

# 基于迭代分形解码和边缘扩展的图像修复算法

姚 燕, 汤 进, 罗 斌

(安徽大学计算智能与信号处理教育部重点实验室, 合肥 230039)

**摘 要:** 根据分形码的高压缩性, 提出一种基于迭代分形解码和边缘扩展的图像修复算法。在信息嵌入阶段, 运用 1-D 变换算法、2 次推操作和换操作获取索引表, 对照索引表将分形码和奇偶校验码存入图像的最低 2 位有效位中。在图像修复阶段, 对接收到的图像进行 3 层篡改检测, 迭代地采用提取的有效分形码和边缘扩展算法对篡改图像进行修复。实验结果表明, 该算法能够获得较好的图像修复效果。

**关键词:** 分形图像编码; 迭代解码; 篡改检测; 边缘扩展; 图像修复

## Image Inpainting Algorithm Based on Iterative Fractal Decoding and Edge Expansion

YAO Yan, TANG Jin, LUO Bin

(Key Laboratory of Intelligent Computing & Signal Processing, Ministry of Education, Anhui University, Hefei 230039, China)

**【Abstract】** Based on the high compressibility of the fractal code, an effective watermark scheme using the iterative fractal decoding and inpainting for image tamper detection and recovery is proposed. In watermark insertion section, it gets a look-up index table, and inserts the fractal code and the parity-check bits into the original image according to the look-up index table to obtain the watermarked image. By watermark extraction, it can automatically localize the altered region, and iteratively apply the fractal decoding and image inpainting for image recovery. Experimental results show the effectiveness of the proposed algorithm.

**【Key words】** fractal image coding; iterative decoding; tampering detection; edge expansion; image inpainting

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.02.072

### 1 概述

随着互联网技术的发展, 利用网络进行图像传输日益普及。对传输图像信息的篡改时常发生, 图像修复技术应运而生。图像修复技术是指对图像的缺损部分利用周围的已知信息, 按照一定的算法进行填补, 使修复后的图像尽量接近原图像的视觉效果。

当前已有很多图像恢复技术被提出, 文献[1-2]利用 VQ 算法, 通过在图像中嵌入原图像的 VQ 编码信息来实现对被篡改图像的修复。文献[3-7]通过在原图像中嵌入每个块的像素平均值的前几位(MSB)来实现对篡改图像的修复(下文称作 Lin 算法), 在对亮度相对较高的图片恢复上有较好的效果, 但在对较暗的图像的恢复上, 由于较暗图像的像素值可能比较集中于图像的后 3 位中, 这样就不利于图像修复。文献[8]利用分形码对图像进行修复(下文称作 Wang 算法), 图像的明暗对图像修复的影响很小, 但是该算法只是对图像的主要区域进行分形编码, 其他区域则只利用边缘扩展的算法来进行修复, 且该算法在水印的嵌入时, 信息的存储位置比较集中, 需要利用图像的最后 3 位有效位来存储信息。本文提出一种基于迭代分形解码和边缘扩展的图像修复算法。

### 2 基于迭代的分形解码和扩展算法

#### 2.1 二次推操作

对一张索引表  $X$ , 进行 1-D 变换操作, 可获得索引表  $X'$ , 如图 1(a)所示。

$$x' = [f(x) = (k \times x) \bmod N] + 1$$

其中,  $x, x' \in [0, N-1]$  是块的索引号;  $k$  是一个密钥(图中取  $k=7$ );  $N$  是总的图像块数, 且变换后的表, 每一列上的所有索引号模上表的宽度后的余数  $\text{Re}$  都是相等的。

为实现将左半边图像的分形信息存到图像的右半边、右半边图像的分形信息存到图像的左半边, 本文利用文献[3]提出的 push-aside 算法, 对表  $X'$  进行一次 push-aside 操作, 得到表  $Y$ , 如图 1(b)所示。

通过观察表  $Y$  发现, 用于存储图像中间分形信息的索引列仍然位于索引表的中间位置, 所以本文对索引表  $Y$  进行了第 2 次的推操作。与第 1 次 push-aside 操作不同, 第 2 次推操作的操作对象是 2 个半张索引表。对于这 2 张表, 都是将表中  $\text{Re}$ (余数)小的列的往左推,  $\text{Re}$ (余数)大的列往右推, 通过第 2 次推操作, 将中间的索引推向表的 2 边, 获得表  $Y'$ , 如图 1(c)所示。

为实现将图像上半边的分形信息存储到图像的下半边, 将图像下半边的分形信息存储到图像的上半边, 本文算法对索引表  $Y'$  又进行一次换操作, 即对同一列中索引号, 将上部索引号小的与下部对应位置的大的索引号进行交换。得到索引表  $Z$ , 如图 1(d)所示。

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61073116, 61003038); 安徽省高校自然科学基金资助重点项目(KJ2010A006)

**作者简介:** 姚 燕(1987—), 女, 硕士研究生, 主研方向: 数字图像处理; 汤 进, 副教授; 罗 斌, 教授

**收稿日期:** 2011-07-08 **E-mail:** yaoyunyaoyan@126.com

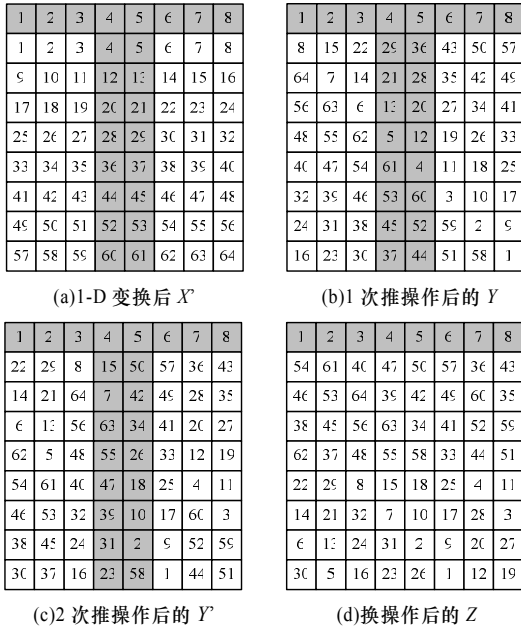


图1 索引表的生成

2.2 分形码的快速编码

分形编码是对每个  $R$  池中的块从  $D$  池中寻找最匹配的块, 从而获得整幅图像的分形码  $(M_i, S, O)$ ,  $M_i$  是匹配块的索引号,  $S$  是对比度因子,  $O$  是亮度调整因子<sup>[9]</sup>, 其中:

$$S = \langle R - \bar{R} \cdot 1, D - \bar{D} \cdot 1 \rangle / n \cdot \text{var}(D)$$

其中,  $S$  必须满足  $|S| < 1$ ;  $\bar{R}$  是  $R$  池中每个块的像素均值;  $\bar{D}$  是  $D$  池中每个块的像素均值。由上式可知, 对比度因子  $S$  与码块  $D$  的均方差  $\text{var}(D)$  成反比关系。当  $\text{var}(D)$  越小时, 则  $S$  可能就会越大, 而  $S$  必须满足  $|S| < 1$ , 这样  $S$  不满足约束的可能性越大, 需要作切断处理的  $S$  越多, 从而导致解码图像质量的下降。同时可知  $S$  的表达式的分子也含有  $D$ , 当  $D$  的均方差  $\text{var}(D)$  很小时, 如果分子  $\langle R - \bar{R} \cdot 1, D - \bar{D} \cdot 1 \rangle$  更小, 则  $S$  也可能满足  $|S| < 1$ 。然而, 当  $\langle R - \bar{R} \cdot 1, D - \bar{D} \cdot 1 \rangle$  越小时, 则  $R$  与  $D$  的相关性就越小, 成为最好匹配对的可能性也会越小。因此, 解码图像质量可因预先排除小方差的码块而得到改进, 实验表明这一改进是有效的<sup>[10]</sup>, 它不仅能加快编码的速度, 而且能提高修复图像的信噪峰值比。

2.3 分形码的迭代解码

分形解码是利用原始图像的分形信息和初始图像来生成原始图像的吸引子的过程<sup>[10-11]</sup>。在进行分形解码时, 任意选取一个图像  $x$  作为初始图像, 利用迭代函数进行解码, 使解码后的图像近似原始图像。因为解码时初始图像  $x$  是任意选取的, 所以  $x$  与原始图像的相似性通常是很小, 而在图像修复过程中, 希望用来解码初始图像  $x$  与原始图像越相似越好。因此, 本文利用修复后的图像作为初始图像再次进行分形解码修复。实验表明, 通过应用修复后的图像作为初始图像进行分形解码修复, 具有比较好的效果, 且在开始修复阶段, 重复的次数越多, 修复后的图像的峰值信噪比值越高。

3 算法描述

3.1 水印的嵌入

本文中的水印信息是由分形信息和奇偶校验码组成的。本文算法只将水印嵌入到图像的最低 2 位有效位上, 提高了嵌入后图像的峰值信噪比。其中, 奇偶校验码中的  $p$  是通过分形码的异或得到的, 即  $p = M_i \oplus S \oplus O$ ,  $v$  是通过下式得到:

$$v = \begin{cases} 1 & \text{if } p = 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

水印的嵌入就是将索引表  $X$  中块  $R_i$  生成的水印信息嵌入到索引表  $Z$  中对应的  $R_i'$  块的最低 2 位有效位中。

3.2 篡改检测

为确保每个被篡改的块都能被检测到, 本文采用 3 级分层的篡改检测算法<sup>[7]</sup>。算法描述如下:

(1)第 1 层检测: 对任意一个块  $B$ , 提取它的 LSB1 和 LSB2, 分别获取存储的分形信息  $(M_i', S', O')$  和奇偶校验  $p, v$ 。  $p' = M_i' \oplus S' \oplus O'$ , 如果  $p = p'$  且  $v = v'$ , 则该块为有效块, 否则就是无效块。

(2)第 2 层检测: 对每个通过第一层检测后仍被标记为有效的块  $B$ , 检测以它为中心的  $3 \times 3$  的块, 如果有任意相邻的 3 个块都是无效块, 则标记该块位无效块, 否则为有效块。

(3)第 3 层检测: 对通过上面两层检测后还是有效的块  $B$ , 同样检测以它为中心的  $3 \times 3$  的块, 如果有 5 个以上的块为无效块, 则标记该块为无效块, 否则为有效块。经过 3 层检测, 可以检测到所有的篡改位, 但是也可能将没有被篡改的块定位成被篡改的块, 所以在本文的实验中对第 1 层、第 2 层和第 3 层篡改检测后的图像都进行第 1 次解码和扩展恢复, 从而获得 3 幅修复图像, 然后由用户选择最理想的图像用于后面的迭代解码和扩展修复, 这保证了用户获得最好的修复图像。

3.3 图像修复

本文算法将图像的修复分为 2 个部分: 第 1 部分是利用提取的有效分形信息对图像进行恢复; 第 2 部分是利用边缘扩展对图像进行修复。首先任意选取一个跟原图像尺寸相同的灰度图片图像  $I$ , 设  $I$  为初始图像, 用相同的算法生成索引表  $Z$ 。修复过程描述如下:

**Step1** 利用有效分形码对篡改的块进行修复。(1)对于一个被篡改的块  $B$ , 首先从索引表  $Z$  中搜索隐藏  $B$  块分形信息的块  $B'$ , 判断  $B'$  是否为有效块。(2)如果  $B'$  块是有效块, 则利用从  $B'$  块中提取的分形信息和图像  $I$  来对  $B$  块进行分形解码修复。(3)如果  $B'$  块是无效块, 则不进行任何操作。

**Step2** 利用边缘扩展对图像进行修复。(1)对于任意一个被篡改且未被修复的块  $B$ , 首先搜索以它为中心的  $3 \times 3$  块。(2)若它周围有 5 个或以上的块是有效块, 则利用周围块的均值来恢复  $B$ 。(3)若周围没有 5 个以上的有效块, 则不进行任何操作。

**Step3** 重复 Step1 和 Step2。重复是用修复后的图像替换图像  $I$ 。

4 实验结果与分析

本文实验的分形编码的  $R$  池中的块是  $4 \times 4$  大小,  $D$  池中的块是  $8 \times 8$  大小的块, 滑动步长  $\delta$  取 8。实验图片是 Lena ( $256 \times 256$  像素, 8 bit 量化)。在实验进行分形编码时, 用来缩减码本的阈值设为 35([25,35]之间都可以取得较好的编码效果, 本实验推荐的 35 是通过大量的实验证明后得到的<sup>[9]</sup>)。在进行恢复时, 采用的迭代次数是 4, 当然迭代的次数越多恢复的效果越好(特别是对于篡改区域比较大的图像的恢复)。对篡改的 Lena( $256 \times 256$  像素, 8 bit 量化)进行第 1 次和第 4 次修复的结果比较如图 2~图 5 所示, 其中, 括号内的数字为相应的峰值信噪比。对 Lena 进行水印嵌入后的峰值信噪比比较结果如表 1 所示。对篡改的 Lena 进行修复后的峰值信噪比比较结果如表 2 所示。



图2 篡改50%的Lena图像修复结果1



图3 篡改50%的Lena图像修复结果2



图4 篡改22%的Lena图像修复结果

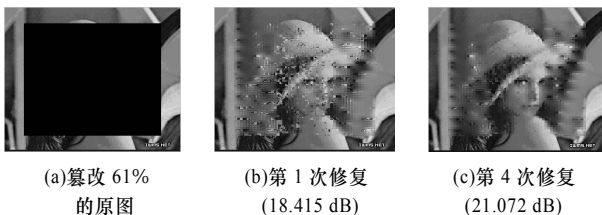


图5 篡改61%的Lena图像修复结果

表1 图像嵌入水印后的峰值信噪比比较 dB

算法	峰值信噪比
Wang 算法	42.110
Lin 算法	44.291
本文算法	44.232

表2 对篡改图像进行修复后的峰值信噪比比较

篡改尺寸/ 像素	所占比例/(%)	篡改位置	峰值信噪比/dB		
			Wang 算法	Lin 算法	本文算法
6×256	2.34	顶部	38.166	48.97	49.18
40×40	2.40	中间	42.231	39.96	42.231
70×75	8.01	左上角	28.254	42.32	42.537
80×80	9.70	中间	33.043	36.24	36.052
256×64	25.0	左边	24.681	31.60	33.836
85×256	34.0	顶部	22.153	27.37	33.991
164×164	40.1	中间	23.957	23.97	25.038
200×200	61.0	中间	20.063	19.47	21.072

(上接第214页)

参考文献

[1] Feldman R A Y. Text Mining at the Term Level[C]//Proc. of the 2nd European Symposium on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery. Nantes, France: [s. n.], 1998.

[2] Khaled M. Hammouda M S K. Efficient Phrase-based Document Indexing for Web Document Clustering[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(10): 1279-1296.

[3] 高茂庭, 王正欧. 基于文档标引图模型的文本相似度策略[J]. 计算机工程, 2008, 34(7): 19-22.

[4] Zamir O, Etzioni O. Web Document Clustering: A Feasibility

5 结束语

本文不仅在分形编码生成阶段, 提高分形编码的速度, 而且在信息的嵌入阶段, 也利用2次推操作和换操作, 使图像的中间信息分布到2边, 左边的信息存储到右边, 上边的信息存储在下边。在图像的篡改检测阶段, 利用3层检测, 保证篡改的精确定位, 在图像恢复阶段, 通过多次解码和扩展, 提高恢复后的图像的峰值信噪比。

参考文献

[1] Yang Chun-Wei, Shen Jau-Ji. Recover the Tampered Image Based on VQ Indexing[J]. Signal Processing, 2010, 90(1): 331-343.

[2] Wu Chia-Hao. Image Vector Quantization Code Indices Recovery Using Lagrange Interpolation[J]. Image and Vision Computing, 2008, 26(8): 1171-1177.

[3] Lee Tien-You. Dual Watermarking for Image Tamper Detection and Recovery[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(11): 3497-3506.

[4] Chaluvadi B, Munaga P. Efficient Image Tamper Detection and Recovery Technique Using Dual Watermarking[M]. Coimbatore, India: [s. n.], 2009.

[5] Lin Phen-Lan, Huang Po-Whei, Peng An-Wei. A Fragile Watermarking Scheme for Image Authentication with Localization and Recovery[C]//Proc. of IEEE Int'l Symp. on Multimedia Software Engineering. Miami, USA: [s. n.], 2004.

[6] Lin Phen-Lan, Huang Po-Whei. A Hierarchical Digital Watermarking Method for Image Tamper Detection and Recovery[J]. Pattern Recognition, 2005, 38(12): 2519-2529.

[7] Celik M U, Sharma G. Hierarchical Watermarking for Secure Image Authentication with Localization[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2002, 11(6): 585-595.

[8] Tsai Sung-Lin. Automatic Image Authentication and Recovery Using Fractal Code Embedding and Image Inpainting[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(2): 701-712.

[9] Jacquin A E. Image Coding Based on a Fractal Theory of Iterated Contractive Image Transformations[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1992, 1(1): 18-30.

[10] 何川江. 分形图像编码技术的算法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2004.

[11] 徐庆, 刘弘, 吴晓燕. 基于2-范数匹配的分形图像编码改进算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(4): 205-206, 209.

编辑 陈文

Demonstration[EB/OL]. (2010-11-01). <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.36.4719>.

[5] Willett P. Recent Trends in Hierarchic Document Clustering: A Critical Review[J]. Information Processing and Management, 1988, 24(5): 577-597.

[6] Jung Y J, Haesum P, Du Dingzhu, et al. A Decision Criterion for the Optimal Number of Clusters in Hierarchical Clustering[J]. Journal of Global Optimization, 2003, 25(1): 91-111.

[7] Rijsbergen V C J. Information Retrieval[EB/OL]. (2010-11-21). <http://www.dcs.gla.ac.uk/Keith/Preface.html>.

编辑 刘冰



