

文章编号: 1672-8785(2013)07-0025-06

一种基于自适应 Canny 算子的舰船红外图像边缘检测方法

马新星 徐 健 张 健

(海军航空工程学院控制工程系, 山东烟台 264001)

摘 要: 提出了一种用于舰船红外图像边缘检测的自适应 Canny 算子边缘检测方法。先利用图像的局部最大标准差值为参考值设定高斯滤波尺度参数, 然后采用基于梯度幅度直方图的类间方差最大法计算 Canny 算子的高低阈值, 从而实现边缘的自动检测。实验结果表明, 采用该方法检测出的舰船边缘清晰连续, 噪声较少, 优于传统的 Canny 算子边缘检测方法, 并且具有很好的工程适用性。

关键词: 信号与信息处理; 边缘检测; Canny 算子; 自适应尺度参数; 自适应阈值

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.07.006

An Adaptive Canny Operator Based Edge Detection Algorithm for Infrared Image of Ship

MA Xin-xing, XU Jian, ZHANG Jian

(Department of Control Engineering, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: An adaptive Canny operator edge detection method for detecting the edges of infrared images of a ship is proposed. In the method, the maximum local standard deviation of an image is used to set Gaussian filter scale parameters for the reference value. Then, the maximum variance method based on a gradient histogram is used to calculate the high and low thresholds of the Canny operator so as to implement the automatic detection of edges. The experimental result shows that the ship edges detected by this method are clear and continuous with less noise. The method is better than the traditional Canny operator edge detection method and has a good engineering applicability.

Key words: signal and information processing; edge detection; Canny operator; adaptive scale factor; adaptive threshold

0 引言

边缘是由图像中平滑信号梯度值为局部极值的点所组成的集合^[1]。它是图像的基本特征之一, 反映了图像灰度的不连续性^[2]。边缘检测是一种重要的图像处理技术, 是图像分割、特征提取、目标描述与识别的基础。图像边缘检测技术通常是利用目标与背景灰度在边缘上的不

连续性和在非边界区域的相似性将图像中的边界部分提取出来的^[3-4]。本文对舰船红外图像边缘检测方法进行研究, 以便为海上舰船目标的识别、定位和检测等提供输入数据。另外, 舰船红外图像的边缘检测也是舰船目标探测与识别中的一项重要的预处理技术, 已广泛应用于军事及民用领域, 如海洋侦察与监视、舰载红外

收稿日期: 2013-05-16

作者简介: 马新星 (1983-), 男, 江苏如皋人, 硕士研究生, 主要研究方向为图像理解与目标识别。

E-mail: xinxing_2006@tom.com

警戒与跟踪以及红外成像制导等系统。

舰船红外图像的信噪比较低,其目标边缘易被噪声污染。若要准确、清晰地提取出舰船目标的边缘,则必须选用合适的边缘检测方法。文献 [5] 对各类边缘检测器进行了分类和测试,并列出了它们各自的优势和不足。传统的边缘检测方法,如 Robert 算子、Pewitt 算子、LOG 算子和 Sobel 算子等,用梯度算子进行边缘检测,具有实现容易和实时性强等特点。但由于目标边缘信息易被噪声污染,且边缘和噪声信号均为高频信号,直接运用梯度算子可能会使重要的边缘信息丢失,从而影响边缘检测效果 [6]。Canny 边缘检测器在边缘检测方面具有良好的效果,因此本文将 Canny 算子应用于舰船红外图像的边缘检测,并针对传统 Canny 算子需要人工设定参数的问题,通过图像灰度及梯度特征自动计算高斯滤波尺度和梯度的高低阈值,从而实现自适应边缘检测。实验结果表明,本文提出的自适应 Canny 算子可以在舰船红外图像边缘检测上取得较好的效果。

1 Canny 算法简介

1.1 最优边缘检测器的 Canny 准则

1986 年, Canny J 提出了最优边缘检测器的三条准则 [7]:

- (1) 最大信噪比准则: 最大程度地检测出真实边缘点, 最大程度地抑制虚假边缘点。
- (2) 定位精度准则: 边缘检测器检测出的边缘点与真实边缘点之间的偏差应最小。
- (3) 单边缘响应准则: 单一边缘应具有唯一响应, 即单一边缘的多余响应应得到较好抑制。

1.2 Canny 算法的实现

1.2.1 对图像进行高斯平滑滤波 [8-9]

Canny J 按照上述三条准则推导出的检测器可用高斯函数的一阶导数近似表示。设所选高斯函数为

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

则经平滑处理后的图像为

$$I(x, y) = G(x, y, \sigma) * f(x, y) \quad (2)$$

1.2.2 计算梯度幅值和方向

二维高斯函数 $G(x, y, \sigma)$ 的梯度矢量为

$$\nabla G = \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial x} \\ \frac{\partial G}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3)$$

利用高斯函数的可分性, 可以将 ∇G 的两个滤波卷积模板分解为两个一维行列滤波器:

$$\frac{\partial G}{\partial x} = kx \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial G}{\partial y} = ky \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

式中, k 为常数。

分别用式 (4) 和式 (5) 对经平滑处理后的图像 $I(x, y)$ 进行卷积, 得到输出数据:

$$M_x = \frac{\partial G}{\partial x} * I(x, y) \quad (6)$$

$$M_y = \frac{\partial G}{\partial y} * I(x, y) \quad (7)$$

令

$$A(i, j) = \sqrt{M_x^2(i, j) + M_y^2(i, j)} \quad (8)$$

$$\theta(i, j) = \arctan\left(\frac{M_y(i, j)}{M_x(i, j)}\right) \quad (9)$$

则 $A(i, j)$ 反映了图像中点 (i, j) 处的梯度幅值, $\theta(i, j)$ 反映了图像中点 (i, j) 处的梯度方向。

1.2.3 对梯度幅值进行非极大值抑制

在梯度幅值图中, 将每一个像素点的梯度幅值与梯度方向上前后两点的值进行比较: 若是最大值, 则将其保留; 反之则将该点的值置零。

1.2.4 设定双阈值, 获取边缘点并进行边缘连接

设定高低阈值 T_h 和 T_l 。在经非极大值抑制后的图像边缘阵列中, 将梯度值大于 T_h 的点标记为边缘点并将其保留; 将梯度值小于 T_l 的点视为虚假边缘点并将其删除。对于梯度值介于 T_h 和 T_l 之间的点, 先判断其 8 邻域中是否存在已标记的边缘点。若有, 则将该点标记为边缘点; 否则将其视为虚假边缘点并予以去除。

2 自适应 Canny 算子的参数确定

基于 Canny 算子的边缘检测算法的性能及其边缘检测质量由高斯尺度参数 σ 、高阈值 T_h 和低阈值 T_l 决定。在传统的 Canny 算子中, 这三个参数需要人为设定, 因此无法自主、有效地检测出图像边缘。这一局限性限制了其在图像处理中的实际应用。针对这一问题, 本文用自适应参数确定方法自动确定这三个参数。

2.1 尺度参数 σ 的确定

Canny 算子采用二维高斯滤波函数对图像进行平滑和去噪处理。高斯滤波器的尺度参数 σ 越大, 平滑效果越好, 但可能会造成过度平滑, 导致图像模糊, 边缘细节信息丢失; 反之, 当 σ 较小时, 虽能保持细节信息, 但又可能得不到理想的降噪效果^[10]。针对参数 σ 值的选取矛盾, 文献[11]提出了一种尺度参数 σ 自适应调整的滤波方法。

设 $f(x, y)$ 为当前像素点的灰度值, 对于 $m \times n$ 大小的窗口, 取

$$\sigma_0 = |f(x, y) - \frac{1}{m \times n} \sum_{i=-(m+1)/2}^{(m+1)/2} \sum_{j=-(n+1)/2}^{(n+1)/2} f(i, j)| \quad (10)$$

若像素点为噪声点, 则式(10)中的 σ_0 值较大; 若像素点位于平滑区域, 则 σ_0 值较小; 而当像素点位于边缘区域时, σ_0 值介于两者之间。由此可见, σ_0 值的大小与理想的滤波窗口尺度参数的选择保持线性一致。因此, 可以将该值作为高斯滤波器尺度大小的参考值, 从而实现滤波器尺度参数的自适应调整。

在舰船红外图像的边缘提取过程中, 为了提取舰船的主要外围轮廓, 一方面需要抑制噪声干扰, 另一方面则需要抑制背景干扰, 如海面杂波和海天背景等。如图1所示, 舰船背景中的海面杂波就比较明显。

受文献[9]的启发, 本文针对舰船红外图像的特点, 选用局部标准差作为确定尺度参数 σ 的参考值。其基本思想是, 选用 3×3 大小的窗口, 计算出图像的局部标准差。当窗口中存在噪声



图1 受海面杂波干扰时得到的舰船红外图像

点或者纹理特征较明显时, 局部标准差较大; 当窗口为平滑区域时, 局部标准差较小。因此, 我们选用局部标准差作为尺度参数 σ 的参考值。为了最大程度地抑制噪声及背景的干扰, 本文选取局部最大标准差来确定尺度参数 σ , 用全局标准差值对局部最大标准差进行归一化, 并将其乘以一个比例因子 k 后所得到的值作为尺度参数 σ :

$$\sigma = k * S_{max} / S \quad (11)$$

式中, S_{max} 为局部最大标准差; S 为全局标准差; k 为比例因子, k 值可根据经验或实验进行选取(本文取0.8)。

2.2 高阈值和低阈值参数 T_h 和 T_l 的确定

在 Canny 算子中, 使用高低两个阈值去除虚假边缘点并进行边缘连接。高阈值 T_h 越大, 可去除的虚假边缘越多, 但丢失的边缘信息也越多。而低阈值 T_l 则包含了边缘连接的终止条件。 T_l 越小, 所能连接的边缘点就越多, 但此时可能会产生较多的虚假边缘; 而 T_l 越大, 去除的边缘点越多, 所得到的边缘也就会有更多的间断存在。针对传统的 Canny 算子在阈值确定上存在的困难, 本文采用基于梯度幅度直方图的类间方差最大法自动确定高低阈值。

Otsu 算法^[12] 是一种使类间方差达到最大的自动阈值确定方法。其基本思想是, 把图像像素分为背景和前景两类, 并通过搜索计算类间方差的最大值, 从而得到最优阈值。受 Otsu 算法的启示, 我们将经非极大值抑制后的图像阵列中的像素划分为非边缘点、过渡点和边缘点三

类, 分别用 D_1 、 D_2 和 D_3 表示。 D_1 所对应的像素梯度幅值范围为 $\{t_1, t_2, \dots, t_k\}$; D_2 所对应的像素梯度幅值范围为 $\{t_{k+1}, t_{k+2}, \dots, t_m\}$; D_3 所对应的像素梯度幅值范围为 $\{t_{m+1}, t_{m+2}, \dots, t_l\}$ 。设总像素数为 N , 梯度幅值 t_j 所对应的像素数为 n_j , 其概率为 $p_j = n_j/N$ ($j = 1, 2, \dots, l$), 则整个区间内的梯度幅值期望为

$$E = \sum_{j=1}^l t_j p_j \quad (12)$$

D_1 、 D_2 和 D_3 类内的梯度幅值期望分别为

$$e_1(k) = \frac{\sum_{j=1}^k t_j p_j}{\sum_{j=1}^k p_j} \quad (13)$$

$$e_2(k, m) = \frac{\sum_{j=k+1}^m t_j p_j}{\sum_{j=k+1}^m p_j} \quad (14)$$

$$e_3(m) = \frac{\sum_{j=m+1}^l t_j p_j}{\sum_{j=m+1}^l p_j} \quad (15)$$

若定义:

$$p(k) = \sum_{j=1}^k p_j, \quad p(k, m) = \sum_{j=k+1}^m p_j, \quad p(m) = \sum_{j=m+1}^l p_j \quad (16)$$

则可定义评价函数:

$$\sigma^2(k, m) = [e_1(k) - E]^2 p(k) + [e_2(k, m) - E]^2$$

$$\times p(k, m) + [e_3(m) - E]^2 p(m) \quad (17)$$

对于一幅舰船红外图像, 式 (17) 中的 t_j 和 p_j 可以通过梯度直方图求出, 梯度等级 l 通常设置为 64 个等级。 $\sigma^2(k, m)$ 描述了类间方差, 而类间方差最大化是数理统计意义上类间分离性最好的判据之一。因此, $\sigma^2(k, m)$ 取最大值时所对应的 k 、 m 值即为 D_1 、 D_2 和 D_3 区间的分界点, 其值可作为 Canny 算子的高低阈值 T_h 和 T_l [13]。

3 实验结果及分析

本文在实验室中对该算法的性能进行了验证。采用的实验平台为具有 Intel core i5 处理器和 4G 内存的计算机。在 MatLab R2012a 环境下进行仿真实验。图 2 为实验中选用的 3 幅具有代表性的实拍舰船红外图像。这三幅图像均为 300×200 大小的 8bits 灰度图像。图 2(a) 为在远距离条件下拍摄的舰船红外图像。其中, 舰船在整幅画面中所占比例较小, 海天背景占据了图像的主体, 舰船表现为小目标。图 2(b) 为在中等距离条件下拍摄的红外图像。其中, 舰船在画面中所占比例稍大, 舰船整体的红外特征明显, 海面杂波依稀可见。图 2(c) 为在近距离条件下拍摄的红外图像。其中, 舰船在画面中所占比例较大, 细节特征明显, 海面杂波成像比较清晰。图 3 所示为采用传统的 Canny 算法 (参数为 MatLab 默认值) 进行边缘检测的结果。图 4 所示为采用本文算法的边缘检测结果。

表 1 列出了采用不同方法时 Canny 算子的

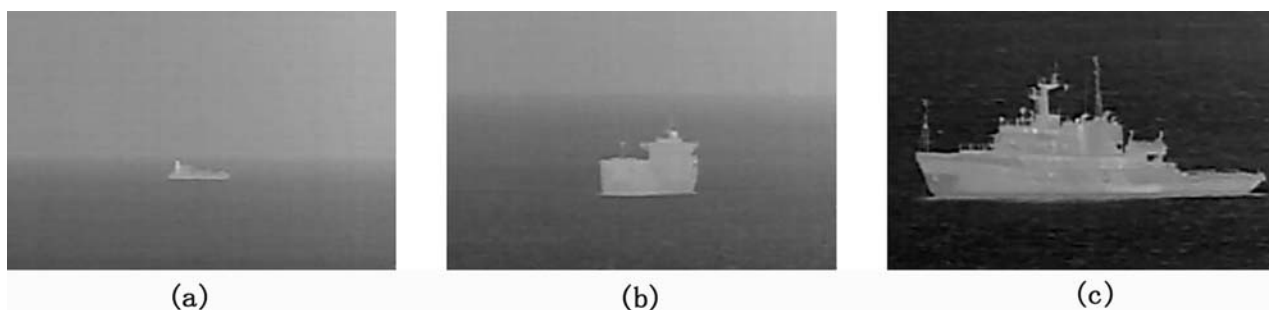


图 2 原始图像

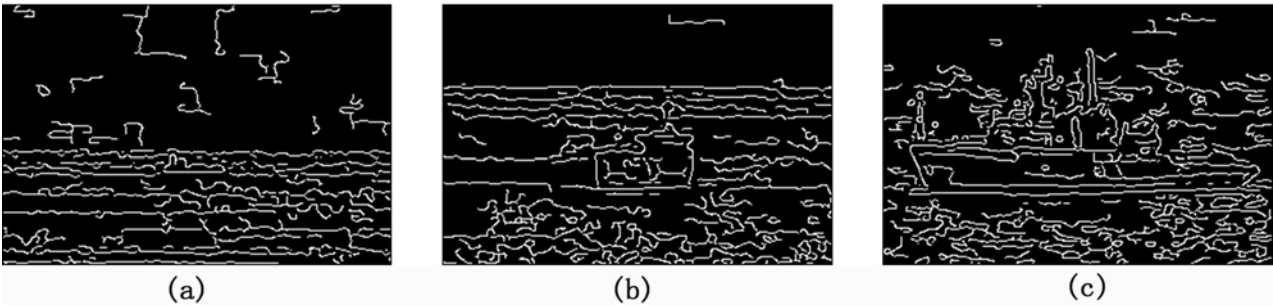


图 3 传统 Canny 算子的边缘检测结果



图 4 本文算法的边缘检测结果

表 1 实验参数统计

	σ 值		高阈值		低阈值	
	传统的 Canny 算子	本文方法	传统的 Canny 算子	本文方法	传统的 Canny 算子	本文方法
远距图像	1.4142	1.5816	0.0625	0.3398	0.0250	0.0313
中距图像	1.4142	1.0114	0.0625	0.2500	0.0250	0.0156
近距图像	1.4142	1.0114	0.0625	0.2500	0.0250	0.0156

σ 值和高低阈值。其中, 高低阈值是归一化后的灰度梯度幅值。

由以上实验结果可以看出, 传统的 Canny 算法虽能提取出舰船的边缘, 但对噪声、海面杂波和海天背景的抑制效果较差, 会导致边缘图像中出现很多伪边缘。而本文算法可以有效地抑制噪声、海面杂波和海天背景的影响, 从而较好地提取出舰船的主要外围轮廓边缘, 而且其提取的线条清晰连续。

4 结束语

本文提出了一种基于自适应 Canny 算子的图像边缘检测方法, 并将其应用于舰船红外图像的边缘检测。该方法能够根据图像自身的特点自动设定尺度参数和高低阈值, 从而完成图像的边缘提取。其中, Canny 算子的高斯尺度参

数以图像的局部最大标准差值作为参考值进行设定, 高低阈值的设定则基于梯度幅度直方图的类间方差最大法自动确定, 整个过程无需人为设定参数。实验结果表明, 该方法能够有效抑制噪声和背景的干扰, 从而较好地提取出舰船的真实边缘。因此, 与传统的 Canny 算法相比, 本文方法更加具有优势。

参考文献

[1] Francine Catte, Pierre-Louis Lions, Jean-Michel, et al. Image Selective Smoothing and Edge Detection by Nonlinear Diffusion [J]. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 1992, **29**(1): 182-193.

[2] 薛丽霞, 李涛, 王佐成. 一种自适应的 Canny 边缘检测算法 [J]. *计算机应用研究*, 2010, **27**(9): 3588-3590.

[3] 隋东坡, 周焰, 肖志坚. 基于粗糙度的改进 Canny 边缘检测方法 [J]. *计算机工程与应用*, 2005, **9**: 37-39.

- [4] Neoh H S, Hazanchuk A. Adaptive Edge Detection for Real-Time Video Processing Using FPGAs [EB/OL]. <http://application-notes.digchip.com/038/38-21366>, 2005.
- [5] Sharifi M, Fathy M, Mahmoudi M T. A Classified and Comparative Study of Edge Detection Algorithms [C]. *Proceedings of International Conference on IEEE*, 2002: 117–120.
- [6] 苏恒阳, 袁先珍. 一种改进的 Canny 的图像边缘检测算法 [J]. *计算机仿真*, 2010, **27**(10): 242–245.
- [7] Canny J. A Computational Approach to Edge Detection [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, **8**(6): 679–698.
- [8] Mei Fang, Guangxue Yue, Qingcang Yu. The Study on An Application of Otsu Method in Canny Operator [C]. *ISIP*, 2009: 109–112.
- [9] 张帆, 彭中伟, 蒙水金. 基于自适应阈值的改进 Canny 边缘检测方法 [J]. *计算机应用*, 2012, **32**(8): 2296–2298.
- [10] 王佐成, 刘晓冬, 薛丽霞. Canny 算子边缘检测的一种改进方法 [J]. *计算机工程与应用*, 2010, **46**(34): 202–248.
- [11] 王振华, 窦丽华, 陈杰. 一种尺度自适应调整的高斯滤波器设计方法 [J]. *光学技术*, 2007, **32**(3): 395–397.
- [12] Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-level Histogram [J]. *IEEE Transactions on System Man Cybernetics*, 1979, **9**(1): 62–66.
- [13] 唐路路, 张启灿, 胡松. 一种自适应阈值的 Canny 边缘检测算法 [J]. *光电工程*, 2011, **38**(5): 127–132.

新闻动态 News

美国国防高级研究计划局研制出像元大小为 $5\ \mu\text{m}$ 的长波红外相机

据 www.laserfocusworld.com 网站报道, 从事美国国防高级研究计划局 (DARPA) 先进宽视场图像重建与开发组件 (AWARE) 项目的美国 DRS 技术公司研究人员已经研制出首台像元大小为 $5\ \mu\text{m}$ 的长波红外相机 (例如, 长波红外相机可用作夜间探测人类活动的热成像仪)。

这是第一台像元尺寸仅为所探测光子一半的红外相机, 其像元大小约为现有最小像元的 $1/6$ 。这些像元被安置在一个 1280×720 元焦平面阵列上, 其分辨率在红外相机中也算是比较高的。

像元越小, 光学部件和封装结构越小, 这也意味着人们无需通过牺牲灵敏度、分辨率或者视场来减小器件的体积。在某个给定大小的面积上, 像元密度越高, 就越容易捕获来自目标的光子。在此基础上, 人们便可研制出体积更小、重量更轻、便携性更强的长波红外相机。

由于焦平面阵列的成本与其芯片面积成正比, DARPA 研制的这台新的长波红外相机可能还是会比现有的传感器便宜 (焦平面阵列是在某个给定尺寸的晶片上进行处理的; 在单个晶片

上可以放置的焦平面阵列越多, 每个焦平面阵列的成本越低)。DARPA 希望通过对光学部件进行适当调整后能使性能优异的小像元焦平面阵列在下一代应用中找到众多用武之地。

相关人员表示, DRS 技术公司在这项 DARPA 工作中制造了 3 台具有全部功能的样机。这三台相机已经通过了各种应用测试, 包括在空中透过各种颗粒物进行拍摄 (有助于直升飞机在可见度较差的条件下完成降落)。他们发现获得的图像是清晰的, 而且这些焦平面阵列在性能上可以与那些像元尺寸大得多的产品相媲美。



图 1 相机实物图 (来源: DARPA)

□ 岳桢千