

文章编号: 1672-8785(2013)08-0021-04

一种基于稀疏表示的红外与微光图像的融合方法

刘存超 薛模根

(陆军军官学院光电技术与系统重点实验室, 安徽 合肥 230031)

摘 要: 根据人类视觉系统及信号的过完备稀疏表示理论, 提出了一种基于稀疏表示的红外与微光图像融合算法。该方法首先把图像分割成部分重叠的图像块, 由正交匹配追踪算法完成图像块的稀疏分解; 然后采用最大值融合准则选择融合系数并完成图像块的重构, 得到融合结果图像。实验结果表明, 本文算法的融合效果优于小波变换法、Laplacian 塔型方法以及 PCA 方法等传统融合方法。

关键词: 图像融合; 稀疏表示; K-SVD 算法; 客观评价

中图分类号: TP911.73 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.08.05

Infrared and Low-level-light Image Fusion Based on Sparse Representation

LIU Cun-chao, XUE Mo-gen

(Laboratory of Electro and Optical Technology and System, Army Officer Academy, PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: An infrared and low-level-light image fusion algorithm based on image sparse representation is proposed according to human visual systems and the over-complete sparse representation. In the method, an image is segmented into partly overlapped image patches firstly. The image patches are decomposed by an orthogonal matching pursuit algorithm. Then, the maximum fusion rule is used to choose suitable fusion coefficients for the reconstruction of image patches. Thus, the fused images are obtained. The experimental result shows that compared with the traditional fusion methods such as wavelet transform, Laplacian pyramid and principal component analysis methods, the proposed method has better fusion effectiveness.

Key words: image fusion; sparse representation; K-SVD algorithm; objective evaluation

0 引言

红外热像仪和微光夜视仪是当前两种主要的夜视装备。红外热像仪是依据目标(背景)本身红外辐射分布的不同而进行成像的。它可以提供温度梯度较大或与背景有较大热对比的低可视目标的红外图像, 但其对场景的亮度变化不

敏感。微光夜视仪是利用光的反射而进行成像的, 所获取的微光图像具有较高的时空分辨率, 但存在着受环境条件影响大、图像层次不分明等缺点。由于红外与微光图像的信息具有互补性及冗余性, 因此通过对两者的融合, 可以有效提高目标的可识别度和图像的清晰度。目前, 红外与微光图像常用的融合方法有: 加权平均法、

收稿日期: 2013-06-05

作者简介: 刘存超(1988-), 男, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事夜视图像融合及图像处理研究。

E-mail: lcc426426@126.com

PCA(Principal Component Analysis) 变换法^[1]、图像金字塔法^[2]和小波融合方法^[3]等。加权平均法、PCA 变换法会降低图像的对比度,尤其是只出现在一幅图像中的有用信号。图像的金字塔分解是冗余分解,在进行高频融合时信息损失大且分解无方向。小波变换不能最稀疏表示图像结构中的直线和曲线的奇异性。

受人类视觉皮层神经元响应稀疏性的启发,Olshausen 和 Field 提出了一种有效的信号表示方法—稀疏表示^[4]。该方法是一种自适应的数据表示方法,它能根据图像的特点自适应地选取与其最相关的原子来进行表示。基于此,本文提出一种基于稀疏表示的红外与微光图像融合方法。

1 图像稀疏表示理论

稀疏表示的基本思想是用过完备字典取代传统信号表示中的正交基。由于过完备字典的冗余性,信号能够表示为过完备字典中少数原子的线性组合,其中利用原子最少(即最稀疏)的表示称为稀疏表示。稀疏表示的数学模型为

$$\hat{x} = \arg \min_x \|x\|_0 \quad s.t. \quad y = DX \quad (1)$$

在实际应用中允许存在一定的误差,所以上式优化求解问题转换为以下形式:

$$\hat{x} = \arg \min_x \|x\|_0 \quad s.t. \quad \|y - DX\| < \varepsilon \quad (2)$$

式(1)称为稀疏表示,式(2)称为稀疏逼近,式(1)和(2)隐含了稀疏优化求解过程。在稀疏优化求解过程中, $D = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m\}$, 其中的列向量称为原子, $D \in R^{T \times J} (T < J)$ 称为字典。由于 D 的行数小于列数,字典 D 称为冗余字典或者超完备字典。 $y \in R^T$ 为原信号(本文中即为图像), x 为信号的表示, ε 为逼近误差; $\|\cdot\|_0$ 为 l_0 范数,表示向量中非零元素的个数。

图像稀疏表示本质上可以看成是从字典 D 中搜寻到最稀疏的解 x , 即向量 x 中所含有的非零元素个数最少。该过程本质上是组合优化问题。目前国内外研究的求解稀疏矩阵的算法

分为三类: (1) 组合算法; (2) 凸松弛算法; (3) 贪婪追踪算法。本文采用贪婪追踪算法中的 OMP(Orthogonal matching pursuit) 算法^[5]进行稀疏表示,这类方法在每次迭代中通过从字典中选择一个与信号最匹配的原子来逐渐实现原始信号的稀疏逼近。

字典的生成是通过寻找稀疏表示下的最优基来完成的。原始图像信号能否尽可能地稀疏表示反映了生成字典的优劣。生成的字典不仅要使图像信号获得更完备更精确的表示,同时也要满足稀疏表示唯一性的约束。目前国内字典的生成主要有两类方法,一类通过构造一个由 s' 组成的字典:

$$s' = \frac{1}{\sqrt{g}} s\left(\frac{t-\nu}{g}\right) e^{-\pi \mu t^2} \quad (3)$$

式中, s' 由基函数 $s(t)$ 转换得到, g 、 μ 和 ν 分别表示膨胀参量、调频参量和转换参量。这类方法虽能以较高频率恢复信号,但无法自适应地根据目标信号特征来构造字典。另一类方法利用 K-SVD 算法^[6]从训练样本图像集中生成自适应学习字典。由于第二类字典是从与待融合的两个相似的红外和微光图像集中产生,具有与待融合图像相似的特征,因而用这类字典更容易稀疏表示融合图像。



图1 部分训练样本

本文采用第二种方法从训练样本中直接生成字典,具体方法如下:

(1) 选择大量与目标信号相近的高亮度、高清晰图像 $m_1, m_2, \dots, m_n$ 为训练样本,将其按照原子大小逐像素地分为 $p_1, p_2, \dots, p_n$ 个大小为 $\sqrt{T} \times \sqrt{T}$ 的块,将图像块按列向量方式排成样本矩阵 $X_1, X_2, \dots, X_n$, 构成样本 F 。

(2) 以 DCT 字典作为初始化过完备字典, F 为样本数据, 利用 K-SVD 算法训练出所需要的过完备字典 D 。

图 1 为较常用的部分训练样本, 根据上述方法生成的训练字典 D 如图 2 所示。

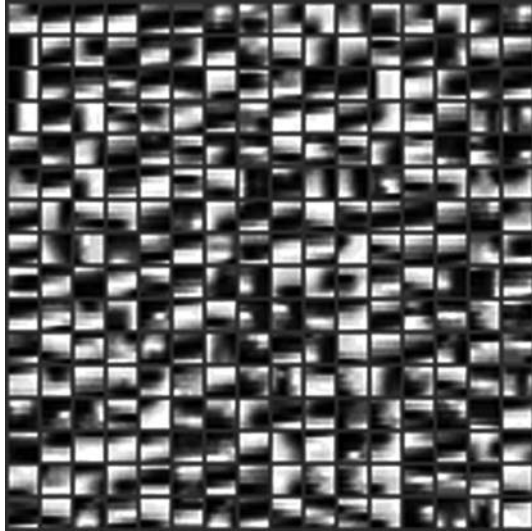


图 2 训练字典

2 融合算法

本文结合稀疏表示理论, 利用从训练样本中直接生成的字典 D , 使用贪婪追踪算法中的 OMP 算法进行稀疏表示。假设待融合的红外和微光图像分别记为 f_{IR} 和 f_{LL} , 大小都为 $M \times N$, 并且已经配准, 融合后的图像记为 $g(x, y)$ 。当图像比较大时, 对整幅图像进行稀疏表示时计算量大、复杂度高, 因此本文对图像的局部块进行稀疏表示。所用的融合算法的具体步骤如下:

(1) 将输出图像 $g(x, y)$ 初始化为零, 并将运算次数 $count$ 、循环变量 i, j 置零;

(2) 以 i, j 为顶点, 采用大小为 $\sqrt{T} \times \sqrt{T}$ 的矩形窗对图像进行分块, 分别从输入图像 f_{IR} 、 f_{LL} 中取出相应的子图块 f_{1B} 和 f_{2B} ;

(3) 将得到的分块图像按顺序转换成长度为 T 的向量 v_1 和 v_2 , 再利用贪婪追踪算法中的 OMP 算法分别对其进行稀疏表示, 得到各自的稀疏表示系数 α_1 和 α_2 ;

(4) 因为在同一字典下图像的稀疏系数一定程度上反映了字典中的原子, 稀疏系数的绝对值越大, 其对应的原子显著性的程度越高。因此本文的图像融合准则采用绝对值最大的稀疏系数:

$$\alpha_F = \begin{cases} \alpha_1 & \text{如果 } |\alpha_1| > |\alpha_2| \\ \alpha_2 & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

式中, α_F 为融合得到的稀疏系数;

(5) 根据 $\nu_F = D\alpha_F$, 将得到的向量 ν_F 转换为 $\sqrt{T} \times \sqrt{T}$ 大小的图像块 f_F 。在输出图像中累加其结果, 并记录每个像素位置处运算了多少次:

$$g \leftarrow g + f_F, count_{x,y} \leftarrow count_{x,y} + 1$$

(6) 若 $j < N - \sqrt{T}$, 以步长 1 水平移动滑动窗口, 即令 $j \leftarrow j + 1$, 重复步骤 (2)~(5), 否则令 $j=0$ 并进入步骤 (7);

(7) 若 $i < M - \sqrt{T}$, 以步长 1 垂直移动滑动窗口, 即令 $i \leftarrow i + 1$, 重复步骤 (2)~(5), 否则进入步骤 (8);

(8) 最后计算输出图像中每个像素位置处的灰度值与相应的运算次数的比值, 得到最终的图像融合结果:

$$g(x, y) \leftarrow g(x, y) / count_{x,y}$$

3 实验结果与分析

为了验证所提出的方法是否有效, 选择图像融合领域里广泛使用的三种图像融合技术—PCA 融合方法、Laplacian 金字塔融合方法和小波融合方法与本文的方法进行了对比。实验中所使用的源图像为两幅 360×270 大小的红外与微光图像。

在图 3 中, (a) 表示红外图像, (b) 表示微光图像, (c) 表示 PCA 融合结果, (d) 和 (e) 分别表示小波基为 ‘db8’ 的小波融合结果和 Laplacian 金字塔融合结果。两者采用四层小波分解, 低频系数的选择采取加权平均法, 高频系数的选择采取绝对值最大的融合准则。(f) 表示用本文算法融合的图像, 选用的滑动窗口的大小为 8×8 , 滑动距离为 1, 误差 $\epsilon=10$ 。

由融合结果可以看出, PCA 融合方法中的目标不清晰, 不利于人眼对目标的观察和识别。与 Laplacian 塔型方法、小波变换方法相比, 用本文方法得到的融合结果较前两种方法效果更好, 细节特征更突出 (如栅栏的轮廓和道路、山坡的纹理), 尤其是场景中的目标更清晰 (如人物亮度高、清晰)。

为比较不同融合方法的性能, 本文采用两种典型的图像融合结果客观评价方法来分析图像熵和标准方差。其中, 图像熵反映了信息量, 图像熵越大, 图像所含的信息越丰富。标准方差由图像灰度值相对于均值的分散测定, 其值越大则图像的灰度阶调变化范围越大; 图像的方差越大, 图像的信息量越大, 分辨率也越高。

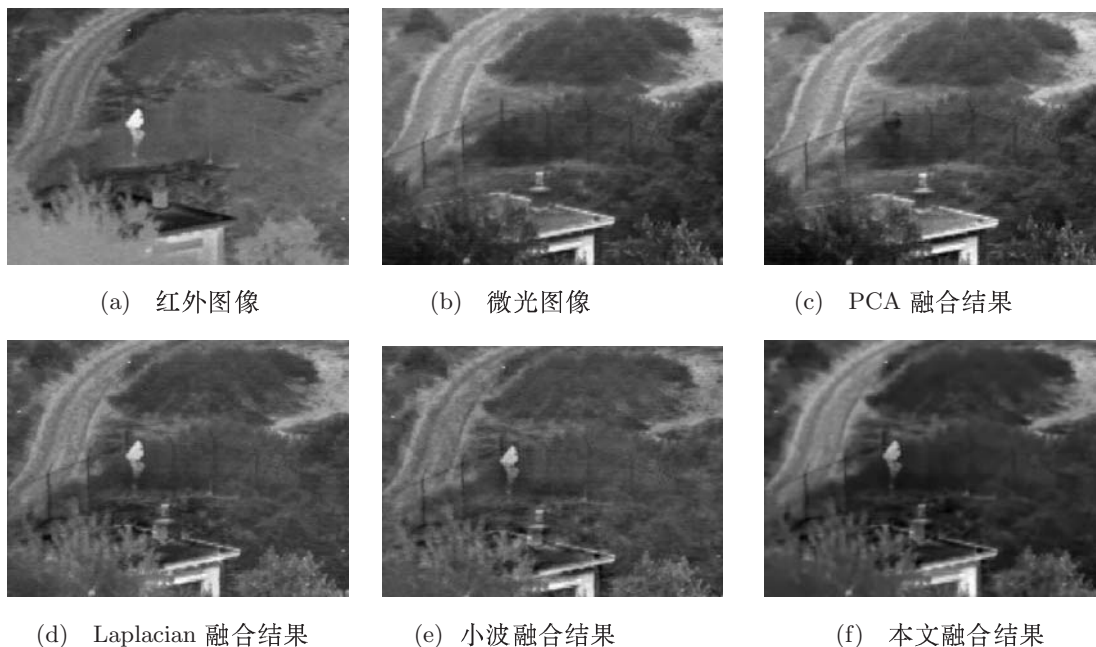


图 3 融合结果

由表 1 可以看出, 本文方法的图像熵以及方差都取得了最大值, 即用本文方法的融合图像携带的信息量较大, 融合效果较好, 与主观评价结果一致。

表 1 不同融合算法的定量分析结果

方法	图像熵	方差
Laplacian 融合	6.7017	31.2996
小波融合	6.6291	28.9523
本文方法	6.8423	35.3251

4 结论

本文提出了一种基于稀疏表示的红外与微光图像融合算法。从实验结果中可以看出, 利用 K-SVD 算法训练出字典后再进行稀疏表示, 由

于分解系数的稀疏性及能量集中性, 所得到的融合结果与传统方法得到的融合结果相比目标更突出, 细节更明显, 对比度更高, 更利于人眼的观察。

参考文献

- [1] 时海亮, 魏涛, 辛向军, 等. 基于 PCA 和 NSCT 的多光谱图像和全色图像的融合 [J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(10): 212-216.
- [2] 张建勋, 牛文宾, 张凯文. 一种改进的基于小波变换的图像融合算法 [J]. 重庆理工大学学报 (自然科学), 2012, 26(1): 61-65.
- [3] 章坚武, 颜欢, 包建荣. 改进的基于拉普拉斯先验的贝叶斯压缩感知算法 [J]. 电路与系统学报, 2012, 17(1): 34-40.

(下转第 39 页)