

· 光电系统与amp;设计 ·

## 一种新型红外信号处理平台的构建及应用

何锡君, 陈华础, 陈晓东

(南京电子技术研究所, 江苏 南京 210039)

**摘要:**随着红外探测技术的高速发展, 红外信号的实时处理面临着较大的挑战. 在采用多单元与高帧频探测器的红外系统中, 当使用较复杂的处理算法时, 基于传统架构的信号处理平台已较难满足系统的实时处理要求. 通用计算图形处理器(GPGPU)的出现与日益成熟为红外实时信号处理提供了良好的平台. 根据红外系统中实时信号处理的特点, 利用 FPGA + CPU + GPU 架构构建了一种新型红外信号处理平台, 并进行了实际应用. 结果表明, 该平台能够胜任探测器单元数多、帧频高和算法较复杂的红外系统的实时信号处理任务.

**关键词:** 红外; 实时; 信号处理; GPU; FPGA

**中图分类号:** TP752

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1255(2010)05-0015-05

## Construction and Application of a New Type Platform For Infrared Signal Processing

HE Xi-jun, CHEN Hua-chu, CHEN Xiao-dong

(Nanjing Research Institute of Electronic Technology, Nanjing 210039, China)

**Abstract:** With the high speed progress of infrared detector technology, the Real-time processing of infrared signals meets a biggish challenge. When executing more complicated processing arithmetic, the Signal Processing Platform based on trad framework is hard to meet the demand of real-time processing in the infrared system with a detector which has more cells and higher frame speed. With the developing of General Processing Graphic Processing Unit(GPGPU), it provides the better platform for Real-time infrared signal processing. According to the characteristic of Real-time processing in the infrared system, a new type platform based on FPGA + CPU + GPU framework to process infrared signals was constructed and applied practically. The experiment results indicate that the platform is equal to the Real-time signal processing task of the infrared system in which the detector has more cells, higher frame speed, and more complicated arithmetic.

**Key words:** infrared; real-time; signal processing; GPU; FPGA

针对不同用途的红外系统, 其中的红外实时信号处理可以说是大同小异, 通常包括红外探测器的时序控制与数据采集、红外实时图像信号的处理(包含非均匀性校正、去或降噪声、图像增强、目标检测、跟踪及识别等). 近年来红外探测技术取得了很大的发展, 特别是红外探测器已进入了第三代大规模焦平面阵列<sup>[1]</sup>的时代, 其单元数和帧频的迅速提高给

后端红外实时信号处理带来了很大的挑战; 另外在红外信号处理(红外图像预处理、目标检测、跟踪及识别等)算法方面也取得了较大发展, 已开发出了多种红外信号处理算法, 但通常是算法较为复杂处理效果较好. 基于传统架构的红外信号处理平台已较难满足探测器单元数多、帧频高、算法较复杂的红外系统的实时信号处理要求; 而基于统一架构设备的

收稿日期: 2010-10-13

作者简介: 何锡君(1982-), 男, 硕士, 研究方向为红外实时信号处理; 陈华础(1957-), 男, 研究员级高级工程师, 研究方向为系统与信号处理; 陈晓东(1980-), 男, 博士, 工程师, 研究方向为图像采集与amp;处理.

图形处理器(GPU)<sup>[2]</sup>在通用计算(特别是图像处理)方面的发展日趋成熟,其浮点计算能力和存储器带宽已是同时代CPU的几倍到几十倍,可为红外实时信号处理提供良好的平台.因此文中根据红外系统中实时信号处理的特点,利用FPGA+CPU+GPU架构构建了一种新型红外信号处理平台,并进行了实际应用.结果表明,该平台能够较容易地胜任单元数多、帧频高和算法较复杂的红外系统的实时信号处理任务.

## 1 新型红外信号处理平台的构建

### 1.1 平台组成

该红外信号处理平台主要用来完成对红外探测器的时序控制与信号采集、红外实时图像信号的处理,其组成关系如图1所示.其中前端信号采集板完成探测器的时序控制与数据采集,红外数字信号处理在后端VPX<sup>[3]</sup>机箱部分实现;VPX机箱部分主要由VPX单板机和多GPU计算板组成,板与板彼此之间通过VPX总线进行数据交互,另外PMC(PCI Mezzanine Card)板是一种带PCI-X插槽、插在VPX单板机母板上的标准子板.

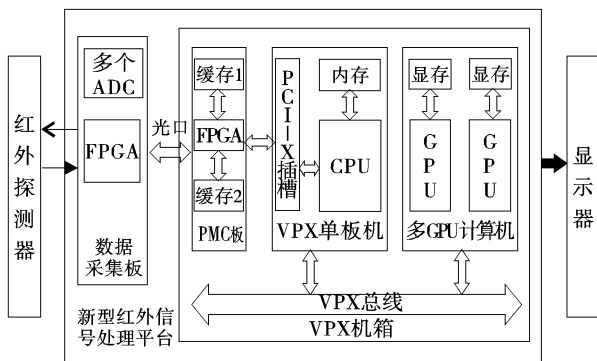


图1 一种新型红外信号处理平台

#### (1) 信号采集板

信号采集板处于新型红外信号处理平台中的前端,跟红外探测器通过同轴电缆和扁平电缆线相连,跟VPX机箱中的PMC板通过光纤接口相连,其主要用来完成向红外探测器提供时序控制信号、对红外探测器输出模拟信号进行模数变换、将采集到的红外数字信号通过光纤接口送出.该板是红外信号处理平台中最关键的部分之一,其设计的好坏直接影响着整个红外系统的性能情况,主要包括可编程

逻辑器件(CPLD或FPGA)、模数转换芯片(ADC)等;其中可编程逻辑器件用于产生各种时序控制信号,ADC用于将探测器输出的模拟信号转换成数字信号.

#### (2) VPX机箱

VPX机箱是一种基于VPX总线架构的数字信号处理机,主要可用于完成对前端采集的红外数字信号的接收、非均匀性校正、预处理、目标的检测跟踪及识别等处理.该处理机主要包括用于接收缓存红外图像数据的PMC接口板、用于目标检测跟踪与识别处理的VPX单板机、用于加速协处理目标检测跟踪与识别的多GPU计算板;其中PMC板是以一种子板的形式插接在VPX单板机的PCI-X总线的插槽上,VPX单板机与多GPU计算板是通过背板插接在VPX总线上,彼此的通信是通过PCI-E接口进行的.

PMC板是一种基于PCI总线的通用标准中间板卡,板上主要包括大规模的可编程逻辑器件(FPGA)、大容量的缓存(SDRAM)、光纤接口,在此主要用来完成接收缓存前端的数据、红外图像部分预处理等任务.

VPX单板机是一种采用通用架构CPU的计算机,是为信号处理专用的一种嵌入式小型的计算机板,可以在较为恶劣的环境下使用,另外具有可以插接通用PMC标准子卡的PCI-X插槽.多GPU计算板是一种采用面向通用计算的GPU的加速计算板,可以作为协同处理板协同单板机进行加速计算,单板机与加速板之间的数据交互可以通过VPX总线中的PCI-E接口部分进行.

#### 1.2 工作流程

红外信号处理在新型红外信号处理平台中的工作流程为:首先数据采集板提供控制时序给红外探测器,并对红外探测器输出的模拟信号进行采样,且将采集到的红外数字信号通过光纤接口送往PMC板;其次PMC板通过光纤接口接收、预处理、缓存前端传来的红外实时数字信号,当缓存满设定的数据量(例如一帧)时,通过PCI-X总线插槽向VPX单板机发送中断通知其取数据;最后VPX响应PMC板发出的中断,DMA取PMC板中缓存的数据,并和多GPU加速板一起完成后续的红外数字信号处理(包括图像预处理、目标检测跟踪及识别等).

## 2 新型红外信号处理平台的应用

新型红外信号处理平台主要由前端数据采集板与后端 VPX 处理机箱组成,前端主要用以完成对红外探测器的时序控制与输出模拟信号的采集;后端主要用以完成对采集到的数字信号的一系列处理,这些处理根据红外系统功能与处理算法的不同,所涉及的处理量有很大的差别,因此就需要针对不同用途的红外系统构建不同规模的、适合其的信号处理平台.通常红外信号处理平台的前端大致相同,后端根据处理量的不同有较大的区别;后面主要针对红外搜索与跟踪系统<sup>[4]</sup>的信号处理,简单介绍一下新型红外信号处理平台的应用.图 2 是新型红外信号处理平台在红外系统中一种简单应用示意图.

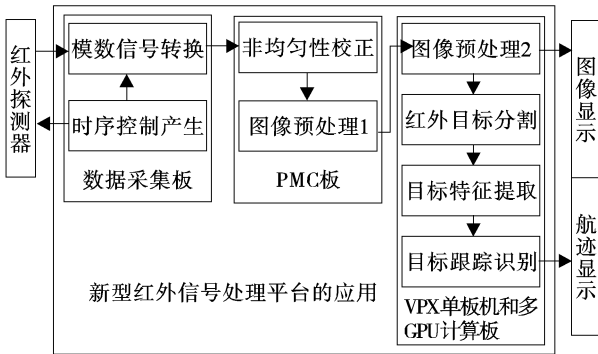


图 2 新型红外信号处理平台的应用

红外搜索与跟踪系统一般具有视场大(探测器单元数多)、帧频高、处理算法较复杂等特点;其处理包括非均匀性校正、图像预处理、目标检测、目标跟踪与识别等.图 2 中数据采集板完成探测器的时序控制、数据采集与数据光口输出功能;PMC 板完成对前端数据的光口接收与缓存、对探测器各单元数据的非均匀性校正处理和部分图像预处理功能、对 VPX 单板机产生中断通知;VPX 单板机与多 GPU 计算板协同完成大部分处理算法的实现(包括图像预处理、目标检测、目标跟踪与识别等).下面以某系统的实测数据为例,针对红外数字信号处理在新型平台中后端的实现做进一步介绍.

该实例涉及的红外数字信号处理主要包括红外图像的非均匀性两点校正、条带噪声去除、中值滤波、阈值计算与二值化、形态学滤波、连通域标记与特征提取等,具体在新型平台后端 VPX 机箱中的实现过程如图 3 所示.

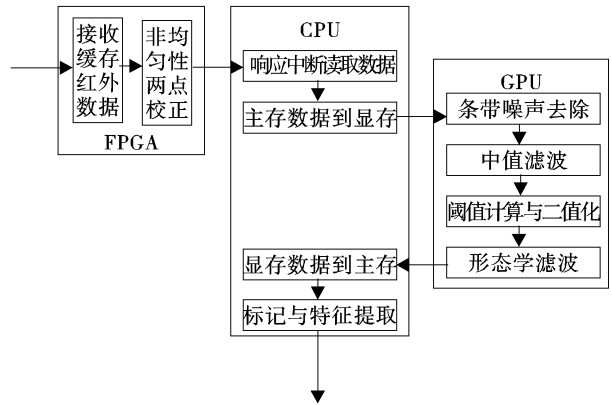


图 3 某种红外数字信号处理过程在新型平台上的实现

非均匀性两点校正<sup>[5]</sup>是一种在工程上广泛应用的红外探测器各单元非均匀性校正的方法,涉及的计算主要是乘加运算,即对红外探测器各单元输出的实时数据分别使用已计算好的增益系数和偏移系数进行乘加运算.

条带噪声去除:是一种去除红外图像中具有明显条带(横竖条纹)噪声的处理方法,涉及的计算主要有计算均值和乘法运算;具体实现过程是,首先计算整幅图像的均值、图像每列的均值、图像每行的均值,再将整幅图像的均值除以各列均值得到各列的系数、除以各行的均值得到各行的系数,最后将各列系数与各列数据分别相乘(去竖条纹)、将各行系数与各行数据相乘(去横条纹).

中值滤波:是一种工程上常用的去除红外图像中校验噪声的预处理滤波方法,涉及的计算是对整幅图像数据进行一定大小的滑窗排序取中值的处理.

阈值计算与二值化:阈值处理有全局阈值处理和局部阈值处理,这里是全局阈值;其中阈值计算就是全局阈值的计算,是通过计算整幅图像的均值和标准差、再利用均值 +  $K \times$  标准差计算得到的;二值化涉及的是比较处理,即将各个数据与阈值进行比较,小于阈值取 0,反则取 1.

形态学滤波:一般弱小目标是一些弱的亮斑,具有一定像素个数大小;而图像噪声往往表现出一些孤立的点噪声,在对图像进行了背景抑制滤波后,一些孤立的点噪声已被保存下来;背景抑制滤波后的图像进行阈值,势必生成较多的虚假目标,这将给后面的数据处理带来较大的处理量.因此,有必要减少这些孤立的噪声点,根据实际系统经验知道,形态学滤波方法较有效(当目标为点目标时,不能进行),这

里采用形态学运算法。

连通域标记与特征提取:灰度图像经过二值化处理之后,得到一幅由 0,1 两种灰度构成的二值图像,1 为目标或噪声点像素,0 为背景像素.连通域标记是将二值图像中复合某种连通规则(4 邻域连通或 8 邻域连通)的目标像素用相同的标号表示出来.经过连通域标记处理之后,各个目标便从背景中分离出来了,标号相同的像素属于同一目标,进而可以求得各个目标的中心和面积等特征信息.连通域标记算法主要有单向反复扫描法、区域增长法、线标记法等.一般基于实时性的考虑,大多数系统采用连通域标记的快速实现算法<sup>[6]</sup>,在此采用 8 邻域连通标记法进行目标标记,再进行目标质心位置与灰度信息的提取.

根据 FPGA、CPU 及 GPU 各自的特点,考虑实例所涉及处理算法的复杂度,图 3 对实例中各部分处理进行了合理地划分.其中 FPGA 是一种包含大规模并行可编程逻辑电路和大量计算单元的器件,特别适合结构简单、易于流处理实现的算法实现;非均匀性两点校正就是将红外探测器各单元输出的数据与各自的增益及偏移进行乘加运算,是一种结构简单,可以在数据传输的过程中进行流处理实现的算法,故适合 FPGA 实现,且几乎不占用额外的处理时间.CPU 即中央处理器,是计算机的运算和控制核心,负责处理、运算计算机中内部的所有数据,一般比较适合负责进行逻辑性强的事务处理和串行计算,上述的标记与特征提取是一种具有较多判断语句的逻辑性较强的处理,较适合 CPU 进行实现.面向通用计算的 GPU 发展已日益成熟,它以浮点计算能力强和内存带宽的特点,在通用计算领域已发挥不可代替的作用,在 CPU + GPU 的计算机结构中,GPU 则专注于执行高度线程化的并行处理任务,条带噪声去除、中值滤波、阈值计算与二值化、形态学滤波等处理均是可以使用大量线程进行计算完成的处理,适合 GPU 实现.非均匀性两点校正处理在 FPGA 中实现,是在实时接收数据的过程中完成的,即边接收数据边完成校正处理,因此几乎不占用任何时间,在 CPU 和 GPU 中完成的处理是在接收完成一帧图像后再进行处理的,因此它们的处理总时间必须小于系统输出帧数据的周期.表 1 是借助 HP xw9400 工作站(FX5800 + AMD Opetrol 2.6 GHz CPU)平台对 288 \* 6 432 浮点类型的红外图像数据进行部分处理的评估测试结果;测试程序中 CPU 实

现部分使用的是单线程程序.

表 1 部分处理的时间测试结果

时间测试对比结果(单位:ms)			
单线程 CPU 程序		CPU + GPU 程序	
		CPU 内存数据到显存	3.540
CPU 条带噪声去除	71.225	GPU 条带噪声去除	18.008
CPU 中值滤波	238.909	GPU 中值滤波	24.130
CPU 阈值计算与二值化	15.130	GPU 阈值计算与二值化	0.690
CPU 形态学滤波	33.613	GPU 形态学滤波	1.516
		CPU 显存数据到内存	4.662
CPU 标记与特征提取	3.175	CPU 标记与特征提取	3.181

表 1 时间测试对比结果表明,使用 GPU 加速实现该种方法的部分处理均可以取得不同程度效率的提升.实际序列图像的 GPU 加速检测处理过程包括 CPU 搬移内存数据到显存、GPU 条带噪声去除、GPU 中值滤波、GPU 阈值计算与二值化、GPU 形态学滤波、CPU 搬移显存数据到内存、CPU 标记与特征提取,时间总计为 56.811 ms;单独使用 CPU 完成检测处理过程包括 CPU 条带噪声去除、CPU 中值滤波、CPU 阈值计算与二值化、CPU 形态学滤波、CPU 标记与特征提取,时间总计为 368.537 ms;因此利用 GPU 加速实现该种方法比单独使用 CPU 实现有 6.5 倍效率的提升.

### 3 结 束 语

红外探测技术的发展给红外实时信号处理带来了挑战,而各种处理器技术的发展给红外实时信号处理创造了条件.文中根据各种处理器所具有不同的特征与优势,结合红外系统中信号处理的特点,构建了一种基于 FPGA + CPU + GPU 架构的新型红外信号处理平台,并进行了简单应用.结果表明,该平台能够容易完成单元数多、帧频高和算法较复杂的红外系统的实时信号处理任务.另外通过文中将通用计算的 GPU 引入了高实时性要求的红外信号处理领域的实践,希望能起到抛砖引玉的作用.

## 参考文献

- [1] 王忆锋,唐利斌.第三代碲镉汞器件的研究发展[J]. 光电技术应用,2009,24(5):17-22.
- [2] 张舒,褚艳利,李开勇,等.GPU高性能运算之CUDA[M].北京:中国水利水电出版社,2009:8-13.
- [3] 张天林,张思敏.CPCI-E与VFX总线标准的比较分析[J].工业控制计算机,2009,22(7):1-5.
- [4] 申洋,唐明文.机载红外搜索跟踪系统(IRST)综述[J].红外技术,2003,25(1):13-18.
- [5] 黄星明,余国文,王宏远.一种改进的红外焦平面非均匀性多点校正方法[J].红外与激光工程,2005,34(1):62-65.
- [6] 李欢,杨捷.求解二值图像连通域的改进算法[J].计算机与现代化,2005,(4):11-13.

(上接第11页)

果,图形中包含的图元有线段、圆、圆弧、椭圆弧、矩形、多边形、多义线、单行文本和多行文本.从图4中可以看出,此软件不仅可以很完美地解析各个图元,而且各个图元之间的相对关系也保持得很好,使得图形不会失真.同时也说明该软件可以很好地解析比较复杂的矢量图形,从而能够满足激光打标需要,更好地为激光打标系统服务.

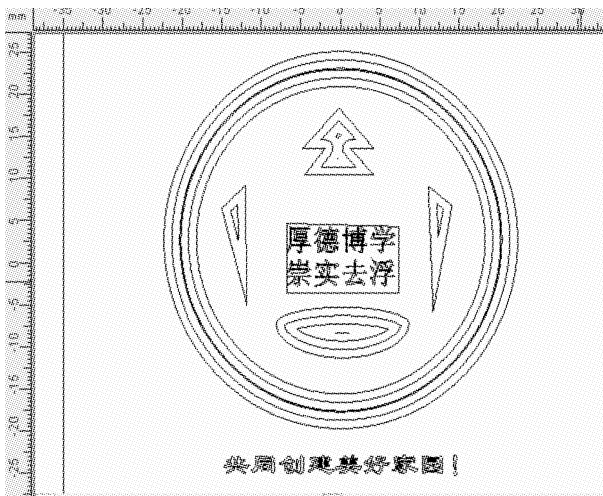


图4 DXF文件解析综合效果图

## 4 结束语

在激光打标时,激光笔只是在某个连续图元的起点处启动,终点处停笔,中间可处理为匀速运动,减少了激光笔的起停次数,激光笔的运动更为平滑,激光能量均匀分配在图线上,不用担心因为能量分配不均而导致打标深浅不一,同时节省了不少的时间,提高了激光加工的效率.因此,在激光加工系统

中利用DXF格式的文件拥有很大的优越性,只要获取各种图元,然后利用插补、填充等算法进行适当的处理就可以.激光标刻的图案一般都是比较简洁,轮廓比较清晰,如果利用jpg、bmp格式的图片的话,会需要灰度、二值化、拟合等处理然后才能提取出图形的轮廓,过程比较复杂,不如DXF文件应用性强.通常会有这样一个感受,DXF文件记录图形的方式与VC++中类的思想有几分相似,因此利用VC++来对DXF文件进行修改也会是相对较为方便的,可重构性得到了很大提高.

也可以考虑将其他格式的图形转换为DXF格式,然后导入系统进行处理,效率也许会更高.如果这个可以做到,系统的通用性必然得到大幅改善.

## 参考文献

- [1] 杨友东. Visual C++ 程序设计全程指南[M]. 北京:电子工业出版社,2009.
- [2] 王子茹,任清波.基于VC++的DXF数据文件接口的研究[J].厦门理工学院学报,2007,1(15):26-30.
- [3] 胡胜红.使用VC++编程实现DXF文件数据提取[J].福建电脑,2006,(11):189.
- [4] 刘启生,邵东伟,杜云明,等.基于DXF文件的数控加工系统的实现研究[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2009,4(27):542-544.
- [5] 刘其斌.激光加工技术及其应用[M].北京:冶金工业出版社,2007.
- [6] 程铁皋.Windows动态数据交换程序设计用Visual C++和Microsoft C/C++[M].北京:北京航空航天大学出版社,1995.