

基于 POCS 算法的图像超分辨率重建

李超峰, 刘 辉, 周 峰

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650051)

摘 要: 传统 POCS 算法对图像进行超分辨率重建时, 一般都假设所处理的噪声为零均值的加性高斯白噪声, 当噪声为非高斯噪声如椒盐噪声时, POCS 算法的重建效果将会下降。针对这一问题, 本文对含噪图像首先采用平稳离散小波变换技术进行去噪预处理, 然后再用 POCS 算法重建图像。实验证明, 此方法对信噪比较低的图像有很好的重建效果, 对高斯及椒盐等噪声处理比较有效。

关键词: 超分辨率重建; POCS 算法; 平稳离散小波变换技术

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Reconstruction of image super-resolution based on POCS algorithm

LI Chao Feng, LIU Hui, ZHOU Feng

(Faculty of Information Engineering and Automatization, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: Traditional POCS algorithm in super-resolution image reconstruction is generally handled by assuming the noise as zero mean additive white Gaussian noise. When the noise is non-Gaussian noise, for example, the salt & pepper noise, the reconstruction effect of POCS algorithm will decline. To solve this problem, by the noisy image containing a smooth discrete wavelet transform de-noising pre-processing techniques, POCS algorithm is applied for image reconstruction. Experiments show that the method proposed in this paper for low SNR images has a very good reconstruction results, which is more effective than Gaussian and salt & pepper noise processing.

Key words: super-resolution reconstruction; projections onto convex sets(POCS) algorithm; stationary discrete wavelet transform

超分辨率重建技术已经成为近几年的研究热点, 在遥感图像、视频监控、医学和公安系统等领域具有重要的应用价值。

图像超分辨率重建方法主要分为频率域和空间域两类。频率域方法于 1984 年由 Tsai^[1]和 Huang 用频域分析的方法从多帧低分辨率、存在全局平移运动的图像序列中插值产生 1 幅高分辨率图像。但频率域方法局限于全局平移, 图像退化模型具有空间不变性。而空间域方法能包含各种先验约束, 有更多的灵活性和更广的适应性。所以空间域方法成为近几年重点研究的方法。Schultz 等^[2-3]人提出将基于 Bayesian 框架的最大后验概率(MAP)超分辨率图像重建算法; Irani 等^[4]人采用了迭代反向投影算法(IBP), 把输出图像投影到低分辨率观测图像上以便求取与实际观测图像的差值, 根据差值不断迭代更新当前输出的图像; Stark 和 Oskoui^[5]首先将凸集投影算法(POCS)应用于超分辨率重建中; Patti 和 Sezan 等^[6]

人又提出包含多种降质因素的图像获取模型。本文针对 POCS 算法对低信噪比图像重建效果较差这一问题, 提出了基于平稳小波变换对图像进行预处理, 然后再用 POCS 算法重建图像。

1 POCS 算法的原理

凸集投影算法(POCS)^[7]是一种集合理论的图像重建方法, 所重建的图像的可行域是 1 组凸约束集合的交集, 而这些凸约束集合由重建图像的各种先验知识, 如能量有限、正定性、支撑有界域等组成。POCS 算法是一种迭代运算, 相应的凸约束集合的投影算子将解空间中的点投影到距离凸集表面最近的点上, 经过有限次迭代, 最终可以找到 1 个收敛于凸约束集合的交集的解。

定义如下凸约束集合, 每 1 个低分辨率图像序列 $g(n_1, n_2, k)$ 的 1 个像素:

$$C_{n_1, n_2, k} = \{f(m_1, m_2, l) : |r^f(n_1, n_2, k) \leq \delta_0(n_1, n_2, k)|\} \\ 0 \leq n_1, n_2 \leq N-1, k=1, \dots, L \quad (1)$$

式中, $r^{(j)}(n_1, n_2, k) = g(n_1, n_2, k) - \sum_{m_1, m_2} f(m_1, m_2, l) \cdot$

$$h(n_1, n_2; m_1, m_2, l) \quad (2)$$

$h(n_1, n_2; m_1, m_2, l)$ 为脉冲响应系数, δ_0 是对观察结果所具有的置信度, 设置为 $\delta_0 = c\delta_p$, 其中, δ_p 是噪声的标准偏差, $c \geq 0$ 是由一个适当的统计置信度范围来决定的。这些设置定义了高分辨率图像, 在与观察噪声的变化成比例的某个置信度范围内, 这些图像与所观察到的低分辨率图像帧是一致的。

任意 1 点的 $x(m_1, m_2, l)$ 在 $C_{n_1, n_2, k}$ 上的投影 $P_{n_1, n_2, k}[x(m_1, m_2, l)]$ 被定义为:

$$P_{n_1, n_2, k}[x(m_1, m_2, l)] = \begin{cases} x(m_1, m_2, l) + \frac{r^{(x)}(n_1, n_2, k) - \delta_0(n_1, n_2, k)}{\sum_{o_1} \sum_{o_2} h^2(n_1, n_2; o_1, o_2, k)} h(m_1, m_2; n_1, n_2, k) & r^{(x)}(n_1, n_2, k) > \delta_0(n_1, n_2, k) \\ x_i(m_1, m_2, l) - \delta_0(n_1, n_2, k) < r^{(x)}(n_1, n_2, k) < \delta_0(n_1, n_2, k) & \\ x(m_1, m_2, l) + \frac{r^{(x)}(n_1, n_2, k) + \delta_0(n_1, n_2, k)}{\sum_{o_1} \sum_{o_2} h^2(n_1, n_2; o_1, o_2, k)} h(m_1, m_2; n_1, n_2, k) & r^{(x)}(n_1, n_2, k) < -\delta_0(n_1, n_2, k) \end{cases} \quad (3)$$

附加约束条件, 如正定、平滑、能力有界等, 都可以用来改善图像估计的结果。给定投影算子, 就可以从所有低分辨率图像 $g(n_1, n_2, k)$ 经过有限次迭代求出高分辨率图像 $f(m_1, m_2, l)$ 的估计 $\hat{f}(m_1, m_2, l)$:

$$\hat{f}^{(i+1)}(m_1, m_2, l) = T_A \tilde{T}[\hat{f}^{(i)}(m_1, m_2, l)], \quad i=0, 1, \dots \quad (4)$$

式中, \tilde{T} 表示所有与集合 $C_{n_1, n_2, k}$ 相联系的松弛投影算子的组合, 初始估计 $f^{(0)}(m_1, m_2, l)$ 是由参考帧双线性插值到超分辨率网格上获得的。

2 基于平稳小波变换的图像去噪

2.1 平稳小波变换

平稳小波变换又称为冗余小波变换^[8], 它是通过对小波变换修改得到的, 即在每一分解级略去细节子带的下采样。此外, 还需要对滤波器进行上采样, 其分解公式为:

$$A_{j, k_1, k_2} = \sum_{n_1} \sum_{n_2} h_0^{\uparrow 2j}(n_1 - 2k_1) h_0^{\uparrow 2j}(n_2 - 2k_2) A_{j-1, n_1, n_2}$$

$$L_{j, k_1, k_2} = \sum_{n_1} \sum_{n_2} h_0^{\uparrow 2j}(n_1 - 2k_1) g_0^{\uparrow 2j}(n_2 - 2k_2) A_{j-1, n_1, n_2}$$

$$V_{j, k_1, k_2} = \sum_{n_1} \sum_{n_2} g_0^{\uparrow 2j}(n_1 - 2k_1) h_0^{\uparrow 2j}(n_2 - 2k_2) A_{j-1, n_1, n_2}$$

$$C_{j, k_1, k_2} = \sum_{n_1} \sum_{n_2} g_0^{\uparrow 2j}(n_1 - 2k_1) g_0^{\uparrow 2j}(n_2 - 2k_2) A_{j-1, n_1, n_2}$$

上式中: A_{j, k_1, k_2} 、 L_{j, k_1, k_2} 、 V_{j, k_1, k_2} 、 C_{j, k_1, k_2} 分别表示平稳小波变换后的低频分量、水平高频分量、垂直高频分量和对角高频分量。 $h_0^{\uparrow 2j}$ 和 $g_0^{\uparrow 2j}$ 表示在 h_0 和 g_0 两点之间插入 $2j-1$ 个零。相应的重构算法(IDSWT)为:

$$A_{j-1, n_1, n_2} = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^3 \left(\sum_{k_1} \sum_{k_2} h_1(n_1 - 2k_1 - i) h_1(n_2 - 2k_2 - i) A_{j, k_1, k_2} + \sum_{k_1} \sum_{k_2} h_1(n_1 - 2k_1 - i) g_1(n_2 - 2k_2 - i) L_{j, k_1, k_2} + \sum_{k_1} \sum_{k_2} g_1(n_1 - 2k_1 - i) h_1(n_2 - 2k_2 - i) V_{j, k_1, k_2} + \sum_{k_1} \sum_{k_2} g_1(n_1 - 2k_1 - i) g_1(n_2 - 2k_2 - i) C_{j, k_1, k_2} \right)$$

2.2 基于平稳小波变换的图像去噪

平稳小波去噪的原理: 首先对含噪声的图像进行离散平稳小波变换, 得到与原图像大小相同的 3 个方向的高频分量: L_{j, k_1, k_2} 、 V_{j, k_1, k_2} 、 C_{j, k_1, k_2} 和 1 个低频分量。对高频分量使用小波系数关联法将像素标记为噪声或者有用信号, 设定阈值进行判断。如果是有用信号则保持其系数不变, 否则视为噪声对其进行去除。最后用平稳小波反变换恢复出去噪图像。具体步骤如下:

(1) 对图像进行 N 层平稳小波分解, 得到 $3N$ 个高频分量(水平、垂直和对角 3 个方向)。

(2) 对分解得到的高频分量从最小尺度开始用系数相关法对小波系数设定阈值进行不同的标记。

(3) 高频分量中被标记为边缘的不处理, 被标记为噪声的小波系数, 进行收缩, 从而去除噪声。

3 基于 POCS 算法的图像重建实验数据及分析

本文在 Matlab 环境下仿真实验, 首先给出用 POCS 算法进行超分辨率图像重建的具体步骤:

(1) 读入原始图像, 对图像进行运动模糊、欠采样及加噪处理, 产生低分辨率序列图像。

(2) 采用平稳小波变换对产生低分辨率图像进行去噪预处理。

(3) 选取第 1 帧降质图像, 进行双线性插值, 产生参考帧。

(4) 读入下一帧低分辨率图像, 与参考帧做精确亚像素运动估计。

(5) 进行 POCS 迭代运算进行图像超分辨率重建。

本文以如图 1(a) 所示、大小为 280×120 像素的车牌号码图像作为原始高分辨率图像, 将该图像进行运动模糊、下采样以及加噪操作, 从而得到如图 1(b) 所示的 4 幅低分辨率图像。

对模拟生成的图像先用本文提出的平稳小波变换进行图像去噪处理, 然后以第 1 幅图像作为参考图像运



(a)原始高分辨率图像 (b)模拟的低分辨率图像
图1 原始高分辨率图像及低分辨率图像

用 POCS 算法进行超分辨率处理,同时将参考图像进行双线性插值放大 2 倍,得到图 2(a)所示的重建结果。同样对参考图像进行双线性插值放大 2 倍,但未对图像做平稳小波变换去噪处理,而直接进行 POCS 算法重建图像,得到如图 2(b)所示的图像。



(a)本文重建算法 (b)POCS 算法
图2 本文重建算法与 POCS 的比较

表 1 是重建图像以信噪比($PSNR$)和均方误差(MSE)来量化比较两种算法的重建效果。

表 1 重建图像的 $PSNR$ 和 MSE 的比较

比较重建图像	$PSNR/(dB)$	MSE
POCS 算法	20.427 8	18.092 6
本文算法	21.000 4	14.688 3

从表 1 可以看出,用本文提出的方法重建图像与普通 POCS 算法相比,信噪比有了明显的提高,同时图像的均方误差也下降了不少。从而证明本文算法的有效性。

本文针对普通 POCS 图像重建算法的降噪能力差、边缘保持能力弱等缺点,运用平稳小波变换对图像进行去噪处理。与传统正交小波变换相比有很好的边缘保持能力的优点,所提出的基于 POCS 算法的超分辨率序列图像重建方法,即首先对降质图像用平稳小波变换进行去噪预处理,然后用 POCS 算法进行图像重建,实验证明,本文方法对于高斯噪声和椒盐噪声污染的降质图像的重建效果都均优于普通 POCS 算法。

参考文献

- [1] TSAI R Y, HUANG T S. Multiframe image restoration and registration[J]. Advances in Computer Vision and Image Processing, 1984(1):317-339.
- [2] SCHULTZ R R, STEVENSON R L. Improved definition video frame enhancement[J]. Proceedings IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing(I-CASSP), Detroit, M I. 1995,4(5):2169-2172
- [3] SCHULTZ R R, STEVENSON R L. Extraction of high-resolution frames from video sequences [J]. IEEE Transactions on Image Processing. 1996, 5(6):996-1011.
- [4] IRANI M, PELEG S. Improving resolution by image registration [J]. Graphics Models and Image Processing. 1991,53(3):231-239.
- [5] STARK H, OSKOUI P. High resolution image recovery from image-plane arrays,using convex projections[J]. Journal of the Optical Society of America.A. 1989(6):1715-1726.
- [6] PATTI J, SEZAN M I, TEKALP A M. High-resolution image reconstruction from a low-resolution image sequence in the presence of time-varying motion blur[C]. In: Proceedings IEEE International Conference on Image Processing, Austin, TX.1994:343-347.
- [7] OZKAN M K, TEKALP A M, SEZAN M I. POCS-based Restoration of Space-varying Blurred images [J]. IEEE Transactions on Image Processing. 1994,3(4):450-454.
- [8] 王红梅,李言俊,张科.基于平稳小波变换的图像去噪方法[J].红外技术,2006,28(7):404-407.

(收稿日期:2009-09-15)

作者简介:

李超峰,女,1984年生,在读研究生,主要研究方向:数字图像处理,模式识别。

刘辉,男,1969年生,教授,主要研究方向:数字图像处理,模式识别。

周峰,男,1979年生,在读研究生,主要研究方向:数字图像处理,模式识别。