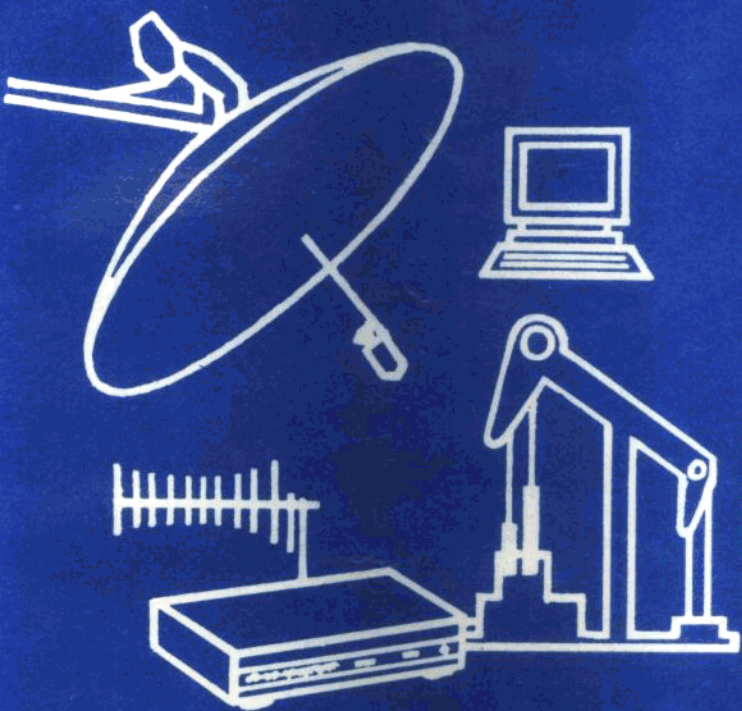


工业远动技术



英素路 编著
龙银张

西南交通大学出版社

前 言

“工业远动技术”是根据铁道部高等学校电机类专业教材指导委员会 1993 年确定编写的。

全书共分为七章。第一章介绍工业远动系统的基本功能、远动系统的基本结构及分类、远动系统的性能。第二章主要介绍抗干扰编码的基本原理,着重阐述循环码的编译码方法。第三章介绍调制方法、通信线路的传输特性、数字调频、数字调相的调制和解调方法。第四章主要阐述传感器的模型和分类、典型传感器以及电量变送器(电流、电压、功率)的工作原理。第五章介绍了遥测系统的组成、频划分和时划分遥测原理、数字遥测系统、遥控系统的组成原理、遥控遥测系统的同步。第六章介绍了微机远动装置的构成原理、硬件配置及软件的设计。第七章介绍接口技术的基本知识、抗干扰技术、通讯接口、外设接口、开关量采集接口及模拟量采集接口。

本教材由西南交通大学路素英同志编写第一、二、三、四、五章,张银龙同志编写第六、七章。由西南交通大学钱清泉教授任主审。在审稿过程中,钱教授对本书的内容提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本书可作为高校有关专业的大专教材,也适用于在电力、输油和输气、城市公共事业、气象部门等系统从事控制和管理工作的技术领导干部和工程技术人员的培训教材和参考书。

本书编写过程中,曾得到铁道部第二设计院电化处、华东交通大学电气工程系和西南交通大学电气工程学院等同志的支持和帮助,在此一并感谢。

因受篇幅所限,习题另出单行本。本教材适用于 50~60 授课总学时。

由于编者水平有限,对于书中的缺点和错误,敬请读者批评指正。

作 者

1995 年 12 月于成都

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 概 述	1
1.2 远动系统的基本结构及分类	5
1.3 数字信号及传输要求	6
1.4 远动系统的性能指标	8
第二章 远动信息的信道编译码	10
2.1 抗干扰编码的基本原理	10
2.2 检错码和纠错码	14
第三章 远动信道	36
3.1 概 述	36
3.2 通信线路	40
3.3 线性调制的概念	45
3.4 数字调频	48
3.5 数字调相	55
3.6 滤波器、衰减器及二四线转换装置	60
第四章 传感器	65
4.1 传感器概述	65
4.2 典型传感器的工作原理	67
4.3 电量变送器	77
第五章 遥测遥控系统	91
5.1 遥测系统的组成	91
5.2 频划分和时划分遥测原理	92
5.3 数字式遥测系统	97
5.4 遥控系统	119
5.5 遥控遥测系统的同步	124
5.6 遥控与遥信系统	133
第六章 微机远动系统的构成原理	143
6.1 概 述	143
6.2 微机远动系统硬件配置	144
6.3 软 件	152

第七章 接口技术	171
7.1 接口技术基本知识	171
7.2 通讯接口	191
7.3 外设接口	205
7.4 开关量采集接口	210
7.5 模拟量采集及接口	214
参考文献	219

第一章 绪 论

1.1 概 述

随着科学技术的发展,特别是电子技术、自动化技术、空间技术、计算机技术、通信技术的发展,远动技术在综合了上述理论后而发展起来,并在卫星和宇宙飞行体的飞行与控制以及国民经济的其它部门都得到了广泛的应用。远动技术应用到国民经济的各个部门还是近几十年的事。首先,应用于对工农业生产和交通运输的集中监视和统一调度管理,其次应用于危及人身安全和恶劣环境工作场所的无人作业,还有在医疗卫生、体育和生物遥测跟踪等方面都离不开远动技术。

远动系统在实际场合和完成特定任务方面有着繁多的种类,有的可能是很简单的单一系统,有的可能是一个复杂的庞大系统。不管怎样,远动系统都是由基本遥测系统或基本遥控遥测系统组成的。首先简述远动系统的基本概念。

遥测 所谓遥测就是对被测对象的参数进行远距离的间接测量。例如:锅炉是工业生产的重要动力设备,工业锅炉的生产任务是产生具有一定指标(温度和压力)的蒸汽和热水,锅炉最基本的组成是汽锅和炉子。燃料在炉子内燃烧,加热汽锅内的水,使其沸腾汽化,生成蒸汽。为了确保安全生产,汽锅液位是必须控制的一个参数,液位过高,将降低蒸汽质量(蒸汽带水),液位过低,容易烧干,严重时将造成锅炉爆炸。故须随时测量液位高度,传给监控室。一般监控室离锅炉距离远,需要信道进行传输。首先将液位高度变成电信号,送给调制器,然后发送到信道中传输。把液位高度变成电信号的装置叫传感器。监控室收到信号后,经过解调,送给显示器显示和记录。系统框图如图 1—1 所示。

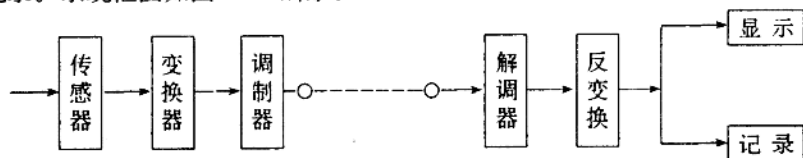


图 1—1 遥测系统例子——锅炉检测系统

大量的事实证明,物理学中的许多重要发现和定理都是在精密测量的基础上取得的。许多尖端技术的突破也是精确测量的结果。因此,可以说没有现代化的检测和遥测技术,就没有当今的科学技术。人类社会在不断探测未来中前进,而遥测技术也就逐步完善起来。

为了正确地远距离进行测量,需要有感知被测参数的装置(传感器),以便将被测参数正确地取出来;为了使信号在信道上正确地传输,需要对信号进行放大、压缩、编码、调制、解调等各种加工处理;对数字传输系统要求信息的保护和差错控制;在收端还要对信息进行分类、处理和存储等等。总之,遥测系统包括信息的感受(传感)、变换、传输、处理、显示记录等多种过程。

在这个意义上说,遥测系统是一个特殊的单向通信系统,其信息流是从被测量端流向测量端的。

遥控 所谓遥控,就是对远方的研究对象和目标进行控制。控制方式分为断续的和连续的两种。被控制的对象可以是活动的,如导弹、火箭、卫星、飞船和无人飞机等;也可以是不动的,如集中目标的工厂设备、电站、大型变电所等,或者处于分散状态的输油管道、油田油井设备等。图 1—2 是遥控飞机模型的例子,运动员在地面用遥控发射装置,对空中的飞机模型进行操纵,控制发动机的起停、飞行姿态的方向舵和升降舵。

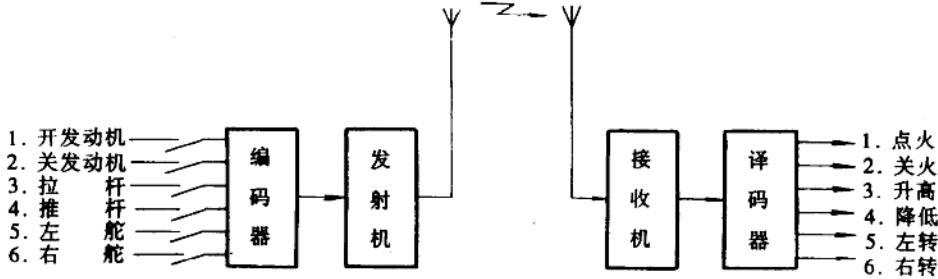


图 1—2 遥控例——航空模型的遥控。

所以,遥控系统是由指令的产生、变换、传输、执行等过程组成的。其信息流是由控制端流向被控端的。

遥调 远距离地对被控对象施行连续控制就是遥调。图 1—3 是一个典型遥调系统方框图。

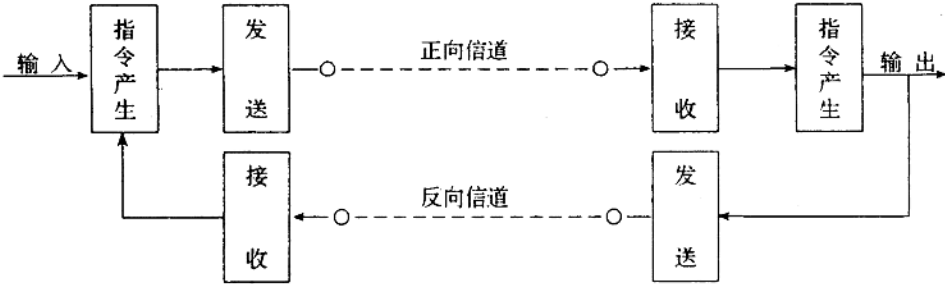


图 1—3 遥调系统

这种对被控对象的工作状态可定量地进行改变的远距离控制,可以用于对某些连续量的控制,例如导弹飞行轨迹的控制、输油管道中的流量控制等等。遥调和遥控的主要区别是遥调需要双向信道(正向信道和反向信道),而遥控系统通常不需要反向信道。

遥信 在遥控系统中,当一个遥控指令发完时,对遥控指令是否被正确执行的问题,是远方遥控操纵人员十分关心的。此外,还有遥控系统的工作情况(如正常与否)也是操纵人员关心的内容。为了监视遥控系统的遥控指令的执行情况,有时需要把执行的结果和系统工作状态通过反向信道送回来。这种把被控对象的动作结果和系统的工作状态送回控制端的操作,通常称为遥信。被控对象各个参数的状态实时显示在控制端,以便实时掌握其状态,继续发出指令按预定目的对被控对象施加控制。一般地说,遥控系统离不开遥信,有些情况下也可以不用遥信监视其被控对象的工作状态,例如上述的飞机模型的遥控系统就没有遥信系统,但是其工作状

态的监视是由肉眼观察或其它方式完成的。事实上遥信就是遥测的特殊形式,它传送的是极限状态,而遥测传送的则是连续信号值。

就其功能来说,遥控和遥调都是控制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目标向控制端提供它的内部参数及其对命令的执行情况。所以,我们只要了解遥控和遥测,则遥调和遥信也就解决了。

远动技术在国民经济的各个部门都有应用,特别是电力系统、输油和输气系统、城市公用事业系统、气象系统都急需设置远动设施来提高劳动生产率。

电气化铁道供电系统采用远动装置,实现集中监视和控制,可以保证供电质量,提高可靠性和减少维修费用。其经济效益是很明显的。

现代化的电力系统是一个巨大的生产企业。许多水电站、发电厂、变电站及输电线联合成为一个电力系统。为了合理分配电力,保证系统连续并可靠运行,其繁重的调度任务完全可以由一个集中监控站来完成。这样,系统调度人员不经电话就能直接掌握系统各主要点的电压、主要送电线路的输送功率、主要断路器的开合位置等,从而提高劳动生产率、加快事故处理、减少值班运行人员、提高了调度效率。

由于现代电力系统的规模越来越大,需要遥测、遥信的对象可达上千个。为满足调度人员监视电网的安全运行,在系统远动化和系统自动调频的基础上可以实现自动调度。把电力系统的各种参数和状态信号送入电子计算机,经过处理,给调度人员提供必要的数据和调整的指示,使之随时适应电力系统运行状态的变动,从而达到电力系统最大可能的经济性和稳定性。

输油管线由首站、末站、油库和一些中间热泵站以及调度室组成。为了输送原油,每站要给原油加热、加压,首末站还要计量原油流量和库存油量。

输气管线由压气站、调压计量站以及调度室所组成。为了输送天然气,压气站要给天然气升压、调压,计量站要按额定输气量调整用户供气压力,并计量流量。

实现输油、输气自动化,就能适时的完成输油输气计划,降低动力及燃料耗费,保证设备的安全运行。

输油输气管线自动化系统的被控目标分散、距离远,并且全线被控目标构成一个统一体,一处变动正常工艺流程,往往就要牵动全局。根据这些特点,监控系统主要由控制中心、远动通信系统就地集中管理系统组成。

它是一个两级管理系统。在平时各站就地集中管理,根据控制中心给定的参数自行管理本站输油输气设备的运行;控制中心随时收集各输油或输气站运行情况的数据,进行遥控,以便进行全系统的协调平衡。当系统某处发生故障或需要改变输油输气计划时,控制中心就将遥控、遥调命令下达给就地集中管理系统,由就地集中管理系统命令执行机构完成动作。

城市公共事业的远动技术包括自来水、煤气、取暖用的热水分配、下水道排水等集中远动技术。例如:在中央控制室的自来水遥控站,可以集中监视水源泵群及各加压泵的启停状况;可以监视水池水位、出厂水压、流量大小并进行越限报警;可以控制加压泵的运转、停止以及调整加压泵的转速和阀门开闭程度等等。

在城市公共事业的远动技术中,一般被监控对象比较分散,信息量较大。目前,由于电子计算机的应用,系统能更及时、更经济、更高效率地调度和使用动力设备,以适应城市公共事业随着季节、气象、昼夜、节假日等情况对电、气、水供求量变化的要求。

在机器制造工业中,特别是在大型机器制造厂和冶金厂,通常都配有庞大的供电、供水、供气系统。这些系统必须保持正常运行,任何事故的发生都将严重地影响生产。采用远动技术可以把这些系统的控制和监视集中到一个车间之内,从而合理地进行调度管理。

在气候特别恶劣的地区是无法建立人工气象站的,采用无线电远动技术,可以实现无人管理的气象站。它能提供和搜集气象情报、积累各地区气象资料,并将结果送往几百公里以外的气象中心站。

远动技术在广播系统、铁路调度、科学研究、医疗事业中均有应用,为其服务的通用或专用系统举不胜数。

至于远动技术在国防建设和空间科学上的应用更是显而易见的:导弹、火箭、无人飞机、靶场等都离不开远动技术,这些内容不是本书研究的任务。

总之,远动技术已经为国民经济各部门及国防部门所需要。尽管它的历史不长,但发展速度很快。最早使用的远动装置是有接点式装置,它的主要元件是继电器。随着新型电子器件的出现,以晶体管为主要元件的无接点远动装置相继出现。随之而来的是由集成元件构成的全集成电路的诞生,上述各型装置却属于布线逻辑装置,它们按预定的要求进行设计,使构成装置的各部分逻辑电路按固定的时间顺序工作,以完成预定的功能。这些装置属于硬件式的装置,不能随意进行功能的扩展。为了提高装置的灵活性和可靠性,以适应多种用户的不同需要,人们又研制出了微机远动装置。

微机远动装置和布线逻辑远动装置的主要区别如图 1—4 所示。布线逻辑远动装置的逻辑电路中有一套时序电路,由它控制其余逻辑电路按时序工作,从而使输入的待处理的信息(如遥信对象的状态量、要发送的遥控命令等)变成处理好的信息(如遥信信息、遥控指令等)。由于这种装置处理工作全部在逻辑电路中自动进行,要改变处理要求必须重新进行电路设计。而微机远动装置除硬件外,还包括软件部分。它的硬件部分由控制器、存储器、输入/输出接口电路等组成,类似于计算机的硬件结构。整个装置的工作由输入的软件——加工程序控制。当需要改变处理要求时,只需对程序修改。即使需要增加硬件,由于各部分电路是由总线相互连结,扩展也很方便。因此微机远动装置更具有灵活性和可靠性。随着微型计算机技术的发展和普及,远动装置中以微机远动装置占绝对优势。

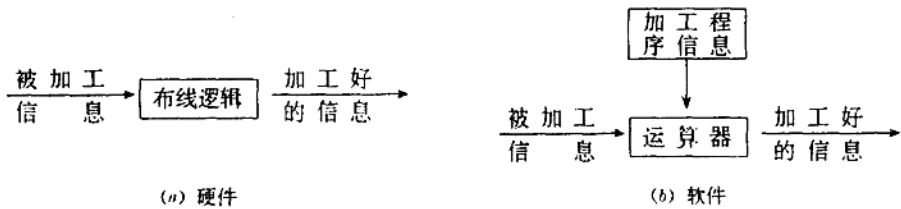


图 1—4 硬件与微机远动装置的区别示意图

由于微机远动装置的工作方式由软件进行控制,使装置的功能大大加强。如,供电系统中的微机远动装置,它除了能同硬件装置一样完成四遥信息的编码和译码外,还能进行许多运算处理工作。比如对遥信信息进行变位判别、事故顺序记录、程序控制、用程序实现功率总加等,同时,还能进行信息转发。这时控制端远动装置既能接收遥测、遥信信息,又有发送遥测、遥信信息,与传统的概念略有区别。

遥测、遥信、遥控和遥调是远动系统的四项功能,在我国常称之为四遥。作为具体的远动装

置,并非都具有四遥功能,有的只有遥测和遥信,有的则兼有遥控和遥调,应视需要而定。随着科学技术的进步,远动系统的功能根据系统调度自动化的实际需要还在不断的扩展。

1.2 远动系统的基本结构及分类

最简单的远动系统包括三个部分:命令(远动信息)的产生、命令的传送以及命令的接收。

远动系统的发送端设备就是命令的产生部分,远动系统的接收端设备就是命令的接收部分,而命令的传送部分则称为远动系统的信道。从结构上讲,远动系统与一般自动化系统之间最大的区别就在于远距离信道的存在。

由于远动系统中存在着信道,那么被传达的命令也应该被转换到适合于在信道中传送的最好形式。这种形式往往与一般自动化系统中命令的形式大有区别,因此在远动系统中就需要一些特殊的转换设备来转换命令。

由于距离较远,再加上信道的存在,远动系统在结构上存在着一定的弱点,即易受外来的干扰,降低了命令的准确性和整个系统的可靠性。当所需传送的命令愈多,系统愈复杂时,信道的结构也就愈复杂,这个弱点也就愈突出,并且信道的成本也愈高。因此,需要有一系列的措施来保证系统正常、可靠和经济地运行。

远动系统的结构是千变万化的,但基本原理是类似的。可以单独由遥控构成遥控系统,由遥测构成遥测系统;也可以结合在一起构成多功能的通用性的综合远动系统。如图 1—5 给出了一个综合远动系统的原理框图。

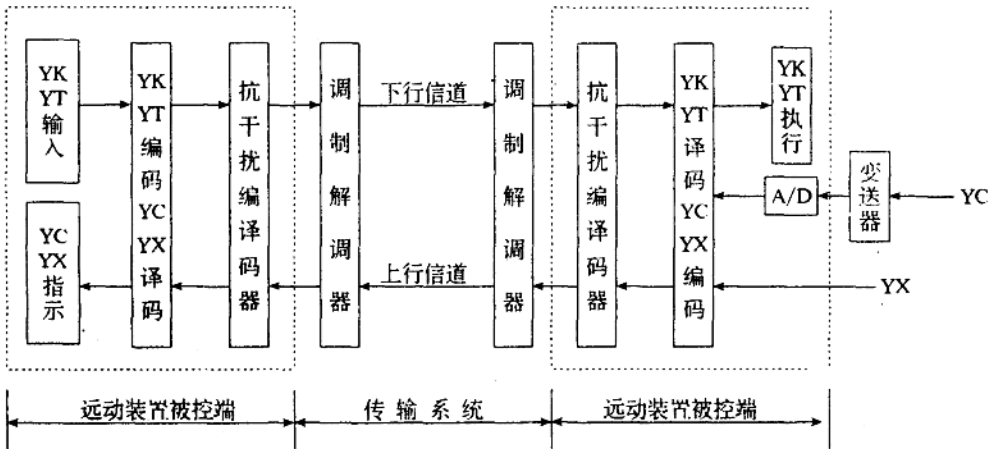


图 1—5 远动系统原理框图

我们把进行控制的一侧称为控制端(调度端),把被控制的一侧称为被控端(执行端)。这两端由信道连接起来,从控制端向被控端发送的信息称“下行”信息;反之,从被控端向控制端发送的信息称“上行”信息。

设在调度所的控制端要将遥控、遥调命令送到被控端去执行,遥控、遥调命令经编码器编成串行的数码。在远动系统中传送的信号,在传输过程中会受到各种干扰,可能使信号发生差错,为提高传输的可靠性,对遥控、遥调的数字信息要进行抗干扰编码,以减小由于干扰而引起

的差错。由于数字脉冲信号一般不适宜于直接传输,例如利用电话线路作为信号传输的途径时,线路的电感、电容会使脉冲信号产生很大的衰减和变形,所以要用信道设备部分的调制器把数字脉冲信号变成适合于传输的信号,如变成正弦信号传输。这样,控制端就把经过调制后的遥控、遥调信息发送出去,送到被控端接收。接收端首先用信道设备中的解调器把正弦信号还原成原来的数字信号,再由抗干扰译码器进行检错,检查信号在传输过程中是否因干扰的影响而发生错码,检查出错误的码组就拒绝执行,正确时则遥控、遥调译码后分别执行。

对遥测、遥信,被控端是发送端,而控制端则是接收端,被控端要将遥测、遥信量送调度所去显示或记录。遥测量是电量或非电量,经过变送器后,通常变成 5V 直流模拟电压,输入模数转换器。模数转换器将输入的模拟电压转换成数字量,送给遥测、遥信编码器,将输入的并行数码,编成在时间上顺序排列的串行数字信号。而遥信多是开关量,可以直接输入编码箱编码,再送到抗干扰编码器、调制器后发送出去,送到调度所(控制端)接收端,经解调和抗干扰译码器进行检查,检查出错的码组就放弃不用,正确的码组则分别去显示或指示。

由于距离远而使信道的投资费用增大,而控制端和被控制端之间需要传送的信息又较多,为了使同一信道传送更多的信息,充分发挥信道的作用,就需要采用多次重用的办法。目前有按频率和时间划分的两种制式,简称为频分制和时分制(在 5.2 节将详细叙述)。

如上所述,远动技术是将发端的数据、命令从一端传送至另一端去控制执行、显示或记录。远动技术的传送方式分为两大类,即循环方式(称 CDT 方式)和问答方式(称 Polling 方式)。

循环传送方式是以执行端的远动装置为主,周期性地采集数据,并且周期性地以循环的方式向调度端送数据,即由执行端传送遥测、遥信量给调度端。

问答传送方式是以调度端为主,由调度端发出查询命令,执行端按发来的命令而工作,被查询端向调度端传送数据或状态信息。

远动装置按工作方式分类,可分为(1:1)工作方式,(1:N)工作方式及(M:N)工作方式。(1:1)工作方式是指在执行端装一台远动装置,在调度端对应地也装一台远动装置。(1:N)工作方式是指调度端一台远动装置对应着各执行端的 N 台远动装置。(M:N)工作方式是指调度端 M 台装置对应着执行端 N 台装置。

此外,根据远动系统所采用的信道、被控对象和所用元件的不同,也可以有不同的分类方法。例如传送信号是利用有线信道,还是无线信道,可分为有线和无线远动系统;信道数目是随着控制对象数目而增加,还是与被控对象数目的多少无关,可分为少信道和多信道远动系统;根据被控对象是分散还是集中、是固定还是活动、是在铁路沿线那样链式分布还是以控制端为中心向四周辐射式分布,就分别称为分散型或集中型远动系统、固定目标或活动目标远动系统、链式或辐射式远动系统等;也可根据装置采用的元件是有接点还是无接点,而分为有接点和无接点远动系统;按远动功能是用硬件实现还是靠软件实现,而分为布线逻辑式和软件化远动系统;甚至可视其是否有一个远程自动调节系统,而分为开式和闭式远动系统等等。

1.3 数字信号及传输要求

将只能取两种不同状态的信号称为二进制信号,这是数字信号的一种基本形式。如取信号高电平为“1”。低电平为“0”。

在数学上,与这种二进制信号对应的数字是二进制数字,它也只有“1”和“0”两个符号。对于二进制的信号处理常常可以用二进制运算来进行。

编码最好是用少量的二进制数字来传送较多的信号,而各二进制编译码的判别又必须是容易的。能满足这个条件的二进制电码得到了广泛的应用。假设有 n 位二进制数字,这时便能编码得到 $(2^n - 1)$ 个二进制电码信号数(各位数为“0”时的组合不作信号用)。

二进制数字的英文缩写译音为“比特”。一个二进制码元或一位二进制数字又称为一个比特。比特还是传输信息多少的度量单位。

信息量的概念 若我们只要求简单地说明消息只有两种可能性时,则可以用“0”和“1”来代表,即用一位二进制数字代表两个可能的消息之一,这时就说每个消息的信息量为 1 比特。若我们要说明消息有四种可能性,且仍用二进制信号传输时,则需要用“00”、“01”、“10”和“11”四个码组。这里要用两个二进制数字代表四种消息可能性之一,则我们说现在每个消息的信息量为 2 比特。同理,若我们要说明消息有八种可能性时,这时要用三个二进制码元才能代表八种消息的可能性之一,则其中每个消息所含的信息量为 3 比特。

总之,当消息的可能性越多(不确定性越大)时,它所含的信息量越多,完全确定的消息所含信息量为 0。

除二进制信号外,还可以用多进制信号传输消息。例如图 1—6 表示的是四进制信号波形。它有四种可能的电压值: $-3, -1, +1, +3$ 。若用它传输四种消息之一,则只要一个码元就够了。所以,一个四进制码元所含的信息量为 2 比特。同理一个八进制码元所含信息量为 3 比特。

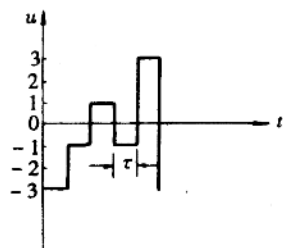


图 1—6 四进制信号波形示意图

一般地讲,若一个消息有 M 个不同的可能值,而且每个可能值的出现概率相等,则此消息所含的信息量 I 为

$$I = \log_2 M \quad (\text{比特}) \quad (1-1)$$

由此可见,不同进制的码元所含信息量不同。仅对二进制而言,一个码元才等于 1 比特。

数字信号的传输要求 对于数字信号的传输,可以从数量和质量两方面提出要求。在数量方面,以传输速率衡量传输的有效性;在质量方面,以错误率衡量传输的可靠性。

传输速率可以用以下三种表达方式:

① 码元速率(R_b): 又称信号速率,它指每秒传送的码元数,单位为“波特”。

② 信息速率(R_i): 指每秒传送的信息量,单位为“比特/秒”。

由于二进制信号每个码元含 1 比特信息量,故码元速率和信息速率在数值上相等。

对于 M 进制信号,两者的关系是

$$R_i = R_b \log_2 M \quad (1-2)$$

③ 消息速率(R_m): 指单位时间内所传送消息的数量。

传输错误率也有以下三种表达方式:

① 误码率(P_e): 指错误接收消息的码元数在传输消息的总码元数中所占的比例。

$$P_e = \frac{\text{错误接收消息的码元数}}{\text{传输消息的总码元数}} \quad (1-3)$$

② 误比特率(P_b): 指错误接收消息的比特数在传输消息的总比特数中所占的比例。

$$P_b = \frac{\text{错误接收消息的比特数}}{\text{传输消息的总比特数}} \quad (1-4)$$

显然,对于二进制信号而言,误比特率和误码率是相同的,即 $P_b = P_e$ 。

③ 误字率(P_w): 指错字数在传输总字数中所占的比例。

可靠性(或错误率)与信息传输速率有关。传输速率越高,即每秒内传送的二进制码元越多,则每个码元所占用的时间就越短,波形亦越窄,能量亦越少,因而受到干扰后的错误的可能性就越大,传送信息的可靠性就越低。反之,传输速率慢,则可靠性就高。

在一定传输速率下,降低误码率的方法有多种,但可归纳为两类:一是选择适用的调制制度和解调方法;二是采用抗干扰编码。

1.4 远动系统的性能指标

对任何一种远动系统而言,都可以用远动系统的性能指标,或叫主要技术要求来衡量其优劣或作为设计、选型的要求,一般说来有以下主要几点。

1.4.1 可靠性

远动系统的可靠性是指设备在技术要求可规定的工作条件下,能够保证可规定的技术指标的能力。

远动系统也像其他自动系统一样,往往要求无人监视,并且应用在重要的生产部门或国防部门中,对于装置的可靠性有很高的要求,一次的误动作或是失效都有可能引起严重的后果,造成生命和财产的损失。可靠性包括装置本身的可靠性及信息传输的可靠性两个主要方面。

远动系统中每个设备的可靠性一般用平均故障间隔时间,即两次偶然故障的平均间隔时间来表示,而整个系统的可靠性通常可以用“可用率”来表示。

$$\text{系统可用率} = \frac{\text{运行时间}}{\text{运行时间} + \text{停用时间}} \quad (1-5)$$

式中停用时间包括故障和维修时间。影响可用率的重要因素有:设备的质量、维护检修情况、环境条件、电源供应备用的程度等。

国外的远动装置平均故障间隔时间已达到 30000 小时,国内要求 8000~10000 小时以上。

远动信息传输过程中,会因为干扰而出现差错,传输可靠性是用信息的差错率来表示的。

$$\text{差错率} = \frac{\text{信息出现差错的数量}}{\text{传输信息的总数量}} \quad (1-6)$$

在通常情况,差错率要求在 10^{-10} 以下。

1.4.2 容量

通常把遥控、遥调、遥测及遥信等对象的数量,统称该装置的容量。首先远动装置的容量要满足实际用户的远动化要求。容量同远动系统的路数有着密切的关系。显然容量越大,则表示该远动系统所能完成的功能也就越多。此外,遥控、遥调、遥测及遥信的功能也应能扩展,因为随着技术的发展,远动装置还要完成事件记录、数据处理、信息转发等功能。

1.4.3 实时性

从提高生产效率、加速事故处理等观点出发,对系统实时性要求是显而易见的,实时性常用“传输时延”来衡量,它是指从发送端事件发生到接收端正确地收到该事件信息这一段时间间隔。例如,电力系统典型的最大容许时延,在正常传送遥测、遥信时为 $2\sim 10\text{ s}$,在状态变化(例如开关跳闸)时为 $0.5\sim 5\text{ s}$,在传送遥控、遥调等命令时为 $0.1\sim 2\text{ s}$ 。

1.4.4 抗干扰能力

在有干扰的情况下,远动系统能保证技术指标的能力称为远动系统的抗干扰能力。

众所周知,任何信道中必然存在着人为的或自然的干扰。在自然干扰当中最有害的是工作干扰和起伏干扰,此外在多路传输还有信道间的路际干扰。因此,在远动系统信道另一端所得到的已不是原来的信号,而是信号 $f(t)$ 和干扰 $n(t)$ 的混合,如图 1—7 所示。假如信道的输出端没有特殊的方法把原来的信号 $f(t)$ 分离出来,减免干扰的影响,则在遥测时将造成误差,而在遥控时将有可能发生误动作。远动系统避免干扰影响的能力叫做抗扰度。

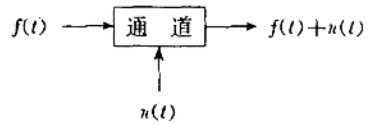


图 1—7 通道干扰示意图

增加抗扰度的方法大致说来有两个:其一是在信道输入端适当变换信号的形式,使其不易受干扰的影响;其二是在接收端变换环节的结构上加以改善,使其具有消除干扰的滤波能力。

远动系统的上述主要性能指标对同一系统往往并非同时能够满足的,其中存在着矛盾,因此需要权衡利弊,予以选择。此外远动系统还应具有足够的灵活性,以便使系统能在用途改变或容量变更时,只需稍加改动或简单地叠加一些设备就可运用。远动系统还应在使用维护方便和成本低廉方面有所要求,逻辑设计尽可能地单纯化,做到简化系统,使用户在操作上易于掌握和便于日常维护,这对降低成本和提高系统可靠性也将大有好处。

第二章 运动信息的信道编译码

抗干扰编码是采用可靠、有效的编码以发现或纠正数字信号在传输过程中由于噪声干扰而造成的错误。

2.1 抗干扰编码的基本原理

通信线路是运动系统的重要组成部分。由于通信线路中存在各种干扰,使运动信号由发送端经过通道到达接收端,就会因受到干扰产生差错。例如发送的信息序列是 100,而收到的却是 101。其中第一个码元因干扰而由“0”错成“1”,这就造成了差错,从而降低运动信息的可靠性。

为了使要传送的信息有较好的抗干扰能力,一般在信息进入通信线路之前,对信息变换其形式,使其内部结构具有一定的规律性和相关性。即使信息在信道传输中受到干扰发生错误时,也可根据其原有的内在规律性和相关性,发现甚至能够纠正错误,达到恢复原来信息的目的。这就是信道编码的基本思想。

信道编码也称抗干扰编码。一般方法是将被信息序列,按照一定规律,加上一定数量的多余码元,即监督元,由信息序列和监督元构成一个有抗干扰能力的码字。添加监督元的规则不同,就形成了不同的编码方法,从而得到不同的抗干扰码。

2.1.1 数字传输系统的模型

图 2-1 中信源泛指要传送的各种参数、状态和命令。以供水系统为例,信源可以是水泵、加压泵的启停状态,可以是水位、水压和流量的大小等的数值。信源的输出或是连续变化的模拟信号,或是离散的数字信号。

信源编码器将各种形式的信源,经传感器(电量传感器一般称为变送器)、模数转换电路或其它各种编码电路变成离散

的代码。信源编码器输出二进制序列 m ,序列中的每一位“0”或“1”称为一位码元。对信源编码有两点要求:一是使代表信源 s 的码元数尽可能少;二是要能够从信息序列 m 中重现原来

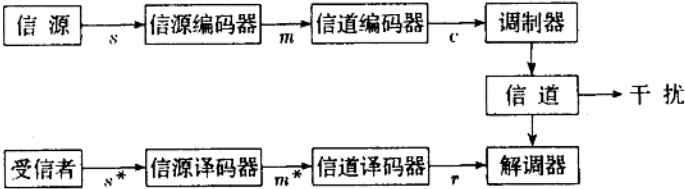


图 2-1 数字通信模型

的信源 s 。以信源是八个状态为例,如果信源编码采用三位二进制信息序列,则 000,001,010,

011, 100, 101, 110, 111 可分别代表信源的八种状态, 其二进制数的位数最少, 且能重现原来的八种状态。若采用二位或四位二进制数, 就不能同时满足上述两点要求, 故信源编码又称有效性编码。

信道编码器的作用是根据一定规则, 在信息序列中添加一些多余的码元, 将信息序列变成较原来长的二进制信息序列 C (称为码字), 使它具有一定检测和纠正传输中产生差错的能力, 即抗干扰能力。

调制器的作用是将二进制信息序列 C , 变换成适合于在信道中进行长距离传输的信号波形。在远动装置中, 一般采用数字调频或数字调相的方法, 将信息序列 C 中的每个码元“0”或“1”变成不同的两种载波频率或两种载波相位。

信道是传输信号的媒质。信道有多种类型, 传输远动信号可以利用有线通道(普通电缆或低电容对称电缆、同轴电缆)、无线通道(散射、微波中继)等。

信道中存在着各种类型的干扰, 它们在电路中造成的影响, 称为噪声。远动系统中的噪声由雷、电、电弧、电火花、无线电台频率干扰、多路能信的路际干扰等所引起。任何远动系统环境中, 干扰是永远存在的。由干扰引起的信息序列的错误有两种形式: 一种是随机错误, 即信息序列中前后发生的错误彼此无关, 是随机独立的。产生这种错误的信道称为随机信道或无记忆信道。另一种错误是突发性的, 即一个错误的出现往往影响后面的错误出现, 错误之间不是彼此独立, 而是相互有关。例如, 信道中原传送的信息序列为 00000000……, 由于干扰而变为 10011010……。这种错误称为突发错误, 第一个错误和最后一个错误之间长度称为突发长度 b 。上例中的突发长度 $b=7$ 。产生这种错误的信道称为突发通道或有记忆信道。一个实际的信道所产生的错误往往既有随机的, 也有突发的, 只是有的信道以某一种错误形式为主而已。随机和突发错误并存的信道称为复合信道。对信道产生的实际错误形式进行统计分析, 掌握其错误分布规律, 这对于设计信道编码无疑是十分重要的。

解调器把从信道接收到的信号, 根据调制器调制的方法进行反变换, 将它还原成信息序列。解调器输出的信息序列 R 称为接收序列(或接收码字)。如果发送码字 C 在信道中受到干扰, 它和对应接收码字 R 将不相同。

信道译码器根据接收的码字 R 及信道编码规则, 检查或纠正接收码字 R 中的错误码元, 产生出发送码字 C 的估值 C' , 并从 C' 中还原出信息序列 m 的估值 m' 。

信源译码器根据信源编码规则, 变接收信息序列 m' 为原信源输出 S 的估值 S' , 并送给显示系统或执行对象。

从图 2—1 不难理解, 对数字式远动装置的发送端应包括信源、信源编码器、信道编码器和调制器, 接收端应包括解调器、信道译码器、信源译码器和受信者。

提高信息传输可靠性的措施之一, 是设计出性能良好的信道编码器和译码器。信道编、译码器的设计, 应根据信道实际存在的干扰类型, 使得编出的码字可以尽快地在有噪声的信道上传输, 即提高传输率。同时又能满足在传输率一定的条件下, 使错误概率尽量小。也就是使码字的抗干扰能力强, 在接收端能正确地再现信息序列 m 。

从数字传输系统模型可以看出: 信息传输的可靠性直接受信道干扰的影响, 克服信道干扰的措施是对信息序列进行抗干扰编码即信道编码。

抗干扰编码的基本原理就是如上所述, 在表示信息的数字信号中, 按一定规则附加一些不含有信息的多余码元, 以便能发现或纠正信号在传输过程中产生的错误。若表示信息的数字信

号由 k 个码元组成,称这 k 个码元为信息元。按照一定规则附加的 r 个不含有信息的码元称为监督元,而 $n=k+r$ 个码元组成的信息序列共有 2^n 种可能组合。这些组合称为组。只采用其中 k 个信息位组成 2^k 个组,称为许用码组,简称码字。而剩下的 (2^n-2^k) 个不被采用,称为禁用码组。由信息元变换为码字的过程称为抗干扰编码。

具有一定检测错误或纠正错误能力的码,统称为抗干扰码。其中只能检错的,称为检错码;不仅能检错而且能纠错的,则称为纠错码。抗干扰码还可以根据监督元与信息元不同关系,分为线性码与非线性码。如果信息元与监督元之间的关系是线性关系,则称为线性码,否则称为非线性码。

根据对信息元处理方法的不同,可分为分组码与卷积码。分组码中的每一个码字的监督元只与本码字的信息元发生关系,而与别的码字无关。卷积码的监督元不仅与本码字的信息元有关,而且与前面若干码字的信息元也有关,这就使前后几个码组相互发生了关联。因本书篇幅所限,卷积码在本书内不再讲述。

在分组码中,根据码的构造特点不同,还可分为循环码和非循环码。任一码字的每次循环移位,得到的是另一个码字,称为循环码;无上述关系的,称为非循环码。

2.1.2 最大似然译码

发送端的信道编码器给信息添上了监督元后就向信道发送码字。由于信道中存在着干扰,所以在到达接收端时可能已不再是原来的面貌了。接收端收到的码字 R ,它实际上是码字与干扰的混合物。信源译码器的任务就是要从收到的码字来判断它可能是 2^k 个码字中的哪一个,尽量还其本来面目。如果信道没有干扰,则其解是唯一的。如果信道有干扰,则可能的解就不是唯一的,但可根据干扰的性质按照统计的方法进行判断。通常采取所谓“最大似然译码”法,就是说,看收到的字最像哪个码字,就把它译成这个码字。

最大似然译码法主要是认为在收到的字中,错 M 位的可能性比错 N 位($M < N$)要大。设对称二进制信道中,码元错误的概率为 p ,正确的概率就是 $q=1-p$ 。因此 n 长码组被正确接收的概率为 q^n 。在 n 长的码组中指定某一码位出错的概率为 $p \cdot q^{n-1}$ 。一个收到的 n 长码组与发送的 n 长码组在指定 i 位上不同的概率为 $p^i \cdot q^{n-i}$ 。通常 $q > p$,因此收到的字,没有错误的可能性大于其它的可能性,而出现一个错误的可能性大于出现两个错误或更多个错误的可能性,如此等等。而我们假定所有 2^k 个码字是以相同的可能性发送,即以相同的概率发送码字中的任一个,因此就把收到的字译成与它最像的码字。

例 设有两个消息:开关跳闸和合闸。如以“0”表示合闸,以“1”表示跳闸,则只要一位信息元 $k=1$ 就可以了。为了提高抗干扰能力,增添了两个监督元, $r=2$,编成 $(3,1)$ 分组码(后面我们将讲述到)。设两个监督元都是信息元的重复,发送的码字就是 000 和 111 分别表示合闸和分闸。 $n=3$ 的序列共可有 $2^3=8$ 种组合。除了两个许用码组 000 和 111 之外,其余的六种:001,010,011,100,101 和 110 就是禁用码组了。

接收端收到的字可能是这八种组合中的任一个。例如收到的是 101,把它译成哪个码字呢?如果发送端发送各个码字的概率相同,信道是二进制对称信道,则按最大似然译码法,就把 101 译成 111,因为 101 和 111 最像,而 101 与 000 就不太像。这个例子中码字 000 与 111 之间对应位码元都不相同。在传送中如果错了一位是可以把错误纠正过来的。但如果错了两位,那就不行了。判断两个码组像与不像用什么标准来衡量呢?下面我们就来讨论这个问题。

2.1.3 最小距离与码的检纠错能力

最大似然译码法就是判断接收码字与发端可能发送的所有码字中,哪个码字最相似。这种判断除了用计算条件概率的方法外,用码距的大小进行判断更简便。

两个码元位数相同的码字之间,对应码位上不相同码元的数目,称为这两个码字之间的汉明距离,简称码距。

一般,对于给定的两个码字 $v = (v_{n-1}, v_{n-2}, \dots, v_0)$ 和 $u = (u_{n-1}, u_{n-2}, \dots, u_0)$, 其中 v_i, u_i 取二进制 0 或 1, 则它们之间的汉明距离为

$$d(v, u) = \sum_{i=0}^{n-1} (v_i \oplus u_i) \quad (2-1)$$

在一种码的所有码字集合中,任意两码字间的码距并非都相等。我们把所有可能的码字对之间码距的最小值,称为这个码字集合的最小距离,记为 $d_{\min}$ 。

编码理论中另一个重要参数是码字的汉明重量,简称重量。它定义为码字中非零码元的个数,用 W 表示。在二进制情况下,它就是码字中 1 码元的个数。若码字 $C = (C_{n-1}, C_{n-2}, \dots, C_0)$, 则其重量为

$$W(C) = \sum_{i=0}^{n-1} C_i \quad (2-2)$$

在一个线性码中,任意两个码字 v 和 u 相加,得到的码字 $v+u$ 一定在该线性码中。当 v 和 u 中对应位上的码元不同时,在 $v+u$ 的码字中对应位上的码元是“1”,否则为“0”。由此可得出等式

$$d(v, u) = W(v+u) \quad (2-3)$$

该式说明:一个线性码中,任意两个码字之间的汉明距离正好等于这两个码字相加所得到的另一个码字的汉明重量。

假设一个线性码的所有码字中,某两个码字之间的距离最小,则它们之间的码距可以代表该线性码的最小距离。同时,这两个码字的和一定为该线性码中的另一码字,且这个码字的重量一定最小。因此,一个线性码的最小距离等于它的非零码字的最小重量。

根据码距的定义,可知两码字的码距愈小愈相似。所以最大似然译码也可用计算码距的办法来实现:计算接收码字与可能发来的所有发送码字之间的码距,与哪个发送码字的码距最小,则判断接收码字为这个发送码字。

一种码的最小距离是衡量这种码抗干扰能力(检、纠错能力)的重要参数。对最小距离为 $d_{\min}$ 的码,它能纠正的码字中的错误个数 t 和能检出的码字中的错误个数 L 满足如下关系:

纠错能力

$$t \leq \frac{d_{\min} - 1}{2} \quad (2-4)$$

检错能力

$$L \leq d_{\min} - 1 \quad (2-5)$$

同时检错和纠错的能力

$$t + L \leq d_{\min} - 1 \quad (t \leq L) \quad (2-6)$$