

基于 DSP + FPGA 的红外图像锐化算法的实现

王利平, 陈 钱, 顾国华, 张保民

(南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094)

摘 要: 为了改善红外图像的成像质量, 根据红外图像的特点, 提出了一种改进的拉普拉斯锐化算法——受限拉普拉斯锐化算法, 并采用 DSP + FPGA 的架构进行实时处理。对普通拉氏锐化算法和受限拉氏锐化算法的处理效果进行比较。受限拉氏锐化算法有效地控制了图像的噪声, 使处理后的图像边缘更加清晰, 又保护了图像的细节。

关键词: 红外图像; 图像锐化; 噪声; 数字信号处理

中图分类号: TN 215 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005 - 9830(2006)06 - 0764 - 03

Infrared Image Sharpening Algorithm Based on DSP + FPGA

WANG Li-ping, CHEN Qian, GU Guo-hua, ZHANG Bao-min

(School of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, NUST, Nanjing 210094, China)

Abstract: According to the infrared image characteristics, an advanced Laplacian sharpening algorithm — restricted Laplacian sharpening algorithm is proposed in order to improve the quality of infrared image. DSP + FPGA is used to realize the real-time image processing. The experimental results of the advanced Laplacian sharpening algorithm and the common Laplacian sharpening algorithm are compared. The noises of image is effectively suppressed by restricted Laplacian sharpening algorithm. The edges of image after processing are distinct and the details are deserved.

Key words: infrared image; image sharpening; noises; digital signal processing

热像仪是一类重要的红外成像系统, 它将物体自然发射的不可见红外辐射转变为图像, 从而使观察者可以看到系统快速响应的输出活动图像, 将人眼的视觉范围扩展到远红外区。红外图像表征景物的红外辐射分布, 取决于景物发射率和温度的空间分布, 并受到噪声的干扰。由于景物温度按照梯度规律传播以及红外辐射的衍射效

应比可见光强烈, 从而导致红外图像具有较高的相关性, 其对比度往往比可见光图像弱。红外图像的视觉效果较为模糊, 加之焦平面阵列元响应率的不一致、电荷传输效率、 $1/f$ 噪声以及环境温度变化等诸多因素造成的图像的非均匀性, 进一步损害了图像质量, 所以必须采取非均匀性校正、图像增强等处理来改善图像质量。目前红外热成像

收稿日期: 2005 - 03 - 14 修回日期: 2006 - 06 - 29

作者简介: 王利平(1964 -), 女, 河北饶阳人, 副教授, 博士, 主要研究方向: 夜视系统图像实时处理, E-mail: long-sense@sina.com。

系统突出的性能优点还远没有得到充分发挥。因此,国际上在开展红外探测器和红外热成像系统性能研究的同时,也在极力进行红外图像实时处理技术的研究。其核心任务是研制模块化红外图像实时处理系统,从而有效地提高红外热成像系统的动态范围,抑制图像噪声,增强图像信息,消除非均匀性,改善图像质量。

本文的主要目的是以红外图像特征为出发点,研究红外图像的增强处理方法,提出一种改进的拉普拉斯锐化——受限拉普拉斯锐化算法,并采用 DSP + FPGA 架构进行实现。同时对普通拉氏锐化算法和受限拉氏锐化算法的处理效果进行了实验比较。

1 受限拉普拉斯锐化

图像锐化有高频增强滤波器和空间域图像锐化 2 种方法。空间域图像锐化具有简单、易于硬件实现的特点^[1,2],它的一维处理表达式是

$$g(x) = f(x) - \frac{d^2 f(x)}{dx^2} \quad (1)$$

经式(1)处理后,缓慢上升的波形减去其二次微商,所得的波形 $g(x)$ 上升较快,有“过冲”现象出现,使得信号边缘突出,达到锐化目的。在二维情况下,要求找到一种算法,使走向不同的轮廓能够在垂直方向上具有类似于—维的锐化效应。用拉普拉斯算子实现的算法可以实现上述目的。拉普拉斯算子及其对图像 $f(x, y)$ 的作用是

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2)$$

可以证明这是一种各向同性的运算,可以满足不同走向的轮廓锐化的要求。由—维的锐化表达式(1)可以写出二维表达式为

$$g(x, y) = f(x, y) - \alpha \nabla^2 f(x, y) \quad (3)$$

式中 α 因子用于调节锐化程度。因此数字图像的锐化表达式可以写为

$$g(m, n) = f(m, n) - \alpha [f(m+1, n) + f(m-1, n) + f(m, n+1) + f(m, n-1) - 4f(m, n)] = [1 + 4\alpha]f(m, n) - \alpha \sum_i \sum_j f(i, j) \quad (4)$$

式(4)中的求和 $\sum_i \sum_j f(i, j)$ 是指位于 (m, n) 点周围的 4 点,即 $(m \pm 1, n)$ 和 $(m, n \pm 1)$ 。 α 是一个可供选择的参数, α 越大,图像锐化越厉害。当 $f(m, n)$ 与其四邻的灰度值都相等时,即图像的这

一部分为常数,没有轮廓存在,此时经式(4)处理以后还是原来的值 $f(m, n)$,没有锐化作用。

通常红外场景中有远近目标,而且图像各处的对比度不一样,对图像做同一处理会产生噪声,有时会破坏好的边缘。本文提出受限拉氏锐化,它的思想是在拉氏锐化的基础上仅对对比度较小的区域做锐化处理。该方法可以表达为:设 P_1, P_2, \dots, P_8 为 P_0 的八邻域, λ 代表了 P_0 的八邻域对比度, P'_0 为变换后的像素值

$$p_{\max} = \max(P_0, P_1, \dots, P_8) \quad (5)$$

$$p_{\min} = \min(P_0, P_1, \dots, P_8) \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{p_{\max} - p_{\min}}{p_{\max} + p_{\min}} \quad (7)$$

$$P'_0 = \begin{cases} P_0 & \lambda > 0.5 \\ 9P_0 - \sum_{i=1}^8 P_i & \lambda \leq 0.5 \end{cases} \quad (8)$$

此方法有效地防止了强边缘扭曲,其他部分的边缘锐化细节则没有受到影响。

2 基于 DSP + FPGA 架构的实时处理方法

本文设计的红外图像实时处理器采用 DSP + FPGA 的架构^[3,4],其基本结构如图 1 所示。

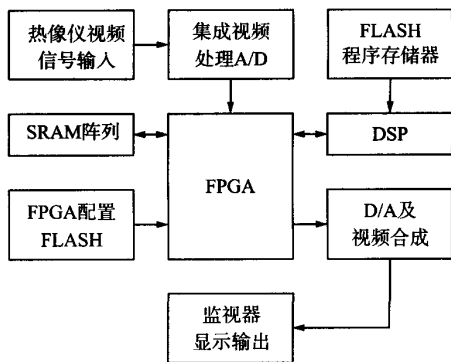


图 1 红外图像处理器的结构框图

红外热像仪输出的视频信号经过集成视频处理 A/D 之后,输出 8 位数字信号和相关的视频时序信号(经过锁相的像素时钟、行同步、场同步以及奇偶信号等)。FPGA 是本系统的核心部分,实现本文提出的算法;SRAM 阵列用于存放图像及算法的实现;FLASH 程序存储器存放 DSP 运行程序;FPGA 配置 FLASH 存放 FPGA 配置程序;D/A 及视频合成实现由数字信号向模拟信号的转变,并将模

拟信号与同步信号合成为电视信号。

在对图像进行锐化过程中,图1中的SRAM一直处于读写状态,即在1个像素时钟内完成1次读操作和1次写操作。按照锐化算法,在像素时钟的高电平期间从SRAM中读取图像数据;读取数据后在FPGA中进行移位,每个像素时钟到来时移位1次,再根据公式算出该点的值;在像素时钟的低电平期间向SRAM中写入图像数据,完成数据的更新。其中控制逻辑以及SRAM的时序通过FPGA由VHDL语言编程实现。

3 红外图像锐化增强结果与分析

图2为拉氏锐化图像与受限拉氏锐化图像比较结果。由图2可以看出,经过普通拉氏锐化后的图像边缘被加强的程度相对于受限拉氏锐化算法更大,但是原图中的噪声被明显地加强(由于红外图像的非均匀性),造成图像中出现了很多纵向和横向的细小条纹,严重地影响图像中目标的可识别性;受限拉氏锐化则有效地控制了图像的噪声加强,使处理后的图像边缘更加清晰,保护了图像的细节,将边缘增强和噪声抑制较好地结合起来。

本文提出的算法在硬件平台上得到了实现,目标边缘锐化处理效果较明显,图像质量有所提高,为红外图像的进一步应用做好了准备,达到了预期的效果。但是还存在以下问题:算法适应性不够强;由于采用固定的锐化模板,不能根据不同图像自适应地变换锐化参数,对有些图像的处理效果不明显;在算法上还需要做进一步研究。



(a)原图像



(b)拉氏锐化图像



(c)受限拉氏锐化图像

图2 拉氏锐化图像与受限拉氏锐化图像比较

参考文献:

- [1] 向键华,徐军,向建勇. 一种能用硬件实现的红外图像增强使用算法[J]. 红外技术,2002,24(5):11-15.
- [2] 陈众,李祖枢,李剑. 居于HVS特性的图像边缘锐化方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2001,13(11):1 043-1 047.
- [3] 吴豫,孟宪元. Flash 编程器的FPGA实现[J]. 半导体技术,2003,28(5):48-51.
- [4] 王远超. 红外图像锐化实用算法的研究与实现[D]. 南京:南京理工大学电子工程与光电技术学院,2004.

基于DSP+FPGA的红外图像锐化算法的实现

作者: [王利平](#), [陈钱](#), [顾国华](#), [张保民](#), [WANG Li-ping](#), [CHEN Qian](#), [GU Guo-hua](#), [ZHANG Bao-min](#)

作者单位: [南京理工大学, 电子工程与光电技术学院, 江苏, 南京, 210094](#)

刊名: [南京理工大学学报 \(自然科学版\)](#) 

英文刊名: [JOURNAL OF NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY \(NATURAL SCIENCE\)](#)

年, 卷(期): 2006, 30(6)

被引用次数: 2次

参考文献(4条)

1. [向键华, 徐军, 向建勇](#) 一种能用硬件实现的红外图像增强使用算法[期刊论文]-[红外技术](#) 2002(05)
2. [陈众, 李祖枢, 李剑](#) 居于HVS特性的图像边缘锐化方法[期刊论文]-[计算机辅助设计与图形学学报](#) 2001(11)
3. [吴豫, 孟宪元](#) Flash编程器的FPGA实现[期刊论文]-[半导体技术](#) 2003(05)
4. [王远超](#) 红外图像锐化实用算法的研究与实现[学位论文] 2004

相似文献(10条)

1. 学位论文 [王忠林](#) 红外图像实时处理系统设计 2006

红外图像实时处理系统设计主要研究了能够有效改善红外图像质量并且易于硬件实现的实用化处理算法, 完成系统硬件设计与编程, 实时实现图像处理算法, 以显著提高红外热成像系统整机性能。

本文运用2D-TDI算法提高图像信噪比, 提出基于运动目标的运动补偿算法和基于模糊理论的图像锐化算法来改善图像质量, 利用去除冗余的图像灰度级压缩算法实现图像灰度级压缩。这些算法在本系统中取得了良好的效果。

本论文涉及的图像实时处理系统硬件部分采用DSP+FPGA作为核心运算单元的设计思想, 针对项目组具体应用和实现本课题要求进行设计。该系统主要由运算模块、存储模块、显示驱动模块和通信接口模块组成。在该系统的软件设计方面, 利用并行处理技术和指令流水线技术, 对软件算法流程进行科学安排, 对算法代码进行合理优化, 在本系统上实时地实现了上述算法。

2. 学位论文 [郭师虹](#) 空域红外图像增强方法的研究 2005

红外图像增强是ART(自动目标识别)及红外成像目标跟踪系统中极其重要的预处理技术。红外图像对比度低、图像模糊、噪声大等特点, 对于后续的一步处理, 如目标识别、跟踪等极为不利, 因此进行红外图像增强是非常必要的。

作者分别从提高红外图像对比度、抑制噪声及增强红外图像边缘这三个角度研究红外图像的空域增强方法。论文的主要研究内容及成果如下:

研究了红外图像的成像机理和特点。在分析了直方图的特性之后, 提出在红外跟踪系统中采用隔行/隔列直方图统计, 大大减少了直方图统计的运算量, 满足系统的实时性要求。

红外图像对比度增强的研究基于灰度变换。分析对比了各种常用变换方法的优缺点, 提出了可结合图像具体特征的自适应分段线性拉伸算法。

抑制红外图像噪声的研究是从分析噪声的种类、特点等开始的, 接着研究了空域滤波增强的基本原理。在此基础上研究了邻域平均法、梯度倒数加权平滑法及中值滤波算法, 提出了改进的梯度倒数加权平滑算法和快速中值滤波算法。

为了增强红外图像的边缘信息, 论文分析了常用的红外图像空域锐化算子—梯度锐化算子和拉普拉斯算子。提出了两种改进的梯度锐化算子, 取得了较好的锐化效果。研究了改进的拉普拉斯算子和受限拉普拉斯锐化算法。此后, 对论文中算法的工程可行性进行了分析。

本论文得到陕西省科学技术研究发展计划项目的支持(编号: 陕2003K05-G17)。

3. 学位论文 [肖源](#) 一种实时图像处理算法验证平台的软件设计和实现 2009

随着计算机、多媒体和数据通信技术的高速发展, 数字图像处理技术几乎在各个行业里都得到应用。伴随着现在科技的发展, 实时图像处理引起了更广泛的关注, 它的数据量大, 要求数据传输速率高。

本论文的实现目标是基于成熟的技术, 构建一套图像处理算法的硬件验证平台, 然后设计系统平台整体的软件构架, 开发出数据的输入和数据的输出显示, 完善系统的平台。该平台目标是贴近用户的硬件和软件选择, 并支持用户未来可能的升级需求。本课题项目的硬件平台就是采用了Sundance的FPGA+DSP组合的TLM模块的构架。由于硬件平台处理后的数据图像的格式不固定, 可以自己设定, 在软件设计过程中用到了Windows位图的图像基础类, 根据它设计出一套能够满足课题项目的软件设计要求, 并给出了实际程序和功能, 实现了课题项目的整体要求。

本论文的重点内容是研究了红外成像以及红外成像仪, 选取了达到项目要求的红外设备, 红外图像的采集技术, 图像采集卡的选取, 设计了红外成像通讯控制软件, 对红外图像进行一些预处理, 能够在硬件平台进行传输处理的数据图像源, 包括红外图像的增强和锐化, 单点校正和两点校正法。接下来的工作重点就在系统软件方面, 平台系统的软件支持中包括构建系统软件构架, 能够支持硬件系统的正常运行及工控机上图像和数据的播放显示软件的开发。

4. 期刊论文 [孙玉胜, 白克](#) SUN Yu-sheng, BAI Ke 一种改进的红外图像滤波增强处理方法 -[郑州轻工业学院学报 \(自然科学版\)](#) 2009, 24(6)

研究了锐化算法, 对巴特沃斯滤波算法进行了改进, 保留了图像低频信息, 突出了图像的细节信息, 使图像整体视觉效果得到改善, 有利于后续图像处理工作的进行。试验验证了该算法的有效性。

5. 学位论文 [周红娟](#) 基于红外图像道路识别与道路跟踪 2004

智能车辆(IV)系统是近年来各国潜心研究的一个新领域, 其中的视觉系统需要实时检测行驶环境, 确定道路的边界, 使得智能车辆能够全天候的在无人驾驶或操纵的情况下自主安全平稳的行驶。采用红外摄像机获取图像是该视觉系统常用的一种方法。因此, 红外图像的道路识别成为智能车辆系统的一个研究重点。该文主要针对红外道路图像的特点, 对如何有效的提取出道路区域作了一定的研究。主要从三个方面研究了红外道路图像的处理算法。从点域、邻域分别探讨和实现了道路图像的灰度拉伸、噪声平滑及突出边缘的锐化处理, 使用合理的方法去掉了过亮和过暗点的影响, 给出了红外道路图像的直方图预处理技术以及基于直方图分析和灰度统计的二值化算法。在对多种边缘检测方法, 包括传统的Sobel算子、Laplacian边缘检测分析后, 提出了一种带状边缘的检测方法。另外, 该文将广义Hough变换引入到道路边缘曲线拟合中, 分别探讨了直线和抛物线的道路模型的曲线拟合。由于道路的复杂性, 该文对道路作了一定的假设和推理, 并将这些知识同各种算法结合起来, 取得了一定的效果。

6. 学位论文 [郭婧](#) 基于FPGA的红外图像实时图像增强的改进算法及硬件实现 2006

红外图像增强技术是夜视技术领域一项重要内容。由于非制冷热成像系统的输出图像成像模糊和非均匀性明显, 研究针对其图像的锐化增强算法具

有重大意义。本文重点探讨了图像锐化算法,在现场可编程门阵列技术(FPGA)的基础上,架构了红外图像增强处理电路,确定了系统设计方案并成功调试具体电路。本文还深入分析了现有算法在硬件电路中锐化增强与大量引入噪声这对矛盾,在大量仿真实验基础上,改进了原有算法,并将改进算法成功运用在所设计的硬件系统中。改进算法取得了良好的实验效果,消除了图像非均匀性对锐化的影响,达到了图像锐化去模糊和引入噪声小的平衡。最后,根据系统设计过程中的情况,提出了以后研究工作的改进方向。

7. 期刊论文 [管志强,陈钱,高洋, GUAN Zhi-qiang, CHEN Qian, GAO Yang 一种基于局部平衡的红外图像锐化算法 -激光与红外2008, 38\(3\)](#)

首先分析红外图像边缘与随机噪声和非均匀性固定噪声的分布特点,为区别红外图像中由真实边缘和由各种噪声引起的灰度变化,给出了局部力矩矢量和局部平衡系数的定义;并且基于这两个定义,提出了基于局部平衡系数和局部对比度的图像锐化算法。该算法不同于传统图像锐化算法只基于局部对比度的缺点,在图像锐化过程中考虑图像边缘和非均匀性的空间分布的差异,不但改善了传统边缘增强算法对随机噪声放大的缺点,而且降低了非均匀性噪声的增强。实验结果表明,该方法具有良好的前景和实用价值。

8. 学位论文 [王远超 红外图像锐化实用算法的研究与实现 2004](#)

该文在综合分析红外图像特征的基础上,结合处理效果和实时性的要求,探索研究了红外图像增强技术之一的图像锐化技术的新理论算法。该文主要研究了图像非均匀校正、梯度锐化、拉氏锐化等算法,并创新性地提出了适合红外图像在硬件上实现的受限拉氏锐化算法。软件仿真表明该算法有明显的锐化效果。该文所提出的算法在图像硬件实时处理系统平台上得到了实现。通过对FPGA系统的编程,在硬件平台上取得了较明显的锐化效果,说明了该算法的正确性,也说明了该算法具有实时性的优点,适合硬件实现。

9. 学位论文 [喻希远 红外图像增强算法研究与硬件系统实现 2005](#)

红外图像增强技术是夜视技术领域一项重要内容。由于非制冷热成像系统的输出图像成像模糊且非均匀性明显,研究针对其图像的锐化增强算法具有重大意义。本文重点探讨了图像增强中的锐化算法,深入分析了现有算法在硬件实现过程中锐化增强与大量引入噪声的矛盾根源,在大量仿真实验基础上,提出了一种有效的改进算法。本文还在现场可编程门阵列技术(FPGA)基础上,架构了红外图像增强处理电路,并将改进算法成功运用在硬件系统中。改进算法取得了良好的实验效果,减弱了图像非均匀性对锐化的影响,解决了图像锐化增强与噪声加重这对矛盾,并通过采用中值滤波算法消除了图像锐化带来的微弱噪声。最后,根据系统设计过程中所遇到的问题,提出了以后研究工作的改进方向。

10. 期刊论文 [钱惟贤,陈钱,顾国华,管志强,Qian Weixian,Chen Qian,Gu Guohua,Guan Zhiqiang 一种具有噪声抑制功能的红外图像锐化算法 -光学学报2009, 29\(7\)](#)

锐化是图像增强中一项关键性的技术,但如果图像中包含噪声,噪声也会因为锐化而放大,最终导致信噪比的降低。探索了一种算法既可以对图像进行锐化滤波,又不降低图像的信噪比。采用模式识别的相关理论,基于隶属度和概率松弛技术对红外图像中由真实边缘和由各种噪声引起的亮度数值变化进行区分,对不同区域采用不同的锐化处理。该算法不同于传统图像锐化算法只基于局部对比度的缺点,在图像锐化过程中考虑图像边缘和噪声的空间分布的差异,改善了传统边缘增强算法对噪声放大的缺点。实验数据表明,该锐化方法未引起信噪比的降低,具有良好的前景和实用价值。

引证文献(2条)

1. [隋修宝,陈钱,顾国华 扫描型热像仪扫描匹配技术\[期刊论文\]-南京理工大学学报\(自然科学版\) 2008\(4\)](#)

2. [李伟,于凤梅,庞其昌,周丽萍,张琦 基于DSP的紫外图像中值滤波算法的实现\[期刊论文\]-科学技术与工程 2007\(24\)](#)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_njlgdxxb200606023.aspx

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: 0b6f9d30-da7c-4489-b79c-9df20108bb3a

下载时间: 2010年9月15日