

文章编号: 1001-5078 (2006) 08-0715-03

红外目标检测的形态滤波改进算法及其 DSP 实现

徐江丰, 张涌, 汤心溢

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要: 基于数学形态滤波, 提出了一种红外小目标实时检测的算法及其 DSP 硬件实现技术。首先分析了小目标检测过程, 并论述了改进的形态滤波检测算法原理, 然后根据算法特点提出了在 DSP64X 的实现方法和过程, 最后给出并分析了该算法在红外探测系统中的运行结果。实验结果表明: 该方法可以快速、可靠的检测出极低信噪比下的小目标, 满足了系统性能指标。

关键词: 红外图像; 形态滤波; 目标检测; DSP 技术

中图分类号: TP751; TN215 **文献标识码:** A

An Improved Morphology Filtering Algorithm for Infrared Target Detection and Realization on DSP

XU Jiang-feng, ZHANG Yong, TANG Xin-yi

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Based on mathematic morphology filtering, a real-time detection algorithm for infrared small target and its realizing technology on DSP hardware are proposed. Firstly, the small target detecting process is analyzed and the improved morphology filtering algorithm for target detection is introduced. Secondly, based on the algorithm's characteristic, its implementing method and procedure on DSP64X are presented. Finally, the running result of algorithm on infrared detecting system is given and analyzed. The experiments show that the method can fleetly and reliably detect the small target with low SNR, which has achieved the demand of high performance.

Key words: infrared image; morphology filtering; target detection; DSP technology

1 引言

在现代化的高技术战争中, 远距离的红外目标探测作为机载或车载系统中最前端的处理环节, 是红外搜索探测系统的重要组成部分。为了尽可能早的发现敌方的来袭导弹、飞机, 使红外系统有足够的反应时间, 要求在很远的距离上就能够检测到目标, 这就是近年来倍受关注的小目标检测问题。小目标检测性能的好坏将直接决定红外武器系统的有效作用距离及设备的复杂程度, 它在红外武器系统中发挥着重要的作用。然而, 由于远距离下目标的成像面积太小, 可检测信号相对较弱。特别是在复杂起伏的背景干扰下, 目标甚至被大量复杂的噪声(杂波)所淹没, 图像的信噪比(SNR)较低, 使小目标检测工作变得很困难。因此, 复杂红外场景中运动小目标的检测问题成了红外武器系统中一个亟待解决的关键问题。本文针对大视场红外探测系统的应用要求, 提出了数学形态学的改进滤波算法。该算法在设计的高性能实时信号处理板上, 应用高速的 DSP64X 得到了实现。算法运行有效可靠, 目标检

测率高, 满足了总体指标要求。

2 红外目标检测

在低信噪比情况下检测未知位置和速度的运动小目标, 实际可以利用的特性就是目标的灰度和运动两个特性。远距离摄取的红外图像可以认为由三个分量组成的: 目标图像、背景图像、噪声图像。目标图像即为只占几个像素的灰度奇异点, 由于它所占面积很小, 缺乏尺寸、形状、纹理等结构信息, 可供利用的就是目标的强度信息(在红外图像中表现为灰度特征)。背景图像通常具有“强相关”的特点, 它占据了整个场景图像的低频空间; 同时, 由于场景和传感器内部热分布的不均匀性, 背景图像是一个非平稳过程, 图像中局部灰度值可能会有较大的变化, 表现为“强起伏”的特点; 另外, 背景图像中还包含了部分空间域中的高频分量, 它们主要分布在背

基金项目: 中科院创新基金项目。

作者简介: 徐江丰(1979-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为红外信号与信息处理。E-mail: xjfeivm@sohu.com

收稿日期: 2006-01-16

景图像各个同质区的边缘处,比如海空背景图像中的海天交界线。噪声图像是传感器及电路产生的各类噪声的总和,它的各像素之间互不相关,并且与背景像素也不相关,在空间域中表现为和小目标类似的高频特征,但在空间分布上是随机的,帧间分布不具有运动小目标的空间相关性即运动特点。

由上述分析可以看出,红外运动小目标检测系统应该具备以下功能:一是抑制图像背景,检测出潜在的目标;二是根据潜目标通过在序列中沿目标运动轨迹进行能量积累,剔除高频噪声和固定的灰度亮点干扰,确定真正的目标。由此,我们可以总结出红外运动小目标检测系统的通用原理框图如图 1 所示。



图 1 红外运动小目标检测原理图

由图 1 可见,红外运动小目标检测系统主要由两个功能模块构成:第一个是潜目标检测模块,它利用小目标的灰度孤立奇异特性,通过对单帧红外图像的处理,达到抑制起伏背景,提高目标与背景的 SNR,提取潜目标;第二个是目标轨迹检测模块,它利用小目标的运动特点,通过对目标序列即上一级潜目标的帧间相关处理,最终实现对场景中存在的红外运动小目标的有效确认。二者中,提取潜目标模块是前提,是目标轨迹检测模块的有利保障。

3 形态滤波改进算法

3.1 数学形态学方法

数学形态学的基本算子有膨胀、腐蚀、开运算、闭运算等^[1,4],如下定义:

(1) 结构元素 g 对信号 f 的腐蚀为: $f \ominus g = \{f_x - g(x) : x \in D[g]\}$

(2) f 被 g 膨胀为: $f \oplus g = \{f_x + g(x) : x \in D[g]\}$

(3) 开运算: $f \circ g = (f \ominus g) \oplus g$

(4) 闭运算: $f \cdot g = (f \oplus g) \ominus g$

由定义分析可知,膨胀运算是由结构元素确定的邻块中选取最大值,致使输出图像比输入图像亮;腐蚀运算是由结构元素确定的邻块中选取最小值,致使输出图像比输入图像暗;开运算是先做腐蚀,再做膨胀;闭运算是先做膨胀,再做腐蚀。将开和闭联合起来就可以构成形态滤波器。开运算类似非线性低通滤波器,与普通频域低通滤波器不同,开运算根据所选择的结构元大小来去除图像中高频域部分。对一幅图像进行开运算可消除图中的孤岛或尖峰等过亮的点。

从目标在红外图像中表现出的特征可以看出,开运算十分适合于红外图像的背景估计和目标检

测。当用目标图像作为模板结构对包含目标的红外图像进行灰值开运算时,就可以得到一幅去除了目标的背景图像。

3.2 改进滤波算法原理

形态滤波目标检测算法的基本思路是:利用对原始的红外图像进行灰值开运算,这样估计了背景,然后从原始图像中减去背景后就得到了孤立的灰度亮点,再通过设定的阈值就可以检测出潜目标点。因此关键在于对背景的估计,即背景感知^[3]。

标准形态滤波算法对红外图像的“凸”结构检测为:

$$\begin{cases} z_{\text{dak}}(x) = \min \{ [(F \ominus B) \ominus B](x), f(x) \} \\ d_{\text{tag}}(x) = f(x) - z_{\text{dak}}(x) \end{cases} \quad (1)$$

其中, F 为输入图像; B 为选取的结构元; $d_{\text{tag}}(x)$ 为目标特性; $z(x)$ 为对图像背景的感知处理。

标准形态滤波算法能够准确反映图像背景的缓变特性,其最大优势在于对目标信号的起伏变化尚不敏感(即目标特性对背景感知操作并不构成影响)。但是,它对背景的感知处理还不够精细,其运算结果不能真实反映背景杂波的起伏特性。同时标准形态滤波算法由开闭运算联合组成,对于不合适的结构元,将带来极大的运算量。

针对红外小目标及开运算对云层背景的估计特性,通常可将式(1)简化为

$$z_{\text{cloud}}(x) = (f \ominus B)(x) \quad (2)$$

根据运算方便以及目标特性,选择结构元为最靠近象点 x 的上下左右 4 个邻域点。这样推导可得

$$z_{\text{cloud}}(x) = \min \{ \max_{x-m \in B} [f(x-m)], f(x) \} \quad (3)$$

式(3)表明,背景感知的形态滤波计算可简化为数次逻辑比较。这样简化了形态变换关系,大大提高了目标检测的运算速度。

假设阈值为 T_d ,如果满足

$$f(x) - z_{\text{cloud}}(x) \geq T_d \quad (4)$$

则可以确定为单幅图像的潜目标点,否则为背景。

4 目标检测算法的 DSP64X 实现

4.1 系统结构

系统硬件体系采用模块化与开放式的主从式结构。HOST(主机)采用坚固高集成度的工业计算机,SLAVE(从机)为设计的高性能实时信号处理板。主从机通过高速 CompactPCI 总线交换数据。潜目标检测算法结构灵活,可设置的参数较多,图像的数据量大。为提高运行速度及便于调试和修改,潜目标检测的算法一般都应用高速 DSP 实现。本文设计的 DSP 采用 TI 公司目前最快的 DSP 芯片^[2],主频高达 1GHz。考虑到系统的通用性,主频为 600MHz 和 1GHz 的 TMS320C6415 芯片均可直接

应用于实时信号处理板中。DSP通过 EDMA 通道读取 FPGA (Xilinx公司 Virtex Pro 芯片) 传送的非均匀性校正后红外图像, 经过乒乓缓存, 启动单帧目标检测算法程序。处理后提取的目标数据连同原始红外图像通过 FPGA (XC2S200) 传送给主机。其结构框图如图 2 所示。

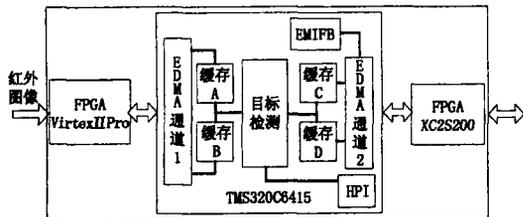


图 2 系统结构框图

FPGA (XC2S200) 实现 PCI 总线接口, 完成 DSP 与主机之间的通信。主机把校正系数通过 DSP 的 HPI 口传给 DSP, DSP 转发给 FPGA (Virtex Pro) 进行校正计算。主机对 DSP 的控制命令也通过 HPI 口完成。校正后图像通过 EDMA 通道 1 读入 DSP 内存; EDMA 通道 2 将 DSP 处理结果通过 EMIFB、PCI 总线送入主机。为了两个 EDMA 通道与目标检测算法能够高速并行处理而设计的乒乓机制, 运行灵活高效。

4.2 DSP 软件实现

为了解决目标由远及近过程中面积、灰度等特征发生较大变化的问题, 实际中采取先压缩后滤波的处理方法。即首先对原始的红外图像进行压缩, 然后对压缩后的图像进行形态滤波的背景感知处理, 最后根据阈值判定为潜目标。为了避免压缩不当而造成目标丢失现象, 需要合理的选择压缩策略, 可以采用 3×3 领域的特征值压缩。好的策略应该既可以突出目标, 去噪效果好, 也要实时性好。根据实际情况, 本文采用 $9 - > 1$ 的特征值压缩方法 (保留 3×3 邻域中灰度最大值和最小值), 既可以针对点目标, 也可以针对斑块目标进行处理, 同时压缩了图像, 减少了数据处理量。

对压缩之后的图像进行形态滤波的背景感知处理, 设压缩后图像的 3×3 邻域最大值为 max Value, 根据形态滤波背景感知算法 (3) 式, 在该最大值的水平垂直方向间隔的 8 个点进行背景感知的开运算, 然后根据 (4) 式进行阈值判断, 如图 3 所示。

阈值的选择对目标检测有重要的影响。阈值选择过低, 输出潜目标过多, 加大后级处理难度; 选择过高, 则可能漏掉真实的目标。所以阈值需要结合实际情况来确定, 其设置方法有很多种, 通常使用图像动态自适应阈值和固定阈值设置法。阈值判断后可确定 max Value 该点是否为单幅图像的潜在目标点。结合主机进行的帧间轨迹处理, 就可以确认真实的运动小目标。

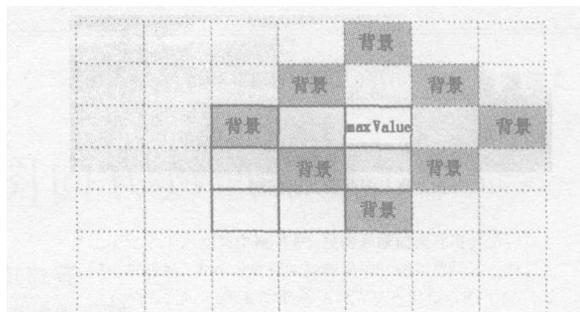


图 3 目标背景感知

5 实验结果与结论

该算法已经应用于大视场红外探测系统中, 大大提高了复杂背景下小目标的探测概率, 实用效果良好。图 4 为机场附近采用中波线列探测器在复杂的红外背景中探测飞机的实验结果。图 4 (a) 中, 采用本文所述算法进行单帧处理, 探测得到数个潜目标 (方框所示)。经过主机的运动轨迹确认 (帧间处理), 得到真实有效的目标。图 4 (b) 方框所套即为运动飞机。现场效果表明, 飞机确认报警后方框始终套住飞机, 实现了稳定有效的跟踪。



图 4 (a) 单帧检测潜目标



图 4 (b) 帧间相关处理确认真实运动目标

本文提出的算法简化了形态滤波变换关系, 使得系统滤波速度显著提高, 保证了极低信噪比下红外小目标的可靠检测。理论分析和实验结果均证明该算法运行有效可靠, 为后续的轨迹处理算法提供了有利的保障。高速 DSP 的实现方法也有很强的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 崔屹. 图像处理与分析数学形态学方法及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [2] 李方慧, 等. TMS 320C6000 系列 DSPs 原理与应用 [M]. 第 2 版, 北京: 电子工业出版社, 2003
- [3] YU Nong, WU Chang-yong, TANG Xin-yi, et al Adaptive Background Perception Algorithm for Infrared Target Detection [J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33 (2): 200 - 204
- [4] 董鸿燕, 李吉成, 沈振康. 基于形态滤波和顺序滤波的小目标检测 [J]. 红外技术, 2004, 26 (1): 21 - 24