

文章编号:1004-4213(2011)03-0413-6

星图中基于小波变换的 CCD 传感器 Smear 现象消除方法

姚睿^a,张艳宁^a,孙瑾秋^b,张永鹏^a

(西北工业大学 a. 计算机学院 陕西省语音与图像信息处理重点实验室;b. 精确制导与控制研究所,西安 710129)

摘 要:帧转移型 CCD 传感器在拍摄星空背景图像时,视场中高亮度恒星会产生 Smear 现象,从而对目标检测有严重影响.为了消除 Smear 现象,提出了一种星图中基于小波变换的 Smear 消除方法.首先根据 Smear 产生机理及星空图像特性,建立星图 Smear 问题的模型;然后使用多层二维 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;最后重构出消除 Smear 的图像.实验结果表明:该方法能有效去除 Smear,最大限度保留图像原有信息,并可增强 Smear 区域弱小目标信噪比.

关键词:星空图像;帧转移 CCD;小波变换;Haar 小波;Smear 消除

中图分类号:TP391

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20114003.0413

0 引言

CCD 图像传感器可直接将光学信号转换为数字电信号,功耗小,性能稳定且噪声低,像素集成度高,被广泛用于空间目标观测侦察、空间碎片预警、天文观测等领域^[1].空间观测 CCD 图像主要包括恒星、空间目标、空间辐射噪声、星空背景噪声和 CCD 暗电流噪声等,除星空背景成像特征为大面积缓慢起伏背景噪声外,其余均为点状或近似点状小目标;但当有高亮度的恒星经过视场时,由于帧转移 CCD 图像传感器固有特性,会产生 Smear 现象.Smear 现象覆盖区域的图像特性发生改变,它的像素灰度特性、运动的方式等会对目标检测造成干扰,且覆盖区域的目标会被亮线遮挡,增加了空间目标检测的难度.

通过把帧转移改为行转移可以解决 Smear 现象,即把每个像元分为感光区和电荷转移区,电荷转移区不感光,这样在电荷积分结束时先将电荷一次性转移到转移区后再读出,读出过程不存在电荷积分,不会引起 Smear 现象,但行转移方式减少了像元的感光面积,降低了灵敏度^[2];也可以通过使用机械快门与电子快门互相搭配^[3]或其他的特殊装置^[4]来消除 Smear 现象,但这些方法对于已经获得的包

含 Smear 现象的图像数据不适用;近年来也有使用图像的暗像元区域(Optical Black Region,OBR)来检测和消除 Smear^[5],但不能消除无 OBR 信息图像的 Smear 现象.以上各种方法均是在 CCD 传感器方面做一些改进,文献[6]提出一种通过图像处理的插值方法来消除 Smear 现象,但由于插值方法固有的缺陷,会导致亮线上的较弱目标变得更弱或丢失,且易增加一些新的虚假目标.

本文提出了一种基于小波域图像处理方法消除 CCD 传感器 Smear 现象的方法,通过分析 Smear 现象产生的机理以及图像特征,对图像进行二维 Haar 小波变换提取不同尺度、不同方向上的各个小波子带,对各分解级别上垂直或水平子带的小波系数进行处理,在不同的分解级别上消除 Smear 现象,保留其他细节信息,最后通过二维 Haar 小波逆变换重构图像.通过星空图像的实验结果表明,该方法可以有效的去除 Smear 现象,保留图像原始信息,且不会引入新的噪虚假星点,并增强了 Smear 区域弱小目标信噪比.

1 帧转移 Smear 现象分析

Smear 现象指对于帧转移 CCD 传感器,当画面内射入高亮度点光源(如高亮度恒星点)时,在整个

基金项目:国家自然科学基金(No.60872145)、国家高技术发展研究计划(No.2009AA01Z315)和国家教育部科技创新工程重大项目(No.708085)资助

第一作者:姚睿(1982-),男,博士研究生,主要研究方向为计算机视觉、目标检测及跟踪. Email:yaorui@mail.nwpu.edu.cn

导 师:张艳宁(1967-),女,博导,主要研究方向为计算机视觉、图像及视频处理. Email:ynzhang@nwpu.edu.cn

收稿日期:2010-08-09;**修回日期:**2010-12-21

画面上形成一条贯穿整个画面的白色条纹的现象,如图 1 中两条垂直的白色亮线. 帧转移 CCD 包括感光单元阵列、存储单元阵列和读出寄存器,其中存储单元阵列被一层掩膜覆盖防止光照的影响. 在曝光开始之前,CCD 感光单元阵列各像元中的电荷清零,电子快门打开曝光作为一帧开始,感光单元阵列负责收集景物的光信号,完成光电转换,产生信号电荷,在一帧周期内快门是保持打开的;当积分时间结束时,图像由感光单元阵列逐列转移至存储单元阵列(如图 2);最后由读出寄存器将图像数据读出. 由于在图像转移过程中快门是打开的,CCD 传感器感光单元阵列暴露在光照下,因而即使在电荷转移时也会有电荷积累,这些积累的电荷会污染到已经存在的电荷,便产生了 Smear 现象;由于光线的斜射及 CCD 芯片制作的工艺结构等原因,电荷可能进入到邻近的存储区,这是一个随机的扩散过程,会加重 Smear 现象;特别地,当视场中出现较亮较大的目标时,Smear 现象尤为严重.

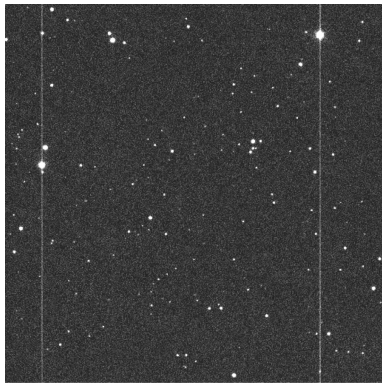


图 1 包含 Smear 现象的星空图像
Fig. 1 Star-sky image contains smear

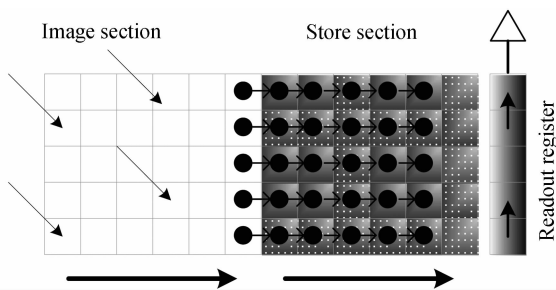


图 2 帧转移 CCD 传感器结构及帧转移过程
Fig. 2 Architecture of frame transfer CCD and transfer process

由星空背景成像特性及 Smear 产生的机理可以得到 Smear 现象具有两个特点:一是由于恒星亮度太高造成 CCD 传感器整行或整列电子溢出,Smear 现象区域通常为过某颗高亮恒星的中心,且贯穿整幅图像的行或列方向的直线;二是同一 CCD 传感器的图像一般只是出现行或列方向上的 Smear 现象,不会同时在行和列方向上出现 Smear 现象,本文均以列方向的 Smear 现象为例进行处理.

结合 CCD 传感器帧转移的过程可以建立 Smear 问题的模型. 假定 i 为第 j 列像素的行坐标,由于恒星光源在曝光周期以及转移时间内均恒定. 则在曝光周期 τ 内,像素 i 积累的光子数为

$$N'_{i,j} = k\tau A_{i,j} \quad (1)$$

式中 $A_{i,j}$ 是 i 像素上的辐射强度, k 为比例常量^[4]. 光子帧转移时间为 $\Delta\tau$,则因第 i 行以前的像元光子曝光附加在第 i 行的光子数为

$$\Delta N_{i,j} = k\eta\Delta\tau A_{i,j} \quad (2)$$

式中 η 是电荷转移单位时间内曝光光子生成数目与曝光单位时间光子生成数目之比. 则当 CCD 所有像素都被照明的情形,像素 i 的总电荷为

$$N_{i,j} = N'_{i,j} + \sum_{i=1}^M \Delta N_{i,j} = k\tau A_{i,j} + \sum_{i=1}^M k\eta\Delta\tau A_{i,j} \quad (3)$$

用 $S(i,j)$ 表示像素 (i,j) 的测量信号强度, $I(i,j)$ 表示没有 Smear 影响的信号强度. 假定 $S(i,j) = k_1 N_{i,j}$, k_1 为比例常量,是反映 CCD 光电转移的因子,则 $I(i,j) = k_1 k\tau A_{i,j}$,可得

$$S(i,j) = I(i,j) + a \sum_{i=1}^M I(i,j) \quad (4)$$

式中 $a = \eta\Delta\tau/\tau$, 其中 i,j 为图像像素坐标, $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N$, 令 $T_j = a \sum_{i=1}^M I(i,j)$. 根据式(4),消除 Smear 就转换为从 $S(i,j)$ 中减除附加的部分,还原输入图像 $I(i,j)$,即估计 T_j 的值.

由于 Smear 出现在行或列方向上,因此使用二维小波分解提取不同尺度各方向上的小波子带,只对垂直或水平子带估计 T_j ,得到子带上的 $I(i,j)$,其他方向子带信息仍然保留,通过对处理后的子带重构即可有效的还原初始输入图像.

2 小波域 Smear 消除算法

2.1 小波变换及 Haar 小波

小波变换作为一种时频信号分析工具,通过伸缩和平移等运算功能对信号进行多尺度的细化,将图像分解成具有不同局部时频特性的低频图像和高频图像,实现对图像的时频局部化分析;对不同尺度子带小波处理之后,通过逆小波变换实现图像的重构.

连续小波变换^[7] (Continuous Wavelet Transform, CWT)即把小波函数 $\Psi(t)$ 做位移 b 后,在不同尺度 a 下与待分析信号 $x(t)$ 做内积

$$WT_x(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt = \langle x(t), \Psi_{a,b}(t) \rangle \quad (5)$$

式中 a,b 分别称为尺度因子和平移因子, $\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi \left(\frac{t-b}{a} \right)$ 为依赖于因子 a,b 的小波基函数. 将 $a,$

b 离散化, 即令 $a = a_0^j$, $b = ka_0^j b_0$, $\Psi_{j,k}(t) = a_0^{j/2} \Psi(a_0^j x - kb_0)$ 为离散小波基函数, 即可得到 $x(t)$ 的离散小波变换 (Discrete Wavelet Transformation, DWT).

$L_2(j)$ 中的多尺度分析 (Multiscale Analysis, MRA) 是一系列子空间 $V_n, n \in \mathcal{C}$, 满足 $L \subset V_0 \subset V_1 \subset L, \phi_{j,k}(x)$ 为两尺度函数, $\{\phi_{j,k}(x) = 2^{j/2} \phi(2^j x - k), k \in \mathcal{C}\}$ 是 V_j 的正交基, 可通过两尺度函数来构造小波函数, 函数族 $\{\Psi_{j,k}(t), k \in \mathcal{C}\}$ 是差空间 $W_j = V_{j+1} \ominus V_j$ 的正交基.

对图像进行小波分解, 要把一维小波推广到二维小波, Mallat 提出最简单的方法即两个一维小波函数的乘积, 在 $L_2(j^2)$ 空间中进行多尺度分析 $L \subset V_0 \subset V_1 \subset L$, 相应的尺度函数为 $\phi_{j_1, j_2; k_1, k_2}(x, y)$, 由 V_j 空间提升为 V_{j+1} 空间时, 有 3 个细节空间, 即

$$V_{j+1} = V_j \oplus W_j^{(h)} \oplus W_j^{(v)} \oplus W_j^{(d)} \quad (6)$$

式中 $W_j^{(h)}, W_j^{(v)}, W_j^{(d)}$ 分别强调各自系数是用以描述图像的水平、垂直和对角特征. 对于图像 $I(x, y) \in V_0$, 其在二维正交小波基下的展开式为

$$I(x, y) = \sum_{k,l} c_{j_0; k, l} \phi_{j_0; k, l}(x, y) + \sum_{i \in \{h, v, d\}} \sum_{j \geq j_0} \sum_{k, l} d_{j; k, l}^{(i)} \Psi_{j; k, l}^{(i)}(x, y) \quad (7)$$

式中 j, k 表示图像上两个方向的位移, $c_{j_0; k, l}$ 为对应尺度空间 V_j 的展开系数, $d_{j; k, l}^{(h)}, d_{j; k, l}^{(v)}, d_{j; k, l}^{(d)}$ 分别对应小波空间 $W_j^{(h)}, W_j^{(v)}, W_j^{(d)}$ 的小波展开系数.

可通过二维的 Mallat 快速级联算法实现二维小波分解与重构, h, g 分别为小波函数的低通和高通滤波器, 则二维小波变换的快速分解公式为

$$c_{j-1; k, l} = \sum_{m, n} h_{m-2k, n-2l} \cdot c_{j; m, n} \quad (8)$$

$$d_{j-1; k, l}^{(i)} = \sum_{m, n} g_{m-2k, n-2l}^{(i)} \cdot c_{j; m, n}, i \in \{h, v, d\} \quad (9)$$

重构算法为

$$c_{j; m, n} = \sum_{k, l} h_{m-2k, n-2l} \cdot c_{j-1; m, n} + \sum_{i \in \{h, v, d\}} \sum_{k, l} g_{m-2k, n-2l}^{(i)} \cdot d_{j-1; m, n}^{(i)} \quad (10)$$

Haar 小波是最简单的小波, Haar 小波函数是一个差分函数, 可以用解析的方法表示为

$$\Psi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x < 0.5 \\ -1 & 0.5 \leq x < 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (11)$$

Haar 小波在时域上是不连续的, 但其用于图像分解与重构时具有速度快、对图像容易进行分析处理等优点, 因此本文对包含 Smear 的图像进行二维离散小波分解时选用 Haar 小波作为基函数.

2.2 Smear 消除算法

将包含 Smear 的星图图像用 Haar 小波基, 运用 Mallat 算法, 对图像进行多分辨率分解^[8], 图像

在小波分解后的结果为: 低频分量 cA , 水平分量 $cD^{(h)}$, 垂直分量 $cD^{(v)}$ 以及对角分量 $cD^{(d)}$, 二维分解的原理图如图 3 所示, G 为高通滤波器, H 为低通滤波器, $\downarrow 2$ 为下采样算子.

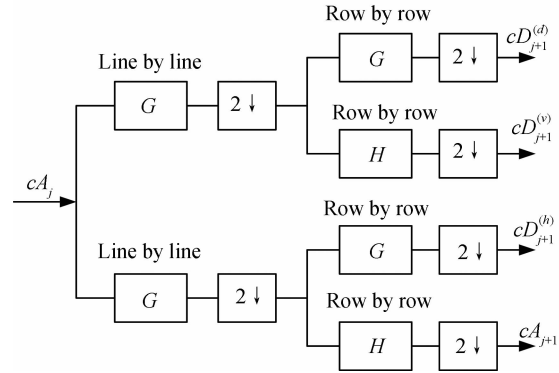


图 3 二维小波分解的原理图

Fig. 3 Schematic diagram of 2-D wavelet decomposition

3 层 Haar 小波分解后的低频与各高频子图中只有低频分量子图与垂直分量子图中包含 Smear 现象, 水平分量子图与对角分量子图中均没有 Smear 现象, 又由于各层的低频分量子图可由下一层分解的四个分量重构而成, 因此, 只需对各层分解的垂直分量 $cD^{(v)}$ 与最低层分解的低频分量 cA 进行重构, 就可以消除 Smear, 并可充分保留其他细节信息.

首先在要处理的子图像中找到 Smear 的位置, 只对包含这些亮线的列处理, 其他区域保持不变. 通过统计发现, Smear 所在的几列图像的灰度值均高于其他列, 如图 4(a). 对每列 j 分别统计灰度和

$$I_j = \sum_{i=1}^M I(i, j) \quad (12)$$

式中 $I(i, j)$ 为 (i, j) 坐标位置处的灰度值. Smear 所在的几列图像的灰度值会出现奇异值, 可以选择阈值 T 来检测奇异值所在的列

$$T = \mu_B + \lambda \cdot \sigma_B \quad (13)$$

式中 μ_B 为统计的图像背景均值, σ_B 为统计的图像背景标准差, λ 背景标准差系数, 由于 Smear 列灰度值的峰值很高, 所以 λ 的选择范围很大; I_j 大于 T 的列即存在 Smear.

找到位置之后, 要估计式(4)中附加部分 T_j 的值. 由于已经使用小波分解把原图分解到不同尺度上处理, 因此 T_j 可由该列背景灰度均值近似逼近, 但过亮恒星点的像素灰度将会影响逼近的效果, 需要去除这些过亮点, 过亮点的去除方法与检测 Smear 位置的方法类似, 即统计该列上每行像素的灰度值, 过亮点会出现奇异峰值, 如图 4(b), 设置适当的阈值找出这些点.

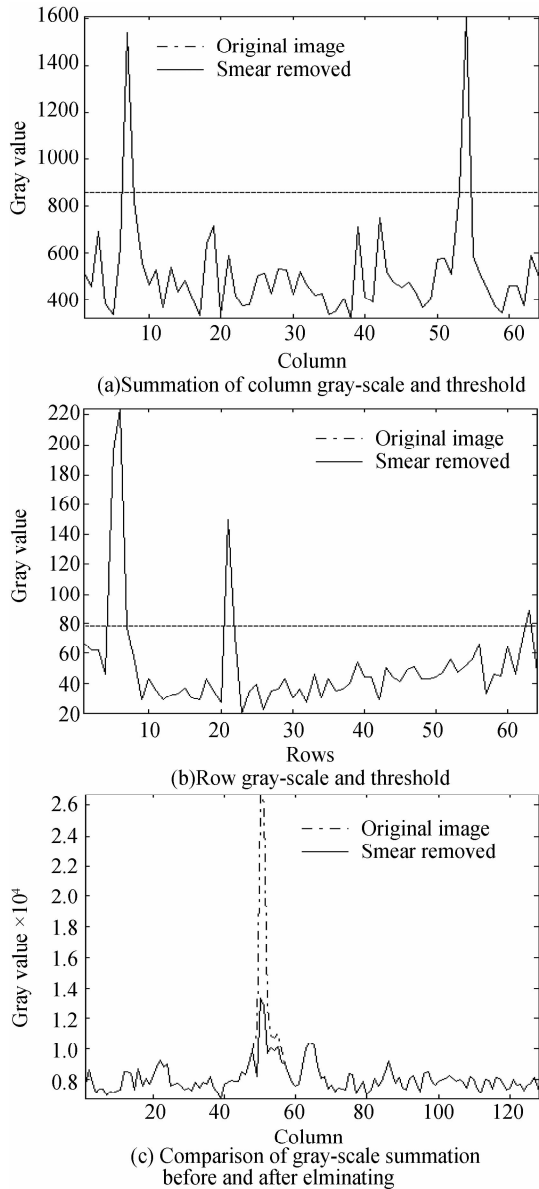


图 4 处理结果分析

Fig. 4 Analysis of processing result

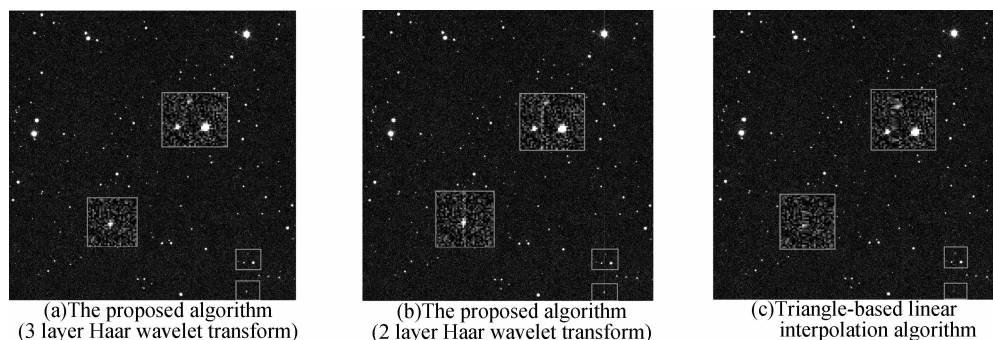


图 5 不同方法结果对比

Fig. 5 Comparison of different methods

使用常用的图像质量客观评价函数对本文方法进行分析。

1) 信息熵: 信息熵反映图像携带信息量的大小, 图像灰度变化越剧烈, 则对比度越好, 细节越突出, 图像越清晰, 其熵值也就越大. 计算公式为

用去除过亮点后的背景灰度均值 $\hat{\mu}_{B,j}$ 近似逼近

T_j , 即 $T_j \approx \hat{\mu}_{B,j}$, 则输入图像为

$$I(i, j) = S(i, j) - T_j \quad (14)$$

将小波分解的第 1 至 N 层的水平分量图和对角分量图、经过修改的第 1 至 N 层的垂直分量图、第 N 层低频分量图进行小波的逆变换, 使用式(10)重建消除 Smear 后的初始输入图像。

3 实验及结果分析

为了检验方法的有效性, 利用实际拍摄的多帧包含 Smear 图像数据进行实验, 其中的一帧实验数据如图 1, 图像分辨率为, 灰度等级为 8 bit. 并分别采用 3 层 Haar 小波分解、2 层 Haar 小波分解以及插值方法进行 Smear 的消除, 给出了实验结果. 软件实验平台为 Matlab 2009, 硬件配置为 Intel 双核 2.4 GHz CPU, 1 G 内存。

图 5(a) 为使用本文方法消除 Smear 的结果, 亮线被完全去除, 且可以从放大图中看到一些弱小的目标被很好地保留; 图 5(b) 为本文的方法只使用 2 层 Haar 小波分解后去除的效果, 发现有一些区域的 Smear 没有完全去除; 图 5(c) 为使用直接对 Smear 位置进行双三次线性插值的方法去除的效果, 虽然可以消除亮线, 但从放大图中看到, 弱小的目标也被消除掉, 且原亮线位置的明显有水平的插值痕迹. 图 4(c) 画出了图像前 128 列使用本文方法对 Smear 消除前后的列灰度和对比曲线图, 可以看出去除后, 出现高的峰值的列灰度明显下降, 说明 Smear 已被有效去除。

$$H = - \sum_{l=0}^{L-1} P(l) \log_2 P(l) \quad (15)$$

式中, L 表示图像灰度等级; $P(l)$ 表示在 Smear 区域图像中像素的灰度值为 l 时的概率。

2) 均值差: 此处均值差定义为 Smear 区域图像灰度均值与整图灰度均值的差, Smear 区域的白色

亮线造成灰度均值与整图相关较大,均值差越小表明 Smear 消除的越完全.计算公式为

$$\tilde{\mu} = \frac{1}{m \times n} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n I(x, y) - \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I(x, y) \quad (16)$$

式中, m, n 表示 Smear 区域大小, M, N 表示图像大小, $I(x, y)$ 为 (x, y) 位置的像素灰度值.

3) 平均梯度: 平均梯度可灵敏地反映图像纹理变换特征. 这里用来衡量 Smear 区域与图像其他区域在梯度上的变化, 平均梯度越小, 表明 Smear 区域与其他区域过渡越平滑. 计算公式为

$$G = \frac{1}{m \times n} \sqrt{\sum_{x=1}^{m-1} \sum_{y=1}^{n-1} [G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)]}^{1/2} \quad (17)$$

式中: m, n 表示 Smear 区域大小, $G_x(x, y)$ 和 $G_y(x, y)$ 分别为图像沿 x 和 y 方向的差分.

通过客观评价指标对 Smear 消除方法进行对比, 结果如表 1. 图 1 中左侧的 Smear 位置为区域 1, 右侧 Smear 位置为区域 2. 本文方法的信息熵大于双三次插值方法, 其中 3 层小波分解又优于 2 层小波分解, 表明本文消除 Smear 方法能突显 Smear 区域的细节信息, 使得弱小目标更加明显; 本文方法均值差最小, 表明对 Smear 去除的最为完全; 另外, 本文方法平均梯度最小, 因为本文方法在不同尺度上进行处理, 因此平滑度更好.

表 1 Smear 消除方法量化评价

Table 1 Quantitative evaluation of smear removal algorithm

| Methods | Area 1 | | | Area 2 | | |
|------------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| | Entropy of information | Difference of mean | Average gradient | Entropy of information | Difference of mean | Average gradient |
| No processing | 4.27 | 0.66 | 6.816×10^{-2} | 4.38 | 5.10 | 6.769×10^{-2} |
| The proposed method (3-Layer Haar) | 4.36 | 0.02 | 6.785×10^{-2} | 4.47 | 4.23 | 6.739×10^{-2} |
| The proposed method (2-Layer Haar) | 4.30 | 0.05 | 6.793×10^{-2} | 4.46 | 4.87 | 6.738×10^{-2} |
| Bicubic interpolation | 4.24 | 0.09 | 6.789×10^{-2} | 4.42 | 5.02 | 6.741×10^{-2} |

Smear 消除的关键是能否保留原有图像的信息, 并能凸显 Smear 区域的弱目标信息, 定义目标信噪比 (Signal to Noise Ratio, SNR) 来衡量目标的强弱

$$\text{SNR} = \frac{|\mu_T - \mu_B|}{\sigma_B} \quad (18)$$

式中 μ_T 为目标区域的灰度均值, μ_B 为背景区域的灰度均值, σ_B 为背景区域的灰度标准差. 表 2 列出了用不同方法对图 1 消除 Smear 后的两个目标的 SNR, 这两个目标是从图 1 右侧 Smear 亮线上选出的. 可以看出, 采用双三次插值的方法在去除 Smear 后削弱了目标的 SNR; 使用 3 层 Haar 小波分解消除 Smear 后, 两个目标的 SNR 都有不同程度的增加, 目标 1 的 SNR 增幅较大, SNR 增加大大减小了弱小目标检测的难度.

表 2 消除 Smear 目标信噪比对比

Table 2 Comparison of SNR after smear removed

| Methods | SNR | |
|------------------------------------|----------|----------|
| | Target 1 | Target 2 |
| No processing | 11.39 | 14.37 |
| The proposed method (3-Layer Haar) | 17.74 | 15.37 |
| The proposed method (2-Layer Haar) | 12.93 | 14.81 |
| Bicubic interpolation | 9.43 | 5.25 |

4 结论

小波变换可以把原有图像分解到不同方向、不同尺度的子带分量上, 对垂直、水平信息更敏感, 对这些分量进行单独处理, 之后通过这些处理过的分量可以重构出原有图像信息. 本文提出了一种在小波域消除 Smear 的方法, 通过分析帧转移 Smear 产生的机理以及星图图像的特点, 找出了问题的模型, 使用二维 Haar 小波分解, 把 Smear 分离到低频分量及垂直分量中分别进行处理, 而后重构出消除 Smear 的图像. 利用真实图像进行 Smear 消除实验, 进行了主观、客观的评价, 结果表明该方法可有效去除 Smear, 并最大限度保留图像原有信息, 可以增强弱小目标信噪比.

参考文献

- [1] LAMY G, BOSTEL J, MAZARI B. Star recognition algorithm for APS star tracker: oriented triangles[J]. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 2005, 20(2): 27-31.
- [2] DORRINGTON A A, CREE M J, CARNEGIE D A. The importance of CCD readout smear in heterodyne imaging phase detection application[C]. *Image and Vision Computing*, 2006: 233-238.
- [3] BAER R L. Apparatus and method for reducing smear in digital images captured using frame-transfer CCD sensor; US, 1798450B2[P]. 2004.
- [4] HAZLWOOD M J, HUTTON S H, WEATHERUP C R. Smear reduction in CCD images; US, 2007/0242145A1 [P]. 2007.

- [5] TOSHIHICO Y, KAZUYUKI K. Digital camera comprising smear removal function; US, 123828[P]. 2006.
- [6] HAN Y S, CHOI E. Smear removal algorithm using the optical black region for CCD imaging sensors[J]. *IEEE Transactions Consumer Electronics*. 2009, **55**(4): 2287-2293.
- [7] MALLAT S. A wavelet tour of signal processing, third edition; the sparse way[M]. US: Academic Press. 2008: 17-21.
- [8] YANG Ying, MOU Xuan-qin, LUO Tao, *et al.* Reconstruction of X-ray image with super dynamic range by wavelet transform [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(9): 1278-1282. 杨莹, 牟轩沁, 罗涛, 等. 基于小波变换的 X 射线图像超动态范围重建[J]. 光子学报, 2009, 38(9): 1278-1282.

Smear Removal Algorithm of CCD Imaging Sensors Based on Wavelet Transform in Star-sky Image

YAO Rui^a, ZHANG Yan-ning^a, SUN Jin-qiu^b, ZHANG Yong-peng^a

(a. Shaanxi Key Laboratory of Speech & Image Information Processing, School of Computer Science;

b. Institute of Precision Guidance and Control, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: When the frame transfer CCD image sensor shooting star-sky background image, the smear phenomenon caused by high brightness stars in the field of view will seriously affect the target detection. For removing the smear phenomenon, a smear removal algorithm based on wavelet transform in star-sky image was proposed. According to the mechanism of smear and characteristics of the star-sky image, the model of smear problem was established, the smear line was separated into the high frequency components and vertical components by using multi-layer two-dimension haar wavelet transform, and the smear-removed image was reconstructed. The experimental results show that the method can effectively remove smear and retain original image information, and enhance the SNR of small target in smear area.

Key words: Star-sky image; Frame transfer CCD; Wavelet transform; Haar wavelet; Smear removal