… 209
8.3.1 卫星通信工作频段的选择 …… 209
8.3.2 卫星通信的信道分配技术 …… 210
8.3.3 卫星通信的多址方式 …… 211
8.4 卫星通信系统 …… 216
8.4.1 卫星调频通信系统 …… 216
8.4.2 数字卫星通信系统 …… 216
8.4.3 卫星数据分组通信系统 …… 217
8.4.4 VSAT 卫星通信系统 …… 219
8.4.5 低轨道移动卫星通信系统 …… 221
8.4.6 国际海事卫星通信系统 …… 222

第 9 章 图像通信 …… 225

9.1 概述 …… 225
9.1.1 图像通信的发展 …… 225
9.1.2 图像通信的分类 …… 226
9.1.3 图像通信系统的组成 …… 226
9.2 图像通信原理 …… 227
9.2.1 图像信号数字化方法 …… 227
9.2.2 图像编码方法 …… 228
9.2.3 图像的质量指标 …… 229
9.2.4 图像通信标准 …… 230
9.3 图像通信系统 …… 232
9.3.1 传真通信 …… 233
9.3.2 会议电视 …… 234

9.3.3 有线电视 …… 237

第 10 章 ISDN 及 ATM 技术 …… 239

10.1 ISDN …… 239
10.1.1 ISDN 的基本概念 …… 239
10.1.2 ISDN 的体系结构 …… 242
10.1.3 ISDN 的用户－网络接口 …… 243
10.1.4 用户—网络接口协议分析 …… 246
10.1.5 ISDN 的业务及应用 …… 258
10.2 宽带 ISDN(B-ISDN) …… 262
10.2.1 B-ISDN 的基本概念 …… 262
10.2.2 B-ISDN 的体系结构 …… 263
10.3 ATM 技术 …… 265
10.3.1 ATM 信元结构 …… 265
10.3.2 ATM 协议结构 …… 266
10.3.3 ATM 交换 …… 273

第 11 章 电信网 …… 274

11.1 电话网 …… 274
11.1.1 电话网的网络结构 …… 274
11.1.2 电话网的编号计划 …… 276
11.1.3 电话用户环路和中继线路 …… 276
11.2 综合业务数字网 …… 277
11.2.1 ISDN 的网络功能 …… 277
11.2.2 ISDN 的编号计划和终端选择 …… 278
11.2.3 ISDN 的信令系统 …… 280
11.2.4 ISDN 的网间互通 …… 281
11.3 电信管理网 …… 284
11.3.1 电信管理网的含义及发展过程 …… 284
11.3.2 电信管理网的结构 …… 285
11.3.3 TMN 的功能 …… 286

第 12 章 数据网 …… 288

12.1 概述 …… 288
12.2 分组交换网 …… 290
12.2.1 X.25 协议简介 …… 290
12.2.2 分组交换网的构成 …… 298
12.2.3 分组交换网的互连 …… 305
12.3 帧中继网络 …… 307
12.3.1 帧中继的发展及其特点 …… 307

12.3.2 帧中继的体系结构及标准 …… 311
12.3.3 帧中继的协议分析 …… 314
12.4 数字数据网 …… 318
12.4.1 DDN 的产生及特点 …… 318
12.4.2 DDN 的网络结构 …… 319
12.4.3 DDN 的组网原理及技术 …… 320
12.4.4 DDN 的网络业务 …… 327
12.4.5 DDN 与其他网络的互连及设备接入 …… 328

第 13 章 国际互联网(Internet) …… 331

13.1 概述 …… 331
13.1.1 Internet 的起源与形成 …… 331
13.1.2 全球 Internet 的发展 …… 332
13.1.3 中国公用 Internet 网 …… 332
13.2 网络协议 …… 334
13.2.1 TCP/IP 协议概述 …… 334
13.2.2 TCP/IP 协议结构与功能 …… 334
13.2.3 TCP 协议与 IP 协议 …… 336
13.3 Internet 的网络寻址 …… 337
13.3.1 IP 寻址 …… 337
13.3.2 Internet 域名系统(DNS) …… 339
13.3.3 客户机/服务器工作模式 …… 339
13.4 Internet 的接入 …… 340
13.4.1 网络服务商 …… 340
13.4.2 电话拨号终端接入 …… 341
13.4.3 拨号 IP 方式接入(SLIP/PPP 协议) …… 342
13.4.4 局域网接入 …… 342
13.4.5 其他接入方式 …… 342
13.5 Internet 的资源与信息服务 …… 343
13.5.1 基本信息服务 …… 343
13.5.2 信息查询服务 …… 346
13.5.3 Internet 的网络新业务 — IP 电话 …… 348
13.6 安全与防病毒 …… 350

第 14 章 接 入 网 …… 351

14.1 概述 …… 351
14.1.1 接入网的概念 …… 351
14.1.2 接入网的特点 …… 352
14.1.3 接入网的拓扑结构 …… 352
14.2 接入技术 …… 352

14.2.1 有线接入技术…… 353
14.2.2 无线接入技术…… 359
14.3 光纤接入网…… 360
14.3.1 光纤接入网(OAN) …… 361
14.3.2 光线路终端(OLT) …… 361
14.3.3 光网络单元(ONU) …… 362
14.3.4 光纤接入网应用类型…… 362
14.4 V5 接口及协议 …… 363
14.4.1 V5 接口的概念 …… 364
14.4.2 V5 接口支持的业务 …… 364
14.4.3 V5 接口的分层结构及功能 …… 365
14.4.4 V5 接口的未来发展 …… 366
14.5 接入网的网管系统…… 366
14.6 接入网的发展前景…… 367

第 15 章 智 能 网 …… 369

15.1 概述…… 369
15.1.1 智能网的概念…… 369
15.1.2 智能网的特点…… 370
15.2 智能网的模型…… 371
15.2.1 智能网的概念模型…… 371
15.2.2 智能网的开放式体系结构…… 375
15.2.3 智能网的基本呼叫状态模型…… 376
15.3 智能网支持的新业务…… 378
15.3.1 智能网的业务…… 378
15.3.2 智能网的业务特征…… 379
15.4 智能网与电信网的关系及其发展趋势…… 380
参考书目…… 381

第 1 章　通信的基本理论

1.1　基本概念

人类在长期的社会活动中需要不断地交往和传递信息，这种传递信息的过程就叫做通信。在古代，通信的方式非常简单，人与人之间的交往主要是靠手势动作和表情来实现的；但随着科技的日益发展，通信这一概念无论从手段、方法、内容，还是从技术上来说，都产生很大变化，已经形成了一门独立的学科。特别是在社会已步入信息时代的今天，通信技术与电子技术、计算机技术、自动控制技术和人工智能等高新技术紧密结合，广泛地应用于社会各个方面，业已成为人们生活中不可缺少的组成部分，并且在国民经济中扮演着越来越重要的角色。

1.1.1　通信的发展历史

通信是人类社会发展的基础，是推动人类社会文明与进步的巨大动力，纵观通信的发展历程，主要分为以下三个阶段。

第一个阶段是语音和文字通信阶段。在这一阶段中，人们除了面对面地交谈外，还通过人力、马力以及烽火台等原始通信手段传递信息。从技术角度来分析，听技术、视技术与光通信技术等已渗透到通信中，但通信方式仍然很简单，通信内容较为单一，并且受环境、距离等自然条件的限制较大，在某些情况下无法被广泛应用。

第二阶段为电通信阶段。该阶段是从 19 世纪 30 年代莫尔斯发明电报后开始的。电通信的基本原理是通过导线中有无电流的流动来传递消息的，这给通信技术的发展奠定了良好的基础。在 19 世纪 70 年代，人们又利用电磁感应原理发明了电话机，这样，利用电磁波（或电流）不仅可以传输文字，还可以传输语音，由此大大加快了通信的发展进程，丰富了通信的内容。接着，1864 年麦克斯韦创立了电磁辐射理论，并被当时的赫兹加以证明，促成人们在 19 世纪末期发明出简单的无线电收发信设备，从而开创了无线电通信发展的道路。

第三阶段为电子信息时代。自 1907 年电子管的问世，通信便进入电子信息时代，直至今日。在这一时期，电子管发展成为晶体管，广播、电视、传真技术的逐步出现与发展，使得通信手段日益更新，通信内容日趋丰富，不仅语音、文字可以作为传递消息的对象，音乐、图片图像、报纸等也纳入了通信的范畴。

随着通信事业的飞速发展，人们对通信科学理论的研究也日渐深入。在 20 世纪 30 年代到 50 年代，相继形成了调制理论，信号和噪声理论，信号检测理论，信息论，信源统计特性理论和纠错编码理论等，使通信理论和技术更加学科化，特别是脉冲编码技术（PCM）的出现，为数字通信开辟了新的广泛领域，同时也为从模拟通信转换为数字通信提供了有效的方法，进一步丰富了语音、图像通信的技术内容。

从 20 世纪 40 年代起，通信进入了一个蓬勃发展的时期，其典型特点是研制出了晶体管和集成电路，它们使得电子计算机的出现成为可能。另外，雷达和微波通信的发展，光纤通信和卫星通信的发展，都为通信朝着宽带化、综合化和个人化的方向发展奠定了良好基础。现代通信

正在为人类开辟一种新的通信前景，即多媒体通信，它使人们能够将数据、文字、声音和图像等信息综合在一起，进行在任何时间、任何地点与任何人的各种业务的个人通信。

1.1.2 各类通信及所使用的频段

从通信的发展简史可以看出，通信实现的基础是不同频率的电流（或电磁波）的传输。按照电流（或电磁波）在不同媒介中的传输，通信可以分为有线通信和无线通信两大类。但无论对于上述哪种通信，其工作频段都有很大不同，因而，对工作频段进行合理选择以实现不同的通信目的，并保证其可靠性和有效性的要求是十分重要的问题。

1. 有线通信

有线通信是指利用各种导线作为信道来传输信号的一种通信方式，一般用于有线通信的传输媒体有架空明线、电缆及光纤等。有线通信的特点是除需传输媒介外，每隔一定距离需设置增音器或中继器等放大设备以便增补信号沿导线传输时所产生的衰耗，同时，在接收端要增加校正设备以减少邻路频率串音干扰及噪声。

2. 无线通信

无线通信是依靠自由空间来传输电磁波的通信方式。为了使电磁波在自由空间中传播得更远，需要采用频率很高的振荡波来传送，这样，在发送端需要有一个能产生很高频率振荡波的高频发射机，并通过天线把振荡波发送出去；在接收端设置接收机并利用天线来接收信号，因而，发射机、接收机和发/收天线就构成了无线信道。无线信道有长波、中波、短波和微波之分。卫星通信是一种特殊的微波中继系统，其中继站就设在卫星上，卫星通信具有广播能力，能供多个地面站接收一组数据信息。

3. 通信频率的分段

关于通信频率的分段应从以下几个要素加以考虑。对于有线通信，应考虑通信线路的传输特性、最低和最高截止频率、频率衰耗特性及相移特性、线路参数的稳定性等等；对于无线通信，则应注重考虑各种不同波长电磁波的传输特点以及无线尺寸使用的合理性等等。

综合上述因素考虑，表 1.1 给出了各类通信所使用的频段划分表。其中表中频率 f 与波长 λ 之间的变换公式为：

$$\lambda = \frac{v}{f} \tag{1.1}$$

v 代表电磁波在自由空间中的传播速度，其值接近于光速 3.0×10^8 m/s。

表 1.1 各类通信使用的频段

频段 (Hz)	名称	波长	主要应用场合
30～300(Hz)	特低频(ELF)	10^4～10^3(km)	海底通信，电报
0.3～3(kHz)	音频(VF)	10^3～10^2(km)	数据终端，实线电话
3～30(kHz)	甚低频(VLF)	10^2～10(km)	导航，电报电话，频率标准
30～300(kHz)	低频(LF)	10～1(km)	导航，电力通信
0.3～3(MHz)	中频(MF)	10^3～10^2(m)	广播，业余无线电通信，移动通信
3～30(MHz)	高频(HF)	10^2～10(m)	国际定点通信，军用通信，广播
30～300(MHz)	甚高频(VHF)	10～1(m)	电视，调频广播，移动通信
0.3～3(GHz)	超高频(UHF)	10^2～10(cm)	电视，雷达，遥控遥测
3～30(GHz)	极高频(SHF)	10～1(cm)	卫星和空间电信，微波接力
30～300(GHz)	特高频(EHF)	10～1(mm)	射电天文，科学研究

需要说明的是，民用广播占用 2 个频段 MF 和 HF，它们采用的是调幅制。若采用调频广播，因为所需的频带宽，故要占用 VHF 频段。电视也是占用两个频段，即 VHF 和 UHF。长距离无线通信(特别是国际定点通信)，过去占用 HF 频段，随着对通信质量要求的提高，近代改用微波接力或卫星通信，因此占用的频段为 SHF。与此类似，移动通信也从过去的调幅制 MF 频段改为调频制 VHF 频段，它要求的通信距离不长。海底通信采用频率最低的 ELF 频段，它利用了电磁波在水中传输的有利条件，故尽管频率低，也能远距离传输。

在有线通信方面，直流电报采用的频率最低，其次是实线电话，由于不需要任何调制，故属于基带信号传输。在数据通信中，也可以利用一个话音频带来传送 300～9 600 bit/s 的数据信号，当采用频分制多路复用时，随着复用能力的提高，所输出的复用信号频谱范围可以从 VLF 扩展到 VHF 频段。对于时分脉冲编码多路复用系统，其信号频谱甚至可以扩展到 UHF 频段。

对于甚低频(VLF)信号，由于其频率稳定度很高，适合于作导航或频率标准用；雷达需要方向性好，则可采用 UHF 频段；光通信所用的频段已经超出 EHF 频段的范围。

需要指出的是，表 1.1 所示的频段划分是比较粗的，更详细的划分由国际标准化组织负责。同样，在国内也有相应的部门，如国家无线电管理委员会，即是专门协调各种用途的频率分配的组织，他们在分配频率时，既考虑到实际应用，又要综合考虑频率使用有效性及电磁污染问题。

1.1.3 通信系统的模型

随着科学技术的不断发展，人们传递信息的手段也在不断进步，从本质上说，无论是电话、电报、图像、计算机还是短波与移动通信等，都可以抽象地概括为图 1.1 所示的一般通信系统模型。下面就通信系统模型中的各个组成部分及其功能予以简单介绍。

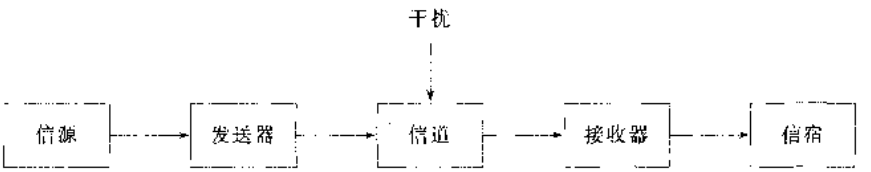

图1.1 通信系统一般模型

1. 信源。顾名思义，是信息产生的源泉。它可以是人或者机器，所发出的信息可以是多种多样的，如语音、文字、图像、数据等等，这些信息可以是离散的，也可以是连续的。

2. 发送器。发送器有很多种类型，所要完成的功能也很多，例如调制、放大、滤波、发射等等，在数字通信系统中还要编码。一般地，发送器含有与传输线路匹配的接口，其基本作用是将信源发出的信息变换成一种便于传输的信号，即所谓的编码。对于模拟和数字通信系统，发送器的功能有很大不同。

3. 信道。是传递信息的通道，又是传递物质信号的设施，信道可以是明线、电缆、波导、光纤、无线电波等等。

4. 干扰源。它是整个系统噪声与干扰的总折合，用以表征信息在信道中传输时遭受的干扰情况。对于任何通信系统来说，干扰的性质与大小都是影响系统性能的重要因素。

5. 接收器。其作用与发送器的作用相反，主要是将信道中的信号接收下来，并将其变换成与发送时物理形式相同的信息，再传给信宿，即完成所谓的译码过程。对接收器的基本要求是能够从受干扰的信号中最大限度地提取信源输出的信息，并尽可能复现信源的输出。

6. 信宿。它是信息传输过程中的接收者，即接收消息的人或机器。

需要指出的是，图 1.1 所示的通信系统是一个一对一的单向通信系统，实际的通信系统往往是双向的；另外，当有多个信源对多个信宿进行通信时，为了有效地利用线路，通常要在信道中加入交换设备，这也就构成了通信网络。此外，还应指出的是图 1.1 是适于各类通信系统的一个抽象模型，它概括地反映各种通信系统的共性，根据研究对象与研究问题的不同，还会有不同形式的具体通信系统的模型，这些将在后续的相关章节中给出。

1.1.4 通信系统的分类

如前所述，通信系统所传输的消息是多种多样的，但是，就其特性来说，都可以把它们归纳为两类，连续消息与离散消息。连续消息又称模拟消息，它是指状态连续变化的消息，如语音信号和图像信号等；离散消息又称数字消息，是指状态变化为可数或离散型的消息，如符号、文字和数据等等。通常，人们所说的信息就蕴藏在这些被传递的消息之中。既然通信系统的作用就是用来传递信息的，那么，在传送时，代表各种消息的语音、文字、图像或编码都必须首先被转换成电信号才能被传送给收信者。所以，不难建立这样一个概念：信息寄寓于消息之中，消息又以电信号作为载体。

依据用来传递消息的电信号有模拟信号与数字信号之分，通信系统可以分为模拟通信和数字通信两大类。

1. 模拟通信

模拟通信是指在通信系统中所传输的是模拟信号。具体的模拟通信系统的框图请参看图 1.2。图中，信源传出的是模拟信号，即其状态变化为连续的图形。发送器被简化为调制器，接收端设备简化为解调器。事实上，图 1.2 中还应有放大、滤波、变频等过程，这里将它们都合并到信道中去以强调调制在模拟通信系统中的重要作用。因为从根本上说，只有调制和解调才对信号的变换起着决定性作用，并且是保证通信质量的关键。

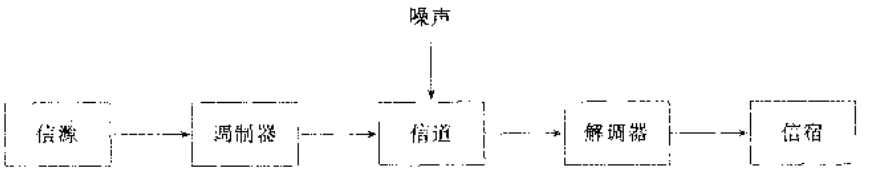

图 1.2 模拟通信系统框图

模拟通信系统按其调制方式的不同可分为连续调制系统和脉冲调制系统。连续调制系统包括振幅调制(Amplitude Modulation——AM)系统、单边带(Single Sideband——SSB)调制系统、频率调制(Frequency Modulation——FM)系统、相位调制(Phase Modulation——PM)系统等。脉冲调制系统包括脉冲幅度调制(Pulse Amplitude Modulation——PAM)系统、脉冲相位调制(Pulse Phase Modulation——PPM)系统和脉冲宽度调制(Pulse Wide Modulation——PWM)系统等。

传输模拟信号的信道称为模拟信道，为了扩大通信容量，提高信道的利用率，常采用多路复用的方法，即在同一线路信道中同时传输多路信号。在连续调制系统中多采用频分复用法(Frequency Division Modulation——FDM)以实现多路复用；在脉冲调制系统中则采用时间分割复用(Time Division Modulation——TDM)实现多路复用。

模拟通信系统目前在国内外都还有着很多应用，例如多数的电话和电视通信系统就是其

典型的应用。但是随着科学技术的发展和社会需求的变化，各类新型的数字、数据业务正发展，宽带化、智能化、个人化的综合业务数字网络（Broadband、Intelligent and Personal grated Service Digital Networle——BIP-ISDN）正在逐步走向人们的生活，同时，实现ISDN的首要条件就是要使通信数字化。所以，通信发展的总趋势就是通信方式从模拟通数字通信发展。在此，值得一提的是，数字电话系统已发展相当成熟，数字电视节目在美国开播。

2. 数字通信

数字通信是指在通信系统内所传输的是二进制或多进制数字信号的一种通信方式。主要特点是在实现调制之前要经过两次编码，相应地，在收端解调后也要有两次译码。图为数字通信系统的原理框图。

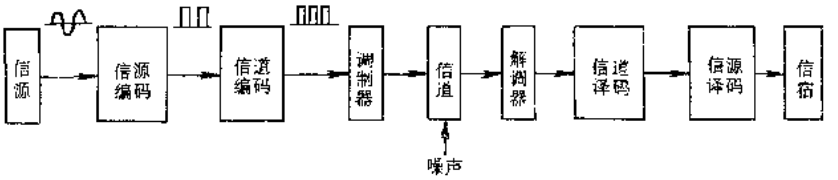

图 1.3　数字通信系统框图

在该图中，信源发出的是模拟信号，信源编码器的作用就是使其经过模拟/数字（即字变换）变换后，成为数字序列，以适宜在数字系统中的传输。信道编码是对信源的二次编码主要目的在于提高数字传输系统的可靠性，实现方法是将信源编码器输出的数字序列人，按某种规则加入一些多余码元作为差错控制用的监督码，使得收端能发现错误或自动纠、错。在接收端，信道译码器、信源译码器与发端的信道、信源编码器的作用相反。调制与解的作用同图 1.2 模拟通信系统的作用一致，只不过这里采用的是数字调制和解调。另外，注意的是，在数字通信系统中，同步的概念是非常重要的，虽然图 1.3 中没有画出同步系统却是不能忽视的。因此与模拟通信系统相比较，数字系统的组成要复杂得多。

数字通信具有抗干扰能力强、易于保密、灵活性高和设备简单经济、便于集成等特点，来发展十分迅速，在通信领域中占有越来越大的比例。特别是随着计算机技术的飞速发展字通信可与计算机网络技术完全融合，通信的数字化将成为通信的主导。

3. 数据通信

随着计算机技术的发展和计算机技术与通信技术结合的日益紧密，在通信领域中又了一个分支，即数据通信。所谓数据通信是指信源本身发出的就是数字形式的消息，如电报算机数据及指令等等。数据通信系统框图与数字通信系统的类似，仍可用图 1.3 表示。它字通信系统之间最大的不同点在于，其信源发出的为数字信号，无需经过模/数转换，而只虑对信源进行压缩编码以降低信源的冗余度，提高有效性。

数据通信的信道可以为模拟的，也可以为数字的，特别是在远程通信时多采用模拟方这主要是考虑经济的原因，应尽量利用原有信道。但随着数据通信业务的增长，以及对通率要求的不断提高，数据通信的信道越来越倾向于宽带化、高速率化，而现有的模拟信道