

· 测试与试验 ·

星图中亮线的自动检测算法

常兴华, 江 桥, 师鹏宇

(91404 部队, 河北 秦皇岛 066001)

摘 要:对于星空观测 CCD 图像, 当有高亮度恒星经过视场时, 高亮度恒星成像使得 CCD 的读出电路电压过高, 同一行(或列)像素灰度值偏高, 图像中会形成过恒星中心的亮线. 由于亮线和目标运动轨迹性质相似, 对目标检测和识别的干扰较大, 必须进行滤除. 在对星图成像性质进行分析的基础上, 提出了一种星图亮线的自动去除算法. 利用恒星成像的频域各向同性性质和 Fourier 变换的自配准性质对亮线进行检测, 并分别在空域和频域对亮线进行滤除. 对三组观测星空序列图像(每组 60 帧)进行实验分析, 结果表明均能成功地检测出星图中是否存在亮线.

关键词:星图; 亮线检测; 傅里叶变换

中图分类号: TN247

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)04-0041-03

Automatic Detection Algorithm of Bright Line in Star-Sky Image

CHANG Xing-hua, JIANG Qiao, SHI Peng-yu

(91404 Army Unit, Qinhuangdao 066001, China)

Abstract: For the CCD serial star images, if there is a high bright star in the field of view, the CCD readout circuit voltage can be over high and the same line or column gray value of the CCD image is on the high side, a light line traveling across the star centre is formed in the image. As the bright line exhibits great similarity to the motion of space targets, and disturbs greatly target detection and identification performance, it must be eliminated. Based on the analysis of the star-sky image, an automatic detection algorithm of bright line in star-sky images is put forward. With the isotropy property of star imaging and auto-registration character of Fourier transform, the algorithm can automatically detect and eliminate the bright line both in space domain and frequency domain. Experiments of 3 groups of star-sky images (60 frames per group) show that the algorithm can automatically detect bright line with high accuracy.

Key words: star-sky image; bright line detection; Fourier transform

星空观测 CCD 图像主要包括恒星, 空间目标, 空间辐射噪声, 星空背景噪声和 CCD 暗电流噪声等, 除星空背景成像特征为大面积缓慢起伏背景噪声外, 其余均为点状或近似点状小目标, 通过对大量观测星图观察发现, 当有高亮度恒星经过视场时, 由于高亮恒星成像使 CCD 的读出电路电压过高, 同一行(或列)像素灰度值偏高, 图像中会产生过恒星中心水平方向或垂直方向上的亮线. 由于亮线与目标

运动轨迹性质相似, 因此亮线的存在对空间目标检测的干扰较大, 如何自动检测出亮线并对线条进行滤除, 对小目标检测是至关重要的.

许多文献^[1-3]在星空图像目标检测和背景抑制方面取得了一定的成果, 但在星图亮线滤除方面却未见有文献发表. 在对星图成像性质进行分析的基础上, 提出了一种星图亮线的自动检测算法, 算法利用恒星成像在频域的各向同性的性质和 Fourier

收稿日期: 2009-06-05

基金项目: 国家 863 项目(2006AA0627)

作者简介: 常兴华(1968-), 男, 河北抚宁人, 学士, 工程师, 主要研究方向为信号与信息处理.

变换的自配准性质对亮线进行自动检测,并在空域和频率域对亮线进行滤除.经验证,算法能够有效地滤除亮线的干扰.

1 亮线自动检测

1.1 星图成像性质分析

如图 1 所示,星空观测图像可以描述为

$$f_I(x, y) = f_S(x, y) + f_B(x, y) + f_N(x, y) + f_L(x, y) \quad (1)$$

其中, (x, y) 为像素点的坐标,且 $1 \leq x \leq M, 1 \leq y \leq N$. $f_I(x, y)$ 为观测相机 CCD 焦平面获取的观测图像; $f_S(x, y)$ 为目标图像;包括恒星和空间目标图像; $f_B(x, y)$ 为星空背景图像; $f_N(x, y)$ 为噪声图像;包括空间辐射噪声、CCD 固定点噪声等; $f_L(x, y)$ 为亮线图像.

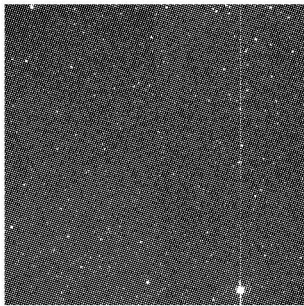


图 1 星空观测图像

恒星是 CCD 成像的重要组成部分,在图像上表现为大量近似对称高斯分布的点状目标.空间目标成像在图像上表现为微弱的点状小目标.深空背景噪声主要包括深空背景噪声或进入相机的杂散光.当高亮度天体经过相机视场时,在星图中形成过天体中心的亮线.

由 Fourier 变换^[4]理论可知,恒星和深空背景成像的频谱图可近似认为是各向同性的.另外,根据傅氏变换的自配准性质,空间域同一方向的条纹不论其位置如何,通过 Fourier 变换以后,它们的贡献会被叠加在一起,共同形成通过频谱中心、与原方向垂直的谱线,因此,垂直/水平方向上的亮线经过 Fourier 变换后会集中在过图像频谱中心水平/垂直的方向上.在对亮线的时频域性质进行分析的基础上,提出了一种亮线的自动检测算法.

1.2 亮线的时频域特点

CCD 星空图像亮线具有以下特点:

(1) 亮线产生的原因是由于恒星亮度太高造成 CCD 整行或整列电子溢出,因此,亮线区域通常为过某颗高亮恒星的中心,且贯穿整幅图像的行/列方向的直线.

(2) 同一相机的图像一般只是出现行或列方向上的亮线,一般不会同时在行和列方向上出现亮线.

(3) 亮线的宽度通常为 1~3 像素.

记 L 为行方向上的亮线图像, C 表示列方向上的亮线图像,以行方向上亮线为例,假设亮线的宽度为 τ ,理想的行方向亮线图像 $L(x, y)$ 可以表示为

$$L(x, y) = \begin{cases} const, & x = m, \dots, m + \tau - 1; y = 1, \dots, N \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

其中, $const$ 为常数, $1 \leq m \leq M - \tau + 1$.

对 $L(x, y)$ 进行 Fourier 变换,得到频谱

$$|F_L(u, v)| = \frac{(\tau - 1)(N - 1)}{MN} \times \left| \text{sinc} \left(\frac{u(\tau - 1)}{M} \right) \right| \left| \text{sinc} \left(\frac{v(N - 1)}{N} \right) \right| \quad (3)$$

式(3)中, $F_L(u, v)$ 表示 $L(x, y)$ 的 Fourier 变换, (u, v) 表示相对于频谱中心的坐标(注意:此处默认已将频域的原点移到了频谱的中心).

分析式(3)可以看出,当图像存在水平方向亮线时,过图像频谱中心垂直方向的谱线上会叠加一个 $\text{sinc}(x)$ 函数.设 $f_{I_0}(x, y) = f_S(x, y) + f_B(x, y) + f_N(x, y)$, 根据 Fourier 变换的叠加性质可知

$$F_1(u, v) = F_{I_0}(u, v) + F_L(u, v) \quad (4)$$

其中, $F_*(u, v)$ 表示图像 $f_*(x, y)$ 的 Fourier 变换,式(4)满足

$$|F_1(u, v)| \leq |F_{I_0}(u, v)| + |F_L(u, v)| \quad (5)$$

从式(5)可以看出,星空图像的频谱幅值小于图像 $f_{I_0}(x, y)$ 和 $F_L(x, y)$ 的频谱幅度图的叠加,由于 $F_{I_0}(u, v)$ 具有各向同性的性质,因此,如果没有亮线的干扰, $F_1(u, v)$ 的频谱也应该是各向同性的,但是由于亮线的存在,会在 $F_1(u, v)$ 形成通过频谱中心、与亮线方向垂直的谱线,导致 $F_1(u, v)$ 中过频谱中心与亮线垂直方向上的谱线与其他方向上的谱线(选择过频谱中心与亮线平行的方向)存在较大的差异,可以通过这个差异来判断图像中是否存在亮线.

1.3 亮线自动检测

构造二元假设检验:

H_0 :星图中存在亮线;

H_1 :星图中不存在亮线.

假设判断准则如下:

$$H_0: T < Thr \tag{6}$$

$$H_1: T^3 \geq Thr$$

其中, $T = \left| \sum_{u=1}^M |F_I(u, [N/2] + 1)| - \sum_{v=1}^N |F_I([M/2] + 1, v)| \right|$.

下面讨论如何选取 Thr , 由上面的分析可以得出, T 值大小为过图像频谱中心水平与垂直 2 个方向上的差的绝对值, 这个差值是由叠加在图像频谱上的 $\text{sinc}(x)$ 函数导致的, 根据式(5), 阈值可以通过 $|\text{sinc}(x)|$ 的积分来确定. 表 1 列出了幅值为 1 垂直/水平方向上的亮线图像频谱在水平/垂直方向上的积分值.

表 1 不同宽度亮线的频谱积分值

宽度 τ /(pixel)	1	2	3	4	5
sinc 函数积分值	0.86	1.17	1.33	1.45	1.53

由于亮线的宽度通常为 1~3 像素, 且星图不可避免地受到噪声的干扰, 结合对真实观测星图的分析发现, 取 $Thr = 0.3$ 时便可根据式(6)判断星图中是否存在亮线.

图像中如果存在直线, 利用式(7)、式(8)所示的滤波器对 $F_I(u, v)$ 进行滤波便可保留亮线图像的频谱, 去除其他成像成分的频谱, 利用滤波后的图像进行 Fourier 反变换可以增强亮线图像, 进而方便地检测出亮线的位置.

$$H_L(u, v) = \begin{cases} 1, & v = 0; u = -M/2 + 1, \dots, M/2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \tag{7}$$

$$H_C(u, v) = \begin{cases} 1, & u = 0; v = -N/2 + 1, \dots, N/2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \tag{8}$$

上述滤波器的实质是一个在水平/垂直方向上具有一个像素宽度的理想低通滤波器. 能够保留所有亮线的频率分量, 最大程度地滤除其他成分的频率分量.

利用文中算法对图 2a 进行滤波, 滤波后图像如图 2b 所示, 滤波后图像可以明显地检测到直线.

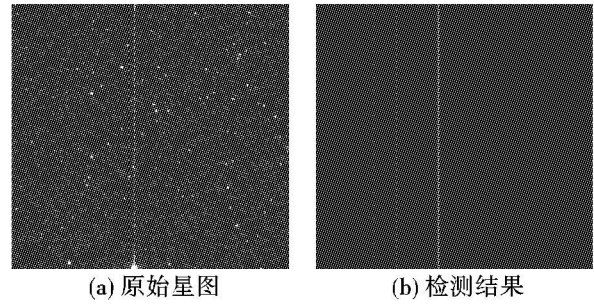


图 2 亮线检测结果图

2 亮线的去除

通过以上亮线检测算法就可以准确地找到亮线的位置, 下一步就是需要对亮线进行去除. 分别在空间域和频率域进行修复.

(1) 空间域修复方法

以亮线所在的行/列为中心取子图像, 对子图像采用 5×5 的窗口进行中值滤波, 可以得到较好的效果.

(2) 频率域修复方法

取出相应位置的水平/垂直方向的 FFT 频谱值, 并对其作内插修复. 在此采用线性、分段 3 次 Hermite 插值、3 次样条数据插值、多项式拟合插值等方法进行内插, 将其进行 IFFT 变换得到修复后的图像帧.

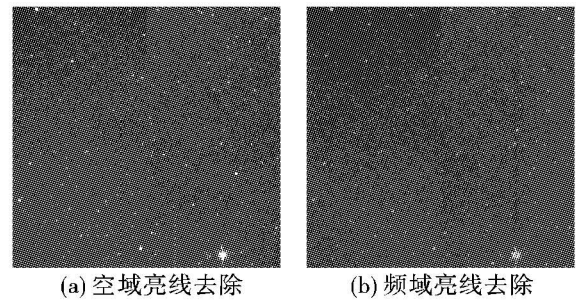


图 3 亮线去除效果图

3 实验分析

为了验证算法的有效性, 利用文中算法对某天文台拍摄的 3 组典型地基观测星空序列图像进行实验, 每组包括 60 帧图像, 图像大小为 1024×1024 像素.

由于序列图像的全局运动, 第一组图像中前 35 帧图像中存在高亮恒星造成的亮线, 第二组中第 40

(下转第 63 页)

维护和升级。

(2) 便捷,小巧.该打标系统上位机支持嵌入式系统,嵌入式系统相比 PC 机最大的特点就是体积小,软件可以专为该系统裁剪而成,专用性强,可以使用触摸屏,界面友好.实现了功能强大、体积小巧的激光打标系统。

(3) 支持 PC104, ISA 接口,通用性强. PC104 和 ISA 是 2 种使用很广泛的总线接口方式,所以在该系统的设计中,充分考虑到了其通用性,使得打标系统可以广泛适用于很多不同的工作场合。

总之,在对该激光打标运动控制卡的硬件和软件及构思的不断优化下,使得该系统已经初步达到稳定性高,速度快,体积小巧,功能强等要求.设计上

(上接第 43 页)

~60 帧图像中存在亮线,第三组图像中不存在亮线.对 3 组序列图像利用文中所述的算法进行检测,结果如图 4 所示.可以看出,该算法对 3 组图像均能准确地检测出亮线。

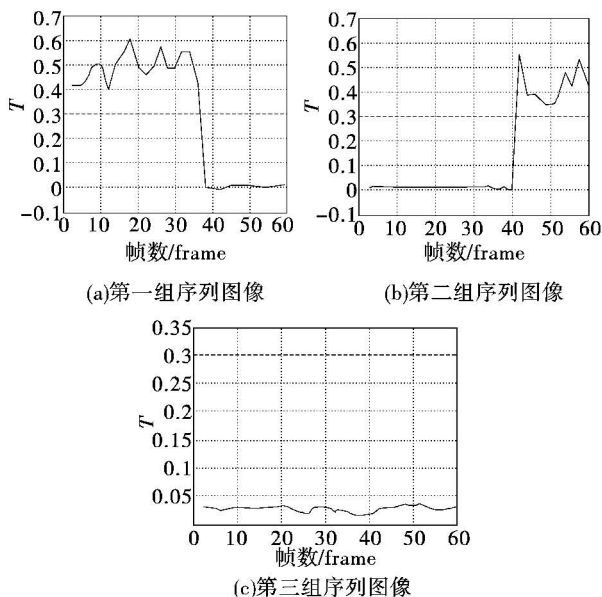


图 4 亮线检测结果图

4 结 论

在利用恒星点状成像在频域的各向同性的性质和 Fourier 变换的自配准性质对亮线进行自动检测,取得了较好的效果.研究的内容实际上属于傅氏变

换方法用于直线检测,算法的优点可以概括为以下 2 点^[5].

参考文献

- [1] 安毓英.激光民用技术[M].2003.
- [2] 施保华,杨三青,周凤星.计算机控制技术[M].武汉:华中科技大学出版社,2007.
- [3] 萧泽新,安连生.工程光学设计[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [4] K Venkatakrishnan, B Tan, B K A Ngo. i Two-axis-scan-ning laser Doppler vibrometer for precision engineering[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2002, 38: 153 - 171.
- [5] 陈锋.Blackfin 系列 DSP 原理与系统设计[M].北京:电子工业出版社,2004.

换方法用于直线检测,算法的优点可以概括为以下 2 点^[5].

(1) 该方法在计算上很有效,而且星图的复杂性不增加计算量,不需要对恒星进行滤除便可直接检测直线.而 Hough 变换等直线检测方法容易受到图像内容和直线信噪比的影响,造成检测的错误。

(2) 基于傅氏谱的检测方法对噪声和恒星不敏感,根据星图成像性质,噪声和恒星对傅氏谱的影响是均匀的,计算机模拟也可以证明这一点(给星图增加噪声和恒星,进行直线检测结果证明)。

值得指出的是,只有傅氏变换这样的复数型的变换才具有自配准的性质,其他一些变换如 DCT 离散余弦变换和小波变换等就不具有类似的性质.另外,提出的算法对其他在频域具有各向同性的图像也具有适用性。

参考文献

- [1] 王伟国.空间目标白天光电探测技术研究[D].北京:中国科学院,2005.
- [2] 韩容松.复杂背景下红外点目标检测的预处理[J].系统工程与电子技术, 2000, 22(1): 52 - 54.
- [3] Denney B S, Figueredo R J P Optimal point target detection using adaptive auto regressive background predictive [J]. Proc. SPIE, 2000, 4048: 46 - 57.
- [4] 孙即祥.数字图像处理[M].河北:河北教育出版社, 1993.
- [5] 王东峰, 邹谋炎.傅氏变换的自配准性质及其在纹理识别和图像分割中的应用[J].中国图像图形学报, 2003, 8(2):140 - 146.