

## 漂移扫描相机中拖尾现象快速消除方法

杨会玲<sup>1</sup>, 柳红岩<sup>1\*</sup>, 李岩<sup>2</sup>, 孙慧婷<sup>1</sup>

(1. 苏州科技学院 电子与信息工程学院, 江苏 苏州 215000; 2. 中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

(\* 通信作者电子邮箱 522096420@qq.com)

**摘要:**对同步卫星进行观测时,由于漂移扫描 CCD 相机的帧转移特性,若所拍摄星空中出现亮星,则会出现贯穿星图的 smear 拖尾现象。通过分析 smear 拖尾现象的成像机理,提出一种快速 smear 拖尾消除方法。首先,利用多项式拟合消除背景不均匀性;然后,计算并拟合星图每列灰度平均值,通过比较拟合前后的灰度平均值判断拖尾所在列;最后,通过将拖尾像素赋拟合后的灰度平均值消除拖尾。实验结果表明,该算法不但能够有效去除拖尾,减小星图背景均值差,而且其处理时间仅为常规 smear 拖尾去除算法的 20%,验证了算法的有效性。

**关键词:**漂移扫描; smear; 不均匀性; 背景拟合; 拖尾消除

**中图分类号:** TP202 **文献标志码:** A

### Fast removal algorithm for trailing smear effect in CCD drift-scan star image

YANG Huiling<sup>1</sup>, LIU Hongyan<sup>1\*</sup>, LI Yan<sup>2</sup>, SUN Huiting<sup>1</sup>

(1. School of Electronic and Information Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu 215000, China;

2. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** When drift-scan CCD shooting the sky where bright stars are in the filed of view, because of the frame transfer feature, the trailing smear will appear throughout the star image. A fast smear trailing elimination algorithm was proposed by analyzing the imaging mechanism. The method firstly decreased the background non-uniformity by fitting the background, then located smear trailing by calculating the mean gray value of every column in star image and comparing the mean gray values before and after fitting, finally eliminated smear trailing by setting the trailing pixel with the mean gray value after fitting. The experimental results show that the smear trailing is removed completely and the mean deviation of background is apparently reduced, moreover the consuming time of this method is only 20% of that of traditional smear elimination method, which proves the validity of the method.

**Key words:** drift-scan; smear; non-uniformity; background fitting; trailing elimination

## 0 引言

利用恒星定位归算卫星轨道是常见的同步卫星定轨方法,为了克服卫星与恒星的不同步造成的不能同时获得两者的良好圆星象,提出天文望远镜漂移扫描工作方式<sup>[1]</sup>。漂移扫描天文望远镜的 CCD (Charge Coupled Device) 相机利用时间延迟积分 (Time-Delay Integration, TDI) 工作方式和凝视工作方式交替观测恒星与同步卫星, TDI 工作方式下拍摄的恒星表现为拖尾星象,卫星为圆星象,凝视工作方式下恒星为圆星象,卫星为拖尾星象。由于恒星为圆形目标时易提取,从而提高同步卫星天文定位精度<sup>[2]</sup>。在凝视工作方式下拍摄星空,当阵列 CCD 进行感光时,星等较亮的恒星光线照在 CCD 的感光区,感光区持续曝光,CCD 所转化的电荷来不及从感光区向存储区转移,致使漏光电荷附加在整列像元上而出现 smear 现象,在星图中表现为贯穿于星图的很亮的拖尾,如图 1 所示。

smear 现象不利于恒星提取与恒星定位,滤除 smear 现象从两方面考虑。

硬件方面消除 smear 现象可以通过减少曝光时间,使得 CCD 感光区在电荷转移时间内不受曝光,但这样无法拍摄到星等较暗的星<sup>[3]</sup>。文献[4]将提出帧转移 CCD 换为行转移 CCD,

及时存储单个电荷,然后再转移读出,但 CCD 的感光区也同时减小,CCD 的灵敏度随之减小。

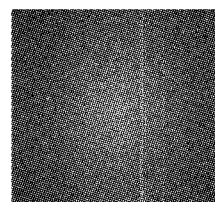


图1 有 smear 现象的图像示例

从软件方面消除 smear 现象,文献[5]提出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,然后通过中值滤波法在空间域修复和内插值方法在频率域修复。这种方法能够去除拖尾现象,但从图像频域方面处理会增加计算冗余。文献[6]提出使用多层二维 Haar 小波分解,把 smear 亮线分离到低频分量及高频垂直分量中分别进行 smear 消除处理。这种方法能够去除拖尾和保留弱小目标,但是由于在不同尺度上得到的逼近信号特征之间存在差异,小波函数难以在不同尺度上准确地逼近局部信号特征,因此降噪预处理时的重构信号会丢失原有的时域特征。文献

收稿日期: 2015-04-07; 修回日期: 2015-06-02。 基金项目: 上海市自然科学基金资助项目 (Y256501001)。

作者简介: 杨会玲 (1976 -), 女, 河南开封人, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 光电测控技术与仪器; 柳红岩 (1990 -), 女, 山西晋中人, 硕士研究生, 主要研究方向: 数字图像处理; 李岩 (1977 -), 男, 吉林松林人, 高级工程师, 博士, 主要研究方向: 光学天文望远镜信息、信号处理。

[7]提出利用局部直方图高斯拟合法对背景进行拟合,利用中值滤波与多阈值设定保留星点目标。

上述方法都能去除拖尾,但在实时同步卫星定轨中,需及时处理星图,对恒星快速定位,实现同步卫星实时定轨,利用上述方法难以满足系统实时处理要求。在上述方法的基础上,本文提出一种自适应快速 smear 现象去除方法,即通过对星图背景不均匀性进行处理,计算并拟合每列像素的灰度平均值,自适应确定拖尾位置,将拖尾像素用拟合平均值填充。此算法不需重复计算与判断,减少计算冗余,在保证处理精度的基础上减少耗时,提高了 smear 去除效率。

## 1 星图背景不均匀性处理

在天文观测中,由于光照不均匀或者在薄云、月光的影响下,星图的背景亮度不均匀,而这种不均匀性在直方图上不会

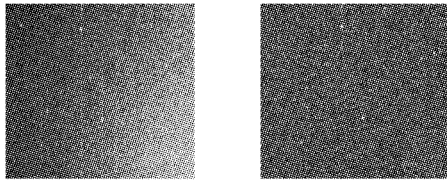


图2 背景不均匀星图 图3 背景不均匀处理后星图

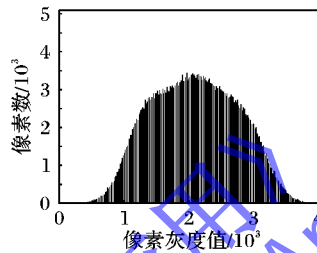


图4 背景处理前灰度直方图

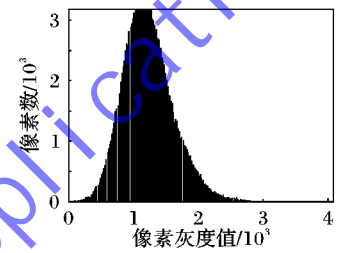


图5 背景处理后灰度直方图

## 2 自适应快速 smear 现象消除

拖尾的消除大体分为两个步骤,首先确定拖尾出现位置,通过选取合适的阈值,比较每列像素灰度平均值;然后对拖尾进行去除,通过判断拖尾部分的像素,根据像素的灰度值区分拖尾与目标,去除拖尾像素。

### 2.1 拖尾位置检测

从图1可知,拖尾出现在星图的列的方向,计算星图每列像素灰度值的平均值,图6为图1拖尾去除前后部分列灰度平均值示意图,比较列灰度平均值可发现有拖尾列灰度平均值远大于无拖尾列灰度平均值。根据上述特点,可以通过设定阈值自适应检测拖尾出现的位置,  $T_h = M + aD$ , 其中:  $M$  为所有列方向上灰度平均值的均值,  $D$  为标准差,  $a$  为权值。在星图中,目标像素的灰度值大于背景平均值与3倍均方差之和,所以  $a$  取值为3。

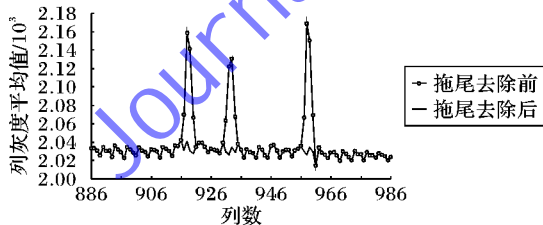


图6 每列像素灰度平均值

对于图1的星图,检测出列灰度平均值  $P_m$  大于  $T_h$  的数量为17,但是真正出现 smear 现象的列数为12,所以单凭阈值无法准确确定拖尾出现位置。由于有拖尾列灰度平均值远大于无拖尾列灰度平均值,根据这一特点,阈值判断前,应对灰度平均值进行多项式拟合,比较拟合值和原值就可准确判断出拖尾出现的位置。设拟合后的灰度平均值为  $M_a$ , 拟合前的灰度平均值为  $M_b$ , 若  $M_b > M_a + 3\sigma$ , 则被判断为有拖尾列,反之则为无拖尾列。图6中实线为去拖尾后的列灰度平均值,从图6

表现出明显的波峰波谷,这对后续的处理拖尾和星图背景分割有很大的影响<sup>[8]</sup>。而传统的平场改正做法不能有效地去除背景的不均匀性,所以需要预处理。

针对这种背景不均匀性,利用逐行逐列多项式拟合的方法,拟合多项式为  $F_n(x) = \sum_{k=0}^n a_k x^k$ ,  $x$  为列数或行数,  $a_k$  为多项式系数。对于实时同步卫星定位系统拍摄出的星图,多项式取到3阶即可得到较准确的拟合多项式<sup>[9]</sup>。

通过对100幅星图进行处理,比较其标准差,处理前星图背景标准差的均值为80,处理后的均值为28,可见,背景的振荡幅度大约减小了原来的1/3。图2为背景不均匀的星图,图3是图2背景处理之后的结果,图4为背景多项式拟合前星图2的灰度直方图,图5为背景多项式拟合后星图3的灰度直方图,可以对比看出,背景的不均匀性得到有效的拟合。

可以看出对灰度平均值进行拟合后可以正确找出拖尾列数。

对于实时同步卫星定位系统漂移模式下拍摄的星图,星图大小为  $1528 \times 1528$ , smear 现象只会出现在第200到1440列,所以对拖尾检测可以缩小搜索范围,只需在200~1440范围内进行,提高搜索速度。拖尾检测重点为计算每列像素灰度平均值,此算法简单,计算机运算所耗时间短。

### 2.2 拖尾消除

检测出拖尾后,通过对拖尾像素赋值去除拖尾。

图7为拖尾列中拖尾像素与星点目标像素的灰度值,其中横坐标表示每个像素在星图中的横纵坐标,纵坐标表示每个像素的灰度值,从图7可以看出,此列中目标像素的灰度值明显高于此列的灰度平均值。所以,根据拖尾的这种特点可以区分出目标像素与拖尾像素。区分拖尾与目标的阈值设定为此列的灰度平均值  $M_l$  加  $a$  倍的均方差<sup>[10]</sup>,由于目标像素的灰度值要明显大于此列灰度平均值,所以权值  $a$  应取10。

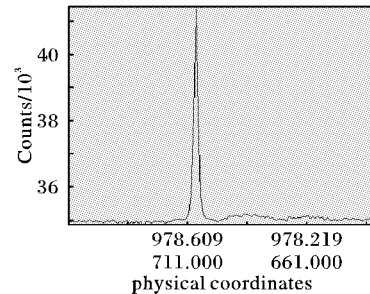


图7 拖尾处的像素灰度值

设  $P_a$  为去除拖尾后像素灰度值,  $P_b$  为去拖尾前的像素灰度值,则可按式(1)对像素进行赋值:

$$P_a = \begin{cases} M_a + P_b - M_b, & P_b > M_b + 10\sigma \\ M_a, & P_b \leq M_b + 10\sigma \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $\sigma$  为列像素灰度均方差,图6中实线为去拖尾后的列灰度平均值,可见拖尾被有效去除,而且列灰度平均值分布均匀。

拖尾像素赋值前,不需要利用连通域法判断弱小目标,因为对于实时同步卫星定位系统,10颗恒星即可归算同步卫星方位高度,30颗恒星即可满足计算精度,星图中的恒星数量远远大于30,而拖尾中的弱小目标很少,所以不需保护拖尾中的弱小目标。

### 3 实验结果

为了验证算法的有效性,利用此算法对图1所示星图的smear拖尾进行处理,该图是由视场角为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的天文望远镜所拍摄的,图像大小为 $1528 \times 1528$ ,软件的开发平台为Microsoft Visual C++ 6.0,操作系统为Windows 7,硬件配置为Intel Core i7,4 GB内存,运行结果如图8所示,图9是拖尾列的局部放大图,图10为拖尾去除后星图的灰度直方图。由于在星图背景不均性处理过程中,对星图进行逐列多项式拟合时,有时会拟合掉拖尾的某一部分,不利于后续对拖尾的检测,所以在实际应用中程序的流程为:先对星图进行逐行的多项式拟合,再去拖尾,最后对星图进行逐列的多项式拟合。

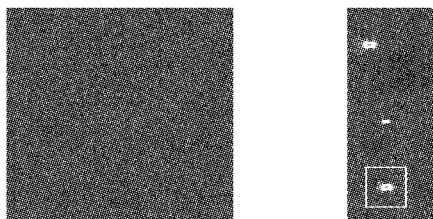


图8 拖尾去除后的星图

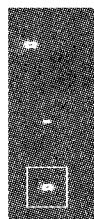


图9 处理后的局部放大

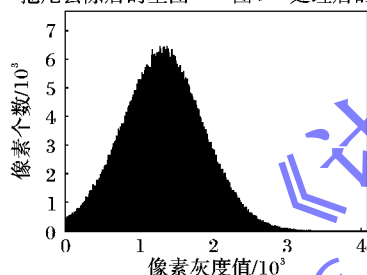


图10 拖尾去除后星图的直方图

从图8与图9中可以看出拖尾得到有效的去除,目标得到保留;从图10的直方图可以看出星图中的所有smear拖尾都已去除,且背景分布均匀。

利用均值差来评价smear区域拖尾去除好坏<sup>[11]</sup>,均值差计算方法为smear区域的灰度平均值与整幅图的灰度平均值的差,计算公式如式(2)所示,均值差越小表明去除的效果越好。

$$\bar{\mu} = \frac{1}{m \times n} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n P(x, y) - \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N P(x, y) \quad (2)$$

其中: $m \times n$ 为局部区域smear面积, $M \times N$ 为局部区域面积, $P(x, y)$ 为局部区域中坐标为 $(x, y)$ 处像素的灰度值。

例如对图9方框中的区域进行评价,局部区域处理前的均值差为54,处理后的均值差为3,可见处理后的均方差远小于处理前的均值差,说明该算法对于漂移扫描CCD星图的拖尾去除效果很好。

利用此算法对100幅相同条件下拍摄的星图进行处理,归算出所用的平均耗时约为0.10 s,而文献[7]提出的处理方法所耗时间为0.572 s,显然这种算法更能快速去除smear拖尾。

### 4 结语

本文通过分析漂移扫描CCD星图中smear拖尾的特点,

提出自适应快速smear拖尾去除算法,先对图像进行拟合,去除背景的不均匀性,然后计算图像每列像素灰度平均值,确定拖尾的位置,设置阈值,去除拖尾。实验表明,此算法可以准确、快速地判断出拖尾出现的位置并对其去除,去除精度高,处理时间少,满足天文观测的稳定、可靠、快速的要求。

#### 参考文献:

- [1] SABBAY C N, COPPI P, OEMLER A. Data acquisition for a 16 CCD drift-scan survey [J]. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 1998, 110(751): 1067-1080.
- [2] MAO Y, TANG Z, TAO J, et al. Preliminary results of GSS' optical observation with CCD drift-scan mode [J]. Acta Astronomica Sinica, 2007, 48(4): 475-487. (毛银盾, 唐正宏, 陶隽, 等. 漂移扫描CCD用于地球同步轨道卫星观测的初步结果[J]. 天文学报, 2007, 48(4): 475-487.)
- [3] GUAN C, WANG Y. Real-time auto light control system of CCD camera [J]. Optics and Precision Engineering, 2008, 16(2): 358-336. (关澈, 王延杰. CCD相机实时自动调光系统[J]. 光学精密工程, 2008, 16(2): 358-336.)
- [4] DORRINGTON A A, CREE M J, CARNEGIE D A. The importance of CCD readout smear in heterodyne imaging phase detection application [EB/OL]. [2015-02-03]. [http://www.researchgate.net/publication/228861523\\_The\\_importance\\_of\\_CCD\\_readout\\_smear\\_in\\_heterodyne\\_imaging\\_phase\\_detection\\_applications](http://www.researchgate.net/publication/228861523_The_importance_of_CCD_readout_smear_in_heterodyne_imaging_phase_detection_applications).
- [5] CHANG X, JIANG Q, SHI P. Automatic detection algorithm of bright line in star-sky image [J]. Electro-optic Technology Application, 2009, 24(4): 41-44. (常兴华, 江桥, 师彭宇. 星图中亮线的自动检测算法[J]. 光电技术应用, 2009, 24(4): 41-44.)
- [6] YAO R, ZHANG Y, SUN J, et al. Smear removal algorithm of CCD imaging sensors based on wavelet transform in star-sky image [J]. Acta Photonica Sinica, 2011, 40(3): 413-418. (姚睿, 张艳宁, 孙瑾秋, 等. 星图中基于小波变换的CCD传感器Smear现象消除方法[J]. 光子学报, 2011, 40(3): 413-418.)
- [7] HAN Y, LIU F, ZHANG J, et al. Bright line removal algorithm of star-sky image in astronomic observation [J]. Opto-Electronic Engineering, 2013, 40(8): 47-58. (韩艳丽, 刘峰, 张健, 等. 天文观测星图中亮线的去除方法[J]. 光电工程, 2013, 40(8): 47-58.)
- [8] CHENG P, SHEN H. Recovery and enhancement method for images acquired under non-uniform lighting [J]. Computer Applications and Software, 2008, 25(10): 53-54. (程培英, 沈会良. 一种光照不均匀图像的恢复增强方法[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(10): 53-54.)
- [9] YU Y, LI Y, MAO Y, et al. Experimental observations of space debris integrating laser ranging and optical direction measurement [J]. Astronomical Research and Technology, 2013, 10(4): 359-364. (于涌, 李岩, 毛银盾, 等. 空间碎片激光测距与光学测角一体化观测实验[J]. 天文研究与技术, 2013, 10(4): 359-364.)
- [10] ZHANG J, REN J, ZHANG C. Automatic de-smearing algorithm for target in space observation image [J]. Journal of Applied Optics, 2013, 34(1): 62-67. (张健, 任建存, 张春华. 星空观测图像目标拖尾的自动消除[J]. 应用光学, 2013, 34(1): 62-67.)
- [11] SUN J, ZHOU J, ZHU Y, et al. Smear removal of CCD camera in astronomic observation [J]. Optics and Precision Engineering, 2011, 19(10): 2527-2531. (孙瑾秋, 周军, 朱宇, 等. 天文观测CCD相机中smear效应的消除[J]. 光学精密工程, 2011, 19(10): 2527-2531.)