

工程信号处理技术

雷继尧 何世德 王嘉琛 编著

工 程 信 号 处 理 技 术

雷继尧 何世德 王嘉琛 编著

重 庆 大 学 出 版 社

内 容 简 介

本书介绍了工程信号处理技术的基本概念及原理,列举了大量常用的现代工程信号处理方法及解决工程问题的实例。书中还提供了学习掌握本学科知识所必须的各种应用软件及实验、实践指导材料。其中绝大部分是作者多年来教学、科研工作的总结,很有实际参考价值。

本书可作为机械、交通、土建、动力、航空、冶金、力学、仪表等专业硕士研究生的教材,有关专业本科生的提高用书,或有关领域工程技术人员、专业进修班,从事工程测试与信号处理研究及教学人员的参考用书。

工 程 信 号 处 理 技 术

雷继尧 何世德 王嘉琛 编著

责任编辑 戴特力

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆印制一厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 12.5 字数: 312 千

1990年5月 第1版 1990年5月 第1次印刷

印数: 1—3,500

标准书号: ISBN 7-5624-0301-5 定价: 2.52元

TP·20



前 言

《工程信号处理技术》是现代工程专业技术人员必修的一门技术基础课。是以培养学生掌握现代测试与信号分析理论与技术,提高分析、实践能力的课程。它是适应现代工业发展需要,经过多年探索、实践而逐步形成的一门课程。它适用于机械、交通、土建、电力、航空、冶金、力学、地震、勘探、采矿、仪器仪表、生物医学等专业。实践证明,它是一门有生命力的课程,对于新型工程技术人员的培养,将会发挥重要的作用。

本书在编写中力求贯彻以下几点原则:

一、教材内容尽量适合现代工程技术发展的需要,并兼顾基础性、系统性、启发性和先进性。既能反映本门学科的基础理论和专门知识,也注意突出这一学科的新技术、新成就和新发展。让学生不仅能受到扎实全面的基础训练、加深拓宽基础理论和知识面,而且有充分的机会掌握现代测试与信号处理方法,了解本学科的动向和前沿。达到巩固基础、开阔视野、拓宽知识、启发思维的目的。

二、教学过程中充分注意理论联系实际,突出工程应用,注意能力培养。本书中安排了大量工程应用范例,学生有大量接触各种现代测试、记录、分析仪器及上机实践的机会;提供了各种基本应用软件和由此组合成新的软件的方法,并特别强调编程能力和技巧的训练。通过课堂讲授、实验教学和课外作业等各环节的密切配合、把自学能力、动手能力、分析能力的培养,有机地结合在一起。

三、在教材结构上大胆创新,并进行了大量精选、优化及浓缩工作。编著者打破传统模式,创造了一种在讲清几种基本概念、几种基础技术的原理与方法的基础上,通过揭示组合变换规律,即能导出各种现代工程信号处理技术的表述方法;并注意贯彻提纲挈领、讲透一种推及一般,把课堂讲授、课外作业、实验实践等教学环节联系起来的原則,通盘规划,合理分工,彼此配合,各有侧重,为统一的教学目标服务。这样,不仅使教材内容丰富多采,而且使篇幅大大压缩;不仅突出了重点,而且也尽可能地兼顾了一般;不仅较好地解决了教材内容多讲授学时少,以及学生中普遍存在的对某些新方法、新概念不易理解、不易掌握的困难,使他们能在较少的时间内获得尽可能多的有效信息量,而且能举一反三,根据客观需要创造出不同的信号分析处理方法。

四、重点介绍了我们在消化吸收引进技术的基础上研制的、能在国产主流微机实现的、高性能信号处理、故障诊断和振动分析系统。希望能在信号处理设备方面逐步摆脱依赖进口的局面。并依靠自己的力量,逐步研制出适合我国国情,具有我国特色的装置。

总之,这是我们对这门课程进行改革和建设的一次尝试。目的是希望向社会提供一本好教、好学、好用的《工程信号处理技术》教材。为提高这门课程的教学质量贡献力量。

本书由雷继尧教授主编，何世德、王嘉琛、王延春、丁康、李永健、吴乃决等同志参加了部分编写、软件编制、实验准备工作。

编著者感谢重庆大学测试中心全体同志的支持，感谢多年来为探索、实践、改进这门课程而共同付出辛勤劳动的同志们和研究生们。

书中引用了国内外有关专家学者的研究资料，在此一并致谢。

书中不免有所疏漏，敬请读者指正。

编 著 者

于重庆大学测试中心

目 录

第一章 概述.....	(1)
1-1 有关测试、信号及系统的几个基本概念	(1)
1-2 工程信号处理的研究对象及主要目的.....	(2)
1-3 工程信号处理的主要内容	(2)
1-4 工程信号处理系统的基本任务及组成	(3)
1-5 工程信号处理技术的主要应用	(5)
1-6 工程信号数字处理技术的发展概况	(9)
第二章 信号的拾取分类及预处理	(10)
2-1 信号的拾取	(10)
2-2 信号的分类及数据特征	(14)
2-3 工程信号的预处理	(21)
第三章 工程信号处理的基础技术	(28)
3-1 付立叶变换 (FT) 及快速付立叶变换 (FFT)	(28)
3-2 数字滤波	(43)
3-3 时序参数模型分析	(58)
第四章 工程信号处理中常见的一些分析方法	(74)
4-1 时域波形的合成与分解	(74)
4-2 时域波形的形态分析	(77)
4-3 统计分析中的振幅诊断参数	(77)
4-4 直方图分析	(79)
4-5 相关分析	(81)
4-6 用FFT对信号作谱分析.....	(84)
4-7 频率响应函数分析	(94)
4-8 相干函数分析及相干谱	(94)
4-9 循环卷积	(95)
4-10 希尔伯特变换	(96)
4-11 特征分析	(97)
4-12 AR(自回归)谱.....	(99)
4-13 倒频谱	(100)
4-14 平均响应分析	(101)
4-15 差谱分析	(102)
4-16 精化信息的时序参数模型分析	(103)
4-17 纯振幅滤波	(103)

4-18 反滤波	(105)
4-19 自适应除噪技术	(106)
4-20 频率细化或选带分析技术	(109)
4-21 声强测量	(118)
第五章 信号处理技术的工程应用实例	(121)
5-1 随机信号幅值域分析的工程应用	(121)
5-2 相关技术的工程应用举例	(124)
5-3 频谱分析的工程应用	(141)
5-4 时序分析技术的工程应用	(157)
第六章 实验、实践及课外阅读指导材料	(165)
6-1 实验指导材料	(165)
6-2 应用软件	(182)
6-3 课外必须阅读的资料	(185)
附录一 《工程信号处理技术》教学大纲	(186)
附录二 基本作业	(189)
参考文献	(191)

第一章 概 述

1-1 有关测试、信号及系统的几个基本概念

一、测试的定义及内涵

测试是人们认识客观事物的一种方法，是从客观事物中摄取有关信息的认识过程。

测试包含了测量和试验的全过程。在这一过程中，需要借助专门设备，通过合适的实验方法和必要的数据处理，由测得的信号求取所研究对象的有关信息的量值。

二、信号及其基本形式

所谓信号，是指传递某个实际系统状态或行为信息的一种物理现象或过程。它的基本表现形式是变化着的电压或电流。即使原始信号是非电的物理量，也往往把它转换为电信号以便处理。

在数学上，信号可以表示成一个或多个独立变量的函数，称为信号函数。比如：语音信号要用时间函数表示；一张平面图象要表示成二维空间变量的亮度函数等。为了方便，习惯上常用“时间”这个术语表示信号函数的独立变量，它可以是多维的，虽然在事实上它不一定是时间。

工程中碰到的信号，从其性质出发，一般都可以分为确定性的和随机性的两类。能够精确地用数学关系式来描述的信号称为确定性信号；不能精确地用数学关系式来描述，无法预测某任意时刻的精确值的信号称为随机信号，它只能用概率术语和统计平均来描述。实践中，判断信号是确定性的还是随机性的，通常以实验能否重复产生这些信号为依据。如果一个实验能够重复多次得到相同的结果（在实验误差范围之内），则一般可以认为这些信号是确定性的，否则便只能认为是随机性的了。

若从信号函数自变量和幅度的取值形式出发，用数字表示的信号函数的独立变量既可以是连续的，也可以是离散的。与时域连续信号不同，时域离散信号仅在离散时刻有定义，因此独立变量只取离散值。时域离散信号表示为数的序列。同样，作为信号函数的幅度，可以是连续的也可以是离散的。时间及幅度都连续的信号称为模拟信号；反之时间及幅度均离散的信号称为数字信号。

三、信息及其与信号的关系

信息是人类社会、自然界一切事物运动与状态的特征之一，是提供判断或决策的一种资料。信息不是物质也不是能量，只是物质和能量多种属性的表征。可以这样理解：信号是传递信息的函数，是信息的实际承运者，信息则是信号经过处理之后的有用部分。

四、信号分析及处理的含义

根据一定的理论方法并采用适当的手段和设备，对信号的特性参数进行测量、记录、显示的过程称为信号分析。信号分析是信号处理的第一步，它使我们能从外部世界获得准确的或比较准确的原始数据，从而建立起观察对象的数学模型。信号分析不损失信号本身的信息结构。

信号处理包括信号的获取、传输、存贮、转换、分析、调制、加工、增强、估计、再生、合成和应用等过程。其目的是把它们改变成在某种意义上更为希望的或易于识别的形式，以便估计信号的特征参量或削弱信号中的多余分量和增强信号中的有用分量，从中提取有用信息。可见，信号处理是包括信号分析在内的一个更大范围的过程。同时，在筛选、编辑等信号的加工中，对信号本身的信息结构会有所改变或丢失，这是与信号分析不同的地方。一般说来，不同性质的信号，其处理方法也有所不同。

五、信号处理的原理及系统

测量仪器所提供的工程信号，通常是物理量的时间历程。它隐涵事物内在规律的原始资料。但是，只有在经过一定的分析和处理之后，才能从中获取有用信息并加以利用。这一任务在实际中往往通过系统来完成，信号分析及处理的结果又反过来用于研究系统，信号与系统常常是不可分离的。

我们把系统定义为：从一个集合 x （输入或原始信号）到另一个集合 y （输出或需要的信息）的映射（有时也称变换）。可见，系统一定有输入、变换（或系统特性）和输出，并可用图 1.1 的简单形式来表示。

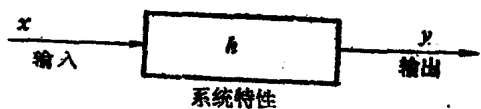


图 1.1 系统的示意框图

当需要分离以某种方式组合起来的两个或多个信号，或者需要提高信号的某个分量，或者需要估计信号的某些参量……，都可通过选择或设计适当的系统，对原始信号进行变换而实现。

若相应于信号的类型对系统进行分类，则从信号的性质出发可分为所谓的确定性系统及随机性系统两大类；从信号函数的自变量和幅度的取值形式出发，在上述两类系统中，我们又把输入、输出都是时间连续信号的系统叫做时域连续系统；输入、输出都是时间离散信号的系统叫做时域离散系统；输入、输出都是模拟信号的系统叫做模拟系统；而输入、输出都是数字信号的系统叫做数字系统。

若按系统本身的特性对系统进行分类，则可分为线性系统与非线性系统两类。在这两类系统当中，其参量不随时间而变的叫时不变系统，否则叫时变系统。由于线性时不变系统具有比例（齐次）性、叠加性、时不变性和频率保持性等特点，信号基本上都通过这类系统进行处理。

1-2 工程信号处理的研究对象及主要目的

工程信号处理的研究对象，是各种工程设备的动态检测方法及对检测结果的分析处理原理及应用技术。其主要目的是通过信息的识别、转换、传递、再生与合成，使物质与能量产生质的飞跃，转化为直接生产力，为人类服务。

1-3 工程信号处理的主要内容

工程信号处理的主要内容可概括为：

一、从处理的过程来看：它包括信号的获取、编排、检验、分类、校准、截断、存贮、转换、分析、加工、估计、再生、合成等内容。

二、从处理的目的上看：作为随机时间函数的动态工程信号来说，为了从中提取有用信息，都必须从数理统计或系统分析的角度出发，求取其在时间域、幅值域、时延域及频率域等各种域内的统计数据特征。

三、从处理的方式上看：信号处理既可通过模拟方法实现，也可通过数字方法实现。

四、从处理的模型上看：既可采用参数模型，也可采用非参数模型。

五、从该技术的基本组成上看：目前工程信号处理技术虽十分丰富多彩，但它主要还是由统计分析、付氏变换、滤波技术及时序分析等四个基本部分组成的。其它处理方法均可由它们经适当的组合变换而得到。

1-4 工程信号处理系统的基本任务及组成

一、任务

工程信号处理系统的任务是以模拟器件或电子数字计算机为工具，实现工程信号处理的各种目标。

二、基本组成及功能

工程信号处理系统，可以分为以下两类：

1. 模拟信号处理系统

图1.2给出了这类系统的原理框图。其中处理部分是靠模拟器件来实现的，系统的具体结构则取决于处理的目的。

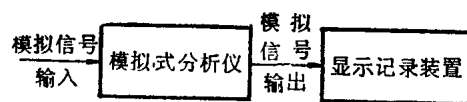


图1.2 模拟信号处理系统

2. 数字信号处理系统

数字信号处理是先把测试中获取的模拟信号，变成数字信号，然后用数字计算机进行处理，所以系统的输入是取自工程实际的模拟信号。图1.3给出了这类系统的原理框图。各部分的具体功能如下：

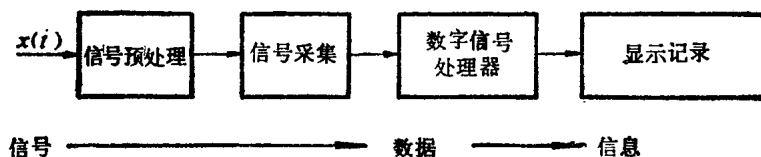


图1.3 数字信号处理系统

(1) 预处理 预处理是在数字信号处理之前，对信号用模拟方法进行的处理。目的是把信号变成适合于数字处理的形式，以减轻数字处理的困难。预处理部分主要包括以下几种设备：1)解调器。用于对远距离传输的调制信号解调；2)输入放大器或衰减器。用于对信号幅值进行调节，以适应A/D转换器的动态范围；3)抗混滤波器。保证进入处理系统的信号频谱被限制在抽样频率所允许的最高频率之内，以免产生混迭误差；4)隔直装置。隔离信号中的直流分量（如果所测信号中不应有直流分量的话）。其中后三者几乎在一切数字信号处理系统中均有，而输入放大器或衰减器、抗混滤波器则是预处理部份的关键件。

(2) 信号采集 信号采集是将预处理以后的模拟信号变为数字信号，其核心是模/数(A/D)转换器。信号处理系统的性能指标与其密切相关。围绕A/D转换器，信号采集部分

还包含以下几部分电路。1)采样保持电路。它保证在A/D转换期间保持输入信号不变。在模拟输入信号频率较高时,它对系统精度产生决定性的影响。但模拟输入信号频率不高时则可不用。2)时基信号发生器。产生定时脉冲信号,控制采样。3)触发系统。决定采样的开始点,为捕捉瞬时脉冲或进行同步平均而设。4)控制器。对多道数据采集进行控制,控制A/D转换器的工作状态。

(3) 数字信号处理器 这是整个系统的核心,它既可以用由硬件组成的数字信号处理器,也可用通用电子数字计算机,来完成该系统任务所规定的各种分析和运算。

(4) 结果显示 结果显示是为显示分析处理结果的数据、图形而设置的。一般采用CRT屏幕显示;打印机打印结果数据或图形,绘图机绘出相应的曲线等方式。

为了读数或读图的方便,在显示结果时,往往可利用移动光标定位、选点、标定参数、显示等多种辅助功能,来帮助读取结果。

总之,原始信号输入无论是模拟信号处理系统或数字信号处理系统,在进行适当的变换后,即能输出我们所希望的结果——信息。

目前,国内外已生产了许多型号的数字信号处理系统,按其数字信号处理部分的形式,可以分为两类。一类是专用的信号处理机,另一类是以通用的微计算机为主的信号处理系统。

专用的信号处理机,一般用下面三种方式之一进行工作。

其一为软件控制。根据输入的软件程序进行分析计算。这种机器理论上功能不受限制,适合于重复处理大量的实验数据。如日本“三荣测器”生产的7T08S就是这种类型的产品。

其二为硬件控制。这种机器处理速度较快,但功能比较单一,只能作几种规定的分析处理工作。如丹麦“B&K”公司生产的2031等。

其三为软、硬结合控制。这种机器功能全面,处理速度快,既有专用程序,又可自编程序,使用方便,但操作较复杂,价格较昂贵。如美国“HP”公司生产的5451C就属此类。

以通用微计算机为主,配上部分外设组成信号处理系统,是近年发展起来的一种信号处理系统。系统中的微计算机既可作信号处理、又可作一般科学计算,提高了微计算机的利用率。对信号的分析处理程序可以自行编写,处理功能不受限制,但处理速度较慢。国内许多单位已研制出这种系统及软件。

三、信号、数据、信息的再理解

通过以上分析可见,信号处理的过程就是信号→(数据)→信息的全过程(→表示变换,下同)。关于信号、数据及信息的关系还可总结如下:

信号:客体反映出来的基本事实的表征,随时间或其它因素而变。

数据:信号的记录值,信号处理以后的基本事实。

信息:数据处理以后借以用作决策的有用的基本事实或数据。

四、两种处理方式的简单比较

信号的模拟分析是从被分析信号 $x(t)$ 的图解表示出发而进行的,是出现最早的信号分析仪器,为信号分析处理技术的产生和发展立下了汗马功劳。但由于信号的模拟式分析有很多缺点,如精度低、速度慢、适应性差以及需要的辅助设备多等等,故近年来已逐渐被数字式分析处理所代替。

信号的数字处理则有许多优点,其中最重要的是。

1. 高度的灵活性

(1) 用数字或符号表示的信号波形可以被看成是一个任意时基的序列，甚至可以是倒置时间的序列。因而能够实现时间扩张或压缩，便于对信号数据进行重排和缓存，使系统具有多工处理和时分复用能力，更好地发挥设备效能，降低成本和缩小体积。

(2) 可以灵活地改变系统的参量和工作方式，以满足系统多功能和自适应化的需要。这使它不但能对付各种复杂任务和环境所提出的要求，而且还可利用它来对模拟信号处理系统进行仿真试验，预先估价系统的质量指标，使系统达到最佳性能和最大经济效果，节省科研成本和缩短研制周期。

2. 极好的重现性、可靠性和稳定性

由于数字信号处理系统是由少数类型的标准器件所构成，宜于采用性能可靠一致的大规模集成电路，而且系统的工作完全由高稳定性的时钟控制。这就使它有完善的重现性以及高度的稳定性和可靠性。

3. 高精度、高分辨率和大动态范围

在这样的系统中，只要有足够的字长位数和存贮容量，就能实现高精度、高分辨率和大动态范围的信号处理。它所能达到的准确度和分辨率，对模拟处理系统来说简直是不可想象的。

4. 具有直接的可实现性

数字信号处理算法具有直接的可实现性。它不仅能实现模拟处理的大部分功能，而且还能实现模拟硬件所无法实现的信号变换。如沃尔什、勒让德、贝塞尔等正交变换。一些用来分析连续信号和系统的理论工具，在数字系统中都已成为实现信号处理的实际手段。

5. 为设备的智能化和成果共享提供了条件

利用数字系统，可以模拟专家。赋予设备以比较、学习、判断、推理、适应、修正、扩充和决策功能，促进设备智能化。其软件成果极易转移和实现共享。这对代替高级人才以及促进高技术的应用推广，具有重大意义。

6. 是培养和形成“现代人”、“现代社会”的基本要素之一

工程信号数字处理技术，建立在许多现代科学方法论，如信息论、系统论、离散论、智能论、控制论、对应论、优化论、模糊论的基础之上，是各种现代方法多元性、整体性、交叉性、定量性的综合和升华。20世纪人类思潮的特点是：从绝对走向相对；从一面（单义）性走向多面（多义）性；从实在走向模糊；从因果（决定）性走向偶然（概率）性；从确定性走向不确定性；从可逆性走向不可逆性；从封闭性走向开放性；从个体性走向系统性；从定域论走向场论；从空间性走向时间性。工程信号数字处理技术的推广应用，将促进这一思潮的深化和发展，是培养和形成“现代人”、“现代社会”的基本要素。

由于数字信号处理技术已在现实中形成取代模拟信号处理技术的绝对优势，所以本书以后章节，只重点讨论与数字信号处理有关的各种问题。

1-5 工程信号处理技术的主要应用

一、频谱分析

频谱分析是信号分析中最常用的方法之一，其实质是将信号从时域变换到频率域中去，以研究其频率成分和频率结构。频谱分析可用于：

1. 研究生物及物理系统的共振特性

由于许多生物和物理系统只对有限的频率范围响应。因此，在研究它们受到外力激励的运动时，可以限于这个频率范围，从而使问题得到简化。

2. 作线性系统及结构动力分析

线性系统的响应计算可归纳为频域内简单的乘法运算。一定频率的输入只能产生相同频率的输出，因此利用频谱分析可以对每一个频率分别地进行处理，而不必考虑在其它频率上所发生的情况。

当代结构动力学的主要课题有三：即

(1) 响应预估：已知激励及系统特性，研究响应。

(2) 系统辨识：已知激励及响应，研究系统特性（即建立系统的数学模型，若系统的数学模型已知，则问题变为参数识别）。

(3) 载荷识别：已知系统的特性和响应，研究激励。

三大课题可以在时域内解决，也可以在变换域（实频域或复频域）内解决。但由于在变换域——频域内解决，可以将微积分运算转化为乘或除以某个算子的运算，将求解微分方程的问题转化为求解代数方程的问题，将卷积积分转化为普通乘法，将多度耦合的复杂系统转化为单度独立的简单系统的叠加来处理，故在解决工程实际问题中获得了广泛的应用。

3. 用作状态监视、模仿、诊断和侦破的手段

信号的频谱分析往往可以在设备运行状态监视、模仿、诊断和公安侦破中加以利用。例如：对于特定机器的噪声谱，除可由它了解机器运转是否正常外，还能寻找其来源；对于特定的旋转部件振动谱，也可以用于工作情况的判断及寻找产生的原因；掌握机器的载荷谱才能合理设计机器；掌握指纹谱可准确侦破案件；研究脸谱可找出那些是一家人；了解云谱可以进行天气预报；根据人体头发中化学成分的谱可以诊断疾病；了解文字谱可鉴别文章的作者；掌握了“欢快”、“悲哀”、“雄壮”等各种乐曲的谱，就能模仿创作出左右人们感情的音乐。

4. 用作设备性能评价和样机对比

由于设备状态信号的频率特征能充分体现设备整体的动态性能，所以设备状态信号的频率分析可作为设备整体性能评价和样机对比的理想手段。

二、系统模拟或仿真

系统模拟或仿真的含意是用计算机模拟系统的动态特性。过去，当从事某项系统的研究时，往往要经过方案探讨、理论计算、部件试验、单机调试及系统试验等一系列过程。在这一整个过程中，要投入大量的人力、财力和物力。试制的样机种类繁多，往往因元器件质量不好与工艺过程差而达不到预期的性能指标。在各类样机尚未完成之前，系统实验根本无法进行。因此，整个大系统的性能也无法事先估计。现在采用数字处理方法，把整个大系统中各部件、环节用数学模型比较正确的描述出来，然后在计算机上进行系统模拟或仿真。这不但节省人力、物力，而且大大缩短研究周期。在计算机上还可同时对几种方案进行比较，选出最为优秀的方案付诸实验试制，这是现代研究不可缺少的环节。

三、相关分析

相关分析其实质是在时延域中考察两个信号之间的相似性。它包含自相关和互相关两个内容。自相关函数提供的仅是整个时间历程自身所共有的成分及大小，但丢失了相位方面的

信息；互相关函数则能反映两个信号中所共有的频率成分，能完整地保留相位方面的信息。除此之外，它们都有增强其较大共有成分、抑制较小共有成分、清除非共有成分的能力。

利用相关技术，可以对机械振动进行分析，找出振动的谱特性以便进行减振防振；在声学里，可以利用相关技术进行各种声学测量，例如测定材料的吸音系数、混响的测量以及压低风噪声的影响以提高野外测量的信噪比等等；在电子学里，可以利用相关技术进行弱信号提取、或者进行噪声过滤、也可帮助识别信号类型；在自动控制里，利用相关技术可进行系统辨识或者测量被调对象的动态特性等等；相关技术还可用于速度测量，在速度测量方面，相关测速具有显著的优点。例如汽车在雪地里行驶，由于车轮打滑而使一般的测速法变得很不准确。相关测速就可以与打滑无关。同样地，在船舶和飞机的速度测量方面，相关测速可以基本上不受水流速度和气流速度的影响；相关方法处理地震资料，是地震学中的一个有效方法。对地震资料进行相关处理及分析，可以发现和识别地下核爆炸，确定振源位置；在地质勘探资源考查方面，用人工方法产生地震波，对地震波进行相关分析就可获得有关地质结构和地下矿藏的信息；自然，相关方法还能用于侦破、诊断等领域。总之，随着科学技术的日益发展，目前各个技术领域的工作人员都在设法应用相关技术去解决一些实际问题。

四、数据压缩与扩展

根据频-时域变换的时间展缩性质，频率标尺的扩展（或压缩）对应时间标尺的压缩（或扩展），从而可以通过改变一个标尺来达到压缩或扩展另一标尺的目的。

为了说明“时间压缩”的原理，我们设想用一个磁带记录仪记录振动信号，然后再把它记录的信号重放并送到带通滤波器进行频率分析。设记录时磁带带速为 v ，重放时加速到 nv （ n 为正整数）。这样，原来 $1s$ 的时间，在重放时被“压缩”为 $\frac{1}{n}s$ 。原来振动信号频率为 f 的分量，在重放的信号中其频率变为 nf 。从这里可以看出，要实现“时间压缩”除了必须有一个信号贮存器之外，还必须以不同的速度“存入”和“取出”信号。运用数字技术能够很容易地实现这种过程。

经过“时间压缩”之后的信号，可以大大节省分析时间而又不降低分析的频率分辨能力（可用滤波器带宽和中心频率之比来表达）。现假设我们使用 $1/3$ 倍频程的带通滤波器来分析，在记录仪以同样速度记录和重放的情况下，分析频率为 $1000Hz$ 的分量，所用的滤波器的中心频率相应是 $1000Hz$ 。如果重放带速加速到 nv ，在重放信号中所要分析的振动分量的频率已变成 $n \times 1000Hz$ 。所用滤波器的中心频率必须相应改为 $n \times 1000Hz$ 。在同等频率分辨能力的情况下，这样的滤波器的带宽也相应加宽 n 倍。由于响应上升时间（也是决定信号分析快慢的时间）和带宽的乘积等于常数，所以所需的响应上升时间就减少到原来的 $\frac{1}{n}$ 。这就是说，采用“时间压缩”后的信号来进行分析，完成分析的时间也按同等程度被缩短了，大大加速了整个分析的过程。

时间压缩式分析原理的采用，大大改进了工程技术中的动态分析工作。利用它可以对稳态的和瞬态的工程信号作在线、实时分析，可以研究频谱的时间历程，现已成为动态分析不可缺少的工具。

五、信息提取与识别

信号中包含着实际系统运动或状态的大量信息，但对于不同的问题，它们的有用程度并

不一样，如何把所需要的那一部分分离出来，这就是信息提取与识别的任务。

信息提取与识别是数据压缩的进一步应用。让信号在进行提取和识别之前均先经过压缩处理（以保证处理的实时性），从压缩后的信号中提取信息特征，再经比较、判断、识别出所需的信息。图1.4给出这一过程的示意框图。

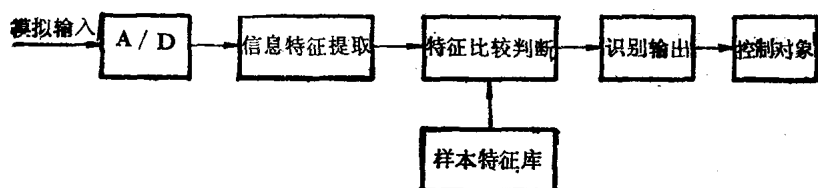


图1.4 信息提取和识别框图

信息提取与识别技术目前在语音、印刷字符、指纹与图形识别方面已取得相当成果。利用其中的图形识别方法，可实现工厂产品的自动分选，国防方面的机型、舰型识别及各种预警和诊断。

六、预报及控制

工程信号处理的主要目的之一就在于分析已有的有序观测数据的相互关系；了解其发展趋向并进行预测或者预报。事实上为什么人们要根据系统的观测数据对系统进行分析，其主要原因是为了能够预测、预报或外推出系统在未来时刻的特性，而对系统特性的处理或控制也必须根据预测，所以预测是控制的关键，预测的进一步发展就是预测控制。

工程信号分析中的数字滤波技术及时序参数模型分析技术，都是行之有效的预报技术，它们在天文、气象、地震、服务、灾情、医疗卫生、国防、机械、化工等领域中获得了广泛的应用。

七、促进设计方法的现代化

这里的所谓“设计”不单指工程设计，实际上是指研究问题和寻求解决问题的最佳方案的过程，是把各种先进技术成果转化为生产力的一种手段与活动。古往今来，人们所创造的物质财富和精神文明，无一不与设计息息相关。无论是管理与体制、计划与组织，还是机械与仪器、建筑与艺术、工艺与生产、生物与医学等等，首先遇到的就是设计问题。由于设计思想不正确，设计方法不科学而造成对生产、生活各方面的损失是无法用数字来统计的。因此，必须在批判地继承传统设计方法的基础上，探索并发展符合客观实际的现代设计方法。

随着设计对象的多维化、高速化、复杂化、精确化、设计的难度越来越高，市场竞争又要求设计周期必须缩短，设计效率必须提高。传统的设计方法，即随意的、静态的、感性的、经验的、手工的方法，既无法满足上述客观需要又反映不了当代的科技水平。近年来国内有人提出现代设计必须将信息论、系统论、离散论、控制论、智能论、对应论、寿命论、优化论、模糊论、突变论、艺术论等视野广阔的十一大科学方法论加以综合运用。这样，才能获得新颖的、优秀的设计成果，提高设计水平。

能否这样认为：设计的起点是设计原始参数的分析，设计的过程是各项数据的获得，设计的归宿是科学而合理地确定所有的参数，以便构造出所设计的完整内容。利用工程信号分析处理技术，不但可以获得科学合理的数据，帮助确定切合实际的参数，而且由于工程信号处理本身就是建立在各种现代科学方法论基础上的横断科学，是这些方法论的综合运用。所

以工程信号处理技术的采用将使传统设计方法产生质的飞跃,成为必然的、理性的、科学的、动态的与计算机化的现代设计方法。

1-6 工程信号数字处理技术的发展概况

工程信号数字处理,是在近三十年来,才在十六世纪的经典数值分析技术基础上,迅速发展起来的新兴学科。

一、工程信号数字处理技术的发展简史

作为一门现代学科——工程信号处理技术的发展,主要依赖于下列三个因素。

第一、40年代末期Z变换理论作为一种现代化数学工具引入电子工程领域,人们对于用离散序列表示波形的理论,以及在时域和频域内修正波形的理论有了更为深刻的理解。在此基础上,逐步确立并完善了关于数字信号处理的一整套自成体系的理论——理论基础。

第二、50年代电子计算机的出现及其后由于大规模集成电路技术的迅速提高,促进了计算机、微处理机及高速数字电路的发展,并且其成本大幅度降低——物质基础。

第三、60年代开始提出了若干高效信号处理算法,其中最主要的是出现了一批高效的数字滤波算法和数字相关与谱分析算法。尤其重要的是,这一时期中提出的快速付立叶变换算法,它对工程信号数字处理技术的发展,产生了极为深刻的影响——技术基础。

二、工程信号数字处理技术的发展方向

目前,工程信号数字处理技术的发展目标是:

- (1) 提高实时在线分析能力。
- (2) 提高分辨能力和分析精度。
- (3) 扩大应用范围。
- (4) 扩大和发展新的处理方法和专用功能。
- (5) 专用机结构小型化,性能标准化,并降低成本。

如前所述,工程信号处理技术的应用已渗入到国民经济和科学技术的各个领域,并且正以惊人的速度向纵深高级的方向发展。根据估计,这种趋势还要持续一个较长时期,未来的发展可能会比过去的进程更为激动人心,必将引起某些应用领域的飞跃性转折。

工程信号处理技术能取得这样大好的发展形势其实并非偶然。不少科学家认为,有史以来科学技术对人类社会有四次冲击。即火的发明、农业技术、工业革命和信息技术。今天从科学技术发展阶段看,人类社会正面临信息技术的冲击,并将步入高度发展的信息自动化时代。过去,人类在同自然斗争中延长手脚增强力量,即发展机械、材料、能量科学成为首当其冲的要求。随着科学社会的发展,发展信息科学延长感官、神经和头脑功能的需要就势所必至。现代社会中,管理或设计信息越差,作出决策离实际情况距离越远。造成的损失也就越大。科学技术的发展速度也取决于对信息的提取和运用程度。因此,以电子计算机为核心信息处理自动化革命,被认为比蒸汽机、电力、原子能这些能源动力革命对人类社会所造成的影响还更为广泛、深刻。

显然,今天发展作为信息处理基础的工程信号处理技术,已不再只是一个单纯的学术问题,同时也是一个使我国国民经济、科学技术早日腾飞的带有战略意义的重大策略问题。

第二章 信号的拾取分类及预处理

2-1 信号的拾取

一、工程信号处理对信号拾取的要求

已经指出,信号是传递实际系统状态或行为信息的一种物理现象或过程,它隐涵事物内在规律的原始资料。信号处理的目的是把它们改变成在某种意义上更为希望的形式,削弱其多余分量,增强其有用分量,从中提取有用信息供计划决策之用。不过在工程信号的拾取过程中,往往会因测量系统的性能不佳、测试方法不当、外界环境影响而使信号产生畸变。显然,如果误用这种已经产生严重畸变信号的处理结果作为计划和决策的依据,势必造成极其严重的后果。为了确保处理结果的有效性,工程信号处理对信号拾取的第一条要求就是“保真”。

实际系统的类型千差万别,表征不同系统状态或行为的物理参量也各式各样。从方便处理的目标出发,工程信号处理对信号拾取的第二条要求就是“以模拟电压信号为最终形式”。

二、工程信号处理中的信号拾取系统

1. 信号拾取系统的构成

工程信号处理中的信号拾取系统,由测量系统和记录装置两部分构成。测量系统中又包含传感器和二次仪表两部分。传感器将各种非电量转换为电信号,二次仪表将来自传感器的电信号进一步放大变换以推动后续设备可靠地工作。图2.1给出信号拾取系统在离线处理时的构成情况。当进行在线处理时,信号处理系统将取代记录装置的位置。

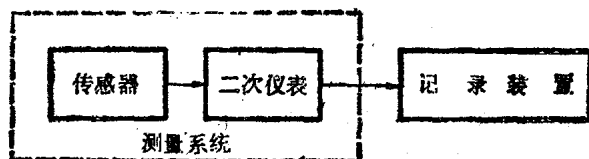


图2.1 信号拾取系统的构成

2. 对测量系统的要求

在构造测量系统时,除必须满足工程信号处理对信号拾取提出的“保真”和“以模拟电压信号为最终形式”两条原则外,

还必须考虑工程实际的某些特殊需要。按此,不难列出对测量系统的基本要求如下:

(1) 采用电测方法 把各种非电量变成电量后,不仅便于测量、传输而且便于记录存储、分析处理。

(2) 在感兴趣频带内有良好的频响特性 频响特性包括幅频特性和相频特性两种。在感兴趣频带内有良好的频响特性意味着:在我们企图考察的最高频率以下的频率范围中,测量系统的幅频特性平直(或等于常数),相频特性为零或具有线性相移。因为前者是保证测试系统输出的电信号能真实反映输入的非电量大小(成比例),后者是保证在具有多种频率成分的条件下测量系统的输出端能复现输入波形的必要条件。

(3) 有足够的动态范围和灵敏度 工程信号的瞬时幅值忽大忽小,但均有一定的变化范围。在构成测量系统时,对于所研究的信号,要求在其变化范围内能准确地加以检测。说得更具体一点就是:保证大信号不削波,小信号有足够的感知能力。