

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.12.025

改进的基于压缩感知的单幅图非均匀校正^{*}

简献忠^{1,2}, 王 凡^{1,2}, 郭 强³

(1. 上海理工大学 光电学院, 上海 200093; 2. 上海市现代光学系统重点实验室, 上海 200093;
3. 国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要:针对单幅图非均匀校正中小波变换不能分解红外图像中相当丰富的高频子带以及正则化正交匹配追踪 (ROMP) 重构算法需要已知红外图像的稀疏度等问题, 提出了一种基于小波包变换结合稀疏度自适应压缩采样匹配追踪算法 (CoSaSAMP) 实现对图像的重构, 从而达到校正图像的目的。该方法利用小波包变换对原图像稀疏, 将点样本矩阵作为测量矩阵, 提取原红外图像的 25% 数据, 利用改进的中值直方图算法校正提取的数据, 然后利用 CoSaSAMP 重构图像。研究表明: 与基于小波变换压缩感知的非均匀校正相比, 本算法在均方根误差、峰值信噪比方面都得到了进一步的改善, 均方根误差降低了 30% 左右, 列间均值更加接近理想校正图像效果, 图像重构质量好。

关键词: 压缩感知; 小波包; 稀疏度自适应; 匹配追踪; 非均匀校正

中图分类号: TP24

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2017)12-1491-05

Improved single image non-uniformity correction based on compressive

JIAN Xian-zhong^{1,2}, WANG Fan^{1,2}, GUO Qiang³

(1. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai For Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Modern Optical System, Shanghai 200093, China;
3. National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract: Aiming at two major drawbacks existed in the single image non-uniformity correction based on compressive sensing, which is that fairly rich information of high frequency sub bands could not be decomposed by wavelet transform and the sparse degree of images need to be known through (ROMP). A based on wavelet packet transform and sparsity adaptive compression sampling matching pursuit (CoSaSAMP) algorithm was proposed to reconstructed the image and corrected the infrared images. The improved method sparsed image by wavelet packet transform, corrected the extracted 25% pixels from original infrared image by point-sampling matrix through the improved midway infrared equalization algorithm. The missing pixels was reconstructed by CoSaSAMP algorithm. The experimental results show that the proposed method was further improved in root-mean-square error (RMSE) and peak signal to noise ration (PSNR) compared with the single image non-uniformity based on wavelet transform, the RMSE is reduced to nearly 30%, the average between each line closes to ideal image, image reconstruction are of good quality.

Key words: compressed sensing; wavelet pack; sparsity adaptive; matching pursuit; on-uniformity correction

0 引 言

红外焦平面阵列 (IRFPA) 越来越多地应用于医疗、工业和军事等领域。IRFPA 的非均匀性极大地限

制了红外成像系统的性能。为了获得更高质量的图像, 必须用非均匀校正技术消除红外图像中的 FPN。目前, 非均匀校正技术可以分为基于定标法和基于场景法两类。定标法包括一点校正法、两点校正法和多

收稿日期: 2017-02-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41075019)

作者简介: 简献忠 (1969-), 男, 湖南邵阳人, 博士, 副教授, 主要从事图像处理、嵌入式系统、红外技术等方面的研究。E-mail: jianxz@usst.edu.cn

点校正法,定标法的优点就是算法相对简单,容易实现于硬件的实施,缺点就是随着时间和环境温度的改变。场景法包括基于统计模型的非均匀校正算法^[1]、基于图像配准的校正方法^[2]、基于人类视觉神经网络的自适应校正算法^[3],但是场景法计算比较复杂,而且容易产生鬼影。

单幅图非均匀校正引起了国内外研究学者的重视。TENDERO 和 GILLES^[4]提出利用局部直方图均值和中值直方图去除条纹非均匀性算法,该方法在单帧图像上去除 FPN,但是算法运行时间长;文献[5]采用最优化的方式去除条纹的非均匀性,算法运算速度快,但是成像效果差;为了减少非均匀校正数据量,文献[6]首次提出运用压缩感知思想和利用 25% 的数据量进行单幅红外图像非均匀校正,极大地缩短了非均匀校正时间,对背景简单的图像取得了较好的校正效果,但是它采用小波变换和正则化正交匹配追踪算法 (ROMP) 相结合的方法 (小波-ROMP) 存在缺陷,小波变换只分解图像的低频子带,而无法分解高频部分,这会有损图像重构的质量,ROMP 算法在恢复图像中需要知道图像的稀疏度,不利于硬件实现;文献[7]针对小波变换不能获取图像高频信息,选用小波包变换分解图像;文献[8]针对一维信号提出压缩采样匹配追踪算法提出了自适应性改进,无需知道图像稀疏度,可以精确重构信号。

本研究将针对小波-ROMP 算法两大缺陷提出小

波包变换结合 CoSaSAMP 算法的压缩感知的单幅图非均匀校正算法。

1 基于压缩感知的单幅图非均匀校正

1.1 基于压缩感知的单幅图非均匀校正

基于压缩感知的单幅图非均匀校正首次将压缩感知与非均匀校正结合,使信息的观测和压缩同步进行,大大减少了校正图像的数据量。由于传统的压缩感知对信号的观测是在频域中进行的,但是在非均匀校正中,对信号的校正必须在时域进行,传统压缩感知的观测矩阵并不适合于非均匀校正。因此,笔者利用“点样本矩阵”作为观测矩阵,点样本矩阵仅由“0”和“1”构成,并且每一行只有一个“1”,每一列最多有一个“1”。提取数据可以写成如下式子: $Y = Sx$ (x —原始信号,长度为 $m \times n$; S —点样本矩阵,长度为 $k \times n$, k/m 必须大于压缩感知中理论重建图像的采样率; Y —观测信号)

稀疏基采用小波基作为压缩感知的压缩基,选取 ROMP 算法对信号重构。但是,这种方法只对背景简单的图像校正效果比较明显,对背景复杂的图像校正效果就比较模糊。而且 ROMP 算法需要知道图像的稀疏度,这并不利于图像重构。

背景单一采用不同采样率校正后的图像如图 1 所示。



图 1 背景单一采用不同采样率校正后的图像

背景复杂采用不同采样率校正后的图像如图 2 所示。

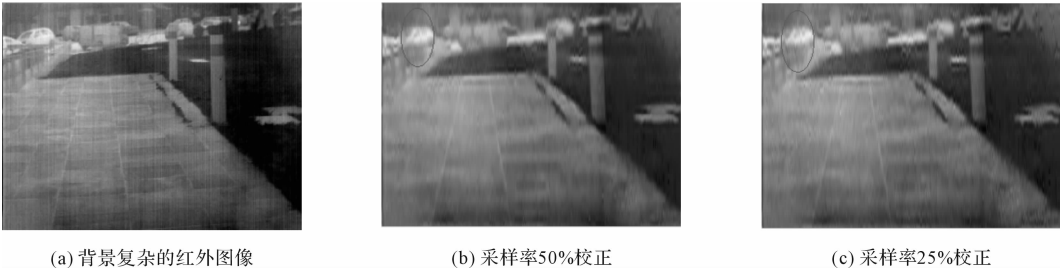


图 2 背景复杂采用不同采样率校正后的图像

图 2 中,左上角的小车很模糊,视觉上无法看清,校正效果并不明显。而图 1 校正效果明显比图 2 的效果

好,能够很清晰地还原背景为云彩的红外图像。所以小波包结合 ROMP 算法的非均匀校正方法对背景复杂的红外图像校正效果并不是很明显,还会出现模糊化的问题。

2 基于小波包变换和 CoSaSAMP 压缩感知单幅图非均匀校正

2.1 小波包变换

目前,在压缩感知研究中,大部分都是采用小波变换对图像稀疏化。小波变换只分解图像的低频子带,而无法分解高频部分,若能分解高频子带,则会提高稀疏化程度。小波包变换为稀疏图像提供了一种相对精细的方法。

小波和小波包分解信号的结构图如图 3 所示。

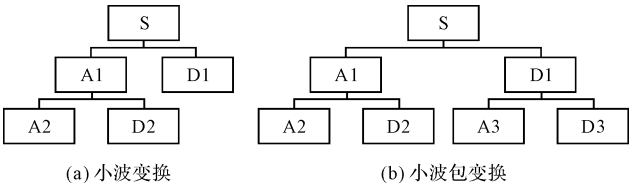


图 3 两种变换的树结构
A—低频部分;D—高频部分

从图 3 中可以看出,小波变换将信号分解为高频和低频之后,对每一个低频信号,又分解下一级的高频和低频信号。而小波包变换不仅将低频信号分解,而且也把高频信号分解为下一级的高频和低频信号。

2.2 CoSaSAMP 重构算法

CS 中对于精确重构压缩测量数据的问题,目前集中于凸优化、组合优化、贪婪算法等方面。压缩采样匹配追踪 (CoSaMP) 算法是一种应用于压缩感知重构的贪婪算法。算法具体实现步骤如下:

(1) 预设一个期望的观测率,本研究算法分别采用 25% 的观测率,此时要注意观测率的选择要满足 CS 原理和重构算法,利于点样本矩阵的构造,本研究中实验所用到的图像是 256×342 ;

(2) 根据采用的观测率构造合适的点样本矩阵,点样本矩阵从原图像的数据中提取部分数据得到观测值,观测值分布的越均匀越有利于图像的重构;

(3) 计算出观测矩阵 $\mathbf{Y}$ 中所有的 C_j 的累计直方图:

$$H_j(l) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^l \sum_{i=1}^N \mathbf{1}_{\{x(i,j)=k\}} \quad (4)$$

式中: k —像素 (i,j) 的灰度值; $l \in (0,255)$; N —图像

的列数。

(4) 计算出观测矩阵所有 C_j 的本地中值直方图:

$$Hmid_j^{-1} = \sum_{k=-n}^n g(k) H_{k+j}^{-1} \quad (5)$$

式中: $g(k)$ —标准偏差为 s 的高斯权重函数, $g(k) = g_s(k) = (1/s \sqrt{2\pi}) \cdot e^{-((k^2)/(2s^2))} n = floor(4s)$ 。

$$H_{k+j}^{-1}(l) = \min \{z \in \{0, \dots, 255\} \mid H_{k+j}(z) \geq l\} \quad (6)$$

(5) 将观测矩阵所有列的累计直方图加入到中值直方图:

$$d_s(i,j) = Hmid_j^{-1}(H_j(x(i,j))) \quad (7)$$

式中: d_s —在标准偏差 s 下非均匀的结果。

(6) 找到各分块的 s 的最优解:

$$s_{best} = \operatorname{argmin}_s \|d_s\|_{TV-line} \quad (8)$$

(7) 将每个最优的局部图像组合起来,作为观测值的最优解,通过上研究所提出的 CoSaSAMP 算法恢复图像,最终得到非均匀校正结果。

步骤(1) 中点样本矩阵的大小决定了提取数据的多少,采样率也决定了运算时间和图像的恢复程度。采样率可以选取 25%、50%,选取 25% 作为采样率为了让运算速度和信号的重构精度达到平衡。

算法流程如图 4 所示。

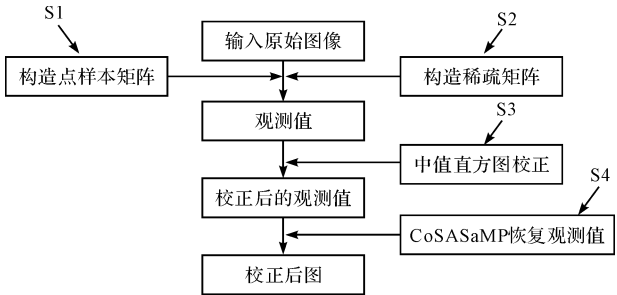


图 4 本算法流程图

3 实验仿真与分析

该实验的红外图片来源于实验室红外焦平面拍摄的云彩图片和公共的红外图像数据库^[9],算法的仿真在装有 matlab2009 的笔记本 (win7, Intel (R) Core (TM) i3 CPU M370 @2.40 GHZ) 上运行。

为了客观评价红外成像的非均匀性,本研究采用均方根误差 (RMSE)^[10],峰值信噪比 (PSNR)^[11],列间均值^[12],3 个评价指标来对实验结果进行分析。均方根误差 (RMSE) 是反映测量值与真实值的差异,对一组测量值中差异较大的值反映敏感。

其计算公式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f(i,j) - \hat{f}(i,j))^2}$$
 (9)

式中: $f(i,j)$ - 原图像 100% 数据由中值直方图校正后得到的数据,即为理想的校正值; $\hat{f}(i,j)$ - 采样率为 50% ,25% 得到的红外图像校正数据。

峰值信噪比(PSNR) 是评价图片的一种标准,是一种衡量原图像和经过处理之后图像差异的一种参数。如果峰值信噪比越大,处理之后图片失真越小,反之图片失真越大。

其计算公式为:

$$PSNR = 20\log \frac{256}{RMSE}$$
 (10)

3.1 实验仿真与分析

背景单一和复杂的采用本研究算法校正后的红外图像如图 5 所示。

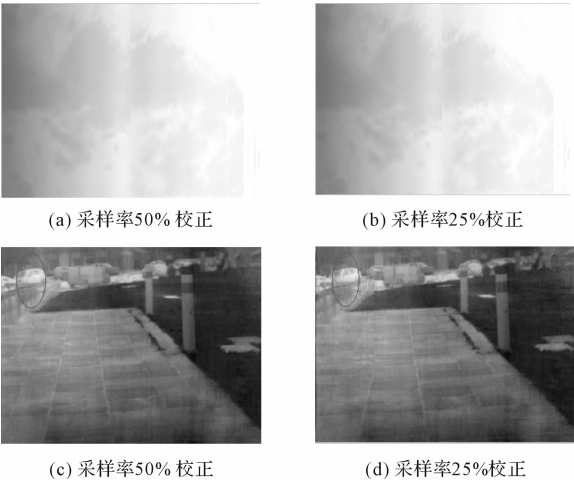


图 5 背景单一和复杂的采用本研究算法校正后的红外图像

由图 5 结果可知:当红外图像的背景比较单一时,本文所提出算法与小波-ROMP 算法都很好地去除了图像的条纹噪声,校正效果相当。从图 5(c ~ d)中可以很明显地看到左上角的小车,甚至可以看清路面情况,而用图 2 中算法校正的图像完全是模糊。所以利用本文所提出的算法校正不论是观测率为 50% 还是 25% ,恢复校正后的图像视觉效果清晰。

3.2 实验数据分析

图 5 校正结果的数据分析如表 1 所示。

可以看出:无论采样率是 50% 还是 25% ,本研究提出的算法校正红外图像都优于小波-ROMP 算法。无论采样率为 25% 还是 50% ,本研究所提出的改进的算法校正出来的 $RMSE$ 比小波-ROMP 算法要小,

$PSNR$ ($PSNR$ 越大代表失真越小)比原算法要大,而且本研究提出的算法运行时间比小波-ROMP 算法快了 10 s。

表 1 对图 5 校正的评价指标参数

	采样率/ %	$RMSE$	$PSNR$	平均校正时间
原图像		12.824 2	26.004 2	
100% 中值直方图校正		0	∞	667
小波-ROMP	50	4.257 5	35.893 6	326
	25	7.265 9	30.939	165
小波包-CoSaSAMP	50	2.889 3	38.949 1	316
	25	5.174 9	33.886 8	156

不同采样率的具体行列间均值如图 7 所示。

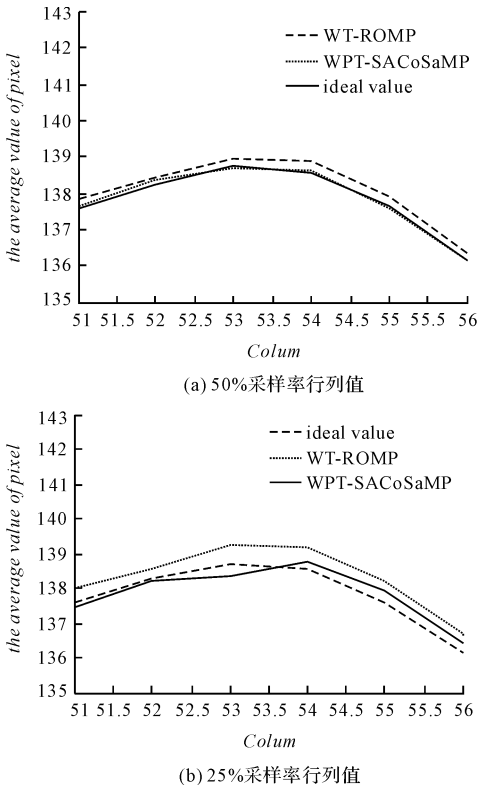


图 7 不同采样率的具体行列间均值

y 轴每一列的平均像元值, x 轴为列数,两幅图分别提取不同数据每一列的平均像元值。其中 100% 的数据是理想校正值,由以上几幅图可以看出,不论是提取 50% 数据还是提取 25% 的数据,小波包-CoSaSAMP 算法校正之后的值更加接近于理想校正值,而小波-ROMP 算法与理想值相差较远。

根据以上几个指标性能分析,本研究采用的小波包-CoSaSAMP 校正算法,能很好地将压缩感知和单幅图像的非均匀校正结合,不需要提前知道红外图像的稀疏度,因而有很好的实际应用价值。

4 结束语

基于 CS 思想,利用小波包变换结合 CoSaS AMP 算法,本研究实现了对图像的重构,从而达到红外图像非均匀校正的目的。该方法既能够使图像进一步稀疏化,提高压缩感知效率,又能够在未知图像疏度情况下,精确重构图像。本研究通过实验分析了均方根误差(RMSE)、峰值信噪比(PSNR)、列间的均值 3 个评价指标来对实验数据分析,相对于基于小波变换压缩感知的非均匀校正相比, RMSE 降低了 30% 左右, PSNR 提高了 3 dB 左右,列间均值更加接近于理想校正值,算法运行时间快。

该算法既很好地解决了基于压缩感知的非均匀校正对红外焦平面阵列所成的复杂图像处理模糊化问题,使得校正后的图像质量更好,又能在未知图像疏度的情况下精确重构图像,完成图像的非均匀校正。

参考文献 (References):

- [1] ZUO C, CHEN Q, GU G, et al. New temporal high-pass filter nonuniformity correction based on bilateral filter[J]. **Optical review**, 2011, 18(2):197-202.
- [2] ZUO C, CHEN Q, GU G, et al. Scene-based nonuniformity correction algorithm based on interframe registration[J]. **Journal of the Optical Society of America A Optics Image Science & Vision**, 2011, 28(6):1164-1176.
- [3] SCRIBNER D A, KRUEER M R, KILLIANY J M. Infrared focal plane array technology [J]. **Proceedings of the IEEE**, 1991, 79(1):66-85.
- [4] TENDERO Y, LANDEAU S, GILLES J. Non-uniformity

correction of infrared images by midway equalization[J]. **Image Processing On Line**, 2012(2):134-146.

- [5] ZHAO J, ZHOU Q, CHEN Y. Single image stripe nonuniformity correction with gradient-constrained Optimization model for infrared focal plane arrays[J]. **Optics Communications**, 2013, 296(6):47-52.
- [6] JIAN Xian-zhong, LU Rui-zhi, GUO Qiang. Single image non-uniformity correction using compressive sensing[J]. **Infrared Physics&Technology**, 2016(76):360-364.
- [7] 罗孟儒,周四望. 自适应小波包图像压缩感知方法[J]. **电子与信息学报**, 2013, 35(10):2371-2377.
- [8] LIU Xiang-pu, YANG Feng, YI Xiang, et al. A sparsity adaptive compressive sampling matching pursuit algorithm [C]. **Proceedings of the 6th International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation**, Paris: Atlantis Press, 2016.
- [9] TENDERO Y, GILLES J. ADMIRE: a locally adaptive single-image, non-uniformity correction and denoising algorithm; application to uncooled IR camera[J]. **SPIE Defense, Security & Sensing Conference**, 2012, 8353(2):124-134.
- [10] TORRES S N, HAYAT M M. Kalman filtering for adaptive nonuniformity correction in infrared focal-plane arrays[J]. **Journal of the Optical Society of America A Optics Image Science & Vision**, 2003, 20(3):470-481.
- [11] 刘永进,朱红,赵亦工. 基于红外焦平面阵列读出结构的非均匀校正算[J]. **光学精密工程**, 2008, 16(1):128~134.
- [12] 康长青,张其林. 基于中间均衡直方图的红外图像非均匀校正[J]. **红外技术及应用**, 2013, 43(11):1240-1242.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

简献忠,王凡,郭强. 改进的基于压缩感知的单幅图非均匀校正[J]. **机电工程**, 2017, 34(12):1491-1495.

JIAN Xian-zhong, WANG Fan, GUO Qiang. Improved single image non-uniformity correction based on compressive[J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2017, 34(12):1491-1495.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>