

一种新的方法用于星敏感器近红外星图星点提取

廖育富^{1,2}, 钟建勇¹

(1. 中国科学院光电技术研究所, 四川 成都 610200; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 分析了近红外星图小波分解系数的特点。依据小波分析的边缘检测特性、解相关性和多分辨率特性结合星点的灰度分布特征设计了不同尺度下的检测模板。在恒虚警概率条件下, 提出利用局部阈值克服红外星图本身的背景不均匀性。通过在星图第二次分解的近似系数上检测星点最大灰度值的位置, 削弱了单点噪声和条纹噪声的影响。实验结果显示, 算法能有效得出视场中的星点最大灰度值坐标, 误差在 1 个像素位置左右, 满足后续星点提取的需要。

关键词: 近红外星图; 小波分析; 单点噪声; 条纹噪声; 星点提取

中图分类号: V19 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2014)05-1667-05

A new method used for star distillation of near-infrared star image of star tracker

Liao Yufu^{1,2}, Zhong Jianyong¹

(1. Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610200, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The distillation of near-infrared star image of star tracker was analyzed in this paper. A new method for this problem was presented. Firstly, characters of near-infrared star image in wavelet domain were analyzed and mask used to detect stars in multi scales were designed according to the distribution of the gray of stars. Then, local threshold was applied to overcome the imbalance of the background under the constant false alarm rate. Lastly, positions of the heaviest gray values of stars in the secondly decomposed approximation coefficients were accessed, eliminating the effect of the single point noise and stripe noise. Experimental results indicate that the method could efficiently obtain the position of the heaviest gray value of detected stars with error around one pixel, which satisfies the requirement of estimation of centroid.

Key words: near-infrared star image; wavelet analysis; single point noise; stripe noise; star distillation

收稿日期: 2013-09-20; 修订日期: 2013-10-21

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2014CB744200)

作者简介: 廖育富(1990-), 男, 硕士生, 主要从事星敏感器星图预处理方面的研究。Email: sduliao yufu@163.com

导师简介: 钟建勇(1964-), 男, 研究员, 硕士生导师, 主要从事航空航天科学与工程方面的研究。Email: dlz6@ioe.ac.cn

0 引言

随着天文导航技术的发展,星敏感器作为飞行器姿态测量的一种高精度导航系统受到了极大的关注。通常,星敏感器在夜间环境下针对可见光波段对恒星进行观察并为载体提供姿态信息。为了扩展星敏感器的应用环境即发展全天时星敏感器,很多国家进行了白天观星的实验,其中对多谱段的研究一直是个热点。在国内,一些研究机构也展开了近红外波段的观星实验。

由于近红外星图存在单点噪声、条纹噪声、背景不均匀性及背景过强等特点,微弱的星点难以提取。国内外很多学者研究强背景、低信噪比条件下点目标的提取问题,对近红外星图中星点目标的提取也属于这类问题。

红外图像中点目标的提取,目前比较常用的方法是基于背景预测的方法,典型的背景预测算法有中值滤波、二维最小均方滤波、高通滤波和形态学滤波等^[1-2],这类算法会使小目标失真严重。对星图而言,星点能量比较微弱,对星图的背景估计显得尤为困难。而且这类算法甚至会改变星点灰度值的相对分布,影响星点的质心计算精度。有些学者采用基于图像融合的技术,但是对图像进行融合需要多幅图像,对追求实时性的星敏感器而言,处理图像序列较困难^[3]。另外,这类算法往往需要对整幅星图进行处理,与实时或准实时处理原则相悖。

文中针对近红外星图的特点,对其小波分解系数进行分析,仅在原图像 1/16 大小的像素范围内进行星点灰度信息检测。依据小波系数的基本性质及星点灰度分布特征给出 ROI(Region of Interest)的检测模板,并在恒虚警概率条件下给出检测阈值的计算公式。通过实验分析,该算法能有效地标识出星图中星点最大灰度值的位置,削弱单点噪声及条纹噪声的影响,与最后计算所得质心比较,误差在 1 个像素左右。

1 红外星图小波分析

对于任意平方可积函数,可以写成公式(1)的形式^[4]。

$$f(t) = \sum_k C_j(k) \varphi_{j,k}(t) + \sum_{j=J}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d(j,k) \psi_{j,k} \quad (1)$$

其中

$$C_j(k) = \langle f(t), \varphi_{j,k}(t) \rangle = \int f(t) \varphi_{j,k}(t) dt$$

$$d(j,k) = \langle f(t), \psi_{j,k}(t) \rangle = \int f(t) \psi_{j,k}(t) dt$$

$\varphi(t)$ 和 $\psi(t)$ 分别为尺度函数和小波函数^[4]。

小波二维分解图像的示意图如图 1 所示。

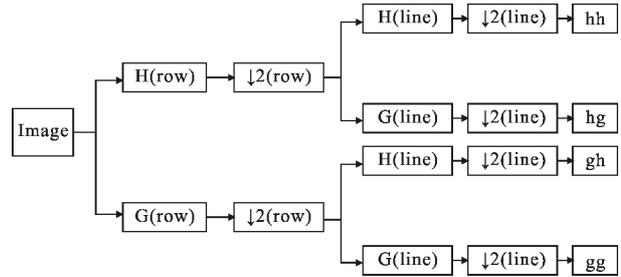


图 1 图像小波分解

Fig.1 Wavelet decomposition of image

hh、hg、gh 和 gg 为对图像作一层小波分解得到的四张大小为原始图片 1/4 大小的图片,分别代表原始图像的近似信息、水平方向细节信息、垂直方向细节信息及对角方向的细节信息。

对于近红外星图而言,单点噪声出现在 gg 中,而星点 80%以上的能量依然在 hh 中,条纹噪声(看作背景垂直方向的细节)有相当的能量分布在 gh 中。二层小波分解得到的 hh₂ 中,基本不存在单点噪声干扰。由于小波自身的边缘检测特性,对于条纹噪声来说,其能量会有部分遗留在 gh₁ 和 gh₂ 上。hh₂ 相对于原始红外星图而言,条纹噪声及单点噪声对星点提取所带来的干扰被大大削弱了。

利用小波域的尺度间数据分布规律的相似性(如图 2 所示),可快速得出星点在原始星图中的大致像素位置。

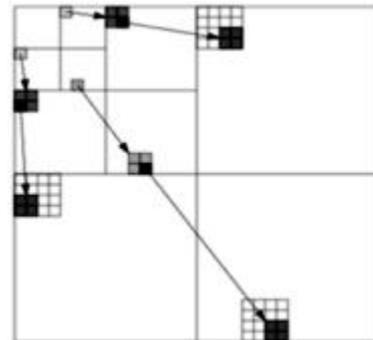


图 2 小波系数相关结构图

Fig.2 Correlation of wavelet coefficients

2 近红外星图星点提取

在 hh_2 中检测 ROI 的意义在于, hh_2 的尺寸仅为原始星图的 1/16, 有利于星点的实时提取。由于星点的能量主要集中在 hh_2 , 在 hh_2 中对星点的可能位置进行粗略地判断。在 hh_2 中判断星点位置, 遵循如下两个原则:

(1) 星点的中心像素位置的灰度值应该大于其毗邻的四个像素值, 检测模板如图 3(a) 所示; (2) 星点的中心像素位置灰度值应该大于基于该像素点周围灰度值在恒虚警概率下的阈值^[5]。

阈值的计算, 利用公式(2)。

$$V_{th} = E + a \cdot \delta \quad (2)$$

其中, $E = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n A_{xy}}{mn}$, 为局部灰度值均值; $\delta =$

$$\sqrt{\frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (A_{xy} - E)^2}{mn - 1}}$$

为局部标准差。当要求的虚警概率在 10^{-5} 这个数量级上时, 通常 a 依据相机的焦距和曝光时间取值范围为 3~5^[5]。

选用局部阈值可以克服近红外星图背景的不均匀性。通过上述两个原则, 可以对星点位置进行粗略的判断。由于 gh_2 受到垂直方向条纹噪声的干扰, 不对其作星点进一步检测。而在 hg_2 及 gg_2 中对星点灰度进一步检测, 相应的模板分别如图 3 (b)、(c) 所示。分别采用如下的两个原则:

(1) 在 hg_2 中, 星点最大灰度值所处的位置, 应该使得模板中的斜线标记位置灰度值大于左右毗邻的灰度值, 如图 3(b) 所示。

(2) 在 gg_2 中, 星点最大灰度值所处的位置, 应该满足模板中的斜线标记的位置灰度值大于正对角的灰度值, 如图 3(c) 所示。

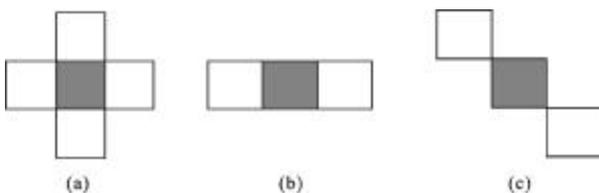


图 3 hh_2 、 hg_2 、 gg_2 中用到的检测模板

Fig.3 Mask of detection used in hh_2 , hg_2 and gg_2

对星点位置进行定位后, 利用小波系数的相关性及保持特性, 可以快速地在 hg_2 及 gg_2 中进行进一步分析, 提高了处理的速度。

检测星点最大灰度值位置后, 在 hh_2 中保留中心点的灰度值, 其余尺度灰度值置零, 作小波逆变换, 得到大致标识星点位置的图像。得到的图像中对每个“星点”而言, 像素灰度值最大且第一次搜索到, 定位为原始星图中星点的最大灰度值位置。在该位置建立质心提取窗口, 可进一步对星点质心进行精确计算。

3 仿真实验与分析

实验中选择四幅外场实拍近红外星图(两幅单星模式星图, 两幅多星模式星图)。利用文中提出的算法对上述星图进行处理。比较标识星点位置的图像和原始星图。同时以表格的形式列出了实拍近红外星图中星点最大灰度值坐标、搜索得到的最大灰度值坐标和质心计算的结果。

采用质心法计算星点质心, 计算如公式(3)和(4)所示^[6]。

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n G(i, j)x_i}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n G(i, j)} \quad (3)$$

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n G(i, j)y_j}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n G(i, j)} \quad (4)$$

式中: x_c 和 y_c 为计算得到的质心; $G(i, j)$ 是位于坐标 (i, j) 处的灰度值; m 和 n 为质心计算窗口的大小。

图 4 中 (a)、(b) 两幅实拍近红外星图, 图 (b) 中星点的亮度较低。经由文中提出的算法处理过后, 标识星点最大灰度值位置的图像如图 5(a)、(b) 所示。单星模式下, 原始星图中星点最大灰度值坐标、处理后所

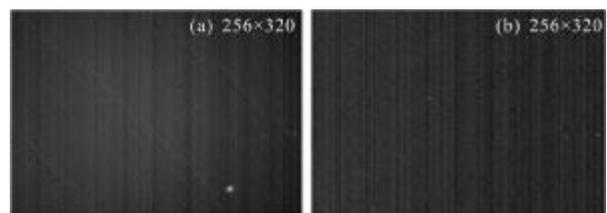


图 4 单星模式原始星图

Fig.4 Original image under single-star model

得星点最大灰度值的坐标值及计算得到的星点质心如表 1 所示。

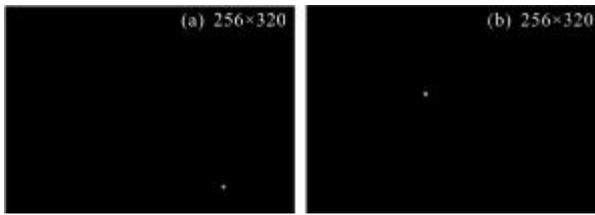


图 5 单星模式星点提取结果
Fig.5 Processed image under single-star model

表 1 单星模式原始星图中星点最大灰度值坐标和处理星图后标示最大灰度值坐标对比

Tab.1 Contrast of coordinates of the heaviest gray value between original star image and processed image under multi-star model

Coordinates of stars in original image	Coordinates of stars in processed image	Coordinates of star center
(241,222)	(241,222)	(241.331 5,222.239 6)
(129,109)	(129,109)	(128.639 7,109.834 2)

图 6 中(a)、(b)两幅近红外星图有多颗星,图(a)中有 4 颗星,其中一颗能量较微弱,图(b)中有 12 颗星。处理得到的标识星点位置的图像如图 7 (a)、(b)所示。星点最大灰度值坐标、搜索得到的最大灰度值坐标及质心计算结果如表 2 所示。

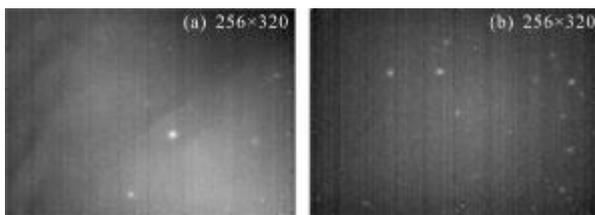


图 6 多星模式原始星图
Fig.6 Original image under multi-star model

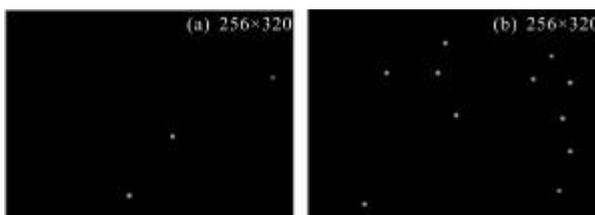


图 7 多星模式星点提取结果
Fig.7 Processed image under multi-star model

表 2 多星模式原始星图中星点最大灰度值坐标和处理星图后标示最大灰度值坐标对比

Tab.2 Contrast of coordinates of the heaviest gray value between original star image and processed image under single-star model

Coordinates of stars in original image	Coordinates of stars in processed image	Coordinates of star center
(300,82)	(300,82)	(300.022 2,81.603 4)
(276,162)	Failed	(275.531 4,161.108 8)
(186,155)	(186,155)	(185.491 2,154.938 4)
(140,228)	(140,228)	(139.486 1,228.008 9)
(150,43)	(150,43)	(149.484 4,42.496 8)
(143,78)	(142,79)	(142.492 8,78.027 3)
(162,129)	(162,129)	(162.465 0,128.501 9)
(88,80)	(88,80)	(87.548 5,79.531 1)
(62,239)	(62,239)	(61.506 9,238.536 4)
(266,59)	(266,59)	(265.520 9,58.499 6)
(248,86)	(248,87)	(247.485 4,85.579 7)
(277,134)	(278,133)	(276.505 6,132.992 0)
(286,174)	(286,175)	(285.474 9,174.021 9)
(277,223)	(275,223)	(276.498 5,222.509 3)

从实验结果可以看出,文中的算法能有效检测出星点最大灰度值的位置,误差在 1 个像素左右。导致这种结果主要有两个方面的原因:(1) 星点本身的灰度最大值可能不止 1 个;(2) 小波逆变换将小波系数映射成四个标识原始星点位置的相邻的像素值。但是并不影响最后进行星点质心的亚像素计算。搜索得到星点的最大值坐标之后,在相应位置建立质心提取窗口,进一步确定真实的最大灰度值坐标,完成星点质心计算。

4 结 论

文中通过分析近红外星图中存在的严重干扰星点提取的条纹噪声、单点噪声及背景过强等特点。利用图像小波分解系数的一些基本特征,如:边缘检测特性、解相关性和多分辨率特性,对近红外星图进行分析。利用第二层小波分解结果并结合小波分解系数的重要特征和星点灰度分布特征,设计了星点最大灰度值检测模板。并在恒虚警概率条件下,对星点最大灰度值进行检测。利用局部阈值,克服了红外星

图本身的背景不均匀性。从实验结果可以看出,检测星点最大灰度值坐标误差在 1 个像素左右,满足后续进行星点质心计算的需要。

参考文献:

- [1] Zhang Shijun, Jing Zhongliang, Li Jianxun, et al. Small target detection of infrared image based on energy features [C]//IEEE Int Conf Neural Networks & Signal Processing, 2003, 12: 14-17.
- [2] Dong Weike, Zhang Jianqi, Yang Dingding, et al. Homogeneous background prediction algorithm for detection of point target[J]. Infrared Physics & Technology, 2011, 54: 70-74.
- [3] He Lisha, Xie Lijun, Xie Tian, et al. An effective TBD algorithm for the detection of infrared dim-small moving target in the sky scene [C]//CMSP, 2012, CCIS 346: 249-260.
- [4] Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation [J]. IEEE Trans Patt Anal Machine Intell, 1989, 11: 674-693.
- [5] Shen Xiaofang, Liu Chaoshan. The blurred star image preprocessing technique of star sensor [C]//Photonics and Optoelectronics(SOPO), 2012 Symposium in Shanghai: 1-2.
- [6] Liebe C C. Accuracy performance of star trackers-a tutorial [J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic System, 2002, 38: 587-599.
- [7] Malak Anees Samaan. Toward faster and more accurate star sensors using recursive centroiding and star identification[D]. Texas: Texas A&M University, 2003: 8.
- [8] Wei Ying, Shi Zelin, Yu Haibin. Wavelet analysis based detection algorithm for infrared image small target in background of sea and sky [C]//Proceedings of the 3rd International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, 2003.