

基于自动检焦信号梯度信息的自适应平滑算法研究

刘志明^{1, 2}, 戴明¹, 陈黎¹, 李清军¹, 王德江¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 近年来随着航空相机技术不断发展, 高分辨率相机将成为未来航空相机的发展趋势; 但环境的变化会使光学系统的性能发生显著的、随机的变化, 因此, 欲在恶劣的环境条件下获得最佳分辨率, 必须使相机具有很高的检焦精度, 然而由于测量元件及电源等的噪声的存在, 大大影响了检焦信号精度; 基于中值滤波和梯度信息的平滑滤波算法, 介绍了一种新的自适应平滑算法, 该算法有效地抑制扰动信号, 更为真实的突出峰值信号, 从而大大提高了检焦精度; 该方法大大减小了随机干扰对检焦结果的影响, 提高了检焦精度, 从而每次都能获得较为清晰的图像。

关键词：航空相机；自动检焦；自适应滤波

Research on self-adaptive Smoothing Algorithm Based on Gradient Information for Auto-Focusing

Liu Zhiming^{1,2}, Dai Ming¹, Chen Li¹, Li Qingjun¹, Wang Dejiang¹

(1.Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033,China;
2.Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039,China)

Abstract: In modern years following continuous development of photo-reconnaissance aircraft, the long focal and high resolution cameras is a mode being considered that will be applied to photo-reconnaissance aircraft in the future. With the cameras, unexpected changes in performance of optical system have been observed due to changes in the local environment. Therefore, to attain the best optimum resolution under adverse environmental conditions, the cameras must have a much accurate form for check focus. According to Median Filter and gradient information filter, a new self-adaptive smoothing method is introduced. Which has improved the performance of auto focus by restraining noise and enhancing peak value.

Key words: camera; auto-focus; adaptive filter

0 引言

一般相机成像前都要进行手动和自动对焦,以获得最佳分辨率图像,同样高分辨率航空相机若要实时获取最佳分辨率图像,则须对由环境变化引起的焦距变化进行补偿。

通过检测相机所处环境中焦面的位置并对环境变化进行补偿便可达到预期效果,然而各种传感器的信号在形成、传输、接收和处理过程中,由于传播介质的实际性能和接收设备的限制,不可避免地存在着外部干扰和内部干扰,而背景的起伏也会造成测量数据的恶化,影响检焦精度,则成像质量会显著下降。如何最大限度地去除各种干扰、噪声、背景起伏的影响,是实现数据处理的先决条件。中值滤波器对抑制冗长拖尾概率分布噪声的效果较好,而对短拖尾的均匀分布噪声抑制能力则较差;基于梯度信息的平滑滤波根据数据的突变特性,改变滤波器的权系数,但滤波效果也同样难以令人满意。因此,如何能够寻找与信号的局部结构相适应的平滑算子,在削弱数据噪声的同时,也能最大程度的保留有效数据信息成为本文讨论的核心。为此本文提出了一种结合中值滤波思想、基于梯度信息平滑滤波优点的自适应平滑滤波方法,不仅可有效地滤除各种慢变化噪声及脉冲噪声,而且在滤噪的同时还可以最大程度的保留有效数据信息。

1 自动检焦原理

如图 1 所示, 本文提及的某航空相机自动检焦系统由微处理器 (CPU)、模数转换输入、精密焦面驱动机构、光学发射 / 接收光栅对和光学系统 (包括自准平面镜) 组成。光栅对固定在焦面上, 平台由一个四相步进电机驱动, 步进电机受 CPU 控制, 平台的位置传感器将焦面板的位置反馈给 CPU。光源照亮发射光栅, 通过光栅的光被收进镜头, 透过镜头后, 被反射镜反射回镜头, 透过镜头后返回接收器。接收器由光栅和在其后的光敏二极管探测器组成, 接收的信号被数字化后输入 CPU 进行处理。

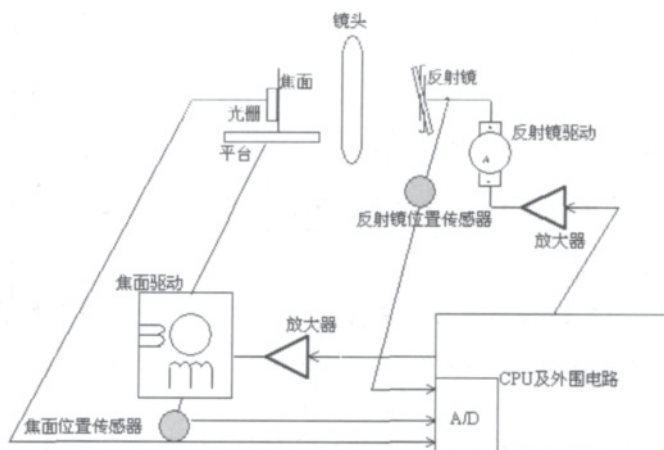


图1 自动调焦系统

收稿日期：2009-03-30； 修回日期：2009-04-25。

作者简介: 刘志明 (1982-), 男, 在职研究生, 主要从事航空相机检、调焦的技术研究。

戴明,男,吉林长春人,研究员,博士生导师,主要从事航空侦察平台方向的研究。

相机镜头将发射光栅的像投射到接收光栅上, CPU 控制扫描反射镜的摆动使发射光栅的像扫过接收光栅, 通过接收光栅并照到大面积硅光电二极管上。当平台处于最佳焦面位置时, 将产生最高瞬间峰值信号; 在离焦情况下, 会产生瞬间低峰值信号, 如图 2 所示。

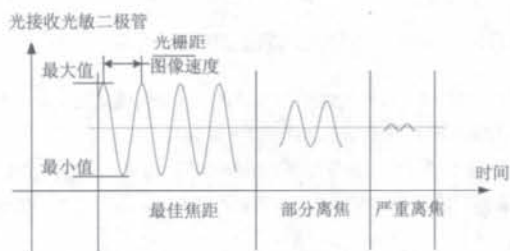


图2 瞬时峰值与焦距之间的关系

采用登山法进行逐点比较, 并逐点进行峰值采样, 采样波形如图 3 所示。

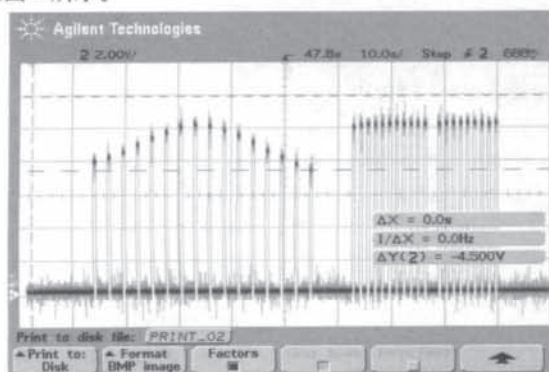


图3 检焦信号

在图 3 的细检焦波形中, 由于系统扰动及测量误差, 在信号峰值相差很小的情况下, 会出现信号误差, 也就是说在非峰值区可能出现峰值点, 为了解决这种现象我们提出了基于梯度信息的自适应滤波算法。

2 梯度信息自适应平滑算法及检焦数据处理

高斯滤波是将高斯核函数与检焦信号进行卷积, 用以平滑图像。高斯滤波器可以由一系列有限均值滤波器卷积得到, 对 M 个待平滑点平滑过程可表示为:

$$f^{(k+1)}(m) = \frac{1}{\sum_{i=0}^M n^{(k)}(m)} \sum_{i=0}^M f^{(k)}(m) \cdot w^{(k)}(m) \quad (1)$$

式中, $f^{(0)}(m)$ 为平滑前的检焦数据; $f^{(k+1)}(m)$ 为第 $k+1$ 次迭代平滑后滤波器的输出值; $\sum_{i=0}^M n^{(k)}(m)$ 为权系数的和; $w^{(k)}(m)$ 为加权系数。

用梯度来表示各点突变程度, 并据此来自适应地调整滤波器的加权系数。加权系数的取值定义为

$$w^{(k)}(m) = \phi(d^{(k)}(m)) \quad (2)$$

式中, $d^{(k)}(m)$ 为用梯度表征各点突变程度; $\phi(d^{(k)}(m))$ 为单调递减函数; $\phi(0)=1$ 。通常 $w^{(k)}(m)$ 表示为

$$w^{(k)}(m) = \phi(d^{(k)}(m)) = \exp\left[-\frac{|d^{(k)}(m)|^2}{2h^2}\right] \quad (3)$$

式中,

$$d^{(k)}(m) = \frac{1}{2}[f^{(k)}(m+1) - f^{(k)}(m-1)]; \quad d^{(k)}(m) \text{ 为梯度值; } h$$

为恒定参数

一维信号示意图如图 4 所示, 图中点 5 为脉冲噪声, 点 9~点 13 为有效数据, 根据式 (3) 可知, 其梯度值 $d^{(k)}(m)$ 为 0, 加权系数 $w^{(k)}(m)$ 为 1, 而对点 5 和 7 梯度值 $d^{(k)}(m)$ 较大, 而加权系数很小。同样 9 点和 13 点加权系数很小也是不合理的。因此, 这种算法不但无法去除噪声, 而且还会使有效数据严重失真。

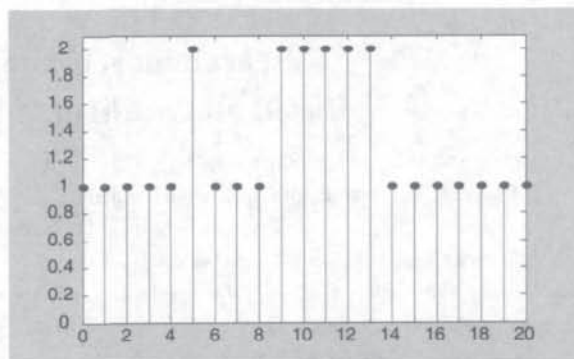


图4 一维信号示意图

针对上述方法的局限性, 借鉴中值滤波思想, 本文提出了基于梯度信息自适应平滑算法: 首先确定一维信号数组中峰值幅值、峰值点个数及峰值点位置, 选择适当峰值点左右邻域宽度后, 计算出各个峰值点的梯度幅值, 并根据各个峰值点的梯度信息确定恒定参数来修正原有峰值幅值, 达到压低噪声信号幅值、突显峰值信号的作用, 实现对测量信号的有效滤波。

设任意一峰值点的梯度幅值:

$$d^{(k)}(m) = \max(k) - \min\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [L(n)], \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [R(n)]\right) \quad (4)$$

式中, $d^{(k)}(m)$ 为某峰值点的梯度; k 为数组中峰值点个数;

$\max(k)$ 为某峰值点幅值; $\min\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [L(n)], \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [R(n)]\right)$ 为某峰值点左邻域 n 个点均值与右邻域 n 个点均值较小者; n 为某峰值点左邻域或右邻域选取信号点的个数。

则任意一峰值点的梯度修正后的幅值可表示为:

$$\max'(k) = \max(k) + \frac{\sum_{i=1}^k d^{(k)}(m) - d^{(k)}(m)}{d_{\max}^{(k)}(m)} e^{-\frac{d^{(k)}(m)}{2h}} \quad (5)$$

式中, $\max'(k)$ 为修正后某峰值点幅值; $\max(k)$ 为某峰值点幅值; $d^{(k)}(m)$ 为某峰值点的梯度; $d_{\max}^{(k)}(m)$ 为各峰值点的梯度最大值; h 为恒定参数。

峰值点邻域信号点的个数 n 与恒定参数 h 的选择是影响该滤波算法效果的两个重要参数。

依据此方法对如图 5 所示细检焦数据进行处理, 将细检焦的 13 个点看作一维数组, 记该数组为 $b(i)$ 。

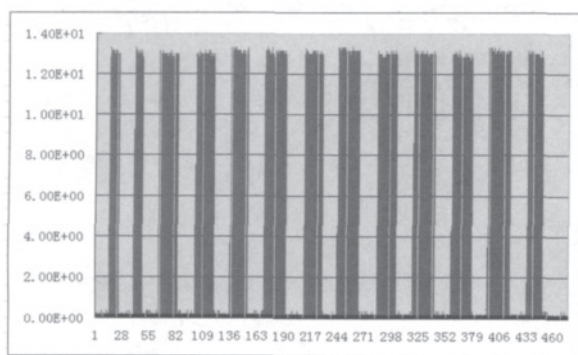


图5 细检焦波形

先找出这个数组 $b(i)$ 中 3 个峰值点,并记录这 3 个峰值点在数组中的位置,选择适当峰值点左右邻域宽度后,再分析这 3 个点与邻域范围内各点的梯度大小,取每个峰值点与其邻域范围内各点均值的差作为该峰值点的梯度值。该峰值点梯度值反映了该峰值点附近各点幅值大小分布情况,如果各点幅值较低,则说明该峰值点为真实峰值的概率较大,反之亦然。

数组中对应的最大值点变成

$$b(\max(i)) = b(\max(i)) + \max(k)/10$$

我们再将数组中的 3 个最大值点去除,然后对剩余的 10 个点进行数据平滑处理,采用如式 (6) 所示的算法

$$v = e^{-\frac{\sum_{i=1}^m u_i}{m}} \times u \quad (6)$$

式中, u 为除去 3 个最大值后的新数组; h 为恒定参数; v 为数据平滑处理后的新数组; $m=10$ 。

最后将 $b(\max(i))$ 按原数组位置插入数组 v 中,即得到新算法处理后的数据组 $b'(i)$ 。

3 实验结果与分析

通过试验得到一次细检焦的结果,并将该次细检焦结果表为一维数组形式: [10.6,10.4,10.8,10.6,10.5,10.6,10.5,10.8,10.6,10.8,10.6,10.4,10.4],采用基于梯度信息自适应平滑算法,通过

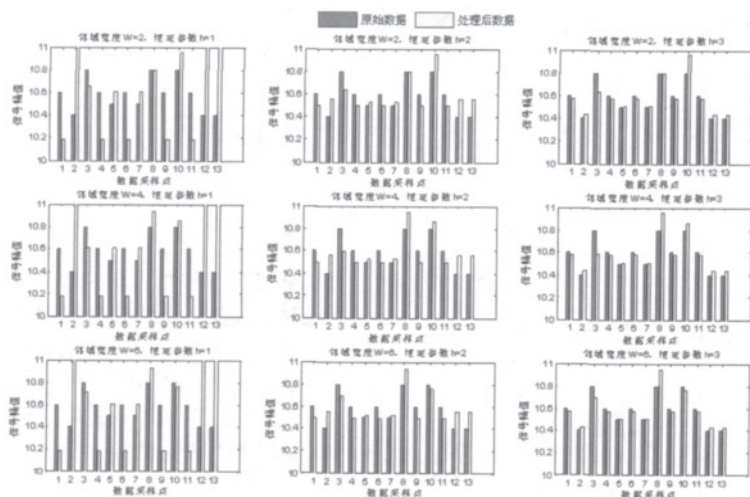


图6 邻域信号点的个数及恒定参数变化对处理结果的影响

选择峰值点邻域信号点的个数 n (或称做邻域宽度 W) 与恒定参数 h , 得到如图 6 所示的仿真结果。

由这组数据数值分布情况,我们可以看出第三点是扰动点,而第八点是峰值点,第十点也应是较大点,所以应尽量压低第三点的幅值,尽量提高第八点的幅值,并使第八点的幅值高于第十点的幅值。由图 6 我们可以看出 $W(n)$ 、 h 较大时,滤波效果与预期值相符。所以应适当选择较大的 $W(n)$ 及 h 值。在本例中我们选取 $W(n)=6$, $h=3$ 。

通过该方法大大减小了随机干扰对检焦结果的影响,提高了检焦精度,从而每次都能获得较为清晰的图像。图 7 为采用滤波算法后的图像如图 7 所示,基本保证每次成像时都能获得清晰图像。



图7 采用滤波算法后的图像

当不采用滤波算法时,则会出现如图 8 所示模糊图像。



图8 不采用滤波算法时出现的模糊图像

4 结束语

本文针对检焦过程中干扰信号对细检焦精度带来的偏差,结合梯度信息的自适应算法和中值滤波理论,提出了一种新的细检焦处理方法,该方法对基于梯度信息的自适应平滑方法的梯度计算方法进行了改进,通过分析峰值点附近各点幅值分布情况,来进一步判断峰值点的位置,使其更真实地反映细检焦峰值点的位置,同时又平滑了其它非峰值点,降低了扰动信号的干扰。实验证明,该方法既能有效去除各种慢变化及脉冲噪声,又可强化峰值点的抗扰能力。采用该方法后,提高了图像的分辨率。但是该方法只能用于对一组缓慢变化且小偏差数据组,对大偏差数组处理效果仍不令人满意,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 胡家升. 光学工程导论[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2005.
- [2] 史磊, 金光. 航空相机的自准直自动检焦方法研究[J]. 光学精密工程, 2008, 16(12): 2460-2464.
- [3] 张登洪. 一种基于梯度信息的自适应 FIR 滤波器的设计[J]. 信息与电子工程, 2004, 2(3): 180-183.
- [4] 魏丹, 陈淑珍, 陈彬. 梯度倒数加权平滑算法的改进与实现[J]. 计算机应用研究, 2005, 3: 153-154.