

基于距离选通成像的水下线状目标检测算法

徐涛, 杨克成, 夏珉, 李微, 郭文平
(华中科技大学光学与电子信息学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 基于水下距离选通激光成像技术, 提出了一种可用于长距离下的水下线状目标检测算法。该算法针对水下成像中低对比度、模糊和噪声等特性, 首先采用对比度拉升、中值滤波、小波变换等方法对图像进行增强处理; 然后利用 Canny 边缘检测算子提取出目标的边缘特征; 最后针对边缘特征中出现的噪声边缘问题, 选用了鲁棒性强的随机抽样一致性参数估计算法从边缘特征中检测出线状目标, 并计算得到目标的位置和方向等相关参数。实验结果表明, 该算法可以有效地检测出水下曲线状目标, 弥补现有方法只能检测直线目标的不足, 检测率可以达到 93%, 有效检测距离能达到 5 倍水下衰减长度。

关键词: 距离选通; 图像增强; 特征提取; 线状目标; 水下目标检测

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2017.10.025

Detection algorithm of underwater linear target based on range-gated imaging

XU Tao, YANG Ke-cheng, XIA Min, LI Wei, GUO Wen-ping
(School of Optical and Electronic Information, HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract: An algorithm for long distance underwater linear object detection based on range-gated laser imaging is proposed. For the characteristics of underwater images, such as low contrast, blur and noise, and so on, the image was enhanced by means of contrast stretching, median filtering and wavelet transform. Then, the Canny operator was used to extract object's edge features. Finally, for the emergence of noise edges, a robust algorithm named Random Sample Consensus was chosen to detect linear object and estimate its parameters such as position and direction. The experiment results show that the algorithm can effectively detect underwater linear objects, and the detection rate can reach 93%, and the effective detection range can be up to 5 times the length of the underwater decay.

Key words: range-gated; image enhancement; feature extraction; linear object; underwater object detection

1 引言

当前,我国在海洋铺设的海底管道总长度已经超过 6000 km^[1]。海底管道的泄露或损坏会导致巨大的经济损失和生态环境污染,设计出针对水下线状目标的检测算法具有十分重要的意义。

当前的水下线状目标检测研究工作主要集中于

近距离水下直线探测,并取得大量的研究成果。文献[2]中参考生物视觉的直线检测机理,提出了一种基于粒子群优化(Particle Swarm Optimization, PSO)的直线聚类方法,可用于水下管道检测。文献[3]中使用像素点筛选和峰值点逆向清零技术对传统的 Hough 变换直线检测算法进行了改进,降低了

检测算法的运行时间并提升了检测的正确率。文献[4]通过在小波低频子带进行边缘检测目标检测,有效降低了算法运行时间。文献[5]中研发了一种可用于检测和跟踪水下管道的实时成像系统,该系统通过检测图像内六个水平条状区域内的管道边缘,并进行分析融合得到目标的整体信息。文献[6]中提出了一种水下的缆绳跟踪算法,该算法包括色彩空间转换、Canny 边缘检测和概率 Hough 变换三个步骤,可以有效用于 ROV 导航中。

然而直线状目标是一个较理想的模型,实际中由于内部应力或环境影响,目标会发生不同程度的弯曲形变,使得算法在实际应用中存在一定的局限性。本文提出了一种可用于水下环境中曲线状目标检测的算法。

2 距离选通成像技术

距离选通成像系统通常包含激光脉冲光源、高速选通相机和同步控制模块三部分,通过精确的同步时间控制,从而抑制后向散射的影响。当激光器开始发送脉冲时,距离选通过程开始。当光行进时,选通门处于关闭状态,因此不会捕获后向散射光。当被目标反射回的激光脉冲返回相机时,选通门打开,相机仅捕捉来自目标的反射光。一旦激光脉冲结束,选通门再次关闭。

距离选通成像系统能够有效地抑制由于水体中的粒子反射造成的后向散射影响,由于使用激光光源,一般会在图像的中心位置形成亮斑。基于此,尝试在系统的激光器前面放置一个扩束器,通过激光扩束,可部分消除激光光源的影响,最终得到光照均匀的成像图片。图 1 为实验使用的距离选通系统原理图。

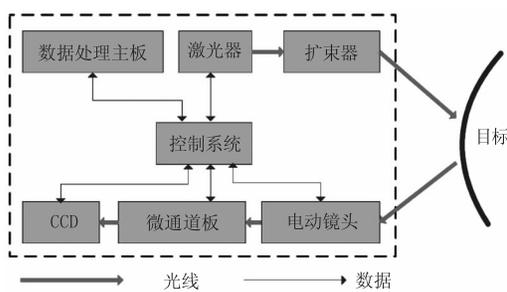


图 1 距离选通系统原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the range-gated imaging system

3 线状目标检测

距离选通技术得到的水下图像仍然存在对比度低,噪声等特性,一般需要先通过数字图像处理技术进行增强处理。线状目标检测算法可分为三个阶

段:图像增强、边缘检测和目标检测。

3.1 图像增强

对比度拉伸(或灰度拉伸)是一种应用广泛的图像增强方法,通过将原图像的灰度函数经过一个变换函数变换成一个新的图像函数,即: $g(x,y) = T[f(x,y)]$,是一种简单、有效的对比度增强方法^[7]。可通过公式(1)计算得到:

$$I^* = \frac{I - \min(I)}{\max(I) - \min(I)} \quad (1)$$

其中, I 表示输入图像; $\max(I)$ 和 $\min(I)$ 分别代表 I 的最大和最小值; I^* 为输出图像。

中值滤波是基于排序统计理论的一种能有效抑制噪声的非线性信号处理技术^[7]。在一定条件下,可以克服线性滤波器如最小均方滤波、平均滤波等所带来的图像细节模糊,能够滤除水下图像中的脉冲噪声。

小波滤波可以有效地消除图片中由水体散射导致的噪声^[8]。首先对噪声图像进行小波变换得到小波系数 w ,然后将每个系数与设定的阈值 T 进行比较,如果系数小于阈值,则将其设置为零,否则保持不变。如式(2):

$$\eta(w) = wI(|w| > T) \quad (2)$$

其中, w 为小波系数; T 为阈值; $I(x)$ 为示性函数,当 x 为真时,其结果为 1,反之则为 0。然后通过取逆小波变换即可得到去噪后的图像。

3.2 边缘检测

Canny 边缘检测算子^[9]是由 John F. Canny 提出的边缘检测算子。是目前在边缘检测性能和算法复杂性上综合性能最优的方法之一。由于实现简单,已经成为边缘检测最流行的算法之一。

Canny 边缘检测器首先用高斯滤波器对图像进行卷积,然后选用传统边缘检测器计算图像的梯度。并通过非极大抑制方法将局部最大值之外的梯度值抑制为 0,即保留图像中变化最明显的位置,因此有助于精确地定位边缘。最后,采用双阈值方法提升弱边缘的检测效果。

3.3 目标检测

RANSAC 是一种鲁棒性强的模型拟合算法,特别适用于拟合包含有大量偏差数据点的数据^[10]。由于水下图像中存在严重的噪声影响,边缘检测算法会不可避免地检测出大量多余的伪边缘点(false positives),使用 RANSAC 算法可部分消除伪边缘点的影响。

传统的 RANSAC 方法使用的是一阶线性模

型,只能检测出图像中的直线目标。文献[11]中将其扩展至二阶抛物线模型作为遥感图像中道路检测方法,原理上可以将RANSAC推广到任意阶曲线的目标检测。由于一般检测对象在小视场中不会发生严重弯曲,选取二阶曲线足以检测出真实目标。

4 实验结果与分析

使用实验室已有的距离选通成像系统,在华中科技大学船池进行实验,经测试船池中水的衰减距离约为4.5 m。实验时将一块上半部颜色较深,下半部颜色较浅的背景板悬挂入水中,以模拟不同的成像背景。然后将弯曲的水下电缆作为线性目标,悬挂在背景板的前面。通过将背景板和电缆推放到不同距离,在每个距离处,将电缆上拉到深色背景板前面采集深色背景下的目标成像图片,将电缆下放到浅色背景板前面采集浅色背景下的目标成像图片。

在15 m处捕获的图像如图2所示。由于水体吸收和散射造成的图像低对比度,肉眼很难直接观察到目标。

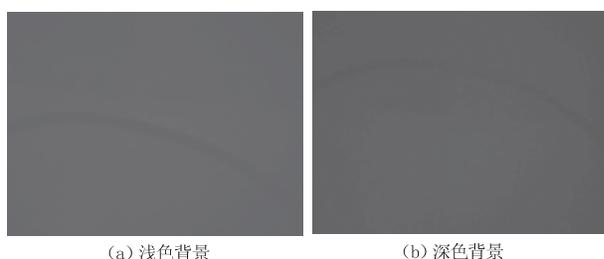


图2 15 m 成像距离原始图像

Fig. 2 Original test images captured at 15 meters

图像增强处理时首先使用对比拉伸算法拉伸图像的对比度,然后使用 5×5 的中值滤波器滤除脉冲噪声,最后选择5阶db4小波和硬阈值滤波算法进行去噪处理。最终的图像增强结果如图3所示。

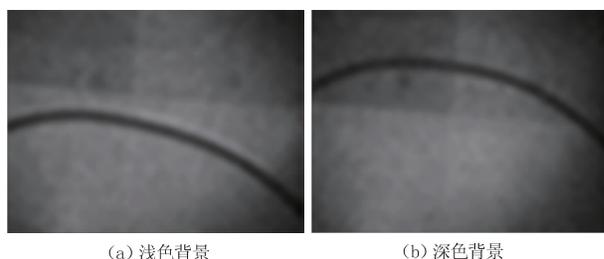


图3 图像增强结果

Fig. 3 Image enhancement result images

边缘检测阶段,由于Canny算法的阈值选取对边缘检测结果有着直接的影响,实验时选用最大类

间方差算法计算的阈值作为Canny边缘检测的高阈值,将高阈值乘以0.2作为低阈值,能够提高边缘检测的鲁棒性。边缘检测结果如图4所示。

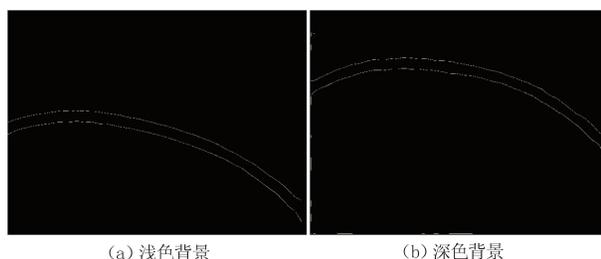


图4 Canny边缘检测结果

Fig. 4 Canny edge detection result images

RANSAC目标检测阶段,由于平面上三个点即可唯一确定一条二次曲线,实验时每次在边缘点中随机选择3个点即可得到假设的目标曲线,然后利用其他的边缘点进行验证,并大量重复迭代,最终得到最优的检测结果。迭代次数 k 可以通过等式(3)得到:

$$k = \frac{\log(1 - z)}{\log(1 - w^n)} \quad (3)$$

其中, z 为实验想要达到的检测率; n 为每次需要随机采样的点的个数,即 $n = 3$; w 为边缘图像中实际边缘点的比例。通常,Canny算法检测出的伪边缘越多, w 的值就越小。实验发现迭代次数为500时足以满足检测要求。结果如图5所示。

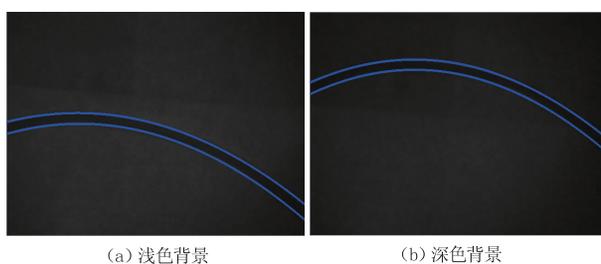


图5 目标检测结果

Fig. 5 Object detection result images

实验时在不同距离处采集大量实验图片进行测试,结果表明,在成像距离22 m(即5倍衰减长度)范围内,检测率可以达到93%以上。当成像距离进一步增大时,由于水体后向散射的影响,采集到的原始图片中对比度和噪声进一步恶化,图像增强处理能一定程度提高图像的对比度和降低噪声,但图像中的噪声会导致边缘检测的结果中出现大量的伪边缘,最终导致检测到的目标出现变形,噪声干扰更严重时会导致检测失败。

5 结论

本文提出了一种基于距离选通成像技术的长距

离水下线状目标检测方法。实验结果表明,该方法可以有效地检测水下曲线状目标,检测率可以达到93%,有效检测范围可达到5倍水下衰减长度。同时,可以研究更加有针对性的图像增强算法,对更大成像距离处的图片进行有效的增强处理,进一步提高检测距离。

参考文献:

- [1] WANG Jinlong, HE Renyang, ZHANG Haibin, et al. State-of-the-art advancement and development direction of submarine pipeline inspection technology[J]. China Petroleum Machinery, 2016, 44(10): 112 - 118. (in Chinese)
王金龙, 何仁洋, 张海彬, 等. 海底管道检测最新技术及发展方向[J]. 石油机械, 2016, 44(10): 112 - 118.
- [2] XU Pengfei, HU Zhen, CUI Weicheng, et al. Application of vision-based system in underwater pipeline active inspection[J]. Shipbuilding of China, 2010, 51(03): 91 - 100. (in Chinese)
徐鹏飞, 胡震, 崔维成, 等. 光视觉在水下管线巡检中的应用[J]. 中国造船, 2010, 51(03): 91 - 100.
- [3] ZENG Wenjing, ZHANG Tiedong, WAN Lei, et al. Underwater pipeline detection based on Hough transform[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 33(01): 76 - 84. (in Chinese)
曾文静, 张铁栋, 万磊, 徐玉如. 基于 Hough 变换的水下管道检测方法[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(01): 76 - 84.
- [4] LI Qingzhong, LIU Xiaoli, GU Nana. Fast line detection algorithm for underwater man-made objects[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(11): 180 - 183. (in Chinese)
李庆忠, 刘晓丽, 谷娜娜. 水下人造目标线特征快速检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(11): 180 - 183.
- [5] Zingaretti P, Tascini G, Puliti P, et al. Imaging approach to real-time tracking of submarine pipeline[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 1996, 2661: 129 - 137.
- [6] Chen H, Chuang N, Wang C. Vision-based line detection for underwater inspection of breakwater construction using an ROV [J]. Ocean Engineering, 2015, 109(15): 20 - 33.
- [7] Gonzalez C, Woods E, Digital image processing [M]. New Jersey: Prentice Hall, 2007.
- [8] Prabhakar J, Kumar P. An image based technique for enhancement of underwater images [J]. International Journal of Machine Intelligence, 2012, 3(4): 217 - 224.
- [9] Canny J. A Computational Approach to Edge Detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679 - 98.
- [10] Fischler A, Bolles C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography [J]. Communications of the ACM, 1980, 24(6): 381 - 395.
- [11] Radek B, Martin H, Kamil R. Nonlinear RANSAC method and its utilization[J]. Elektrotechnik, 2007, 2(4): 7 - 14.