

文章编号: 1672-8785(2011)06-0015-03

一种自适应红外图像非均匀性校正方法及其 FPGA 实现

杜 丽 赵保军 唐林波

(北京理工大学信息与电子学院, 北京 100081)

摘 要: 介绍了一种自适应红外图像非均匀性校正方法及其 FPGA 实现。该方法能够实时计算校正系数, 并能够保证校正质量。首先利用两点定标校正法获得初始校正系数, 然后根据焦平面阵列元的响应特性实时修正校正系数, 并通过在系数修正过程中加入修正判断, 很大程度地改善了传统校正过程中的逐渐模糊和鬼影的不足。最后在 FPGA 硬件平台上实现了该方法。试验结果满足实时性和非均匀性的要求, 对环境的适应性较强。

关键词: 红外图像; 非均匀性校正; 自适应算法; FPGA

中图分类号: TN216 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.06.004

An Adaptive Non-uniformity Correction Algorithm for Infrared Images and Its Implementation on FPGA

DU Li, ZHAO Bao-jun, TANG Lin-bo

(School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 10081, China)

Abstract: An adaptive method for correcting the nonuniformity of infrared images and its implementation on FPGA are presented. The method can calculate the correction factor in real time and keep high correction quality. Firstly, a traditional two-point correction method is used to obtain initial correction coefficients. Then, the correction coefficients are modified according to the response characteristics of a focal plane array in real time. Since the modification judgment is added in the coefficient modification, the method overcomes the problems of blurring effect and ghosting. Finally, the method is implemented on the platform of FPGA. The test result shows that the method can meet the real-time and nonuniform requirements and has a good adaptability to environment.

Key words: infrared image; nonuniformity correction; adaptive algorithm; FPGA

0 引言

随着科学技术和微电子技术的发展, 现代红外成像技术取得了长足的进步。红外焦平面器件具有结构简单、工作稳定可靠、灵敏度高和噪声等效温差性能好等优点, 逐渐成为红外器件发展的主流。但由于受材料、工艺水平和环境等方面的限制, 器件各探测单元的响应特性曲

线会随着工作温度的变化呈现出不同程度的直流漂移, 各个单元之间存在着响应特性不一致的情况 (即非均匀性)。这种非均匀性会直接影响最终输出的图像的清晰度, 已经成为进一步提高图像质量的瓶颈, 并在一定程度上限制了红外成像系统的应用。因此, 对红外图像进行有效的实时非均匀性校正是红外图像处理中的一项关键技术。

收稿日期: 2011-04-17

作者简介: 杜丽 (1986-), 女, 内蒙古人, 硕士研究生, 主要研究方向为信息与信号处理。

E-mail: dujuandulidugang@163.com

目前, 红外焦平面阵列非均匀性校正方法主要是两点定标校正法或多点定标校正法。其中, 两点定标校正法具有计算量小、占用硬件资源少的优点, 得到了广泛的应用。但是传统的两点定标校正法存在一个较大的缺陷, 即计算出权系数后, 它在以后的校正过程中一直是用这个权系数去处理图像的。由于温度变化和噪声干扰等原因会引起探测器的直流漂移, 传统的两点定标算法无法对此作出反应, 必须重新进行定标。因此, 在实际应用中, 需要反复利用黑体进行重新定标。本文在分析两点定标非均匀性校正算法的基础上, 提出了一种基于场景的自适应两点校正方法。

1 自适应两点校正法的原理

自适应两点校正法是一种基于传统两点定标校正的红外图像非均匀性实时校正方法。该方法克服了传统两点校正的重复定标的缺点, 使系统能够在工作中跟踪输入信号的变化, 时刻保持最佳的校正效果, 从而实现对红外图像的自适应实时校正。它通过在系数修正过程中加入修正判断, 很大程度地改善了传统校正方法中的逐渐模糊和鬼影的问题。

首先用传统的两点定标法计算一组各单元的校正系数。两点定标法是通过在光路中插入一个均匀辐射的黑体, 然后根据各阵列元对高温 T_H 和低温 T_L 下均匀黑体辐射的响应计算出增益因子 G_{ij} 和偏移因子 O_{ij} , 从而实现非均匀性校正的。假设高温 T_H 和低温 T_L 下所有阵列元的响应分别为 V_H 和 V_L , 像元 (i, j) 在高温和低温均匀辐射下的响应分别为 $X_{ij}(\phi_H)$ 和 $X_{ij}(\phi_L)$, 阵列元的行数和列数分别为 M 和 N , 则

$$\begin{cases} V_H = G_{ij} X_{ij}(\phi_H) + O_{ij} \\ V_L = G_{ij} X_{ij}(\phi_L) + O_{ij} \end{cases} \quad (1)$$

$$V_L = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij}(\phi_L)}{M \times N} \quad (2)$$

$$V_H = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij}(\phi_H)}{M \times N} \quad (3)$$

由式 (1) 推导出校正增益和偏移量:

$$\begin{cases} G_{ij} = \frac{V_H - V_L}{X_{ij}(\phi_H) - X_{ij}(\phi_L)} \\ O_{ij} = \frac{V_H X_{ij}(\phi_L) - V_L X_{ij}(\phi_H)}{X_{ij}(\phi_L) - X_{ij}(\phi_H)} \end{cases} \quad (4)$$

将由式 (4) 计算出的每个阵列元的增益系数 G_{ij} 和偏移系数 O_{ij} 存入 Flash。在开机校正的初始过程中读出 Flash 中的系数数据, 再对其进行乘加运算, 便完成了对初始图像非均匀性的实时校正。

由于温度变化和噪声干扰等原因, 探测器各单元的响应特性曲线会有不同程度的直流漂移。利用原始的校正系数已经无法得到高质量的红外图像, 所以必须对校正系数进行修正。在保证实时性和收敛性的前提下, 根据探测器各单元响应特性的周期性对校正系数进行动态的自适应修正。在校正系数的修正过程中, 首先计算校正后的图像的统计特性, 得到图像的一组统计均值数据。然后利用这组统计均值数据和原始图像校正数据获取每个像元的图像误差信息。在获取误差信息时, 必须去除场景信息, 否则校正系数中就会包含场景信息。用 3×3 的中值滤波处理图像的统计均值数据, 所求得的中值与原校正像素值之差即为图像误差。我们设 $\tilde{U}_j^k$ 为中值, U_j^k 为校正后的原像素值, e_j 为图像误差, 则有

$$e_j = \tilde{U}_j^k - U_j^k \quad (5)$$

由式 (5) 求得的 e_j 即为像元 j 的误差信息。而且, 由一组顺序图像的统计时间平均求得的误差信息对偏移系数的修正效果较好。

最理想的修正过程是图像误差不包含任何场景信息, 但这在实际中是不可避免的, 尤其是图像的边缘信息经常会强行叠加到校正系数中。在场景变换时, 图像上便会有之前图像的边缘阴影, 俗称“鬼影”。为了消除图像阴影, 我们在系数修正中加入修正判断, 以此来区分是图像边缘还是脉冲噪声。如果是图像边缘, 则保留原校正系数; 如果是脉冲噪声, 则根据误差信息修正系数。将中值滤波模板的 9 个值从小到

大排列, 即 $\{U_1^k, U_2^k, U_3^k, U_4^k, U_5^k, U_6^k, U_7^k, U_8^k, U_9^k\}$, $U_{m-1}^k < U_m^k < U_{m+1}^k$ 。然后去除最大值和最小值, 即

$$(K_{up})_j = \sqrt{\frac{1}{7} \sum_{m=2}^7 (\tilde{U}_j^k - U_m^k)^2} \quad (6)$$

由式 (6) 求得判断值。对系数的修正取决于判断值与门限值的比较。若判断值小于门限值, 则修正系数, 反之则保留原系数, 即 $(K_{up})_j < (K_s)_j$: 修正系数。其中, K_s 是系数修正的门限值。这样一个简单的判断过程就会使校正效果得到明显提高。只须通过一次定标, 根据探测器响应特

性修正校正系数, 并用修正后的系数进行非均匀性校正, 便可始终得到高质量图像。

非均匀性校正的另一个重要环节是盲元替换。从硬件实现的角度考虑, 可采用盲元邻近单元的前一个校正图像值来进行替代。

2 自适应两点校正法的硬件实现

自适应两点校正法用到的红外图像处理系统主要由红外焦平面阵列 (IRFPA)、高速 A/D 转换器、可编程逻辑器件 (FPGA)、外围存储器 (SDRAM)、高速 D/A 转换器以及图像显示设备构成。图 1 所示为该系统的组成框图。

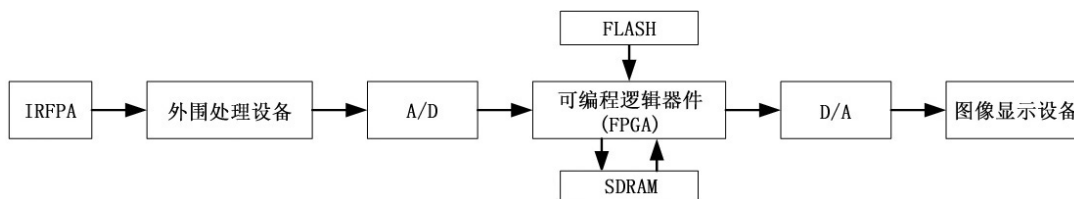


图 1 自适应两点校正法的原理框图

FPGA 通过软核 CPU 提供红外焦平面阵列所需的驱动脉冲, 近贴板的偏置电路提供红外焦平面阵列所需的电压。模拟电路将输入的图像信号调整到 A/D 的动态范围。经过 A/D 转换, 模拟信号被转换成数字信号并送入 FPGA 进行处理。

在存储设计中, 用 Flash 存储初始校正系数, 这样在没有电流供应的条件下也能长久保持数据。用 SDRAM 存储实时校正系数, 断电后则擦除其中数据。在开机上电或者系统复位时,

FPGA 读取 Flash 中的初始校正系数, 并将其存储到 SDRAM 中。当输入数字图像原始信号时, 读取 SDRAM 中的系数, 进行非均匀性校正。统计 100 帧校正图像信息, 并根据判断准则对 SDRAM 中的系数进行修正, 然后将修正后的系数重新写入 SDRAM。如此重复以上过程, 便可实现自适应红外图像非均匀性实时校正。

3 实验结果

图 2 是非均匀性校正前后的两幅图像。图 2



(a) 校正前



(b) 校正后

图 2 非均匀性校正前后的图像

(下转第 27 页)