

一种基于探测元响应非线性的两点校正算法

姚琴芬¹, 顾国华²

(1. 江苏广播电视大学, 江苏 南京 210036; 2. 南京理工大学南京, 江苏 南京 210094)

摘要:针对焦平面器件现有非均匀性校正算法在实际应用中存在的问题,结合探测器的非线性模型对两点校正算法进行改进,提出了基于探测元响应非线性的两点校正算法,该算法是在最小二乘意义上的曲线拟合。通过将该算法与传统的两点校正法和四点校正法在残留非均匀性和校正速度两个方面的比较,说明该方法具有校正精度高、动态范围大、易于工程实时实现等优点。

关键词:红外焦平面阵列; 两点校正; 非线性响应; 最小二乘逼近

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Method of Two-point Correction for IRFPA with Nonlinear Response

YAO Qin-fen¹, GU Guo-hua²

(1. Jiangsu Radio & Television University, Nanjing 210036, China;

2. Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Based on the analysis of the existing problems of ordinary nonuniformity correction algorithms for IRFPA, a method of two-point correction for IRFPA with nonlinear response is proposed. The algorithm is curve fitting based on least square approximation. Compared with the traditional two-points correction and four-points correction, this method has perfect performance of high precision, broad dynamic range and easy to realize in engineering.

Key words: infrared focal plane arrays; two-points temperature correction; nonlinear response; least square approximation

1 引言

受工艺水平的限制,红外焦平面探测器存在非均匀性(NU),这种非均匀性使目标图像的成像质量受到严重的影响,因此,必须对红外焦平面器件进行非均匀性校正。目前出现的非均匀性校正方法有很多,其中传统的两点校正法原理简单,计算量小,实时实现比较容易,但由于探测元实际温度响应曲线的非线性使该算法校正精度不高;多点校正法校正精度高,但该算法由于需要存储的参数个数较多,存在难以实时校正的缺陷。

针对现有非均匀性校正算法存在的问题,结合探测器的非线性模型,本文提出了一种校正精度高并能实现实时校正的算法——基于探测元响应非线性的两点校正算法。希望能通过该算法的实时非均匀性校正来改善焦平面阵列的性能,提高红外成像系统的质量。

2 基于探测元响应非线性的两点校正算法

2.1 焦平面器件的实际温度响应曲线

本文通过测出不同辐射通量下各个像元的输出电压,然后通过大量的实验数据对测得的输出电压与辐射通量值进行曲线拟合的方法得到探测器的实际温度响应曲线。

通过实验得到了环境温度分别为 19℃, 20℃, 21℃, 22℃, 23℃, 每一环境温度下目标黑体(均匀辐射黑体)温度分别为 10℃, 20℃, 30℃, 35℃, 40℃, 50℃, 60℃, 70℃, 80℃, 90℃, 100℃时采集的 25 帧图像的平均电压响应值 66 组,数据结果如表 1 所示。

作者简介:姚琴芬(1978 -),女,讲师,硕士,主要从事红外图像处理,光电数据采集与处理等领域的研究工作。E-mail: yaoqf@jst-vu.edu.cn

收稿日期: 2007-10-24; **修订日期:** 2007-12-13

表 1 探测器的平均响应值

平均响应值 /V		环境温度/℃				
		19	20	21	22	23
黑体温度 /℃	10	2.1746	2.1681	2.1650	2.1821	2.1902
	20	2.2093	2.2030	2.2002	2.2135	2.2211
	30	2.2513	2.2482	2.2421	2.2563	2.2642
	35	2.2825	2.2783	2.2734	2.2862	2.2942
	40	2.3115	2.3075	2.3021	2.3145	2.3221
	50	2.3727	2.3687	2.3636	2.3778	2.3853
	60	2.4404	2.4364	2.4312	2.4463	2.4545
	70	2.5098	2.5053	2.5006	2.5159	2.5237
	80	2.5927	2.5882	2.5835	2.5987	2.6033
	90	2.6708	2.6663	2.6610	2.6758	2.6832
	100	2.7653	2.7611	2.7560	2.7708	2.7781

在某一环境温度下(取 20℃),以目标温度为横轴,目标的平均灰度响应值为纵轴,对数据进行最小二乘法拟合,得出该焦平面的实际温度响应曲线近似为抛物线(如图 1 所示)。通过实验,发现其他环境温度下探测器的温度响应曲线图与图 1 相似。

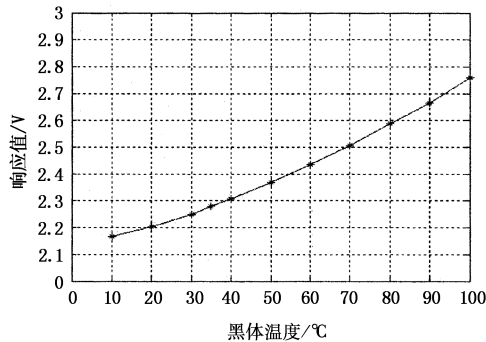


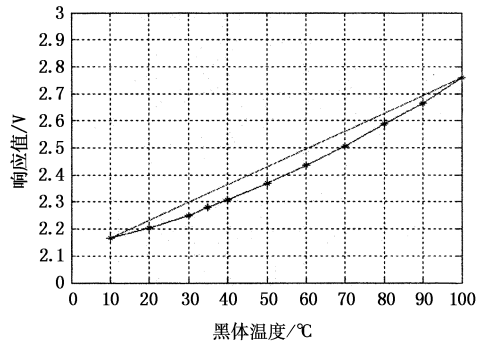
图 1 红外焦平面探测器的响应曲线(环境温度 20℃)

2.2 基于探测元响应非线性的两点校正算法原理

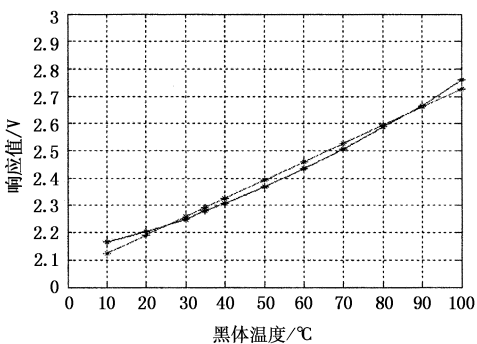
图 2 中的曲线是根据实验数据得到的探测器的实际温度响应曲线。原始的两点校正法以低温和高温两个定标点确定一条校正直线(如图 2(a)所示),而实际的响应曲线类似于抛物线,因此,用传统的两点校正算法对在其标定温度范围内的其他温度点进行校正时就可能存在比较大的误差。本文对探测器的实际响应曲线直接采用最小二乘意义上的曲线拟合得到一条离实际响应曲线偏差最小的理想直线(如图 2(b)所示),然后根据拟合后的直线进行两点校正。

通过图 2(a)、(b)中两条直线与探测器真实响应曲线的关系对比可以看出,通过最小二乘法拟合得到的直线比传统的两点校正直线更加接近实际响应曲线,因此,先对探测器的实际响应曲线根据最小二乘法原理进行直线拟合,再根据拟合后的直线进行两点法校正,其校正精度必将大大提高,同时,其校正速度与两点校正法相同。这样,就在保证校正

速度的同时提高了校正精度,是一种切实可行的校正算法。



(a) 两点校正直线与实际响应曲线的关系



(b) IRFPA 响应曲线的直线拟合

图 2 基于探测元响应非线性的两点校正算法原理图

3 各种校正方法的比较

下面分别从校正后的残留非均匀性和实时校正速度两个方面对各种校正方法进行比较。

3.1 校正后的残留非均匀性比较

实验中以 30℃ 黑体图像为例,分别从非均匀性计算结果、非均匀性校正效果图和图像数据生成的任一行(列)的非均匀性二维图形三个方面,对三种校正方法校正后的残留非均匀性进行比较。

3.1.1 非均匀性计算结果的比较

在计算非均匀性时,采用非均匀性的定义公式:

$$NU = \frac{1}{V_{avg}} \sqrt{\frac{1}{M \times N - (d + h)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (V_{ij} - V_{avg})^2} \times 100\%$$

根据上述公式计算出同一灰度级图像分别用以上三种方法校正后的非均匀性(M=320,N=240,d=5,h=6)数据如表 2 所示。

表 2 三种校正方法校正后的残留非均匀性比较

校正方法	校正效果 残留非均匀性 NU/%
原始图像	4.317
两点校正	0.114
四点校正	0.06
基于探测元响应非线性的两点校正	0.07

3.1.2 非均匀性校正效果图对比

图 3 是经过成像系统采集的 30℃ 黑体图像及各种校正方法进行校正后的图像。

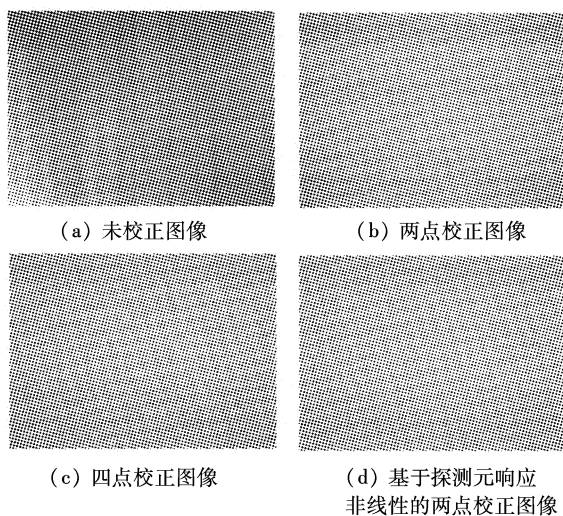


图3 等灰度级图像校正前后的图像非均匀性比较

3.1.3 各种方法校正后图像第160行的非均匀性比较

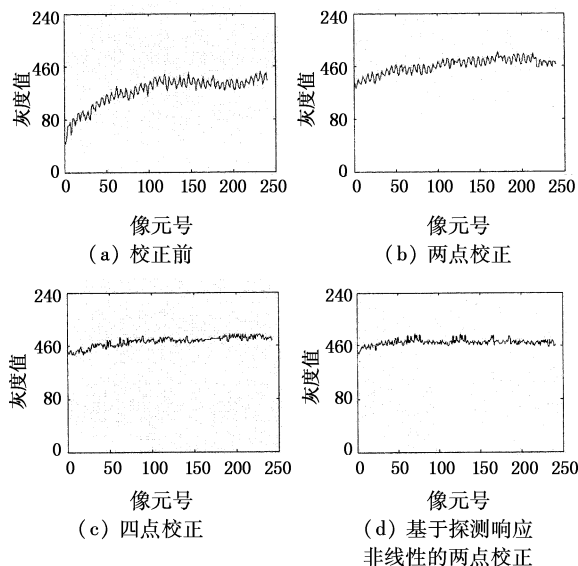


图4 等灰度级图像在三种方法校正后第160行的非均匀性比较

从以上对各种校正方法校正后残留非均匀性的比较可以直观地看出:四点校正法和基于探测元响应非线性的两点校正算法的校正效果优于传统的两点校正法。

3.2 校正速度的比较

算法的复杂程度将影响系统的实时校正速度。非均匀性校正过程中需要对每个数据进行至少一次的乘和加运算,因此,如果校正方法太复杂,将难以实现图像处理系统实时校正的功能。

对以上三种校正方法进行校正速度的测试结果如表3所示。从表中可以看到:基于探测元响应非线性的两点校正法的实时校正速度快于四点校正。

表3 三种校正方法校正速度的比较

校正方法	两点校正	四点校正	基于探测元响应非线性的两点校正
显示速度/($f \cdot s^{-1}$)	25	20	25
存储参数个数	2	6	2

4 硬件实现及校正效果

基于探测元响应非线性的两点校正算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(SRAM)、DM642DSP芯片及图像显示设备构成。该系统原理框图如图5所示。

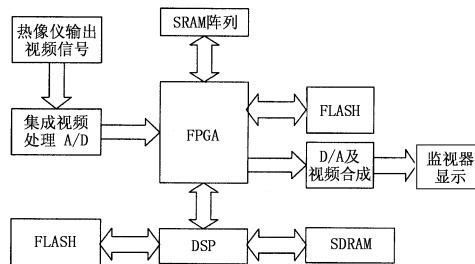


图5 两点实时校正的原理框图

对 320×240 焦平面阵列的输出图像用本文提出算法通过硬件校正的结果如图6所示。

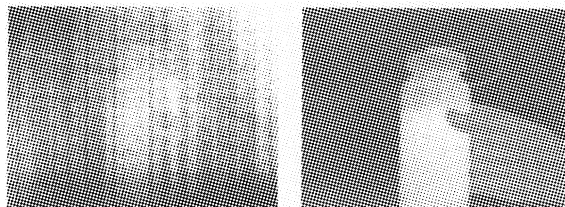


图6 校正前后的图像

5 结束语

本文从传统非均匀性校正算法的局限性入手,研究了红外焦平面器件的实际响应曲线。针对探测器实际响应曲线的特性,对传统的两点校正方法进行改进,提出了基于探测元响应非线性的两点校正方法。实验结果表明,该方法校正效果好,且利于硬件实时实现。

参考文献:

- [1] David L Perry. Linear theory of nonuniformity correction in infrared staring sensors[J]. Optical Engineering, 1993, 32(8):1845-1859.
- [2] Harris John G, Chiang Yu-Ming. Nonuniformity correction of infrared image sequences using the constant-statistics constraint[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8(8):1148-1151.
- [3] 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.
- [4] 石岩,张天序,李辉,等. 一种考虑红外焦平面器件非线性响应的非均匀校正方法[J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23(4):251-256.
- [5] 胡贵红,陈钱,沈晓燕. 红外焦平面探测器响应非线性的测定[J]. 光电子·激光, 2003, 14(5):489-492.
- [6] 王钰,陈钱,殷德奎,等. 实时红外图像非均匀性校正技术研究[J]. 红外与毫米波学报, 1999, 18(2):151-155.
- [7] 代少升. 红外焦平面阵列实时非均匀性校正研究[D]. 重庆:重庆大学, 2004.