

·信号与信息处理·

## 红外图像预处理设计及非均匀性算法应用

王风贺, 杨 乾, 王 刚

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

**摘要:**在红外图像信息处理中,首先要对采集到的图像信号进行预处理。以SOFRADIR公司的320×240元红外探测器芯片为例,介绍基于DSP处理器和FPGA的图像预处理系统的硬件设计,以及图像预处理非均匀性算法的研究。在图像预处理系统的硬件平台上,通过采用非均匀性算法中的两点校正法,对所采集到的红外图像信号进行预处理,取得了较好的效果,证明了硬件系统的合理性和算法设计的可行性。

**关键词:**红外图像预处理;非均匀性校正;两点校正;盲元

中图分类号:TP317.4

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2013)-05-0046-03

## Design of Infrared Image Pre-processing and Application of Non-uniformity Algorithm

WANG Feng-he, YANG Qian, WANG Gang

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

**Abstract:** During the processing of infrared image information, the sampled image information should be pre-processed at first. According to 320×240 infrared detection chip of SOFRADIR company, the hardware design based on digital signal processor (DSP) and field programmable gate array (FPGA) image pre-processing system is introduced. And the non-uniformity algorithm of image pre-processing is researched. The collected infrared image signals is pre-processed on the hardware platform of image pre-processing system by two-point correction method of non-uniformity algorithm and better results are obtained. The rationality of the hardware system and the feasibility of the algorithm design are proved.

**Key words:** infrared image pre-processing; non-uniformity correction; two-point correction; blind pixel

随着红外成像技术的不断发展,红外探测技术得到越来越广泛的应用。但由于红外探测器件本身特性的影响,对所采集到的红外图像效果存在信噪比较低、对比度较弱、视觉效果和分辨图像细节能力较差等方面不足<sup>[1]</sup>,因此对所采集到的图像需要进行预处理。在介绍红外图像预处理硬件电路的基础上,研究了非均匀性校正算法在红外图像预处理中的应用。实验表明,所采用红外图像预处理方法能够有效地改善图像品质,提升红外系统分辨能力。

### 1 红外图像信息的预处理

对于红外CCD图像传感器而言,红外图像预处理主要用在红外图像采集之后,图像显示存储之前。而采用的非均匀性校正目的就是通过校正使得图像传感器所有光敏单元在相同辐照度下表现出完全相同的光电转换关系。该功能模块主要由一片DSP(TM3206416)和一片FPGA(EP3C120F)组成,并根据需求在外围配置电源输入电路、信号采集电路、存储电路和视频转换输出电路等功能模块。DSP芯

片在该系统中主要是完成对采集到的数字图像信息进行盲元替换、非均匀性校正、滤波等功能;FPGA芯片具有独立灵活且可配置的输入输出接口,主要完成数据的缓冲处理、信号完整性处理、为CCD提供时序驱动信号、以及与SDRAM频繁的数据交换等辅助性功能。预处理模块硬件原理框图如图1所示。

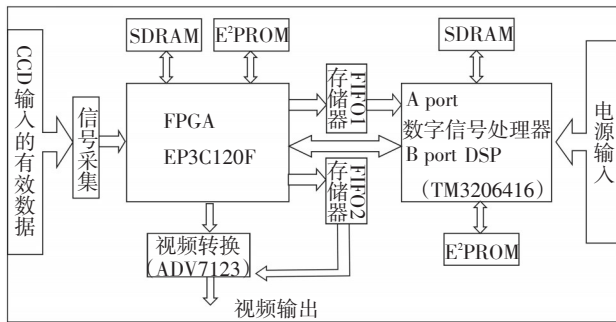


图1 预处理模块硬件原理框图

设计采用两点校正法来实现非均匀性校正,其算法简单,易于硬件实现,是目前工程中常用的非均匀性校正方法,设计中采样查找表的方法完成,实时性比较强。首先CCD的图像信号通过差分总线的形式输入到信号采集电路中,信号采集电路对输入信号进行采集处理,然后将处理后的数据送入FPGA(EP3C120F)中,此数据流通过先入先出存储器(FIFO)经A端口缓冲传输到DSP。DSP首先把非均匀校正增益和偏移量提前存储在内部FLASH数据存储器内,将采集到的图像信息经过FPGA处理,经由FIFO缓冲传输到DSP的同时,对内部FLASH数据存储器寻址,从内部FLASH存储器中读出增益和偏移量,然后再按照一定的算法进行逻辑运算和线性运算,完成红外图像的非均匀性校正及盲元替换。DSP将处理好的数据通过B端口送回FPGA(EP3C120F)中,FPGA通过先入先出存储器(FIFO)缓冲传输到视频输出模块(ADV7132)进行视频显示。校正后的数据在预定消隐时间内存入SDRAM数据存储器,以便进行数字信号的其他处理。

## 2 非均匀性处理算法的研究

红外探测器的非均匀性主要包括以下几方面的含义:第一是空间的非均匀性,是指对于同一光通量不同敏感元的响应率不同。个别敏感元甚至对不同的光通量的响应不发生变化或是很小的变化,也就

是盲元。第二是时间非均匀性,是指同一敏感元在不同时间对相同光通量的响应不同,即非均匀性是时变的。第三是探测器各个敏感元对同一光通量增量的响应不同,即非线性。第四是由于敏感元的截止波长不同而产生的非均匀性<sup>[2-3]</sup>。

### 2.1 非均匀性模型

为了便于研究,过去常认为探测器的响应特性是线性的,见式(1)

$$V(\varphi) = K\varphi + Q \quad (1)$$

式中, $\varphi$ 为投射到探测器光敏元上的辐照度, $K$ 为表征探测器响应特性的增益系数或特性曲线的斜率, $Q$ 为探测器暗电流形成的偏移量或特性曲线的截距, $V(\varphi)$ 为探测器相应的响应输出。不均匀性会导致探测器光谱响应的不均匀性,因而必然会导致探测器对连续光谱辐射的相应非线性<sup>[4]</sup>。因此有必要建立非线性模型。

### 2.2 一点校正法

这是较为经典非均匀性校正算法,针对具体情况,又可以分为两种校正法。

#### (1) 偏置不均匀一点校正法

选取辐照度 $\varphi_1$ 为定标点,对所有 $N$ 个探测器单元的输出响应 $V_i(\varphi_1)$ 求平均

$$V_i(\varphi_1) = \sum_1^n V_i(\varphi_1) / N \quad (2)$$

则在任一辐照度下探测器各单元的响应输出 $V_i(\varphi)$ 可以校正为

$$V'_i(\varphi) = V_i(\varphi) - V_i(\varphi_1) + V(\varphi_1) \quad (3)$$

这种算法主要针对探测器的偏置不均匀性。对于增益系数不均匀,则要用另外一种算法。

#### (2) 增益系数不均匀一点标定法

选取辐照度 $\varphi_1$ 为定标点,对探测器所有 $N$ 个像元的相应值 $V_i(\varphi_1)$ 求平均(见式(2)),将探测器各像元的响应 $V_i$ 校正为其平均响应(也就是所谓的理想响应) $V_s$ 。根据假设,能够求得

$$a_i = \frac{V_i(\varphi_1)}{V(\varphi_1)} \quad (4)$$

标定出校正因子 $a_i$ 以后就可以进行红外图像的非均匀性校正

$$V'_i(\varphi) = a_i V_i(\varphi) \quad (5)$$

式中,  $V_i(\varphi)$  为第  $i$  个单元的实际响应,  $V'_i(\varphi)$  为校正后的响应值。

### 2.3 两点校正法

以上分析的一点校正法可分别针对偏置不均匀和增益不均匀的情况。尽管针对性很强,但二者很难兼顾,因为实际系统往往都是二者兼有的。可知一点校正法一般都是作为理论分析,而无实际的工程意义<sup>[5]</sup>。因此,两点校正法就应运而生了。

两点校正法主要针对一点校正法对于增益不均匀性和偏置不均匀性二者不能兼顾的情况,根据探测器及后续信号处理电路的响应处理动态范围,选取  $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$  两个不同的辐照度进行定标,得到  $N$  个探测器单元的响应:  $V_i(\varphi_1) = A_i V_i(\varphi_2)$  ( $i = 1, 2, 3 \dots N$ ) 然后根据式(4)求平均,得出  $V(\varphi_1) A_i V(\varphi_2)$ , 这样便可以求出校正因子  $k_i$ ,  $b_i$

$$V(\varphi_1) = k_i V_i(\varphi_1) + b_i \quad (6)$$

$$V(\varphi_2) = k_i V_i(\varphi_2) + b_i$$

可得

$$k_i = \frac{V(\varphi_2) - V(\varphi_1)}{V_i(\varphi_2) - V_i(\varphi_1)} \quad (7)$$

$$b_i = V_i(\varphi_1) - k_i V_i(\varphi_1)$$

式中,  $i$  为探测器像元数,  $i = 1, 2, 3 \dots N$ , 然后可以根据校正因子,将一幅辐照度  $\varphi$  下探测器单元的响应输出  $V_i(\varphi)$  校正为

$$V'_i(\varphi) = k_i V_i(\varphi) + b_i \quad (8)$$

对以上算法只做简单介绍,详细数学模型可查有关材料。

### 2.4 多点插值校正算法

两点校正法基于探测器响应的线性模型,具有算法简单、计算量小的特点,但由于线性模型与实际系统还是有较大差别,有人便提出了多项式插值算法<sup>[6]</sup>。

在系统动态范围之内,选取  $M$  个辐照度  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$ , 分别对  $N$  个探测单元进行辐射定标,得到探测器对应的输出响应  $V_i(\varphi_j)$ , 如式(9), 求出辐照度  $\varphi_j$  ( $j = 0, 1, 2 \dots M$ ) 下探测器单元的平均响应

$$V_i(\varphi_j) = \sum_{i=1}^N V_i(\varphi_j) / N \quad (9)$$

然后根据多项式拟合算法,求出任一幅辐照度  $\varphi$  下每个探测器的输出响应与平均响应的映射关系,

得到拟合函数

$$V'_i(\varphi) = f(V_i(\varphi), V_i(\varphi_0), V_i(\varphi_1), \dots, V_i(\varphi_m), V_i(\varphi_0), V_i(\varphi_1), \dots, V_i(\varphi_m)) \quad (10)$$

根据系统要求,可以采用三次样条、两次样条、拉格朗日多项式等拟合算法。这种算法的特点是精度高、计算量大<sup>[6]</sup>。以三次样条为例,对于拟合得到的三次样条函数  $ax^3 + bx^2 + cx + d$ , 校正的时候需要进行8次乘法运算。

### 2.5 两点多段校正法

针对多点插值校正算法运算量大的不足,本着多点逼近的思想,提出了两点多段校正法<sup>[7]</sup>。根据实际系统的要求,在系统的动态范围内,选取  $M+1$  个辐照度  $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$ , 分别对  $N$  个探测单元进行辐射定标,得到探测器对应的输出响应  $V(\varphi_j)$ , 如式(8)所示, 求出辐照度  $\varphi_j$  ( $j = 0, 1, 2, \dots, m$ ) 下探测器单元的平均响应  $V(\varphi_j)$ 。按照辐照度等级分成  $M$  个区间  $(\varphi_{i-1}, \varphi_i)$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, M$ ), 在每个区间内按照两点校正法进行校正, 求出每个区间的校正参数  $k_{i,j}$ ,  $b_{i,j}$

$$k_{i,j} = \frac{V(\varphi_j - 1) - V(\varphi_j)}{V_j(\varphi_j - 1) - V(\varphi_j)} \quad (11)$$

$$b_{i,j} = V(\varphi_j) - k_{i,j} V_i(\varphi_j)$$

这样对于任一辐照度  $\varphi$ , 探测单元的响应  $V_i(\varphi)$  可以这样校正: 首先判断  $V_i(\varphi)$  属于  $M+1$  个表定点的  $M$  区间的哪一个

$$V_i(\varphi_j - 1) < V_i(\varphi) \leq V_i(\varphi_j) \quad (12)$$

求得  $j$ , 则  $V_i(\varphi)$  可以校正为

$$V'_i(\varphi) = k_{i,j} V_j(\varphi_2) + b_{i,j} \quad (13)$$

可以看出, 两点多段法的校正过程分两步, 第一步判断区间, 只是进行一些比较运算, 第二步进行的是校正运算也只有一次乘法, 比多点插值校正法运算量大为减少<sup>[8]</sup>。

此外, 有关学者还介绍了很多其他的非均匀性校正方法, 比如神经网络算法、自适应算法、偏执均衡算法等<sup>[9]</sup>。但在实际工程中最常用的是两点校正法, 该算法不仅对器件的暗电流作了补偿, 还对增益作了校正, 应用两点校正法在对具有线性响应的图像传感器进行校正时, 可以取得很好的校正效果, 易于硬件实现, 是一种简单而有效的校正方法。文中设计采用的是两点校正非均匀性算法。

(下转第53页)

控技术,2009,30(9):27-31.

- [9] K Bay, D Camarillo, W Piyawattanametha, et al. Real-time image mosaicing with a hand-held dual-axes confocal microscope[C]// Progress in Biomedical Optics and Imaging. Proc.

of SPIE, 2008, 6851: 68510F1-9.

- [10] 杨技昊,王开.Visual C++数字图像获取处理及实践应用[M].北京:人民邮电出版社,2002.

(上接第48页)

### 3 试验结果

Sofradir公司的 $320 \times 240$ 长波非制冷红外焦平面阵列,所有探测单元响应(曲线)都不同,焦平面阵列上的非缺陷像元都有不同的增益和偏差响应,其非均匀性超过60%,不进行非均匀性校正,就不能得到可视的红外图像。图2是用Sofradir公司的 $320 \times 240$ 长波非制冷红外焦平面阵列采集的,经预处理电路但未经非均匀性校正的红外图像。图3是经预处理电路并经非均匀性校正后的红外图像。两幅图像比较可以看出,进行处理后的图像效果得到明显的改善。

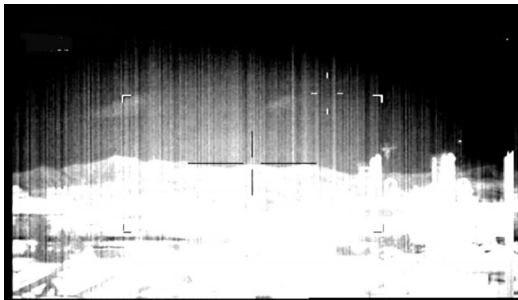


图2 未校正前红外图像



图3 校正后红外图像

### 4 结论

非均匀性校正一直是红外图像处理中的关键技术,在实际工程中,应用目的不同对非均匀性校正的要求也不同。对于要求低的红外图像系统,采用较为简单预处理电路和算法模型,即可降低成本,也能够满足使用。相反,对于要求较高的红外图像系统,所采用的预处理电路和算法模型根据实际情况进行设计和采用。因此,对不同的应用需要合理设计和分析,使得选用的预处理电路和算法模型,即要满足实际应用同时又满足设计的最优化。

### 参考文献

- [1] 阮秋琪.数字图像处理[M].北京:电子工业出版社,2005.
- [2] 高文清,徐世伟.基于FPGA的线性探测器非均匀校正的实现[J].光电技术应用,2012,24(3):77-78.
- [3] 刘禾.数字图像处理及应用[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [4] 王炳健,刘上乾,李庆.基于FPGA的红外焦平面阵列实时非均匀性校正[J].半导体光电,2006,27(1):79-82.
- [5] 李言旭,孙德新,刘银年.基于多项式拟合的红外焦平面非均匀性校正[J].激光与红外,2005,35(2):104-107.
- [6] Joyce Van de Vegete.数字信号处理基础[M].北京:电子工业出版社.
- [7] 姚敏.图像处理[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [8] LI Yan-xu, SUN De-xin, LIU Yin-nian. Polynomial fitting-based on nonuniformity correction of infrared focal p lanear-rays[J]. Laser & Infrared, 2005, 35 (2):104-107.
- [9] CAI Rong-tai, SUN Hong-hai, WANG Yan-jie. Chip designof linear CCD drive pulse generator and control interface[J]. Proc. SPIE,2006,6.