

基于非抽样小波的红外小目标检测

潘玉竹^{1,2}, 黄顺欢³, 李迟生²

(1. 江西农业大学工学院, 江西 南昌 330045; 2. 南昌大学通信实验中心, 江西 南昌 330031;
3. 哈尔滨工业大学电子与信息工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:在复杂背景下检测红外小目标, 一直以来都是红外图像研究的重点和难点。在分析小目标红外图像基础上, 提出了一种新的方法——基于UDWT变换背景抑制的检测方法, 并与最近发展起来的小面型检测结果进行了比较, 实验结果表明基于UDWT的方法有更好的检测能力。

关键词:红外; 小目标; UDWT; 小面型

中图分类号:TP751.1 **文献标识码:**A

Detection of infrared small target based on UDWT

PAN Yu-zhu^{1,2}, HUANG Shun-huan³, LI Chi-sheng²

(1. Industry Department of Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China;
2. Information Engineering School of Nanchang University, Nanchang 330031, China;
3. Electornics and Information Engineering School of Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Detection of small target in complex infrared background image has been the focus of the study of infrared images. Based on the analysis of infrared image, this article proposes detecting small target based on a new approach—background suppression based on UDWT, and be compared with a recently developed Facet-based infrared small target detection method. The results show that the method based on UDWT has better detection capability.

Key words: infrared; small target; UDWT; facet mode

1 引言

红外图像是利用红外探测器扫描视场景和目标而获得的红外热辐射图像, 它反映场景和目标的温度差异。红外探测器把接收到的场景和目标红外辐射, 转换成变化的电信号, 再经电子线路放大、变换处理后, 就形成了红外图像^[1]。

一幅红外图像由大面积连续的背景、红外目标以及噪声等几个部分组成。在红外图像小目标的检测过程中, 存在着信噪比低、可用的信息量少、背景信息复杂以及信息处理量大等问题^[2], 这些问题给小目标检测带来很大的困难。

国内外学者对低信噪比下的弱小目标检测做出了大量的研究, 归纳起来主要有以下方法: 多阶段检测方法^[3]、边检测边跟踪边确认的目标检测算

法^[4]、图像流分析法^[5]、小面型检测方法^[6]、动态规划方法^[7-8]、匹配滤波方法^[9]以及文献[10]中还介绍了多级假设检验方法、帧相关法和基于投影变换和三维搜索的方法。随着小波技术的发展, 在红外图像处理中也得到广泛的应用, 在小目标检测中显示出了突出的优点, 同时也显现出一些问题, 不具有平移不变性、各向异性, 而且还有严重的振铃效应, 而非抽样小波变换刚好弥补了这些传统小波的不足之处, 在红外图像小目标检测中展现出更好的效果, 本文提出的方法是基于UDWT的背景抑制方法来检测红外小目标。

作者简介:潘玉竹(1980-), 女, 工学学士, 硕士研究生, 助教, 研究方向为通信与信息系统。E-mail: ppyyzzgs@163.com

收稿日期:2009-06-12

2 红外小目标图像分析

一幅红外小目标图像可用以下模型来描述为^[2]:

$$f(x, y) = f_T(x, y) + f_B(x, y) + f_N(x, y)$$

式中, (x, y) 为红外图像中像素点的坐标; $f(x, y)$ 红外图像的灰度值; $f_B(x, y)$ 背景图像的灰度值; $f_T(x, y)$ 小目标的灰度值; $f_N(x, y)$ 噪声图像的灰度值。

红外小目标检测是红外预警系统中的关键技术和研究热点之一, 红外图像弱小目标的检测成为一个迫不及待要解决的难题, 早期检测目标对战争有至关重要性。红外小目标具有两个重要属性, 分别是“弱”和“小”。“弱”针对的是目标的强度而言, 反映到红外图像上就是说目标的灰度比较小, 以及图像的对比度小和信噪比低。“小”针对的是目标的几何尺寸小到几乎没有形状信息而言, 反映到红外图像上就是指目标所占的像素数少。目前, 红外成像系统的作用距离一般可达到十几公里, 目标在红外图像中所占的像素一般小于 8×8 像素。红外小目标有一个很重要的特点就是由一些图像灰度奇异点组成, 处于图像的高频部分, 而在红外图像中, 红外背景与高频部分是不相关的。

红外背景主要是大面积缓慢变化的低频部分。对于自然背景中的云层和海浪, 它们在空间上往往呈大面积的连续分布, 在红外辐射的强度上也呈渐变过渡状态, 从而使得它们的红外图像在图像灰度空间分布上具有较大的相关性; 同时, 由于场景和传感器内热分布的不均匀性, 背景图像是一个非平稳过程, 图像的局部灰度均值可能有较大的变化。尽管自然背景红外辐射的空间分布存在较大的相关性, 但并不是均匀的, 背景灰度值往往存在一些起伏, 是一种缓慢变化的非平稳的二维随机过程。另外, 由于各种自然背景(天空背景、海天背景、海面背景、地空背景)相互作用, 造成图像中也包含了部分空间频率域中的中频分量, 它们主要分布在各种自然背景交接处。

3 基于 UDWT 的小目标检测

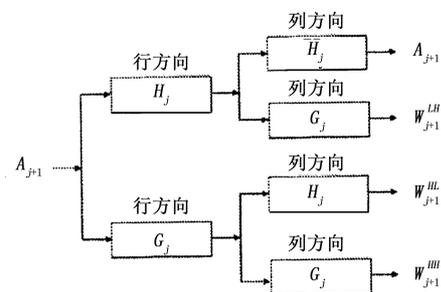
小波分析是一种强有力的数学分析工具, 近年来受到研究者的广泛关注, 其应用已遍及信号和图像分析以及通信的多个研究领域。小波分析能同时给出信号的时(空)域和频域信息, 它在图像降噪、图像融合、图像压缩、视频压缩等方面应用广泛。Donoho 等人提出了对一维信号的小波阈值去噪方

法, 此法也同样适用于图像处理噪声抑制, 许多有关文献对图像进行分解后子带图像噪声处理的阈值进行了详细的分析讨论, 以期达到较好的去噪效果。但是有一缺点就是, 图像经过正交小波变换后, 对分解的细节系数进行阈值处理后重建图像边缘附近容易产生振荡, 造成图像的边缘失真。特别当红外图像受噪声污染严重时, 图像信号多次分解, 对多层细节图像进行阈值处理后恢复时会造成图像模糊。如果阈值处理的小波变换系数层次较少, 则阈值处理后图像降噪效果不够理想。阈值小去噪效果也不是很理想, 而阈值大, 又会造图像恢复时边缘失真, 在文献[4]中就证实了这点。平稳小波变换^[11]是在传统正交小波变换基础上提出的一种新的小波变换方式, 利用平稳小波变换对图像进行降噪处理, 可以克服正交小波变换去噪存在的不足, 以达到较好的去噪效果^[12]。

我们都知道, 小波分析对信号奇异点非常敏感, 因而能有力地分析信号的部分突变(奇异点), 它已成功应用于边缘检测和时变信号的检测中。由前面的分析知, 红外小目标图像是由背景和噪声以及小目标组成的。背景信号和噪声以及小目标的光滑程度是不一样的, 即它们各自的奇异性不一样。根据信号奇异性的性质, 奇异性不同的信号, 那么他们的小波变换在不同的变换尺度下, 其小波变换的局部模极大值变化规律也是不相同的^[13]。在应用中, 同时也暴露出一些问题, 传统小波变换是不具有平移不变性、各向异性, 而且还具有严重的振铃效应, 而非抽样小波又刚好弥补了这些传统小波的不足, 在红外图像小目标检测中展现出迷人的效果。

以下简单介绍一下二维 UDWT 分解。

它最核心的思想: 去掉抽样小波变换中的下抽样, 取而代之是对滤波器上抽样, 二维图像 UDWT 分解示意如下所示^[14]。



$$\begin{aligned}
 H_j &\longrightarrow \boxed{\uparrow 2} \longrightarrow H_{j+1} & h_k^{[j]} &= h_k \uparrow 2^j = \begin{cases} h_{k/2^j}, & k = 2^j m, \text{ if } m \in \mathbf{Z} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \\
 G_j &\longrightarrow \boxed{\uparrow 2} \longrightarrow G_{j+1} & g_k^{[j]} &= g_k \uparrow 2^j = \begin{cases} g_{k/2^j}, & k = 2^j m, \text{ if } m \in \mathbf{Z} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \\
 A_{j+1}(m, n) &= \sum_k \sum_l h_k^{[j]} h_l^{[j]} A_j(m+k, n+l) & (1) \\
 W_{j+1}^{HH}(m, n) &= \sum_k \sum_l g_k^{[j]} h_l^{[j]} A_j(m+k, n+l) & (2) \\
 W_{j+1}^{HL}(m, n) &= \sum_k \sum_l h_k^{[j]} g_l^{[j]} A_j(m+k, n+l) & (3) \\
 W_{j+1}^{HH}(m, n) &= \sum_k \sum_l g_k^{[j]} g_l^{[j]} A_j(m+k, n+l) & (4)
 \end{aligned}$$

4 实验

根据前面对红外图像的分析可知,红外小目标由一些奇异点组成的,处于高频部分;一些简单红外图像的背景是处于低频部分,而一些红外复杂背景还含有中频分量,所以一般来说红外复杂背景处于中低频部分;噪声是随机产生的,也处于高频部分。尽管小目标和噪声都处于高频部分,但在小波域上,由于奇异性不同,信号和噪声有着不同的小波域特性,主要有如下二点:

(1)对信号来说,父系数大的话,那么随着尺度的增加它的子系数保持不变或变大,即信号对应的系数具有很强的相关性。

(2)噪声的小波系数随尺度的增加其幅度减小或相持,即噪声对应的系数不具有相关性或很弱。

因此,图像在相邻尺度上的小波变换的乘积能够放大边缘特征和削弱噪声。

在这个红外复杂背景图像中有四个小目标,四个小目标处于不同的局部环境中,如图1所示。

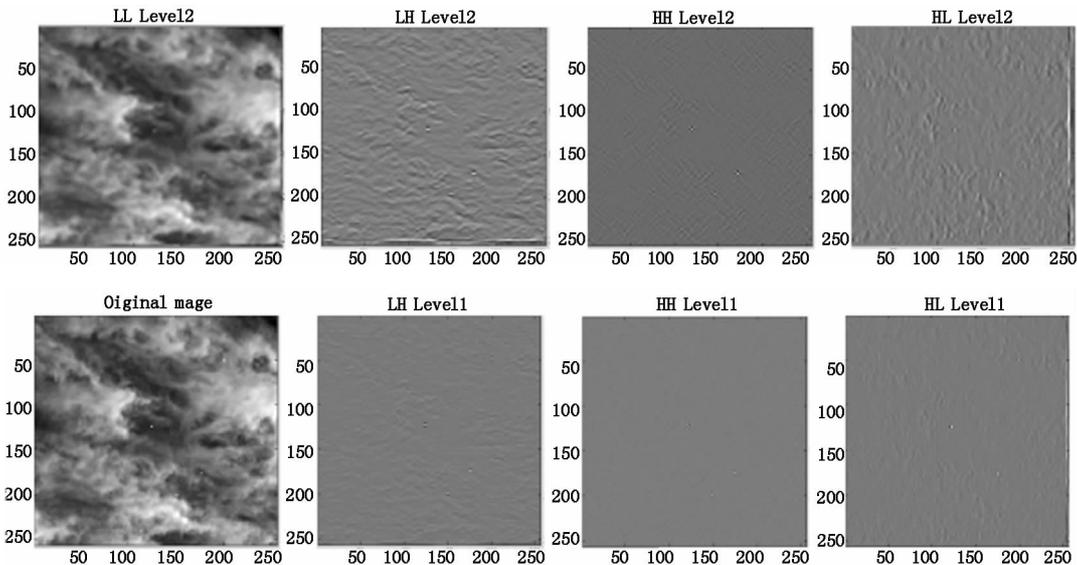


图1 用非抽样小波变换进行二层的分解

HL level 1、HH level 1、LH level 1 是对原始图像分别通过式(2)、(4)、(3)进行计算得到的。对原始图像通过式(1)计算得到 LL level 1。再对 LL level 1 进行同样的操作就得到以上小波分解系数,当然在分解过程中 LL level 1 也就不存在了。

由图像的数学模型 $f(x, y) = f_T(x, y) + f_B(x, y) + f_N(x, y)$, 通过抑制 $f_B(x, y)$ 项, 就能去除原始图像中的大面积背景分量, 然后对小波系数进行非抽样反变换得到图2所示结果。在本文中, 把小面型检测作为实验比较, 分别用 5×5 和 3×3 模型来进行实

验, 结果如图3所示。

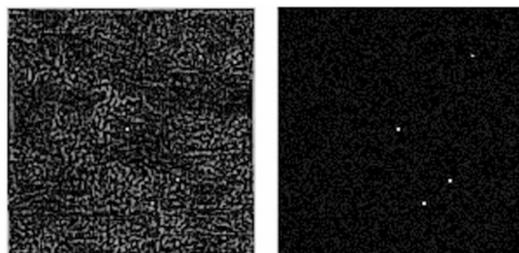


图2 非抽样反变换结果

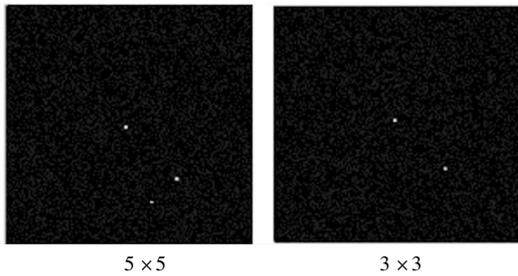


图3 小面型检测结果

为了比较噪声对这二种方法的影响,在图像中加入噪声,然后再用同样的方法对其进行检测,实验结果如图4~7所示。

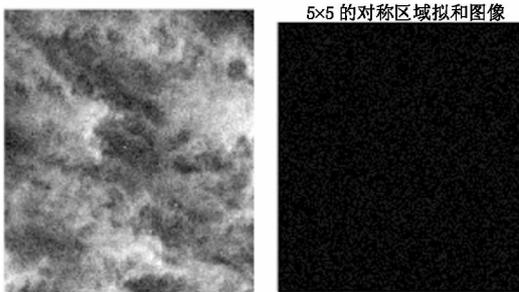


图4 红外噪声图像

图5 小面型检测结果

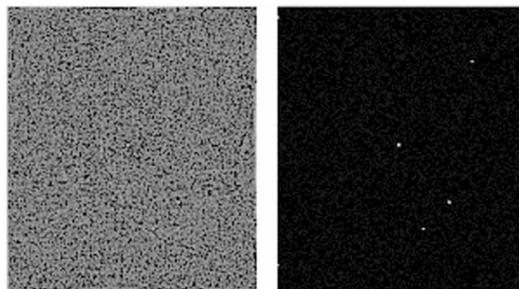


图6 处理后的反变换

图7 小目标检测结果

从图1可以看出经过二层分解后,LL level2 可以看成是大面积的背景图像,很容易看出非抽样小波对奇异点的检测是非常有效性的。对分解后的系数处理后,再进行反变换,可以得到图2,从而使四个小目标突现出来了,但还是含有一些非常弱的背景,最后进行图像分割得到最终的检测图,四个小目标都检测到了。为了比较此方法的有效性,还用小面型方法来进行对比。图3显示了用小面型进行检测得到的检测结果,只检测出了三个小目标,而漏检的目标是处于目标背景对比度低的局部背景中。由此可以看出非抽样小波对检测非常弱的奇异点是有效的。

为了测试非抽样小波和小面型方法对噪声的健壮性。本文又进行第二组实验,即在原始图像中加入高斯噪声,然后再用同样的方法进行检测。从检测结果可以看出,从图7可以看出四个小目标都检测出来了,而用小面型方法检测时,结果都没检测

出来。

因此,可以看出非抽样小波方法抗噪能力比普通的小波变换要高,小面型方法对噪声也比较敏感。非抽样的方法抗噪能力是以时间复杂度为代价换来的,用时当然比小面型方法要多。

参考文献:

- [1] 许春晓. 一种红外序列图像小目标检测新方法研究[D]. 武汉:华中科技大学,2005:10-27.
- [2] 郝红霞. 复杂背景下的红外弱小目标检测[D]. 武汉:华中科技大学,2006:14-28.
- [3] Alex Lipchen Chan, Sandor Z Der, Nasser M Nasrabadi. Multistage infrared target detection[J]. Opt. Eng., 2003, 42(10):2746-2754.
- [4] 张凤超,杨杰. 红外图像序列的目标增强和检测[J]. 红外与激光工程,2004,33(4):380-384.
- [5] 周卫祥,孙德宝,彭嘉雄. 红外图像序列运动小目标检测的预处理算法研究[J]. 国防科技大学学报,1999, 21(5):57-60.
- [6] G D Wang, Ch Y Chen, X B Shen. Facet-based infrared small target detection method[J]. Electronics Letters 27th October,2005,41(22):1244-1246.
- [7] A Aridgides, M Fernandez, D Randolph. Adaptive three-dimensional spatio-temporal IR clutter suppression filtering techniques[C]. SPIE,1990,(1305):63-74.
- [8] 黄林梅,张桂林,王新余. 基于动态规划的红外运动小目标检测算法[J]. 红外与激光工程,2004,33(3):303-306.
- [9] 孙翠娟,杨卫平,沈振康. 一种基于匹配滤波的红外小目标检测系统[J]. 激光与红外,2006,36(2):147-150.
- [10] 夏爱利,马彩文,张砺佳. 红外小目标检测与跟踪方法研究[J]. 科学技术与工程,2006,6(20):3329-3333.
- [11] G P Nason, B W Silverman. The stationary wavelet transform and some statistical applications in wavelet and statistics[C]//A Antoniadis ed. Lecture Notes in Statistics. Berlin:Spinger Verlag,1995:281-299.
- [12] 高清维,李斌,解光军,等. 基于平稳小波变换的图像去噪方法[J]. 计算机研究与发展,2002,39(12):1689-1694.
- [13] 过润秋,李大鹏,林晓春. 红外点目标检测的小波变换方法研究[J]. 光子学报,2004,33(4):464-468.
- [14] Bruno Aiazzi, Luciano Alparone, Stefano Baronti, et al. Context-driven fusion of high spatial and spectral resolution images based on oversampled multiresolution analysis[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2002,40(10):2300-2312.