

·信号与信息处理·

基于改进 SUSAN 算法的红外图像边缘增强方法

李颖杰^{1,2}, 杨 华¹

(1. 合肥电子工程学院安徽省红外与低温等离子体重点实验室, 安徽 合肥 230037; 2. 空军第五飞行学院, 甘肃 武威 733003)

摘 要:提出了一种基于自适应阈值和限定角点区域的红外图像边缘增强方法. 首先介绍了 SUSAN 边缘增强算法, 然后改进了 SUSAN 算法阈值的自适应选取和角点区域限定的方法, 最后在实际应用中, 提取出了红外图像清晰、连通的边缘特征. 实验结果表明, 改进后的方法能够有效地增强红外图像的边缘, 得到令人满意的效果.

关键词:边缘增强; SUSAN 算法; 自适应阈值; 角点提取

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)04-0064-03

A Method of Edge enhancement of Infrared image Based on Improved SUSAN Operator

LI Ying-Jie^{1,2}, YANG Hua¹

(1. Key Lab of Infrared and Low Temperature Plasma of Anhui Province, Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China;
2. The Fifth Flight College of Air Force, Wuwei 733003, China)

Abstract: A new method to enhance the edge of infrared image was given, which is based on the adaptive threshold and the corner limited in an appointed sector. The SUSAN operator is introduced, and an improved method to get the adaptive threshold and limit the corner in an appointed sector is presented. The clear and continuous edges of infrared image were got in practical application. Experimental results show that the new method can enhance effectively the edge of infrared image and the result is satisfied.

Key words: edge enhancement; SUSAN operator; adaptive threshold; corner detection

边缘是图像最基本的特征, 如何增强图像边缘, 提取出人们感兴趣的信息, 一直是众多学者研究的热点问题. 常规的边缘增强方法是对整个图像进行锐化处理, 经典的算法如: Sobel 算子, Roberts 算子, LoG 算子和 Canny 算子, 即增强图像的高频分量, 以突出边缘细节. 由于这些算法涉及梯度运算, 因此都存在对噪声敏感、计算量大等缺点^[1]. 实践发现 SUSAN 算法只基于对周边像素的灰度比较, 完全不涉及梯度的运算, 因此其抗噪声能力很强, 运算量也比较小, 但是仍有不足之处. 为此, 提出了一种改进的 SUSAN 算法, 即自适应地选取阈值并限定角点在 $[0, \pi]$ 的扇形区域范围内, 从而有效地增强了红外图像边缘特征, 为红外图像中目标的识别和分析

提供了较好的预处理结果.

1 SUSAN 边缘增强算法

1.1 SUSAN 特征增强原理

如图 1 所示, 用一个圆形模板在图像上移动, 若模板内像素的灰度与模板中心像素(称为核)灰度的差值小于一定阈值, 则认为该点与核具有相同(或相近)的灰度, 由满足这样条件的像素组成的区域称为 USAN(Univalued Segment Assimilating Nucleus).

当圆形模板完全处在图像或背景中时, USAN 区域面积最大(如图 1 中的 a 和 b); 当模板移向图

收稿日期: 2009-06-07

作者简介: 李颖杰(1983-), 男, 内蒙古呼和浩特市人, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向为图像处理技术.

像边缘时,USAN 区域逐渐变小(如图 1 中 c);当模板中心处于边缘时,USAN 区域很小(如图 1 中的 d);当模板中心处于角点时,USAN 区域最小(如图 1 中的 e).可以看出,在边缘处像素的 USAN 值都小于或等于其最大值的一半.因此,计算图像中每一个像素的 USAN 值,通过设定一个 USAN 阈值,查找小于阈值的像素点,即可确定为边缘点^[1].

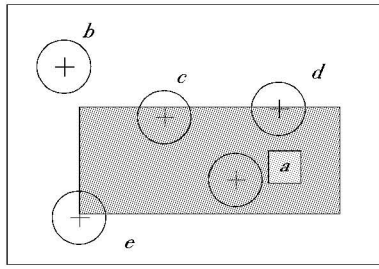


图 1 SUSAN 特征检测原理

1.2 SUSAN 边缘增强算法描述

对整幅图像中的所有像素,用圆形模板进行扫描,比较模板内各点与核心点的灰度值,通过与给定的阈值比较,来判别该像素是否属于 USAN 区域,如式(1)所示

$$c(x, y) = \begin{cases} 1, & |I(x, y) - I(x_0, y_0)| \leq t \\ 0, & |I(x, y) - I(x_0, y_0)| > t \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中 $c(x, y)$ 为模板内属于 USAN 区域的像素的判别函数; $I(x_0, y_0)$ 是模板的核心点灰度值; $I(x, y)$ 为模板的非核心点灰度值; t 是相似度阈值.但实际处理中,往往采用下面更稳定、更有效的相似比较函数,如式(2)所示

$$c(x, y) = \exp \left\{ - \left[\frac{I(x, y) - I(x_0, y_0)}{t} \right]^6 \right\} \quad (2)$$

图像中每一点的 USAN 区域大小可用式(3)表示

$$n(x_0, y_0) = \sum_{(x, y) \neq (x_0, y_0)} c(x, y) \quad (3)$$

式(3)中 $D(x_0, y_0)$ 是以 (x_0, y_0) 为中心的圆形模板区域.

然后将 USAN 区域大小与一个给定阈值 g 进行比较,得到初始响应函数

$$R(x_0, y_0) = \begin{cases} g - n(x_0, y_0), & n(x_0, y_0) < g \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (4)$$

式中, g 为几何阈值,用来抑制噪声的影响.由式(4)可知,USAN 区域越小,初始边缘响应越大,这样便对边缘进行了增强^[2,3].

2 改进的 SUSAN 算法

2.1 阈值的自适应选取

SUSAN 边缘增强算法虽具有算法简单、定位准确、抗噪声能力强等优点,但其仍有不足之处.如要人为地选取阈值 t ,在复杂图像上得到较细的内容时,阈值 t 一般要取得较小.此时,如果不对图像进行滤波预处理,边缘的提取效果仍然受噪声的影响较大.针对这些问题,对阈值 t 的自适应选取进行了如下的改进.由于受图像中目标与背景的对比度、背景复杂程度的影响,SUSAN 算法中阈值 t 的选取对边缘增强的效果影响很大.对于对比度较好的图像,阈值 t 取 20 甚至更大也能得到较好的特征物体边缘提取效果.对于对比度较小或要得到图像更多细节信息的情况,阈值 t 就要取得较小才能满足要求.这可根据图像的对比度及要获得细节的程度,人工输入一些阈值而得到满意的阈值 t .因此,这在很大程度上制约了其在自动处理方面的应用.对此,提出一种能自动选取阈值 t 的方法,使其能自适应于红外图像的边缘增强处理.

通常,图像中大多数服从高斯分布的噪声点的梯度模 G_m (可由式(5)计算得到)一般不会很大,而在边缘附近的像素点却有较大的梯度模.

$$G_m = \sum |I(x+i, y+j) - I(x, y)| / 4 \quad (5)$$

式(5)中, $(i, j) = (-1, 0), (0, 1), (1, 0), (0, -1)$.

由梯度模定义可知其与确定相似程度的阈值 t 在物理意义上是一致的,于是可以取边缘附近的梯度模均值作为阈值 t .为了消除大多数随机噪声点的影响,选取一个阈值 P ,取梯度模大于 P 的点的梯度模均值作为阈值 t ,如式(6)所示

$$t = \sum_{G_m > P} \frac{G_m(i, j)}{n} \quad (6)$$

其中, n 为 $G_m > P$ 的点数目.由于多数图像中的噪声为服从高斯随机分布的加性噪声,根据大量实验,取 $P=5$ 即可适合大多数图像,于是可由式(6)自适应地获得边缘增强的阈值 t ^[4,5].

2.2 角点区域的限定

设核心点坐标为 (x_0, y_0) ,模板的半径为 r , (x, y) 是模板内的任意一点,如图 2 所示. Q 为核心点 (x_0, y_0) 与计算点 (x, y) 的矢量与 X 轴的夹角,

Q 的取值限定在 $0 < Q < 180^\circ$ 的扇形区域内, 设 Q_1 为起始角, Q_2 为终止角, 逆时针旋转为角度的增加方向. 通过改变 Q_1 和 Q_2 的值, 从而改变计算模板的大小和方向达到在设定区域内提取图像的点.

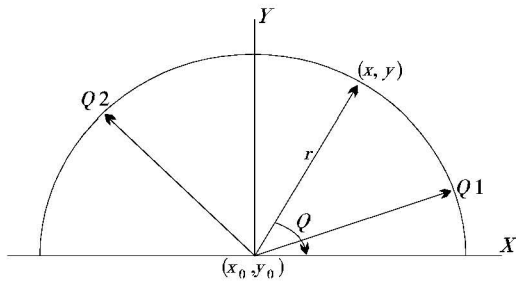


图 2 角点区域模板

(1) 计算点 (x, y) 与核心点 (x_0, y_0) 的距离

$$r(x, y) = \frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{2} \quad (7)$$

(2) 计算点 (x, y) 与 X 轴的夹角

由图 2 可知, 如果 $y < y_0, x > x_0$, 则 $Q = \arctan(-\frac{y - y_0}{x - x_0})$;

如果 $y < y_0, x < x_0$ 或 $y > y_0, x < x_0$, 则 $Q = 90^\circ + \arctan(-\frac{y - y_0}{x - x_0})$;

如果 $y > y_0, x > x_0$, 则 $Q = 180^\circ + \arctan(-\frac{y - y_0}{x - x_0})$.

(3) 判断 $Q_1 \leq Q \leq Q_2$ 且 $r(x, y) < r_0$ 的点 (x, y) 加入式(1)或式(2)计算; 否则, 不加入计算.

(4) 用式(4)求得 $R(x_0, y_0)$ 即在区间 $\Delta Q = Q_2 - Q_1$ 的角点可以提取.

3 实验效果比较与分析

应用改进的 SUSAN 算法对红外图像(如图 3 所示)进行边缘增强处理, 可以看出该方法效果较为理想, 如图 4 所示.

改进的 SUSAN 算法基本上可以检测出所有的直线和曲线边缘, 而且这种算法对噪声不敏感, 所以边缘增强后图像的效果较好. 而 Sobel 算子和 Roberts 算子对部分直线边缘不能检测出来, 圆的边缘也有部分漏检情况; LoG 算子基本上可以检测出所有边缘, 但是它的定位效果较差, 造成一些尖锐边缘无法被检测出来; Canny 算子虽然具有较强的抑制噪声能力, 但同时也会将一些高频边缘平滑掉, 造



图 3 原始图像



图 4 边缘增强的图像

成边缘丢失, 如图 5 所示.

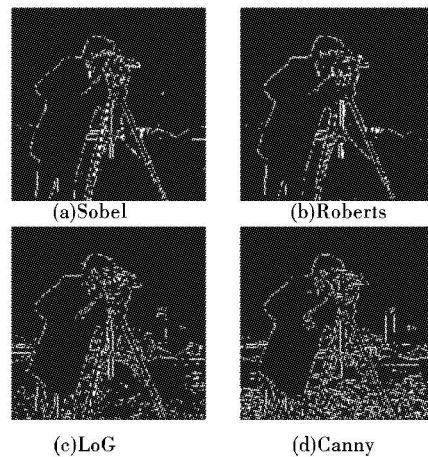


图 5 4 种常用算子的边缘检测效果图

4 结 论

改进的 SUSAN 算法能在红外图像上较准确地定位边缘位置, 在此基础上增强了图像边缘特征, 为红外图像中目标的识别、测量等图像描述和分析获得较好的预处理效果.

参考文献

- [1] 马桂珍, 房宗良, 姚宗中. SUSAN 边缘检测算法性能分析与比较[J]. 现代电子技术, 2007(8): 189 - 191.
- [2] 石晶欣, 朱小锋, 孙明磊, 等. 基于 SUSAN 和 Hough 变换的直线边缘亚像素定位方法[J]. 光电工程, 2008, 35(6): 89 - 93.
- [3] 赵孔新, 刘辉. 基于 MATLAB 的 SUSAN 指纹细节点提取[J]. 电子测量技术, 2008, 31(9): 114 - 116.
- [4] 杨胜科, 张潮. 改进的 SUSAN 图像边缘检测算法[J]. 战术导弹技术, 2007(6): 83 - 86.
- [5] 毕务忠, 严高师. 基于改进 SUSAN 算子的一种遥感影像配准方法[J]. 激光与红外, 2006, 36(6): 504 - 507.