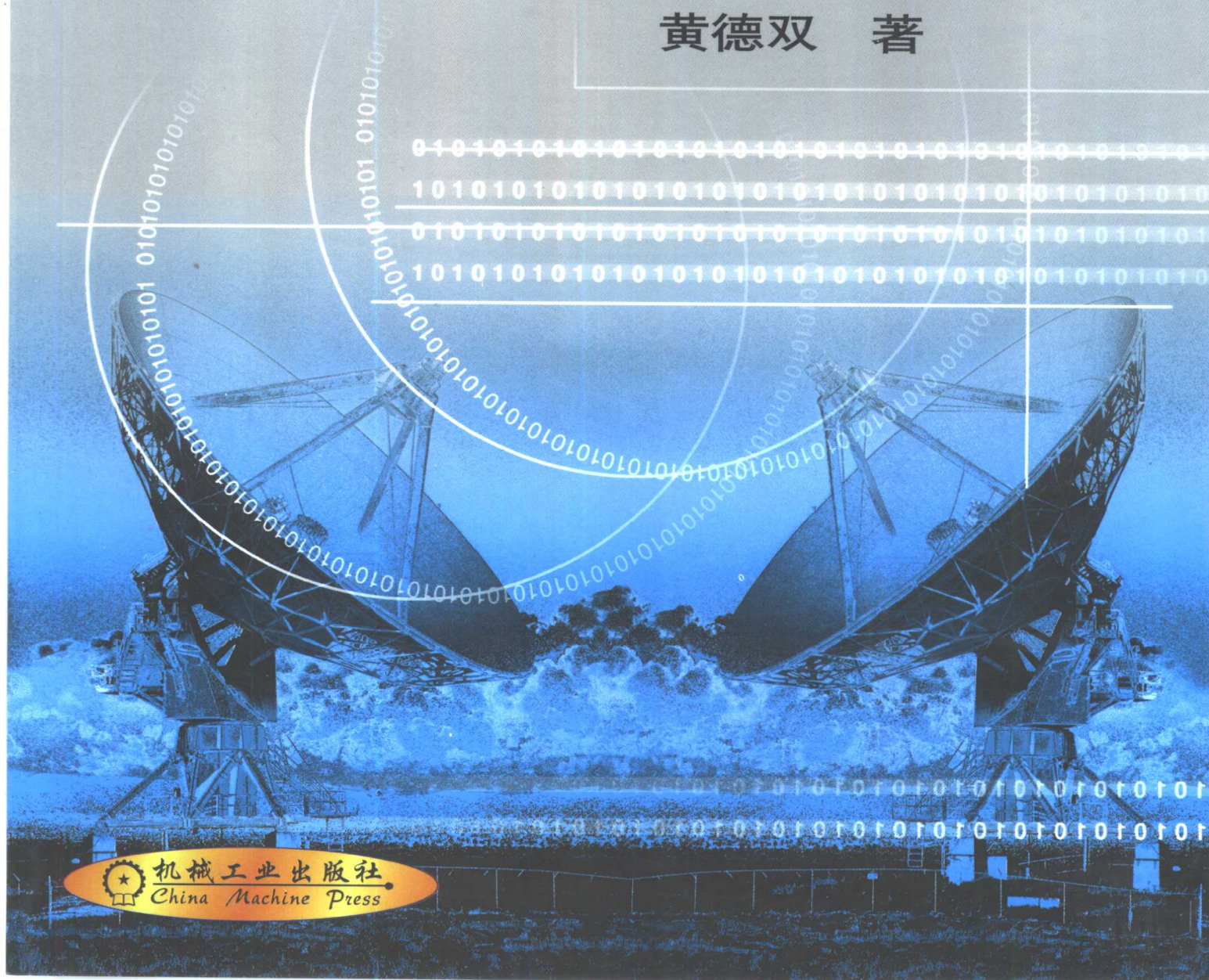


国家自然科学基金资助项目 机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目

高分辨雷达 智能信号处理技术

黄德双 著



机械工业出版社
China Machine Press

国家自然科学基金资助项目
机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目

高分辨雷达智能信号处理技术

Intelligent Signal Processing Technique for High Resolution Radars

黄德双 著



机械工业出版社

本书研究的主要内容是关于高分辨雷达下目标信号的智能（神经网络）处理技术，主要包括雷达目标检测技术、识别技术和跟踪技术等。本书概念阐述清楚、内容较为丰富、系统性强。全书共包括 10 章，分别介绍了高分辨雷达下杂波的特性和统计分布；分析了高分辨雷达波形获取方法、一维像的成像原理；重点研究了高分辨雷达目标信号的传统技术的与神经网络技术的检测、识别和跟踪技术。其中，大部分内容是作者近年来在该领域的最新成果。

本书可作为从事电子工程、人工智能、雷达系统、自动控制、信息处理、计算机和所有涉及机器智能和模式分析领域的专业技术人员、高年级本科生和研究生的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

高分辨雷达智能信号处理技术/黄德双著. —北京：机械工业出版社，
2001.2
ISBN 7-111-08716-X

I.高... II.黄... III.高分辨力雷达—人工智能—信号处理 IV.
TN959

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2001）第 02730 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
责任编辑：钱飒飒 王霄飞 版式设计：冉晓华 责任校对：王 静
封面设计：方 芬 责任印制：郭景龙
北京第二外国语学院印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2001 年 7 月第 1 版·第 2 次印刷
787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·12 印张·292 千字
1 501—3 000 册
定价：22.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68993821、68326677-2527

前 言

(Preface)

雷达，其英文的名字叫 Radar，即“无线电探测和测距”（Radio Detection and Ranging）的缩写。其含义是指，通过电磁波的方法来发现远距离的目标，并实现测距。所以，雷达有时也被称作“千里眼”。随着技术的进一步发展，目前的雷达并不像过去定义的那样，只能发现目标和测量目标的相对距离，现代雷达已经实现了包括测量目标的相对速度、加速度，实现目标的一维、二维和三维成像，甚至能准确地识别目标的威胁等级等等。可以预计，随着高新技术的不断发展，特别是微电子技术日新月异的进步，未来的雷达将显示出更为强大的功能和威力。

雷达技术之所以发展如此迅速的另一个重要原因是，事物的变化总存在其对立面，“道高一尺，魔高一丈”。因为雷达技术的大力发展将势必对来犯的飞机、导弹等反辐射武器构成威胁，因而，反过来促进了反辐射武器的进步；而反辐射武器的进一步发展又加速了雷达技术的不断进步。这种交织的竞争不但刺激雷达与反辐射武器本身的发展，更将大力推动与其相关的应用技术和基础理论的不断前进。由于雷达作为一种有源传感器，不但应用在军事领域，而且，在民用及商业方面也得到了广泛的应用。所以，得益的不光是技术的两个方面，而是所有相关的技术领域，甚至影响整个社会。

雷达技术的不断发展一方面需要在硬件上不断突破，另一方面需要软件——信号处理技术的强力支持。硬件上的发展主要依赖微电子技术，特别是超大规模集成电路技术的进步。目前，多功能、超高集成度半导体芯片的不断问世，已使我们制造更为机动、更为灵巧的雷达设备成为可能。但是，随着雷达的更新换代，特别是实际问题对雷达性能提出的更高要求，迫使我们必须在现有硬件水平基础上不断提出新的信号处理算法，方能发挥雷达的威力。从目前软件技术的发展来看，特别是微软公司近年来在软件领域的巨大成功，使我们得到一个启示：好的软件算法有可能使原硬件设备的功能倍增，甚至有效的软件算法能实现硬件设备无法实现的功能。因此，在提高整个雷达系统性能中，雷达信号处理的重要性已经摆在十分显著的位置。

雷达作为一种感知器，能够感知人眼无法感知的对象，在这方面它已经远远超出人类的智能。尽管如此，这种智能仍然是低级的。要想使雷达具有更高级的智能，就必须赋予它更复杂、更有效的结构和算法，使它不但是“千里眼”，而且在某种程度上还是一个超级的“人”。这是雷达工作者孜孜以求的方向。

当然，要使雷达完全实现人类大脑那样高智商的运行机制，这样远大的目标实际上将永远不可能达到。因为大脑本身就是不断发展的客观事物；如果以模拟人类大脑的局部功能作为目标，这不但可能，而且在局部问题上甚至会超过人。目前，已经走向深入研究的人工神经网络技术就是一种从局部功能上，模拟人脑智能的一种方法。大量的研究结果已经表明，人工神经网络技术已经做到局部代替人脑的工作，甚至有过之而无不及。因此，如果我们将人工神经网络技术方面的研究成果，很好地应用到雷达信号处理问题上，那么雷达系统除了

有一个“千里眼”外，还将有一个智能的“心脏”。可以想象，具有智能处理功能的雷达是未来雷达技术发展的一个重要方向。

高分辨雷达（HRR）是目前广泛采用的雷达体制，相对过去的常规（低分辨）雷达来说，这种新体制雷达具有分辨距离很近的两个目标的功能，因而，径向上具有一定尺寸的目标在高分辨雷达的照射下将变成多个“点”目标，这些点目标就被称为目标的一维距离（纵向）像。由于距离像随方位的变化比较剧烈，因而无法沿用过去常规雷达信号处理方法来实现目标信号的检测、识别和跟踪。必须另辟蹊径，寻找新的信号处理方法。目前，以人工神经网络为代表的非线性智能处理方法，在处理这些问题时，具有独到之处，因为神经网络不但具有自学习、自适应和自组织能力，而且具有可塑的并行处理结构，特别是具有感知处理对象的细微特征变化的能力；因而，非常适合于处理象高分辨雷达这样的传感器所面临的动态多变的环境。所以，如果使用神经网络技术来解决高分辨雷达中的目标信号处理问题，将是再恰当不过的手段。

我们知道，组合优化、时间序列预测和模式识别是神经网络应用最成功的三个方面。因此，如果使用神经网络技术来实现雷达目标一维像的检测、识别和跟踪，将是一个极有希望的新领域，也是神经网络技术潜在应用的新方向。近年来，许多研究工作表明，神经网络在处理这些问题时，的确是有效的，不但能够给出问题的有效解，并且相对于传统的方法而言，则有过之而无不及。所以，开展神经网络技术在高分辨雷达信号处理中的应用研究，具有非常诱人前景。毋庸置疑，这一技术的研究不但会给高分辨雷达技术带来变革，而且，将促进神经网络技术本身的发展，并有可能加速我国国防现代化的进程，提高武器装备的威力，使我们在未来的战争中永远立于不败之地，所以本书的撰写与出版具有深远的影响和非常重要的意义。希望通过该书的出版，引起广大读者对这一课题的关注，并将这项技术的研究引向深入。

本书是我们研究神经网络技术在高分辨雷达信号处理方面工作的总结。全书共包括 10 章，第 1 章综述了高分辨雷达信号处理和神经网络技术研究的背景；第 2 章研究与分析了高分辨雷达下杂波的特性和统计分布；第 3 章主要讨论和分析了高分辨雷达波形获取方法和一维像（包括一维距离像和一维横向像）的成像原理；第 4 章研究与分析了步进频率和线性调频连续波生成距离像的原理、性能和误差特性；第 5 章研究与讨论了基于位置相关信息的高分辨雷达目标信号检测方法；第 6 章研究了基于神经网络的非参数目标检测技术，包括如何使用遗传算法来优化神经网络结构和如何使用径向基函数网络来估计杂波的概率密度分布；第 7 章研究和分析了基于极化比和极化功率特征来实现高分辨雷达目标识别的方法；第 8 章研究与讨论了基于外监督学习前馈神经网络的雷达目标一维像识别方法；第 9 章考虑将高分辨雷达目标一维距离像看作一种双随机过程，从而使用具有时间处理能力的隐马尔可夫神经网络，来实现高分辨雷达目标的识别技术；第 10 章研究和分析了高分辨雷达目标距离、速度和角（包括方位角和俯仰角）跟踪技术。

本书的研究工作是在我的博士学位论文《雷达目标一维像识别技术的研究》、第一站博士后出站工作报告《反坦克导弹末制导雷达信号检测与识别技术的研究》和第二站博士后出站工作报告《The Study of Theory and Mechanism of Feedforward Neural Networks for Pattern Recognition》部分工作的基础上，加上近 3 年来作者在神经网络模式识别领域的部分工作而完成的。作者从 1989 年攻读博士学位起就一直从事神经网络技术在雷达信号处理领域方面的应用研

究工作。在北京理工大学“电子学与通讯”第一期博士后流动站和中科院自动化所“自动控制”第二期博士后流动站期间，作者两次分别得到了“中国博士后科学基金”的资助；在中科院自动化所国家模式识别重点实验室、清华大学智能系统与技术国家重点实验室，以及北京大学视觉与听觉信息处理国家重点实验室，作者分别得到客座研究员基金的支持；在总装备部系统工程研究所工作期间，作者又得到国家自然科学基金的资助。由这些基金资助完成的部分工作进一步充实了本书的内容。为了保证和体现全书的系统性，且能反映高分辨雷达智能信号处理技术的最新进展，本书也结合了自己的心得体会，并吸收了国际部分专家的研究成果。但囿于时间关系，加上数据来源不足，所以，有些算法未经具体实验数据的检验。

本书的出版首先要感谢曾经培养和指导过我的四位尊敬的导师，他们分别是原解放军国防科技大学朱德君教授、西安电子科技大学中科院院士保铮教授、北京理工大学中国工程院院士毛二可教授和原中科院自动化所所长、现国家科技部副部长马颂德研究员。正是他们的谆谆教诲和用心指导，特别是他们给我指出的研究方向和创造的宽松的学术环境，使我 10 多年来一直潜心于神经网络与信号处理技术方面的研究，从而为写好本书打下了一定的基础。作者还要感谢总装备部系统工程研究所何新贵研究员、北京理工大学韩月秋教授和清华大学彭应宁教授在百忙之中审阅了书稿，并为本书提出了宝贵的修改意见！此外，1999 年 7 月，IEEE Fellow、美国 Syracuse University 雷达分布检测领域著名专家 P. K. Varshney 教授来北京访问期间，作者有幸接待了他，并向他提交了本书的英文大纲，接受了他提出的许多建议。在此对他的鼓励和帮助深表感谢！

感谢机械工业出版社高水平专著出版基金对本书出版的资助！

谨以此书谢给我的母亲和妻子，特别是我那早年故去的父亲！

本书为国家自然科学基金资助项目！

黄德双

2000 年 8 月于北京

常用物理量及符号表

Table of Physical and Mathematical Symbols

c	光速
B	雷达发射波形等效带宽
τ	回波延迟
ΔR	雷达分辨率
$h(t)$	匹配滤波器冲激响应
P_T	目标功率
P_{SN}	系统热噪声功率
P_G	地杂波功率
P_S	天线噪声功率
P_J	各种有源和无源干扰功率
P_A	雷达发射机功率
λ	雷达工作波长
G	天线增益
σ_T	目标散射截面积
R	雷达作用距离
T_0	标准参考温度
B_n	匹配接收机带宽
A_G	杂波反射面积
σ_0	归一化杂波散射截面积
γ_0	背景反射率
θ_b	波束半功率宽度
S/C	信杂比
S/N	信噪比
C/N	杂噪比
$f(x, y)$	二维目标散射函数
$\Delta\theta$	旋转方位角
T_p	脉宽
f_c	本振频率
f_r	脉冲重复频率
f_n	发射信号载频
A_n	发射信号振幅

θ_n	发射信号相位
T_1	步进频率脉冲持续时间
T_2	一次扫频时间
Δf	每次步进频率增量
t_n	第 n 次步进频率的时刻
f_d	多普勒频移
$x(n, m)$	第 m 个扫频周期中第 n 个脉冲经零中频处理对应的回波信号
V (或 v)	目标相对雷达的运动速度
ΔF	扫频范围
$\tau_{\max}$	目标最大时延
μ	调频斜率
S_{hh}	水平(h) 发射, 水平(h) 接收极化波响应
S_{vh}	水平(h) 发射, 垂直(v) 接收极化波响应
S_{hv}	垂直(v) 发射, 水平(h) 接收极化波响应
S_{vv}	垂直(v) 发射, 垂直(v) 接收极化波响应
S_{hl}	发射左(l) 圆极化波, 得到的水平(h) 极化波响应
S_{vl}	发射左(l) 圆极化波, 得到的垂直(v) 极化波响应
T_{h1}	第一检测门限
T_{h2}	第二检测门限
η	确信系数
$\in$	属于
$\notin$	不属于
$\Rightarrow$	蕴含
$\Leftrightarrow$	等价于
$\subset$	包含于
$\forall$	对于任意的
j	虚数单位
$s(t)$	目标回波信号
$n(t)$	杂波回波
P_D	发现(检测) 概率
P_{FA}	虚警概率
$p(x_1, x_2, \cdots, x_n)$	联合概率密度函数
$\sup$	上确界
$\lim$	取极限
$\max$	取最大值
$\min$	取最小值
$\mathbf{c}_k$	第 k 个隐节点对应的中心矢量

C_i	第 i 个染色体
$F(i)$	第 i 个染色体对应的适应度
$P_r(i)$	第 i 个染色体对应的复制概率
$\varepsilon(t)$	预测误差
$(\cdot)^T$	T 表示矩阵或矢量的转置
$(\cdot)^*$	* 表示矩阵或矢量的共轭
$(\cdot)^H$	H 表示矩阵或矢量的共轭转置
A^{-1}	表示矩阵 A 的逆
I	单位矩阵
$\sigma(A)$	矩阵 A 的所有奇异值的全体
n	模式样本维数(有时也用 N 来表示)
R	实数域或一般的论域
R^n	n 维实欧几里德空间
ω_i	第 i 个模式类别集合
c	模式类别或聚类类别的个数(有时也用 C 来表示)
$\sigma_i^{(k)}$	第 k 次观测对应的第 i 个散射中心的雷达截面积
ρ	极化比
$\mathbf{g}(t)$	瞬时 Stokes 矢量
$D_i(\mathbf{x})$	判决函数
$P(\omega)$	先验概率
$P(\omega/\mathbf{x})$	后验概率
$p(\mathbf{x}/\omega)$	类条件概率密度,也称似然概率(函数)
$p(\mathbf{x})$	样本概率分布
$U(x)$	单位阶跃函数
$Y(\omega)$	$y(t)$ 的傅里叶变换
$\mathbf{x}^{(i)}$	第 i 类模式样本矢量
$x_j^{(i)}$	第 i 类模式样本矢量对应的第 j 个分量
$N^{(i)}$	第 i 类模式样本数
L	网络层数(不包括输入层)
N_l	第 l 层神经元(节点)数目
$x_i(t)$	对于模式 t , 输入矢量 $\mathbf{x}(t)$ 的第 i 个分量
$w_{ij}(t)$	第 i 个神经元节点相应模式 t 的连接权矢量 $\mathbf{w}_i(t)$ 的第 j 个分量
$d_i(t)$	第 i 个神经元节点相应模式 t 的总的期望输入
$\theta_i(t)$	第 i 个神经元节点相应模式 t 的偏置
$J(\cdot)$	误差加权代价函数
λ	遗忘因子
$\mathbf{g}(\cdot)$	卡尔曼增益矢量

$P(\cdot)$	逆相关矩阵
$K(\cdot)$	核函数
α_i	核函数第 i 个分量对应的形状参数
$ p_{t_n} $	第 n 个散射中心对应的频率响应
AR_{t_n}	第 n 个散射中心对应的极化椭圆轴比
φ_{t_n}	第 n 个散射中心对应的极化椭圆倾角
E_{t_n}	第 n 个散射中心对应的能量
r_{t_n}	第 n 个散射中心对应的相对位置
R_E	不模糊距离
φ_{l_n}	椭圆极化倾斜角
ε_{t_n}	椭圆率
AR_{t_n}	椭圆长短轴比
$P(q_{t_{n+1}} = S_{n+1}/q_{t_n} = S_n)$	一步转移概率
π	初始状态分布概率
A	状态转移概率矩阵
B	符号转移概率矩阵
O	观察序列
$\arg$	取自变量的算子
$P\{O/\lambda\}$	似然概率
$\alpha_{t_n}(i)$	前向似然函数(变量)
$\beta_{t_n}(i)$	后向似然函数(变量)
R_n	噪声协方差矩阵
σ_n	噪声方差
δf	多普勒频率的误差
ε	目标视线与天线等信号轴线之间的误差角
ω_s	锥扫频率
α	方位角
β	俯仰角
ε_α	方位角误差信号
ε_β	俯仰角误差信号

目 录

前 言

常用物理量及符号表

第 1 章 绪 论	1
1.1 高分辨雷达及其信号处理研究的背景	2
1.1.1 高分辨雷达	2
1.1.2 高分辨雷达信号处理	3
1.2 智能技术及雷达信号智能处理技术研究的背景	4
1.2.1 神经网络技术	5
1.2.2 雷达信号智能处理技术	6
1.3 高分辨雷达信号智能处理系统方案	7
第 2 章 高分辨雷达杂波及其特性分析	9
2.1 常规雷达杂波特性	9
2.2 高分辨雷达杂波特性	13
2.3 高分辨雷达杂波统计特性分布	16
2.4 评 述	17
第 3 章 雷达目标一维像模型和计算机仿真	19
3.1 一维像的数学模型	19
3.1.1 ISAR 成像的基本原理	19
3.1.2 一维像的数学模型	21
3.2 一维像的特性分析	23
3.2.1 一维纵向像的特性分析	23
3.2.2 一维横向像的特性分析	25
3.3 雷达目标一维距离像的计算机仿真	26
3.3.1 坐标变换	26
3.3.2 舰船目标后向散射回波模型	28
3.4 评 述	32
第 4 章 高分辨雷达波形选择与性能分析	33
4.1 步进频率高分辨雷达波形	33
4.2 线性调频连续波高分辨雷达波形	37
4.3 高分辨率波形的性能与误差分析	39
4.3.1 步进频率信号	39
4.3.2 线性调频连续波信号	40
4.4 评 述	42
第 5 章 基于位置信息的高分辨雷达目标检测技术	43

5.1 数据的校正与预处理	44
5.1.1 数据的校正	44
5.1.2 步进频率雷达实测数据的校正	45
5.1.3 数据的预处理	46
5.2 基于位置相关的高分辨雷达目标信号的检测	47
5.2.1 问题的提出	47
5.2.2 基于位置信息的距离段联合检测	48
5.3 基于滑动窗的距离段联合检测器	55
5.3.1 滑动窗与位置相关检测器	55
5.3.2 基于多扫频周期的视频积累	56
5.4 利用极化信息的进一步讨论	57
5.5 评 述	60
第 6 章 基于神经网络的高分辨雷达目标检测技术	61
6.1 简单的多层感知器检测器	62
6.1.1 感知器神经检测器	62
6.1.2 最佳感知器神经检测器	63
6.2 目标航迹的神经网络检测	64
6.2.1 基于单层感知器的最佳后验检测器	64
6.2.2 性能分析	66
6.2.3 多目标检测的推广	67
6.3 基于径向基函数网络的杂波概率密度估计	68
6.3.1 问题的提出	68
6.3.2 径向基函数网络概率密度估计算法	69
6.4 遗传优化的径向基函数网络用于超高分辨雷达信号的检测	71
6.4.1 超高分辨雷达下杂波混沌模型的描述	72
6.4.2 用于杂波混沌过程重建的 RBFN 预测器	73
6.4.3 遗传算法及其在 RBFN 训练中的应用	74
6.4.4 使用遗传算法训练的 RBFN 的收敛特性	77
6.4.5 遗传优化的径向基函数网络用于超高分辨雷达信号的检测	79
6.5 评 述	80
第 7 章 基于高分辨、极化特征的目标识别技术	81
7.1 数据的预处理	81
7.2 高分辨、极化特征提取	85
7.2.1 极化比和交叉极化比特特征提取	85
7.2.2 基于瞬时 Stokes 矢量的特征提取	87
7.2.3 基于散射点回波功率的特征提取	92
7.3 基于目标极化散射功率分布的近邻分类	94
7.3.1 高分辨、双极化雷达目标散射功率分布	95
7.3.2 近邻法分类器	96
7.3.3 分类实验结果	97
7.4 评 述	98
第 8 章 前馈神经网络分类器与雷达目标一维像识别	99

8.1 外监督学习前馈网络分类器	100
8.1.1 模式分类的判决理论方法	100
8.1.2 外监督学习前馈网络分类器及其映射特性	101
8.2 雷达目标一维距离像的特征分析	103
8.2.1 旋转目标的特征获取	104
8.2.2 平移目标的特征获取	104
8.3 广义径向基函数神经网络	106
8.3.1 径向基函数网络简介	106
8.3.2 广义径向基函数网络	107
8.4 广义径向基函数网络的学习算法	108
8.4.1 隐层至输出层连接权值的递归最小二乘学习算法	108
8.4.2 核函数宽度参数的梯度下降学习算法	110
8.4.3 实验结果	111
8.5 径向基概率神经网络	116
8.5.1 概率神经网络	116
8.5.2 径向基概率神经网络	116
8.6 评述	117
第9章 基于时间神经网络的高分辨雷达目标一维距离像识别	119
9.1 基于全极化 HRR 目标距离像的 Prony 参数提取	119
9.1.1 多散射点的 Prony 模型描述	120
9.1.2 多散射点的 Prony 参数估计	121
9.2 隐马尔可夫模型	124
9.2.1 马尔可夫模型的基本定义	124
9.2.2 隐马尔可夫模型	126
9.3 最大似然概率的前后向估计方法	127
9.3.1 前向估计法	128
9.3.2 后向估计法	128
9.4 基于神经网络的 HMM 参数估计	129
9.4.1 基于 BP 算法的 HMM 参数迭代	129
9.4.2 HMM 参数的 Baum-Welch 学习算法	132
9.4.3 Viterbi 算法	134
9.5 参数估计值的计算机溢出问题	136
9.5.1 前后向似然变量的比例运算	136
9.5.2 HMM 网络学习算法中迭代公式的修正	137
9.6 基于 HMM 网络的高分辨雷达目标识别	138
9.6.1 基于矢量量化的 HMM 状态和符号参数提取	139
9.6.2 基于 HMM 网络的高分辨雷达目标识别	140
9.7 评述	142
第10章 高分辨雷达目标跟踪技术	143
10.1 高分辨雷达目标距离信息的提取	143
10.1.1 非机动目标距离信息的提取	144
10.1.2 机动目标距离信息的提取	144
10.2 高分辨雷达目标多普勒信息的提取	145

10.2.1 单个正弦信号频率的 MLE 原理	145
10.2.2 步进频率高分辨雷达对应的目标多普勒信息的提取	147
10.2.3 线性调频连续波高分辨雷达对应的目标多普勒信息的提取	148
10.3 高分辨雷达目标角误差信息的提取	149
10.3.1 基于平均散射点中心的高分辨雷达目标角误差信息提取方法	149
10.3.2 基于多散射点中心平均的高分辨雷达目标角误差信息提取方法	151
10.4 评 述	151
附录	152
附录 A 极化信息处理基础	152
附录 B 第 6 章中有关定理或结论的证明	154
附录 C 第 9 章中有关定理或结论的证明	155
附录 D 第 10 章中公式 (10-10) 的推导	157
主要名词汉英对照表	159
参考文献	167

CONTENTS

Preface

Table of Physical and Mathematical Symbols

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Backgrounds for High Resolution Radars and Their Corresponding Signal Processing Researchs	2
1.1.1 High Resolution Radars	2
1.1.2 Signal Processing for High Resolution Radars	3
1.2 Backgrounds for Researchs of Intelligent and Radar Signal Intelligent Processing Technique	4
1.2.1 Neural Networks Technique	5
1.2.2 Radar Signal Intelligent Processing Technique	6
1.3 Schemes for Signal Intelligent Processing Systems of High Resolution Radars	7
Chapter 2 Clutters in High Resolution Radars and Their Properties Analyses	9
2.1 Clutter Properties for Low Resolution Radars	9
2.2 Clutter Properties for High Resolution Radars	13
2.3 Statistical Properties Analyses for High Resolution Radars Clutters	16
2.4 Commentary	17
Chapter 3 One Dimensional Image Model for Radar Targets and Their Computer Simulations	19
3.1 Mathematical Model for One Dimensional Images	19
3.1.1 Basic Principle for ISAR Imaging	19
3.1.2 Mathematical Model for One Dimensional Images	21
3.2 Properties Analyses for One Dimensional Images	23
3.2.1 Properties Analyses for One Dimensional Range Images	23
3.2.2 Properties Analyses for One Dimensional Cross Images	25
3.3 Computer Simulations of One Dimensional Range Images for Radar Targets	26
3.3.1 Transform of Coordinates	26
3.3.2 Model for Backward Scattering Echoes of Ships Targets	28
3.4 Commentary	32
Chapter 4 Waveform Selections and Performance Analyses for High Resolution Radars	33
4.1 Frequency-Stepping High Resolution Radars Waveform	33
4.2 Linear Frequency Modulated Continuous Wave High Resolution Radars Waveform	37
4.3 Performance and Error Analyses of High Resolution Radars Waveforms	39
4.3.1 Frequency-Stepping Waveform	39
4.3.2 Linear Frequency Modulated Continuous Wave Waveform	40

4.4	Commentary	42
Chapter 5	Detection Technique of High Resolution Radar Targets Based on Position Information	43
5.1	Adjustment and Preprocessing of Datum	44
5.1.1	Adjustment of Datum	44
5.1.2	Adjustment of Real Measured Datum for Frequency Stepping Radars	45
5.1.3	Preprocessing of Datum	46
5.2	Detection of High Resolution Radar Targets Based on Position Correlations	47
5.2.1	Problem Presentation	47
5.2.2	United Detection of Distance Segments Based on Position Information	48
5.3	United Detectors of Distance Segments Based on Smoothing Windows	55
5.3.1	Smoothing Windows and Position Correlating Detectors	55
5.3.2	Video Integration Based on Multiple Sweeps' Range Profiles	56
5.4	Further Discusses for Utilizing Polarization Information	57
5.5	Commentary	60
Chapter 6	Detection Technique of High Resolution Radar Targets Based on Neural Networks	61
6.1	Simple Multilayered Perceptron Detectors	62
6.1.1	Neural Perceptron Detectors	62
6.1.2	Optimum Neural Perceptron Detectors	63
6.2	Detection of Targets Tracks Based on Neural Networks	64
6.2.1	Optimum Postdetectors Based on One-Layered Perceptrons	64
6.2.2	Performance Analyses	66
6.2.3	Extension to Detections of Multiple Targets	67
6.3	Estimate of Probability Density of Clutters Based on Radial Basis Function Networks	68
6.3.1	Problem Presentation	68
6.3.2	Estimate Algorithm of Probability Density Functions Based on Radial Basis Function Networks	69
6.4	Application of Radial Basis Function Networks Optimized by Genetic Algorithm to Detection of Superhigh Resolution Radar Signals	71
6.4.1	Description of Chaos Model for Clutters in Superhigh Resolution Radars	72
6.4.2	RBFN Predictors for Reconstruction of Chaotic Process of Clutters	73
6.4.3	Genetic Algorithm and Its Application to Training of RBFNs	74
6.4.4	Convergent Properties of RBFNs Trained by Genetic Algorithm	77
6.4.5	Application of Radial Basis Function Networks Optimized by Genetic Algorithm to Detection of Superhigh Resolution Radar Signals	79
6.5	Commentary	80
Chapter 7	Recognition Technique of Radar Targets Based on High Resolution Features and Polarization Features	81
7.1	Preprocessing of Datum	81
7.2	Feature Extractions Based on High Resolution Range Profiles and Polarization	85
7.2.1	Feature Extractions Based on Polarimetric Ratio and Cross Polarimetric Ratio	85
7.2.2	Feature Extraction Based on Transient Stokes Vectors	87

7.2.3	Feature Extraction Based on Powers of Scatters' Echoes	92
7.3	Neighbouring Classification Based on Targets Polarized Scattering Powers	94
7.3.1	Scatters Power Distribution of High Resolution & Dual Polarization Radar Targets	95
7.3.2	Neighbouring Classifiers	96
7.3.3	Experimental Results	97
7.4	Commentary	98

Chapter 8 Feedforward Neural Network Classifiers and Identification of One-Dimensional Images of Radar Targets

8.1	Outer-Supervised Learning Feedforward Neural Network Classifiers	100
8.1.1	Decision Approach for Pattern Recognition	100
8.1.2	Outer-Supervised Learning FNN Classifiers and Their Mapping Properties	101
8.2	Feature Analyses for One Dimensional Range Images of Radar Targets	103
8.2.1	Feature Extraction for Rotating Targets	104
8.2.2	Feature Extraction for Translating Targets	104
8.3	Generalized Radial Basis Function Networks	106
8.3.1	Brief Introduction for Radial Basis Function Networks	106
8.3.2	Generalized Radial Basis Function Networks	107
8.4	Training Algorithm for Generalized Radial Basis Function Networks	108
8.4.1	Recursive Least Squares Learning Algorithm for Connection Weights of Hidden-to-Output Layer	108
8.4.2	Gradient Descending Learning Algorithm for Shape Parameters of Kernel Functions	110
8.4.3	Experimental Results	111
8.5	Radial Basis Probabilistic Neural Networks	116
8.5.1	Probabilistic Neural Networks	116
8.5.2	Radial Basis Probabilistic Neural Networks	116
8.6	Commentary	117

Chapter 9 Recognition of One Dimensional Range Images of High Resolution

	Radar Targets Based on Temporal Neural Networks	119
9.1	Prony' s Parameter Extraction Based on Range Profiles of Fully Polarized High Resolution Radar Targets	119
9.1.1	Description of Prony' s Model for Multiple Target Scatters	120
9.1.2	Estimate of Prony' s Parameters for Multiple Target Scatters	121
9.2	Hidden Markov Model	124
9.2.1	Basic Definition for Markov Model	124
9.2.2	Hidden Markov Model	126
9.3	Forward-Backward Estimate Procedures for Maximum Likelihood Probability	127
9.3.1	Forward Estimate Procedure	128
9.3.2	Backward Estimate Procedure	128
9.4	Estimate of Hidden Markov Model' s Parameters Based on Neural Networks	129
9.4.1	Iteration of Hidden Markov Model' s Parameters Based on Back Propagation Algorithm	129
9.4.2	Baum-Welch Learning Algorithm for HMM Parameters	132
9.4.3	Viterbi Algorithm	134
9.5	Computation Overflow Problems for Parameter Estimates	136