

文章编号:1001-5078(2007)01-0094-04

海天背景红外图像小目标自动定位方法

张春华,周晓东,刘松涛

(海军航空工程学院控制工程系,山东 烟台 264001)

摘要:通过对舰载红外警戒系统成像进行分析,提出了一种基于交叉算法的海天背景红外小目标的自动定位方法。其基本思路是根据红外图像的特点,首先通过 Radon 变换域极大值点提取海天线,然后沿海天线平行的方向取与海天线平行的直线,进行频率突变点的检测,最后由海天平行线和频率突变点处坐标共同对红外图像小目标进行定位。试验结果表明,该算法能快速、准确地对目标自动定位。

关键词:小目标定位;Radon 变换;小波变换

中图分类号:TP751 **文献标识码:**A

A Small Target Auto-orientation Method of Infrared Image with Sea-sky Background

ZHANG Chun-hua, ZHOU Xiao-dong, LIU Song-tao

(Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai 264001, China)

Abstract: An auto-detection method based on 'cross algorithm' is introduced for infrared image small target detection. By utilizing the method on ship infrared search and track system, the algorithm proves to be ability to detect the small infrared target rapidly and exactly and with high detection ability. The method includes the following steps. First, an auto detection of sea-sky-line is implemented through Radon transform. Then nearer lines paralleling to sea-sky-line is availed to detect the break point of frequency. At last, the line paralleling to sea-sky-line together with the break point of frequency ascertains the position of IR small target. The algorithm has a high efficiency and can achieve real-time auto-orientation of IR small target.

Key words: small target auto-orientation; Radon transform; wavelet transform

1 引言

远距离红外弱小目标的自动定位方法是红外搜索与跟踪系统、精确制导系统、红外警戒系统、卫星遥感系统的一项核心技术。远距离时,舰载红外警戒系统所探测的目标在图像中只占一个或几个像素的面积,处于水天线附近的复杂背景中,由于成像面积小、信号弱、信噪比低,海天背景中弱小目标的检测一直是监视和报警系统的难点^[1],迫切需要建立一种海天背景红外图像小目标自动定位方法。

本文根据海天背景红外图像的性质,提出了“交叉算法”对红外小目标进行精确定位。主要步

骤为:(1)通过红外图像在 Radon 变换域的极大值自动检测海天线;(2)基于连续小波变换的瞬时频率点检测的方法,取与海天线平行的直线,利用 Kingbury 提出的一种二元树复小波变换算法在空间-频率平面对目标在图像中的纵坐标进行精确定位;(3)利用海天平行线和瞬时频率出现点垂直线交叉对红外小目标定位。实验结果证明,本文算法实现了海天背景红外小目标的快速自动定位,并具有鲁棒性。

作者简介:张春华(1980-),女,汉,博士在读,主要从事目标检测、模式识别方面的研究。

收稿日期:2006-05-01

2 红外图像小目标自动定位方法

2.1 基于 Radon 变换的海天线提取方法

在海面远距离平视状态下,海面舰船目标成像一般分为三个区域:天空区域、海面区域和海天天线区域。目标若是出现,则一定处于海天天线区域。针对上述特点,通过确定海天天线区域,可以减少执行目标定位时的计算量,因此海天天线提取是必须的。

文献[2]采用行映射直方图的方法确定海天天线区域,这种方法适用于简单的海天背景,但二值化门限不好确定;文献[3]提出对源图像进行平均,取列方向梯度最大值位置处为海天天线位置,但这种方法没有考虑到海天天线是倾斜的情况;文献[4]利用梯度的思想,提出用直线拟合法进行海天天线检测,这种方法在复杂情况下也难以取得满意的提取效果。

Radon 变换在数学理论上具有重要价值,而且在提取线特征方面具有很强的抗噪能力,考虑到海天天线具有“直线型”特征,所以 Radon 变换用于此研究具有天然的优势。

根据海天天线为直线模型,本文利用 Radon 变换在变换域取极大值点的方法中达到海天天线的自动检测目的。具体算法是先用方向梯度算子得到差分图像,然后基于边缘阈值策略二值化图像,最后用 Radon 变换在变换域取极大值点检测海天天线。

对于二维图像, Radon 变换实质上是计算图像在指定方向上的投影, Radon 变换利用图像 $f(x, y)$ 在垂直方向上的线积分是 $f(x, y)$ 在 x 方向上的投影,在水平方向上的积分是 y 方向上的投影,推而广之,投影可沿任意角度 θ 进行,通常 $f(x, y)$ 的 Radon 变换是 $f(x, y)$ 在 y' 轴的线积分^[5]:

$$R_{\theta}(\rho) = \iint f(x, y) \delta(\rho - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy$$

其中, $f(x, y)$ 为图像点 (x, y) 的灰度值; ρ 为坐标原点到直线的距离; θ 为距离向与 x 轴夹角。

Radon 变换可以理解为图像在 $\rho\theta$ 空间的投影, $\rho\theta$ 空间的每一点对应一条直线,而 Radon 变换是图像像素点在每一条线上的积分。因此,图像中存在的较明显的直线会在 $\rho\theta$ 空间形成亮点,直线检测变为在变换域的点检测, Radon 变换在积分运算环节抵消了噪声所引起的亮度起伏。从直线检测方面看, Radon 变换 $\rho\theta$ 空间域较源图像空间域有更高的信噪比 (SNR),这也是 Radon 变换更适用于低 SNR 图像直线检测的原因。海天背景红外图像的灰度值反映了海天背景的温度,而无论是海面或者是天空,其温度都具有相对的均一性,图像中只有海天天线

表现出较强的直线特征,而海天天线区域存在较大的梯度值,因此对外差分图像在 Radon 变换域中保留极大值点然后反变换便可提取图像的海天线。这种方法不需要设定阈值,过程不需要人工参与,具有很强的自动性。海天背景红外图像小目标自动定位如图 1 所示。图 1(a) 为原始红外图像,对其海天天线的检测如图 1(b) 所示。图 1(c) 为原始图像 (240 × 240 像素) 与提取出的海天天线的叠加图,可以看出, Radon 变换极大值点可准确地提取出海天线。

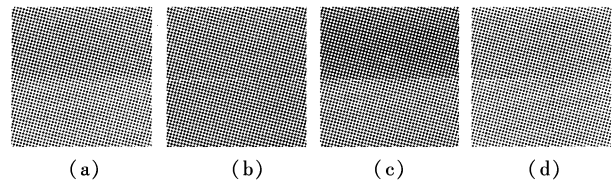


图 1 海天背景红外图像小目标自动定位

(a) 原始红外图像; (b) Radon 变换海天天线检测; (c) 海天天线在图像的位置; (d) 定位结果图

检测出海天线以后,以海天天线为中心的 $[-\sigma, +\sigma]$ 区域划分为目标潜在区域,在此基础上对目标进行定位,大大降低了后续图像分割和目标识别的计算量,并抑制了区域外干扰。

2.2 基于小波变换的目标定位方法

由于红外图像目标处于海天天线区域,在没有目标存在的条件下,图像中与海天天线平行的直线可以被近似认为是平稳信号,不存在频率的突变;而有目标时,目标点处图像灰度值与背景差异较大,存在频率的突变,因此可以通过小波变换时频分析的方法对频率突变点进行检测,进而确定目标的位置。在已经检测出海天线的基础上,在原始图像上取与海天天线平行的直线进行时频分析,可以实现对红外小目标在垂直方向上的位置。

分析非平稳信号常用的方法,是对信号进行窗口傅里叶变换或小波变换,得到信号的瞬时频率随时间的变化关系。窗口傅里叶变换由于采用固定宽度的时域窗,在缓变与瞬变信号共存的宽频带信号分析中,其时间与频率分辨率矛盾突出,小波变换的优越性在于它可以调节其自身的尺度来对信号作分解,以提供信号在频率和时间(空间)的更准确的局部信息^[6]。尺度越大,意味着小波函数在时间上越长,被分析的信号区间也越长,因此,尺度越大意味着频率的分辨率越低,主要获取的是信号的低频特性。反之,尺度越小,意味着只与信号的非常小的局部进行比较,主要获取系统的高频特性。

采用 Mallat 算法的小波变换能够将信号正交分解成多尺度的信号分量,然而所提供的时频信息不很直观,难以识别其时频谱,且丢失了信号的相位信息。因此,本文根据 Kingbury 提出的二元树小波变换^[7]思想,利用二元树连续小波变换的方法检测信号的频率突变点。

复小波函数可以表示为:

$$\psi(t) = \psi_h(t) + j\psi_g(t)$$

其中, $\psi_h(t)$ 与 $\psi_g(t)$ 均为实小波函数。

复小波变换的滤波系统与实小波变换的滤波系统在结构上完全相同,不同之处只是在于复小波变换中使用的滤波器的系数都是复数,而且输出结果也都是复数,变换后的结果包含了对原信号的幅度和相位信息的描述。对于复小波变换, Kingsbury 提出复小波变换可用两次实小波变换对进行等价,即二元树小波变换。

二元树复小波变换实际上是对信号 $f(t)$ 作两次一维小波变换,即原始信号分别通过滤波器 $h_0(n)$ 、 $h_1(n)$ 和 $g_0(n)$ 、 $g_1(n)$ 。 $h_0(n)$ 、 $h_1(n)$ 为一组共轭正交滤波器(CQF),低通滤波器 $h_0(n)$ 的自相关函数满足:

$$\sum_n h_0(n)h_0(n+2k) = \delta(n) = \begin{cases} 1, & n=0 \\ 0, & n \neq 0 \end{cases}$$

高通滤波器 $h_1(n) = (-1)^{1-n}h_0(1-n)$,两者在 z 变换域的表示形式为:

$$H_0^*(z)H_0(1/z) + H_0^*(-z)H_0(-1/z) = 2$$

$$H_1^*(z) = \frac{1}{z}H_0^*(-1/z)$$

在这里, $H^*(z)$ 表示 $h(n)$ 的 z 变换。

与共轭正交滤波器对($h_0(n)$ 、 $h_1(n)$)对应小波函数 $\psi_h(t)$ 和尺度函数 $\phi_h(t)$ 分别满足下面的二尺度方程^[8]:

$$\phi_h(t) = \sqrt{2} \sum_n h_0(n) \phi_h(2t-n)$$

$$\psi_h(t) = \sqrt{2} \sum_n h_1(n) \phi_h(2t-n)$$

$g_0(n)$ 、 $g_1(n)$ 也是一组 CQF。

设计合理的小波函数 $\psi_h(t)$ 和 $\psi_g(t)$,使 $\psi_g(t)$ 是 $\psi_h(t)$ 的 Hilbert 变换^[8],即满足公式(1),则 $\psi(t)$ 负频率为零, $\Psi(\omega) = 0, \omega \leq 0$ 。

$$\Psi_g(\omega) = \begin{cases} -j\Psi_h(\omega), & \omega \geq 0 \\ j\Psi_h(\omega), & \omega < 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, $\Psi(\omega) = H^*(e^{j\omega})$ 。

问题是怎样设计 $h_0(n)$ 和 $g_0(n)$ 才能使相对应的小波函数为 Hilbert 变换对,文献[9]提出低通滤

波器 $H_0(\omega)$ 、 $G_0(\omega)$ 满足公式(2)时,相应的小波函数为 Hilbert 变换对。

$$G_0(\omega) = H_0(\omega)e^{-j\omega/2} \quad |\omega| < \pi \quad (2)$$

因此,如果合理设计滤波器,使得通过滤波器 $h_0(n)$ 和 $h_1(n)$ 得到的结果可看作复数小波变换系数的实部,而通过 $g_0(n)$ 和 $g_1(n)$ 得到的结果可看作复小波变换系数的虚部,并且实部和虚部等效于原始信号经 Hilbert 变换所得复信号的实部和虚部分别通过滤波器得到的结果,那么,就得到了实信号经过小波变换后的二元树复小波系数。可以求出信号在固定尺度变换下的瞬时相位和瞬时频率。采用连续小波变换的方法,就可以得出不同尺度复小波变换下信号的频率随时间的关系,为了准确地对目标进行定位,本文对空间-频率图提取频率方向的最大值,并对其进行平均作为目标在直线中的纵坐标。图2为距离海天线向上扫描分别为4、7、8、15个像素的直线连续小波变换的空间-频率图像。可以看出,这种方法能准确地对红外小目标进行定位,小目标在图像中的横坐标为平行于海天线,且在海天线上方4-7个像素的位置,纵坐标为142。

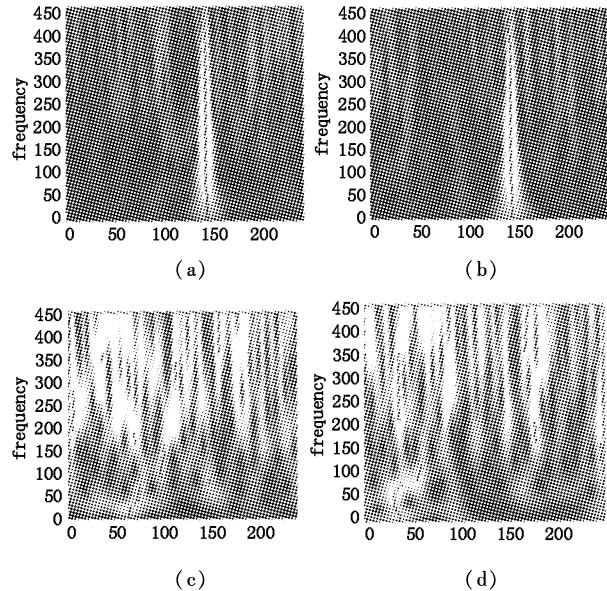


图2 连续小波变换对目标进行定位

(a)海天线上方4个像素;(b)海天线上方7个像素;(c)海天线上方8个像素;(d)海天线上方15个像素

3 算法流程及结果分析

本文所用的算法流程图如图3所示。

图4为对另外一幅低信噪比红外图像(240×240像素)进行同样的处理并对目标进行定位的结果,结果为目标存在于海天线上方9个像素处,纵坐标为106。

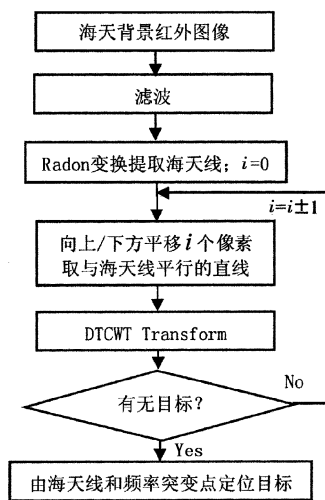
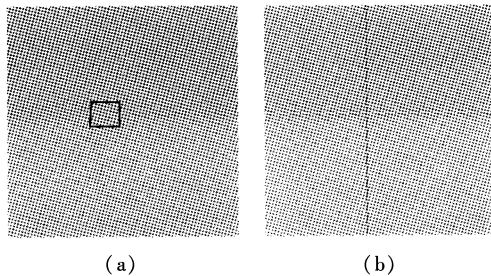


图3 算法流程图

图4 海天背景红外图像小目标自动检测
(a)原始红外图像;(b)目标定位结果

4 结论

综上所述,本文提出的“交叉算法”红外图像小目标自动定位的优点可以概括为:(1)通过图像 Radon 变换域极大值点对海天线进行自动的提取,不需要人为设置阈值;(2)计算量小,由于目标存在于海天线附近,对以海天线为中心的 $[-\sigma, +\sigma]$ 区域进行扫描可以快速地定位图像中的小目标;(3)对同一序列的海天背景红外图像小目标具有较准确的定位性,不需要人工参与,实现了红外图像小目标的自动定位,为目标识别与跟踪奠定了基础。

(上接第 84 页)

中,单辐射源反射式测试,其系统结构简单,由于测试激光要经过多次反射和衰减,因此要求辐射源的辐射强度要大,对探测器要求高。单辐射源扫描式测量系统构成复杂,场地选择要求高,但克服了多台仪器同时测试所显示出来的诸多缺点,又发挥了先进技术应用透过率测试中的优势:通道设置机动性大、测试精度高、数据可靠、数据处理灵活、操作较方便等。在实际的测量工作中,可根据不同的测试目的和测试条件选择不同的测试方法。

参考文献:

[1] 薛建国,王冰. 红外烟雾透过率测量原理及其精度分

析[J]. 光电技术应用,2005,20:9-12.

参考文献:

- [1] 叶增军,王江安,阮玉,等. 海空复杂背景下红外弱点目标的检测算法[J]. 红外与毫米波学报,2000,19(2):121-124.
- [2] 张锋,杨树谦,倪汉昌. 舰船红外图像特征提取及目标识别技术探讨[J]. 红外与激光技术,1991,(2):21-25.
- [3] Mohanty N C. Image Enhancement and Recognition of Moving Ship in Cluttered Background [J]. IEEE 82CH1761-6/82,1982,135-140.
- [4] 裴继红. 海面舰船红外成像目标的实时识别与跟踪[D]. 西安电子科技大学硕士学位论文,1994.
- [5] Rey M T, Tunaley J K, Folinsbee J T, et al. Application of Radon transform techniques to wake detection in sea-sat2SAR images [J]. IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing,1990,28(4):553-560.
- [6] 杨力华,戴道清,等. 信号处理的小波导引[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [7] N G Kingsbury. Image processing with complex wavelets [M]. Phi. Trans. Royal Society London A, September 1999.
- [8] Ivan W Selesnick. Hilbert Transform Pairs of Wavelet Bases [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2001, 8(6):170-173.
- [9] S M Phoong, C W Kim, P P Vaidyanathan. A new class of two-channel biorthogonal filter banks and wavelet bases [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1995, 43(3):649-665.

析[J]. 光电技术应用,2005,20:9-12.

- [2] 韩洁,张建奇,何国经. 红外烟雾干扰效果评估方法[J]. 红外与激光工程, 2004,33:69-72.
- [3] 王晓. 光电无源干扰的试验理论与技术[D]. 国防科技大学博士学位论文,1999.
- [4] 杨臣华,等. 激光与红外技术手册[M]. 北京:国防工业出版社,1990.
- [5] 熊晓伟. 光电干扰定量评价的研究[D]. 西安电子科技大学硕士学位论文,1995.
- [6] 许春玉,谢德林,杨虎. 激光大气传输透过率的分析[J]. 光电工程,1999,26:18-22.
- [7] 王永仲. 现代军用光学技术[M]. 北京:科学出版社,2002.