

文章编号 1004-924X(2017)06-1652-10

## 近红外星图显著性特性分析与恒星检测

王 哲, 郭少军\*

(海军航空工程学院, 山东 烟台 264001)

**摘要:**针对近红外星图辐射效应产生的亮斑会造成恒星计算质心与真实质心偏移的情况,文章从近红外星图背景与目标差异性入手,提出了稳定背景提取与恒星显著性提取的方法。显著性检测中利用 SLIC 对图像进行超像素计算,依据超像素间的几何连通性和灰度相似性进行近红外星图背景与恒星的分离。本文方法获得的恒星区域具有较好的连通性,有效解决了利用硬阈值分割恒星不连通所造成的存在大量虚假目标的问题。实验中,本文采用凝视状态拍摄的 165 幅近红外星图作为样本,检测获得的恒星质心与标定质心偏移方差小于 0.27,证实了方法的有效性。

**关键词:**近红外;恒星质心检测;显著性;背景一致性

**中图分类号:**TH703 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20172506.1652

### Saliency analysis of near infrared star images and detection of fixed stars

WANG-Zhe, GUO Shao-jun\*

(Navy Aeronautical Engineering University, Yantai 264001, China)

\* Corresponding author, E-mail: guoba2000@163.com

**Abstract:** Aiming at the condition that the centroid calculated by the fixed star skew the authentic centroid caused by bright spot which is generated by radiation effect of near-infrared star images, a stable method to extract background and significance of the fixed star was proposed in consideration of differences between background and objectives for near-infrared star images. In saliency detection, SLIC was used to implement superpixel calculation, and separation of near-infrared star image background and fixed star was realized according to geometry connectivity and gray similarity. The fixed star area obtained by proposed method had preferable connectivity, effectively solving problems of a large number of false objects attributed to disconnectivity of the fixed star segmented by hard threshold. In the experiment, taking 165 near-infrared star images captured in a staring state as samples, the skewing variance between the centroid of the fixed star obtained by detection and the calibration centroid is less than 0.27. The results verify the effectivity of proposed method.

**Key words:** Near-infrared; centroid detection of fixed stars; significance; consistency of background

## 1 引 言

天文导航中通常应用 CCD 可见光导航,白天

CCD 成像容易受强光影响,无法检测并获得恒星目标<sup>[1]</sup>。通过分析白天云层与恒星的光谱<sup>[2]</sup>,发现近红外 J(1.25 μm), H(1.65 μm), Ks(2.15 μm)波段是进行大气外目标探测的理想波段。当

收稿日期:2016-12-09;修订日期:2017-01-20.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61303192)

波长大于  $2 \mu\text{m}$  时望远镜的热辐射对星系和恒星探测灵敏度的影响严重,当波长小于  $1 \mu\text{m}$  时,星际红化和月光又会严重影响望远镜的光学感应<sup>[3]</sup>。因此,选择 H 波段进行恒星探测能够有效获得恒星目标,进一步实现天文导航。

定义 1:硬阈值,对数据  $x(t)$  进行分割时,设阈值为  $T$ ,如果  $T$  是固定不变的常数,则将利用  $T$  进行  $x(t)$  分割的过程称为硬阈值分割,  $T$  即为硬阈值。

定义 2:超像素,超像素由一系列位置相邻且颜色、亮度、纹理等特征相似的像素点组成的小区域。这些小区域大多保留了进一步进行图像分割的有效信息,且一般不会破坏图像中物体的边界信息。

近红外星图的提取不同于 CCD 可见光星图提取,凝视状态下获得的近红外星图具有目标大、辐射干扰强、质心不明显等特征。张等<sup>[4]</sup>使用星图背景估计与增强阈值分割方法,然而这种方法无法满足近红外恒星质心提取的需求,反而会因为硬阈值分割带来大量的虚假恒星斑,给后续的处理加大了难度。陆斌等<sup>[5]</sup>认为恒星目标在图像上的投影具有高斯分布特性,在张<sup>[4]</sup>的基础上,对恒星区域进行高斯插值,提高了质心提取的精度。然而对于近红外星图,由于大量干扰及噪点的存在而无法获得准确的恒星区域。通过分析近红外星图的灰度特性发现,利用近红外星图进行天文导航需要解决以下几个问题:

- (1) 有效分割恒星区域与背景区域的分割,获得完整的恒星区域进行质心计算;
- (2) 在单个近红外星敏感设备中,获得至少 3 个恒星目标;
- (3) 完成恒星与星库恒星的匹配识别。

在导航定位时,过多的恒星会造成计算冗余,增加计算量。因此在恒星识别过程中,往往采用星图中检测到的较大面积的恒星进行匹配识别,基于天文导航对恒星数量要求的特点,本文通过分析近红外星图显著性特点,提出稳定背景提取与恒星显著性优化的方式进行恒星区域提取,进一步在对应区域内计算恒星质心。另一方面显著性计算能够有效过滤噪声和星等较大的目标,通过参数调节可以控制选取恒星的数目,节约算法耗时。

## 2 近红外星图超像素块边界连通性

### 2.1 背景一致性与边界连通性

图 1 是近红外凝视状态拍摄得到的恒星灰度图。从中心恒星目标,目标辐射造成的成像扩散,以及背景的特性分析发现,在空间布局上,三者存在明显的差别。最明显的特征是目标区域与边界像素的连接要远远小于背景区域的数值,扩散斑与背景的空间接触与像素相关性要远远大于目标区域。因此,首先计算背景与边界的相关性能够获得稳定背景像素,然后计算恒星区域与光晕扩散斑区域与背景的相关性能够有效消除扩散斑的影响。

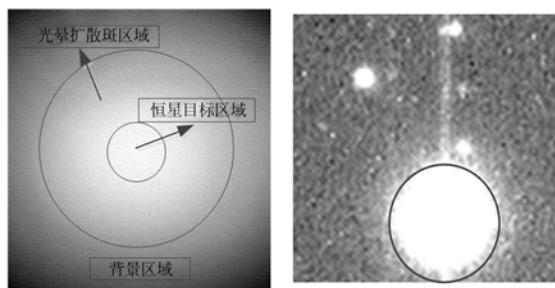


图 1 近红外星图三个区域

Fig. 1 Three areas of near infrared image

任意区域  $R$  与边界连通性强度用公式(1)来衡量,描述如下:

$$\text{BondCon}(R) = \frac{|\{p | p \in R, p \in \text{Bond}\}|}{\sqrt{|\{p | p \in R\}|}}, \quad (1)$$

其中,  $\text{Bond}$  是边缘图像块,  $p$  是任意图像块。从直观的几何形状来看(如图 1),靠近边界的目标连通边界像素的周长相对整个目标的周长的比例较小,而如果将背景区域作为一个图像块来表达,则背景连通边界像素的几何长度相对整个背景块的周长的比例数字较目标区域要大得多。为了更方便的计算,文中利用图像块面积的平方根来代替目标区域的周长,这样能够快速地进行  $\text{BondCon}$  值的计算。

### 2.2 利用超像素块的算法优化

虽然式(1)能够直观的表达出目标与背景的差异,然而在实际计算过程中,针对每个像素计算与边界的相关值来提取稳定背景区域则十分复杂。为了获得目标或背景图像块的面积,往往需要将图像进行分割,通常对星图分割采取的是硬

阈值分割。然而对于不同的图像硬阈值往往是变化的,需要不断的进行参数寻优设置,会带来较大的计算冗余。另一方面,硬阈值分割无法完整地消除恒星扩散斑像素的影响,容易造成大量离散亮斑的产生,在计算连通区域时造成大量恒星虚假目标。图 2 是对凝视状态近红外恒星的硬阈值分割的结果,在结果中不难发现有大量的离散亮斑,进一步计算恒星质心时则容易出现虚假质心,则需要增加虚假目标滤除步骤。

定义 3:软阈值,对数据  $x(t)$  进行分割时,设阈值为  $T=f(t)$ ,即  $T$  随  $t$  会产生变化,则将利用  $T$  进行  $x(t)$  分割称为软阈值分割, $T$  即为软阈值。

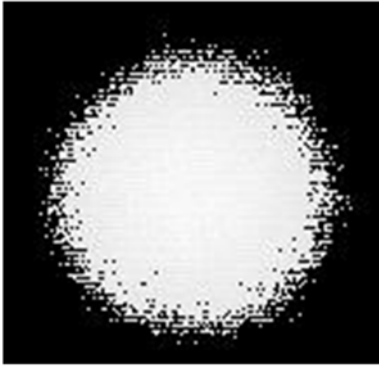


图 2 硬阈值分割近红外恒星结果  
Fig. 2 Result of star by hard segment threshold

为了避免虚假目标的大量出现,本文决定对近红外星图进行软阈值分割。为了增快运算速度,文章提出首先将近红外星图进行超像素提取<sup>[5]</sup>。

超像素个数的确定过程中,考虑到图像中存在的最小恒星像素面积,如果在最终恒星检测结果中要保留大量弱小目标,超像素数量则越多越好,然而耗时也会相应增加。对于本文凝视状态的大小图像,实验中采用 50~400 个超像素进行显著性检测并计算质心偏离方差,最终选择最佳超像素个数。计算过程中时间复杂度为  $O(n^2)$ ,即耗时随超像素个数 2 次方增加。

图 3 是对实验用图中第二颗星的序列图进行分析的,从图中曲线发现,对于本文实验用图,超像素个数选择大于 200 个时,偏离方差变化不大而耗时却会大量增加。权衡利弊,本文对采用近红外凝视状态获得的星图取 200 个超像素。图 4 是对一幅非凝视状态获得星图进行不同超像素个数选择获得的质心与标定坐标偏离方差的对比,图中曲线表明,对于非凝视状态的近红外多恒星

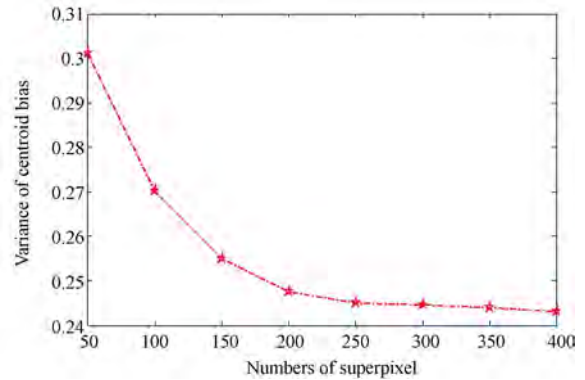


图 3 不同超像素个数取值计算获得恒心质心偏离方差  
Fig. 3 Variance of centroid bias of star image set

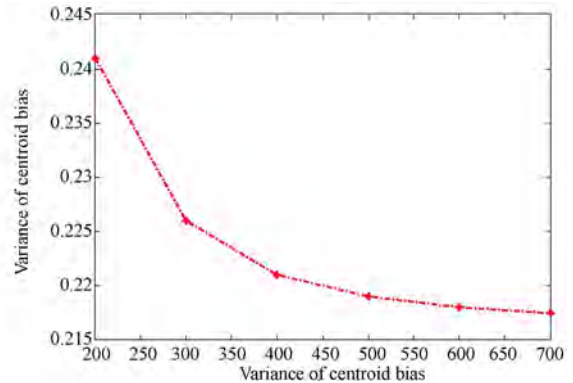


图 4 不同超像素个数非凝视星图恒星质心与标定偏离方差

Fig. 4 Variance of centroid bias of star image

星图超像素个数取 400 较为合适。图 5 给出了凝视状态和非凝视状态下近红外星图的超像素块结果示意图。

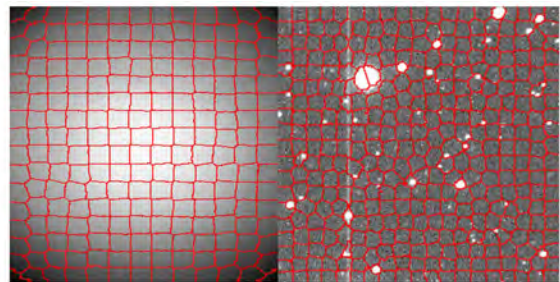


图 5 近红外星图超像素提取结果示意图  
Fig. 5 Super pixels of near infrared images

定义 4:灰度距离,在灰度图像中的两个像素的灰度值分别为  $g(a)$  和  $g(b)$ ,  $d = \|g(a) - g(b)\|_2$ ,  $d$  即是两个像素间的灰度距离。

连接相邻超像素形成无方向权重图,超像素之间的权重  $d_{app}(p, q)$  大小为  $p, q$  之间的中心灰

度距离,同时设定超像素  $p, q$  之间的几何距离  $d_{\text{geo}}(p, q)$  为  $p, q$  在无方向权重图中最短距离上的权重累加,  $d_{\text{geo}}(p, q)$  可表达为式(2)。

$$d_{\text{geo}}(p, q) = \min_{p_1=p, p_2, \dots, p_n=q} \sum_{k=1}^{n-1} d_{\text{app}}(p_k, p_{k+1}), \quad (2)$$

$$d_{\text{app}}(p, q) = \frac{1}{n_p} \sum_{p_i \in p} \text{gray}(p_i) - \frac{1}{n_q} \sum_{q_i \in q} \text{gray}(q_i), \quad (3)$$

其中,  $n_p$  是超像素  $p$  中像素的数量,  $n_q$  是超像素  $q$  中的像素个数,  $\text{gray}(\ast)$  为近红外图像像素灰度值。

超像素本身的几何距离定义为 0, 既  $d_{\text{geo}}(p, p) = 0$ 。为了计算公式(1)中每个图像块的边界相关性, 还需要计算超像素  $p$  的“扩散面积”, 用来描述超像素间相互影响大小, 如式(4)。

$$\text{Area}(p) = \sum_{k=1}^N \exp\left(-\frac{d_{\text{geo}}^2(p, q_k)}{2\sigma_{dr}^2}\right) = \sum_{k=1}^N S(p, q_k), \quad (4)$$

其中  $N$  是图像中超像素块  $q$  中像素总数。

通过式(4)能够计算获得超像素  $p$  的一个软区域, 对目标恒星来说这个软区域即辐射扩散斑区域或恒星边缘少量背景区域。规定超像素间的影响强度范围为  $(0, 1]$ , 即令  $S(p, p_k) \in (0, 1]$ , 超像素  $q$  对  $p$  的影响越大, 则  $S(p, q)$  越接近于 1, 影响越小则越接近于 0。如果超像素  $q$  与  $p$  处在一个平滑过渡的区域(如光晕扩散斑与目标的过渡), 则认为  $d_{\text{geo}}(p, q) = 0$ , 且  $S(p, q) = 1$ , 如此则将  $q$  添加到  $p$  超像素区域内。如果超像素  $p, q$  在不同的区域内, 则两者之间必然有一条边界线, 计算可得  $d_{\text{app}}(p, q) \geq 3\sigma_{dr}$  且  $S(p, q) \approx 0$ 。根据实验经验发现参数  $\sigma_{dr} \in [5, 15]$  区间内取值结果更加稳定, 在本文实验中, 取  $\sigma_{dr} = 0$ 。

大量超像素并不直接与边界有接触, 然而从直观上来看又是背景超像素, 为了根据普遍性的表达超像素图像块与边界的连通性, 定义图像块与边界的连接长度如式(5)所示。

$$\text{len}_{\text{bond}}(p) = \sum_{k=1}^N S(p, p_k) \cdot \delta(p_k \in \text{Bond}), \quad (5)$$

$$\delta(p) = \begin{cases} 1 & p \in \text{bond} \\ 0 & \text{others} \end{cases}. \quad (6)$$

将式(1)修改为式(7), 能够更加方便地计算图像块的边界连通性。

$$\text{BondCon}(p) = \frac{\text{len}_{\text{bond}}(p)}{\sqrt{\text{Area}(p)}}. \quad (7)$$

式(7)的计算在任意两个边界超像素对间添加了边界权重, 增强了背景超像素的边界连通性数值, 这种方式能够有效将恒星扩散斑区域作为背景提取。由于是在边界超像素间进行权重添加, 对恒星目标区域超像素并不会带来大的影响, 见式(5)。为了更快的计算式(5)的结果, 在计算超像素间的影响值时采用 Johnson<sup>[6]</sup> 的计算方法。对  $300 \times 200$  的图像做 200 个超像素的影响权重计算耗时不到 0.05 秒。

### 3 背景权重对比

可靠的背景提取方法能够有效提高目标显著性位置估计正确性, 因为通过可靠背景计算未知图像块的背景相关性数值更加可靠, 得到的结果更有利于目标与背景的分割。在显著性检测领域, 通常通过计算像素与其一定大小邻域内像素的对比度来确定像素的显著性强度, 在文献[7-10]中以像素周边的图像作为索引, 以中心像素与索引像素的几何距离的倒数与颜色距离作为权重值计算中心像素的显著性值。本文首先将近红外星空图像转换成超像素块, 进一步以超像素为单位计算显著性值, 如式(8)和(9)。

$$\text{Contrast}(p) = \sum_{k=1}^N d_{\text{app}}(p, p_k) \omega_{\text{spa}}(p, p_k). \quad (8)$$

$$\omega_{\text{spa}}(p, p_k) = \exp\left(-\frac{d_{\text{spa}}^2(p, p_k)}{2\sigma_{\text{spa}}^2}\right), \quad (9)$$

其中  $d_{\text{spa}}(p, p_k)$  是超像素对  $(p, p_k)$  的空间质心距离, 依据文献[11]的结果, 本文取  $\sigma_{\text{spa}} = 0.25$ 。

为了更方便地描述一个超像素的背景相关性, 引入  $\omega_k^{\text{bg}}$  来表示超像素属于背景的概率。  $\omega_k^{\text{bg}}$  是超像素图像块边界连通性的一种映射结果, 表达式如等(10)所示, 当数值接近 1 时说明区域的边界连通性值很大, 反之则小。

$$\omega_k^{\text{bg}} = 1 - \exp\left(-\frac{\text{BondCon}^2(p_k)}{2\sigma_{\text{BondCon}}^2}\right). \quad (10)$$

按照经验, 在本文对近红外星图恒星目标显著性检测过程中采用  $\sigma_{\text{BondCon}} = 1$ 。事实上, 当  $\sigma_{\text{BondCon}} \in [0.5, 2.5]$  区间取值时, 显著性结果变化十分敏感。

为了增强目标区域与背景的对比强度, 结合式(8)、(9)、(10)获得式(11)。

$$\omega_{\text{Ctr}}(p) = \sum_{k=1}^N d_{\text{app}}(p, p_k) \omega_{\text{spa}}(p, p_k) \omega_k^{\text{bg}}. \quad (11)$$

通过式(11)的计算, 具有较大边界连通性、获得

较大  $w_k^{bs}$  的目标区域与背景区域的对比度得到了增强,这有利于较弱的恒星目标的提取,确保近红外星图中恒星的数量。尽管式(11)增强了恒星目标与背景的对比度,但显著性结果依旧存在大量噪声干扰,需要进一步对显著性结果进行优化。

## 4 显著性结果优化与恒星质心计算

### 4.1 显著性结果优化

通常显著性检测会结合了多个显著性索引来进行加权累计,但是在近红外星图目标显著性检测过程中,仅仅做权重乘积累加的方式获得的效果总是差强人意,将检测结果与真实目标显著性位置进行对比,存在位置误差。为了改善这种情况,本文提出从图像边界像素出发,以边界连通性为指标,生成大量背景索引超像素,并直观地集成低水平背景索引计算其它位置图像块区域的属性,有效提高了近红外恒星目标的显著性的位置精度。

在计算目标显著性损失函数时,如果超像素块是目标区域,则分配值为 1,背景区域分配值为 0,最终通过最小化损失函数来计算图像中目标的显著性位置。设  $N$  个超像素的显著性值为  $\{s_i\}_{i=1}^N$ ,则可以将损失函数表达为:

$$\sum_{i=1}^N w_i^{bs} s_i^2 + \sum_{i=1}^N w_i^{fs} (s_i - 1)^2 + \sum_{i,j} w_{i,j} (s_i - s_j)^2, \quad (12)$$

式(12)对背景、目标、扩散过渡区域进行不同的权重约束,如果超像素  $p_i$  是背景超像素,则  $w_i^{bs}$  数值会较大,相应计算得到  $s_i$  接近于 0;如果超像素  $p_i$  是恒星目标超像素,则  $w_i^{fs}$  数值会较大,相应计算得到  $s_i$  接近于 1。在恒星扩散斑过渡区域中,显著性结果值可能存在连续变化,对于超像素

对  $(p_i, p_j)$ ,通过式(13)来计算  $w_{ij}$ 。

$$w_{ij} = \exp\left(-\frac{d_{app}^2(p_i, p_j)}{2\sigma_{dr}^2}\right) + u. \quad (13)$$

式(13)计算获得的权重值在平滑的区域和边界区域都取值较大,在等式(4)中定义了  $\sigma_{dr}$  的取值范围,  $u$  是常数值,用来优化噪声干扰,经验地取值为 0.1<sup>[11]</sup>。损失函数中的三个部分采用平方误差的累计来计算,采用最小二乘法来求解损失函数最优解。

### 4.2 恒星质心求取

在获得近红外恒星显著性映射图后,通过选取每幅近红外星图整体显著性强度的中值作为阈值对显著性图像进行分割<sup>[12]</sup>,分割后结果有效消除了噪声的干扰,并且显著性分割获得的区域具有较好的连通性,避免了大量虚假恒星目标点的出现。

对显著性图像进行分割后既能获得近红外恒星的连通区域,对于每颗恒星,本文采用式(14)、(15)计算恒星质心位置<sup>[13]</sup>。

$$x_o = \frac{\sum x \cdot gray(x)}{\sum gray(x)}, \quad (14)$$

$$y_o = \frac{\sum y \cdot gray(y)}{\sum gray(y)}, \quad (15)$$

其中,  $x_o, y_o$  是某恒星区域的质心坐标,  $x$  是区域内某一像素在横坐标上的坐标值,  $y$  是区域内某一像素在纵坐标上的坐标值,  $gray(x)$  是坐标  $(x, :)$  处的灰度值,  $gray(y)$  是坐标  $(:, y)$  处的灰度值。

## 5 实验与分析

### 5.1 数据与分析方法

实验采用实际采集获得的近红外凝视状态下的星图,数据列表见表 1。

表 1 本文实验采用近红外凝视恒星数据列表

Tab. 1 Dataset of experiments

拍摄时间	赤经	赤纬	星等	星图数量
2016.08.29-17:04	147°46'	45°17'	6.59	15
2016.08.27-17:03	112°20'	45°27'	5.26	15
2016.08.28-17:05	167°04'	45°0'	5.94	15
2016.09.05-17:05	201°37'	45°09'	5.43	15
2016.09.05-17:06	245°2'	45°8'	6.27	15
2016.09.08-16:57	339°37'	45°28'	5.37	15
2016.09.11-17:01	19°38'	46°10'	5.96	15
2016.09.13-17:03	73°11'	46°04'	2.9	15
2016.09.15-16:53	267°9'	45°16'	4.5	15

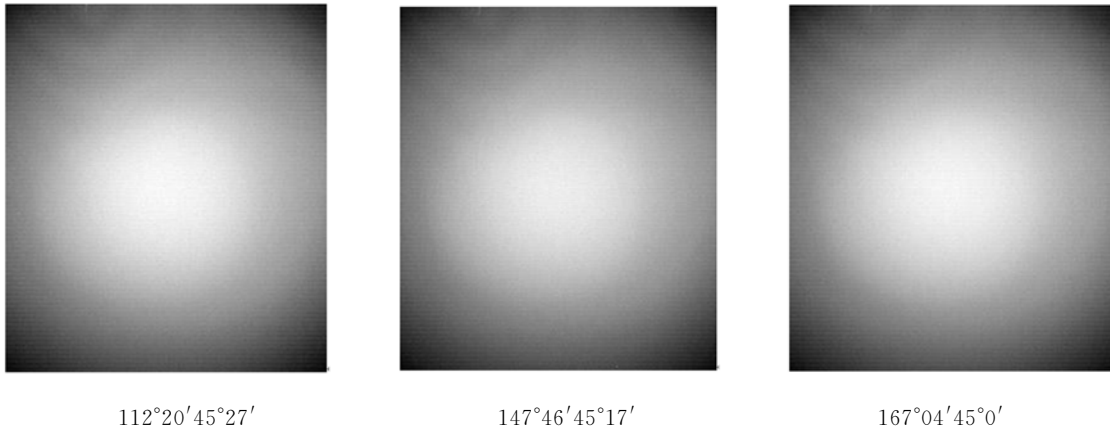


图 6 实验部分图像展示  
Fig. 6 Part images of dataset

图 4 是近红外凝视状态恒星图像部分图像展示。实验中,本文采用多种显著性方法进行对比,包括 SF<sup>[11]</sup> 算法,GS-SP<sup>[14]</sup> 算法,SIA<sup>[15]</sup> 算法,HS<sup>[10]</sup> 算法以及 MR<sup>[16]</sup> 算法。对各种算法采用 PR(precision-recall)曲线来进行评价。为了获得 PR 曲线,首先将每种方法获得的近红外星图显著性图像二值化到[0,255],然后将显著性区域与实际恒星区域进行对比获得曲线 PR,如式(16)、(17)所示。

$$precision = \frac{S_{target}}{S_{saliency}} \times 100\% \quad (16)$$

$$recall = \frac{S_{target}}{N_{target}} \times 100\% \quad (17)$$

其中, $S_{target}$  是显著性区域中属于目标的像素数, $S_{saliency}$  是显著性区域中所有像素总和, $N_{target}$  是真实目标区域包含的像素数。

### 5.2 显著性提取与质心计算

通过 5.1 节中五种方法对近红外凝视状态近红外星图进行显著性区域检测并计算恒星质心,显著性检测部分结果如图 7 所示。

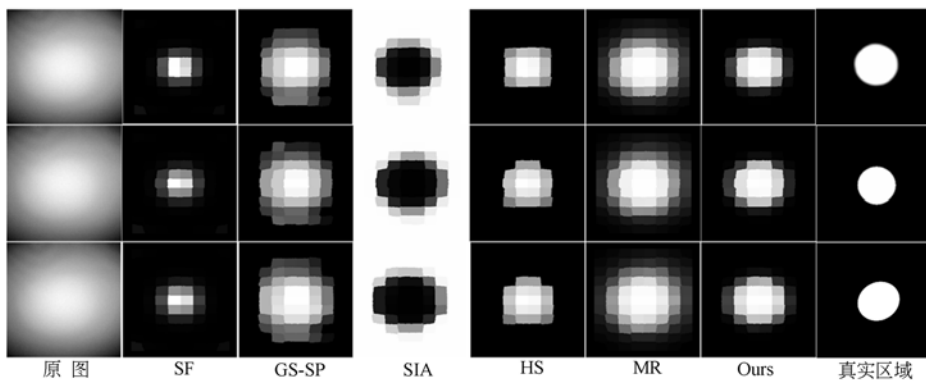


图 7 显著性方法效果对比  
Fig. 7 Compare of saliency result of different method

从显著性对比结果来看,本文算法有效分离了近红外恒星扩散斑造成的辐射斑区域,尽管还有些残留。然而利用式(14)、(15)计算恒星质心的关键是获得最有效的恒星区域,扩散斑在一定程度上包含了目标质心信息,扩散斑区域过大会造成恒星质心计算误差增大,经过实验计算,本

文算法保留的恒星扩散斑区域像素较小,对质心的计算误差达到了亚像素级。本文恒星显著性区域二值化后与真实区域对比如图 8 所示。

文中对比其中采用的四种方法的 PR 曲线如图 9 所示(彩图见期刊电子版)。从曲线对比发现,本文算法在显著性区域提取方面具有最好的

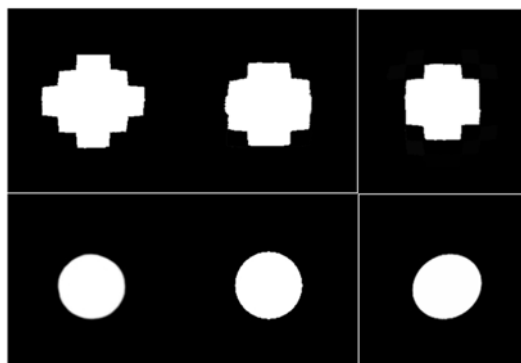


图 8 本文恒星显著性区域与真实恒星区域对比  
Fig. 8 Compare of saliency region and real region of star

形态,在保持较高的回调率的同时能够达到较高的精确度,与本文算法较为接近的算法是 MR 算法,其次是 GS 算法,SF 算法保留大量的近红外恒星辐射扩散斑区域,保持较高回调率时,精确度则会迅速降低。

利用式(13)、(14)计算获得质心与人为标定质心对比曲线如图 10 所示,由于凝视状态恒星质心真实位置无法确定,通常采用人为标定恒星中

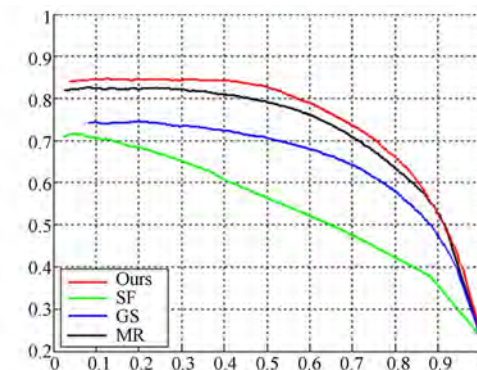
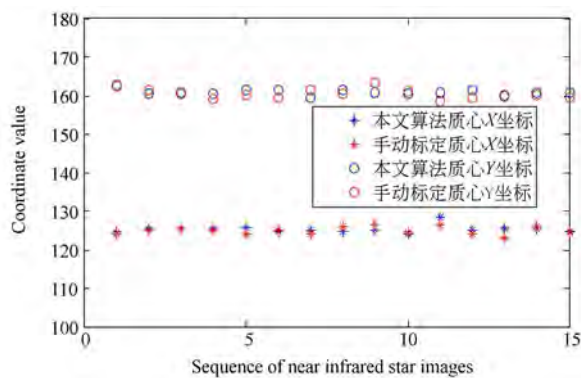
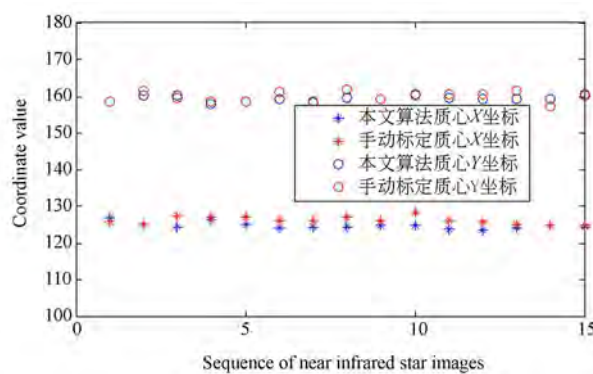


图 9 对比方法 PR 曲线图  
Fig. 9 PR curve of different methods

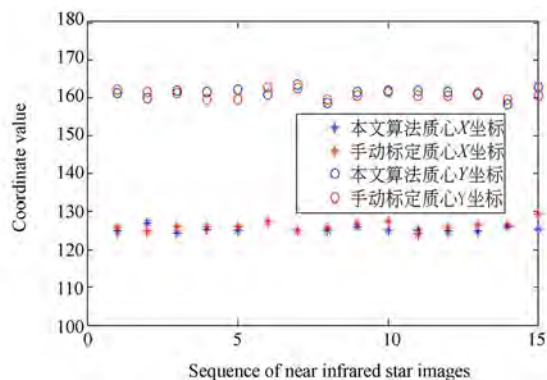
心区域,利用式(13)、(14)进行质心计算以尽可能获得接近恒星真实坐标数据。从坐标数据对比来看,本文算法不仅具有较高精确度和回调率,并且通过本文算法获得显著性区域计算近红外恒星的坐标位置同样具有较高的精确度。以计算获得坐标数据与标定坐标进行对比,从分析结果来看,所有凝视状态获得的近红外恒星序列图的质心偏离方差  $\sigma \leq 0.27$ 。



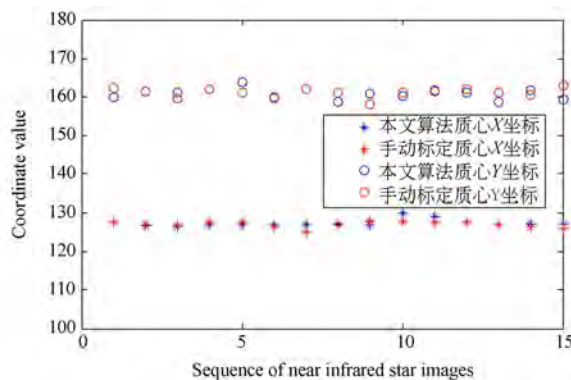
147°46'45"17' ( $\sigma=0.2475$ )



112°20'45"27' ( $\sigma=0.2508$ )



167°04'45"0' ( $\sigma=0.2479$ )



201°37'45"09' ( $\sigma=0.2460$ )

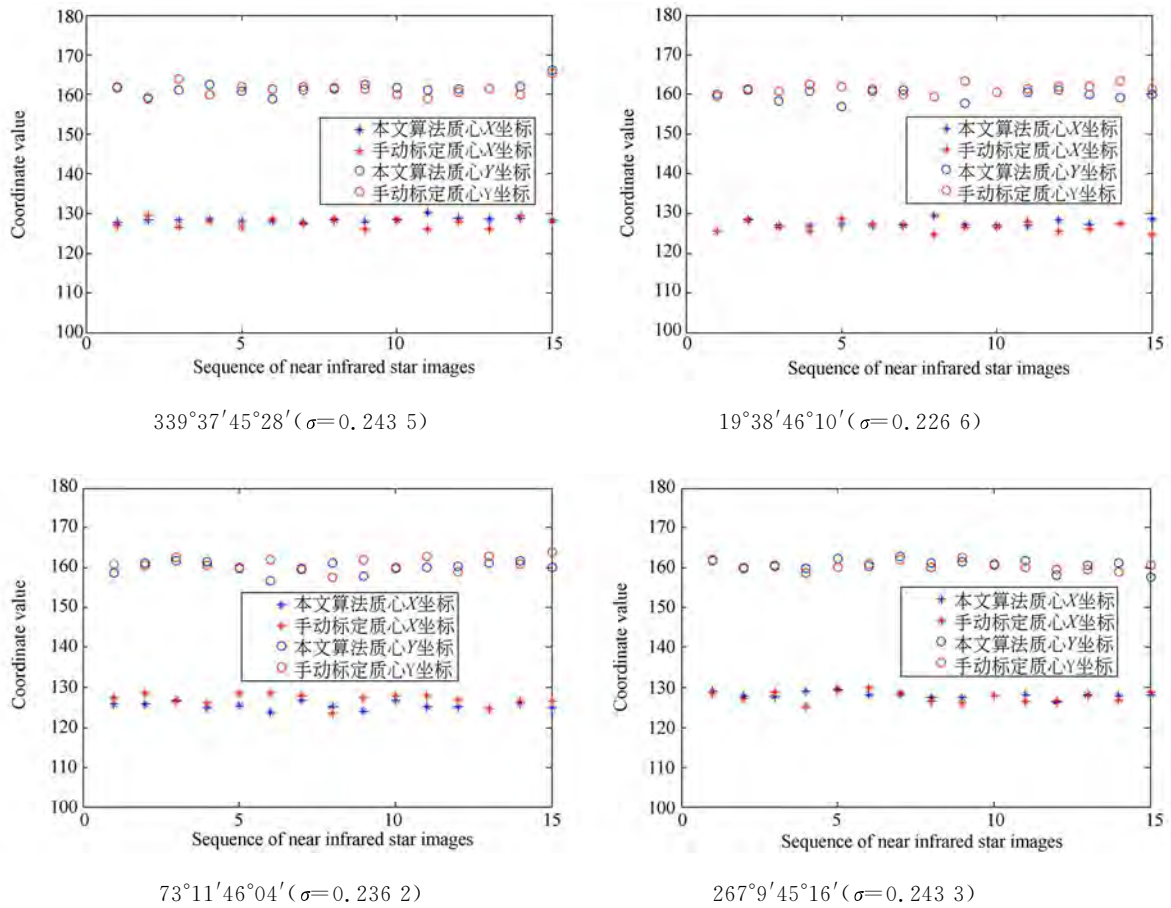


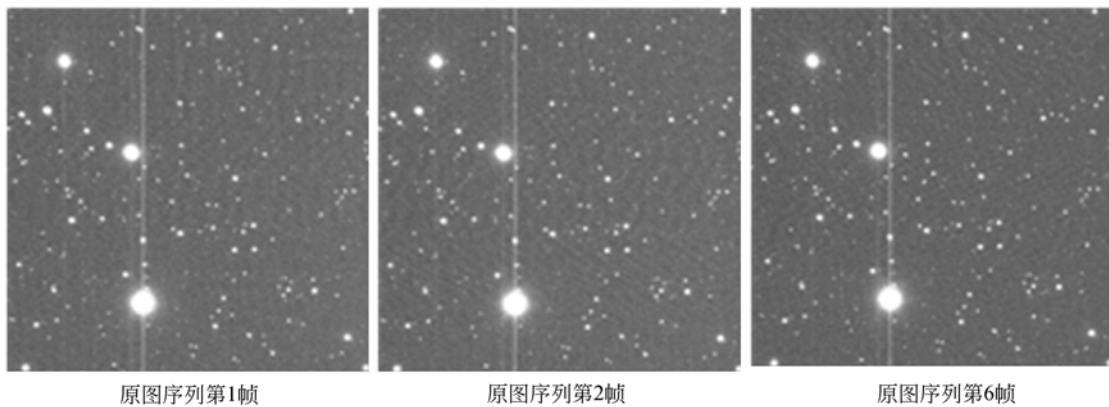
图 10 本文算法计算凝视近红外星图序列质心与标定质心对比

Fig. 10 Center position compare of stars in the dataset

### 5.3 适应性分析

由于本文采用的凝视状态的近红外星图目标区域面积较大,显著性检测保留了相当一部分的恒星扩散斑区域,对质心计算造成了干扰,如果目标辐射斑较小则必然会增加算法的精度。为证明

本文算法在一般情况下的适用性,采用 6 幅非凝视状态实际拍摄的近红外序列星图利用本文算法进行处理,在获得显著性结果后进行目标连通区域面积计算,将面积小于一定像素值的目标进行剔除,显著性结果如图 11 所示。



原图序列第1帧

原图序列第2帧

原图序列第6帧

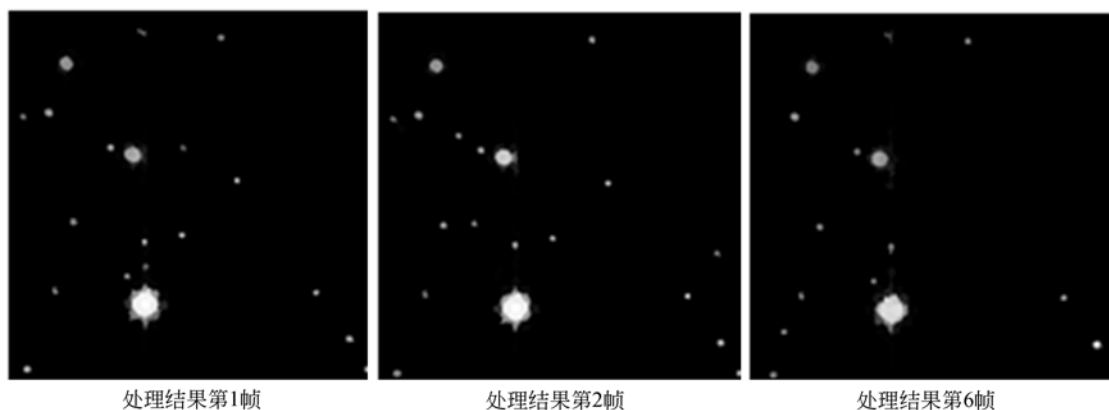


图 11 一般情况下拍摄近红外星图序列处理结果

Fig. 11 Stars detection for more normal starry sky images

从目标区域提取结果来看,视场增大后,由于恒星面积变小,辐射斑相应变小,在整个图像中恒星的坐标计算反而会更加精确,质心偏离方差为 0.223。

## 6 结 论

本文提出边界连通性方法来评价近红外星图中图像块的背景对比度,通过背景对比度和超像素之间的关联计算获得超像素块的显著性值,最

后通过软阈值分割获得近红外星图显著性区域图像,并在显著性区内提取计算恒星质心坐标。从实验结果来看,本文算法具有较高的精度,在凝视状态存在大量扩散斑区域干扰的情况下质心偏离方差不超过 0.27,在一般情况下获得恒星显著性区域更加接近真实目标区域,质心偏离方差小于 0.23,减少了恒星扩散斑的辐射影响;同时,由于本文算法的计算特点,有效得避免了大量红外噪声的干扰,在实际应用中,可以作为一种方案来进行。

### 参考文献:

- [1] 叶松,方勇华,孙晓兵,等.一种基于偏振信息的恒星白天观测方法[J].大气与环境光学学报,2007,2(3):222-226.  
YE S, FANG Y, SUN X B, *et al.* A method of star detection during daytime based on the method of polarization information [J]. *Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 2007, 2(3): 222-226.
- [2] 韩艳丽,王铎,张健,等.近红外多视场白天测星分析[J].红外与激光工程,2013,42(8):2202-2208.  
HAN Y L, WANG D, ZHANG J, *et al.* Analysis of star detection with multi field near infrared during daytime[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(8):2202-2208.
- [3] 高建云,陈力,王家骥,等.2 MASS 的科学意义和成果概览[J].天文学进展,2004,22(4):275-283.  
GAO J Y, CHEN L, WANG J J, *et al.* A brief introduction on the significance and achievement of 2 M ASS [J]. *Progress in Astronomy*, 2004, 22(4): 275-283. (in Chinese)
- [4] 张春华,张红雷,袁博,等.星空观测图像背景估计及其在 HDR 星图增强中的应用[J].遥测遥控,2013,34(4):24-29+40.  
ZHANG C H, ZHANG H L, YUAN B, *et al.* Background estimation and its application in HDR star image enhancement[J]. *Journal of Telemetry, Tracking and Command*, 2013, 34(4): 24-29+40.
- [5] ACHANTA R, SHAJI A, SMITH K, *et al.* Slic superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 34(11):2274-2281, 2012. 3, 6.
- [6] JOHNSON D B. Efficient algorithms for shortest paths in sparse networks. *J. ACM*, 24(1):1-13, 1977. 3.
- [7] CHENG M, ZHANG G, MITRA N, *et al.* Global contrast based salient region detection. In *CVPR*, 2011. 1, 4.

- [8] PERAZZI F, KRAHENBUHL P, PRITCH Y, *et al.*. Saliency filters: Contrast based filtering for salient region detection. In CVPR, 2012. 1, 4, 6.
- [9] GOFERMAN S, MANOR L, TAL A. Context-aware saliency detection. In CVPR, 2010. 1, 4.
- [10] YAN Q, XU L, SHI J, *et al.*. Hierarchical saliency detection. In CVPR, 2013. 1, 2, 4, 5, 6.
- [11] PERAZZI F, KRAHENBUHL P, PRITCH Y, *et al.*. Saliency filters: Contrast based filtering for salient region detection. In CVPR, 2012. 1, 4, 6.
- [12] 郭少军, 姜树理, 刘峰. 应用颜色聚类图像块的多舰船显著性检测[J]. 光学精密工程, 2016, 24(7):1807-1817.
- GUO SH J, LOU SH L, LIU F. Multi-ship saliency detection via patch fusion by color clustering [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2016, 24(7): 1807-1817.
- [13] 郭少军, 王哲. 基于高斯拟合局部直方图方法的近红外星图目标检测[J]. 红外, 2013, 34(5):42-45.
- GUO SH J, WANG ZH. Near infrared starry sky object detection based on Gaussian fitting local histogram method[J]. *Infrared*, 2013, 34(5):42-45.
- [14] WEI Y, WEN F, ZHU W, *et al.*. Geodesic saliency using background priors. In ECCV, 2012. 1, 2, 4, 6.
- [15] CHENG M M, WARRELL J, LIN W Y, *et al.*. Efficient salient region detection with soft image abstraction. In ICCV, 2013. 1, 2, 6.
- [16] YANG C, ZHANG L, LU H, *et al.*. Saliency detection via graph-based manifold ranking. In CVPR, 2013. 1, 2, 4, 6.

#### 作者简介:



王哲(1981—),男,山东青州人,副教授,2003年于山东理工大学获得学士学位,2009年于第二炮兵工程大学获得硕士学位,主要从事精确制导与导航、导弹控制与测试等研究。E-mail: yokou12345@163.com.



郭少军(1985—),男,湖南洞口人,博士研究生,助理工程师,2008年于海军航空工程学院获得学士学位,2011年于海军航空工程学院获得硕士学位,主要从事图像处理,模式识别与智能化处理等方面的研究。E-mail: guoba2000@163.com