

水声科学与技术丛书

杨德森 主编

水声目标识别

程玉胜 李智忠 邱家兴/著

Underwater Acoustic Target
Recognition



科学出版社

水声科学与技术丛书

杨德森 主编

水声目标识别

程玉胜 李智忠 邱家兴 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

水声目标识别是声纳工程的重要技术之一。本书系统介绍了水声目标识别的基本原理和方法,主要包括特征选择、提取和变换技术,以及常用的分类器和机器学习技术等。对于水声目标识别而言,最重要的环节是特征提取。本书重点探讨了船舶辐射噪声的调制谱、线谱、听觉感知和声源级特征,水声瞬态信号特征,以及船舶运动特征等。系统阐述了各识别特征的物理意义、产生物理机理、提取和利用方法,介绍了现代信号处理技术在谱特征分析中的应用,以及特征选择和变换的常用方法等。

本书系统性、针对性强,涵盖了水声目标识别过程中的主要问题,绝大多数内容是在长期理论研究和大量实际数据验证的基础上形成的,可以作为水声工程专业的学习教材,也可作为从事水声目标识别研究的有关科技和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水声目标识别/程玉胜,李智忠,邱家兴著. —北京:科学出版社, 2018.11

(水声科学与技术丛书/杨德森主编)

ISBN 978-7-03-059004-6

I. ①水… II. ①程… ②李… ③邱… III. ①水下目标识别-研究 IV. ①U675.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第227524号

责任编辑: 阚 瑞 / 责任校对: 郭瑞芝
责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

河北鹏润印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年11月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2018年11月第一次印刷 印张: 16

字数: 320 000

定价: 108.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

“水声科学与技术丛书”编委会

主 编：杨德森

执行主编：殷敬伟

编 委(姓氏笔画排序)：

马启明	方世良	王 宁	王 燕	卞红雨
付 进	生雪莉	张海刚	张友文	刘清宇
刘盛春	刘淞佐	孙大军	李 琪	李桂娟
李秀坤	何元安	时胜国	陈洪娟	周利生
周 天	皇甫立	洪连进	贾志富	秦志亮
笪良龙	商德江	黄益旺	梁国龙	程玉胜
童 峰	惠 娟	韩 笑		

丛书前言

海洋面积约占地球表面积的三分之二，人类已探索的海洋面积仅占海洋总面积的约 5%。由于水下获取信息手段的缺乏，大洋深处对我们来说是黑暗、深邃和未知的。

新时代实施海洋强国战略，提高海洋资源开发能力，保护海洋生态环境，发展海洋科学技术，维护国家海洋权益，离不开水声科学与技术。同时，我国海岸线漫长，沿海大型城市和军事要地众多，这都对水声科学技术的快速发展提出更高要求。

海洋强国，必兴水声。声波是迄今水下远程无线传递信息唯一有效的载体。水声技术，利用声波实现水下探测、通信、定位等功能，相当于水下装备的眼睛、耳朵、嘴巴，是海洋资源勘探开发与海军舰船及水下兵器的必备技术，是关心海洋、认知海洋、经略海洋的无可替代的手段，在各国海洋经济、军事发展中占重要的战略地位。

从 1953 年冬在中国人民解放军军事工程学院(哈军工)创建了首个声纳专业开始，经过数十年的发展，我国已建成了由一大批高校、科研院所和企业构成的水声教学、科研和生产体系。然而与发达的海洋国家相比，我们的水声基础研究、技术研发、水声装备等还存在较大差距，需要国家持续投入更多的资源，需要更多的有志青年投入水声事业当中，实现水声技术从跟跑到并跑再到超越，不断为海洋强国发展注入新的动力。

水声之兴，关键在人。水声科学与技术是融合了多学科、多领域、复杂的声机电信息一体化的高科技领域。《全国海洋人才发展中长期规划纲要(2010—2020 年)》明确了我国海洋人才发展总目标，力争用十年左右的时间使得我国海洋人才达到 400 万人。目前我国水声专业人才只有万余人，现有规模和培养规模远不能满足行业需求，水声专业人才严重短缺。

人才培养，著书为纲。书是人类进步的阶梯。推进水声领域高层次人才对学科领域的支撑是本丛书编撰的目的所在。本丛书是由哈尔滨工程大学发起，与国内相关水声技术优势单位合作，汇聚教学科研方面的精英力量，共同组织实施的。丛书力求内容全面，叙述精准、深入浅出、图文并茂，基本涵盖了水声科学技术的知识框架、技术体系、最新科研成果及未来发展可能的研究方向，包括矢量声学、水声信号处理、目标识别、侦察、探测、通信、水下对抗、传感器及声系

自序

水声目标识别用于解决主动声纳和被动声纳对探测到的目标回波信号或目标辐射噪声信号的识别问题。自第二次世界大战以来,水声目标识别技术就成为水声领域的重要研究内容,现代反潜技术的发展使得潜艇对水声被动识别技术提出了更高的需求。从需求上来说,水声目标识别包括敌我性质识别和目标类型识别。敌我识别往往通过主动询问应答的方式解决,如通信声纳中的询问机,而回波信号或辐射噪声信号识别用于解决目标类型的分类和识别问题。水声目标识别问题和一般模式识别问题一样,需要解决的关键问题仍然是特征选择、特征提取和分类器设计问题。

水声目标识别早期研究开展于 20 世纪 60 年代,在 80 年代形成一段时间的高潮,但由于问题的复杂性,技术进展一直比较缓慢。水声目标识别问题之所以成为长期攻而不克的技术难题,根本原因还是在于问题的复杂性。作者认为原因体现在以下几个方面:①可分性问题。水声目标识别需求的是从船舶的功能或用途来分类,如军舰、商船,而技术分类只能从其辐射噪声的差异来分类,实际上很多类别船舶结构没有差异或差异很小,如军火船和商船,船舶结构可能完全一样,仅是装载不同而已。②船舶工况复杂。同一条船舶具有多种不同的工况,工况不同辐射噪声不同。随着船舶服役时间增加,其辐射噪声也会发生变化。③海洋环境对船舶辐射噪声特征具有重要影响。海洋环境使得船舶辐射噪声特征产生畸变,如低频线谱特征、声源级特征都对海洋环境极其敏感,而海洋环境影响机理尚未被完全认知。④目标特性保密性使得识别特征数据库建立困难。船舶辐射噪声信号或回波信号具有高度的保密性,很难有效地获取军用舰艇目标特性数据,尤其是作战对手的舰艇目标,即使有部分工况的数据,准确性可用性也无法把握,造成完备的数据库建立困难。⑤声纳信息获取能力先天不足。声纳信息获取的船舶辐射噪声频段与声纳作用距离相关,使得不同距离获取的船舶辐射噪声频段不一致,仅能获取部分频段的船舶辐射噪声。如采用低频的反潜探测技术获取的仅是船舶辐射噪声很低频段一部分信息。声纳工作特点客观上造成了特征提取的完备性先天不足。⑥对抗性使得问题进一步复杂化。与语音识别相比,船舶辐射噪声样本不仅获取存在困难,而且军用舰艇降噪技术使得容易被探测识别的特征都显著弱化了,现时代的识别技术,若干年后可能完全不可用。由于水声目标识别是一个具有多种不确定性因素叠加下的决策问题,所以基于自动信息处理或人工

统、计量与测试技术、海洋水声环境、海洋噪声和混响等。本丛书的出版对于水声事业的发展来说可谓应运而生，恰逢其时，相信会对推动我国水声事业的发展发挥重要作用，为海洋强国战略的实施做出新的贡献。

在此，向 60 多年来为中国水声事业奋斗耕耘的教育科研工作者表示深深的敬意！向参与本丛书编撰出版的辛勤组织者和作者表示由衷的感谢！

中国工程院院士 杨德森

2018 年 11 月

智能技术的水声目标自动识别技术发展缓慢。

水声目标识别具有两大分支，一是被动噪声识别，二是主动回声识别，两者在分类器设计上具有通用性，区别在于提取特征量的差异。本书侧重介绍被动噪声识别技术。水声目标识别技术本身包括特征提取技术和分类器设计技术两个方面。在此，所说的特征提取技术也包括特征选择技术，而特征选择更多是指选择什么样的特征量，而不是指模式识别中用于特征维数压缩的特征选择；从研究来看，分类器设计技术重要性要弱于特征提取。选择了稳健性不好的特征，什么分类器也很难有好的识别效果。基于这种观点，本书以比较大的篇幅介绍了被动目标识别特征提取的相关理论和技术，而在分类器设计上，主要介绍了部分分类器的数据试验结果。

本书是作者科研团队的共同研究成果。在本书出版之际，感谢团队成员戴卫国、李智忠、王易川、高鑫、邱家兴、刘启军、李海涛、陈喆等同志，他们都在该领域从事了十年左右甚至近二十年的研究工作，为该领域研究贡献了自己的青春和智慧；感谢跟随作者团队从事该领域研究的唐震、阳雄、钟建、洪华军、程广涛、李茂宽、车永刚、王顺杰、刘虎、周静、陈仲、王森、张宗堂、丁超、刘振等博士、硕士研究生，他们长期的研究作为本书的编写奠定了基础。在本书撰写过程中，中国海洋大学的王良副教授为本书第4章提供了部分素材，在此一并致谢。本书成稿后，马远良院士、李启虎院士、杨德森院士在百忙中仔细审阅了书稿，并提出了很多宝贵的意见和建议，在此致以诚挚的谢意。另外，还要感谢海军潜艇学院胡均川教授在作者从事该领域研究阶段提供的指导和帮助。

由于作者水平有限，尤其是对目标识别问题的认识深刻程度、研究工作的深入程度有限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2018年3月

目 录

丛书前言

自序

第 1 章 绪论	1
1.1 水声目标识别基本问题	1
1.2 水声目标识别系统基本组成	4
1.3 水声目标识别技术研究现状	6
1.3.1 特征选择技术	6
1.3.2 特征提取技术	8
1.3.3 分类器设计技术	12
1.3.4 基于深度学习的识别技术	14
第 2 章 船舶辐射噪声调制谱特征	16
2.1 船舶螺旋桨空化噪声	16
2.1.1 船舶螺旋桨空化	17
2.1.2 船舶螺旋桨空化噪声模型	19
2.2 船舶辐射噪声调制谱	22
2.2.1 船舶辐射噪声调制现象	22
2.2.2 船舶辐射噪声调制谱结构	23
2.2.3 船舶辐射噪声调制谱数学模型	24
2.3 船舶辐射噪声解调基本方法	30
2.3.1 绝对值低通解调	30
2.3.2 平方低通解调	31
2.3.3 希尔伯特变换解调方法	32
2.3.4 不同解调方法性能比较	33
2.4 船舶辐射噪声调制谱连续谱平滑技术	35
2.4.1 自适应高斯平滑算法	35
2.4.2 双通分离窗算法	37
2.4.3 排序截短平均算法	39
2.5 基于船舶辐射噪声调制谱转速特征提取技术	40
2.5.1 倍频检测方法	40

4.3	瞬态信号其他检测方法	102
4.3.1	ARMA 逆滤波器法	102
4.3.2	小波变换法	104
4.3.3	Hilbert-Huang 变换法	108
第 5 章	辅助分类识别特征	113
5.1	船舶辐射噪声的听觉感知特征	113
5.1.1	声音的听觉感知特征	113
5.1.2	船舶辐射噪声听觉感知特征	117
5.2	船舶辐射噪声声源级特征	124
5.2.1	船舶辐射噪声声源级	124
5.2.2	船舶螺旋桨空化对声源级的影响	125
5.2.3	声源级特征可分性分析	127
5.2.4	声源级特征提取技术	130
5.3	船舶运动特征	134
5.3.1	运动特征对船舶目标分类的意义	134
5.3.2	船舶目标速度特征	135
5.3.3	船舶目标方位变化率特征	137
第 6 章	现代信号处理技术在谱特征分析中的应用	142
6.1	经典谱估计方法	142
6.1.1	自相关法	142
6.1.2	周期图法	143
6.2	参数模型法	145
6.3	特征值分解法	150
6.4	自适应线谱增强技术	153
6.5	高阶谱分析	155
6.5.1	高阶谱	155
6.5.2	确定性信号的高阶谱	155
6.5.3	非参数法高阶谱估计	156
6.5.4	双谱对角切片谱	158
6.5.5	基于双谱对角切片谱的调制谱分析	159
6.6	Wigner-Ville 分布	161
6.6.1	WVD 的定义	161
6.6.2	Wigner-Ville 分布计算	162
6.6.3	Wigner-Ville 分布数据试验	164

2.5.2	最大似然估计法	41
2.6	基于船舶辐射噪声调制谱桨叶数特征提取技术	44
2.6.1	基于专家系统的桨叶数特征提取方法	44
2.6.2	基于模板匹配的桨叶数特征提取方法	46
2.6.3	基于调制谱相位耦合特性的桨叶数特征提取方法	47
2.7	船舶辐射噪声解调频带对解调谱的影响	51
2.7.1	船舶辐射噪声调制谱子带不均匀性	51
2.7.2	船舶辐射噪声解调性能与带宽关系	53
2.7.3	船舶辐射噪声宽带调制谱与子频带调制谱之间关系	56
2.8	声纳预处理 AGC 对调制谱的影响	59
2.8.1	声纳预处理 AGC 电路及作用	59
2.8.2	AGC 电路对船舶辐射噪声调制谱的影响	61
第 3 章	船舶辐射噪声线谱特征	66
3.1	船舶辐射噪声线谱声源	66
3.1.1	船舶机械噪声线谱	66
3.1.2	船舶螺旋桨噪声线谱	70
3.1.3	船舶结构振动噪声线谱	73
3.1.4	船舶辐射噪声线谱结构	78
3.2	船舶辐射噪声线谱特征提取方法	80
3.2.1	线谱分析分辨率问题	80
3.2.2	线谱提取方法	81
3.3	船舶辐射噪声线谱稳定性	83
3.3.1	船舶辐射噪声线谱频率稳定性和幅度稳定性	83
3.3.2	船舶辐射噪声稳定线谱存在情况	85
3.4	船舶辐射噪声线谱识别能力	87
3.4.1	线谱分布经验模型	87
3.4.2	线谱识别模板	89
3.4.3	线谱识别能力数据试验	90
第 4 章	水声瞬态信号特征	93
4.1	水声瞬态信号波形与频谱	93
4.2	瞬态信号基本检测器	96
4.2.1	瞬态信号能量检测器	96
4.2.2	瞬态信号幂律检测器	99
4.2.3	STFT 检测器	101

8.5.2 线性支持向量机	221
8.5.3 非线性支持向量机	224
8.5.4 支持向量机应用中的几个问题	226
8.5.5 基于支持向量机水声目标分类数据试验	228
参考文献	232

第 7 章 特征选择与变换	167
7.1 类别可分性的评估准则	167
7.1.1 基于距离的可分性准则	168
7.1.2 基于概率分布的可分性准则	169
7.1.3 基于熵函数的可分性准则	171
7.2 特征选择	172
7.2.1 全局最优搜索策略	173
7.2.2 次优搜索策略	174
7.2.3 随机搜索策略	175
7.3 典型特征变换方法	180
7.3.1 K-L 变换	182
7.3.2 核函数方法	188
第 8 章 水声目标识别分类器设计技术	194
8.1 分类器概述	194
8.1.1 模式识别分类器	194
8.1.2 水声目标识别分类器设计难点问题	196
8.2 近邻分类器	198
8.2.1 最近邻法	198
8.2.2 k -近邻法	198
8.2.3 具有拒绝决策的 k -近邻法	199
8.2.4 距离度量	200
8.2.5 近邻分类器的特点	202
8.3 基于 CBR 推理分类器	203
8.3.1 CBR 的基本原理	203
8.3.2 基于 CBR 系统水声目标分类器设计	206
8.4 神经网络分类器	208
8.4.1 ANN 的基本概念	208
8.4.2 神经网络结构和类型	209
8.4.3 感知器	211
8.4.4 BP 神经网络	214
8.4.5 基于 BP 神经网络水声目标分类数据试验	216
8.5 支持向量机	219
8.5.1 最优分类超平面	220

第1章 绪 论

水声目标识别的任务是通过对声纳接收的水声信号进行分析, 判别目标的性质。目标性质包括敌我属性和目标类型属性。敌我属性识别是鉴别目标是敌方还是我方, 一般采用主动识别的方法, 通过使用专门的敌我识别声纳完成。目标类型属性识别是鉴别目标的类型, 如目标是潜艇、驱逐舰, 还是商船等。

目标类型识别有机器自动识别和人工听音识别两种方式。不论用哪种识别方式, 本质都是将待识别目标与原先存储的“样本”比对进行分析判断。

人工听音识别即通常所说的声纳听音判型, 是靠人的听觉辨别船舶噪声信号或回声信号的音色差异, 根据经验即大脑中存储的样本信息, 区分出船舶类型^[1,2]。机器识别利用现代信息处理技术, 提取水声目标辐射噪声或回声信号的频谱、波形等识别特征, 与存储在目标特征数据库中的“样本库”特征进行自动比对, 实现对目标类型的识别。

水声目标识别的另一用语是水声目标分类, 两者具有几乎相同的内涵, 前者可以理解为更精细的分类。水声目标识别问题包括两大分支, 一类是被动声纳的噪声识别问题; 另一类是主动声纳的回声识别问题。噪声识别和回声识别仅是研究的对象不同而已, 但识别基本过程都是相同的。本书讨论的是被动声纳噪声识别问题。

严格地说, 水声信号是指通过水介质传播的所有声信号, 如海洋中的船舶辐射噪声、鱼雷辐射噪声、海洋生物噪声、海上石油钻井平台噪声以及海洋环境噪声等。虽然这些信号都可以被声纳接收, 也有被识别的需求, 但人们更关注的是运动平台辐射噪声的识别问题, 因此, 本书所述的水声信号一般是指船舶、鱼雷等运动平台的辐射噪声信号。

1.1 水声目标识别基本问题

水声目标识别是一类模式识别问题, 其实水声探测问题也可以采用模式识别方法来研究。声纳目标的检测、识别、定位及运动分析, 从根本上说可以放在一个识别空间上来考虑^[3,4]。与模式识别研究领域一样, 水声目标识别研究也面临六个方面的基本问题, 它们是: 水声信号目标类别的可分性、类别相似性度量方法、类别特征描述方法、类别特征提取方法及有效性、判别准则函数选择以及分类识

别中的机器学习^[5]。

1. 水声信号目标类别的可分性

从分类识别需求上来说,水声目标分类的主要依据是其功能和使命任务,而对于使用技术手段的目标分类识别来说,只能依据其船舶结构、螺旋桨结构、主机动力、工况等这些影响其辐射噪声物理量作为主要分类识别依据。因此,分类识别需求和使用技术手段实现的分类本身就存在冲突,如军用辅助船完全可能是战时用商船改造的,其结构和商船没有区别,仅上面载的物品由民用物资改为了军用物资而已。

水声信号类别的可分性问题可以归结为模式识别中模式类的紧致性问题。一般来说,为了保证分类的可行性,要求同类样本在描述空间中应尽可能地靠近,或者说同类样本是一个紧致集合^[6]。模式类的紧致性示意图如图 1-1 所示。

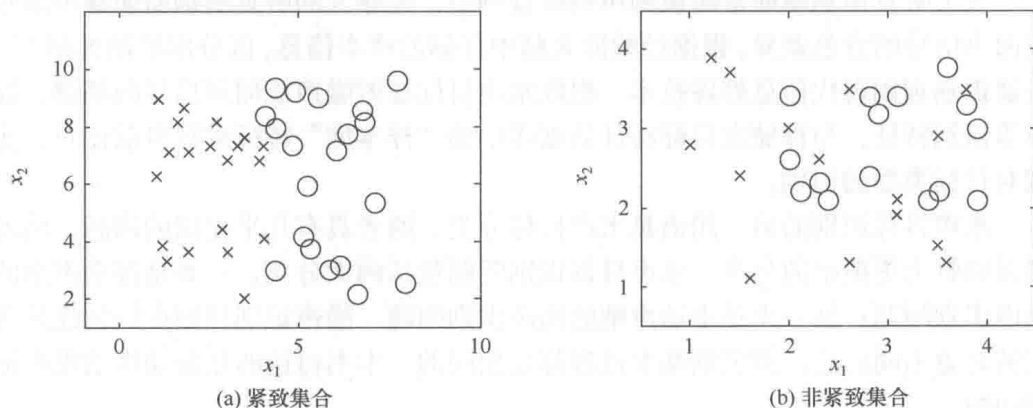


图 1-1 模式类的紧致性

一个紧致集合应满足三个性质:一是临界点要少;二是内点光滑过渡;三是内点邻域足够大。临界点是指类别边界两边的样本,改变一个类别集合内样本点的任一个元素,即变为另一个类别集合内的样本。内点是指紧致集合内部的点,两个内点之间可以用光滑线连接,且该连线上的点也属于该类别。内点邻域足够大表明内点周围应基本都是内点。

2. 水声信号目标类别的相似性度量

水声信号分类识别是以识别特征向量为基础的,如何以特征向量来描述类别之间的相似性以及确定是否为同类样本,这是由类别的相似性来描述的。

基于相似性的定义,可以使用相似性度量来确定样本之间的相似程度^[6]。 d 维样本空间中,两个向量 x_i, x_j 之间的相似性度量 $d(x_i, x_j)$ 应满足以下条件。

(1) 非负性。相似性度量是非负的, 即 $d(x_i, x_j) \geq 0$ 。

(2) 自相似最大性。样本向量自身的相似性度量最大, 即 $d(x_i, x_j) = d_{\max}$, $i = j$ 。

(3) 对称性。两个样本向量之间的相似性度量是对称的, 即 $d(x_i, x_j) = d(x_j, x_i)$ 。

(4) 单调性。样本空间中的紧致集合其相似性度量应是单调的。

在工程应用中, 关于相似性度量使用了广义“距离”尺度来确定样本的相似性, 相似性越大, “距离”越小。

欧氏距离:

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (1-1)$$

下降函数:

$$d(x_i, x_j) = f\left(\sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{ik} - x_{jk})^2}\right) \quad (1-2)$$

向量夹角:

$$d(x_i, x_j) = \arccos \frac{x_i^T x_j}{\|x_i\| \|x_j\|} \quad (1-3)$$

以上三种“距离”度量方法均满足相似性度量或距离定义的条件, 这些都在特定情况下被用于描述样本之间的相似性。

3. 水声信号的类别特征

水声信号的类别特征主要是指从水声目标辐射噪声或其他观测数据中提取的对分类有用的度量、属性或者基元。在数学上, 将特征的定义空间称为特征空间。水声信号的类别特征描述是实现分类的关键, 如船舶的螺旋桨转速、桨叶数、谱特征、速度、声源级等都是表征船舶属性的特征。

基于特征描述的分类方法是基本的分类方法, 因此获取描述水声信号的特征是关键性工作。所获取的特征是否有效, 以及如何剔除与类别属性无关的特征均是特征研究中的重要问题。

4. 类别特征空间映射

空间映射是解决特征空间与分类有效之间的桥梁。使用空间映射关系, 可以将各种有效的数学方法应用于分类识别之中, 从而解决分类识别问题。

在水声信号的识别中应用空间映射方法可以解决的问题很多, 如许多在原特征空间中分类不明显的分类对象, 在变换空间中可以明显地显示出类别可分特性。

一些分类对象在特征空间中的类别子空间清晰,但是其分类界面可能是平面,也可能是曲面。如果能够找到非线性映射关系将曲面映射为平面,将大大简化分类器的设计。如果特征提取后的若干特征与分类关系不显著,可以使用空间映射的方法找到相应的降维子空间,可以大大简化计算量。在空间映射的各种应用中,作用比较突出的是特征提取与特征压缩。空间映射方法很多,如傅里叶变换、小波变换、K-L(Karhunen-Loeve)变换等线性变换,也有用于超平面化使用的非线性变换。因此,确定合适的空间映射来简化或者解决水声信号的有效分类问题是非常重要的。

5. 分类准则函数的选择

在模式识别方法的研究中,学者们提出了各种各样的准则函数用于解决分类问题。每种准则函数都是在限定条件下被提出来,因此在实际使用中都有一定的局限性。例如,直接基于样本集合作线性判别,线性判别的几种准则函数在有限样本条件下的准确性较高,但是当样本集合的容量扩大时,其误判率大大增加,此时则需要进一步使用贝叶斯决策方法。直接基于样本集合的各种近邻法在应用中简单方便,但在变换特征空间中,基于欧氏距离准则的分类准确度则会降低。另外各种线性变换的应用是基于有限样本的,如果原分类对象具有某种非线性特性,而线性变换不予保留也会导致错误率增加。所以在设计分类器时,不能断言某种分类器的性能是最好的。因此对于具体的分类问题应选择合理的分类器设计方法与合理的准则函数,使得分类器的设计满足分类需要。

6. 分类识别中的机器学习

在各种分类器设计中,无一例外地使用了机器学习的方法。在机器分类识别中,一般情况下是已知样本的集合,获得样本集合的特征描述或者数学描述,选定某种分类器设计方法,使用已知样本来训练分类器,使得分类器达到希望的性能,其中使用已知样本训练分类器的过程就是机器学习过程。机器学习通过对样本信息的学习获得关于类别的知识,从而得到有效的分类器。机器学习方法很多,如神经网络分类器、CBR(case based reasoning)推理分类器等都具有学习功能。

1.2 水声目标识别系统基本组成

水声目标识别系统一般采用统计模式识别方法,相应的识别系统由两个过程组成,即设计和实现。设计是指通过一定数量的水声信号样本(叫作训练集或学习集)进行分类器的设计;实现是指用所设计的分类器对待识别的样本进行分类决策。基于统计模式识别方法的识别系统由五部分组成:信息获取、预处理、特征提取、