



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等职业教育应用电子技术专业系列教材

Xiandai Tongxin Yuanli

现代通信原理

主 编 沈海娟



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等职业教育应用电子技术专业系列教材

现代通信原理

主 编 沈海娟
副主编 袁照刚

武汉理工大学出版社

Wuhan University of Technology Press

内 容 提 要

本教材总的编写思路是“以应用为目的,以必需、够用为度”,坚持“少而精”的原则,主要包含电子信息类专业现代通信原理的基本知识、基本原理和应用技术。

本课程为高职高专电子信息类及相关专业的基础课,建议学时为 50 学时左右(不包括实践环节)。通过本课程学习,要求学生掌握通信的基本概念、通信系统的组成、基本原理、基本技术、基本性能和基本分析方法。全书共分 5 章,主要内容包括:绪论、模拟调制系统、脉冲调制系统、数字调制系统、信道复用与多址技术。每章均有教学目的、教学要求、关键词汇、引子、知识归纳、知识结构图表、典型案例与案例分析、阅读材料、习题与思考题等。

本书可作为高等职业院校电子信息类专业和其他相近专业的教材,也可供从事这方面工作的广大科技人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信原理/沈海娟主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2006
教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等职业教育应用电子技术专业系列教材
ISBN 7-5629-2391-4

I. 现… II. 沈… III. 现代通信原理-高等学校-教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 059029 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮政编码:430070)

HTTP://www.techbook.com.cn 理工图书网

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:武汉理工大印刷厂

开 本:787×960 1/16

印 张:9.25

字 数:182 千字

版 次:2006 年 8 月第 1 版

印 次:2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:15.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。本社购书热线电话:(027)87397097 87394412

凡使用本教材的教师,可拨打(027)87385610 免费索取电子教案光盘或邮件包。

E-mail:duanchao@mail.whut.edu.cn

前 言

本教材系武汉理工大学出版社组织的,为高职高专电子信息类专业及相关专业而编写的现代通信原理教材,同时也可供从事这方面工作的广大科技人员阅读与参考。

本教材总的编写思路是“以应用为目的,以必需、够用为度”,坚持“少而精”的原则,主要涉及电子信息类专业现代通信原理的基本知识、基本原理和应用技术。

本课程为高职高专电子信息类及相关专业的基础课,建议学时为 50 学时左右(不包括实践环节)。通过本课程的学习,要求学生掌握通信的基本概念、通信系统的组成、基本原理、基本技术、基本性能和基本分析方法等内容。全书共分 5 章,每章均有教学目的、教学要求、关键词汇、引子、知识归纳、知识结构图表、典型案例与案例分析、阅读材料、习题与思考题等。

本书的主要内容包括:通信及通信系统的基本概念、通信的传输方式、通信技术发展脉络及方向,模拟调制系统中标准调幅、抑制载波的双边带调幅、单边带调幅和调频、调相的基本原理,脉冲模拟调制系统、脉冲数字调制系统的一般概念、基本原理及实现方法,数字调制系统中二进制幅移键控、频移键控和相移键控三种基本数字调制方法的原理、多元数字调制的基本概念和原理、数字通信系统中常用的码型,无线信道与有线信道、信道复用技术与多址技术的概念和原理,常用的复用和多址方式等。

为了加深学生对现代通信原理的感性认识,建议安排一定数量的实验,通过实验,使学生进一步掌握语音编码的工作原理,掌握频移键控、相移键控的基本原理,了解通信系统的组成及其关键技术,加深理解信道调制解调器在通信系统中的地位及作用,学会测量误差的分析和数据处理的方法。建议安排 5 个实验,每个实验 2~3 学时,总计 10~15 学时。

本书由杭州职业技术学院沈海娟副教授担任主编,负责本书的统稿工作,威海职业技术学院袁照刚老师担任副主编。其中第 1 章由杭州职业技术学院的吴红梅老师编写,第 2 章由杭州职业技术学院的沈海娟老师编写,第 3 章由威海职业技术学院袁照刚老师编写,第 4 章由贵州电子信息职业技术学院的罗文兴老师编写,第 5 章由湖北城市建设职业技术学院的丁文华老师、段平老师编写。

由于编者水平有限,且编写时间仓促,书中难免存在一些错误与疏漏,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2006 年 5 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 通信的基本概念	(2)
1.1.1 信息与数据	(2)
1.1.2 信号	(2)
1.1.3 通信的定义	(3)
1.2 通信系统的基本概念	(4)
1.2.1 通信系统的一般模型	(4)
1.2.2 模拟通信系统	(5)
1.2.3 数字通信系统	(5)
1.3 通信的传输方式	(6)
1.3.1 单工传输、半双工传输和全双工传输	(6)
1.3.2 串行传输和并行传输	(7)
1.3.3 异步传输和同步传输	(7)
1.4 通信的发展简史与发展方向	(10)
1.4.1 通信的发展简史	(10)
1.4.2 通信的发展方向	(11)
习题与思考题	(17)
2 模拟调制系统	(18)
2.1 调制的功能及分类	(19)
2.1.1 调制的概念	(19)
2.1.2 调制的分类	(19)
2.2 幅度调制	(21)
2.2.1 普通调幅	(21)
2.2.2 双边带调幅	(28)
2.2.3 单边带调幅	(30)

2.3 角度调制.....	(33)
2.3.1 频率调制.....	(33)
2.3.2 相位调制.....	(36)
2.3.3 调角信号的频谱和有效带宽.....	(40)
习题与思考题	(46)
3 脉冲调制系统.....	(48)
3.1 脉冲模拟调制.....	(49)
3.2 数字基带信号的常用码型.....	(50)
3.2.1 二元码.....	(51)
3.2.2 差分码.....	(52)
3.2.3 交替极性码.....	(53)
3.3 脉冲数字调制.....	(53)
3.3.1 抽样.....	(54)
3.3.2 量化.....	(57)
3.3.3 编码.....	(63)
3.4 增量调制.....	(68)
实验1 脉冲幅度调制与解调实验	(71)
实验2 脉冲编码调制与解调实验	(72)
习题与思考题	(73)
4 数字调制系统.....	(74)
4.1 振幅键控.....	(75)
4.2 频移键控.....	(77)
4.3 相移键控.....	(79)
4.3.1 相移键控.....	(79)
4.3.2 差分相移键控.....	(82)
4.4 多元数字调制.....	(85)
4.4.1 多进制振幅键控.....	(86)
4.4.2 多进制相移键控.....	(87)
4.4.3 多进制频移键控.....	(91)

实验 3 FSK 调制解调实验	(94)
实验 4 PSK 传输系统实验	(95)
习题与思考题	(96)
5 信道复用与多址技术	(98)
5.1 信道的分类	(99)
5.1.1 有线信道	(99)
5.1.2 无线信道	(104)
5.2 复用技术	(114)
5.2.1 频率复用	(115)
5.2.2 时分复用	(116)
5.3 多址技术	(123)
5.3.1 频分多址	(124)
5.3.2 时分多址	(125)
5.3.3 码分多址	(126)
5.3.4 空分多址	(127)
5.3.5 移动通信中多址技术的应用	(128)
实验 5 数字多路传输系统实验	(136)
习题与思考题	(138)
参考文献	(139)

1 绪 论

【教学目的】

通过本章的学习,重点掌握通信及通信系统的基本概念、通信的传输方式、通信技术发展脉络及方向。

【教学要求】

要求掌握通信、信号、通信系统的一般概念;掌握通信系统的构成、分类及基本原理;掌握数字通信和模拟通信的特点和性能;了解通信发展简史与发展方向。

【关键词汇】

信息(Information)	数据(Data)
模拟数据(Analog Data)	数字数据(Digital Data)
信号(Signal)	模拟信号(Analog Signal)
数字信号(Digital Signal)	通信(Communication)
电信(Telecommunication)	通信系统(Communications System)
串行传输(Serial Transmission)	并行传输(Parallel Transmission)
单工传输(Single Transmission)	半双工传输(Duplex Transmission)
全双工传输(Full Duplex Transmission)	
模拟通信系统(Analog Communications System)	
数字通信系统(Digital Communications System)	
异步传输(Asynchronous Transmission)	
同步传输(Synchronous Transmission)	
卫星通信(Satellite Communication)	
光纤通信(Optical Fiber Communication)	
移动通信(Mobile Communication)	

【引子】

人类历史上最早的通信手段和现在一样是“无线”的。例如,利用火光传递

信息的烽火台。通信技术的发展日新月异,科技进步彻底改变了人类的生存方式。我们要了解、掌握现代通信技术,必须首先掌握通信的基本概念。本章涉及的知识是为后面的内容作准备,并为以后的进一步学习打下基础。

【典型案例】

模拟信号与数字信号的区别。

1.1 通信的基本概念

通信是在不同地点的双方或多方之间通过传输媒体进行迅速、可靠的信息传递。在古代,人们通过驿站、飞鸽传书、烽火报警等方式进行信息传递。到了今天,随着科学技术的飞速发展,相继出现了无线电、固定电话、移动电话、互联网甚至可视电话等各种通信方式。通信技术拉近了人与人之间的距离,提高了工作效率,深刻地改变了人类的生活方式和面貌。

1.1.1 信息与数据

信息(Information):信息是指人们对现实世界事物的存在方式或运动状态的某种认识,是有用的知识或消息。

数据(Data):数据是信息的表达形式,可以是数值、文字、图形、声音、图像、动画等。

一般情况下,数据和信息这两个术语常常被混用,但它们是有区别的:数据是信息的载体,是信息的表示形式,而信息是数据的具体含义。

数据的形式有两种:模拟数据和数字数据。

模拟数据(Analog Data):模拟数据是在某个区间产生的连续的值,可以用连续的物理量来表示。大多数用传感器收集的数据如温度、压力等都是模拟数据;又如声音、电视图像等也都是模拟数据。

数字数据(Digital Data):数字数据用离散的物理量来表示,用来反映在数值上为离散文字或符号的数据形式。在传送时,一段时间内传送一个符号,所以在时间上是离散的。如文本信息等。

1.1.2 信号

信号(Signal):信号是数据在传输过程中的电磁波表达形式。它可分为两种形式:模拟信号和数字信号。

模拟信号(Analog Signal):模拟信号是一种连续变化的电信号,它用电信号模拟原有信息。图 1.1(a)就是声音电压随时间而连续变化的函数曲线,由图可见,模拟信号的取值可以是无限多个。

数字信号(Digital Signal):数字信号是用离散的、不连续的电信号表示原有信息。一般用“高”和“低”两种电平的脉冲序列组成的编码来反映信息。图 1.1(b)所示为一段数字信号。

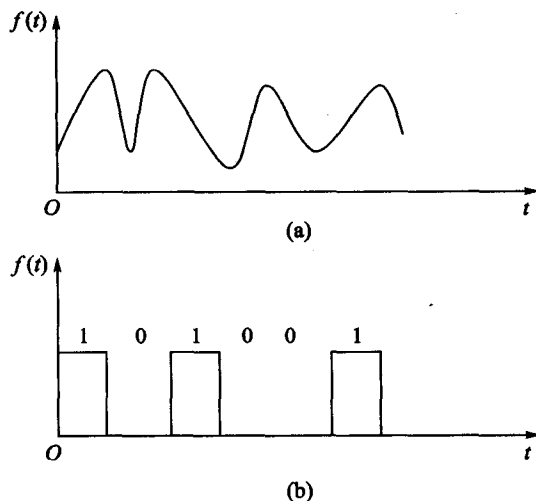


图 1.1 模拟信号和数字信号

(a)模拟信号;(b)数字信号

数字信号传输时由于不需要调制解调器,一般比模拟信号传输更经济,而且很少受到噪声干扰的影响。但数字信号比模拟信号容易衰减,因为一个脉冲信号中包含很多的高频分量,这些高频分量在传输中衰减得很快,因而数字信号只能在有限的距离内传输,当需要长距离传输时,可采用中继器,以便有效地克服衰减。

1.1.3 通信的定义

通信的目的是传递信息。在电信号出现之前,人们创造了许多种传递信息的方式,如古代的烽火台、击鼓、旌旗、航海用的信号灯等。现代社会人们采用了电话、文字、电视、遥控等方式来进行信息的传递。信息的表达形式有语音、文字、数据和图像等。

那么什么是通信呢? 通信(Communication)是按照一定的协议,在不同地

点的双方或多方之间实现迅速、可靠的信息传递。例如,两个人打电话就是利用电话系统来传递信息。实现通信的方式很多,目前使用最为广泛的是电通信方式,即用“电”来传递信息的通信方法,称为“电信”(Telecommunication)。也就是用电信号来携带所需传递的信息,经过各种电信道进行传输,以达到通信的目的。从广义上来说,光通信也属于电通信,因为光也是一种电磁波。

因此我们可以这样来定义通信:利用电、光等技术手段,借助电信号或光信号,在不同地点的双方或多方之间实现迅速、可靠的信息传递。

从本质上来讲通信就是实现信息传递功能的一门科学技术,它要将大量有用的信息高效率、无失真地进行传输,同时还要在传输过程中将无用信息和有害信息抑制掉。因此,通信就是迅速而可靠地传递信息。

1.2 通信系统的基本概念

1.2.1 通信系统的一般模型

从上节我们知道,通信是完成在不同地点的信息传递。因此,实现信息迅速、可靠地传递所需的一切技术设备和传输媒质的总和称为通信系统(Communications System)。

我们可以把通信系统概括为一个统一的模型,如图 1.2 所示,它包括以下几部分:

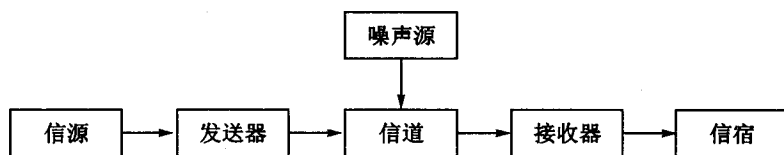


图 1.2 通信系统的一般模型

信源:信息的产生地。如通过电话系统进行信息传递时的讲话者。

发送器:将信源发出的信息转换成原始电信号(也称为基带信号),并与信道进行匹配,即将原始电信号变换成适合在信道中传输的信号。如电话系统中电话机就是发送器。

信道:信号传输的通道,可以有线的,也可以是无线的,甚至还可以包含某些设备。如电话线。

接收器:将信道中接收到的信号还原出相应的原始电信号,并转换成相应的信息。如电话系统中电话机就是接收器。

信宿:信息传输的目的地。如通过电话系统进行信息传递时的听话者。

噪声源:由信息的初始产生环境、构成发送器的电子设备、传输信道以及各种接收设备等产生。为分析方便起见,在模型中把各种噪声集中在一起,用一个噪声源表示,在信道中以叠加的方式引入。

由于传输的信号可分为模拟信号和数字信号,相应的通信系统也可分为模拟通信系统和数字通信系统。

1.2.2 模拟通信系统

模拟通信系统(Analog Communications System):通过发送器后送往信道上传输和处理的是模拟信号的系统,图 1.3 是典型的模拟电话通信系统模型。讲话者发出的信息经过送话器和调制器(即发送器)后,在电话线(即信道)上传输,接收者通过解调器和受话器(即接收器)接收发信者的信息。由于模拟信号的频谱较窄,模拟通信系统的信道利用率较高。但由于模拟信号中混入噪声后很难清除,使得输出的还原信号容易产生波形失真,因此抗干扰能力较差,且保密性较低。

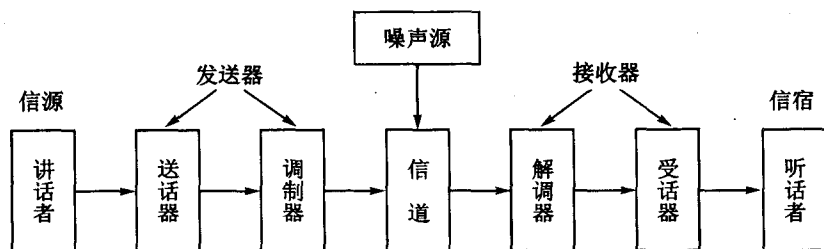


图 1.3 模拟电话通信系统模型

1.2.3 数字通信系统

数字通信系统(Digital Communications System):通过发送器后送往信道上传输和处理的是数字信号的系统,图 1.4 是典型的数字电话通信系统模型。

和模拟通信系统相比,数字通信主要优点是抗干扰能力强、可靠性高、保密性好、易于集成化(体积小、自重轻);缺点是占用的频带宽。

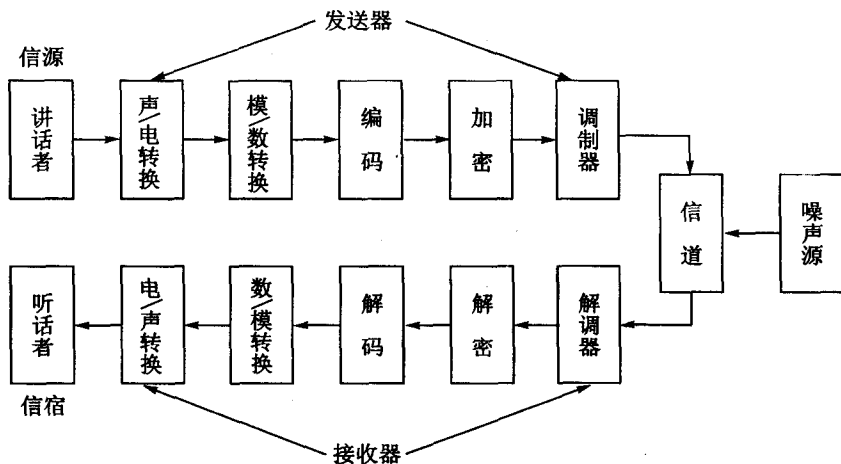


图 1.4 数字电话通信系统模型

1.3 通信的传输方式

信号在信道中的传输方式从不同的角度来划分,可分为不同的传输方式,如按照信号传输方向与时间的关系可分为单工传输、半双工传输、全双工传输;按照数字信息码元在信道中传输时是一个码元接着一个码元地依次传输还是一次同时并列地传输几个码元,可将信号的传输方式分为串行传输和并行传输;根据实现字符同步方式的不同,数据传输方式可分为异步传输和同步传输。下面分别加以讨论。

1.3.1 单工传输、半双工传输和全双工传输

如果通信仅在两点之间进行,根据信号的传输方向与时间的关系,可将信号的传输方式分为单工传输、半双工传输和全双工传输。

单工传输(Single Transmission):信号只能单方向传输,在任何时候都不能进行反方向传输,如图 1.5(a)所示。广播、电视系统就是典型的单工传输系统。

半双工传输(Duplex Transmission):信号可以在两个方向上传输,但不能同时传输,它们必须是交替的,即同一时间只能允许向一个方向传输数据,如图 1.5(b)所示。对讲机就是典型的半双工传输方式,这种方式使用的信道是双向信道。

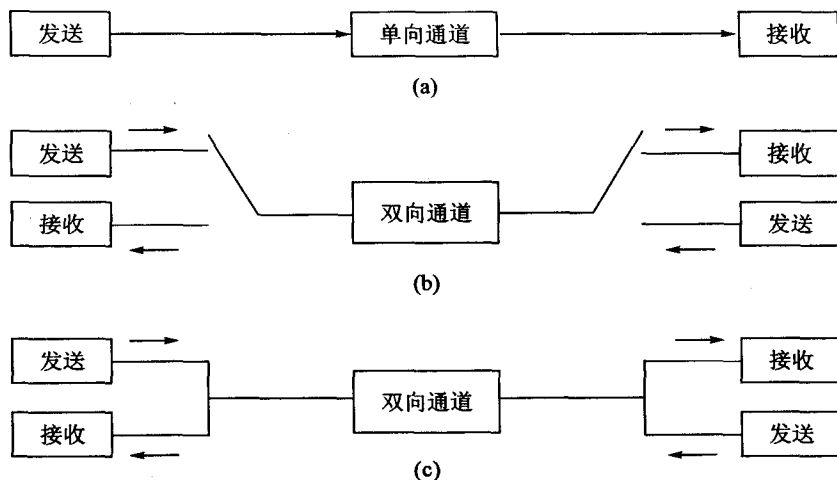


图 1.5 单工传输、半双工传输、全双工传输

(a) 单工传输; (b) 半双工传输; (c) 全双工传输

全双工传输(Full Duplex Transmission): 信号可以同时向两个方向传输, 如图 1.5(c)所示。这种方式使用的也是双向信道, 这种通信方式使用得最多。

1.3.2 串行传输和并行传输

按照数字信息码元在信道中传输时是一个码元接着一个码元依次地传输还是一次同时并列地传输几个码元, 可将信号的传输方式分为串行传输和并行传输。

串行传输(Serial Transmission): 各个码元是一个接一个地在同一条信道上依次传输的, 如图 1.6(a)所示。显然这种通信方式的同步极为重要, 收发双方必须要保持严格的同步, 才能在接收端正确地恢复原始信息。由于串行传输中收发双方只需要一条传输通道, 因此该传输方式容易实现, 且信道成本低, 是实际系统中比较常用的一种传输方式。

并行传输(Parallel Transmission): 构成一个码组的所有码元都是同时传输的, 如图 1.6(b)所示。从图中可见, 码组中的每一位都要单独使用一条通道, 信道成本高, 一般主要用于设备内部或近距离传输, 而长距离传输时通常仍采用串行传输。由于并行传输一次传输一个字符, 显然它的传输效率要高于串行传输。

1.3.3 异步传输和同步传输

在串行传输方式时, 接收端为了从串行数据码流中正确地划分出发送的一

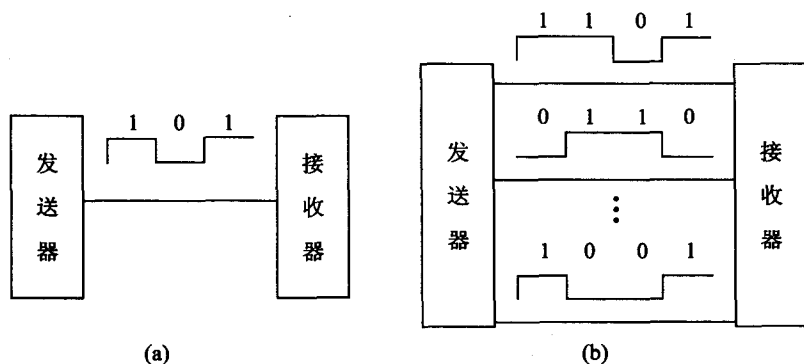


图 1.6 串行传输和并行传输

(a) 串行传输; (b) 并行传输

各个字符所采取的措施称为字符同步。根据实现字符同步方式的不同,数据传输方式可分为异步传输和同步传输。

异步传输 (Asynchronous Transmission): 异步传输是指数据比特被划分为小组独立地进行传输,发送端可以在任何时刻发送这些比特组,而接收端却不知道这些比特组什么时候会到达,很可能在检测到数据并作出响应之前,第一个比特就已经过去了,为了使接收端能正确地接收到数据,每次异步传输前都以一个起始位开始,如图 1.7 所示,它通知接收端数据分组已经到达了。这就给了接收端响应、接收、缓存数据的时间。在传输结束时,一个停止位标志着一次传输的结束。按照惯例,空闲(没有数据传输)的线路实际携带着一个代表二进制 1 的信号,起始位使信号变成 0,其他的比特位使信号随比特值变化。最后停止位使信号重新变回 1,该信号一直保持到下一个起始位到达。

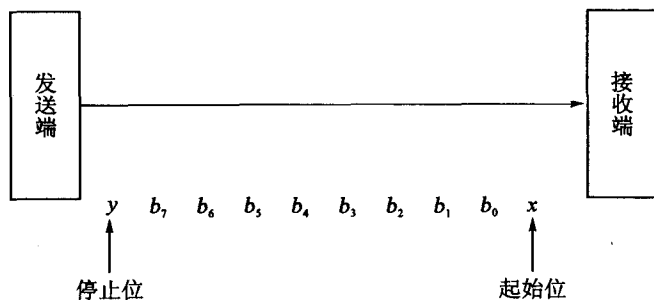


图 1.7 异步传输方式

异步传输方式在发送每一个小组的前面加上一个“起”信号,后面加上一个“止”信号,字符可以连续发送,也可以单独发送,不发送字符时,连续发送“止”信号,因此每一个字符的起始时刻可以是任意的,这也是异步传输的含义,又由于异步传输用“起始位”和“停止位”来表示被传输字符的开始和结束,因此异步传输也称为“起止式”传输。异步传输的一个典型的例子是使用终端与一台计算机进行通信,按下一个字母键或是数字键等,就发送一个 8 比特的 ASCII 代码。终端可以在任何时刻发送代码,这取决于输入速度,计算机内部的硬件必须能够在任何时刻接收一个字符。

异步传输的优点是实现字符同步比较简单,收发双方的时钟信号不需要精确地同步,但每个字符开头时必须重新开始同步。缺点是每个字符增加了 2~3 个比特用于起始位和停止位,因此额外地增加了开销,降低了传输效率。所以一般用于 1200bit/s 及以下的低速数据传输。

同步传输(Synchronous Transmission):同步传输不是以一个字符而是以一个数据块为单位进行信息传输的,它的数据块分组要大得多。为了使接收方能准确地确定每个数据块的开始和结束,需在数据块的前面加上一个前文,表示数据块的开始;在数据块的后面再加上一个后文,表示数据块的结束,通常把这种加有前文和后文的一个数据块称为一帧,数据帧的具体组织形式随采用的传输协议而定,图 1.8 显示同步传输的数据帧的一般组织形式。

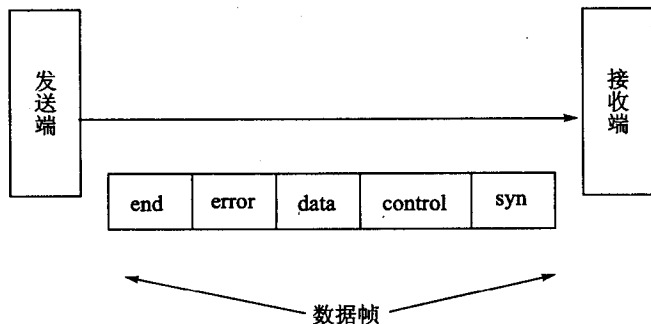


图 1.8 同步传输方式中数据帧的一般组织形式

syn—同步位;control—控制位;data—数据位;error—差错检测位;end—帧结束位

在同步传输方式中,数据的传输是由定时信号控制的。定时信号可由终端设备产生,也可由通信设备(如调制解调器、多路复用器等)提供。在接收端,通常由通信设备从接收信号中提取定时信号。

同步传输方式不需要对每一个字符单独进行同步,只是在一个数据帧前后加上标志序列,尤其是随着数据比特量的增大,开销比特所占的百分比将越来越小,因此传输效率较高,通常用于 2400bit/s 及以上的数据传输。但是数据域越大,缓存数据所需要的缓存区也越大,这就限制了一个数据帧的大小;另外,数据帧越大,它连续占用传输介质的时间也越长,在极端情况下,这将导致其他用户等待的时间太长。

1.4 通信的发展简史与发展方向

1.4.1 通信的发展简史

19 世纪开始电通信以来,通信技术的发展速度很快,特别是 20 世纪 50 年代以后发展更为迅速。现将通信发展史简要地介绍如下:

- 1837 年,莫尔斯(美国人)制成了第一部使用莫尔斯电码的电报机;
- 1864 年,麦克斯韦(英国人)发表了电磁场理论,并预言电磁波的存在;
- 1876 年,贝尔(美国人)发明了世界上第一部电话;
- 1896 年,马可尼(意大利人)取得无线电报专利权;
- 1906 年,佛利司特(美国人)发明了真空三极管;
- 1918 年,阿姆斯特朗(美国人)发明调幅无线电广播,超外差收音机问世;
- 1936 年,BBC(英国广播公司)调频无线电广播开播;
- 1937 年,A. H. 里夫斯(英国人)发明了脉冲编码调制(PCM)技术;
- 1940~1945 年,第二次世界大战刺激了雷达和微波通信系统的发展;
- 1948 年,美国贝尔实验室的巴丁、布莱顿、肖克莱发明晶体管;香农提出了信息论,通信统计理论开始发展;
- 1950 年,时分多路通信应用于电话;
- 1957 年,苏联成功地发射了第一颗人造地球卫星;
- 1960 年,美国休斯航空公司的梅曼发明了红宝石激光器,获得了性质与电磁波相同而且频率和相位都相当稳定的光,从此人类进入了研究现代光通信的时代;
- 1962 年,美国发射第一颗同步通信卫星;脉冲编码调制进入实用阶段;
- 1960~1970 年彩色电视问世;阿波罗宇宙飞船登月;数字传输的理论和技