

基于信噪比的自适应双彩色图像水印算法

郑江云^{1,2}, 江巨浪¹

(1. 安庆师范学院 物理与电气工程学院, 安徽 安庆 246011;

2. 中国科学技术大学 人工智能与计算机应用研究室, 安徽 合肥 230026)

摘 要: 不可见性是图像隐形水印最基本的要求之一, 它的客观标准是水印图像的信噪比。根据这个标准, 提出了一种基于小波的以彩色图像为水印的自适应水印算法: 根据需求的水印图像三基色的信噪比, 对于不同的彩色宿主图像和彩色水印, 都能够完全自适应地选择三基色各自的水印嵌入强度值 w 。试验结果表明该算法能够自动实现所要求的水印图像信噪比, 水印具有较强的稳健性。该算法可以使每幅图像在不可见性 (PSNR) 和鲁棒性 (参数 w) 间都能自然地达到最大程度的平衡, 实用性较强。

关键词: 信息安全; 小波; 自适应嵌入; 信噪比

中图分类号: TP309.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)02-0160-03

An Algorithm of Adaptive Double Color Digital Image Watermarking Based on SNR

ZHENG Jiang-yun^{1,2}, JIANG Ju-lang¹

(1. School of Physical and Electronic Engineering, Anqing Teachers College, Anqing 246011, China;

2. Artificial Intelligence & Computer Application Lab., Univ. of Sci. and Tech. of China, Hefei 230026, China)

Abstract: Sightlessness is one of the most basic requirements for invisible watermarks and its impersonal criterion is signal-to-noise ratio of watermarked image. Based on this criterion, an adaptive color watermark algorithm is proposed based on DWT domain in this paper: according to demanded signal-to-noise ratio of RGB watermarked image, embedding intensity of RGB is chosen automatically despite of different color host images and watermarks. Experiments show that the algorithm is able to meet the required PSNR and performances of the proposed watermarking are good at robustness. The algorithm makes each image be watermarked naturally to an extent where maximum level of trade-off between invisibility (PSNR value) and robustness (parameter w) is achieved and it is very useful.

Key words: information security; wavelet; adaptive embedding; signal-to-noise ratio

0 引言

近几年来数字水印技术作为保护数字产品版权的一种新兴技术, 已成为国内外学者研究的热点^[1]。绝大多数的水印算法应满足不可感知性 (以水印图像的信噪比 PSNR 衡量) 和鲁棒性的要求。水印的不可感知性和鲁棒性之间是相互矛盾的。因此, 人们提出自适应地控制水印的嵌入强度, 以满足在水印不可感知的条件下最大强度的嵌入水印信息。到目前为止, 已有很多特点各异的自适应水印算法。文献[2, 3]是双彩色水印算法, 根据人眼对三基色 RGB 的灵敏度不

同, 它们对三基色的水印嵌入强度比固定为 2:1:4。程卫东根据人眼对绿色最敏感的特性及宿主图像块中绿色分量的比例, 在水印的嵌入过程中采用了两个嵌入强度值, 但这两个值都是通过试验的办法确定的^[4]。文献[1, 5]是根据图像内容自适应地确定嵌入强度, 它们的自适应程度更高。以上算法有共同的缺陷: 在水印嵌入前, 水印图像的信噪比都是不可预知的。文献[6, 7]提出以水印图像的信噪比自适应地确定嵌入强度, 实现嵌入强度 w 的完全自适应。这种方法克服了需通过冗长的实验来反复调试选择有限个拉伸强度 w 及试验结果不可预知的局限性。但它们也有缺陷, 这在 2.2 节将有和文中算法的对比说明。

针对以上算法的问题, 提出一种基于小波的完全自适应双彩色水印算法: 根据预先规定的 RGB 三基色的任意精度的信噪比, 能够完全自适应地确定三基色

收稿日期: 2009-06-27; 修回日期: 2009-09-27

基金项目: 安徽高等学校省级自然科学研究项目 (KJ2009B123)

作者简介: 郑江云 (1973-), 女, 安徽怀宁人, 讲师, 硕士, 研究方向为数字水印技术、图像处理; 江巨浪, 教授, 博士, 研究方向为图像、图形处理。

的嵌入强度。

1 水印的嵌入和提取

1.1 彩色水印的嵌入

文献[8]中的算法没有自适应性,嵌入强度要用手工反复调试,且双彩色水印嵌入强度与多种因素有关,用人工的方法很难获得最佳嵌入。笔者在文献[8]算法的基础上进行了改进,使双彩色水印嵌入具有完全自适应性。

彩色图像的红(R)、绿(G)、蓝(B)三个分量是独立并行的,所以下面以R分量为代表介绍水印的嵌入过程。

假设彩色宿主图像的大小为 $M \times N$,彩色水印的大小为 $m \times n$,并且满足 $m \times n \leq M/2^p \times N/2^p$ (本实验中取等号), p 为正整数,也是宿主图像进行小波分解的级数。

算法的具体步骤为:

(1) 将宿主图像的R分量进行 p 级小波分解。

(2) 将分解后的R分量的 p 级低频系数分别与水印信号R分量的灰度值按式(1)直接相加,相加后的值作为新的宿主图像(一般称为水印图像)R分量的 p 级低频系数^[8]。

$$c_{LL,p}'(i,j) = c_{LL,p}(i,j) + w_R * W_R(i,j) \quad 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n \quad (1)$$

式(1)中 $c_{LL,p}'$ 为新的宿主图像R分量的第 p 级低频系数, $c_{LL,p}$ 为原宿主图像R分量的第 p 级低频系数, $W_R(i,j)$ 为水印的R分量灰度值, w_R 为R分量的嵌入强度(用 w_R 、 w_G 、 w_B 分别表示红、绿、蓝三基色嵌入强度,文中试验中三基色的初值嵌入强度都为0.2)。

(3) 将步骤(2)求得的红基色低频系数和没有变化的各级高频系数一起进行小波重构,即得彩色水印图像的R分量图像。

(4) 用一维搜索法^[9]确定满足信噪比要求的嵌入强度 w_R ,分如下两步进行:

第一步:用适当的步长 h (文中试验中取0.10),从 w_{R0} 开始确定 w_R 的搜索区间 $[w_{Ra}, w_{Rb}]$,为第二步提供必要条件,流程图如图1所示。因为由严格极小点性质知:满足信噪比要求的最佳嵌入强度应在这个区间内。图1中的 $PSNR_R$ 表示水印图像的R分量的峰值信噪比(同理,文中 $PSNR_G$ 、 $PSNR_B$ 分别表示水印图像绿、蓝分量的峰值信噪比)。

第二步:用黄金分割法不断压缩搜索区间 $[w_{Ra}, w_{Rb}]$,使它逼近最佳嵌入强度 w_R ,直到新插入的分点满足所要求的精度为止。本实验精度要求如式(2)所

示。

$$\frac{|PSNR_R - PSNR_{R0}|}{PSNR_{R0}} \leq 0.01 \quad (2)$$

其中 $PSNR_{R0}$ 为希望得到的红基色水印图像的峰值信噪比。

(5) 以最后一次搜索时插入的新分点的值作为最终的水印嵌入强度 w_R ,再执行步骤(3)得到最终水印图像的R分量图像,并输出 $PSNR_R$,保存 w_R 值。

(6) 对G、B分量的处理过程同R分量。经过以上步骤分别得出并保存嵌入强度 w_G 、 w_B ,彩色水印图像的G、B分量图像及相应的 $PSNR_G$ 、 $PSNR_B$ 。

(7) 将重构后的三基色分量图像组成一幅彩色图像,即得彩色水印图像。

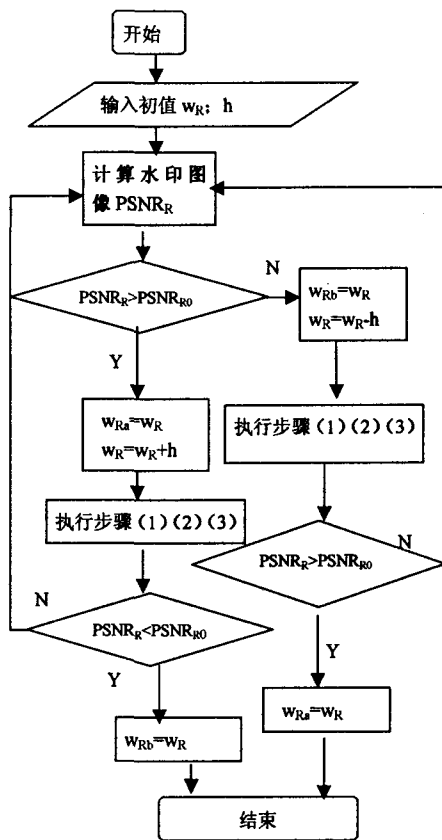


图1 确定 w_R 的搜索区间

1.2 水印的提取

水印的提取过程是嵌入的逆过程,提取时需要原始的宿主图像。具体步骤为:

(1) 对宿主图像和水印图像的R分量图像都进行 p 级小波变换。

(2) 将水印图像的R分量图像的 p 级低频系数值,减去相应的宿主图像的R分量的 p 级低频系数值,然后将所得差值除以水印嵌入过程中得到并保存的 w_R 值,即得水印的R分量灰度值。

(3) 对G、B分量分别重复以上步骤,得到水印的

G、B 分量图像。

(4)将得到的水印三基色分量级联后即得提取的彩色水印。

2 试验结果及比较

2.1 试验结果

文中选用 512×512 的“lena”彩色图像为宿主图像,如图 2(a)所示,对它用‘Haar’小波分解。水印选用了三种大小的彩色图像,第一种为 32×32,如图 3(a);第二种为 64×64,如图 3(b);第三种水印为 128×128,如图 3(c)。通过试验,测得的性能参数如表 1 所示。

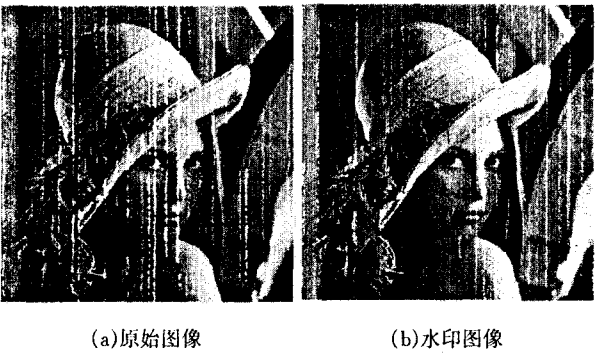


图 2 水印的不可见性比较

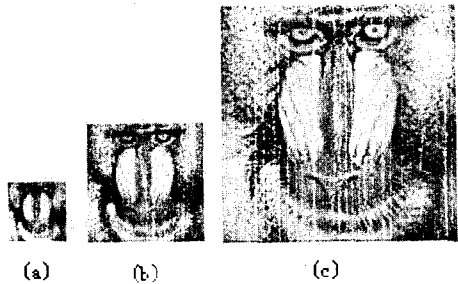


图 3 原始水印

表 1 未受攻击时水印图像和提取水印的性能参数

测得的试验数据\嵌入的水印	图 3(a)	图 3(b)	图 3(c)
W_R	0.3416	0.1798	0.0902
W_G	0.3776	0.1944	0.0987
W_B	0.4022	0.3000	0.1000
$PSNR_R$ (dB)	38.2578	37.7684	37.7433
$PSNR_G$ (dB)	38.1253	37.8176	37.6727
$PSNR_B$ (dB)	38.1943	38.1606	38.1337
水印的 NCC	0.9947	0.9954	0.9944
水印的 PSNR	24.7479	26.0289	24.7923
提取水印图示	图 4(a)	图 4(b)	图 4(c)

由表 1 可见,虽然水印的尺寸不同,该算法都能自动地确定三基色的嵌入强度值,如表 1 的 2~4 行所示。本实验要求水印图像三基色的信噪比都满足式(2)(信噪比的标准值和精度根据实际要求确定),表 1

的 5~7 行的值都满足这个要求。图 2(b)是其中的一幅水印图像,它与原始的宿主图像没有明显的视觉差异。表 1 的第 8、9 行是提取水印的客观指标,它们大小比较接近且数据较好,如 NCC 的值都接近于 1,表示提取的水印质量良好。提取的水印如图 4 所示,可能与数据溢出有关,图片有一点失真,但还是能较好地区分水印的内容。

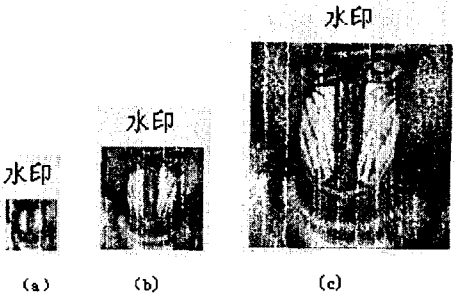


图 4 水印图像未受到处理和攻击时所提取的水印

为检验本算法的鲁棒性,对水印图像进行了几种常见的处理和攻击试验,测出的参数如表 2。提取出的水印如图 5 所示。从试验结果可见,虽然水印图像受到了噪声干扰、均值滤波、JPEG2000 压缩和剪切,提取出的水印仍能识别,证明该算法对这些常见的处理有较好的鲁棒性。

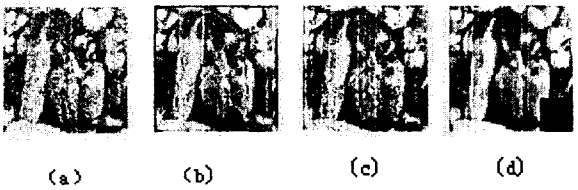


图 5 水印图像受到处理和攻击时所提取的水印

表 2 水印图像受到攻击和处理时提取的结果

水印图像受到攻击的类型	参数	水印的 NCC	水印的 PSNR	提取水印图示
添加高斯噪声	均值为 0, 方差为 0.001	0.9439	13.7222	图 5(a)
均值滤波	3×3 均值滤波	0.9664	18.1210	图 5(b)
JPEG2000 压缩	$C_R=6.9402, C_G=7.5782, C_B=8.8658$	0.9773	19.2287	图 5(c)
剪切	右下角 25% 全变黑	0.9685	17.8925	图 5(d)

说明:表 2 中 C_R, C_G, C_B 分别表明 R、G、B 分量的压缩比。

2.2 结果比较与讨论

1)文中算法的优点是实现了完全自适应,而文献[8]只能先用假定的 w 值,由相应算法计算出水印图像的 PSNR 值,然后根据实验结果手工反复调整 w 值进行实验。

2)文献[6,7]是基于信噪比的自适应水印算法,

(下转第 166 页)

表 1 水印在各种攻击下的 MSE、PSNR 值

参数 运算图像	MSE	PSNR	相似百分比	结论
标准签名 X 自身	0	-	100%	完全相同
X 与没细化的同人签名图像 Y	0.2298	3.192	77.2%	有一定程度相同
X 与细化的同人签名图像 Y	0.0516	6.4368	94.84%	几乎完全相同
X 与细化的不同人签名图像 Y	0.3128	2.5237	68.71%	几乎不相同

3 结束语

由于同一人在不同时刻的签名字体的大小和粗细不同,所以,其相似程度在 70% 左右,依此数据很难让人信服地判断是同一人的签名。而采用文中方案,先把某人的手写签名存储在计算机中的手写签名数据库中,当需要鉴别某个签名的真伪时,通过输入设备输入待鉴别的手写签名,并按数据库中签名图像的大小和粗细,对待鉴别的手写签名图像进行放大或缩小、膨胀或细化,再计算 MSE 的值,试验结果为 MSE = 94.84%。

因此,该方案在鉴别手写签名时是一种简单高效的方法。进一步研究判别图像相似度算法,使手写签名鉴别更加高效准确。进一步试验和完善文中提出的

方案,提供更多的数据论证该方案的可行性和正确率。把该方案与数字水印技术相结合,进行更准确的身份认证。

参考文献:

[1] 张莉莎,孙正兴.基于人工免疫模型的在线手写签名识别方法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2007(3):89-91.

[2] Scicchiro H, Takeshi H. Write identification using finger bend in writing signature[C]//Proceedings of Biometric Authentication Workshop. Prapuc:[s. n.],2004:229-237.

[3] Aguilar J F, Nanni L, Penalba J L, et al. An online signature verification based on fusion of local and global information [C]//Proceedings of Audio and Video based Biometric Person Authentication. New York:[s. n.],2005:523-532.

[4] 颜 琬,郑建彬,周 莉.基于在线手写签名的身份认证技术研究和展望[J].电子技术应用,2004,30(9):1-3.

[5] 井上诚喜.实用数字图像处理[M].白玉林,译.北京:科学出版社,2003.

[6] Gonzalez R C. 数字图像处理[M].阮秋琦,译.北京:电子工业出版社,2006.

[7] 杨 帆. 数字图像处理与分析[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007:210-213.

[8] 王丽娜,郭 迟,李 鹏.信息隐藏技术实验教程[M].武汉:武汉大学出版社,2004:259-260.

(上接第 162 页)

文中与它们的不同之处有:

(1)文中采用彩色图像为水印,它含有的信息量丰富。文献[6,7]都是以伪随机序列为水印,这种水印所包含的信息量较差;且检测结果只能以相似度值衡量,不够直观。

(2)文献[6]将灰度宿主图像分成8×8小块,每一块都自适应确定一个嵌入因子 w_i 。对于每个基色,文中自适应确定一个嵌入强度值,实现过程简单。

(3)文献[7]亮度通道嵌入强度固定,不具有自适应性;色度通道的变化步长固定,自适应性不彻底;PSNR 的变化范围在 38~40 之间;而文中能够实现任意精度的 PSNR 要求。

3 结束语

文中算法的特点是将双彩色水印嵌入过程实现了完全自适应。虽然多种因素都会影响双彩色水印三基色的嵌入强度值,但用所提出的算法,能够根据三基色 PSNR 的具体要求,快捷自动地确定三基色的最佳嵌入强度,实现了完全自适应。

参考文献:

[1] 张冠男,王树勋,温 泉.一种嵌入可读水印的自适应盲水印算法[J].电子学报,2005,33(2):308-312.

[2] 王向阳,杨红颖,陈利科.基于人眼视觉系统的自适应量化数字水印算法研究[J].小型微型计算机系统,2005,26(9):1526-1529.

[3] 刘 挺,尤韦彦.一种基于离散小波变换和 HVS 的彩色图像数字水印技术[J].计算机工程,2004,30(2):115-117.

[4] 程卫东,黄继武,刘红梅.基于三维 DCT 的彩色图像自适应水印算法[J].电子学报,2001(12A):1778-1781.

[5] 刘 彤,裘正定.小波域自适应图像水印算法研究[J].计算机学报,2002,25(11):1195-1199.

[6] 余燕忠,王新伟.基于信噪比的自适应图像水印算法[J].计算机工程,2003,29(1):70-71

[7] Gilani S A M, Kostopoulos I, Skodras A N. Color Image Watermarks- adaptive Watermarking[C]//Proc. 2002 Int. Conf. on Digital Signal Processing. [s. l.]:[s. n.],2002:721-724.

[8] 郑江云,江巨浪.基于小波块理论的灰度图像水印算法[J].计算机工程,2009,35(11):150-151.

[9] 施妙根,顾丽珍.科学和工程计算基础[M].北京:清华大学出版社,1999:345-347.