

基于分区自适应阈值的声呐障碍物检测算法研究

徐从营,裴承艳

(中国船舶重工集团公司第七一〇研究所,湖北 宜昌 443003)

摘要 针对 UUV 避碰声呐探测障碍物过程中自主选择分割阈值进行障碍物检测的问题,提出了基于分区自适应阈值的障碍物检测算法。首先将避碰声呐图像均匀分为相同大小的图像块,对每个图像块基于最大类间方差算法确定该区域障碍物图像分割的高低阈值,然后对检测到的障碍物进行形态学处理去除孤立噪声点,对目标区域进行连通性分析及内部空洞处理,最终得到完整的障碍物轮廓信息。通过湖试数据验证表明了该方法对声呐障碍物检测的有效性。

关键词 障碍物检测;自适应阈值;UUV;避碰;声呐

中图分类号 TP391 文献标识码 A

Research on Obstacle Detection Algorithm of Sonar Based on Partition Adaptive Threshold

XU Congying, PEI Chengyan

(No. 710 R&D Institute, CSIC, Yichang 443003, China)

Abstract An algorithm of obstacle detection based on partition adaptive threshold is proposed to solve the problem of UUV obstacle-avoidance sonar autonomously selecting segmentation threshold to detect obstacles. Firstly, the obstacle avoidance sonar image is evenly divided into image blocks with the same size, and the high and low thresholds values of obstacle image segmentation in this area is determined based on Otsu for each image block. Then, the isolated noise points of detected obstacle are removed through morphological operation, and the connectivity analysis and hole treatment of the target area are carried out. Finally, the complete obstacle profile information is obtained. The data of lake trial has validated the effectiveness of this method for obstacle detection of sonar.

Key words obstacle detection; adaptive threshold; UUV; obstacle avoidance; sonar

0 引言

UUV 避碰声呐在障碍物探测过程中会受到各种水下环境噪声的影响,使所形成的声呐图像的质量变差,障碍物图像模糊不清,障碍物目标的边界信息不明显,给自主障碍物检测识别带来极大的困难^[1]。如何能让 UUV 感知水下障碍物准确的轮廓、位置信息,是 UUV 做出避碰决策的重要前提^[2]。

目前在使用阈值分割算法进行障碍物检测时,为应对多种环境因素干扰,实现在不同环境下的障碍物自主检测,图像分割阈值选取非常困难^[3-4]。由于避碰声呐常受到浅水区域复杂地形、环境噪声、近水面多途效应等的影响,探测信息中噪声与伪目标成分较大^[5],阈值选取过小,会把部分环境噪声干扰当成障碍物,使障碍物区域扩大,导致需警率较高,从而使 UUV 频繁执行避碰决策,影响任务完成质量。而阈值选取过大,则会造成障碍物

区域检测不完整,障碍物区域容易形成空洞,甚至出现障碍物漏检的情况,影响 UUV 的航行安全。同时,由于声呐图像质量较低,图像中存在较大噪声时,使用固定阈值进行分割会造成大量的噪声点,影响后期障碍物的准确检测。因此本文对避碰声呐障碍物检测方法中的声呐图像阈值化算法进行了改进,提出了基于分区自适应的双阈值避碰声呐图像障碍物检测算法,可很好地应对避碰声呐图像中存在的噪声并能准确提取障碍物目标区域。使用 837B 避碰声呐采集的湖试数据进行了验证,表明了算法的有效性。

1 Otsu 自动二值化阈值选取

最大类间方差法^[6](Otsu 算法)是一种常用的自适应阈值确定方法,由日本学者大津(Nobuyuki Otsu)于 1979 年提出。在使用该算法进行自适应阈值确定时,一般会根据图像或数据的某些特性建立统计直方图,然后将直方图分为两类,采用遍历的方法得到使类间方差最大的阈值。该方法计算准确并且高效,选取的阈值较为理想。

假设声呐图像中灰度值最高的像素值为 m ,则可将该图像分为 $1 \sim m$ 级,假设计算结果为 i 的像素数为 n_i ,则声呐图像不为零的像素总数为

$$N = \sum_{i=1}^m n_i \quad (1)$$

各灰度值的概率为

$$P_i = \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

再用 T 将其分成两组 $C_0 = \{1 \sim T\}$ 和 $C_1 = \{(T+1) \sim m\}$,各组产生的概率如下

$$w_0 = \sum_{i=1}^T p_i = w(T) \quad (3)$$

$$w_1 = \sum_{i=T+1}^m p_i = 1 - w_0 \quad (4)$$

$$u_0 = \sum_{i=1}^T i \frac{p_i}{w_0} = \frac{u(T)}{w(T)} \quad (5)$$

$$u_1 = \sum_{i=T+1}^m i \frac{p_i}{w_1} = \frac{(u-u(T))}{(1-w(T))} \quad (6)$$

式中: w_0 、 w_1 、 u_0 、 u_1 分别为 C_0 、 C_1 的概率及声呐图像的平均值; $u = \sum_{i=1}^m ip_i$ 为整体图像的灰度平均值; u

($T = \sum_{i=1}^T ip_i$ 是阈值为 T 时的灰度平均值,所以全部采样的灰度平均值为

$$u = w_0 u_0 + w_1 u_1 \quad (7)$$

两组间的方差可经下式求出:

$$\delta^2(T) = w_0(u_0 - u)^2 + w_1(u_1 - u)^2 = w_0 w_1 (u_1 - u_0)^2 = \frac{[uw(T) - u(T)]^2}{w(T)[1 - w(T)]} \quad (8)$$

从 $1 \sim m$ 改变 T , 求使上式为最大 T , 即求 $\max \delta^2(T)$ 时的 T 值,将其作为最佳阈值。

在实际使用时,为降低算法计算量,提高计算速度,本文对声呐图像使用 128 级直方图进行了统计。算法的计算复杂度可由 $O(256)^2$ 降低为 $O(128)^2$,计算规模为原来的 1/4,并且计算结果对检测效果无明显影响。

2 双阈值声呐障碍物检测算法

2.1 自适应双阈值障碍物检测算法

假设 $d(x, y)$ 避碰声呐图像,使用 Otsu 算法对避碰声呐图像进行直方图统计并计算二值化阈值 d_{th} 。传统目标阈值分割算法使用单一阈值对图像进行二值化,容易造成目标漏检或误检,因此本文采用 Canny 边缘检测算法中双阈值化检测的思想,提出了双阈值目标提取算法,即设置高低阈值分别为 d_{th1} 、 d_{th2} ,其中 $d_{th1} > d_{th2}$ (一般取 $d_{th1} = 1.2d_{th}$, $d_{th2} = 0.2d_{th}$)。假设 $d[i, j]$ 为差值图像坐标 $[i, j]$ 处的像素值,如果 $d[i, j] > d_{th1}$,则将其认为目标点,使用这种方法得到的只是图像灰度变化比较明显的区域,分割出的目标区域并不完整,目标区域偏小。为最大程度地分割出目标,采用递归边界跟踪方法,将八邻域区域内 $d[i, j] > d_{th2}$ 的点判定为目标区域并保留。

图 1(a) 为原始参考图像,图 2(b)-(d) 为对避碰声呐图像分别使用本文提出的双阈值检测算法计算得到的低阈值、高阈值及双阈值进行阈值化的检测结果。从图像可以看出,低阈值检测结果目标区域偏大,部分回波较弱的区域被当做障碍物区域,且含有较多的噪声干扰点。而高阈值检测结果障碍物区域不完整,只有高亮度回波区域被分割出来。本文算法提取的障碍物区域则相对完整且边

缘平滑,抑制了图像中的噪声,仅存在少量孤立的噪声点。为进一步抑制图像噪声的影响,本文对双阈值算法进行进一步改进,使用分区自适应阈值计算方法增强抑制图像噪声的能力。

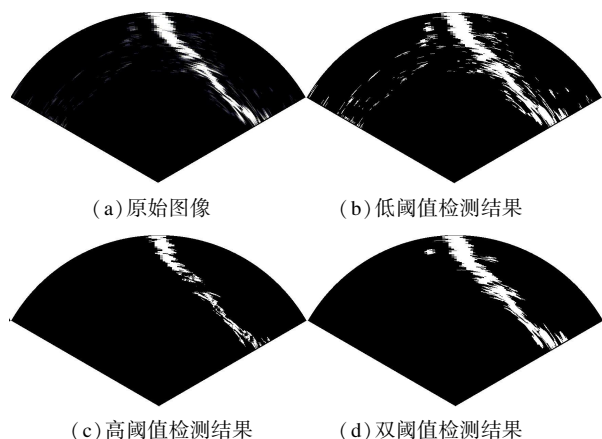


图1 单双阈值目标检测效果

Fig. 1 Target detection results of single/double-threshold

2.2 分区自适应阈值声呐障碍物检测算法

避碰声呐在水下进行障碍物探测时,受环境噪声及障碍物分布情况影响,声呐图像中必然存在亮度不均匀分布的情况。当一幅图像中存在亮度差异时,对整幅图像使用同一对高低阈值可能会导致出现障碍物漏检或错检的现象。因此本节在双阈值检测算法的基础上,提出了一种基于图像分块的自适应双阈值障碍物检测算法。即将避碰声呐图像均匀分为相同大小的图像块,对每个图像块使用Otsu算法确定该区域二值化的高低阈值。每个图像块计算的阈值更能反映其所在区域的图像灰度变化,检测结果既保留了障碍物目标区域的局部细节,又可使用该区域计算出的高阈值判断有无障碍物,如果高阈值较低,则认为该区域没有障碍物,可较好的去除孤立的噪声点。图2为分区自适应双阈值目标检测算法的检测效果。

图2(a)为原始图像,图2(b)为双阈值检测结果,图2(c)为分区检测阈值,图2(d)为分区双阈值检测结果。从图2(b)中可以看出,双阈值检测虽然可以检测出大部分目标区域,但对噪声抑制能力不足,在检测结果中仍然会存在少量的噪声点。分区自适应阈值检测算法将图像分为相等的图像

块并计算该区域的检测阈值,由于噪声点数量在分块区域中所占比例极少,因此计算出的检测阈值会很小,如图2(c)所示。对每个区域设置合适的阈值范围,当低于阈值范围时认为该区域为背景区域,从而过滤掉噪声点。从图(d)中即可看出图像中的噪声点被全部去除,并且由于分区域阈值更能体现出该区域的亮度变化,检测出的目标区域边缘更为平滑,障碍物区域的完整性未受太大影响。

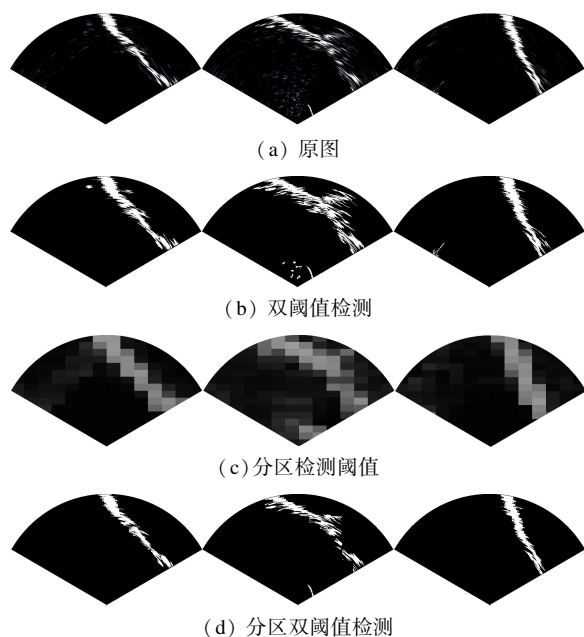


图2 分区自适应双阈值目标检测效果

Fig. 2 Target detection results of partition adaptive double-threshold

2.3 区域连通性分析及目标内部空洞填充

膨胀和腐蚀这两种操作是形态学处理的基础,腐蚀是一种消除边界点,使边界向内部收缩的过程,膨胀则是将与物体接触的所有背景点合并到该物体中,使边界向外部扩张的过程。先膨胀后腐蚀的过程称为闭运算。该方法只适用于二值图像,用来填充物体内部细小孔洞、连接邻近物体、平滑其边界,同时并不明显改变二值图像面积。在进行目标阈值检测算法中,常用来对检测的目标区域内部孔洞进行填充^[7-8]。并且,与腐蚀和膨胀不同,闭运算对于结构元素的平移不具有不变性。对图2(d)的目标检测结果进行1次形态学闭运算后计算结果如图3所示。

由图3可以看出,经过形态学闭运算处理后,

声呐障碍物分割图像中存在的较小的孔洞及像素面积较小的区域被填充或合并到临近的目标区域之中,较小的缝隙及断裂的边缘也被连接上,最终得到的障碍物区域面积未发生明显变化并且边缘较为平滑。但同时可以从图中看出,该方法无法填充目标内部面积较大的孔洞,这些孔洞一部分为封闭式,一部分为开放式。对于目标内部封闭式的孔洞,我们使用区域连通性分析的方法对其进行填充,处理效果如图 4 所示。



图 3 形态学滤波

Fig. 3 Morphological filtering

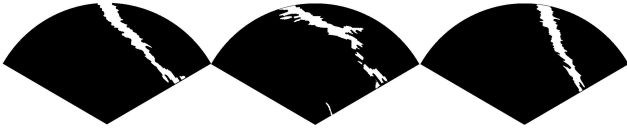


图 4 目标区域孔洞填充

Fig. 4 Hole filling of target area

对形态学滤波后的二值图像使用二值连通成分标记的序贯算法分别对目标及背景区域进行连通性分析,得到若干目标及背景连通区域。如果背景连通区域被目标连通区域包含,则可认为该背景连通区域为目标孔洞,对其进行填充。从图 4 三幅检测结果可以看出,目标区域内部封闭的孔洞全部被填充上。

3 实验与结果分析

实验数据来自于某湖进行的 UUV 避碰试验,将避碰声呐相关试验原始数据提取出来,验证提出的算法。避碰目标选择水中小岛、大坝、水下崖壁等障碍物,以及使用 UUV 水面航行时波浪干扰图像测试算法抗干扰能力。UUV 采用 837B 型多波束声呐探测障碍物,声呐量程设置为 300 m,最大刷新频率为 2 Hz,障碍物数据处理计算机模块为 CD-6010,CPU 主频 1.4 GHz,内存 2 G,安装 Windows XPE 操作系统,软件开发平台为 Visual Studio 2005。UUV 所装配声呐及测试环境如图 5 所示。



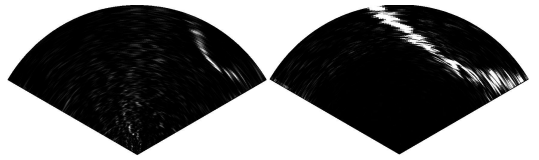
(a) 避碰声呐



(b) 测试环境

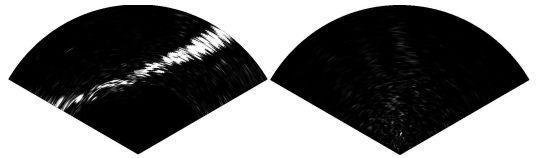
图 5 避碰声呐及测试环境

Fig. 5 Obstacle avoidance sonar and test environment
 试验分别选取水中小岛、大坝、水下崖壁等障碍物以及水面大风浪条件下典型航行实验数据各 100 张图片进行测试,各障碍物典型图像如图 6 所示。



(a) 水中小岛

(b) 大坝



(c) 水下崖壁

(d) 水面干扰

图 6 典型干扰物图像

Fig. 6 Images of typical interferences

使用本文算法分别对不同类型的障碍物或干扰图像进行处理,处理参数如表 1 所示。

表 1 试验参数

Table 1 Test parameters

图像分辨率/像素	阈值选取	截断阈值	图片数量
1 000×500	$d_{th1} = 1.2d_{th}$ $d_{th2} = 0.2d_{th}$	60	100

d_{th} 表示使用 Otsu 算法获取的分割阈值, d_{th1} 和 d_{th2} 分别表示高低阈值。截断阈值表示当 $d_{th} \leq 60$ 时判断该区域没有障碍物。截断阈值选取方法为人工选择声呐图像中非目标区域,计算该区域内非零图像像素值均值,对水面、水下等不同航行环境下的数据进行统计,最终得出一个较为合理截断阈值。

图 7 为使用本文算法对典型障碍物图像的处理结果,表 2 为对每类典型障碍图像处理统计结

果。对每一张处理结果进行人工比对确认,统计正确识别、噪声误识别的图像数量。

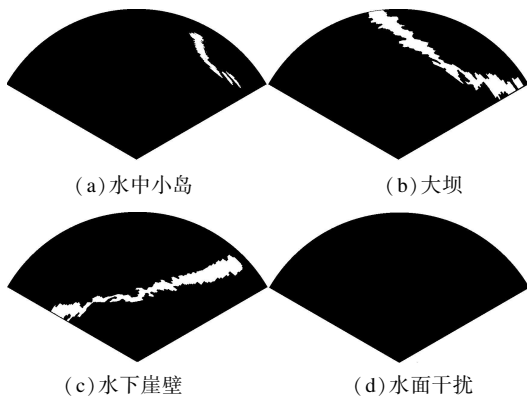


图7 典型干扰物图像处理结果

Fig. 7 Image processing results of typical interferences

表2 试验结果

Table 2 Test results

障碍物	正确识别数量	误识别	平均处理时间/ms
水中小岛	98	2	391
大坝	97	3	384
水下崖壁	97	3	395
水面干扰	98	2	370

从图7及表2中可以看出,本文算法对不同类型的障碍物均可自适应选择合适的阈值,准确提取出障碍物的完整轮廓信息,实现障碍物的准确识别,对水面航行干扰具有较强的抑制能力,可显著降低障碍物误判的概率,所探测出障碍物外轮廓和方位也可反映实际障碍物的轮廓和方位。障碍物图像平均处理时间小于400ms,满足实时性处理要求。

4 结束语

针对水下环境中UUV避碰声呐探测障碍物过程中自主选择分割阈值进行障碍物检测问题,提出了基于分区自适应阈值的障碍物检测算法。该算法以Otsu算法为基础,借鉴Canny边缘检测算法中双阈值化检测的思想,提出了双阈值障碍物检测算法,并根据障碍物声呐回波图像亮度不均匀的特点,提出了图像分块的思想对算法进行进一步改进,提高了算法对环境噪声的抑制能力,显著降低了障碍物误判的概率。湖试数据验证表明了本文

算法对不同障碍物目标检测的有效性。

参考文献

- [1] LIN F Y. Research on obstacle recognition for UUV based on multi-beam forward looking sonar[J]. Journal of Electrical Engineering, 2013, 11(5): 2657-2663.
- [2] 严浙平,迟冬南,赵智,等.支持向量聚类的UUV障碍物孤立点惰性检测[J].哈尔滨工程大学学报, 2012, 33(11):1377-1383.
- [3] ZHANG T D, WAN L, PANG Y J, et al. Object detection and tracking method of AUV based on acoustic vision[J]. China Ocean Engineering, 2012, 26(4): 623-636.
- [4] KARABCHEVSKY S, BRAGINSKY B, GUTERMAN H. AUV real time acoustic vertical plane obstacle detection and avoidance[C]// Conference: Autonomous Underwater Vehicle (AUV). Southampton: IEEE/OES, 2012.
- [5] 徐健,朱慧龙,陈涛,等.受人观测启发的UUV前视声呐滤波方法[J].仪器仪表学报, 2016, 39(5): 1094-1100.
- [6] MEI F, YUE G X, YU Q C. The study on an application of Otsu method in Canny operator[C]// Proceedings of the 2009 International Symposium on Information Processing. Huangshan: ISIP, 2009.
- [7] 吴丽媛,徐国华,余琨.基于前视声呐的成像与多目标特征提取[J].计算机工程与应用, 2013, 49(2): 222-225.
- [8] LI Y W, LI M, GONG Z B, et al. Underwater object detection and localization based on multi-beam sonar image processing[C]// Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.