

星空背景的弱小目标差分增强方法

魏 敏, 文 武, 张江楠

(成都信息工程大学计算机学院 四川 成都 610225)

摘要: 针对星空背景弱小目标检测预处理, 提出一种基于差分的弱小目标增强方法。该方法将参与差分运算的两帧图像的上一帧图像进行灰度膨胀, 再用当前帧与其进行差分, 在差分时用图像的灰度饱和值乘差值再除上做差分运算的两个对应像素的最大值, 通过这种差分运算, 解决了背景星抑制不干净的问题, 克服了差分时弱小目标信噪比进一步降低的情况。实验表明, 文中的差分方法, 不仅对背景抑制良好, 且与传统差分比较目标信噪比提高 3.5 倍以上, 对比度提高 20 倍以上。

关 键 词: 信号与信息处理; 图像增强; 膨胀; 大气扰动; 差分; 拖尾

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

0 引言

弱小目标检测预处理的主要目的是抑制背景和增强目标信号, 其方法繁多, 常见的有: 灰度拉伸^[1]、直方图变换^[2]、高通滤波^[3-4]、目标能量累积^[5-7]、波原子变换^[8]、四元数傅里叶变换^[9]和形态滤波^[10-11]等。图像直接差分^[12-13]或变形形式(采用基于时空域的双边滤波器估计背景, 再将原图与背景做差分运算^[14])也广泛应用到弱小目标检测当中, 差分的主要目的是抑制背景, 减小背景干扰, 但是, 对于信噪比较低的小目标, 经过差分处理后有可能降低目标的信噪比, 因此, 普通差分并不适合复杂背景的弱小目标检测。如果能够找到一种差分方法, 既能抑制背景, 又能提高弱小目标的信噪比, 这对扩大差分的应用范围和提高弱小目标的检测都是极其有意义的。

针对星空背景的弱小目标检测这一应用场景, 提出一种既能抑制背景星, 又能增强弱小目标的差分增强方法。星空背景的图像可以分为两大类, 一类是背景星位置不变或缓动(定义为做差分运算的两帧图像中的背景星位移不大于 1 像素); 另一类为背景星位置有明显变化。这两类图像均可应用提出的差分方法进行背景星抑制(或完全去除), 增强弱小目标, 方法应用到这两类图像时, 对于背景星运动的情况需要先将背景星进行配准, 再运用该方法。为了算法描述简单, 仅以第一类图像的情形进行描述。

1 算法描述

图像差分运算指的是将需要做差分运算图像的两帧图像(根据需要, 这两帧图像可以不相邻)进行逐像素做差运算, 这种运算可以表示为

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

其中, $f_n(i, j)$ 表示第 n 帧图像 (i, j) 处的灰度, $f_{n-1}(i, j)$ 与第 n 帧做差分运算的那帧图像 (i, j) 处的灰度。如前面所述, 图像差分的优势在于抑制背景而非增强弱小目标, 若直接将图像差分运用到弱小目标检测中, 很难取得良好的效果, 特别是当目标信噪比很低时。分析图像差分运算可以发现, 差分时直接将对应像素相减, 并没有考虑对应两个像素的灰度关系, 提出的差分充分考虑对应两个像素的灰度值, 并利用这两个像素的关系, 在差分时将他们的差值(差分结果)进行放大, 从而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 是图像的饱和值, 对于 16 Bit 的图像, Sat_Value 的值为 65535。式(2)充分考虑了帧间灰度特征, 同时将差分后的结果进行了灰度拉伸, 这种拉伸只受帧间对应像素值的影响, 换句话说, 只要帧间对应像素灰度值存在差异, 这种拉伸方法就将这种差异

收稿日期: 2015-03-12

基金项目: 四川省科技厅基金资助项目(2012SZZ028); 四川省教育厅基金资助项目(14ZA0176)

放大,差异越大放大效果越明显,这一特性对于弱小目标差分增强是极其关键的,原因在于:差分时两帧对应的背景星灰度基本一致,经过差分后背景星被抑制;差分时两帧背景(没有星的地方)灰度值也基本一致,经过差分后也被抑制;而弱小目标比背景灰度值略高,经过差分后会拉大与周围背景的差异,从而实现背景星抑制和弱小目标增强。此外,文中差分增强方法与其他差分后再增强的方法相比较还有两个优势:其一是增强效果不受周围像素或全图像素的统计值影响;其二是增强方法简单且运算量小。

虽然经过式(2)差分增强能够很大程度抑制背景星的影响,但并不能完全将背景星剔除,通过实验分析发现,造成这一现象的原因在于:

(1) 由于大气扰动或传动晃动的影响,背景星的形状在帧间会有细微的变化(位置或形状),此外,亮度饱和的背景星,其饱和溢出的拖尾^[15]在帧间变化有时还比较大,这种变化通过改进的差分处理后更加明显,目标形状的这种变化如所示。

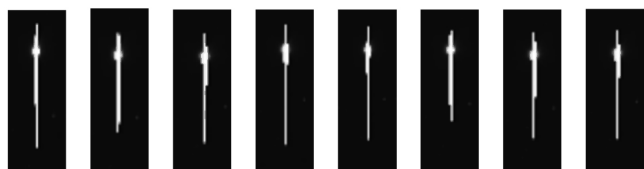


图1 饱和星帧间形状变化图

从图1可以看出,饱和背景星的形状在帧间变化剧烈,这时,差分后必定会留下边缘残留。图2是倒数第二与倒数第三帧图像差分后残留的效果图。

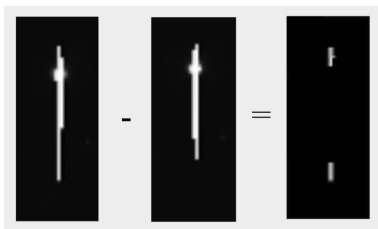


图2 差分边缘残留示意图

(2) 由于大气扰动,虽然背景星在帧间位置和形状上几乎没有变化,但是背景星的灰度分布在帧间却存在较大的变化,灰度的差异经过差分及拉伸会造成背景星的残留。这种帧间目标位置不变,灰度分布存在变化的情况如图3所示。

5720	5860	5750	5800	5920	5750	904	664	0
5840	6000	5850	5890	6050	5850	556	542	0
5780	5820	5790	5780	5820	5790	0	0	0

图3 背景星帧间灰度变化示意图

从图3可以看出,背景星左上角的灰度有轻微变化,经过差分增强后,这些微小变化被放大了10倍以上,这势必导致背景星残留。

为了克服以上两种情况导致的背景星残留,将式(2)的差分修改为

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

其中 $O^{SE}(f_{n-1}(i, j))$ 是对上一帧图像选择合适的结构元 SE 进行膨胀,膨胀的作用是将上一帧背景星的形状扩大或将上一帧背景星的灰度分布进行调整,并取局部最大值,这个操作如所示。

使用式(3)进行差分运算,根据实际情况选取合适的结构元能够极大地消除差分后的背景星残留。

对图2中的两帧图像,采用式(3)的方法,其中结构元 SE 大小为 3×3 ,对前一帧图像进行膨胀后差分,其结果如图4所示,从图4可以看出,帧间变化的饱和星边缘被有效去除。

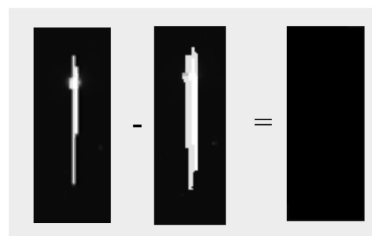


图4 差分前膨胀示意图

2 实验结果

实验数据为某光电望远镜采集的图像序列,在图像中背景星在帧间静止,图像中有多颗运动弱小目标,从图像中无法用肉眼区分出感兴趣的目标和背景星。为了更好地展示文中算法在弱小目标检测预处理的效果,将其中最弱的两个目标所在区域进行裁剪,这两个目标从左上角运动到右下角,其中一个目标的信噪比为4.4左右,对比度1.03,另一目标信噪比为1.4左右,对比度1.008。信噪比和对比度的定义为

$$SNR = \frac{m_t - m_b}{\sigma_b} \quad (4)$$

$$C = m_t / m_b \quad (5)$$

其中, m_t 是目标的均值, m_b 是背景的均值, σ_b 是背景的方差。图5是序列图像中具有代表性的两帧图

像的一部分(全图分辨率为 $2\text{ K} \times 2\text{ K}$,为方便显示和突出小目标,因此只选取其中一部分显示),其中小方框中心是感兴趣的目标,这两颗小目标在形状和亮度上与背景星相似,甚至更弱,采用普通的差分很难检测出这些目标。

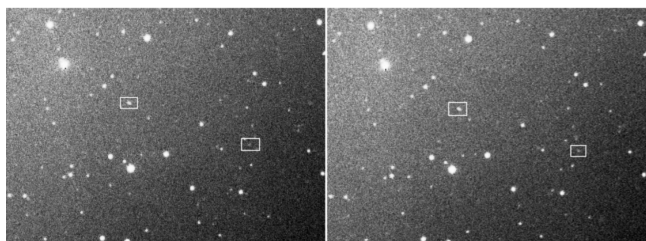


图5 序列图像中的相邻两帧原始局部图像

图6是图5采用文中算法的效果图,图6(a)为图5的右边图像,矩形框内为感兴趣的小目标,图6(b)为普通差分的效果图,从图中可以看出,虽然大部分背景星被抑制,但是残留了部分较亮背景星的边缘,图6(c)为文中差分公式(2)处理的结果,效果与普通差分类似,但目标大小较普通差分大,背景噪声也比普通差分大,这正好验证差分能增强目标的特性(副作用是噪声也增强,较弱的目标几乎被周围的噪声点淹没),图6(d)是差分公式(3)处理的效果,背景星被完全去除,且噪声点较图6(c)明显减少,噪声点减少的原因在于上一帧图像的随机噪声在膨胀时面积扩大,当帧随机噪声与上一帧图像噪声相减的机会增大,从而抑制本帧的噪声点。

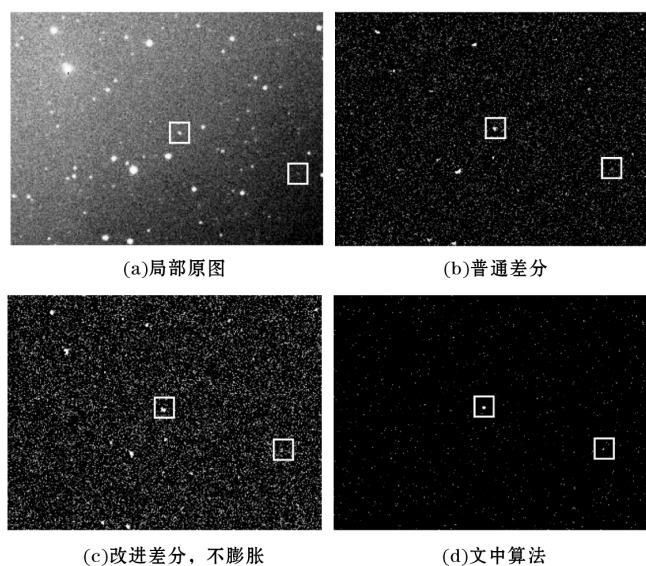


图6 局部图像及处理效果

图7是序列图像中两个较弱目标文中算法处理前后信噪比和对比度变化的对比图,总体来说,通过文中算法处理后目标的信噪比和对比度都得到极大提高,

在序列图像中,目标一在第4、5帧穿过一颗背景星,目标二在第21帧被噪声淹没,因此其信噪比和对比度为“0”,目标二在第5、16、20、21、23、29帧差分后被背景淹没,噪声和对比度为“0”。

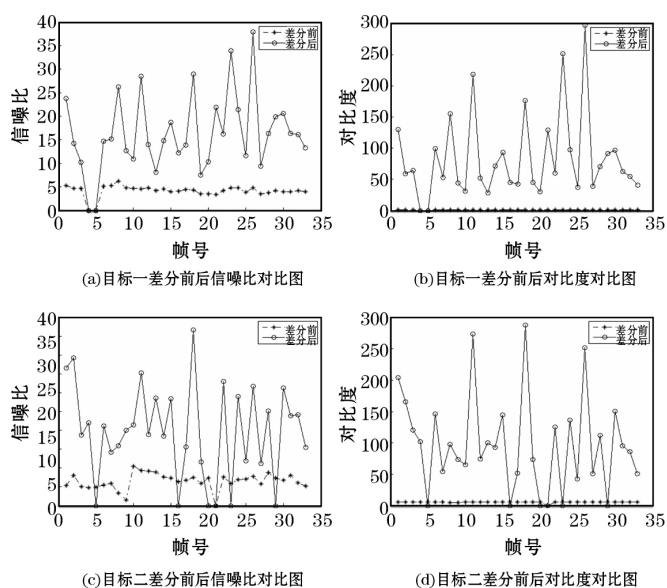


图7 差分处理后目标信噪比和对比度变化对比图

经过提出的差分增强处理后,目标一的信噪比(平均值)由4.38提高到17.42,对比度(平均值)由1.026提高到88.888,目标二的信噪比(平均值)由1.39提高到4.81,对比度(平均值)由1.008提高到23.882。

3 结束语

提出的改进差分方法具有以下优点:

- (1) 运算简单,满足实时图像处理需求。
- (2) 差分的时候同时增强弱小目标,克服普通差分削弱目标信号的缺点。
- (3) 差分前膨胀可以有效去除背景星边缘,减少背景星边缘对后续处理的干扰。

结合实验结果表明:文中方法对于提高目标信噪比和改善对比度具有优异的性能,是一种简单有效的弱小目标检测预处理方法。

参考文献:

- [1] 李晓冰. 一种红外测量图像自适应分段线性灰度变换方法[J]. 光电子技术, 2011, 31(4): 236-239.
- [2] 王炳健,刘上乾,拜丽萍. 红外图像实时增强新算法[J]. 光电工程, 2006, 33(1): 46-49.
- [3] 候洁,辛云宏. 基于高通滤波和图像增强的红外

- 小目标检测方法[J]. 红外技术, 2013, 35(5): 279 – 284.
- [4] L Yang, J Yang, K Yang. Adaptive detection for infrared small target under sea-sky complex background [J]. Electronics Letters, 2004, 40(17): 1083 – 1085.
- [5] 叶斌, 彭嘉雄. 基于能力累计与顺序形态滤波的红外小目标检测[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7A(3): 45 – 49.
- [6] 廖斌, 杨卫平, 沈振康. 基于多帧移位叠加的红外小目标检测方法[J]. 红外与激光工程, 2002, 31(2): 150 – 163.
- [7] 陈尚锋, 陈华明, 卢焕章. 基于加权动态规划和航迹关联的小目标检测技术[J]. 国防科技大学学报, 2003, 25(2): 46 – 50.
- [8] 秦翰林, 黄洋, 姚柯柯, 等. 多尺度核局部归一化的红外图像背景抑制[J]. 强激光与离子束, 2012, 24(5): 1063 – 1066.
- [9] Shenxiang Qi, Jie Ma, Hang Li, etc. Infrared small target enhancement via phase spectrum of Quaternion Fourier Transform [J]. Infrared Physics and Technology, 2014, 62: 50 – 58.
- [10] XiangZhi Bai. Morphological operator for infrared dim small target enhancement using dilation and erosion through structuring element construction [J]. Optik. 2013, Vol. 124: 6163 – 6166.
- [11] Jian-Nan Chi, Ping Fu, Dong-Shu Wang, et al. A detection method of infrared image small target based on order morphology transformation and image entropy difference [J]. 2005, 8: 5111 – 5116.
- [12] 陈朝阳, 张桂林. 基于图像对称差分运算的运动小目标检测方法[J]. 华中理工大学学报, 1998, 26(9): 34 – 38.
- [13] Jeff Houchard, Paul Kervin, John Africano, et al. Orbital debris detection program highlights from the Air Force Maui Optical Station [J]. SPIE Space Instrumentation and Dual-Use Technologies Vol. 2214: 7 – 20.
- [14] Tae Wuk Bae. Spatial and temporal bilateral filter for infrared small target enhancement [J]. Infrared Physics and Technology, 2014, 63: 42 – 53.
- [15] 傅平. CCD 图像传感器拖尾的研究[J]. 压电与声光, 2004, 26(1): 72 – 75.

A Difference Enhancement Method of Small Target under Celestial Background

WEI Min, WEN Wu, ZHANG Jiang-nan

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

Abstract: An enhancement method based on difference was proposed. This method dilates the previous frame at first, then it uses the current frame to subtract the dilated frame pixel to pixel, and uses the saturate value to multiply the difference value and divide the max value of two frames coherence pixel. After this process, the edges of background stars can be eliminated, and the dim small target can be enhanced at the same time. Experimental result shows the difference method can eliminate background and enhance the small dim target's SNR more than 3.5 times.

Key words: signal processing; image processing; difference; dilate; atmospheric disturbance; smearing