

文章编号:1004-4213(2010)06-1129-3

自适应双边滤波红外弱小目标检测方法

李凡,刘上乾,秦翰林

(西安电子科技大学 技术物理学院,西安 710071)

摘要:针对红外弱小目标检测,提出一种基于自适应双边滤波的背景预测算法.该算法利用空域低通滤波和图像灰度信息的非线性组合,自适应的对背景进行预测,达到提高弱小目标检测性能的目的.仿真和实验表明:与小波滤波的检测算法相比,该算法能够更加有效地从结构化背景中检测目标抑制背景.

关键词:红外图像;弱小目标检测;背景预测;双边滤波

中图分类号:TN219

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20103906.1129

0 引言

红外图像中弱小目标检测是远程预警、精确制导中非常关键的技术之一.当目标距离很远时,其所占像素少、信噪比低、缺乏形状信息,往往被淹没在背景中,这使得目标检测和跟踪非常困难.因此,有效地预测背景,提高目标的信噪比和对比度成为弱小目标检测和跟踪的一项重要技术.

背景预测是一类比较有效的红外弱小目标检测算法.典型的背景预测算法有中值滤波^[1-2]、局域均值估计算法^[3]和形态学滤波^[4-5]等.中值滤波和局域均值虽能平滑噪声,但同时也平滑掉了图像边缘,背景预测的准确性差;形态学滤波效果与前两种方法相比较好,但对结构元的选取要求高且必须有先验知识.这些预测方法对于复杂背景均难以达到理想的效果.

本文提出了一种基于双边滤波的背景预测算法,该算法将图像的空间邻近度和灰度相似度的乘积作为背景预测的权系数,实现了对噪声的平滑和对图像边缘的保留.从实验结果可知,该算法能准确预测背景,突出目标图像,提高信噪比.

1 背景预测原理

图像中的任何一个属于背景的像素点,它的灰度值一定可以用其领域像素点的灰度值来预测;因为它的灰度值与其领域像素点的灰度值具有较强的相关性.而对于任何一个属于目标的像素点,如果它的灰度值与其领域像素点的相关性较差,则在这些区域会形成较大的预测误差.背景预测就是利用目

标与背景的这种特性选择适当的预测算法,从而达到抑制背景,突出被检测目标的目的.

对于红外图像中的弱小目标检测问题,可以认为图像是由目标、背景和噪声三部分组成,可用红外弱小目标场景图像模型来表示

$$f(i, j) = b(i, j) + t(i, j) + n(i, j) \quad (1)$$

式中 (i, j) 表示图像中像素点坐标, $f(i, j)$ 表示红外图像的灰度值, $b(i, j)$ 表示背景图像的灰度值, $t(i, j)$ 表示弱小目标的灰度值, $n(i, j)$ 表示噪声图像的灰度值.因此,背景预测是对背景图像进行预测估计,其估计值用 $y(i, j)$ 表示.用原始图像减去预测图像得到杂波抑制后的残差图像,方法流程如图1.

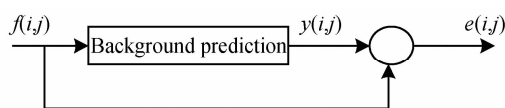


图1 背景预测方法流程示意

Fig.1 Sketch of background prediction

基本的背景预测模型为

$$y(k) = \sum_{l=-N}^N \omega(k, l) f(k-l) \quad (2)$$

式中, $\omega(k, l)$ 为预测权系数; k 为领域的中心点; $(k-l)$ 为领域 N 内的所有点; $y(k)$ 为预测后的输出图像 $y(i, j)$.不同的预测权系数对应不同的预测算法.

2 双边滤波原理

双边滤波是由 Tomasi 和 Manduchi 提出的^[6],其特点是对图像的每一点像素用其空间相邻以及灰度相近的像素值的平均值代替原来的值.双边滤波是对空域低通滤波器的改进,在空域低通滤波器中加入灰度信息.低通滤波器是对图像的一种平滑,能够很好的去除图像中的噪声,但同时也平滑掉了图

像的边缘.对空域低通滤波器进行改进,利用图像中的灰度信息与低通滤波器进行非线性组合,使其输出的图像能够很好的保留边缘信息,其公式可以表示为

$$h(x) = k^{-1}(x) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\xi) c(x, \xi) s(f(x), f(\xi)) d\xi \quad (3)$$

式中 $c(x, \xi)$ 代表中心点 x 与区域邻近点 ξ 的空间邻近度函数; $s(f(x), f(\xi))$ 代表中心点 x 与区域邻近点 ξ 的灰度相似度函数; $h(x)$ 和 $f(\xi)$ 分别代表输出和输入的图像; $k(x)$ 可以表示为

$$k(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} c(x, \xi) s(f(x), f(\xi)) d\xi \quad (4)$$

对于离散的图像来说,式(3)和式(4)转化为

$$h(x, \xi) = k^{-1}(x, \xi) \sum_{\xi \in \Omega} f(\xi) c(x, \xi) s(f(x), f(\xi)) \quad (5)$$

$$k(x, \xi) = \sum_{\xi \in \Omega} c(x, \xi) s(f(x), f(\xi)) \quad (6)$$

式中, Ω 为整幅图像.用双边滤波作为背景预测的权系数,这里取空间邻近度函数和灰度相似度函数为欧几里德距离下的高斯函数,根据式(5)、(6)背景预测的权系数为

$$\omega(k, l) = C^{-1}(k, l) e^{-\left(\frac{\|k - (k-l)\|}{2\sigma_d}\right)^2} e^{-\left(\frac{\|f(k) - f(k-l)\|}{2\sigma_r}\right)^2} = C^{-1}(k, l) e^{-\left(\frac{\|l\|}{2\sigma_d}\right)^2} e^{-\left(\frac{\|f(k) - f(k-l)\|}{2\sigma_r}\right)^2} \quad (7)$$

$$C(k, l) = \sum_{l=-N}^N e^{-\left(\frac{\|l\|}{2\sigma_d}\right)^2} e^{-\left(\frac{\|f(k) - f(k-l)\|}{2\sigma_r}\right)^2} \quad (8)$$

式中 σ_d 和 σ_r 分别控制空间和灰度域的权值自由度.

双边滤波结合了空间和灰度域两种滤波,权系数 ω 取决于空间和灰度距离. σ_d 表示空间滤波下的高斯函数标准差, σ_r 表示邻域窗口下灰度标准差.当 σ_d 变大时,窗口中包含的像素值变多,会导致图像变得越模糊,而 σ_r 则可以对 σ_d 的变化做出补偿,那些灰度差值大于 σ_r 的像素间将不进行运算,极大

程度上保留了图像中处于高频边缘处的灰度信息,同时还去除了高频的噪声.选取适合的窗口,以及空间和灰度域的权值自由度,可以在保证很好的图像预测效果的同时,极大降低计算时间和计算量.因此能适应图像背景变化复杂的情况,明显抑制图像中较强的结构性特征背景.

3 仿真实验

3.1 评价准则

为了衡量处理前后背景的抑制程度,评价算法性能的优劣,本文采用 4 个指标来说明算法的有效性:1)信噪比 $SNR = |G_t - G_b| / \sigma_b$; 2)信噪比增益 $ISNR = SNR_o / SNR_i$; 3)对比度 $SCR = |G_t - G_b| / |G_t + G_b|$; 4)对比度增益 $ISCR = SCR_o / SCR_i$. 其中, G_t, G_b 分别代表了目标和目标周围区域灰度的平均值; σ_b 代表背景的均方差; SNR_i, SNR_o 分别代表了输入图像和输出图像的信噪比; SNR_i, SNR_o 分别代表输入图像和输出图像的对数比.

3.2 实验结果

实验图像大小为 $128 \times 128 \text{ pixel}^2$, 像素灰度 8 位,信噪比低于 2,对比度低于 9%.基于 CPU 为赛扬 2.66 GHz,内存为 512M Byte 的 PC 机,通过 matlab7.0 软件平台完成仿真实验.

图 2(a)为序列中的一幅原图,(b)为本文算法预测的背景图,(c)为采用本文算法处理后的残差图,(d)为采用本文算法进行阈值分割的结果.用小波滤波的检测算法对原图进行处理,与本文算法进行对比,(e)为小波滤波后的图,(f)为小波处理后进行阈值分割的结果.

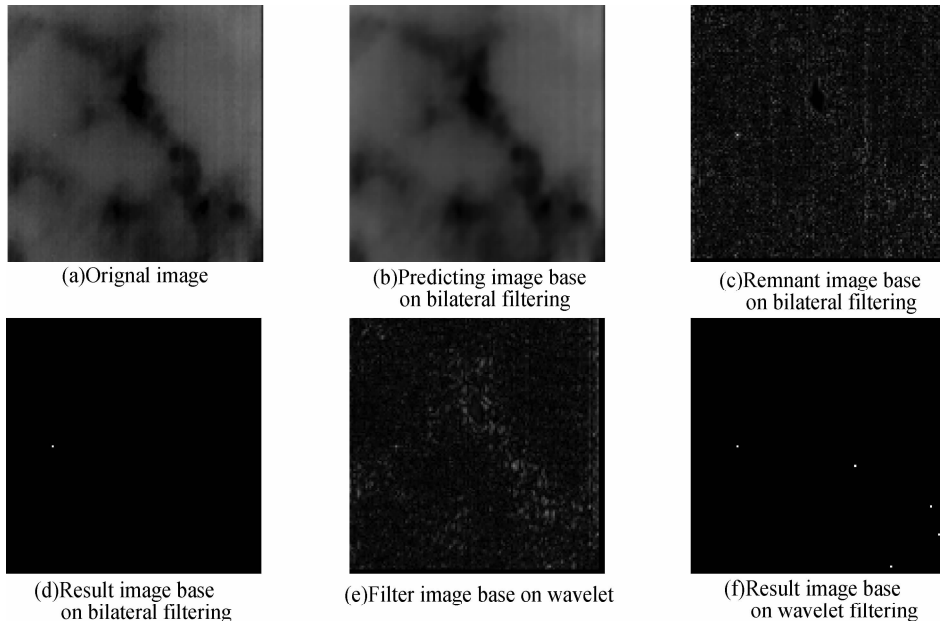


图 2 本文算法和小波域滤波性能比较

Fig. 2 Performance comparison of the presented algorithm and wavelet filtering

表 1 不同方法性能比较

Table 1 Performance comparison of different methods

Original image		Wavelet filtering		The presented algorithm	
SNR	SCR	ISNR	ISCR	ISNR	ISCR
1.64	3.46	1.38	12.09	2.07	15.80

从实验结果可以看出,原始图像中目标仅占一个或几个像元,呈现为点状,无形状与结构特征,且强度较弱.小波滤波处理后,目标虽然被增强,但同时背景也被增强,而没有被较好地抑制,这样必然会影晌后续的检测处理.而经本文算法处理后,在很好地保存并增强弱小目标信号的同时较好地抑制了结构化背景,如表 1 所示图像信噪比增益达 2,图像对比度增益达 15.

4 结论

本文提出了一种基于双边滤波的红外弱小目标背景预测算法,该算法能够抑制背景、增强目标将结构化背景中的弱小目标检测出来.用红外序列图像的实验效果验证了该算法可以有效地解决复杂背景下检测弱小目标难的问题,提高整个图像的信噪比,并获得了较好的检测结果.

Dim Infrared Targets Detection Based on Adaptive Bilateral Filtering

LI Fan, LIU Shang-qian, QIN Han-lin

(School of Technical Physics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A adaptive bilateral filtering method is presented for background prediction in small targets detection of infrared images. To improve the performance of small targets detection, the true image background is estimated adaptively via nonlinear combination based on low-pass domain filter and the gray level information of images. Simulations and experiments show that the algorithm is more efficient to detect the small target from complicated background compared with the method based on wavelet filtering.

Key words: Infrared images; Small targets detection; Background prediction; Bilateral filtering

LI Fan is pursuing the Ph. D. degree, and her research interests focus on image processing, target detection and recognition in IR image.



LIU Shang-qian was born in 1937. He is a professor and Doctoral Supervisor. His research interests focus on information acquisition, processing and application, such as photoelectric imaging, imagery processing, image measure, and so on.



参考文献

- [1] HU Xiao-dong, PENG Xin, YAO Lan. Study of Wavelet Domain Gaussian Mixture Model with Median Filtering Mixed Image Denoising [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(12): 2382-2385.
胡晓东,彭鑫,姚岚.小波域高斯混合模型与中值滤波的混合图像去噪研究[J].*光子学报*, 2007, **36**(12):2382-2385.
- [2] BAMETT J. Statistical analysis of Median subtraction filtering with application to point target detection in infrared backgrounds[C]. *SPIE*, 1989, **1050**:10-18.
- [3] CHEN J Y, REED I S. A detection algorithm for optical target in clutter [J]. *IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems*, 1987, **23**(1):46-59.
- [4] LIU Sheng-peng, FANG Yong. A Contourlet Domain Image Denoising Method Based on Mathematical Morphology [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(1):197-200.
刘盛鹏,方勇.基于数学形态学的 Contourlet 变换域图像降噪方法[J].*光子学报*, 2008, **37**(1):197-200.
- [5] GU Jing-liang, ZHANG Wei, WAN Ming. Faint Targets Detection Based on Gray Morphological Filtering and Neighborhood Entropy Method [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, **16**(12):1527-1530.
顾静良,张卫,万敏.基于灰度形态学和领域熵值的弱小目标检测[J].*强激光与粒子束*, 2004, **16**(12):1527-1530.
- [6] TOMASI C, MANDUCHI R. Bilateral Filtering for Gray and Color Images [C]. *Proc Sixth Int'l Conf Computer Vision*, 1998, 839-846.