

基于图像分割技术的摄影图像数字水印算法

赵媛 陈莹 韩焯

(郑州财经学院 郑州 450000)

摘要 由于摄影图像具有高度的复杂性和多样性,导致水印在受到攻击时完整度相对较低。针对上述问题,文中提出了基于图像分割技术的摄影图像数字水印算法。其采用 Arnold 变换强化图像安全,RGB 转 YCrCb 优化色彩处理,两层离散小波变换深入剖析图像多尺度特征。通过形态学腐蚀优化与智能合并策略,深度分割预处理图像,生成清晰界定的图像块集合。选取对比度最高的子块,利用离散小波变换的低频子带结合量化抖动调制技术,隐蔽而鲁棒地将水印信息嵌入图像中。在提取阶段,能集成图像分割、Daisy 变换精准定位、BSP 树精细划分、Arnold 逆变换精确提取并还原图像水印。实验结果表明,该设计方法能显著提升水印在多种攻击场景下的鲁棒性,确保水印信息的完整可靠。

关键词: 图像分割技术;数字水印算法;水印嵌入;水印提取

中图分类号 TP309.7

Digital Watermarking Algorithm of Photographic Images Based on Image Segmentation Technology

ZHAO Yuan, CHEN Ying and HAN Ye

(Zhengzhou College of Finance and Economics, Zhengzhou 450000, China)

Abstract Due to the high complexity and diversity of photographic images, the integrity of the watermark is relatively low when under attack. For the above problems, a digital watermark algorithm of photographic image based on image segmentation technology is proposed. The Arnold transform is used to strengthen image security, RGB turns to YCrCb to optimize color processing, and two layers of discrete wavelet transform to deeply analyze the multi-scale features of the image. Through morphological corrosion optimization and intelligent merging strategy, the image is pre-processed to generate a clearly defined set of image blocks. The subblock with the highest contrast is selected, and the low frequency subband of discrete wavelet transform combined with quantitative jitter modulation technology is used to embed the watermark information in the image secretly and reliably. In the extraction stage, it integrates image segmentation, Daisy transform precise positioning, BSP tree fine division, and Arnold inverse transformation accurately extracts and restores the image watermark. The experimental results show that the design method can significantly improve the robustness of watermark in multiple attack scenarios, and ensure the integrity and reliability of watermark information.

Key words Image segmentation technology, Digital watermark algorithm, Watermarking embedding, Watermark extraction

0 引言

随着数字媒体的普及,图像版权保护和完整性验证成为一个日益重要的问题。数字水印技术作为一种有效的解决方案,为图像的版权保护和溯源提供了可能。然而,传统的水印算法在抵抗各种图像处理和攻击手段方面存在局限性。因此,研究更加鲁棒、隐蔽且高效的数字水印算法具有重要意义。改进零视差像素点重组的图像数字水印算法通过分析图像的像素点及其邻域关系,可以识别不变像素点并嵌入水印^[1]。基于 DWT-HD-SVD 的数字图像水印算法对图像进行多级离散小波变换,分解子带,调整强度,应用奇异值分解嵌入水印^[2]。但上述方法在处理不同类型的摄影图像时,可能无法保持一致的优良性能。因此,本文提出

了基于图像分割技术的摄影图像数字水印算法,旨在克服现有算法的不足,为摄影图像的版权保护和内容认证提供更可靠和高效的技术支持。

1 摄影图像预处理

图像可能包含噪声、冗余或细节,从而影响水印效果^[3]。因此,本文预处理了图像。针对待处理的 $M \times N$ 像素图像 P ,采用 Arnold 变换技术进行图像扰乱。定义一个特定的变换矩阵 T ,对图像 P 中的像素位置进行重排,生成扰乱版本 P' 。Arnold 变换的实现如式(1)所示:

$$P' = \text{Arnold}(P, T, n) \bmod N \quad (1)$$

其中, n 表示 Arnold 变换的迭代次数,用于控制摄影图像扰乱的程度。

作者简介: 赵媛(1986—), 硕士, 副教授, 研究方向为艺术设计。

在进行色彩空间转换时,将图像从RGB转至YCrCb,分离亮度信息Y与色度信息Cr和Cb^[4]。提取过程如式(2)所示:

$$Y = ExP'(f(X, Y)_{RCB}) \quad (2)$$

其中, Ex 表示提取函数, $f(X, Y)$ 表示彩色载体摄影图像。

通过式(2)的提取过程,能单独提取出Y分量图像,这在保持图像亮度特征的同时,为后续水印的嵌入提供了更纯净的载体^[5]。为了进一步提升水印的嵌入效率和鲁棒性,本文对提取出的Y分量图像应用两层离散小波变换,如图1所示。这一变换将图像分解为多个不同频率的子带,包括低频和高频。在子带上嵌入水印,可保持图像质量,隐蔽水印并增强鲁棒性。

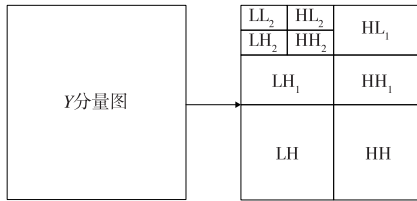


图1 分解过程示意图

2 基于图像分割技术划分摄影图像

预处理图像去噪后仍为整体,不利水印嵌入。本文利用形态学方法优化了分割图像。假设 I 为预处理后的摄影图像,将形态学操作中的腐蚀操作 ϕ 应用于图像 I ,通过设定合适的结构元素 s ,以剔除图像中的细微噪声和冗余细节,从而生成一系列更清晰、界定明确的离散图像块^[6]。这一过程如式(3)所示:

$$I' = \phi(I, s) \quad (3)$$

其中, I' 为形态学腐蚀操作后的摄影图像。

为了进一步优化图像块集合,本文引入合并阈值 T 。通过合并操作,将小于阈值 T 的小块与相邻的较大块合并,形成更加合理和有意义的图像块集合 B' ^[7]。这一过程如式(4)所示:

$$B' = Me(B, T) \quad (4)$$

其中, B 表示腐蚀操作后直接生成的离散图像块集合, B' 表示经过合并处理后的图像块集合。将合并后的图像划分为 k 个子块,如式(5)所示:

$$P_c = h(B', k) \quad (5)$$

其中, k 表示分块的大小或数量, h 函数将图像划分为 k 个子块。

3 制定水印嵌入策略

基于图像分割,本文设计了精细的水印嵌入策略,选择最佳区域,并利用离散小波变换和量化抖动技术嵌入水印,增强了隐蔽性和抗性^[8]。首先,从图像分割后区域中挑选出 M 个 8×8 像素块作为候选区域,构成集合 $\{B_k\}_{k=1}^M$,其中, B_k 表示第 k 个候选图像块。对每个候选图像块 B_k 执行两层离散小波变换,特别关注第二层分解后的高频子带,记作

HH_{B_k} ,并计算每个 HH_{B_k} 的系数 S_{B_k} ,如式(6)所示:

$$S_{B_k} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n HH_{B_k}(i, j) \quad (6)$$

其中, m 和 n 分别表示 HH_{B_k} 的尺寸, i, j 表示遍历 HH_{B_k} 子带中所有元素的索引。

为了进一步筛选最佳嵌入区域,本文定义对比度函数 $H(g)$,该函数通过考虑像素 g 及其邻近像素的亮度信息 β_g ,来评估像素的对比度。计算每个候选块 B_k 的平均对比度 H_{B_k} ,如式(7)所示:

$$\begin{cases} \beta_g = \frac{1}{|W|} \sum_{p \in W} I(p) \\ H_{B_k} = \frac{1}{m \times n} \sum_{g \in B_k} H(g) \end{cases} \quad (7)$$

其中, $|W|$ 表示窗口 W 中像素的总数。

基于 H_{B_k} 的值,选取对比度最高的前 $N_1 \times N_2$ 个图像子块作为水印嵌入的主要区域,记作集合 $\{U_k\}_{k=1}^{N_1 \times N_2}$ 。对于每个选定的 U_k ,执行量化抖动调制技术,将水印信息 W 嵌入到其低频子带中。量化抖动调制技术根据水印信息调整 L_{U_k} 的系数,生成修改后的低频子带 L'_{U_k} 如式(8)所示:

$$L'_{U_k} = Q_i(L_{U_k}, W) \quad (8)$$

其中, Q_i 表示调整函数。将选定子块 $\{U_k\}$ 的位置信息作为密钥 K 安全保存,防止未经授权的访问和篡改。

4 提取水印信息

水印嵌入图像后,提取步骤需逆向追踪还原水印,确保完整性和可识别性。通过Daisy变换,将包含水印的载体图像映射至特征域,构造出一个包含丰富图像特性的特征空间。利用高效的BSP树算法对特征空间进行递归划分,直至叶子节点的数量精准匹配原始水印序列的长度,确保每个节点都能精确对应到水印信息的一个单元,如图2所示^[9]。

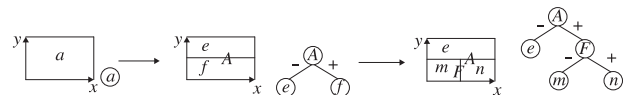


图2 二维空间BSP树的构造过程示意图

将原始无水印图像与待提取水印的图像均转换至YIQ色彩空间,以利用其在亮度与色度分离上的优势进行精细分割。通过这一过程,生成包含编码集合与分割框架的基准数据。对于待提取水印的图像,应用与基准数据相同的分割框架处理Y、I、Q3个色彩分量。利用曲面拟合技术,从分割后的每个子块中提取出包含水印信息的编码。为了精确定位水印信息,利用特定密钥 K 生成伪随机序列,根据此序列筛选出图像中的特定 4×4 子块。深入分析选定子块与未嵌入水印时对应子块的系数差异,依据差异大小解码出Y、I、Q3个分量的水印序列 W_Y, W_I, W_Q ^[10]。解码后,再次使用密钥对水印序列进行逆置乱处理,恢复其原始的扫描顺序和排列方

式。在合并Y、I、Q 3个分量的水印信息时,采用多数投票法等综合决策规则,以增强水印信息的鲁棒性和准确性。最后,应用Arnold逆变换技术对重构出的水印图像进行逆变换处理,恢复其原始的二值形态。如式(9)所示:

$$A_j = \text{Arnold}^{-1}(A) \quad (9)$$

其中, A 表示待提取水印图像, Arnold^{-1} 表示Arnold逆变换。至此,水印提取过程完成,完成了本文基于图像分割技术的摄影图像数字水印算法的研究。

5 实验

5.1 实验准备

为了验证本文算法的可行性及其在实际应用中的性能表现,本文设计以下实验。该方案覆盖了从选择图像处理软件到优化硬件配置、准备载体图像以及灵活嵌入水印信息等方面,具体的实验关键参数设置情况如表1所列。因图像纹理复杂,实验前需定制嵌入强度,确保水印稳固且无损图像。本实验强调加密水印,并设计了加密方案。在提取时可以解密,以保证水印的真实完整。

表1 实验关键参数配置表

序号	参数类别	参数名称	参数值/描述
(1)	软件工具	图像处理软件	MATLAB, Photoshop等工具
		CPU	Intel Core i7
(2)	硬件配置	内存	16 GB RAM
		显示设备	4K分辨率显示器
		图像类型	摄影图像(JPEG, PNG等格式)
(3)	载体图像	图像分辨率	1920×1080像素
		图像颜色模式	RGB
(4)	水印信息	信息类型	文本、图像、二进制序列等
		信息内容	版权信息、作者标识、序列号等

5.2 实验结果及分析

为了验证本文算法优越性,本文设计了一系列针对摄影图像的攻击场景实验,并将其性能与两种主流的图像水印算法进行对比。对比方法1选用改进零视差像素点重组的图像数字水印算法,对比方法2选择一种基于DWT-HD-SVD的数字图像水印算法。针对不同类型的攻击场景,分别测试3种方法的水印完整度。水印完整度作为衡量水印算法性能的关键指标,直接反映了算法在抵御各种攻击后保持水印信息完整性的能力。3种方法在不同攻击场景下的水印完整度对比结果如表2所列。根据表2可以看出,本文算法在多种攻击场景下均展现出卓越的性能。在JPEG压缩测试中,无论是轻微还是中度处理,本文方法均能保持极高的水印完整度。在噪声攻击下,即便高强度噪声,本文算法依然能保持较高的水印完整度,显著高于对比方法,证明本文算法在复杂噪声环境中能保护水印信息,防止其被轻易破坏或篡改,特别在复杂攻击如小范围裁剪及裁剪旋转组合中。其独特

的图像分割与水印嵌入策略能有效抵御图像局部或全局改变,保持水印完整性及可检测性。综上所述,本文算法在水印嵌入和提取方面具有较高的效率和准确性,在抵抗攻击方面表现出显著的鲁棒性和稳定性。

表2 3种方法在不同攻击场景下的水印完整度

序号	攻击场景	本文方法水印完整度	对比方法1水印完整度	对比方法2水印完整度
(1)	轻度JPEG压缩	0.98	0.90	0.95
(2)	中度JPEG压缩	0.91	0.75	0.85
(3)	低强度噪声	0.95	0.80	0.88
(4)	高强度噪声	0.88	0.65	0.75
(5)	小范围裁剪	0.95	0.88	0.78
(6)	裁剪旋转组合	0.93	0.86	0.76

6 结语

通过引入先进的图像分割技术,本文算法实现了对摄影图像的高效、隐蔽和鲁棒的版权保护。该算法不仅充分利用了图像分割在识别图像关键区域方面的优势,还通过嵌入策略确保了水印信息的有效性和安全性。随着数字技术的不断发展,摄影图像的版权保护问题将变得更加重要和复杂。因此,应进一步优化本文提出的算法,提高其处理速度和嵌入容量,并探索更多与深度学习等先进技术相结合的可能性。未来,基于图像分割技术的摄影图像数字水印算法将在版权保护、内容认证和数据隐藏等领域发挥更加重要的作用,为数字时代的发展贡献更多力量。

参考文献

- [1] 李播阳,张频,吴江.改进零视差像素点重组的图像数字水印算法[J].计算机仿真,2023,40(2):244-248.
- [2] 张丽艳,温万钦.一种基于DWT-HD-SVD的数字图像水印算法[J].大连交通大学学报,2022,43(6):105-109,115.
- [3] 徐沛,沙长涛.改进压缩感知的舰船数字图像水印算法[J].舰船科学技术,2022,44(19):166-169.
- [4] 杨永锋,武文才,杨羽.基于HVS和DWT的彩色图像数字水印算法[J].陇东学院学报,2022,33(5):58-62.
- [5] 毛新光.基于二维码图像的数字水印算法的研究[J].网络安全技术与应用,2022(2):29-31.
- [6] 雷求胜.基于小波变换的数字水印图像处理技术研究[J].电子设计工程,2021,29(22):161-165.
- [7] 马永强,孙伟,边静,等.基于图像分割技术的图像数字水印算法研究[J].电视技术,2021,45(11):103-105.
- [8] 张玉凤,谢荣生.一种空间域自适应低失真防篡改图像数字水印方案[J].厦门理工学院学报,2021,29(5):76-82.
- [9] 黄根岭,刘成,黄海于.一种基于最优块的DWT-DCT-SVD的图像数字水印算法[J].电子器件,2021,44(5):1234-1239.
- [10] 李喜艳,周夏冰,刘征.基于高容量强鲁棒的图像水印算法[J].吉林大学学报(工学版),2022,52(1):174-179.