

一种基于非下采样 Contourlet 变换的 运动点目标背景抑制算法*

秦翰林¹, 周慧鑫¹, 刘上乾¹, 杨廷梧^{1,2}

(1 西安电子科技大学 技术物理学院, 西安 710071)

(2 中国飞行试验研究院, 西安 710089)

摘要:为了解决机载红外预警探测系统检测地面运动点目标时的结构化背景抑制,提出了一种基于非下采样 Contourlet 变换的新算法. 算法采用非下采样 Contourlet 变换对原始图像进行多层分解, 然后对低频子带和高频子带采用不同的方法处理, 最后对各子带进行重构即可得到背景抑制后图像. 与数学形态学 Top-hat 算法比较, 实验结果表明本文所提算法能有效地抑制图像背景, 从而较好地提高图像的信噪比和对比度.

关键词:红外图像; 目标检测; 背景抑制; 非下采样 Contourlet 变换

中图分类号: TN219

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)12-3318-4

0 引言

机载红外预警探测系统是以红外搜索跟踪系统为预警探测传感器的远程无源探测系统, 其中对红外图像地面点目标的检测与识别是一个重要的研究课题. 为了使战机有足够的反应时间, 则要求尽可能早地发现地面目标, 即要求能检测出远距离的目标. 但远距离的目标成像, 常表现为淹没在结构化背景(例如山脊、道路和地面条块边缘)中的一个或几个像元, 即为点目标. 一般常规的方法较难检测出这类目标. 因此, 有效地抑制复杂的结构化背景对检测性能的影响, 是提高目标检测和识别准确性和可靠性的关键.

近 20 多年来, 红外图像背景抑制技术得到较大的发展, 主要有时域滤波^[1]、空域滤波^[2-3]、频域滤波^[4]、小波域滤波^[5]和数学形态学滤波^[6]等滤波方法. 但是, 当背景为复杂的结构化背景时, 这类滤波算法不能完全平滑边缘, 从而导致检测概率降低, 虚警率增大. 在这种情况下, 为了使有用的目标特征被保留并得到有效增强, 则必须要对结构化背景实行自适应的抑制.

为此, 本文提出了一种基于非下采样 Contourlet 变换 (Nonsampled Contourlet Transform, NSCT) 的红外图像地面运动点目标背景抑制算法. 利用 NSCT 具有多尺度、多方向性和平移不变性等优点, 平滑掉图像中大面积的结构化背景, 增强其突变部分. 用真实红外地面点目标图像序列进行实验, 实验结果验证了本算法的良好性能.

1 算法描述

1.1 非下采样 Contourlet 变换

Arthur L. da Cunha 和 Jianping Zhou^[7] 等人在 2006 年提出了 NSCT, 其具有多尺度、多方向、近邻界采样和各向异性等优点, 从而引起了有关研究人员的密切关注. NSCT 是非下采样金字塔和非下采样方向滤波器组的结合. 非下采样金字塔提供多尺度分解, 非下采样方向滤波器组提供方向分解, 如图 1(a). 首先, 非下采样金字塔把输入图像分解成低通

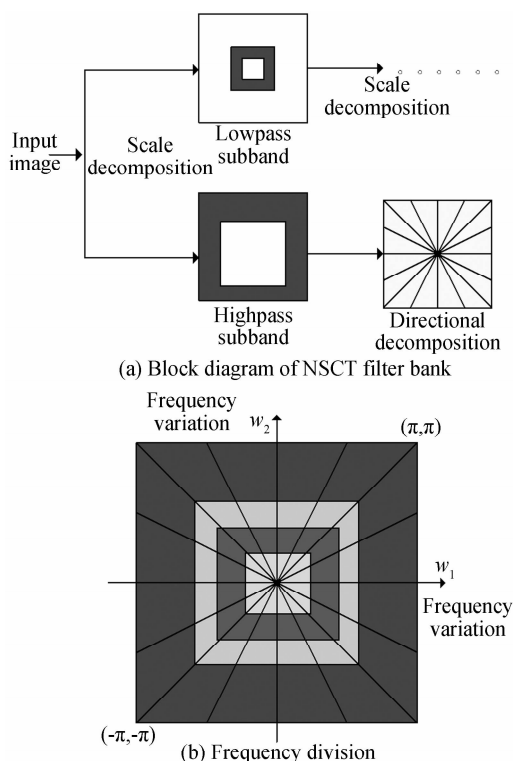


图 1 非下采样轮廓波变换

Fig. 1 The nonsampled contourlet transform

*教育部科学技术研究重点项目(108114)资助

Tel: 029-88202573

Email: hlqin@mail.xidian.edu.cn

收稿日期: 2008-06-04

修回日期: 2008-08-22

子带和高通子带. 然后,非下采样方向滤波器组把高通子带分成几个方向的子带,该操作通过在低通子带上反复迭代实现. 方向的数目随着频率的增加而增加,如图 1(b). NSCT 很好地保持图像中的各种奇异性信息,其所提供的丰富方向和形状信息为提高捕捉图像中几何结构的能力奠定了基础. 这也为分析红外地面运动点目标背景抑制问题提供了广阔的空间.

1.2 基于 NSCT 的背景抑制

当目标距离成像系统较远,它形成的像所占的像元面积很小,一般只有几个像素或者更少,此时可以被当作点源目标. 对于包含有点源目标的红外单

帧图像($M \times N$ 个像素)可采用式(1)的模型描述

$$f(i, j, k) = f_T(i, j, k) + f_{BN}(i, j, k) \quad (1)$$

$$(1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N)$$

式中 $f(i, j, k)$ 是第 k 帧图像中第 (i, j) 个像素点的灰度值; $f_{BN}(i, j, k)$ 为背景和噪音的灰度值; $f_T(i, j, k)$ 是目标的灰度值.

目标信号模型为

$$f_T(i, j, k) = A_t(k)h(i, j, x_t, y_t) \quad (2)$$

式中 $A_t(k)$ 是目标峰值强度,在较短时间内可以认为是常量; (x_t, y_t) 是目标所在位置; h 是点扩散函数^[8]. 采用二维旋转不变性 Gabor 小波函数来构建点扩展函数,如式(3).

$$h(i, j, x_t, y_t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x\sigma_y}} \exp\left[-\frac{(i-x_t)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(j-y_t)^2}{2\sigma_y^2}\right] \cos(2\pi v \sqrt{i^2+j^2}) & |i-x_t| < w, |j-y_t| < w \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中 (x_t, y_t) 是目标的中心位置, v 为响应频率, σ_x 和 σ_y 分别对应 x 和 y 方向的方差, w 是目标所形成区域的宽度.

地面运动点目标的红外辐射强度与周围复杂结构化背景的辐射强度无关,目标的强度在整幅图像中即使不是最强的,但与其所处的局部背景间的强度差异是较明显,而且一般是高于局部背景的辐射强度的,且具有各向异性特性;而在另一方面,强度较高的非目标背景图像通常与周围背景间无明显强度差异. 由此,将图像进行不同方向和频率的划分后,低频分量主要反映的是图像的暗背景信息,高频分量主要反映目标信号和高亮背景. 因此,利用 NSCT 的多尺度、多方向性和平移不变性等优点,特别是平移不变性使得变换子带的每个像素都对应于原始图像的相同位置,从而可以得到 NSCT 分解后点源目标位置的精确信息.

从而基于非下采样 Contourlet 变换的背景抑制算法归纳为四个步骤:

1) 根据红外目标的大小及图像噪音的强弱,对输入图像用 NSCT 进行 N 层多尺度分解,从而将图像进行频带和方向分离,分解后暗背景信息主要处于低频,目标信息和亮背景处于高频区;

2) 对获得的低频部分 $f_a(x, y)$ 采用去自适应均值处理,来调整图像的背景灰度,随着图像中大部分背景灰度的不断调整,所得图像 $f_a(x, y)$ 的背景灰度均值 E 会逼近于某个值,当两者相差小于某个设定值就退出循环. 最终大部分的背景灰度就为均值 E ,而目标和较高灰度的背景则保持不变,仍然是高亮度从而可抑制暗背景;

$$f_a(x, y) = \begin{cases} E & f(x, y) < E \\ f_a(x, y) & f(x, y) > E \end{cases} \quad (4)$$

3) 对高频部分采用二维旋转不变性 Gabor 小波做卷积运算,以抑制残留在高频部分的亮背景和噪音;

4) 采用非下采样 Contourlet 逆变换重构,即得到背景抑制后图像.

2 实验结果与分析

2.1 评价准则

本文选用了五个参量来衡量算法保存目标信号、去除复杂地面背景的有效性. 它们是:

$$(a) \text{信噪比 } \text{SNR} = |G_t - G_b| / \sigma_{bc} \quad (5)$$

$$(b) \text{信噪比增益 } \text{ISNR} = \text{SNR}_{\text{out}} / \text{SNR}_{\text{in}} \quad (6)$$

$$(c) \text{对比度 } \text{SCR} = (|G_t - G_b| / |G_t + G_b|) \times 100\% \quad (7)$$

$$(d) \text{对比度增益 } \text{ISCR} = \text{SCR}_{\text{out}} / \text{SCR}_{\text{in}} \quad (8)$$

$$(e) \text{背景抑制因子 } \text{BSF} = \sigma_{\text{out}} / \sigma_{\text{in}} \quad (9)$$

式中 G_t 、 G_b 分别是目标的平均灰度值和目标周围区域内灰度值的均值; SNR_{in} 、 SNR_{out} 分别代表输入图像和输出图像的信噪比; SCR_{in} 、 SCR_{out} 分别代表输入图像和输出图像的对比度; σ_{bc} 是背景加噪音的均方差; σ_{in} 和 σ_{out} 分别为原始图像和滤波后图像的灰度均方差.

2.2 结果分析

选取三组有代表性的地面运动单点目标红外图像序列进行实验. 实验图像大小为 $128 \times 128 \text{ pixel}^2$, 像素灰度 8 位,信噪比为 1 左右,对比度为 7% 以内. 基于 CPU 为赛扬 2.66 G,内存为 512 M 的 PC 机,利用 matlab7.0 软件平台完成仿真实验, $\sigma_x =$

$\sigma_y=0.25, v=0.15, \omega=3$, NSCT 的尺度分解采用“*maxflat*”金字塔滤波器, NSCT 的方向分解采用“*dmaxflat*”方向性滤波器^[7], 分解层数 $N=2$. 图 2(a)~(c)分别为三组序列中的一幅原图, 图 2(d)~

(f)为采用数学形态学 top-hat 算法^[9]的处理结果, 图 2(g)~(i)为本文算法的处理效果. 处理前后评价参量数值如表 1.

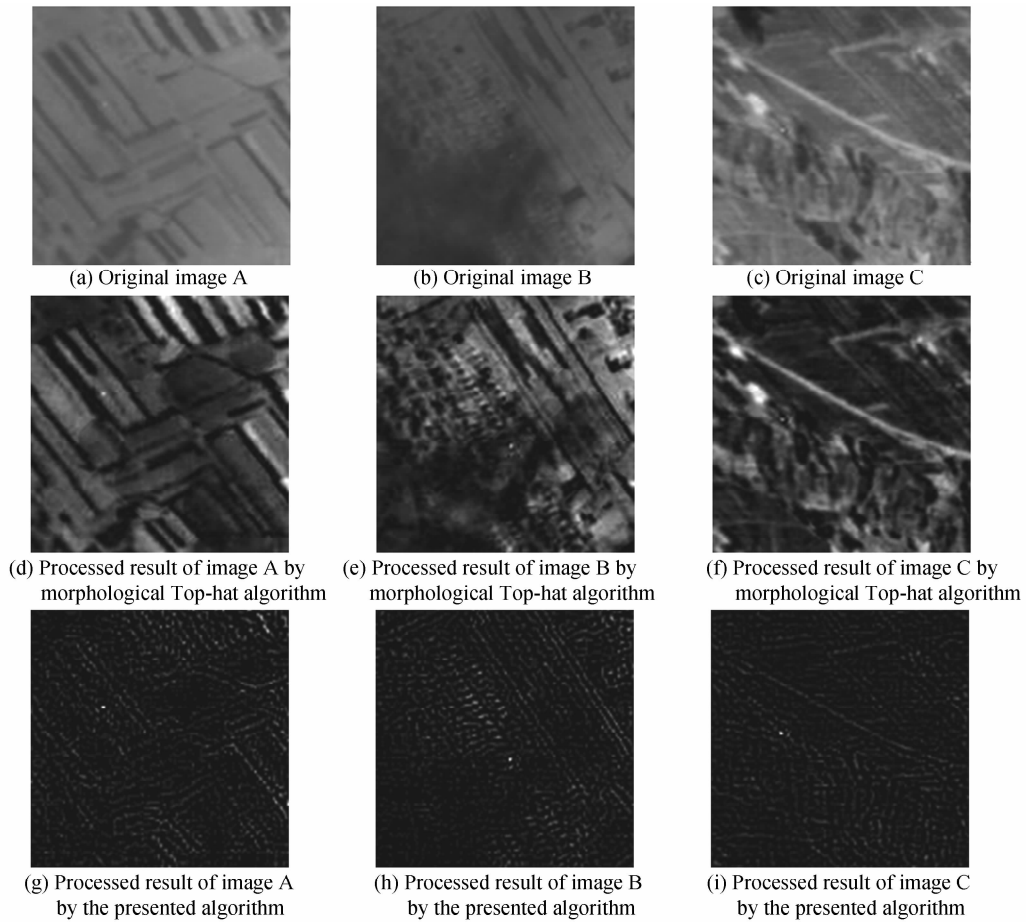


图 2 原图、形态学 Top-hat 算法处理及本文算法处理结果对比

Fig. 2 Comparison between original images, images processed by morphological Top-hat algorithm and images processed by the presented algorithm

表 1 不同背景条件下两种算法的性能比较

编号	原始图像		数学形态学 Top-hat 算法					本文方法				
	SNR _{in}	SCR _{in}	SNR	ISNR	SCR	ISCR	BST	SNR	ISNR	SCR	ISCR	BST
A	1.16	3.28	3.16	2.83	35.37	10.78	5.92	5.40	4.66	86.21	26.28	6.11
B	1.31	6.21	2.50	1.91	24.35	9.74	4.62	3.33	2.56	72.93	11.75	7.60
C	0.78	3.29	1.81	2.32	27.20	8.27	2.77	3.11	3.99	49.96	15.19	4.39

从实验结果可以看出,在原始图像中,目标仅占一个像元,呈现为点状,无形状与结构特征,且对比度和信噪比都较低,特别是图 2(b)和图 2(c)中的目标还被强烈的云层、山脊、路面和条状田块等结构化背景所干扰.形态学 Top-hat 算法处理后,目标虽然被增强了,但背景没有被较好地抑制,而是也被增强,这样势必对后续的检测处理产生较大的影响.而经本文算法处理后,图像信噪比增益提高了 2 倍以上,图像对比度增益提高了 11 倍以上,背景抑制因子达到了 4 倍以上,不但平滑了路面和条状田块形成的边缘,而且将山脊和云层边缘也平滑掉,也就是说,该算法较好地抑制了背景,且很好地保存并增强

了弱小目标信号,使得图像整体对比度得到了很大的改善.相比来说,在不同的背景、不同对比度和不同信噪比条件下,本文算法都可得到较好的处理效果.

3 结论

根据红外图像中目标和背景的特性,提出了一种基于非下采样 Contourlet 变换的红外图像地面点目标背景抑制算法.基于真实红外序列图像的实验结果验证了该算法可以在较大程度上抑制复杂背景,保存并增强目标信号,提高整个图像的对比度和信噪比.算法中分解层数的选择对不同的应用场合

可有不同的选择,因此最优地选择分解层数 N ,是我们下一步需要研究的问题。

参考文献

- [1] FEUDALE R N, BROWN S D. An inverse model for target detection [J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2005, **77**:75-84.
- [2] LIU Rui-ming, LIU Er-qi, YANG Jie, *et al.* Automatically detect and track infrared small targets with kernel Fukunaga-Koontz transform and Kalman prediction[J]. *Appl Opt*, 2007, **46**(31):7780-7791.
- [3] LIU Wen, LIU Zhao-hui, XIONG Ren-sheng. A method to detect IR dim and small objects based on window[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(3):618-620.
刘文,刘朝晖,熊仁生.一种利用窗口结构提取红外弱小目标的方法[J]. *光子学报*, 2008, **37**(3):618-620.
- [4] PORAT B, FRIEDLANDER B. A frequency domain algorithm to multiframe detection and estimation of dim targets [J]. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 1990, **12**(4):398-401.
- [5] LI Zhe, SU Xiu-qin, ZHANG Guang-hua, *et al.* Small moving infrared target detection [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(6):924-927.
李哲,苏秀琴,杨小君,等.红外运动小目标的检测[J]. *光子学报*, 2006, **35**(6):924-927.
- [6] YUAN Hui-jing, WANG Yong-tian. A new denoising method for small target detection [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(5):609-612.
袁慧晶,王涌天.一种抗干扰的弱小目标检测方法[J]. *光子学报*, 2004, **33**(5):609-612.
- [7] da CUNHA A L, ZHOU Jian-ping. The nonsubsampling contourlet transform: theory, design, and applications [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2006, **15**(10):3089-3101.
- [8] ZHANG W, CONG M Y, WANG L P. Algorithm for optical weak small targets detection and tracking; review [C]. *IEEE International Conference on Neural Networks & Signal Processing*, 2003:643-647.
- [9] CUI Yi. Image processing and analysis—mathematically method and application [M]. Beijing: Science Press, 2000:127-134.
崔屹.图像处理与分析——数学形态学方法及应用[M].北京:科学出版社,2000:127-134.

An Algorithm for Moving Point Target Background Suppression Based on NSCT

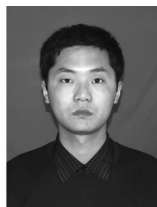
QIN Han-lin¹, ZHOU Hui-xin¹, LIU Shang-qian¹, YANG Ting-wu^{1,2}

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

(2 Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: A new infrared ground point background suppression algorithm based on the Nonsubsampled Contourlet Transform (NSCT) is presented. Raw image is decomposed using NSCT, different operators are adapted in different decomposition scales and directions, and background suppression image is obtained by NSCT reconstruction. When compared with conventional mathematical morphology Top-hat algorithm, several groups of experimental results demonstrate that the presented algorithm can suppress background effectively and the signal-noise ratio and contrast of image is improved efficiently.

Key words: Infrared image; Target detection; Background suppression; Nonsubsampled contourlet transform (NSCT)



QIN Han-lin was born in 1982. He is currently pursuing his Ph. D. degree at Xidian University. His research interests focus on infrared focal plane non-uniformity correction, dim and small target detection and multi-target tracking.