

基于 Chan-Vese 模型的海面油膜分割应用

靳卫卫¹, 于新生², 裴建新², 栗宝鹃¹, 邱照宇¹

(1. 中海石油环保服务(天津)有限公司 天津 300457; 2. 中国海洋大学 海洋地球科学学院 山东 青岛 266061)

摘要: 考虑到采用高空间分辨率的光学图像开展海面油膜的监测由于海面风、浪、流等环境因素的影响,采集到的视频图像普遍存在成像光照不均匀、低对比度、低信噪比等问题,采用自适应高斯滤波进行图像噪声去除,基于一种局部图像对比度增强算法进行去雾和对比度增强处理,通过颜色空间转换配合 Chan-Vese 模型进行图像分割,使得海面油膜图像处理取得了良好效果。

关键词: 油膜分割; Chan-Vese 模型; 高斯滤波; 局部对比度增强

中图分类号: U698.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-7953(2018)02-0077-04

在过去的10年中,成像系统被广泛应用于遥感技术以改进石油泄漏检测方法。在用这些成像系统获得的真实图像中,有许多方法可以探测到石油泄漏。但遥感图像只能提供较低的空间分辨率的图像,不能有效地监测和发现规模较小的石油泄漏。作为一种补充,钻井平台上的监控视频图像可以得到很好的利用,获得区域性的高分辨率海面监测图像,通过利用获取的连续视频图像,开展海面油膜的分割和识别监测。

探测石油泄漏所涉及的复杂问题是由于不同的风/雾和海面条件造成的。这些复杂的环境因素导致了原油泄漏图像的非均匀照明和低信噪比,使得油膜的提取和识别更加困难。低对比度图像降低了各种图像处理和计算机视觉算法的性能。图像增强的目的是去除源图像中的噪声,增强图像对比度。然而,在有雾的情况下,这些方法并没有考虑到雾的厚度与物体的景深比例关系。为此,可采用高斯去噪和局部图像对比度增强技术对海面油膜图像进行预测,提高图像的信噪比,为油膜图像分割做准备。

鉴于海面油膜图像的低对比度和低信噪比等特性,传统的基于阈值和边界梯度的分割方法难以取得预期的效果^[1]。由 Osher 和 Sethian 提出

的水平集算法^[2]可以有效地解决曲线演化问题,并且适用于多维度空间,已被广泛应用于图像分割识别领域。Chan-Vese 在2001年基于 Mumford-Shah 模型提出了一种改进型水平集图像分割方法^[3-4],分割过程不依赖图像像素梯度变化,而是通过计算能量函数最小化实现图像分割。

1 降噪处理

风速、风向、温度、洋流、海水成分,以及陆地等都会引起海洋的复杂运动,因此,海面由于其特殊的环境特性,采集的视频图像普遍存在光照不均匀、与海面波浪等造成的图像纹理的一致性的问题,导致图像低对比度和低信噪比等,给海面图像的处理和目标提取造成困难。

如图1a)、b)所示,海面溢油图像明显受到了加性噪声的影响,这里通过高斯噪声模型来近似模拟噪声信号。对于抑制服从正态分布的噪声,高斯滤波器拥有效果较好的噪声滤除效果,可应用于图像处理的降噪过程^[5]。高斯滤波通过计

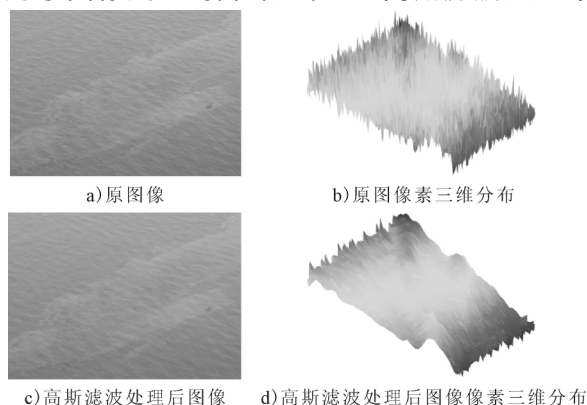


图1 高斯滤波去噪

收稿日期: 2017-11-27

修回日期: 2018-01-10

基金项目: 中国海洋石油集团有限公司科研项目
(RLKJ-2014-01)

第一作者: 靳卫卫(1986—)男,硕士,工程师
研究方向: 海上溢油应急处置与决策支持技术

算各像素领域内像素的加权平均值代替原像素亮度值,可通过图像卷积处理得到。高斯滤波器滤波后的图像和像素值三维分布如图 1c)、d) 所示。

2 对比度增强

KIM Jin-Hwan 提出的图像传播模型为^[6]

$$J(p) = t(p) I(p) + (1 - t(p)) A \quad (1)$$

式中: $J(p) = (J_r(p), J_g(p), J_b(p))$, $I(p) = (I_r(p), I_g(p), I_b(p))$ 分别为原始图像和观察图像在 r, g, b 三通道各像素点 P 处对应的像素值; $A = (A_r, A_g, A_b)$ 为环境光线在大气中的亮度因子; $t(p) \in [0, 1]$ 为光线传输因子,与光线传输距离相关。

图 2 显示了该算法的处理流程。首先,确定一个输入模糊图像的大气光线。然后,假设场景深度在一个图像区块中是近似的,并找到每个区块的最佳传输系数,以最大化恢复图像的对比度。此外,还减少了由于像素值的截断而导致的信息丢失,同时增强了对比度。最后,考虑到传输图和大气的光,从输入模糊的图像中恢复了场景的辐射。

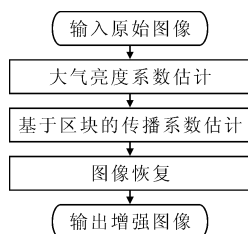


图 2 图像增强算法的流程

模型中大气亮度 A 通常为了一幅图像的最亮区域。为了寻找图像中的最亮区块,通常把整幅图像均分为 4 块区域,计算区块平均亮度减去各个像素值得到中心偏离程度(即方差),通过上述公式计算值对各区块进行打分,分值最高的区块为亮度最大的区块。

此后,在该区域内,通过计算个像素点与白光 ($RGB(255, 255, 255)$) 的距离获取距离最小,即为最亮的像素点的 RGB 值作为需要的大气亮度 A 的值。

$$d =$$

$$\sqrt{(I_r(p) - 255)^2 + (I_g(p) - 255)^2 + (I_b(p) - 255)^2}$$

传输系数 $t(p)$ 与场景景深成反比例,

$$J(p) = \frac{1}{t(p)}(I(p) - A) + A \quad (2)$$

均方误差 (mean squared error, MSE) 是衡量“平均误差”的一种较方便的方法。可以评价数据的变化程度。这里,通过求取各像素值与图像像素均值的偏离程度来描述图像的整体对比度。用公式可表示为

$$C_{mse} = \sum_{p=1}^N \frac{(J_c(p) - \bar{J}_c)^2}{N} \quad (3)$$

式中: $C \in \{R, G, B\}$ 为彩色图像通道; \bar{J}_c 为图像区域的平均像素值; N 为图像区域的像素数。

将公式变换为

$$C_{mse} = \sum_{p=1}^N \frac{(I_c(P) - \bar{I}_c)^2}{t^2 N} \quad (4)$$

根据文献[2]中提出的 2 个代价函数来衡量对比度增强和信息丢失情况。

$$E = E_{contrast} + \lambda_L E_{loss} \quad (5)$$

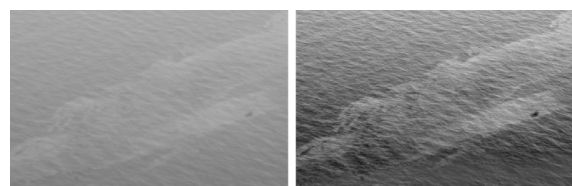
$$E_{contrast} = -C_{mse} = - \sum_{c \in \{r, g, b\}} \sum_{p \in \text{block}} \frac{(I_c(P) - \bar{I}_c)^2}{t^2 N_{\text{block}}} \quad (6)$$

$$E_{loss} = \sum_{c \in \{r, g, b\}} \sum_{p \in \text{block}} \left\{ (\min\{0, J_c(p)\})^2 + (\max\{0, J_c(p) - 255\})^2 \right\} =$$

$$\sum_{c \in \{r, g, b\}} \left\{ \sum_{i=0}^{\alpha_c} \left(\frac{i - A_c}{t} + A_c \right)^2 h_c(i) + \sum_{i=\beta_c}^{255} \left(\frac{i - A_c}{t} + A_c - 255 \right)^2 h_c(i) \right\} \quad (7)$$

式中: $E_{contrast}$ 为对比度代价函数,它与图像均方误差成反比,与系数 t 成正比,当该值最小时,图像对比度获得极大增强; E_{loss} 为图像信息损失函数,其表示图像变换过程中像素值落到 $[0, 255]$ 区间外像素值平方和的函数。

在求取大气亮度系数 A 和各像素点的传输系数 t 后,可通过图像传播模型进行图像重构,以得到去光照不均匀和对比度增强后的图像,其增强效果见图 3。



a) 高斯滤波降噪后图像 b) 对比度增强后图像

图 3 图像去雾及对比度增强处理

为了增强图像的平滑性,及构建 256 像素值映射板,及现有像素值索引进行图像像素值映射。

$$\rho_{i \in \{0 \sim 255\}}(i) = \left(\frac{i}{255}\right)^\beta \times 255 \quad (8)$$

$$im(p) = \rho_{p \in \{0 \sim 255\}}(p)$$

3 图像颜色空间变换

人类视觉对于亮度的变化比对色度变化更敏感。RGB 色彩空间上的颜色分量具有较强相关性,与人类视觉的色彩感知相似性不成正比,是一个不均匀的视觉色彩空间。然后,在 YUV 色彩空间,分量 Y 表征强度的感觉,分量 U、V 与图像像素的色度相关,描述图像的色彩与饱和度,亮度分量 Y 和色度分量 U、V 是相互不相关的,两者相互分离,因此,需要进行图像色彩空间转换,从 RGB 色彩空间到 YUV 色彩空间的转换公式为

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (9)$$

4 基于 Chan-Vese 图像分割

水平集经过升维处理将二维空间变化转变为三维空间变换,将平面曲线的演化问题转化为三维曲面的演化,可以很好地解决二维空间拓扑变化难以表示的问题,通过求解模型偏微分方程 PDE (partial differential equation) 检测图像边缘进行分割^[7-8]。

二维空间的曲线演化可隐式表示为三维空间的曲面演化函数的水平集。

$$C = \{(x, y) | \mu(x, y) = c\} \quad (10)$$

即三维曲面函数 $u = u(x, y)$ 与三维空间中平面函数 $u = c$ 的交线。

随时间 t 的变化,二维曲线的函数可表示为

$$C(t) = \{(x, y) | \mu(x, y, t) = c\} \quad (11)$$

可看作三维曲面簇 $u = u(x, y, t)$ 与平面 $u = c$ 相交得到水平集。

由数学推导可得水平集曲线演化方程,表示为

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \beta |\nabla u| \quad (12)$$

式中: β 为曲线的变化速度; $|\nabla u|$ 为曲线上点的法向量。

$$u(x, y) = \begin{cases} d[(x, y), C] & (x, y) \text{ 在 } C \text{ 外部} \\ -d[(x, y), C] & (x, y) \text{ 在 } C \text{ 内部} \end{cases} \quad (13)$$

式中: d 为点与曲线之间的欧几里得距离。

基于水平集的图像分割通过将二维曲线 C 用高维空间下的水平集函数表示,再通过求解其构造能量泛函对应的 Euler-Lagrange 方程式能量最小化,以获得水平集的演化过程。

这里,采用 C-V 模型是基于区域的水平集方法,其能量泛函公式为

$$E^{CV}(c_1, c_2, C) = \mu \cdot \text{Length}(C) + v \cdot \text{Area}(\text{inside}(C)) + \lambda_1 \times \int_{\text{inside}(C)} |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy + \lambda_2 \times \int_{\text{outside}(C)} |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy \quad (14)$$

式中: $\mu, \lambda_1, \lambda_2$ 为取值为正的比例系数, c_1, c_2 分别表示曲线 C 内、外部的图像像素均值。能量泛函的第一项和第二项用于规整曲线 C ,确保获得足够短的曲线;而第三项和第四项负责使曲线 C 尽量贴合目标轮廓。

基于对比度增强后的海面溢油图像,采用 Chan-Vese 算法对单通道颜色空间图像进行分割,其分割过程与结果见图 4。

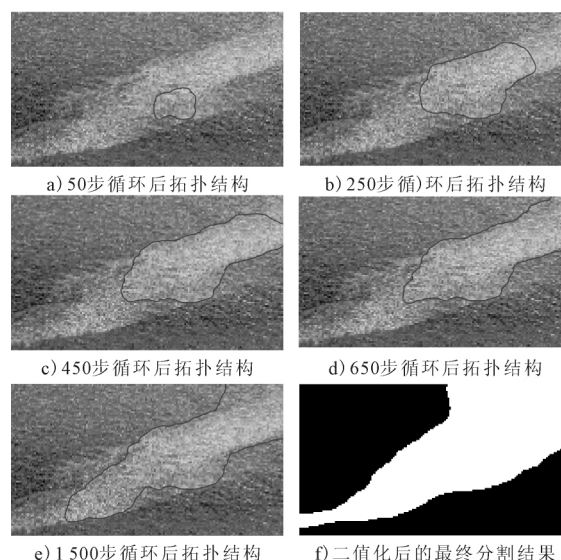


图 4 水平集分割过程与分割结果

5 结论

针对海面溢油图像的低对比度和低信噪比等特性进行了降噪和局部对比度增强等预处理,并结合 C-V 水平集算法对海面溢油图像进行目标分割,该算法能更有效地定位油膜边缘。从图像分割结果可以看出,建立在 Chan-Vese 模型上的图像水平集分割技术,能够在不依赖图像梯度变

化的基础上对目标进行分割,图像分割抗噪能力上具有较强优势,能够实现海面溢油的有效分割。

参考文献

- [1] 臧凤妮. 智能视频监控中海面舰船目标检测算法研究[D]. 中国海洋大学, 2014: 129.
- [2] KIM J, JANG W, SIM J, et al. Optimized Contrast Enhancement for Real-Time Image and Video Dehazing [J]. J Vis Commun Image R. 2013(3): 410-425.
- [3] Pascal Getreuer, Chan-Vese Segmentation [J]. Image Processing On Line, 2012(2): 214-224.
- [4] Tony Chan and Luminita Vese. An Active Contour Model without Edges [C]. Scale-Space Theories in Computer Vision, 1999.
- [5] 钱芸, 张英杰. 水平集的图像分割方法综述 [J]. 中国图象图形学报, 2008(1): 7-13.
- [6] SONG M, CAI L, LIN B, AN J, et al. Hyperspectral Oil Spill Image Segmentation Using Improved Region-Based Active Contour Model [J]. Geoscience & Remote Sensing Symposium, 2016: 6352-6355.
- [7] CRANDALL R. Image segmentation using the Chan-Vese algorithm [C]. ECE 532 Project, Fall 2009.
- [8] CHAN T F, VESE L. Active contours without edges [J]. Image processing, IEEE transactions on, 2001, 10(2): 266-277.

Oil Film Segmentation Based on Chan-Vese Model

JIN Wei-wei¹, YU Xin-sheng², PEI Jian-xin², LI Bao-juan¹, QIU Zhao-yu¹

(1. CNOOC Offshore Environmental Services Co. Ltd., Tianjin 300457, China;

2. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao Shandong 266061, China)

Abstract: The monitoring of surface oil film by optical image with high spatial resolution is an effective method, but, due to the influence of sea surface wind, wave, flow and other environmental factors, the collected images are generally uneven illumination, low contrast and low signal-to-noise ratio, this makes the image segmentation difficult. The image noise can be removed through a Gaussian filter, and a local image contrast enhancement algorithm was used to enhance image contrast. The image segmentation was performed through the color space conversion and the Chan-Vese model, and the good results were obtained through the oil film image processing.

Key words: oil film segmentation; Chan-Vese model; Gaussian filter; local contrast enhancement

(上接第 76 页)

Surface Water and Oil Spill Monitoring of Bohai Strait Based on Ferrybox System

TANG Cheng, LIU Bin, LIU Xin, WANG Ye-bao, HOU Chao-wei, ZHENG Xiang-yang, ZHANG Hua

(Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai Shandong 264003, China)

Abstract: In a winter sea cruise across the Bohai strait, the OIL sensor and CDOM sensor from TriOS was integrated with Ferrybox system. The OIL sensor was mainly dealing with the PAH which had a high correlation with the CDOM data. Based on the data collected in the survey, an analysis was done for the cause and distribution of oil/water quality parameters in the Bohai strait. The characteristics of water quality zonation were mainly driven by water exchange in the strait. The Ferrybox system may offer a new direction for future oil spill monitoring and detecting.

Key words: Ferrybox; Bohai strait; sea water quality monitoring; oil spill detection