

一种基于关联处理的声呐图像去噪技术

赵海旭¹, 吴培荣², 王小雯¹, 聂良春¹

(1. 上海船舶电子设备研究所, 上海 201108; 2. 海军驻上海地区水声导航系统军事代表室, 上海 201108)

摘要: 为了改善声呐图像中存在大量杂波而导致目标跟踪困难, 设备虚警率高的缺点, 提出一种图像关联降噪算法。首先利用目标特性对静止目标进行剔除, 之后利用目标运动的持续性和目标回波在连续多帧图像中的空间位置关联性, 对随机噪声进行进一步滤除。仿真和试验数据验证, 所提出的算法对于背景比较稳定的图像, 降噪效率不低于 95%。

关键词: 固定安装声呐; 时域连续性; 空间邻域积分; 杂波抑制; 图像关联

中图分类号: TB533

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2016)-05-0571-04

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2016.05.014

Sonar image denoising technique based on relevancy processing

ZHAO Hai-xu¹, WU Pei-rong², WANG Xiao-wen¹, NIE Liang-chun¹

(1. Shanghai Marine Electronic Equipment Research Institute, Shanghai 201108, China;

2. Military Representative Office of Underwater Acoustic Navigation System in Shanghai Area, Shanghai 201108, China)

Abstract: In order to solve the difficulty of tracking moving targets and the high false alarm rate resulting from the presence of clutter sonar image, a clutter suppression algorithm is proposed in this paper to remove the static target echo and meantime to filter the random noise by using the target's temporal continuity and space relevancy. The algorithm is verified by simulation and experimental data processing, the noise reduction efficiency is no less than 95% for the image with stable background.

Key words: fixed installation sonar; temporal continuity; spatial neighborhood integral; clutter suppression; image relevancy

0 引言

港口固定安装以及舰艇上使用的图像声呐因为工作在高混响区, 声呐图像存在大量杂波干扰, 这使得声呐对企图实施侦察、突袭和破坏的无人水下航行器(Unmanned Underwater Vehicle, UUV)和蛙人等小目标实施警戒探测、跟踪、识别和报警目标的检测识别都存在一定难度, 造成误报错报情况。为提高声呐设备跟踪报警的准确率, 急需对声呐图像的杂波及噪声进行抑制、去除, 进而提高声呐设备的报警准确率。

从处理流程上讲, 一般可以通过对声呐回波的阵元域数据进行时频域的脉冲干扰抑制, 然后再对波束形成后的波束域数据进行杂波和噪声去除处理, 获取相对干净的含运动目标的回波图像。经过

上述两方面的操作后, 可以有效地提高声呐后置处理的跟踪预警准确率, 并且对降低整个后置处理的运算量都大有裨益。本文侧重介绍一种基于波束域图像的降噪方法。

1 图像降噪概述

图像降噪的目的在于去除图像中的噪声背景、随机起伏干扰、海底固定目标回波及海面或者突然出现的成片目标, 从而保留运动的小目标回波。

首先可以借助滑动背景估计对背景进行预估, 去除随机起伏的干扰回波, 然后将回波图像进行二值化处理。通过将实时回波图像中一定波门区域范围内的强回波积分阈值与动态门限进行比较, 去除成片回波干扰。通过当前回波图像与多帧历史回波图像进行累加, 结合动态门限判断进一步去除静止目标回波。

因为运动目标的回波一般存在统计相似性, 且运动目标一般短时间内位置变化不会太大, 可以借助这一特点, 分析同一像素区域内多周期回波图像

收稿日期: 2015-11-01; 修回日期: 2016-01-11

作者简介: 赵海旭(1987-), 女, 内蒙古赤峰人, 工程师, 研究方向为水声信号处理。

通讯作者: 赵海旭, E-mail: zhhx2112@sina.com

是否存在相似的疑似目标,采用相似度判决手段来提取运动目标回波,同时可以将疑似运动目标以外的回波去除,达到进一步降低图像噪声的目的。

下面将分两部分来对降噪处理进行介绍:杂波抑制及图像关联降噪。其中杂波抑制主要去除图像中的静止目标回波及成片的图像回波;而关联降噪主要用来进一步降低图像中的噪声,滤除随机出现的噪点,保留运动小目标回波。

2 杂波抑制

杂波抑制主要通过多帧历史图像的累积,获得当前帧历史背景图像的估计,并对背景进行二值化将其区分为噪声背景及强背景,进一步对图像进行分析,将当前帧历史背景图像分为成片杂波、独立杂波、噪声背景,结合动态门限检测,实现杂波及背景干扰的滤除,保留大于背景图像的目标回波。图1给出了总的实现流程图。

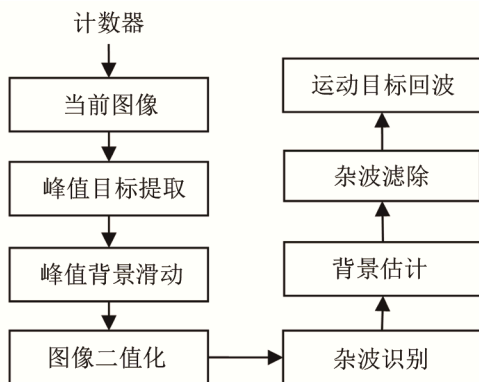


图1 基于动态门限的杂波抑制流程图

Fig.1 Flow-process diagram of clutter suppression based on dynamic gate

经过二值化后再通过对杂波进行空间邻域或者时间积分,将其区分为成片或者固定回波,进而进行杂波的滤除操作。

下面分别对二值化及杂波判别进行介绍。

2.1 图像背景估计及二值化

对于同一距离不同方位的回波,由于同一时刻接收机时变增益相同,在噪声背景下强度相同;如果是水底存在强反射,则回波强度将远大于同一距离其它方位的噪声背景。

对当前帧峰值的目标回波数据采用中值背景估计,目的是获得比较稳定的背景,若采用平均值或最大值作为背景估计,则估计值偏离真值的起伏加大。

设当前帧的中值背景为 $b_p(k, n)$, 声呐图像为

$x_p(k, n)$, 则中值背景估计 $b_p(k, n)$ 可表示为:

$$b_p(k, n) = \text{median}(x_p(k, n)), \quad (1)$$

式(1)中, p 表示当前帧图像序号, $h = p, p-1, \dots, p-H$, 表示历史帧图像编号, median 表示求中值操作, H 代表历史图像帧数。

对于固定点布放的图像声呐,为了获得更接近于真实情况的局部背景估计,减小单次中值估计的偏差,需要将时间上相邻的多帧中值估计结果累积保存,累积达到一定次数后再进行历史背景估计,可以获得更稳定、起伏更小的图像局部背景估计。

当完成了帧 $H+1$ 个历史帧的中值估计结果的保留后,进行当前帧数据的历史背景估计。由于感兴趣的目标为运动目标,声呐基阵若固定布放,历史背景估计将获得当前海域声呐作用范围内更早的背景,该背景将包含水底固定反射物形成的杂波背景、成片动态及固定大片杂波回波以及随机出现的特强或者特弱的目标回波(强背景),还有噪声背景(弱背景)。

当前帧数据的历史背景估计,可采用相对于当前帧的前 H 个历史帧中值背景数据的中值或平均值,背景估计包含了当前海域背景估计的均匀采样,反映了更早时间的声呐图像背景,这对于固定图像背景的识别很有效。

声呐中值背景估计数据为 $b_p(k, n)$, 则当前帧历史背景估计 $h_p(k, n)$ 可以表示为

$$h_p(k, n) = \text{median}(b_m(k, n)) \quad (2)$$

式(2)中, $m = p, p-1, \dots, p-H$ 。采用中值滤波的目的是减小随机起伏,滤除随机出现的特别强的起伏。

声呐图像的历史背景估计完成后,在杂波识别之前,需要进行背景类型判断。对于强背景,如水底成片目标回波,标记为 1;弱背景如噪声背景,标记为 0。

当前帧历史背景估计为 $h_p(k, n)$, 则同一时刻不同方位的空间背景平均值 $med(p, n)$ 可以表示为

$$med(p, n) = \text{median}(h_p(k, n)) \quad (3)$$

式(3)中, $k = 1, 2, \dots, N$, 而 N 为总波束数目。

$$h_p(k, n) > med(p, n) + G \begin{cases} 1, & \text{强背景} \\ 0, & \text{噪声背景} \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中, G 为自适应门限值。

2.2 杂波特性识别及滤除

杂波既有成片分布的,如海底混响,也有单独的孤立的静止物反射回波,如桥墩回波,所以杂波识别包括两部分:成片杂波识别及固定孤立杂波识别。成片杂波在距离、方位上均存在连续扩展,而

固定孤立杂波在距离方向扩展小，方位上存在一定扩展。

成片杂波在距离、方位上均存在连续扩展，而固定孤立杂波在距离方向扩展小，在方位上存在一定扩展。所以可以利用其在方位和距离上的扩展特性，对当前峰值目标回波进行分析。考察当前峰值邻域 N (方位 \times 距离)个像素点，当 N 个像素点内至少存在 M (也就是二值化后值为 1 的像素点数)点为强背景干扰，则认为成干扰杂波，邻域大小的选择要根据对蛙人距离方向的延伸尺度分析，确定距离上像素点数，再根据蛙人分布特征决定方位上的像素点数。通过以上方法对所有峰值数据进行搜索，从而实现成片干扰滤除。

成片干扰滤除主要用于剔除尾流目标回波或大船目标回波，蛙人、蛙人运载器等感兴趣的的目标由于尺寸较小，距离、方位方向占用像素较少，目标延伸度小。

而单独的孤立杂波，对于固定安装的声呐由于杂波干扰图像的分布比较固定，孤立固定杂波的判断则需要更早的背景支持^[1]，在同一位置多帧历史图像上都存在，可以对多帧历史图像采用 M/N 统计判断实现杂波的提取，即同一位置相邻 N 帧图像至少存在 M 帧图像为强背景干扰，则该像素位置存在杂波。需要计算器累积到不小于 H ，这样能够避免低速目标回波进入背景估计，同时由于孤立杂波干扰一直存在，更早的历史背景估计与当前图像历史背景估计一致，这样做可以使低速运动目标被保留，同时识别出位置不变的孤立杂波。

除了被识别为杂波区域，图像的其它区域均认为是噪声区域。

3 多帧图像关联降噪

多帧图像关联主要考察相邻帧图像在同一位置附近是否存在相似的目标，本文中研究的小目标在水下运动速度有限，短时间内目标在空间位置的改变比较小，可以通过分析同一像素区域内连续多帧图像中是否存在相似目标，实现图像进一步的降噪^[2]。实现步骤如图 2 所示，图中 k 代表图像帧数， $n=1, 2, 3, \dots, H-1$ ， $gate$ 为动态门限值。

为了进行多帧图像关联，需要保留 H 帧历史图像，并保留所有像素的特征信息，如幅度、方位、距离、尺度、延伸长度等信息，这就需要首先进行目标特征提取。为了减少计算量，可以在距离方向对图像数据进行压缩，对压缩后的每一个栅格进行

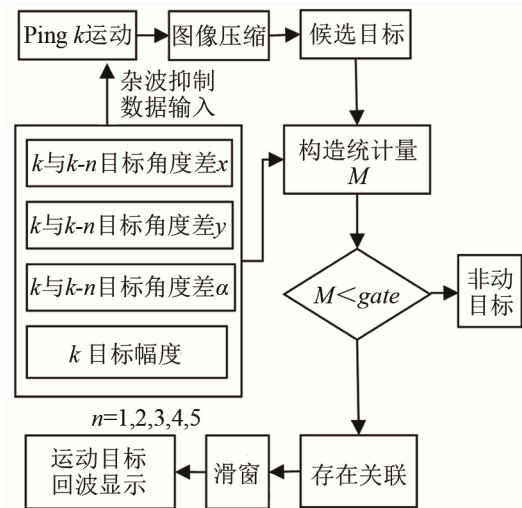


图 2 多帧图像关联处理流程
Fig.2 Flow chart of multi-image relevancy

特征提取并保留提取出来的目标特征数据用于进一步的数据关联处理。

假定本文中研究的目标速度均不大于 10 kn，可以依据发射周期及目标速度范围对数据进行进一步的压缩，这样可以方便在相邻周期内对同一距离单元格进行目标关联处理。

图像分块压缩后，考察帧 k 与 $k-n$ 之间的空间关联时，主要计算两帧图像对应区域内是否存在相似的目标。可通过 χ^2 分布计算统计量获得相似性判断，统计量的计算可以包含信号幅度、目标距离、目标方位、目标速度、目标尺度等^[1]。其中参数值的选取应该根据目标运动特性以及声呐性能确定，上述特征量可以实时计算获得。经过 χ^2 分布相似度门限判决，判断当前帧图像与历史图像之间的相似性，也即历史关联性，当 M 个历史周期中，与当前帧存在历史关联的周期数大于 N 时 (M, N 值的选取可以依据试验数据及试验环境进行实时调整)，才说明当前帧分析像素存在历史关联，多帧图像具有关联的像素有极高概率为同一目标回波，因而可以将存在关联性的图像像素点数据进行保留，而不满足相似性特点的图像像素数据认为其是背景，经过如上步骤处理后保留下来的图像数据即送入跟踪等后置处理做启动数据。

4 数据处理结果及分析

选取某次海试的图像数据进行验证，其中图 3 为原始历程图像数据(10 周期)，其中斜线为运动的蛙人目标的轨迹，从图像中可以看出杂波较多，且分布无规律，既有成片的回波干扰，又有大量随机

噪点。经过本文所做的处理，首先将图像进行文中第 2 节介绍的杂波抑制处理，去除大面积的成片杂波，并对静止目标回波进行去除，得到含有部分随机噪点的图像如图 4 所示。观察图 4 并对杂波抑制后的数据进行分析可知，处理后大面积的成片杂波大大减少，同时海底固定物的反射回波也得到了抑制，表现在历程图像上是原始图像中的大量水平直线被抑制掉，但是还存在大量随机的噪点。经过文中第 3 节介绍的关联降噪处理后图像如图 5 所示，

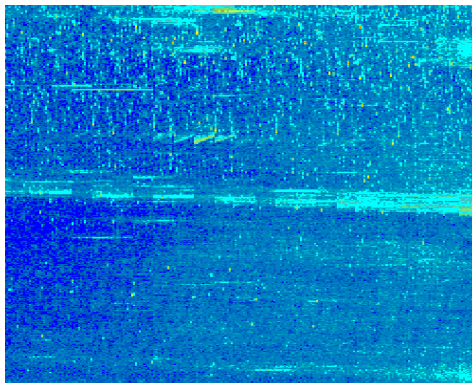


图 3 原始图像(10 帧历程显示)
Fig.3 Original image (10 frame process display)

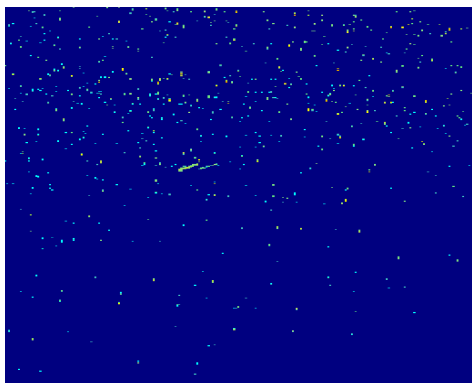


图 4 杂波抑制处理后图像(10 帧历程显示)
Fig.4 Image after clutter suppression (10 frame process display)



图 5 关联处理后的图像(10 帧历程显示)
Fig.5 Image after relevancy processing (10 frame process display)

随机起伏噪点大大减少，同时蛙人目标的运动轨迹得以保留下来。

采用本文所介绍的方法，从某次海试数据中截取噪点较多的几个周期，对杂波抑制和多帧数据关联处理后的图像底层数据所包含噪点数进行统计，得到表 1 所示的结果。

表 1 杂波抑制和数据关联处理后噪点数分析
Table 1 Noise analysis after clutter suppression and data relevancy processing

| 原始数据 | 杂波抑制处理后 | 数据关联处理后 | 降噪百分比/% |
|-------|---------|---------|---------|
| 7 178 | 3 165 | 90 | 98.7 |
| 7 916 | 3 159 | 138 | 98.2 |
| 7 220 | 2 641 | 168 | 97.6 |
| 7 938 | 3 200 | 235 | 97.0 |
| 7 781 | 3 054 | 217 | 97.2 |
| 7 674 | 2 975 | 122 | 98.4 |
| 7 328 | 2 694 | 266 | 96.3 |
| 7 962 | 3 295 | 120 | 98.4 |

经过对大量试验数据分析，证明本文中提出的算法对于背景比较稳定的图像，降噪效率不低于 95%。

这里需要特别说明，本文中的处理算法要求时间上相邻的多帧声呐图像之间存在强相干性，即声呐图像必须是稳定的，不能存在大的强度起伏，否则无法估计当前帧背景图像，从而无法实现杂波及背景滤除。至于成片强杂波区域内的目标保留，要求目标回波至少稳定地大于杂波峰值背景一定数值，否则将使得目标淹没在杂波里被滤除掉而无法保留。

5 结 论

本文采用的图像降噪方法适用于背景较为稳定的工作环境，通过合适的动态门限选择可以有效去除图像中的杂波以及随机起伏，图像经过降噪处理后，有利于降低后续图像处理的运算量，同时有利于目标跟踪与识别的准确性。

参 考 文 献

[1] 李启虎. 声呐信号处理引论[M]. 北京: 海洋出版社, 2000: 313-317.
LI Qihu. An introduction to sonar signal processing [M]. Beijing: Ocean Press, 2000, 313-317.

[2] 聂良春. 多波束相位差法海底 TOA 估计理论分析及实用性研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学硕士学位论文, 2003.
NIE Liangchun. Theoretical analysis and practical research on TOA estimation of multi beam phase difference method [D]. Harbin: Harbin Engineering University Master's degree thesis, 2003.