

文章编号:1001-5078(2007)10-1112-02

一种应用 Tsallis 熵的红外图像边缘检测算法

李 伟, 沈振康

(国防科技大学 ATR 重点实验室, 湖南 长沙 410073)

摘要: 提出一种基于 Jensen-Tsallis 熵的红外图像的边缘检测方法, 通过分析红外图像的成像特点, 利用红外图像的局部的熵信息, 计算滑动窗口内图像的 Jensen-Tsallis 散度 - 方向对, 由 Jensen-Tsallis 散度确定候选边缘像素, 再利用 Jensen-Tsallis 的方向信息细化并连接边缘像素, 实验结果表明, 该算法可以有效地检测红外图像边缘。

关键词: 边缘检测; Tsallis 熵; 红外图像; Canny 算子; Sobel 算子

中图分类号: TP391 文献标识码: A

Edge Detection of IR Image Based on Tsallis Entropy

LI Wei, SHEN Zhen-kang

(Laboratory of ATR, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: An edge detection algorithm based on Jensen-Tsallis entropy is presented. By analyzing the character of IR image, the algorithm uses local entropy information. The divergence - direction is obtained by sliding a window over an image. The edge pixel is linked from candidate pixels using direction information. Some experimental results have been provided to show the efficiency of the proposed algorithm.

Key words: edge detection; Tsallis entropy; infrared image; Canny operator; Sobel operator

1 引言

边缘检测是图像处理和计算机视觉领域中最重要的研究课题之一, 是图像分割、纹理特征提取和形状特征提取等图像分析的重要基础。边缘是指图像局部亮度变化最显著的部分, 边缘主要存在于目标与目标、目标与背景、区域与区域之间。目前已经有许多边缘检测算法, 经典的边缘检测算子如 Sobel、Kirsch、Prewitt、Roberts、Laplacian 以及 Canny 算子等, 近年来, 人们研究出许多新的边缘检测方法, 如形态学边缘检测、小波多尺度边缘检测以及改进 Bubble 函数的边缘检测方法^[1-2]。

红外图像通常整个图像较暗, 目标和背景的对比度较低, 目标边缘较为模糊, 噪声较大且成分复杂, 红外图像的灰度分布实际上对应于目标和背景的温度和辐射率的分布, 由于目标和周围环境存在着热交换、空气热辐射和吸收作用等, 红外图像既混有白噪声也存在有色噪声^[3]。针对红外图像的灰度分布特点, 提出一种计算图像局部灰度的 Jensen-

Tsallis 散度 - 方向对的边缘检测方法。

2 Jensen-Tsallis 熵的定义

信息论中认为熵是表征对象运动状态有序程度的一种度量, 在图像处理中, 根据图像的局部窗口内各个像素点的灰度分布的有序性, 可以定义图像的局部熵, Tsallis 熵是图像分割的有力工具^[4], 这里应用 Jensen-Tsallis 散度 - 方向对进行红外图像的边缘检测。用 A 表示图像, a 表示图像的灰度, 图像 A 的概率分布密度函数 $P_i = P(a=i), i=1, 2, \dots, r$, 那么 A 的 Shannon 熵用 $H(A)$ 表示为: $H(A) = -\sum_i P_i \log P_i$ 。Tsallis 熵的表达式为: $T_\alpha[A] = \frac{1}{1-\alpha} [\sum_j P_j^\alpha - 1], \alpha \in (0, 1) \cup (1, \infty)$, 当 $\alpha \rightarrow 1$ 时, $T_\alpha[A] \rightarrow H(A)$ 。Jensen-Tsallis 散度的表达式为:

作者简介: 李 伟(1978-), 男, 博士研究生, 主要研究领域为图像处理、导航、制导与控制。E-mail: nudtliw@sohu.com

收稿日期: 2007-03-29

$$JT[P_1, P_2, \dots, P_r] = T_\alpha \left[\sum_{i=1}^r \pi_i P_i \right] - \sum_{i=1}^r \pi_i T_\alpha(P_i) \quad (1)$$

其中, $\pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_r | \pi_i > 0, \sum \pi_i = 1\}$ 为 P_i 的权值。

3 边缘检测算法

3.1 计算 Jensen-Tsallis 散度 - 方向对

根据 Kurz 等人的经验, 图像窗口既要包括足够的像素点以充分反映灰度分布的局部统计特征, 又要包括尽量少一些的像素点以保留图像边缘细节, 根据大量图像的处理数据, Kurz 等人指出, 图像窗口中至少要包括 20 个像素点才能反映灰度分布的局部统计特征^[5]。这里考虑以 (i, j) 为中心的 7×7 窗口划分为两个子窗口, 窗口大小既反映了灰度分布又保留了图像边缘。当窗口滑过一条直的边缘, 如图 1 所示, 当上下子窗口分别位于同一纹理中, Jensen-Tsallis 散度值达到最大。边缘的方向可能不是一条水平直线, 则将窗口划分为水平、垂直、两个对角四个方向, 如图 2 所示, 分别计算四个方向的 Jensen-Tsallis 散度 JT_1, JT_2, JT_3 和 JT_4 , 并将这四个散度的最大值作为这一像素位置的散度值。

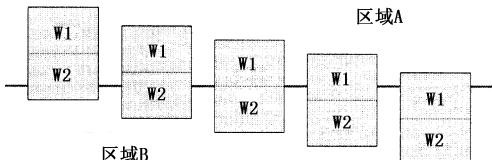


图 1 窗口滑过直线边缘

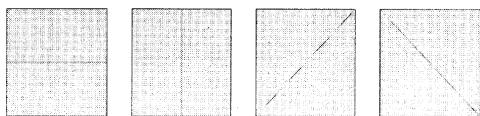


图 2 沿 4 个不同方向划分窗口

应用 Gomez Lopera 的方法^[6], 由四个方向的 Jensen-Tsallis 散度 JT_1, JT_2, JT_3 和 JT_4 , 我们可以估计每一个像素的边缘方向, 边缘方向的定义为:

$$\text{if } (JT_1 - JT_3 \geq 0) \text{ and } (JT_2 - JT_4 \geq 0) \\ \theta = \pi \frac{JT_2 - JT_4}{4[(JT_1 - JT_3) - (JT_2 - JT_4)]} \in [0, \pi/4] \quad (2)$$

$$\text{if } (JT_1 - JT_3 \geq 0) \text{ and } (JT_2 - JT_4 \geq 0) \\ \theta = \pi \frac{2(JT_1 - JT_3) - (JT_2 - JT_4)}{4[(JT_1 - JT_3) - (JT_2 - JT_4)]} \in [\pi/4, \pi/2] \quad (3)$$

$$\text{if } (JT_1 - JT_3 \geq 0) \text{ and } (JT_2 - JT_4 \geq 0) \\ \theta = \pi \frac{2(JT_1 - JT_3) + 3(JT_2 - JT_4)}{4[(JT_1 - JT_3) - (JT_2 - JT_4)]} \in [\pi/2, 3\pi/4] \quad (4)$$

$$\text{if } (JT_1 - JT_3 \geq 0) \text{ and } (JT_2 - JT_4 \geq 0) \\ \theta = \pi \frac{4(JT_1 - JT_3) - 3(JT_2 - JT_4)}{4[(JT_1 - JT_3) - (JT_2 - JT_4)]} \in [3\pi/4, \pi] \quad (5)$$

这样在每一个像素点构建了一个散度 - 方向对 (JT, θ) , 我们就依据此散度 - 方向对进行边缘检测。

3.2 提取候选边缘像素

在 Jensen-Tsallis 散度 - 方向对中, 只有散度值最大的像素才可能是边缘像素, 而散度的最大值是依赖于窗口内的纹理, 所以不能使用全局阈值, 只能使用局部阈值。定义一个一维奇长度的窗口, 将窗口的中心置于每一个像素上, 窗口的方向与像素点的 Jensen-Tsallis 方向垂直。对于像素 i 如果满足:

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n |JT^i - JT^j| \geq T_h, \text{ 则认为该点为候选边缘像素。}$$

其中 JT^j 为一维奇长度的窗口内像素点的 Jensen-Tsallis 散度, T_h 为用户定义的阈值参数。

3.3 边缘抑制与连接

由于图像噪声的影响, 候选边缘像素不一定都是确定的边缘像素, 而需要对边缘细化, 应用 Jensen-Tsallis 散度 - 方向对中的方向信息进行边缘极大值抑制, 并利用方向信息连接边缘像素。对于像素 i 确定为边缘像素, 在其八邻域内必须满足两个条件:

$$(1) |JT^i - JT^j| \geq \tau_{JT}, JT^j \text{ 为八邻域内任一 Jensen-Tsallis 散度, } \tau_{JT} \text{ 是用户定义的阈值参数。}$$

$$(2) (\text{Dir}(i, j) - \theta_i)^2 + (\text{Dir}(i, j) - \theta_j)^2 \leq \tau_\theta, \text{ 其中 } \text{Dir}(i, j) \text{ 表示像素 } i \text{ 和像素 } j \text{ 连接方向, } \theta_i \text{ 表示像素 } i \text{ 的边缘方向。}$$

这样满足以上两个条件的候选边缘像素才最终确定为边缘像素, 也就完成了整幅图像的边缘检测。

4 实验结果与分析

为了验证算法的有效性, 对多幅不同红外图像进行仿真实验, 本文给出两幅实拍红外图像的边缘检测结果, 并与 Canny、Sobel 边缘检测算子比较如图 3 所示。从图 3 中的结果可以看出, 本文提出的算法在边缘检测效果上比 Canny 算子更好, 明显优于 Sobel 算子。经过多幅图像实验表明, 对于边缘平滑的图像, Tsallis 熵中 α 的取值范围在 0 ~ 1 之间, 对于边缘复杂的图像 α 的取值一般大于 1, 过大的 α 值对图像边缘检测效果影响不大。

(下转第 1116 页)

$$H_{hfe}(u, v) = a + bH_{hp}(u, v) \quad (8)$$

这里, $H_{hfe}(u, v)$ 是高频加强滤波器传递函数; $H_{hp}(u, v)$ 是高通滤波器传递函数; $a \geq 0$ 且 $b > a$, 根据经验 a 的典型值在 0.25 到 0.5 之间, b 的典型值在 1.5 到 2.0 之间。通过验证, 我们取 $a = 0.25$, $b = 2.0$, 截止频率 $D_0 = 80$ 个像素点, 处理后的频谱如图 6 所示。高频加强过滤的优势显示于图 7 中, 虽然图像仍然比较暗, 但它显示出了舰船航迹的主要边缘。

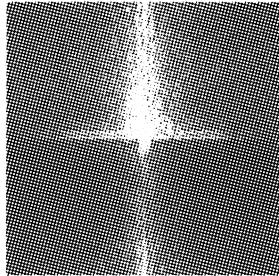


图 6 图 2 经高频增强滤波后的频谱图

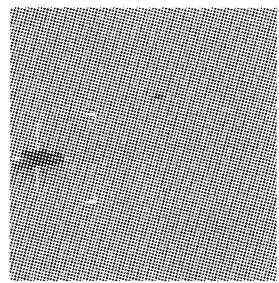


图 7 图 2 经高频增强滤波后的结果

最后, 由于海面和舰船热尾流的灰度特征在很窄的灰度范围内, 因此直方图均衡是我们在对图 7 进行处理时的理想选择, 最终处理效果如图 8 所示。

(上接第 1113 页)

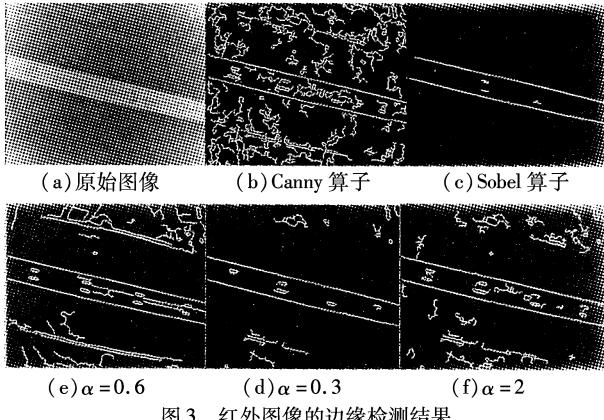


图 3 红外图像的边缘检测结果

5 结束语

尽管有各种各样的边缘检测算法, 但没有一种算法对各种图像都取得满意的边缘, 本文在分析红外图像特点的基础上, 引入 Tsallis 熵的概念, 对红外图像的边缘检测。与其他算法比较, 提出的算法取得了很好的检测效果。

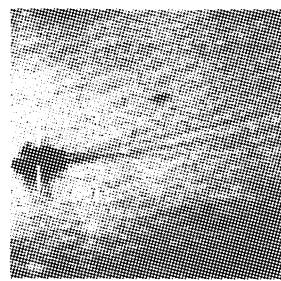


图 8 对图 7 执行灰度均衡后的结果

从图 8 可以看出舰船热尾流的边缘已经清晰可见, 虽然最后增强的图像存在一些噪声, 但这是在灰度范围扩大时红外图像的典型现象。

4 结论

通过对原始图像与增强后的图像进行比较后, 可以发现通过将频域高斯高通滤波技术与空间域灰度拉伸技术相结合的方法, 对红外图像进行优化处理后, 图像质量得到了明显的改善, 分辨率有大幅度的提高, 为红外探测潜艇提供了有效地方法。

参考文献:

- [1] 张延冬, 吴振森. 二维粗糙海面的光散射及其红外成像 [J]. 光学学报, 2002, 22(9): 1039–1043.
- [2] 冈萨雷斯. 数字图像处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [3] Dougherty, E R (ed.). Random processes for image and signal processing [M]. New York: IEEE Press, 2000.
- [4] Chan, R C, Karl, W C Lees, R, S. A new model-based technique for enhanced small-vessel measurements in X-ray cine-angiograms [J]. IEEE Trans. Medical Imaging, 2000, 19(3): 243–255.

参考文献:

- [1] 余瑞星, 李言俊, 张科, 等. 基于改进 Bubble 函数的红外图像边缘提取方法 [J]. 红外技术, 2006, 28(1): 36–38.
- [2] 张光玉, 龚光珍, 朱维乐, 等. 基于克隆算法的彩色图像边缘检测新算法 [J]. 电子学报, 2006, 34(4): 702–707.
- [3] 周铭. 低信噪比红外小目标图像的分割方法 [J]. 激光与红外, 2004, 34(3): 225–228.
- [4] Martin S, Morison G, Nailon W, et al. Fast and accurate image registration using Tsallis entropy and simultaneous perturbation stochastic approximation [J]. Electronics Letters, 2004, 40(10): 595–597.
- [5] 张晶, 张权, 王欣, 等. 一种新的基于统计向量和神经网络的边缘检测方法 [J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(5): 920–926.
- [6] Gomez Lopera J F, Ilhami N, Luque Escamilla P L, et al. Improved entropic edge-detection [C]//Image Analysis and Processing, 1999. Proceedings. International Conference on, 1999, 9: 180–184.