

高性能水下目标识别系统及其实验研究*

西北工业大学

船舶系统工程部

大连测控技术研究所

景志宏 赵俊渭

林钧清^V

林良骥

U666.7
7B565

摘 要 结合“九五”预研课题,设计了一种高性能的水下目标识别系统,具有有源目标识别和无源目标识别两种功能。海上实测数据的大量实验表明:在低信噪比、多工况及大量测试样本条件下,该识别系统具有识别率高、实时性好、推广能力强等优点,具有一定的推广价值。

关键词 目标识别 特征提取 分类器

水下目标识别

声纳目标识别是水声装备发展的三项关键技术(探测、识别、定位)之一,对未来海战具有重大的军事价值,世界各国海军正急待解决此技术难题。鉴于此,我国“九五”期间,水下目标识别被列为重点解决的关键技术。

美国在被动目标识别研究领域,早期曾推出一种称为 BQQ-3 的潜用声纳目标分类系统,于 70 年代中期美国海军又装备了以拖线阵为主体的 BQQ-5 潜

用声纳,工作频段可降至 100Hz,以检测舰船噪声的低频线谱,并配有频率分析器,用于识别目标性质。到 80 年代中期已有海上目标识别系统装备海军舰艇,例如 MITRE 公司开发的用于海军指挥控制机构的专家系统就具有目标识别的功能。

在主动识别领域,美国早期研制的 SQS-23 声纳就已具有主动目标识别的功能,另一种猎雷声纳 SQQ-14 也具有目标分类功能。后来美海军在 SQS-26 声纳上也多次进行了目标识别实验。就当前掌握的一些资料来看,一些国外鱼雷自导系统业已具备识别舰艇要害部位的能力。

所以,适时地将理论研究转化为有实际应用价值的成果,对加速我海军装备现代化显得极为重要,水下目标识别系统正是为实现这一目标而研制的。实验表明:该系统具有识别率高、实时性好、易于推广等优点。

1 系统结构及设计思想

水下目标识别系统的总体框架如图 1 所示。整

个系统同时具有有源目标识别和无源目标识别两种功能。系统由数据采集、目标特征提取及分类器设计等三大部分组成。

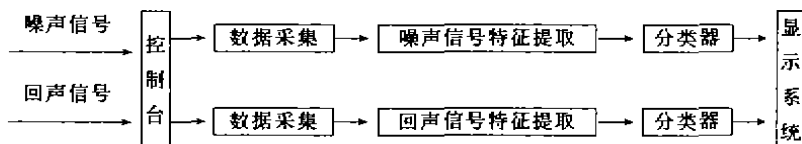


图 1 系统总框架

水下航行体的辐射噪声通常由三部分组成:水动力噪声、机械噪声及螺旋桨空化噪声。在这 3 类噪声中,机械噪声及螺旋桨空化噪声在大多数情况下是主要的辐射噪声。噪声谱有两种根本不同的类型:一种是有连续谱的宽带噪声;另一种是具有非连续谱的单频噪声,这种噪声由出现在离散频率上的线谱组成。水下航行体的辐射噪声在很大的频率范围内由这两类噪声叠加而成。

特征提取是目标识别的关键环节。特征提取得好,即所得的特征向量中包含的类别信息足够多,干扰信息足够少,则分类效果就好;反之再好的分类器也无法成功地分类。一般我们把原始数据构成的空间叫测量空间,把分类识别赖以进行的空间称为特征空间,通过映射可以把维数较高的测量空间中表示的目标变为维数较低的特征空间中表示的目标。

主动声纳信号识别的关键在于提取目标的反射特性。原则上说,不同的目标应当产生不同的回声。潜艇具有准圆柱形的双层壳体,其大小、形状和内部结构基本确定,潜艇回声的听觉特征清脆并常常伴

* 本研究课题为国防“九五”预研项目。

作者简介:景志宏,男,博士研究生,研究方向为水下目标识别和水声信号处理。

有转音。由于受多路径效应、介质起伏、信噪比及发射接收机工作状态的影响,潜艇目标的这种听觉特征有时明显,有时不明显,甚至完全消失。

目标回波是一种时间序列,它是目标类型、距离、方位等的函数。原则上讲,目标回波中包含有表示目标特征的丰富的信息,可以直接用于特征提取与分类。但实际上,直接利用回波对目标进行分类存在着相当大的困难。

首先,直接利用回波对目标进行分类,数据量太大,特征维数太高,不便处理;其次,目标的特征难于抽取,并且目标的特征模式具有动态及模糊特性;第三,特征和目标客体之间的关系难以用良好的数学关系来表示。因此,利用数学变换手段来提取目标的相对不变特征是人们关心的主要问题。

分类器设计的好坏直接影响分类的效果。由于水下目标型号繁多,且工况多变,难以得到完备的样本集,这使得水下目标识别在实际应用中难以达到预期的性能。而神经网络分类器的样本参数隐含于网络的连接权中,它无须事先知道,在反复训练中通过网络输出误差的反馈,自动调整,以达到期望目标^[1,2]。因此,神经网络的在线学习、自适应功能,使得神经网络分类器有可能在未来海战中实现对目标的现场学习和分类。

整个系统的输入和输出如图2所示。

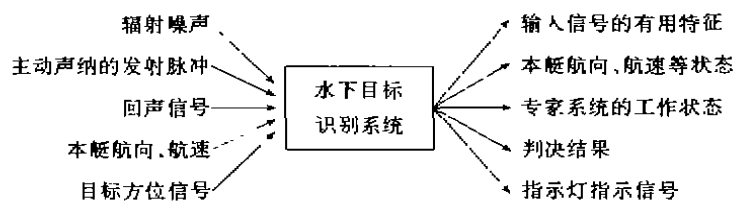


图2 系统的输入和输出

2 系统软件的组成

水下目标识别软件是一个集水下目标特征提取器、特征压缩器及分类器于一体的软件系统。该软件汇集了目前常用的一些特征提取、特征压缩和分类方法。采用VC++5.0语言开发,参数可调,操作简便,具有在线帮助信息,为使用提供了很大方便。

系统软件(图3)由中央控制系统、被动识别系统、主动识别系统、综合识别与决策系统、通讯系统等部分构成。

(1)中央控制系统集成了结果显示、键盘接收、指示灯控制、报警音响控制、目标运动要素数据采集

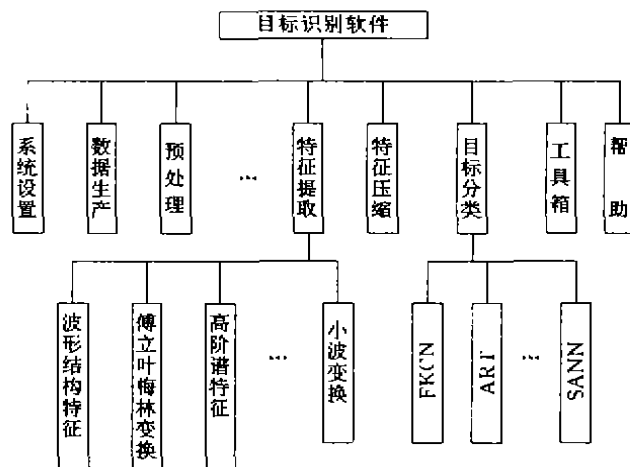


图3 水下目标识别系统软件

控制、系统时钟控制等主控功能;

(2)被动识别系统具有包括采集量化声纳噪声数据,利用多种方法进行特征提取、特征压缩、信息融合、神经网络与专家系统的判决等功能;

(3)主动识别系统具有包括回波信号的采集、回波信号的自动分割、特征提取、特征压缩与融合、神经网络与专家系统的判决等功能;

(4)综合识别与决策系统负责综合被动和主动识别结果、专家的先验知识进行综合鉴别、给出最终识别结果,并提供给中央控制系统进行结果输出。

3 特征提取算法

本识别系统包含有多种目标特征提取算法,本文仅介绍基于双谱的特征提取^[3,4]。

步骤1:将数据 $\{x(1), \dots, x(N)\}$ 分成 K 段,每段 M 个样本,即 $N=KM$,并减去每段的样本均值。如果有必要的话,每段补零以便得到 FFT 的一习惯长度 M 。

步骤2:计算每段的DFT系数

$$Y^{(i)}(\lambda) = \frac{1}{M} \sum_{t=0}^{M-1} x^{(i)}(t) \exp(-j2\pi\lambda t/N) \quad (1)$$

$$(\lambda = 0, 1, \dots, M/2; i = 1, \dots, K) \quad (1)$$

式中 $x^{(i)}(t)$ ($t=0, 1, \dots, M-1$)为第 i 段的数据。

步骤3:计算

$$b_i(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{1}{\Delta_0^2} \sum_{k_1=-L_1}^{L_1} \sum_{k_2=-L_1}^{L_1} Y^{(i)}(\lambda_1 + k_1) Y^{(i)}(\lambda_2 + k_2) Y^{(i)}(-\lambda_1 - \lambda_2 - k_1 - k_2) \quad (2)$$

$$(i = 1, 2, \dots, K)$$

式中 $0 \leq \lambda_2 \leq \lambda_1$, $\lambda_1 + \lambda_2 \leq f_s/2$, 且 f_s 为采样频率, $\Delta_0 = f_s/N_0$ 是频率样本间所要求的频率间隔。 N_0 和 L_1 满足 $M = (2L_1 + 1)N_0$ 。

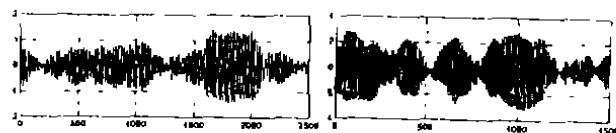
步骤 4: 所给数据的双谱估计值由 K 段的平均结果给出, 即

$$\hat{B}_D(\omega_1, \omega_2) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \hat{b}_i(\omega_1, \omega_2) \quad (3)$$

式中 $\omega_1 = \left(\frac{2\pi f_1}{N_0} \right) \lambda_1$, $\omega_2 = \left(\frac{2\pi f_2}{N_0} \right) \lambda_2$

4 实测数据实验

4.1 基于 Fourier-Mellin 变换的有源声纳目标识别



(a) 假目标回波信号 (b) 真目标回波信号
图 4 目标回波波形

Fourier 变换具有位移不变性, 也就是说, 如果存在两个信号 $g(t)$ ($t \geq 0$) 和 $f(t) = g(t - \tau)$ ($t \geq \tau$), 则有 $|F[g(t)]| = |F[f(t)]|$ 。因此, 利用 Fourier 变换提取的目标特征具有位移不变性。由于 Fourier 变换的快速算法 FFT 便于实现, 因此 Fourier 变换在工程上已获得了广泛的应用。Mellin 变换的幅值具有尺度不变性, 这意味着由 MT 所抽取的特征对目标的弦角是不敏感的, 由此本系统采用了一种基于 Fourier-Mellin 变换的回波特征提取方法。

用上述方法, 本文对真假两类回波信号进行了特征提取和识别实验。实验数据来源于实际海试回波信号录音。实验所用的目标中, 真目标有 9 种类型, 假目标有 7 种类型。分类结果如表 1 所示。

表 1 分类结果

目 标	样本数	判为真目标	判为假目标	识别率
待识别真目标	1070	885	185	82.7%
待识别假目标	1284	240	1044	81.3%

对检测出来的回波信号进行 Fourier-Mellin 变换以提取目标的特征, 它较只作傅立叶变换提取频谱特征有一定的优越性。从实际的分类结果中也可以看出, 在目标类型较多、样本数较大时, 基于 FM 特征的分类效果比较满意。

4.2 基于高阶谱特征的无源声纳识别

功率谱特征是目标识别中用得最多的特征之一, 但功率谱所包含的信息仅仅是信号的二阶统计特征。而水声信号的产生是一个十分复杂的非线性过程, 若要对其精确描述, 仅用二阶统计量显然是不

够的。

由于高阶谱具有抑制未知谱特征的高斯噪声的特点, 并能保持信号的相位特征, 因此, 本系统采用基于高阶统计量谱估计的方法来研究水下目标识别的问题。

在利用高阶谱进行特征提取时, 将每个样本分为 20 段, 每段含有 1024 个点。采用直接法分别计算了 3 类辐射噪声信号的双谱。3 类目标的双谱特征如图 6 所示。从图 6 中不难看出, 利用双谱进行特征提取时, 不同的类别之间具有明显不同的特征。

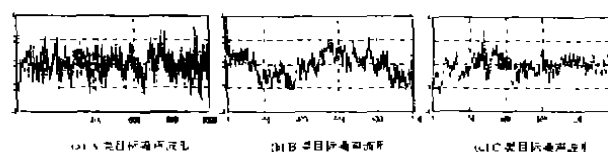


图 5 目标噪声波形

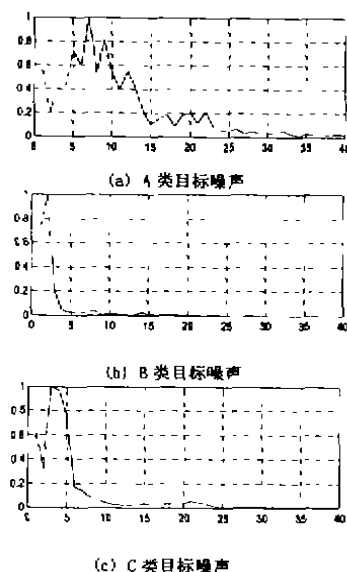


图 6 3 类目标噪声的双谱特征

模糊结构自适应神经网络具有学习速度快、自组织自适应能力强、推广性能好, 且可在训练中自动生成隐层节点, 随时记忆新知识等优点, 所以, 本系统选用该网络作为分类器。

通过对实际测量得到的水下目标数据进行的分类实验可以看出, 在多种工况及较多样本的情况下, 基于双谱估计提取的特征, 不同的类别之间具有较强的可分性, 并且经过模糊结构自适应神经网络分

(下转第 61 页)

作战能力评估领域中。采用效用函数法评价武器的作战能力的最大特点是评估中重点依据客观因素,加强对性能指标影响效能的客观作用的描述。用效用函数描述性能指标,可以将各性能指标对武器作战能力的贡献方式直接表达出来,从而明确客观的性能因素是如何影响武器效能以及影响的程度。虽然在效用函数的建立过程中也存在着人的主观倾向,但这种倾向也是主观服从客观,是对客观事实的再现和表达,与一般的主观因素的作用具有质的区别。

本文所建模型的另一重要特点是评估中对同种作战任务下的不同武器的同类指标建立了统一的价值函数模型,并且各个层次的效用值都是标准化的。

(上接第 54 页)

类器分类后,能保持较高的识别率。实验说明了高阶谱分析方法在水下目标识别领域中可能具有应用潜力。

根据需要将目标噪声数据集分为训练样本集和测试本集。分类实验结果如表 2、表 3 所示。表 4 为对训练集和测试集的分类结果。

表 2 训练集的分类判定矩阵

样 本	判为 I 类	判为 II 类	判为 III 类
待识别 I 类目标样本 95 个	85	4	6
待识别 II 类目标样本 70 个	6	61	3
待识别 III 类目标样本 89 个	5	9	75

表 3 测试集的分类判定矩阵

样 本	判为 I 类	判为 II 类	判为 III 类
待识别 I 类目标样本 115 个	98	7	10
待识别 II 类目标样本 103 个	10	86	7
待识别 III 类目标样本 58 个	3	8	47

这种方法使得各层次中的指标的效用值具有可比性,从而可以直观地比较舰船能力、任务能力、武器能力及武器子系统的能力值。

该方法已用于国内外若干舰船的作战能力评估和比较中,理论分析和实际应用均表明,该方法具有可信度高、计算简洁、便于检验和有利于综合等优点。

参 考 文 献

- 1 戴自立,现代舰载作战系统,北京:兵器工业出版社,1989
- 2 田新时,管理决策的理论与实践,武汉:华中理工大学出版社,1994.

表 4 训练集和测试集的分类结果

样 本 集	识 别 率 (%)			
	I 类目标	II 类目标	III 类目标	平 均
训 练 集	89.47	87.14	84.26	87.01
测 试 集	85.22	83.49	81.03	83.70

5 结 论

本研究考虑了多种舰型、多种工况的辐射噪声,以及多种类型的真目标、假目标的回声。实验所用的样本具有一定的代表性,输入噪声信号的信噪比在 6db 左右,完成一个信号的识别时间约为 3s,对 5 千多个目标样本的实验结果表明,平均识别率为 85.3%。

因此,在低信噪比、多工况及大量测试样本条件下,该识别系统具有识别率高、实时性好、推广能力强、操作简便等优点,具有一定的推广价值。

