

基于统计特征的水下目标一维距离像识别方法研究

卢建斌, 张云雷, 席泽敏, 张明敏

(海军工程大学电子工程学院, 湖北武汉 430033)

摘要: 目标探测与识别是水下预警监视、信息对抗的重要组成部分。针对水下目标一维距离像识别问题, 通过提取目标的长度、重心、高阶中心矩等特征, 分析了所提取特征的统计分布特性, 利用假设检验构建了目标识别特征的统计模型。结合 Bayes 统计分类器开展了 5 类水下目标的识别实验, 并与基于距离像回波匹配相关的识别方法进行对比分析, 对比结果显示所提出的方法在识别率和运算量方面均有明显改善。

关键词: 水下目标识别; 一维距离像; 统计特征; 贝叶斯分类器

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2015)-02-0121-06

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2015.02.004

Research on underwater target recognition with statistical features of high resolution range profiles

LU Jian-bin, ZHANG Yun-lei, XI Ze-min, ZHANG Ming-min

(Electronic Engineering College, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, Hubei, China)

Abstract: Target detection and recognition is the main issue of the underwater surveillance and information warfare. In this paper, five features, (target length, mass, the second center moment, third center moment and fourth center moment), are extracted for the target recognition application from the original high resolution range profiles. The statistical characteristics of the extracted features are analyzed and the statistical model is built with the method of hypothesis testing. Finally, the recognition experiments of the five difference targets are made with the Bayes statistical classifier. The results compared with the traditional template correlation method for the high resolution range profiles show that the proposed method has the obvious advantage in recognition rate and computational complexity.

Key words: underwater target recognition; high resolution range profile; statistical feature; Bayes classifier

0 引言

随着信息技术的不断发展, 水声干扰与水声对抗设备的智能化水平也在不断提高。潜艇和水面舰艇的对抗设备均能够较好地模拟水下被动辐射噪声和主动回波亮点特性, 对水下探测、攻击提出了更为严峻的挑战^[1]。

现代高分辨技术的出现为目标探测和识别提供了新的途径。水声探测传感器通过发射宽带相干信号, 使得回波信号的距离分辨率远小于目标尺寸, 目标表现为各自独立的散射中心的集合。这些散射中心在径向距离上的分布情况称为一维距离

像, 一维距离像包含了目标的形状及结构特征等更多可用于目标识别的信息, 并且具有易获取和易处理等优点, 十分适合应用于鱼雷探测与制导系统, 具有广阔的应用前景^[2,3]。本文通过水声测量获取 5 类目标的一维距离像数据, 通过特征提取与统计特性分析, 并结合 Bayes 分类器验证了利用距离像进行目标识别的有效性。

1 距离像的特征提取

关于利用水声测量目标一维距离像的原理和实验方法可参见文献[4]。在获取目标距离像数据后, 可以直接利用目标的距离像回波在数据库中进行匹配相关, 确定目标的属性, 但是这种方法处理起来数据量和运算量均较大。这里提出基于目标特征统计模型的识别方法, 以提高目标识别的性能, 同时减少识别的运算量和存储量。所提取的特征包括目标长度、重心、二阶矩、三阶矩和四阶矩。

收稿日期: 2014-05-01; 修回日期: 2014-08-20

基金项目: 国家自然科学基金(61372165)、中国博士后基金特别资助(2012T50874)

作者简介: 卢建斌(1980—), 男, 河南信阳人, 博士, 讲师, 研究方向为信号处理, 数据融合与目标识别。

通讯作者: 卢建斌, E-mail: lu_jian_bin@163.com

1.1 目标长度特征

与空中目标不同的是水下目标通常为长条形,目标的长度与其类别有着较大的联系,特别是在对目标进行大、中、小的粗分类时,目标长度是十分重要的特征。目标长度估计的核心是对目标距离像长度的估计,其基本算法就是对距离像上每个距离单元进行检测,判断该单元内的回波是目标回波还是杂波或噪声,从而确定距离像的长度。进一步根据目标当前所处的姿态角度(通常由目标连续跟踪所得的航迹估计得到),就可以计算出当前距离像所对应的目标长度。

因此,上述处理的核心是对距离像内各个单元的检测,这里采用恒虚警检测算法。由于各距离单元均可假设为复高斯分布^[5],即各距离单元回波幅度服从瑞利分布,因此依据白噪声背景下恒虚警检测算法可得出目标距离像的长度。对于某次距离像回波检测结果如图 1 所示。从检测结果可以得出距离像长度为 49.9 cm,结合目标所处的姿态,估计出目标模型的长度为 $49.9/\cos 45^\circ = 70.5$ cm。

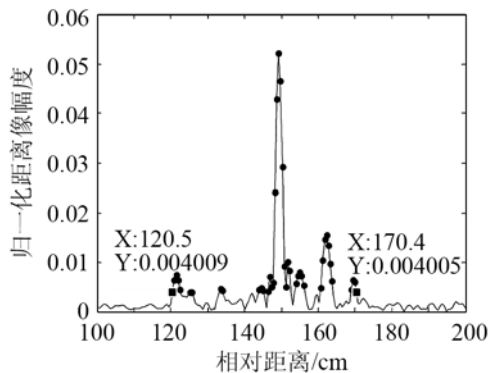


图 1 水下目标距离像的恒虚警检测
Fig.1 CFAR detector for underwater target's range profiles

1.2 目标重心特征

如果将目标距离像看作一个二维曲线,那么其所包含区域的重心分别包括横轴(距离轴)、纵轴(幅度轴)两个分量,如图 2 所示。其中,纵轴上的分量

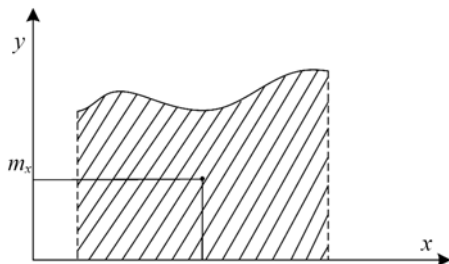


图 2 目标重心表征示意图
Fig.2 Token of target's mass

表征了目标距离像的幅度起伏特征。对于连续函数 $f(x)$, 其重心位置的数学表达式为

$$m_x = \frac{\int f^2(x)dx}{2\int f(x)dx} \quad (1)$$

对于距离像数据 $x(n)$, $n=1,2,\dots,N$, 首先对其进行归一化处理,这里采用幅度归一化,得到归一化后的距离像数据为

$$\bar{x}(n) = \frac{x(n)}{\sum_{k=1}^N x(n)} \quad (2)$$

距离像重心的表达式为

$$m_x = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N (\bar{x}(n))^2 \quad (3)$$

1.3 中心矩特征

中心矩特征是最早用来描述二维图像信号的特征,具有平移、旋转及尺度不变性,它反映目标的形状信息。对于水下目标一维距离像,在一个较小的姿态角范围内目标距离像峰值位置的变化是一个缓变的过程,距离像姿态敏感性主要表现为峰值幅度的变化。对距离像的幅度归一化后,则峰值位置相近的距离像具有相近的形状信息。因而可以把中心矩作为距离像识别的特征^[6]。

由于归一化后的 $\bar{x}(n) \in [0,1]$, 且 $\sum_{k=1}^N \bar{x}(n) = 1$, 因此 $x(n)$ 可以看作一组离散概率分布函数,此时,距离像的 p 阶中心矩定义为

$$\mu_p = \sum_{n=1}^N (n-n_0)^p \bar{x}(n) \quad (4)$$

其中: $n_0 = \sum_{n=1}^N n \cdot \bar{x}(n)$, 本文选择的中心矩特征分别为 2 阶、3 阶和 4 阶中心矩。实际应用中也可以根据系统硬件的计算能力和存储能力选择更多的高阶矩特征。

2 距离像特征的统计分析变换

从上述特征提取过程看,由于原始距离像数据中存在误差,因此基于原始数据所提取的特征也不可避免地存在一定的偏差。以目标长度特征为例,由于目标姿态角的不确定、杂波和噪声的存在、以及对信噪比较低的距离单元进行恒虚警检测可能出现漏警的情况,导致目标长度估计出现一定的随机分布,该分布的模型可以用假设检验来验证,模型分布参数可以通过训练样本数据计算得出。

这里以某目标 A 的长度特征为例,通过其训练样本数据可得出该目标长度的分布如图 3 所示,从图中可以看出目标长度绝大多数分布在 65~80 cm

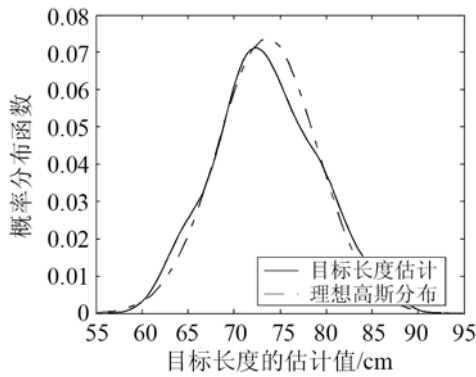


图 3 利用距离像对某型目标长度的估计
Fig.3 Target length estimation using high resolution range profiles

之间，并且长度特征的统计分布与理想高斯分布十分吻合。进一步利用柯尔莫哥洛夫-斯摩洛夫 (Kolmogorov-Smirnov, KS)假设检验，以 5%的置信度水平得出该组特征数据符合高斯分布，其 K-S 检验结果如图 4 所示。

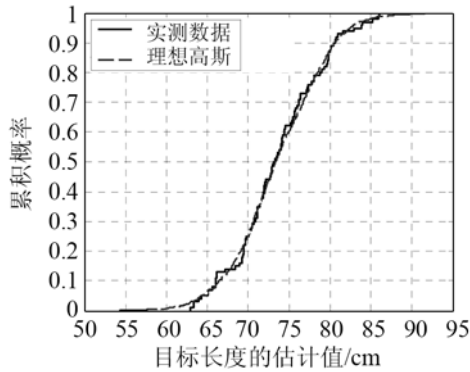


图 4 目标长度特征的 KS 假设检验结果
Fig.4 KS hypothesis testing results of length feature

因此对于该型目标的长度特征可以近似用高斯分布来进行建模，模型分布参数，即高斯分布的均值和方差通过样本数据的计算可得为 $(\mu, \sigma^2)=(73.6, 29.2)$ 。

同样目标重心、二阶矩、三阶矩、四阶矩特征的统计分布如图 5~8 所示，从图中看出虽然各特征

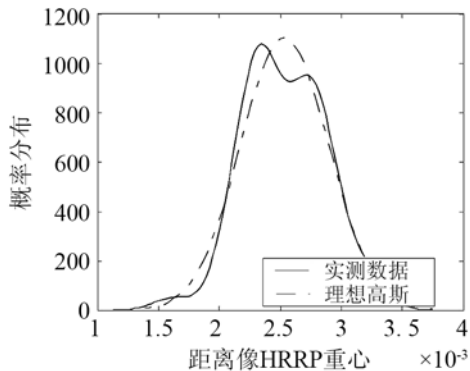


图 5 利用距离像对某型目标重心的估计
Fig.5 Target mass estimation using high resolution range profiles

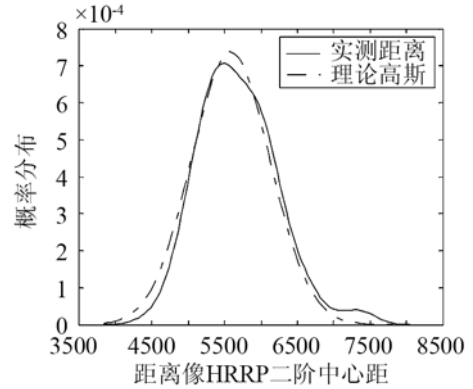


图 6 利用距离像对某型目标二阶矩的估计
Fig.6 Second center moment estimation using high resolution range profiles

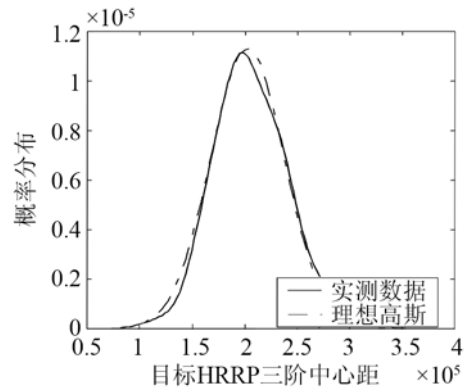


图 7 利用距离像对某型目标三阶矩的估计
Fig.7 Third center moment estimation using high resolution range profiles

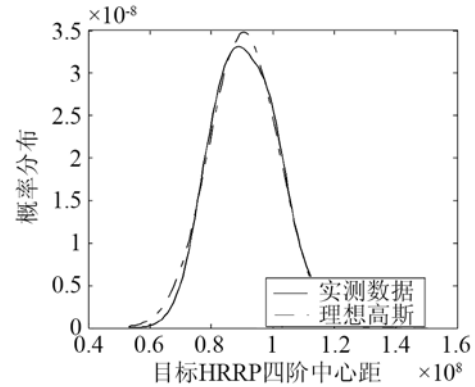


图 8 利用距离像对某型目标四阶矩的估计
Fig.8 Fourth center moment estimation using high resolution range profiles

量取值的分布范围差别较大，但是特征分布的形状都与高斯分布十分相近，从而验证了所提取的特征量在给定置信度水平下满足高斯分布的假设。在计算出各特征分布的均值、方差后即可对上述特征量进行高斯模型的统计建模。

需要说明的是，前面所提取的重心、高阶矩特征虽然都是无量纲数据，但其物理含义不同，特别是高阶矩的幅度随着阶数的增加而急剧递增，从而影响各特征量在特征空间中的权重，进而降低分类

识别的准确性。因此在进行分类识别之前, 还需要将各特征量进行特征变换, 保证所有特征量在特征空间中具有相同的权重。

本文采取极差变换的形式将所有特征量统一到[0,1]范围内, 假设目标种类有 C 类, 每类目标的训练距离像样本数为 P 个, 那么距离像总样本数为 $Q=C \times P$ 个。若将第 j 个距离像特征矢量记为

$$\tilde{\mathbf{x}}_j = [\tilde{x}_{1j}, \tilde{x}_{2j}, \tilde{x}_{3j}, \tilde{x}_{4j}, \tilde{x}_{5j}]^T, \quad j=1, 2, \dots, Q \quad (5)$$

式中的 5 个特征量分别对应着所提取的目标距离、重心、2 阶矩、3 阶矩和 4 阶矩, 那么总的特征矢量可写为

$$\tilde{\mathbf{X}} = [\tilde{\mathbf{x}}_1, \tilde{\mathbf{x}}_2, \dots, \tilde{\mathbf{x}}_Q] \quad (6)$$

对 $\tilde{\mathbf{X}}$ 作如下的极差变换:

$$x_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij} - \tilde{x}_{i,\min}}{\tilde{x}_{i,\max} - \tilde{x}_{i,\min}}, \quad i=1, 2, \dots, 5; \quad j=1, 2, \dots, Q \quad (7)$$

其中 $\tilde{x}_{i,\min} = \min_{1 \leq j \leq Q} [\tilde{x}_{ij}]$, $i=1, 2, \dots, 5$

$$\tilde{x}_{i,\max} = \max_{1 \leq j \leq Q} [\tilde{x}_{ij}], \quad i=1, 2, \dots, 5$$

通过极差变换后的特征向量均分布在[0,1]区间内, 在特征空间中具有相同的权重, 可有效避免特征分布的差异带来的分类器性能的下降。

3 Bayes 分类器设计

Bayes 分类器是一种利用 Bayes 规则的最小错误概率分类器, 也是一种较为常用的分类器^[7]。在 Bayes 分类过程中, 需要计算在给定样本条件下各类别的后验概率, 然后选择后验概率最大的类别作为识别的结果。当待识别样本为 \mathbf{x} , 目标类别总共有 C 类, 分别表示为 w_j , 那么根据 Bayes 规则, 可得出每一类的后验概率为

$$g_j(\mathbf{x}) = P(w_j | \mathbf{x}) = \frac{p(\mathbf{x} | w_j) P(w_j)}{\sum_{i=1}^C p(\mathbf{x} | w_i) P(w_i)} \quad (8)$$

其中: $p(\mathbf{x} | w_j)$ 为 w_j 类中 \mathbf{x} 的概率密度; $P(w_j)$ 为 w_j 类的先验概率。式(8)中分母由于对所有类别是相同的值, 并不影响分类判决的结果, 因此可以将分母部分忽略。此时式(8)可以简化为

$$g_j(\mathbf{x}) = p(\mathbf{x} | w_j) P(w_j) \quad (9)$$

$$\text{或 } \ln g_j(\mathbf{x}) = \ln p(\mathbf{x} | w_j) + \ln P(w_j) \quad (10)$$

这里的 \mathbf{x} 为根据目标距离像数据中提取的 s 维特征向量, 即长度、重心、高阶中心矩等。根据前面的分析, 这些特征均服从或近似服从高斯分布, 即

$$p(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^{s/2} |\boldsymbol{\Sigma}|^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})}{2} \right\} \quad (11)$$

其中: $\boldsymbol{\mu}$ 、 $\boldsymbol{\Sigma}$ 分别为高斯分布 \mathbf{x} 的均值和协方差矩阵, 可以通过训练数据中估计得到。此时判决函数 $g_j(\mathbf{x})$ 可表示为

$$\ln g_j(\mathbf{x}) = -\frac{s}{2} \ln 2\pi - \frac{1}{2} \ln |\boldsymbol{\Sigma}_j| - \frac{1}{2} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_j)^T \boldsymbol{\Sigma}_j^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_j) + \ln P(w_j) \quad (12)$$

如果各类别的先验概率 $P(w_j)$ 均相同时, 判决函数可最终表示为

$$\ln g_j(\mathbf{x}) = -\frac{1}{2} \ln |\boldsymbol{\Sigma}_j| - \frac{1}{2} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_j)^T \boldsymbol{\Sigma}_j^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_j) \quad (13)$$

在识别过程中, 每一个待识别样本数据通过特征提取后得到特征向量 \mathbf{x} , 与每一类别计算得出最大后验概率的类别即为识别的结果。需要说明的是, 上述 Bayes 分类器在特征分布为高斯分布且均值和协方差阵已知的条件下是最优分类器。实际应用中, 可能出现数据的特征分布偏离高斯分布, 或者从训练数据中估计均值和协方差矩阵存在一定的误差, 导致 Bayes 分类器识别性能的下降。

4 实验结果与分析

选取 5 类目标(目标模型如图 9 所示, 依次记为目标 A~E)进行实验验证和性能分析。距离像测量实验如图 10 所示, 根据测量结果分别提取目标特征, 并利用 Bayes 分类器进行目标识别。最后将本文识别方法的结果与基于原始距离像数据的匹配相关法进行性能对比。



图 9 距离像测量实验的目标缩比模型
Fig.9 Target scaled model for measurement experiment



图 10 距离像测量实验环境
Fig.10 Experiment environment for range profile measurement

考虑到实际中待识别目标的姿态角可以通过目标运动航迹中估计得出，因此识别过程中只需要在目标航向角估计误差的范围内进行识别，而不需要对目标进行 360°的全姿态匹配。因此，实验中每类目标选择 7°的方位角范围(对应 45°至 52°)内距离像样本共有 250 组，其中随机选取 100 组作为训练样本，提取目标的识别特征，构建特征模板，剩余的 150 组作为测试样本。

为检验目标长度特征提取方法的有效性，首先基于 5 类目标的距离像数据对其长度进行估计，估计的结果如表 1 所示。从估计的均值看，5 类目标长度估计的准确度基本上都在 90%以上，目标 C 的相对误差最大，达到 10.09%，从原始距离像数据中发现该目标首尾处回波较弱，在恒虚警检测中很容易被判为杂波。从估计的均方差看，目标 E 估计的标准差最大，说明杂波环境的不确定性对该目标的影响相对更大。

表 1 基于距离像数据的目标长度特征估计
Table 1 The estimation results of target length based on high resolution range profiles

目标	目标长度/cm	目标长度估计		估计误差	
		均值/cm	标准差/cm	绝对误差/cm	相对误差/%
目标 A	78	73.6	5.4	4.4	5.64
目标 B	90	82.2	6.1	7.8	8.67
目标 C	116	104.3	5.6	11.7	10.09
目标 D	92	84.7	5.5	7.3	7.93
目标 E	68	66.5	6.5	1.5	2.21

同时从表 1 中可以明显看出不同类别目标尺寸上的差异，如 C 目标的尺寸远大于其他 4 类目标，而 B 目标和 D 目标的尺寸较为接近。一般意义上，目标长度信息可以用来大致区分目标的大、中、小类别，实现目标的粗分类，进一步结合其他信息或特征可进行更为精细的分类识别。

表 2 和表 3 分别给出了利用距离像匹配相关进行目标识别和本文所提出的基于统计特征的识别结果，从 5 类目标的识别结果看，两类方法均能够进行有效的目标识别，从而说明利用目标一维距离像进行识别的有效性。

表 2 基于距离像数据的匹配相关法识别结果
Table 2 The recognition results with match correlation based on high resolution range profiles

	目标 A	目标 B	目标 C	目标 D	目标 E	识别率
目标 A	127	7	2	13	1	84.67%
目标 B	13	118	3	16	0	78.67%
目标 C	4	6	133	7	0	88.67%
目标 D	4	12	9	124	1	82.67%
目标 E	6	1	0	0	143	95.33%

平均识别率	86.00%	处理时间/s	8.52
-------	--------	--------	------

表 3 基于距离像统计特征的 Bayes 分类器识别结果
Table 3 The recognition results with Bayes classifier based on statistical features

	目标 A	目标 B	目标 C	目标 D	目标 E	识别率
目标 A	135	5	1	6	3	90.00%
目标 B	12	126	5	7	0	84.00%
目标 C	1	5	133	11	0	88.67%
目标 D	3	8	10	129	0	86.00%
目标 E	4	1	0	1	144	96.00%
平均识别率	88.93%	处理时间/s	0.65			

进一步对比本文方法与距离像匹配相关法的性能，首先从识别准确率上看，由于目标 E 在形状和尺寸上与其他目标存在较为明显的差异，因此对于该目标的识别率达到 95%以上。从 5 类目标的平均识别率上看，本文的方法比基于距离像匹配的识别方法有接近 3 个百分点的改善，同时从整个处理的时间上看(仿真软件环境为 Matlab 2009b，硬件为 I3 2.1G 双核 CPU 和 4G 内存)，由于距离像匹配处理需要大量的相关运算，而本文的方法仅仅提取目标的 5 类特征进行统计分析和识别，从目标识别特征的维数和处理方式上均有利于降低识别处理的时间，因此识别处理时间从原有的 8 s 降低到 0.6 s 左右，大幅度提升了识别系统的效率。

5 结论

利用宽带水声信号探测获取目标宽带散射特性是水下目标探测与识别的重要手段，而对目标一维成像因具有单个脉冲成像、成像时间短、数据易于获取与处理等优点成为目标识别的重要手段。本文针对 5 类水下目标缩比模型，利用一维距离像数据提取目标的长度、重心、中心矩等特征，分析了所提取特征的统计分布特性，通过假设检验确定所提取特征分布近似服从高斯分布，并利用目标距离像计算特征统计参数，进而构建了目标识别的特征统计模型。利用 Bayes 统计分类器开展的目标识别实验验证了所提出方法的有效性。需要说明的是本文实验是在实验室环境下进行的，后续需要进一步拓展到实测数据，进行方法的验证和完善工作。

参 考 文 献

[1] 姜永珉, 郝新亚, 冯海泓, 等. 水中目标二维亮点分布研究[J]. 声学学报, 1997, 22(1):79-86.
JIANG Yongmin, HAO Xinya, FENG Haihong, et al. A Study on 2-dimensional Highlight Distribution of Underwater Target[J]. Acta Acustica, 1997, 22(1):79-86.

[2] Groen J, Coiras E, Del Rio J, et al. Model-based Sea Mine

- Classification with Synthetic Aperture Sonar[J]. IET Radar, Sonar and Navigation, 2010, 4(1): 62-73.
- [3] Tait P. Introduction to Radar Target Recognition[M]. London: The Institution of Engineering and Technology, 2005.
- [4] 张明敏, 卢建斌, 王薇. 水声模拟测量舰船目标雷达距离像相似性问题[J]. 声学技术, 2010, 29(4): 183-186.
- ZHANG Mingmin, LU Jianbin, WANG Wei. Comparability of Underwater Acoustic Simulation to Measure the High Resolution Range Profile for Ship Targets[J]. Technical Acoustics, 2010, 29(4): 183-186.
- [5] Pasala K M, Malas J A. HRR Radar Signature Database Validation for ATR - An Information Theoretic Approach[J]. IEEE Trans. AES, 2011, 47(2): 1045-1059.
- [6] 袁莉, 刘宏伟, 保铮. 基于中心矩特征的雷达 HRRP 自动目标识别[J]. 电子学报, 2004, 32(12): 2076-2081.
- YUAN Li, LIU Hongwei, BAO Zheng. Automatic Target Recognition of Radar HRRP Based on Central Moments Features[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(12): 2076-2081.
- [7] 边肇祺, 张学工. 模式识别(第二版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- BIAN Zhaoqi, ZHANG Xuegong. Pattern recognition(Second Edition)[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000.

• 简 讯 •

“2015’中国西部声学学术交流会”征文通知(第一轮)

由中国声学学会微声学分会、物理声学分会, 四川省声学学会, 上海市声学学会, 山东省声学学会, 浙江省声学学会, 陕西省声学学会, 重庆市声学学会, 西安市声学学会联合发起, 初定于 2015 年 8 月中旬, 在四川省雅安市召开“2015’中国西部声学学术交流会”, 诚挚邀请国内外广大声学科专家、学者积极投稿, 参会交流。

本次会议文集由《声学技术》杂志 2015 年第 4 期出版, 在会上将一如既往, 面向中青年科技工作者评选优秀论文。

一、征文范围:

物理声学、超声及应用、水声学、医用声学、环境声学等及其声学相关领域的学术论文。

二、来稿要求

1. 截稿日期: 2015 年 6 月 20 日。

2. 内 容: 在国内外刊物或会议未公开发表, 不设密, 具有一定创新性, 且内容详实和有学术价值的文章。

3. 篇 幅: 不超过 4 页。

4. 论文提交:

(1) 格式: 一次性提交与本通知提供的模板论文编辑排版格式(如论文中英文的标题、作者、详细通信地址, E-mail, 内容的各级标题, 作者简介, 通讯作者, 图表等等要素的字体、字号、行距等)要求完全一致的论文全文。

(2) 编辑: 请用 Office-2003 word(如用 2007 之类更高版本, 请转换为 2003)的软件编辑、排版; 纸张: A4 纸。

(3) 提交: 只接收 E-mail 发送的论文电子文档。

5. 投递地址: E-mail: ganghuli@nwpu.edu.cn 或 359860993@QQ.com。

三、会议时间、地点:

1. 时 间: 初定 2015 年 8 月 16 日左右;

2. 地 点: 四川省雅安市。具体日期和地址, 7 月中下旬发二轮通知告知。

四、联系方式:

中国声学学会超声电子学分会及重庆市声学学会: 唐代华, 13983217699, E-mail: tangdh@sipat.com;

中国声学学会物理声学分会: 刘晓宙, 13921438610, E-mail: xzliu@nju.edu.cn;

四川省声学学会: 姚小兵, 13980026993; 或张知易, 13808182341, E-mail: 13808182341@163.com;

上海市声学学会: 龚农斌, 13601698659;

山东省声学学会: 于明义, 13864851721, E-mail: ouc1290@vip.163.com;

陕西省声学学会: 李钢虎, 13509186625, E-mail: ganghuli@nwpu.edu.cn;

西安市声学学会: 闵一建, 13186119850, E-mail: minyj@snnu.edu.cn;

五、论文版面格式:

请与学会联系, 索取论文编辑排版的模板及要求(见附件 1 和 2)。

六、注意事项:

1. 论文版面费: 450 元/篇。请收到论文录用的会议二轮通知后汇款交费。二轮通知附: 收款单位; 银行帐号; 开户银; 汇款地址等。

2. 拒绝接收不合编辑格式及要求的论文。

如有问题, 请用电话或 E-mail 与本次会议论文征收、编者张知易或各学会联系人联系。

3. 特别提醒: 递交论文时, 请在论文后面提供第一作者的联系电话和 E-mail。

中国声学学会微声学分会, 物理声学分会, 四川省声学学会, 上海市声学学会, 山东省声学学会, 浙江省声学学会, 重庆市声学学会, 西安市声学学会, 陕西省声学学会