

文章编号: 2096-1472(2016)-10-18-03

一种基于压缩感知的快速图像处理算法研究

刘 昆

(中国矿业大学徐海学院, 江苏 徐州 221008)

摘 要: 图像分形编码处理数据较多、压缩编码时间过长。论文提出了一种快速图像处理算法, 对低频子图进行分形编码, 以缩短图像压缩编码的时间, 然后采用低频差值, 对图像实施压缩感知编码来获取解码之后包含的图像内容信息。实验结果表明本文算法可以提高图像分形编码速度, 改进重构图像的解码质量。

关键词: 压缩感知; 图像处理; 编码; 低频差值

中图分类号: TP311.52 **文献标识码:** A

A Fast Image Processing Algorithm Based on Compressed Sensing

LIU Kun

(Xuhai College of China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Aiming at the too much data in image fractal coding the too much time in image compression encoding, the paper proposes a fast image processing algorithm to solve the problems. The algorithm only implements image fractal coding to low-frequency sub-images, which effectively reduces the time of image compression encoding. The decoded image information can be obtained after adopting the low-frequency difference to implement compressed sensing encoding to images. Experiment results show that the proposed algorithm can increase the image fractal coding speed and improve the decoding quality of reconstructed images.

Keywords: compressed sensing; image processing; coding; low-frequency difference

1 引言(Introduction)

当前, 互联网、多媒体、云计算等技术快速发展和进步, 已经在交通监控、银行监控等多个领域得到了广泛普及和使用, 图像处理已经成为这些应用的关键技术, 为了提高图像处理的速度和效率, 人们提出将信号处理、模式识别、边缘检测和过滤技术引入到图像处理技术中。Cambareri V 等人分析了压缩感知存在一个有限区域恢复算法, 详细地分析了信号重建的符号表, 可以利用图像编码的信息符号提高重建算法的执行效率, 恢复一个系数图像特征的灰度图像, 这样就可以更好地改善有限区域图像处理运算内容, 并且可以超越经典地提高视觉处理质量, 解决内存占用的较多的问题, 提高图像处理效率^[1]。Bioglio V 等人分析了合成孔径雷达成像处理过程中存在的问题, 回顾了图像处理的信号稀疏表示的相关配方和合成分析方法, 利用广角成像和各个方向的异性特征进行稀疏性变换, 这样就可以联合成像与自动对焦形成的相位差数据内容, 进一步提高各个图像处理的效率和质量^[2]。Cetin M. 等人详细地分析了压缩感知在图像处理、频谱编码中的应用, 提出了一个关键针对移动目标的图像特征识别算法, 能够快速的识别定位移动物体^[3]。王玥等人认为

分块压缩可以通过观测矩阵解决图像处理过程中计算复杂度高和存储空间较大的问题, 但是利用分块压缩重构图像容易产生块效应, 因此需要消除滤波, 以便能够提高重构图像的质量, 论文提出了一种基于灰度熵的纹理自适应采样方法, 可以缓解压缩感知中产生的块效应, 将全部的滤波引入到图像分块压缩感知平滑投影迭代重构过程中, 更好地保持图像的细节内容, 显著提升图像重建的质量^[4]。任越美等人分析了压缩感知理论策略, 可以通过少量的线性测量值感知信号的相关原始结构, 并且通过求解最优化的问题可以准确地重构原始信号, 能够减少数字图像、视频传输带宽占用和存储的空间, 采取稀疏变换、设计观测矩阵、重构算法等一系列理论, 并且深入分析了压缩感知在图像中的应用现状, 总体上阐述了压缩感知在图像处理中的应用需求^[5]。罗琦等人详细地分析了图像处理信号分布在不同的区域, 容易产生分块效应, 因此可以采用商估计和边缘检测方法计算各个块图像的信息含量, 从两个角度分类采样图像信息, 并且依据信息量大小将图像块划分为纹理、过渡和平滑三种类别, 以便能够采用不同的速率进行采样, 针对不同类型的图像块可以采用不同的线性算子进行重构, 再运用改进的阈值算法消除相

关的块效应和噪声数据,提升图像重构的质量,并且可以缩短重构时间^[6]。李然等人分析了图像分块压缩处理过程中,由于图像具有空间和时间特性,因此重构图像时容易产生块效应,因此采用自适应测量率思想为各个图像块设置不同的测量,可以更加智能化地获取原始的数字图像,并且将自适应测量率设定一种方法,在采集端可以更好地获得压缩感知测量值,直接估计各个图像块的样本方差,实现码率的合理控制,提高图像处理质量^[7]。何靖等人分析了PIE成像中需要运行海量的数据信息,因此可以在PIE成像中引入压缩感知理论,稀疏变换且压缩采样获取的衍射斑,可以大幅度降低数据图像处理存储的信息量,同时使用正交匹配追踪算法或子空间匹配追踪算法重构散射斑的原始分布位置,采用常规的PIE算法实现图像重建时可以压缩采样率,并且能够重构出很好的图像^[8]。肖鹏等人分析了星载合成孔径雷达图像中广泛存在方位模糊现象,当模糊能量增强时,系统将会产生大量的虚假目标,严重影响图像处理的判读,由于模糊能量与真实主区能量存在较强的时域、频域重叠的现象,造成图像处理存在鬼影,论文引入了一种压缩感知恢复算法,能够抑制方位模糊现象,将原始图像信息作为先验信息,利用截断图像的多普勒频谱抑制模糊的产生,利用压缩感知恢复算法求解最高分辨率的图像,实验结果表明该算法可以分辨复杂场景中的目标对象^[9]。尽管分形图像编码具有较高的压缩比和快速解码特点,能够广泛应用于图像编码领域,但是使用过程中存在两个问题,分别是编码时间长、存在较为严重的块效应。

时间较长的原因是分形图像压缩编码是一种不对称的图像处理算法,算法编码时间非常长,但是解码的时间较短,其需要对压缩编码空间进行全局搜索,耗费大量的计算时间寻找最佳匹配块,因此在保持较高图像质量的情况下,缩短图像编码时间已经成为分形编码的主要研究点。产生块效应的原因在于图像刻画物体表面的不规则程度,图像表面越粗糙,分形维数较小,关联的图像表面就越光滑,分形压缩方法对原图像进行方块划分和独立编码,造成块与块之间存在严重的边界误差,这样就会造成图像块与块。通常情况下,如果压缩信号在正交空间上存在一种稀疏性,就可以采用较低的频率采样信号,提高重构信号的概率,从理论上讲信号都具有较强的可压缩性,寻找到一个稀疏的压缩空间就可以有效地进行压缩采样。因此,本文在图像编码处理中引入了压缩编码理论,在小波域上对图像进行分形压缩编码,算法执行获取的差值图像可以采用压缩感知编码,实现差值图像的采样和编码,降低了图像编码的方块效应,同时提高了图像重构质量,缩短图像编码时间。

2 背景理论(Background theory)

2.1 分形编码理论

人们研究图像压缩编码已经数十年,提出了VQ、DCT、DPCM等多个算法,归纳起来分别是基于分割、基于模型和基于分形的图像压缩编码方案。分形图像编码已经成为研究最为广泛的编码方法之一。分形编码可以将原始图像表示为图像空间中一系列的压缩映射相关的吸引子,利用方块分割形成一个图像编码器,将原始图像划分为值域子块和定义域子块,可以对于每一个值域子块寻找关联的定义域子块和仿射变换,比如对比度缩放、几何变换和亮度平移,使得变换后的定义域子块能够最大程度上逼近值域子块。分形编码可以采用一个迭代函数系统压缩图像内容,并且能够有效地记录函数关联的参数,同时计算过程则使用关联的参数确定迭代函数系统,并且能够迭代生成图像内容。图像分形编码的基本步骤如下所述:

(1)图像分割。假设图像A可以划分为 $m*n$ 不重叠、逻辑独立的值域块,这些值域块的集合可以记录为 R ;然后可以将图像A再次划分为可以重叠的定义域块集合,并且将这些定义域块的集合记录为 D ,定义域块集合的数量为 $2m*2n$ 。

(2)提取IFS代码。将定义域集合 D 中的每一个 D_i 进行伸缩、仿射和平移等八种相关的变换 w_j ,其中 $j=1,2,3,\dots,8$ 。采用变换模式之后,对定义域块 $w_j(D_i)$ 关联的值域块 R_i 相关的映射可以使用公式(1)计算,如公式(1)所示。

$$D'_i = s(w_j(D_i)) + ol \quad (1)$$

计算定义域映射块与即将编码的值域块 R_i 之间存在的误差值,计算过程如公式(2)所示。

$$E(R_i, D_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} \|R_i - D'_i\|_2 \quad (2)$$

寻找 R_i 误差最小的定义域块,将其设置为最佳匹配块,记录这个定义域块的位置,并且可以利用公式(1)可以计算出相关的公式(3)。

$$s = \frac{\langle R_i - \bar{R}_i I, w_j(D_i) - \bar{D}_i I \rangle}{\|w_j(D_i) - \bar{D}_i I\|_2^2}, \quad ol = \bar{R}_i - s \cdot \bar{D}_i \quad (3)$$

定义域块的位置、变换类型、对比度因子 s 和亮度偏移因子 o 统称为IFS代码。其中, I 是单位矩阵。 $\bar{R}$ 、 $\bar{D}$ 分别是块 R 和 D 的均值。

(3)对IFS代码进行常规编码。

2.2 压缩感知理论

图像压缩感知理论指出,如果一个长度为 N 的信号可以使用 x 的集合 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ 进行有效的描述,这样某一组正交基存在一个稀疏的变换系数,改进的框架 Ψ 的相关的变换系数

为 $x = \Psi\Theta$ 或 $x = \sum_{i=1}^N a_i \psi_i$, 如公式(4)所示。

$$\Theta = \Psi^T x \text{ 或者 } a_i = \langle x, \psi_i \rangle \quad (4)$$

Θ 可以称为信号 X 的稀疏表示, 能够寻找到一个与 Ψ 不相关的测量矩阵 Φ , 可以使用系数向量进行有效的线性变换, 形成一个测量向量, 计算过程如公式(5)所示。

$$y = \Phi B = \Phi \Psi \Theta = A^{\text{CS}} \Theta \quad (5)$$

其中, Φ 是 $M \times N$ 矩阵, $M = O(K \cdot \log(N/K))$, $M \ll N$ 。
 $A^{\text{CS}} = \Phi \Psi$ 。因此可以根据这些测量值高概率重构图像。

压缩感知理论执行过程包括三个步骤, 分别是将图像信号进行稀疏表示; 设计一个良好的观测矩阵; 重构图像信号。

(1)图像信号的稀疏描述和表示。为了保证图像压缩信号的稀疏度, 可以选择一个合适的基描述相关的信号, 从而确保重构图像时的精确度。本文经过计算之后, 选择Dabechies9/7作为稀疏变换基。

(2)设计一个观测矩阵。设计观测矩阵的主要目的是可以针对图像采样获取 M 个观测值, 并且能够确保测量值不被破坏, 保证原始信号的信息准确度, 因此论文执行过程中可以采用一个 $M \times N$ 的随机高斯矩阵 Φ 。

(3)重构图像信号。压缩感知的重构算法最为关键的内容可以从低纬度数据中恢复出图像的原始高维数据, 最优化高维数据, 如公式(6)所示。

$$\bar{\Theta} = \arg \min \|\Theta'\|_0 \text{ s.t. } y = \Phi \Psi \Theta \quad (6)$$

3 基于压缩感知的快速图像处理算法设计(Design of the fast fractal image processing algorithm based on compressed sensing)

基于压缩感知的快速图像处理算法可以将低频信息进行预先编码操作, 然后对解码后的低频信息进行差值操作, 因此其他子图携带的信息以及差值信息应该具备较高的稀疏性, 压缩感知具有较低的采样速率, 并且每一个采样值都投影到了最优的列中, 如果这个假设成立, 则压缩感知可以大幅度提升图像压缩质量, 补充低频信息, 并且可以促使图像纹理边缘更加清晰, 基于压缩感知的快速图像处理算法包括:

(1)针对原始图像实施Dabechies9/7变换, 获取图像的四个子图LL、LH、HL和HH。

(2)将LL子图划分为 $2n \times 2n$ 大小的定义域块, 使用集合 D 进行描述。

(3)把图像划分为大小为 $n \times n$ 的值域块, 使用集合 R 进行描述。

(4)计算任意值域块 $R_i \in R$ 的方差 σ_{R_i} , 然后针对定义域块中

的所有定义域块进行计算, 以便能够得到每一个定义域块的方差 σ_{d_j} 。把定义域块集合中方差 σ_{d_j} 比 σ_{R_i} 大 $(w/2)\%$ 或小 $(w/2)\%$ 的定义域块放入集合 $\{D_{R_i}\}$ 中, w 为自定义值。

(5)对集合 $\{D_{R_i}\}$ 中的块 D_j 进行八种变换 D_{jk} , 通过公式(2)求得 $\min E(R_i, D_j) = \min_{j \in \{1, \dots, 8\}} \frac{1}{\sqrt{n}} \|R_i - D_{jk}\|_2$ 中 R 的最佳匹配块 D_j , 其中 $D_j \in D$; 根据公式(3)求得分形编码参数, 并记录 D_j 的位置信息。

(6)循环(1)和(2)的操作, 对强值域块 R 中的所有的单元全部进行编码。

(7)利用(4)中得到的编码参数, 对编码图像解码 F 。

(8) $F1 \leftarrow (LL - F)$ 获得差值子图像 $F1$, 可以得到系数矩阵
 $B \leftarrow \begin{bmatrix} F_1 & LH \\ HL & HH \end{bmatrix}$ 。

(9)对矩阵 B 进行系数变换, 并通过测量矩阵获得测量值。

(10)通过测量值用OMP算法解码 F' 。

(11)矩阵 F 与 F' 融合, 再反小波变换, 得到重构图像。

4 实验及结果分析(Experiment and result analysis)

4.1 实验数据

论文的实验数据采用经典的baboon、boat图, 图像的大小设置为 256×256 , 也即是每一个图像的灰度级别都为 256×256 。实验环境采用二代酷睿双核PC, CPU型号为I5 2530M, 主频为2.10GHz, 系统的操作操作系统为Win10, 内存为6GB, 系统实验采用Matlab2015集成运行环境, 以便能够运算数据, 展示算法的有效性和准确性。

4.2 实验结果分析

为了更好地验证本文算法的有效性, 论文引入了结合分类方法的并行分形图像编码算法, 以便与本文提出的压缩感知图像处理算法进行比较。图1(a)是分类并行分形图像编码运行结果, 观察发现得到的图像存在较高的方块效应, 重构的图像质量非常低, 不够清晰, 尤其是面部的胡须, 均没有显现出来。图1(b)是本文压缩感知算法处理结果, 处理之后的效果较好, 每一个图像经过重构之后变得更加清晰。如图1所示。

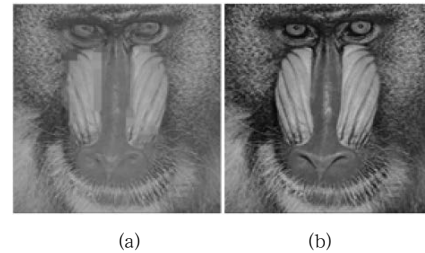


图1 baboon实验效果对比图

Fig.1 Comparison of experimental results of baboon

图2(a)是分类并行分形图像编码算法在boat图像上的运行

结果，重构的图像质量非常低，不足够清晰，许多桅杆比较模糊，因此质量较低。图2(b)是本文压缩感知算法处理结果，重构获取的图像可以显示每一根缆绳，图像的清晰度更高。如图2所示。



图2 boat实验效果对比图

Fig.2 Comparison of experimental results of boat

通过Baboon图像和boat图像运行结果可以获知，在小波域上进行分形编码，可以改善编码对图像造成的方块效应，因此本文算法仅对低频分形编码，可以大大地减少图像编码的时间，压缩感知可以对低频差值图和其他子图进行重新编码，增补了只对低频编码所缺失的信息，观察可以获知，编码时间比基于方差分形的算法缩短了12.63倍，并且PSNR高出了14.7dB，如表2所示。

表1 实验结果

Tab.1 Experimental results

图像名称	编码时间和PSNR	基于方差的算法	CSFFICA算法
Boat	编码时间(min)	3.7	0.64
	Psnr(dB)	26.8	41.0
Baboon	编码时间(min)	4.8	0.38
	Psnr(dB)	26.7	41.4

图3(a)描述文献[10]对低频子图进行分形编码操作，图3(b)则描述文献[11]算法对图像分形编码的效果图，图3(c)为本文算法对低频子图进行分形编码操作的效果。对比分析可以获知，三幅图像的编码处理时间几乎相同，但是本文算法的PSNR要比文献[11]的算法高出13dB，从图像效果可以清晰地看到本文算法在细节上要胜于文献[10]和文献[11]。由此也证明了前面的假设是成立的，即低频子图的差值图像以及其他子图的信息具有高稀疏性。如图3所示。



(a)PSNR=21.72dB 时间：0.62min (b)PSNR=27.19dB 时间：0.64min (c)PSNR=41.0dB 时间：0.64min

图3 三种算法对比图

Fig.3 Comparison of algorithms

5 结论(Conclusion)

实验结果显示图像处理采用压缩感知理论，可以减少分形编码耗费的时间，消除分形编码的产生的块效应，提升算法编码信噪比，比并行分形图像编码算法高出13dB,进而改进图像重构质量。

参考文献(References)

[1] Cambareri V,et al.Low-Complexity Multiclass Encryption by Compressed Sensing[J].IEEE Transactions on Signal Processing,2015,63(9):2183-2195.

[2] Bioglio V,Coluccia G,Magli E.Sparse image recovery using compressed sensing over finite alphabets[C].IEEE International Conference on Image Processing.IEEE,2014:1287-1291.

[3] Cetin,M,et al.Sparsity-Driven Synthetic Aperture Radar Imaging:Reconstruction,autofocusing,moving targets,and compressed sensing[J].IEEE Signal Processing Magazine,2014,31(4):27-40.

[4] 王玥,等.基于纹理自适应全变分滤波的图像分块压缩感知优化算法[J].计算机科学,2016,43(2):307-310.

[5] 曹玉强,柏森,曹明武.图像自适应分块的压缩感知采样算法[J].中国图象图形学报,2016,21(4):416-424.

[6] 任越美,张艳宁,李映.压缩感知及其图像处理应用研究进展与展望[J].自动化学报,2014,40(8):1563-1575.

[7] 罗琦,魏倩,缪昕杰.基于压缩感知思想的图像分块压缩与重构方法[J].中国科学:信息科学,2014,44(8):1036-1047.

[8] 李然,等.图像分块压缩感知中的自适应测量率设定方法[J].通信学报,2014,35(7):77-85.

[9] 何靖,等.基于压缩感知理论的PIE显微成像研究[J].光学学报,2014,11(5):91-96.

[10] 肖鹏,等.一种基于压缩感知恢复算法的SAR图像方位模糊抑制方法[J].雷达学报,2016,5(1):35-41.

[11] 郭慧,贺杰,卢振坤.结合分类方法的并行分形图像编码算法研究[J].湘潭大学自然科学学报,2015,37(1):97-102.

作者简介:

刘 昆(1981-),男,硕士,讲师.研究领域:机器学习,图像识别.