

·信号与信息处理·

基于IRFPA改进中值滤波算法的FPGA实现

杨绍岩¹, 刘万成¹, 周长春²

(1. 光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 三河 065201; 2. 北京电子专科学院, 北京 100190)

摘要: 中值滤波是基于排序统计理论的一种能有效抑制噪声的非线性信号处理技术。改进中值滤波算法与传统 3×3 中值滤波器相比较: 滤波模板由2个FIFO与7个寄存器组成, 简单实用; 经过6级比较可以快速找到9个数的中值, 提高了寻找中值的速度; 得到的中值与原始数据经过阈值比较, 做选择性替换, 便于更好地保持图像细节。此算法在 640×512 元红外焦平面阵列探测器上, 成功实现 3×3 窗口对图像进行中值滤波, 运算简单速度快, 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。

关键词: 红外焦平面阵列; 中值滤波; 模板; 阈值

中图分类号: TP391; TN713

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2011)02-0064-04

FPGA Implementation for Improved Median Filtering Algorithm Based on IRFPA

YANG Shao-yan¹, LIU Wan-cheng¹, ZHOU Chang-chun²

(1. *Science and Technology on Electro-Optical Information Security Control Laboratory, Sanhe 065201, China*; 2. *Beijing Electronics Science & Technology Institute, Beijing 100070, China*)

Abstract: The median filtering is a nonlinear signal processing technology based on the order statistical theory, it can effectively suppress the noise. The improved median filtering algorithm and the traditional 3×3 median filter are compared: the filtering mould board is composed of 2 FIFOs and 7 registers, simple and practical; by using 6-level comparison, 9 medians are found fast, which can improve the speed of finding median; in order to keep the image details, the obtained median and the original data are compared with the threshold to selectively replace. Using the algorithm, 3×3 window successfully achieves the median filtering of the image on the 640×512 element infrared focal plane array (IRFPA). This algorithm is simple and fast, it can protect the signal details well at the same time of filtering the noise, especially the pulse noise.

Key words: infrared focal plane array (IRFPA); median filtering; mould board; threshold

基于红外焦平面阵列(IRFPA)的凝视红外系统是目前红外技术领域的重要方向。由于工艺水平因素限制, 以及图像在生成、采集、传输过程中, 不可避免地引入各种噪声使图像质量变差。因此在实际应用前, 除了要对图像进行非均匀变化和盲元补偿以外, 还要适宜增加某些特定的图像预处理算法来抑制图像噪声, 以利于后续处理。凝视红外系统的帧速一般较快, 对电子学系统实时处理能力要

求较高, 在帧周期内由数字信号处理芯片(DSP)独立完成这些图像预处理、目标识别、跟踪算法的难度比较大。所以可以把一些主要涉及逻辑运算和乘加计算的算法交给FPGA来处理, 充分发挥FPGA的高速、并行计算能力强的特点。

红外图像一般存在噪声点大, 目标和背景之间灰度差小, 边缘模糊的特点, 图像必须经过预处理进行质量提高和特征增强, 才能进行目标检测识别

收稿日期: 2011-02-22

作者简介: 杨绍岩(1978-), 女, 辽宁黑山人, 学士, 工程师, 研究方向为自动控制。

与跟踪的运算。中值滤波是较为常用的红外图像滤波算法,经常用于去除图像的椒盐噪声。文中在传统的中值滤波算法的基础上对中值滤波做些改进,以640×512元红外焦平面阵列探测器为验证对象,选用Altera公司的高性能Stratix II EP2S60作为硬件平台,以流水方式来实现中值滤波算法。

1 中值滤波原理

图像在生成、传输过程中常会受到各种噪声源的干扰和影响,为了抑制噪声,改善图像质量,在对图像分析前需要对图像进行滤波、平滑处理。中值滤波是一种能有效地抑制图像噪声而提高信噪比的非线性滤波技术。它首先对邻域点的灰度值进行排序,然后选择中间值作为输出灰度值。中值滤波的公式如下

$$g(x,y)=\text{median}\{f(x-i,y-j)\};i, j \in S \quad (1)$$

式中, $g(x,y)$ 和 $f(x,y)$ 为像素灰度值; S 为模板窗口。对于不同的图像质量有不同的应用模板窗口,其中常用的有3×3模板和5×5模板。

中值滤波算法可以在DSP中实现,随着FPGA可编程逻辑器件的逻辑单元的数量不断提高,现在这部分功能完全可以在FPGA上实现。也不需要FPGA外部存储器的配合。主要有下面两方面工作要做。

1.1 模板生成

二维中值滤波的模板形状和尺寸有多种样式,不同的图像内容和不同的应用要求,往往采用不同的模板形状和尺寸,常用的中值滤波有线形、方形、十字形、X字型以及矩形等。根据红外图像的特点选用方形模板更为适合,以3×3的窗口为例,中值滤波处理算法是针对邻域像素操作。利用2个FIFO和6个寄存器对图像的行列数据进行存储,设计滤波窗口如图1所示。

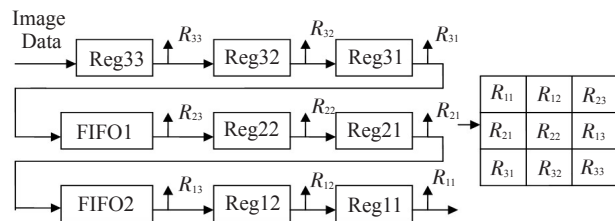


图1 3×3窗口原理框图

图1中,每个FIFO的地址长度为图像的宽度减

2,即一个FIFO加2个寄存器存储一行图像数据,用于图像行数的缓存;7个寄存器分3组两两串接,实现每行数据上列像素的缓存,从而形成一个3×3的滤波窗口,在一个像素时钟周期内并行输出9个数据作为后续算法模块的输入。通常,图像边缘不包含重要信息,可以将边缘点位置取为原始值。

1.2 中值滤波算法设计

中值滤波器的核心算法是排序,排序法的优劣直接决定了求中值的效率,从而决定了设计的整体性能^[1]。基于硬件的排序算法设计可以充分利用FPGA硬件平台并行性特点,从而达到加速处理的目的。原始的冒泡排序算法适合计算机软件操作,应用FPGA应当尽可能多地用到FPGA并行操作。对9个数据直接找到中间值不容易,但最大值与最小值可以很快找到,如果找到9个数中的最大值与最小值,就可以将这两个数排除掉,剩下的7个数继续寻找最大值与最小值。找到后排除,以此类推,最后剩下的那个数就是这9个数中的中间值。

设计一个3输入比较器,在一个时钟周期内就可以比较出它们的大小关系。其输入数据为图1所示的模板生成的数据。首先将9个数分3组,找到每组的最大值、最小值与中间值(参见图2所示)。

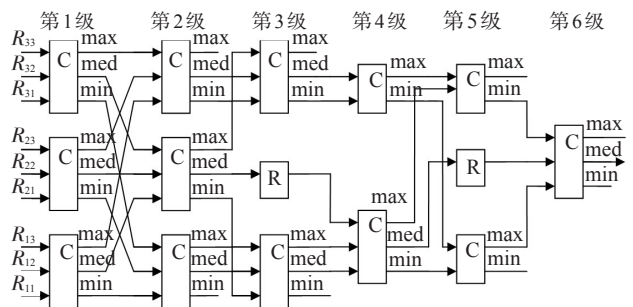


图2 中值滤波结构图

然后将3组比较结果中的最大数放在一起,最小数放在一起,中间值放在一起,组成第二级比较。第二级比较可以找到9个数中的最大值及最小值,这两个数不参加下一级比较。剩下的7个数参加第3级比较,找到的最大值与最小值舍去。剩下的5个数继续参加4、5级比较找到这5个数中的最大值、最小值,将其舍去。剩下的3个数用一个比较器找出的中值即为这9个数的中值。此外为了保证流水线操作过程数据的同步性,在第3级和第5级比较电路中需要插入数据寄存器R,缓存当前级中不参

加比较的数据。

1.3 滤波算法的改进——阈值比较法

无论哪种滤波器都是以牺牲原始图像质量为前提,所以在定位哪个像素为噪声点的同时,要注意是否有替换的必要^[2]。中值滤波要实现的是用中值 $g(x,y)$ 来代替中心点值 $f(x,y)$ 。对于椒盐噪声来说,由于模板的中值很大程度上不会是噪声,因此中值滤波能很好地消除它。当中心点值为噪声时,其值和中值数值相差较大,应该用中值来代替中心点值。但是,当中心点不为噪声时,其值和中值数值相差不大,如果还用中值来代替中心点值,那么虽然对于单个像素点来说,不会产生较大的差异,但是如果对一整幅图像都进行这样的处理,这将在一定程度上使整幅图像变得模糊。据此,可以对中值滤波算法做一些改进。首先,排序窗口内的图像数据,找到中值,然后将中值和中心点值做差,将差值与事先设定的阈值 T 进行比较,如果两值之差的绝对值 $|g(x,y) - f(x,y)|$ 大于等于阈值 T ,则认为中心点图像数据是噪声,用中值代替原数据值;如果两值之差的绝对值 $|g(x,y) - f(x,y)|$ 小于阈值 T ,则认为中心点图像数据是有效数据,保持不变。阈值 T 的选择应该针对不同的图像,根据经验或者实验进行选取。如果阈值选择过大,将有可能滤除掉噪声;如果阈值选择过小,将仍会使图像变得模糊。由于噪声和周围像素相差较大,也和中值相差较大,因此阈值一般选择在几十左右。这样,滤波处理之后的图像在去除噪声的同时会更加接近于原图像,能在更大程度上保留图像细节,使图像更清晰。

2 实时中值滤波算法的FPGA硬件实现

640×512元红外焦平面阵列探测器,红外探测波长5~8 μm,工作温度在-40~85 °C。可以设置最大输出时钟频率为20 MHz,产生标准PAL制式的视频数据输出,每帧640×512像素,经过14 bit的A/D转换后其输出数据流时序如图3所示。

Lsync为数据输出的场同步信号,Lsync低电平数据输出有效,有效时间为16.384 ms。根据数据流时钟周期50 ns,推出输出像元数为 $16.384/50 \times 10^6 = 327\ 680$ 个,这恰好等于一帧图像640×512。Lsync高电平数据输出无效时间为3.616 ms,所以Lsync周期为20 ms,符合我国PAL制的电视显示标准。

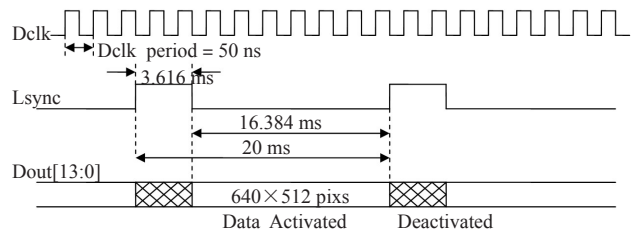


图3 输出数据Dout[13:0]时序图

在Lsync低电平有效时间内数据连续输出,没有行同步信号。所以中值滤波的对象是对数据流的连续操作,滤波结果也要产生一个新的Lsync信号,相当于图3所示的数据的一个延时操作。

为了完成中值滤波的功能,设置了4个模块:行列计数器的生成模块、3×3模板的生成模块、中值滤波模块、阈值比较模块。

(1) 行列计数器的产生

在Lsync信号有效期内,以Dclk为计数器时钟信号对当前像素所处的行数和列数进行标识。首先对列计数,设变量line_cnt,row_cnt为10位的寄存器变量,初始值为1,line_cnt从1开始计数,当计数到640时重设为1;row_cnt从1开始,每当line_cnt等于639累加1,直到Lsync翻转高电平为止。在数据无效期间对line_cnt,row_cnt重新置为1。

(2) 3×3模板的生成^[3,4]

使用嵌入式存储器来实现移位寄存器块,它能节省逻辑单元LE和布线资源,提供了更加有效的实现方法。由于Quartus II软件中的altshift_taps宏模块没有正好等于638的FIFO,可以选用移位寄存器实现FIFO的功能。1个 $w \times m \times n$ 移位寄存器,由输入数据宽度 w ,抽头长度 m 和抽头数 n 来决定,移位寄存器的抽头长度 m 最大值是256,当需要更大容量的移位寄存器块可以级联。由于 w 没有正好14位,可以选16位移位寄存器。运用如图4的移位寄存器组成一个深度为638的FIFO,抽头数 n 都为1。根据1.1节中的模板生成原理图组成如图5所示的Quartus II的软件实现^[5]。

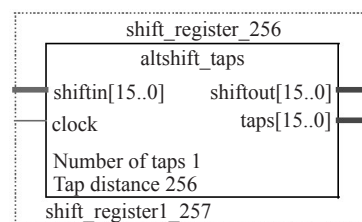


图4 altshift_taps宏模块

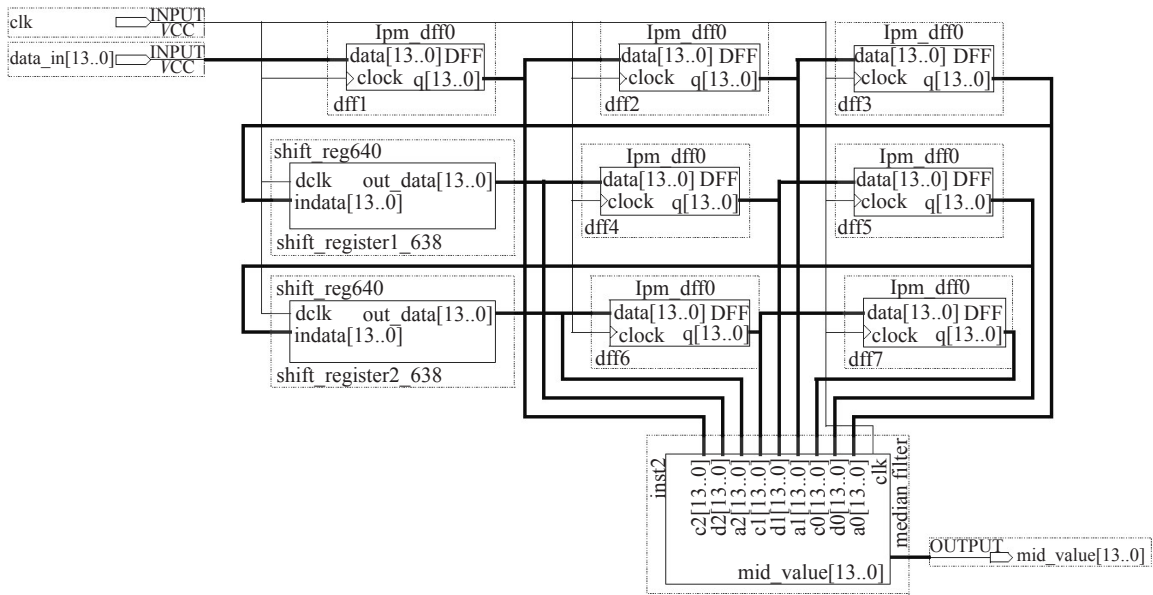


图5 3×3窗口FPGA的实现

shifin[15..0]为图像数据输入端, clock 为时钟信号 shifin[15..0]为经过 638 个时钟延时后的数据输出端。

最终的中值滤波器的构成如图 5 所示, 包括 7 个由上升沿触发的 D 触发器, 每个 D 触发器延一个时钟、两个移位寄存器模块, 每个寄存器模块延时 638 个时钟, 一个排序模块延时 6 个时钟, 总计经过 1 286 个时钟的延时后, 中值滤波器开始流水输出滤波结果。

(3) 中值算法实现

求 9 个数中间值的算法需要 10 个 3 输入比较器, 2 个 2 输入比较器。搭建一个如图 2 所示的中值滤波结构图。2 输入比较器判决出 2 个输入数值的大小, 一个时钟可以实现。3 输入比较器比较产生最大值、最小值及中值。考虑在 FPGA 上应用, 要尽可能并行处理, 所以采用如下代码生成 Symbol, 这样可以在一个时钟周期后就可以有结果输出。

```

always @(posedge clk)
begin
if(a>=b & b>=c)begin mid_value <= b;max_value <= a;
min_value <= c;end
else if(c>=b & b>=a)begin mid_value <= b;max_value <
= c;min_value <= a;end
else if(b>=a & a>=c)begin mid_value <= a;max_value <
= b;min_value <= c;end
else if(c>=a & a>=b)begin mid_value <= a;max_value <
= c;min_value <= b;end

```

```

else if(a>=c & c>=b)begin mid_value <= c;max_value <
= a;min_value <= b;end
else if(b>=c & c>=a)begin mid_value <= c;max_value <
= b;min_value <= a;end
end

```

时序仿真模拟真实时钟周期, 选择输入时钟周期 50 ns, 输入数据是以 50 ns 为周期的从 1 开始累加。仿真结果(见图 6)显示: 产生的 9 个数可以分 3 行, 第一行的 1、2、3 与第二行 641、642、643 及第三行的 1 281、1 282、1 283 相对应, 每两行有 640 个数的差值。最终的中值 mid_value 为 642, 对应的输入数据有 646 个时钟的数据延时。

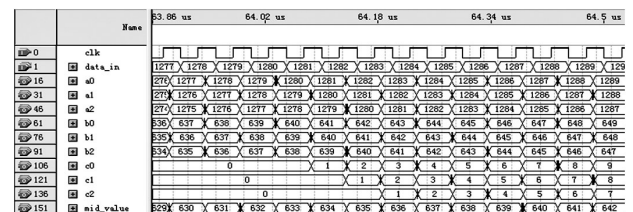


图6 3×3模板及中值算法实现的时序仿真结果

(4) 周围像素处理及阈值比较^[6,7]

为了使算法更好地保护图像的细节, 同时把噪声像素点用中值来替代, 需要将最终结果做一个判断, 首先是需要将图像的四边 2 行和 2 列用原始值替代。通过前面设置的行、列计数器判断 line_cnt, row_cnt, 如果 line_cnt 等于 1 或 640 时候输出值为原始值, 如果 row_cnt 等于 1 或 512 时候输出值为原始

(下转第 70 页)

返回探测系统回波信号瞬时频率估计的两种方法,并做出了仿真分析。

相位差分法是一种最基本的估计方法,是根据瞬时频率的定义来进行估计的,具有概念明确,计算简单的特点,但是这种方法只能在信噪比较高的情况下进行估计,受噪声影响很大,适用范围有限。

参数建模法是对相位差分法的改进算法,根据先验知识提前对信号的形式进行建模,然后估计模型的参数,可以达到较高的精度,适用于有限阶次的多项式相位信号,有一定的抗噪性能。但是估计所需的信噪比较高,估计的稳定性较差,要选择合适的模型阶数,对于相位多项式高阶系数影响较大

的信号计算成本较大。

参考文献

- [1] 叶钊. 时频分析在雷达信号处理中的应用[D]. 长沙:国防科技大学,2005:14-16.
- [2] 卫俊平. 时频分析技术及应用[D]. 西安:西安电子科技大学,2005:42-50.
- [3] Vile J. Theorie et applications de la notion de signal analytique[J]. Cables et Transmission, 1948, 2A: 61-74.
- [4] 张贤达. 保铮. 非平稳信号分析与处理[M]. 北京:国防工业出版社,1998:84-87.
- [5] 张贤达. 信号处理中的线性代数[M]. 北京:科学出版社,1997.

(上接第67页)

值。当输出数据不在图像最外一行(列)时,判断产生的中值与需要替代像素的原始值的差值 T ,当差值 T 很大时用中值替代,相差不大取原始数据。在此过程中为了把原始值与中值在一个时钟进行比较,需要将原始值用移位寄存器进行延时 $1280+6$ 个时钟周期,使它的值与mid_value在同一时钟内产生。 T 的选择可以通过实验选取一个恰当的值,这里对14位输入数据,选取30左右为宜。



图7 中值滤波前原始图像



图8 中值滤波后图像

将一幅未经处理的原始红外图像(图7),原始图像加入了孤立的噪声点,输入FPGA中值滤波器得到滤波后的图像如图8,试验结果可以看出,原始图像中孤立的噪声点得到了有效的滤除,利用FPGA实现的中值滤波得到了预想的效果。

3 结束语

通过对传统的中值滤波算法进行改进,能够更好地保证图像质量。算法在 640×512 元红外焦平面阵列探测器实现 3×3 窗口对图像进行中值滤波,中值滤波对图像的点噪音的去噪能力效果明显。对

于 5×5 或 7×7 模板的中值滤波,求取中值过程复杂,但采用流水的方式处理,只是对数据多做几个延迟。当红外目标为几个像素点组成的弱小目标,为了便于进行目标识别处理,不建议选用 5×5 或 7×7 的模板处理。窗口内噪声个数大于窗口内元素数一半时,中值滤波效果下降。当目标为一个像素点或亚像素时最好不用中值滤波,采用基于形态学滤波与维纳差分滤波背景抑制算法,或直接选用比较好的非均匀校正与盲元替换效果更为理想,可以更好地保护目标信息不被滤除掉。

参考文献

- [1] 李洋波,赵不贿. 基于FPGA的图像中值滤波的硬件实现[J]. 现代电子技术,2008,22:99-101.
- [2] 李飞飞,刘俸宁,王艳华. 改进的中值滤波算法及其FPGA快速实现[J]. 计算机工程,2009(14):175-176.
- [3] 石岩. 凝视红外成像信息处理系统图像预处理方法与系统[D]. 武汉:华中科技大学,2006.
- [4] 姜勇,刘广文,赵丹培,等. 基于FPGA的图像增强以及滤波技术[J]. 长春理工大学学报,2002(12):20-22.
- [5] 任爱峰,初秀琴,常存,等. 基于FPGA的嵌入式系统设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004:260.
- [6] 朱梦宇,赵保军,韩月秋. 复杂背景下点目标检测算法[J]. 红外,2002(7):21-24.
- [7] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. Digital Image Processing[M]. 北京:电子工业出版社,2003:171-180.
- [8] Kenneth R Castleman. Digital Image Processing[M]. 北京:电子工业出版社,2002:205-210.