

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **2**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年2月 第17卷 第2期(总第190期)

目次

综述

内容感知图像缩放技术综述 施美玲,徐丹(157)

图像处理和编码

引入纹理相似性的纺织品图像增强 杨学志,田晓梅,方静,卢洁(169)

保持边缘特征和增强对比度的图像缩放算法 计忠平,方美娥,王毅刚,吴向阳(178)

以图像认证为目的的分形编码数字水印算法 黄晓晴,于盛林(183)

结合运动矢量和像素递归的全局运动估计方法 赵亚湘,刘少强,樊晓平(191)

无缝栅格数据小波金字塔构建 马伯宁,冷志光,汤晓安,匡纲要(197)

图像分析和识别

伪彩色空间完全非结构化道路检测方法 胡晓辉,孙苗强,苏晓许(203)

未知环境下机器人障碍物检测技术 王文格,武凯宾,朱江,段文彬,许重阳(209)

局部 GAC 模型在医学图像分割中的应用 张建伟,方林,陈允杰,詹天明,罗春燕(215)

判别割(Dcut)的图像分割及其快速分割算法 邹小林,陈伟福,冯国灿(222)

改进的遮挡条件下瞳孔检测方法 潘林,魏丽芳,郑炳锟,余轮(229)

木材显微图像的局部水平集分割方法 汪杭军,祁亨年(236)

关键点检测的线要素综合算法 黄志坚,张金芳,徐帆江(241)

GPU 加速的高分辨率 DEM 图像地形特征线提取算法 刘洲俊,胡包钢(249)

改进 GVF 的自动 Snakes 模型 周亚男,程熙,骆剑承,沈占锋,胡晓东(256)

曲波变换用于磨粒图像不变矩的提取 张云强,张培林,任国全,王国德,徐超,李兵(263)

图像理解和计算机视觉

深度图像中基于轮廓曲线和局部区域特征的3维物体识别 吴莉婷,张宇,杨一平,田原(269)

机载 LiDAR 数据的 LZD 航带平差 王丽英,宋伟东(279)

计算机图形学

基于 Z 曲线的瓦片地图服务空间索引 聂云峰,周文生,舒坚,许虎(286)

虚拟现实和增强现实

GPU 加速的台风可视化方法 秦绪佳,张勤锋,陈坚,郑红波,徐晓刚(293)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 2 期

2012 年 2 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
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

北京 9718 信箱 邮编 100101

电子信箱: jig@irsa.ac.cn

电话: 010-68407995 010-82614429

网 址: www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail: jig@irsa.ac.cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 2 February 2012

Contents

Review

Survey on content-aware image resizing techniques Shi Meiling, Xu Dan (157)

Image Processing and Coding

Enhancement of textile image with texture similarity Yang Xuezhi, Tian Xiaomei, Fang Jing, Lu Jie (169)

Edge-preserving and contrast-enhancement image scaling Ji Zhongping, Fang Mei'e, Wang Yigang, Wu Xiangyang (178)

Watermarking method on fractal coding for image authentication Huang Xiaoqing, Yu Shenglin (183)

Global motion estimation method with motion vectors and pixel recursion Zhao Yaxiang, Liu Shaoqiang, Fan Xiaoping (191)

Seamless wavelet pyramid construction for raster data Ma Boning, Leng Zhiguang, Tang Xiao'an, Kuang Gangyao (197)

Image Analysis and Recognition

Completely unstructured road detection for pseudo-color space Hu Xiaohui, Sun Miaoqiang, Su Xiaoxu (203)

Obstacle detection for robot in unknown environment
..... Wang Wenge, Wu Kaibin, Zhu Jiang, Duan Wenbin, Xu Chongyang (209)

Application of local GAC model for medical image segmentation
..... Zhang Jianwei, Fang Lin, Chen Yunjie, Zhan Tianming, Luo Chunyan (215)

Fast image segmentations of Deut Zou Xiaolin, Chen Weifu, Feng Guocan (222)

Improved method for the pupil measurement under occlusion Pan Lin, Wei Lifang, Zheng Bingkun, Yu Lun (229)

Segmentation method of wood microscopic image based on local level set Wang Hangjun, Qi Hengnian (236)

Algorithm of line generalization with key point detection Huang Zhijian, Zhang Jinfang, Xu Fanjiang (241)

High resolution DEM topographic feature line extraction algorithm using GPU Liu Zhoujun, Hu Baogang (249)

Automatic snakes model based on modified GVF Zhou Yanan, Cheng Xi, Luo Jiancheng, Shen Zhanfeng, Hu Xiaodong (256)

Invariant moment extraction by curvelet transform for wear particle images
..... Zhang Yunqiang, Zhang Peilin, Ren Guoquan, Wang Guode, Xu Chao, Li Bing (263)

Image Understanding and Computer Vision

Three-dimensional free-form object recognition based on contour curve and local surface patches in range images
..... Wu Liting, Zhang Yu, Yang Yiping, Tian Yuan (269)

Least Z-difference strip adjustment of airborne LiDAR data Wang Liying, Song Weidong (279)

Computer Graphics

Spatial index for tile map service based on Z curve Nie Yunfeng, Zhou Wensheng, Shu Jian, Xu Hu (286)

Virtual Reality and Augmented Reality

GPU accelerated typhoon visualization method Qin Xujia, Zhang Qinfeng, Chen Jian, Zheng Hongbo, Xu Xiaogang (293)

中图法分类号: TP391.4 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)02-0178-05

论文引用格式: 计忠平, 方美娥, 王毅刚, 吴向阳. 保持边缘特征和增强对比度的图像缩放算法 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(2): 178-182

保持边缘特征和增强对比度的图像缩放算法

计忠平, 方美娥, 王毅刚, 吴向阳

杭州电子科技大学图形图像研究所, 杭州 310018

摘要: 图像的边缘信息和对比度是影响人体视觉的最主要因素。提出一种能够同时保持边缘特征和增强对比度的图像缩放新方法。通过边缘检测算法、边缘梯度增强以及梯度图的低通滤波算法, 得到新的梯度图, 再通过求解泊松方程得到重建的图像。由于对图像边缘作了特殊处理, 从而避免在图像缩放过程中丢失边缘信息。该方法可以同时保持特征以及增加图像的对比度, 从而更好地展现图像的细节。实验结果表明, 本文方法能应用于一般图像和医学图像的缩放和增强等应用中。

关键词: 图像缩放; 边缘检测; 泊松方程; 对比度增强

Edge-preserving and contrast-enhancement image scaling

Ji Zhongping, Fang Mei'e, Wang Yigang, Wu Xiangyang

Institute of Graphics and Image, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China

Abstract: Humans are sensitive to edges and the contrast of images. We propose a novel image zooming method which preserves the edges and enhances the contrast of an image synchronously. In our system, images are reconstructed by solving a Poisson equation after Canny edges detection, gradients scaling and smoothing on edges. The gradients along the image edges are scaled, which preserves the edges for image scaling. Our method not only preserves the image edges, but also enhances the image contrast which reveals more image details. This method is easy to implement, and can be applied to several areas such as image scaling and contrast enhancement.

Key words: image scaling; edge detection; Poisson equation; contrast enhancement

0 引言

数字图像缩放是图像处理的基本问题, 并在实际中得到了广泛应用。在公安、医学、航天等系统中以及视频应用和处理等场合常常需要有效的图像缩放算法来得到大小不一的图像。数字图像是以点阵形式保存的数据, 因此图像的缩放一般是借助像素插值算法来实现的。插值算法的优劣直接关系到图像在缩放过程中的质量。

经典的图像插值算法有最近邻域法, 双线性插

值法, 双三次插值法^[1], B样条插值法^[2], 三次卷积插值法^[3]等。这些方法的主要特点是速度快, 但是遇到了保持图像边缘清晰与图像内容平滑之间的矛盾, 并且插值后的结果精度较低。如最近邻域法将不可避免地引入锯齿形, 后面的方法改善了这一缺陷, 但是往往表现为过于平滑和模糊, 使图像失去了特征, 如尖锐的边缘。而图像的边缘信息是影响视觉效果的重要因素, 因而基于边缘方向的插值技术成为近年来研究的热点。比如自适应图像插值算法, 在插值过程中, 考虑了边缘区域的特点, 在一定程度上实现插值后图像的边缘锐化, 保持了图像的

收稿日期: 2010-12-30; 修回日期: 2011-04-07

基金项目: 国家青年自然科学基金项目(60904070); 浙江省自然科学基金项目(Y1111101)

第一作者简介: 计忠平(1980—), 男, 讲师, 2008年于浙江大学获应用数学专业博士学位, 主要研究方向为数字几何处理, 计算机图像处理。E-mail: jzp@hdu.edu.cn

边缘。如利用原图像和插值图像边缘像素的局部协方差之间的几何对偶性进行非线性插值^[4],文献^[5]提出梯度插值核,对边缘与非边缘不同的区域采用不同的插值方法^[6],利用插值误差理论对线性插值进行非线性修正^[7],根据像素间的最大相关性进行插值^[8]等方法。

影响图像清晰度主要有两个因素:边缘和对比度。图像的边缘信息是人体识别和计算机识别中的重要特征^[9-10]。而由生理学和光学原理可知,人眼感知的并非物体本身的绝对亮度,而是不同部位或物体间的相对亮度。因此,对比度越强,画面越清晰,越易于观察和鉴别。本文算法在缩放过程中对这两个因素进行控制,使得图像保持或者增强清晰度。本文方法在增强边缘以及调整对比度的同时通过整体求解使得误差全局化,从而达到抗锯齿的效果。

1 基于泊松方程的图像缩放

1.1 算法概述

将待处理的图像记为 $I(x,y)$,如果是三通道彩色图像,那么以下计算均针对每个通道单独处理,最后再合并通道得到最终的图像。首先计算 $I(x,y)$ 的梯度 $G(x,y)$,并采用一般方法(如双线性插值)缩放 $I(x,y)$ 得到 $I_s(x,y)$ 以及缩放 $G(x,y)$ 得到梯度 $G_s(x,y)$,再根据 $I_s(x,y)$ 的边缘特征调整 $G_s(x,y)$,最后求解泊松方程重建图像。本文算法的重要思想就是通过调整 $G_s(x,y)$ 来对图像边缘作特殊处理以及实现对比度增强,从而使缩放后的图像仍保持边缘及细节的清晰度。

1.2 梯度图的调整

为了使最终的图像具有清晰的边缘,根据 $I_s(x,y)$ 来修改梯度 $G_s(x,y)$ 。为了保持图像的边缘信息,用 Canny 算子^[11]检测图像 $I_s(x,y)$ 的边缘二值图 $E_s(x,y)$ 。如果某像素被检测为边缘,则对应的 $E_s(x,y)$ 取值为 1,否则取值为 0。对边缘像素的梯度作适当增强,即 $G_s(x,y) = 1.5 \cdot G_s(x,y)$,如果 $E_s(x,y) = 1$ 。而对 $G_s(x,y)$ 对应 $I_s(x,y)$ 的非边缘部分作低通滤波处理。这样做的目的是为了既理顺图像内容又保持图像边缘。

由于缩放了梯度图 $G_s(x,y)$,此时沿梯度图中任意一条路径积分,其结果将被放大 $scale$ 倍,其中 $scale$ 是图像缩放的比列。为了得到正常亮度和颜色,我们缩放梯度图,

$$\bar{G}_s(x,y) = G_s(x,y)/scale \quad (1)$$

1.3 泊松重建

接下来将根据修改后的梯度图 $\bar{G}_s(x,y)$ 来重建图像。目的就是构建一个梯度为 $\bar{G}_s(x,y)$ 的单通道的高度图 $H(x,y)$ 。但是由于 $\bar{G}_s(x,y)$ 不一定可积,即不一定存在一个高度图,它的梯度刚好是 $\bar{G}_s(x,y)$ 。因此退而求其次,求解一个二次最小意义下的近似解^[12-13]。将问题转化为最小化下式

$$H(x,y) = \arg \min_H \iint \|\nabla \bar{H}(x,y) - \bar{G}_s(x,y)\|^2 dx dy \quad (2)$$

众所周知,最终转化为求解如下泊松方程

$$\nabla^2 \bar{H} = \text{div } \bar{G}_s \quad (3)$$

其中泊松方程的 Dirichlet 边界条件为图像对应的矩形边界上的值为 $I_s(x,y)$,即保留 $I_s(x,y)$ 矩形边界上的值作为式(3)的硬约束,内部的值则有式(3)计算而得。

2 实验与讨论

2.1 算法实现

由于 Laplace 和散度算子均是线性算子,因此可以用有限差分来逼近它们

$$\nabla^2 H(x,y) \doteq H(x-1,y) + H(x+1,y) - 4H(x,y) + H(x,y-1) + H(x,y+1) \quad (4)$$

$$\text{div } G \doteq G_x(x,y) - G_x(x-1,y) + G_y(x,y) - G_y(x,y-1) \quad (5)$$

将式(4)(5)代入式(3)得到如下线性方程组,

$$Ax = b \quad (6)$$

式中, A 是一个稀疏矩阵,使用 TAUCS 库^[14]来计算该线性方程组得到解 x 。当待处理的图像是 RGB 三通道的彩色图像时,则将每个通道单独处理,最后再合并 3 个通道得到最终的图像。

2.2 结果比较

针对本文提出的方法,做了大量实验。文中例子均放大 5 倍以上,传统方法在放大该倍数后一般会出现严重的锯齿形或高度模糊现象。图 1 是本文算法将图像放大 5 倍的示例。在图像被以大倍数放大后,双三次插值法出现了严重的锯齿,而本文算法的结果则相对清晰和光滑。

本文的优势在于,通过调整梯度值和基于泊松方程的图像重建可以改善模糊或锯齿形的情况。

图 2 是放大 8.5 倍的例子以及与其他方法的比较。其中图 2(c)(f) 是 Lanczos 插值方法^[15] 放大后的结果, Lanczos 方法是效果较好的插值方法, 但是在大的

倍数的放大实验中, 也出现了锯齿和块斑现象, 而本文算法的结果则边缘显得较为清晰以及图像画面相对干净。

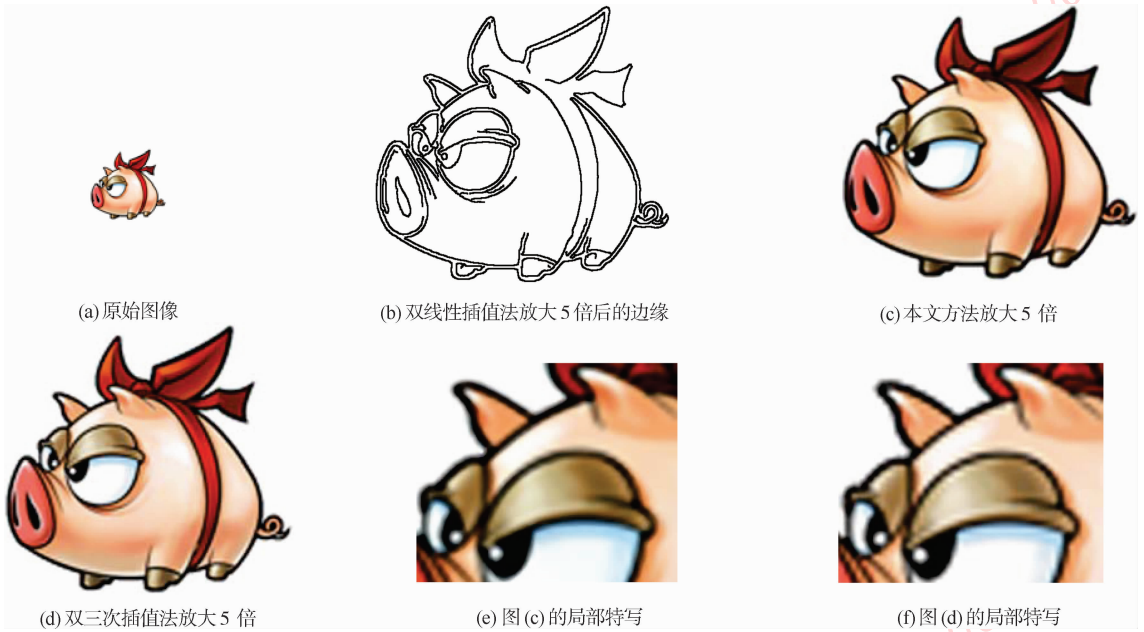


图 1 泊松缩放示例以及结果比较

Fig. 1 Poisson scaling and results comparing

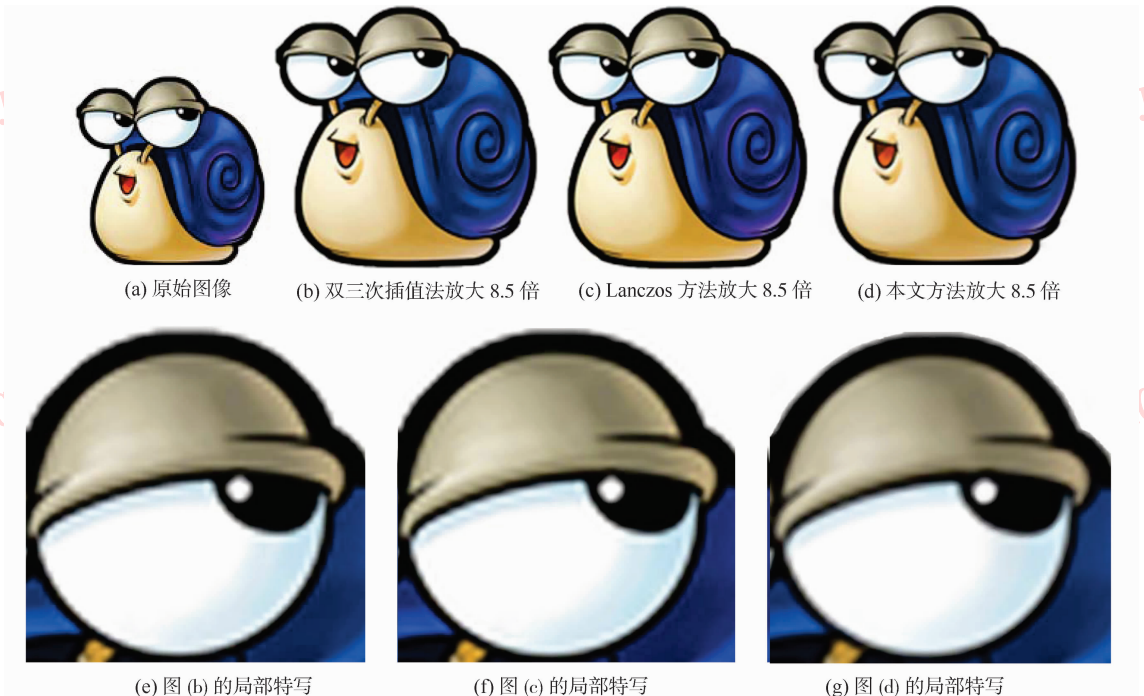


图 2 缩放结果比较

Fig. 2 Results comparing

2.3 对比度增强

本文算法在缩放图像时,不仅可以保持图像的边缘信息,同时还可以控制图像的对比度。在对梯度图的修正时,即 $\bar{G}_s(x,y) = G_s(x,y)/scale$, 可以引入参数 k 来缩放梯度,即

$$\bar{G}_s(x,y) = k \cdot G_s(x,y)/scale \quad (7)$$

从而达到改变图像相邻像素的对比度。

图3和图4是本文算法对医学图像的缩放以及对比度增强的例子。在图3中,原图在缩放5倍的同时增强了对比度,不仅没有锯齿形,反而增加了清晰度,图中可以看出, k 值越大则图像的对比度越高,某些细节则越清晰。图4中的例子将胆结石的部位放大5倍,并且增强了对比度,使得该部位更加醒目。

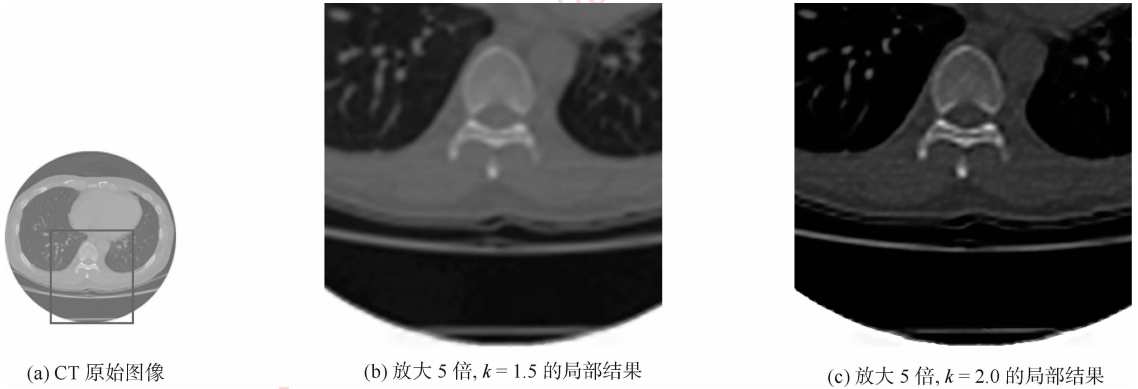


图3 CT图片对比度增强的实验例子

Fig.3 Experimental results of contrast enhancement for CT image

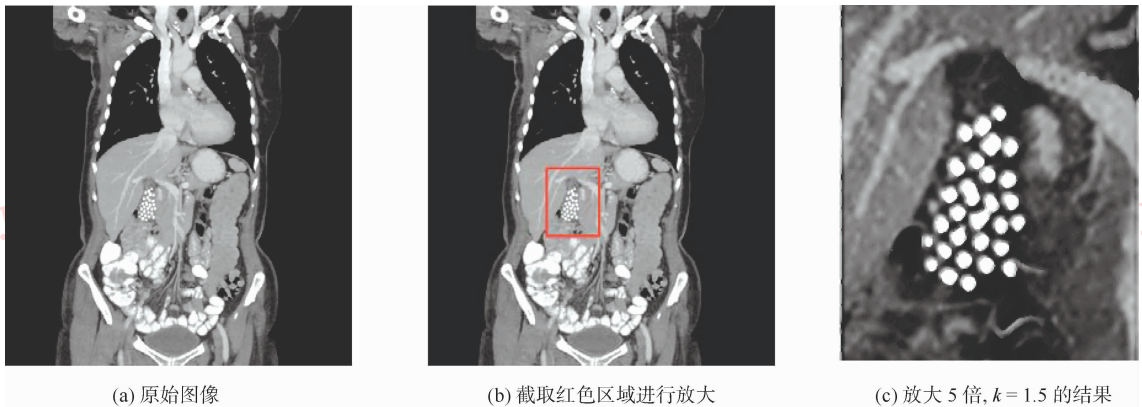


图4 对比度增强的实验例子

Fig.4 Experimental results of contrast enhancement

当式(7)中 k 值越大,则梯度变化越快,最终图片的对比度则越高。但是当对比度过高时,图像的有些部位的信息将丢失掉,因为超过了 $[0,255]$ 区间将被截断。比如在图3中,提高对比度后,某些部位变清晰了,但是有些地方变成了一片黑。当图像缩放比例固定时,可以将求解泊松方程的方程组稀疏矩阵 A 作 LU 分解 $A = LU$, 当用户改变参数 k 时,可以更改方程组的右端 b , 然后求解方程组 $Ly = b$ 和 $Ux = y$ 快速得到方程的解 x 。此时可以通过实时的交互来获得改变对比度后的图像,方便

了用户针对不同的细节选取不同的参数 k 来放大观察。

3 结论

主要针对影响人体视觉的重要因素,图像的边缘和对比度,提出一种能够同时保持边缘特征和增强对比度的图像缩放新方法。通过边缘检测算法、边缘梯度增强、求解泊松方程得到缩放后的图像。不同于传统方法,本文方法对图像边缘处的梯度作

了增强,从而实现在图像缩放过程中对边缘信息的保持甚至增强。另外,该方法在保持特征的同时还可以增加图像的对比度,从而更好地展现图像中某些部位的细节。

本文算法的主要目标是提高图像缩放质量,包括保持边缘特征和增强对比度。但是算法效率比传统方法要低,因为传统方法基于局部邻域插值,而本文方法需要整体求解。文中放大 5 倍及以上的例子需要 3 ~ 15 s 不等。另外,本文算法主要针对具有尖锐边缘信息的图像缩放,对于本身比较光滑而缺乏边缘特征的图像在边缘保持上则失去意义,但对于增强图像对比度方面仍具有意义。未来的工作包括针对图像中的不同区域自动选择参数来增强对比度,从而更好地展现图像的重要信息。

参考文献 (References)

- [1] Houand H S, Andrews H C. Cubic splines for image interpolation and digital filtering [J]// IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1978, 26(6) : 508-517.
- [2] Goshtasby A, Cheng F, Barksy B A. B-spline curves and surface viewed as digital filters [J]// Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1990, 52: 264-275.
- [3] Keys R G. Cubic convolution interpolation for digital image processing [J]// IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1981, 29(6) : 1153-1160.
- [4] Li X, Orchard M T. New edge-directed interpolation [J]// IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10 (10) : 1521-1527.
- [5] Mori T. Image resolution conversion based on an edge-adaptive interpolation kernel [C]// IEEE Pacific Rim Confer-ence on Communications, Computers and Signal Processing. Washington, DC, USA; IEEE, 2007: 497-500.
- [6] Darwish A M. Adaptive resampling algorithm for image zooming [J]// IEEE Proc. Vis. Image Signal Process, 1997, 144(4) : 207-212.
- [7] Cha Y J. The error-amended sharp edge (EASE) scheme for image zooming [J]// IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(6) : 1496-1505.
- [8] Kim H C, Kwon B H, Choi M R. An image interpolator with image improvement for LCD controller [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2001, 4(11) : 263-271.
- [9] Poggio T, Voorhees H, Yuille A. A regularized solution to edge detection [J]// Journal of Complexity, 1988, 4(2) : 106-123.
- [10] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing [M]. 2nd ed. Beijing: Publishing house of electronics industry, 2003: 463-467. [Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理 [M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2003: 463-467.]
- [11] Canny J F. A computational approach to edge detection [J]// IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, 1986, 8 (6) : 679-698.
- [12] Bertalmio M, Sapiro G, Ballester C, et al. Image inpainting [C]//Proceedings of ACM SIGGRAPH 2000, Computer Graphics Proceedings. New York, USA: ACM, 2000, 417- 424.
- [13] Pérez P, Gangnet M, Blake A. Poisson image editing [J]// ACM Transactions on Graphics (SIGGRAP'03), 2003, 22(3) : 313-318.
- [14] Toledo S. Taucs: A Library of Sparse Linear Solvers [CP/OL]. (2003-09-04) [2010-03-01]. <http://www.tau.ac.il/sto-ledo/taucs>.
- [15] Duchon C E. Lanczos filtering in one and two dimensions [J]// Journal of Applied Meteorology, 1979, 18(8) : 1016-1022.