



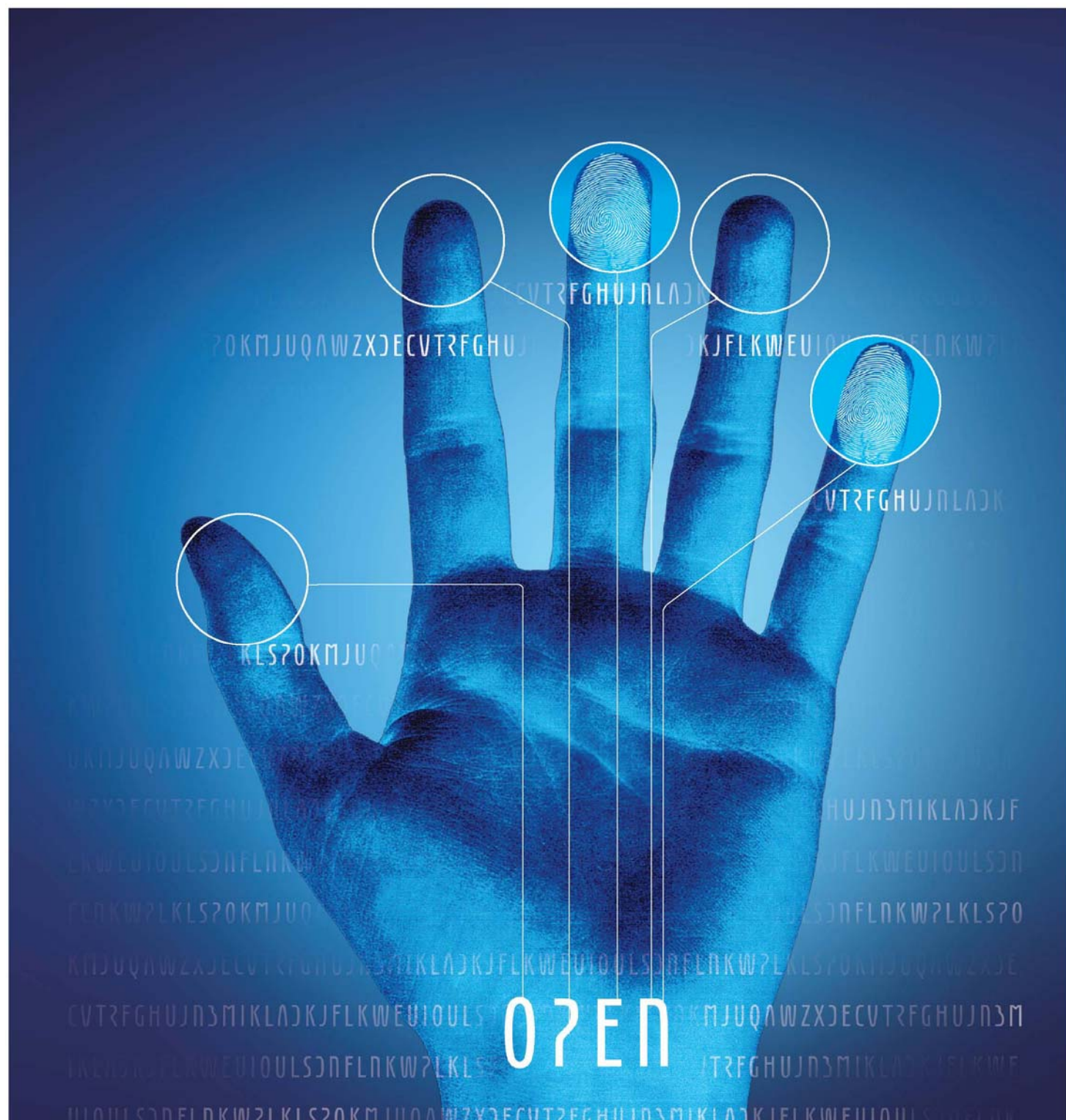
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2013
07
VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB





第18卷第7期（总第207期）

2013年7月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。本刊所有图片均为非商业目的使用。

Copyright

2013 all rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995 010-82614429

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

（中国国际书店，邮政信箱：北京399信箱 邮编：100044）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995 010-82614429

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100044, P.R.China)

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

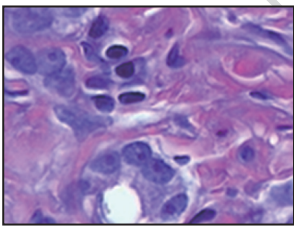
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

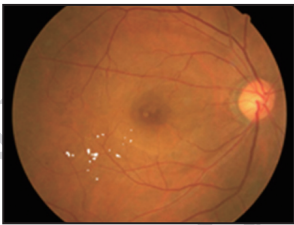
国内定价 50.00元



彩色纹理图像恢复的非局部TV模型 (第753页)



基于Nyström密度值逼近的减法聚类 (第790页)



RBF神经网络和阈值分割实现视网膜硬性渗出自动检测 (第859页)

图像处理和编码

各向异性的均衡化网状扩散模型 熊辉, 赖剑煌	731
特征提取和匹配的图像倾斜校正 钟金荣, 杜奇才, 刘炎, 林嘉宇	738
先进边界区分噪声检测的改进算法 祁冰露, 黄宴委, 陈少斌	746
彩色纹理图像恢复的非局部TV模型 端金鸣, 潘振宽, 台雪成	753
相似性约束的视频超分辨率重建 张义轮, 干宗良, 朱秀昌	761

图像分析和识别

低质量指纹图像方向场提取 卞维新, 徐德琴, 俞庆英	768
方向微分分块统计的运动模糊方向鉴别 李均利, 储诚曦	776
参数自适应的KPCA先验形状约束目标分割 沈霖, 李元祥, 周则明	783
基于Nyström密度值逼近的减法聚类 孙志海, 孔万增	790
空间目标检测序列图像中恒星目标抑制 黄宗福, 孙刚, 陈曾平	799

图像理解和计算机视觉

人体动作的超兴趣点特征表述及识别 王扬扬, 李一波, 姬晓飞	805
轮廓编组中的线索合并模型 王娇, 罗四维, 钟晶晶, 邹琪	813
全局图像特征分析与实时层次化消失点检测 孙愿, 卢鸿波, 张志敏	818
彩色图像特征捆绑的自动模型构建 徐洁, 邓红霞, 李海芳	829

计算机图形学

偏离映射的烙画风格绘制 钱文华, 徐丹, 岳昆, 官铮, 普园媛	836
点云模型法矢调整优化算法 孙金虎, 周来水, 安鲁陵	844

医学图像处理

基于惩罚最大似然优化模型的各向异性约束磁共振成像方法 邓梁, 史仪凯, 张均田	852
RBF神经网络和阈值分割实现视网膜硬性渗出自动检测 高玮玮, 沈建新, 王玉亮	859

遥感图像处理

衡量结构保持性能的SAR图像去噪质量评价 唐益明, 杨学志	866
地面LiDAR数据中建筑轮廓和角点提取 童礼华, 程亮, 李满春, 陈焱明, 王亚飞, 张雯	876

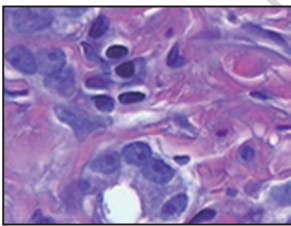
《中国图象图形学报》论文摘要写作要求	884
--------------------	-----

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Non-Local TV models for restoration of color texture images (P753)



Density value approximation for subtractive clustering based on Nyström method (P790)



Automatic detection of hard exudates based on RBF neural network and threshold segmentation (P859)

Image Processing and Coding

Equalized net diffusion model based on the anisotropy diffusion Xiong Hui, Lai Jianhuang	731
Robust method of skew correction based on feature points matching Zhong Jinrong, Du Qidai, Liu Ying, Lin Jiayu	738
Modification of advanced boundary discriminative noise detection algorithm Qi Binglu, Huang Yanwei, Chen Shaobin	746
Non-Local TV models for restoration of color texture images Duan Jinming, Pan Zhenkuan, Tai Xuecheng	753
Video super-resolution method based on similarity constraints Zhang Yilun, Gan Zongliang, Zhu Xiuchang	761

Image Analysis and Recognition

The orientation field extraction method for low quality fingerprints Bian Weixin, Xu Deqin, Yu Qingying	768
Identification of motion blur direction from motion blurred image by directional derivation and block statistics Li Junli, Chu Chengxi	776
Shape prior constrained KPCA object segmentation with parameter adaption Shen Ji, Li Yuanxiang, Zhou Zeming	783
Density value approximation for subtractive clustering based on Nyström method Sun Zhihai, Kong Wanzeng	790
Stellar targets suppression in image sequences for space targets detection Huang Zongfu, Sun Gang, Chen Zengping	799

Image Understanding and Computer Vision

Human action recognition based on super-interest points features Wang Yangyang, Li Yibo, Ji Xiaofei	805
Cue combination model for contour grouping Wang Jiao, Luo Siwei, Zhong Jingjing, Zou Qi	813
Hierarchical real-time vanishing point detection based on holistic image feature Sun Yuan, Lu Hongbo, Zhang Zhimin	818
Construction of the automatic model for feature binding of color image Xu Jie, Deng Hongxia, Li Haifang	829

Computer Graphics

Rendering pyrography style painting based on deviation mapping Qian Wenhua, Xu Dan, Yue Kun, Guan Zheng, Pu Yuanyuan	836
Optimal algorithm for normal adjustment of point clouds Sun Jinhu, Zhou Laishui, An Luling	844

Medical Image Processing

Anisotropically constrained MR imaging based on penalized maximum likelihood optimality model Deng Liang, Shi Yikai, Zhang Juntian	852
Automatic detection of hard exudates based on RBF neural network and threshold segmentation Gao Weiwei, Shen Jianxin, Wang Yuliang	859

Remote Sensing Image Processing

Image quality assessment of SAR image despeckling for measuring structure-preserving capability Tang Yiming, Yang Xuezhi	866
Extraction of building contours and corners from terrestrial LiDAR data Tong Lihua, Cheng Liang, Li Manchun, Chen Yanming, Wang Yafei, Zhang Wen	876

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)07-0799-06

论文引用格式: 黄宗福, 孙刚, 陈曾平. 空间目标检测序列图像中恒星目标抑制[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(7): 799-804. [DOI: 10.11834/jig.20130709]

空间目标检测序列图像中恒星目标抑制

黄宗福, 孙刚, 陈曾平

国防科技大学 ATR 重点实验室, 长沙 410073

摘要: 针对固定指向地基天文光电探测系统中数量众多、成像相似的恒星目标对空间目标检测的干扰, 提出一种基于时空域融合处理的恒星目标抑制算法。在时域上改进图像差分算法, 采用时域膨胀差分抑制恒星目标; 在空域上对检测到的恒星目标采用数学形态学重构来恢复恒星目标的完整星像, 进而将形态学重构前后的图像相消来抑制恒星目标。根据时空域融合处理机制的不同, 给出了两种融合处理方法抑制恒星目标。通过实测数据对比, 结果表明本文算法达到了良好的恒星目标抑制效果: 1) 能够较好地抑制恒星目标及其边缘像素; 2) 微弱恒星目标也得到较好地抑制; 3) 恒星目标抑制后空间目标的信噪比得到了较大提升。

关键词: 恒星目标抑制; 空间目标检测; 时空域融合; 形态学重构; 膨胀差分

Stellar targets suppression in image sequences for space targets detection

Huang Zongfu, Sun Gang, Chen Zengping

ATR Key Lab, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China

Abstract: Regarding the numerous stellar targets with similar image characteristics that interfere with space targets detection in fixed-direction terrestrial astronomical opto-electronic observation systems, an algorithm of stellar targets suppression based on temporal-spatial domain fusion is proposed. In the time domain, the conventional image difference algorithm is improved and the dilative difference method is used to suppress stellar targets. In the space domain, mathematical morphological reconstruction is used to restore the full image of the detected stellar targets, and then stellar targets are suppressed through the difference between images before and after the morphological reconstruction. Based on different temporal-spatial domain fusion mechanics, two different temporal-spatial fusion methods are proposed to suppress stellar targets. Through comparison of real-measured data, the results show that the algorithm presented in this paper achieves a good stellar targets suppressing effect: 1) stellar targets and their edge pixels are efficiently suppressed; 2) the faint stellar targets are suppressed well; 3) signal-to-noise ratio of space targets are improved after the suppression of stellar targets.

Key words: stellar targets suppression; space targets detection; temporal-spatial fusion; morphological reconstruction; dilative difference

0 引言

探测空间目标的天文光电探测系统中, 由于使用

高灵敏度、高分辨率科学级 CCD 相机和一定口径、光学性能优异的光学系统, 大大提高了光电探测系统的探测能力, 但图像中也存在数量众多的恒星目标, 这些恒星目标是空间目标检测的一大干扰因素, 低虚警

收稿日期: 2012-09-19; 修回日期: 2012-11-12

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)基金项目(2009AA7034060, 2010AA8080201)

第一作者简介: 黄宗福(1983—), 男, 国防科技大学电子科学与技术专业博士研究生, 主要研究方向为光电信息处理、弱小目标检测及电路实现。E-mail: hzf_huang@nudt.edu.cn

概率检测空间目标必须要解决恒星目标的干扰。

对于恒星跟踪模式(sidereal track mode)的天文光电探测系统,恒星目标在 CCD 焦面上始终为一个点像,空间目标快速运动在较长的曝光时间内形成一条长条纹(streak),通过两者的成像差异提取图像中的条纹来检测空间目标^[1-2],并根据恒星目标和空间目标条纹的相对位置完成空间目标精确天文定位。此时,即使恒星目标抑制效果不好,但是由于与空间目标成像存在差异,恒星目标残迹对空间目标检测影响不大。然而,对于采用凝视模式(stare mode)的固定指向天文光电探测系统,为了保证空间目标天文定位的精度要求,采用相对较短的曝光时间来同时获得具有良好圆星像的空间目标和恒星目标。此时,图像中分布着数量众多的恒星目标,其星像大小、灰度分布等成像特征与空间目标十分相似,两者都是点状小目标,仅靠单帧图像信息难以对其区分^[3]。大量的恒星目标会产生许多虚假运动轨迹并导致运动轨迹的误关联,不仅严重影响了空间目标的检测概率和虚警概率,而且严重影响了算法的实时性。从空间目标检测的角度看,必须在空间目标分割检测前尽可能抑制恒星目标,减轻其对空间目标检测的干扰。

由于恒星目标在图像序列中相对静止,相邻帧间星像几乎重叠,而空间目标表现为明显的运动特性,相邻帧间星像基本上不重叠^[3],噪声在各帧之间的空间分布没有相关性,因此可以通过图像差分方法抑制恒星目标^[4]。但是,实际上由于大气湍流、光子噪声等因素的影响,连续两帧恒星目标灰度不可能完全相同,图像差分后恒星目标尤其是其边缘未能有效地抑制,差分结果图像上有明显的恒星目标残迹。采用多帧差分处理,如三帧差分算法^[5-6],能够在一定程度上改善恒星目标抑制效果,但也不能够消除恒星目标残迹。

在空域上进行恒星目标抑制主要是通过检测图像中的恒星目标,获得恒星目标的星像大小、灰度分布等信息,进而利用这些信息采用合适方法抑制恒星目标。如恒星掩膜帧算法^[7-8],该算法是将多帧图像累加后进行二值化分割生成不包含空间目标的恒星掩膜帧,利用恒星掩膜帧与序列图像对应像素点相乘进行掩膜处理,相当于将恒星目标的灰度值置零来剔除恒星目标。由于恒星目标星像大小不一致,灰度分布近似为一个 2 维高斯曲面,一般需要扩大恒星掩膜区域才能较好地抑制恒星目标边缘;并且对于具有一定背景灰度值的灰度图像进行掩膜处理,会造成恒星目标处图像灰度不连续,对后续空间

目标分割检测带来不利的影响。

针对固定指向天文光电探测系统中数量众多、成像相似的恒星目标对空间目标检测的干扰,提出一种基于时空域融合处理的恒星目标抑制算法。首先在时域和空域两个角度阐述时域膨胀差分 and 空域形态学重构进行恒星目标抑制的算法,然后针对这两种算法的优点和不足,采用时空域融合的方法来抑制恒星目标。通过实测数据验证,结果表明本文算法能够较好地抑制恒星目标及其边缘像素,暗弱恒星目标也得到较好地抑制,并且在抑制恒星目标的同时空间目标的信噪比得到了较大提升,达到了良好的恒星目标抑制效果。

1 时域膨胀差分抑制恒星目标

1.1 根据恒星目标配准图像序列

由于地球自转的影响,恒星目标在固定指向光电探测系统中的运动体现为慢速运动,虽然运动速度很小,但并非绝对静止,连续两帧图像之间恒星目标星像位置会有一定的偏差,若直接将连续两帧图像进行图像差分,则差分结果图像中有大量的恒星目标残迹。因此,在图像差分处理前,必须要对恒星目标进行序列图像配准。

对恒星目标进行序列图像配准有两种方法:1) 恒星目标成像相对比较稳定,通过检测序列图像中的恒星目标,以恒星目标的灰度质心作为特征点对序列图像进行配准^[4,9];2) 恒星目标角速度与其赤纬有关,在观测纬度已知的情况下根据望远镜指向计算视场内恒星目标的运动速度^[10]。

1.2 采用膨胀差分抑制恒星目标

通过帧间差分抑制恒星目标,通常采用式(1)或式(2)计算。

$$d_{\text{abs}}(k) = |f(k) - g(k-1)| \quad (1)$$

$$d_{\text{pos}}(k) = \begin{cases} f(k) - g(k-1) & f(k) \geq g(k-1) \\ 0 & f(k) < g(k-1) \end{cases} \quad (2)$$

式中 $f(k)$ 为当前帧经过背景抑制等预处理后的图像, $g(k-1)$ 为前一帧 $f(k-1)$ 经恒星目标配准后的图像,图像比较和减法运算都是对应像素进行,下同。

如前所述,连续两帧恒星目标灰度不可能完全相同,采用式(1)或式(2)不能够有效地抑制恒星目标尤其是恒星边缘。因此,对差分算法进行改进,先将 $g(k-1)$ 进行灰度膨胀,然后再进行差分运算,即

$$g_{\text{dil}}(k-1) = g(k-1) \oplus b \quad (3)$$

$$d_{\text{dil}}(k) = \begin{cases} f(k) - g_{\text{dil}}(k-1) & f(k) \geq g_{\text{dil}}(k-1) \\ 0 & f(k) < g_{\text{dil}}(k-1) \end{cases} \quad (4)$$

式中, b 采用 3×3 的扁平结构元素。由于大气湍流、光学系统点扩散函数的影响, 目标的灰度分布并不是一个单点脉冲, 而是近似为一个陡峭的 2 维高斯曲面, 目标能量主要集中在目标中心的几个像素区域内, 远离目标中心的灰度值迅速减小。膨胀差分运算相当于图像的每一个像素点减去其前一帧配准后图像 $g(k-1)$ 在 3×3 邻域范围内的最大值, 这样能够自适应地提高图像 $g(k-1)$ 中恒星目标的灰度值, 更加有效地抑制恒星目标及其边缘像素。

2 空域形态学重构抑制恒星目标

2.1 形态学重构原理

形态学重构^[11-12]是一种涉及到两幅图像和一个结构元素的形态学变换, 其中一幅图像为标记图像(marker), 是变换的起点, 另一幅图像为掩模图像(mask), 用于约束变换过程, 结构元素用于定义连接性。若 f_{mask} 是掩模图像, f_{marker} 为标记图像, 标记图像 f_{marker} 必须是掩模图像 f_{mask} 的一个子集, 即

$$f_{\text{marker}} \subseteq f_{\text{mask}} \quad (5)$$

则形态学重构运算为重复式(6)直到 $h_{n+1} = h_n$, 最后 h_n 即为形态学重构结果。

$$h_{n+1} = (h_n \oplus b) \wedge f_{\text{mask}} \quad (6)$$

式中, $\wedge$ 表示逐点取最小值, h_1 为标记图像 f_{marker} , n 表示迭代次数。式(6)也称为条件膨胀, 其算法实现有多种快速算法^[13], 在此不做赘述。

在实际应用中, 掩模图像为待处理图像, 标记图像一般是根据掩模图像通过相应变换得到。从形态学重构的计算过程可以看出, 形态学重构是在掩模图像的限制下用 b 对标记图像不断地做灰度膨胀来恢复出掩模成分, 直至条件膨胀稳定为止。若标记图像为恒星目标, 那么对于图像中数量众多、星像大小和灰度分布都不一致的恒星目标, 只要不断地进行条件膨胀则能够逐渐地恢复出包括恒星目标边缘在内的完整星像。

2.2 形态学重构抑制恒星目标

采用空域形态学重构抑制恒星目标算法的关键在于恒星目标标记图像的计算。对于固定指向天文光电探测系统, 恒星目标表现为相对静止, 采用连续

两帧图像配准并进行时域相关处理(即对应像素点相乘), 恒星目标能够有效增强; 空间目标由于快速运动使其成像基本不存在重叠, 在与低灰度值的背景相关处理后, 相对于恒星目标, 空间目标并未得到有效增强甚至被抑制; 而噪声在帧与帧之间不存在相关性, 在相关处理后也得到较大的抑制, 有效地降低了单点噪声的影响。因此, 如图1所示, 采用将前一帧和前两帧经过背景抑制等处理后的图像 $f(k-1)$ 和 $f(k-2)$, 根据恒星目标运动速度与当前帧 $f(k)$ 配准, 然后时域相关处理增强恒星目标, 并在相关处理后进行二值化分割恒星目标。

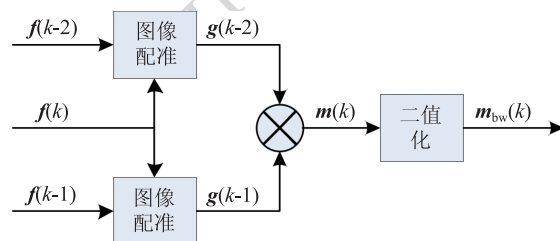


图1 标记图像计算过程中恒星目标二值化分割流程图

Fig. 1 Diagram of stellar targets binary segmentation in marker image calculation

将二值化分割结果图像 $m_{\text{bw}}(k)$ 对当前帧图像 $f(k)$ 掩模处理(即对应像素点相乘), 即得到标记图像

$$f_{\text{marker}}(k) = f(k) \times m_{\text{bw}}(k) \quad (7)$$

二值化分割结果图像中也有可能包含某些高亮度的空间目标, 但是这些高亮度空间目标在二值化分割结果图像中对应位置是前一帧或前两帧空间目标的位置。由于空间目标快速运动, 标记图像中这些位置所对应当前帧的灰度值为背景的灰度值。因此, 得到的标记图像为不包含当前帧空间目标的恒星目标图像。

以 $f_{\text{marker}}(k)$ 为标记图像对 $f(k)$ 进行形态学重构, 则可得到恒星目标的完整星像, 再将 $f(k)$ 与形态学重构结果相消完成空域恒星目标的抑制。

3 时空域融合处理抑制恒星目标

时域膨胀差分抑制恒星目标和空域形态学重构抑制恒星目标各有优点和不足, 其中前者能够有效抑制恒星目标及其边缘像素, 但部分恒星目标的中心像素可能未能相消, 结果图像中恒星目标中心处为一单点尖峰脉冲, 这在高亮度恒星目标上较明显; 后者同样能够有效抑制恒星目标及其边缘像素, 但由于恒星目标抑制的效果依赖于分割检测的效果, 结果图

像中残留一些未能有效分割的暗弱恒星目标。因此,为了取得更好的恒星目标抑制效果,采用时空域融合处理抑制恒星目标。根据时空域融合处理机制的不同,给出了如下两种时空域融合处理方法:

时空域融合方法 1 将时域膨胀差分抑制恒星目标结果图像和空域形态学重构抑制恒星目标结果图像对应像素相乘,这种方法简单易行,在此不再赘述。

时空域融合方法 2 先将连续两帧图像采用形态学重构抑制恒星目标,然后再对形态学重构抑制恒星目标结果图像采用膨胀差分进一步抑制恒星目标。需要注意的是,必须要保证连续两帧空域抑制恒星目标达到同样的效果,即空域抑制恒星目标结果图像 $h(k)$ 和 $h(k-1)$ 中的恒星目标同时都被抑制或都未被抑制,否则膨胀差分无法消除 $h(k)$ 中未能抑制而在 $h(k-1)$ 已被抑制的恒星目标。为此,对连续两帧图像进行形态学重构过程中,生成恒星目标标记图像的阈值化分割图像都选择 $m_{bw}(k)$ (计

算过程见图 1), 然后按图 2 所示流程进行形态学重构抑制恒星目标。

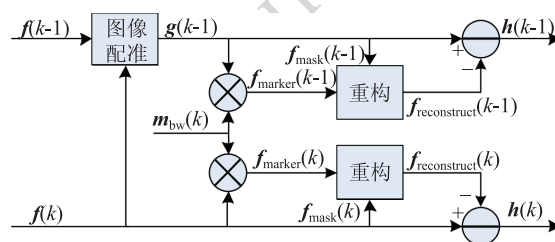


图 2 连续两帧图像形态学重构抑制恒星目标流程图

Fig. 2 Diagram of stellar targets suppression using morphological reconstruction with two consecutive images

4 实测数据验证

图 3 为某一固定指向天文光电探测系统获取的实测数据(局部图像)和恒星目标抑制结果对比,图 3 中实线方框中心的亮点为空间目标,其余亮点为干扰空间目标检测的恒星目标。

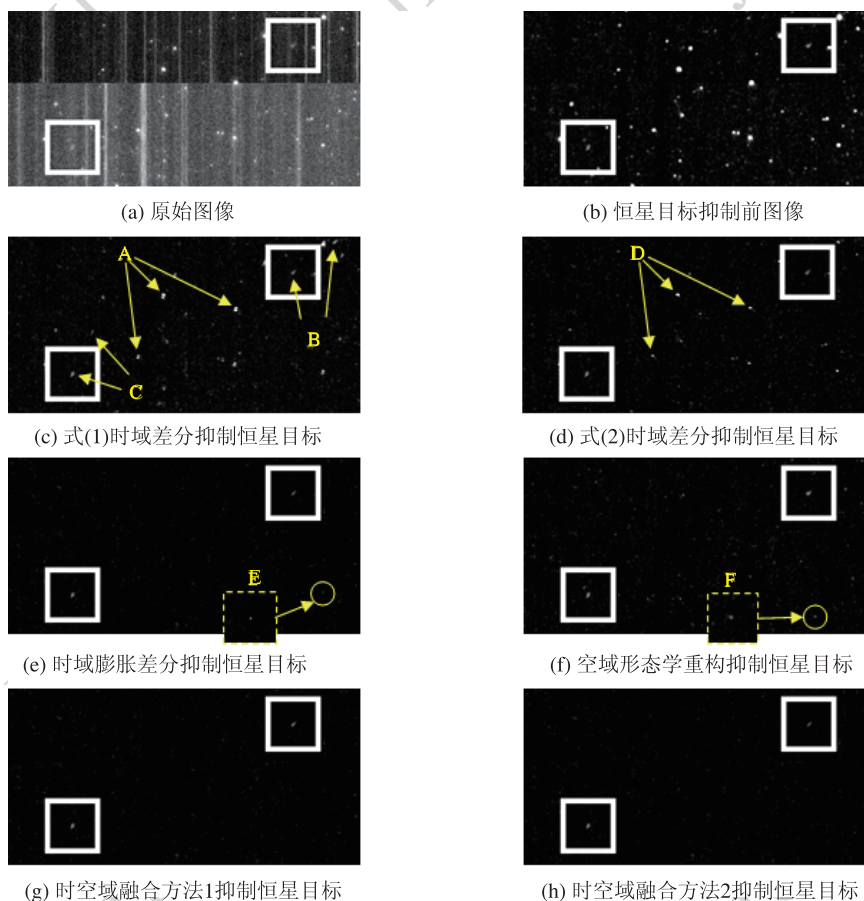


图 3 恒星目标抑制结果对比

Fig. 3 Comparison of stellar targets suppression result

在时域恒星目标抑制效果上,从图 3(c)(d)可以看出,采用式(1)和式(2)方法结果图像中还存在大量的恒星目标残迹,如图 3(c)(d)中的 A、D 所示;并且,采用式(2)的绝对差值运算还导致了空间目标的“双峰”效应,在差值图像前后两帧空间目标位置处都有明显的灰度值,如图 3(c)中的 B、C 所示;采用膨胀差分运算较好地抑制了恒星目标及其边缘像素,如图 3(e)所示,相比图 3(c)(d)都有很大的提高。当然,通过仔细观察也发现了膨胀差分的不足之处,部分恒星目标的中心像素可能未能相消,结果图像中恒星目标中心为一单点尖峰脉冲,这在某些高亮度恒星目标上较明显,如图 3(e)中的 E 所示。

在空域恒星目标抑制效果上,如图 3(f)所示,基于形态学重构的恒星目标抑制算法能够较有效地抑制恒星目标,尤其是在图像中具有一定信噪比的恒星目标。并且,根据形态学重构原理可知,该算法不需要预先知道恒星目标星像大小,通过不断地灰度膨胀可恢复出完整的恒星目标星像,从而很好地抑制恒星目标的边缘像素。但是,恒星目标抑制的效果依赖于恒星目标分割检测的效果,对于一些信

噪比很低的恒星目标,如图 3(f)中的 F 所示,由于在恒星目标标记图像计算时未能被有效地分割,造成该目标未能被抑制,恒星目标抑制结果图像中会残留有一些暗弱恒星目标。

采用时空域融合处理抑制恒星目标,如图 3(g)(h)所示,这两种融合方法都能取得很好的抑制效果,结果图像中不会出现恒星目标遗留的单点尖峰脉冲,暗弱恒星目标也得到较好地抑制。

为了进一步对提出的基于时空域融合处理的恒星目标抑制算法进行比较分析,统计了图 3 中两个空间目标在恒星目标抑制前后的信息,如表 1 所示。通过对比可知,提出的两种方法都能够在一定程度上提高空间目标信噪比,且采用时空域融合处理抑制恒星目标,空间目标信噪比和对比度都得到了较大的提升。对更多图像序列进行实验,从恒星目标抑制前后空间目标信噪比和对比度提高的角度上看,总的来说时空域融合方法 2 要比时空域融合方法 1 略好一些。

表 1 恒星目标抑制前后空间目标信息对比
Table 1 Comparison of space targets' information before and after stellar targets suppression

空间目标	方法	目标灰度均值	背景局部灰度均值	背景局部灰度标准差	局部信噪比	局部对比度
目标(左)	恒星目标抑制前	93.85	9.885	10.23	8.209	8.494
	时域膨胀差分方法	81.00	1.769	3.979	19.91	44.78
	空域形态学重构方法	87.85	5.111	9.406	8.796	16.19
	时空域融合方法 1	84.58	1.910	4.675	17.68	43.28
	时空域融合方法 2	80.17	1.214	3.366	23.46	65.05
目标(右)	恒星目标抑制前	97.40	3.927	3.687	25.35	23.81
	时域膨胀差分方法	56.90	0.518	1.851	30.45	108.8
	空域形态学重构方法	92.40	1.466	2.556	35.58	62.02
	时空域融合方法 1	68.18	0.505	1.765	38.35	134.0
	时空域融合方法 2	59.90	0.539	1.727	34.38	110.1

5 结 论

针对固定指向地基天文光电探测系统中数量众多、成像相似的恒星目标对空间目标检测的干扰,提出了一种基于时空域融合处理的恒星目标抑制算法。综合利用了时域和空域两个角度抑制恒星目

标,并给出了两种融合处理方法进行恒星目标抑制。通过实测数据验证,结果表明本文算法能够较好地抑制恒星目标及其边缘像素,暗弱恒星目标也得到较好地抑制,并且恒星目标抑制后空间目标的信噪比得到了较大提升,达到了良好的恒星目标抑制效果,为后续空间目标有效分割检测奠定了重要基础。

参考文献 (References)

- [1] Pan H B, Zhang W, Cong M Y, et al. Image preprocessing algorithm for space target space-based detection [J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(9): 2402-2407. [潘海斌, 张伟, 丛明煜, 等. 一种空间目标在轨检测图像预处理算法[J]. 光学学报, 2009, 29(9): 2402-2407.]
- [2] Lévesque M P. Automatic reacquisition of satellite positions by detecting their expected streaks in astronomical images [C] // Proceedings of 2009 Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference. Hawaii: Maui Economic Development Board, 2009: 693-702.
- [3] Huang Z G, Han J T, Chen Z P. Extraction and analysis of targets' imaging features in astronomical opto-electronic image sequences [J]. Opto-Electronic Engineering, 2011, 38(4): 59-65. [黄宗福, 韩建涛, 陈曾平. 天文光电图像序列目标成像特征提取与分析[J]. 光电工程, 2011, 38(4): 59-65.]
- [4] Liu Q W, Hu X H, Yuan L. Real time detection for dim moving target in visible optical image of deep outer space [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(7): 1614-1617. [柳庆武, 胡晓惠, 袁麟. 深空可见光图像中弱小运动目标实时检测[J]. 电子学报, 2009, 37(7): 1614-1617.]
- [5] Wang W H, He Y, Chen Z P. A real-time algorithm for small moving target detection in photoelectric image sequences [J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(4): 14-18. [王卫华, 何艳, 陈曾平. 光电图像序列运动弱目标实时检测算法[J]. 光电工程, 2006, 33(4): 14-18.]
- [6] Huang Z F, Wang W H, Han J T, et al. A real-time algorithm for weak small targets detection in astronomical opto-electronic image sequences [J]. Signal Processing, 2010, 26(9): 1379-1384. [黄宗福, 王卫华, 韩建涛, 等. 一种天文光电图像序列弱小目标实时检测算法[J]. 信号处理, 2010, 26(9): 1379-1384.]
- [7] Zhang C H, Zhou X D, Chen W Z. Target tmce 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.]
- [8] Zhang J, Zhou X D, Zhang C H. The research on the algorithm for space target motion trajectory extraction [J]. Infrared Technology, 2007, 29(8): 459-462. [张健, 周晓东, 张春华. 空间目标运动轨迹提取算法研究[J]. 红外技术, 2007, 29(8): 459-462.]
- [9] Zhang C H, Zhou X Z, Wang X W, et al. Resesrch of star-sky image registration method for dim target detection [J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(3): 435-442. [张春华, 周晓中, 王学伟, 等. 一种面向弱小目标检测的序列星图配准算法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(3): 435-442.]
- [10] Huang Z F, Wang J Z, Chen Z P. Motion characteristics analysis of space target and stellar target in opto-electronic observation [J]. Opto-Electronic Engineering, 2012, 39(4): 67-72. [黄宗福, 汪金真, 陈曾平. 光电探测中空间目标和恒星目标运动特性分析[J]. 光电工程, 2012, 39(4): 67-72.]
- [11] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. Digital Image Processing Using Matlab[M]. Translated by Ruan Q Q. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005. [Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L 著. 数字图像处理 (Matlab 版本) [M]. 阮秋琦, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2005.]
- [12] Wang Y, Chen D R, Shen M L, et al. Watershed segmentation based on morphological gradient reconstruction and marker extraction [J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(11): 2176-2180. [王宇, 陈殿仁, 沈美丽, 等. 基于形态学梯度重构和标记提取的分水岭图像分割[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(11): 2176-2180.]
- [13] Vincent L. Morphological grayscale reconstruction in image analysis: applications and efficient algorithms [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1993, 2(2): 176-201.