

星空背景的多运动小目标检测方法

杨馥溢, 杨璐, 魏敏, 何嘉

(成都信息工程大学计算机学院, 四川 成都 610225)

摘要:针对星空背景运动弱小目标检测,提出一种基于图像帧间差分的弱小目标检测方法。该方法在差分的同时利用帧间像素值的关系增强差分后的结果,采用基于约束点的自适应均值+K倍方差的方法进行图像分割,对分割后的结果用二值滤波进行目标聚类 and 去除孤立噪声点;然后标记得到目标位置、大小、灰度和外接矩形等特征;最后将标记的候选目标与上一帧图像标记的全图目标进行重合度判断去掉残留背景星边缘,将最终得到的候选目标作为后续航迹检测的输入。实验证明,提出的方法既能有效地抑制背景恒星,又能增强弱小目标信号,最后送航迹关联的候选目标很少,一般控制在20个左右,目标航迹检测效率高。因此,该方法是一种简单有效的小目标检测方法。

关键词: 计算机应用; 图像处理; 差分; 多目标; 膨胀; 二值滤波; 航迹检测

中图分类号: TP399

文献标志码: A

0 引言

随着航天技术的发展和应用的需求,从星空背景下提取复杂运动目标成了一个重要的问题。光电望远镜的口径越来越大,CCD^[1]的探测能力越来越强,这两方面的因素使光电望远镜的探测能力也急剧增强。能够探测到更弱的感兴趣目标,但同时原本微弱的背景星也被探测到,这导致光电望远镜获取的图像中背景星密布,大大增加了感兴趣弱小目标的检测难度。

星空背景不同于传统的杂波背景干扰,待检测小目标^[2]的背景是浩瀚的星空,在星空背景下的小目标检测还得思考如何区分出目标和背景星,小目标相对于背景而言目标能量并非小得多,因此一般的背景减除法^[3-4]无法使用到文中所研究的问题;此外,在星空背景下,个别背景星可能由于运动使它们处在相邻像素的交叠处,从而导致像素扩散,这样即使在背景完全配准的情况下,仍然保留残差,普通帧间差分^[5]还是不能完全消除背景;最后因为小目标具有高频特性,可以采用高通滤波^[6]的方法去除处于低频的背景及中低频噪声,达到增强小目标的目的,由于处理的是星空背景的小目标检测图像,待检测目标和背景星都为高频信号,高通滤波并不能将二者进行区分,导致后续目标航迹检测候选目标太多,导致检测失败。

因此针对这种类型的图像,提出一种基于普通帧间差分的改进算法,用来简单高效地检测星空背景下的小目标。

1 改进差分方法

改进差分方法就是在普通帧间差分的基础上进行两处改进:一是差分时增强目标信号,克服了其他差分方法^[7-9]在去除背景星的同时削弱目标信号的缺点;二是差分时减小背景星边缘残留。

1.1 帧间差分

帧间差分是运动目标检测最简单且有效的方法,通过帧间差分可以降低甚至消除背景星的干扰,突出目标信号。为有效地抑制背景星干扰,各种差分^[7]或差分的变形形式^[8]被广泛地应用到工程实践中。一般的帧间差分形式为

$$D_n(i, j) = \begin{cases} f_n(i, j) - f_{n-1}(i, j); & f_n(i, j) > f_{n-1}(i, j) \\ 0; & f_n(i, j) \leq f_{n-1}(i, j) \end{cases} \quad (1)$$

其中, f_n 和 f_{n-1} 是相邻两帧原始图像,对于普通的帧间差分,差分的结果即是两帧对应像素之差,当差值 <0 时,取0。

1.2 改进差分

虽然式(1)的差分能消除大量的背景星,但是当待检测小目标信号较弱时,差分运算会进一步减弱目标信号,导致目标检测失败。分析式(1)可以发现,差分是将对应位置的像素值进行减法运算,没有考虑两个像素的灰度关系,提出的改进差分在差分运算时,充分考虑对应像素灰度值的关系并利用这2个灰度值将差分结果进行灰度拉伸,从而达到差分的同时放大差

分值的效果,这样,当感兴趣的小目标与背景灰度值相差不大时也能将这种差异放大,达到增强弱小目标的效果。改进后的差分表示为

$$D_n(i,j)=\begin{cases} Sat_Value \times \frac{f_n(i,j)-f_{n-1}(i,j)}{\max(f_n(i,j),f_{n-1}(i,j))}; & f_n(i,j) > f_{n-1}(i,j) \\ 0; & f_n(i,j) \leq f_{n-1}(i,j) \end{cases} \quad (2)$$

其中, Sat_Value 为数字图像的饱和值,对于16 Bit 的地基望远镜图像, Sat_Value 的值为 $2^{16}-1$,式(2)充分考虑参与差分的对应两像素的灰度关系,在差分的时候将差分结果进行灰度拉伸,这种灰度拉伸变换有别于其他灰度增强方法,差分结果只受参与差分的2个像素的灰度影响,而且从公式可以看出,只要2个像素灰度值有差异,这种差异就会在差分后进行放大。这一特性对于弱小目标检测是极其关键的,这是因为弱小目标与背景灰度差异不大,通过式(2)进行差分运算后,弱小目标和背景的差异被放大,而其他位置都被有效抑制。此外,式(2)代表的差分方法相比其他增强方法还有2个特点:一是差分的同时增强目标,运算简单高效;二是弱小目标增强不受全图或小目标周围像素灰度值的影响。式(2)虽然解决了式(1)差分削弱目标信号的缺陷,但却带来如下副作用:一是将背景的孤立噪声增强;二是增加了背景星差分残留;如何减少孤立噪声增强带来的影响,在后面进行讨论,针对背景星差分残留,通过分析和实验,是如下几个主要原因造成的:

- (1) 由于传动晃动和视场旋转^[8-9],背景星在帧间存在位置差异。
- (2) 由于帧转移型 CCD 的特性,图像中饱和星的拖尾及饱和溢出帧间变化也会较大^[10],从而导致饱和星的形状在帧间变化较大,这些变化势必导致差分残留部分背景星边缘。
- (3) 由于大气扰动,背景星帧间虽然位置没有变化,但是其全部或局部灰度值存在变化,经过式(1)差分后会有残留,特别是边缘部分,这种残留经过式(2)增强后,很容易被检测为小目标,引起虚警。这种位置不变,灰度变化的情况如图 1 所示。

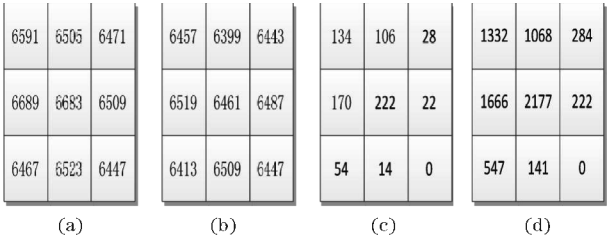


图 1 灰度变化引起的差分残留示意图

图 1(a)和图 1(b)是相邻两帧对应位置的灰度,图 1(c)是式(1)的差分结果;图 1(d)是式(2)的差分结果,可以看出,提出的差分增强方法将很小的差异放大。

为解决上述 3 种情况导致的背景星差分残留,将式(2)所示的差分进一步改进,改进的方法为

$$D_n(i,j)=\begin{cases} Sat_Value \times \frac{f_n(i,j)-O^{SE}(f_{n-1}(i,j))}{\max(f_n(i,j),O^{SE}(f_{n-1}(i,j)))}; & f_n(i,j) > O^{SE}(f_{n-1}(i,j)) \\ 0; & f_n(i,j) \leq O^{SE}(f_{n-1}(i,j)) \end{cases} \quad (3)$$

其中 $O^{SE}(f_{n-1}(i,j))$ 是对参与差分的上一帧图像进行膨胀^[11],根据情况选取大小合适的结构元 SE 将上一帧图像中的背景星进行扩大,差分是能有效的消除上述 3 种情况导致的背景星残留,同时也能减弱部分背景孤立噪声的残留(膨胀的结构元大小为 3×3)。

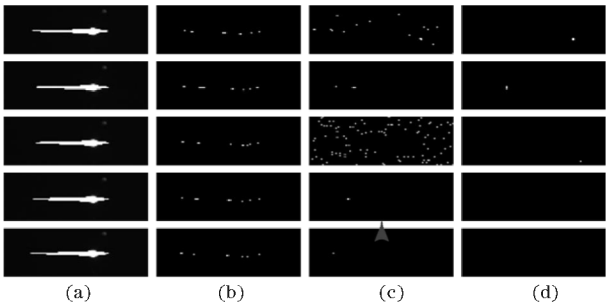


图 2 饱和星帧间差分对比图

图 2(a)是饱和星在序列图像中的原图,可以看出帧间存在形状变化;图 2(b)是图 2(a)按式(1)差分后的结果,可以看出有边缘残留;图 2(c)是图 2(a)按式(2)差分后的结果背景星边缘存在的同时留下了很多增强的孤立噪声;图 2(d)采用结构元膨胀后差分,为式(3)的结果,可以看出背景星效果去除很好,噪声也得到有效抑制。

2 差分残留去除

通过改进差分对图像进行处理,虽然能够去除绝大部分背景星,但是仍然会有背景星边缘残留,同时孤立的背景噪声也会被增强。如果能将这些问题有效解决,对后续目标检测是极其重要的。由于背景星残留边缘位置是变化的,背景孤立噪声也是变化的,对称差分可以很好的解决这两方面的问题,但是对称差分也不能增强弱小目标,因此,采用如下一些步骤解决这些问题:

- (1) 首先对式(2)处理后的图像进行二值化,二值化方法采用均值+ K 倍方差的方法, K 值范围为 $4 \sim 7$,为防止 K 值选取不合理造成的分割失败(门限太低,

分割出太多噪声,门限太高,将弱小目标未能有效分割出来),结合 P-Tile 的方法的思想,根据系统的需求(系统硬件处理能力和检测概率),通过实验确定分割出来像素点个数的上限和下限,通过动态试探的方法确定合适的 K 值,计算出当帧的分割门限。

(2)对于分割后的二值图像,由于差分增强会增强背景噪声,因此,这些噪声会被当成候选目标像素被分割出来,但由于噪声在空域不相关,往往表现为孤立噪声,采用二值滤波^[12]进行这类孤立噪声的去除。

(3)对二值滤波后的图像进行标记^[13],得到所有候选目标的位置、大小、灰度值及外界矩形等特征,为残留背景星边缘去除处理做准备。

(4)通过研究发现,差分后留下的背景星边缘和上一帧背景星在位置上重合度很高,而感兴趣的目標在帧间运动,和上一帧的自己不会重合且和其他背景星重合概率很低,因此可以利用当前帧的候选目标与上一帧全图未做差分运算标记出来所有目标(包含背景星、感兴趣的目標及一些噪声)进行比较,将有重合关系的当前帧中的候选目标作为边缘残留予以剔除,示意图如图3所示。

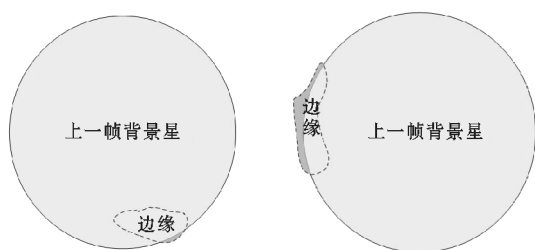


图3 差分后残留边缘与背景星重合示意图

上一帧图像中候选目标的提取方法采用文献[14]的目标提取方法,通过标记得到候选目标的外接矩形,记为 $Ex_RC_{n-1}(x_i, y_i, w'_i, h'_i)$ ($n-1$ 表示第 $n-1$ 帧, i 表示第 $n-1$ 帧中的第 i 个目标),当前帧的候选目标外接矩形记为 $RC_n(x_j, y_j, w_j, h_j)$ (n 表示第 n 帧, j 表示第 n 帧中的第 j 个目标);若 $RC(x, y, w, h) = RC_n(x_j, y_j, w_j, h_j) \cap Ex_RC_{n-1}(x_i, y_i, w'_i, h'_i)$ 满足式(4),则当前帧候选目标为背景星边缘,予以剔除。

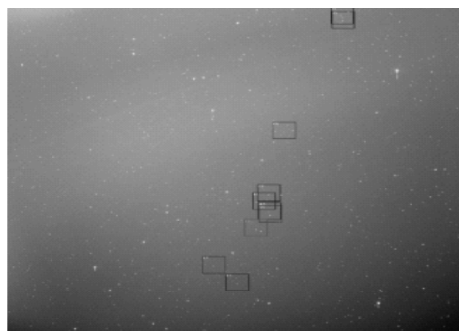
$$\frac{RC(x, y, w, h)}{RC_n(x_j, y_j, w_j, h_j)} \geq nTh \quad (4)$$

式(4)表示面积比,在文中 nTh 取值为 $0.7 \sim 0.85$ 效果都很好。

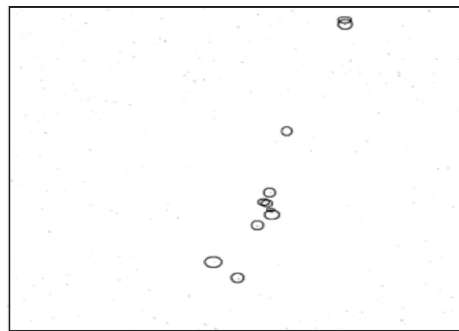
3 实验结果及结论

实验图像选用具有代表性的一个序列,来自一台视场 $2.3^\circ \times 2.3^\circ$ 的光电望远镜采集的图像,图像大小

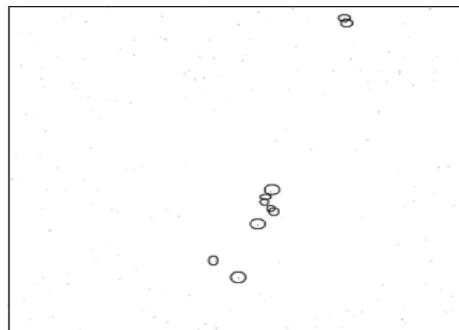
为 $2K \times 2K$,由于视场大,探测能力高,因此图像中的背景星很多,望远镜中随着背景星运动,感兴趣的目標(同步轨道上的目標,共11个,图像中的框和圈标明了它们的位置)在图像中缓动。图4是提出的星空背景的运动目标检测效果图,(为了打印方便,所有二值图经过反色处理,黑色代表目标像素)。图4(a)是序列图像中的一帧原始图像,图4(b)是差分后的二值图,图4(c)是目标聚类后的二值图,图4(d)是上一帧图像以文献[15]方法检测得到的全图目标图,图4(e)是背景星边缘去除后最后送给航迹检测的圖。从图中可以看出,原图中背景星密布,差分后虽然后的二值图虽然抑制了绝大部分背景星和背景,但是其数量仍然较多,经过目标聚类后,孤立噪声点都被去除,仅留下残留背景星边缘和待检测目标,将其标记后与上一帧图像全图目标进行边缘剔除,最终得到图4(e),从图中可以看出,送给航迹关联的目标已经非常少了,这对后续航迹检测是非常有利的。



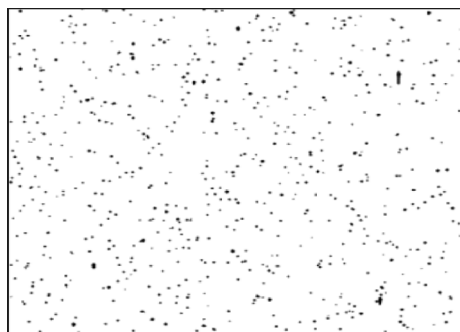
(a) 原图



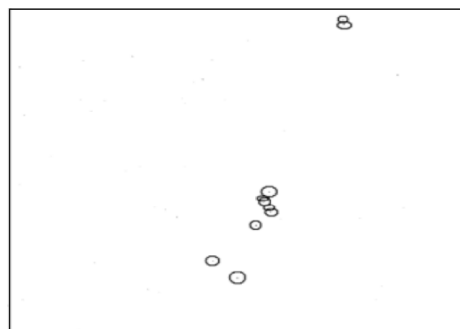
(b) 差分后二值图



(c) 目标聚类后二值图

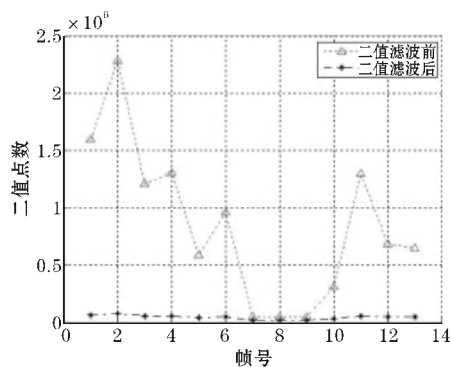


(d) 上一帧图像全图目标图

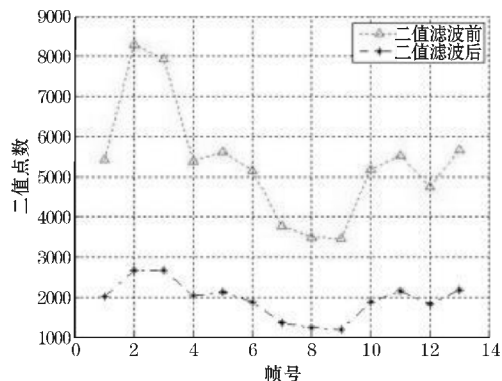


(e) 最终候选目标图

图4 运动目标差分检测效果图



(a) 方法1



(b) 方法2

图5 不同预处理方法二值滤波前后结果对比图

改进的差分在差分前对上一帧图像进行膨胀运算,差分时同时增强差分结果,其目的是减少背景星边缘残留,同时增强弱小目标,为验证该方法的有效性,同时证明二值滤波的有效性,将直接差分的方法称为

方法1,差分方法为方法2,膨胀的结构元大小为 3×3 。从图5可以看出不管采用哪种方法,二值滤波都能很好地滤除孤立噪声点,滤除率高达70%以上,对比图5(a)和图5(b)可以看出,膨胀前差分后剩下的二值点数仅为普通差分的 $1/10 \sim 1/30$ 。足见文中差分方法的优越性。

从图5(a)和图5(b)中的曲线可以看出,与方法1相比较,方法2的差分可以抑制较多的背景星边缘,因此标记出来的目标明显较少;同时后续的背景星边缘去除方法也能大大地减少候选目标,方法2最终的候选目标都控制在20个(其中有11个是真正感兴趣的目标,由于文中差分具有增强小目标信号的作用,因此完全被检测出来)以内,这样航迹检测的正确性和效率都很高。

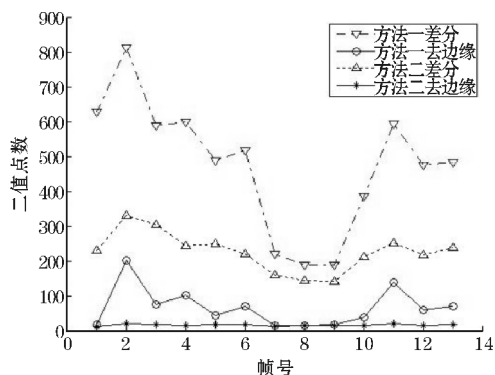


图6 不同处理方法送航迹关联候选目标数

提出的星空背景的运动小目标检测方法原理简单,检测效果好,可操作性强,克服了普通差分运算削弱弱小目标信号和差分残留的问题,特别适合工程应用。

参考文献:

- [1] 傅平. CCD 图像传感器拖尾的研究[J]. 压电与声光, 2004, 26(1): 72-75.
- [2] 潘翔. 运动目标检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [3] 周卫祥, 孙德宝, 彭嘉雄. 红外图像序列运动小目标检测的预处理算法研究[J]. 国防科技大学学报, 1999, 21(5): 57-60.
- [4] 王卫华, 何艳, 陈曾平. 光电图像序列运动弱小目标实时检测算法[J]. 光电工程, 2006, 33(4): 15-16.
- [5] Stauffer C, Grimson W. Adaptive background mixture models for real-time tracking[J]. proceeding of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1999, 6(2): 248-

- 252.
- [6] 向昌成. PCA 分块结合高通滤波的多聚焦图像融合研究[J]. 计算机与现代化,2010,(5).
- [7] Jia-guo Leu. A Computer Vision Process to Detect and Track Space Debris Using Ground-Based Optical Telephoto Images [C]. Computer Vision and Applications, Preceedings, The Hague, Netherlands, Aug 30-Sep3,1992,I:522-525.
- [8] Eff Houchard, Paul Kervin, John Africano. et al. Orbital debris detection program highlights from the Air Force Maui Optical Station[C]. Space Instrumentation and Dual-Use Technologies, Orlando, USA, Jue 8, 1994, 2214:7-20.
- [9] 魏敏,文武,周进,等. 配准差分在深空小目标检测中的应用[J]. 光电工程,2015,42(11):76-82.
- [10] LI Xiaoyan, ZHUANG Fuqiang, WANG Dai, et al. Derotation device of groud-based telescope, China:201210344436 [P]. 2012.
- [11] GUO Peng. Study of telescope's derotation system [D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,2013:10-11.
- [12] BAI Xiangzhi. Morphological operator for infrared dim small target enhancement using dilation and erosion through structuring element construction [J]. Optik (S0030 - 4026), 2013, 124: 6163 - 6166.
- [13] LI Zhengzhou. Research on the Technique of Real Time Detecting and Tracking Small Dim Moving Target [D]. Chengdu: Institute of Optical and Electrical of Chinese Academy of Sciences, 2004:89-90.
- [14] ZHOU Jin, WU Qinzhang. A real-time dim target detection algorithm in large field and deep sky [J]. Optical Technical,2006,32(1):134-137.
- [15] 杨卫平. 空间红外成像制导信息处理技术研究 [D]. 长沙:国防科大,1998.

The Method for Multi-Moving Small Target under Celestial Background

YANG Fu-yi, YANG Lu, WEI Min, HE Jia

(College of Computer Science and Technology, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: To solve the problem of detecting moving targets under celestial background, a multi-Objective detecting method base on difference was proposed. The algorithm uses the improved difference to suppress the background stars, and enhance small targets at same time, then use adaptive threshold to segment image and binary filter to eliminate isolated noise, after these processes, mark current and previous image to get target's features: position, size, gray and contour-rectangle, finally, use coincidence degree between current and previous frame marked targets to acquire the candidate targets, Experiments show that; this multi-objective detecting algorithm is simple and efficient because it can get rid of background stars efficiently and enhance small target signal at the same time, the candidate targets are inputted to track association is limited in 20(2K×2K image, thousands of stars).

Key words: computer application; image processing; difference; multi-object; dilate; binary filter; track detection