

基于模糊聚类分析和 HVS 的自适应彩色图像水印算法

杨艺敏

(华侨大学 厦门工学院 电子信息工程系, 福建 厦门 362011)

摘要: 结合模糊 C 均值聚类算法和人眼视觉特性, 提出了一种新的自适应彩色图像水印算法。首先, 将彩色图像经模糊聚类分析, 选取出适合于水印嵌入的位置; 然后, 分别在 R、G、B 3 个通道中利用小波域的视觉掩蔽特性自适应地修改水印嵌入强度, 提取时, 不需要用到原始图像。实验结果证明, 含水印的彩色图像没有出现任何可感知的视觉失真, 同时, 该算法对一定的图像处理操作具有较强的鲁棒性。

关键词: 模糊聚类; 人眼视觉特性; 小波变换

中图分类号: TP309

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)01-0043-03

The adaptive watermarking algorithm of color images based on fuzzy clustering and HVS

Yang Yimin

(Department of Electronic Information Engineering, Xiamen Institute of Technology, Huaqiao University, Xiamen 362011, China)

Abstract: Based on the fuzzy C means clustering algorithm and human visual characteristics, the paper proposes a new adaptive watermarking algorithm of color images. After fuzzy clustering analysis, it selects the suitable location which is fit for embedding a watermark in color images. Then, the algorithm adaptively changes embedding strength by making use of the visual masking in the wavelet domain, respectively in R, G, B three channels. In the extraction, it does not need the original image. Experimental results show that color images with watermark do not appear any visual distortions, and the algorithm has better robust to some image operations.

Key words: fuzzy clustering; human visual characteristics; wavelet transform

Internet 的发展引起了对一系列安全性问题的新挑战, 其中之一是电子信息的版权保护问题。幸运的是, 在过去的许多年中, 在电子信息中加入数字水印的方法已经成为一个活跃的研究领域^[1]。近年来, 图像数字水印技术的研究更是取得了很大的进展。但是, 已有的水印算法基本上都是针对灰度图像的, 彩色图像数字水印算法尚未得到充分研究。

本文提出了一种基于模糊聚类分析和 HVS 的自适应彩色图像水印算法, 彩色图像经过模糊聚类分析后, 选取出适合于水印嵌入的位置。再利用小波分解及小波域的视觉掩蔽特性, 自适应地修改水印嵌入强度。为了增加算法的安全性, 分别在 R、G、B 3 个通道实现 3 次嵌入, 提取时, 不需要用到原始图像。

1 设计思路

1.1 模糊 C 均值聚类算法的应用

对于图像数字水印的嵌入方案来说, 选择图像中适

合水印嵌入的位置对于实现算法的不可见性和鲁棒性非常重要。本文结合人眼的视觉特性和图像的局部相关性, 对图像进行分块划分, 考察图像局部的亮度、纹理、对比度和熵等敏感值, 合理地构造出图像的局部特征向量, 然后应用模糊 C 均值聚类算法, 将图像划分成两类, 一类适合于嵌入数字水印, 有较好的不可见性和鲁棒性, 水印更隐蔽, 不宜察觉; 另一类则不适合于嵌入数字水印。

图像本身以及对图像的边缘、区域、纹理等的定义都存在模糊性, 人类视觉也存在模糊性, 而模糊控制对时变的、非线性的、无法获得精确数学模型的复杂系统具有很好的控制效果^[2], 因此将模糊理论引入数字水印领域是必然的。

为了对图像的局部特征进行模糊聚类, 本文对图像进行 8×8 分块, 依据人类视觉模型和相关统计知识, 在

各分块中考察如下几个特征(设图像像素值为 $g(i, j)$):

$$(1) \text{亮度敏感值 } B = \frac{1}{64} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 g(i, j), \text{即灰度均值,}$$

代表子图的亮度。

$$(2) \text{纹理敏感值 } T = \frac{1}{64} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 |g(i, j) - B|, \text{即灰度的}$$

方差, 决定子图的纹理。

$$(3) \text{对比度敏感值 } C = \max_{i,j=0}^7 (g(i, j)) - \min_{i,j=0}^7 (g(i, j)),$$

即灰度之间的最大距离, 表现为子图的对比度。

$$(4) \text{熵敏感值 } E = - \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 p_{ij} \cdot \log p_{ij}, \text{用于对子图的不}$$

确定性进行度量^[3]。其中, $p_{ij} = g_{ij} / \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 g_{ij}$ 。

这样, 每个子块就对应了一个特征向量: $X(B, T, C, E)$ 。将所有子块对应的特征向量组成数据样本集合 x , 对它们应用模糊 C 均值(FCM)聚类算法, 就能够把图像分成两类。同时, 确定出最佳聚类的模糊隶属度矩阵 U 和聚类中心 P , 实现最优聚类分割。

1.2 人眼的视觉特性

对于图像来说, 人眼视觉系统(HVS)的掩蔽特性主要表现在亮度特性、频域特性和图像类型特性三个方面, 具体如下:

(1) 人眼在图像背景较亮或较暗的区域, 对噪声不敏感;

(2) 频率越高, 人眼对噪声的敏感性就越低, 而频率越低, 人眼对噪声的敏感性就越高;

(3) 人眼视觉系统对于平滑区域的噪声敏感性要远高于纹理密集区域。

目前, 对于人眼视觉特性的研究有很多。为了很好地刻画人眼的视觉掩蔽特性, 本算法采用 LEWIS 和 KNOWLES^[4]提出的小波域视觉掩蔽特性值 $JND(r, s, x, y)$ 计算公式。

$$JND(r, s, x, y) = q_0 \times \text{frequency}(r, s) \times \text{luminance}(r, x, y) \times \text{texture}(r, x, y)^{0.034} \quad (1)$$

2 数字水印嵌入算法

2.1 嵌入位置的选择

将彩色图像转成灰度图像, 对灰度图像进行 8×8 分块。计算每个分块的亮度敏感值、纹理敏感值、对比度敏感值和熵敏感值, 组成一个特征向量, 这样, 所有分块所对应的特征向量就组成一个样本集。采用模糊 C 均值聚类算法将该样本集分成两类, 一类为适合水印嵌入的样本, 一类为不适合水印嵌入的样本。

由于较大聚类中心对应于较大的敏感值, 更能容忍视觉上的误差, 因此, 算法选取较大聚类中心值对应的聚类作为适合于水印嵌入的子块, 将这些子块组成一个新的矩阵 A , 并将子块位置作为密钥 K 进行存储。这样,

R, G, B 3 个通道就对应 3 个矩阵 A_r, A_g, A_b 。

对 A_r, A_g, A_b 3 个新矩阵的处理方法是一样的, 下面主要以红色通道的矩阵 A_r 为例加以说明。

2.2 嵌入强度的计算

将新矩阵 A_r 进行一级小波分解, 根据 HVS 特性, 采用 LEWIS 和 KNOWLES 的小波域视觉掩蔽特性值 $JND(r, s, x, y)$ 计算公式, 得到 LH、HL 子频带系数的嵌入强度。

对 HL、LH 分别进行 2×2 分块, 同时, 取出各块的最小视觉掩蔽特性值记为 $J(u, v)$, (u, v) 表示子块在频带中的位置。在 HL、LH 中, 利用 HVS 来自适应控制水印嵌入强度, 以在满足不可见性的条件下最大强度地嵌入水印。

用 $D_{u,v}^\theta$ 表示 LH、HL 中的子块, $\theta \in \{LH, HL\}$, 用 sum

$(D_{u,v}^{LH}), sum(D_{u,v}^{HL})$ 分别表示 $\sum_x \sum_y D_{u,v}^{LH}(x, y), \sum_x \sum_y D_{u,v}^{HL}(x, y)$ 。

$\lambda_{u,v}^\theta(x, y)$ 表示水印嵌入强度, 其计算如下:

$$\lambda_{u,v}^\theta(x, y) = \frac{|D_{u,v}^\theta(x, y)| + \Delta}{\sum_x \sum_y \{|D_{u,v}^\theta(x, y)| + \Delta\}} \quad (2)$$

其中, Δ 为一个微小的实数, 用于保证分母不为零。

2.3 嵌入规则

如果 $W'(i, j) = 1$ 并且 $diff = sum(D_{u,v}^{HL}) - sum(D_{u,v}^{LH}) < J(u, v)$, 则有:

$$\hat{D}_{u,v}^{HL}(x, y) = D_{u,v}^{HL}(x, y) + \lambda_{u,v}^{HL}(x, y) \times \frac{J(u, v) - diff}{2} \quad (3)$$

$$\hat{D}_{u,v}^{LH}(x, y) = D_{u,v}^{LH}(x, y) - \lambda_{u,v}^{LH}(x, y) \times \frac{J(u, v) - diff}{2} \quad (4)$$

如果 $W'(i, j) = 0$ 并且 $diff = sum(D_{u,v}^{HL}) - sum(D_{u,v}^{LH}) < J(u, v)$, 则有:

$$\hat{D}_{u,v}^{HL}(x, y) = D_{u,v}^{HL}(x, y) - \lambda_{u,v}^{HL}(x, y) \times \frac{J(u, v) - diff}{2} \quad (5)$$

$$\hat{D}_{u,v}^{LH}(x, y) = D_{u,v}^{LH}(x, y) + \lambda_{u,v}^{LH}(x, y) \times \frac{J(u, v) - diff}{2} \quad (6)$$

2.4 图像恢复

修改完 LH、HL 小波系数后, 进行逆小波变换, 并恢复各子块位置。再对 G、B 两个通道进行同样的处理, 就得到了含水印的彩色图像。

3 数字水印提取算法

该算法在水印嵌入过程中, 将水印嵌入的子块位置作为密钥 K 存储, 因此故提取过程无需用到原始图像。具体步骤如下:

(1) 根据密钥 K 选出各通道中含有水印信息的子块, 并将 3 个通道的所有子块重新组成 3 个新矩阵 A_r', A_g', A_b' 。

(2) 在 3 个通道中,水印信息的提取过程是一样的。以 A_r' 为例,对 A_r' 进行一级小波分解,在 LH、HL 中分别进行分块。在 LH、HL 各分块中,比较对应块中 $sum(D_{u,v}^{LH})$ 和 $sum(D_{u,v}^{HL})$ 的大小。当 $sum(D_{u,v}^{LH}) < sum(D_{u,v}^{HL})$ 时, $W'_1=1$; 当 $sum(D_{u,v}^{LH}) > sum(D_{u,v}^{HL})$ 时, $W'_1=0$ 。

(3) 3 个通道分别得到 3 个水印信息 W'_1 、 W'_2 、 W'_3 。根据“多数决策”原则(如果 $W'_1+W'_2+W'_3 \geq 2$, $W'=1$; 否则, $W'=0$)即得到水印信息 W' 。

4 算法测试

本文采用 512 pix×512 pix×24 bit 的彩色图像 lena、pepper、baboon、f16 分别作为原始载体,采用 16 pix×64 pix、32 pix×32 pix 的二值图像分别作为原始水印,进行算法测试。同时,采用参考文献[5]的峰值信噪比和参考文献[6]的相似度分别来评价含水印图像的质量和水印相似度问题。

4.1 不可见性测试

图 1 从左到右依次为嵌入水印后的 lena、f16、pepper、baboon 及其相应提取出来的水印。可以看出,在加了水印的图像没有出现可感知的质量失真时,水印图像可以正确地提取出来。此时,加水印的图像的峰值信噪比从左到右依次为 39.319 1 dB、37.766 2 dB、38.545 1 dB、40.882 4 dB,提取出来的水印与原水印的相似度均为 1。



图 1 无攻击的含水印图像及其相应提取出的水印

4.2 鲁棒性测试

为了测试算法的鲁棒性,本实验采用两种测试方法:一种是选择同一彩色图像作为原始载体,选择不同的二值图像作为水印信息用于嵌入;另一种是以不同的彩色图像为原始载体,选择同一个二值图像作为水印信息用于嵌入。实验结果如表 1 所示。

表 1 经过各种攻击后提取的水印及其对应的 NC 值

	NC 值		
载体图像			
水印图像	华侨大学	华侨大学	HQ
0.1%高斯噪声	0.9062	0.9468	0.9130
2%椒盐噪声	0.9303	0.9214	0.9332
0.5%乘性噪声	0.9278	0.8796	0.9049
图像增强	0.9493	0.8847	0.9474
四周各剪切 40 行	0.8137	0.7807	0.8381
左上角 1/4	0.8289	0.8276	0.8198
无规则剪切	0.8517	0.8365	0.8543
JPEG 压缩(Q=60)	0.8834	0.9151	0.8866
JPEG 压缩(Q=70)	0.9468	0.9442	0.9393

从表 1 可以看出,该算法对于噪声干扰、图像增强、剪切攻击和 JPEG 压缩等一定的图像操作具有较强的鲁棒性。同时,对于不同的彩色图像载体、不同的二值水印信息,该算法均具有一定的鲁棒性,可见,本算法具有普遍性。

本文算法在对彩色图像进行模糊 C 均值聚类分析后,选取出适合于水印嵌入的位置,可以保证算法良好的不可见性。接着,对图像进行小波多分辨率分析,结合考虑小波域中的 HVS 特性,最大强度地嵌入水印,实现了较好的鲁棒性。

本文的创新点在于:(1)充分考虑了载体图像自身的特点,选取出适合于水印嵌入的位置,保证了数字水印较好的不可见性。(2)对于大小不同的小波系数的水印嵌入,依据人眼视觉特性进行动态调节,实现数字水印的不可见性与鲁棒性的良好折衷。

实验结果证明,该算法对于噪声干扰、图像增强、剪切攻击和 JPEG 压缩等一定的图像操作具有较强的鲁棒性。同时,对于不同的彩色图像载体、不同的二值水印信息,本算法均适用。

参考文献

- [1] PODILCHUK C I, Zeng Wenjun. Image-adaptive watermarking using visual models [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(4): 525-539.
- [2] 高珍,翁洁琼,张志浩.一种基于 HVS 和模糊理论的小波域水印算法[J].计算机工程,2006,32(4): 160-162.
- [3] 王向阳,杨红颖,赵红,等.基于模糊聚类分析的自适应图像空间域水印技术 [J]. 小型微型计算机系统, 2005, 26(7): 1255-1259.
- [4] LEWIS A S, KNOWLES G. Image compression using the 2-D wavelet transform [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1992, 1(2): 244-250.
- [5] He Xipeng, Zhu Qingsheng. A robust wavelet-domain watermarking algorithm for color image [C]. Proceedings of the Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Dalian, 2006: 3940-3943.
- [6] He Kefeng. Watermarking for images using the HVS and SVD in the wavelet domain [C]. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 2006, 25-28: 2352-2356.

(收稿日期:2011-10-19)

作者简介:

杨艺敏,女,1984 年生,助教,主要研究方向:图像处理,数字水印。