

文章编号 1004-924X(2004)02-0206-04

红外图像非均匀性实时校正的新技术

代少升,袁祥辉

(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室,重庆 400044)

摘要:介绍了红外图像非均匀校正的基本方法,并以多点校正方法为例,利用 DSP 硬件具有强大的运算能力及灵活的可编程性,自动完成了图像的非均匀性实时校正。给出了校正系统的构成,描述了校正方法的实现过程。用像元数为 128×128 的红外焦平面阵列进行了图像非均匀性实时校正实验,并对校正前后的图像进行了对比。实验结果达到了预期目的,表明基于 DSP 的红外图像非均匀性实时校正系统实现的校正方法简单,效果理想。

关键词:红外图像;数字信号处理器(DSP);非均匀性;实时校正

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

Real-time correction of infrared image nonuniformity

DAI Shao-sheng, YUAN Xiang-hui

(Chongqing University Photoelectric Technique and System Key
Lab of Ministry of Education, Chongqing 400044, China)

Abstract: The nonuniformity of IR focal plane array, which causes image faint, greatly limited some industrial applications so that the nonuniformity must be corrected prior to the application of infrared imaging technique. A multi-point correction method, which makes use of the powerful computational capability and good programmability of TMS320C6201 DSP hardware, is therefore proposed to do automatically the real-time correction of infrared image nonuniformity. Experimental results showed that the infrared image nonuniformity real-time correction system based on DSP can do the correction in a simple way with satisfactory results.

Key words: infrared image; DSP; nonuniformity; real-time correction

1 引言

现代红外成像技术随着科学技术的进步得到了迅猛发展。自 20 世纪 90 年代以来,各国军方针对现代战争和未来信息战要求的新形势,对热成像技术提出了更高的要求,希望今后制作的红外热成像装置和系统要具有更佳的性能,如更小的体积和更轻的质量、更高的分辨率和灵敏度、更远的作用距离、更加低廉的价格等。作为红外成

像技术发展方向的红外焦平面成像系统将因此而获得越来越广泛的应用。但由于制造和环境的影响,红外焦平面阵列响应的非均匀性制约了红外系统的探测性能^[1],在一定程度上限制了红外成像系统的应用。因此,对红外图像进行实时的非均匀性校正来获取高质量的红外图像将成为红外成像技术推广应用的技术关键。

由于图像处理的数据量大,图像处理的过程中也会产生同等量的数据量,这就要求图像处理系统必须具有强大的运算功能。TMS320C6201

DSP 是 TI 公司 TMS320 家族中最新推出的产品之一,其运行速度高达 1600 MIPS,因此可以更好地应用在实时红外图像处理系统中。在众多基于场景的非均匀性校正算法中,只有线性校正方法的理论较成熟,并获得了实际应用。本文以多点校正方法为例,阐述了利用 DSP 技术实现红外图像非均匀性实时校正的过程。

2 非均匀性校正的基本方法

非均匀性是指红外焦平面阵列(IRFPA)在外界同一均匀光场入射时各单元之间输出的不一致,又称空间噪声或固定模式/图形噪声^[2]。多点校正方法是通过分段线性校正来实现的。在每个标定区间内应用两点校正方法来处理。下面阐述两点校正方法的原理。两点校正法基于 2 个假设条件:(1)每个探测单元的输出是线性的。这一假设在探测单元输出的大部分区域是成立的,只有在输入极小和接近饱和时才有比较大的非线性,在忽略两端误差的情况下可以认为探测单元的输出是线性的。根据线性模型的数学公式,只需对直线上两点进行定标测量,便可求出直线,从而对非均匀性进行校正。(2)探测单元的输出必须具有时间的稳定性,否则定标数据在使用时就会失去意义^[3]。在此条件下,红外焦平面阵列在均匀辐射背景下任一像元的响应输出为:

$$X_{ij}() = K_{ij} + B_{ij}$$

其中 $X_{ij}()$ 为辐射通量; K_{ij} 和 B_{ij} 是坐标为 (i, j) 阵列元的增益和偏移量,对于每一个阵列元, K_{ij} 和 B_{ij} 的值在相邻的两个标定区内是固定的,并且不随时间变化,因此采用这种方法可实现红外图像的非均匀性校正。即,

$$Y_{ij} = G_{ij}X_{ij}() + O_{ij}, \quad (1)$$

G_{ij} , O_{ij} 分别为两点校正法的校正增益和校正偏移量; Y_{ij} 为校正后的输出。

两点校正方法是在光路中插入一均匀辐射的黑体,通过各阵列元对高温 T_H 和低温 T_L 下的均匀黑体辐射的响应计算出 G_{ij} 和 O_{ij} ,从而实现非均匀性校正。将所有阵列元在高温 T_H 和低温 T_L 下的响应分别归一化为 V_H 和 V_L 。

$$\begin{cases} V_H = G_{ij}X_{ij}(H) + O_{ij} \\ V_L = G_{ij}X_{ij}(L) + O_{ij}, \end{cases} \quad (2)$$

校正增益和校正偏移量即可通过下式计算出来:

$$\begin{cases} G_{ij} = \frac{V_H - V_L}{X_{ij}(H) - X_{ij}(L)} \\ O_{ij} = \frac{V_H X_{ij}(L) - V_L X_{ij}(H)}{X_{ij}(L) - X_{ij}(H)}, \end{cases} \quad (3)$$

其中 $X_{ij}(H)$ 和 $X_{ij}(L)$ 分别为像元 (i, j) 在高温和低温均匀辐射背景下的响应。

由式(3)可以看出,如果将各阵列元在低温和高温的响应输出 $X_{ij}(L)$ 、 $X_{ij}(H)$ 分别预先放到 DSP 的外部存储空间(如图 1 中的外存储器),在探测过程中 DSP 实时计算出 G_{ij} 、 O_{ij} ,然后按式(1)输出校正数据,即可实现两点校正。

通过对所有的标定区间应用两点校正方法,即可实现红外图像的多点非均匀性实时校正。在硬件存储资源和运行速度满足要求时,可以通过增加标定点数来减少线性校正误差。该校正方法将校正数据的计算任务交给 DSP 完成,既充分发挥了 DSP 的高速性,又充分利用了 DSP 的可编程性,使校正过程灵活简单。

3 多点校正算法的 DSP 实现

3.1 TMS320C6201 芯片的特点

TMS320C6201 是基于 TMS320C6x 系列的高速定点数字处理芯片。应用一种高性能 VILW(Very Long Instruction Word)的 VelociTIM 体系结构^[4],并具有 VelociTIM 结构专用的指令集,保证了其具有强大的运算能力,高度的并行性和良好的灵活性。片内具有 64 K 字节的程序存储器和 64 K 字节的数据存储器,同时还集成有 DMA 控制器、主机接口(HPI)、中断选择器等能够方便快速地向外部设备进行数据交换^[5]。

3.2 校正系统构成

基于 DSP 的红外图像非均匀性实时校正系统主要由红外焦平面阵列(IRFPA)、A/D 转换器、可编程逻辑器件(fpga)、外围存储器(ERAM)、TMS320C6201DSP 芯片、图像显示设备构成。该系统的组成框图如图 1。

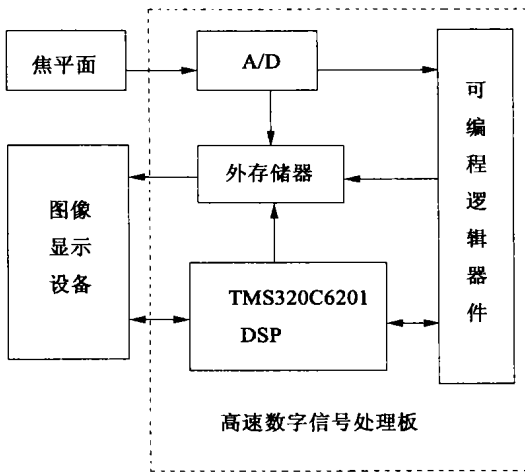


图 1 系统结构框图

Fig. 1 Block diagram of the system constitution

3.3 校正方法的实现

用 DSP 实现的校正方法分两步进行,首先是非均匀性图像数据的形成,包括原始视频信号的采集和保存;最后是非均匀性实时校正的硬件实现,包括将原始数据加载到 DSP 存储空间内,启动 DSP 进行校正数据的运算。校正应遵循以下几个原则^[6-7]: (1) 所有的像元在校正后都能按光电转换特性产生输出信号; (2) 校正后探测器的工作范围要尽量宽; (3) 校正的数学模型和硬件实现尽量简单。

具体实现过程为: (1) 用 PC 机编制一简单程序,记录每个像元在不同温度均匀黑体辐射下的响应值; (2) 确定标准响应像元(如响应最快的像元)后,对记录数据进行统计分析,找出标准像元的响应值(即归一化值),并进行保存; (3) 在系统通电后,通过 TMS320C6201 的主机接口将记录的原始图像数据加载到图 1 的外围存储器中; (4) 启动 DSP 后在每个标定区间按两点校正公式对每个像元进行实时校正计算,从而达到多点校正的目的。

参考文献:

[1] 熊辉,杨卫平,沈振康. 红外焦平面阵列非均匀性校正算法研究[J]. 系统工程与电子技术,1998,(12):40-43.
XIONG H, YANG W P, SHEN ZH K. Study on infrared FPA nonuniformity correction[J]. *Systems Engineering and Electronic Technology*, 1998,(12):40-43. (in Chinese)

[2] 胡晓梅. 红外焦平面探测器的非均匀性与校准方法研究[J]. 红外与激光工程,1999,28(3):9-12.

从上述方法可以看到:校正过程中只需考虑原始数据的采集、保存和加载,而校正数据的生成、存储和显示均由 DSP 自动完成。在加载原始数据之前可以先对多组记录数据进行分析,找出线性好的几组数据作为每个单元在不同温度下响应的定标点。实验过程中发现,不同的定标点将产生不同的校正效果,可以通过分析比较来选取理想的定标点。

3.4 实验结果

用像元数为 128 × 128 的红外焦平面阵列进行图像非均匀性实时校正实验,实验结果达到了预期目的。图 2 为实验过程中保存下来的同一幅实时校正前后人手的图像。图 2(a)为校正前的图像,图 2(b)为校正后的图像。

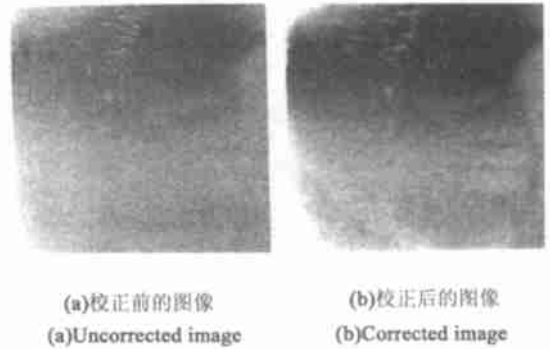


图 2 实时校正前后的图像

Fig. 2 Real time uncorrected and corrected images

4 结 论

由于采用了具有强大运算功能的 DSP 硬件,显著提高了校正系统的实时性、灵活性和通用性。在校正过程中,由于对实时校正程序采用了汇编级优化,实时校正速度达到了 20 帧/s。实验结果表明,基于 DSP 的非均匀性实时校正系统生成的图像清晰,校正过程简单,程序调试方便,能够有效地解决红外成像技术中实时性难题。DSP 技术的快速发展必将加快红外成像技术的实用化进程。

- HU X M. Study on IRFPA nonuniformity and its correction[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 1999,28(3):9-12. (in Chinese)
- [3] 陈宝国,郑志伟,黄士科. 利用 FPGA 实现红外焦平面器件的非均匀性校正[J]. *红外与激光工程*,2000,29(4):55-57.
CHEN B G, ZHENG ZH W, HUANG SH K. IRFPA nonuniformity correction using the FPGA technology[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2000,29(4):55-57. (in Chinese)
- [4] 任丽香. TMS320C6201 系列 DSPs 的原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2000.
REN L X. *DSPs principle and application of TMS320 C6201* [M]. Beijing: Electronic Industry Publishing Company,2000. (in Chinese)
- [5] 田志刚,吕俊杰,陈桂林. 基于 FIFO 存储器的高速显微图像处理系统[J]. *光学 精密工程*,1999,7(1):46-50.
TIAN ZH G, LU J J, CHEN G L. High-speed microscopic image processing system based on FIFO[J]. *Optics and Precision Engineering*, 1999,7(1):46-50. (in Chinese)
- [6] 李兵,袁祥辉,潘银松. 一种新的红外焦平面阵列非均匀性实时校正方法研究[J]. *红外与毫米波学报*,2000,19(6):475-477.
LI B, YUAN X H, PAN Y S. A new method for real time correction of nonuniformity of IRFPA[J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2000,19(6):475-477. (in Chinese)
- [7] 袁晓兵,张新,王沛. PCI 总线数据采集卡 Windows NT 驱动程序的设计[J]. *光学 精密工程*. 2001,9(5):1:89-92.
YUAN X B, ZHANG X, WANG P. Device driver programming in windows NT for PCI data acquisition card[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2001,9(5):1:89-92. (in Chinese)

作者简介:代少升(1974-),男,河南潢川人,重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室博士研究生,主要研究方向为基于 DSP 的图像处理技术。E-mail:daishsh1@sina.com