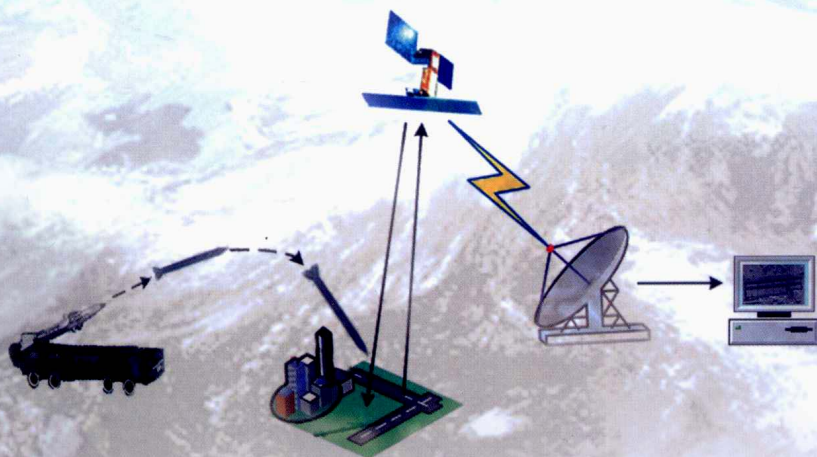


侦测目标的SAR 图像处理与应用

SAR Image Processing and Application of
Reconnaissance Measurement Target

黄世奇 刘代志 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

侦测目标的 SAR 图像 处理与应用

黄世奇 刘代志 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以 SAR 在目标侦测领域中的应用为目标,从微波散射机理出发,注重与侦测工程实践相结合,研究了 SAR 成像与目标散射特性及变化检测中的一些相关理论与技术问题,提出了多种新的信号处理模型、思路和方法。主要包括 SAR 成像数据预处理及成像算法, SAR 图像预处理中的斑点噪声抑制与图像配准, SAR 目标的增强与检测, 目标的散射特性及其变化检测, SAR 在侦测领域中的典型应用。

本书理论性和实用性强,既可供从事 SAR 图像处理及应用的科研人员阅读,又可作为高等院校相关专业、研究生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

侦测目标的 SAR 图像处理与应用 / 黄世奇, 刘代志著.

—北京:国防工业出版社, 2009. 6

ISBN 978 - 7 - 118 - 06603 - 6

I. ①侦... II. ①黄... ②刘... III. ①遥感图像 - 数字图像处理 - 应用 - 军事侦察 IV. ①E87

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 201123 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 960 1/16 印张 16 字数 318 千字

2009 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

SAR(合成孔径雷达)成像技术诞生于20世纪50年代初,在近60年的发展过程中,从低分辨率、单波段、单极化、单模式、单基地、单平台、单视角,到高分辨率、多波段、多极化、多模式、多(双)基地、多平台、多视角,再到干涉体制和全极化干涉体制的出现,以及动目标的显示,充分显示了其在对地观测领域中的卓越性能。目前,SAR已经在农业、林业、地质、环境、水文、海洋、灾害、测绘等方面,以及军事领域中得到了广泛的应用,尤其在气候和环境条件恶劣、复杂的情况下,SAR发挥了其全天候、全天时的优势。

现代战争是高技术条件下的信息化战争,如何准确、快速、有效地获取情报信息,是一个非常关键的环节。发生在20世纪末和21世纪初的几场高技术条件下的局部战争充分显示,不论是战前的军事情报侦察还是战争态势预测,以及战时的作战效果评估,80%以上的信息来源于军用成像侦察卫星和商业遥感卫星。然而,传统的可见光遥感虽然是一种高清晰度的情报信息来源,但是,它必须有太阳光源的照射,黑夜不行。红外遥感是测量不同地物具有的不同热辐射量,尽管白天黑夜均可用于情报收集,然而,它和可见光遥感一样,受到云、雨、烟、雾、沙尘等天气的影响,而且获得的图像质量与距离有很大的关系。同时,现代战场环境日益复杂,它们已无法满足现代战争的需求,而SAR成像遥感技术弥补了它们的缺陷,发挥了不可替代的作用。SAR是一种主动微波相干成像雷达,具有全天候、全天时、大面积、远距离、连续观测运动目标的能力,具有一定的穿透植被、土壤和遮盖物的能力,侧视成像方式可探测到敌方纵深军事情报,所以,SAR成像已成为对地观测系统和天基侦察监视系统不可缺少的重要探测技术。

“不接触作战”、“外科手术式”的远程精确打击已成为信息化战争的典型作战方式,其特点是远距离、大纵深、精确打击对方的军事和政治及经济目标。其作战过程明显分为两个阶段,第一阶段是长时间的远距离空中打击,主要摧毁交通、防空设备、机场、地面指挥部、能源、通信设施等;第二阶段是地面作战。其中,第一阶段的关键问题是“往哪里打”、“怎么打”、“打得怎么样”,也就是战前的目标侦察、战争中的远程精确打击方式和战后的打击效果评估问题。这是侦测领域要解决的重要内容,围绕这些中心问题,本课题组自2001年以来开展了相关技术的研究,取

得了一些阶段性的成果,本书是近 10 年来研究工作及成果的系统总结和提高。侦测工程是以情报保障为目的的前沿学科,SAR 成像与应用研究是电子、信息科学研究领域的前沿课题,许多问题仍处于探索阶段。

本书以 SAR 在目标侦测领域中的应用为目标,注重与侦测工程实践相结合,从微波散射机理和 SAR 成像原理出发,对 SAR 成像与目标散射特性及变化检测中的一些相关理论与技术问题进行了深入的探讨,提出了多种新的信号处理模型、思路和方法。主要内容包括 SAR 成像、SAR 图像预处理、目标的散射特性及变化检测等。本书讨论的重点是基于 SAR 图像的侦测目标变化信息的获取与处理,故本书未涉及到目标的分类和识别。本书的目的是为从事侦测工程、军事情报及 SAR 图像应用研究的技术人员和相关领域的教师、学生提供有益的参考。

在编写过程中,我们参阅了许多中外相关文献资料,在此向这些资源的提供者表示感谢。书中所用的 SAR 图像来源于互联网和商用卫星。本书的出版得到了第二炮兵工程学院的大力支持和资助,在此深表谢意!

由于作者水平有限,有些问题难免带有片面性和局限性,在思路、算法、模型等研究方面存在错误和不足在所难免,恳请读者不吝指正。

作者

2009 年 3 月

目 录

主要缩略词说明	1
第 1 章 绪论	4
1.1 引言	4
1.2 侦测信号处理内容与方法	6
1.3 侦测信息获取技术	8
1.4 SAR 图像处理相关技术现状	11
1.4.1 SAR 成像技术	11
1.4.2 目标散射特征及提取技术	12
1.4.3 SAR 图像目标检测技术	14
1.4.4 SAR 图像变化检测技术	14
1.4.5 SAR 图像斑点噪声抑制技术	15
1.5 本书内容安排	16
参考文献	17
第 2 章 星载 SAR 数据预处理与成像算法	21
2.1 概述	21
2.2 SAR 成像基本原理	21
2.3 星载 SAR 成像数据预处理	26
2.3.1 数据的压缩与解压及传输	27
2.3.2 数据预处理	27
2.4 MFSC 算法	28
2.4.1 RD 算法	28
2.4.2 MFSC 算法描述	31
2.5 实测数据成像处理实例	36
2.6 星载 SAR 快视成像算法	40
2.6.1 SAR 快视成像实质与数据处理	40
2.6.2 综合 SAR 快视成像方法	41
2.6.3 实测数据处理结果	43

2.7 本章小结	44
参考文献	44
第3章 SAR 图像斑点噪声抑制方法	46
3.1 概述	46
3.2 SAR 图像斑点噪声产生机理及特性	46
3.2.1 斑点噪声产生机理	46
3.2.2 斑点噪声的统计特性	48
3.3 基于空间域和变换域融合的滤波方法	49
3.3.1 多视处理滤波法	50
3.3.2 空间域滤波方法	50
3.3.3 变换域滤波方法	51
3.3.4 基于小波分析的数据融合抑噪算法	53
3.3.5 实验结果和算法应用分析	53
3.4 CRSN 算法	56
3.4.1 算法描述	56
3.4.2 实验结果分析	57
3.5 本章小结	62
参考文献	62
第4章 基于特征点的 SAR 图像配准	64
4.1 概述	64
4.2 SAR 图像配准技术	64
4.2.1 SAR 图像配准的定义	64
4.2.2 SAR 图像配准技术现状	65
4.3 图像配准的空间变换模型	66
4.4 基于 SIFT 算法的重叠区域特征点提取	69
4.4.1 SIFT 算法原理	69
4.4.2 基于重叠区域的 SIFT 算法特征点提取	72
4.4.3 实验结果与分析	73
4.5 特征点匹配	75
4.5.1 基于最近距离的特征点匹配法	75
4.5.2 误匹配点对的消除方法	75
4.5.3 实验结果与分析	77
4.6 基于 SIFT 特征点的 SAR 图像配准	82
4.6.1 SAR 图像的粗配准	82
4.6.2 SAR 图像的精确配准	84

4.7 本章小结	85
参考文献	86
第5章 SAR 目标散射特性与变化检测	88
5.1 概述	88
5.2 SAR 图像与目标散射特性的关系	88
5.3 目标的散射机理与散射特性	90
5.3.1 目标散射机理	90
5.3.2 目标散射特性	91
5.4 RCS 的定义与计算	93
5.4.1 RCS 的定义	93
5.4.2 高频区目标 RCS 的预估方法	95
5.5 导弹机动发射车的散射机理、模型与计算	97
5.6 基于散射特性的目标变化检测	103
5.7 本章小结	105
参考文献	105
第6章 SAR 图像目标的增强与检测方法	106
6.1 概述	106
6.2 ICA 原理与算法	107
6.2.1 ICA 原理	107
6.2.2 负熵最大化判据准则	108
6.2.3 基于负熵的快速 ICA 算法	109
6.3 基于 ICA 的 SAR 图像目标增强与检测	111
6.3.1 ICA - CFAR 算法描述	111
6.3.2 SAR 图像背景杂波分布模型	113
6.3.3 实验结果	120
6.4 CCFAR 目标检测算法	122
6.4.1 CCFAR 算法描述	122
6.4.2 亚像元空间域源算法	123
6.4.3 实验结果	124
6.5 CRSN 算法与 CCFAR 算法	127
6.6 本章小结	128
参考文献	129
第7章 基于像素级的 SAR 图像变化检测	131
7.1 概述	131
7.2 图像变化检测方法综述	131

7.2.1	基于图像代数运算的变化检测方法	133
7.2.2	基于图像变换的变化检测方法	134
7.2.3	基于图像分类的变化检测方法	136
7.3	基于贝叶斯理论的最小错误率的阈值确定方法	136
7.3.1	贝叶斯理论的基本概念	136
7.3.2	均值循环迭代 KI 算法	137
7.3.3	多阈值 EM 算法	142
7.4	UTWT 算法	146
7.4.1	算法描述	146
7.4.2	小波分析及最佳分解层的确定	149
7.4.3	实验结果	150
7.5	FMWT 算法	151
7.5.1	SAR 回波信号的分形模型	152
7.5.2	SAR 图像分形维数计算	154
7.5.3	FMWT 算法描述	155
7.5.4	实验结果与分析	157
7.6	SAR 图像变化机理分析与综合变化检测	160
7.6.1	SAR 图像变化机理	161
7.6.2	SAR 图像变化类型分类	164
7.6.3	综合的 SAR 图像变化检测方法	165
7.6.4	实验结果	169
7.7	极化 SAR 图像变化检测	170
7.7.1	SAR 数据极化理论及特征	171
7.7.2	实验结果与分析	174
7.8	本章小结	177
	参考文献	177
第 8 章	低分辨率的 SAR 图像目标变化检测	180
8.1	概述	180
8.2	SAR 图像目标方位角估计	181
8.2.1	目标方位角估计方法	181
8.2.2	综合的目标方位角估计算法	185
8.2.3	实验结果与分析	187
8.3	基于 RCS 曲线的 SAR 图像点目标变化检测	190
8.3.1	算法描述	190
8.3.2	仿真实验结果	192

8.4 基于后向散射系数的光滑面目标变化检测	195
8.4.1 粗糙表面的散射模型	195
8.4.2 地表粗糙参数与散射系数的关系	197
8.4.3 变化检测模型	198
8.4.4 仿真实验结果	199
8.5 本章小结	202
参考文献	202
第9章 高分辨率 SAR 图像目标变化检测	204
9.1 概述	204
9.2 基于一维像的目标变化检测	204
9.2.1 一维像的数学模型与数据获取	205
9.2.2 基于一维像的目标变化检测方法	209
9.3 基于二维散射中心的目标变化检测	214
9.3.1 二维散射中心模型	214
9.3.2 二维散射中心模型参数估计	217
9.3.3 仿真实验	219
9.3.4 基于结构特征的目标变化检测方法	223
9.4 本章小结	226
参考文献	226
第10章 SAR 在军事领域中的应用	229
10.1 概述	229
10.2 在侦察领域中的应用	230
10.3 在异常探测领域中的应用	233
10.4 在匹配制导领域中的应用	234
10.5 在毁伤评估中的应用	239
10.6 在地球物理战中的应用	242
10.7 本章小结	244
参考文献	244

主要缩略词说明

英文缩写	中文名称	英文名称
ANN	人工神经网络	Artificial Neural Network
ATR	自动目标识别	Automatic Target Recognition
BAQ	自适应量化	Block Adaptive Quantization
BDA	毁伤效果评估	Battle Damage Assessment
BFPQ	分块浮点量化算法	Block Floating Point Quantization
BSS	盲信源分离	Blind Source Separation
CCFAR	基于相干性的 恒虚警率	Coherence-based Constant False Alarm Ratio
CCRS	加拿大遥感中心	Canada Centre for Remote Sensing
CFAR	恒虚警率	Constant False Alarm Ratio
CL	相关长度	Correlation Length
CRSN	相干性去除斑点噪声	Coherence Reduction Speckle Noise
CS	线频调变标算法	Chirp Scaling
CV	变化系数	Coefficient of Variation
DEM	数字高程模型	Digital Elevation Model
DN	数字数值	Digital Numerical-value
DOG	高斯差分	Difference of Gaussians
DWT	离散小波变换	Discrete Wavelet Transform
EM	数学期望最大算法	Expectation Maximization
ENL	等效视数	Equivalent Number of Looks
EPC	边界像素点记数最大准则	Edge Pixel Count
ERS	欧洲遥感卫星	European Remote Sensing Satellite
ESI	边缘保持指数	Edge Saved Index
FFT	傅里叶变换算法	Fast Fourier Transform
FICA	快速 ICA 算法	Fast ICA
GCV	全局变化系数	Global Coefficient of Variation

英文缩写	中文名称	英文名称
GOM	几何光学模型	Geometry Optics Model
GTD	几何绕射理论	Geometrical Theory of Diffraction
HRRP	高分辨率距离像	High Resolution Range Profile
ICA	独立分量分析	Independent Component Analysis
InSAR	干涉合成孔径雷达	Interferometry Synthetic Aperture Radar
ISAR	逆合成孔径雷达	Inverse Synthetic Aperture Radar
KI	KI 算法	Kilter and Illingworth
LCV	局部变化系数	Local Coefficient of Variation
MFSC	均值频移相关算法	Mean Frequency Shift Correlation
MSTAR	运动与静止目标的获取与识别	Moving and Stationary Target Acquisition and Recognition
MTI/MTD	动目标显示	Moving Target Indicator/Display
P	矩形框周长最小准则	Perimeter
PCA	主成分分析法	Principal Components Analysis
PDF	概率密度函数	Probability Density Function
POM	物理光学模型	Physical Optics Model
PRF	脉冲重复频率	Pulse Repetition Frequency
PSF	点扩散函数	Point Spread Function
RANSAC	随机抽样一致算法	Random Sampling Consensus
RCS	雷达散射截面	Radar Cross Section
RD	距离多普勒	Range Doppler
RMS	均方根	Root Mean Square
ROI	感兴趣的区域	Region of Interest
SAC	频移相关法	Shift and Correlation
SAR	合成孔径雷达	Synthetic Aperture Radar
SCR	信杂比	Signal Clutter Ratio
SIFT	旋转尺度不变特征	Scale Invariant Feature Transform
SIR	信干比	Signal Interference Ratio
SRTM	航天飞机雷达地形测图	Shuttle Radar Topography Mission
SVD	奇异值分解	Singular Value Decomposition
TBR	目标与背景面积比最大准则	Target to Background Ratio

英文缩写	中文名称	英文名称
TFDVD	纹理特征差值投票表决 算法	Texture Feature Difference Vote Determination
UTWT	非监督双阈值小波 变换算法	Unsupervised Two-threshold Wavelet-Transform
WA	分水岭算法	Watershed Algorithm
2D-SWT	二维离散稳定小波变换	Two-dimensional Discrete Stationary Wavelet Transform

第 1 章 绪 论

1.1 引言

侦察与测量(Reconnaissance and Measurement),简称侦测,是军事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对感兴趣的军事、经济、政治目标进行情报侦察和收集,达到为作战、指挥、决策服务的目的。1995 年,刘代志教授率先提出建立的侦测工程学(Engineering Science of Reconnaissance and Measurement),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^[1,2]。它是电子工程学、信息工程学、计算机科学、地理科学等多个学科与军事情报学相结合的产物。作为军事情报学的一个分支,侦测工程学主要研究军事侦察和测量信息的采集、传输、处理、解译和应用等问题^[3]。随着高技术的发展和应用,获得侦测信息的手段和技术也向多元化和精确化方向发展,侦测信号处理的内容也由过去的一维信号为主,变成一维信号和多维信号并重,尤其是二维的图像信号。因为侦测目标的图像信号最直观,提供的信息最丰富,例如,合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)成像,不仅能提供侦测目标的图像灰度信息,还能提供目标的后向散射信息、相位信息和极化信息等。

现代战争是高技术条件下的信息化战争,复杂的“海、陆、空、天、电磁”五维融于一体,情报信息的收集、传输、处理和应用,始终贯穿于整个战争的全过程。所以,如何准确、快速获取情报信息是一个非常关键的环节。可以说,在某种程度上,情报信息的准确性、真实性、及时性可以避免决策失误战争的爆发,可以决定战争的胜负、决定战争的持续时间、节省战争的消耗量。发生于 20 世纪末和 21 世纪初的几场高技术条件下的局部战争充分显示,不论是战前的军事情报侦察还是战争态势预测,以及战时的作战效果评估,80% 以上的信息来源于军用成像侦察卫星和商业遥感卫星^[4]。

由于卫星不受地域、地理、国界和气候条件的限制,同时,卫星可全球、大面积、准确地获取情报,卫星侦察已成为现代战争不可缺少的支撑系统。现有的陆基、舰载、机载的侦察设备因受地理空间的限制,只能对周边国家和地区布置在边境线纵深地域的辐射源进行侦察,获取有关的参数及位置信息。地面和舰载侦察设备作用距离一般只有几十公里,机载设备也不过几百公里,且飞机升空侦察的时间非常有限;舰船一般也难以远离本土深入前沿纵深地域进行侦察活动。卫星侦察不仅

可以全方位、大纵深、高立体地侦察和监视全球战略目标,而且能够获取周边国家纵深地域和非周边国家防御系统情报信息,同时可对洲际和巡航导弹在外层空间进行预警,获得充分的反应时间。卫星运行高度高,监视的战场空间空前广阔,地面或航空干扰设备难以对其形成有效的干扰。卫星侦察传感器几乎覆盖了整个电磁频谱,例如高分辨率的光学成像系统、红外成像系统和微光夜视系统,先进的雷达和合成孔径侧视雷达成像系统、毫米波系统等。这些传感器的发展使侦察卫星具有远距离、全方位、全天候、全天时的侦察能力。卫星高速飞行,可实现对某一地区定期或连续的侦察和监视,取得其它手段难以得到的情报。正是基于卫星如此多的优势,军事卫星在战争中一直受到各国政府和军事部门的重视,建立天基侦察与监视系统是各国的战略目标,而且在现代战争中也充分发挥了其功能,并显示其独特的优势。例如,在 1999 年的科索沃战争中,以美国为首的北约动用了 50 多颗“天眼”侦察卫星,在几百公里之外的天空不分昼夜侦察南联盟,包括 2 颗“长曲棍球”SAR 成像侦察卫星,3 颗照相侦察卫星,3 颗侦察小卫星,6 颗气象卫星和 24 颗导航卫星。

现代战场环境越来越复杂,单靠传统的可见光和红外遥感已无法满足现代战争需求,而 SAR 成像遥感技术弥补了它们的缺陷,发挥了不可替代的作用。

SAR 是一种主动微波相干成像雷达。它不仅能获得高分辨率的 SAR 图像,而且具有全天候、全天时、大尺度、远距离、连续观测运动目标的能力,例如,在一些自然灾害(地震、火灾、飓风等)和突发事件发生前、发生中、发生后,SAR 均能获得遥感数据,这对及时了解这些紧急事件发生的位置和状态有着非常重要的意义。SAR 具有一定的穿透植被、土壤和遮盖物的能力,很容易辨别地面的伪装目标和隐藏于山林中的军事目标,如识别一般伪装的导弹阵地、识别云雾笼罩地区的地面目标等。在导弹图像匹配制导中,采用合成孔径雷达摄图,能使导弹击中隐蔽和伪装的目标。SAR 能对慢速动态目标进行昼夜监视跟踪,如对舰船、车辆、装甲车、导弹运输车、地面部队集结等动态目标的连续跟踪。SAR 还用于深空探测,例如,用 SAR 探测月球、金星的地质结构。因此,SAR 已在生态科学、水文科学、海洋科学等民用领域和军事应用领域中发挥着重要的作用^[5-10]。SAR 的应用范围正在不断扩展,已成为对地观测系统和天基侦察监视系统不可缺少的重要探测技术。

目前,世界各国对 SAR 的发展日益重视,SAR 技术领先的国家和组织都在致力于将 SAR 用于目标检测和识别的研究,以期望更为快速、准确地从 SAR 图像中获得有用的信息。本书以 SAR 在目标侦测领域中的应用为目标,注重与侦测工程实践相结合,从侦测目标的散射机理、SAR 成像、SAR 图像处理、SAR 目标检测和变化检测等方面阐述了侦测目标的 SAR 图像处理方面的相关理论与技术问题。

1.2 侦测信号处理内容与方法

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它各种变换等)、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)^[2,11]。

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)的目的。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。侦测信号按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,包括各种光学、红外遥感图像、多光谱和高光谱图像、雷达图像),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)器所获取的图像信号,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。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 and 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。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^[12]。

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(有经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,