

文章编号:1001-9014(2006)06-0405-03

# 基于神经网络的红外焦平面非均匀性自适应校正算法

王炳健, 刘上乾, 赖睿, 李庆

(西安电子科技大学技术物理学院, 陕西 西安 710071)

**摘要:** 由于材料、工艺等原因, 红外焦平面阵列(IRFPA)各单元普遍存在响应不一致的现象, 从而导致 IRFPA 都存在非均匀性。非均匀性校正(NUC)是红外图像处理系统中的重要环节。本文在研究了传统的基于神经网络的 NUC 算法的基础上, 提出了一种改进的基于神经网络的非均匀性自适应校正算法, 并对比了传统的基于神经网络的算法和本文算法的校正效果和收敛速度, 实验表明本文提出的算法校正效果好, 收敛速度快。

**关键词:** 红外焦平面阵列; 非均匀性校正; 神经网络; 自适应校正

**中图分类号:** TN911.73 **文献标识码:** A

## ADAPTIVE NON-UNIFORMITY CORRECTION ALGORITHM FOR IRFPA BASED ON NEURAL NETWORK

WANG Bing-Jian, LIU Shang-Qian, LAI Rui, LI Qing

(School of Technical Physics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** Due to being influenced by detectors' material, related manufacturing technology etc, every detection element's responsivity of infrared focal plane arrays (IRFPA) is different, which results in non-uniformity of IRFPA. So non-uniformity correction (NUC) is an important technique for IRFPA. The traditional NUC algorithms based on neural network were analyzed in this study. And a new improved NUC algorithm based on neural network was presented. A comparison was made to these algorithms. Experiments results show that the algorithm proposed in this study prevails over other algorithms based on neural network in correction effective and convergence speed.

**Key words:** IRFPA; non-uniformity correction; neural network; adaptive correction

### 引言

红外焦平面阵列(IRFPA)是一种兼具辐射敏感和信号处理功能的新一代红外探测器, 由 IRFPA 构成的热成像系统, 具有结构简单、可靠性高、探测灵敏度高等优点。但由于 IRFPA 的材料、制造工艺、探测器内部读出电路和工作环境的影响, 使得 IRFPA 各个阵列元即使在相同的辐射通量照射下, 也会输出不同的响应电压, 这种响应的不一致性被称作 IRFPA 的非均匀性(Non-uniformity), 在红外图像中表现为固定图案噪声<sup>[1]</sup>(Fixed Pattern Noise)。非均匀性严重制约着 IRFPA 的应用。因此, 必须对 IRFPA 进行非均匀性校正(NUC)。

目前, IRFPA 非均匀性校正方法可分为两大类: 基于参考辐射源的非均匀性校正<sup>[1,2]</sup>和基于场景的

非均匀性校正<sup>[3-7]</sup>。基于神经网络的非均匀性校正<sup>[3,5,6]</sup>属于后者。该类算法具有自适应校正的能力, 其计算校正参数的数据主要来自于场景的估计。本文在研究了传统的基于神经网络的非均匀性校正算法的基础上, 提出了一种改进的基于神经网络的非均匀性自适应校正算法, 并对比他们的校正效果和收敛速度, 实验结果表明本文提出的算法在校正效果和收敛速度上都优于传统的算法。

### 1 传统的基于神经网络校正算法的原理

对人眼视觉研究表明, 视网膜的各个光接收元之间总存在一定的差异, 但人眼可根据具体图像通过视网膜上水平细胞元进行调节。受此启发, Scribner 等人据此提出了利用神经网络来实现自适应的非均匀性校正<sup>[3,5]</sup>: 让每个神经元连接一个像元, 再

收稿日期: 2005-09-27, 修回日期: 2006-06-01

基金项目: 国家自然科学基金(60377034)资助项目

作者简介: 王炳健(1977-), 男, 山东莱西人, 博士, 主要从事红外图像实时处理的研究。

Received date: 2005-09-27, revised date: 2006-06-01

设计一个隐含层,使每个神经元像水平细胞元那样与邻近的像元连接起来,得到它们的平均值送到它的下层神经元去计算非均匀性,然后采用最陡下降法对校正参数进行逐帧迭代,直至达到最佳校正状态.

假设  $x(k)$  是校正前的第  $k$  帧图像,  $y(k)$  是其校正后的图像, IRFPA 的响应曲线为线性曲线, 则有:  $y(k) = G(k)x(k) + O(k)$ , 其中,  $G(k)$  为增益系数,  $O(k)$  为偏置, 用  $e(k)$  表示误差信号, 则  $e(k) = f(k) - y(k)$ . 因此, 自适应校正过程就是对增益系数和偏置进行调整的过程, 以使误差信号均方值最小. 若用  $f_{ij}$  表示期望的输出图像, 且:

$$f_{ij} = (x_{i,j+1} + x_{i-1,j} + x_{i+1,j})/4 \quad (1)$$

则误差函数为:  $F(G, O) = (Gx + O - f)^2$ , 利用最陡下降法, 可以得到计算  $G$  和  $O$  的迭代公式:

$$G_{k+1} = G_k - 2\alpha x(y(k) - f(k)) \quad (2)$$

$$O_{k+1} = O_k - 2\alpha (y(k) - f(k)) \quad (3)$$

式中,  $k$  为帧数,  $\alpha$  为步长.

## 2 改进的基于神经网络的 IRFPA 非均匀性校正方法

曹治国<sup>[6]</sup>提出了神经网络算法的改进算法, 该算法考虑到在图像不同灰度区域的边界处, 如果采用邻域平均法估计真实的图像值, 会产生很大的偏差, 因此, 它根据邻域像素的灰度值为其分配不同的权系数, 然后通过加权求和得到估计的真实值. 即根据两像素灰度级差值的倒数确定权系数, 二者灰度级越接近, 差值就越小, 权值就越大.

## 3 本文提出的改进算法

Scribner 算法和曹治国的改进算法, 都是采用当前像素周围的像素值估计其真实值, 而没有考虑当前像素的值, 虽然受到噪声的干扰, 但是当前像素比其他像素更接近图像的真实值. 因此, 本文在估计图像的真实值时, 将当前像素也考虑在内.

在对上述算法进行仿真的过程中, 我们发现, 当 IRFPA 的非均匀性较大时, 采用校正后的图像估计图像的真实值, 增益系数和偏置的收敛速度非常快, 因此, 本文算法中, 采用校正后的图像数据估计图像真实值.

另外, 当当前像素位于目标的边界时, 采用 Scribner 或者曹治国提出的算法估计真值, 都会使估计真值偏离图像的真值, 原因是周围的像素可能与当前像素处于不同的区域. 因此, 我们将周围的像素值与当前像素值作比较, 如果其差值大于选定的

阈值  $Th$ , 就认为它与当前像素处于不同的区域, 因此, 它的权系数为 0; 否则, 其权系数为 1.

Scribner 提出的算法和后来的改进算法, 均利用空间相关性对图像的真值进行估计. 对图像序列分析可知, 图像不仅在空间上是相关的, 在时间上相关性更强, 因此, 本文利用图像序列在时间和空间上相关性, 估计图像的真值.

综合考虑以上几点, 如果采用相邻的三帧图像, 在每帧图像内采用最近邻的 4 个像素和当前像素的数据对图像的真值进行估计, 用  $x_{i,j,k}$  表示第  $k$  帧图像的第  $(i, j)$  像素的原始值,  $y_{i,j,k}$  表示第  $k$  帧图像的第  $(i, j)$  像素的校正值,  $w_{i,j,k}$  为像素  $x_{i,j,k}$  的权系数, 这样, 就可以得到下面的计算公式:

$$w_{m,n,l} = \text{sign}(|y_{m,n,l} - y_{i,j,k}| \leq Th) \quad (4)$$

其中  $l = k - 2, k - 1, k$ ,

$$(m, n) = (i, j + 1), (i - 1, j), (i, j - 1), (i + 1, j), (i, j)$$

$$w_5 = \sum_{l=k-2}^k (w_{i,j,l}x_{i,j,l} + w_{i,j+1,l}x_{i,j+1,l} + w_{i-1,j,l}x_{i-1,j,l} + w_{i+1,j,l}x_{i+1,j,l}) \quad (5)$$

$$f_{i,j} = \sum_{l=k-2}^k (w_{i,j+1,l}x_{i,j+1,l} + w_{i-1,j,l}x_{i-1,j,l} + w_{i,j-1,l}x_{i,j-1,l} + w_{i+1,j,l}x_{i+1,j,l} + w_{i,j,l}x_{i,j,l})/w_5 \quad (6)$$

其中  $\text{sign}(x)$  为符号函数,  $Th$  是选定阈值.

图 1 为采用单帧图像估计真值图像的神经网络结构. 当前像素和它最近邻的 4 个像素的校正值均送入隐含层, 通过比较估计的真值和实际输出值的误差, 来修正上一层中的增益系数和偏置.

## 4 实验结果与分析

本文分别采用 Scribner、曹治国和本文提出的改进算法对红外图像序列进行非均匀性校正, 并比较它们的校正效果, 如图 2 所示. 其中, (a0)(b0)(c0) 为一红外图像序列的第 48、52、59 帧图像, (a1)(b1)(c1) 为 Scribner 算法的校正结果; (a2)(b2)

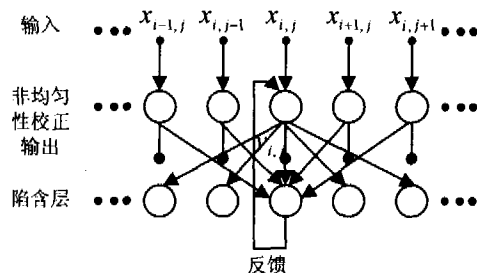


图 1 本文提出算法的神经网络结构

Fig. 1 Neural network configuration of algorithm provided in this study

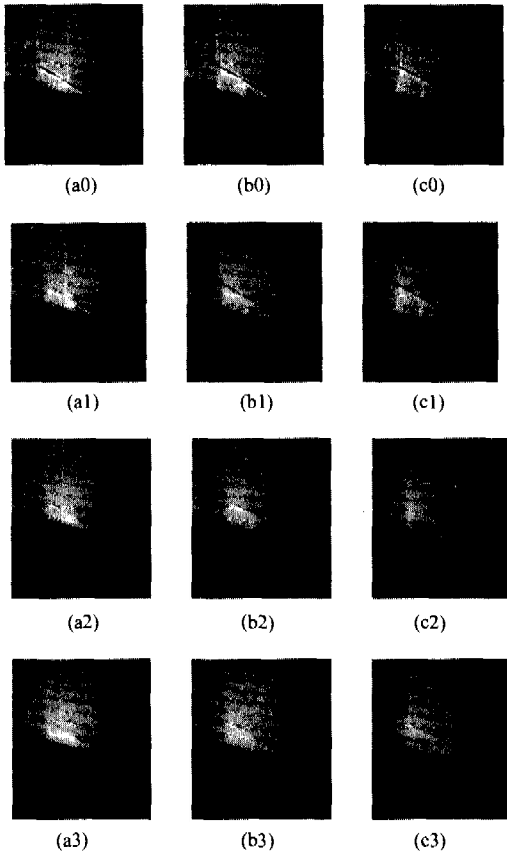


图2 不同校正算法的校正结果图像  
Fig.2 Corrected images of different algorithms

(c2)为曹治国算法的校正结果;(a3)(b3)(c3)为本文算法的校正结果。

第48帧图像是目标发生突变运动后的图像,对比这几种不同的校正算法,可以发现Scribner算法的校正效果最差,而本文的算法校正效果最好。Scribner算法对第52帧图像的校正效果,与本文算法对第48帧图像的校正效果类似,这说明了Scribner算法的收敛速度较慢,而本文算法的收敛速度快,曹治国提出算法的收敛速度介于这二者之间。对于第59帧图像,只有Scribner算法校正效果较差,其他算法的校正效果相差不大。此时,Scribner算法的校正系数还没有收敛到最佳,而其他算法的校正系数已经收敛到一个稳定值。

为了比较不同校正算法的校正效果,本文比较校正后图像与估计的真实图像间的均方误差。图3为对同一图像序列校正后得到的均方误差曲线。图3中的实线为Scribner提出算法的均方误差曲线,‘o’形曲线为曹治国算法的均方误差曲线;‘\*’形曲线为本文提出算法估计真实图像的均方误差曲线。图中的每个大尖峰表示此时目标发生突变运动,

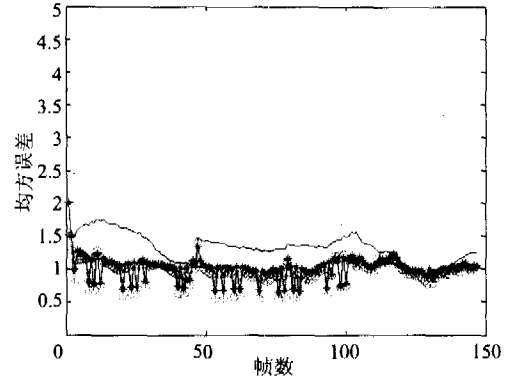


图3 不同校正算法得到图像序列的均方误差曲线  
Fig.3 MSE curves of corrected image serial by different correction algorithms

从而导致均方误差偏大。可以看出,经过Scribner算法校正后的图像序列,均方误差较大,其他几种算法的均方误差相差不大。经过150帧左右,校正系数都收敛到一个稳定的值。

从上面的分析可知,本文算法的收敛速度最快,校正后图像的均方误差较小,因而总的校正效果优于其他的神经网络校正算法。

REFERENCES

[1] Roger Hormans, Hepfer Kenneth C, Zurasky Matthew. Uniformity compensation for high quantum efficiency focal arrays[J]. *SPIE*, 1996, **2744**: 154—164.

[2] YIN Shi-Min, LIU Shang-Qiang. The multi-point nonuniformity correction algorithms for IRFPA based on low order interpolation[J]. *Acta photonic asinica* (殷世民, 刘上乾. 基于低次插值的红外焦平面器件非均匀性多点校正算法. *光子学报*), 2002, **31**: 715—718.

[3] Scribner D A, Sarkady K A, Krueer M R, et al. Adaptive nonuniformity correction for IR focal plane arrays using neural networks, infrared Sensors; detectors, electronics, and signal processing[C]. *SPIE*, 1991, **1541**: 100—109.

[4] John G Harris, Yu-Ming Chiang. Nonuniformity correction of Infrared Image sequences using the constant statistics constraint[J]. *IEEE Transactions on image processing*, 1999, **8** (8): 1148—1151.

[5] Scribner D A, Sarkady K A, Krueer M R, et al. Adaptive retine-like preprocessing for imaging detectors arrays[J]. *Proc. of the IEEE international conference on neural networks*, 1993, **25**: 1955—1960.

[6] CAO Zhi-Guo, WEI Luo-Gang, ZHANG Tian-Xu, et al. Approach based on neural network for nonuniformity correction for IRFPA[J]. *Infrared and Laser Engineering* (曹治国, 魏洛刚, 张天序, 等. 基于神经网络法的焦平面非均匀性校正方法. *红外与激光工程*), 2000, **29** (1): 65—68.

[7] HE Zhi-Biao, YI Xin-Jian, HUANG Guang. The research on nonuniformity correction of microbolometer IR focal plane based on adaptive filter[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (何志彪, 易新建, 黄光. 基于自适应滤波的焦平面非均匀校正算法的研究. *红外与毫米波学报*), 2000, **19** (3): 194—196.