

文章编号: 1672-8785(2016)05-0022-05

红外弱小目标实时检测处理系统

刘颖彬

(华中光电技术研究所武汉光电国家实验室, 湖北武汉 430073)

摘 要: 针对红外弱小目标的实时检测, 提出了一套基于 DSP 和 FPGA 高速乒乓缓存结构的红外实时目标检测系统。该硬件系统以高速乒乓缓存结构为核心, 利用基于目标特性的区域生长算法完成对红外弱小目标的检测。实验结果表明, 该检测系统对红外弱小目标具有较好的检测效果和较高的实时性, 可以实现对红外弱小目标的实时检测。

关键词: 高速乒乓缓存; 目标特性; 区域生长; 目标检测

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.05.005

Real-time Detection Processing System for Dim and Small Infrared Target

LIU Ying-bin

(Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong Institute of Electro-Optics, Wuhan 430073, China)

Abstract: To detect dim and small infrared targets in real time, a real-time infrared target detection system based on DSP and FPGA high speed ping-pang cache structure is proposed. Taking a high speed cache structure as the core, the hardware system uses a region growing algorithm based on target characteristics to detect dim and small infrared targets. The experimental results show that the system has good detection effectiveness and high real-time performance for dim and small infrared targets. It can implement the real-time detection of dim and small infrared targets.

Key words: high speed ping-pang cache; target characteristics; region growing; target detection

0 引言

由于具有动态范围大、抗干扰能力强和不分昼夜都有效的特点, 红外成像技术一直被应用于各种光电设备中。我国国土和海域面积广阔, 为应对现阶段的国际环境和国情, 海域与空域警戒和搜索设备研究显得十分重要^[1,2]。

近几年, 红外弱小目标检测系统是警戒和搜索设备研究的重点之一。红外弱小目标检测

方法有的利用单帧的检测法, 有的则利用多帧的序列图像处理算法, 两种算法各有优缺点。利用单帧的处理算法可以提高检测的实时性, 而多帧的处理算法则可以根据移动目标的帧间差异来检测目标, 这样可以提高检测的准确性。

本文兼顾目标检测的实时性和准确性, 构建了红外弱小目标实时检测系统。该系统以数字信号处理芯片 (Digital Signal Processing, DSP) 和现场可编程逻辑门阵列 (Field Programmable Gate

收稿日期: 2016-03-15

作者简介: 刘颖彬 (1987-), 男, 江苏盐城人, 助理工程师, 主要从事红外图像处理、目标检测和识别的研究。

E-mail: trvzxm1213@163.com

Array, FPGA) 构成的高速乒乓缓存结构为硬件平台, 利用小目标在红外图像中的大小、比例以及灰度特性^[3]对区域生长算法进行改进, 提高了算法的实时性和检测的准确性。通过实验验证, 其检测效果在实时性和背景抑制方面较常见的单帧和多帧检测法都有较大提高。

1 硬件平台的构建

1.1 乒乓缓存结构

在数字视频处理系统中, 输入和输出的缓冲电路一般有双口随机存储器 (Random Access Memory, RAM) 结构、先入先出 (First in First out, FIFO) 结构和乒乓缓存结构三种形式^[4,5]。其中, 双口 RAM 结构在一个静态随机存取存储器 (Static Random Access Memory, SRAM) 上有两套完全独立的数据线、地址线和读写控制线, 并允许两个独立的系统同时对该存储器进行随机访问。FIFO 结构利用先进先出机制双端操作, 其数据必须先进先出, 期间不能进行随机访问。从

缓存容量大小来看, 双口 RAM 结构和 FIFO 结构的存储容量都较小。由于本文中的红外弱小目标实时检测系统的数据量大, 实时性要求高, 所以双口 RAM 和 FIFO 结构的电路都不适用。

乒乓缓存结构中, 一般由两片 SRAM 和控制器构成输入和输出缓存结构。其结构原理如图 1 所示, 其中控制器主要完成 SRAM 和输入输出的切换工作, 两片 SRAM 轮流受 P1 和 P2 控制, 实现外设的读写功能。图 1 中, 在状态 A 时, 若 SRAM1 受 P1 控制, 则 SRAM2 受 P2 控制; 在状态 B 时则两者相反, 实际功能等同于一个双口 RAM。但在乒乓缓存结构中存在两个独立的存储单元, 所以该结构在处理速度和存储容量方面得到了提高。在访问地址时, 乒乓缓存结构分别指向两个不同的存储单元, 输入和输出可以同时进行, 这样便节省了处理时间。所以, 乒乓缓存结构比双口 RAM 和 FIFO 结构更适合高速图像处理系统。

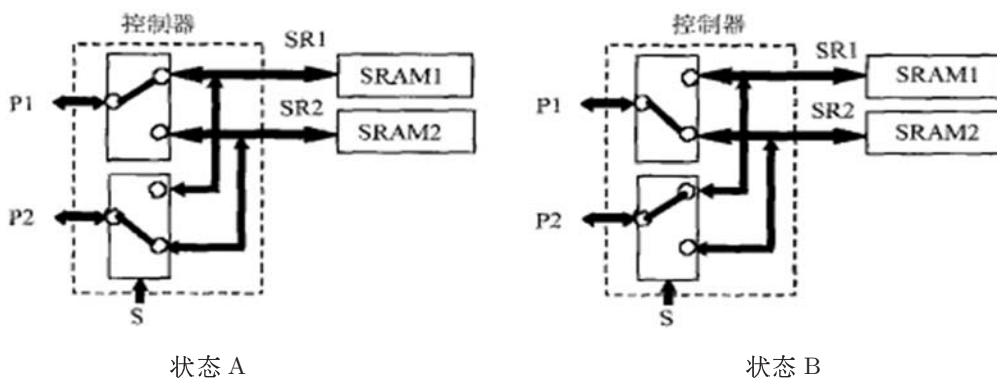


图 1 乒乓缓存结构

1.2 系统构架

本文的硬件平台需要构建快速有效的数据输入和输出机制, 并考虑大数据量的转移和处理。图 2 所示为基于高速 DSP 和 FPGA 高速乒乓缓存构架的实时目标检测系统结构框图。红外输入信号经过处理转化为数字视频, FPGA 负责数据的接收和两片 SRAM 的乒乓切换工作; 高速 DSP 负责后续数据的处理和目标检测工作, 并将处理完的数据输出给显示器, 构成一个完

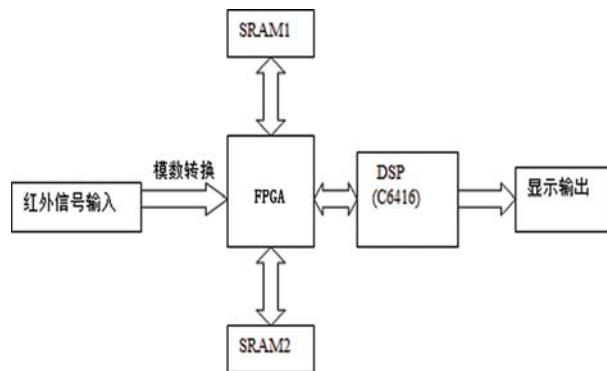


图 2 系统构架

整的目标检测系统。该硬件构架满足了检测系统对大数据量转移的需要,大大节省了数据搬运和存储的时间,满足了系统对处理时间的要求。

2 目标检测软件算法设计

考虑到 DSP 内部存储空间的读取和处理速度较外部设备快,软件算法流程首先需采用快速存储器访问 (Quick DMA, QDMA) 的方式将外部 SRAM 中的单帧数据整块搬运到 DSP 内部缓存中再进行处理,以提高处理算法的实时性;然后进行空域滤波、设定阈值二值化,并采用基于图像的区域生长算法抑制背景、提取目标,从而完成软件算法设计。

2.1 二值化

目标检测算法的第一步是对图像进行分割二值化,本文采用的 5×5 的模板式为

$$f_{mob} = \frac{1}{25} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



(a) 原图



(b) 图中目标



(c) 右侧大片背景

图 3 对比图

区域生长是根据预先定义的生长准则把像素或子区域集成较大区域的处理方法。其基本思想是,以一组种子点开始,将附近相似的邻域像素集合到每个种子点上^[6]。基于目标特性的区域生长算法的流程是,首先从上述二值化得到的图像中找出第一个为 1 的点,再在其四周邻域范围内寻找下一个为 1 的点,以该点为中心再

$$\Delta = f(x, y) - g \quad (2)$$

利用式 (1) 对图像进行空域滤波,计算 5×5 区域内的均值 g ,将其代入式 (2) 中,并进行二值化。设定阈值 T ,当大于一定的阈值 T 时取 1,其余则置零。由于该二值化方法简单有效且方便优化,在实际目标检测系统中被普遍采用。

2.2 基于目标特性的区域生长

相对于背景和噪声,红外弱小目标具有独特的性质,其所占像素较少且呈一定的大小比例,在灰度级分布上与背景和噪声存在差异,如图 3 所示。目标的灰度梯度由中心向四周递减,背景和噪声则存在大片的灰度极大值像素。在区域生长的准则中加入红外弱小目标的这些特性就可以极大地抑制背景和噪声,准确地提取出目标。所以,为提高目标检测的实时性和准确性,本文软件设计提出了基于目标特性的区域生长算法。

在其邻域内继续寻找为 1 的点,将这些为 1 的像素点归入同一个集合 (区域) 内,同时记录种子点区域的大小比例。如果区域较大 (一般小目标小于 25 个像素) 或者区域细长,则停止生长,计算所得区域的灰度差值;如果区域较小,则认为是背景或者噪声,将其剔除。按照上述方法去寻找下一片相似区域,直到所有区域被搜索完,结

束整个目标提取算法。该方法结合了目标和背景在红外图像中的特性, 提高了目标检测的准确性; 同时, 在生长条件中利用这些判断方法终止生长, 节省了处理时间。与常见的目标检测算法相比, 该方法在背景噪声抑制和算法处理实时性方面都有较大的提高。

3 实验验证

使用文中系统对不同场景进行了实验研究, 以验证算法的实时性和检测的准确性。验证算法的实验图像来自两个不同的场景。图 4 为场景 1, 是一组远距离目标 (人) 在河边行走的红外序列图像; 图 5 为场景 2, 是一组飞机在

空中飞过的红外序列图像。两组图像的尺寸都为 320×256 , 帧频为 50 Hz。从实验结果可以看出, 在复杂背景中利用一般检测算法较难剔除的背景噪声, 无论是树叶树枝还是楼房, 利用本文算法都被极大剔除了, 同时目标被很好地保留了。利用硬件内部计数功能得出, 处理时间约为 13 ms。该算法比多帧检测算法在处理时间上有了提高, 满足了系统实时性的要求。所以, 该系列实验证明, 采用上述红外弱小目标检测系统对弱小目标进行检测是可行性的, 而且该算法较一般红外弱小目标检测算法在实时性和准确性上有了较大的提高。



(a) 某帧图像



(b) 分割后的图像



(c) 提取的目标

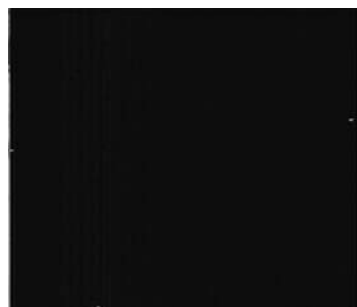
图 4 场景 1



(a) 某帧图像



(b) 分割后的图像



(c) 提取的目标

图 5 场景 2

4 结论

为了解决红外弱小目标的实时检测问题, 构建了基于高速乒乓缓存结构的硬件平台, 提出了基于图像特征的区域生长算法, 完成了对红外弱小目标的实时检测。通过分析实验数据得

出, 本文的目标检测系统对于复杂背景下的目标检测具有很好的检测效果。与一般的目标检测系统相比, 该系统在目标检测的实时性和准确性方面有了较大提高, 并且已经得到了实际的运用。

参考文献

- [1] 王广平, 高昆, 倪国强. 红外弱小目标检测跟踪并行处理系统 [J]. 光电工程, 2008, 35(6): 5-9.
 - [2] Wang Z C, Gao C Q, Tian J W. Multifeature Distance Map Based Fusion Detection of Small Infrared Targets with Low Contrast in Image Sequences [J]. SPIE, 2005, 5985: 669-673.
 - [3] 温庆福, 唐普英, 赵学功. 基于 FPGA 的红外视频图像目标恒虚警检测实现 [J]. 电视技术, 2014, 38(13): 184-186.
 - [4] 李武森, 迟泽英, 陈文建. 高速 DSP 图像处理系统中的乒乓缓存结构研究 [J]. 光电子技术, 2005, 18(3): 76-79.
 - [5] 刘涛. 基于 DSP 和 FPGA 的高分辨率全景图像实时处理系统硬件设计 [D]. 哈尔滨工程大学硕士论文, 2011.
 - [6] 夏晶, 孙继银. 基于区域生长的前视红外图像分割方法 [J]. 激光与红外, 2011, 41(1): 107-111.
- (上接第 21 页)
- [2] 刑素霞. 红外热成像与信号处理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
 - [3] 李铁军, 代少升. 基于 CPLD 的非制冷红外焦平面阵列驱动电路的设计 [J]. 红外, 2010, 31(4): 12-16.
 - [4] 盛翠霞, 唐和景, 李田泽. 基于 FPGA 的非制冷焦平面阵列驱动电路设计 [J]. 长春理工大学学报, 2008, 31(3): 62-64.
 - [5] 侯建军, 郭勇. SOPC 技术基础教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
 - [6] 夏宇闻. Verilog 数字系统设计教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.

新闻动态 News

美国西北大学成功实现三色
红外光电探测器

据 www.northwestern.edu 网站报道, 虽然红外波段可以分为短波、中波和长波波段, 但是大多数的红外探测器件都无法同时利用这三个波段。目前, 美国西北大学的 Manijeh Razeghi 教授及其团队已经开发出了一种新的可实现三色短波-中波-长波红外光电探测器的器件设计方法。通过简单改变所施加的偏置电压, 这种新型器件就可以探测不同的红外波段。这可能会激发出一系列的潜在应用, 包括红外彩色电视机和三色红外成像。

相关人员表示, 一种能够探测不同红外波段的器件在下一代红外成像系统中是相当抢手的。

在美国国家高级研究计划局 (DARPA)、美国陆军研究实验室 (ARL)、美国空军研究实验室 (AFRL) 和美国国家航空航天局 (NASA) 的共同资助下, 这项研究成果刊登在 2016 年 4 月 7 日出版的《Scientific Reports》杂志上。

在不采用额外终端接触的条件下, 由 Manijeh Razeghi 领衔的研究团队发明和研究了这种新的三色光电二极管设计, 如图 1 所示。最终的

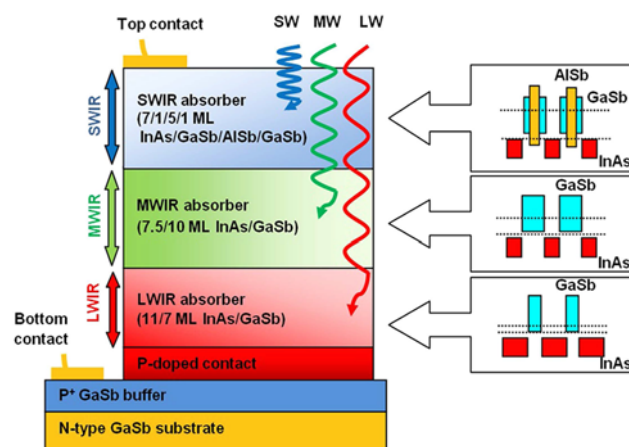


图 1 三色短波-中波-长波红外光电二极管结构的示意图

三色红外光电探测器是基于 II 类 InAs/GaSb/AlSb 超晶格材料制成的。

当所加偏置电压发生变化时, 这种红外光电探测器可以依次表现出三色性能 (对应于三个吸收层的带隙), 并能在每个通道中实现理想的截止波长和高的量子效率。

这项新研究得益于多年来 Manijeh Razeghi 研究团队在美国西北大学量子器件中心所取得的丰硕成果, 包括基于 II 类超晶格的首个单色短波红外光电探测器以及双色短波-中波红外光电探测器。

Manijeh Razeghi 表示, 这项研究工作的初步成果将会引领人们步入红外探测与成像技术的新天地。

□ 岳桢千