

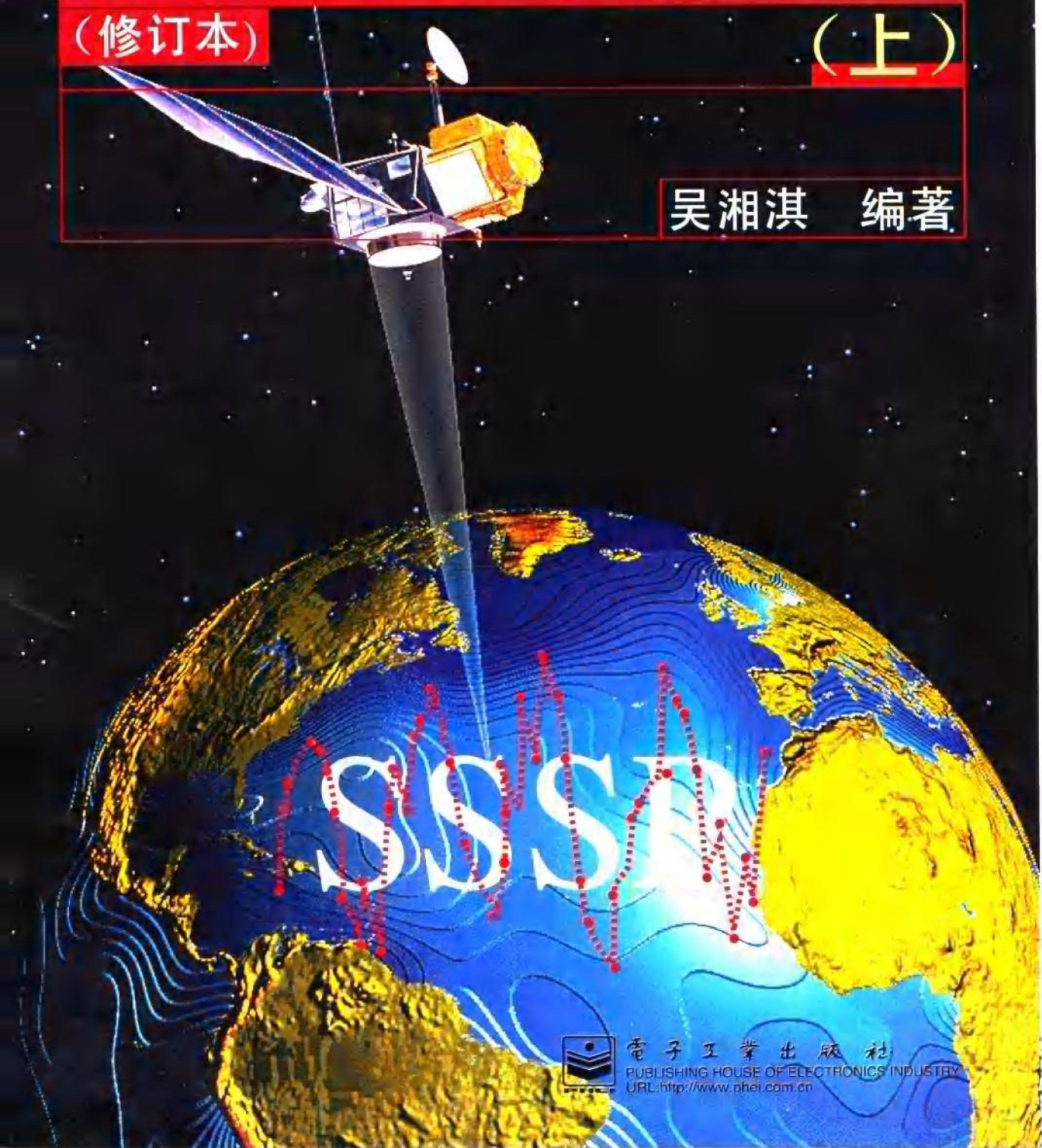
高等学校教材·信息与电子学科类

信号、系统与信号处理

(修订本)

(上)

吴湘淇 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
URL: <http://www.phei.com.cn>

修 订 版 序 言

本书是信号、系统与信号处理教学用书的第二版,是在原书体系的基础上作了部分修订,与第一版相比主要有以下几点变化:

①对已发现的原书排版上的和我们疏忽而造成的错漏进行了订正;

②结合离散时间信号的抽取与内插(取样率变化)等应用实例,进一步突出数字谱分析,以利读者理解、掌握和运用;

③结合通信系统消除码间串扰的分析,加强对系统分析方法上的指导,提高分析与综合能力;

④为了加强实践使理论方法与技术实现相结合,随着科技高速发展,较大幅度地更新数字信号处理系统的硬件实现这一章内容。以性能优良且获得广泛应用的 TMS320C54X 为典型,结合实例系统介绍开发工具的运用,为培养创新精神和独立工作能力奠定基础。

本书由于实现三个观念上的转变(即以信号分析为基础;突出时域分析与频域分析;实现物理概念、数学概念与工程概念三统一,原理、方法与应用三结合),通过理顺课程(课群)体系,把整体的教学内容、知识结构分由几个子模块构成,明确定位,突出其功能及其在全局中所处的地位。自出版以来又经过近两年紧密结合教学方法与考试方法的改革实践,同学对该课程所应具备的知识、能力和相应的素质诸方面确有明显提高,并取得诸多同行的共识和社会上的认可。这些都给予我们很大的支持和鼓励。

主干技术基础课程体系的改革,在转变教育观念的基础上,首先必须通过理顺或建立起它所属的课群的体系,然后把主干课程体系改革置于课群整个体系改革之中,而作为它的有机组成部分。根据实际情况可分设 1~3 门课,因此本书可以作为一门课来设置,也可以分设两门课。

本书下册的大部分涉及数字信号处理的内容。由于它综合应用了多学科的基础理论,因此对深化理论学习,提高实践技能都起着非常重要作用。DSP 技术是以数字化为基础的高新技术,是继计算机以后最具有影响的技术,其应用领域无所不在,所以把 DSP 作为信息电子类专业的主干教学内容是科技发展的必然,也是时代的要求。大学生要学,研究生也要学。本书除 * 号外均作为大学生的教学内容。在深、广度上由于层次不同大学生着重在基本原理的介绍,打下比较宽广的理论基础,能够应用通用的算法、掌握一定的基本技能。而研究生则侧重在算法的理解与实现,适当加深现代 DSP 内容,培养开发能力。实践表明,对少数大学生通过因材施教可望达到研究生的基本要求。

值得提出,近年来国外在信号、系统与数字信号处理教学过程较多地采用美国 Mathworks 公司开发的 MATLAB 软件作为解题与实验工具。这样做大大减少编程困难,易于理解、便于操作,如果把它们^[60,61]作为本书的补充读物则会取得更好的效果。

本书再版过程除得到第一版参与的老师 and 同志们支持和帮助外,还得到刘树棠教授热情的帮助。特别在改写 DSP 硬件实现这一章肖照同志做出了很大力和贡献,还有 TI 公司提供许多宝贵资料和帮助在此一并表示衷心感谢。

再一次感谢龚兰方总编在出版过程始终给予热情的支持和帮助。

本书再版过程由于时间紧迫未能进行全面修订,对错漏也仅就发现的作了订正,有的尚待发现和改进,诚恳希望读者批评、指正。

序 言

21 世纪将是信息时代,为了适应我国社会主义现代化建设和以信息技术为核心的高新技术迅猛发展的需要,贯彻教委《关于组织实施“高等工程教育教学内容和课程体系改革计划”的通知》,本书对原《信号与线性系统》、《数字信号处理》和《网路综合》三门课程的内容及体系进行改造与更新,形成《信号、系统与信号处理》新的课程体系,其特点主要表现在以下五个方面:

一、在体系上,以信号分析为基础,系统分析为桥梁,处理技术为手段,系统综合为目的,实现原理,方法与应用三结合。

二、在内容上离散与连续并重;分析与综合并重;经典与近代并重。

三、在分析方法上解析方法与数字方法并重;在处理技术上软件实现与硬件实现并重。把计算机辅助分析和计算机辅助设计作为基本内容;把拉普拉斯变换, Z 变换及离散傅里叶变换等作为运算工具。

四、切实加强理论联系实际。在阐述基本概念的同时,抓住概念的运用和工程概念的树立。

五、结合教学组织,在编写中注意思路、方法与发展。力求体现物理概念,数学概念与工程概念并重,讲、练、做三结合的技术基础课教学规律,适当地把专业知识融会在专业基础课程之中,奠定宽广而坚实的基础。

此外,本书还配有思考题、习题、参考程序和部分答案,以利发挥读者的主体作用。

总之,本书的特色在于根据近 20 年来电子信息学科在理论和技术上高速发展的变化规律和主干技术基础课必须通过体系改革、内容更新,建立起比较完整、科学的新课程体系,以达到“强干”目的的指导思想,理顺了体系,突出了内在联系和方法上的变革。在观念上和内容上强调信号分析与处理是为了满足信息传输与交换的需要,系统的设计是以达到某特定信号处理为目的。加强理论联系实际,适当介绍发展中的新内容,新动向。

本书共有四篇。第一篇信号分析,第二篇系统分析,第三篇信号处理与系统综合,第四篇近代信号分析与处理技术。

通过近年的改革实践,在培养能力、提高素质、减少学时等方面已取得明显效果。今后仍须进一步立足高起点优化整体知识结构,切实打下宽广而牢固的技术基础,在实施科教兴国战略方针中,不断适应时代对高等教育提出越来越高的需求。

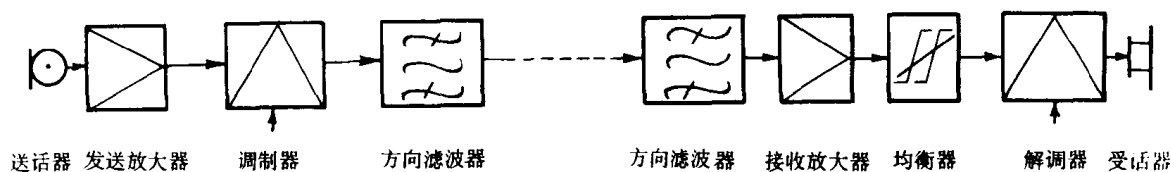
导 论

一、信号、系统与信号处理及其内在联系

生活在信息时代,信息对每个人都赋予特殊重要的意义。那么何谓信息?粗浅地说,信息就是新的知识,也就是人类对外界事物的感知。如人们通过眼、耳、鼻、舌、身等五官感受到大自然风景优美,声音动听,味道香甜,气候凉爽等等。但由于所获取的这些原始信息内容抽象,难以传递和交换。为此人们相继创造了语言、图像、文字、音乐、符号、数据、指令等等用来描绘原始信息,使之便于交换和传递。显然,这些语言、文字、图像,由于含有大量在生产斗争和科学实验中有意义的消息,因而有力地促进社会的发展和进步。所以说,信息是人类认识客观世界和改造世界的知识源泉。获取信息,传输信息和交换信息,自古至今一直是人类基本的社会活动。为了有效、可靠和迅速地传送消息,随着科学技术的不断进步,人们从远古采用烽火、击鼓、旗语发展到今天利用电报、电话、无线电广播、传真、电视、多媒体计算机等等有力工具,把消息以不同信号的形式从一个地方传递到另一个地方。

由此可见,信息是人们对客观事物感触到的新知识。消息是描述信息的一种表现形式,如文字、语音等,而信号则是运载或携带消息的任何物理量,达到迅速有效地传送和交换信息的目的。

在信息社会里,信息是一个社会概念,它与消息没有什么区别。凡是客观事物的任何运动或状态的变化都将产生信息。如经济信息,商品信息,科技信息等。因此从广义而言,信号是任何运动或状态变化的反映,如脑电信号,心电信号,振动信号,利率、股票行情等等信号。它们反映脑部血流的速度,心脏的跳动,机器的振动,银行利率、股市的涨落等运动状态。所以说,信息传输反映在信号变化之中。但从信息论的观点则认为信息是载荷消息的符号。如果接收到的符号是确定的或者说是已知的则无信息可言。否则,如果收到的符号不确定性愈大的或者说是未知的内容很多则信息愈大。所以信息一词是作为消息的度量,用来表现可能的信息量。



长途通信系统示意图

从上述可见,信息科学的发生与发展始终是如何最有效地传递信息和最可靠地交换信息为其基本任务。以有线通信为例,所谓有效性,就是利用一对传输线能够实现几百对甚至几千对人同时通话而且不受地区的限制。如果要求再高些,即既能实现人与人之间又能实现人与计算机之间信息交换,既能通话、传真又能看电视,把计算机的交互性、通信的分布性和电视的真实性融为一体。所谓可靠性,就是在传送信息过程不管路途远近,都不要出现错误和失真而且要求语音逼真、画面清晰,准确地恢复原有的信息。不难推想,这些要求如果不对反映原始信息的自然信号进行加工、变换是无法实现的。上图是一个长途通信系统的示意方块图。图中送话器首先把声音变成电信号,放大器把微弱的信号加以放大以适应必要的信号处理和远距离

传送的需要。为了实现在一对线路上同时供多人通话,调制器又对放大的语音信号的有关参数进行调制。最后,通过方向滤波器把载有信息的已调制信号传送到对方。这方向滤波器起着分开发送信号和接收信号以及抑制干扰,保证可靠通信的作用。当信号传输到对方,经方向滤波器将接收到的微弱信号先加以放大,然后通过均衡器把信号在传输过程因受各种因素的影响所造成的不同频率衰耗的不均匀性,进行均衡以减少失真,进而利用解调器把已调制信号恢复成语音信号。最后经受话器转换成语音,完成信息传输和交换的全过程。显然,从整体来看图中所构成的通信系统是为了有效和可靠地进行长途通信。但从被传输的信号来说,由于图中每个方块(单元)都要针对信号的特点和传输的要求完成特定的加工、处理,所以也是一个系统,是大系统中的一个子系统。如滤波器,它的功能就是从被干扰的信号中提取有用的信息,所以信号通过它,无用的干扰信号就要受到抑制而携带信息的有用信号就应畅通无阻。因此,系统是为了达到传输和交换信息的目的而对信号进行处理或变换的设备总称。如果这些设备系采用连续的模拟部件,则所构成的系统称为模拟通信系统。如果将语音信号通过模数转换器(A/D)变成数字信号并相应地采用数字调制解调器、数字滤波器、数字均衡器等单元,对数字信号进行加工、处理则构成的系统称为数字通信系统。由于数字系统不仅可以由硬设备来实现,也可以由软设备(软件程序)来实现。因此随着数字技术的发展,系统的概念也发生了变化。它不仅指作用于信号的物理设备(硬设备)的总称,也可以指对信号执行某些规定操作的软设备或算法的总称。换句话说,系统可以通过特定的程序实现对信号的加工处理。如数字滤波器就可以通过程序的执行,对输入数据进行特定运算,达到滤波的目的。由此可见,系统是把一个信号变换为另一个信号的设备总称,是为信号服务的,是为了处理信号使之达到某些特定的目的而设置的。所谓信号处理就是把一个信号变换为另一个信号的过程。因此人们不能脱离信号来讨论系统,也不能脱离处理功能来分析系统,这就是信号,系统与信号处理之间不可分割的内在联系。由于信号是传输和处理的对象,只有通过分析找出不同信号的特征,才能对它进行处理,为要提取特征或改变特征参数,才能有针对性地设计系统。所以信号分析是基础,系统分析是桥梁,处理技术是手段,系统综合是目的。

综上所述,信息学科的基本任务是实现可靠、有效和快速的信息传输与交换。当前从技术实现上应体现在最安全可靠,最经济有效和最大的灵活方便三方面。在信息社会里随着信息量与日俱增,信息传播范围之广、之快都是空前的。信息科学技术的发展日新月异,必然促使信号、系统与信号处理的内容也在不断迅速地更新和发展。

二、全球性新技术革命对技术基础课程的挑战

信号、系统与信号处理是信号与信息处理学科的一门主干技术基础课程。它的应用领域非常广泛,几乎遍及电类及非电类的各个工程技术学科。随着科学的进步,特别是近年来高集成度与高速数字技术的飞跃发展,新材料,新工艺和新器件的不断出现,使各技术学科领域和现代化工业的面貌发生了深刻和巨大的变化。由于重视把科技特别是高技术转化为生产力,极大地缩短更新产品的周期。据报道在发达国家微机领域每隔半年就有新机型问世。应用新技术的结果使生产效率大为提高,甚至给生产过程带来质的变化。例如,通信系统,曾几何时,人们刚从模拟通信转向数字通信,而今天已发展到卫星通信、光通信、图像通信、计算机通信、多媒体通信以至由此而构成的庞大的综合业务通信网(ISDN),近期又争先发展信息高速公路。又如计算机的发展,它不仅是生产实践、科学实践与社会实践不可缺少的工具,而且已进入人们日常工作、学习与生活各领域。今日计算机处理信息的对象,已从数据、符号发展到知识,开始

摆脱单纯作为工具和手段的地位,从作为人类听觉、四肢、视觉的延伸,向人类智力的延伸转化。由此可见,当今科技革命的特征是以信息技术为核心,促使社会由电气化时代进入信息时代,并以知识密集型产业作为主体产业。其特点是:

①在技术实现上更加集成化、数字化、自动化和智能化并竞相发展高新技术。

②在系统构成上器件化、网络化和全球化。一个复杂系统可以在一个芯片上实现,因此电路、器件与系统的界线已逐渐消失,高速、实时、通用已成为普遍要求。

③在理论上渐趋统一化。如离散系统与连续系统的分析与综合,开始时它们作为不同范畴的分支各自发展着。当从连续到离散的内在联系解决以后,它们就形成统一的理论。又如数字信号处理、模式识别与人工智能,在发展过程它们各自从不同的观点建立自己的模型,但发展到今天已经有许多科学家把它们综合起来,在建立统一的理论基础方面做出了许多贡献。

④在应用上更加广泛化。新技术发展的主要动力在于应用领域的广泛性。如谱分析和滤波(预测、估计)技术几乎是在每个工程领域都要用到。由于各领域提出越来越高的技术要求,其数据量之大,范围之广,都是空前的。这样各学科互相渗透的结果有力地促使高科技的出现。

总之,新科技革命,深化并加速人类认识客观世界和改造客观世界的进程,使之跃进入高难的层次。已经有能力掌握从一维到多维;从确定到不确定,从非实时到实时的变化规律。预测估计理论不仅在硬科学上而且在软科学领域获得广泛而有效的应用。新概念、新观点、新理论、新方法、新技术天天都在冲击着历史,这就是今天我们所面临的严峻的新科技革命挑战的形势。技术基础课程的设置是科学技术发展到一个新的阶段,在理论(原理)、方法、技能诸方面的一个综合体现。以信号、系统与信号处理为例,基于傅里叶分析基础上的纯时域和纯频域的分析方法已跃进到以小波分析为基础的时-频域分析,从而解决长期来困扰对非平稳信号分析的理论问题和许多重要的实际问题。近年来,数字方法已较解析方法在实际中广泛取得更为重要的地位。

如上所述,随着科学的进步,新技术革命的到来,必然在内容上发展到一个新水平。由于知识增长和积累的速度越来越快,而信息技术又为解决知识大爆炸与时空有限的矛盾提供有利条件,所以人们不可能,也不必要,在校期间全面地学习有关的专业知识。应该通过以传授必要的理论知识为手段,以提高能力为目的,全面提高学生的素质。这里关键的是要正确处理知识与能力;经典与近代;专业与基础;理论与实践等的辩证关系,通过理顺体系,推陈出新(包括知识结构与教学方式、方法等),打下宽广坚实基础。所谓奠定厚实的工程基础,其实质是要把基础理论、基本原理以及相应的方法与技能教活、学活,学了会用。否则只能学到一堆僵死的理论和实践技能。所以要充分发挥教师的主导作用,不然就会削弱学生的主体作用,降低教育质量。这样做既符合科学技术发展的规律又符合时代的特点。本书就是在这样的背景下,基于上述的指导思想所建立起来的新课程体系。

三、本书的特色

为了适应科学技术的发展和当今的教学规律,本书对原《信号与线性系统》及《数字信号处理》两门课的内容及体系进行改造与更新,形成《信号、系统与信号处理》新的课程体系,与国内外同类书籍相比具有以下明显的特色:

1. 在体系上从电子信息学科基本任务出发,以信号分析为基础,系统分析为桥梁,处理技术为手段,设计系统为目的,实现原理、方法与应用三结合,把系统分析与综合服从于信号交换和处理的需要。从根本上改变传统以系统分析为主,信号分析为辅,重在介绍一般原理与方法,

并把信号与系统视为电路理论的扩展与提高而与学科发展不相适应的基本观念与基本体系。

这里还必须强调指出,新体系以信号分析为基础,还由于随着数字计算技术的发展,信号分析在实际中的应用范围大大扩展,几乎所有观测的数据无论是来自科学实验,工程实际,还是经济学或社会科学,人们无需具备电子技术的知识都可以利用计算机存储和处理的能力对它进行分析。这说明信号分析不仅在电子学和通信技术中而且在近代社会学科和自然学科领域(生物医学、物理化学、天体学、地震学、机械振动、地质勘探)中的地位也愈来愈重要。

2. 在内容上离散与连续并重;分析与综合并重;经典与现代并重。重视基本理论与基本原理的阐述,加强离散信号分析与系统综合以及随机信号的分析与处理。通过对比,揭示出内在的变化规律,指出应用范围及条件。随着超大规模集成电路及高速专用器件的飞跃发展,较大幅度地加强硬件实现的内容,与此同时适当削弱对离散傅里叶变换各种基于减少乘法运算次数的传统快速算法的讨论,并大大压缩经典的时域分析方法,使重其所重,轻其所轻。为尽可能反映近年来国内外在这一学科领域的成果和动态,充分重视那些行之有效,在发展过程具有生命力的方法的介绍,以利开拓思路,提高技术水平。本书在第四篇集中讨论近代谱估计(含高阶谱分析)和自适应信号处理并把它们与线性预测、解卷积和系统辨识等内容统一起来。简要地介绍信号的时-频域分析和处在发展过程的小波(Wavelet)分析。这些内容上的更新从基本上改变了现行的以分析为主,侧重连续,不提近代的偏向。

3. 在分析方法上采取解析方法与数字方法并重;在处理技术上采用软件实现与硬件实现并重。把计算机辅助分析(CAA)和计算机辅助设计(CAD)作为基本内容;把拉普拉斯变换对、Z变换对及离散付里叶变换对作为运算工具。只要有利于简化运算,不论是时域还是频域的系统分析都可以采用。从根本上改变传统对信号与系统的分析,重在三个积分变换的偏向和对计算机应用可望而不可及的状态。

4. 切实加强理论联系实际。在阐述基本概念(物理概念、数学概念、工程概念)的同时,抓住概念的应用和工程概念的树立。如在信号分析这一篇,有效带宽的确定,频移性质在频分复用多路通信中的应用,相关分析在相关接收中的应用,取样定理在信号数字处理中的应用,以及为了减少混叠误差与泄漏误差,在工程实际中如何确定取样间隔和信号处理长度等等。有针对性地把系统分析与系统实现结合起来;软件实现与硬件实现结合起来。从理论上、技术上、经济上进行全面考虑,通过课程设计综合运用所学的知识,加强能力的培养。

5. 本书是在长期的教学实践和科学实验基础上编写的,在一定程度上反映了作者和小组同志在教学与科研上所取得的成果。

6. 本书附有部分习题解答及用C语言和TMS320C25汇编语言编写的实用软件,供上机练习、实验、课程设计和因材施教教学参考。

总之,本书的特色在于通过理顺体系,突出了内在联系和方法上的变革。在观念上和内容上强调分析与处理是为了满足信息传输与交换的需求,系统的设计是以达到某特定信号处理为目的。针对信息学科的发展,加强实用性,适当介绍发展中的新内容、新动向。改变现行一般教科书中以系统分析为基础,把信号分析与处理泛泛地作为数学变换的传统概念。从而实现原理、方法、应用三结合,使读者有可能在最短的时间内获得最大的信息量,培养了能力,这样既有利教学,提高质量;又有利科技人员,学以致用。符合高等工程教育时代的特点。

四、有关教学组织的几个问题

本书以信号分析为研究起点,通过分析找出各种信号的特征参数和频谱结构,从而为信号

处理和系统设计提供依据。本书系统地阐述了信号通过线性系统的的一般变换规律,从理论和实践上讨论了信号数字处理技术与系统设计的原理和方法。为进一步学习研究和深入掌握专用系统及其处理技术奠定坚实的基础。

1. 教学内容的组织。本书共有四篇,主要内容有:

第一篇 信号分析

本篇以傅理叶分析为基础,阐明时域与频域之间内在联系及各种不同信号(连续、离散、周期、非周期)频谱的变化规律。从理论和实际两方面比较深入地讨论了取样定理及其应用。突出如何利用DFT和有关快速算法分析各类型信号的频谱以及在工程实际中有关参数的选取。在随机信号分析这一章侧重在数字特征的描述及相关分析。

本篇从广义傅理叶变换的角度引入拉普拉斯变换和相应的Z变换,阐明双边变换与单边变换的异同及应用场合。强调它们作为简化运算的工具和在系统分析过程所起的桥梁作用。

第二篇 系统分析

本篇结合系统功能从系统观点分析信号通过线性系统的响应,即时间特性与频率响应。在方法上以拉氏变换和Z变换为主要分析工具,尽量采用数字快速算法进行卷积(相关)运算,以解决实际中对时域和频域分析的需要。重视系统函数的求解(包括实验方法)并结合系统的稳定性与可实现性阐明其功能。对状态空间的分析,通过计算机仿真重在建立基本概念和基本的分析方法。

第三篇 信号处理与系统综合

本篇以频率选择模拟滤波器与数字滤波器的设计为基础,适当介绍计算机辅助优化设计方法。通过结合通信工程、控制工程中信号波形形成,信号恢复、干扰抑制等实际例子,进一步掌握设计原理和方法。在重视软件实现的同时,系统地介绍数字硬件实现的基本原理与方法。通过实例剖析,初步掌握通用处理系统与专用实时处理系统的功能与构成,并结合课程设计进行综合训练。在功率谱估计这一章,以随机信号通过线性系统的分析为基础,重点介绍行之有效比较典型的近代和经典的分析方法。

第四篇 近代信号分析与处理技术

本篇以频率分辨率为中心,重点介绍基于信号参数模型的近代谱估计方法。以最小二乘法为基础,讨论了系统辨识、解卷积线性预测、估计和自适应信号处理之间的内在联系及在不同领域的应用。简要介绍了高阶谱分析的原理和应用,对正在发展而为国内外学者所关注的小波分析(Wavelet Analysis)也作了简单介绍以利开拓思路,深化研究,提高水平。

2. 教学方法的改革 以提高能力为中心采取新的教学模式和措施,实现从培养知识型到能力型的转化。

本书是一门基础理论和实践性都很强的课程,其教学规律是:在内容上必须物理概念、数学概念和工程概念并重;在方法上采取讲、练、做三结合。在新形势下为了实现三并重、三结合,应考虑采取以下教学模式。

① 课堂讲课内容<作业内容<考试内容(方法采用闭卷考试和读书报告相结合)。此模式有利促使精讲,多练,培养自学能力和提高分析及综合问题的能力。

② 积极创造学习环境,挤出时间加强实践环节和编程上机操作的训练。

③ 提倡并鼓励人人写读书报告并把它作为开卷考试的一种方式。读书报告是充分调动学生学习积极性的有效途径,是培养能力的好办法,既可作为实践性教学环节,又是一种考试的新方式。为充分发挥以学生为主体的作用,还必需加强对读书报告内容的引导,有计划地组织

读书报告会,通过交流,互相促进,达到共同提高的目的。

④ 组织科技小组因材施教。面对学有余力的 1/3 学生,在双向选择的基础上把学生组织起来,因人而异做好安排。要求参加科技小组的学生在班上发挥小先生的作用。

以上几点,通过近年教学实践表明,是培养能力、提高质量的有效方法,很受学生的欢迎。

3. 读者的对象及相应的教学安排

本书是通过多年来对大学生《信号与系统》、《数字信号处理》和研究生《数字信号处理技术及其应用》等课程的教学实践,以及总结近年来教学改革和新课程体系试点的基础上编写而成。因而该书适用于作为高等学校大学生的教材,也可供低年级研究生作主要教学参考书,以及从事与电子信息学科有关的广大科技人员作为自学读物。考虑到本书在个别章节中,对经典内容写得比较简练,题例略少于现行教材,为有助理解,可适当阅读有关参考书,对打“*”号的内容,研究生要学,大学生可以不学或选学。至于拉普拉斯变换与 z 变换,也可以作为数学工具分别安排在 6.2 节和 7.1 节中学习。若作为电子类专业的教材,教学时数约为 130 小时(包括上机实验与课程设计 30 小时),可分由两个学期或集中在一个学期讲授。其中第四篇的内容可根据学生的水平作适当选择;若作为非电子类专业的教材,第四篇可以不学或选学与专业关系密切的个别章节;若作为研究生的教材,则第一篇和第二篇的大部分可供复习,而把重点放在第三篇,适当加强第四篇(含实践环节),约 60 学时。

本书初稿曾蒙清华大学杨为理教授审阅,提出了许多宝贵的意见。在编写过程还得到陈后金、姚若河两位副教授和冉学文、李丰等同志的积极参与和帮助,特别是软件的编制,习题、实验以及课程设计等实践性教学环节有关内容的编写,他们都做了大量工作。在定稿过程曾得到袁保宗教授热情的帮助和鼓励。此外,校、系领导,教研室老师、研究生和参加科技小组活动的同学都给予热情的支持。我的挚友郑重先生为使本书早日出版给予了无私的帮助。在此,谨向支持和帮助本书出版工作并为之付出辛勤劳动的同事、同学表示最诚挚的感谢。由于作者学识有限,书中难免存在缺点甚至错误,敬希读者批评指正。

作者于北方交通大学

目 录

第一篇 信号分析	(1)
第一章 信号的分类与基本信号的描述	(2)
1.1 信号的分类	(2)
1.1.1 连续信号与离散信号(模拟信号与数字信号)	(3)
1.1.2 确定信号与随机信号	(4)
1.1.3 能量信号与功率信号	(5)
1.2 连续时间信号的基本运算	(6)
1.2.1 尺度变换	(6)
1.2.2 翻转	(7)
1.2.3 时移	(7)
1.2.4 相加与相乘	(9)
1.3 基本连续时间信号	(10)
1.3.1 正弦型信号	(10)
1.3.2 指数型信号	(10)
1.3.3 单位阶跃信号	(12)
1.3.4 单位冲激信号	(14)
1.4 离散时间信号的基本运算	(18)
1.4.1 离散时间信号的表示	(18)
1.4.2 离散时间信号的基本运算	(18)
1.5 基本离散时间信号	(19)
1.5.1 正弦型序列	(19)
1.5.2 复指数序列	(20)
1.5.3 单位脉冲序列	(22)
1.5.4 单位阶跃序列	(22)
小结	(23)
思考题	(23)
习题	(23)
第二章 连续时间周期信号分析	(26)
2.1 周期信号的描述	(26)
2.2 周期信号的时域分析	(27)
2.2.1 三角型傅里叶级数	(28)
2.2.2 指数型傅里叶级数	(30)
2.3 周期信号的频域分析	(33)
2.4 傅里叶级数的几个基本性质	(37)
2.4.1 线性性质	(37)
2.4.2 时移性质	(38)
2.4.3 对称性质	(40)
2.5 离散频谱与功率分配	(42)
小结	(45)

思考题	(45)
习题	(45)
第三章 连续时间非周期信号分析	(48)
3.1 非周期信号的时域分析	(48)
3.1.1 利用冲激函数表示非周期信号	(48)
3.1.2 利用阶跃函数表示非周期信号	(49)
3.1.3 非周期信号分解为偶信号与奇信号之和	(50)
3.2 非周期信号的频域分析	(51)
3.2.1 从傅里叶级数到傅里叶变换	(52)
3.2.2 频谱函数与频谱密度函数的区别	(53)
3.3 常见信号的频域分析	(57)
3.3.1 单位直流信号、符号函数信号、阶跃信号与冲激信号	(57)
3.3.2 周期信号	(59)
3.4 连续时间傅里叶变换(CTFT)的基本性质及应用	(61)
3.5 傅里叶变换的卷积性质	(72)
3.5.1 时域卷积性质	(72)
3.5.2 频域卷积性质(调制性质)	(74)
3.6 非周期信号的能量密度谱	(79)
3.7 连续时间信号的复频域分析	(82)
3.7.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	(82)
3.7.2 拉普拉斯变换的收敛域	(85)
3.7.3 拉普拉斯变换与傅里叶变换之间的关系	(86)
3.7.4 单边拉普拉斯变换与双边拉普拉斯变换	(88)
3.8 拉普拉斯变换(单边)的基本性质	(89)
3.9 拉普拉斯反变换——部分分式展开法	(94)
小结	(99)
思考题	(100)
习题	(100)
第四章 离散时间周期信号(周期序列)分析	(104)
4.1 连续信号离散化与取样定理	(104)
4.1.1 时域取样定理	(106)
4.1.2 频域取样定理	(113)
4.2 离散时间周期信号(周期序列)的时域分析(离散傅里叶级数 DFS)	(116)
4.3 离散时间周期信号的频域分析	(120)
4.3.1 离散时间周期信号与连续时间周期信号频谱之间的内在联系	(120)
4.3.2 混叠与泄漏对周期信号频谱分析的影响	(122)
4.3.3 利用离散傅里叶变换(DFT)计算周期信号的频谱	(124)
小结	(127)
思考题	(128)
习题	(131)
第五章 离散时间非周期信号(非周期序列)分析	(131)
5.1 离散时间非周期信号的频域分析——离散时间傅里叶变换(DTFT)	(131)
5.1.1 离散时间傅里叶变换(DTFT)与离散傅里叶级数(DFS) 及连续时间傅里叶变换(CTFT)之间的内在联系和区别	(134)

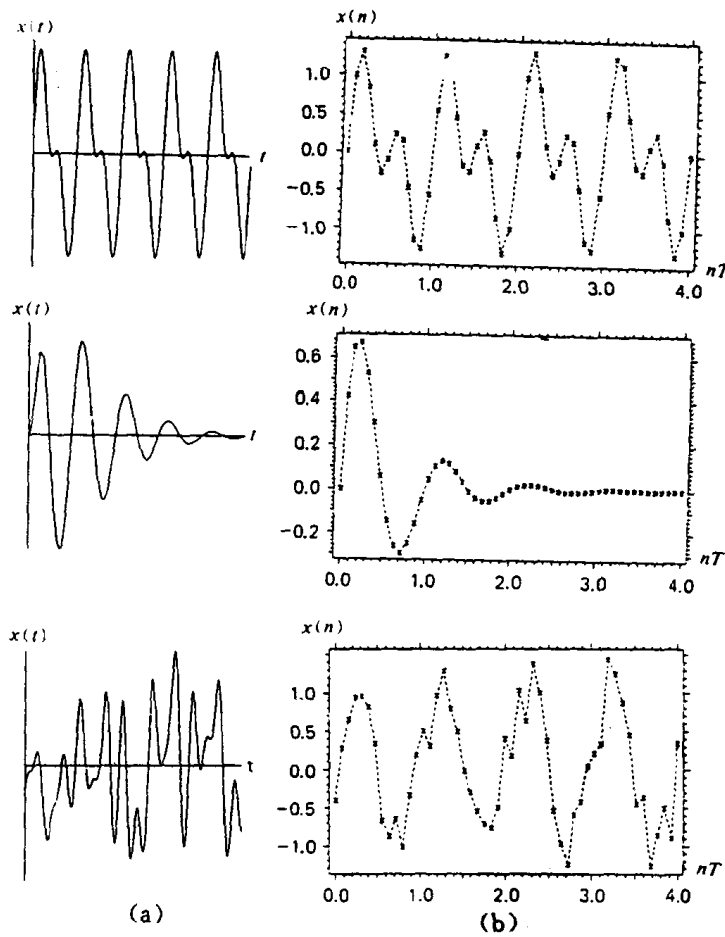
5.1.2	离散时间傅里叶变换基本性质	(135)
5.1.3	离散时间信号的取样(抽取与内插)及其频谱	(136)
5.2	离散傅里叶变换(DFT)	(143)
5.2.1	从离散时间傅里叶变换到离散傅里叶变换	(143)
5.2.2	利用DFT近似计算非周期信号的频谱	(144)
5.2.3	离散傅里叶变换的性质	(151)
5.3	离散傅里叶变换的快速算法(FFT)	(156)
5.3.1	FFT算法的基本思想	(157)
5.3.2	FFT算法的基本形式	(158)
5.3.3	FFT算法的软件实现	(170)
5.4	FFT算法的应用	(173)
5.4.1	利用FFT算法求线性卷积	(174)
5.4.2	利用FFT算法求线性相关	(176)
5.4.3	利用FFT计算长序列卷积(分段卷积)	(177)
*5.4.4	利用FFT剪枝算法进行频谱分析	(179)
5.5	离散时间信号的z域分析	(181)
5.5.1	离散时间信号(序列)的z变换和它的收敛域	(181)
5.5.2	z变换的基本性质	(185)
5.5.3	z反变换	(189)
5.5.4	序列z变换与其它变换之间的关系	(193)
5.5.5	利用z变换在z平面进行频谱分析	(196)
	小结	(197)
	思考题	(198)
	习题	(199)
第二篇 线性系统分析与应用		(201)
第六章 连续系统分析		(201)
6.1	系统及其分类	(201)
6.1.1	线性系统	(203)
6.1.2	非时变系统(移不变系统)	(205)
6.1.3	因果系统	(206)
6.1.4	稳定系统	(207)
6.2	连续系统的时域分析	(207)
6.2.1	连续系统的数学模型	(207)
6.2.2	连续系统的时域分析	(209)
6.2.3	零状态响应与s域系统函数	(211)
6.2.4	零输入响应与系统完全响应	(220)
6.3	电网路的时域分析	(223)
6.4	连续系统的频域分析	(229)
6.4.1	连续系统的频率特性——频域的系统函数	(229)
6.4.2	连续系统无失真传输条件	(232)
6.4.3	连续系统频域分析及在实际中的应用	(234)
6.5	连续系统分析与应用综述	(236)
	小结	(241)

思考题	(242)
习题	(242)
第七章 离散系统分析	(250)
7.1 离散系统的时域分析	(250)
7.1.1 离散系统数学模型的建立	(250)
7.1.2 离散系统的时域分析——直接求解(递推法)	(255)
7.1.3 离散系统的时域分析——间接求解(变换域法)	(260)
7.2 离散系统的频域分析	(264)
7.3 系统的稳定性	(269)
7.3.1 零输入响应稳定——渐近稳定	(269)
7.3.2 零状态响应稳定——BIBO 稳定	(271)
7.4 系统的可实现性	(274)
7.4.1 可实现系统对系统函数的要求	(275)
7.4.2 希尔伯特变换及有关性质	(276)
7.5 多输入多输出系统分析	(278)
* 7.6 线性时变系统分析	(280)
小结	(282)
思考题	(283)
习题	(283)
第八章 系统的状态变量分析	(287)
8.1 状态与状态空间	(287)
8.2 状态方程的建立	(288)
8.2.1 由电路图建立状态方程	(289)
8.2.2 由模拟框图建立状态方程	(291)
8.2.3 由微分方程或系统函数建立状态方程	(292)
8.3 状态方程的求解	(294)
8.4 离散系统的状态方程	(297)
8.4.1 离散系统状态方程的建立	(297)
8.4.2 离散系统状态方程的解	(299)
8.5 利用计算机计算状态方程的解	(302)
8.5.1 连续系统状态方程的计算机求解	(302)
8.5.2 离散系统状态方程的计算机求解	(306)
小结	(307)
思考题	(307)
习题	(307)
第九章 随机信号及通过线性系统的分析	(310)
9.1 随机过程、随机信号及其描述	(310)
9.1.1 随机过程与随机信号的基本概念	(310)
9.1.2 随机信号的描述	(311)
9.2 随机信号在时域的数字特性	(312)
9.3 平稳随机信号及其数字特征	(317)
9.3.1 平稳随机信号的数字特征	(317)
9.3.2 平稳随机信号相关函数的主要特征	(318)
9.4 各态遍历性随机信号及其数字特征	(319)

9.5 离散时间随机信号的数字特征	(322)
9.5.1 平稳随机序列的数字特性	(322)
9.5.2 遍历性随机序列的数字特征	(323)
9.6 随机信号在频域的描述	(324)
9.6.1 功率密度谱	(324)
9.6.2 随机信号功率密度谱与自相关函数的关系	(325)
9.6.3 离散时间随机信号的功率密度谱	(328)
9.7 平稳随机信号通过线性连续系统的分析	(329)
9.7.1 时域分析	(330)
9.7.2 频域分析	(331)
9.8 平稳随机信号通过线性离散系统的分析	(333)
9.8.1 时域分析	(333)
9.8.2 频域分析	(334)
9.9 非平稳状态的系统分析	(338)
9.10 确定信号的相关分析及应用	(340)
9.10.1 确定信号的相关函数	(341)
9.10.2 相关函数与卷积的关系	(345)
9.10.3 相关技术的应用	(348)
小结	(349)
思考题	(350)
习题	(351)
附录 1 常用信号及相应频谱图	(353)
附录 2 DFT 及 IDFT 参考程序	(见下册光盘)
附录 3 C 语言程序清单	(见下册光盘)
1. DFSTEST.C—周期信号的分解与合成	
2. FSAMPLE.C—取样、混叠演示程序	
3. DIFFFT.C—DIFFFT 测试程序	
4. RAD4FFT.C—基 4FFT 演示程序	
5. SPLITFFT.C—分裂基快速算法的软件实现	
6. FASTCON.C—利用 FFT 实现快速卷积	
7. FASTCOR.C—利用 FFT 实现快速相关	
8. 绘图子程序	
附录 4 上册部分习题参考答案	(354)

第一篇 信号分析

本篇是全书的基础,它是从理论上和方法上对信号的特征参数进行定量计算。通过分析从而找出信号随时间变化和随频率变化的规律。这些信号包括随时间周而复始的周期性信号,在有限时间出现的非周期性信号和不可预测的随机性信号。它们可能是连续时间函数如图 1.1(a)所示,也可能是离散时间函数,如图 1.1(b)所示。实现信号分析的方法有解析法和测试法。本篇侧重解析法,特别是目前在实际中已得到广泛使用,利用计算机进行数值计算的数字分析方法。



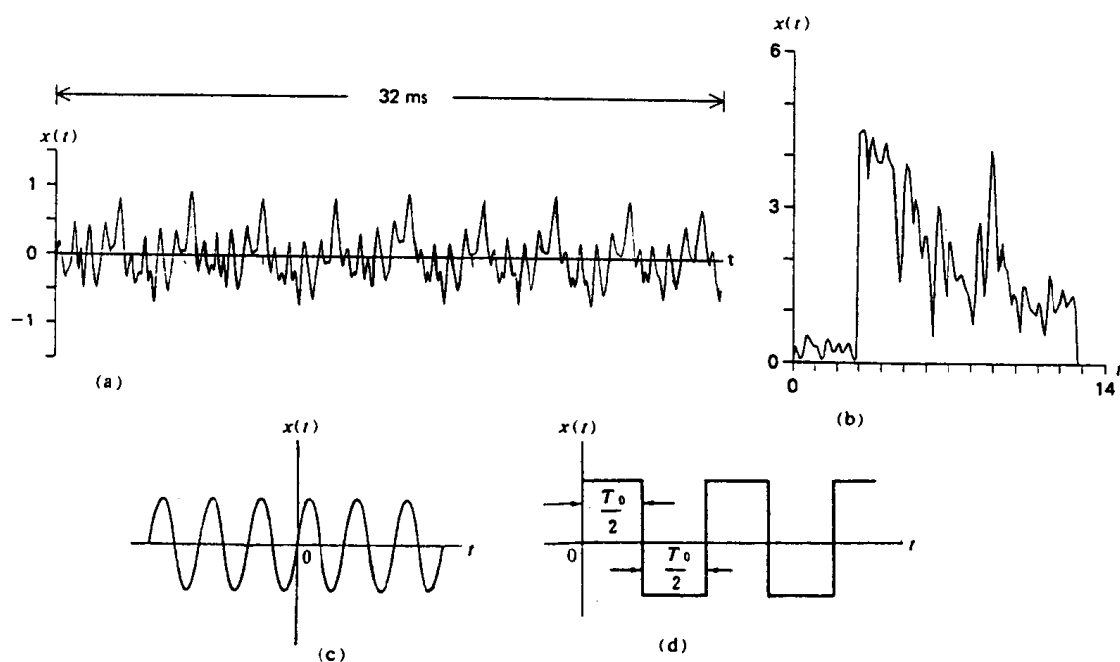
(a) 连续时间信号; (b) 离散时间信号

图 1.1 各种不同的信号

第一章 信号的分类与基本信号的描述

1.1 信号的分类

如导论所述,信息的传递是反映在信号参量变化之中,因而信号可以用数学解析式来描述,也可以用图形来表示。人们观测到的信号一般是一个或多个独立变量的实值函数或者称为



(a) 语音信号; (b) 雷达回波; (c) 正弦波; (d) 方波

图 1.2 一维信号



图 1.3 二维信号

实信号。具体说来,是时间或空间坐标的纯量值函数。如图 1.2 所示的语音信号、雷达回波和用信号发生器产生的正弦波、方波等信号都是一个独立变量时间 t 的函数 $x(t)$ 。图 1.3 是一幅静止平面图象,图中每一点的亮度或灰度与空间位置有关,所以是 2 个独立变量的函数 $I(x, y)$,而对活动的黑白电视图象,由于亮度还与时间有关,所以是三个独立变量的函数 $I(x, y, t)$ 。具有一个独立变量的信号函数称为一维信号,多于一个独立变量的信号函数统称为多维信号。多维信号需要用多元函数来表示。