

邮电高等
学校教材

数据通信原理

乐光新 刘 符 唐亚君 编

人民邮电出版社

内 容 提 要

《数据通信原理》是根据邮电高校教材《电信技术》审编委员会推荐的高等院校通信专业的专业课教材。

本书首先介绍了数据通信系统的构成、工作方式，然后讨论了数据通信的信道，并对基带数据传输从理论上作了较为深入详细的叙述，接着对数据信号的调制、在衰落信道中数据的传输、数字数据的传输、差错控制等进行了论述，对数据通信网的接口与规程，本书专列一章引荐给读者，最后又描述了数据通信网的情况。

本书根据我国数据通信的现状，既有数据通信的基本原理、数据传输（调制解调），又介绍了建立数据通信网的接口、规程、协议等，力求使读者读完本书能对数据通信的全貌有一个较完整的了解。

邮电高等学校教材

数 据 通 信 原 理

乐光新 刘符 唐亚君编
责任编辑 赵新五

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
河北省邮电印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 1988年11月 第 一 版
印张：18¹/₂ 页数：294 1988年11月 河北第1次印刷
字数：486 千字 印数：1—3 000 册

ISBN7-115-03750-7/TN·156

定价：4.15元

前 言

随着电子计算机，特别是微型计算机的普遍使用，越来越多的用户需要传输、交换数据，共享资源，更充分地发挥计算机的潜力和功能。同时，随着生产自动化水平的提高以及军事、国民经济、管理部门采集、传输和处理数据及至办公室自动化的需要都越来越迫切地要求提供数据通信的服务。因此，现代通信的一个重要发展方向是建立统一的、高度灵活的数据通信网。在这个网中需要提供各种规格和层次的传输、交换和终端服务手段。当然，随着电子技术，主要是集成电子学的进步，其它的通信方式也正在向数字化、自动化和智能化方向发展。从长远来看，建立更广义的综合业务数字通信网将是通信发展的主要目标。

数据通信虽然发展很快，但迄今对它的业务范围并没有明确的定义。因而，作为一门学科来研究，也没有严格的范围限制，常常根据研究者的着眼点不同，或侧重于数据信号的传输技术，或侧重于数据网的规划设计，或侧重于系统中各部分的配合和接口……。作为一本教科书，受限于教学计划规定的学时以及先修课程的安排，我们只着重选取了数据传输和数据网构成两方面的内容来介绍。而且，即使这两方面的内容也是很很不全面的，只是根据我们这些年来的教学实践、科学研究和对实际应用单位的了解，选取了最基本的内容来介绍给读者，每一部分都还有十分丰富的材料没有选入。我们的期望是：读者通过本书的学习可以初步了解数据通信所需要的主要理论基础、技术和方法，然后以此为起点，必要时可以从其它的专门文献中找到自己需要的更深入的知识。

本书是在北京邮电学院数字通信教研室历次编写和使用的教材基础上编写的，大部分章节的内容根据当前的发展状况重新进行了编写。其中：第一章至第三章由唐亚君执笔；第四章、第五章和第

七章由乐光新执笔；第六章、第八章及第九章由刘符执笔，全书由乐光新校订。编著者水平有限，书中的缺点和错误在所难免，我们诚恳地欢迎读者批评指正。

编 者

1986年6月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 数据通信的由来和发展.....	(1)
第二节 数据通信系统的构成和基本工作方式.....	(3)
一、模拟通信、数字通信与数据通信.....	(3)
二、数据通信系统的基本构成.....	(5)
三、数据通信的基本工作方式.....	(7)
第三节 数据信号的基本形式.....	(8)
一、二元数据信号.....	(8)
二、数据通信中的符号速率和信息速率.....	(8)
三、多进制数字信号.....	(9)
第四节 数据通信系统的基本质量指标.....	(10)
第二章 数据通信的信道	(13)
第一节 信道概述.....	(13)
第二节 现代通信网的基本结构.....	(15)
第三节 信通复用的基本方式.....	(18)
一、频分制信道的传输特点.....	(19)
二、时分制信道的传输特点.....	(20)
三、时分数字信道.....	(22)
第四节 数据传输所要求的信道标准.....	(23)
第五节 信道容量的概念.....	(27)
第三章 基带数据传输	(32)
第一节 基带传输波形的形成.....	(33)
一、理想低通滤波器的波形形成.....	(34)
二、具有滚降幅度特性的低通滤波器.....	(39)
三、余弦滤波器的波形形成.....	(49)

四、矩形脉冲的输入和网孔均衡·····	(56)
五、眼图·····	(59)
第二节 部分响应系统·····	(62)
一、改进的双极制系统·····	(63)
二、部分响应技术·····	(66)
三、各类部分响应系统的性能比较·····	(72)
第三节 基带传输的最佳化和性能·····	(74)
一、发送和接收滤波器传递函数的最佳分配·····	(76)
二、误码率与信噪比的关系·····	(80)
三、符号间干扰对传输可靠性的影响·····	(84)
第四节 数据传输系统中的时域均衡·····	(95)
一、时域均衡器的基本概念·····	(96)
二、使峰值失真最小化的调节算法·····	(102)
三、使均方失真最小化的调节算法·····	(111)
四、横截均衡器的自适应调节算法·····	(114)
五、判决反馈均衡器·····	(119)
第五节 数据序列的扰乱和解扰·····	(129)
一、最长线性移位寄存器序列— M 序列·····	(130)
二、自同步的基本扰乱器和解扰器·····	(132)
三、监视器·····	(134)
第六节 传输系统的时钟同步·····	(135)
一、位定时信息的传输、提取和形成·····	(136)
二、用插入法传输和提取位定时信息·····	(145)
第四章 数据信号的调制和解调·····	(148)
第一节 线性调制及高速调制解调器·····	(149)
一、线性调制信号·····	(149)
二、线性调制信号的解调·····	(160)
三、单边带调制系统·····	(167)
第二节 数字调相和中速调制解调器·····	(174)

一、数字调相信号·····	(175)
二、数字调相信号的解调·····	(184)
三、多相制数字调相系统·····	(191)
第三节 数字调频及低速调制解调器·····	(203)
一、数字调频信号·····	(204)
二、数字调频信号的解调·····	(210)
三、数字调频系统·····	(215)
第四节 二线制全双工传输系统·····	(216)
一、电话信道中的回波·····	(217)
二、数据传输中的回波消除器·····	(221)
第五节 接收载波的提取和形成·····	(227)
一、直接从已调接收信号中提取接收载波·····	(227)
二、利用插入导频提取接收载波·····	(231)
第五章 衰落信道中的数据传输·····	(235)
第一节 衰落信道的特征和表示·····	(236)
一、短波的电离层反射传播·····	(236)
二、对流层散射传播·····	(239)
三、衰落信道的表示和基本特征·····	(242)
第二节 分集接收·····	(249)
一、衰落信道的统计特性·····	(250)
二、衰落信号的分集接收·····	(253)
三、数据信号通过衰落信道的传输性能·····	(262)
第三节 衰落信道中的多路并发传输·····	(272)
一、正交分路原理·····	(273)
二、动态分路系统·····	(280)
第四节 频谱扩展技术在衰落信道传输中的应用·····	(292)
一、频率编码技术·····	(293)
二、多径分离合并技术·····	(298)
第六章 数字数据传输·····	(307)

第一节	数字数据传输的意义	(307)
第二节	数字数据传输的基本原理	(308)
一、	同步方式	(308)
二、	异步方式	(308)
第三节	数字数据传输系统	(315)
一、	数字数据传输系统的基本结构	(315)
二、	数字数据传输系统	(317)
第四节	数字数据传输方式的基本技术	(323)
一、	网同步方式	(323)
二、	同步多路化方式	(328)
三、	用户线传输方式	(338)
第七章	差错控制	(343)
第一节	抗干扰编码的基本概念	(344)
第二节	简单的抗干扰编码	(349)
一、	汉明码	(349)
二、	恒比码	(352)
三、	正反码	(354)
四、	行列监督码	(356)
第三节	差错控制的基本工作方式	(358)
第四节	用循环码控制传输差错	(363)
一、	线性码的基本概念	(363)
二、	循环码原理	(368)
三、	BCH循环码的概念	(376)
第五节	用卷积码控制传输差错	(379)
一、	卷积码的基本概念	(380)
二、	自正交卷积码	(387)
三、	卷积码的门限译码	(395)
第八章	数据通信的接口与规程	(406)
第一节	开放系统互连 (OSI七层结构)	(406)

一、协议的分层结构体系·····	(406)
二、国际标准化组织ISO参考模型 (OSI) ·····	(410)
第二节 终端接口·····	(417)
一、终端接口的意义·····	(417)
二、终端接口的构成·····	(418)
三、各种数据通信线路业务的终端接口·····	(423)
四、接口的国际标准·····	(428)
第三节 传输控制规程·····	(451)
一、传输控制的基本概念·····	(451)
二、传输控制规程的种类·····	(452)
三、基本型规程·····	(453)
四、高级数据链路控制规程 (HDLC) ·····	(472)
第九章 数据通信网·····	(498)
第一节 概述·····	(498)
一、计算机中心子系统·····	(498)
二、终端子系统·····	(503)
三、通信子系统·····	(505)
四、数据通信网的演变·····	(508)
第二节 专线网数据传输·····	(513)
一、直通专线方式·····	(513)
二、分支专线方式·····	(514)
三、多路复用方式·····	(515)
四、集中方式·····	(517)
五、混合方式·····	(517)
第三节 用户电报网的数据通信·····	(518)
一、用户终端种类·····	(518)
二、用户终端进网方式·····	(519)
三、用户电报网的发展·····	(522)
第四节 普通交换电话网数据通信·····	(522)

一、普通交换电话网的综合利用·····	(522)
二、利用普通交换电话网进行数据通信的系统构成	(524)
第五节 公用数据网·····	(527)
一、公用数据网的产生·····	(527)
二、公用数据网的交换方式·····	(529)
三、电路交换网·····	(531)
四、分组交换网·····	(543)
第六节 局部计算机网·····	(560)
一、局部网的产生·····	(560)
二、局部网的定义·····	(562)
三、局部网的工作原理·····	(563)
第七节 综合业务数字网 (ISDN) 中的数据通信 ···	(573)
一、数据通信网和ISDN的关系 ·····	(573)
二、数据终端接入ISDN的连接形式 ·····	(574)

第一章 绪 论

第一节 数据通信的由来和发展

虽说数字通信是近代一种新的通信方式，然而，在古代就已经出现了原始数字通信，例如“举烽火为号”就是数字通信的一种形式。从近代通信的角度看，“烽火”就是一种二进制信号。有火可称为“1”状态，表示敌人入侵，需求援助；无火可称为“0”状态，表示平安无事。传递的消息内容虽简单，但达到传递消息的目的。又如，“旗语”通信，但它不是二进制而是多进制；不是发送两个数字，而是发任意有限个离散数字，这样，传递消息的内容就比“烽火”复杂多了。

当人类有了文字后，就逐渐有了书信，到近代又出现了电报、电话等，其消息的形式也从文字扩展到语言，于是在发信者与收信者之间构成了双向通信。而且在传递速度上也出现了飞跃。伴随社会历史的发展，日常为社会服务的通信形式不断完善，如广播、传真、电报和电视等都是现代通信。广播的出现，消息的内容从语言扩展到音乐，传真电报实现了画面的远距离迅速传递，电视则使传递的消息从静止画面发展到活动画面。总之，现代通信的形式多种多样，举不胜举。

当今的社会是电子计算机广泛应用的年代，由此，使现代通信具有新的特点是：第一，发信者和受信者之间不仅局限于人与人之间的通信，还可以是人与机器或设备间，也可以是机器与机器之间消息传递的体现；第二，在通信系统中所传递的数字信息越来越多，在数量上几乎按指数律随时间增加，甚至电话、传真电报、电

视等都可先转换为数字形式来传输，在接收端再恢复原貌。数据通信作为一门学科就要解决这种数字信息的传输、交换、分配、集中及兼容的问题。电子计算机的广泛应用促进了数字通信，主要是数据通信技术的迅速发展。工矿企业的生产需要用电子计算机来控制生产数量和质量；安排和计算加工程序、生产计划；统计生产数量和质量等。这些数据在终端机与计算机之间、计算机与计算机之间、计算机与控制中心之间、基层单位与管理中心之间传输和交换，这就是数据通信。又如天气数据在全国和世界范围内的迅速传输和交换，经计算中心综合、分析计算后作出气象预报，这就要求建立稳定可靠的数据通信网。再如：国家计划部门对于各省（区）、各地方、各生产部门的生产情况的收集；计划的指标的下达，依靠传统的报表与电报已不能适应生产的迅速发展了，只能利用电子计算机通过数据通信采集、加工、处理数据；地面对人造地球卫星、飞船或其他飞行体的轨道观测数据和这些飞行体发回地面的数据都需要送到计算中心进行加工、整理和利用因而也都离不开数据通信。总之，在使用计算机的地方几乎都离不开数据通信，因而数据通信技术及数据通信业务也就伴随电子计算机的日益广泛使用而迅速得到发展。总之，数据通信概括地说就是：电子计算机与通信系统相结合的一种通信方式，它的功用是把快速传输数据的通信技术和数据处理、加工及存储技术相结合，从而给用户提供及时、准确的数据。利用数据通信就可以把电子计算机为中心的中央设备和分配在各处的终端机，利用通信系统直接连接起来，把数据的传输和处理当成为一个整体来进行。有的国家称它为继电话、电报之后的第三种通信。由此，数据通信明显地扩大了人类社会中广泛而又大量的信息交换和信息处理功能。今天由于通信进一步向更高水平发展，并与电子计算机相结合，人类正进入第五次信息革命的新阶段。

数据通信在历史上出现较晚，因此，它的另一个主要特点是：要充分利用现已四通八达的通信网。现有通信网主要是为电话通信服务的，它的传输和交换体系都是针对电话信号的特点设计建设

的。因此，如何利用现有通信网来传输数据信号，并使之满足自身的特殊要求，就成为当今数据通信技术需要解决的首要问题。因此，同其他通信方式一样，数据通信需要解决的主要矛盾仍然是：在一定的物理条件下，一定的时间内，总是希望通信系统传递的消息愈多愈好。但是，在实际通信系统中都存在一些因素，妨碍传输速率的提高，我们在本书中将讨论如何提高通信效率也就是最大限度地利用信道能力的方法。再者，由于在实际通信系统中，各部件的特性不理想，以及不可避免的存在噪声，都会使传输失误，导致接收消息的错误，因此，我们将在本书中研究如何提高传输的可靠性问题。当然，提高通信效率和提高通信的可靠性之间存在着矛盾。这个矛盾只能根据实际可能求得相对的统一，就是说在满足一定的可靠性的基础上尽量提高通信效率。对于不同目的的通信，可靠性的要求是不一样的。在数据通信中，传输效率虽然也是重要的，但同其它通信方式相比，也许更要强调它的可靠性。因为它的通信对象是机器（计算机、终端机、控制对象等），机器只能按指令工作，错误的指令一定会出现错误的动作，这显然是数据通信的用户不能接受的。

第二节 数据通信系统的构成和基本工作方式

一、模拟通信、数字通信与数据通信

通信所传输的消息是多种多样的，它可以是符号、文字、语声、图象等等。然而，不同形式的消息，可以用相同的信号形式来传递。传输信号可分为两个类：一类是模拟信号，即可以表达为时间连续函数的波形，模拟的含义是指用电参量（如电压、电流）的变化来模拟信源发出的信号。如电话信号就是语声波形的电模拟，它是利用送话器把语声声波压力的变化变成电压（或电流）的变

化。以模拟信号来传送消息的通信方式叫做模拟通信。另一类是数字信号，其特征是在时间上和幅度上的取值都是离散型的，习惯上把离散信号的幅度只在两种有限状态中取值时称为数字通信。如图 1.1 所表示的二进制数字信号，就是以“1”和“0”两种状态的不同组合来表示不同的信息。又如在电报通信中，常用五位“1”和“0”的组合来表示一个阿拉伯数字或一个字母，而计算机之间传送的数据、指令等等都是这种形式的信号。当然，在传输过程中两种形式的信号可以互相变换，例如可以通过取样、量化的处理把模拟信号变换为离散信号进行传输。目前对于数字通信的内容和范围尚无明确的意义，习惯上的区分方法是：将模拟消息经数字化处理后，用数字信号的形式来传送的通信方式叫做数字通信；而把信源本身发出的就是数字形式的消息（电报、数据、指令等），不管用何种形式的信号来传输这类消息的通信方式都叫做数据通信。

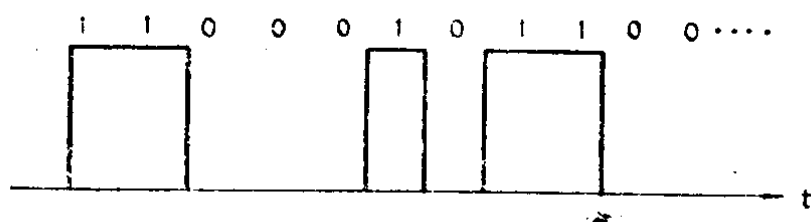


图 1.1 数字信号

不论数字通信或数据通信，要让离散信号在现有通信网中传输，它们所需处理的问题是类似的，这种处理过程都可概括为图 1.2 所示的系统模型，其中各个环节的意义是：

信源：就是消息的来源。信息的直接来源可以是人，也可以是机器设备。信源发出消息的形式可以是连续的，也可以是离散的。

信源编码器：它是一种变换器，其作用是把信源发出的消息 m 转换为下一环节所需的信息序列 I 。如果消息 m 是模拟信号则信源编码器将其进行取样、量化和编码（即进行数字处理）转换为数字信号，这些可统称为模数变换（又称 A/D 变换）；如若信息源所给出的消息是数据序列，并且这个序列适合下一环节的要求，那么，可以省去信源编码器。另外也可将信源编码器用来提高数字信号传

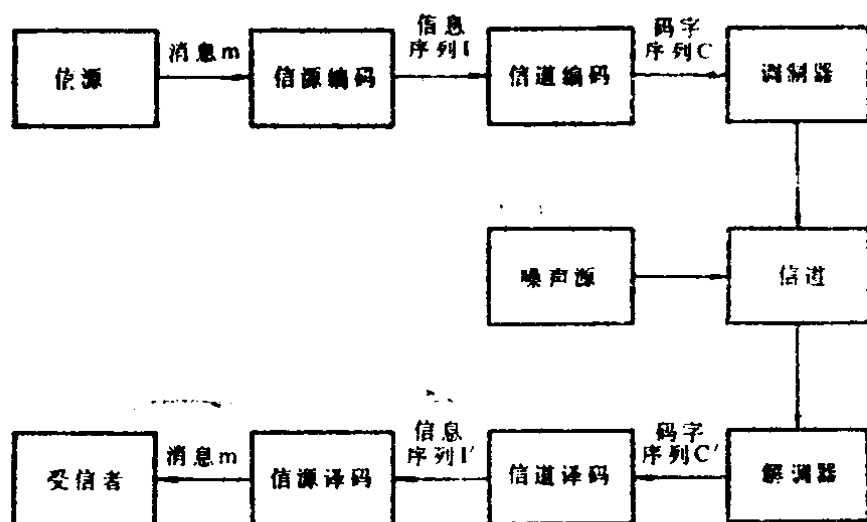


图 1.2 数字通信系统模型

输的有效性，总之，不同目的的信源编码器在设备的繁简和技术指标上可有很大差别。但是，从数字通信系统对它的要求说，只有两点：1. 每一单位时间内所需的数字位数尽量地少；2. 从信息序列 I 逆变换为消息 m 是可能的。

信道编码器：又称纠错编码或称抗干扰编码。其作用是将信源编码器输出的数字信号（码序列）人为地按一定规则加入多余码元，以便在接收端发现错码或纠正错码，以提高通信的可靠性。纠错译码器的作用是发现或纠正传输过程中引入的差错，解除纠错编码所加入的多余码元。信道编码器视需要而用，并不是所有数字通信系统都具有。

调制器：将信道编码器输出的数字信号变换为适合于信道传输的信号波形。

解调器：将接收到的波形转换成数字码序列。

信源译码器：是把数字信号还原为模拟信号，所以又称数模变换（ D/A ）。

受信者：即接收发端信息的对象，它可以是人，也可是机器或设备，如电传机、计算机等。

二、数据通信系统的基本构成

数据通信系统的具体组成可以各异，但基本功能可以概括如图

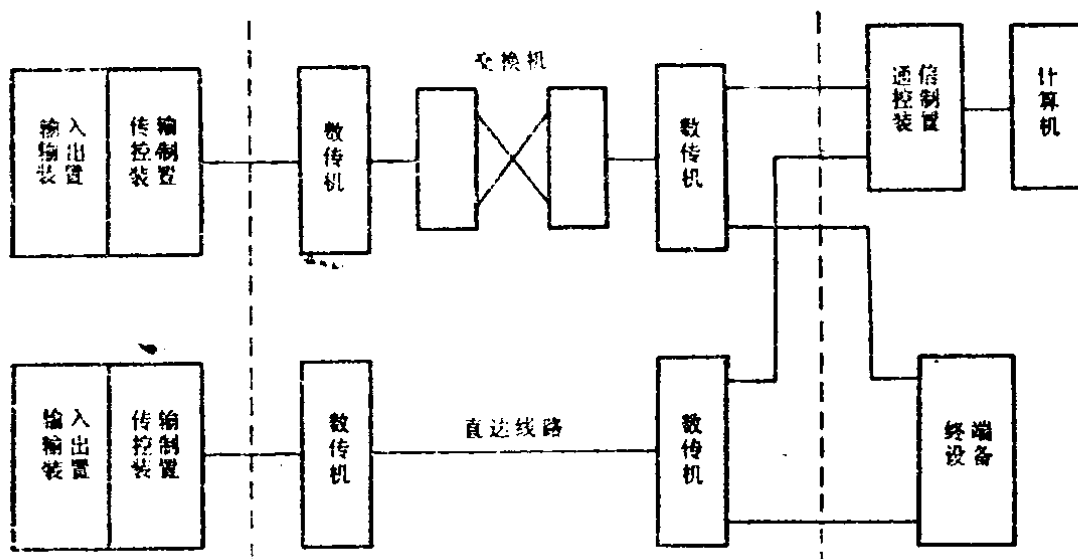


图 1.3 数据通信系统的基本构成

1.3所示。数据终端设备在整个通信系统中的作用，是将发送数据变换为二进制信号输出，或把收到的二进制信号转换为数据送给用户。终端设备把键盘信号、凿孔纸条、穿孔卡片、磁带等采集的数据自动变为“0”和“1”的二进制信号输出，称之为数据的发送设备。同理也可以接收“0”和“1”的二进制信号使之变换为文字或数字被打印或显示给用户，或记录在凿孔纸条、卡片或磁带等设备中，以使用户查阅。这部分称之为数据终端的接收设备。目前，常用的数据终端设备有：凿孔纸带和卡片阅读器、印字机、穿孔机、磁带机以及光笔读出机等等。

数据传输设备（简称数传机）其作用是把二进制的“0”和“1”信号变换为适宜于频分制电话线路传输的模拟信号，接收端再将加入干扰的模拟信号解调为“0”和“1”的二进制信号输出。这种传输系统的基本功能是调制解调，所以也称为调制解调器。当然，如果传输信道是时分的，那么传输设备的作用，就不再是调制和解调，而是在格式和时间上变换数据使之适应信道要求。

数据交换设备是为了提高线路利用率和沟通各个用户而设置的。由于通信系统中的某些用户不可能24小时都通信，因此，利用交换设备也可以提高线路利用率而且使多个用户之间互相通信。

另外，终端装置设备中的传输控制器是为使用户终端机与中央部分的计算机之间进行自动联系而设置的，例如进行自动呼叫、自动接通、暂停通信、拆线等。

以上简述了数据通信系统的主要功能。由此，进一步看出它的任务是在一定的可靠性要求下实现计算机处理速度与通信线路传输速度之间的匹配，而且系统的发端和收端都是数据。以上所述各部分的详细工作原理和过程，将在后面各章分别介绍。

三、数据通信的基本工作方式

数据通信的基本工作方式是指它的通信构成方式。通常可以分为单工通信，如图1.3所示，在这种工作方式中信息只能从甲传到乙，不能从乙传到甲；传输是单方向进行的。所谓全双工的工作方式是指甲，乙两地都能够同时双向传输消息，如图1.4所示。显然，全双工工作一定要具有双向信道。现在的通信系统，特别是数据通信系统中，除了信息的主要传输途径之外，尚有反方向的用来传输指令或供业务联系用的信道，人们常把后者称为反向信道或称为辅助信道。要指出的是：由甲向乙的主要信道与乙向甲的辅助信道在终端机中配成一组，可简称为甲向乙的传输；由乙至甲方向的传输与此类似。在现行的通信系统中，常将信道所提供的频带在高端或低端划出一个窄带，作为辅助信道。此外，还可以组成所谓半双工

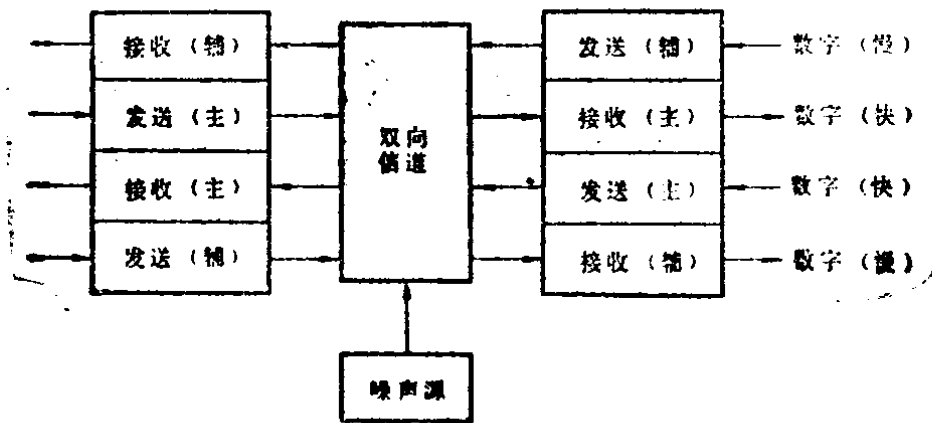


图 1.4 全双工数据传输系统