

文章编号: 1672-8785(2012)08-0022-05

红外焦平面阵列非均匀性校正精度的研究

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, 江苏 南京 210094)

摘 要: 定标校正法是目前人们实际使用较多的一种红外焦平面阵列非均匀性校正方法。该方法采用的算法简单, 易于用硬件实时实现, 但也存在校正精度低的缺点, 针对这一不足, 首先通过实验得到了红外焦平面探测器的实际非线性响应曲线, 然后在此基础上进一步分析了定标点的数量及选取对红外焦平面阵列非均匀性校正精度的影响, 为提高定标校正法的校正精度提供了依据。

关键词: 红外焦平面阵列; 非均匀性; 校正精度

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.08.004

Study of Nonuniformity Correction Precision of IRFPA

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: Calibration method is a correction method which is frequently used to correct the nonuniformity of infrared focal plane arrays (IRFPA) at present. The algorithm of this method is simple and can be implemented with hardware easily. However, this method also has a shortage of low correction precision. For this, the actual nonlinear response curves of an IRFPA detector is obtained experimentally. Then, the influence of the number and selection of the calibration points on the nonuniformity correction precision of the IRFPA detector is further analyzed. This work has laid the basis for the improvement of the correction precision of the calibration method.

Key words: IRFPA; nonuniformity; accuracy of correction

0 引言

在理想情况下, 红外焦平面阵列受到相同的辐射通量照射时, 输出的响应电压应该完全一样。但受材料和工艺水平的限制, 其实际的输出响应电压并不相同。也就是说, 红外焦平面阵列响应存在非均匀性。这种非均匀性会使目标图像的质量受到严重影响。因此, 在实际使用中,

红外焦平面阵列器件都要通过非均匀性校正来改善成像质量。

目前, 工程中实际使用的非均匀性校正方法主要是定标校正法。该方法在技术上较为成熟, 具有算法简单、校正过程中的计算量小以及适合用硬件实时实现等优点; 但它同时也存在动态范围小和校正精度低等缺点^[1]。因此, 本文具体分析影响非均匀性校正精度的各种因素,

收稿日期: 2012-07-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61177091)

作者简介: 姚琴芬 (1978-), 女, 江苏武进人, 讲师, 硕士, 主要从事红外图像处理和红外成像技术研究。

E-mail: yaoqinfen@126.com

以便为提高非均匀性校正精度提供依据。

本文用到的非均匀性计算公式为^[2]：

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

$$V_{avg} = \frac{1}{M \times N - (d+h)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{i,j} \quad (2)$$

式中, NU 为焦平面阵列的非均匀性; $V_{i,j}$ 为焦平面上第 i 行、第 j 列所对应像元的视频输出信号值; V_{avg} 为焦平面上所有有效像元输出信号的平均值(在计算视频信号及非均匀性时, 均不包括无效像元的信号值); M 和 N 分别为焦平面阵列的总行数和总列数; d 和 h 分别为焦平面阵列中的死像元数和过热像元数^[3]。

1 影响红外焦平面阵列非均匀性校正精度的因素的分析

1.1 焦平面探测器的实际响应曲线

基于红外参照源的非均匀性校正算法原理简单, 计算量小, 比较容易实时实现, 因而是目前焦平面阵列成像系统中使用最为广泛的一种校正方法。但该算法是建立在探测器线性响应的基础上的, 而实际的探测器响应曲线并非完全

线性。因此, 为了提高校正精度, 首先需要得到焦平面探测器单元的实际非线性响应曲线^[4]。具体方法是, 在不同环境温度和目标温度的情况下进行探测器响应测试, 其步骤如下:

(1) 在环境温度为 19 ℃, 目标温度为 10 ℃ 时, 采集 25 帧图像进行平均处理, 得到探测器各单元在该温度条件下的平均灰度响应值;

(2) 保持环境温度不变, 将目标温度分别调整为 20 ℃、30 ℃、35 ℃、40 ℃、50 ℃、60 ℃、70 ℃、80 ℃、90 ℃ 和 100 ℃, 并依次按照步骤 (1) 进行图像数据的采集和处理;

(3) 将环境温度分别调整为 20 ℃、21 ℃、22 ℃ 和 23 ℃, 并依次按照步骤 (1)、(2) 进行图像数据的测量;

(4) 测得 55 组不同环境温度和目标温度下的实验数据(见表 1)^[5];

(5) 根据表 1 中的实验数据, 拟合出焦平面探测器单元的实际响应曲线^[6]。

根据表 1 中的数据绘制黑体平均响应值随温度的变化曲线(见图 1)。

图 1(a) 是环境温度为 20 ℃ 时探测器的平均灰度响应值随黑体温度变化的曲线图。从图 1(a) 中可以看出, 探测器的平均响应值会随黑体温度的增加而增加。在环境温度稳定不变的条件下, 它们是一一对应的单调递增函数关系。根据

表 1 不同温度下的探测器平均灰度响应值

平均灰度响应值	环境温度 (℃)				
	19	20	21	22	23
10	2.1902	2.1821	2.1746	2.1681	2.1650
20	2.2211	2.2135	2.2093	2.2030	2.2002
30	2.2642	2.2563	2.2513	2.2482	2.2421
35	2.2842	2.2762	2.2725	2.2683	2.2634
40	2.2922	2.2865	2.2815	2.2770	2.2734
50	2.3853	2.3778	2.3727	2.3687	2.3636
60	2.4545	2.4463	2.4404	2.4364	2.4312
70	2.5237	2.5159	2.5098	2.5053	2.5006
80	2.6033	2.5987	2.5927	2.5882	2.5835
90	2.6832	2.6758	2.6708	2.6663	2.6610
100	2.7781	2.7708	2.7653	2.7611	2.7560

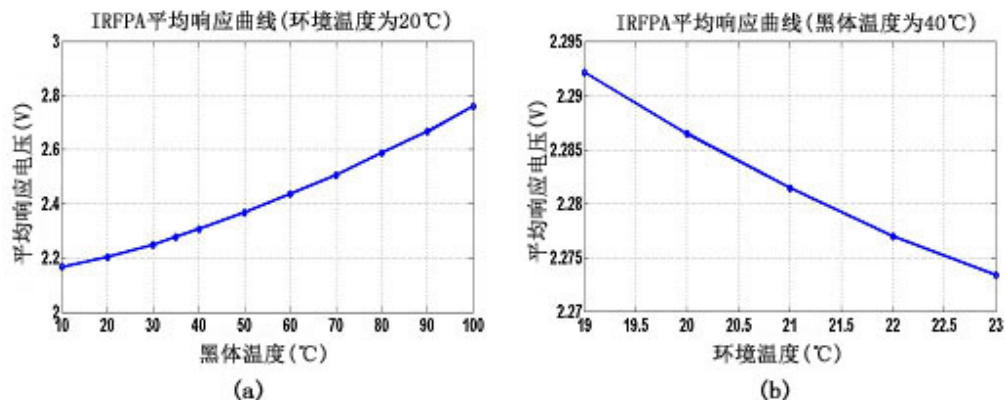


图1 红外焦平面阵列探测器的平均响应曲线

实验验证, 其他环境温度下的探测器平均灰度响应值随目标温度变化的曲线图与之相似。

图1(b)是黑体温度为40℃时探测器的平均灰度响应值随环境温度变化的曲线图。从图1(b)中可以看出, 对于同一均匀黑体温度, 探测器的平均响应值会随环境温度的升高而单调递减, 说明环境温度的变化会影响校正的准确性。只有使红外焦平面阵列中所有像元的自身基准温度保持稳定、一致, 才能保证热像仪在不同时间与场合的响应一致性和非均匀性校正的准确性。

1.2 定标点对校正精度的影响

1.2.1 定标点数对校正精度的影响

由于探测器的实际响应曲线为非线性, 通过增加定标点数并利用多段折线逼近探测器的实际响应曲线, 可以提高校正精度。根据理论分析可知, 定标点越多, 折线越逼近曲线, 校正精度应该也越高^[7]。

分别对20℃~50℃的黑体图像进行两点校正、三点校正和五点校正。表2列出了计算各

自校正后的残留非均匀性数据。从表2中可以看出, 对于校正后的残留非均匀性, 五点校正结果小于三点校正结果, 三点校正结果小于两点校正结果。这些校正方法都使残留非均匀性下降了一个数量级以上。该结果与理论分析相吻合。

图2为在30℃环境温度下测得的320×240元红外焦平面阵列探测器各像元对40℃均匀黑体的响应值的三维图示。其中, 图2(a)为校正之前的响应三维图。从图2(a)中可以看出, 红外焦平面阵列探测器各像元对相同红外辐射条件的响应值不一致, 响应的非均匀性很明显。此时, 不进行非均匀性校正是无法得到清晰成像的。图2(b)为两点校正之后的响应三维图, 其非均匀性得到了一定的改善, 但仍然存在较大的非均匀性。图2(c)为三点校正之后的响应三维图, 其残留的非均匀性明显小于两点校正。图2(d)为五点校正之后的响应三维图, 其响应值基本一致, 达到了较好的非均匀性校正效果。

表2 各种非均匀性校正后的残留非均匀性的比较

非均匀性 NU (%)		黑体温度 (℃)			
		20	30	40	50
校正方法	原始	4.35	4.32	4.27	4.24
	两点校正	0.29	0.25	0.28	0.26
	三点校正	0.13	0.16	0.06	0.12
	五点校正	0.04	0.05	0.04	0.05

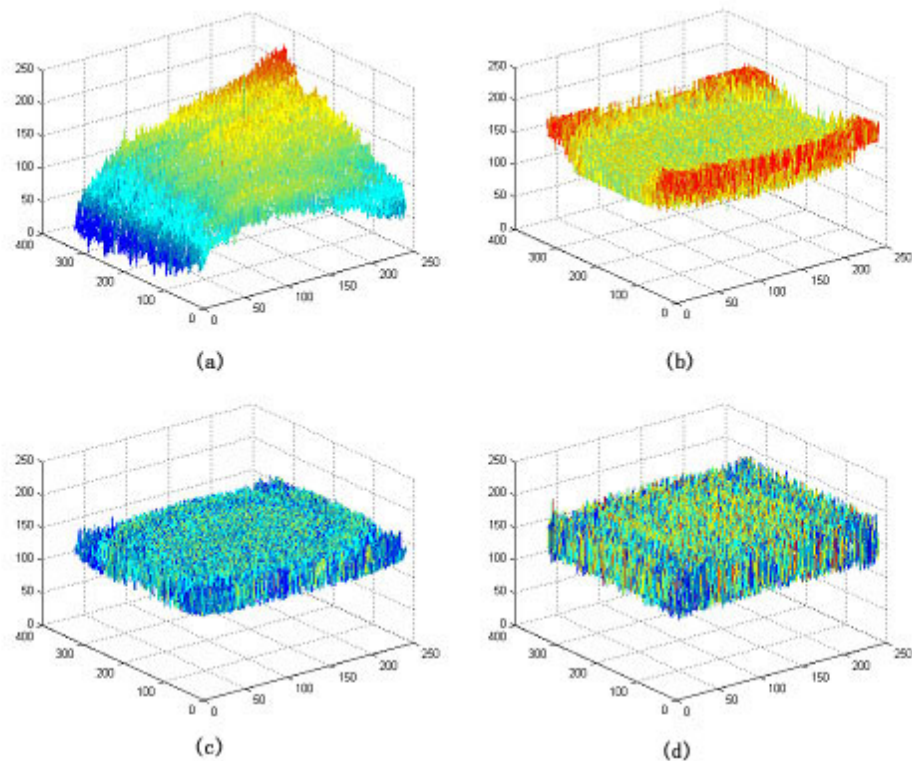


图 2 红外焦平面阵列探测器各像元对均匀黑体响应的立体图示

1.2.2 定标点选取对校正精度的影响

对于同样的定标点数, 定标点选得不一样, 校正精度也不一样^[8]。为了比较和分析定标点的选取对校正精度的影响, 现以两点校正为例, 分别选取表 3 中的四组定标点温度 (定标点 1 的温度低于 35 ℃, 定标点 2 的温度高于 35 ℃) 对 35 ℃ 的探测器原始红外图像数据进行两点校正 (校正结果见表 3)。

从表 3 中可以看出, 随着定标点 2 的温度逐渐向待校正温度靠近, 非均匀性呈明显的下降趋势, 而且非均匀性随定标点 1 也有着相同的趋势, 即当两个定标点的温度最接近待校正图

像的温度时, 残留的非均匀性最小。通过对不同温度的图像进行多次校正实验, 均可得到此结论。因此, 在用两点法进行非均匀性校正时, 两个定标点的温度要尽可能地接近待校正图像的温度以提高校正精度。

图 3 为选取不同定标温度点时对建筑物校正后的效果比较图。其中, 图 3(a) 为选取 15 ℃、55 ℃校正后图像输出的校正前的图像; 图 3(b) 为选取 30 ℃、40 ℃校正后图像经过两点校正后的图像。从图 3 中可以看出, 定标点的温度越接近待校正温度, 校正效果越好。

表 3 两点线性非均匀性校正结果

非均匀性 NU (%)		定标点 1 (℃)			
		15	20	25	30
定标点 2 (℃)	40	0.25	0.18	0.14	0.08
	45	0.36	0.29	0.20	0.15
	50	0.43	0.38	0.32	0.23
	55	0.56	0.44	0.39	0.38

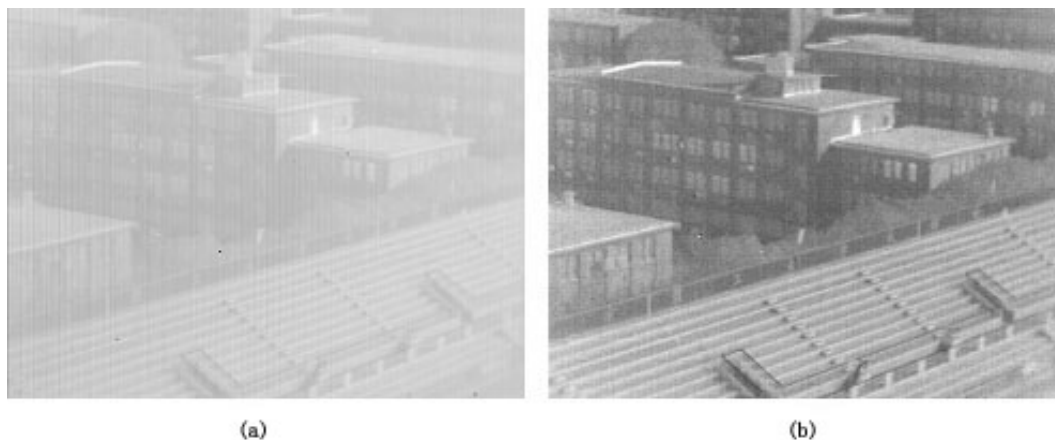


图 3 选取不同定标点时的校正效果比较图

2 结 束 语

首先通过实验得到了探测器实际的非线性响应曲线。然后在此基础上分别对红外图像进行了两点校正、三点校正和五点校正。各种校正方法的残留非均匀性数据显示,定标点的数量越多,校正精度越高。接着在定标点数量相同的情况下,分别在四个不同定标温度组合条件下对 35 ℃ 的原始红外图像进行两点校正。校正结果表明,定标点的温度与待校正温度越接近,校正效果越好。本文通过分析影响校正精度的各种因素,为进一步提高红外焦平面阵列非均匀性校正精度打下了基础。

参考文献

- [1] 吕雷,张学峰. 基于 FPGA 的红外图像实时非均匀性校正 [J]. *激光与红外* 2011, 41(6): 641-643.

- [2] GB/T17444-1998. 红外焦平面阵列特性参数测试技术规范 [S].
 [3] 代少升,张新立. 利用单片可编程系统对红外焦平面阵列进行实时非均匀性校正 [J]. *光学精密工程*, 2009, 17(4): 854-858.
 [4] 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.
 [5] 姚琴芬. 红外图像实时非均匀性校正技术研究及硬件实现 [D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
 [6] 姚琴芬,顾国华. 一种基于探测元响应非线性的两点校正算法 [J]. *激光与红外*, 2008, 38(4): 348-349.
 [7] 周金梅,邢廷文,林妩媚. 红外焦平面阵列非均匀性校正的精度分析 [J]. *光子学报*, 2005, 34(11): 1681-1684.
 [8] 夏玫,顾国华,陈钱,等. IRFPA 两点校正的定标温度选择方法研究及实现 [J]. *红外技术*, 2011, 33(3): 151-154.

(上接第 21 页)

176.86 Hz,说明反射镜组件具有足够的静、动态刚度和热尺寸温度性。通过对反射镜组件的模拟件进行动力学环境试验,测得反射镜组件的一阶固有频率为 184.56 Hz,有限元分析误差小于 5%。有限元分析和试验验证结果表明,该反射镜及其支撑结构设计满足指标要求。

参考文献

- [1] 李志来,徐宏. 长条形空间反射镜及其支撑结构设计 [J]. *光学精密工程*, 2011, 19(5): 1039-1047.

- [2] 辛宏伟,关英俊,李景林,等. 大孔径长条反射镜支撑结构的设计 [J]. *光学精密工程*, 2011, 19(7): 1560-1568.
 [3] 闫勇,贾继强,金光. 新型轻质大口径空间反射镜支撑设计 [J]. *光学精密工程*, 2008, 16(85): 1533-1539.
 [4] 关英俊,辛宏伟. 长条形空间反射镜轻量化及其支撑结构设计 [J]. *激光与红外*, 2011, 40(11): 1245-1249.
 [5] 王忠素,翟岩,梅贵,等. 空间光学传感器反射镜柔性支撑的设计 [J]. *光学精密工程*, 2010, 18(8): 1833-1840.