

基于 FPGA 设计的运动弱小目标检测

张彩梅 张启衡*

(中国科学院光电技术研究所, 四川, 成都, 610209)

摘 要 采用极大 / 中值滤波算法去除严重的散斑噪声, 并利用图像序列中目标运动的相关性, 进行能量累积, 可有效地提高图像信噪比, 实现对弱小目标的检测。在现场可编程门阵列 (FPGA) 中实现了该方法, 并应用到实时系统中。实验结果表明, 该方法能够对低信噪比弱小目标图像实现实时有效的滤波, 具有一定的实用价值。

关键词 FPGA 能量累加 极大 / 中值滤波 弱小目标

Detection of Moving Small Targets By FPGA

ZHANG Caimei ZHANG Qiheng

(Institute Of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan, 610209)

Abstract: Grievous speckle noise was taken out by a maximum/median filter and the image sequences at low Signal to Noise Ratio (SNR) were cumulated using the relativity of target. The SNR could be improved. A signal processor which can implement the algorithm by FPGA is presented. The experimental results indicate that the method can effectively improve the SNR of image sequences and the platform can implement the method in real time.

Key words: FPGA ,energy cumulation ,maximum/median filter ,weak small target .

1 引言

在自动跟踪系统中, 当对远距离目标进行跟踪时, 目标在靶面上成像面积小, 而且信号强度弱, 探测到的目标呈现为对比度极低的弱小点目标, 有时可能淹没在噪声中, 这就使得目标的捕获非常困难。

由于弱小目标没有形状、尺寸、纹理等特性可以利用, 而且附有大量的散粒噪声, 信噪比极低, 所以单帧检测无法保证检测性能, 需要利用多帧图像中的运动目标的帧间相关性。目前在这方面已经有了大量的研究, 提出了一些算法, 文献 [1] 中提出的基于小波变换的模极大的检测算法, 对大面积散粒噪声有很好的抑

制作用, 但是这种方法的计算量很大, 不容易实时实现; 文献 [2] 中采用的形态膨胀、关联滤波等方法, 能够检测出对比度很低的图像中的弱小目标, 但是当图像中有大面积的点状噪声时, 经过形态膨胀会使图像中的噪声也膨胀为更大的块状噪声; 文献 [3] 中提到的基于高阶相关的方法, 利用目标的相关性有效地检测出弱小目标, 当阶数增加时, 计算量和存储量都会增大, 不容易实时实现, 且容易漏检, 但是阶数降低时, 又会造成虚警率上升。

基于以上分析, 充分利用点目标的运动信息, 同时结合图像滤波的方法, 对连续的图像序列进行极大 / 中值滤波, 然后进行连续帧累

作者简介: 张彩梅 (1978—), 女, 汉族, 内蒙古呼和浩特市人, 在读硕士研究生, 从事图像处理方面的工作。

加, 实现了对运动弱小目标的探测, 在实时系统应用中得到了满意的效果。

2 算法原理

2.1 极大 / 中值滤波

中值滤波是基于次序统计完成信号恢复的一种典型的非线性滤波器, 这种滤波器在滤除噪声 (尤其是脉冲噪声) 的同时能很好地保护信号的细节信息 (例如边缘、角点等信息)。然而由于实际图像都具有极其复杂的结构, 这些结构都可能被窗口较大的中值滤波破坏, 从而会削弱小目标本来就很微弱的信息。为了减小中值滤波的这种破坏作用, 这里选用极大 / 中值滤波, 公式表示如下:

$$f_{ij} = \max(z_1, z_2, z_3, z_4) \quad (1)$$

式中,

$$z_1 = \text{med}(x_{i,j-k}, \dots, x_{i,j}, \dots, x_{i,j+k})$$

$$z_2 = \text{med}(x_{i+k,j}, \dots, x_{i,j}, \dots, x_{i-k,j})$$

$$z_3 = \text{med}(x_{i+k,j}, \dots, x_{i,j}, \dots, x_{i-k,j+k})$$

$$z_4 = \text{med}(x_{i-k,j-k}, \dots, x_{i,j}, \dots, x_{i+k,j+k})$$

式中 z_1, z_2, z_3, z_4 分别是沿 0° 、 90° 、 45° 、 135° 四个方向子窗口中求得的中值, 窗口为 $N = n \times n = (2k+1) \cdot (2k+1)$ 的极大 / 中值滤波器, 在运算过程中用了 $8k+1$ 个观测值。我们选用 $k=1$ 。

1.2 连续帧累加

利用运动目标的帧间相关性, 对图像进一步滤波并增强弱小目标。通常采用多帧能量累积法, 来提高图像信噪比。如果对 m 帧图像作灰度平均, 则平均后的图像信噪比是单幅图像的 \sqrt{m} 倍。对于运动的小目标, 如果目标运动的最大速度小于 0.5 像素 / 帧, 则可以对两帧图像直接累加, 但当速度大时, 直接累加后的目标就会出现拖尾现象, 此时应当考虑目标的运动方向, 只要将图像序列沿目标的运动方向叠加起来, 信噪比就可得到增强。

应用数学形态学中的膨胀算法对图像进行处理, 然后进行连续帧累加。灰度图像的膨胀运算在这里用公式表示如下:

$$f_i(x, y) = \max(f_i(x+p, y+q)) \quad (2)$$

其中 p, q 要根据目标的运动速度来选取。对膨胀后的图像进行累加平均, 累加帧数为 m , 公式表示如下:

$$f_p(x, y) = \frac{1}{m} \sum_{i=k}^{m+k-1} f_i(x, y) \quad (3)$$

式中, $f_p(x, y)$ 是累加平均后的图像, 本文选取 $p, q = -1, 0, 1$, $m=2$ 。

3 硬件实现

在实时图像处理系统中, 采用 FPGA 和 DSP 相结合的方法, 运算量大但算法结构比较简单、要求有很高的处理速度的实时图像预处理用 FPGA 进行硬件实现; 而算法结构复杂, 运算量较小的工作由高速 DSP 进行处理, 这样能同时兼顾速度及灵活性^[4]。由于文中处理方法的设计结构涉及到 3×3 的卷积运算, 而且必须以流水线实时输出图像, 综合考虑速度和资源, FPGA 选用了 XILINX 的 XCV300EPQ240-6, 其中含有的 BLOCK RAM 达 131072bits, 可以存储 3 行图像数据, 完全可满足图像处理中同时需要 3 行图像数据进行流水线操作的条件。设计框图如图 1 所示。

在 FPGA 中构造两个双口 RAM, 其总线宽度为 10 位, 存储两行数据, 由行信号和像素时钟产生读写地址及读写控制信号, 两行数据交替写数, 每行的第 $k-1$ 个像素经过一个延迟单元, 对第 k 个像素进行读操作时, 对第 $k-1$ 个像素进行写操作; 灰度图像数据按流水线进出, 通过移位寄存器形成延迟电路对数据进行两个像素周期的延迟, 得到 3×3 的模板, 再采用比较电路进行并行比较, 得到极大 / 中值滤波结果, 并输入加法器中。

图像帧存储器采用外部存储器, 由于图像数据宽度是 10 位, 又考虑到存储器的速度和存

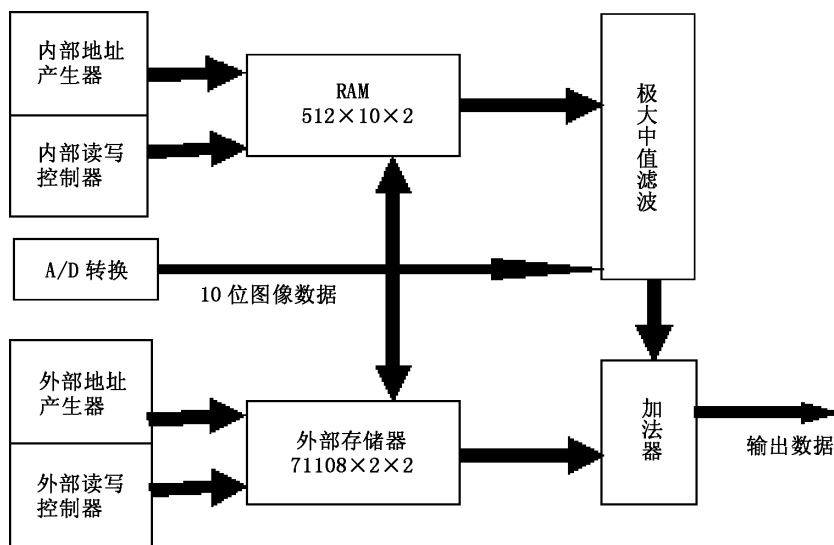


图 1 FPGA 实现图像预处理

储容量，我们采用四片速度为 10ns、容量为 1Mbit、数据宽度为 8 位的 GSI71108-10I 拼成两帧帧存储器，两片一组，乒乓工作。片选、读写、地址信号及控制信号在 FPGA 内产生。每场数据有效时，其中一组存储本帧数据，从另一组存储器中读取上一帧的数据，读出的数据也输入加法器中。

把这两路数据相加，为了保证图像灰度不会溢出，相加结果除以 2，在这里采用移位电路，输出数据就是预处理的结果。

4 实验结果及分析

把本文的算法应用到实时图像处理系统中，得到了以下实验结果。

图 2 是原图像，显然原图中的散粒噪声非常严重，其信噪比仅为 0.59，图 3 是在实时系统中首先经过最大 / 中值滤波处理，然后进行多帧累加得到的结果，其信噪比提高到 3.89。图像噪声下降，目标得到增强，有利于后续处理。

这里信噪比采用文献 [5] 中的定义： $SNR =$

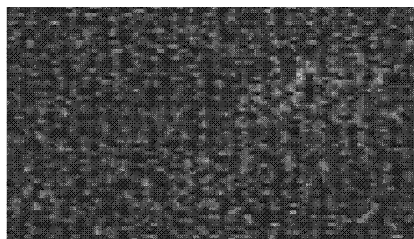


图 2 原图像

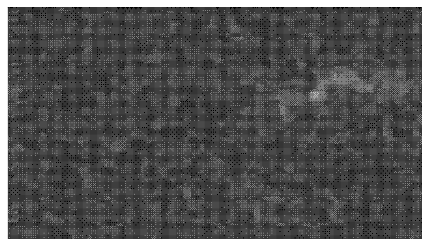


图 3 累加

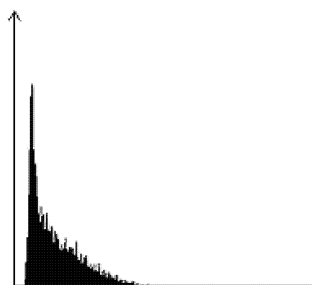


图 4 原图的直方图

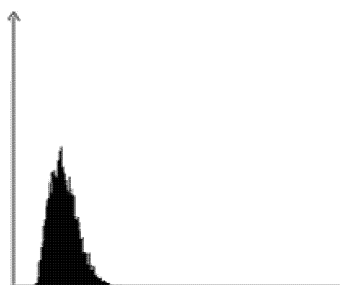


图 5 处理后的直方图

$10\log\frac{f_t + \sigma_t + \mu}{\sigma}$ ，其中 f_t 代表小目标的灰度平均值， σ_t 为小目标灰度标准差， μ 为图像的灰度均值， σ 为图像灰度的标准差。

图 4 和图 5 分别是对原图像处理前后的直方图，图 4 的大部分像素都集中在低灰度级区域，图像呈现暗的特性，而处理后图像直方图趋于平坦化，背景变均匀了，有利于弱小目标的识别与跟踪。

5 结论

从以上实验结果中可以看出，最大 / 中值滤波和多帧累加结合起来应用在图像滤波中是切实可行的，并可以在实时系统中得到应用，得到满意的实验结果。需要说明的是，在 FPGA

的设计中，要保证时序的严格同步，电路的延时应尽可能小。

参考文献

- [1] Mallat S, Hwang W L. Singularity detection and processing with wavelets, IEEE Trans. on Information Theory. 1992,38(2): 617-643.
- [2] 熊辉 等. 运用形态膨胀检测红外运动点目标. 系统工程与电子技术, 1998, No.11, 50-54.
- [3] 陈汝均. 红外探测系统三重相关峰值检测技术研究. 红外与毫米波学报, 1998, 17(4):277-281.
- [4] 朱梦宇, 赵保军, 韩月秋. 复杂背景下点目标检测算法的 FPGA 实现. 红外, 2002,(7): 21-24.
- [5] 许俊平. 低对比度小目标实时跟踪算法研究. 中国科学院光电技术研究所, 2001, 7-8.

国外专利介绍

微测辐射热计及其制作方法

美国专利 US6690014

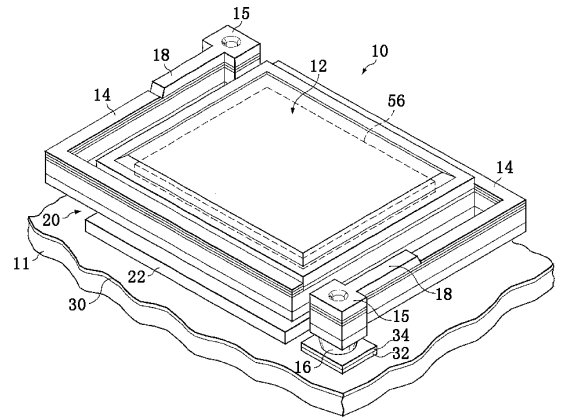
(2004 年 2 月 10 日公布)

红外探测器一般是通过探测一场景中各种物体的热辐射差进行工作的。它们将探测到的热辐射差转换成电信号，然后再对该电信号进行处理。微测辐射热计是利用传统集成电路技术制备在一种衬底材料上的红外探测器。它们可用于气体探测、夜视以及许多其它应用领域。但普通微测辐射热计的响应时间和灵敏度会受到热质量和热隔离等因素的影响。

本发明提供一种改进型微测辐射热计。它包括一个吸收元件。一非晶硅探测器与该吸收元件热耦合，并被探测红外辐射的四分之一波长高度悬置在一块硅衬底上。该非晶硅探测器在响应吸收元件的温度变化

之后会改变电阻。与常规的微测辐射热计相比，这种改进型微测辐射热计具有热质量低、工作频率高和热隔离性能好的优点。

本专利文献共 20 页，其中 9 页是插图。



高 编译

简 讯

0.9μm ~ 1.7μm 高性能近红外 InGaAs 摄像机

美国 Xenics 公司最近与美国 Electrophysics 公司签订了一份关于销售其高性能近红外 InGaAs 摄像机的协议，以期扩大这种高性能近红外 InGaAs 的生产和销售

渠道。

这种新型红外摄像机是一种基于 USB2.0 的全数字 InGaAs 摄像机，其分辨率为 320×256 像素，工作波长范围为 0.9μm ~ 1.7μm。它具有信 / 噪比好、线性度高和动态范围宽等优点，可用于光谱学、电信、高光谱成像、激光束仿形、半导体检测、热物体的热成像以及夜视等方面。

□ 高国龙