



# 通信系统

主 编◎刘继光 姜春霞 孟博翔



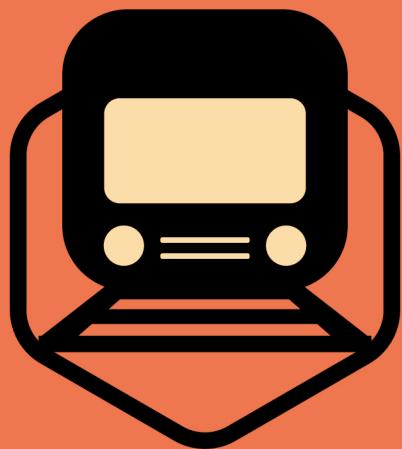
哈尔滨工程大学出版社  
Harbin Engineering University Press

免费提供

精品教学资料包

服务热线: 400-615-1233

www.huatengzy.com



# 通信系统

选题策划: 金颖杰

责任编辑: 苏 莉

封面设计: 黄燕美

ISBN 978-7-5661-3961-0



定价: 45.00元

## 内 容 简 介

通信系统是通信技术相关专业的一门非常重要的专业必修课程。该课程的教学目的是让学生在掌握通信基本理论的基础上,运用各种工程方法解决通信中的一些实际问题。本书包括7个项目,分别为通信系统概述、信号分析、信道与噪声、模拟调制系统、模拟信号的数字化、数字信号的基带传输、数字调制系统。

本书既可作为职业教育交通运输类通信技术相关专业的教材,也可作为相关人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

通信系统/刘继光,姜春霞,孟博翔主编. —哈尔滨:  
哈尔滨工程大学出版社,2023.8  
ISBN 978-7-5661-3961-0

I. ①通… II. ①刘… ②姜… ③孟… III. ①通信系  
统-教材 IV. ①TN914

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 097516 号

通信系统

TONGXIN XITONG

选题策划 金颖杰

责任编辑 苏 莉

封面设计 黄燕美

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区南通大街 145 号  
邮政编码 150001  
发行电话 0451-82519328  
传 真 0451-82519699  
经 销 新华书店  
印 刷 三河市骏杰印刷有限公司  
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16  
印 张 11.5  
字 数 280 千字  
版 次 2023 年 8 月第 1 版  
印 次 2023 年 8 月第 1 次印刷  
定 价 45.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

---

# Preface

## 前言

通信指人与人或人与自然之间通过某种行为或媒介进行的信息交流与传递,广义上指需要信息的双方或多方在不违背各自意愿的情况下采用任意方法、任意媒介,将信息从某一方准确、安全地传送到另一方。而通信系统是用以完成信息传输过程的技术系统的总称。现代通信系统主要借助电磁波在自由空间内的传播或在传输媒介中的传输来实现,前者称为无线通信系统,后者称为有线通信系统。随着技术的发展,通信系统正朝着数字化、智能化和个性化的方向不断迈进。

通信系统作为通信技术相关专业的一门非常重要的专业必修课程,可以培养学生在掌握通信基本理论的基础上,运用各种工程方法对通信中的一些实际问题进行处理的能力。该课程以电工基础、模拟电子技术、数字电子技术等课程为基础。

目前,关于通信系统方面的教材比较多,但绝大多数是针对本科生和研究生教育编写的,理论体系虽较为完整,但不适合高等职业教育的学生。为了适应行业的需要,我们组织多年扎根在企业生产或教学第一线、具有扎实专业基础理论知识和丰富实践经验的企业人员、专业教师编写了本书,并在通信理论的基础上对通信系统知识进行了全方位的简化,对于实际应用不多的知识进行了有选择性的删减和压缩。

本书在编写过程中以“必需、够用”为基本原则,以学习目标、任务引入、学习内容、任务练习、任务评价和项目实训为主线,弱化理论推导,提升概念理解和图形分析方面的内容占比,以简明的内容、通俗的语言搭建通信系统的主要知识架构。

本书以岗位的实际工作内容为依据,通过与企业的工种相对接来设定和编排内容。全书包括7个项目,分别为通信系统概述、信号分析、信道与噪声、模拟调制系统、模拟信号的数字化、数字信号的基带传输、数字调制系统。通过学习本书,学生可以深刻了解通信系统的相关知识,包括信号分析的基础知识、信道与噪声的理论概念、模拟调制系统的构成与工作原理、模拟信号的数字化技术、数字基带传输系统的工作原理、数字调制系统的构成等。

本书具有以下特色。

(1)为落实立德树人的根本任务,贯彻党的二十大精神,本书融入了育人元素,以培养学生的核心素养。

(2)为适应项目式教学模式改革的需要,以学生为中心,让学生更好地掌握知识,本书采



取项目-任务式的编写方法,并以活页式的形式进行呈现。每个任务后都配有相应的任务练习和任务评价,既能达到突出应用、及时训练、巩固内容的目的,又便于学生了解自身的学习情况,符合教情、学情。

(3)在总体结构上,本书较全面地涵盖了通信系统所涉及的知识,使学生能够全面地掌握通信系统。

(4)本书对知识进行了深入浅出的阐述,采用清晰、易懂的语言描述较为抽象的内容,各部分之间的逻辑关系明确,能够系统地培养学生的职业能力。

(5)为打造融媒体教材,本书配有线上教学资料包、微课、动画等教学资源,为师生提供混合式服务。

本书由辽宁省交通高等专科学校刘继光、姜春霞、孟博翔任主编,沈阳地铁运营分公司张兆坤,辽宁省交通高等专科学校黄赫、马选刚、侯伟任副主编。具体编写分工如下:刘继光编写项目1和项目2,姜春霞编写项目3,孟博翔编写项目4,张兆坤编写项目5,马选刚、侯伟编写项目6,黄赫编写项目7。全书由刘继光统稿。

由于编者水平有限,疏漏之处在所难免,敬请读者批评、指正。

编者

# Contents

## 目 录

项目 1	通信系统概述	1
任务 1.1	通信系统的基本概念、组成与分类	1
任务 1.2	通信方式	9
任务 1.3	通信系统的主要性能指标	15
	项目实训	20
项目 2	信号分析	21
任务 2.1	信号的类型及常用连续时间基本信号	21
任务 2.2	连续时间信号的基本运算及变换	33
	项目实训	42
项目 3	信道与噪声	43
任务 3.1	信道的定义、类型及数学模型	43
任务 3.2	信道及其对所传信号的影响	51
任务 3.3	信道的加性噪声和容量	61
	项目实训	67
项目 4	模拟调制系统	69
任务 4.1	幅度调制	69
任务 4.2	角度调制	81
	项目实训	88
项目 5	模拟信号的数字化	89
任务 5.1	抽样定理和脉幅调制	89
任务 5.2	脉冲编码调制	101
	项目实训	113



▶▶▶▶ ▶	<b>项目 6 数字信号的基带传输</b>	115
	任务 6.1 数字基带信号的码型	115
	任务 6.2 基带传输系统的脉冲传输与码间串扰	125
	项目实训	137
▶▶▶▶ ▶	<b>项目 7 数字调制系统</b>	139
	任务 7.1 二进制幅移键控和频移键控	139
	任务 7.2 二进制数字相位调制	151
	任务 7.3 多进制数字调制	163
	项目实训	175
▶▶▶▶ ▶	<b>参考文献</b>	177

# 通信系统概述



## 知识目标

- (1) 掌握通信系统的组成。
- (2) 掌握常用的通信方式及其原理。
- (3) 掌握通信系统的主要性能指标。



## 能力目标

- (1) 具备自学通信系统相关知识的基本能力。
- (2) 具备分析通信系统构成的基本能力。
- (3) 具备计算通信系统的主要性能指标的基本能力。



## 素质目标

- (1) 树立良好的思想品德,培养爱岗敬业、热情主动的工作态度。
- (2) 遵守劳动纪律,注意安全,具备良好的敬业精神和协作精神。
- (3) 养成科学的创新精神,提升决策力和执行力。

## 任务 1.1 通信系统的基本概念、组成与分类



### 任务引入

通信按传统理解就是信息的传输与交换,信息可以是语言、文字、符号、声音、图形、图像等。任何一个通信系统,都是从一个称为信源的时空点向另一个称为信宿的目的点传送信息。以各种通信系统,如以长途和本地的有线电话网(包括光缆、同轴电缆网)、无线电话网(包括卫星通信、微波中继通信网)、有线电视网和计算机数据网为基础组成的现代通信网,通过多媒体技术为家庭、办公室、医院、学校等提供文化、娱乐、教育、卫生、金融等方面广泛







的信息服务。可见,通信网络已成为支撑现代社会的最重要的基础结构之一。

党的二十大报告指出,“建设现代化产业体系。坚持把发展经济的着力点放在实体经济上,推进新型工业化,加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、网络强国、数字中国。实施产业基础再造工程和重大技术装备攻关工程,支持专精特新企业发展,推动制造业高端化、智能化、绿色化发展。”

## 学习内容

### 1.1.1 通信系统的基本概念

通信是传递信息的手段,即将信息从发送器传送到接收器。信息可被理解为消息中包含的有意义的内容。“信息”一词在概念上与消息的意义相似,但它的含义更普通化、抽象化。消息是信息的表现形式,具有不同的形式,如符号、文字、话音、音乐、数据、图片、活动图像等。也就是说,一条信息可以用多种形式的消息来表示,不同形式的消息可以包含相同的信息。例如,分别用文字(访问特定网站)和话音(拨打特定号码)发送的天气预报,所含的信息内容相同。信号是消息的载体,消息是靠信号来传递的。信号一般为某种形式的电磁能(电信号、无线电、光)。

一般将语言、文字、图像或数据称为消息,将消息给予受信者的新知识称为信息。有的消息包含较多的信息,有的消息几乎不包含任何信息。因此,为了更合理地评价一个通信系统传递信息的能力,需要对信息进行量化,即用“信息量”这一概念表示信息的多少。

如何评价一个消息中所含信息量的多少?既可以从发送者的角度考虑,也可以从接收者(即受信者)的角度考虑。一般从接收者的角度考虑,在人们得到消息之前,对它的内容有一种“不确定性”或者说是“猜测”。当受信者得到消息后,若事前猜测的消息中所描述的事件发生了,就会觉得该信息没有多少信息量,即已经被猜中;若事前猜测的消息中所描述的事件没有发生,而是发生了其他事件,则受信者会觉得该信息很有信息量,而且事件越是出乎意料,受信者就觉得信息量越大。

事件出现的不确定性,可以用其出现的概率来描述。因此,消息中信息量的大小与消息出现的概率密切相关。如果一个消息所表示的事件是必然事件,即该事件出现的概率为100%,那么该消息所包含的信息量为0;如果一个消息表示的是不可能事件,即该事件出现的概率为0,那么这一消息的信息量为无穷大。

为了对信息进行度量,科学家哈特莱(Hartley)提出采用消息出现概率的倒数的对数作为信息量的度量单位。

若一个消息出现的概率为 $P$ ,则这一消息所含信息量( $I$ )为

$$I = \log_a \frac{1}{P}$$

当 $a=2$ 时,信息量的单位为比特(bit);当 $a=e$ 时,信息量的单位为奈特(nit);当 $a=10$ 时,信息量的单位为哈莱特。目前应用最广泛的单位是比特,即 $a=2$ 。下面举例说明信息量的含义。

- (1)不可能事件: $P=0, I=\infty$ 。
- (2)小概率事件: $P=0.125, I=3$ 。
- (3)大概率事件: $P=0.5, I=1$ 。
- (4)必然事件: $P=1, I=0$ 。

## 1.1.2 通信系统的组成

### 1. 通信系统的一般模型

实现信息传递所需的一切技术设备和传输媒介的总和称为通信系统。以基本的点对点通信为例,其通信系统的组成(通常也称为一般模型)如图 1-1 所示。

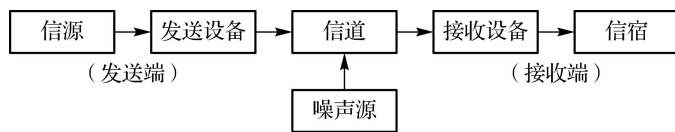


图 1-1 点对点通信系统的一般模型

(1)信源。信源(即信息源,也称发终端)的作用是把待传输的消息转换成原始电信号。信源输出的信号称为基带信号。

所谓基带信号是指没有经过调制(进行频谱搬移和变换)的原始电信号,其特点是信号频谱从零频附近开始,具有低通形式。根据原始电信号的特征,基带信号可分为数字基带信号和模拟基带信号,相应地,信源也分为数字信源和模拟信源。

(2)发送设备。发送设备的基本功能是将信源和信道匹配起来,即将信源产生的原始电信号(基带信号)变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的,在需要频谱搬移的场合,调制是最常见的变换方式;对传输数字信号来说,发送设备又常常包含信源编码和信道编码等。

(3)信道和噪声源。信道是指信号传输的通道,既可以是有线的,也可以是无线的,甚至还可以包含某些设备。在有线信道中,信道可以是架空明线、双绞线、电缆或光缆;在无线信道中,信道可以是大气(自由空间)。

噪声源是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。为分析方便起见,在通信系统模型中,将各种噪声集中用一个噪声源来表示。

(4)接收设备。在接收端,接收设备的功能与发送设备相反,即进行解调、译码、解码等。它的任务是从带有干扰的接收信号中将相应的原始电信号恢复出来。

(5)信宿。信宿(也称受信者或收终端)是将复原的原始电信号转换成相应的消息,如电话机将对方传来的电信号还原成了声音。

按照信道中所传信号的形式不同,通信系统的一般模型可进一步分为模拟通信系统模型和数字通信系统模型。

### 2. 模拟通信系统模型

我们把信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统。它主要包含两种重要变换,第



一种变换是把连续消息变换成电信号(由发送端的信源完成)和把电信号恢复成最初的连续消息(由接收端的信宿完成)。由信源输出的电信号(基带信号)具有频率较低的频谱分量,一般不能直接作为传输信号被送到信道中。因此,模拟通信系统里常用第二种变换,即将基带信号转换成其适合信道传输的信号,这一变换由调制器完成。

在第二种变换中,信号在接收端同样需经相反的变换,这由解调器完成。经过调制后的信号通常称为已调信号。已调信号具有三个基本特性:一是携带有消息;二是适合在信道中传输;三是频谱具有带通形式,且中心频率远离零频。因此,已调信号又常称为频带信号。模拟通信系统模型如图 1-2 所示。

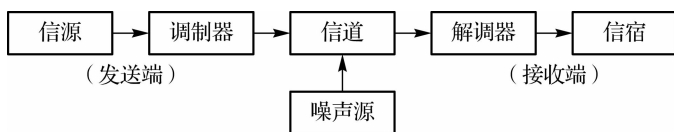


图 1-2 模拟通信系统模型

必须指出,从消息的发送到消息的恢复,事实上并非仅有以上两种变换。通常,在一个通信系统里可能还有滤波、放大、天线发射与接收、控制等过程。对信号传输而言,由于上面两种变换对信号形式的变化起着决定性作用,因此它们是通信过程中的重要方面。而其他过程对信号变化来说,没有起到质的作用,只不过是放大了信号和改善了信号特性,因此,对于这些过程,我们认为都是理想的,不去讨论。

### 3. 数字通信系统模型

信道中传输数字信号的系统称为数字通信系统。数字通信系统可进一步细分为数字频带传输通信系统、数字基带传输通信系统、模拟信号数字化传输通信系统。

(1)数字频带传输通信系统。数字通信的基本特征是:它的消息或信号具有“离散”或“数字”的特性。数字频带传输通信系统模型如图 1-3 所示。

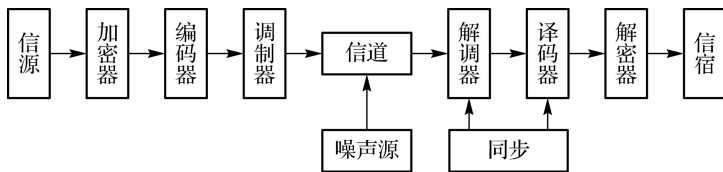


图 1-3 数字频带传输通信系统模型

(2)数字基带传输通信系统。与数字频带传输通信系统相对应,把没有调制器/解调器的数字通信系统称为数字基带传输通信系统,其模型如图 1-4 所示。

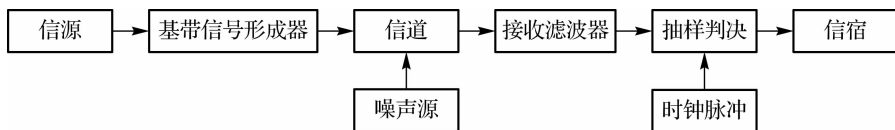


图 1-4 数字基带传输通信系统模型

图 1-4 中,基带信号形成器可能包括编码器、加密器及波形变换等,接收滤波器亦可能包括译码器、解密器等。

(3)模拟信号数字化传输通信系统。在上面论述的数字通信系统中,信源输出的信号均为数字基带信号。实际上,在日常生活中,大部分信号(如语音信号)为连续变化的模拟信号。因此,要实现模拟信号在数字系统中的传输,就必须在发送端将模拟信号数字化,即进行模数(analog-to-digital, A/D)转换;反过来,在接收端把接收到的代码(数字信号)还原为模拟信号,这个过程简称为数模(digital-to-analog, D/A)转换。模拟信号数字化传输通信系统模型如图 1-5 所示。

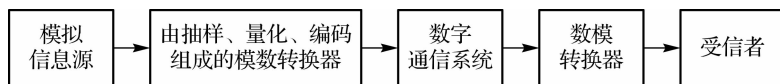


图 1-5 模拟信号数字化传输通信系统模型

### 1.1.3 通信系统的分类

通信的目的是传递消息。按照不同的分法,通信系统可分成许多类别,下面介绍几种较常用的分类方法。

#### 1. 按传输媒介分类

按传输媒介,通信系统可分为两大类:一类称为有线通信系统,另一类称为无线通信系统。通常,有线通信系统可进一步再分类,如明线通信系统、电缆通信系统、光缆通信系统等。无线通信系统常见的形式有微波通信系统、短波通信系统、移动通信系统、卫星通信系统、散射通信系统和激光通信系统等。

#### 2. 按信道中所传信号的特征分类

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以相应地把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

#### 3. 按工作波段分类

按通信设备的工作波段,通信系统可分为长波通信系统、中波通信系统、短波通信系统、微波通信系统等。

#### 4. 按调制方式分类

按是否采用调制,可将通信系统分为基带传输通信系统和频带(调制)传输通信系统。基带传输通信系统是对没有经过调制的信号进行直接传送,如音频市内电话;频带传输通信系统是对各种信号进行调制后再送到信道中传输。



### 5. 按通信业务分类

按通信业务,通信系统可分为话务通信系统和非话务通信系统。

### 6. 按通信者是否运动分类

通信系统可按收发信者是否运动分为移动通信系统和固定通信系统。移动通信系统是指通信双方至少有一方在运动中进行信息交换。

另外,通信系统还有其他一些分类方法,如按信号复用方式可分为频分复用通信系统、时分复用通信系统、码分复用通信系统等;按用户类型可分为公用通信系统和专用通信系统;按通信对象的位置可分为地面通信系统、对空通信系统、深空通信系统、水下通信系统等。





**任务评价**

完成任务后,对每名同学的总体表现进行自评、小组评价和教师评价(表 1-1),其中自评占总成绩的 20%,小组评价占总成绩的 30%,教师评价占总成绩的 50%。

表 1-1 任务 1.1 综合评价

姓 名		学 号		所在小组	
学习任务					
评价项目及标准	分 值	自 评	小组评价	教师评价	得 分
对通信定义的理解程度	5				
对消息、信息与信号的理解程度	10				
对通信系统的一般模型的掌握程度	15				
对信源、信宿的理解程度	5				
对模拟通信系统模型的掌握程度	15				
对数字频带通信系统模型的掌握程度	20				
对数字基带传输通信系统模型的掌握程度	15				
对通信系统分类的掌握程度	15				
合计	100	任务综合得分:			

## 任务 1.2 通信方式

### 任务引入

通信方式通常有四种分类方法，每一类都有其不同的切入点，掌握这些通信方式有助于对通信系统设备的维护。

### 学习内容

#### 1.2.1 按消息传送的方向与时间分类

对于点对点之间的通信，按消息传送的方向与时间，通信方式可分为单工通信、半双工通信和全双工通信，如图 1-6 所示。

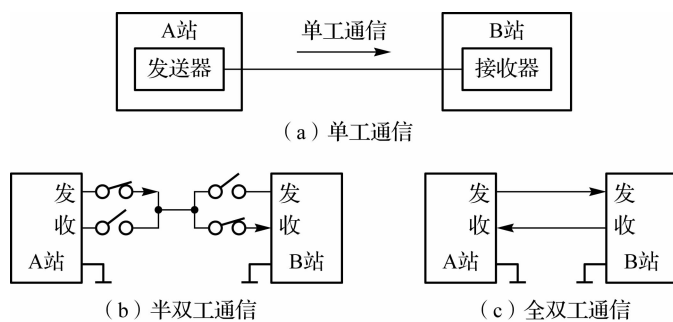


图 1-6 单工通信、半双工通信和全双工通信

所谓单工通信，是指消息只能单方向传输的工作方式。

所谓半双工通信，是指通信双方都能收发消息，但不能同时收发的工作方式。对讲机、收发报机等都采用这种通信方式。

所谓全双工通信，是指通信双方可同时双向传输消息的工作方式。在这种方式下，双方可同时收发消息。很明显，全双工通信的信道必须是双向信道。

#### 1.2.2 按数字信号排序方式分类

按数字信号排序方式，通信方式可分为串行传输和并行传输，如图 1-7 所示。

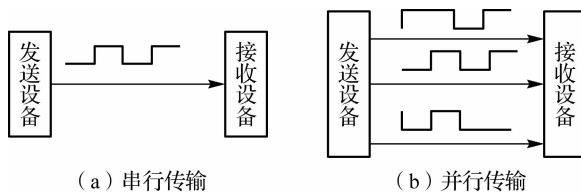


图 1-7 串行传输和并行传输





将代表信息的数字信号序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输,称为串行传输。

将代表信息的数字信号序列分割成两路或两路以上的数字信号序列,并将其同时在信道上传输,称为并行传输。

### 1.2.3 按时钟控制方式分类

按串行数据的时钟控制方式,串行通信<sup>①</sup>可分为异步通信和同步通信两类。

#### 1. 异步通信

在异步通信(asynchronous communication)中,数据通常是以字符为单位组成字符帧(character frame)传送的。字符帧由发送端一帧一帧地发送,每一帧数据都是低位在前、高位在后,通过传输线被接收端一帧一帧地接收。发送端和接收端可以通过各自独立的时钟来控制数据的发送与接收,这两个时钟彼此独立、互不同步。

在异步通信中,接收端依靠字符帧格式来判断发送端何时开始发送、何时结束发送。字符帧格式是异步通信的一个重要指标。

(1)字符帧。字符帧也叫数据帧,由起始位、数据位、奇偶校验位和停止位四部分组成,如图 1-8 所示。

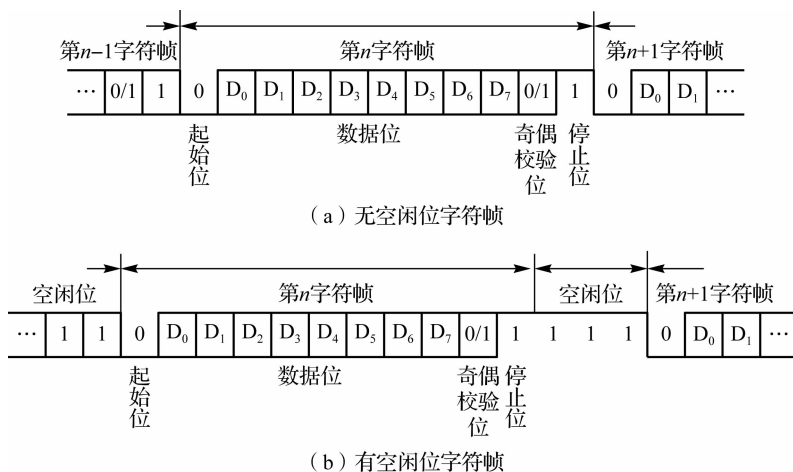


图 1-8 异步通信的字符帧格式

①起始位:位于字符帧的开头,只占一位,为逻辑 0 低电平,用于向接收设备表示发送端开始发送一帧信息。

②数据位:在起始位之后,紧跟起始位,用户可根据情况取 5 位、6 位、7 位或 8 位,低位在前、高位在后。

③奇偶校验位:在数据位之后,仅占一位,用来表征串行通信中是采用奇校验还是采用

<sup>①</sup> 串行通信是指通信双方按位进行,遵守时序的一种通信方式。串行通信中,将数据按位依次传输,每位数据占据固定的时间长度,即使用少数几条通信线路就可以完成系统间的信息交换。

偶校验,由用户决定。

④停止位:位于字符帧的最后,为逻辑 1 高电平,通常可取 1 位、1.5 位或 2 位,用于向接收端表示一帧字符信息已经发送完毕,并为发送下一帧做准备。

在串行通信中,两相邻字符帧之间可以没有空闲位,也可以有若干空闲位,这由用户决定。图 1-8(b)表示有 3 个空闲位的字符帧格式。

(2)波特率(baud rate)。异步通信的另一个重要指标为波特率。

波特率为每秒钟传送二进制数码的位数,也叫比特数,单位为 bit/s,即位/秒。波特率用于表征数据传输速率,波特率越高,数据传输速率越快。但波特率和字符的实际传输速率不同,字符的实际传输速率是每秒内所传字符帧的帧数,与字符帧格式有关。

通常,异步通信的波特率为 50~9 600 bit/s。

异步通信的优点是不需要传送同步时钟,字符帧长度不受限制,故设备简单;其缺点是字符帧中因包含起始位和停止位而降低了有效数据的传输速率。

## 2. 同步通信

同步通信(synchronous communication)是一种连续串行传送数据的通信方式,一次通信只传输一帧信息。这里的字符帧和异步通信的字符帧不同,通常有若干个数据字符,如图 1-9 所示。图 1-9(a)为单同步字符帧结构,图 1-9(b)为双同步字符帧结构,它们均由同步字符、数据字符和循环冗余检验(cyclic redundancy check, CRC)三部分组成。在同步通信中,同步字符既可以采用统一的标准格式,也可以由用户约定。

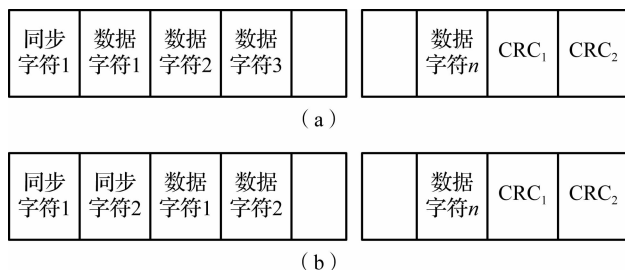


图 1-9 同步通信的字符帧格式

同步通信的优点是数据传输速率较高,通常可达 56 000 bit/s 或更高;其缺点是要求发送时钟和接收时钟必须保持严格同步。

### 1.2.4 按通信设备与传输线路之间的连接类型分类

按通信设备与传输线路之间的连接类型,通信方式可分为点对点通信(专线通信,如图 1-10 所示)、点到多点和多点之间通信(网通信,如图 1-11 所示)。

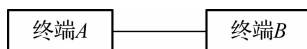


图 1-10 专线通信

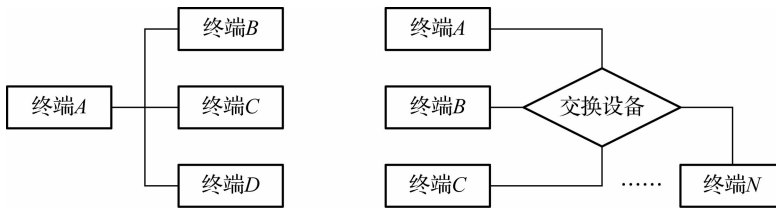


图 1-11 网通信

 任务练习

姓名		学号	
<p>1. 按消息传送的方向与时间,通信方式可分为哪几类? 简述其工作过程。</p> <p>2. 按数字信号排序方式,通信方式可分为哪几类? 简述其工作过程。</p>			



## 任务评价

完成任务后,对每名同学的总体表现进行自评、小组评价和教师评价(表 1-2),其中自评占总成绩的 20%,小组评价占总成绩的 30%,教师评价占总成绩的 50%。

表 1-2 任务 1.2 综合评价

姓 名		学 号		所在小组	
学习任务					
评价项目及标准	分 值	自 评	小组评价	教师评价	得 分
对单工通信方式的掌握程度	5				
对半双工通信方式的掌握程度	10				
对全双工通信方式的掌握程度	15				
对串行传输方式的掌握程度	10				
对并行传输方式的掌握程度	10				
对异步通信方式的掌握程度	20				
对同步通信方式的掌握程度	20				
对专线通信和网通信的掌握程度	10				
合计	100	任务综合得分:			

## 任务 1.3 通信系统的主要性能指标

### 任务引入

衡量一个通信系统性能优劣的基本指标是有效性和可靠性。有效性是指传输一定量信息时所占用的信道资源(频带宽度和时间间隔),或者说是传输“速度”的问题;可靠性是指信道传输信息的准确程度,或者说是传输“质量”的问题。这两个指标既相互矛盾又相互统一,并且还可以相互转化。

### 学习内容

#### 1.3.1 模拟通信系统的性能指标

模拟通信系统的有效性用信号在传输中所占用的传输带宽来表示。传输带宽越窄,有效性越好;反之越差。模拟通信系统的可靠性用接收端最终输出的信噪比来度量。输出信噪比越高,可靠性越好;反之越差。

信噪比(signal to noise ratio, SNR)是输出端信号的平均功率与噪声平均功率比值的简称,可用  $S/N$  表示,它的单位一般使用分贝(dB), $SNR=10\lg S/N$ 。

#### 1.3.2 数字通信系统的有效性指标

数字通信系统的有效性可用传输速率和频带利用率( $\eta$ )来衡量。传输速率越高,系统的有效性越好。

##### 1. 码元传输速率

码元传输速率通常又称为数码率、传码率、码率、信号速率或波形速率,用符号  $R_B$  来表示。 $R_B$  是指单位时间(每秒)内传送码元的数目,单位为波特(Baud),常用符号 B 表示。例如,某系统在 2 s 内共传送 4 800 个码元,则该系统的传码率为 2 400 B。

数字信号一般有二进制和多进制之分,但  $R_B$  与信号的进制( $N$ )无关,只与码元的持续时间即码元宽度( $T$ )有关。

$$R_B = \frac{1}{T} \quad (1-1)$$

通常在给出系统码元传输速率时,有必要说明码元的进制。

##### 2. 信息传输速率

信息传输速率简称信息速率,又可称为传信率、比特率等,用符号  $R_b$  表示。 $R_b$  是指单位时间(每秒)内传递的平均信息量,单位为比特/秒(bit/s),简记为 b/s 或 bps。例如,若某信源在 1 s 内传递 1 200 个符号,且每一个符号的平均信息量为 1 bit,则该信源的信息传输



速率为 1 200 b/s 或 1 200 bps。

因为信息量与信号的进制( $N$ )有关,所以  $R_b$  也与  $N$  有关。

### 3. $R_b$ 与 $R_B$ 之间的互换

根据码元传输速率和信息传输速率的定义可知,多进制  $R_{bN}$  与  $R_{BN}$  之间在数值上有如下关系。

$$R_{bN} = R_{BN} \cdot \log_2 N \quad (1-2)$$

应当注意,两者的单位不同,前者为 bit/s,后者为 B。

二进制  $R_{b2}$  与  $R_{B2}$  之间在数值上有如下关系。

$$R_{b2} = R_{B2} \cdot \log_2 2 = R_{B2} \quad (1-3)$$

### 4. 多进制传输速率与二进制传输速率的关系

根据式(1-2)和式(1-3),不难得出多进制传输速率与二进制传输速率具有如下关系。

(1)在码元传输速率保持不变( $R_{BN} = R_{B2}$ )的条件下,二进制  $R_{b2}$  与多进制  $R_{bN}$  的关系为

$$R_{bN} = R_{BN} \cdot \log_2 N = R_{B2} \cdot \log_2 N = \log_2 N \cdot R_{b2} \quad (1-4)$$

(2)在信息传输速率保持不变( $R_{bN} = R_{b2}$ )的条件下,多进制  $R_{BN}$  与二进制  $R_{B2}$  的关系为

$$R_{B2} = R_{b2} = R_{bN} = \log_2 N \cdot R_{BN} \quad (1-5)$$

或

$$R_{BN} = \frac{R_{B2}}{\log_2 N} \quad (1-6)$$

一般情况下,  $N = 2^k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ), 则式(1-4)和式(1-6)变为

$$R_{bN} = kR_{b2} \quad (1-7)$$

$$R_{BN} = \frac{1}{k}R_{B2} \quad (1-8)$$

### 5. 频带利用率

在比较不同的数字通信系统的有效性时,只看它们的信息传输速率(或码元传输速率)是不够的,还应考虑传输信息所占用的频带宽度,即频带利用率( $\eta$ )。 $\eta$ 是指单位频带(1 Hz)内的传输速率,即

$$\eta_B = \frac{\text{码元传输速率}}{\text{占用的频带宽度}}$$

$$\eta_b = \frac{\text{信息传输速率}}{\text{占用的频带宽度}}$$

#### 1.3.3 数字通信系统的可靠性指标

数字通信系统的可靠性可用信号在传输过程中出错的概率(差错率)来衡量。差错率越大,系统的可靠性越差。差错率通常有以下两种表示方法。

##### 1. 码元差错率

码元差错率( $P_c$ )简称误码率,是指错误码元数在传输码元总数中所占的比例。更确切

地说,误码率就是码元在传输系统中被传错的概率,其表达式为

$$P_e = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输码元总数}} \quad (1-9)$$

## 2. 信息差错率

信息差错率( $P_{cb}$ )简称误信率或误比特率,是指错误信息量在传输信息总量中所占的比例,或者说,它是码元的信息量在传输系统中被丢失的概率,其表达式为

$$P_{cb} = \frac{\text{错误信息量}}{\text{传输信息总量}} \quad (1-10)$$

显然,在二进制中,有  $P_{cb} = P_e$ 。







## 任务练习

姓 名	学 号
<p>1. 用二进制信号传送信息, 已知在 30 s 内共传送了 36 000 个码元, 据此回答下列问题。</p> <p>(1) 其码元传输速率和信息传输速率各为多少?</p> <p>(2) 如果码元宽度不变(即码元传输速率不变), 但改用八进制信号传送信息, 则其码元传输速率为多少? 信息传输速率又为多少?</p> <p>2. 已知某八进制数字通信系统的信息传输速率为 3 000 b/s, 在接收端 10 min 内共测得出现了 18 个错误码元, 试求系统的误码率。</p>	

 任务评价

完成任务后,对每名同学的总体表现进行自评、小组评价和教师评价(表 1-3),其中自评占总成绩的 20%,小组评价占总成绩的 30%,教师评价占总成绩的 50%。

表 1-3 任务 1.3 综合评价

姓 名	学 号	所在小组				
学习任务						
评价项目及标准	分 值	自 评	小组评价	教师评价	得 分	
对模拟通信系统的主要性能指标的掌握程度	5					
对数字通信系统的码元传输速率的计算方法的掌握程度	15					
对数字通信系统的信息传输速率的计算方法的掌握程度	15					
对数字通信系统的码元传输速率和信息传输速率之间的转换的掌握程度	10					
对数字通信系统的多进制传输速率与二进制传输速率关系的掌握程度	10					
对数字通信系统的频带利用率的计算方法的掌握程度	15					
对数字通信系统的码元差错率的计算方法的掌握程度	15					
对数字通信系统的信息差错率的计算方法的掌握程度	15					
合计	100	任务综合得分:				



## 项目实训

## 1. 实训目的

掌握通信系统的基础知识。

## 2. 实训内容

(1)教师介绍实训目的、方式和要求,调动学生参与的积极性。

(2)对学生进行分组,确定组长和人员分工,以小组为单位,制订实训计划。

(3)教师简要介绍通信系统的组成、分类、通信方式和主要性能指标,组织学生调查、讨论。

(4)各小组通过不同方式获取资料,并进行分析、讨论。

(5)各小组根据调查、分析和讨论的情况撰写总结。

(6)各小组互相评价,教师给出点评和总结。

## 3. 实训考核

对学生进行考核,根据考核结果进行综合评定,并填写表 1-4。

表 1-4 项目 1 实训综合评定

姓 名	学 号	所在小组				
学习任务						
评价内容	分 值	自 评	小组评价	教师评价	得 分	
能严格遵守各项规章制度,具备安全意识	5					
能很好地完成任务,能与本组同学合作交流、协同工作	5					
学习态度端正、认真、主动	5					
能熟练运用所掌握的知识完成相应的任务	15					
掌握通信系统的组成和分类	35					
掌握通信系统的通信方式和主要性能指标	35					
合计	100	实训综合得分:				