

一种基于排序统计理论的快速图像中值滤波法

牛敏 邬战军 牛燕雄 杨露 许冰 耿天琪

(北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院 北京 100191)

摘要: 中值滤波抑制干扰脉冲和点状噪声的同时,对图像边缘能较好的保持,在很多图像处理领域都起到了重要作用。运动目标识别技术对图像预处理实时性要求越来越高,为了提高预处理速度,以中值滤波原理为基础,对滤波排序算法和实现方案进行了研究,提出了一种基于排序统计理论快速图像中值滤波方法,实现实时滤波。研究结果表明:该方法在硬件系统上对传统中值滤波排序算法进行的改进,使得 3×3 窗口中二维的9个像素取中值简化为一维的5个像素取中值,单窗口查找中值的比较次数由传统排序法的36次降到了16次,再结合FPGA的并行处理能力和流水线结构,滤波速度提高为原来的近4倍,可以满足图像预处理对实时性的要求。

关键词: 图像预处理;中值滤波;FPGA;运动目标识别

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Fast image median filtering method based on statistical theory

Niu Min Wu Zhanjun Niu Yanxiong Yang Lu Xu Bing Geng Tianqi

(Department of Instrument Science and Opto-Electronics Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: The median filter not only suppresses interference pulse and punctiform noise, but also keeps the image details better, therefore it plays an important role in many image processing. Moving object recognition technology needs higher and higher real-time quality in image preprocessing. In order to improve the preprocessing speed, we study the filtering algorithm and implementation scheme based on the median filter principle. And a fast image median filtering method based on the order statistics theory is proposed to realize real-time filtering. The results show that this method is the improvement of traditional median filtering sorting algorithm on hardware system, making 9 pixels of 2 dimension reduce to 5 pixels of 1 dimension to find the median in window 3×3 . The comparing times, finding the median in single window, change from traditional sort of 36 times down to 16 times. Combined with the FPGA parallel processing ability and pipeline structure, filtering speed increases by almost four times, so as to satisfy the real-time image preprocessing.

Keywords: image preprocessing; median filtering; FPGA; moving object recognition

1 引言

图像在形成和传输的过程中会受到各种噪声的影响,从而使得图像的质量下降,噪声去除的好坏直接影响到图像分割、边缘检测、特征提取等后续处理的效果^[1-2]。由于椒盐噪声与图像内容的相对独立性,使用非线性去噪算法的效果优于线性去噪算法^[3],中值滤波作为一种对干扰脉冲和点状噪声有良好抑制作用,而对图像边缘能较好保持的非线性平滑技术,在图像平滑和运动目标识别等多个领域中得到广泛应用。随着运动目标识别技术的飞速发展,对图像处理高质量要求的同时,对于图像预处理实时性要求也不断提高,但传统中值滤波排序量大,处理速度慢,无法满足系统高实时性要求,所以对于中值滤波排序算法的

改进一直是研究的热点。

中值滤波常用排序方法是冒泡法,对于 3×3 二维模板,单窗口寻找中值比较次数为36次。为了降低排序量,改进算法不断涌现:朱捷等人将单窗口比较次数降低到30次;付昱强等改进到21次;王宇新等人继续降低到18次等^[4]。当滤波速度需要进一步提高时,国外首先开始利用FPGA的并行性实现功能,紧接着,国内基于硬件系统的快速中值滤波研究也开始风靡。

对比各种快速中值滤波法,发现将改进的排序算法与硬件系统的优势相结合能够达到最快速度。本文的改进算法将二维像素取中值简化为一维, 3×3 单窗口取中值的比较次数降低了20次;硬件系统充分利用FPGA的并行运

算和流水作业,滤波速度提高了近3倍,最终可以满足实时性要求。

2 中值滤波原理及典型优化算法

2.1 中值滤波原理

中值滤波基本原理:每一像素点的灰度值设置为该点某邻域窗口内所有像素点灰度值的中值^[6]。二维中值滤波基于一个二维滑动窗口,依次在图像的像素点上从左到右,从上到下滑动,经过每个像素时,将窗口内的灰度值进行排序,生成单调的灰度序列,取其中间值作为这个像素点的输出:

$$g(x,y) = Med\{f(x-i,y-j)\}; (i,j) \in S$$

式中: $f(x,y)$ 为原始图像; $g(x,y)$ 为处理后图像; S 为二维模板^[7]。

2.2 典型中值滤波优化算法

中值滤波的核心是排序,排序算法选用最传统的冒泡法,一个具有 $N \times N$ 像素的方形滤波窗口每运行1次要进行约 $N^2(N^2-1)/2$ 次比较,算法复杂度为 $O(N^4)$,常用的 3×3 滤波窗口需要排序36次。中值滤波提出至今,国内外已有一些较成熟的优化算法。

快速排序法:在 3×3 窗口的9个像素中,选择一个设为 D ,将剩下的8个像素与其比较,小于 D 的放左边,大于 D 的放右边。当左边个数 $m=4$ 时, D 即为中值;当 $m < 4$ 时,在右边选择一个数,重复上一步,直到左边个数之和等于4,返回中值;当 $m > 4$ 时同理。对于 3×3 方形窗,需30次比较。

不完全冒泡排序法:对窗口像素采用冒泡法排序,比较到中间位置,即第 $N+1/2$ 个像素时停止排序即可获得中值。对于 3×3 方形窗,需30次比较。

传统冒泡法需要36次二值比较,两种优化算法都减少了6次。但是上述算法不够稳定,对比次数依然过多,该文的改进算法克服了以上不足,对比次数达到最少,且稳定性较高。

3 本文的方法

本文的方法包括基于排序统计理论的中值滤波算法改进和硬件系统实现:改进算法使得 3×3 单窗口查找中值的比较次数降到16次的同时,硬件系统充分利用了FPGA的并行处理能力和流水线结构,提高了图像预处理速度。

3.1 基于排序统计理论的中值滤波算法改进

排序算法的优劣直接决定了求中值的效率,从而决定滤波的快慢。改进的中值滤波排序法分两大步骤进行:

第1步^[8-9]:对 3×3 窗口中每一行的3个像素进行升序排序,分别得到3个有序序列,然后将这3组有序序列按其中值(②,⑤,⑧)大小进行升序排序。如图1所示,像素依次按箭头方向增大。

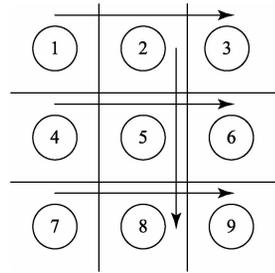


图1 排序示意

对于排序得到的窗口,第1行中的①和②不可能是中值,因为窗口中至少有(③,⑤,⑥,⑧,⑨)5个像素比它们大;第3行中的⑧和⑨不可能是中值,因为窗口中至少有(①,②,④,⑤,⑦)5个像素比它们小;第1行中的③、第2行中的④⑤⑥和第3行中的⑦,不能确定有4个以上的像素比它们大或者小。所以③④⑤⑥⑦这5个像素都有可能是中值,经分析可知,它们的中值就是窗口中值。

第2步:因为④⑤⑥已经有序,不再重复排列。分别将③与⑤,⑦与⑤进行比较:若③和⑦一个小于⑤,另一个大于⑤,则确定⑤为窗口中值;若③⑦同时小于⑤,则取③④⑦中的最大值为窗口中值;若③⑦同时大于⑤,则取③⑥⑦的最小值为窗口中值。

当中值被找到时,行排序共9次比较,按行中值排序3次比较,③与⑤和⑦与⑤共2次比较,③④⑦取最大值或③⑥⑦取最小值共2次比较,即本算法考虑最坏情况,需要16次比较;考虑最好情况,需要14次比较,比传统冒泡排序法减少了20~22次,效率高于上述各种算法,且稳定性较好。

3.2 基于硬件系统的实现方案

仅有高效的排序算法,有时也无法满足系统较高的实时性要求,为了确保滤波速度,硬件系统的配合必不可少。

3.2.1 中值滤波实现方案

改进的中值滤波算法在FPGA上实现功能需要3个主要模块。 3×3 窗口生成模块、中值滤波模块和行列计数模块。实现方案如图2所示。

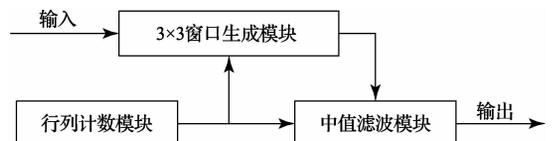


图2 实现方案

3×3 窗口生成模块的功能是生成一个 3×3 的扫描窗口,当该窗口经过图像时,读取 3×3 的像素值,传入系统进行后续的数据处理。该窗口从左到右,从上到下依次扫描,直到将整帧图像全部读取。

中值滤波模块的功能是将 3×3 窗口采集到的像素按

本文改进算法进行处理,并将处理后的像素输出。

行列计数模块的功能是判断中心像素是否位于图像的边缘,对于边缘部分,无法用 3×3 窗口只覆盖这个图像,滤波的输出是无意义的。通常的处理方法是,将边缘的像素输出为“0”。

3.2.2 硬件系统优势的利用

FPGA 的开发相对于传统 PC、单片机的开发有很大不同,它以并行运算为主,以硬件描述语言来实现功能。将改进的算法在 FPGA 中实现,能够有效地进行并行运算和流水作业,使图像的处理速度大大加快^[10]。本文选择 EP2C8Q208C8N 型号的 FPGA,如图 3 所示,为并行运算和流水作业的原理示意图,图中 a 和 b 为三输入比较器,其功能是将输入的 3 个像素比较大小并排序,R 是寄存器。

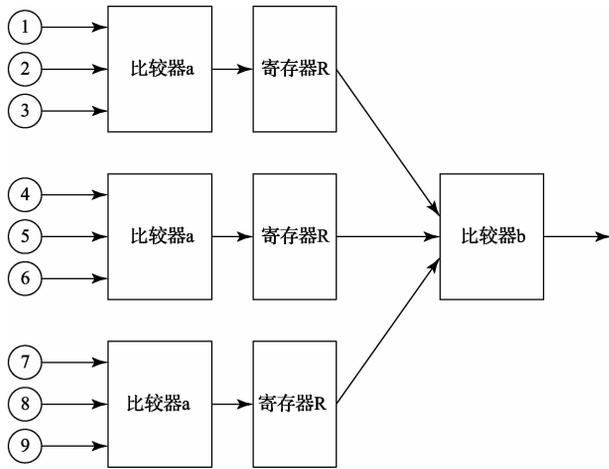


图 3 并行运算与流水作业示意

并行运算,将采集到的 3 行像素同时用 3 个比较器 a 进行比较,然后将各行中值用比较器 b 比较。就是对同一时间内待处理的任任务采用独立的处理通道各自同时进行,总处理时间从所有任务之和降到最慢任务处理时间。这样,总的处理时间就是 a 和 b 所用时间的和,处理速度比顺序处理提高了 1 倍。

流水线作业,在 a 与 b 之间加入寄存器 R,系统的最大延时由 a 和 b 处理时间之和降为之前的 $1/2$ 。就是在系统中明显降低处理速度的关键点插入寄存器,截断长路径,缩短寄存器之间的最大延时,提高处理速度,系统的处理速度提高为原来的 2 倍。

综上所述,通过充分利用 FPGA 的并行运算和流水线作业,处理速度可以提高到以前的 4 倍^[11]。

4 实验结果

为了说明本文排序算法的优越性,选择较典型的几种排序算法与本文算法进行处理效率和速度的对比,如表 1 和表 2 所示。

表 1 各算法处理效率与时间比较

算法名称	单窗口排序 比较次数	比冒泡法 提高效率(%)	处理 时间/s
冒泡排序法	36	0	0.807
快速排序法	30	16.67	1.317
不完全冒泡排序法	30	16.67	0.692
本文的算法	16	55.56	0.519

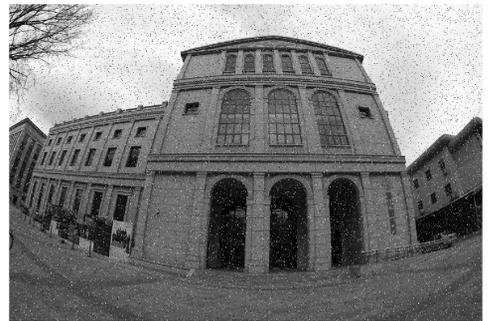
表 2 处理速度比较

硬件系统 实现情况	滤波处理时间 (不优化为 1)	滤波处理速度 (不优化为 1)
不优化	1	1
并行机制	0.5	2
流水作业	0.5	2
本文的设计	0.25	4

表 1、2 为各算法处理效率和速度的比较表,图 4 为实验结果图:(a)为原图、(b)为加入椒盐噪声的图、(c)为本文中值滤波方法处理图。



(a)原图



(b)加入椒盐噪声图



(c)本文中值滤波方法处理图

图 4 实验结果

分析上述实验结果:本文的中值滤波实现方法具有最少的比较次数,最高的效率,最短的处理时间,最快的速度。冒泡排序法、快速排序法、不完全冒泡排序法和本文算法都能够较好地去除脉冲噪声、恢复原始图像,在图像的细节保持能力上也几乎没有明显的差异,这是由于以上算法都是基于排序统计理论,原理基本相似。然而,图像在处理时间上显示出了差异:本文方法的处理时间明显小于其他算法,这是由于本文算法效率较高,稳定性较好,处理速度也就较快。在保证处理效果的基础上提高滤波速度,正是本文所要达到的最终目的。

5 结 论

鉴于运动目标识别技术对于图像预处理的高实时性要求,首先将传统中值滤波算法及几种典型的优化算法进行了对比分析,然后提出了一种基于排序统计理论的快速图像中值滤波方法。对于每个 3×3 窗口仅需要16次比较就可得出中值,大大减小了FPGA的内部消耗,同时充分利用了系统的并行运算能力和流水线结构,运算速度提高为原来的近4倍,适合于实时图像预处理。本系统不仅能够实现图像的高速预处理,保证图像质量,FPGA可编程的特点,也增加了系统的灵活性和通用性。

参考文献

- [1] 吕宗伟,唐治德,周林,等.一种高效快速的高密度椒盐噪声消除算法[J].电子学报,2011,39(8):1903-1906.
- [2] 严盟,金聪,文昌.一种改进的去除数字图像脉冲噪声方法[J].电子测量技术,2011,34(12):39-41.
- [3] 陈健,郑绍华,余轮,等.基于方向的多阈值自适应中值滤波改进算法[J].电子测量与仪器学报,2013,

27(2):156-161.

- [4] 王宇新,贺圆圆,郭禾,等.基于FPGA的快速中值滤波算法[J].计算机应用研究,2009,26(1):224-226.
- [5] TOH K K V, ISA N A M. Noise adaptive fuzzy switching median filter for salt-and-pepper noise reduction[J]. Signal Processing Letters, IEEE, 2010, 17(3): 281-284.
- [6] 徐锋,刘云飞,宋军,等.基于中值滤波-SVD和EMD的声发射信号特征提取[J].仪器仪表学报,2011,32(12):2712-2719.
- [7] 沈学利,王肃国.基于FPGA的改进型中值滤波算法研究[J].微电子学与计算机,2014,31(1) 21-24.
- [8] 侯法柱,彭楚武,方亮,等.图像中值滤波算法及其FPGA的实现[J].微计算机信息,2011,27(1):69-71.
- [9] 黄海波,蒋伟荣,刘勇,等.基于SOPC的智能车辆道路识别与跟踪[J].仪器仪表学报,2012,33(2):321-326.
- [10] 方翰华,陈新华,沈国新,等.基于FPGA图像滤波算法硬件优化设计[J].电子测量技术,2009,32(12):68-71.
- [11] 王萍,白光远,唐晓燕,等.基于FPGA的图像中值滤波算法的优化及实现[J].电子与电脑,2009(10):94-96.

作者简介

牛敏,1991年出生,在读硕士研究生。主要研究方向为目标检测与识别,光电图像处理等。

E-mail: niuminbuaa@163.com