

日盲紫外图像的降噪

赵玉环^{1,2}, 闫丰^{1,2}, 于子江^{1,2}, 姜洪伟¹, 隋永新¹, 杨怀江¹, 曹健林¹

ZHAO Yu-huan^{1,2}, YAN Feng^{1,2}, YU Zi-jiang^{1,2}, LOU Hong-wei¹, SUI Yong-xin¹, YANG Huai-jiang¹, CAO Jian-lin¹

1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 长春 130033

2.中国科学院 研究生院, 北京 100039

1.State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China

2.Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

E-mail: yhz0505@163.com

ZHAO Yu-huan, YAN Feng, YU Zi-jiang et al. Noise-reduction of solar blind ultraviolet image. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(23): 77-79.

Abstract: Ultraviolet image technology is widely applied in military and civil field, noise of the solar blind ultraviolet image influences image quality seriously. In this paper, the characteristics of noise of the solar blind ultraviolet image are analyzed and noise of solar blind ultraviolet is processed by use of multi-frame average method and time-recursive filtering algorithm. Results of simulated experiment demonstrate that both of these two methods can be used to reduce noise of UV image and improve the Signal Noise Ratio (SNR), especially the latter.

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

摘要: 紫外成像技术已广泛应用于各个领域, 但紫外图像中的噪声严重影响了图像的质量。分析了日盲紫外图像的噪声特点, 采用多帧平均方法和时域递归滤波算法对日盲紫外图像的噪声进行了处理。仿真实验表明, 这两种算法均可用于紫外图像的降噪处理, 提高了图像的信噪比, 特别是时域递归滤波算法。

关键词: 紫外图像; 随机噪声; 多帧平均; 递归滤波

文章编号: 1002-8331(2007)23-0077-03 文献标识码: A 中图分类号: TP391.4

1 引言

自从 20 世纪 80 年代末紫外光的应用技术已开始迅速发展。紫外探测成像技术^[1]在各个领域得到了较为广泛的应用, 在战略战防方面主要有紫外告警系统、紫外火控目标瞄准系统等。紫外告警系统是利用“日盲区”的紫外波段来探测导弹的火焰与尾焰^[2]。因为“日盲区”内的太阳光等紫外辐射的能量极其有限, 如果出现目标的“日盲区”紫外辐射, 那么就能在微弱的背景下探测出紫外信号。民用领域, 自 20 世纪 90 年代美国率先将紫外技术推向警用市场, 紫外成像技术就在民用市场开始迅速地普及和推广。其中一个重要的应用便是检测和定位电晕放电^[3], 当高压输电线间电压增高到一定值将导致输电线路表面的空气高度游离, 这时就可以听到“刺刺”的放电声, 嗅到臭氧的气味, 在夜间还可看见导线周围发出的蓝紫色荧光, 这种现象就是“电晕”。电晕是电力系统中重要的电能损耗之一, 采用电晕探测发现漏电故障点是一种对电力系统故障点进行精确定位的探测方法。电晕所发出光的谱线范围涵盖了紫外、

可见和红外谱段, 由于多数情况下当可见光出现的时候意味着故障点处的器件已经发生了损坏, 而利用电晕红外特性进行探测的手段由于受环境影响而不能在白天使用, 所以利用电晕能够发出“日盲区”内的紫外光这一特性实现对其探测是目前电晕探测的首选方法, 而且还能实现对电晕的全天候的可靠探测。紫外探测成像技术虽已比较成熟, 但源于探测系统的噪声还是比较严重地影响了紫外图像的质量。因此, 本文研究了电晕日盲紫外图像的噪声处理, 探讨了日盲紫外图像中的噪声特点, 分析了多帧平均和时域递归滤波算法在紫外图像降噪中的应用。

2 日盲紫外图像中噪声的特点

紫外辐射源(电晕等)的信号一般较弱, 因此要求紫外探测器具有高灵敏度和低噪声, 所以采用日盲紫外 ICCD(像增强型电荷耦合器件)实现了对电晕的探测与成像。因紫外 ICCD 相机本身存在着暗电子发射, 即使没有紫外目标的情况下也能够

基金项目: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所创新基金。

作者简介: 赵玉环(1980-)女, 博士研究生, 主要研究方向为紫外信息的处理; 闫丰(1975-)男, 博士后, 主要从事信息融合技术研究及嵌入式系统的开发; 于子江(1982-)男, 硕士生, 主要从事光电测控技术的研究; 姜洪伟(1980-)男, 硕士, 主要从事信息安全方面的研究; 隋永新(1970-)男, 副研究员, 博士, 主要从事混沌保密通信和信息隐藏等方面的研究工作; 杨怀江(1966-)男, 研究员, 博士, 主要研究领域为信息安全与光学信息融合等; 曹健林(1955-)男, 研究员, 博士, 主要从事紫外线技术及软 x 射线多层膜技术的研究。

形成对图像的噪声干扰。另外,对紫外电晕这样的弱信号探测时,至少需 40% 以上的 MCP (微通道板) 放大 (100% MCP 放大倍数为 10^6) 才能探测到紫外目标——电晕的存在。这样,在对弱信号放大的同时不可避免地将噪声信号也放大了,从而增加了紫外图像中的噪声。经统计发现,日盲电晕紫外图像内的噪声主要具有以下特点:

- (1) MCP 增益一定时,不同帧图像内的噪声点数是随机发生变化的,连续 50 帧的噪声点平均灰度值变化却不大。
- (2) 噪声出现的时间、位置呈随机状态而无法预料。
- (3) 噪声点散布面大,量密,个别噪声点面积还比较大。
- (4) 某些噪声与目标很相似,都处在空间频域的高频部分,而且大小与目标相差不多;与目标不同的是噪声不具有空间相关性。
- (5) 不同 MCP 增益的情况下,连续 50 帧内噪声点最大灰度值的平均值随增益的变大而增大。
- (6) 随 MCP 增益的增加,噪声点最大灰度值变化不大。
- (7) MCP 放大倍数变大时,噪声点数则呈非线性趋势增加。

由上面的分析可知日盲紫外图像中的噪声主要是随机噪声,而且个别噪声点的大小和灰度值与目标较相近。随机噪声的消除向来是比较困难的,并且噪声的干净程度往往和图像清晰度成反比。若不当地清除这类噪声,常会带来图像细节及目标的严重破坏,得不偿失。因此,消除此类随机噪声追求的目标不能是干净,应该是噪声水平和清晰度的良好平衡,即突出目标,弱化噪声。而单幅图像降噪存在的较大缺陷就是总以损失细节为代价,从而会对图像有所破坏。因此,本文依据日盲紫外图像中的随机噪声不具有帧间相关性的特点,分别使用多帧平均和时域递归滤波算法对日盲紫外图像进行了降噪处理。

3 多帧图像平均法

日盲紫外 ICCD 应用于紫外弱目标——电晕探测时,在较短时间内目标的空间相对位置并没有较大的改变,故可认为是静止图像,因而能采用多幅图像求均值来达到降噪的目的^[4]。这是因为对于一幅有噪声的图像 $g(x, y)$, 可以看成是由一幅理想无噪图像 $f(x, y)$ 和噪声 $n(x, y)$ (为加性噪声,静止日盲紫外图像中的噪声也主要是加性的) 叠加而成,即:

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

式中假定每一对坐标 (x, y) 的噪声是不相关的,并且均值为 0, 则

$$f(x, y) = E[g(x, y)] \quad (2)$$

上式中 $E[g(x, y)]$ 是 $g(x, y)$ 的期望值。对 M 幅有噪声的图像经平均后得到

$$\bar{g}(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M g_i(x, y) \quad (3)$$

其估值误差为:

$$\sigma_{\bar{g}(x, y)}^2 = E\{[\bar{g}(x, y) - f(x, y)]^2\} = \frac{1}{M} \sigma_n^2(x, y) \quad (4)$$

式中 $\sigma_{\bar{g}(x, y)}^2$ 和 $\sigma_n^2(x, y)$ 是 \bar{g} 和 n 在所有坐标 (x, y) 处的方差。可见,对 M 幅图像取平均可把噪声方差减小到 $1/M$, 减少了随机噪声的含量。当 M 增加时, $\bar{g}(x, y)$ 将更接近于 $f(x, y)$, 从而使噪声得到抑制,达到了降噪的目的。

4 基于时域递归滤波的降噪

本文通过紫外 ICCD 相机所得到的紫外图像是 PAL 制的

电视图像,其信号是按帧周期重复的,除快速切换的图像外,帧相关系数可达到 0.8, 而混杂在图像信号中的噪声却具有随机性。因此,若把图像信号以帧周期作时间上的加权平均,则对图像信息影响很小,而噪声却得到抑制^[9]。这种降噪处理被称为时域上的递归滤波,其数学一般表达式为:

$$F = F + K(F_0 - F) \quad (5)$$

其中 F_0 表示前一帧图像, F 表示当前帧图像, F 表示滤波过后的当前帧。 K 为滤波系数,且 $0 < K < 1$, 当 K 无论等于 0 还是 1 时实际上都没有进行任何滤波。

从式 (2) 中可以看出,这种滤波器在时间上是递归的。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(经过一帧延时得到)按一定比例相加,实质上就是和前若干帧图像加权平均。所不同的是,这里给不同的帧间误差以不同的权重。距离最近的给予最大的权重系数,而距离自己越远则权重就越小。

图 1 即为时域递归滤波的简化原理框图。从原理图上可以看出,递归滤波需要一帧的延时,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。

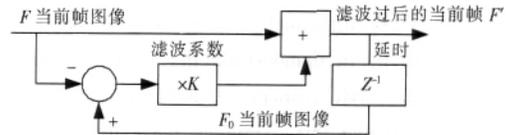


图 1 时域递归滤波的原理框图

从图 1 中可知,时域递归滤波就是一阶递归滤波器。其传输特性为:

$$y(z) = (1 - K)x(z) + Ky(z)z^{-1} \quad (6)$$

$$H(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{1 - K}{1 - Kz^{-1}} \quad (7)$$

式中 K 为滤波系数,又称降噪因子, z^{-1} 表示一帧的延时,其幅频特性为:

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

图 2 是递归滤波器的幅频响应曲线,从图中可看出,递归滤波实际上就是一个低通滤波器^[6]。将含有随机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,因而就可以抑制具有高频特性的噪声了。

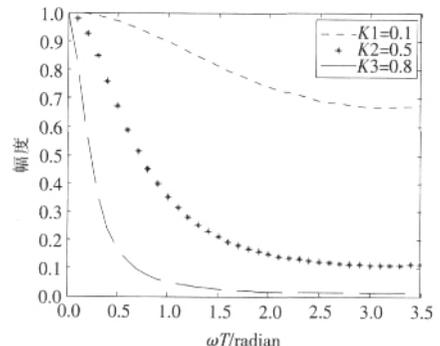


图 2 递归滤波器的幅频响应

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 ^[7], 它的选择对于滤波的效果有显著的影响。从图 3 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

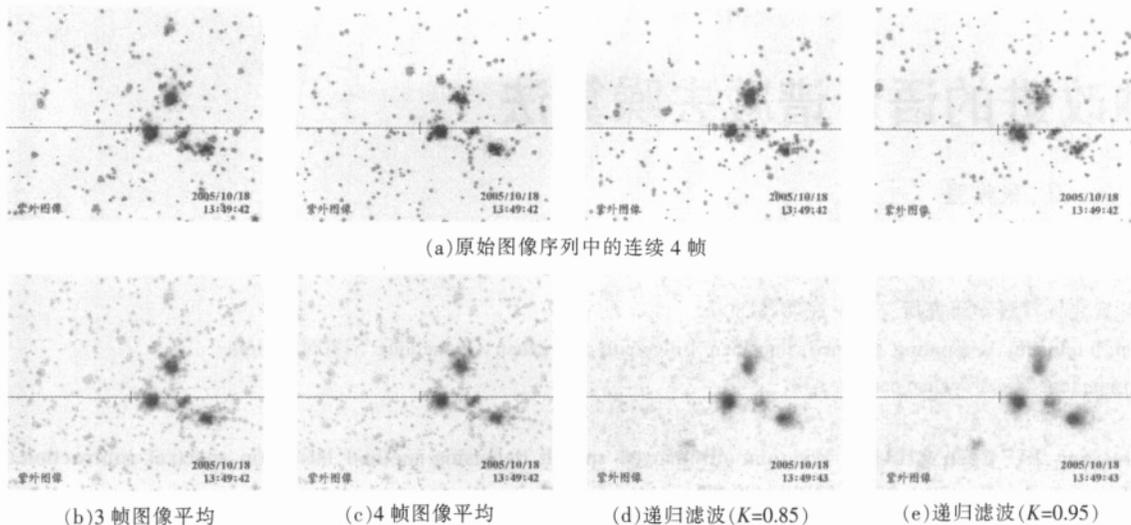
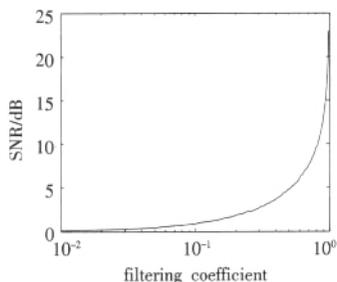


图4 日盲紫外图像降噪处理的结果

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:

$$P = 10 \lg \frac{1+K}{1-K} \quad (9)$$

用关系曲线可表示成图3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3 信噪比改善与 K 值的关系曲线

5 仿真结果

本文运用上述两种方法对 MCP 增益水平为 92% 的日盲紫外电晕图像 (大小为 720 (H) × 576 (V)) 序列进行了降噪处理。图 4 (b) 是连续 3 帧图像平均处理的结果, 图 4 (c) 是连续 4 帧图像平均处理的结果, 图 4 (d) 和图 4 (e) 是对连续 20 帧图像分别在滤波系数 $K=0.85$ 和 $K=0.95$ 时使用域递归滤波算法降噪处理的结果。

从处理的结果中, 不难看出: 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, 目标开始变得有些模糊了。所以在实际应用中帧数不宜选择太多, 一般以 3 帧为恰。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。这是因为递归滤波是对图像帧之间的数据进行点对点的数学运算, 所以理论上讲, 滤波后的图像不会变得模糊^[6], 图像的高频分量损失也少。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。(收稿日期: 2007 年 1 月)

参考文献:

- [1] 腾鹤松. 紫外成像技术及其应用[J]. 光电子技术, 2001, 21(1): 294-297.
- [2] 胡绍华, 冷锋, 卢峰. 紫外告警技术综述[J]. 舰船电子对抗, 2005, 28(1): 12-15.
- [3] 隋晓杰, 宋守信. 高压输电线路电晕放电分析[J]. 电力建设, 2006, 27(3): 37-38.
- [4] 贾永红. 数字图像处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003: 76-77.
- [5] 张维祥, 田玉静, 姜伟, 等. 实用数字视频降噪器[J]. 电视技术, 1997, 4: 20-24.
- [6] 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): 23-25.
- [7] 沈宇键, 何昕, 郝志航. 时域递归滤波算法中 K 系数确定方法的研究[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(3): 61-65.
- [8] Holme P, Huss M, Jeong H. Subnetwork hierarchies of biochemical pathways[J]. Bioinformatics, 2003, 19(4): 532-538.
- [9] Wasserman S, Faust K. Social network analysis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [10] Newman M E J, Girvan M. Finding and evaluating community structure in networks[J]. Phys Rev E, 2004, 69: 026113.
- [11] Radicchi F, Castellano C. Defining and identifying communities in networks[J]. PNAS, 2004, 101(9): 2658-2663.
- [12] Flake G W, Lawrence S R, Giles C L, et al. Self-organization and identification of Web communities[J]. IEEE Computer, 2002, 35: 66-71.
- [9] Zachary W W. An information flow model for conflict and fission in small groups[J]. Journal of Anthropological Research, 1977, 33: 452-473.
- [10] Lusseau D. The emergent properties of a dolphin social network[J]. Biology Letters Proc R Soc London B (suppl), 2003, 270: 186-188.
- [11] Lusseau D, Schneider K, Boisseau O J, et al. The bottlenose dolphin community of doubtful sound features a large proportion of long-lasting associations: can geographic isolation explain this unique trait? [J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2003, 54: 396-405.
- [12] Knuth D E. The Stanford graphbase: a platform for combinatorial computing[M]. [S.l.]: Addison-Wesley, 1993.

(上接 68 页)