

多目标跟踪在红外制导系统中的应用

岳元 李丽亚 祁蒙

(华北光电技术研究所 北京 100015)

摘要:为实现远距离对可疑目标的跟踪功能,提高红外制导的引导精度,提出了一种多抽头流水线架构的多目标跟踪方式。该方法将图像预处理、图像分割和目标检测等算法均在FPGA内部通过卷积运算实现,通过提高卷积运算速度达到实时处理的效果。试验结果表明,该方法与其他跟踪算法相比,可以自适应调整窗口大小、改变跟踪策略和自动分配窗口,提高了跟踪的多样性和可选性。该方法可以引导红外制导系统对多个目标同时进行跟踪,最终给出判据对威胁等级高的目标进行打击,具有实际应用前景。

关键词:多目标跟踪;红外制导;多抽头流水线

中图分类号: TN21 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Application of multi-target tracking in infrared guidance system

Yue Yuan Li Liya Qi Meng

(North China Research Institute of Electric-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: To achieve long-range tracking of suspicious targets and improve the accuracy of infrared guidance, a multi-tap pipeline architecture multi-target tracking mode is proposed. This method through convolution of image preprocessing, image segmentation and object detection algorithms in the FPGA. By increasing the speed of the convolution achieve the real-time processing. Experimental results show that this method compared with other tracking algorithm, can adaptively adjust the window size, change tracking policy and automatic allocation window which improve the tracking of diversity and choice. The method can guide the infrared guidance system for tracking multiple targets simultaneously. Final criterion is given for the high level of threat against targets. It has practical application prospect.

Keywords: multi-target tracking; infrared guidance; multi-tap line

1 引言

红外制导是精确制导武器的一种重要制导方式。其采用红外成像制导技术,可为导弹提供更多的目标信息,更好地抑制背景干扰,提高识别概率和命中精度。成像制导方式可以直接获取目标外形或基本结构,能可靠地确认目标,并在不断接近目标过程中识别目标要害部位,给予致命打击。目前随着红外凝视成像技术的发展,图像分辨率越来越大,帧频越来越高,对图像信号处理的运算速度要求也越来越高。在点目标识别和跟踪领域,理论研究已经进行了多年,其主要的理论难题已经得到了很好的研究和解决,但是复杂的算法和有限的弹载计算能力之间的矛盾没有得到有效的缓解,限制了红外精确制导武器系统的发展。单靠采用先进的数字信号处理器(DSP)来提高系统运算能力不能满足系统对高分辨率,高帧频实时信号处理的要求^[1-5]。因此需要在信号处理结构和算法实现上做一定的

改进。

本文通过对相关算法的推导,利用硬件来加速图像处理过程,提高系统效能,最大限度的在保留算法灵活性的同时提高处理速度。为突破弹载红外制导系统运算速度瓶颈提供一种新的设计思路。

2 系统架构

基于上述问题,本文提出了一种新的系统架构——多抽头流水线,以提高各个运算环节的运算速度。整个系统主要由图像预处理模块、目标检测跟踪模块和控制器模块3部分组成,系统架构如图1所示。

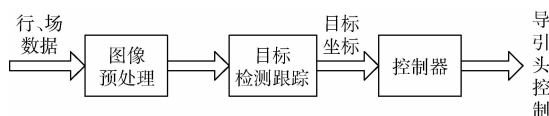


图1 信号处理架构

系统输入每帧 648×484 像素的图像,帧频为 120 帧/s,像素时钟为 50 MHz。通过将成熟的算法移植到 FPGA 中,利用硬件来加速图像预处理和目标检测跟踪过程,以提高系统效能并达到实时处理的要求。由于 FPGA 与 DSP 互连关系,FPGA 仅需向 DSP 传输跟踪窗口参数、窗口内目标参数等数据,与以往类似系统处理流程相比所需要的数据传输量大为减少,极大的减少了 DSP 的时间开销,可以更突出的发挥 DSP 作为控制核心的强大运算能力。

由于图像分辨率为 648×484 ,则设置行缓冲深度为

648 个像素。每帧开始时,内部像素数据流在像素时钟下移入多抽头流水线,当第 1、2 行数据填满行缓冲后,引出卷积窗口内的 9 个像素值进行卷积运算。卷积计算模块输出计算结果,此时输出结果 x 和 y 的坐标为卷积窗口中心像素的坐标。在下一个像素时钟内,更新卷积窗口内 9 个像素重复上述过程。直到第 484 行的第 648 个像素移入虚线框左下角的位置。多抽头流水线按像素时钟连续输出像素数据流。其做卷积的过程就相当于实现了 3×3 的卷积窗口在图像上滑动完成卷积的过程。算法流程如图 2 所示。

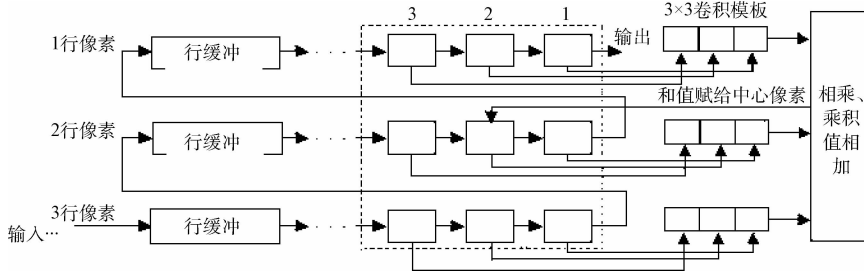


图 2 多抽头流水线算法流程

3 多目标跟踪算法及硬件实现

在有干扰的情况下,视场内会出现多个可疑目标,为了区分真目标(威胁等级高)和干扰,可以采用先跟踪后识别,即对视场内所有的可疑目标均分配一个跟踪窗口,并行实现实时跟踪,然后通过一段时间的积累,根据目标和干扰之间不同的特性,将目标和干扰区分出来。识别真假目标方法可以采用航迹关联,判别目标特性差异等多种方法^[6-8]。本文着重叙述在 FPGA 中实现多通道跟踪和通道管理算法。

为实现多目标同时跟踪在 FPGA 中设计了多个跟踪窗口,并通过通道管理器完成对各个窗口的管理。各个跟踪窗口共用经过预处理后的图像数据,独立跟踪窗口内目标,并将检测到窗口内目标参数通过数据总线传递给通道管理器。处理流程如图 3 所示。

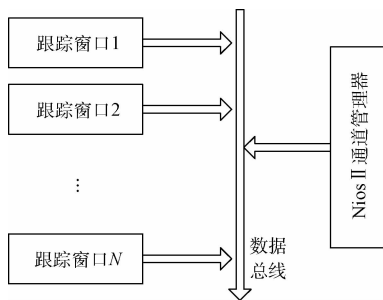


图 3 多跟踪窗口结构

在通道管理器中主要完成如下功能:

- 1) 检测窗口状态,各窗口及目标参数;
- 2) 当窗口内有目标分离时,分配窗口给新分离出的

目标;

- 3) 当目标汇合时,回收重复的窗口资源;
- 4) 预留与 DSP 接口,可以将参数传递给 DSP,并接受 DSP 控制信息。

3.1 单个跟踪窗口设计

单个跟踪窗口主要分为输入模块、目标检测跟踪模块、通道跟踪状态模块和输出模块。其中输入模块主要完成从通道控制器接收通道控制信号,外部窗口参数设定;目标检测跟踪模块完成独立的窗口内目标检测跟踪,是设计的核心和重点;通道跟踪状态模块根据控制信号决定目标检测跟踪模块跟踪方式(边缘跟踪/质心跟踪,独立跟踪/外部控制跟踪);输出模块则完成输出通道工作状态(工作/不工作,有/无多目标),跟踪目标信息,当前窗口信息等。单个跟踪窗口组成如图 4 所示。

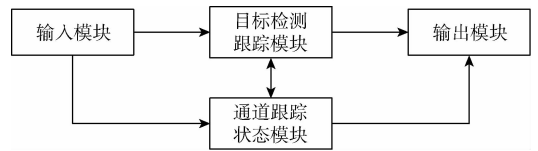


图 4 单个跟踪窗口组成

单跟踪窗口跟踪策略通过状态控制器采用状态机实现。通道跟踪模式采用两种:边界跟踪和质心跟踪。边界跟踪能快速将目标完全置于窗口内,质心跟踪可以实现稳定跟踪。工作流程如图 5 所示。

当系统处于上电状态后一直处于等待状态,当接收到通道管理器控制信号后,控制目标检测跟踪模块采用边界跟踪方法计算跟踪窗口。处理完 1 帧图像后,控制目标检测跟踪模块采用质心跟踪方法计算跟踪窗口。当出现多

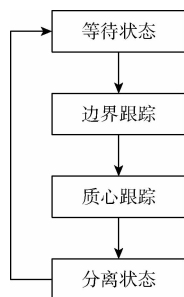


图5 控制工作流程

目标进入分离状态时,跟踪方法改为边界跟踪,使多个目标均在窗口范围内。当窗口内多个目标达到分割条件时,通知通道管理器分配窗口给多个目标。

3.2 多目标判别、分离算法设计

实现多目标跟踪的关键是多目标判别和分离算法。当一个跟踪窗口内出现多个目标时,给每个目标分配一个独立跟踪窗口分别跟踪,且跟踪窗口之间应该不重合。

当窗口内目标像素组成多个连通域时,则认为窗口内有多个目标。用区域增长的方法可以很好的判别出连通域,但需经多次迭代运算,计算量大且算法复杂,不适合在FPGA中实现。本文提出一种简化算法,通过投影线段判断多目标是否在 X 、 Y 两个方向上分离。具体算法设计策略:当在 X 、 Y 方向上有大于1个线段时,判断跟踪窗口内有多个目标。此时,调整跟踪方法,由质心跟踪改为边缘跟踪,调整窗口,使多个目标均在窗口内。同时计算窗口内多个目标的在 X 向和 Y 向上最大间隔 H_{\max} 、 L_{\max} 。当 H_{\max} 和 L_{\max} 达到分离阈值时,由通道管理器给两个目标分配跟踪窗口,并且分配的跟踪窗口不会出现重合的现象^[9-10]。窗口分配判别示意图如图6所示。

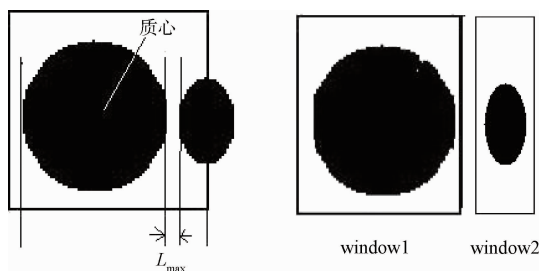


图6 多目标判别,分离窗口分配方法

3.3 通道管理器设计

作为多目标跟踪算法的管理控制中枢,通道管理器负责真实目标的窗口分配和回收。通道管理器按通道号查询通道状态接收数据,检测是否有通道跟踪同一目标。如果是,则回收优先级低的通道。如果有通道处于分离状态,则对分离出的两个可疑目标各分配一个通道分别进行跟踪。实现流程如图7所示。

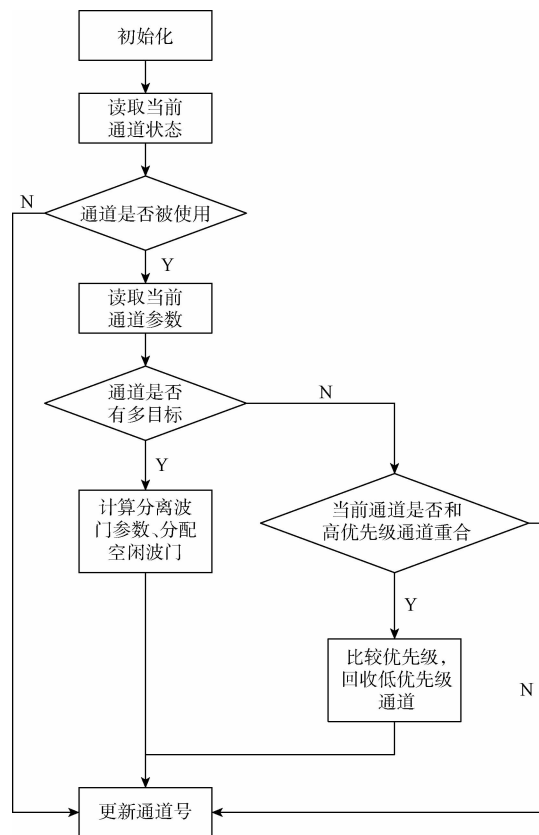


图7 通道管理器工作流程

4 实验结果

通过Camera-Link高清数字接口输入8 bit灰度,分辨率 648×484 ,帧频120 fps的数字图像,经过FPGA采用流水线操作,减少了中间缓冲时间,在一帧时间即可以完成图像预处理和目标识别跟踪运算,单帧图像处理时间小于3 ms,最大图像数据处理量大于50 MPixel/s,实现稳定的目标交汇、分离过程,完成多目标同时跟踪。多目标跟踪测试系统架构如图8所示。

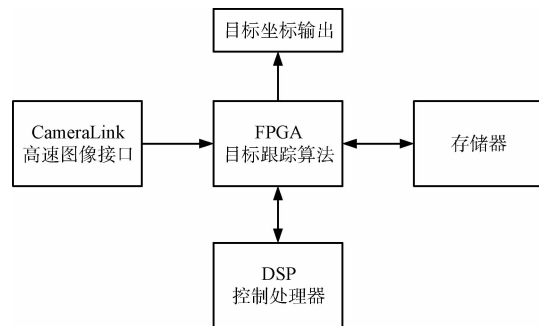


图8 多目标跟踪测试系统

在实际场景下测试结果如图9~14所示。

在经过图像预处理后,信噪比提高,通过跟踪窗口内



图 9 跟踪目标



图 12 区分多目标,分割窗口



图 10 干扰接近跟踪窗口



图 13 同时跟踪多个目标



图 11 窗口内出现多目标



图 14 同时跟踪多个目标

分割可以区分出目标和背景。随着目标移动,跟踪窗口跟随目标移动,并根据目标大小调整窗口大小。当跟踪窗口内出现多个目标时(图 11)改变跟踪策略,将多个目标均置于跟踪窗口内。当跟踪窗口内目标出现分离时(图 12),可以区分多个目标并自动分配相应的跟踪窗口。在两个目标分离后,同时对两个目标进行跟踪(图 13 和 14)。通过

试验验证表面,该系统对于不同的模拟目标有一定的适应性。

系统在实现两个跟踪通道跟踪目标时占用资源情况如表 1 所示,每个跟踪通道占用资源约为 4 000 个 LC,17 个 DSP block。根据剩余容量分析,FPGA 中至少可以实现 16 个跟踪通道。

表1 实现2个跟踪通道时系统资源使用情况

名称	资源	使用	百分比/%
ALUTS	106 032	23 784	22
Pins	743	91	12
Memory bits	6 747 840	509 218	8
DSP block	504	34	7

将本文实现的处理系统与公开文献中同类信号处理机做了比较。

表2 与同类信号处理机性能比较

处理机类型	分辨率	帧频/(帧·s ⁻¹)	实时处理数据量/(MPixel·s ⁻¹)
小目标实时检测系统	320×256	100	8.2
针对海天线小目标实时捕获跟踪系统	1 024×1 024	30	31
靶场跟踪系统	288×352	125	12.6
多目标跟踪系统	648×484	120	37(最高 50)

5 结 论

本文基于多目标跟踪图像处理技术,利用 FPGA 和 DSP 的组成架构,实现了多抽头流水线构造的实时图像处理系统,可以更高效率的将算法转化为红外制导系统的“眼睛”,为精确打击目标提供实时可靠的数据依据。在未来的战场中,红外制导将发挥更加重要的作用,以适应不同湿度、温度、大气条件等天气因素。因此,本文多目标跟踪技术的研究具有很好的借鉴意义和应用前景。

参考文献

- [1] 汪济洲,鲁昌华,蒋薇薇.一种基于嵌入空间的防遮挡的多目标跟踪算法[J].电子测量与仪器学报,2016,30(2):318-322.
- [2] 霍义华,黄自力,高升久.低信噪比红外成像制导跟踪算法研究[J].红外,2006,27(9):16-19.
- [3] 李静宇,姚志军,田睿.一致性特征点匹配在目标跟踪中的应用[J].电子测量技术,2015,38(10):28-31.
- [4] 赵菲.复杂背景下末制导红外目标检测、跟踪技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2012.
- [5] 李静宇.基于运动目标的红外图像末制导跟踪算法研究[D].长春:中国科学院研究生院(长春光学精密

机械与物理研究所),2013.

从表2中可以看出本文提出的采用多抽头流水线算法和系统结构完成的目标检测跟踪信号处理机运算速度最快,一定程度解决了计算中的瓶颈。

对于一个基本实用的图像处理系统而言,256×256分辨率,50帧/s的处理能力是基本要求,此时系统吞吐率大约3.2 MPixel/s,比较理想的处理能力则要求实现512×512分辨率,100帧/s的处理能力,此时系统吞吐率大约26 MPixel/s.而本文设计的信号处理系统在分辨率、帧频和吞吐率均优于这一要求。

机械与物理研究所),2013.

- [6] 张庆龙,张辉,毛征,等.基于TMS320C6455的目标跟踪系统设计与实现[J].国外电子测量技术,2015,34(5):75-78.
- [7] 霍义华,黄彪,王雪梅,等.基于不变矩特征的红外成像制导跟踪算法研究[J].红外,2014,35(7):44-48.
- [8] 吴克伟,段伟伟,杨学志.雨夜条件下的红外可见光视频融合目标跟踪[J].仪器仪表学报,2016,37(5):1131-1139.
- [9] 李相平,王光复,张炜.一种基于毫米波/红外复合制导的跟踪滤波算法[J].红外,2009,30(11):40-44.
- [10] 李世忠,王国宏,吴巍,等.雷达/红外复合制导跟踪与辐射控制研究[J].弹箭与制导学报,2012,32(4):23-28.

作者简介

岳元,工学硕士,工程师,主要研究方向为红外搜索系统、红外跟踪系统等。

E-mail:yueyuan7763@sina.com.cn