

高等学校教材

铁道信号遥控技术基础

北方交通大学 陈玉年 主编

北方交通大学 聂涛 主审

中国铁道出版社

1995年·北京

前 言

为了更好地适应铁路运输指挥自动化、现代化和培养人才的需要,反映计算机技术和数据传输技术日益普及,贯彻教材更好地适应“三个面向”的精神,本书是按教学计划规定的开设课程及学时的安排,在近十年来教学实践的基础上,对试用教材《铁道信号自动控制基础》的第三篇运动技术部分进行了修编,并改名为《铁道信号遥控技术基础》。

本书从交通信号与控制工程专业的需要及从打好专业的技术基础出发,在内容编排上,考虑到遥控技术的现状和今后的发展,这次修编中增加的内容为:计算机通信网、光纤信道、卷积码、数据通信的接口与规程,并对随机二进制脉冲序列改用功率频谱分析法。而另一方面又精减了一些内容,如多电平传输、线性调制中单边带与残留边带的分析、概率的基本公式、匹配滤波器的原理、近世代数的基础知识,以及同步原理中有关部分。在叙述方法上为了深入浅出,概念明确,前后编排与叙述也作了适当的变动。

本教材按 54 学时编用,各校可以根据自己的专业课程结构,进行侧重与取舍。

本书由北方交通大学陈五年担任主编,聂涛主审。具体编写分工是:第一、三、四、六章由陈五年编写,第二章由兰州铁道学院邓志杰编写,第五章由上海铁道学院郎宗棣编写。参加审稿的还有兰州铁道学院姚琨岚,上海铁道学院秦钟芳,北方交通大学蒋大明,以上同志对本书作了仔细审阅并提出了许多宝贵意见,对此我们表示衷心的感谢。

编 者

1993 年 8 月

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书全面地阐述铁道信号遥控技术的基本理论。全书共分六章:第一章,铁路运输中遥控技术与数据传输的基本概念;第二章,数字调制与解调;第三章,信道干扰与差错概率;第四章,同步原理;第五章,差错控制与纠错编码;第六章,数据通信的接口与规程。

本书为交通信号与控制工程专业的教材,也可供从事铁道信号工作的科技人员学习参考。

高等学校教材

铁道信号遥控技术基础

北方交通大学 陈玉年 主编

*

中国铁道出版社出版发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 倪嘉寒 封面设计 翟 达

中国铁道出版社印刷厂印

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:13 字数:311 千

1995 年 6 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—3000 册

ISBN7-113-01954-4/U·571 定价:7.80 元

目 录

第一章 概 论	1
§ 1.1 铁路运输的遥控技术	1
§ 1.2 数据传输系统的组成及其主要指标	3
§ 1.2.1 数据传输系统的组成	3
§ 1.2.2 数据传输系统的主要指标	4
§ 1.2.3 计算机通信网的特点与分类	6
§ 1.3 数字信号的波形与频谱	9
§ 1.4 数字信号的功率谱密度	18
§ 1.5 信道特性与码间干扰	23
§ 1.6 基带码型变换	28
习 题	33
第二章 数字调制与解调	35
§ 2.1 概 述	35
§ 2.2 数字幅度调制	36
§ 2.2.1 2ASK 信号的产生方法	36
§ 2.2.2 2ASK 信号的功率谱和带宽	37
§ 2.2.3 2ASK 信号的解调	38
§ 2.3 数字频率调制	39
§ 2.3.1 2FSK 信号的产生方法	40
§ 2.3.2 2FSK 信号的功率谱和带宽	41
§ 2.3.3 2FSK 信号的解调方法	43
§ 2.4 数字相位调制	49
§ 2.4.1 2PSK 信号的产生方法	49
§ 2.4.2 2PSK 信号的功率谱和带宽	50
§ 2.4.3 2PSK 信号的相干解调与载波提取	50
§ 2.4.4 2DPSK 信号的产生方法	52
§ 2.4.5 2DPSK 信号的解调	52
§ 2.5 改进型数字调制	54
§ 2.5.1 多进制数字相位调制(MPSK)	55
§ 2.5.2 最小频移键控(MSK)	57
§ 2.5.3 幅相键控(APK)	62
习 题	63
第三章 信道干扰与差错概率	65
§ 3.1 信 道	65
§ 3.1.1 信道类型	65
§ 3.1.2 信道容量	66

§ 3.1.3 光纤信道	69
§ 3.2 多路复用技术	72
§ 3.2.1 频分制信道	72
§ 3.2.2 时分制信道	73
§ 3.3 数据传输的信道标准和信道干扰	75
§ 3.3.1 数据传输的信道标准	76
§ 3.3.2 信道干扰	77
§ 3.4 随机噪声的分析	77
§ 3.4.1 概率分布和概率密度	78
§ 3.4.2 差错概率	85
§ 3.4.3 功率频谱及相关函数	87
§ 3.5 差错概率	89
§ 3.5.1 最佳基带传输系统的误码率	89
§ 3.5.2 相关检测及其误码率	92
习 题	100
第四章 同步原理	101
§ 4.1 同步的基本概念	101
§ 4.2 锁相环的基本工作原理	101
§ 4.2.1 模拟锁相环	102
§ 4.2.2 数字锁相环	105
§ 4.3 载波同步	108
§ 4.3.1 直接提取法	108
§ 4.3.2 插入导频法	110
§ 4.4 位 同 步	113
§ 4.4.1 插 入 法	113
§ 4.4.2 直 接 法	114
§ 4.4.3 位同步相位误差对系统性能的影响	114
§ 4.5 群同步(帧同步)	115
习 题	119
第五章 差错控制	120
§ 5.1 错误图样及信道模型	120
§ 5.1.1 差错类型和错误图样	120
§ 5.1.2 二进制对称信道(BSC)和二进制删除信道(BEC)	121
§ 5.2 差错控制方式的分类	122
§ 5.3 常用检错码	123
§ 5.4 抗干扰编码的基本概念	124
§ 5.5 线性分组码	126
§ 5.5.1 基本概念	126
§ 5.5.2 伴 随 式	128

§ 5.5.3 汉明码	129
§ 5.5.4 最小距离与纠错能力	130
§ 5.6 循环码	130
§ 5.6.1 基本概念	131
§ 5.6.2 BCH 码	136
§ 5.6.3 循环码的译码	138
§ 5.7 卷积码	141
§ 5.7.1 基本概念	141
§ 5.7.2 卷积码的描述	141
§ 5.7.3 扩散卷积码	145
习 题	147
第六章 数据通信的接口与规程	148
§ 6.1 接口的提出及其标准	148
§ 6.2 V 系列接口	150
§ 6.2.1 接口界面	150
§ 6.2.2 电气特性	151
§ 6.2.3 功能特性	154
§ 6.2.4 操作特性	159
§ 6.2.5 机械特性	160
§ 6.3 X 系列接口	162
§ 6.3.1 电气特性	162
§ 6.3.2 功能特性	162
§ 6.3.3 操作特性	163
§ 6.3.4 机械特性	164
§ 6.4 接口的物理连接	164
§ 6.5 数据传输控制规程	165
§ 6.6 基本型规程	167
§ 6.7 高级数据链路控制规程(HDLC)	179
§ 6.8 性能比较分析	193
习 题	198
参考文献	198

第一章 概 论

§ 1.1 铁路运输的遥控技术

随着人类社会的进步和科学技术的发展,对控制系统的要求愈来愈高、控制的范围愈来愈大、控制的距离愈来愈远,因此,从本世纪 30 年代开始,远程控制技术(简称遥控技术)已成为一门独立的学科,特别是近三十年来得到了广泛发展,在国民经济的各个部门中得到大量应用。铁路运输部门是最早应用遥控技术的部门之一,其它如电力、石油、采煤、冶金、军工、宇航等各个领域都有所应用。

遥控技术包括遥控、遥测、遥信与遥调四部分内容,而就其功能来说,遥控和遥调都是控制端(也称调度端)按其预定的意图对被控目标的内部参数、工作状态进行远距离的操作和控制。所以,从工作原理上说遥调可以归入遥控范围。遥信和遥测都是由被控对象向控制端提供它的内部参数及其对命令的执行情况,所以,我们只要了解了遥控和遥信,则遥调和遥测也就解决了。譬如大型电力系统是由许多水电站、发电厂、变电站及输电线等组成的,这个庞大联合系统可能很分散,为了合理分配电力,保证系统连续并可靠运行,常常要求有一个中心控制调度室,采用遥控遥测技术,进行及时测量和控制使各部分协调地工作。在铁路运输中为了对每次列车的运行情况及时了解,便于统一指挥,这样就需要对列车运行的整个区段内线路的状态、各车站上信号机的显示和道岔的位置,以及其它列车占用线路等事项,能及时准确地反映到该调度区段的调度所里,调度员根据收到的有关信息及现场情况,分析判断,进行行车调度工作,有效地提高所管辖区段的通过能力,这种控制方式称为调度集中。早在 1927 年美国就开始使用,效果很好,显然,这属于遥控技术范畴。目前在铁道信号的遥控技术中仅用遥控、遥信设备,因此,在这里只介绍遥控和遥信系统。

遥控系统就是对被控对象的远距离控制,使被控对象按所传递的命令去完成特定的功能。遥控系统的组成如图 1—1 所示,它由控制端设备、信道和执行端设备三部分组成。



图 1—1 遥控系统的方框图

控制端设备的任务是把控制命令(信息)转变成便于传输的一种电量(电码),这种转换任务由编码环节完成,因此,它包括形成控制命令的信息源和编码。

执行端设备的任务与控制端相反,它是把接收的电码变成原控制命令,使其动作被控对象,这种相反变换称为译码。

信道是远距离传输信息的通道。

遥信系统是反映被控对象的状态,使控制者了解被控对象的工作状态,因此它的信息源是

在执行端,而接收信息的地点是在控制端,信息的传输方向与遥控系统相反,是由执行端到控制端。

通信系统的组成如图 1—2 所示,在执行端把被控对象的状态变换成电码形式,经过信道传送到控制端。电码在控制端经译码后作用到表示设备。

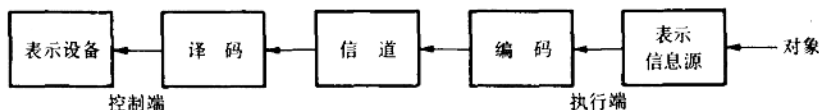


图 1—2 通信系统的方框图

由此看来,遥控通信系统同属于信息传输系统。从原理上说,它们在发信变换、传输媒介、外界干扰(图中未画出)、收信变换等方面是相同的,当然由于对象不同,二者在技术和特点方面也有所差异。

通常我们所说的遥控通信系统是指以电信号的形式传输信息的。当传输媒介是电线、电缆与光缆时,称为有线遥控通信系统;当利用射频无线电波在空间的传播来传输信息时,称为无线遥控通信系统。在铁道信号的遥控通信系统是以电缆、架空线作为主信道,载波话路作为辅助信道。但在列车间的传输信息,则用无线信道,例如铁路运输的无线列调。

其次,信息技术在铁路运输中的作用,早在 60 年代已崭露头角。1964 年日本修建的东海道新干线,在列车运行速度控制、行车调度集中以及运营管理系统中都广泛地采用晶体管为主体的电子技术。当今世界各国铁路尽管运输管理方式所有不同,但采用信息新技术来提高行车速度和行车密度,保证行车安全和改善行车调度工作是一致的。特别是 80 年代以来,微电子技术、通信技术和计算机技术有了新的发展,微型计算机日益普及,因此,将计算机、通信和控制(简称 3C 技术)合为一体,使铁路运输生产的分散性、连续性和运输管理的集中性、实时性紧密结合起来,依靠指挥行车控制信息和有关行车表示信息的正确完整、及时传送,建立运输生产部门的统一调度与指挥的遥控通信系统,充分发挥铁路信号设备,保证运输安全,提高运输能力,是世界各国铁路现代化的共同趋势。

我们知道计算机使用的信号是二进制数字信号,这种信号便于处理、存储和交换,也是人与机器或机器与机器之间的通信信号,随着微型计算机的广泛应用,数字通信必将更迅速地发展。

在数字通信系统中,传输的是有限个离散取值的信号(如二进制数字信号是“1”和“0”)。因此,要求数字接收机能在存在各种干扰的条件下,正确判决(或检测)出发送端发送的是哪一个离散值。这时,当接收机所收到的波形有些失真,只要它还不足以影响接收机的正确判决,就没有什么关系。有关数字通信系统的质量要求将在下一节中介绍。

此外,由于数字通信系统的传送是一系列数字信号,因此它具有:信号形式简单、便于采用抗干扰编码与实现加密,以及设备便于生产和集成化等优点。所以,象传统用模拟信号传送的电话、电视、雷达等等现在都向数字化方向发展,以数字信号形式进行传输。例如近年来彩色电视编码,已得到各方面的重视。而数字通信更重要的用途是和电子计算机,数据处理设备结合起来,构成自动化集中数据处理系统,从而能更广泛地实现国民经济各部门的综合控制,铁路信号实现集中化遥控化,需要传输的数据量大为增加,对传输速度和可靠性要求也较高,这样就促使信号控制系统与数据传输系统结合起来。

还应指出,数据传输技术迅速发展的一个重要条件是大规模集成电路微电子学技术的运用,使设备小型化且具有更高可靠性。

综上所述,现代的自动控制系统是控制论和信息论并行发展的综合产物,因此,在行车指挥自动化系统中,信息传输以及信道问题不能不占一个十分突出的地位。

§ 1.2 数据传输系统的组成及其主要指标

§ 1.2.1 数据传输系统的组成

数据传输的目的就是为了传送数字信息(单向或双向),因此,一个数据传输系统的组成可概括如图 1—3 所示。

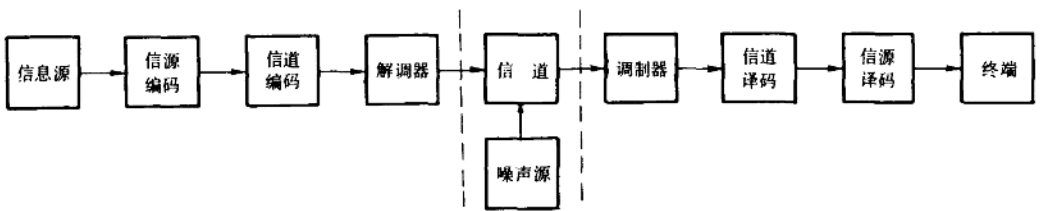


图 1—3 数据传输系统的组成

信息源简称信源。因为在数据传输系统的发送端,发信者可能是人,也可能是机器或设备,所发送的消息形式不同,为了便于分析起见,通常把它概括为信源。

信源编码器是把信源送出的消息(信号)变换为数字的编码信号。如果信源送出的是模拟信号,则信源编码器对模拟信号进行抽样、量化和编码。通常,把量化器和编码器合称为模/数(A/D)转换器。这样,模拟信号经模/数转换器转换成数字的编码信号,但有些情况信源发出的就是数字信号,这时可以省去信源编码器(例如消息是计算机或其它设备所输出的二进制序列,并且下一环节所要求的输入也是二进制序列)。信源编码器还有另一种作用,就是提高数字信号的有效性,解除信号之间的内在联系,以压缩传输原始消息所需的数据速率。

信道编码器又称抗干扰编码器。它是把信源编码器输出的数字信号(码序列)人为地按一定的规则加入多余码元,以便在接收端发现错误或纠正错误,降低差错概率,提高正确识别信号的能力,从而提高通信的可靠性。

调制器是把信道编码器输出的数字信号变为适合于信道传输的信号。例如用数字信号对一载波振荡进行调制,利用载波振荡的幅度、频率或相位的变化而变为调幅波、调频波或调相波来传送信息。

信道是指信号在媒质中传输的通路。信道的种类也很多,但概括起来只有两种,即有线信道和无线信道。前者有架空明线、对称电缆、同轴电缆与光缆等;后者包括所有可以在自由空间传播各种信号频率的波段。

信道的传输性能好坏直接影响到数据传输的质量。实际信道中产生噪声的来源很多,又很分散,例如,各种电子器件的固有噪声、导线内也会产生噪声,此外还包括来自宇宙空间的各种噪声。在图 1—3 内把它们都集中在一起,并且加在信道上,这是表示在信号传输过程中随时随

地有可能叠加噪声的影响。实际上,信道中除了噪声以外,还有各种干扰。例如,工业干扰,电台干扰、雷电磁暴等干扰,它们有的具有脉冲性质,对它们分析是有一定的困难。但由于干扰出现的随机性和假定它们是大量出现时,可以把脉冲干扰当作随机噪声来处理,这样,并不会使分析结果带来很大误差。关于噪声的分析将在第三章内作专门讨论。

解调器的作用与调制器相反,它把接收到的波形转换成数字码序列。

信道译码器的作用与信道编码器相反,在译码过程它可以发现或纠正信号传输过程中产生的差错。

信源译码器的作用与信源编码器相反,它具有量化、译码和滤波三种功能。量化器起着再生数字序列的作用。译码器又称数/模(D/A)转换器,它输出一系列量化的双电平或多电平抽样脉冲。这些脉冲通过滤波器滤掉基带以外的频率分量,恢复成原来的模拟信号。

终端设备可以是人或机器、设备,例如显示器、计算机或磁心存储器等。

在数据传输中,同步问题是一个很重要的问题,虽然图中未有标出来,但它是不可缺少的组成部分。在数据传输系统的发送端所送出的消息或数据变换成一连串的脉冲,按一定相等间隔逐个传递的,并且在途中出现失真和混有噪声,所以到达接收端时波形就变了样,如图1-1所示。接收过程中重要的一点,就是必须按与发送端相同的等间隔来逐个接收传来的脉冲。同时,还必须使接收机确定脉冲数值的时刻,恰好位于最佳时刻进行判决。解决这两个任务的措施,称为位定时或码元同步。同步失效,就会使错误判决概率增大,或使全部接收消息无法识别,有关实现同步的方法将放在第四章里介绍。

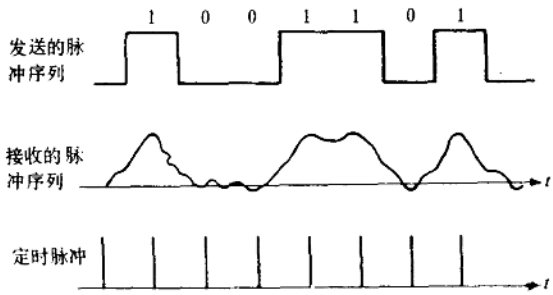


图1-1 位同步的原理

解决这两个任务的措施,称为位定时或码元同步。同步失效,就会使错误判决概率增大,或使全部接收消息无法识别,有关实现同步的方法将放在第四章里介绍。

§ 1.2.2 数据传输系统的主要指标

任何一种传输系统都有质量指标,譬如,在电力传输系统中,传输的对象是电能,要求传输时电能的损耗尽可能小,而在数据传输系统中传输的对象是消息(指令、命令等),它的主要指标是围绕传输的有效性和可靠性来制定的。这些主要质量指标为:

一、传输速率

传输速率是衡量系统传输能力的主要指标。它有以下几种不同的定义:

1. 码元传输速率 携带数据信息的信号单元叫做码元或符号。每秒钟通过信道传输的码元数称为码元传输速率,记作 r_s ,单位是(Bd)(波特),简称波特率。码元传输速率又称调制速率,它是信号传输的速率。

2. 比特传输速率 每秒钟通过信道传输的信息量称为比特(信息)传输速率,记作 r_b ,单位是(bit/s)(比特/秒),简称比特率。信息量的单位是(bit)(比特)、当信息源输出的二进符号1与0的概率相等时,一个二进符号才持有一个比特的信息量。对计算机输出的随机二进符号,通常认为每个符号具有一比特的信息量。

3. 消息传输速率 每秒钟从信息源发出的数据比特数(或字节数)称为消息传输速率,单

位是比特/秒(或字节/秒),简称消息率,记作 r_m 。

码元(符号)传输速率与比特(信息)传输速率具有不同的含义,不应混淆,但是,它们之间有确定的关系。对二进制来说,每个码元的信息含量可为一比特,因此,二进制的码元传输速率与比特传输速率在数值上是相等的。对于 M 进制来说,每一码元(符号)的信息含量为 $\log_2 M$ 比特,因此,如果码元传输速率为 r_s 波特,则相应的比特传输速率为

$$r_b = r_s \log_2 M \quad (\text{bit/s}) \quad (1-1)$$

式中 M 为大于或等于 2 的整数。

消息传输速率与比特传输速率的关系是

$$r_m = \eta r_s \quad (\text{bit/s}) \quad (1-2)$$

式中 η 是传输效率。

通常在传输数据的过程中,总要加入一些多余度,这些多余的比特携带的不是数据信息,而是为数据可靠传输服务的信息,因此,传输效率 η 总是小于 1 的。

需要传输的比特率有高有低,范围非常宽,低的每秒几比特,高的达每秒几百兆比特,甚至千兆比特。通常把 300bit/s 以下的比特率称为低速,300~2400bit/s 的比特率称为中速,2400bit/s 以上的比特率称为高速。

二、频带利用率

在比较不同数据传输系统的效率时,单看它们的比特传输速率是不够的,或者说,即使两个系统的比特速率相同,它们效率也可能不同,还要看传输这样的信息所使用的频带资源。频带利用率用“单位频带内允许的最大比特传输速率”来衡量,单位是比特/(秒·赫),记作 bit/(s·Hz)。在频带宽度相等的条件下,比特传输速率越高,频带利用率越高,反之则越低。

三、差错率

差错率是衡量传输质量的重要指标之一。

1. 码元差错率 指在传输的码元总数中发生差错的码元数所占的比例(平均值),简称误码率。当统计的码元数很大时,它与理论上的码元差错概率很接近,故用同一符号 P_e 表示。

2. 比特差错率 指在传输的比特总数中发生差错的比特数所占的比例。当统计的比特数很大时,它在理论上与比特差错概率很接近,故用同一符号 P_b 表示。当 $P_b = 10^{-4}$ 时,意味着,平均每传送 10,000 个比特,要发生一个比特的差错。在二进制传输中,码元差错率即是比特差错率,而在多进制传输中,可由码元差错率求出比特差错率。

四、可靠性

可靠性是衡量传输系统质量的一个重要指标。传输系统的可靠性常用可靠度与中断率来衡量。

1. 可靠度 指在全部工作时间内系统正常工作时间所占的百分数,记作 p_r 。

2. 中断率 指在全部工作时间内系统中断时间所占的百分数,记作 ε ,显然 $\varepsilon = 1 - p_r$ 。

传输中断的原因可能是设备发生了故障,也可能是传输媒质发生了问题。因此,应该明确区分设备可靠性与传输媒质可靠性,并把总的可靠性指标在两者之间作合理的分配。

设备可靠性决定于很多因素。它不仅与工艺基础和元器件的质量有关,与设计者的理论水平和实践经验有关,而且还与使用维修人员的技术水平,维修条件和责任心有关。因此,从设计传输系统的角度考虑,除使用先进合理的技术,选用高可靠的元器件和设备以外,还应该使设备的使用与维修尽可能简单。在设备比较复杂的系统中,设备故障检测系统是实现故障诊断的

好方法。另外,在允许的条件下,对某些关键设备,甚至整个传输系统给予备份,也是提高可靠性的有效措施。

传输媒质可靠性主要决定于传输媒质的特性。如有线信道的传输媒质有明线、对称电缆及同轴电缆。明线与电缆相比,明线的优点是传输损耗相当低,但易受暴风雨及冰雪的影响,对外界噪声干扰较敏感,因此,在市区和长途线上已多用对称电缆及同轴电缆所代替。

最后指出,传输系统各项指标的实现,往往会碰到困难或存在着矛盾,应分清主次,充分论证,不宜片面地追求高指标。

§ 1.2.3 计算机通信网的特点与分类

目前,计算机已广泛应用于国民经济各个部门里,它们是位于各地区各部门的计算机实体,这就带来了计算机之间的通信,即所谓计算机通信网。各个计算机间可根据具体情况组成不同形式的通信网,并且应做到数据、软件和计算硬件等资源的共享,以及改善整个计算机系统总的可靠性,使网内的信息及时准确地传输。当计算机相互联系时每个设备的硬件与设施是主机,计算机之间通信即是主机之间的传递信息,这种通信网具备下面的特点:

- (1)该网络能及时地接受从主机传来的意图;
- (2)该网络是高效的,即网络对需要传输的任何信息周期应该是空闲的,即能够及时传递信息;
- (3)数据到达后接收主机应具有迅速处理信息的能力;
- (4)接受传递呼叫时响应呼叫的延时为最小;
- (5)网络的建设、运用和维修等费用为最低。

下面以列车自动控制系统(ATC)为例来说明计算机通信网的使用情况,该控制系统的组成如图1—5所示,对于整个铁路运输控制系统来说,所有的信息是在铁路指挥中心(路局或分局)、车站、区间、列车四个部分之间进行传输。路局(或分局)是

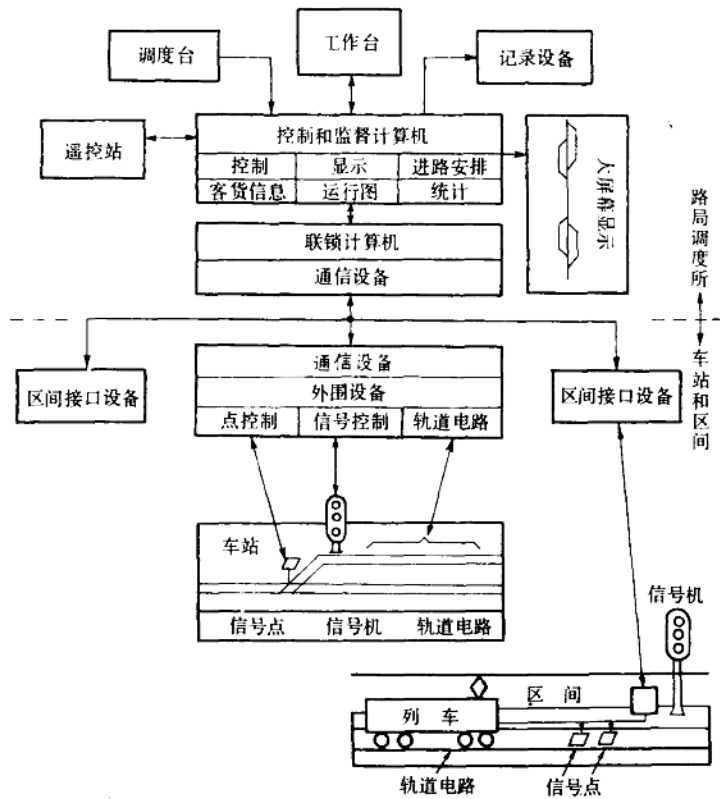


图1—5 铁路指挥中心示意图

列车运行的指挥中心,它是各种信息的汇总点,在此地设有各种用途的计算机和电子设备,它根据来源于各个车站的信息和各种列车运行规则向车站发送运行计划(或命令)。指挥中心和

车站之间的信息是通过电缆(或光缆)传递的。

车站是列车运行控制中心,也是各种信息采集和处理中心。它除了要收集铁路指挥中心以及站内各种信号设备的信息外,还要采集车站管辖范围内的各闭塞区段的信息。车站和区段的信息传递是通过电缆或采用无线方式。

铁路指挥中心(调度所)和车站内设备显示屏来表示出管辖区段内每组列车运行的位置、线路状态、车站的股道占用以及信号显示等,调度员和管理员根据提供可靠的表示信息来准确地指挥列车运行。

各闭塞区段(地面)和列车(机车)之间的信息传递是采用电磁感应的方式。各区段的固定信息主要包括信号点的位置、距下一个信号点的距离以及前方闭塞区段的线路情况等;而列车向地面发送的信息可包括车次号、车轴数、速度、制动能力、气缸压力等。机车和地面的设备都可采用微机进行控制。

通常,计算机通信网如图 1—6 所示,图中表示出通信网中各计算机和终端设备,“子”网络内交换中心(由专用的交换计算机构成,也叫做节点机)为请求联网提供转换功能。

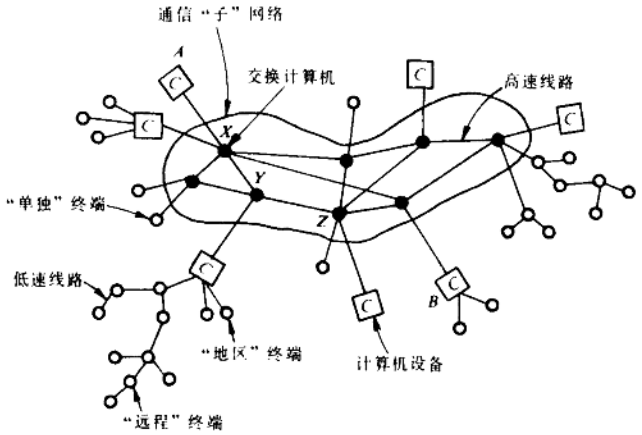


图 1—6 计算机通信网的结构图

这些交换中心的构成是复杂的,虽然是专用计算机,也适合作为后面将提到的交换计算机,这些计算机既作为终端的编号,有时也可作为地区终端计算机(系指两个以上的终端)的连接线。一般来说,接到各地区终端的线路是不需要高速传输数据,即适当的带宽就足够了,因此这些线路具有低速线路的特点,而高速(带宽宽的)线路是需要接到交换中心。某些终端,如称为单独(*orphan*)终端,它们不与地区计算机连接,而是直接连到交换中心。类似的,有些计算机没有直接连到终端,而仅与通信网进行交换,通过网再接到交换计算机的。最后应指出的是,整个通信系统也叫做通信子网,子网由交换计算机组成。

从交换技术来看,通信网络可以有:线路交换、信息交换和包(分组)交换三种基本类型。

线路交换 在线路交换方式中终端与终端间通信是由节点机所选定的一条不再变动的线路不间断地传输信息来完成的。这类系统与电话交换系统完全相似,分配到用户信号接收器的整个线路路径,在该用户被拆除以前,这段时间里其它用户不可能占用线路路径上任何部分。图 1—7(a)表示线路交换的主要原理,图中用实线连成的线路为选定的路由,这条路由在用户挂机以前,一直保持接通状态。

信息交换 计算机通信与电话通信业务最大不同的特点是,计算机通信中数据传输有较大的间歇性,或叫做突发性,即发送期间的速率可以很高,但两次发送间的间隔时间可能很长,一般两台计算机的典型线路上分配到有载时间仅占百分之一,这种情况下按线路交换方式显然是不经济的,而用户又必须按有用的整个时间收费。

图 1—6 给出信息交换的连接方式,这会在很大程度上改善经济性,从信息交换工作来考

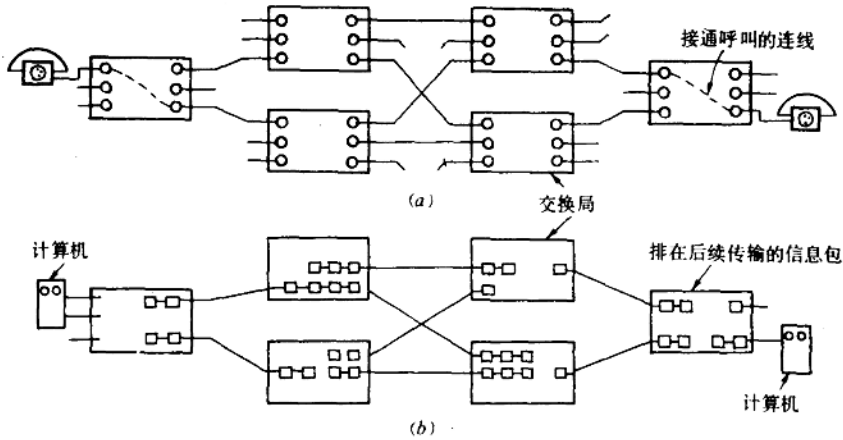


图 1-7 网络交换

(a)电路交换机;(b)包交换机。

虑,图 1-6 中计算机 A 的数据传输到计算机 B,传输的是被长间隔分开较短的各个数据信息所组成,假如传输路径选择 $A \rightarrow X \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow B$,考虑到从 X 到 Y 和从 Y 到 Z 的线路段也是其它计算机间的联结部分,另外,在电路交换里用户间完全建立连接以后就可连续通信,而在信息交换的一些特殊时间内,不需要这样完全连接起来。即计算机 A 的信息传输到交换中心 X 先暂存入缓存器里,且保存到从 X 到 Y 没有其它用户的信息经由此段线路为止,即这段线路转成可用(空闲)时,再把 A 的信息从 X 传到 Y,并再次存贮起来,直到 Y 至 Z 转成空闲时再把 A 信息从 Y 传到 Z,一直传到计算机 C。这种传输方式的缺点是拖长了信息传输的时间与接收到信息的时间,另一方面,却带来了在长距离、快速、昂贵的交换计算机线路里只有极短时间是空闲的,例如,当 X 至 Y 线路没有从 A 到 B 传递信息时,该线路段可用于其它用户的信息传输。因此,在信息从 A 传到 B 的全部传输过程中,通常在某一段时间中,仅占用交换计算机间的某一段线路,而连接 A 至 B 路径的其它线路段并未被用户 A 占用,可用来传输其它用户的信息,从而提高了线路利用率。由于这种系统含有信息的存贮和随后顺序向前的功能,故信息交换网也称存贮-转发网络。

包交换 有时,信息交换方式有以下缺点:

(1)信息可能是很长的(几百千比特)或是很短的(只有几千比特的命令),为了适应长信息,需要有大量的缓存器,而当接收短信息时这些缓存器的硬件又白白浪费了。

(2)即使某条线路是有效的,但在全部信息未接到以前,交换计算机并不转发信息。因此,如果信息持续时间为 T_m ,需要转发的时间为 R ,即使忽视等待时间,转发过程为 RT_m 。因在每次转发时,需将全部信息加以存贮,并把前存信息移到下一节点上,对于长信息及其转发来说,这种长转发时间会带来不方便。

(3)采用中心链路,适应短信息可简单些,但对传输长信息时链路要经常占线,对此,一种有用的解决方法就是以简便方式阻止长信息,而让短信息传输,可是考虑到信息交换系统的特点,这又不易做到;另一种可能性,就是使短信息延迟一段时间,以便与长信息的长度一样,这样系统称为占用(tiedup)处理长信息。

包交换遏制了把信息包信息再细分来满足信息交换特点的需要,典型信息包可有 1024bit

长,在传输信息时是以信息包的形式,如信息交换中的信息一样,每包须先存在子系统支路的缓存器,然后再向前传,因此,它也属于存贮—转发系统。交换系统某些包,不同包的信号信息传到指定地点可以经不同路径并有不同时延,有时信息包可以是指令,包交换如图 1—7(b)所示,交换计算机的小方块表示单独信息包。

信息交换的信息或包交换的信息包,每个传输的单元,不仅含信息比特,也包括称为附加信息的附加比特,这些附加比特做为辨认传输的单元(信息或信息包),因此,每个交换中心应该知道传输的单元路由的位置,单元的确认以及用户标志,以便为用户服务。进一步来说,同步比特也属附加部分,它做为辨别单元的开始与终止。如上所说,在包交换里,可以产生不同的信息包,可以通过不同的路径,信息包也可以是指令,因此,信息包必须进行编号,以便将它们调整成正确的顺序。

在信息交换系统,附加信息必须附加在每组信息里,在包交换的时间内,每个信息包必须配有附加比特,因此,如果多于一个信息包/信息,被包格式化后的信息包将有更多附加比特,所以,就信息交换来说,信息包交换有两个不利的条件,(1)为了传输每个单元时间的指定信息量,包交换所需要的传输比特率比信息交换所需要的更快;(2)交换的硬件需要包格式化,需要加进附加比特,这样,包格式化和重新调整会更复杂,以及比信息交换需要的通信硬件运得更快些。

§ 1.3 数字信号的波形与频谱

在上面我们已经介绍数字信(符)号多用二进制的,这里,分析数字信号波形与频谱也以二进制为主。二进制数字符号有两种,即常称的 1 码和 0 码。

一、数字信号波形

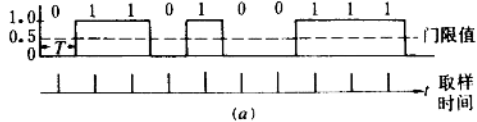
数字信号最基本的形式是矩形脉冲。图 1—8(a)给出单极性矩形脉冲,在每一码元时间内,有电流发出就表示 1 码,没有电流发出就表示 0 码,而且每一码元的持续时间和码元宽度都为 T 。接收端有定时信号与接收数据保持一定关系。每一码元时间的中心是取样(或称抽样)的时间,而判决门限为半幅度电平,即 0.5。这表示,接收信号的值如在 0.5 与 1 之间,就判为 1 码;如在 0 与 0.5 之间,就判为 0 码。

图 1—8(b)所示为双极性矩形脉冲,1 码发正电流,0 码发负电流,且正负幅度相等,因此称为双极性码。这时,判决门限定为 0 电平,接收信号的值如在 0 以上判为 1 码;如在 0 以下判为 0 码。

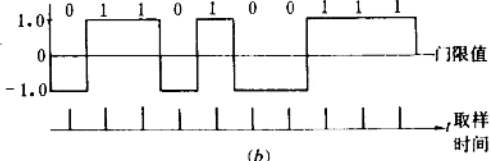
以上两种信号波形,是在每一码元全部时间内发出或不发出电流,或者全部码元时间内发出正电流或负电流,即每一位码的持续时间占用全部码元宽度,我们把它们称为全宽码。

与上面全宽码相对应,有时改用图 1—9(a)所示的形式,当发 1 码时,发出正电流,但是发电流的时间小于码元持续时间,就是说,发一个窄脉冲。当发 0 码时,仍然不发脉冲,即没有电流。这样发 1 码时有一部分的时间没有电流,幅度是 0,所以这种码称为归零码。相反地,前面讲的全宽码是非归零码。

归零码也可以有单极性和双极性两种。图 1—9(b)是双极性归零码,其中 1 码发出一个正极性窄脉冲,0 码发出一个负极性窄脉冲,在两个码元的间隔时间可以大于每一个码的窄脉冲宽度,取样时间总是对准脉冲中心。



(a)



(b)

图 1-8 全宽脉冲

(a)单极性脉冲;(b)双极性脉冲。

双极性归零码还可用另一种形式,如图 1—10 所示。发 1 码时不管相隔是近或是远,总是用交替极性的窄脉冲,而 0 码时不发脉冲。取样时间仍是对准脉冲中心。

上面介绍的几种矩形脉冲是有所区别的:

(1)每一脉冲宽度越宽,发出信号的能量就愈大,因此,全宽码对于接收端的信噪比是有利的。

(2)由于脉冲时间宽度与传输频带宽度成反比关系,归零码是窄脉冲,所以它在信道上占用带宽较宽,但归零码的每一脉冲后面留有一定时间富裕,在发出连续的码元时能把各个码元之间的间隔显示出来。

(3)双极码与单极码相比,直流分量和低频成分减少了。如数据序列中 1 码与 0 码的数目相等时,双极码(包括交替极性码)就没有直流输出了,因此,这种码有利于不能通过直流的某些线路上传输。

二、矩形脉冲的频谱

一般来说,数字信号序列不能看作是周期过程,因为序列中每一脉冲(码元)所代表的状态是随机的。但是,对数字信号波形的进一步观察可以发现,构成序列的脉冲波形却是有限数种,比如最常使用的二进制序列(如图 1—8),码元脉冲波形最多不超过两种。因此,在试图研究具有随机特性的数字信号序列的频谱特性时,仍然可以从对数字信号所采用的传输波形的分析入手。

1. 周期过程表为傅里叶级数之和

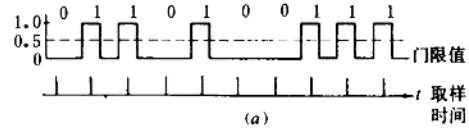
如图 1—11,以重复周期为 T 的矩形脉冲表示一个周期,并可用如下数字式来描述:

$$s(t) = s(t + nT) \quad (1-3)$$

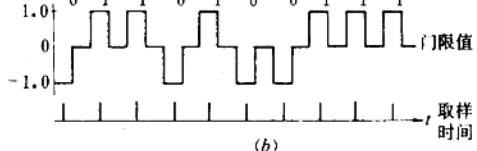
式中 n ——任意整数。

如果函数 $s(t)$ 满足狄里赫利条件,则可将 $s(t)$ 表为傅里叶级数之和,即

$$s(t) = \frac{1}{T} \left[a_0 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos 2n\pi f_0 t + b_n \sin 2n\pi f_0 t) \right] \quad (1-4)$$



(a)



(b)

图 1-9 归零脉冲

(a)单极性脉冲;(b)双极性脉冲。

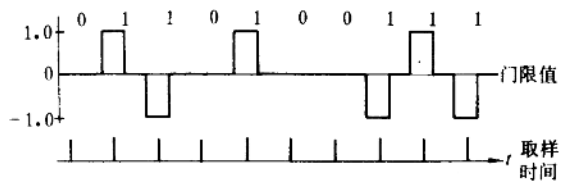


图 1-10 极性交替归零脉冲

一般通信中的周期信号都能满足以上条件,这样,式(1-4)中

$$f_0 = \frac{1}{T} \quad \text{其中 } T \text{ 为波形重复周期} \quad (1-5)$$

$$a_0 = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) dt \quad (1-6)$$

$$a_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) \cos 2n\pi f_0 t dt \quad (1-7)$$

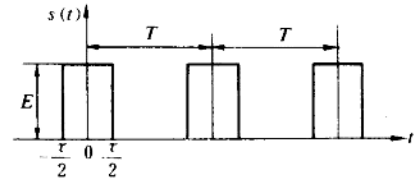


图 1-11 矩形周期脉冲波形

$$b_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) \sin 2n\pi f_0 t dt \quad (1-8)$$

周期 T 的倒数 f_0 称为基波频率。因此,一周期过程可看成直流分量、基波分量及各次谐波之和。利用三角关系式可将式(1-4)中同频率正弦、余弦项合并,因为

$$\begin{aligned} a_n \cos 2n\pi f_0 t + b_n \sin 2n\pi f_0 t &= c_n (\cos \theta_n \cos 2n\pi f_0 t + \sin \theta_n \sin 2n\pi f_0 t) \\ &= c_n \cos(2n\pi f_0 t - \theta_n) \end{aligned}$$

$$\text{其中} \quad \left. \begin{aligned} c_n &= \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \\ \theta_n &= \arctg b_n / a_n \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

$$\text{或者} \quad \left. \begin{aligned} a_n &= c_n \cos \theta_n \\ b_n &= c_n \sin \theta_n \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

于是 $s(t)$ 的傅里叶级数表示式又可写成为

$$s(t) = \frac{1}{T} \left[a_0 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos(2n\pi f_0 t - \theta_n) \right] \quad (1-11)$$

从处理上的方便考虑,还可以导出上面傅里叶级数的复数形式,为此需将频率延拓至负频域。令

$$C_n = a_n - j b_n = c_n e^{-j\theta_n} \quad (1-12)$$

由式(1-7)、(1-8)、(1-9)可知, a_n 与 c_n 是频率变量 $n f_0$ 的偶函数, b_n 与 θ_n 则是 $n f_0$ 的奇函数,即 $a_n = a_{-n}$, $b_n = -b_{-n}$, $c_n = c_{-n}$, $\theta_n = -\theta_{-n}$ 。据此,可将式(1-11)做进一步的变化,其中

$$\begin{aligned} 2 \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos(2n\pi f_0 t - \theta_n) &= \sum_{n=1}^{\infty} c_n [e^{j2n\pi f_0 t} e^{-j\theta_n} + e^{-j2n\pi f_0 t} e^{j\theta_n}] \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} [c_n e^{-j\theta_n} e^{j2n\pi f_0 t} + c_{-n} e^{j\theta_{-n}} e^{-j2n\pi f_0 t}] \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} [C_n e^{j2n\pi f_0 t} + C_{-n} e^{-j2n\pi f_0 t}] = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n e^{j2n\pi f_0 t} - c_0 \end{aligned}$$

注意到 $n=0$ 时, $b_n=0$, $a_n=a_0$, $\theta_n=0$, $C_n=a_0$, $C_n=a_0$, 这样便可将式(1-11)改写成如下复数形式

$$s(t) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n e^{j2n\pi f_0 t} \quad (1-13)$$

式中的 C_n 称作复振幅,由式(1-12)及式(1-7)、(1-8)可得出

$$C_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) [\cos 2n\pi f_0 t - j \sin 2n\pi f_0 t] dt$$