

低信噪比红外图像的快速统计法边缘提取*

高阳,张科,李言俊

(西北工业大学 航天学院,陕西 西安 710072)

摘要:现代成像制导中所使用的红外图像往往存在着噪声大、目标-背景间灰度差较小、边缘较模糊的特点。这些特点会增加边缘提取的难度,因此必须建立更有效的红外图像边缘提取算法以满足需要。针对这些问题,以噪声 Gauss 分布模型和噪声特征为基础,建立了新型统计学意义下的红外图像边缘检测法。通过对此方法的概率模型进行分析,可以证明在有较大噪声的情况下,只要边缘处的差分大于一定的值,就能以较大的概率提取出图像边缘。通过在不同情况下与梯度法的抑噪能力进行对比和分析发现,统计边缘提取法的噪声抑制能力要高于梯度法。在与 Sobel 模板算子法的红外图像边缘检测结果进行仿真和对比后发现,统计法能对红外图像的目标边缘检测取得良好的结果,并且算法具有快速简单的优点。

关键词:红外图像; 边缘检测; 统计法; 噪声影响

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2005)04-0459-05

Edge detection investigation of low-SNR infrared image based on noise probability*

GAO Yang,ZHANG Ke,LI Yan-jun

(College of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Characteristics of IR images mostly include large noise, small distinction between target and background, blurry edge and so on. These characteristics make existent methods ineffective and require more effective method. Considering the random noise often accords with Gauss distribution, a statistic method based on noise probability distribution and noise characteristics has been put forward to detect image edge. By analyzing the probability model of noise, it is proved that if the difference of neighboring dots is larger than a determinate value, the edge of infrared image can be detected in large probability. By comparing the infection of noise for statistic method and gradient method in different conditions, it is found that the noise restrain capacity of statistic method is higher than that of gradient method. Comparison and analysis are made between the statistic method and the often used Sobel algorithms. The analyses

收稿日期:2004-09-02; 修订日期:2004-10-18

* 基金项目:航空基础科学基金资助项目(04I53067);武器装备预研基金资助项目(51401040204HK03347);航天科技创新基金资助项目(N4CH008)

作者简介:高阳(1978-),男,河南安阳人,博士生,研究方向为红外制导、图像处理 and 机器视觉等。

indicate that good results can be obtained when this statistic method is used to detect edge of infrared image and this method is simple and fast.

Keywords: Infrared image; Edge detection; Statistic method; Noise infection

0 引言

在红外图像处理中图像的边缘检测有着重要的地位,经过有效边缘检测处理过的图像能为目标分割、形状提取和图像识别奠定良好的基础,并且边缘检测过的图像具有数据量少的优点,有利于进一步处理。现有的图像边缘检测方法一般是利用图像边缘的一阶和二阶导数信息来进行检测,例如:梯度法,模板算子法等,其中被广泛使用的模板算子主要包括 Sobel 算子、Prewitt 算子和 Laplacian 算子等^[1-5]。

在模板算子中,Sobel 算子、Prewitt 算子利用一阶导数来求取图像的边缘,它们都是使用两个算子模板分别沿 x 方向和 y 方向进行卷积计算,再将两个方向的卷积结果进行融合;而 Laplacian 算子则是一种二阶导数边缘检测算法,它只要卷积一次就可以得到结果,但在使用前一般要进行预处理才能得到较好的效果。这些方法的共同问题是对图像的噪声过于敏感。而红外图像由于其特殊的成像原理存在着噪声大、目标和背景之间的灰度差较小、边缘较模糊的特点^[6],因此现有的方法对红外图像进行边缘检测时效果并不理想。

本文在对噪声特征和噪声概率模型进行分析的基础上提出了一种新的边缘检测算法,能在边缘检测时有效地克服这些缺点。

1 噪声概率分析

红外图像中的每一个像素的灰度值都可以看作是原有灰度值和噪声叠加的结果,而且每一个像素的噪声可以认为是满足 Gauss 分布的随机变量。因此噪声 X 的分布密度为:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} e^{-\frac{1}{2\delta^2}(x-u)^2} \quad (1)$$

由于每一个像素噪声是一个独立的随机变量,噪

声斑点的大小一般为 1~2 个像素^[7],而且经过大量的观察发现连接相邻的第 $i-1, i, i+1$ 三个像素之间的噪声,往往能形成具有尖峰状特点的折线。而在无噪声图像的目标内部区域像素灰度值较平坦,因此加噪后图像的目标内部区域的相邻三个像素灰度值也能形成尖峰状的折线。但是由于边缘处的灰度值具有较大的梯度并有确定的增长趋势,所以即使加噪以后,边缘处的灰度值仍会保留原有的确定增长趋势。因此在目标区域内部第 $i-1$ 点和第 $i+1$ 点的灰度值之差较小,而边缘处的灰度值之差则较大。可以从加噪边缘和内部区域的这一区别出发来进行边缘检测。

假设 X 对应的是第 $i-1$ 点, Y 对应于第 $i+1$ 点,且 $X \sim N(u, \delta^2), Y \sim N(u, \delta^2)$ ^[8],并令 $Z=Y-X$,则有:

$$\begin{aligned} \varphi_z(z) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x, z+x) dx = \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{2\pi\delta^2} e^{-\frac{1}{2\delta^2}[(x-u)^2 + (z+x-u)^2]} dx \stackrel{t=x-u}{=} \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{2\pi\delta^2} e^{-\frac{1}{2\delta^2}[t^2 + (z+t)^2]} dt = \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{2\pi\delta^2} e^{-\frac{1}{2\delta^2}2(t+z/2)^2} \cdot e^{-\frac{z^2}{4\delta^2}} dt = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}(\sqrt{2}\delta)} e^{-\frac{z^2}{2(\sqrt{2}\delta)^2}} \quad (2) \end{aligned}$$

所以 $Z \sim N(0, 2\delta^2)$ 。

考虑图像中第 i 点不仅有横向差分还有纵向差分,只有将两者综合起来中心点 i 的信息才完整。因此可以假设 Z 代表横向的差分结果, M 代表纵向的差分结果,且由公式 (2) 可得 $Z \sim N(0, 2\delta^2), M \sim N(0, 2\delta^2)$ 。令 $L = Z^2 + M^2$,则有:

$$F_L(l) = P(L \leq l) = P(Z^2 + M^2 \leq l)$$

当 $l < 0$ 时, $F(l) = 0$; 当 $l \geq 0$ 时,

$$F(l) = \iint_{z^2 + m^2 \leq l} \varphi(z, m) dz dm =$$

$$\iint_{z^2+m^2 \leq 1} \frac{1}{8\pi\delta^2} e^{-\frac{1}{4\delta^2}(z^2+m^2)} dzdm \quad (3)$$

将公式(3)变为极坐标下的形式,并令 $z=r\cos\theta$ 则有:

$$F(l) = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\sqrt{l}} \frac{1}{8\pi\delta^2} e^{-\frac{r^2}{4\delta^2}} r dr \quad (4)$$

所以

$$\varphi_L(l) = F_L'(l) = \frac{\sqrt{l}}{8\delta^2} e^{-\frac{l}{4\delta^2}} \quad (l \geq 0) \quad (5)$$

从公式(5)可以看出,此时的概率分布偏离0的程度得到减弱。

由于红外图像的噪声较大,可以将噪声取为 $\delta=0.2$ 的 Gauss 分布。经过计算可知 l 的值小于0.8的概率较大,因此只要边缘处灰度经过相同的数据处理后的值大于0.8,就可以很好地检测出边缘来。

由于红外图像的边缘是一个渐变的过程,可以假设边缘的数学模型为:

$$z_i = kx_i + a \quad (6)$$

式中 z_i 为边缘处图像的灰度值; x_i 为相应的像素点; k 为边缘处的斜率值。

假设一种理想边缘模型,即只在一个方向上存在边缘,而另一个方向上是水平的。基于这种模型进行数据处理可以得:

$$d = (2k)^2 + 0 = 4k^2$$

式中 d 代表处理后的边缘数据值。若要使边缘和噪声有效地区分出来,则应使 $d \geq 0.8$ 。如果采用256级的灰度图来表示,则有:

$$d/256 \geq 0.8$$

即 $4k^2/256 \geq 0.8$

所以当 $k \geq 8$ 时,便可以有效地区分边缘和噪声。而红外图像的边缘是能够满足此要求的,因此,这种边缘检测算法能有效地检测出低信噪比的红外图像的边缘并抑制噪声。

对随机生成的 Gauss 噪声图像进行处理,图 1(a)

是噪声图像的直方图,(b)是经过数据处理的噪声直方图。将图 1(a)和(b)进行对比可以看出,这种方法能使噪声接近0值的程度得到加强。如果噪声更大,则可以对数据 l 继续取平方和立方进行处理,会使噪声数据更加接近0值。

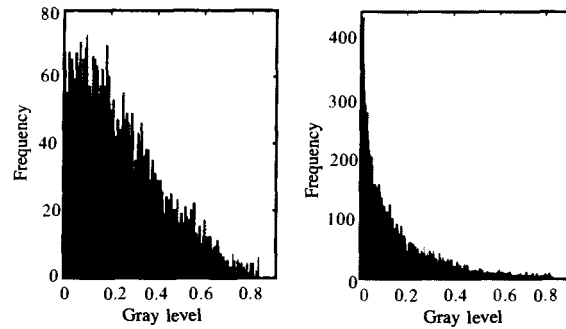


图1 数据处理前和处理后的噪声直方图

Fig.1 Comparison between noise histogram before/after data processed

2 噪声抑制分析

梯度法为了利用多个方向的信息,可以使用公式(7)来计算相应目标点的梯度,进而判断其是否是边缘。具体为:

$$G = (f(x,y) - f(x,y-1))^2 + (f(x,y) - f(x-1,y))^2 + (f(x,y) - f(x,y+1))^2 + (f(x,y) - f(x+1,y))^2 \quad (7)$$

假设 (x,y) 点的灰度值因为噪声而发生的改变量为 df ,则由噪声引起的梯度值的改变量为:

$$dG = 2[4f(x,y) - f(x,y-1) - f(x-1,y) - f(x,y+1) - f(x+1,y)]df \quad (8)$$

对于统计法,其计算公式为:

$$S = (f(x,y+1) - f(x,y-1))^2 + (f(x+1,y) - f(x-1,y))^2 \quad (9)$$

由公式(9)可以看出其中并不包括 $f(x,y)$,所以在 (x,y) 点出现的噪声对计算结果并没有影响。

下面考虑由于目标点周围其他点出现噪声而对梯度法和统计法计算结果的影响。考虑到四个邻域点对结果的影响是一样的,因此本文只考虑了对 $(x,y+1)$ 点施加噪声 df 后,各种方法对此的敏感性。其中梯度值的改变为:

$$dG=2[f(x,y)-f(x,y+1)]df \quad (10)$$

而统计法受噪声的影响为:

$$dS=2[f(x,y+1)-f(x,y-1)]df \quad (11)$$

由上述可知, 连接相邻的第 $i-1, i, i+1$ 三个像素之间的噪声, 往往能形成具有尖峰状特点的折线。因而, $f(x,y+1)-f(x,y-1)$ 的绝对值要比 $f(x,y)-f(x,y+1)$ 的绝对值小得多。所以在 $(x,y+1)$ 这一点, 统计法计算结果的噪声敏感性也比梯度法弱许多。因此可以扩展为统计法的结果在 (x,y) 的四个邻域点同样具有对噪声的不敏感性。所以从以上的推导中可知, 不论是在目标点还是在目标的四邻域点, 统计法对噪声的抑制能力都比梯度法高。这正是人们所期望的特性。

由公式(7)和(9)还可以看出统计法比梯度法简单, 计算效率高。与 Sobel 算子进行比较可以发现, 由于统计法不计算四个 45° 方向的顶点, 所以计算速度也比 Sobel 算子快。

3 实例仿真与结果对比

本文利用统计法对红外图像进行了实例检测仿真, 并和效果较好的 Sobel 模板算子的检测效果进行了比较。为了表现检测真实效果的好坏, 没有使用阈值进行分割, 而是直接将归一化处理后的边缘检测结果图进行了对比。

首先对加过噪声的简单海面背景下军舰红外图像的边缘检测结果进行了对比, 检测结果分别如图 2~图 4 所示。



图 2 加噪后海面背景下的军舰红外图像
Fig.2 Adding noise warship infrared image of sea background



图 3 加噪后统计法对军舰图的边缘检测结果
Fig.3 Edge detection result of adding noise warship image by statistic method



图 4 加噪后 Sobel 算子对军舰图的边缘检测结果
Fig.4 Edge detection result of adding noise warship image by Sobel operator



图 5 复杂野外背景下的坦克红外图像
Fig.5 Tank infrared image of field background



图 6 统计法对坦克图的边缘检测结果
Fig.6 Edge detection result of tank image by statistic method

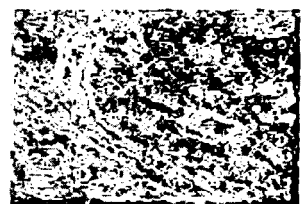


图 7 Sobel 算子对坦克图的边缘检测结果
Fig.7 Edge detection result of tank image by Sobel operator

从图 5~图 7 可以看出在复杂的野外背景下, 用本文提出的统计法进行边缘检测也取得了较好的效果。有效地提取出坦克的整体轮廓和道路的线状边缘特征, 而且由于统计法对灰度变化不敏感, 因此对复杂

从图 2~图 4 可以看出, 军舰红外图像的大部分

背景的缓慢变化进行了较大的抑制。而 Sobel 模板算子法由于算法本身的局限,对复杂图像的边缘提取效果就差一些。此外由于红外图像是复杂的野外背景下的,因此使得对图像目标边缘的提取变得更加困难。Sobel 模板算子法由于对复杂背景极为敏感,所以提取的目标边缘在很大程度上都陷入了背景噪声中,无法区分目标和背景。

4 结论

针对红外图像存在噪声大、目标和背景之间的灰度差较小、边缘较模糊的特点,基于随机噪声的 Gauss 概率模型,建立了统计学意义下的红外图像的边缘检测法。利用概率模型的分析,本文证明了只要边缘处的差分值大于一定的值,就能以较大的概率有效地分离出边缘,并且边缘处的提取值大于一般的噪声处的值。通过对梯度法噪声误差影响的分析发现,本文建立的统计边缘提取法的噪声抑制能力要比梯度法高。在和常用 Sobel 模板算子法的红外图像边缘检测结果进行实际对比后发现,本文提出的统计法对红外图像的目标边缘检测取得了良好的结果,并且具有算法简单的优点。同时也发现这种方法提取的边缘线条较粗,需要进一步研究探讨。

参考文献:

- [1] BAO Zong-fan, LI Hong-hua. Improvement of Laplace operator on edge detection[J]. Journal of China Institute of Metrology (鲍宗范, 李红华. 关于图像边缘检测的 Laplace 算子的改进. 中国计量学院学报), 2000, 11(2): 169-172.
- [2] ZHOU Xin-ming, LAN Sai, XU Yan. Comparison of the edge detection algorithms in image processing [J]. Modern Electric Power (周心明, 兰赛, 徐燕. 图像处理中几种边缘检测算法的比较. 现代电力), 2000, 17(3): 65-69.
- [3] WU Jian-feng, LIN Qiang. An edge-detecting method of images [J]. Journal of Fuzhou University (Natural Science) (吴剑锋, 林强. 一种图像边缘检测的新算法. 福州大学学报(自然科学版)), 2000, 28(4): 26-28.
- [4] XIA Liang-zheng. Digital Image Processing [M]. Nanjing: Southeast University Press (夏良正. 数字图像处理. 南京: 东南大学出版社), 1999.
- [5] XIA De-shen, FU De-sheng. Modern Image Processing Technology and Application [M]. Nanjing: Southeast University (夏德深, 傅德胜. 现代图像处理技术与应用. 南京: 东南大学出版社), 1997.
- [6] ZHANG Rong, CHENG Xing-wu, ZHUO Hong-yan, et al. Detection algorithm for moving infrared point target in the sky [J]. Infrared and Laser Engineering (张蓉, 陈兴无, 卓红艳, 等. 空中红外运动点目标检测算法. 红外与激光工程), 2003, 32(5): 472-475.
- [7] LV Ming-ai, WANG Chun-hong, LI Mei. Study on methods for inhibiting random noise of wavefront sensor used in low light level [J]. Opto-Electronic Engineering (吕明爱, 王春鸿, 李梅. 抑制微光波前传感器随机噪声的方法研究. 光电工程), 2002, 29(6): 1-4.
- [8] LIU Wei, YANG Wan-hai. New detection algorithm for small targets in IR image [J]. Infrared and Laser Engineering (刘伟, 杨万海. 红外图像中小目标检测的新算法. 红外与激光工程), 2003, 32(3): 264-266.
- [7] XU Hong-jie, HE Jun, QIN Bing-kun, et al. Design of high precision optical fiber polarization measuring system [J]. Optical Technique (徐宏杰, 何珺, 秦秉坤, 等. 高精度保偏光纤偏振测试系统的设计. 光学技术), 2003, 29(2): 208-210.
- [8] HAO Ai-fu, FENG Li-shuang, XU Hong-jie, et al. Manufacture and exploitation of optical fiber polarization characteristics auto-measuring system [J]. Optical Technique (郝爱福, 冯丽爽, 徐宏杰, 等. 保偏光纤偏振特性自动测试系统的研制与开发. 光学技术), 2004, 30(3): 378-380.
- [9] ZOU Xue-feng, FENG Li-shuang, MA Ying-jian. Design and realization of the auto-measuring system of optical fiber polarization characteristics based on DSP technology [A]. 1st Academic Forum for Graduate Students at Beihang University [C]. Beijing: Beihang University (邹雪峰, 冯丽爽, 马迎建. 基于 DSP 的保偏光纤偏振特性自动测试系统的设计与实现. 首届研究生学术论坛文集. 北京: 北京航空航天大学), 2004. 485.
- [10] YU Dao-yin, TAN Heng-ying. Engineering Optics [M]. Beijing: Mechanical Industry Press (郁道银, 谈恒英. 工程光学. 北京: 机械工业出版社), 2002.

(上接第 433 页)