

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 2-0318-04

一种新的 CCD 星图快速处理方法

谌 钊 华卫红 罗 成 王增亮

(国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要 CCD 星图快速处理是制约星敏感器等光学观测器件性能的关键因素之一。通过对 CCD 星图图像的分析, 提出了基于 Top-hat 变换和中值滤波的星图噪声去除方法, 该方法的优点在于去除噪声的同时能很好地保留星点的边缘信息; 在此基础上, 提出了基于梯度霍夫(Hough)变换的星点快速定位算法。与传统方法相比, 该算法实现简单, 运算速度快, 提高了星图处理效率。对分辨率为 752×580 的 CCD 实拍星图的实验研究表明了该算法的有效性。

关键词 图像处理; Top-hat 变换; Hough 变换; 星点定位

中图分类号 TN911.73 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL200936s2.0318

A New Method for CCD Star Image Rapid Processing

Shen Zhao Hua Weihong Luo Cheng Wang Zengliang

(College of Optoelectronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract Rapid processing of CCD star image is a key technique for star sensors as well as other optic surveillance sensors. The foreground of CCD star image is different from the background distinctly. A method of star image de-noising based on Top-hat transformation and median filter is presented. This de-noising method is able to hold the edge of stars. Then a new algorithm based on grads Hough transformation for star point rapid locating is presented. The new algorithm is simpler and high efficiency for star image processing. Experiments on real CCD star image with size of 752×580 indicats the validity of the algorithm.

Key words image processing; Top-hat transformation; Hough transformation; star locating

1 引言

滤除 CCD 星图中的噪声, 提取出星点并定位, 是利用恒星信息进行空间科学观测的前提条件。例如星敏感器的星图匹配、天基光学空间目标监视的信息处理等。在传统的 CCD 星图处理过程中, 星图处理步骤为: 1) 将星体目标与背景分开; 2) 将单个星体目标与其他星体目标分离开。第一阶段的目标可以通过星图的阈值分割实现; 而实现第二阶段目标采用的是连通域法。此外, 王兆魁等^[1]还提出了交叉投影算法进行星点提取和定位。

通常恒星在 CCD 星图中呈现为圆形光斑, 本文提出一种完全不同于传统思路的星点提取和定位算法。利用 Top-hat 变换和中值滤波相结合的算法滤除星图中的噪声, 包括光子噪声、背景噪声、仪器噪

声和读出噪声以及 CCD 的颗粒噪声^[2], 同时最大限度地保留星点的边缘信息。在此基础上, 提出基于梯度霍夫(Hough)变换的星点检测定位算法。与传统星点定位算法相比, 该算法运算速度快, 且具有良好的抗干扰特性, 对于 CCD 星图中光斑不够完整的星点也能进行快速检测和定位。

2 算法原理及实现过程

2.1 星图去噪算法

2.1.1 Top-hat 变换

Top-hat 变换是数学形态学中膨胀和腐蚀的组合运算^[3]。由膨胀和腐蚀这两种基本运算可以组合成开运算和闭运算。开运算是先进行腐蚀运算, 再进行膨胀运算; 闭运算则是先进行膨胀运算, 再进行

基金项目: 国防预研项目(5132601)资助课题。

作者简介: 谌 钊(1984—), 男, 硕士研究生, 主要从事图像处理方面的研究。E-mail: shzh328@163.com

导师简介: 华卫红(1968—), 女, 教授, 主要从事作战仿真方面的研究。E-mail: rosehua@hotmail.com

腐蚀运算。设 $f(x,y)$ 为输入的二维灰度图像， $b(x,y)$ 为具有一定形状和大小的结构元素。 f 和 b

是坐标为 (x,y) 像素灰度值的函数。结构元素 b 对输入图像 f 的膨胀和腐蚀运算分别定义为

$$(f \oplus b)_{(s,t)} = \max\{f(s-x, t-y) + b(x,y) \mid (s-x), (t-y) \in D_f, (x,y) \in D_b\}, \quad (1)$$

$$(f \odot b)_{(s,t)} = \min\{f(s-x, t-y) + b(x,y) \mid (s-x), (t-y) \in D_f, (x,y) \in D_b\}, \quad (2)$$

其中 D_f 和 D_b 分别是 f 和 b 的定义域。结构元素 b 对输入图像 f 的开和闭运算分别定义为

$$F_{\text{open}}(f,b) = (f \odot b) \oplus b, \quad (3)$$

$$F_{\text{close}}(f,b) = (f \oplus b) \odot b. \quad (4)$$

Top-hat 变换是从原始图像中减去开运算后的图像来提取图像中小于结构元素尺寸的峰值，即亮特征。相应的从原始图像中减去闭运算后的图像称为 Bot-hat 变换，该变换可以提取图像中小于结构元素尺寸的谷值，即暗特征。由于 Top-hat 变换能提取图像峰值，所以本文用该变换对原始星图进行处理，图像的亮特征和灰度噪声同时被显现出来。而星点亮度和背景灰度区别明显，选择大小合适的结构元素即可将大量的背景灰度去除而很好地保留星图中星点的边缘信息。

2.1.2 中值滤波

中值滤波的原理是把序列中一点的值，用该点领域中各点值的中值来替代。在数字图像中采用一个含有奇数个点的滑动窗口，将窗口中心点的值用窗口内各点的中值代替。其功能是使与周围像素灰度值的差比较大的像素用与周围灰度值接近的像素替换，从而可以消除孤立的噪声点。

2.1.3 二值化阈值分割

以上两个去噪过程已经去除了大量的背景灰度噪声和孤立的噪声点，为了进一步去噪，下一步用基于梯度 Hough 变换的算法来进行星点定位的运算效率，需要对降噪后的星图进行二值化处理。

设原始图像为 $f(x,y)$ ，采用双峰直方图方法^[4]选取阈值 T ，将图像分割为两部分，分割后的图像为

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & f(x,y) > T \\ 0 & f(x,y) \leq T. \end{cases} \quad (5)$$

2.2 星点定位算法

2.2.1 圆 Hough 变换

Hough 变换所实现的是一种从图像空间到参数空间的映射关系，是图像处理中从图像中识别几何形状的基本方法之一，应用很广泛，也有很多改进算法。Hough 变换的基本原理是将原始图像中给定形状的曲线或直线变换成参数空间中的一个点，即原始图像中给定形状的曲线和直线上的所有点都

集中到参数空间的某个点上形成峰点。这样就把原始图像中给定形状的曲线或直线的检测问题，变成寻找参数空间中的峰值点问题，也即把检测整体特性(给定曲线的点集)变成检测局部特性的问题。

圆 Hough 变换的基本思想是，在 (x,y) 空间中圆的方程为

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2, \quad (6)$$

取 (a,b) 作为参数空间，因此在原图像 (x,y) 空间中圆上任意一点 (x_i, y_i) 与 (a,b) 空间中的圆

$$(a-x_i)^2 + (b-y_i)^2 = r^2 \quad (7)$$

相对应。 (x,y) 空间中所有共圆的点，即满足 $(x-a_0)^2 + (y-b_0)^2 = r^2$ 的点，在 (a,b) 空间中的对应曲线相交于一点 (a_0, b_0) 。利用上述 Hough 变换的步骤，最终可在累加数组中找到 (a_0, b_0) 点出现的峰值，从而检测出在 (x,y) 空间中有一个以 (a_0, b_0) 为中心， r 为半径的圆，即确定了 CCD 星图中星点的位置。本算法中的半径 r 可以自定义为某一个范围，用以检测实际所需的星点中心位置，减少了运算量，提高了星图处理速度。

2.2.2 梯度的求取

Hough 变换星点定位算法首先要进行星点边缘检测，在数字图像处理领域中，一阶导数可以用于检测图像中的一个点是否是边缘点，而一阶导数是基于各种二维梯度的近似值的。图像 $f(x,y)$ 的梯度定义为如下的向量

$$\Delta \mathbf{F} = [G_x, G_y]^T = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T. \quad (8)$$

梯度向量指向坐标 (x,y) 处 f 的最大变化率方向。在边缘检测中，一个重要的量就是这个向量的大小，用 Δf 表示

$$\Delta f = \text{mag}(\Delta \mathbf{F}) = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

这是一个标量值，它给出了 $\Delta \mathbf{F}$ 方向上每增加单位距离后 $f(x,y)$ 值增大的最大变化率。梯度向量的方向也是一个重要的量。令 $\theta(x,y)$ 表示向量 $\Delta \mathbf{F}$ 在 (x,y) 处的方向角，有

$$\theta(x,y) = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right), \quad (10)$$

这里，角度是以坐标轴为基准度量的。至此，(9)式和

(10)式分别给出了梯度大小和梯度方向角的计算公式。两者都涉及到了 G_x 和 G_y , 也就是图像在每个像素位置上的偏导数 $\frac{\partial f}{\partial x}$ 和 $\frac{\partial f}{\partial y}$ 。有很多经典的边缘检测算子可以用来求 G_x 和 G_y , 如 Roberts 算子, Sobel 算子和 Prewitt 算子等。这里将不再做详细论述。

2.2.3 算法的具体实现步骤

以极坐标方程形式来表示圆

$$a = x - r \cdot \cos \theta, b = y - r \cdot \sin \theta. \quad (11)$$

式中 x 和 y 为当前像素点的坐标; r 为半径, 其值可以事先指定或在一个循环中逐个取值。本算法是事先给出待检测星图中星点光斑半径的大概范围, 然后循环取值; θ 为求得的梯度方向角; a 和 b 为计算得到的星点圆心坐标。利用梯度信息和圆 Hough 变换来完成星点快速定位算法的具体实现步骤如下:

1) 扫描原始星图, 利用梯度算子对其求梯度, 并将梯度图像存放在新的缓冲区中。

2) 开辟一个二维的累加器缓冲区。

3) 扫描步骤 1) 得到的梯度图像, 将梯度值小于给定阈值的像素点排除在累加序列之外, 而对梯度值等于或大于给定阈值的像素点, 找到其在原始星图中的位置坐标 x 和 y , 用(10)式求其梯度方向角,

设为 θ , 并在一个对半径 r 的循环中按(11)式求得星点的中心位置坐标 a 和 b 值, 且对此累加数组进行累加操作。

4) 找到累加数组中值最大的那个元素, 其对应的值就是所要检测的星点的中心位置。

3 实验与分析

实验所用原始星图由美国 Meade 公司的 LX200R 小型望远镜系统拍摄得到。下面就用本文算法来对一幅原始星图进行去噪和星点定位实验。实验基于 AMD 64×2 , 2.60 GHz, 1.75 GB 的 Windows XP 平台, 星图处理软件为 Matlab 7.1。

3.1 星图去噪

如图 1 所示, 原始星图中含有大量背景灰度噪声和少量孤立的噪声点。用本文去噪算法对其进行去噪处理, 效果如图 2 所示。

由图 2 所示实验结果表明, 本文去噪算法对于星图的去噪效果明显, 也能够提取出星图中灰度值较低且灰度分布不均的恒星像点, 同时又最大限度地保留了星点的边缘信息。

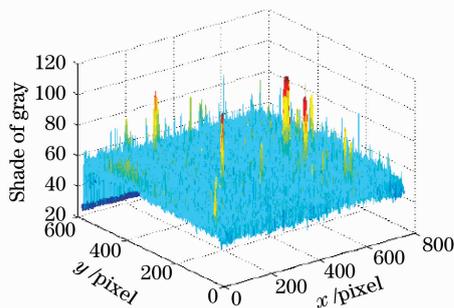


图 1 原始星图及其三维强度分布图

Fig. 1 Original star image and its 3-D intensity distribution

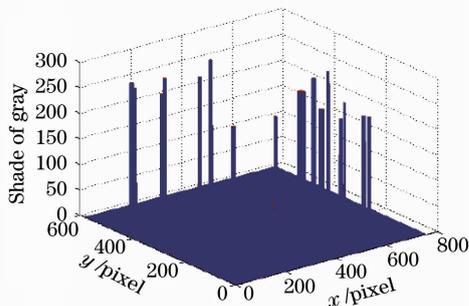


图 2 降噪后星图及其三维强度分布图

Fig. 2 Star image without noise and its 3-D intensity distribution

3.2 星点定位

用本文星点定位算法对图 2 中降噪后的星图进行星点定位运算,定位结果如图 3 所示,圆圈十字标记了星点的中心位置。图 3 及表 1 表明本文星点定位算法能够给出降噪后星图中的每一个星点的中心位置。对于光斑不够完整的星点依然能够快速定位体现了本文算法良好的适应各种复杂情况的能力即抗干扰特性。

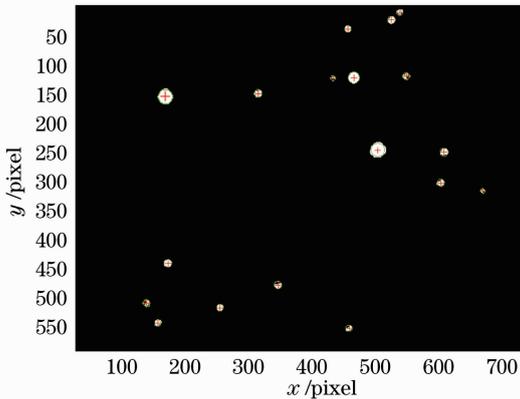


图 3 星点中心位置标记图像

Fig. 3 Image with center position of star

表 1 给出了图 3 中沿 x 轴正方向依次排序的 18 个星点的中心位置坐标,运算时间为 0.26 s。

表 1 星点中心位置坐标

Table 1 Center position of star

| | x /pixel | y /pixel | | x /pixel | y /pixel |
|---|------------|------------|----|------------|------------|
| 1 | 118.55 | 500.55 | 10 | 456.54 | 41.69 |
| 2 | 138.85 | 534.99 | 11 | 458.95 | 542.48 |
| 3 | 150.57 | 154.43 | 12 | 507.94 | 243.08 |
| 4 | 152.13 | 430.53 | 13 | 526.72 | 20.79 |
| 5 | 241.98 | 508.01 | 14 | 537.68 | 11.07 |
| 6 | 306.24 | 146.49 | 15 | 555.53 | 124.57 |
| 7 | 339.92 | 469.57 | 16 | 613.23 | 298.58 |
| 8 | 435.81 | 121.36 | 17 | 617.81 | 246.27 |
| 9 | 461.82 | 120.74 | 18 | 682.99 | 312.47 |

3.3 分 析

为了进一步检验本文算法的去噪效果和快速定

位精度,用相同的参数(包括预设的半径范围、梯度阈值等)直接对图 1 中的原始星图进行星点检测和定位:运算时间为 9.45 s,共检测出 12 个星点,其中中心位置与图 3 中对应星点的中心位置最大偏差为 1.41 pixel,最小偏差为 0.38 pixel,平均偏差为 0.74 pixel。通过对比实验,得到:1)本文星点定位算法可直接对原始星图中的星点进行检测和定位,抗干扰(主要是各种噪声)能力强;2)本文去噪算法对原始星图去噪效果良好,不仅可以提取出更多的恒星像点,提高了星点定位算法的运算效率,而且保证了很高的星点定位精度。

4 结 论

根据星图噪声和星点光斑的特点,提出 Top-hat 变换和中值滤波相结合的星图去噪算法以及基于梯度 Hough 变换的星点定位算法,实现简单,运算速度快,对于复杂的星图星点情况具有良好的适应能力,在各种借助恒星信息进行空间科学观测的工程活动中将会有很好的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Wang Zhaokui, Zhang Yulin. Algorithm for CCD star image rapid locating[J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2006, **26**(3): 209~214
王兆魁,张育林.一种 CCD 星图星点快速定位算法[J]. *空间科学学报*, 2006, **26**(3): 209~214
- 2 Zhang Chunhua, Zhou Xiaodong, Chen Weizhen. Target trace acquisition method of star images based on background elimination[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, **37**(1): 143~146
张春华,周晓东,陈维真.基于背景抑制的星空图像目标运动轨迹提取[J]. *红外与激光工程*, 2008, **37**(1): 143~146
- 3 Gao Cheng, Dong Changhong. MATLAB Image Processing and Application [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007. 185~215
高成,董长虹. MATLAB 图像处理与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2007. 185~215
- 4 Luo Junhui, Feng Ping. MATLAB7.0 Used in Image Processing [M]. Beijing: China Machine Press.,2005. 202~204
罗军辉,冯平. MATLAB7.0 在图像处理中的应用[M]. 北京:机械工业出版社,2005. 202~204