

·信号与信息处理·

紫外图像处理方法

张瑞亮¹, 王鹏冲¹, 于 瀛², 董军章²

(1. 沈阳理工大学, 辽宁 沈阳 110159; 2. 光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 三河 065201)

摘要: 针对紫外成像存在噪声干扰的问题, 为获取高品质的紫外图像及对目标准确检测, 对典型紫外成像系统进行了研究。分析了紫外成像噪声干扰原因, 建立了紫外目标场景模型。并以此研究紫外图像复原方法, 对单幅图像进行门限处理, 去掉背景噪声。然后对连续多帧图像进行均值处理和时域递归滤波, 阈值分割后得到较好的图像输出。从图像输出结果可以看出, 多帧图像均值处理和时域递归滤波都能有效地去除紫外图像中的随机噪声, 特别是时域递归滤波方法对于图像复原有更好的效果。

关键词: 紫外图像; 随机噪声; 多帧平均; 递归滤波

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2012)04-0047-04

Research on Ultraviolet Image Processing Method

ZHANG Rui-liang^{1,2}, WANG Peng-chong^{1,2}, YU Ying², DONG Jun-zhang²

(1. *Shenyang University of Science and Technology, Liaoning Ligong, Shenyang 110159, China;*

2. *Science and Technology on Electro-optical Information Security Control Laboratory, Sanhe 065201, China)*

Abstract: According to noise jamming existing in ultraviolet imaging process, typical UV imaging system are researched for acquiring high quality UV images and inspecting targets accurately. The reasons that noise jamming exists in ultraviolet imaging process are analyzed. The scene models of ultraviolet targets are established. Based on this, the restoration methods of ultraviolet images are researched. Single image is performed threshold processing so as to cut out background noise. Then multi-frame continuous images are performed average processing and time-recursive filtering. Better image output is got after threshold segmentation process. Based on output results of images, the random noise from ultraviolet images can be removed effectively by multi-frame image average processing and time-recursive filtering. Especially the method of time-recursive filtering has better effect on image restoration.

Key words: ultraviolet image; random noise; multi-frame average; time-recursive filtering

紫外成像技术的发展不仅拓宽人的视觉范围, 增强人类对自然的认识, 而且还产生重要的经济、军事、科研应用价值^[1]。特别是工作在“日盲区”波段的紫外探测器件, 由于其低背景辐射、高灵敏度的优势, 愈来愈受到人们重视, 成为研究的热点问题。由于大气对“日盲”紫外波段辐射衰减强烈, 信号极其微弱(一般在 nW 级), 要进行有效的信号探测, 紫外成像器件的增益必须较高。在这种情形下, 系统噪声将对图像产生严重的干扰。因此研究紫外成像系

统、分析噪声干扰产生的原因, 并对紫外图像进行有效地处理, 对研究紫外成像问题有重要意义。

1 典型紫外成像系统及噪声分析

紫外成像以光—电子图像信息接收、转换、增强、处理、显示等物理过程及其实现方法为基础, 具有内增益的外光电效应器件(光电倍增管、像增强器等)是紫外成像的理想选择。目前市场上主导的紫外成像系统是以 MCP 为核心的紫外 ICCD 成像组

件。紫外 ICCD 的典型结构如图 1 所示^[2], 主要由入射窗、光电阴极、微通道板 (MCP)、荧光屏、耦合光纤、可见光 CCD 等部分组成。ICCD 基本工作原理为: 从入射窗入射的光子经滤波后照射到光电阴极上, 按一定的量子转换效率转化为光电子, 在加速电场的作用下光电子进入 MCP 进行倍增, 然后聚焦到荧光屏激发出可见光, 通过光纤光锥将图像耦合到可见光 CCD 上, 最后由电路读出, 完成从入射光到电子图像的转变。

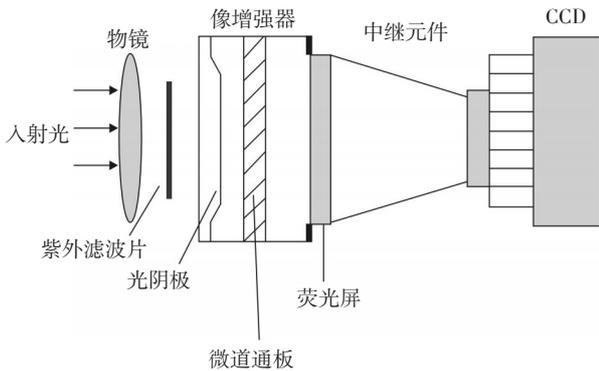


图1 紫外ICCD结构示意图

由上面的分析可知, ICCD 是一个复杂的光电成像系统, 在进行光电转换的各个环节均会引入不同程度的噪声^[3]。其主要的噪声源有: (1) 信号内在噪声: 也称为输入噪声或光子噪声, 指光信号辐射过程中出现的光量子随机起伏; (2) 暗电子发射噪声: 由于温度的影响及材料本身的性质, 即使在无光照的情况下光电阴极也会有暗电子逸出; (3) 读出噪声: 指从可见光 CCD 读出信号、量化过程中引入的噪声, 如产生一复合噪声、复位噪声等。此外光锥与 CCD 的配合工艺等因素也会引入不同程度的噪声。在 ICCD 系统中, MCP 的电子增益倍数很高, 单级在 $10^3 \sim 10^4$ 之间, 而用于“日盲”成像探测的 ICCD 多采用两级 V 型结构, 增益高达 10^6 。在这样高的增益作用下, 进入到 MCP 之前引入的噪声对信号的影响将是主要因素, 而其他噪声的影响则可以忽略不计。

2 紫外点目标场景图像模型

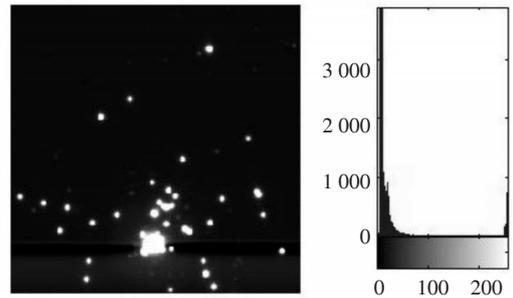
鉴于大气层内中紫外面源的稀有, 绝大多数的探测事件对成像探测系统的张角为一个或不足一个单元视场, 因此紫外成像一般理解为对点源探测的应用^[4]。根据以上对紫外成像干扰原因的分析, 点目

标紫外场景图像 $f(x, y)$ 可以描述为

$$f(x, y) = f_T(x, y) + f_B(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

式中, $f_T(x, y)$ 为目标点灰度值; $f_B(x, y)$ 为背景图像; $n(x, y)$ 为噪声图像。

背景图像 $f_B(x, y)$ 通常都有较长的相关长度, 所占的灰度级很低, 它占据了场景图像 $f_T(x, y)$ 空间频率中的低频信息。同时, 由于场景分布和传感器固有响应的不均匀性, 背景图像 $f_B(x, y)$ 是一个非平稳过程, 图像中局部灰度值可能会有较大的变化。另外, $f_B(x, y)$ 也包含部分空间频域中的高频分量, 它们主要分布在背景图像中各个同质区的边缘处, 如图 2 所示。



(a) 原始图像 (b) 灰度直方图
图2 原始紫外图像及其直方图

噪声图像 $n(x, y)$ 是场景及电路产生的各类噪声的总和, 像素间不相关, 在空间频域表现有和点目标类似的高频特征, 但空间分布是随机的, 帧间的空间分布没有相关性。

依上述分析得出, 目标点像素 $f_T(x, y)$ 和噪声图像 $n(x, y)$ 在单帧图像目标检测阶段无法区分开, 但在多帧相关检测阶段可利用其帧间的不同特征区分^[5]。而背景图像 $f_B(x, y)$ 则在单帧目标检测阶段就表现为与目标点像素 $f_T(x, y)$ 和噪声图像 $n(x, y)$ 不同的特点。因此可利用其相关长度长、灰度级低的特点, 选用适当的背景抑制算法, 比如门限法, 抑制在图像灰度分布统计中占主要成分的背景图像的作用, 提高目标与背景的信噪比。在多帧图像处理中去噪声, 准确检测出目标。

3 紫外图像处理

3.1 图像均值处理

一系列连续图像的平均运算处理可以在图像采

集中去除噪声,检测出目标^[6]。设有一副混入噪声的图像 $g(x,y)$,它由原始图像 $f_r(x,y)$ 和噪声图 $n(x,y)$ 叠加生成的

$$f(x,y) = f_r(x,y) + n(x,y) \quad (2)$$

假设各点的噪声是不相关的,且有零均值。在这种情况下,可以通过将一系列图像 $\{g_i(x,y)\}$ 相加取均值来消除噪声。设将 N 幅图像相加取平均获得一幅图像,即

$$\bar{f}(x,y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i(x,y) \quad (3)$$

那它们的期望值和方差为

$$E\{\bar{f}(x,y)\} = f_r(x,y)$$

$$\sigma_{\bar{f}(x,y)}^2 = \frac{1}{N} \sigma_{n(x,y)}^2 \quad (4)$$

式中, $\sigma_{\bar{f}(x,y)}^2$ 与 $\sigma_{n(x,y)}^2$ 分别是 \bar{f} 与 e 的方差。因此考虑新图像和噪声图像的各自均方差间的关系,有

$$\sigma_{\bar{f}(x,y)} = \sqrt{\frac{1}{N}} \times \sigma_{n(x,y)} \quad (5)$$

由此可见,随着平均图像数 N 的增加,在各个 (x,y) 位置上的噪声的影响会逐步减小。图3、图4分别为对连续3幅和连续6幅图像进行均值运算处理后的效果。

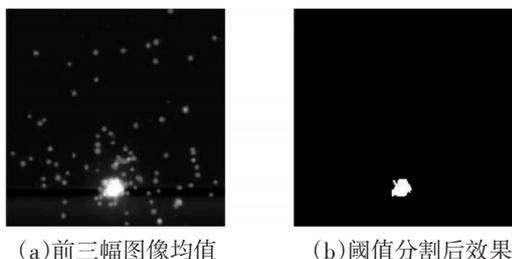


图3 三幅图像均值处理



图4 六幅图像均值处理

从图像输出结果可以看出,多幅图像均值处理对降低图像噪声,准确检测出目标有很好的效果,并且图像帧数越多,效果越明显,但是随之带来的运算量也越大。

3.2 时域递归滤波

时域递归滤波^[6,7]的数学表达式为

$$\hat{I}_1 = I_1 + K(I_0 - I_1) \quad (6)$$

式中, I_0 为前一帧图像; I_1 为当前帧图像; \hat{I}_1 为滤波过后的当前帧; K 为滤波系数, $K \in (0,1)$ 。这种滤波器在时间上是递归的。在具体实现时,就是把当前帧的像素与前一帧的经过降噪处理的像素(经过一帧的延时得到)按照一定的比例相叠加,实质上就是和前若干帧的图像加权平均。而不同的是,这里给不同的帧间误差以不同的权重,距离自己最近的给予最大的权重系数,而距离自己越远则权重越小。这样就可忽略对当前帧影响很小的量,使得计算更为简化和精确。图5是递归滤波的简化原理图。从原理图上可以看出,递归滤波只需要一帧的延时,硬件上只需要两个帧存储器,这使得硬件实现递归滤波成为可能,同时在运算上也可以达到实时处理。当开始采集到的两帧图像进入缓存以后,开始进行递归滤波。后一帧图像(当前帧)与前一帧图像之差再乘上滤波系数 K 即 $K(I_0 - I_1)$,然后再将其叠加到当前帧,就得到了当前帧的滤波图像,把滤波过后的当前帧图像放在缓存中作为前一帧,把第三帧作为当前帧再进行滤波处理,然后一直循环滤波下去。

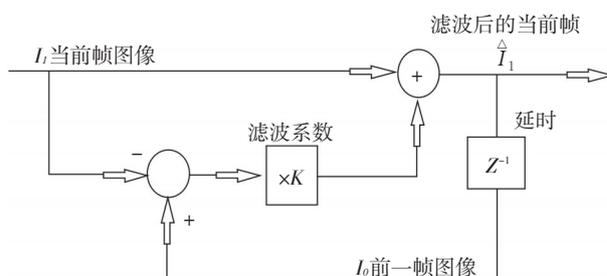


图5 时域递归原理

式(6)实际上是一个自回归差分方程,可以求出其传递函数为

$$H(Z) = \frac{1-K}{1-KZ^{-1}} \quad (7)$$

式中, K 就是滤波系数; Z^{-1} 表示一帧的延时,其幅频特性为

$$|H(\omega)|^2 = \frac{1-K}{1-K^2-2K \cos \omega} \quad (8)$$

由图6可以得出,递归滤波实际上就是一个低通滤波器,对于含有随机噪声的图像来说,噪声相对于背景而言变换的快得多,也就是说,背景在时间上具

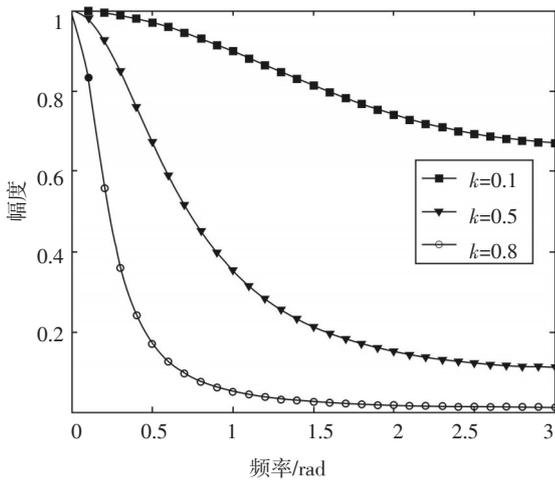


图6 递归滤波器幅频响应

有低频特性,而噪声却具有高频特性。将含有噪声的图像通过递归滤波之后,就相当于加入了一个低通滤波器,因此也就可以抑制随机噪声。

对时域递归滤波算法来说,关键在于确定滤波算法中的系数 K ,它的选择对于滤波的效果有显著的影响。从图6中同样能看出, K 越大,低通滤波器的带宽则越窄,对于噪声信号应该有更好的抑制作用。递归滤波器的信噪比改善程度 P 用分贝可表示为

$$P = 10 \lg \frac{1+K}{1-K}$$

用关系曲线可表示成图7所示。可见,滤波系数 K 越大,信噪比改善得越多,特别是 $K > 0.8$ 以后,信噪比改善量增长很快,对降噪很有利。

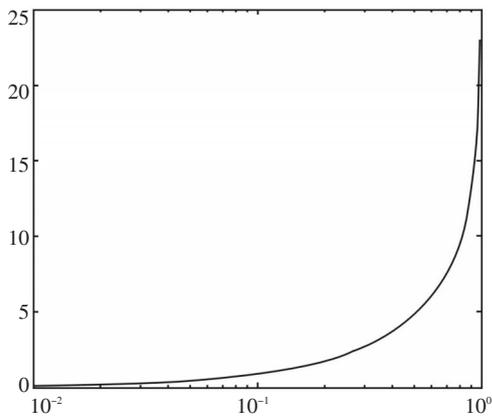
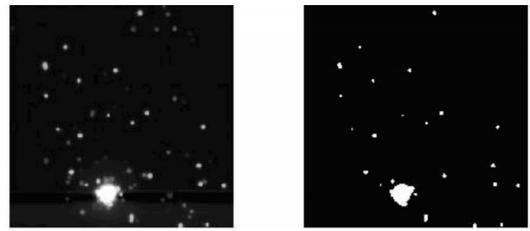
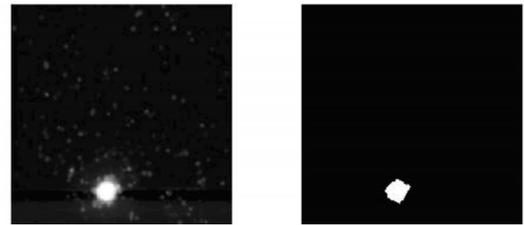


图7 信噪比改善与 K 值的关系

图8和图9是对连续20帧图像分别在滤波系数 $K=0.3$ 和 $K=0.8$ 时使用时域递归滤波算法降噪处理的结果。从中不难看出,随着滤波系数的增大,滤波效果



(a) $K=0.3$ 时域递归滤波 (b) 阈值分割后效果
图8 $K=0.3$ 时域递归滤波



(a) $K=0.8$ 时域递归滤波 (b) 阈值分割后效果
图9 $K=0.8$ 时域递归滤波

明显增强,信噪比显著改善。 $K=0.3$ 时滤波效果比较差。 $K=0.8$ 时滤波效果非常好,几乎没有随机噪声。

4 结论

从处理结果中可以看出:多幅图像平均和时域递归滤波算法二者在不同程度上抑制了紫外图像中的随机噪声,提高了图像的信噪比,增强了目标,弱化了噪声。多幅图像平均法的不足之处就是随着图像帧数的增加,运算量会增加,目标边缘也开始变得有些模糊。所以在实际应用中帧数不宜选择太多,一般以3~4帧为宜。相比多幅图像平均的方法而言,如果选择合适的滤波系数 K 值,基于递归滤波的降噪效果更好些。递归滤波降噪可滤除紫外图像中的大多数随机噪声,并且处理后的图像中目标和噪声的对比度明显增强,且此算法有利于实时处理。总体看来,多帧平均法和时域递归算法比较适合日盲紫外图像中随机噪声的消除,特别是时域递归滤波算法。

参考文献

[1] 刘榴娣,倪国强,钟生东,等.紫外线的的应用、探测及其新发展[J]. 光学技术,1998,24(2):87-89.
[2] 张闻文.基于噪声特性的电子倍增CCD最佳工作模式研究[D]. 南京:南京理工大学,2009.

(下转第63页)

5 结束语

将 VIPA 与衍射光栅结合实现二维成像,是光谱处理领域的一个重大进步。文中结合目前该技术的发展状况,详细介绍了其在光学滤波器、光谱处理、光学成像几个方面的具体应用,并对各项应用的未来发展做出展望。

参考文献

- [1] Shirasaki M. Large angular dispersion by a virtually imaged phased array and its application to a wavelength demultiplexer[J]. *Optics Letters*, 1996, 21(5): 366-368.
- [2] Shijun X, Andrew W. An Eight-Channel Hyperfine Wavelength Demultiplexer Using a Virtually Imaged Phased-Array (VIPA)[J]. *Ieee Photonic Tech L*, 2005, 17(2): 372-374.
- [3] Ghang-Ho L, Shijun X, Andrew W. Optical Dispersion Compensator With >4000-ps/nm Tuning Range Using a Virtually Imaged Phased Array (VIPA) and Spatial Light Modulator (SLM)[J]. *Ieee Photonic Tech L*, 2005, 18(17): 1819-1821.
- [4] Shirasaki M. Filtering Characteristics of Virtually-Imaged Phased-Array[J]. *Integrated Photonics Research (IPR)*, 1996, 6 IMC3.
- [5] Shijun X, Andrew W. 2-D wavelength demultiplexer with potential for \$1000 channels in the c-band[J]. *Opt. Express*, 2004, 12(13): 2895-2902.
- [6] Supradeepa V, Huang C, Leaird D, et al. Femtosecond pulse shaping in two dimensions: Towards higher complexity optical waveforms[J]. *Opt. Express*, 2008, 16(16): 11878-11887.
- [7] Shijun X, Andrew W. Optical Carrier-Suppressed Single Sideband (O-CS-SSB) Modulation Using a Hyperfine Blocking Filter Based on a Virtually Imaged Phased-Array (VIPA) [J]. *Ieee Photonic Tech L*, 2005, 17(7): 1522-1524.
- [8] Scarcelli G, Yun S. Multistage VIPA etalons for high-extinction parallel Brillouin spectroscopy[J]. *Opt. Express*, 2011, 19(11): 10913-10922.
- [9] Cundiff S, Andrew W. Optical arbitrary waveform generation [J]. *Nat. Photonics*, 2010, 4(11): 760-766.
- [10] Diddams S, Hollberg L, Mbele V. Molecular fingerprinting with the resolved modes of a femtosecond laser frequency comb[J]. *Nature*, 2007, 445(7128): 627-630.
- [11] Keisuke G, Tsia K, Bahram J. Serial time-encoded amplified imaging for real-time observation of fast dynamic phenomena[J]. *Nature*, 2009, 458(7242): 1145-1149.
- [12] Shirasaki M. Compensation of chromatic dispersion and dispersion slope using a virtually imaged phased array[J]. *TuS10FC*, 2001(3): 18-23.

(上接第 50 页)

- [3] 闫丰,于子江,于晓,等.电晕探测紫外 ICCD 相机图像噪声分析与处理[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(4): 0709-0713.
- [4] 许强.军用紫外探测技术及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2010.
- [5] 张德峰.详解 MATLAB 数字图像处理[M].北京:电子工业出版社,2010.
- [6] 赵玉环,闫丰,隋永新,等.紫外序列图像中目标的提取[J]. *光电工程*, 2007, 34(11): 0010-0013.
- [7] 冯鹏,魏彪,米德伶,等.基于时域递归滤波的动态数字图像降噪[J]. *重庆大学学报(自然科学版)*, 2005, 28(2): 0023-0025.

(上接第 58 页)

- [9] J Salvi, J Pages, J Battle. Pattern codification strategies in structured light systems[J]. *Pattern Recognition*, 2004, 37(4): 827-849.
- [10] P Lavoie, D Ionescu, E Petriu. 3D reconstruction using an uncalibrated stereo pair of encoded images[C]// In Proceedings of the Int. Conf. on Image Processing, 1996.
- [11] Chadi ALBITAR, Pierre GRAEBLING, Christophe DOIGNON. Robust Structured Light Coding for 3D Reconstruction[C]// In Proc. ICCV, 2007.
- [12] P Lavoie, D Ionescu, E Petriu. 3D reconstruction using an uncalibrated stereo pair of encoded images[C]// In Proceedings of the Int. Conf. on Image Processing, 1996.
- [13] Jamie Shotton, Andrew Fitzgibbon, Mat Cook, et al. Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images[C]// In Proc. CVPR, 2011.