

Research on Nonuniformity Correction for Infrared Image by Using FPGA

Ke XIAO, Yandong SHEN, Yi FENG, Jingzhong WANG

College of Information Engineerin , North China University of Technology , Beijing, China

Email: zehan_xiao@yahoo.com.cn, syd613@126.com

Abstract: This paper presents a FPGA-based realization program of the infrared focal plane nonuniformity correction, including the hardware design and software programming of the correction system. The results show that the proposed method is able to process the real-time nonuniformity correction of infrared image and effectively suppress the nonuniformity of the device with high-speed and scalable features. It is particularly suited for the real-time correction of large array uncooled infrared focal plane and is able to enhance and improve the infrared image quality.

Keywords: infrared focal plane array; nonuniformity correction; two point correction

基于 FPGA 的红外图像非均匀校正方法的研究

肖珂, 申延东, 冯 伟, 王景中

北方工业大学信息工程学院, 北京, 中国, 100144

Email: zehan_xiao@yahoo.com.cn, syd613@126.com

摘 要: 本文提出了一种基于FPGA的红外焦平面非均匀性校正的实现方案, 包括校正系统的硬件设计及软件编程。结果表明: 该方法具有高速、可扩展的特点, 可实时完成红外图像非校正处理, 并有效地抑制了器件的非均匀性, 特别适合于大阵列非制冷红外焦平面的实时校正, 提高和改善红外图像质量。

关键词: 红外焦平面阵列; 非均匀校正; 两点校正

1 引言

由于许多无法控制的因素和工艺水平的限制, 红外探测器每个光敏元的响应率不可能完全一致, 其直流偏置也不同, 这种响应和偏置的非均匀性, 使成像系统即使在均匀背景照射下输出的图像亮度也不一致, 出现许多亮斑或条纹, 即红外焦平面探测器中各探测单元辐射响应随空间位置发生变化, 称为红外焦平面阵列的非均匀性(NU), 也称为空间噪声、固定图像噪声^[1]。这种非均匀性导致系统的温度分辨率下降, 使目标图像的质量受到严重影响。

一定时期内, 图像的非均匀性主要表现为固有图像空间噪声, 总体属于低间噪声, 并含有少数非均匀性突出的探测单元。红外成像系统在使用时都需要经过非均匀性校正, 校正后非均匀性可大大降低, 但仍然存在不可忽略的校正残差, 它是红外成像系统自身空间噪声的主要来源。红外图像的非均匀性校正残差

与校正方法有关, 也与工作环境温度和背景特性有关。另外, 由于器件工作条件和自身性能的变化, 器件的非均匀性会随着时间的而更加严重, 因此, 红外成像系统在使用时需要定期进行非均匀性校正。

2 红外焦平面的非均匀校正方法

目前出现的多种校正方法可以大致归为两类: 基于红外参照源的校正算法和基于场景的校正算法。其中基于红外参照源的校正算法包括常用的一点校正法、两点校正法和多点校正法等; 基于场景的校正算法包括时域高通滤波法、人工神经网络法等^[2]。

尽管基于场景的校正方法得到了广泛的研究和发展, 但在实际的红外成像系统中, 特别是硬件电路实时校正时, 基于黑体的非均匀性校正方法仍然是IRFPA非均匀性校正的主要方法^[3]。因为基于黑体的非均匀性校正方法原理简单, 硬件易于实现和集成, 对目标没有任何要求, 也易于相互比较, 是IRFPA系统公认的评估手段。并且, Planck辐射定律和红外探

测器的线性响应模型是所有自适应类方法的数学和物理基础，很多的场景校正之前都需要多原始图像进行基于黑体的校正。

基于黑体的非均匀性校正中，两点校正一直作为成像中常用的方式，而且线性响应的模型证明了两点校正的可行性^[4]。在本系统实现中，定标的方案就是采用两点的非均匀性校正。

3 非均匀校正算法

两点定标线性校正算法的实质是在两个定标点 $\phi 1$ 和 $\phi 2$ 建立起任一光敏元的校正后输出信号值与待校正输出信号值之间的函数关系。

$$S'_{ij}(\phi) = [S_{ij}(\phi) - S_{ij}(\phi 1)] \times [S(\phi 2) - S(\phi 1)] / [S_{ij}(\phi 2) - S_{ij}(\phi 1)] + S(\phi 1) \quad (1)$$

式中， $S'_{ij}(\phi)$ 为任一光敏元的校正后输出信号值， $S_{ij}(\phi)$ 为任一光敏元的待校正输出信号值， $S(\phi 1)$ 、 $S(\phi 2)$ 是在两个定标点 $\phi 1$ 和 $\phi 2$ 下光敏元的输出信号平均值。

从式(1)中可以看出，经过校正后，任一光敏元的校正后信号值与待校正信号值之间是线性关系，即：

$$S'_{ij}(\phi) = K_{ij} S_{ij}(\phi) + H_{ij} \quad (2)$$

其中：

$$K_{ij} = [S(\phi 2) - S(\phi 1)] / [S_{ij}(\phi 2) - S_{ij}(\phi 1)] \quad (3)$$

$$H_{ij} = S(\phi 1) - [S(\phi 2) - S(\phi 1)] / [S_{ij}(\phi 2) - S_{ij}(\phi 1)] \times S_{ij}(\phi 1) \quad (4)$$

有了参数 K_{ij} （增益校正因子）和 H_{ij} （偏移校正因子）根据公式(2)可以计算出两个定标点 $\phi 1$ 和 $\phi 2$ 之间焦平面器件所有光敏元的校正输出值 $S'_{ij}(\phi)$ 。

两点校正算法的示意图如图1：

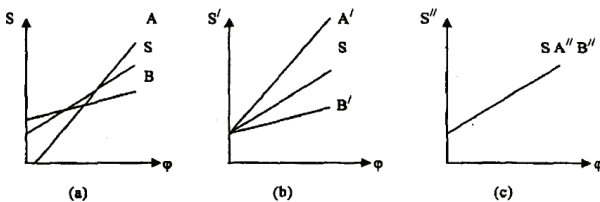


Figure 1. Curves: two point NUC algorithm
图 1. 两点校正算法图示

校正过程分两步:首先将图1(a)中的曲线A、B作平移变换得到图1(b)，这一步实现了对暗电流非均匀性

的校正；然后将A、B曲线以S曲线为标准做旋转变换得到图1(c)，这一步实现了对响应率非均匀性的校正。至此，三条曲线完全重合，实现了曲线A、B的两点校正。

4 非均匀校正的实现

4.1 非均匀校正系统的硬件设计

非制冷红外焦平面热成像系统的工作流程为：来自目标物体的红外线辐射经过光学系统聚焦在焦平面阵列感光像素单元上，焦平面将接受到的光信号转换为电信号并进行积分放大，然后通过输出缓冲和多路传输系统将每一个像素单元的模拟信号输出，该模拟信号经过低通滤波后进行A/D转换，然后在可编程逻辑器件FPGA的时序控制下把采集的一帧数字图像存储到缓存器中。非均匀校正系统是在此基础上实现对原始图像的非均匀性校正，然后通过VGA接口在液晶显示器上实时显示出来，以观测校正效果。如果想取得更好的效果，可以对校正后的数据再进行图像增强以提高图像质量，常见方法有对比度调整、中值滤波等^[5]。

系统的硬件框图如图1所示：

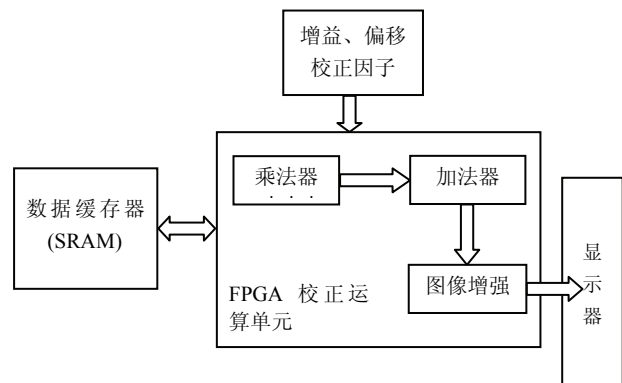


Figure 2. Nonuniformity correction system diagram based on FPGA
图2. 基于FPGA的非均匀校正系统框图

FPGA需要外接两个SRAM器件，一个存放增益校正因子，另一个存放偏量校正因子，因为每个像素需要两个校正因子，这样可以提高读取的速度。由于增益校正因子和偏量校正因子一般不为整数，如果采用浮点数计算，对硬件的要求将变的很高，因此我们要将浮点运算转换为定点运算来处理。采用定点运算时由于对精度的要求不同，可以采用不同的位数。

由于 SRAM 掉电后数据会丢失，因此采用一片 FLASH 存储校正参数，系统上电后先进行初始化，

FPGA 控制时序将存储在 FLASH 中的参数分别读取到两片 SRAM 中。初始化完毕后即可开始校正工作，在采集完一帧数据后校正开始信号有效，FPGA 控制从数据缓存器逐位读取各个像素点的数值，分别进行乘法和加法运算，完成校正运算。

4.2 非均匀校正算法的实现

本设计采用 Verilog HDL(High Speed Integrated Circuit Hardware Design Verilog) 语言，利用 QUARTUS II 软件编程实现。Verilog HDL 是硬件描述语言的一种，距今已有几十年的发展历史，作为一种结构化和过程性的语言，其语法结构非常适合算法级和 RTL 级的模型设计。

设计采用模块化的设计方法，将工程细分为若干小的模块，每个模块都会实现一个特定的功能，模块之间又可以相互通信。顶层模块原则上是不做时序逻辑或者组合逻辑设计的，仅仅是定义接口，向上做成一个简单的封装，向下把子模块粘合起来。采用模块化设计可以提高编程效率，也有利于系统的维护和扩展。

本文划分的模块如图3：

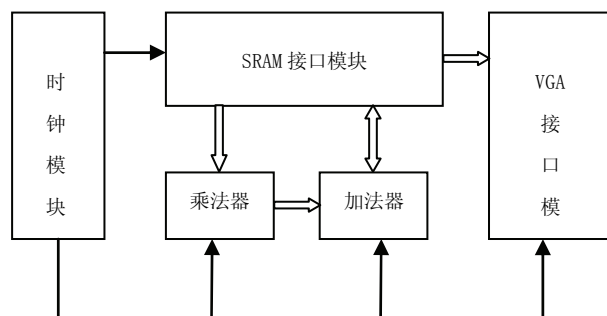


Figure 3. Two point NUC block diagram
图 3. 两点算法模块框图

时钟可以比喻成数字逻辑中的血液，在FPGA中一般都有全局时钟网络和锁相环资源，可以用来改善时钟。而乘法器模块和加法器模块则可以直接调用软件中提供的IP核，不仅可以提高效率节约开发时间，而且可以提高设计性能。在设计中无论是整个系统的顶层设计上，还是在乘法器和加法器上都完全地贯彻流水线的思想，从而使FPGA工作的并行度大大提高，完全能够满足实时性的要求。

5 校正效果分析

用上面调试好的系统进行成像实验，得到如下的结果。

原始图像：

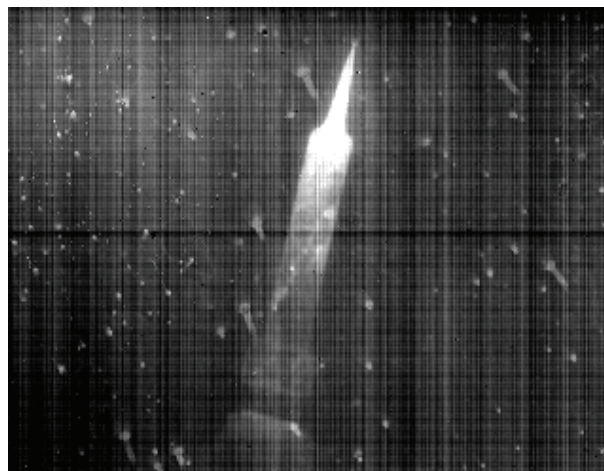


Figure 4. Original image
图4. 原始图像

采用非均匀校正后的图像：

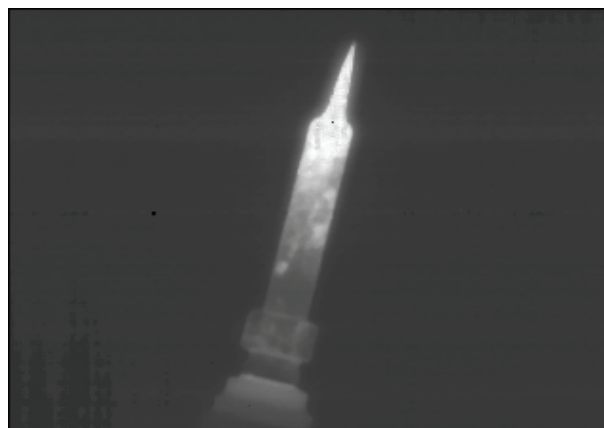


Figure 5. Image after correction
图 5. 校正后图像

通过校正前后的图像对比明显可以看出，采用非均匀校正后取得了明显的效果，图像变得清晰直观起来。

6 结束语

本文阐述了红外图像的非均匀性产生的原因以及校正理论和方法，重点研究采用基于参照源的两点校正法，利用FPGA器件对红外成像的非均匀性进行校正。实验结果表明，本设计能够正常地工作，并且校正的结果抑制了器件带来的非均匀性，很好地提高了图像的质量。

References (参考文献)

- [1] Milton A F, Barone F R. Influence of nonuniformity on infrared focal plane array performance. *Optical Engineering*[J], 1985, 24 (5), P855–862.
- [2] E.Flannery Robert,E.Miller James.Status of Uncooled Infrared Imagers[J]. *Journals of SPIE*.1992,1689, P379–395.
- [3] Robert Murphy, Margaret Kohin, S.Backer Brian, et al. Recent Developments in Uncooled IR Technology[J]. *Journals of SPIE*. 2000, 4028, P12–16.
- [4] He Xingren, The Applications of I R Focus Plane Array and Its Development Trends[J], *Optoelectronic Technology & Information*, 1997, 10(1), P1–8(Ch).
何兴仁, 红外焦平面阵列的应用与发展动向[J], *光电子技术与信息*, 1997, 10(1), P1–8.
- [5] Wang Bingjian, Liu Shangqian, Cheng Yubao, Real-time Image Processing System for IRFPA Based on FPGA[J], *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(6), P655–658(Ch).
王炳健, 刘上乾, 程玉宝.基于 FPGA 的红外焦平面实时图像处理系统[J], *红外与激光工程*, 2006, 35(6), P655–658.