

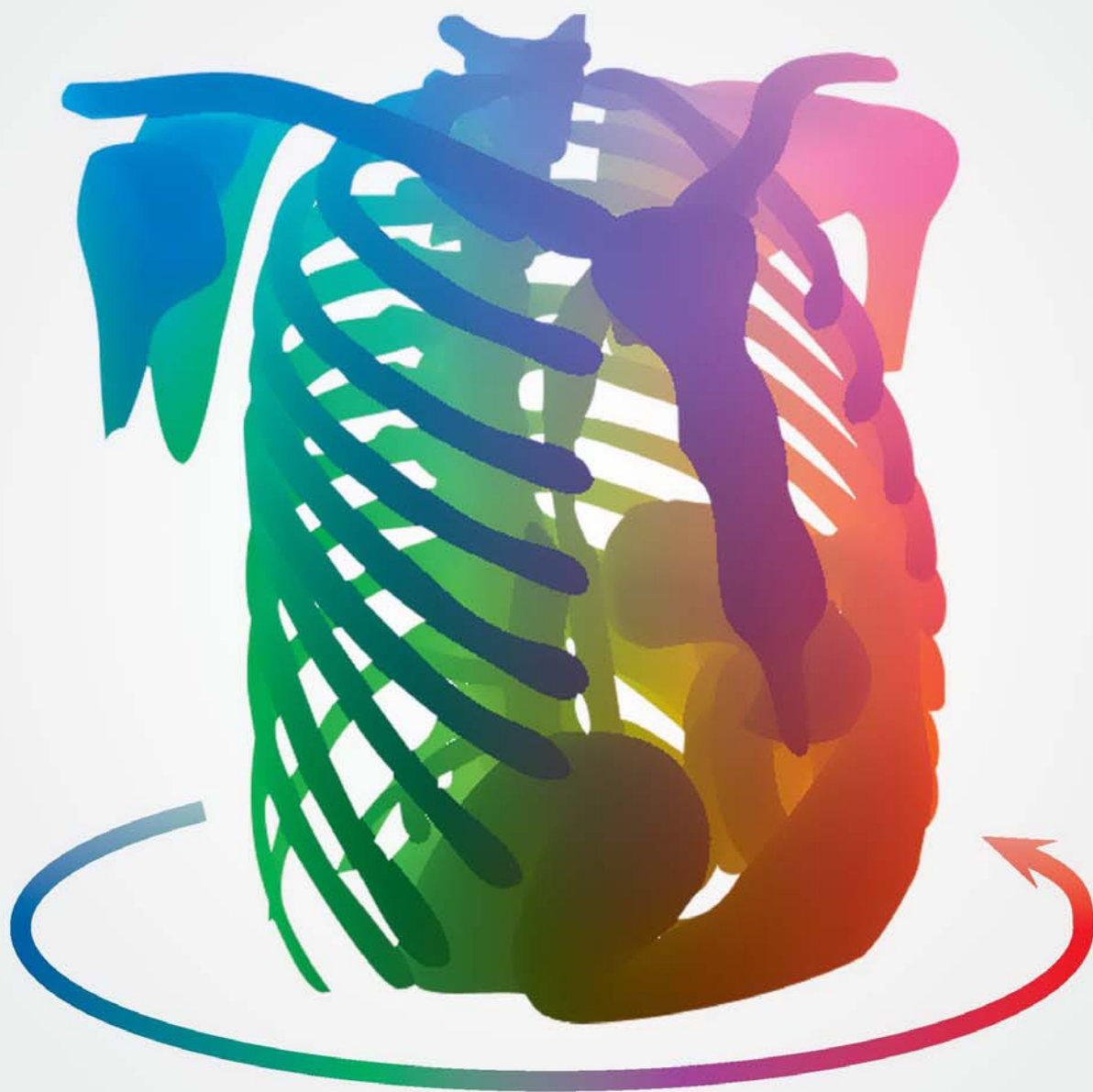
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2015
02
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



等值面光线跟踪 P193



第20卷第2期（总第226期）

2015年2月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元



多尺度活动网格在云场景仿真中的应用(第0202页)



自然环境视频中基于显著鲁棒轨迹的行为识别(第0245页)



虚拟手抓持力觉生成算法真实性的评价(第0280页)

图像处理和编码

引入神经网络中间神经元的快速小波图像压缩

张海涛, 张永霖 0159

拟正态分布扩散的图像平滑

周先春, 汪美玲, 周林锋 0169

可选特征的快速分形图像编码

袁宗文, 鲁业频, 杨汉生 0177

图像分析和识别

融合多尺度码本的全局编码图像分类

董振宇, 赵杰煜, 祝军 0183

计算机图形学

结合K-D树和Shell的快速动态等值面光线跟踪法

罗月童, 石放放, 张伟, 朱会国 0193

多尺度活动网格在云场景仿真中的应用

范晓磊, 张立民, 张建廷, 徐涛 0202

第十届和谐人机环境联合会议专栏

低资源语言的无监督语音关键词检测技术综述

杨鹏, 谢磊, 张艳宁 0211

快速离散Curvelet变换域的图像融合

杨勇, 董松, 黄淑英 0219

高效视频编码中变换跳过模式的快速选择

王宁, 张永飞, 樊锐 0229

主动学习的多标签图像在线分类

徐美香, 孙福明, 李豪杰 0237

自然环境视频中基于显著鲁棒轨迹的行为识别

易云, 王瀚漓 0245

特征变换和数据集分块的行人比对

沈洋, 林巍晓, 殷惠清 0254

移动手持环境下触摸式目标选择技术对比

辛义忠, 李岩, 袁伟强, 郑谦 0264

虚拟环境的用户意图捕获

程成, 赵东坡, 卢保安 0271

虚拟手抓持力觉生成算法真实性的评价

杨文珍, 许艳, 颜传武, 吴新丽, 张昊, 孟闯 0280

交互式乐器演奏的六自由度力觉渲染方法

童号, 史有姣, 王党校, 张玉茹 0288

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Multi-scale moving grids and its application in clouds scene simulation(P0202)



Action recognition from unconstrained videos via salient and robust trajectory (P0245)



Validation the Authenticity of Virtual fingers Grasping Haptic Algorithm(P0280)

Image Processing and Coding

- Fast wavelet image compression introducing neural network of relay neuron
Zhang Haitao, Zhang Yonglin 0159
- Image smoothing algorithm based on matching normal distribution diffusion
Zhou Xianchun, Wang Meiling, Zhou Linfeng 0169
- Optional features fast fractal image coding algorithm
Yuan Zongwen, Lu Yepin, Yang Hansheng 0177

Image Analysis and Recognition

- Image classification based on global coding combined with multi-scale codebook
Dong Zhenyu, Zhao Jieyu, Zhu Jun 0183

Computer Graphics

- Fast isosurface ray tracing method by combining K-D tree and Shell
Luo Yuetong, Shi Fangfang, Zhang Wei, Zhu Huiguo 0193
- Multi-scale moving grids and its application in clouds scene simulation
Fan Xiaolei, Zhang Limin, Zhang Jianting, Xu Tao 0202

Column of HHME'2014

- Survey on unsupervised spoken term detection for low-resource languages
Yang Peng, Xie Lei, Zhang Yanning 0211
- Image fusion based on fast discrete Curvelet transform
Yang Yong, Tong Song, Huang Shuying 0219
- Fast transform skip mode decision for high efficiency video coding
Wang Ning, Zhang Yongfei, Fan Rui 0229
- Online multi-label image classification with active learning
Xu Meixiang, Sun Fuming, Li haojie 0237
- Action recognition from unconstrained videos via salient and robust trajectory
Yi Yun, Wang Hanli 0245
- Pedestrian re-identification based on feature transformation and dataset classification
Shen Yang, Lin Weiyao, Yin Huiqing 0254
- Comparison of target selection techniques in mobile handheld environment
Xin Yizhong, Li Yan, Yuan Weiqiang, Zheng Qian 0264
- Intent understanding for virtual environments
Cheng Cheng, Zhao Dongpo, Lu Baoan 0271
- Validation the authenticity of virtual fingers grasping haptic algorithm
Yang Wenzhen, Xu Yan, Yan Chuanwu, Wu Xinli, Zhang Hao, Meng Chuang 0280
- Interactive simulation of music instrument playing by a six degree-of-freedom haptic rendering approach
Tong Hao, Shi Youjiao, Wang Dangxiao, Zhang Yuru 0288

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)02-0177-06

论文引用格式: Yuan Z W, Lu Y P, Yang H S. Optional features fast fractal image coding algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(2): 0177-0182. [袁宗文, 鲁业频, 杨汉生. 可选特征的快速分形图像编码[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(2): 0177-0182.] [DOI: 10. 11834/jig. 20150203]

可选特征的快速分形图像编码

袁宗文, 鲁业频, 杨汉生

巢湖学院电子工程与电气自动化学院, 巢湖 238000

摘要: 目的 基本分形图像编码非常耗时, 基于子块特征的方法在加快编码速度方面非常有效, 提出了一个新的子块特征函数, 加快编码速度, 改善编码性能。方法 首先证明了一个定理, 它统一了多个文献提出的理论方法, 可以对子块任意定义特征。定理阐述了特征轨迹的长度、分布与编码性能的关系, 比较了多个文献算法的优劣, 并在定理的基础上定义了一个新的特征。结果 实验结果表明, 提出的算法在编码性能上较主对角和算法和叉迹算法有一定程度的提高, 在 PSNR 相同情况下该算法具有较短的编码时间, 在编码时间相同情况下该算法具有较高的 PSNR; 在相同的搜索半径内, 该算法可找到更多的最佳匹配块; 基于子块特征的近邻只是匹配误差极小的必要而非充分条件, 当搜索 10% 的码本容量时, 该算法只有约 25% 的 R 块找到了其最佳匹配块, 当搜索到一半码本容量时, 这样的 R 块数量达到了约 80%。结论 提出的新子块特征算法较主对角和算法和叉迹算法改善了编码性能, 提高了图像质量。

关键词: 分形图像编码; 子块特征; 搜索半径; 编码性能; k -邻域

Optional features fast fractal image coding algorithm

Yuan Zongwen, Lu Yepin, Yang Hansheng

College of Electronic Engineering & Electrical Automation, Chaohu College, Chaohu 238000, China

Abstract: **Objective** Traditional fractal image coding is highly time consuming. However, according to the sub-block feature, the approach is very effective in accelerating encoding speed. This study proposes a new sub-block feature function to accelerate coding speed and improve coding performance. **Method** This study proves a theorem that unifies theoretical approaches from other documents. This theorem describes the relationship among trace length, trace distribution, and encoding performance. The advantages of multiple documents are compared, and a new block feature is defined on the basis of the theorem. **Result** Experimental results show that the proposed algorithm has improved the main diagonal sum feature. Moreover, the local cross trace feature in coding performance has a short encoding time under the same PSNR and has high PSNR under the same encoding time. In the same search radius, the algorithm could determine a large number of optimal matching blocks. That the R -block is a neighbor of the D -block according to block feature is a necessary but insufficient condition to obtain the best matching error. When 10% of the codebook capacity is searched, only approximately 25% of all R -blocks can find their best matching blocks. When half of the codebook capacity is searched, the number of such R -blocks can reach approximately 80%. **Conclusion** The proposed algorithm has better coding performance and decoding image quality than the main diagonal sum and local cross trace features.

收稿日期: 2014-09-16; 修回日期: 2014-10-16

基金项目: 安徽省高等学校自然科学基金项目(KJ2011B103)

第一作者简介: 袁宗文(1978—), 男, 讲师, 2007 年于兰州理工大学获信号与信息处理专业硕士学位, 主要研究方向为多媒体信息处理、数字电视技术。E-mail: mallat@qq.com

Supported by: Project supported by the Natural Science Foundation of Anhui Province, China (KJ2011B103)

Key words: fractal image coding; sub-block feature; search radius; coding performance; k-neighborhood

0 引言

1988年Barnsley提出了迭代函数系统^[1](IFS),并应用到图像压缩编码中,取得了极高的压缩比,但该方法需要人机交互,对操作者要求较高,无法实用。1992年Jacquin提出了基于分块的分形图像压缩方案^[2],首先将图像划分为许多互不重叠的值域块,然后对每个值域块,按照仿射变换在原始图像的紧缩图像中寻找最相似的部分,这些操作可由计算机自动完成,它为分形图像编码带来了一次质的飞跃。然而分形图像编码与其他编码技术(DCT编码,小波编码)^[3-5]相比在编码阶段耗费时间过长。因此,近二十年来,许多学者发表了大量的论文,主要是讨论如何加快编码速度^[6-11]。其中,特征向量法^[12]是广泛使用的一种快速分形图像编码方法,特征向量法主要基于这样的事实,子块的最小均方误差意义下的匹配问题可以转换为子块的特征向量在范数意义下的最近邻搜索问题,在此基础上不少学者提出了各种基于子块特征的快速分形编码算法^[13-17]。然而这些方法都只是从一个角度一定程度上反映其算法的有效性,缺少统一的理论方法。本文将这些算法包含到一个定理里,从而说明了文献[13-14]等提出的方法都只不过是定理的特例,并在定理的基础上提出一个编码性能更优的基于子块特征的快速算法。

1 基本分形编码算法

在基本分形算法^[2]中,一幅图像被分割成一组互不重叠的尺寸为 $n \times n$ 的 R 块,以及尺寸为 $2n \times 2n$ 的 D 块。通过像素平均, D 块收缩为 R 块大小,然后按8个等距变换扩大为8个子块。扩大后的收缩 D 块池称为码本(记为 Ω),每个 R 块由某个 D 块的亮度变换来近似。

编码中,每个 R 块为了在码本中找到其最佳匹配块,必须求解下面的交错极小化问题,即

$$\|R - (s \cdot D_m + o \cdot 1)\| = \min_j \{ \min_{a,b \in R} \|R - (a \cdot D_j + b \cdot 1)\| \} \quad (1)$$

式中, 1 表示与 R 同大小的全1矩阵, m 表示码本中 R 的最佳匹配 D 块的序号, j 表示码本中任意 D 块的序号。对比度因子 s 通过截断处理限制在 $[0,1]$,以保证解码迭代序列的收敛性。对式(1)的内层极小化求解,可得

$$s = \frac{\langle R - \bar{R} \cdot 1, D - \bar{D} \cdot 1 \rangle}{\|D - \bar{D} \cdot 1\|^2}, \quad (2)$$

$$o = \bar{R} - s \cdot \bar{D}$$

式中, $\bar{R}, \bar{D}$ 分别为 R, D 的均值,此时匹配误差为

$$E(R, D)^2 = \|R - (s \cdot D + o \cdot 1)\|^2 = \|R - \bar{R} \cdot 1\|^2 - s^2 \|D - \bar{D} \cdot 1\|^2 \quad (3)$$

对式(1)的外层极小化求解即得最小匹配误差

$$E(R, D_m) = \min_{D \in \Omega} E(R, D) \quad (4)$$

通过以上求解得到的四元组 $(m, \bar{s}, \bar{o}, t)$ 就是 R 块的分形码,其中 $\bar{s}, \bar{o}$ 是 s, o 的量化值, t 是等距变换序号,全体 R 块的分形码构成了图像的分形码,它描述了一个使图像近似不变的压缩变换。

解码是通过编码获得的压缩变换对任意初始图像反复迭代完成的,根据拼贴定理和不动点定理,迭代收敛的吸引子便是原始图像的一个近似图像。

2 基于可选特征的快速算法

2.1 理论基础

定义1 设图像子块 $X \in \mathbf{R}^{n \times n}$,它的规范化(去均值归一化) $\hat{X} \in \mathbf{R}^{n \times n}$ 定义为

$$\hat{X} = (\hat{x}_{i,j})_{n \times n} = \frac{X - \bar{X} \cdot 1}{\|X - \bar{X} \cdot 1\|} \quad (5)$$

显然 $\langle \hat{X}, 1 \rangle = 0, \langle \hat{X}, \hat{X} \rangle = \|\hat{X}\|^2 = 1$

定义2 设 C 为 $\hat{X} \in \mathbf{R}^{n \times n}$ 中任意不重复的轨迹,即 $C \subseteq \hat{X}$,定义在 C 上 X 的特征函数为

$$\phi(X) = \sum_{i,j} \hat{x}_{i,j} | C \quad (6)$$

符号 $x | X$ 表示 x 属于 X 。设 $I \in \mathbf{R}^{n \times n}$ 是令 $\hat{X}$ 只在 C 上为1其他部分都为零的矩阵,则 $\|I\|^2 = l(C)$ 的长度),且容易证明:

性质1: $\phi(X) = \langle \bar{X}, I \rangle$ 。

性质2: $\phi(a \cdot X + b \cdot 1) = \phi(X)$ 。

可见,特征函数具有亮度变换不变性。

定理 设 $R, D \in \mathbf{R}^{n \times n}$,则下面不等式成立:

$$E(\mathbf{R}, \mathbf{D}) \geq \frac{n\sigma_R}{2l} |\phi^2(\mathbf{R}) - \phi^2(\mathbf{D})| \quad (7)$$

式中, $\sigma_R = \|\mathbf{R} - \bar{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{1}\| / n$ 是 $\mathbf{R}$ 的标准差。

证明: 根据性质 1, 可得

$$|\phi(\mathbf{R}) \pm \phi(\mathbf{D})|^2 = |\langle \hat{\mathbf{R}}, \mathbf{I} \rangle \pm \langle \hat{\mathbf{D}}, \mathbf{I} \rangle|^2 = |\langle \hat{\mathbf{R}} \pm \hat{\mathbf{D}}, \mathbf{I} \rangle|^2$$

由柯西—许瓦兹不等式, 得

$$\begin{aligned} |\langle \hat{\mathbf{R}} \pm \hat{\mathbf{D}}, \mathbf{I} \rangle|^2 &\leq \|\mathbf{I}\|^2 \|\hat{\mathbf{R}} \pm \hat{\mathbf{D}}\|^2 = \\ l \|\hat{\mathbf{R}} \pm \hat{\mathbf{D}}\|^2 &= l(\|\hat{\mathbf{R}}\|^2 \pm 2\langle \hat{\mathbf{R}}, \hat{\mathbf{D}} \rangle + \\ \|\hat{\mathbf{D}}\|^2) &= 2l(1 \pm \langle \hat{\mathbf{R}}, \hat{\mathbf{D}} \rangle) \Rightarrow \\ |\phi(\mathbf{R}) \pm \phi(\mathbf{D})|^2 &\leq 2l(1 \pm \langle \hat{\mathbf{R}}, \hat{\mathbf{D}} \rangle) \quad (8) \end{aligned}$$

又由式(2)(3), 可得

$$\begin{aligned} E(\mathbf{R}, \mathbf{D})^2 &= \|\mathbf{R} - \bar{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{1}\|^2 \left(1 - \frac{|\langle \mathbf{R} - \bar{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{1}, \mathbf{D} - \bar{\mathbf{D}} \cdot \mathbf{1} \rangle|^2}{\|\mathbf{R} - \bar{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{1}\|^2 \cdot \|\mathbf{D} - \bar{\mathbf{D}} \cdot \mathbf{1}\|^2} \right) = \\ &\|\mathbf{R} - \bar{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{1}\|^2 \left(1 - \left| \left\langle \frac{\mathbf{R} - \bar{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{1}}{\|\mathbf{R} - \bar{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{1}\|}, \frac{\mathbf{D} - \bar{\mathbf{D}} \cdot \mathbf{1}}{\|\mathbf{D} - \bar{\mathbf{D}} \cdot \mathbf{1}\|} \right\rangle \right|^2 \right) = \\ &\|\mathbf{R} - \bar{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{1}\|^2 (1 - |\langle \hat{\mathbf{R}}, \hat{\mathbf{D}} \rangle|^2) = \end{aligned}$$

$$\|\mathbf{R} - \bar{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{1}\|^2 (1 + \langle \hat{\mathbf{R}}, \hat{\mathbf{D}} \rangle) (1 - \langle \hat{\mathbf{R}}, \hat{\mathbf{D}} \rangle)$$

结合式(8)不等式和 $\|\mathbf{R} - \bar{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{1}\| = n\sigma_R$, 可得

$$E(\mathbf{R}, \mathbf{D}) \geq \frac{n\sigma_R}{2l} |\phi^2(\mathbf{R}) - \phi^2(\mathbf{D})|$$

定理证毕。

如果将轨迹 $\mathbf{C}$ 换成主对角线, 就得到文献[13]的定理, 将轨迹 $\mathbf{C}$ 换成主次对角线, 就得到文献[14]的定理, 可见本定理更具一般性。

2.2 算法分析

如果 $\mathbf{D}$ 是 $\mathbf{R}$ 的最佳匹配块, 则 $E(\mathbf{R}, \mathbf{D})$ 应该很小, 那么由上述定理可知, 不等式右端也应该很小, 这时有 3 种情况: $\mathbf{R}$ 的标准差很小或轨迹 $\mathbf{C}$ 的长度很大或 $\mathbf{R}$ 和 $\mathbf{D}$ 的特征函数很近。反过来, 当 $\mathbf{R}$ 的标准差 σ_R 很大或轨迹 $\mathbf{C}$ 的长度 l 很小, 根据不等式就能保证当 $\mathbf{R}$ 和 $\mathbf{D}$ 的特征函数相差较远时, 则 $E(\mathbf{R}, \mathbf{D})$ 一定较大, 则此时的 $\mathbf{D}$ 块不大可能是 $\mathbf{R}$ 的最佳匹配块, 因此可以说, $\mathbf{D}$ 是 $\mathbf{R}$ 的最佳匹配块时也应是 $\mathbf{R}$ 的特征函数意义下的近邻 (非最近邻)。所以, 根据分析在搜索码本时, 可设计这样的策略: 首先将码本按 $\mathbf{D}$ 块的特征函数进行排序, $\mathbf{R}$ 块的最佳匹配块只在与 $\mathbf{R}$ 块特征函数近邻

的赋序码本内搜索, 这样就化基本分形的全局搜索为局部搜索了, 自然就加快了分形编码的速度。但另一方面, 当 σ_R 较小时, 就不能保证 $\mathbf{D}$ 是 $\mathbf{R}$ 的最佳匹配块时也是 $\mathbf{R}$ 的特征函数意义下的近邻, 从而以上的搜索策略就失效了。为解决这个问题, 可设置门限 τ , 只让 $\sigma_R \geq \tau$ 的 $\mathbf{R}$ 块搜索码本, 而 $\sigma_R < \tau$ 的 $\mathbf{R}$ 块无需搜索, 直接用 $\bar{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{1}$ 近似之, 并且根据式(2)(3)和 $s \in [0, 1)$ 可得, 当 $\mathbf{D}$ 是 $\mathbf{R}$ 的最佳匹配块时, $\sigma_R < \sigma_D$, 因此, 可设置门限 $\eta > \tau$, 去掉 $\sigma_D < \eta$ 的码块 $\mathbf{D}$, 缩减了搜索码本, 可进一步改善编码性能。

如前所述, 为了提高近邻搜索的性能, 要求轨迹的长度 l 尽可能的短, 但也要考虑轨迹分布的均匀性, 也就是使得轨迹尽可能多穿越子块的不同灰度区域。文献[13]所使用的轨迹长度 $l = n$, 文献[14]所使用的轨迹长度 $l = 2n$, 文献[15]所使用的轨迹长度 $l = n^2$ 。综合以上因素, 当子块边长是 4 的倍数时, 可这样构造轨迹: 首先将规范化子块 $\hat{\mathbf{X}}$ 均匀分割为 4 个子块 $\mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2, \mathbf{B}_3, \mathbf{B}_4$, 然后在每个子块内任选 $n/4$ 个点, 得到的特征函数

$$\phi(\mathbf{X}) = \sum_{m=1}^4 \sum_{k=1}^{n/4} \hat{x}_{ik,jk} | \mathbf{B}_m \quad (9)$$

显然, 它的轨迹长度 $l = n$ 。

综上所述, 提出以下算法步骤:

1) 把图像分割成不重叠的 $n \times n$ 的子块 $\mathbf{R}$, 以纵横方向步长为 δ 像素生成尺寸为 $2n \times 2n$ 的 $\mathbf{D}$ 块池。对于每个 $\mathbf{D}$ 块, 采用 4-邻域像素值平均得到 $n \times n$ 块, 这样的子块集合构成码本 Ω 。

2) 设定 $\mathbf{R}$ 块的标准差阈值 τ 、码块的标准差阈值 η 、搜索的邻域半径 k 。

3) 定义缩减码本 $\Omega_\eta = \{\mathbf{D} \in \Omega \mid \sigma_D \geq \eta\}$, 并按式(9)的特征函数大小赋序。

4) 对于子块 $\mathbf{R}$, 若 $\sigma_R < \tau$, 则直接用 $\bar{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{1}$ 代替之; 若 $\sigma_R \geq \tau$, 则按二分法在赋序缩减码本中搜索与子块 $\mathbf{R}$ 的特征函数相差最小的码块 $\mathbf{D}_m$ (初始匹配块), 即 $\mathbf{D}_m = \arg \min_{\mathbf{D} \in \Omega_\eta} \|\phi(\mathbf{D})\| - \|\phi(\mathbf{R})\|$ 。

5) 在赋序码本 Ω_η 中定义以匹配块 $\mathbf{D}_m$ 为中心的 k -邻域, 在其中搜索与 $\mathbf{R}$ 有最小 $E(\mathbf{R}, \mathbf{D})$ 的码本块 $\mathbf{D}_m^*$ 和等距变换序号 t , 并按式(2)计算 s 和 o , 若 $s \geq 1$, 取 $s = 31/32$, 若 $s < 0$, 取 $s = 0$, 并分别以 5 bit 和 7 bit 对 s, o 进行量化得 $\bar{s}, \bar{o}$, 四元组 $(m^*, \bar{s}, \bar{o}, t)$

即是 R 块的分形码。

6) 对于每个 R 块, 重复以上步骤直至所有 R 块。

3 实验结果分析

实验对象为 3 幅不同类型的 $512 \times 512 \times 8$ bit 标准测试图像 Lena、Boats、Peppers。实验平台是 Windows XP 操作系统 (3.2 GHz i5-3470CPU/3 GB 内存), 算法由 MATLAB7.9 软件实现。图像采样固

定分割, R 块大小为 4×4 , D 块大小为 8×8 , D 块滑动步长为 8。测试性能参数选取编码时间 (s) 和峰值信噪比 PSNR (dB)。

编码中, 控制参数 k, τ, η 对编码性能都有影响, k 是影响编码时间的主要参数。文献 [13-14] 对这些参数做了深入的仿真分析, 本文不再重复这些工作, 直接选取文献 [13-14] 的做法: $\tau = 4, \eta = 30$, 作为本文实验的默认设置。为了比较本文算法同其他算法性能上的差异, 首先选取 Lena 作为测试对象, 得到表 1 结果。

表 1 不同算法在 k 取不同值时对 Lena 编码的结果
Table 1 The results of three different encoding algorithms for Lena

邻域 k	本文算法		主对角和算法 ^[13]		叉迹算法 ^[14]	
	时间/s	PSNR/dB	时间/s	PSNR/dB	时间/s	PSNR/dB
1	1.36	30.26	1.39	30.12	1.56	30.07
5	3.34	31.34	3.38	31.19	3.42	31.08
10	5.68	31.74	5.69	31.60	5.75	31.45
20	10.16	32.01	10.16	31.95	10.26	31.79
30	14.48	32.16	14.44	32.05	14.70	31.95
50	22.68	32.26	22.65	32.22	23.13	32.09
70	30.19	32.32	30.23	32.30	31.16	32.23
100	40.80	32.37	40.50	32.36	41.80	32.34
400	76.93	32.40	79.95	32.40	77.03	32.40

从表 1 中可以看出: 1) 对于不同搜索半径 k , 本文算法的 PSNR 都要优于其他两种算法, 但随着 k 的增加, 这种优势逐渐减弱。不难理解, 这是因为随着 k 的增加, 无论哪种算法, 其最佳匹配块落入搜索半径内的数目都在增加, 但这种增加都不是线性的, 当 k 增大到一定程度, 比如 100, 3 种算法的 PSNR 都基本不再增加, 意味着, 最佳匹配块绝大部分已落入到搜索半径内了。2) 本文算法的特征函数是基于 n 点的计算, 文献 [13] 也是基于 n 点的计算, 文献 [14] 是基于 $2n$ 点的计算, 编码的其他部分则完全一样, 表 1 的编码时间基本上反映了这样的计算特点。但特征函数的计算量相比算法其他部分的计算量很小, 所以 3 种算法的编码时间基本一样。

3 种算法对不同的测试图像编码结果略有差别, 图 1 给出了 3 种不同算法在 k 分别取如表 1 的

不同值时对 Boats 和 Peppers 的编码结果。

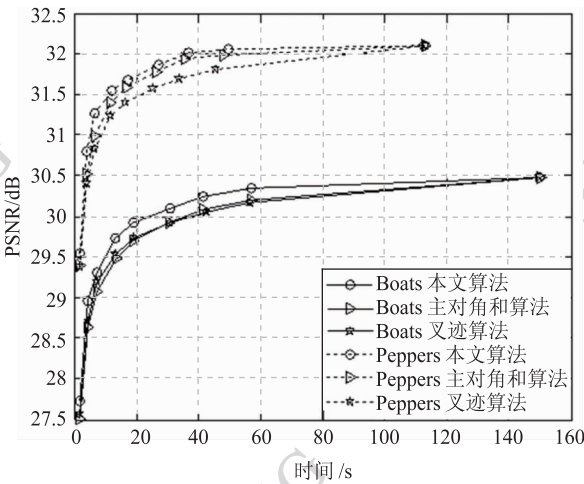


图 1 3 种不同算法的编码性能对比

Fig. 1 Comparison of three different encoding algorithms for Boats & Peppers

图1反映了本文算法对不同测试图像的编码性能也同样好于其他两种算法。主对角和算法对于Peppers测试图像的编码性能要好于叉迹算法,但对于Boats测试图像的编码性能在编码时间大于30 s后好于叉迹,编码时间小于30 s时,编码性能则劣于叉迹算法。对于这种情况的分析是:主对角和算法的轨迹分布不均匀而叉迹算法的较为均匀,但主对角和算法的轨迹长度是叉迹算法的一半,此消彼长,导致性能一定程度上的不确定性。

随着搜索半径的逐步增大,获得最佳匹配块的数量会逐步增多,但不同算法在相同的搜索半径内其最佳匹配块的数量是不一样的。表2(测试对象:Boats)给出了3种不同算法在相同搜索半径内能够找到其最佳匹配块的非平滑 R 块数量的对比结果。表2中 k 为搜索半径, $|\Omega_\eta|$ 为去掉非平滑 D 块的缩减码本容量,则 $\frac{2k+1}{|\Omega_\eta|} \times 100$ 便是半径为 k 的搜索容量占码本容量的百分比。

表2 搜索半径内可找到最佳匹配块的非平滑 R 块数量
Table 2 The number of non-smooth best matching R -block

$\frac{2k+1}{ \Omega_\eta } \times 100$	本文算法		主对角和算法		叉迹算法	
	非平滑 R 块数量	增量	非平滑 R 块数量	增量	非平滑 R 块数量	增量
10	2 781	—	2 016	—	1 548	—
20	4 841	2 060	3 675	1 659	2 825	1 277
30	6 493	1 652	5 340	1 665	4 037	1 212
40	7 743	1 250	6 638	1 298	5 035	998
50	8 648	905	7 669	1 031	6 028	993

注:非平滑 R 块的总数为10 955。

从表2中可以看出:1)当搜索10%的码本容量时,可找到最佳匹配块的非平滑 R 块的数量,本文算法为2 781,占总数的25.4%,主对角和算法为2 016,占总数的18.4%,叉迹算法为1 548,占总数的14.1%;当搜索一半码本容量时,本文算法可找到最佳匹配块的非平滑 R 块数量占总数的79%,高出主对角和算法9个百分点,高出叉迹算法24个百分点。2)在相同的搜索容量下,主对角和算法找到最佳匹配块的非平滑 R 块数量一直多于叉迹算法的,然而图1反映了在搜索半径较小时,主对角和算法的PSNR却小于叉迹算法,譬如当 $k=20$ 时(对应时间约13 s),主对角和算法可找到最佳匹配的非平滑 R 块数量是3 675,叉迹算法是2 825,然而在这种条件下得到的解码图像PSNR,主对角和算法是29.48 dB,叉迹算法是29.52 dB,如图2所示。这看似矛盾的结果实际上有其必然性,因为叉迹算法的轨迹分布较为均匀,这样即使找到最佳匹配块的非平滑 R 块数量较少,但有更多的其他非平滑 R 块找到了次佳的匹配块,这样同样能够使得其PSNR高于主对角和算法。

4 结 论

在文献[13-14]的基础上提出了一个新的定理,概括了该文献提出的算法理论,并在该定理的基础上提出了一个新的子块特征算法。实验结果表明,与文献[13-14]相比,在编码速度相同的情况下,该算法提高了解码图像质量,在解码图像质量相同的情况下,该算法提高了编码的速度,因此具有一定的应用价值。

此外,实验中还发现,在编码阶段,即使找到最佳匹配块的值域 R 块数量较少,但解码图像质量并没有因此而较低,分析认为解码图像质量并非完全由最佳匹配块的数量多少决定,次佳的匹配块数量对解码图像质量的影响不能忽视。

该文算法基于的定理只是说明了不是近邻的匹配一定不是最佳匹配,但并不能说明是近邻的就一定是最佳匹配,所以不得不在一定的范围内搜索最佳匹配,这样的搜索范围和定义的子块特征密切相关。怎样定义一个更好的子块特征以及如何得到更



(a) 主对角和算法(最佳 R 块:3 675, PSNR:29.48 dB)



(b) 叉迹算法(最佳 R 块:2 825, PSNR:29.52 dB)

图2 两种不同算法的解码图像比较($k=20$)

Fig. 2 Comparison of two different algorithms to the decoding image ($k=20$)

接近匹配误差的上限以进一步加快编码速度是以后进一步研究的方向。

参考文献 (References)

- [1] Barnsley M F, Sloan A D. A better way to compress images[J]. BYTE, 1988, (1): 215-223.
- [2] Jacquin A E. Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations[J]. IEEE Transactions on Image Process, 1992, 1 (1): 18-30.
- [3] Zhao Y, Yuan B Z. Image compression using fractals and discrete cosine transform[J]. Electronics Letters, 1994, 30 (6): 474-475.
- [4] Alex P, Bradley H. A practical approach to fractal-based image compression[R]. Snowbird: UT Data Compression, 1991.
- [5] Davis G M. A wavelet-based analysis of fractal image compression[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1988, 7 (2): 141-154.
- [6] Wohlberg B, Jager G D. A review of the fractal image coding literature[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8 (12): 1716-1729.
- [7] Koli N A, Ali M S. A survey on fractal image compression key issues[J]. Information Technology Journal, 2008, 7 (8): 1085-1095.
- [8] Martio P, Michele N. Speed up in fractal image coding: comparison of methods[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9 (6): 1002-1009.
- [9] Li J, Fu P. Fractal image compression coding based on classification and clustering[J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2002, 14 (4): 348-350.
- [10] Lototskiy R V. Images fractal compression optimization by means of artificial Kohonen neural networks[J]. Journal of Automation and Information Sciences, 2003, 35 (1): 50-60.
- [11] Zhao Y, Wang H X, Yuan B Z. A dvanced in fractal image coding[J]. Acta Electron Sinica, 2000, 28 (4): 95-101. [赵耀, 王红星, 袁保宗. 分形图像编码研究的进展[J]. 电子学报, 2000, 28 (4): 95-101.]
- [12] Chong S T, Wang M. Adaptive approximate nearest neighbor search for fractal image compression[J]. IEEE Trans. on Image Process, 2002, 6 (11): 605-615.
- [13] Li G P. Quick fractal image encoding algorithm based on main diagonal sum feature[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46 (26): 176-179. [李高平. 主对角和特征的快速分形图像编码[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46 (26): 176-179.]
- [14] He C J, Huang X Y. Fast fractal image coding based on local cross trace[J]. Journal of Computers, 2005, 28 (10): 1753-1759. [何传江, 黄席樾. 基于图像块叉迹的快速分形图像编码算法[J]. 计算机学报, 2005, 28 (10): 1753-1759.]
- [15] Zhuang Z J, He C J, Shen X N. Fast fractal image coding based on semi-norm of normalized block[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46 (2): 170-173. [庄振静, 何传江, 申小娜. 基于规范块半范数的快速分形编码算法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46 (2): 170-173.]
- [16] He C J, Yang J. Fast fractal image encoding based on shape feature[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10 (4): 410-414. [何传江, 杨静. 基于形态学特征的快速分形图像编码[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10 (4): 410-414.] [DOI: 10. 11834/jig. 20050483]
- [17] Wang Q, Liang D Q, Bi S. Nearest neighbor search for fast image encoding based on correlation information[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2011, 32 (6): 1108-1112. [王强, 梁德群, 毕胜. 基于相关信息特征最近邻搜索的快速分形图像码[J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32 (6): 1108-1112.]