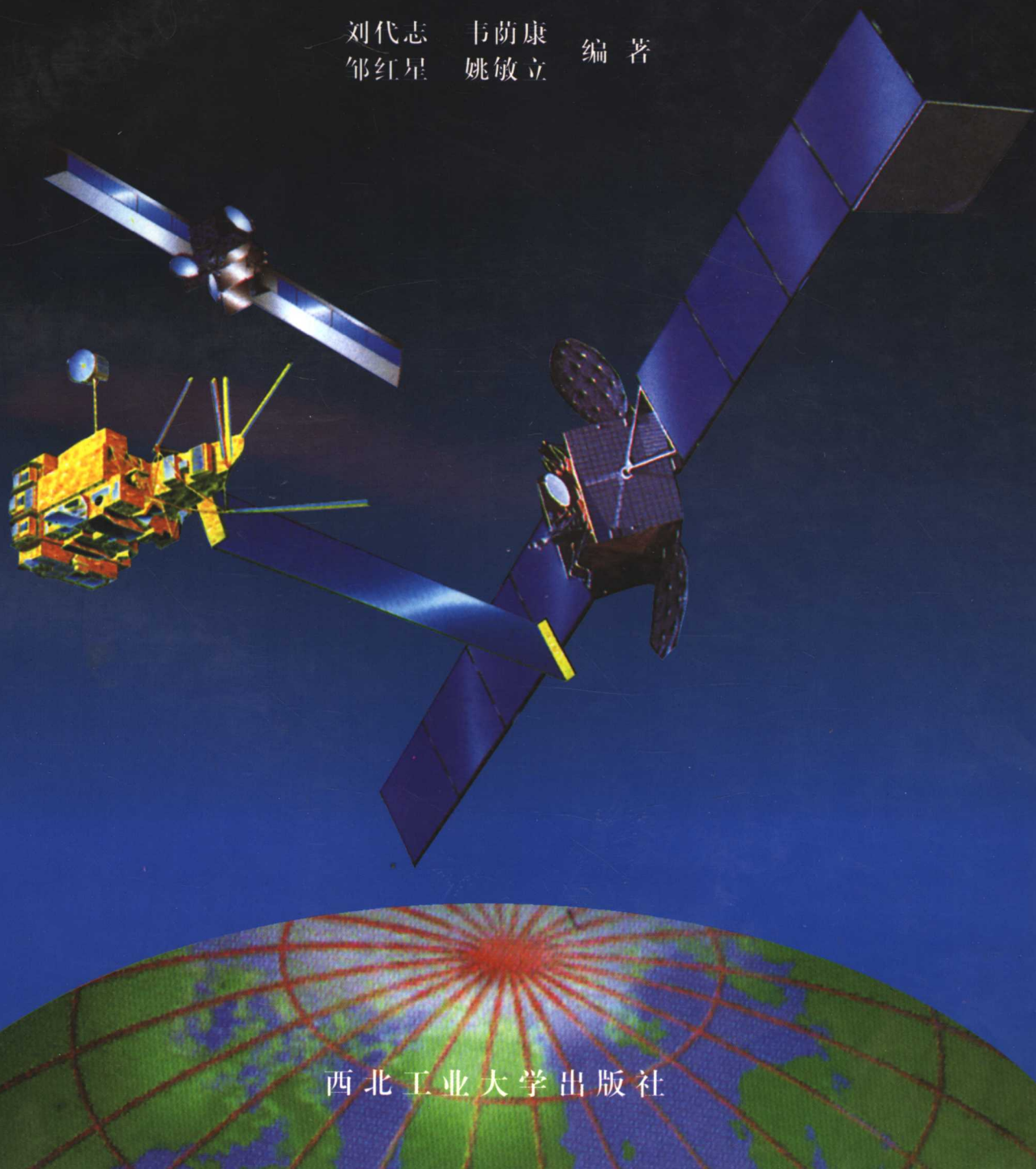


侦测工程丛书

侦测工程信号处理与应用

第一卷·基础篇

刘代志 韦荫康 编 著
邹红星 姚敏立



西北工业大学出版社

☆侦测工程丛书☆

侦测工程信号处理与应用

第一卷·基础篇

刘代志 韦荫康 编著
邹红星 姚敏立

西北工业大学出版社

1997年3月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】全书共分三卷：第一卷是基础篇，主要从侦测工程的角度介绍数字信号处理的基本理论、方法和技术；第二卷是提高篇，主要介绍现代信号处理的内容；第三卷是应用篇，主要介绍数字信号处理在侦测工程中的若干应用。本书是第一卷，分为七章和两个附录，重点介绍了“频谱分析基础”、“频谱分析技术”、“数字滤波基础”和“数字滤波器设计技术”。本书可作为侦测工程及相近专业本科生的教材，也可作为研究生、科技人员和专业干部的学习参考书，亦可用于情报系统干部培训教材或教学资料。

侦测工程信号处理与应用

第一卷 基础篇

刘代志 等编著

责任编辑 杨乃成

责任校对 陶 金

*

©1997 西北工业大学出版社出版发行

(西安市友谊西路 127 号 电话 8493844)

陕西省新华书店经销

陕西省富平县印刷厂印装

ISBN 7-5612-0936-3/TP · 122

*

开本：787×1092 毫米 1/16 印张：17.375 字数：412 千字

1997 年 3 月第 1 版

1997 年 3 月第 1 次印刷

印数：1—660 册

定价：35.00 元

购买本社出版的图书，如有缺页、错页的，本社发行部负责调换。

《侦测工程丛书》
第一届编审委员会组成人员

主任委员：张淮流

委 员：刘代志 高光和 韦荫康

钱世平 王 飞 曲令江

徐子杰 石海军

秘 书 长：徐子杰

《侦测工程丛书》总序

第二炮兵作为我们国家的一支战略核力量，成立至今已经有整整三十年了。三十年来，二炮部队不断发展壮大，现已成为一支武器较精良，专业较齐全，具有核与常规双重威慑、双重打击能力的精干有效的战略导弹部队。

第二炮兵的侦察情报系统，为使军委、总部和二炮首长能够“运筹帷幄之中，决胜千里之外”，需要练就出一副科学的“千里眼”，能够做到看得清、查得明、测得准。这个系统自建设之初，就受到了来自各方面的重视。多年来，我们建成了一支集科研、教学、使用、维修等能力于一体的侦察情报力量，建成了我军第一个远区核爆炸探测系统，能够担负一定的战备值勤、训练保障、试验保障任务。为了适应中央军委赋予二炮新时期的任务，二炮的侦察情报系统还要在手段建设、装备研制、理论研究、人才培养等各个方面继续开拓发展。

侦察与测量，是二炮情报保障的两大主要方式。多年来，从事侦察情报工作的科研、教学、工程技术人员不断实践，不断总结经验，在理论与学术研究方面取得了许多成果，逐渐形成了侦测工程学这门具有二炮特色的新学科，从广义上讲，应该说它是一门新的情报学与科学技术相结合的、属于军事情报学范畴的分支学科。此次编辑出版的《侦测工程丛书》就是二炮工程学院从事侦察测量教学与研究工作的同志将二炮在本学科领域学术理论研究成果的集成。出版这套丛书的目的，即是在于不断分阶段地总结侦测工程中科学研究、工程应用、学科建设诸方面的经验，对于指导侦察情报工作和侦测工程发展建设并为下一阶段研究奠定基础，均具有重大意义，对于从事侦察情报工作的同志和在校接受侦测工程教育的学员也可起到辅助、参考的作用。

在《侦测工程丛书》的编辑过程中，编审人员为了保证本丛书能够具有较高的质量，实行了严格的选题审查。选题的范围包括侦测工程理论，侦察测量与信号处理的方法、技术，历代和最新的侦测装备，历年和最新的科研成果以及二炮侦察情报系统军官培训教材或教学参考书等。本丛书将采取不定期的方式出版，由于丛书中部分卷可能涉及到二炮部队侦察的一些方法和装备，发行范围不宜过大，故这部分卷可能定为内部发行。

希望从事侦测工程学术研究的同志们，再接再厉，不断进取，为二炮侦察情报事业发展和国防现代化做出新的贡献。

张洪亮

1996年12月

序 一

侦测工程是将现代科学技术应用于军事情报而形成的学科，其目的在于获得各种侦测信息。通过对各种侦测信号进行处理而获得侦测信息的信号处理技术是侦测工程的一项重要技术内容，可以说，侦测工程学的发展在很大程度上有赖于信号处理技术的发展。信号处理是近代发展迅速而又十分活跃的学科。它的发展对很多应用领域都起了重要的推动作用。反之，正是由于信号处理在各个领域的广泛应用，在应用中又极大地丰富和发展了信号处理学科。

侦测工程由于其本身的特点，对信号处理的要求也有别于其他领域。首先，它的信号来源十分广泛。可以是来自航空、航天探测器，也可能来自地面、海上或水下的探测设备。所采集到的信号包括电磁脉冲、次声信号、地震波、水声、红外、遥测等信号，其中，有一维信号也有多维信号。其次，对处理的要求高。因为所采集到的信号可能噪声很大，此外，在现代电子对抗的环境下，还可能受到敌方的干扰与侦测，因此，处理系统应具有抗噪、反对抗与反侦察的能力。故其处理系统往往不仅要用到传统的信号处理方法，还要用到比较复杂的现代信号处理技术以及用到提取侦测信息的智能技术（如模式识别、人工神经网络、模糊信息处理等）及其他的新技术（如分形等）。为了实现实时处理，在很多情况下，还必须应用硬件设计与实现技术。侦测工程的这种高要求，对信号处理来说也是一种挑战，为了迎接这一挑战所作的各种努力，也必然会推动信号处理技术的发展。

本书的编著可以说是迎接这一挑战所作努力的一部分。本书是根据侦测工程的特点与要求而对信号处理作综合的介绍。针对侦测信号的种类多，预处理要求高的特点，书中以较多的篇幅讨论信号采集与预处理问题；根据侦测工程对信号处理的要求，书中增加了现代信号处理以及智能技术等内容。另外，根据读者的基础及应用的要求，作者也作了精心的安排。本书的内容兼顾基础与实用两个方面，即既重视基本原理和方法的介绍，又重视实用，如安排有实用程序，实例与应用篇。按照读者的基础，作者有机地把信号与系统，信号检测与估计，模式识别，人工神经网络，分形等理论与技术综合在信号处理内容中，使读者能由浅入深、循序渐进地学习有关内容。全书分为三卷，兼顾了基础、应用与提高，同时也部分地反映了我国在侦测信息处理方面的研究与应用成果。这些都是本书有别于众多信号处理书籍的特点。我相信通过本书的出版将对部队培养侦测工程方面的高级技术人才以及对侦测工程的研究与发展起到有力的推动作用。

中国科学院院士

清华大学教授

李衍达

1996年12月5日

序 二

侦察与测量的任务，就是使用各种传感器（探测器）将散布在战场上的各类信号（信息）采集起来，这是情报的收集过程。对这些信号进行变换、处理、分解、合成，去粗取精，去伪存真，这是情报的生产过程。将情报传递给军队的指挥员，帮助其知己知彼，实施正确的作战指挥，这是情报的使用（应用）过程。侦测工程信号处理与应用，贯穿于情报工作的整个过程。

随着现代科学技术的发展，使得包括现代侦察技术在内的现代军事技术正在发生着一场深刻的革命。超大规模集成电路技术、超高速数字通信技术、计算机人工智能技术等等，为侦测工程信号处理与应用提供了空前广阔的发展空间。

《侦测工程信号处理与应用》一书，就是第二炮兵工程学院从事侦察测量教学和研究工作的同志们，在多年来跟踪国内、国际信号处理技术发展趋势，总结各方面工作实践经验的基础上编辑出版的一本可读性很强的著作。本书从侦测工作的角度介绍了数字信号处理的基本理论、方法和技术，强调基本概念、基本原理和基本思路的论述，在内容安排上由浅入深，循序渐进，注重了层次性。既适合侦测工程及相关专业本科生和研究生用作课程教材或教学参考书，又适合于作军事情报方面科技人员和军队干部学习、研究的参考书。

值此第二炮兵组建 30 周年之际，《侦测工程信号处理与应用》一书得以出版发行，可喜可贺。在此，谨对本书的全体编写、编辑人员表示衷心的祝贺，并预祝《侦测工程丛书》的后续编辑出版发行工作顺利圆满完成。

张洪亮

1996 年 12 月

前 言

侦测工程学 (Engineering Science of Reconnaissance and Measurement) 是一门新的学科, 属于军事情报学的范畴。侦测工程学的研究对象就是军事情报活动中的侦测工程理论与实践。研究的主要内容从情报信息的获取过程来划分, 可分为: (1) 侦测信息采集, (2) 侦测信息传输和 (3) 侦测信息处理与解释。

信号是信息的物理表现形式 (声、光、电等等), 信息是信号的具体内容和意义。而情报则是为了某种需要而专项搜集, 并经过研究分析、整理与评价的信息, 也就是经过了处理和解释的信息。所以, 侦测工程中的信号处理理论与实践是侦测工程学的重要组成部分。

本书从侦测工程的角度介绍数字信号处理的基本理论、方法和技术, 所以, 对材料的取舍都以侦测工程中的信号处理需求为原则。本书强调基本概念、基本原理和基本思路的叙述, 不过分追求数学推导。全书共分三卷, 本书是第一卷 (基础篇)。第一卷分为七章和两个附录。主要介绍数字信号处理的基本理论、基本方法和技术、基本过程等内容。第一章“概论”, 第二章“信号采集与预处理”和附录 A “量化效应和有限字长效应”是给学生一个侦测工程信号处理全过程的概貌和在实际应用中须要考虑的数字化及计算中的误差与精度等问题的处理概况。第三章“信号与系统”是为了将学生已学过的“信号与系统”课程内容与数字信号处理相衔接, 同时也作为本书的基础之一。第四章“频谱分析基础”、第五章“频谱分析技术”、第六章“数字滤波基础”和第七章“滤波器设计技术”是数字信号处理的基本内容。最后附录 B 给出了频谱分析与滤波器设计的常用程序及其使用说明。

全书体系结构由刘代志教授主持设计; 本书第一、二章由刘代志教授撰写, 第三章和附录 A 由韦荫康教授撰写, 第四、五章和附录 B 由邹红星讲师撰写和编制, 第六、七章由姚敏立讲师撰写。本书最后由刘代志教授统稿。

本书在酝酿和准备过程中, 中科院院士、清华大学李衍达教授和西安交通大学博士生导师殷勤业教授提出过宝贵意见;《侦测工程丛书》编审委员会仔细讨论过写作提纲及内容; 本书作为侦测工程丛书中的《侦测工程信号处理与应用》的第一卷公开出版, 得到二炮情报部的大力支持和指导; 李衍达院士和张淮流部长分别为本书作序, 在此一并表示衷心感谢。同时, 还要感谢西北工业大学出版社和二炮工程学院学报编辑部的同志们的辛勤劳动。最后还应对书中所引用的文献作者们表示诚挚的谢意。

作 者

1996 年 12 月

目 录

第一章 概论	
§ 1.1 引言	(1)
§ 1.2 信号处理在侦测工程中的地位和作用	(2)
§ 1.3 侦测信号处理的内容与方法	(4)
§ 1.4 侦测信号处理的未来发展	(6)
§ 1.5 本书的特点	(7)
第二章 信号采集与预处理	
§ 2.1 引言	(10)
§ 2.2 侦测信号的分类	(11)
§ 2.3 侦测信号的采集	(12)
§ 2.4 侦测信号的传输	(18)
§ 2.5 侦测信号的预处理	(20)
第三章 信号与系统	
§ 3.1 引言	(27)
§ 3.2 离散时间信号	(27)
§ 3.3 离散时间系统与差分方程	(33)
§ 3.4 z 变换	(37)
§ 3.5 拉氏变换、傅氏变换与 z 变换	(50)
§ 3.6 系统函数	(51)
§ 3.7 线性系统对随机序列的响应	(54)
第四章 频谱分析基础	
§ 4.1 引言	(57)
§ 4.2 用完备正交函数系表示任意信号	(57)
§ 4.3 信号表示为傅里叶级数	(66)
§ 4.4 周期信号的频谱	(73)
§ 4.5 非周期信号的频谱	(79)
§ 4.6 傅里叶变换的性质	(84)
§ 4.7 帕斯瓦尔定理与能量谱和功率谱	(94)
§ 4.8 抽样定理	(98)
第五章 频谱分析技术	
§ 5.1 引言	(110)
§ 5.2 离散傅里叶变换(DFT)	(110)
§ 5.3 快速傅里叶变换(FFT)	(136)
§ 5.4 利用 FFT 进行频谱分析	(160)
§ 5.5 其他频谱分析技术简介	(162)

第六章 数字滤波器基础

§ 6.1 引言	(167)
§ 6.2 数字滤波器概论	(167)
§ 6.3 IIR 数字滤波器的结构	(171)
§ 6.4 FIR 数字滤波器的结构	(175)

第七章 数字滤波器设计技术

§ 7.1 引言	(181)
§ 7.2 数字滤波器的设计原理与特性	(182)
§ 7.3 FIR 数字滤波器设计	(194)
§ 7.4 IIR 数字滤波器设计	(209)
§ 7.5 FIR 与 IIR 数字滤波器的比较	(229)

附录 A 量化效应和有限字长效应

A.1 引言	(231)
A.2 数值的数制表示	(231)
A.3 计算机中数值数据的表示方法	(233)
A.4 浮点数尾数的基值大小的下溢误差分析	(235)
A.5 A/D 转换的量化效应	(237)
A.6 数字滤波器定点制运算中的有限字长效应	(241)
A.7 数字滤波器浮点制运算中的有限字长效应	(247)
A.8 FFT 定点制运算中的有限字长效应	(251)
A.9 FFT 浮点制运算中的有限字长效应	(254)
A.10 系数量化对数字滤波的影响	(258)
A.11 系数量化对 FFT 的影响	(261)

附录 B 信号处理程序 I	(264)
---------------------	-------

第一章 概 论

§ 1.1 引 言

侦察与测量 (reconnaissance and measurement), 简称侦察, 是战略导弹部队情报保障的两大主要方式。它是利用现代科学技术和先进的仪器设备进行情报侦察与收集, 达到为战略导弹部队作战服务之目的, 因而, 它有着鲜明的工程技术特色。因此, 所谓“侦察工程”(Engineering of reconnaissance and measurement) 就是将现代科学技术应用到军事情报部门中去而形成的一门学科。通常, 它包含两层意思: 一是指学科名称; 二是指具体的侦察工程项目, 即每进行一次侦察与测量活动, 都可以称之为一个侦察工程。为了将学科名称与具体的工程项目区别开来, 用“侦察工程学”(Engineering Science of Reconnaissance and Measurement) 来称呼“侦察工程”这门学科。这样一来, “侦察工程”既是“侦察工程学”的简称, 又可以作为按学科划分的专业名称, 如我们的“侦察工程”专业; 同时, 还可以泛指具体的侦察工程项目。

侦察工程学的研究对象就是军事情报活动中的侦察工程理论与实践。它的主要研究内容从系统要素的角度来分, 可以划分为三大类: (1) 侦察工程原理与应用; (2) 侦察工程设备原理与应用; (3) 侦察工程信息处理与应用。如果从情报信息的获取过程来划分, 则可分为: (1) 侦察信息采集; (2) 侦察信息传输; (3) 侦察信息处理与解释。

由上可见, 侦察工程实质上也是侦察信息采集、传输与处理的过程。什么是信息? 音信、消息是也。如电话中的话声、电视中的图像、各种工程技术测量的数据和军队管理与作战指挥中的各种命令等等都是信息。为了便于采集、传输和处理信息, 往往是通过各种传感器 (探测器) 和相应的转换设备将其变成电信号。可见, 信息是信号的具体内容和意义, 信号则是信息的物理表现形式。情报就是信息。所谓侦察信息正是用于军事目的的情报。为了获得各种军事情报, 也就是要获得各种侦察信息, 就必须利用各种侦察设备 (装备) 将各种信息转变成可供采集、传输和处理的信号。在侦察工程实践中有各种各样的信号, 如水声信号、次声与可听声信号、地震波信号、雷达回波信号、红外信号、可见光信号以及各种遥感、遥测信号。这些在侦察工程中要探测的信号都叫做侦察工程信号, 简称侦察信号。

然而, 不管是何种侦察信号, 我们要对其采集、传输和处理, 都要转换成电信号。就信号本身而论, 信号可以分为连续时间 (空间) 信号 (又叫模拟信号) 和离散时间 (空间) 信号; 如果要用数字通信设备来传输信号和用数字计算机 (现在的计算机多指数字计算机, 模拟计算机只限于一些专门用途) 对信号进行处理, 则须对离散时间信号的幅度进行量化, 使其变成数字信号。所谓信号处理, 就是对各种信号进行分析、加工 (变换、滤波、检测与估计等等) 处理, 从而获得我们感兴趣的信号, 对这种感兴趣的信号 (信号处理结果) 进行解释, 以达到提取有用信息之目的。广义的信号处理还包括信号产生、放大、

综合、识别和均衡等内容。如果模拟信号经模数(A/D)转换变成了数字信号,则对数字信号进行处理的过程就称之为“数字信号处理”。

对数字信号进行处理就是将数字化的序列(一维或多维)输入到数字系统(电子计算机和信号处理机),经过按预定的规则(利用不同的数字信号处理方法、算法编制的程序)进行运算得到数字系统的输出信号。因此,数字信号处理所研究的内容包括两个方面:一是信号的数字化,即用数的序列或符号来表示信号;二是用数字系统(除了电子计算机、信号处理机等硬件设备外,还应指利用硬件设备作为运算环境的软件处理系统,甚至小到—个数字滤波器系统)对数字信号进行处理(如变换、滤波、谱估计等等)(宗广德、胡广书,1988)。

信号处理是一门古老而年轻的学科。说它古老是因为一些信号处理方法及思想可以追溯到18、19世纪,如高斯建立的最小二乘法、地磁场的球谐分析,舒斯特(Schuster)提出的周期图等。1807年法国工程师傅里叶提出的傅里叶级数(Fourier series),进而发展出傅里叶变换(Fourier transform),为信号分析与处理提供了一种重要的分析工具。说它年轻,是因为直到20世纪60年代电子计算机才真正开始成为信号处理的工具,20世纪70年代到80年代电子计算机飞速发展并得到广泛使用;而1965年库利(Cooly)和图基(Tukey)发现并提出快速傅氏变换(FFT),则为数字信号处理奠定了一块基石。在20世纪70年代以前,信号处理主要是以模拟方法对模拟信号进行处理,如用模拟滤波器对模拟信号作滤波处理等;直到60年代末,数字信号处理才得到较快的发展。现在,数字信号处理在信号处理领域中占主导地位,所以,我们在本书中介绍的“侦测工程信号处理与应用”也主要是数字信号处理及其在侦测工程中的应用内容。如不特别说明,以后的信号处理即指数字信号处理,而侦测工程则主要指战略导弹部队侦测工程。

信号处理在科学技术各个领域,特别是工程科学与工程技术领域中有着广泛的应用。侦测工程是一门新兴的工程技术学科,侦测工程信号处理是侦测工程学的主要组成部分之一,和其他信号相比较,侦测信号亦有自身的特点,因此,从侦测工程的角度,来探讨一下信号处理在侦测工程中的地位和作用,侦测信号处理的内容、方法及未来发展很有必要。最后,简要介绍了一下本书的写作缘起、特点和梗概。

§ 1.2 信号处理在侦测工程中的地位和作用

前面谈到侦测工程学的主要研究内容时,如果把侦测工程作为一个大系统来看待,侦测工程信息处理与应用是系统的三大要素之一;而侦测情报的获取过程则正是侦测信息采集、传输与处理(这里的处理当然也包括解释)的过程。其实,在信息采集与信息传输过程中都要涉及信号处理问题,也都须要利用信号处理方法和技術。信号是信息的表现形式(包括物理表现形式,如声、光、电、磁、振动等形式的信号;和信号本身作为信号处理系统的输入的表现形式,如模拟信号、数字信号和符号等),所以,信息处理在侦测工程中主要表现为信号处理。因此,在整个情报获取过程中,信号处理将贯穿始终,信号处理在侦测工程中有着关键的地位并起着核心的作用。

信号处理在侦测工程中的关键地位和核心作用还可以从以下两方面来了解。

§ 1.2.1 军队指挥自动化的要求

所谓军队指挥自动化,是指在军队指挥体系中建立和应用电子计算机及其他技术设备,实现信息处理自动化与决策方法科学化相结合,提高指挥效能的措施。其目的是为了提^高军队指挥的快速反应能力和战备水平。军队指挥自动化的主要标志是把整理加工情报的职能和指挥的职能交给专门的技术控制系统来完成,使指挥系统具备四种能力:(1)快速反应能力;(2)实时准确的情报处理能力;(3)定量决策能力;(4)适时指挥能力。其中,实时准确的情报处理能力又是使其他三大能力得以发挥的关键所在。因为,情报是作战指挥机关决策的依据,是指挥员驾驭战局发展变化的先决条件。然而,在现代高技术战争条件下的侦测工程实践中,涉及的现代化侦测手段很多,如电子侦察,卫星侦察,近、中、远程雷达等;侦察活动范围广,如空中(包括外层空间)、地上和水下等领域;侦测信息来源广、数量大、变化快,而且真假混杂。所以,情报信息处理要作到实时、准确,借助于电子计算机的信号处理自然起着核心的作用,是军队指挥自动化的要求。

§ 1.2.2 自动化指挥(C³I)系统的重要组成部分

要实现军队指挥自动化,就必须建立自动化指挥系统。所谓自动化指挥系统,是由各种自动化硬设备(电子计算机等)以及相应的软件与指挥(command)、控制(control)、通信(communication)、情报(intelligence)人员相结合,能代替指挥过程中部分或大部分人工操作、指挥活动,以提高指挥效能的多功能的人-机系统。它是实现指挥自动化的手段和工具,国外通称该系统为C³I系统(即command, control, communication and intelligence的简称)。在C³I系统中,指挥和控制是基础功能,而情报信息对指挥、控制起着重要的作用,它与指挥、控制并列,通信则是它们的纽带。由此可见,情报信息是C³I系统的重要组成部分。而侦测工程中的情报信息的获取和处理就是信号处理的过程。因此,C³I系统离不开信号处理。这一点可以从自动化指挥系统的功能分系统的组成(见图1.2.1)上看得很清楚。其中的信息处理分系统就是对输入计算机的各种信息、数据(数字信号)自动进行加工处理(运算、综合、分类、存储、检索、更新和复制等),并能进行辅助决策,协助指挥人员拟制作战方案和对各种方案进行模拟优选等。自然,这就是一种较宽泛的信号处理(包括解释)过程。而且,在信息收集分析分系统和信息传输分系统,还要涉及信号预处理及处理问题。因此,信号处理系统是自动化指挥系统中的重要组成部分。

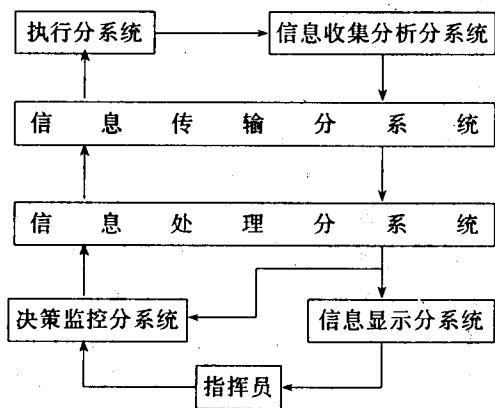


图1.2.1 自动化指挥系统功能分系统框图

§ 1.3 侦测信号处理的内容与方法

数字信号处理是侦测工程学的支撑学科之一,它大致包括三个方面的内容:一维数字信号处理,多维数字信号处理和用超大规模集成电路(VLSI)及硬设备来实现各种数字信号处理算法。一维数字信号处理一般包括:信号与系统表示及识别、频谱分析基础(离散傅里叶变换及其他各种变换等)、频谱分析技术(各种变换的快速算法等)、滤波(滤波器理论及滤波器设计技术)、非线性分析(量化效应等)、谱分析(非参数化谱分析与参数化谱分析)、一维数字信号处理的应用等等。多维数字信号处理包括:数字图像处理、阵列信号处理、多维数字信号的变换、多维数字滤波、多维快速算法、多维谱分析等等。超大规模集成电路及硬设备的实现包括:算法和网络结构、硬设备与程序编制以及器件构制等等。这方面的研究内容主要涉及各种具有很强功能的信号处理芯片的研制和各种专用的信号处理器的研制(如雷达信号处理设备等等)(宗孔德、胡广书,1988)。

侦测信号处理是侦测工程学的主要组成部分,它是用数字信号处理(包括少量的模拟信号处理)的理论、方法和技术对侦测信号进行处理,以达到提取有用信息(军事情报)之目的。所以,侦测信号处理的研究内容就是各种侦测信号及其分析、加工处理与解释和硬件实现等;而侦测信号处理的方法则是各种数字信号处理方法(技术)及硬件设计方法(技术),这正是数字信号处理这门学科的研究内容,即侦测信号处理的方法(技术)属于数字信号处理研究内容的范畴。侦测信号处理的研究内容包括侦测信号及其处理。那么,侦测信号又包括哪些内容呢?从侦测情报的种类来分有:目标侦察信号、效果侦察信号和测量信号等。目标侦察信号包括:各种航空、航天(卫星)探测器所获得的信号(主要是图像信号,包括各种成像雷达信号),地面雷达和海上侦察船等所获得的信号(有一维信号,也有多维信号,如阵列信号等)。效果侦察信号主要包括:航空(如无人机)、航天(卫星)器所获图像信号,地面及海上、水下探测设备所探测的信号(如次声信号、电磁脉冲信号、地震波信号、水声信号等)。测量信号包括:弹道测量信号(红外信号、雷达信号和遥测信号等),气象测量信号(气象卫星图像、气象雷达信号等),测地数据(全球定位信号、数字地图等)等等。其实,弹道测量是对导弹的飞行情况进行跟踪测量,通过对测量数据(信号)进行综合处理得到导弹飞行、发动机关闭、弹头与弹体分离、敌反导弹武器拦截和预报弹头落点等情况。通常它也被归入效果侦察之列,所以,弹道测量信号也可以归入效果侦察信号之列。我们这里把它划分出来,是为了体现侦察信号与测量信号的特征差异。从产生侦测信号的物理背景可以分为:声信号(包括可听声、次声和语音等信号)、光信号(包括可见光和非可见光信号)、电信号(包括宽频段的电磁场信号,有主动发射与接收和被动接收之分)、磁信号(主要指稳定磁场,它是一种位场信号)、振动信号(包括水声、地震波动等信号)等等。由上可见,侦测信号既有一维信号,也有多维信号。在数字信号处理学科中所研究的信号类型在侦测信号中都有体现。

侦测信号的处理与实现是侦测信号处理的主要研究内容。按获取侦测情报的目的和任务来划分,亦可以分为目标侦察信号处理、效果侦察信号处理(包括打击效果侦察信号处理和核爆炸效果侦察信号处理,其中,核爆炸效果侦察信号处理又包括近区、中区核爆炸效果测量,如核试验靶场测量和远区核爆探测,如地下核爆炸侦察或监测等)和测量信号处

理。这几类侦测信号处理的实现可分为软件实现（主要是计算机软件加计算机及其辅助设备，多为事后处理）和硬件实现（各种专用信号处理器加上其中的专用软件，以及各种信号处理芯片的组合与相应的硬件设备）。在侦测工程信号处理中，最能说明软、硬件结合的信号处理实现是雷达侦察系统。所谓雷达侦察系统，是一个雷达信号的截获和处理设备。雷达侦察系统的前端是天线和接收机组成的接收系统，它进行射频雷达信号的截获和测频、测向、测极化，完成射频信号处理并将射频信号变换为视频信号（模拟的和数字的），以供进一步的信号处理。这一过程实际上是雷达信号的采集与预处理过程。雷达侦察系统的后端包括信号处理设备、终端设备和控制设备，后端进行视频信号和数字信号的处理，完成对信号的分选、分析和识别，以及信号的显示、存储、记录和系统的控制。现代雷达侦察系统一般把信号处理分系统作为一个独立的组成部分而位于整个侦察系统的核心地位，以完成对侦察信号的自动分选、分析和识别任务。如图 1.3.1 所示，信号处理分系统通常包括预处理机和主处理机。预处理机对接收系统（前端）来的密集信号进行相关处理和分选，降低数据率并为主处理机准备数据。预处理一般由高速数字电路、微处理机及数据缓存电路组成。主处理机通常是一部高速电子计算机，它进行复杂信号的分选、辐射源识别、目标识别，确定威胁等级及识别可信度。主处理机还担负着对整个侦察系统的控制、威胁告警、数据显示和记录等任务（林象平，1985）。

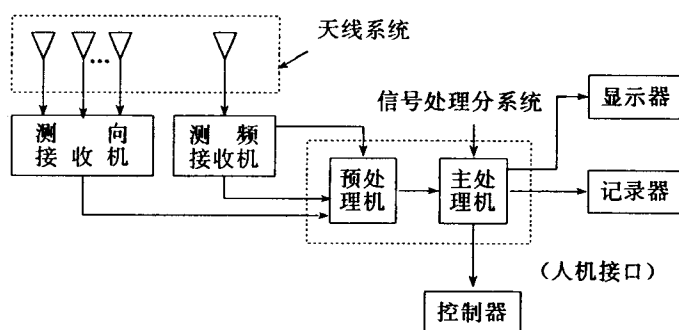


图1.3.1 现代雷达侦察系统的基本组成(据林象平，1985)

在现代高技术条件下的局部战争中，为了适应现代电子对抗的信号环境，各种侦察系统还必须具备反对抗的能力和反侦察的能力，这使信号处理内容将越来越复杂，对信号处理的方法与技术的要求也越来越高。

数字信号处理的方法和技术种类繁多、内容丰富；相应地，侦测信号处理的方法亦是丰富多彩。前面，我们从数字信号处理学科的研究内容方面作了粗略的划分。概括说来，数字信号处理方法从信号的特点来分包括：一维信号处理方法和多维信号处理方法，确定性信号处理方法和随机信号处理方法，周期信号处理方法与非周期信号处理方法。随机信号处理方法中又可分平稳信号处理方法和非平稳（时变）信号处理方法，高斯信号处理方法和非高斯信号处理方法。从分析、加工的方式来分，包括：信号采集与预处理方法（包括量化效应等），信号变换（频谱分析等）方法，滤波方法（线性滤波与非线性滤波），谱估计方法（有古典谱估计与现代谱估计，非参数化谱估计与参数化谱估计之分）。从数字信号

处理的发展阶段来分,信号处理方法似可分为传统信号处理方法(主要包括数字信号处理的基本方法,如离散傅里叶变换及其快速算法,无限、有限冲激响应数字滤波器及简单整数系数数字滤波器设计,信号转换与预处理,功率谱估计,主要是古典功率谱估计等等)和现代信号处理(主要包括统计信号处理、多维和多信道信号处理、非高斯信号处理和非平稳信号分析等)(张贤达,1995)。然而,由于侦测工程的特点和要求,侦测信号处理除了上述数字信号处理方法外,还对模式识别中所需要的数字信号处理(特征提取/选择等)方法有着迫切的需求,如分形与混沌方法、人工神经网络技术、模糊信息处理方法等。

§ 1.4 侦测信号处理的未来发展

展望未来是一件美好而令人兴奋的事,但要真正把握未来的发展趋势却不是一件容易的事情。因为,当今世界科学技术可谓日新月异、突飞猛进,新思想、新理论、新方法、新技术、新器件不断涌现,新学科、新领域、新方向不断产生和拓展,让人目不暇接、难以兼顾。数字信号处理是一门技术科学,随着计算机和大规模集成技术的发展,数字信号处理的硬件水平得到空前的提高;随着计算机科学、应用数学的发展,特别是非线性科学的迅猛发展,数字信号处理在方法理论和编程实现(软件系统)等方面取得了长足的进步。同时,数字信号处理的应用领域也越来越大,可以这样说,在几乎所有工程科学技术领域中都或多或少地要涉及数字信号处理问题,而且对数字信号处理的要求(数量大、变化快、范围广、精度高)也越来越高。未来是一个信息时代,数字信号处理的发展将更加迅速,未来的21世纪仍然是数字信号处理的黄金时代。

侦测工程学是一门新兴的工程技术学科,它有着鲜明的军事应用特点,它是军事情报学的一个新的分支学科,而侦测信号处理是侦测工程学的重要组成部分。面向未来,我们怎样来把握侦测信号处理的未来发展呢?我们认为从以下几个方面去把握是合适的。

(1) 随着科学技术的发展和现代战争的需要,各军兵种的军事情报保障都离不开现代科学技术与先进的仪器设备的运用,同时情报保障的范围也将越来越大,自然,涉及到的侦测工程问题也会越来越多。相应地,侦测信息也会越来越多,侦测信号种类也就越来越多,信号的数量、复杂程度也会越来越大;侦测信号处理的内容也会越来越多,处理的实时性、有效性和准确性也会越来越高。所以,未来的侦测信号处理将朝着大数据量、稳定、有效、快速、准确的方向发展。

(2) 随着未来电子战、信息战的加剧,侦测信息的获取将面临更加复杂多变的环境,也即侦测信号中将包含越来越多的强干扰信号,使得侦测信号处理的难度越来越大,处理的内容和要求也越来越多样化。要达到侦测目的,获取可靠的军事情报,就必须运用越来越先进(高精度、高灵敏度高、高稳定性、高抗干扰能力、高速有效)的侦测信号采集设备和信号传输设备,以及高速电子计算机和信号处理专用设备;就必须利用高精度、高速有效的数字信号处理方法和算法。然而,这方面的发展主要依赖相应科学技术,主要是数字信号处理技术科学(包括硬件和软件)的发展。

(3) 数字信号处理硬件设备的未来发展:一方面是大规模集成电路和微处理机的进一步发展,但这方面的发展总是有一定限度的;另一方面是计算机的发展,如智能计算机、神经计算机的发展。与此相适应的数字信号处理方法理论(软件)的发展,将主要是非线性

科学（如分形、混沌、神经网络等等）的发展和运用，使其朝着智能信息处理的方向发展。

智能信息处理的方法和相应的智能计算机是循着两条途径来发展的。“第一条途径是立足于逻辑运算、符号处理，通过启发式算法来实现智能行为，即所谓串行信息处理方法。”（李孝安、张晓绩，1994）。如日本人在80年代初期提出的第五代计算机（即智能计算机）的发展计划就是循着这条途径来进行的，它是从外部功能上模拟人脑的某些形象思维能力，使人能以一种自然的方式（能采用语音、图形图像、文字和自然语言等形式进行人-机对话）方便地使用计算机。“实现智能信息处理的另一条途径是基于连接机制（Connectionism）的人工神经网络方法，又称并行信息处理方法”（李孝安、张晓绩，1994）。它是用一个抽象的连接模型来描述脑神经系统，即用大量功能简单的人工神经元通过不同的连接方式和连接权值构成一个神经网络，使其具有分布式信息存储和并行分布式处理的特点。神经计算机正是基于这种结构模式和信息处理方法提出的。未来的发展将是两条途径和两种方法（符号逻辑人工智能方法和神经网络方法）的综合，计算机也不再是“电子”计算机，而是“量子”计算机（即第六代计算机，它在功能上智能化，在结构上神经网络化，在器件上量子化）了。

（4）侦测信号处理的多样化，还表现在侦测工程问题的多样化，体现在各军兵种的侦测工程的差异和特点上。按军兵种来划分，可分为陆军侦测工程（以往陆军侦察的工程特点不明显，但随着数字化陆军部队的出现，陆军侦察的工程特色将会明显地体现出来）、海军侦测工程、空军侦测工程和战略导弹部队侦测工程。其中，战略导弹部队的情报侦测的工程技术特色最为明显。不同军兵种侦测工程中的问题各不相同，侦测信号也不一样，信号处理的要求和特点也不相同，所以，未来的侦测信号处理在各军兵种侦测工程领域中的发展会呈现出多样化，向着既有共性又各有特色的方向发展。

§ 1.5 本书的特点

§ 1.5.1 缘 起

“数字信号处理”这门课以往是我院（第二炮兵工程学院）侦测工程专业的一门介于专业基础和专业课之间的主干课，现在成了侦测工程专业本科的专业课和信号与信息处理专业硕士学位课。这门课最早由侦测工程专业开设；后来，其他专业也选修了这门课。现在，我院有几个硕士专业开设了这门课，而侦测工程专业则为本科生和硕士生均开设了这门课，且教学内容由浅入深、相互衔接。侦测工程专业本科生选用的教材是邹理和教授编写的《数字信号处理》（上册），硕士生则选用了该书的下册，由吴兆熊、黄振兴和黄顺吉等教授编写，这上、下册都是在1985年由国防工业出版社出版的，至今已逾10年。现在，我们所见到的国内出版和翻译出版的有关数字信号处理的专著和教材已有60多种。这些专著和教材各有特色，但专著往往太专，而教材则多以工科电子类专业为对象，或以各自行业系统（如铁道、邮电、交通等）相应专业为对象，且多数能作为教材的书反映数字信号处理的最新成果不够。

侦测工程学是一门新兴的军事情报学的分支学科。海湾战争结束后，各国都在致力于把高科技运用于国防建设，特别是对军事情报侦察的现代化建设，对未来高技术条件下局