

基于 DSP 的红外焦平面阵列非均匀性实时 压缩校正研究*

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 针对红外成像系统在图像处理中所涉及的数据量大, 实时处理难于实现的特点, 利用高速 DSP 硬件对红外焦平面阵列的非均匀性进行实时压缩校正. 以两点校正为例, 详细阐述了硬件压缩校正原理和实现步骤, 并给出实验结果. 实验表明: 基于 DSP 的非均匀性实时压缩校正系统生成的图像比较清晰, 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.

关键词 DSP; 红外焦平面阵列; 非均匀性; 实时压缩校正

中图分类号 TP274 **文献标识码** A

0 引言

现代红外技术随着微电子技术的发展得以迅猛发展, 红外探测器也从单元发展到目前的焦平面阵列. 红外焦平面阵列成像具有结构简单、探测能力强、帧频高等优点, 正在成为红外成像技术的主流器件^[1].

由于制造和环境的影响, 红外焦平面阵列各单元存在着响应的非均匀性^[2,3], 严重影响了成像质量, 在一定程度上限制了红外成像系统的应用. 由于红外焦平面阵列(IRFPA)在红外成像系统中的应用已是大势所趋, 因此解决焦平面阵列的非均匀性校正问题显得尤为重要. 希望通过非均匀性校正, 改善器件的性能, 提高成像质量. 传统的校正方法, 有的电路复杂, 调试困难; 有的校正速度慢, 难以满足实时校正要求; 而对实时性能较好的存储器校正方法, 通用性差, 不够灵活. 为此我们提出利用 TMS320C6201 DSP 硬件完成红外焦平面阵列非均匀性实时压缩校正算法. DSP 具有可编程性及多种数据加载方式, 能够方便更新定标数据, 大大增加了系统的灵活性和通用性. 以两点校正为例阐述 DSP 硬件压缩校正方法和步骤. 该压缩校正方法简单灵活, 计算量小, 易于实时实现.

1 压缩校正方法的原理

1.1 两点校正方法的基本原理

通常采用的两点校正属于定标校正. 一般情况下探测单元的相应曲线在中段具有较好的线性度, 而两端则较差, 在忽略两端误差的情况下可以认为

探测单元响应是线性的. 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. 根据探测单元响应为线性的条件, 红外焦平面阵列在均匀辐射背景下任一像元的响应输出可以表示为

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

式中 ϕ 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} 的值都是固定的, 并且不随时间变化. 因此采用两点法校正即可实现红外图像的非均匀性校正. 即

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

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

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

式中 $X_{ij}(H)$ 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, 如果我们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 的存储空间(如图 1 中的 ERAM), 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, 即可实现红外图像的实时非均匀性校正.

1.2 压缩校正的思想

*自然科学基金资助项目(60077025)

Tel: 023-65102517 Email: daishsh1@sina.com

收稿日期: 2003-05-07

从上述两点校正实现的过程可以看到:对于校正像元数为 128×128 焦平面阵列,则需要数据存储空间为: $128 \times 128 \times 2 = 32 \text{ K}$,对于内部仅有 16 K 数据存储单元 TMS320C6201 DSP 太大,必须借助外部存储空间,而数据外部存储又不利于图像实时处理.分析 128×128 个像元在高温 T_H (T_H 为使灵敏度最高的像元输出热像信号幅值为 255 的温度)下的响应值可以发现,其中不少像元的数据是相同的或相近的,因而可以将这些相同或相近的数据进行合并或压缩.下面以 8 位 A/D 为例具体说明.调整黑体的温度使灵敏度最高的像元输出热像信号幅值为 255,其余像元的副值都低于或等于 255.计算机处理数据时把相同或相近的数据进行合并或压缩,例如,把幅值为 255 的曲线合为一条,254 的合为一条,253 的合为一条.如此等等.合并后,被转换曲线的数目减少到 256 条以内.用计算机编制出像元号-曲线号表(“简称压缩表”)^[4].经过上述处理后所需存储器容量将由 $16 \text{ K} \times 8 \text{ bit}$ 减少到 $256 \times 8 \text{ bit}$,压缩比为 64:1.在用 DSP 实现校正时先加载压缩表,然后按像元号进行实时查表计算,即可达到压缩校正目的.

2 非均匀性压缩校正硬件的实现

根据图像处理的特点选用 TI 公司 TMS320C6201 DSP 芯片^[5]完成红外焦平面阵列非均匀性实时压缩校正任务.

2.1 硬件系统构成

该非均匀性实时压缩校正系统主要由红外焦平面 (IRFPA)、A/D 转换器、可编程逻辑器件 (FPGA)、外围存储器 (ERAM)、TMS320C6201 DSP 芯片、PC 机构成.该系统的组成框图如图 1.

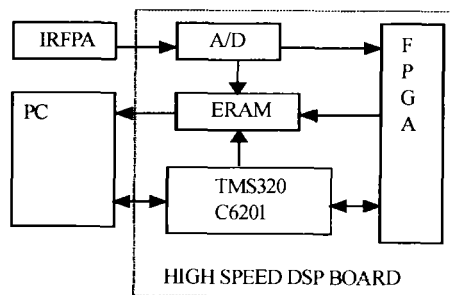


图 1 系统结构框图

Fig. 1 Block diagram of the system constitution

2.2 硬件校正的实现

用硬件实现的校正方法分三步进行.首先是非均匀性标定数据的产生,包括图像信号的采集、记录和保存;其次是对图像数据进行统计分析及压缩表的制作;最后是非均匀性实时压缩校正的硬件实现,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:

- 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(两组或两组以上数据).2)对记录数据进行统计分析,生成相应的压缩表.3)在系统上电后通过 TMS320C6201 的主机接口将压缩表加载到图 1 中的 DSP 存储器中.4)启动 DSP 后按两点校正公式对每个像元进行校正计算.这样就能达到实时压缩校正的目的.

从上述方法可以看到:校正过程中只需考虑图像数据的记录、统计和加载,并且加载过程可以通过多种方法实现,而校正数据的生成、存储和显示均由 DSP 自动完成.在加载压缩数据之前可以先对多组记录数据进行分析,然后找出对应温度范围大、线性好的两组数据作为每个单元响应的定标点.实验过程中发现不同的定标点将产生不同的校正效果,可以通过分析比较选取较为理想的定标点.

2.3 实验结果

用一个 128×128 红外焦平面阵列,进行了非均匀性实时压缩校正实验,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的人头图像.校正前的红外图像比较模糊,局部存在死像元区;校正后的图像比较清晰,同时对死像元进行了一定程度的补偿.

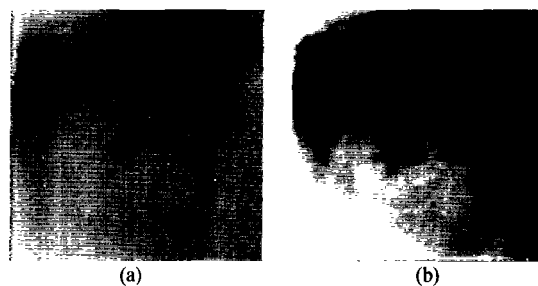


图 2 (a)校正前的图像,(b)校正后的图像

Fig. 2 (a)Uncorrected image,(b)Corrected image

3 结论

由于校正过程中采用了功能强大的 DSP 硬件及合理的数据压缩方法,使系统的实时性、灵活性和通用性大大提高.在校正过程中,通过对实时校正程序采用汇编级优化,大大提高了实时校正速度.实验表明:该校正方法简单灵活、调试方便、效果理想.随着 DSP 技术的快速发展必将促进红外成像技术实用化进程.

参考文献

- 1 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. 红外与激光工程, 2000, 29(4): 55 ~ 57
Cheng B G, Zheng Z W, Huang S K. *Infrared and Laser Engineering*, 2000, 29(4): 55 ~ 57
- 2 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. 系统工程与电子技术, 1998, 22(12): 40 ~ 43
Xiong H, Yang W P, Sheng Z K. *Systems Engineering and Electronic Technology*, 1998, 22(12): 40 ~ 43
- 3 胡晓梅. 红外焦平面探测器的非均匀性与校准方法研究. 红外与激光工程, 1999, 28(3): 9 ~ 12
Hu X M. *Infrared and Laser Engineering*, 1999, 28(3): 9 ~ 12
- 4 袁祥辉. 固体图像传感器及其应用. 重庆: 重庆大学出版社, 1996
Yuan X H. *Solid image sensor and application*. Chongqing: Chongqing University Press, 1996
- 5 任丽香. TMS320C6000 系列 DSPS 的原理与应用. 北京: 电子工业出版社, 2000
Ren L X. *DSPS principle and application of TMS320C6201*. Beijing: Electronic Industry Press, 2000

IRFPA Nonuniformity Real-time Compressing Correction Based on DSP

Dai Shaosheng, Yuan Xianghui

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

Received date: 2003-05-07

Abstract Because of large amounts of image data and difficultly implementing real-time image processing, a hardware system based on high performance TMS320C6201 DSP is presented. It can fulfill real-time compressing correction of IR image nonuniformity. According to two-points correction formula, the hardware correction principle and the specific steps are described in the paper. Experimental results prove that its imaging quality is satisfying, the correction method is simple and the program debug is convenience. This way can effectively solve real-time problem in infrared image processing.

Keywords DSP; IRFPA; Nonuniformity; Real-time compressing correction



Dai Shaosheng was born in 1974. Now he is working towards the Ph. D. degree in photoelectricity engineering at Chongqing University. He mainly studies on image processing based on DSP hardware.