基于动态分块阈值去噪和改进的 GDNI 边缘连接的溢油 遥感图像的边缘检测算法

景 雨^{1,2} 安居白¹ 刘朝霞^{1,2}

(大连海事大学信息科学技术学院 大连 116026)1 (大连外国语学院软件学院 大连 116044)2

摘 要 海上溢油图像的边缘检测技术是最重要的海上溢油监测技术之一。无论是溢油的识别、位置的确定或者溢 油量的获取,都需要首先确定溢油区域的边界信息。针对溢油图像的特点,提出了一种新颖的边缘检测算法。该算法 由3部分组成:"非极大值抑制"实现了溢油图像的候选边缘检测;动态分块阈值算法实现了对噪声、伪边缘的清除,使 获得的边缘更连续;改进的 GDNI 边缘连接算法实现了对去噪后图像中的中断边缘点的准确连接。通过实验结果证 明,提出的算法能够得到清晰连续的溢油遥感图像的边界信息,较好地实现了具有低对比度、模糊边界以及噪声问题 的溢油遥感图像的边缘检测,且具有很好的实时性。根据本算法得到的边缘检测信息,海上溢油能够更加容易和快速 地被识别。

关键词 溢油,遥感图像,边缘检测,"非极大值抑制",动态分块阈值,边缘连接

Edge Detection Algorithm of Oil Spills Remote Sensing Image Based on DBT Denoising and Improved GDNI Edge Linking

JING Yu^{1,2} AN Ju-bai¹ LIU Zhao-xia^{1,2}

(Information Science and Technology College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)¹ (School of Software, Dalian University of Foreign Languages, Dalian 116044, China)²

Abstract Edge detection technology of oil spills image on the sea is one of most key technologies to monitor oil spills on the sea. In view of characteristics of oil spills remote sensing image, this paper presented a novel method to detect edge of oil spills image on the sea. The algorithm is composed of three parts: "non-maximal suppression" realizes candidate edge detection of oil spills image, DBT eliminates the noise and pseudo edge in candidate edge, and makes edge locate more accurately and continuously, an improved GDNI edge linking algorithm is used for linking discrete edge points into closed edge contours. Experiment results show that the proposed algorithm can gain continuous and closed edges of oil slick remote sensing images and edge extraction for oil slick images with low contrast and strong noise. **Keywords** Oil spills, Sensing image, Edge detection, Non-maximal suppression, Self-adaptive dynamic block threshold, Edge linking

1 引言

随着我国航海事业、海洋石油开发和沿海经济的迅速发展,溢油事故和不合法的废油排放频频发生。这些问题严重 地威胁着海洋环境并造成巨大的经济损失。所以,溢油的及 时监测、识别、回收和清理工作显得十分重要。遥感技术的迅 猛发展使得人们通过遥感手段来监测和识别溢油成为可能, 大量针对遥感数字图像处理的技术也应运而生。海洋溢油污 染是各种海洋污染中影响范围最广、危害时间最长、对生态环 境破坏最大的一种,因此实时监测溢油情况十分重要。溢油 监测的主要方式有卫星遥感(例如合成孔径雷达、红外等)和 航空遥感(例如红外、紫外、可见光、激光和微波等)^[1,2]。卫星 遥感主要在确定溢油位置和面积等方面能提供已有污染水域 的宏观图像,而航空遥感由于其部署上的灵活机动性及遥感 器的可选择性等优点对溢油应急处理来说是至关重要的。本 文主要针对航空遥感中的红外(或紫外)扫描仪得到的红外 (紫外)溢油图像进行边缘检测,实现海上溢油的检测。海上 溢油图像的边缘检测技术是最重要的海上溢油监测技术之 一,因为无论溢油的识别、位置的确定或者溢油量的获取,都 需要首先确定溢油区域的边界信息。

边缘检测作为一个低级视觉处理过程,一直以来都是图像处理与分析领域的研究热点。边缘检测算法的研究已经有几十年的历史,这期间出现了 Roberts 算子、Sobel 算子、Kir-sch 算子、Log 算子、Canny 算子等经典的边缘检测方法。但通过图 1 可以观察到,溢油遥感图像通常属于无规则图形,且存在噪声较大、目标与背景间灰度差较小、边缘模糊的特点,

到稿日期:2010-12-07 返修日期:2011-03-01 本文受科技部"十一五"国家科技支撑重点项目(2006BAC03B04),海上突发事故应急预报技 术-海上溢油航空遥感监测系统技术资助。

景 雨 女,博士生,主要研究方向为遥感图像处理、人工智能、模式识别, E-mail; jingyu0814@gmail.com; 安居白 男,博士,教授,主要研究方 向为遥感图像处理、人工智能、模式识别、神经网络; 刘朝霞 女,博士生,主要研究方向为遥感图像处理、人工智能、模式识别。

从而使得经典的边缘检测算法往往不能有效地提取出溢油遥 感图像中的目标边缘。



图 1 256×256 的红外溢油遥感原始图像

对于溢油遥感图像的处理,W. chen 在 2003 年提出了一 种基于 BP 融合模型的溢油边缘检测算法^[3],该算法实现了 较好的边缘检测效果,但其处理后的图像仍含有大量噪声,并 且边缘不够清晰、连续;JUBAI. A 在 2006 年提出了模糊理论 结合遗传算法的溢油边缘检测方法^[4],该方法很好地去除了 噪声,边缘比较清晰,但是仍然不够连续,且用遗传算法寻找 最优阈值需要多次迭代,计算时间较长,实时性不够好。

本文提出了一种基于"非极大值抑制"的动态分块阈值去 噪和改进的 GDNI 边缘连接的溢油遥感图像边缘检测算法, 较之其他算法,该算法获得了更好的边缘检测效果。

2 溢油遥感图像的候选边缘点的检测

2.1 基于"非极大值抑制"的候选边缘点的检测

在利用"非极大值抑制"的自适应分块阈值算法实现溢油 遥感图像边缘检测的过程之前,需要对待处理的溢油图像进 行预处理,即选用合适的滤波方法对溢油图像进行滤波平滑 处理,以减少和消除噪声对图像边缘检测的负面影响。

二维高斯函数具有旋转对称性,可保证滤波时各方向平 滑程度相同;当离中心点越远权值越小,可确保边缘细节不被 模糊。且 Canny 在其文中从最优滤波器的角度提出了3个最 优准则^[5],得出了一组最优滤波器指标,根据该指标在实验中 选用具有正态分布的高斯函数作为平滑函数,并从数学上证 明了高斯函数的导数可以作为最优边缘检测算子。

所以本文选用二维高斯函数对待检测图像进行平滑滤 波。二维高斯平滑函数为:

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}}$$
(1)

利用高斯平滑函数 G(x,y,σ)的一阶导数来求得图像中 每个像素点的梯度值,G(x,y,σ)在平滑尺度 σ 下的水平和垂 直方向的一阶导数分别为:

$$\Psi^{1}(x,y) = \frac{\partial G}{\partial x} = -\frac{x}{2\pi\sigma^{4}}e^{-\frac{x^{2}+y^{2}}{2\sigma^{2}}}$$

$$\Psi^{2}(x,y) = \frac{\partial G}{\partial y} = -\frac{y}{2\pi\sigma^{4}}e^{-\frac{x^{2}+y^{2}}{2\sigma^{2}}}$$
(2)

将待测图像 f(x,y)分别与高斯函数水平和垂直方向的 一阶导数做卷积得到两个梯度矢量:

$$W^{1}f(x,y) = f(x,y) * \Psi^{1}(x,y), W^{2}f(x,y) = f(x,y) * \Psi^{2}(x,y)$$
(3)

那么梯度矢量的幅值和梯度矢量的幅角(这里梯度的幅 角与边缘方向垂直)分别为:

$$M(x,y) = \sqrt{\|W^1 f(x,y)\|^2 + \|W^2 f(x,y)\|^2}$$
(4)

$$A(x,y) = \arctan\left|\frac{W^2 f(x,y)}{W^1 f(x,y)}\right|$$
(5)

只根据图像的梯度幅值还不足以确定边缘,为了确定边缘,必须细化梯度幅值图像中的屋脊带,这样才能产生细化的边缘。"非极大值抑制"原理是通过抑制梯度方向上所有非屋脊峰值的梯度幅值来细化梯度幅值屋脊。根据非极大值抑制原理,由式(4)和式(5),当梯度矢量的幅值 *M*(*x*,*y*)在沿幅角方向 *A*(*x*,*y*)取得极大值时的像素点即为我们待测的候选边缘点。

2.2 梯度矢量的幅角方向的确定

在根据"非极大值抑制"寻找图像的候选边缘点之前,需 要确定幅角的方向。通常一个函数的梯度方向在连续的情况 下完全可以用数学的方法求出来,但是在离散的情况下,却很 难精确地表示。因此在确定梯度方向时,我们假使一个像素 点的周围只有8个邻接点,即只考虑邻接的8个方向,也就是 说一幅离散的二维图像有8个梯度方向,在这种情况下,一个 平面被分成8个扇区,如图2所示^[6]。



图 2 离散梯度方向图(虚线表示平面的 8 个扇区,箭头表示 8 个 梯度方向)

由于这些梯度方向都是对称的,因此只需要考虑4个方向:水平、垂直、正对角线、反对角线,便可测出在各个梯度方向的候选边缘点。

令二维图像 *f*(*x*,*y*)的当前像素点为 *p*(*i*,*j*),所对应的梯 度模值表示为 *m*(*i*,*j*)

(1)当 0°≤A(x,y)≤22.5°或 337.5°≤A(x,y)≤360°或
 157.5°≤A(x,y)≤202.5°时,梯度方向为水平方向:

若m(i,j) > m(i-1,j)并且m(i,j) > m(i+1,j),则p(i, j)为候选边缘点;

(2)当 67.5°≤A(x,y)≤112.5°或 247.5°≤A(x,y)≤
292.5°时,梯度方向为垂直方向:

若m(i,j) > m(i,j-1)并且m(i,j) > m(i,j+1),则p(i, j)为候选边缘点;

(3)当 22,5°≪A(x,y)≪67,5°或 202,5°≪A(x,y)≪247,5°时, 梯度方向为正对角线方向:

若 m(i,j) > m(i-1,j-1)并且 m(i,j) > m(i+1,j-1), 则 p(i,j)为候选边缘点;

(4)当 112.5°≪A(x,y)≤157.5°或 292.5°≪A(x,y)≤
337.5°时,梯度方向为反对角线方向:

若m(i,j) > m(i+1,j-1)并且m(i,j) > m(i-1,j+1), 则p(i,j)为候选边缘点。

3 动态分块阈值去噪

在边缘检测的过程中,阈值选取是关键。阈值选得太大, 将丢失可能的弱边缘信息;选得过小,则边缘又太粗或者噪声 太大。算法中通过"非极大值抑制"得到的候选边缘中,仍含 有很多伪边缘和噪声,如图 3 所示,分别为实验中紫外、红外 溢油图像的候选边缘图,所以需要对得到的候选边缘选定合 适的阈值,从而去除伪边缘和噪声。



图 3 (a)和(b)分别为图 1 中的红外溢油图像的候选边缘图

目前常用的阈值方法为全局阈值法,即单阈值法、双阈值 法以及它们的自适应阈值法,但这些常用的求阈值的方法大 多都是基于全局边缘梯度特征的,并没有考虑局部边缘梯度 信息对阈值的影响^[7,8]。全局阈值法虽然可以去除大部分的 噪声,但仔细分析不难发现,用这种阈值方法去嗓,并没有考 虑局部极大值之间的相互关系,若对非极大值抑制后的整幅 图像取同一全局阈值,那么由微弱精细边缘形成的局部极大 值会随着由灰度不均匀、噪声等产生的梯度幅值一起被滤除 掉,不可避免地会造成去嗓后信号的畸变较大。所以本文提 出了一种自适应动态分块阈值去噪的方法,该方法是相对于 常规的固定阈值而言的,将非极大值抑制后的图像分成若干 个*n×n*的子图像,以全局阈值为基础,并利用子图像的边缘梯 度信息,对各个子图像的阈值进行调整,减小点阈值易产生的 误差,以得到更连续、更准确、含噪声较少的边缘点。

对非极大值抑制后的候选边缘图像以 *n*×*n*分块处理成 多个子图像窗口,对每个子图像窗口采用下面的自适应分块 阈值的计算公式:

$$T = a \times T_0 + (1 - a) \times \frac{\sum m(i, j)}{n^2}$$
$$(1 \le i \le M, 1 \le j \le N, 0 \le a \le 1)$$

式中,T为所求得的每个子图像窗口的阈值; T_0 为利用均值 法所获得的全局阈值; $\Sigma m(i,j)$ 为分块后每个子图像窗口中 候选边缘点所对应的极大值的和;a为线性加权因子(0<<a<1)。

然后,对于每个分块窗口,如果 m(i,j) >T,m(i,j)=1, 则 p(i,j) 为边缘点;否则 m(i,j)=0,p(i,j)不是边缘点。

最后,剔除边缘检测图中的孤立点。

4 基于改进 GDNI 的边缘连接

从理论上讲,图像的边缘检测应能产生封闭的轮廓,但通 常情况下,大多数的边缘检测方法均不能得到封闭的轮廓。 造成边缘不连续的原因有多方面的因素,如噪声的干扰、图像 中背景和目标的灰度对比度相对较小、图像内容的复杂性以 及所采用的边缘检测方法、阈值的处理方法等^[9,10]。由于边 缘的不连续,往往会使边缘检测的最终结果不是很理想,为了 形成有意义的边缘,需要对定位后的边缘图像进行边缘连接, 使大部分重要的区域边缘能够形成完整的封闭轮廓。通常情 况下我们若不知道图像中目标物体的形状,就会使边缘连接 变得很困难。 Ghita 和 Whelan^[11]提出了 CAEL 连接方法,该方法利用 终断边缘线段端点的局部信息来确定一个关于方向和欧几里 德距离的评估函数,并以此来确定哪些终断边缘线段的端点 可以进行连接。Wang^[12]等人对 CAEL 边缘连接方法进行了 改进,将像素点的欧几里德距离修改为灰度距离,并结合终断 边缘线段端点的方向信息提出了 GDNI 边缘连接算法,获得 了更好的边缘连接效果,但是该算法在模糊边界或噪声干扰 的情况下容易产生误连接问题。

在借鉴 Ghita 和 Wang 等人的边缘连接思想后,我们充 分利用边缘线段端点间的灰度信息、欧几里德距离信息以及 方向信息提出了一种改进的 GDNI 边缘连接算法,该算法主 要由 3 步组成:

(1)边缘分组:由于经过非极大值抑制和动态分块阈值 去噪算法得到的边缘图像中的边缘线段均是单边和亚像素精 度的,因此首先以从上到下、从左至右的方式扫描边缘点图 像,并使用8邻域搜索的方式对边缘线段进行分组。

(2) 候选端点的确定:为了去掉少数的孤立点和一些由 噪声所引起的虚假边缘线段,将像素个数少于 m(m>0)的边 缘线段从边缘图像中去掉,取出剩余边缘线段的端点,并计算 两条边缘线段端点之间的距离,选择距离小于 d 的端点作为 候选连接端点。

(3) 候选端点的连接:为了获得连续、闭合的目标轮廓, 我们充分利用候选端点间的灰度距离信息、欧几里德距离信 息以及方向信息提出了代价函数 F(P_a, P_b),如式(7)所示,用 以计算所有端点间的代价函数,将端点间代价函数值最大的 两个端点进行连接:

 $F(P_a, P_b) = \frac{3}{D(P_a, P_b) + I(P_a, P_b) + A(P_a, P_b) + \epsilon} \quad (7)$

式中, P_a 和 P_b 分别是当前候选的边缘端点。 $D(P_a, P_b)$ 是两端点之间的欧几里德距离, $I(P_a, P_b)$ 是两端点之间的灰度距离(取灰度差来计算), $A(P_a, P_b)$ 是两端点之间的角度差, ϵ 为一个极小的正常量。

5 实验结果和比较

(6)

为了验证提出的边缘检测算法的性能,我们使用海上溢 油遥感图像作为测试图像,图像的大小为 59×150 像素到 432×871 像素。溢油遥感图像来源于 1998 年 12 月胜利油 田海上的一个平台(CB6A)倒覆后发生的大规模海上溢油红 外扫描图像、2009 年 9 月巴拿马籍集装箱船"圣狄"在中国珠 海高栏岗搁浅的红外溢油图像、2010 年 5 月发生在美国墨西 哥湾的海上溢油 SAR 图像,这些溢油遥感图像都有着单一的 背景(海水),溢油区域与海水区域的对比度较低,且通常受到 一定的噪声污染。

如图 4 所示,第一行的前两幅图像是受弱噪声污染且边 界模糊的溢油遥感原始图像,后两幅图像为对比度较低的溢 油遥感原始图像,图像大小为 200×100 像素左右,第二行为 基于非极大值抑制的动态分块阈值处理后的候选边缘图像及 其运行时间(其中参数为 $\sigma=4,a=0.3,n=5$),第三行为基于 改进的 GDNI 算法连接后的边缘图像及其运行时间(其中参 数为 $m=5,d=30,\epsilon=1e-6$)。从实验结果可以看到,基于改 进的 GDNI 边缘连接算法较好地去除了候选边缘图像中的孤 立点和噪声点,准确地将终段线段的端点连接起来,从而形成 连续、闭合的轮廓,为溢油的进一步识别和溢油量的估算提供 了较好的依据,且对于图像大小为 271×105 像素的溢油遥感 图像得到最终边缘图像所需的时间仅为 1.3 秒,因此算法具 有很好的实时性。

		and a state		
(a)	图像大小为 97×163	(b) 图像大小为 271×105	(c) 图像大小为 233×163	(d) 图像大小为 172×114
C	t-0. #	200 88,23		A state of the sta
(e)	运行时间= 0.8s	(f) 运行时间= 1.1s	(g) 运行时间= 1.2s	(h) 运行时间= 0.8s
C) *0 S	A Color	A.	and a co
(i)	运行时间= 0.1s	(j) 运行时间=0.2s	(k)运行时间= 0.3s	 运行时间= 0,2s

图 4 提出的边缘检测算法在溢油遥感图像中的验证

为了验证改进的 GDNI 边缘连接算法优于原始的 GDNI 算法,我们做了下面的两组对比实验,如图 5 所示。图 5 (a) 和图 5 (e)为边界模糊且受弱噪声污染的原始溢油遥感图像。 图 5 (b)和图 5(f)为基于非极大值抑制的动态分块阈值处理 后的候选边缘图像(其中参数为 σ=4, a=0.3, n=5)。图 5 (c)和图 5(g)为基于改进的 GDNI 算法的边缘连接图像。图 5(d)和图 5(h)为基于原始 GDNI 算法的边缘连接图像。从 实验结果可以看出,基于原始的 GDNI 边缘连接算法由于仅 考虑了边缘线段端点之间的灰度距离信息和方向信息,而忽 略了欧几里德距离信息,因此在噪声和模糊边界的干扰下引 起了错误的边缘连接,如图 5(d)和图 5(h)中绿色区域所示, 而基于改进的 GDNI 边缘连接算法充分利用了边缘线段端点 间的灰度距离信息、欧几里德距离信息以及方向信息,实现了 对终断端点的准确连接,从而更好地确定了溢油区域。



的比较

通过以上的实验表明,基于非极大值抑制的分块阈值去 噪算法与基于改进的 GDNI 边缘连接算法的结合较好地实现 了具有低对比度、噪声问题的溢油遥感图像的边缘检测,且具 有很好的实时性。

结束语 本文针对海上溢油遥感图像的特点,提出了基 于"非极大值抑制"的动态分块阈值算法和基于改进的 GDNI 边缘连接算法,用于对海上溢油图像进行边缘检测。"非极大 值抑制"实现了溢油图像的候选边缘检测。动态分块阈值算 法实现了对候选边缘中的噪声、伪边缘的检测,使获得的边缘 更清晰,更连续。改进的 GDNI 边缘连接算法综合利用了边 缘终断端点间的灰度距离信息、欧几里得距离信息以及方向 信息,实现了对终断边缘点的准确连接。3 者的结合在溢油 图像的边缘检测中获得了很好的检测结果。实验结果证明, 提出的算法较好地实现了具有低对比度、噪声问题的溢油遥 感图像的边缘检测,且具有很好的实时性。根据本文算法得 到的边缘检测信息,海上溢油能够更加容易和快速地被识别, 具有很大的实际应用价值。

参考文献

- [1] Massin J-M, Remote sensing for the control of marine pollution[M]. New York; Plenum Press, 1984; 165
- [2] An Ju-bai. Detecting techniques of oil spilled on water with airborne remote sensors[J]. Traffic and Environment Protection, 2002,23(1)
- [3] Chen Wei-wei. BP fusion model for the detection of oil spills on the sea by remote sensing[C]//Proc. SPIE. Vol. 4897,2003
- [4] An Ju-bai. Combining fuzzy theory and a genetic algorithm for satellite image edge detection[J]. International journal of remote sensing, 2006, 27(12-14): 3013-3024
- [5] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern analysis and Machine Int., 1986,8(6): 815-822
- [6] Tang Yuan-yan, Wang Ling, Wavelet analysis and text character identification[M]. Science publishing company, 2004;225-226
- [7] Cai T T, Adaptive Wavelet Estimation; A block thresholding and oracle inequality approach[J], Ann. Statist., 1999, 27(3); 898-924
- [8] 彭莉,唐炬,张晓星.一种基于复小波变换提取 PD 信号的分块 自适应复阈值算法[J].电工技术学报,2008,23(7):36-39
- [9] 王小鹏,王紫婷.基于视觉感知的双层次阈值边缘连接方法[J]. 计算机应用,2006,6(8):1845-1847
- [10] 赵于前,桂卫华,陈真诚.基于自适应数学形态学的医学图像边 缘连接[J].计算机工程,2006,32(22);17-19
- [11] Ghita O, Whelan P. Computational approach for edge linking[J]. Journal of Electronic Imaging, 2002, 11(4), 479-485
- [12] Wang Z J, Zhang H. Edge linking using geodesic distance and neighborhood information[C]// Proceedings of the 2008 IEEE/ ASME International conference on advanced intelligent mechatronics. Xi'an, China, 2008
- [13] 汪小梅,朱华.一种改进的小波变换阈值去噪法[J].重庆理工大 学学报:自然科学版,2010,24(6):48-51