

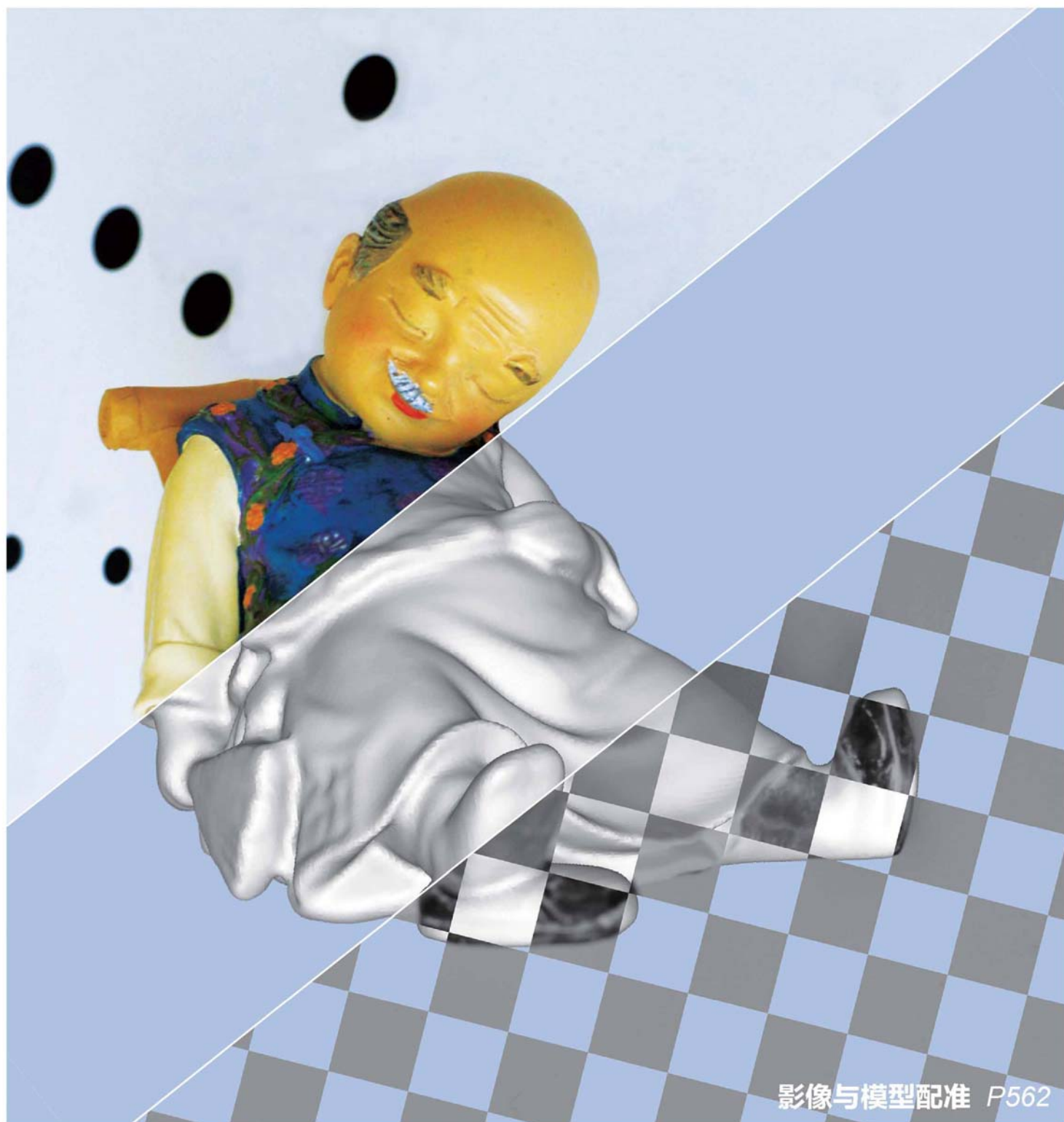


主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2014
04
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



影像与模型配准 P562



第19卷第4期（总第216期）

2014年4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@irsa.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

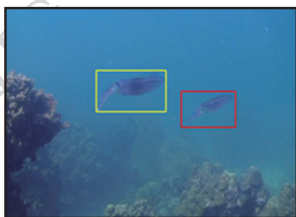
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

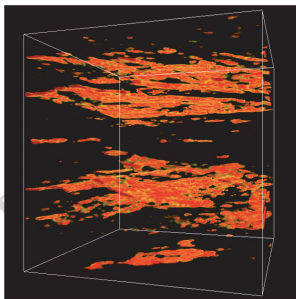
国内定价 50.00元



面泊松融合结合色彩变换的无缝纹理辐射处理(第512页)



融合视觉深度的特征计算与水下目标跟踪(第534页)



针对全空子数据体的GPU体绘制(第577页)

图像处理和编码

- 梯度矢量扩散控制实现边缘保持的彩色图像去噪
贾迪, 孟祥福, 张一飞, 董娜, 李思慧 0493
- 联合矩阵F范数的低秩图像去噪
刘新艳, 马杰, 张小美, 胡钊政 0502
- 面泊松融合结合色彩变换的无缝纹理辐射处理
周漾, 郑顺义, 黄荣永, 马电 0512
- 改进的局部方向模式纹理表示方法
刘海军, 常东超, 张凌宇 0520
- 图像插值空间大容量可逆数字水印算法
王继军 0527

图像分析和识别

- 融合视觉深度的特征计算与水下目标跟踪
王慧斌, 程勇, 陈哲 0534
- 融合颜色属性和空间信息的显著性物体检测
徐丹, 唐振民, 徐威 0541
- 采用人工鱼群的改进广义Hough变换目标定位
李志, 谢强 0549
- 非规则弯曲形变的不变量表示
李国祥, 夏国恩 0556

图像理解和计算机视觉

- 小物体3维重建中影像与几何模型的配准
郑顺义, 王晓南 0562
- 像素聚类改进二进制描述子鲁棒性
惠国保, 李东波 0569

计算机图形学

- 针对全空子数据体的GPU体绘制
李国和, 段忠祥, 吴卫江, 洪云峰, 刘智渊, 程远 0577

医学图像处理

- 基于无损水印的医学图像篡改检测和质量恢复
邓小鸿, 陈志刚, 毛伊敏 0583

遥感图像处理

- 特征点和不变矩结合的遥感图像飞机目标识别
曾接贤, 付俊, 符祥 0592
- 结合稀疏识别的自适应Wallis滤波在高分辨率影像控制点匹配中的应用
耿蕾蕾, 孙权森, 纪则轩, 刘佑鑫, 袁凯 0603

第9届和谐人机环境联合学术会议专栏

- 局部特征点的3维模型变换域水印算法
张建明, 周小梅, 王新宇, 詹永照 0613
- 足球视频搜索引擎中的用户偏好挖掘
胡雨成, 于俊清, 黄贤强, 何云峰, 管涛 0622
- 随机亮度差量化的二进制特征描述
庄东晔, 张冬明, 张勇东, 李锦涛 0630
- L_1 优化在网格去噪中的应用
王鹏, 王胜法, 曹俊杰, 李楠楠, 李波, 苏志勋 0637
- 多视点视频双向实时转码技术的设计与实现
孙立峰, 蔡飞飞, 杨士强 0645

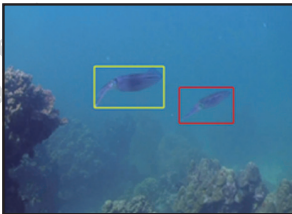
- 第五届数字地球高峰论坛征文通知 封三

CONTENTS

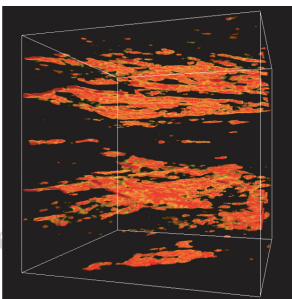
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Face-wise Poisson blending with color transfer in seamless texturing(P512)



Visual depth based feature calculation and underwater target tracking(P534)



GPU-based volume rendering for full-empty subdata blocks(P577)

Image Processing and Coding

Edge preserving denoising of color image through controlling the gradient vector Jia Di, Meng Xiangfu, Zhang Yifei, Dong Na, Li Sihui	0493
Image denoising of low-rank matrix recovery via joint Frobenius norm Liu Xinyan, Ma Jie, Zhang Xiaomei, Hu Zhaozheng	0502
Face-wise Poisson blending with color transfer in seamless texturing Zhou Yang, Zheng Shunyi, Huang Rongyong, Ma Dian	0512
Improved local directional pattern texture descriptor Liu Haijun, Chang Dongchao, Zhang Lingyu	0520
High capacity reversible watermarking for image interpolation space Wang Jijun	0527

Image Analysis and Recognition

Visual depth based feature calculation and underwater target tracking Wang Huibin, Cheng Yong, Chen Zhe	0534
Combining color names with spatial information for salient object detection Xu Dan, Tang Zhenmin, Xu Wei	0541
Improved generalized Hough transform using artificial fish swarm algorithm in target location Li Zhi, Xie Qiang	0549
The global descriptor for bending non-rigid shapes Li Guoxiang, Xia Guoen	0556

Image Understanding and Computer Vision

Images and geometric model registration in 3D reconstruction of small objects Zheng Shunyi, Wang Xiaohan	0562
Robust descriptor structured by pixel clustering Hui Guobao, Li Dongbo	0569

Computer Graphics

GPU-based volume rendering for full-empty subdata blocks Li Guohe, Duan Zhongxiang, Wu Weijiang, Hong Yunfeng, Liu Zhiyuan, Chen Yuan	0577
--	------

Medical Image Processing

Lossless watermarking algorithm for medical image's tamper detection and recovery with high quality Deng Xiaohong, Chen Zhigang, Mao Yimin	0583
---	------

Remote Sensing Image Processing

Aircraft target recognition in remote sensing images based on distribution of the feature points and invariant moments Zeng Jiexian, Fu Jun, Fu Xiang	0592
Adaptive enhancement via sparse recognition for automatic control point extraction in high-resolution images Geng Leilei, Sun Quansen, Ji Zexuan, Liu Jixin, Yuan Kai	0603

Special Issue on HHME 2013

Transform domain watermarking scheme of 3D models based on local feature points Zhang Jianming, Zhou Xiaomei, Wang Xinyu, Zhan Yongzhao	0613
User preference mining for soccer video search engine Hu Yucheng, Yu Junqing, Huang Xianqiang, He Yunfeng, Guan Tao	0622
Novel binary feature from intensity difference quantization Zhuang Dongye, Zhang Dongming, Zhang Yongdong, Li Jintao	0630
The application of l_1 -optimization in mesh denoising Wang Peng, Wang Shengfa, Cao Junjie, Li Nannan, Li Bo, Su Zhixun	0637
The design and implementation of real time MVC transcoding Sun Lifeng, Cai Feifei, Yang Shiqiang	0645

中图法分类号: TP309 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)04-0527-07

论文引用格式: 王继军. 图像插值空间大容量可逆数字水印算法[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(4): 527-533. [DOI: 10.11834/jig.20140405]

图像插值空间大容量可逆数字水印算法

王继军

广西财经学院信息与统计学院, 南宁 530003

摘要: **目的** 可逆数字水印技术在遥感、医学、军事等众多领域有着广泛应用,而现有大数可逆水印算法需要依赖于附加信息,严重影响了嵌入容量,为此提出一种无附加信息的大容量可逆水印算法。**方法** 首先设计了一种类似双线性插值原理的图像放大方法,并利用该方法将载体图像放大为原来的4倍,放大图中有1/4的插值点保留了原始图像信息,其余插值点均可嵌入水印。为了在插值的同时同步嵌入水印,先利用随机函数选取水印嵌入位置,再由嵌入水印信息决定理论插值的最终取值,实现水印嵌入。**结果** 该方法保证了水印的均匀分布,而且最大限度地降低了嵌入水印对插值的影响,同时还提高了算法效率和水印安全性。与经典插值算法相比,生成的含水印图像质量较好,且对任何载体图像嵌入率均能达到0.75 bit/pixel。**结论** 大量实验结果表明,算法隐蔽性好、安全性高、嵌入率高、实用性强。

关键词: 可逆水印;插值;双线性插值;图像放大;信息隐藏

High capacity reversible watermarking for image interpolation space

Wang Jijun

School of information and statistics, Guangxi University of Finance and Economics, Nanning 530003, China

Abstract: **Objective** Reversible digital watermarking technology has been widely applied in many fields. Concerning most of the existing reversible watermarking algorithms need a lot of additional information; this paper presents a high capacity reversible watermarking algorithm, which does not need any additional information. This algorithm depends on the image interpolation space. **Method** First, we design a similar bilinear interpolation image amplification method, and enlarge the cover image by four times its original size. 1/4 pixels of the magnification image retain the original image information, and the other pixels can be embed the watermarking. During the interpolation process. We use a random function to select watermark-embedding position first and then determine the rounding mode and achieve watermark embedding by the watermarking information and the theoretical value. **Result** This method ensures a uniform distribution of the watermarking and it also minimizes the effect of the interpolation, while improving the security. Compared with the classical interpolation algorithms, the last image is better, and embedding rate can reach around 0.75 bit/pixel. **Conclusion** Theoretical analysis and experimental results show that the algorithm is reversible and effective and secure.

Key words: reversible watermarking; interpolate; bilinear interpolation; image magnification; information hiding

收稿日期:2013-09-02;修回日期:2013-11-01

基金项目:国家自然科学基金项目(61262002);广西自然科学基金项目(2013GXNSFBA019274);广西财经学院科研项目(2013B050);国家哲学社会科学基金重大项目(12&ZD041)

第一作者简介:王继军(1981—),男,讲师,2008年于广西师范大学获计算机应用技术专业工学硕士学位,研究方向为图像图形学、信息安全。E-mail: wangjijun1209@126.com

0 引言

数字水印技术在版权保护、内容认证、票据防伪、保密通信等领域有着重要应用,然而在多数情况下,水印的嵌入会给载体带来不可逆的失真^[1]。这在诸如医学、法律、军事、遥感等敏感图像领域是不可接受的,因此研究可逆数字水印很有意义。

图像数据隐藏一般分为可逆隐藏和不可逆隐藏两类,无论哪类隐藏技术,水印的嵌入都会引起载体的改变,且嵌入的水印信息越多,造成失真的可能性就会越大,隐蔽性也就越差。因此,在低失真的前提下,寻求尽可能大的嵌入容量成为近期研究者关注的热点之一,嵌入容量是信息隐藏的一个非常重要的指标,只有足够大的隐藏容量在实际应用中才有意义。Tian^[2]提出了一种基于扩大差值的高容量可逆数字水印算法,首先选定相邻像素对,计算其整数均值和差值,通过像素对差值扩展嵌入水印,算法可嵌入容量较高,但需要同步嵌入大量标志位,占用了嵌入容量;文献[3]利用像素对奇偶特性和值不变特性,并结合差值调节技术,设计了一种高容量可逆数字水印嵌入方案,该方法引起的失真较小,但依然没有很好解决如何高效压缩位置图的问题,因此最终嵌入容量仅为 0.267 5 bit/pixel,文献[4]采用传统扩差法,只对小于预先设定门限值的差嵌入水印,并用一个位置图来标记可扩展位置,但当门限很小的时候,可扩展差和不可扩展差的数目很接近,导致生成的位置图很难被压缩,从而消耗了大量容量;朱立等人^[5]提出一种基于混合整数变换的高容量可逆数字水印算法,该算法首先将图像分割成 3×3 的小块,并进行 9 像素的整数变换,然后应用压扩算法^[6]减小差值嵌入水印,混合嵌入方案和压扩算法的引入能够获得更易压缩的位置图,从而最大限度地提高水印的容量;Coltuc 等人^[7]提出一种基于 RCM 的嵌入方案,不需要嵌入定位图,但变换后像素对的差值是原差值的 3 倍,比 Tian 方法的差值更大,载体图像质量下降非常严重;Ma 等人^[8]提出结合差值扩展和 RCM 变换的可逆水印算法,嵌入容量较大,而且实现了容量和失真控制,但是该方案图像质量下降也较严重,隐蔽性较差。文献

[9]借助色彩分量间的相关性减小差值,并以较小的差值扩展量扩展单个色彩分量的像素值,从而减少了对图像的修改,提高了图像质量。差值的扩展可根据图像中像素分布情况,通过上溢和下溢像素的数量决定像素扩展方向,再用少量的调整信息替代定位图,使得嵌入容量得到提高。提取时可根据临界像素值的顺序确定出调整像素的位置,即可恢复出调整像素,进而提取水印、还原载体。

本文提出基于图像插值空间的无附加信息大容量可逆水印算法,首先设计了一种类似双线性插值法的图像放大方法,并通过该方法将载体图像放大到原来的 4 倍,放大图像中 1/4 的像素点能完整地保留原始图像的信息,其余 3/4 像素点将通过插值变换、理论值与实际值的比较、待嵌入水印值、嵌入位置选择等共同确定,其优点是能在插值的同时同步嵌入水印,通过与经典插值方法 Nearest、Bilinear、Bicubic 在主观与客观方面进行比较,均表明生成的含水图像质量较好,并且对于任何载体图像,嵌入率均可达到 0.75 bit/pixel,较现有的可逆水印算法,嵌入率相对较高。

1 双线性插值法

双线性插值(Bilinear interpolation),又称为双线性内插。双线性插值是利用待处理图像像素点周围的 4 个像素点的相关性,通过双线性算法计算得出的,其核心思想是在 x, y 两个方向分别进行一次线性插值。对于一个目的坐标,通过向后映射法得到其在原始图像对应的浮点坐标 $(i+u, j+v)$,其中 i, j 均为浮点坐标的整数部分, u, v 为浮点坐标的小数部分, u, v 的取值是 $[0, 1)$ 区间的浮点数,则这个像素点的值 $f(i+u, j+v)$ 可由其坐标周围的 4 个像素点 (i, j) 、 $(i+1, j)$ 、 $(i, j+1)$ 、 $(i+1, j+1)$ 所对应的值确定,即

$$f(i+u, j+v) = (1-u)(1-v)f(i, j) + (1-u)vf(i, j+1) + u(1-v)f(i+1, j) + uvf(i+1, j+1) \quad (1)$$

式中, $f(i, j)$ 表示原图像在 (i, j) 处的灰度值,插值原理如图 1 所示。

利用双线性插值计算量稍大,但不会出现灰度值不连续的情形,图像质量较好。

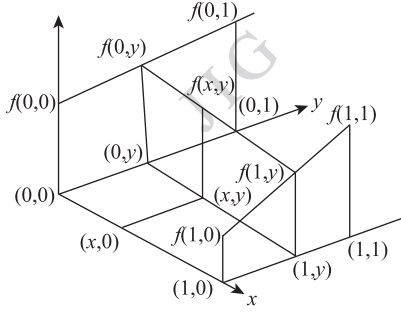


图 1 双线性插值原理

Fig. 1 Bilinear interpolation principle

2 本文插值算法

现有的图像放大方法均不是可逆的,即使对一幅图像放大和缩小相同的倍数,也会造成损失,本文算法也需要对载体图像进行放大,并且所有图像的放大倍数均是 4,放大原理类似于双线性插值法,根据像素点在图像中的位置特征,将像素点划分为 3 种类型的区域,分别采用 3 种不同的插值方式处理,插值示意图如图 2 所示。

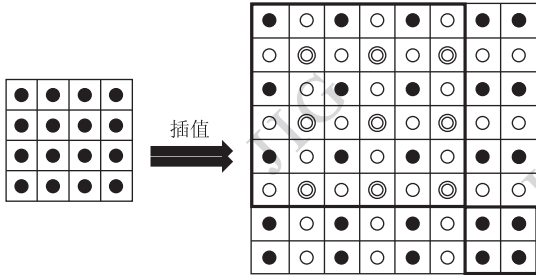


图 2 图像放大 4 倍插值示意图

Fig. 2 Image magnification diagram

图 2 中的“●”所表示的像素点,均是原图像 A 中的像素点,“○”表示的像素点,由其上下或左右相邻的两个像素点确定,而“◎”表示的像素点,由其 45° 角和 135° 角上对应的最近 4 个像素点确定,且此规律对于非右边界和下边界的所有像素点均适用,右边界和下边界的像素点需要特殊处理,具体方法如下:

假设原始图像为 A , 大小为 $m \times n$, $A(i, j)$ 为像素点灰度值, $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$, 若记载体图像 A 放大 4 倍后的图像为 B , 则其大小为 $2m \times 2n$, 结合上面的插值示意图,具体方法为

$$B(2i-1, 2j-1) = A(i, j)$$

$$B(2i-1, 2j) = \left\lfloor \frac{A(i, j) + A(i, j+1)}{2} \right\rfloor$$

$$B(2i, 2j-1) = \left\lfloor \frac{A(i, j) + A(i+1, j)}{2} \right\rfloor$$

$$B(2i, 2j) =$$

$$\left\lfloor \frac{A(i, j) + A(i+1, j) + A(i, j+1) + A(i+1, j+1)}{2} \right\rfloor$$

(2)

式中, $1 \leq i \leq m-1, 1 \leq j \leq n-1$ 。

对于右边界的像素点,只有上下邻域,没有右邻域和对角邻域,所以最右侧一列插值均使用左邻域,表示为

$$B(2i-1, 2j-1) = B(2i-2j) = A(i, j)$$

$$B(2i, 2j-1) = B(2i, 2j) =$$

$$\left\lfloor \frac{A(i, j) + A(i, j+1)}{2} \right\rfloor$$

(3)

式中, $1 \leq i \leq m-1, j = n$ 。

对于下边界的像素点,只有左右邻域,没有上下邻域和对角邻域,插值方式可表示为

$$B(2i-1, 2j-1) = B(2i-1, 2j) = A(i, j)$$

$$B(2i, 2j-1) = B(2i, 2j) =$$

$$\left\lfloor \frac{A(i, j) + A(i+1, j)}{2} \right\rfloor$$

(4)

式中, $i = m, 1 \leq j \leq n-1$ 。

对于最右下角的像素点而言,其既属于右边界,又属于下边界,但其没有左右邻域,也没有上下邻域,所以对应的 4 个插值点只能由自己填充,表示为

$$B(2i-1, 2j-1) = B(2i-1, 2j) =$$

$$B(2i, 2j-1) = B(2i, 2j) = A(i, j)$$

(5)

式中, $i = m, j = n$ 。

因为 $0 \leq A(i, j) \leq 255$, 通过上面的描述,可直观看出利用式(2)~(4)计算出的结果也均在 $0 \sim 255$, 因此不会产生数据溢出,在此不再证明。

3 本文可逆水印算法

对于经由上述插值方法放大后的图像 B , 除 $B(2i-1, 2j-1), 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ 对应位置“●”所表示的像素点外,其余像素点均可嵌入水印,则总容量 $L = 3 \times m \times n$ 位,为了方便描述,将由同一像素

点插值后生成的4个像素点组成的小方块,称为一个插值模块,则这样的插值模块共有 $m \times n$ 个,同时假设嵌入的水印信息为 $\mathbf{W}$,其对应的二进制序列为 $w_i, w_i \in \{0, 1\}$,长度为 l 。

3.1 嵌入位置确定

为使嵌入的水印在载体中均匀分布,嵌入位置应由嵌入容量 L 、水印长度 l ,以及嵌入位置选择函数三者共同确定,但必须满足 $L \geq l$,令 $t = \lceil \frac{l}{m \times n} \rceil$, t 表示每个插值模块中需要嵌入的水印位数,则 t 的可能取值为1、2、3,即 $t \in \{1, 2, 3\}$ 。嵌入位置选择函数采用混沌系统 Logistic 映射

$$x_{k+1} = \mu x_k (1 - x_k) \quad (6)$$

式中, $3.569\,945 \leq \mu \leq 4, x_k \in \{0, 1\}$,混沌系统 Logistic 映射具有较好的确定性、伪随机性、不可预测性和初值敏感性,只要初值 x_0 有微小差异,生成的序列就会有很大差别,如果计算精度足够大,初值的敏感性可达到 10^{-15} 以上^[10],但该映射初始位数的随机性还不够好,使用时可以从一个固定的迭代次数后(如100次)开始取值,以下随机数列均指迭代一个固定次数后的随机数列,嵌入位置的确定方法如下:

首先给定一个初始值 x_0 和 μ 值(如: $\mu = 3.9$,

$$B_w(i, j) = \begin{cases} B(i, j) \\ B(i, j) + 1 \\ \lfloor B(i, j) \rfloor \\ \lceil B(i, j) \rceil \end{cases}$$

式(9)中 $\lfloor B(i, j) \rfloor$ 和 $\lceil B(i, j) \rceil$ 两种运算不可能产生数据溢出,但对于 $B_w(i, j) = B(i, j) + 1$ 这种运算,恰好 $B(i, j) = 255$,就会产生数据溢出,可能的情形如图3。

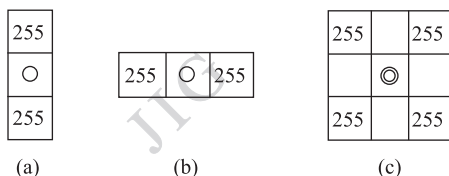


图3 可能产生数据溢出的3种情形

Fig. 3 Three possible cases of data overflow

从式(9)可以看出,水印的嵌入使得理论值与实际值之间的差值均在1个灰度值之内,即 $|B(i, j) - B_w(i, j)| \leq 1$,为了避免上述可能的数据溢

$x_0 = 0.325\,68$),用式(6)生成一个长度为 l 的随机数列,记为 p ,令

$$p'(l) = \lfloor p(l) \times 1000 \rfloor \bmod 2 + 1 \quad (7)$$

则 $p'(l) \in \{1, 2, 3\}$,假定用1、2、3分别代表当前像素点右侧 $B(2i-1, 2j)$,对角 $B(2i, 2j)$,下侧 $B(2i, 2j-1)$ 3个像素点所在位置,则水印嵌入位置可表示为

$$B(l) = \text{Left}(p'(l), t \times k, k) \quad (8)$$

式中, k 表示第 k 个插值模块, $1 \leq k \leq m \times n$, $\text{Left}(p'(l), t \times k, k)$ 表示第 k 个插值模块的嵌入位置是序列 $p'(l)$ 中从 $t \times k$ 开始的前 t 位对应的值。

3.2 水印嵌入方法

为了提高算法效率,减少对图像的修改,将在插值的同时嵌入水印,通过式(2)~(5)进行的插值运算,生成的所有像素点的灰度值均在0~255,但插值运算中大量用到了除法,因此计算结果会有很多是浮点数,均需要进行取整运算,可借助合理的取整方式嵌入水印,若 $B(i, j)$ 是像素点 (i, j) 处按照式(2)~(5)计算出的理论插值(没有取整前), $B_w(i, j)$ 是已经完成插值和嵌入水印后的值,则水印嵌入方法为

$$\begin{aligned} B(i, j) - \lfloor B(i, j) \rfloor &= 0 \ \& \ w_i = 0 \\ B(i, j) - \lfloor B(i, j) \rfloor &= 0 \ \& \ w_i = 1 \\ B(i, j) - \lfloor B(i, j) \rfloor &\neq 0 \ \& \ w_i = 0 \\ B(i, j) - \lfloor B(i, j) \rfloor &\neq 0 \ \& \ w_i = 1 \end{aligned} \quad (9)$$

出,并在水印提取时能准确判断出来,则对出现 $B(i, j) = 255$ 且 $B(i, j) - \lfloor B(i, j) \rfloor = 0 \ \& \ w_i = 1$ 这种特殊情形时,可令 $B_w(i, j) = B(i, j) - 2$,那么图3中“○”和“◎”所表示像素点的理论插值应为255,而现在变成了253,差值变为了2,相对一般像素点变化稍大,但这种情形出现的概率较小,且差值2可以成为这种情形的标识,所以也是可接受的,更何况理论插值,也不一定是最优插值。

3.3 水印提取方法

对于含水印图像 B_w ,图中所有 $B_w(2i-1, 2j-1)$ 位置的灰度值均与原图像完全一样,提取时将主要利用这些点,并通过式(6)~(8)确定出水印位置,然后利用当前灰度值与理论插值的大小关系,提取出水印,具体方法如下:

若 $B_w(2i-1, 2j)$ 是当前含水印像素点,则

$$w_i = \begin{cases} 0 & \begin{aligned} & \frac{B_w(2i-1, 2j-1) + B_w(2i-1, 2j+1)}{2} = B_w(2i-1, 2j) \text{ 或} \\ & \left(\frac{B_w(2i-1, 2j-1) + B_w(2i-1, 2j+1)}{2} > B_w(2i-1, 2j) \text{ 且} \right. \\ & \left. \frac{B_w(2i-1, 2j-1) + B_w(2i-1, 2j+1)}{2} - B_w(2i-1, 2j) \neq 2 \right) \end{aligned} \\ 1 & \begin{aligned} & \frac{B_w(2i-1, 2j-1) + B_w(2i-1, 2j+1)}{2} - B_w(2i-1, 2j) = 2 \text{ 或} \\ & \frac{B_w(2i-1, 2j-1) + B_w(2i-1, 2j+1)}{2} < B_w(2i-1, 2j) \end{aligned} \end{cases} \quad (10)$$

对于 $B_w(2i, 2j-1)$ 和 $B_w(2i, 2j)$ 是当前含水印像素点的情形, 与式(10)的原理完全一致, 只是与 $B_w(2i, 2j-1)$ 比较的是 $B_w(2i-1, 2j-1)$ 和 $B_w(2i+1, 2j-1)$ 两个像素点的灰度均值, 与 $B_w(2i, 2j)$ 比较的是 $B_w(2i-1, 2j-1)$ 、 $B_w(2i-1, 2j+1)$ 、 $B_w(2i+1, 2j-1)$ 、 $B_w(2i+1, 2j+1)$ 4 个像素点的灰度均值, 用上述方法将顺次提取出的 l 个二进制位重新组合, 便得到了水印信息。

3.4 载体还原

在图像插值和水印嵌入过程中, 所有 $B_w(2i-1, 2j-1)$, $1 \leq i \leq m$, $1 \leq j \leq n$ 位置的像素点均未作任何修改, 将 $B_w(2i-1, 2j-1)$ 位置的像素点, 按从上至下, 从左至右的顺序重新组成 $m \times n$ 大小的图像, 便无损地还原了载体图像, 载体的还原相对较简单。



图4 本文可逆水印算法实验结果

Fig. 4 This reversible watermarking algorithm results

4 实验及结果分析

4.1 实验结果

利用本文算法做了大量实验, 效果均比较理想, 因版面有限, 在此仅给出两组实验结果, 原始图像的大小均为 256×256 像素的灰度图像, 其最大嵌入容量均为 $3 \times 256 \times 256 = 196\,608$ bit, 实验给出的图像是最大限度嵌满水印的结果, 如图4所示。

4.2 安全性分析

水印的安全与否, 取决于图像放大后的效果和水印的嵌入方法, 目前, 还没有特别好的方法, 能够直观快捷地评价一种图像放大算法的有效性, 在此通过与常用的一些方法比较, 从主观和客观两个方面对本文算法进行评估, 首先针对同一幅原始图像, 分别用经典的 Nearest、Bilinear、Bicubic 及本文算法将图像放大4倍, 主观的方法是通过视觉感观来衡量放大效果, 经过对大量实验结果进行观察, 本文算法在视觉效果上与经典算法的差别较小, 图像质量

均比较理想, 主观上图像品质表现较好。

图5给出了一组实验结果, 原图为 256×256 像素的灰度 Lena 图, 放大倍数均为4。

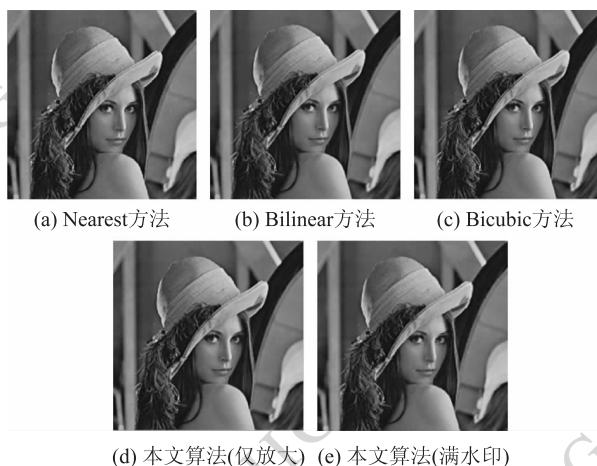


图5 几种常见插值方法实验对比图

Fig. 5 Common amplification method experimental comparison

客观的评价方法是通过计算得到一组具体的衡量数据来作比较,图像的平均亮度值 (MLV) 直接反映人的主观感受,可以作为其中的一个参考因数;标准差 (SD) 描述了直方图的相对平滑度;熵评价方法 (EEM)^[11] 体现了图像的平均信息量,上述数据的获取均不需要原始图像参与,比较结果如表 1 所示。

表 1 实验测试结果比较

Table 1 Comparison of experimental tests

方法	MLV	SD	EEM
Nearest	124.244 7	47.966 0	6.403 7
Bilinear	124.492 3	47.599 7	6.368 0
Bicubic	124.253 0	47.886 4	6.391 7
本文 (仅放大)	124.408 6	47.728 2	6.384 7
本文 (满水印)	124.463 6	47.350 5	6.386 4

另外,常用的方法还有平均绝对误差 (MAE)、峰值信噪比 (PSNR) 等,这些数值均能反映图像的质量,其中 PSNR 的使用频率最高,但它们均需要原始图像的参与,本实验将 Lena、peppers、baboon、Zelda 的原始图像重新取样缩小 4 倍,然后分别按 Nearest、Bilinear、Bicubic、本文算法 (仅放大)、本文算法 (嵌满水印) 5 种方式,均放大 4 倍,并与原始图像作 PSNR 值比较评估,原始图像均是大小为 512 × 512 像素的灰度图,实验结果如表 2 所示。

表 2 PSNR 实验结果比较

Table 2 PSNR experimental results comparison

图像	方法				
	Nearest	Bilinear	Bicubic	本文 (仅放大)	本文 (满水印)
Lena	35.583 1	35.823 3	35.821 9	35.033 6	35.025 4
peppers	36.871 8	37.523 9	38.080 4	36.581 2	36.563 3
baboon	31.377 4	31.057 2	31.146 6	30.768 8	30.765 3
Zelda	37.848 7	38.780 0	38.719 3	37.314 1	37.292 4

从表 2 可以看出,本文 PSNR 数值相对略低,其主要原因是经典的放大算法,并不考虑可逆性,且 PSNR 值与人的感观并不总是一致的,从实验结果还可看出水印嵌入前后,图像的 PSNR 值变化非常微小,也就是说水印的嵌入对插值的影响很小。

对于水印嵌入方法而言,在嵌入水印过程中引入了一个随机函数来确定嵌入位置,使得水印信息

不仅能较为均匀地分布在载体图像中,同时还增加了水印信息的抗攻击性,将 Logistic 映射的两个初始值设置为密码使用,还能提高算法的安全性。

4.3 嵌入容量

从上面算法的描述可以直观看出,嵌入容量是原始图像大小的 3 倍,但实际传输和保留的是放大后图像,因此相对含水印图像而言,嵌入率为

$$r = \frac{3 \times m \times n}{4 \times m \times n} = 0.75 \text{ bit/pixel}$$

本文算法的嵌入率与载体图像的选取无关,无论选择什么样的载体图像,也不管多大的图像,嵌入率均能达到 0.75 bit/pixel,相对较高。目前已有的可逆水印算法,大多需要位置图等附加信息,并且不同的载体图像,需要的标志位多少也不同,标志位的多少直接影响着嵌入容量,因此很多算法很难确切地计算出最大容量,像文献[2-5]均使用了标志位,这些标志位必须准确无误地保存到载体中,一旦标志位出现稍许差错,水印的提取和载体的还原均不可能正确完成,因此标志位的保存,一般都采用低位直接替换法,被替换的低位又得作为水印的附加信息一并嵌入,使得容量的消耗翻倍,并对图像的质量造成较大影响。

5 结 论

本文算法是将载体图像放大 4 倍后,再嵌入水印信息,算法更多地关注理论值与实际值的差值,而对像素点本身灰度值的大小关注较少,因此对载体的依赖程度相对较低,与使用位置图等可逆水印算法相比,不仅嵌入容量要大,而且抗干扰能力也强,因为只要保留原始载体对应的像素点不被破坏,载体图像就能被完整还原,即使含水印图像有部分像素被切割或裁剪,只要知道图像的大小,准确地将裁剪部分用黑色或白色进行填充修补,依然可以确定出保留部分在放大前的对应点,该部分就可还原,因此,局部裁剪对水印的影响也只局限在裁剪区域内,对其他区域没有影响,算法安全性好,抗干扰能力强,今后将继续研究大容量可逆水印方法,研究更有效的图像插值方法,满足实际应用的需要。

参考文献 (References)

[1] Wu J H, Lin F Z. Image authentication based on digital water-

- marking [J]. Chinese Journal of Computers, 2004, 27(9): 1153-1161. [吴金海, 林福宗. 基于数字水印的图像认证技术[J]. 计算机学报, 2004, 27(9): 1153-1161.]
- [2] Tian J. Reversible data embedding using a difference expansion [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(8): 890-896.
- [3] Wen S W. Research on high capacity reversible watermarking for digital image [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009. [翁韶伟. 数字图像的高容量可逆水印研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.]
- [4] Tian J. Reversible data embedding using a difference expansion [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(8): 890-896.
- [5] Zhu L, Zhao Y, Ni R R. High capacity reversible watermarking based on mixed integer transform [J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2010, 25(2): 188-193. [朱立, 赵耀, 倪蓉蓉. 基于混合整数变换的高容量可逆数字水印[J]. 数据采集与处理, 2010, 25(2): 188-193]
- [6] Michiel V D V, Fons B, Arno V L. High capacity reversible watermarking for audio [C]//Proceedings of the SPIE International Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents. Santa Clara, California: SPIE, 2003: 1-11.
- [7] Coltuc D, Chassery J M. Very fast watermarking by reversible contrast mapping [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2007, 14(4): 255-258.
- [8] Ma K, Niu X X. An improved reversible watermarking scheme [C]//Proceedings of the 9th International Conference on Signal Processing. Beijing: IEEE 2008, 2229-2232.
- [9] Xiong Z Y, Wang J Q. Reversible data hiding for color images based on single direction difference expansion [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2010, 12(12): 1849-1854. [熊志勇, 王江晴. 基于单向差值扩展的彩色图像可逆数据隐藏[J]. 光电子·激光, 2010, 12(12): 1849-1854.]
- [10] Wang J J, Zhang X Q, Wang J. A digital image scrambling and encryption algorithm based on random number [J]. Computer Applications and Software, 2008, 25(11): 53-55. [王继军, 张显全, 王军. 一种基于双随机数的图像置乱加密方法[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(11): 53-55.]
- [11] Wu Y M, Liang E Z. A new method of zoomed images evaluation [J]. Signal Processing, 2004, 20(2): 201-203. [吴援明, 梁恩志. 一种基于熵的放大后图像质量的评价方法[J]. 信号处理, 2004, 20(2): 201-203.]