

·信号与信息处理·

## 图像局部纹理特征自适应超分辨率重建

沈琪琪, 赵勋杰

(苏州大学 物理与光电能源学部, 江苏 苏州 215006)

**摘要:**在双边总变分(BTV)正则化方法中,由于同时考虑了周围像素与中心像素的几何距离和灰度相似性,获得了比Tikhonov正则化方法和总变分(TV)正则化方法更好的重建质量。然而,在BTV方法中,由于正则化参数 $\lambda$ 为一个定值,使得该方法不能同时保持图像的边缘纹理信息和抑制图像噪声。针对这个问题,提出一种图像局部纹理特征自适应的正则化重建方法,基于灰度共生矩阵提取图像局部纹理特征,建立正则化参数与图像局部纹理特征的函数关系,使正则化参数 $\lambda$ 随图像局部纹理特征自适应调整。实验结果显示,与BTV方法相比,该方法能使图像的边缘和纹理细节重建效果更好,并有效抑制噪声。

**关键词:**超分辨率重建;图像局部纹理特征;正则化参数;灰度共生矩阵;双边总变分

中图分类号: TP301.4 文献标识码: A 文章编号: 1673-1255(2015)-04-0024-03

## An Adaptive Super-resolution Reconstruction of Image Local Texture Feature

SHEN Qi-qi, ZHAO Xun-jie

(College of Physics, Optoelectronics and Energy of Soochow University, Suzhou 215006, China)

**Abstract:** In bilateral total variation regularization method (BTV), considering geometric distance and gray level similarity of the center pixel and the surrounding pixels, the method to get better reconstruction quality than Tikhonov regularization method and total variation regularization method (TV) is obtained. However, in BTV method, the regularization parameter  $\lambda$  is a fixed value, so the method cannot maintain the image edge texture information and suppress image noise at the same time. In order to solve this problem, an adaptive regularization reconstruction algorithm for image local texture feature is proposed, and based on gray level co-occurrence matrix (GLCM), the image local texture feature is extracted, the function relationship of regularization parameters and image local texture feature is established, so regularization parameter  $\lambda$  is adjusted adaptively according to image local texture feature. The experimental results show that compared with BTV, this algorithm can better reconstruct the image edge texture details and suppress the noise effectively.

**Key words:** super resolution reconstruction; image local texture feature; regularization parameter; gray level co-occurrence matrix; bilateral total variation

图像超分辨率重建(super resolution, SR)是通过一组具有互补信息的低分辨率图像进行处理,重建出一幅或多幅高分辨率图像的技术。图像超分辨率重建技术的优点是,无需改变现有成像系统,就可以提高图像的空间分辨率。这样不但可以对图

像的视觉效果进行有效的提高,而且对图像的后续处理如特征提取、信息识别等都具有十分重要的意义<sup>[1]</sup>。超分辨率重建在医学诊断、红外成像、视频监控、遥感成像、视频压缩、天文观测、军事侦察等方面也具有广泛的应用价值<sup>[1-2]</sup>。

收稿日期:2015-06-23

基金项目:国防科技重点实验室基金项目

作者简介:沈琪琪(1990-),女,江苏南通人,硕士研究生,主要研究方向为计算机视觉及应用。

从图像重建过程来看,超分辨率重建问题是一个不适定问题<sup>[2-3]</sup>,如何将不适定问题适定化是人们研究的热点问题。直接加入先验约束的确定性正则化方法能有效地解决这个问题。1992年,Osher等提出了总变分<sup>[4]</sup>(total variation, TV)超分辨率重建方法,该方法的优点在于能够有效地去除噪声和消除模糊。但是,其缺陷是在强噪声情况下,图像的平滑区域会产生阶梯效应,同时图像的纹理信息也不能很好地保留。2004年,Farsiu等提出了双边总变分<sup>[5]</sup>(bilateral total variation, BTV)正则化方法,该方法不仅考虑了周围像素与中心像素的几何距离,同时也考虑了灰度相似性,这使得BTV算法性能相对于TV算法有了很大的提高,但是由于没有考虑图像局部纹理特征,正则化参 $\lambda$ 选为一个定值,不能同时兼顾平滑区域和纹理区域的重建图像质量。这是因为, $\lambda$ 值取得过大,重建后图像过于平滑,图像的纹理信息将会丢失; $\lambda$ 值过小,则不能起到抑制噪声的作用。确定 $\lambda$ 值科学的方法是:在图像平滑区域, $\lambda$ 值应较大;在边缘和纹理区域, $\lambda$ 值应较小。针对这种情况,对BTV算法进行改进,基于灰度共生矩阵提取图像的局部纹理特征,建立相应的正则化参数 $\lambda$ 的模型,使 $\lambda$ 值随图像局部纹理特征自适应变化。

## 1 确定性正则化方法

设有 $S$ 幅低分辨率观测图像 $g_k(k=1, 2, 3\dots S)$ ,每幅图像的尺寸为 $M \times N$ , $Z$ 为原始高分辨率图像,大小为 $rM \times rN$ ,其中 $r$ 是采样因子,且 $r$ 的取值大于1,则图像的降质过程可以表示为

$$g_k = D_k B_k M_k Z + n_k, k = 1, 2, 3 \dots S \quad (1)$$

式中, $D_k$ 为亚采样矩阵; $B_k$ 为模糊矩阵; $M_k$ 为几何运动矩阵; $n_k$ 为附加噪声。

由于超分辨率重建问题本身是一个不适定问题<sup>[2-3]</sup>,确定性正则化方法就是通过直接加入先验约束的方法把不适定问题适定化,其一般表达形式为

$$\hat{Z} = \arg \min_Z \left( \sum_{k=1}^S \|g_k - D_k B_k M_k Z\|_q^q + \lambda U(Z) \right) \quad (2)$$

式中, $\sum_{k=1}^S \|g_k - D_k B_k M_k Z\|_q^q$ 是观测残差的 $q$ 阶范数; $U(Z)$ 为正则化项,它描述了图像的先验信息; $\lambda$ 为正则化参数。

## 2 正则化参数确定方法

在文中,对于正则化参数 $U(Z)$ ,选用Farsiu提出的双边滤波正则化方法(BTV)<sup>[4]</sup>,因为它能很好地去除噪声,而且还使图像的纹理细节信息不丢失。但是,由于BTV方法中的正则化参数的选取存在局限性,因此对其进行了改进。

BTV表达式为

$$U_{BTV}(Z) = \sum_{l=-p}^p \sum_{m=0}^p \alpha^{|m|+|l|} \|Z - S_x^l S_y^m Z\| \quad (3)$$

式中, $p$ 为选取窗口的半径;矩阵 $S_x^l$ 和 $S_y^m$ 分别为将图像 $Z$ 沿 $x$ 和 $y$ 方向分别平移 $l$ 和 $m$ 个像素; $\alpha$ 为尺度加权系数,其取值范围为 $0 < \alpha < 1$ 。

在文中的重建方法中,将 $\lambda$ 与图像局部纹理特征关联起来。具体做法是:首先提取图像的纹理特征,然后建立正则化参数 $\lambda$ 与纹理特征的函数关系式。

分析图像纹理特征的方法有多种,主要方法有统计方法、模型方法、信号处理方法和结构方法<sup>[5]</sup>。其中,灰度共生矩阵是分析图像纹理统计特性的有力工具。灰度共生矩阵是1973年由Haralick<sup>[6]</sup>等人提出的,用来描述纹理特征的。

灰度共生矩阵反映了图像灰度变化幅度、方向、相邻间隔的综合信息<sup>[7-8]</sup>。利用灰度共生矩阵可以分析图像的排列规则和局部模式,可以由它计算图像的纹理能量、纹理均匀性和纹理对比度等特征量。因此,选择灰度共生矩阵提取图像的纹理特征,并通过实验找出其中能更好地反映局部纹理特征的量,以确定合理的 $\lambda$ 模型。

(1)纹理能量(Energy)表达式为

$$Ene = \sum_{i=0}^{255} \sum_{j=0}^{255} P_{ij}^2 \quad (4)$$

能量是灰度共生矩阵元素值的平方和,反映了图像的纹理一致性和灰度分布均匀程度。当图像是均匀的,或纹理是一致时,能量较大;反之,当图像纹理不均匀时,能量较小。根据其这一特点,建立纹理能量与 $\lambda$ 值的关系为

$$\lambda_E(Ene) = c_E \times Ene^{b_E} + e_E \quad (5)$$

(2)纹理均匀性(Homogeneity)为

$$Homo = \sum_{i,j} \frac{P(i,j)}{1+|i-j|} \quad (6)$$

均匀性体现的是图像的局部均匀程度。图像中

每对像素灰度是相似的,即图像是平滑的,均匀性的值就大;反之,图像中每对像素灰度是不相似,均匀性的值就小。因此,建立均匀性与λ值的关系为

$$\lambda_H(Homo) = c_H \times Homo^{b_H} + e_H \quad (7)$$

(3)纹理对比度(Contrast)为

$$Con = \sum_{ij} (i-j)^2 P_{ij} \quad (8)$$

对比度反映的是图像的沟纹深浅程度和图像的清晰程度。图像的纹理沟纹深,对比度大;反之,图像的纹理沟纹浅,则对比度小。建立对比度与λ值的关系为

$$\lambda_C(Con) = \frac{c_C}{Con^{b_C} + e_C} \quad (9)$$

式(5)、式(7)和式(9)中, $e, c$ 为控制常数; $b$ 为常数,取值根据实验确定。

### 3 实验结果及分析

实验一,将一幅分辨率为 $120 \times 120$ 的EIAcen图像,依次经过旋转运动、模糊、降采样和噪声过程,生成四幅分辨率为 $60 \times 60$ 的低分辨率图像,其中采用的模糊函数是 $3 \times 3$ ,方差为1的高斯核函数。图像重建实验步骤为:首先用文献[9]的配准方法进行图像配准,其次采用经过3次样条两倍插值的图像作为高分辨率图像的初始估计,最后采用最速下降法迭代求解(迭代步长为 $\beta$ )。

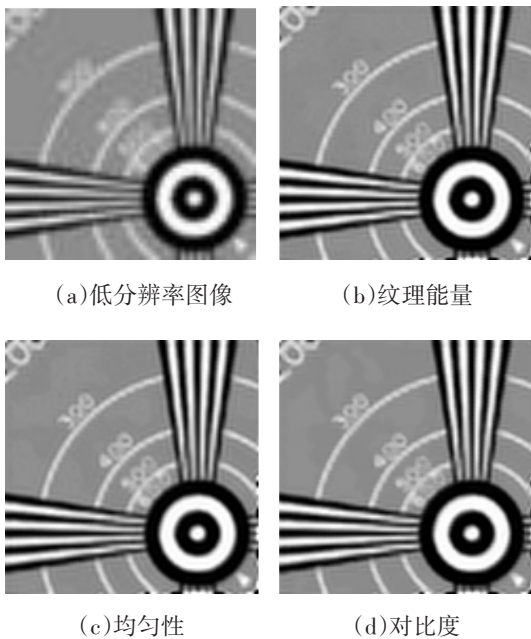


图1 文中重建方法比较

图1是利用文中重建方法比较结果。图1a为一帧低分辨率图像,图1b、图1c和图1d分别为采用式(5)、式(7)和式(9)给出的λ模型重建出来的图像,其中参数 $e, c$ 和 $b$ 通过实验确定为: $e_E = e_H = e_C = 0.000\ 01$ ,  $c_E = c_H = c_C = 0.000\ 1$ ,  $b_E = b_H = 2$ ,  $b_C = 3$ 。由图1可以看出,三幅重建图像的效果都不错,且图1c比图1b重建效果好,而图1d比图1c重建效果更好,不仅能很好地保留图像的纹理信息,而且也有效地消除了噪声和振铃效应。为了进行客观地对比,计算了这三幅图像的PSNR值。从表1中可以看出,用对比度建立正则化参数模型的重建方法的PSNR值最大,也说明了此幅图像用对比度建立正则化参数模型更适合。

表1 重建图像PSNR对比

参数	纹理能量	均匀性	对比度
PSNR/dB	16.568 5	16.572 8	16.630 9

实验二,选用了两幅图像,一幅为分辨率 $90 \times 90$ 的Flower1图像,另一幅为分辨率为 $120 \times 120$ 的Flower2。分别经过与实验一相同的处理获得四幅分辨率为 $45 \times 45$ 和分辨率为 $60 \times 60$ 的低分辨率图像。然后,按实验一的步骤进行图像重建。图2为文中方法与BTV方法实验结果的对比。图2a为一帧低分辨率图像,图2b为采用BTV正则化算法重建的图像,图2c为文中用对比度建立的正则化参数重建的图像。其中BTV算法中, $\alpha = 0.6$ ,  $\lambda = 0.005$ ,  $p = 2$ ,  $\beta = 1$ 。文中算法中, $c_C = 0.000\ 1$ ,  $e_C = 0.000\ 01$ ,  $b_C = 3$ ,  $p = 2$ ,  $\beta = 1$ 。由图2可以看出,文中方法比BTV方法更好地保留了图像的纹理细节。此外,表2的数据也显示,文中方法重建出的图像有较高的对比度。

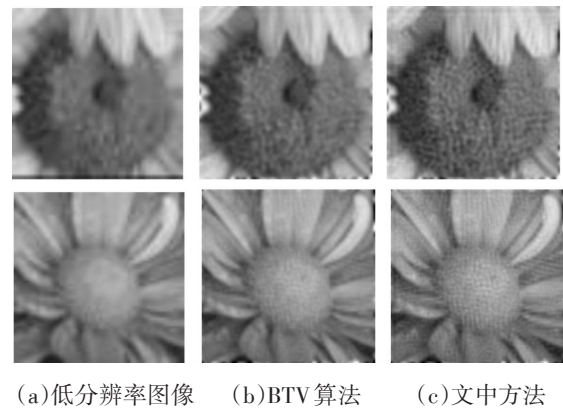


图2 文中方法与BTV方法比较

(下转第50页)

## 4 结论

研究和设计了硅光电倍增管(SiPM)的电源电路和跨阻放大电路,并进行了仿真和测试。+30 V电源电路为SiPM提供有效的偏置电压,使得SiPM工作在盖革模式下,跨阻放大电路将SiPM输出的电流信号转换为电压信号,经过测试,SiPM适配电路有较好的输出响应,满足设计要求。

### 参考文献

- [1] Renker D. New trends on photodetectors[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2007, 571:1-6.  
 [2] 黄敏敏,朱兴龙.硅光电探测器的发展与应用[J].机械

工程与自动化,2011(6):203-205.

- [3] 赵文锦.光电倍增管的技术发展状态[J].光电子技术,2011,31(3):145-148.  
 [4] Jelena Ninkovic. Recent development in silicon photomultipliers[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2007, 580:1020-1022.  
 [5] Musienko Yuri. Advances in multipixel Geiger-mode avalanche photodiodes[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2009, 598:213-216.  
 [6] 张智河,李延玲.双极输出光电倍增管高压电源设计与实验研究[J].中国医疗设备,2013,28(3):31-33.  
 [7] 唐立田,张海英,黄清华,等.一种高增益低噪声低功耗跨阻放大器设计与实现[J].电子器件,2009,32(3):566-569.

(上接第26页)

表2 重建图像平均梯度对比

方法		BTV算法	文中算法
平均	Flower1	7.355 4	8.758 9
梯度	Flower2	5.830 9	6.861 0

## 4 结束语

利用灰度共生矩阵提取图像局部纹理特征,并建立了图像纹理特征与正则化参数之间的关系,使正则化参数随图像的局部纹理特征自适应地调整,以确保正则化参数取值的合理性。通过实验对比了根据不同特征参数建立的正则化参数模型的重建效果。实验结果显示,文中方法较BTV方法能更有效地重建图像的边缘和纹理区域。

### 参考文献

- [1] 张良培,沈焕锋,张洪艳,等.图像超分辨重建[M].北京:科学出版社,2012:3-47.

- [2] Park C S, Park K M, Kang G M. Super-resolution image reconstruction: a technical overview[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2003, 20(3): 21-36.  
 [3] 江静,张雪松.图像超分辨率重建算法综述[J].红外技术,2012,34(1):24-30.  
 [4] Farsiu S, Robinson M D. Fast and robust multi-frame super resolution[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(10): 1327-1344.  
 [5] 刘丽,匡纲要.图像纹理特征提取方法综述[J].中国图像图形学报,2009,14(4):622-635.  
 [6] Robeert M Haraljk,Shanmugam K, Dinstein Hak. Textural features for image classification[J]. IEEE Transactions on Systems, Man And Cybernetics, 1973, 3(6):610-621.  
 [7] 高程程,惠晓威.基于灰度共生矩阵的纹理特征提取[J].计算机系统应用,2010,19(6):195-198.  
 [8] 贾永红.计算机图像处理与分析[M].武汉:武汉大学出版社,2001:231-235.  
 [9] Lucchese L, Cortelazzo G M. A noise-robust frequency domain technique for estimating planar roto-translations[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2000, 48(6): 1769-1786.

(上接第45页)

- [3] 许兆林,赵育良,张国栋.新型航空相机自动调焦系统的设计[J].电光与控制,2011,18(4).  
 [4] 马岩,胡君.CCD成像单元仿真系统的实时显示方法研究[J].液晶与显示,2008,23(3):334-339.  
 [5] WEI Bao-hua, LU Hai-xing, SHEN Yu-hao. A real-time on-line data acquisition system based on PC104[J]. Shijia-

zhuang Machine Engineering Institute: 6550-6552.

- [6] 房纪涛,杨慕升,张宇.基于PCI04总线的数据采集仪及数据分析系统[J].测控技术,2006,25(10).  
 [7] 胡安平.PC104在工程中的应用[J].电子产品世界,2002(15).  
 [8] Mao Y T. Error Gorithm and Accuracy Analysis[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1982.