

# 基于前视声呐的水下目标检测算法研究

高 晗, 刘卫东, 高立娥

(西北工业大学 航海学院, 西安 710072)

**摘要:** 水声目标检测就是从水声信道中提取目标信息并进行识别, 而有效的水声目标检测在现代化的海洋开发中有着十分重要的作用; 首先, 介绍了水声目标检测所采用的设备, 以及该设备的工作方式, 并搭建试验场景进行水声回波的采集; 其次, 对水声目标检测算法进行了研究, 比对不同的滤波算法可知, 中值滤波方法的去噪效果更佳; 进行了灰度直方图分析, 对目标的灰度范围进行了增强处理; 对图像分割算法进行了研究, 设计了一种自适应迭代分割算法, 对比其他方法有着更好的处理效果; 对分割后的图像进行连通域查找, 目标筛选, 从而识别出待检测目标; 试验结果验证了该水声目标检测算法在对水下目标的检测识别上的有效性。

**关键词:** 声呐图像; 水声目标; 水下目标检测; 图像分割

## Research on Underwater Target Detection Algorithm Based on Forward Looking Sonar

GAO Han, LIU Weidong, GAO Li'e

(Northwest Polytechnic University School of Navigation, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** Underwater acoustic target detection is to extract and identify target information from underwater acoustic channel, and an effective underwater acoustic target detection plays a very important role in modern ocean development. Firstly, the equipment used in underwater acoustic target detection and its working mode are introduced, and a test scene is set up to collect the underwater acoustic echoes. Secondly, the underwater acoustic target detection algorithm is studied. Compared with different filtering algorithms, the median filtering method has better noise reduction. The gray histogram is analyzed, and the gray range of the target is enhanced. The image segmentation algorithm is studied, and an adaptive iterative segmentation algorithm is designed, which has better processing effect than other methods. Searching the connected domain of the segmented image and screening the target are used to identify the detected target; The experimental results verify the effectiveness of the underwater acoustic target detection algorithm in detecting and identifying the underwater targets.

**Keywords:** sonar image; underwater acoustic target; underwater target detection; image segmentation

## 0 引言

海洋环境的探测与开发越来越依赖水下机器人对周围环境的感知能力, 目前探测海洋的方法包括磁探测、声波探测、光探测和红外探测等等。而其中声波探测是唯一能够在海水介质中进行远距离探测的方法, 因此声波探测是探测海洋的主要方法, 利用声波进行探测的设备就是声呐, 所以研究使用声呐进行水下目标检测对水下环境探测、作业有着重要的作用。

目前已有的研究思路大多是采用数字图像处理技术提取目标, 在此基础上衍生出检测、识别、分类、跟踪等研究。归纳近些年关于水下目标检测方法的国内外相关资料, 被广泛采用的方法有数字形态学<sup>[1]</sup>、马尔科夫随机场<sup>[2]</sup>、模

糊逻辑理论<sup>[3]</sup>、小波变换<sup>[4]</sup>等。

基于声呐图像的目标检测和参数识别的文献有很多。Abu Avi 等<sup>[5]</sup>提出了一种恒虚警率 (CFAR, constant false alarm rate) 检测算法, 对不同环境下的 270 幅真实声呐图像进行了检测, 结果表明该算法在接收机工作特性曲线方面较现有算法具有优越性; Santos MMD 等<sup>[6]</sup>提出了一种图像处理技术与卷积神经网络结合的算法, 在检测过程中融合卫星图像和水下声呐图像, 以辅助部分结构环境下的水下导航; Matias Valdenegro-Toro 等人提出了一种融合前视声呐和光学传感器信息的基于 CNN 的端对端目标探测方法; Gu J 等<sup>[7]</sup>提出了一种可应用于 ROV 目标检测的算法, 该方法利用高频前视成像声呐进行自动检测和识别, 并对

收稿日期: 2022-03-30; 修回日期: 2022-05-07。

基金项目: 国家自然科学基金(61903304); 111 引智项目(B18041)。

作者简介: 高 晗(1997-), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要从事水下目标检测与导引规划方向的研究。

刘卫东(1962-), 男, 陕西西安人, 教授, 博导, 主要从事水下航行器导航与控制、水下目标探测与识别方向的研究。

高立娥(1962-), 女, 陕西西安人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水下航行器控制与系统仿真、水下机器人、智能化控制系统方向的研究。

引用格式: 高 晗, 刘卫东, 高立娥. 基于前视声呐的水下目标检测算法研究[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(11): 17-24.

水下目标回波形状或声影形状的分割。

我国在水下目标探测与识别领域也取得了得以稳步发展。郭戈等人<sup>[8]</sup>中讨论了基于声呐图像的目标检测、去噪和图像分割的主要进展和典型算法，提出了基于声呐图像的水下目标检测的解决方案；Wenwu W 等人<sup>[9]</sup>在声呐图像去噪后，利用相关匹配方法借助类目标模板进行目标检测和特征提取；王涛等人<sup>[10]</sup>提出了一种结合 K-均值聚类 and 数学形态学的海床目标轮廓自动提取算法，该算法具有较强的克服背景噪声的能力；李海森等人<sup>[11]</sup>提出了一种基于 TBD 技术的 SIFT 特征跟踪方法，该方法使用了多波束声呐序列，能从潜在目标中选择出真实目标。

本文基于前视声呐硬件系统的优势功能，调整软件算法，搭建了试验环境，在水池进行了声呐数据采集试验，获取相关数据，通过获取的声呐数据图像，对水下目标检测方法进行了研究，达到了检测水下目标的目的。

### 1 水下目标检测总体方案

水下目标的检测主要依靠声呐探测装置，本文采用的声传感器为机械式单波束前视声呐。声呐数据量非常大并且通信频率较快，需采用声呐信息处理计算机来存储与处理声呐实时上传回来的数据，通过 RS232 串口通信将声呐数据传入声呐信息处理计算机。系统整体结构如图 1 所示。

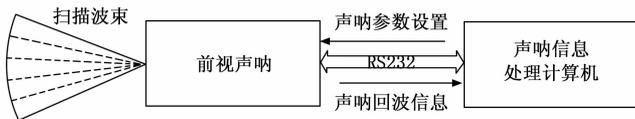


图 1 水下目标检测系统框图

## 2 声呐装置及实验场景

### 2.1 声呐装置

本文使用的声呐为来自 Tritech 公司的 Super Seaking DST 型单波束前视声呐。如图 2 所示，为前视声呐扫描示意图。Super Seaking DST 型单波束前视声呐以低频 3.0°（或高频 1.5°）的开角向四周进行 360°全方位扫描，最远探测距离为 300 米。该声呐可通过指令设置调节扫描范围，在数据采集中，利用这一功能仅进行 90°范围内的扫描。当调节扫描范围大小后，该声呐的扫描方式变为：每次在一个特定的方向发射声波束，接收到回波数据后，改变角度发送新的声波束，重复这个过程直到覆盖整个扇区，一旦到达左右角度边界，声呐头便会反向旋转继续扫描。

Super Seaking DST 型单波束前视声呐的工作方式为命令/应答模式，即工作时需要接受外部命令，不能主动向外发送扫描数据。具体工作步骤如下：

1) 声呐上电后，会通过 RS232 串口主动向外出发送“mtAlive”信息，表明此时声呐与信息处理计算机能正常通信。

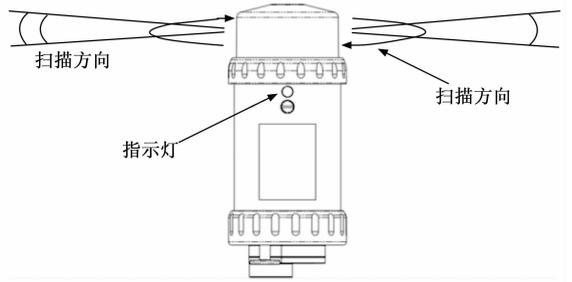


图 2 前视声呐扫描示意图

2) 声呐和计算机正常通信后，计算机通过串口向声呐发送“mtSendVersion”命令。

3) 收到“mtSendVersion”命令后，声呐向计算机发送确认消息“mtVersionData”。

4) 确认好软件版本信息后，计算机向声呐发送“mtHeadCommand”命令为声呐配置工作模式、参数等。

5) 配置好扫描参数后，计算机向声呐连续发送“mtSendData”命令，每收到一次，声呐便按照配置旋转一个步进角度 Step 并扫描当前的环境信息，打包成一个数据包“mtHeadData”通过串口上传给计算机。

声呐回传给计算机的“mtHeadData”命令格式如图 3 所示。

其中，白色部分为“mtHeadCommand”中的配置参数，可通过解算来校验参数正确性，Bearing 为声呐当前扫描角度，深色部分为各个扫描线上的采样点强度值，个数与 Dbytes 表示的数值相同。

### 2.2 实验环境

为了验证水下目标检测算法的可靠性，在如图 4 的水池环境中进行试验；放置检测物（由黑色方框标记），设置声呐的扫描距离为 2 米，扫描范围为 90°，采样点个数为 50 个，步进角度为 0.9°。

40	30	35	34	54	00	02	FF	00	02	80	02	4C	
Hdr '0'	Hex Length =84 bytes			BinLength =84 bytes	Tx Nde 02	Rx Nde 255	Sin-gle pckt	mtH ead D'ta	Seq = 05	Nde = 02	->		
00	02	10	05	85	A3	3C	00	66	66	05	6B	7D	
Cou nt= 76	= Son head	Stat- us	Sw- eep	HdCtrl =41861	Range =6m		TxN =1717986821			Gain = 51%	->		
00	32	2C	00	00	6B	00	40	06	C0	12	10	80	0A
Slo- pe= 125	AD Sp'n	AD Low	Heading Offset =0	AD Interval =107	L.Limit =1600		R.Limit =4800 (1/16 Grad)		Ste- ps =16	Bearing =2688 (1/16 Grad)			
2D	00	31	4B	78	76	75	65	4D	31	16	10	00	00
Dbytes = 45		Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Bin 5	Bin 6	Bin 7	Bin 8	Bin 9	Bin 10	Bin 11	Bin 12
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Bin 13	Bin 14	Bin 15	Bin 16	Bin 17	Bin 18	Bin 19	Bin 20	Bin 21	Bin 22	Bin 23	Bin 24	Bin 25	Bin 26
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Bin 27	Bin 28	Bin 29	Bin 30	Bin 31	Bin 32	Bin 33	Bin 34	Bin 35	Bin 36	Bin 37	Bin 38	Bin 39	Bin 40
00	00	00	00	00	0A								
Bin 41	Bin 42	Bin 43	Bin 44	Bin 45	LF								

图 3 “mtHeadData”命令格式

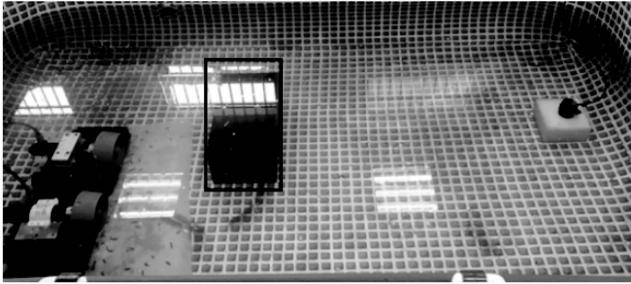


图 4 水池试验环境

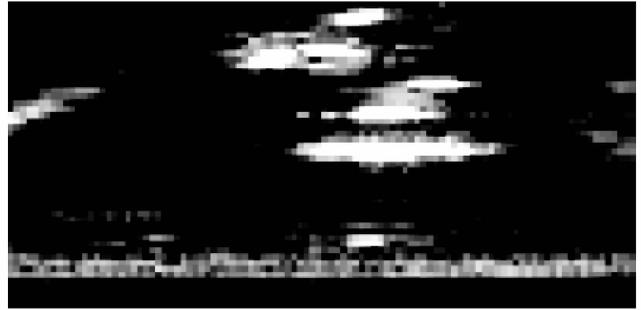


图 6 声呐原始图像

### 3 水下目标检测算法研究

#### 3.1 水下目标检测算法流程

水下目标检测算法主要由数据解析、滤波处理、增强处理、二值化分割处理、形态学处理、连通域检测目标等 6 个步骤构成, 具体流程图如图 5 所示。

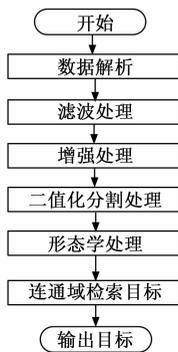


图 5 水下目标检测算法流程图

#### 3.2 声呐数据分析与解算

前视声呐图像的生成依赖于声呐对接收到的声波进行的映射, 声波在水中的传输中衰减和损耗较大, 与光学图像相比, 前视声呐图像具有以下特点<sup>[12]</sup>:

1) 声呐图像分辨率低, 图像整体偏暗, 像素灰度值分布不均, 大部分为背景区和混响区, 目标区呈亮斑状, 分布集中并且目标细节特征较少、轮廓模糊;

2) 水下环境复杂, 声呐成像易受到混响、噪声以及水中悬浮物的影响, 并且由于声波在传输过程中衰减严重, 往往导致目标被噪声淹没;

3) 多途效应和旁瓣效应的影响, 声呐图像上的目标可能会出现重影或者单个目标分裂成多个的情况, 水中其他物体也会干扰目标的检测;

4) 在对声呐采集的回波数据进行成像处理的过程中不可避免会有信息损失。

5) 不同的水质环境对声呐的成像效果也有影响, 使用同种处理方法得出的结果也大有不同。

通过声呐采集到的数据以灰度值的形式显示得到原始声呐数据图像如图 6 所示。

对于声呐数据的处理可以参考传统光学图像的处理方法, 对声呐图像的预处理, 尽可能地降低噪声干扰,

保留目标特征信息。

#### 3.3 滤波算法研究

声呐图像中充斥大量斑点、目标区域边缘模糊等问题。为了抑制噪声影响, 需对图像进行滤波处理, 常用的图像滤波算法有中值滤波、均匀滤波、高斯滤波等。

中值滤波是一种空间域内的非线性滤波算法<sup>[13]</sup>, 其基本原理是: 选择待处理像素的一个邻域中各像素值的中值来代替待处理的像素。主要功能使某像素的灰度值与周围领域内的像素比较接近, 从而消除一些孤立的噪声点, 所以中值滤波器能够很好的消除椒盐噪声。均匀滤波的基本原理: 选择待处理像素的一个邻域中各像素值的均值来代替待处理的像素。但是均值滤波不能很好地保持图像细节, 在图像去噪的同时也破坏了图像的细节部分, 不能很好地去除噪声点, 特别是声呐图像存在的椒盐噪声。高斯滤波是一种线性平滑滤波, 其基本原理为: 待处理像素点的值和其邻域内的其他像素值经过加权平均后得到的值来代替待处理的像素。对原始数据图像进行中值滤波处理、高斯滤波处理、均匀滤波处理和圆形邻域的均匀滤波处理, 得出处理效果图分别如图 7 中 (a)、(b)、(c)、(d) 所示。

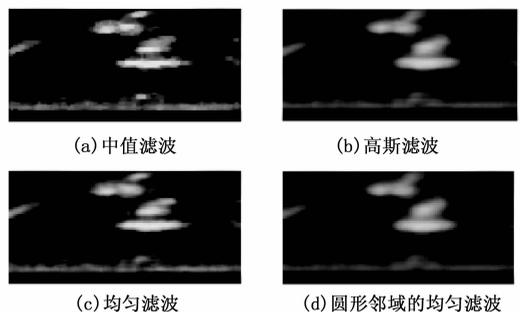


图 7 滤波处理方法对比图

为了判断滤波效果的好坏, 计算客观评价指标: 峰值信噪比 (PSNR, peak signal to noise ratio)、均方误差 (MSE, mean squared error)、平均绝对误差 (MAE, mean absolute error), 从而判断 3 种滤波方法的效果。PSNR 的值越大处理效果更好, MSE 和 MAE 数值越小处理效果越好。PSNR、MSE 和 MAE 的公式如 (1)、(2) 和 (3) 所示。

$$PSNR(f, g) = 10 \lg \frac{MAX_f^2}{\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [f_{m,n} - g_{m,n}]^2} \quad (1)$$

$$MSE(f, g) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [f_{m,n} - g_{m,n}]^2}{MN} \quad (2)$$

$$MAE(f, g) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |f_{m,n} - g_{m,n}|}{MN} \quad (3)$$

式中,  $M$ 、 $N$  分别为声呐图像的长和宽,  $f_{m,n}$ 、 $g_{m,n}$  分别为滤波前后图片在点  $(m, n)$  处的像素灰度值,  $MAX_f$  表示图像中的最大灰度值。经过对 PSNR、MSE 和 MAE 等指标的计算, 对比结果如表 1 所示。

表 1 滤波效果指标

指标	中值滤波处理	均匀滤波处理	高斯滤波处理	圆形邻域均匀滤波
MSE	0.000 8	0.001 1	0.002 0	0.002 1
PSNR	78.588 9	77.806 6	75.045 2	74.887 5
MAE	0.019 0	0.024 7	0.034 0	0.034 9

可以看出, 中值滤波在 PSNR、NMSE 和 MAE 等指标上相较于高斯滤波、均匀滤波和圆形邻域的均匀滤波, 具有更好的优越性, 处理效果更好。所以采用中值滤波算法进行滤波处理, 具体步骤如下:

1) 如图 8 所示, 取声呐图像中点坐标为  $(m, n)$  的灰度值为  $a_1$ 。

$a_0$	$a_1$	$a_2$
$a_3$	$a_4$	$a_5$
$a_6$	$a_7$	$a_8$

图 8 3×3 的正方形滑动窗口

2) 对  $\{a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8\}$  的灰度值大小进行排序, 排序后为  $\{b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8\}$ , 其中中值  $b_4$  为点  $(m, n)$  处的灰度值。窗口如下:

$b_0$	$b_1$	$b_2$
$b_3$	$b_4$	$b_5$
$b_6$	$b_7$	$b_8$

图 9 排序后的滑动窗口

### 3.4 增强处理

经过滤波后的图像, 需要对其进行增强处理, 目的是为了扩大图像中不同物体特征之间的差别, 抑制不感兴趣的特征, 使之改善图像质量、丰富信息量, 加强声呐图像判读和识别效果, 满足检测目标的需要。

为了得到更好的图像处理效果, 需要对其灰度直方图进行分析, 如图 10 所示, 得到经过中值滤波处理后图像的灰度直方图。

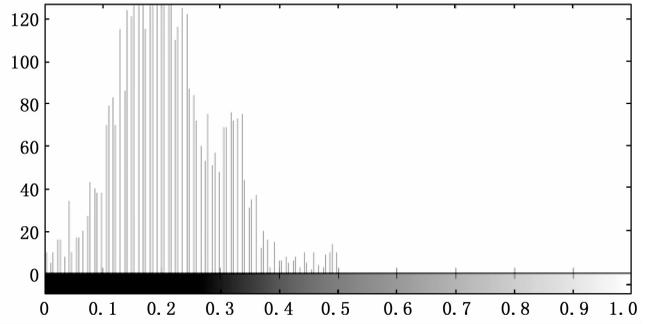
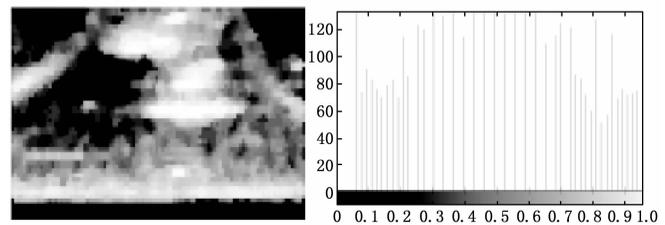


图 10 滤波后图像的灰度直方图

图像增强的方法一般采用直方图均衡化的方法, 它是一种有效的空间域图像处理方法, 是图像增强、图像压缩和图像识别的基础。直方图均衡化是利用图像直方图调整图像对比度的方法。其基本思想是以图像各灰度级概率的累积分布函数作为变换函数, 将原图映射为一幅灰度级分布较均匀的图像。这样就增加了像素灰度值的动态范围, 从而可达到增强图像整体对比度的效果<sup>[14]</sup>。经过直方图均衡化处理后的图像如图 11 (a) 所示, 其直方图如图 11 (b) 所示

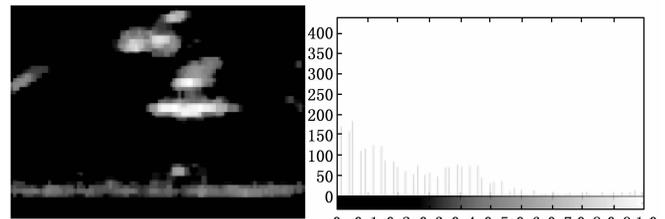
但是通过分析发现, 经过直方图均衡化的图像并没有将目标的数据信息增大, 只是将数据图像整体的亮度增强, 对于我们后续提取目标的数据信息的作用并不明显, 于是对直方图数据分析后得出, 目标的灰度强度主要集中在 0.2~0.5 灰度范围内, 即 50~125 灰度值区间。

经过对灰度直方图的分析, 对图像进行增强处理: 将图像中灰度值低于 50 的像素点和灰度值高于 125 的像素点去掉, 再将 50 和 125 灰度值之间的像素值映射到整个灰度等级范围, 从而使图像变得明亮<sup>[15]</sup>。经过增强处理后的图像如图 11 (c) 所示, 其直方图如图 11 (d) 所示。



(a) 直方图均衡化处理

(b) 均衡化处理的直方图



(c) 增强处理

(d) 增强处理的直方图

图 11 增强处理及其直方图

可以看出, 经过增强处理后的数据图像, 目标的信息被有效的放大, 从而使得目标凸显了出来。

### 3.5 阈值分割算法研究

图像经过增强后, 就需要对其进行分割处理, 图像分割是通过图像某种特征的分析, 将图像分割成不同的区域, 根据相似度特征提取有用目标的过程<sup>[16]</sup>, 目的是通过减少冗余信息来简化图像。常用的分割特征有像素灰度、纹理、形状、边缘轮廓、直方图、空间频谱等<sup>[17]</sup>。

图像分割的方法一般有大津法和迭代法, 大津法是全局阈值分割算法之一, 其核心思想是遍历整个图像, 根据图像的灰度特征把图像分为目标和背景两部分, 通过类间方差确定合适的阈值, 使得目标与背景两部分之间的灰度值方差差异最大<sup>[18]</sup>。迭代法属于自适应的阈值确定方法, 可根据图像中的灰度分布自动选取分割阈值, 其核心思路是通过多轮迭代运算来一步一步逼近最佳阈值。经过大津法和迭代法处理后的图像分别如图 14 (a) 和 14 (b) 图所示。

本文通过采用一种改进的迭代法对图像进行分割处理。改进的迭代法实现步骤如下:

1) 先求取灰度图像的最大灰度值  $Z_{\max}$  和最小灰度值  $Z_{\min}$ , 通过最大、最小灰度值得到初始迭代阈值:  $T_1 = (Z_{\max} + Z_{\min}) / 2$ ;

2) 根据得到的初试阈值  $T_1$ , 将图像分为背景和背景两个集合, 小于初试阈值的集合为背景集合, 大于初试阈值的集合为目标集合, 通过式 (4) 和式 (5) 求取两集合的灰度均值分别为  $\mu_0$  和  $\mu_1$ 。

$$\mu_0 = (\sum_{i=0}^{T_1} ip_i) / (\sum_{i=0}^{T_1} p_i) \quad (4)$$

$$\mu_1 = (\sum_{i=T_1+1}^{255} ip_i) / (\sum_{i=T_1+1}^{255} p_i) \quad (5)$$

其中:  $p_i = n_i / (M \times N)$ ,  $M \times N$  代表灰度图片大小,  $n_i$  为灰度值为  $i$  的像素点个数。

当声呐图像的环境亮度与水下目标的亮度不具有明显区别时, 使用迭代法确定阈值, 会得到比较差的二值化结果, 经过迭代法取得的阈值, 与较亮的背景区域的像素值比较接近, 导致较亮的背景区域也被误划分为水下目标。下面我们对迭代法进行改进, 使其求得的阈值更接近水下目标的像素值, 从而与较亮背景区域的像素值区分开来。迭代法的阈值更新公式为每次取  $\mu_0$  与  $\mu_1$  之和的一半来更新阈值:

$$T_1 = \mu_0 * 0.5 + \mu_1 * 0.5 \quad (6)$$

但是为了使阈值更接近  $\mu_1$ , 需对上述公式进行修改, 增大  $\mu_1$  的比重, 同时减小  $\mu_0$  的比重, 则公式更改为:

$$T_1 = \mu_0 * (1 - K) + \mu_1 * K \quad (7)$$

要增大  $\mu_1$  的比重, 同时减小  $\mu_0$  的比重, 就要对  $K$  值进行合适的选择, 本文提出一种自适应的  $K$  值选择方法来选取最佳的  $K$  值。

关于如何自适应的选取  $K$  值, 需要引入一个参数, 即结构相似性 (SSIM, structural similarity), 它是一种衡量两幅图像相似度的指标。SSIM 的公式如 (8) 所示。

$$SSIM(f, g) = \frac{(2\mu_f\mu_g + c_1)(\sigma_f\sigma_g + c_2)}{(\mu_f^2 + \mu_g^2 + c_1)(\sigma_f^2 + \sigma_g^2 + c_2)} \quad (8)$$

其中:  $\mu_f$  是  $f$  的平均值,  $\mu_g$  是  $g$  的平均值,  $\sigma_f^2$  是  $f$  的方差,  $\sigma_g^2$  是  $g$  的方差,  $\mu_f\mu_g$  是  $f$  和  $g$  的协方差,  $c_1, c_2$  为常数。

其算法核心为: 遍历的求取不同  $K$  值下的 SSIM 值, 求取 SSIM 值最大时的  $K$  值, 即是最佳  $K$  值。算法流程图如图 12 所示。

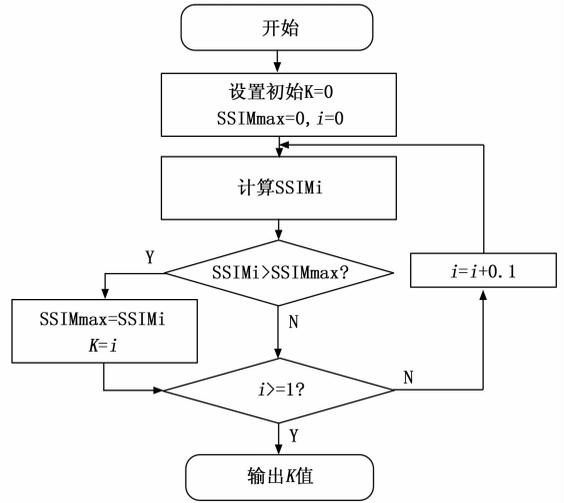


图 12 自适应  $K$  值算法流程图

3) 设置迭代最小误差值  $\epsilon$ , 若  $|T_1 - T| \leq \epsilon$  则停止迭代,  $T_1$  为最佳分割阈值, 二值化图像; 否则令  $T_1 = T$ , 返回第 2) 步继续迭代。

改进后的迭代算法流程图如图 13 所示。

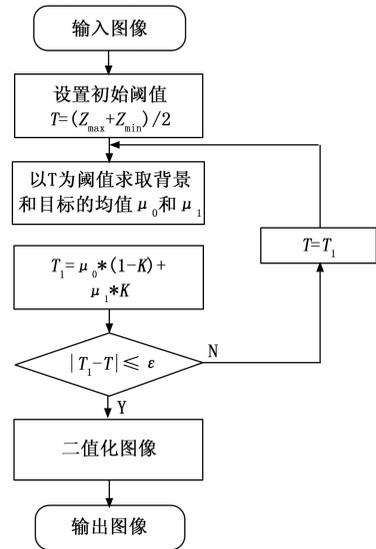


图 13 改进的迭代法流程图

经过改进的迭代法处理后的图像如图 14 (c) 所示。

为了验证改进后的迭代法的优越性, 求取大津法、迭代法、改进迭代法的 PSNR、MSE、NMSE、MAE 和 SSIM 等指标, 其中, MSE、NMSE、MAE 的数值越小, 处理效果越好, PSNR、SSIM 的数值越大, 处理效果越好。表中由灰色标注的为改进迭代法的指标, 对比结果如表 2 所示。

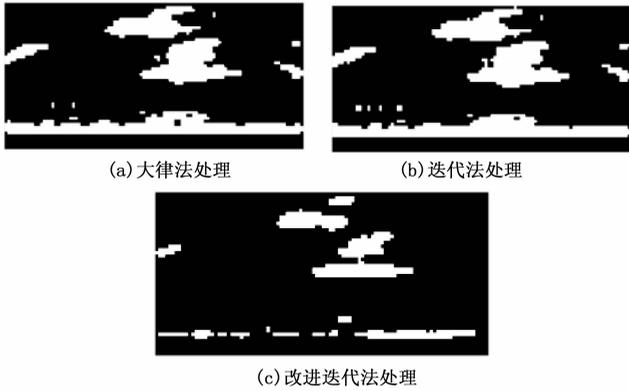


图 14 图像分割算法处理

表 2 分割算法评价指标

指标	大律法	迭代法	改进迭代法
MSE	0.072 8	0.079 3	0.035 1
PSNR	59.509 9	59.136 5	62.679 3
MAE	0.138 8	0.145 3	0.101 1
NMSE	1.441 1	1.570 5	0.694 6
SSIM	0.995 4	0.994 7	0.998 8

改进后的迭代法的 MSE、RMSE、MAE、NMSE 相较于大律法和未改进的迭代算法显著降低，SSIM、PSNR 显著增大，在图像处理的客观评价指标的效果上得到显著增强。

### 3.6 目标筛选

经过图像分割后，目标已被大致提取出来，但目标轮廓不够清晰，内部仍有不连续的孔洞，且背景区存在少量孤立噪声点。进行目标筛选之前，有必要对图像进行简单的形态学处理。数学形态学主要应用于几何形状和结构的分析，其组成元素为形态学代数算子，常用的形态学代数算子有腐蚀、膨胀、开运算和闭运算<sup>[19]</sup>。

闭运算是先对图像先膨胀后腐蚀的操作，可以进一步减少背景噪声干扰，并填充目标内部的孔洞、不连续部分得到连续<sup>[20]</sup>。闭运算的定义如下式：

$$I \cdot se = (I \oplus se) \ominus se \quad (9)$$

式中， $se$  为处理图像的结构算子， $\oplus$  为膨胀运算， $\ominus$  为腐蚀运算。

对图像进行特征提取就是要找出可以表征图像主要特征的信息<sup>[21]</sup>。本文采用连通域标记法对闭运算之后的声呐图像进行目标标记，并通过目标面积特征进一步剔除假目标和噪声。

基本的 8-邻域连通域查找法则如图 15 所示，8-连通域通过查找某一像素点与其周围八个位置的像素点是否为 1 来划分区域。图 15 (a) 为二值化后，待分割的图像，目标区为 1，背景区为 0；图 15 (b) 为经连通域查找标记后的图像，同一区域的目标用相同的标识符标记，与其他不连通的区域划分开。经过连通域查找处理后的图像如图 16 所示。

如图 15 (b) 所示，经过连通域查找后，不同的目标区域被打上了不同的标签，累加每个标签的个数来近似确定

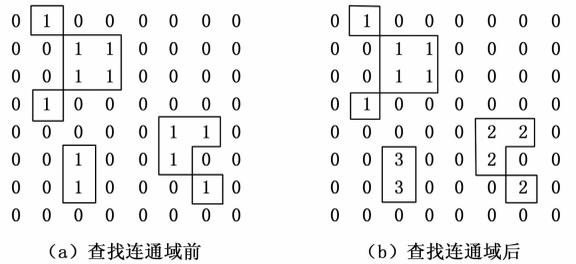


图 15 8-邻域连通区域标记示意图



图 16 连通域标记图

面积大小，并计算每个目标的面积与声呐扫描扇区内的像素总个数的面积比  $\epsilon_i$  来滤掉不符合目标尺寸的假目标。

$$\epsilon_i = \frac{areas_i}{Ssec} \quad (10)$$

式中， $areas_i$  为第  $i$  个连通域内的目标像素个数， $Ssec$  为声呐扫描扇区内的像素总个数， $\epsilon$  为面积比较阈值，若  $\epsilon_i < \epsilon$ ，则认为第  $i$  个目标为假目标或者噪声而剔除。

通过面积特征剔除假目标的步骤如下：

- 1) 创建连通域增长队列，按从左向右、从上到下的顺序依次扫描所有像素点，当找到一个灰度值不为 0 的像素点时，将其入队列，并标记为  $label$  ( $label$  从 1 开始)，当前目标像素个数加 1；
- 2) 检查队列是否为空，若不为空，从队列中弹出一个像素点，依次验证该点左、上、右、下 4 个邻域内的像素点，若这些点的值为 1 并且未被标记过，则该点入队列并标记为  $label$ ，当前目标像素个数加 1，重复步骤 2)。当队列中所有的像素点都被弹出时，说明这个连通域查找完毕；
- 3) 检查当前目标像素个数与声呐扫描扇区总像素个数的比值，若  $\epsilon_i < \epsilon$ ，则清空队列，该区域的标记作废， $label - 1$ ；
- 4) 继续检测下一个未被标记过的像素点是否为 0，若不为 0 则将其入队列并标记为  $label + 1$ ，目标像素个数加 1，重复 2) ~ 3) 步骤直至图像遍历完毕。

经过面积特征筛查处理的图像如图 17 所示。

## 4 试验结果与分析

在如图 18 所示的水池环境中，由声呐采集水池中的环境信息数据，再通过 RS232 串口连接到信息处理计算机存储，声呐处理计算机如图 19 所示，最后利用 MATLAB 平台将采集到的声呐数据做算法处理。

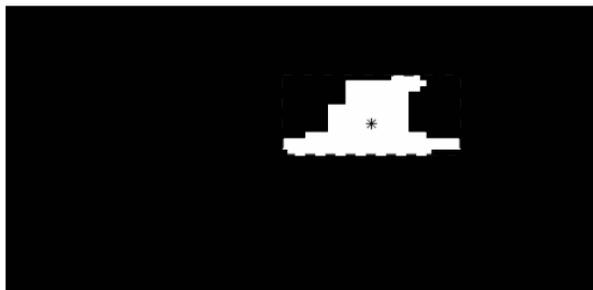


图 17 水下目标检测结果图

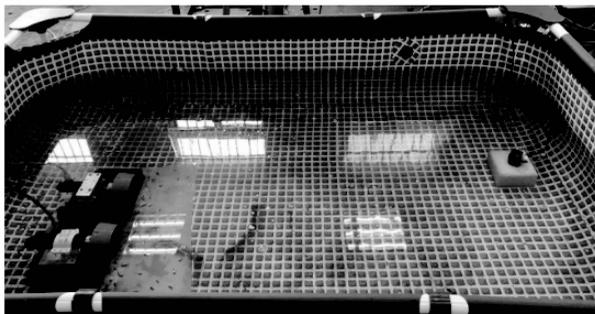


图 18 水池试验环境图

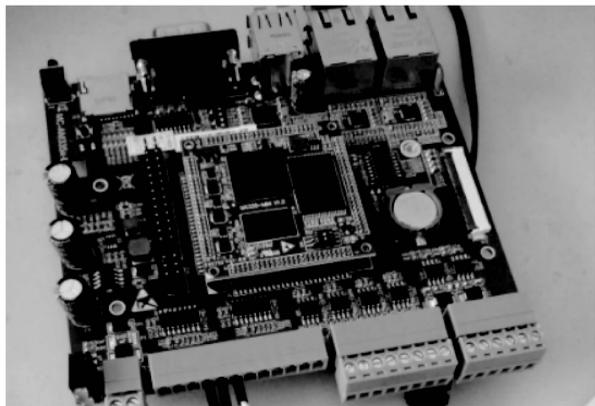


图 19 声呐处理计算机

通过对不同目标的检测,如图 20 (a)和图 20 (b)所示,分别是以水桶和黑箱为目标进行声呐数据的采集。

将采集到的声呐数据在 MATLAB 平台里生成图像后(距声呐 0.2 m 的死区范围内像素灰度值置 0)。对其进行灰度处理、中值滤波、二值化、连通域查找等一系列声呐数据操作后,再通过面积特征进行目标筛选,得到如图 21 所示的检测结果,图中由虚线标记出来的为检测物,星号表示检测物的质心。

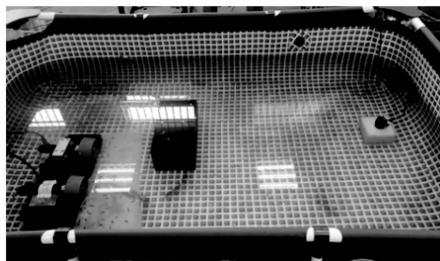
试验结果表明,该水下目标检测算法在识别指定目标的时候具有很强的优越性,其根据检测物的物理特征做出了很好的检测效果,但是由于实验环境限制测试远距离的检测效果,因此还需进一步的完善。

### 5 结束语

本文首先对实验场景进行了搭建,利用声呐设备进行了声呐数据的采集,利用目标检测计算机存储声呐数据;



(a) 检测水桶目标



(b) 检测黑箱目标

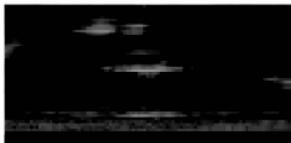
图 20 目标信息检测图



(a) 水桶目标原始数据



(b) 水桶目标检测结果



(c) 黑箱目标原始数据



(d) 黑箱目标检测结果

图 21 水下目标检测结果图

然后进行了水下目标检测算法研究,对采集到的声呐数据进行处理,完成了对数据图像的滤波、增强等操作,并通过迭代法的改进实现对声呐图像的有效分割,之后通过面积特征进行目标筛选,成功识别出待检测的目标。实验结果表明本文所研究系统和算法的有效性。

### 参考文献:

[1] AT ÇELEBI, S ERTÜRK. Target detection in sonar images using Empirical Mode Decomposition and morphology [C] // Signal Processing & Communications Applications Conference. IEEE, 2010.

[2] 侯雪,周兴华,唐秋华,等.一种基于 MATLAB 的声呐条带图像自动拼接算法 [J]. 海岸工程, 2014, 33 (4): 49-55.

[3] HYUN, SEUNG, SON, et al. Fuzzy c-means-based intelligent tracking algorithm for an underwater manoeuvring target. [J]. Iet Radar Sonar & Navigation, 2014.

[4] GROMBEIN T, LUO X, SEITZ K, et al. A wavelet-based assessment of topographic-isostatic reductions for GOCE gravity gradients [J]. Surveys in Geophysics, 2014, 35 (4): 959-982.

[5] ABU A. CFAR detection algorithm for objects in sonar images

[J]. IET Radar, Sonar & Navigation, 2020, 14 (11): 1757 - 1766.

[6] MMD SANTOS, GIACOMO G, DREWS P, et al. Satellite and Underwater Sonar Image Matching Using Deep Learning [C] // 2019 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2019 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2019 Workshop on Robotics in Education (WRE). 2019.

[7] GU J, PYO J, JOE H, et al. A method for automatic detection of underwater objects using forward-looking imaging sonar [C] // Oceans. IEEE, 2015.

[8] 郭 戈, 王兴凯, 徐慧朴. 基于声呐图像的水下目标检测、识别与跟踪研究综述 [J]. 控制与决策, 2018, 33 (5): 906 - 922.

[9] WENWU W, BINBIN C, YAO C. A real-time object recognition for forward looking sonar [C] // 2017 2nd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC), Chengdu, China. 2017: 58 - 61.

[10] 王 涛, 潘国富, 张济博. 基于 K-means 聚类与数学形态学的侧扫声呐图像目标轮廓自动提取方法 [J]. 海洋科学, 2019, 43 (8): 80 - 85.

[11] 李海森, 高 珏, 徐 超, 等. 应用 TBD 的多波束声呐图像序列 SIFT 特征追踪 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2016, 37 (8): 1009 - 1014.

[12] 寇贤聪. 前视声呐图像目标跟踪系统研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.

(上接第 16 页)

效识别, 准确定位了故障元器件; 仿真结果表明了论文方法的有效性. 论文在增加内部测试点时, 按照该点与其它元器件的关联数量优选, 该方法考虑较为单一, 后续可在模拟电路测试点设置最优条件下开展复杂故障在线隔离定位研究, 提高故障诊断的效费比.

参考文献:

[1] 朱大奇. 电子设备故障诊断原理与实践 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

[2] 朱大奇, 于盛林. 基于知识的故障诊断方法综述 [J]. 安徽工业大学学报, 2002, 19: 197 - 204.

[3] 李光升, 欧 博, 石海滨. 现代模拟电路故障诊断技术发展综述 [J]. 计算机测量与控制, 2019 (5): 5 - 8.

[4] 孙 健, 王成华, 洪 峰, 等. 基于 PCA-LVQ 的模拟电路故障诊断 [J]. 电路与系统学报, 2013 (4): 310 - 313.

[5] 马 羚, 吕晓峰, 叶 文, 等. 基于 BP 神经网络的某型空空导弹发控电路故障诊断 [J]. 舰船电子工程, 2019 (4): 123 - 127.

[6] 龙 英. 开关电流电路测试与故障诊断方法研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2012.

[7] 李泽宇, 吴文全. 基于 RBF 神经网络的模拟电路故障诊断的研究 [J]. 舰船电子工程, 2016 (1): 119 - 122.

[8] 那文波, 何 宇, 刘 巍, 等. 基于遗传算法优化的 RBF 神经网络的压力传感器故障诊断 [J]. 煤矿机械, 2016 (7): 180

[13] 王晶晶. 一种基于指纹识别的银行卡加密系统 [J]. 微计算机信息, 2011, 27 (5): 170 - 171, 65.

[14] 赵安科, 魏 雨, 刘天时, 等. 基于直方图均衡化的 Robinson 图像边缘检测算法 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (6): 230 - 232, 236.

[15] TRUCCO A, GAROFALO M, REPETTO S, et al. Processing and analysis of underwater acoustic images generated by mechanically scanned sonar systems [J]. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, 2009, 58 (7): 2061 - 2071.

[16] 吴琴琴, 马 苗. 基于自适应 Mean Shift 算法的彩色图像滤波 [J]. 计算机工程与应用, 2016, 52 (10): 201 - 206.

[17] GUO Y, WEI L, XU X. A sonar image segmentation algorithm based on quantum-inspired particle swarm optimization and fuzzy clustering [J]. Neural Computing and Applications, 2020, 32: 16775 - 16782.

[18] 陈 飞. 改进的交互式 Otsu 红外图像分割算法 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (9): 4.

[19] 田 琳. 基于 GTK+ 的图像处理系统的设计与实现 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2016.

[20] 王 涛, 潘国富, 张济博. 基于 K-means 聚类与数学形态学的侧扫声呐图像目标轮廓自动提取方法 [J]. 海洋科学, 2019, 43 (8): 80 - 85.

[21] 万广南. 基于激光和超声的水下目标探测方法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.

[9] 金 川, 李小珉, 田沿平. 改进 LDA 在模拟电路故障预测中的应用 [J]. 电子设计工程, 2015 (4): 102 - 105.

[10] 钟 伟, 黄元亮, 郝真真, 等. 基于粒子群算法的 LDA 实现方法研究 [J]. 计算机工程与应用, 2017 (1): 39 - 43.

[11] 刘忠宝, 王士同. 改进的 LDA 算法及秩限制问题研究 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 32: 17 - 20.

[12] 宋森森. 基于多特征模型模拟电路测试选择与验证 [D]. 成都: 电子科技大学, 2016.

[13] 王 承. 基于神经网络的模拟电路故障诊断方法研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2005.

[14] 汪芊芊, 王海涛, 蓝 鲲. 基于改进多信号流模型的运载火箭电气系统测试性评估 [J]. 导弹与航天运载技术, 2017 (4): 21 - 25.

[15] 秦玉峰, 史贤俊, 王 康. 考虑不确定因素的系统测试性建模与分析方法研究 [J]. 舰船电子工程, 2019 (2): 150 - 152, 170.

[16] 孙毅刚, 席佳睿, 赵 珍. 飞机航电系统故障测试点优化选择研究 [J]. 计算机仿真, 2017 (9): 39 - 44, 98.

[17] 颜学龙, 邵 伟. 深度信念网在模拟电路故障诊断中的应用研究 [J]. 微电子学与计算, 2016 (9): 159 - 163.

[18] 周志华. 机器学习 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.

[19] 赵 蕾. 主成分分析方法综述 [J]. 软件工程, 2016 (6): 1 - 3.

[20] 杨 超, 潘 强, 周晶晶, 等. 基于输出电压和电源电流的模拟电路故障诊断 [J]. 舰船电子工程, 2015 (6): 118 - 121.